



TEKNOLOGI DRONE

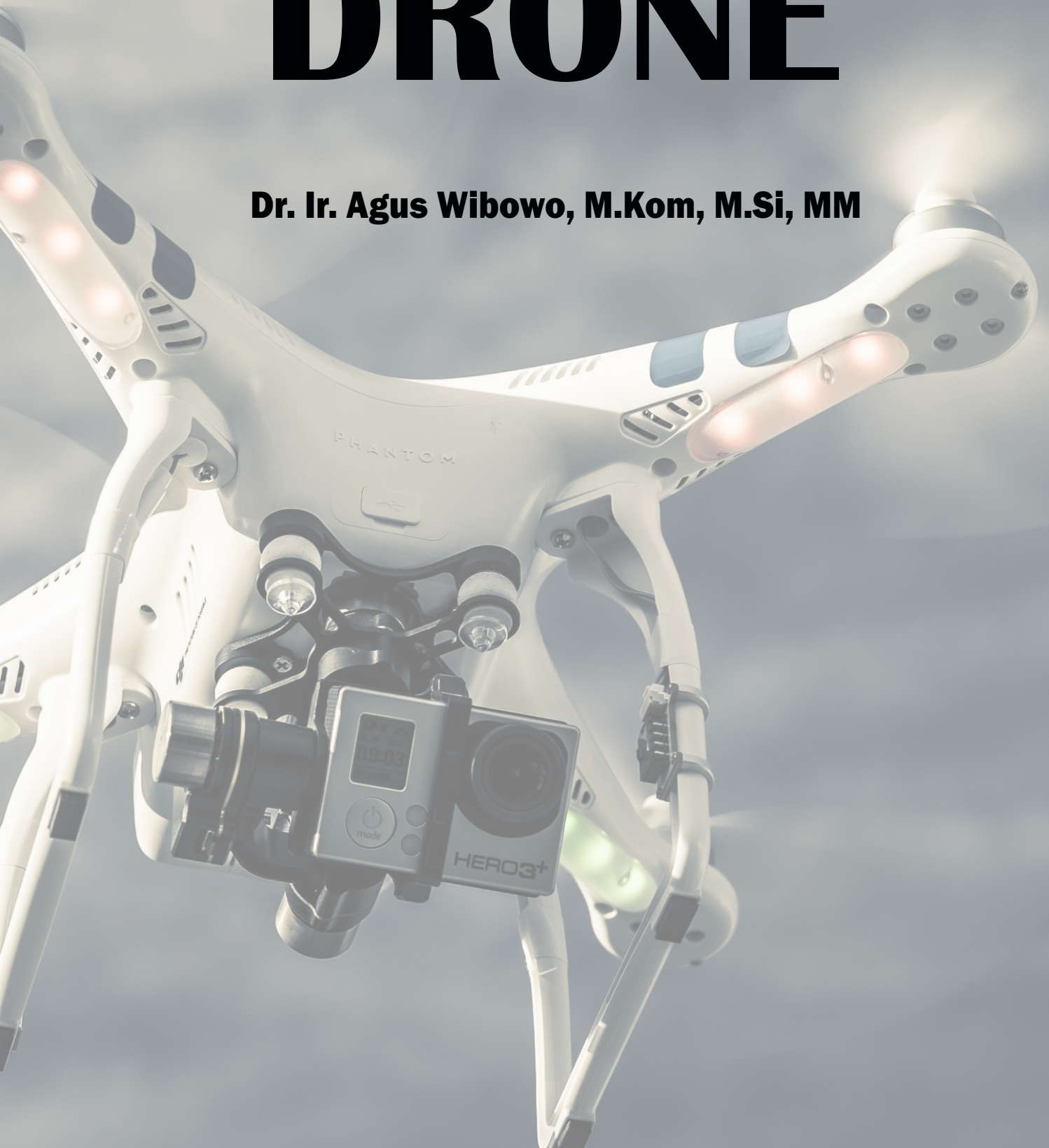


YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

TEKNOLOGI DRONE

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

PENERBIT :
YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK
JL. Majapahit No. 605 Semarang
Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

TEKNOLOGI DRONE

Penulis :

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom., M.Si., MM.

ISBN :

Editor :

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom., M.Kom.

Penyunting :

Dr. Mars Caroline Wibowo. S.T., M.Mm.Tech

Desain Sampul dan Tata Letak :

Irdha Yunianto, S.Ds., M.Kom.

Penebit :

Yayasan Prima Agus Teknik Bekerja sama dengan
Universitas Sains & Teknologi Komputer (Universitas STEKOM)

Redaksi :

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

Distributor Tunggal :

Universitas STEKOM

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : info@stekom.ac.id

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin dari penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang maha esa bahwa buku yang berjudul “Teknologi Drone” ini telah dapat diselesaikan. Buku ini menggabungkan kekuatan teknologi dan seni. Ddalam perangkat keras, perangkat lunak, dan berita drone, sehingga kami dapat mewakili pembuat dan pengguna drone dalam cahaya artistik dan inovatif.

Penulis menjelaskan bagaimana untuk memulai dan bagaimana peralatan dan pekerjaan dilakukan. Gambar disajikan dalam urutan kronologis untuk menunjukkan kemajuan dalam kualitas, saat penulis memahami cara membuat, menerbangkan, dan mengambil foto dengan drone.

Buku ini adalah untuk memberi Anda pengetahuan tentang robotika udara, dengan menunjukkan kepada pembaca bagaimana merancang dan membangun pesawat drone. Dengan membaca dan mengikuti langkah-langkah dan saran yang terdapat dalam buku ini, Anda akan mempelajari cara kerja quadcopter dan cara mengatasi beberapa tantangan teknik yang dihadirkan quadcopter. Penulis juga akan menyarankan opsi alternatif yang dapat pembaca coba, atau suku cadang yang sebanding yang sesuai dengan preferensi Anda sendiri.

Robotika udara mengenai tentang pengalaman langsung, di mana Anda memecahkan masalah dunia nyata melalui mencoba, dan akhirnya, keberhasilan yang diperoleh dengan susah payah. Perbedaan terkecil dalam distribusi bobot atau kecepatan dapat berarti kesuksesan atau bencana.

Setiap bab dari buku ini dirancang untuk membahas bagian tertentu dari keseluruhan teknologi pesawat tak berawak. Satu bab membahas seluk-beluk jenis badan pesawat yang berbeda, sementara bab lain membahas bagaimana Sistem Pemosisian Global (GPS) digunakan untuk membantu penerbangan. Penulis melakukan banyak upaya untuk membahas sebanyak mungkin topik, tetapi perlu diingat bahwa ini adalah buku Memulai, bukan ensiklopedia UAV yang serba bisa. Jika pembaca pendatang baru dalam teknologi ini, akan ada banyak ilmu baru di sini untuk dipelajari lebih lanjut. Jika pembaca sudah familiar dengan drone, penulis yakin masih akan ada beberapa info penting yang bisa Anda tambahkan untuk basis pengetahuan Anda.

Setelah Anda melewati Bab 1, Anda akan mulai melihat pola penting yang muncul: sebagian besar bab dipecah menjadi bagian untuk latar belakang dan teori diikuti dengan petunjuk langkah demi langkah untuk contoh pembuatan pesawat drone. Tidak masalah jika Anda sedang membuat pesawat yang sama yang penulis tunjukkan di seluruh buku ini, bagian teori dari setiap bab akan berlaku untuk hampir semua jenis drone— dari quadcopter kelas 250 kecil hingga octocopter kelas 1.000 besar. Jika Anda tidak mengikuti demo build penulis, silakan lewati instruksi build dan konsumsi teori sebanyak mungkin.

Apakah pembaca seorang pilot drone berpengalaman atau hanya sekedar hobi, penulis pikir setiap orang dapat mengambil manfaat dari bagian teori dari setiap bab. Penulis menyarankan Anda membaca satu per satu. Jika Anda juga mengikuti contoh build, jangan ragu untuk membangun terlebih dahulu drone atau membaca semua teori terlebih dahulu sebelum akhirnya kembali dan memulai build. Pemahaman menyeluruh tentang teknologi yang dibahas dalam buku ini dapat membantu saat membangun pesawat terbang Anda. Akhir kata semoga buku ini bermanfaat bagi para pembaca.

Semarang, Maret 2022

Dr. Agus Wibowo, M.Kom., M.Si., M.M.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iv
BAB 1 PENGANTAR TEKNOLOGI DRONE	1
1.1 Definisi	1
1.2 Sejarah Singkat Penerbangan Otonom	2
1.3 Pengendali Penerbangan Autopilot Kecil	4
1.4 Prinsip Penerbangan	5
1.5 Manuver Penerbangan	6
1.6 Menggunakan Simulator Penerbangan	8
BAB 2 RANGKA PESAWAT	10
2.1 Apa Itu Badan Pesawat?	10
2.2 Desain Pesawat	11
2.3 Bahan	12
2.4 Menjaga Keseimbangan	12
2.5 Rangka Alternatif	13
2.6 Petunjuk Pembuatan	14
BAB 3 KERETA LISTRIK	25
3.1 Baling-baling	25
3.2 Alat Peraga Penyeimbang	27
3.3 Memasangkan dengan Alat Peraga yang Tepat	29
3.4 Baterai Penerbangan	31
3.5 Petunjuk Pembuatan	32
3.6 Penutup	47
BAB 4 PENGENDALI PENERBANGAN	48
4.1 Apa itu Pengendali Penerbangan?	48
4.2 Sumber Terbuka Versus Sumber Tertutup	48
4.3 Sensor	48
4.4 Karakteristik Penerbangan	50
4.5 Asisten Perangkat Lunak	50
4.6 Petunjuk Pembuatan	51
4.7 Penutup	56
BAB 5 GPS, KOMPAS, DAN MONITOR BATERAI	57
5.1 GPS	57
5.2 Mode Penerbangan	57
5.3 Kompas	58
5.4 Baterai Monitor	59
5.5 Petunjuk Pembuatan	60

5.6	Penutup	65
BAB 6	PEMANCAR	66
6.1	Apa itu Pemancar?	66
6.2	Pita Frekuensi Paling Umum	66
6.3	Mode Berbeda di Seluruh Dunia	67
6.4	Petunjuk Pembuatan	68
BAB 7	RADIO TELEMETRI	70
7.1.	Pemantauan dan Kontrol Perangkat Lunak	70
7.2.	Petunjuk Pembuatan	71
BAB 8	PERALATAN KAMERA DAN FPV	75
8.1	Kamera Drone Populer	75
8.2	Kamera <i>Micro Four Thirds</i>	76
8.3	Mobius ActionCam	77
8.4	FPV untuk Streaming Langsung	77
8.5	Petunjuk Pembuatan	78
BAB 9	PENGATURAN ARDUPILOT MEGA (APM)	81
9.1	Petunjuk Pembuatan	81
9.2	Mari Jelajahi Sisa Perencana Misi	95
9.3	Data Penerbangan	95
9.4	Rencana Penerbangan	100
9.5	Mempersiapkan Penerbangan Perdana Anda	101
BAB 10	PENERBANGAN YANG AMAN DAN BERTANGGUNG JAWAB	103
10.1	Keamanan Adalah Di Atas Segalanya	103
10.2	Pelatihan dan Pendidikan	103
10.3	Sumber daya	103
10.4	Aturan Keselamatan Penerbangan Utama	104
10.5	Tampilan Orang Pertama	105
10.6	Dimana dan Kapan Terbang	105
10.7	Daftar Periksa Preflight dan Informasi Log Penerbangan	106
10.8	Inspeksi Pesawat	107
10.9	Log Penerbangan dan Pemeliharaan	108
10.10	Hukum dan Peraturan	108
BAB 11	APLIKASI DUNIA NYATA	110
11.1	Drone Bermanfaat	110
11.2	Fotografi Udara	110
11.3	Pemetaan dan Survei	111
11.4	Pertanian Presisi	112
11.5	Pencarian dan Penyelamatan	113
11.6	Inspeksi Infrastruktur	113
11.7	Konservasi	115
BAB 12	MEMPERLUAS KEMAMPUAN DRONE ANDA	116

12.1	Tambahkan Kamera	116
12.2	Kumpulkan Lebih Banyak Data dengan Sensor Lain	117
12.3	Mengubah Kecepatan	117
12.4	Meningkatkan Tegangan Baterai	118
12.5	Meningkatkan Waktu Penerbangan	119
12.6	Pemecahan Masalah di Komunitas Drone	119
BAB 13	KODE I/O DASAR	121
13.1	Menyiapkan IDE	121
13.2	Loop Utama	122
13.3	Penerima RC	124
13.4	Bluetooth	127
13.5	Motor	130
BAB 14	IMU/AHRS	132
14.1	Gyro	132
14.2	Akselerometer	134
14.3	IMU	135
14.4	Magnetometer	137
BAB 15	MODE DAN CAMPURAN	138
15.1	Mode	138
15.2	Campur	140
BAB 16	PID	142
16.1	Algoritma	142
16.2	P—Proporsional	142
16.3	I—Integral	142
16.4	D—Diferensial	143
16.5	Implementasi	144
16.6	Teori	145
16.7	Latihan	149
BAB 17	MOTOR <i>BRUSHLESS</i> DAN ESCNYA	151
17.1	Motor <i>Brushless</i>	151
17.2	ESC	154
17.3	BEC	155
BAB 18	GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)	157
18.1	Sejarah	157
18.2	Teori	158
18.3	HDOP	160
18.4	Instalasi	160
BAB 19	MAGNETOMETER	163
19.1	Medan Magnet Bumi	163
19.2	Deklinasi dan Deviasi	164
19.3	Magneto-resistansi	165

19.4	Gunakan di Drone	166
BAB 20	ALIRAN OPTIK, SONAR, DAN LIDAR	169
20.1	Sonar	169
20.2	Lidar	170
20.3	Sensor Aliran Optik	171
20.4	Odometri Visual	172
BAB 21	GETARAN	174
21.1	Penyebab Getaran	174
21.2	Efek Getaran	175
21.3	Redaman dan Isolasi	176
21.4	Prop Balancing	176
BAB 22	MODE KEGAGALAN DAN TOLERANSI KESALAHAN	178
22.1	<i>Failsafes</i>	178
22.2	Redundansi	179
BAB 23	ANTARMUKA	181
23.1	Antarmuka Komputer	181
23.2	Standar Radio RC	184
23.3	DSM/DSM2/DSMX	184
23.4	FrSky	184
23.5	Kontrol Servo / ESC	185
23.6	Telemetry	186
23.7	GPS	186
BAB 24	MASA DEPAN	189
24.1	Spesialisasi	189
24.2	Peraturan	189
24.3	Kemudahan Penggunaan	189
24.4	Keamanan	190
24.5	Penerbangan Manusia	190
DAFTAR PUSTAKA	192

BAB 1 PENGANTAR TEKNOLOGI DRONE

1.1 DEFINISI

Kecuali Anda telah hidup di bawah batu, Anda mungkin menyadari bahwa kata drone sering menjadi berita. Banyak berita utama tentang drone telah menggunakan istilah itu untuk menggambarkan berbagai macam pesawat—dari mainan kecil yang dikendalikan dari jarak jauh, hingga robot terbang otonom, hingga model pengawasan militer skala penuh yang dipersenjatai. Ini terutama karena sumber yang berbeda memiliki definisi kata drone yang berbeda. Di mana tepatnya garis ditarik, atau apa yang membuat drone menjadi drone? Mari kita mulai dengan definisi dasar.

Definisi drone menurut Merriam-Webster adalah:

pesawat atau kapal tak berawak yang dipandu oleh remote control atau komputer onboard.

Definisi ini menyajikan arti kata yang sangat luas, yang berkontribusi pada generalisasi berlebihan dan informasi yang salah yang kita lihat ketika media melaporkan jenis pesawat tak berawak tertentu. Mari kita lebih spesifik. Terry mengatakan dia menarik garis antara pesawat yang dikendalikan radio (RC) dan drone dengan pengenalan GPS dan autopilot. Ketika sebuah pesawat memiliki kemampuan untuk menerbangkan dirinya sendiri, meskipun hanya untuk menahan posisi stabil, yang di matanya adalah drone. Sepanjang buku ini, kita akan menggunakan konvensi berikut:

Dengung

Kendaraan udara tak berawak dikendalikan secara mandiri menggunakan GPS

Pesawat yang dikendalikan dari jarak jauh (RPA)

Model pesawat yang diterbangkan oleh pilot di darat menggunakan pemancar radio atau peralatan komputer lainnya

UAV

Pesawat yang dapat diterbangkan dari jarak jauh oleh pilot atau dikendalikan secara mandiri menggunakan perangkat lunak komputer dan GPS

Sistem Udara Tanpa Awak Kecil (sUAS)

Semua proses terkait yang terlibat dengan teknologi udara tak berawak

Suka atau tidak suka, kata drone akan terus digunakan secara luas. Buku ini menggunakan kata dan bertujuan untuk membantu mengubah konotasi negatif, dengan menunjukkan aplikasi bermanfaat dari teknologi UAV kecil. Dengan mengingat hal itu, kita perlu meningkatkan pemahaman kita sendiri untuk menavigasi hiruk-pikuk media yaitu drone-mania. Sementara Administrasi Penerbangan Federal AS sedang mencoba untuk menetapkan kebijakan penggunaan komersial UAV kecil yang komprehensif, kita semua perlu melakukan pencarian udara kita secara bertanggung jawab dan seaman mungkin.

Untuk Siapa Buku Ini?

Buku ini adalah satu set instruksi (dengan saran tambahan di sepanjang jalan) tentang bagaimana membangun sebuah quadcopter otonom. Pemahaman umum tentang robotika

dan konsep elektronik adalah keuntungan nyata dalam mengejar robotika udara. Ini juga membantu untuk terbiasa dengan alat dan peralatan dasar, termasuk besi solder, untuk sukses jangka panjang dalam merancang UAV kecil Anda sendiri. Jika Anda seorang pembuat yang senang bertahan melalui pemecahan masalah coba-coba saat Anda sedang membangun sesuatu, maka Anda akan menikmati robotika udara. Mampu membangun robot terbang, dan melihat pemandangan dari perspektif yang benar-benar baru, sepadan dengan waktu dan usaha.

Komunitas Pengguna Drone

Terkadang jalan menuju sukses ketika Anda memiliki masalah adalah mengetahui pertanyaan yang tepat untuk ditanyakan kepada orang lain. Berjejaring dengan orang-orang yang memiliki minat yang sama dalam robotika udara merupakan sumber yang sangat berharga untuk membantu menemukan masalah dan menemukan solusi. Forum online adalah cara yang bagus untuk melihat bagaimana orang lain memecahkan masalah serupa. Salah satu situs yang menjadi favorit adalah Multi-RotorForums.com. Orang-orang di forum itu sangat murah hati dalam berbagi pengalaman dan wawasan mereka dalam membangun dan menerbangkan UAV kecil.

Mungkin juga ada kelompok penggemar UAV yang terorganisir atau klub model pesawat lokal di sekitar Anda, yang mungkin akan senang melihat wajah baru di pertemuan. Coba cari di Meetup.com untuk grup pengguna drone. Tempat lain untuk dilihat adalah Academy of Model Aeronautics. AMA adalah asosiasi penerbangan model terbesar di dunia dan telah ada sejak 1936. Kami memiliki sekelompok besar orang di sini di daerah Baltimore dan Washington, D.C., yang telah berkontribusi besar dalam berbagi teknologi UAV di wilayah kami. Kami benar-benar menghargai semua orang yang telah membantu kami mempertahankan usaha liar ini.

Mungkin juga ada kelompok penggemar UAV yang terorganisir atau klub model pesawat lokal di sekitar Anda, yang mungkin akan senang melihat wajah baru di pertemuan. Coba cari di Meetup.com untuk grup pengguna drone (ada kata itu lagi!). Tempat lain untuk dilihat adalah Academy of Model Aeronautics. AMA adalah asosiasi penerbangan model terbesar di dunia dan telah ada sejak 1936. Kami memiliki sekelompok besar orang di sini di area Baltimore dan Washington, D.C. yang telah berkontribusi besar dalam berbagi teknologi UAV di wilayah kami. Kami benar-benar menghargai semua orang yang telah membantu kami mempertahankan usaha liar ini.

1.2 SEJARAH SINGKAT PENERBANGAN OTONOM

Penemuan teratas paling banyak berkontribusi pada teknologi drone termasuk pesawat model RC, microchip, GPS, Internet, dan smartphone. Mari lihat.

Pesawat Model RC

Pada tahun 1937, Ross Hull dan Clinton DeSoto, petugas dari American Radio Relay League, melakukan demonstrasi publik pertama dari penerbangan yang dikendalikan dari jarak jauh. Pada musim panas dan gugur tahun 1937, mereka merancang dan membangun pesawat layar dengan lebar sayap 13 kaki, menyelesaikan lebih dari 100 penerbangan yang dikendalikan radio di Hartford, Connecticut. Selama era ini, Hull mengatur langkah untuk

desain peralatan radio homebrew. Dia meningkatkan efisiensi pemancar dengan memperpendek lead dan merupakan orang pertama yang menggambarkan receiver on-board satu tabung yang jauh lebih ringan untuk model pesawat. Saudara kembar Walter dan William Good memenangkan gelar juara pertama pada tahun 1940 dan 1947 di Kejuaraan Aeromodeling Nasional AS. Pesawat model RC ikonik mereka, yang dikenal sebagai Guff, sekarang dimiliki oleh Smithsonian National Air and Space Museum (lihat Gambar 1-1).



Gambar 1-1 Pesawat RC Good Brothers, Guff.

Munculnya Microchip

Pada musim panas tahun 1958, Jack Kilby—karyawan baru di Texas Instruments dan penemu muda saat itu—merevolusi industri elektronik dengan memperkenalkan sirkuit terpadunya. Prekursor microchip ini terdiri dari transistor dan komponen lain pada sepotong tipis germanium berukuran $7/16 \times 1/16$ inci. Mengetahui bahwa banyak komponen elektronik, seperti resistor pasif dan kapasitor, dapat dibuat dari bahan yang sama dengan transistor aktif, Kilby menyadari bahwa mereka juga dapat dibuat menjadi konfigurasi untuk membentuk rangkaian lengkap. Banyak elektronik yang kita gunakan sekarang tidak akan mungkin tanpa chip kecil Kil-by. Ini mengubah komputer berukuran kamar menjadi mikrokomputer yang dijual hari ini.

Teknologi Drone

Pada titik tertentu, model aeronautika mencapai ketinggian maksimum yang dapat dicapai oleh desain perangkat keras, sinyal radio, dan pulsa elektronik. Untuk melampaui akan membutuhkan penerapan teknologi yang kurang nyata yang akan memungkinkan komunikasi dan kontrol cerdas.

Peluncuran GPS

Situs resmi GPS.gov menjelaskan GPS sebagai berikut:

Global Positioning System (GPS) adalah utilitas milik A.S. yang menyediakan layanan penentuan posisi, navigasi, dan pengaturan waktu (PNT) kepada pengguna. Sistem ini terdiri dari tiga segmen: segmen ruang, segmen kontrol, dan segmen pengguna. Angkatan Udara A.S. mengembangkan, memelihara, dan mengoperasikan segmen ruang dan kendali.

36 satelit sistem terus-menerus menyiarkan aliran kode waktu dan data geografis kepada pengguna di lapangan. Perangkat apa pun dengan penerima GPS dapat menggunakan

data dari empat satelit mana pun untuk menghitung lokasinya dalam kaitannya dengan satelit tersebut. Menjaga garis situs yang jelas dengan satelit GPS adalah kuncinya, dan akurasi ditingkatkan saat Anda terhubung ke lebih dari minimal empat. Karena persyaratan *line-of-site*, terkadang sulit untuk mendapatkan kunci GPS yang andal di dalam ruangan. Kita akan membahas bagaimana hal ini mempengaruhi menerbangkan drone didalam ruangan di Bab 5.

Internet

Ledakan drone sipil pribadi tidak akan seperti sekarang ini tanpa Internet. Toko online, media sosial, dan forum memungkinkan orang untuk langsung berbagi dan belajar dengan orang-orang di mana saja di dunia. Terry berhasil menyelesaikan pembuatan quadcopter awalnya dengan mengamati desain orang lain dan mengajukan pertanyaan secara online. Semakin cerdas UAV, semakin banyak peran yang akan dimainkan Internet dalam aplikasi drone di masa depan.

Smartphone

Dengan kemampuan untuk secara dramatis mengecilkan ukuran prosesor dan sensor komputer, hanya masalah waktu sebelum seseorang memiliki ide untuk menggunakan bagian dalam smartphone pada pesawat model. Saat Anda memutar atau memutar ponsel cerdas Anda, orientasi antarmuka berubah arah; sensor yang sama dapat digunakan untuk mengontrol drone kecil. Sebagai insinyur perangkat lunak seluler, Terry akrab dengan pengembangan aplikasi seluler dan kemampuan sistem operasi ponsel cerdas. Saat ini, ia sedang mengerjakan sejumlah aplikasi berbeda di ruang pemetaan drone.

1.3 PENGENDALI PENERBANGAN AUTOPILOT KECIL

Semua hal ini—GPS, Internet, dan telepon pintar—telah mengarah pada pengontrol penerbangan, yang pada dasarnya adalah otak dari drone. Autopilot sipil mulai muncul di multicopters hobi sekitar akhir 2000-an. Unit berkemampuan GPS awal tersedia dari perusahaan Jerman MikroKopter, dan kemudian beberapa perusahaan Cina menyalinnya. Sekitar waktu yang sama, beberapa proyek open source dimulai, seperti MultiWii, Ardupilot, dan Open Pilot. MultiWii mengambil namanya dari fakta menarik bahwa unit pertama dibuat dengan sensor yang diretas dari pengontrol Nintendo Wii. Ardupilot, seperti yang mungkin bisa Anda tebak, disebut demikian karena awalnya berbasis Arduino. Saat ini, autopilot kecil telah berkembang pesat, dan banyak yang menyertakan fitur-fitur canggih seperti penerbangan otonom, *Return to Home*, dan *Follow Me*. Banyak dari fitur ini hanya tersedia pada model *top-of-the-line* hanya beberapa tahun yang lalu, tetapi itu menunjukkan seberapa cepat teknologi ini berkembang.

Sensor Autopilot Kecil Diperlukan untuk Kontrol Penerbangan

Sensor berikut, meskipun tidak baru, akhirnya menjadi kecil dan cukup ringan untuk digunakan dalam autopilot UAV:

Magnetometer: Kompas digital

Giroskop: Mengukur tingkat rotasi

Akselerometer: Mengukur gravitasi

Sensor tekanan: Menghitung ketinggian, dengan mengukur tekanan atmosfer

Gabungan, sensor ini membuat Unit Pengukuran Inersia (IMU).

1.4 PRINSIP PENERBANGAN

Mekanisme penerbangan terdiri dari beberapa aturan sederhana dengan interaksi yang kompleks. Untuk memahaminya dengan baik, tidak ada salahnya meluangkan waktu untuk mempelajari hukum fisika Newton. Ketika kita berbicara tentang gaya, yang kita maksud adalah dorongan atau tarikan sederhana. Jika gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda seimbang—dorongan dalam satu arah bertemu dengan dorongan yang sama dalam arah yang berlawanan—benda itu diam. Jika gaya tidak seimbang, benda dipercepat ke arah gaya yang lebih kuat.

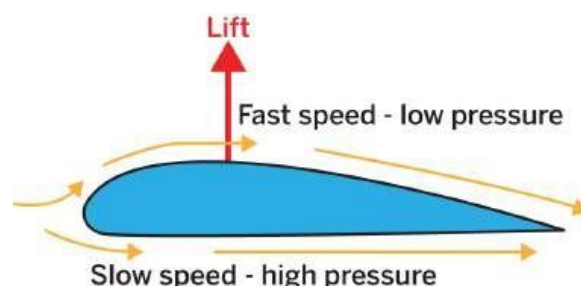
Berat / Gravitasi

Berat adalah gaya pada suatu benda yang disebabkan oleh gravitasi. Prinsip gaya juga kadang-kadang disebut gravitasi. Agar sesuatu dapat terbang, atau bahkan melayang, entah bagaimana ia harus terus-menerus menyeimbangkan atau mengatasi gaya gravitasi (kita akan melihat bagaimana ia melakukannya sebentar lagi). Gravitasi tiada henti—bahkan kehilangan sesaat dari gaya lawan dapat menyebabkan pesawat jatuh ke bumi. Satu catatan menarik tentang gravitasi yang akan kita bahas di sepanjang buku ini:

Meskipun berat didistribusikan ke seluruh pesawat, satu titik di pesawat disebut pusat gravitasi memiliki pengaruh paling besar terhadap kemampuannya untuk terbang.

Mengangkat

Mengangkat, kebalikan dari berat, adalah gaya aerodinamis yang membuat pesawat tetap di udara (lihat Gambar 1-2). Dalam kasus pesawat bersayap, gaya angkat berasal dari udara yang bergerak melintasi bentuk airfoil dari sayap atau baling-baling. Udara yang bergerak di atas airfoil bergerak lebih cepat; oleh karena itu, ia memiliki tekanan yang lebih rendah. Udara yang bergerak lebih lambat di bawah sayap memiliki tekanan yang lebih tinggi. Berkat tekanan yang lebih rendah di atas sayap, pesawat terbang atau helikopter benar-benar tersedot ke langit. Untuk melayang atau terbang, angkat harus sama beratnya; untuk mendaki, angkat harus lebih besar dari berat.



Gambar 1-2 Saat bentuk airfoil bergerak maju di udara, ia menghasilkan gaya angkat.

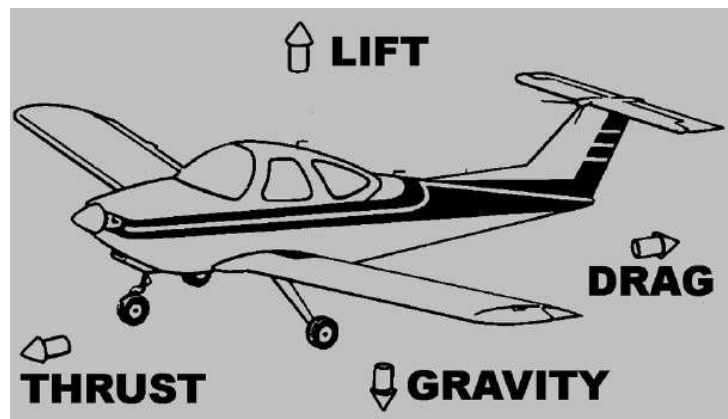
Menyeret

Pernahkah Anda menjulurkan tangan ke luar jendela mobil yang bergerak pada hari yang cerah? Gaya yang Anda rasakan saat mendorong ke belakang adalah contoh gaya tarik yang sempurna. Setiap benda yang bergerak melalui atmosfer dengan kecepatan berapa pun akan mengalami beberapa tingkat gaya hambat, dan itu meningkat seiring dengan kecepatan benda tersebut. Tarikan adalah alasan mengapa pesawat terbang, lokomotif, dan mobil sport

memiliki garis halus dan ramping sehingga jenis perampingan memungkinkan udara mengalir lebih bersih di sekitar kendaraan, mengurangi hambatan dan membuat kendaraan lebih efisien. Drag juga merupakan alasan mengapa jet menarik kembali landing gear mereka tepat setelah lepas landas, dan itu bisa menjadi kekuatan yang kuat untuk quadcopters/drone.

Dorongan

Prinsip dorong penerbangan adalah gaya mekanik yang menggerakkan pesawat terbang di udara. Gerakan harus diciptakan dalam beberapa cara oleh mesin, baling-baling, roket, otot (dalam kasus burung yang bisa terbang), atau sistem propulsi apa pun yang digunakan. Jika gaya dorong lebih besar dari gaya hambat, maka kecepatan pesawat akan meningkat. Dorongan harus sama berat dan mengatasi hambatan. Gambar 1-3 mengilustrasikan empat prinsip atau gaya terbang.



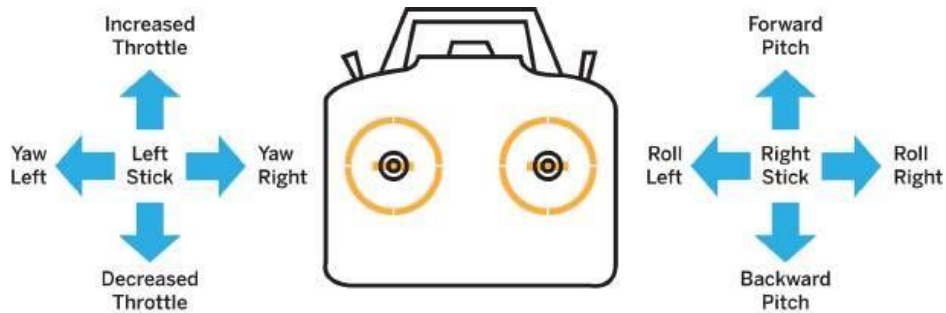
Gambar 1-3 Pesawat yang menggambarkan prinsip atau kekuatan penerbangan.

1.5 MANUEVER PENERBANGAN

Gerakan Pesawat dengan Pemetaan Tongkat

Sebagian besar UAV dikendalikan dengan remote control enam saluran (minimal) standar seperti yang telah digunakan pesawat model selama bertahun-tahun. Remote memiliki dua joystick utama yang bergerak maju dan mundur serta kiri ke kanan. Anda juga akan melihat beberapa kombinasi sakelar, kenop, dan penggeser, tergantung pada model Anda. Masing-masing mekanisme input ini menempati satu saluran radio Anda.

Dua stik utama adalah pengontrol yang paling penting dan menempati total empat saluran, satu untuk setiap sumbu yang dapat dilalui stik. Di luar stik utama, kita akan selalu membutuhkan setidaknya satu saluran untuk mengontrol pengaturan mode penerbangan pesawat. Persyaratan saluran umum lainnya adalah untuk fitur yang disebut Return to Home (RTH). Kedua saluran tersebut ditetapkan dan dikendalikan oleh sebuah sakelar. Kami akan membahas RTH dan mode penerbangan secara lebih rinci nanti di buku ini; untuk saat ini, mari kita lihat lebih dalam pada saluran yang dikendalikan oleh dua tongkat utama Anda (lihat Gambar 1-4 dan 1-5).



Gambar 1-4 Gerakan perintah stick kiri dan kanan pemancar RC untuk Mode 2.

Deskripsi pengontrol di sini adalah untuk radio Mode 2 yang digunakan di Amerika Serikat. Negara lain mungkin menggunakan radio Mode 1, yang hanya membalikkan gerakan yang dikendalikan oleh setiap tongkat. Banyak radio modern dapat menggunakan salah satu mode, tetapi beberapa di antaranya hanya dikonfigurasi satu arah di pabrik saat dibuat.

Throttle

Gerakan maju/mundur dari tongkat kiri mengontrol throttle pesawat Anda. Throttle pada dasarnya bertindak sebagai pedal gas untuk pesawat Anda, seperti namanya. Dalam kebanyakan kasus, semakin tinggi nilai throttle, semakin cepat motor Anda berputar. Tentu saja ada pengecualian untuk itu, dan kita akan membicarakannya yang mengacu pada autopilot dan penerbangan otonom. Agar pesawat Anda melayang di atas tanah, throttle harus menghasilkan daya angkat yang cukup untuk melawan efek Berat. Selama penerbangan ke depan, throttle harus melawan drag dan weight.

Yaw/Kemudi

Gerak kiri-kanan stick kiri merupakan saluran untuk yaw, yang juga bisa disebut rudder. Yaw mengontrol rotasi melintasi sumbu horizontal helikopter atau multirotor. Jika Anda menerbangkan pesawat, saluran ini akan disebut kemudi karena kontrolnya pada sayap ekor dengan nama yang sama. Efek pada penerbangan pesawat adalah sama untuk yaw dan kemudi selama penerbangan maju: mengarahkan pesawat ke arah yang diperlukan.

Bagaimana setiap multirotor, dengan hanya baling-baling untuk bagian yang bergerak, meniru manuver penerbangan yang dibutuhkan pesawat untuk mencapai penutup dan kemudi? Semuanya dilakukan melalui proses yang disebut *vector thrusting*. Kita akan membahasnya lebih lanjut di bab berikutnya, tetapi ide dasarnya adalah mengontrol kecepatan setiap baling-baling secara independen sedemikian rupa untuk bergerak ke segala arah. Anda dapat, misalnya, menguap searah jarum jam dengan meningkatkan kecepatan dua baling-baling searah jarum jam dan mengurangi kecepatan dua penyangga berlawanan arah jarum jam.

Throw/Melempar

Gerakan maju-mundur tongkat kanan adalah saluran untuk pitch, yang juga disebut lift. Pitch memiringkan hidung pesawat ke atas atau ke bawah. Saat Anda menggerakkan tongkat kanan ke depan, hidung pesawat akan turun dan sebaliknya. Pada pesawat terbang, ini dicapai dengan memiringkan sayap ekor horizontal bersama-sama ke arah yang sama. Quadcopter Anda akan dapat bergerak dengan cara yang sama dengan menggunakan vector thrusting, seperti halnya yaw. Sebagian besar autopilot memiliki mode autolevel yang

membatasi seberapa jauh Anda dapat melempar pesawat. Mode lain mungkin tidak menempatkan batas ini, memungkinkan pitch pesawat yang tidak terbatas. Di bawah kondisi yang tepat, bahkan mungkin untuk melempar sampai ke depan, tetapi sebaiknya Anda berlatih sedikit sebelum mencobanya!

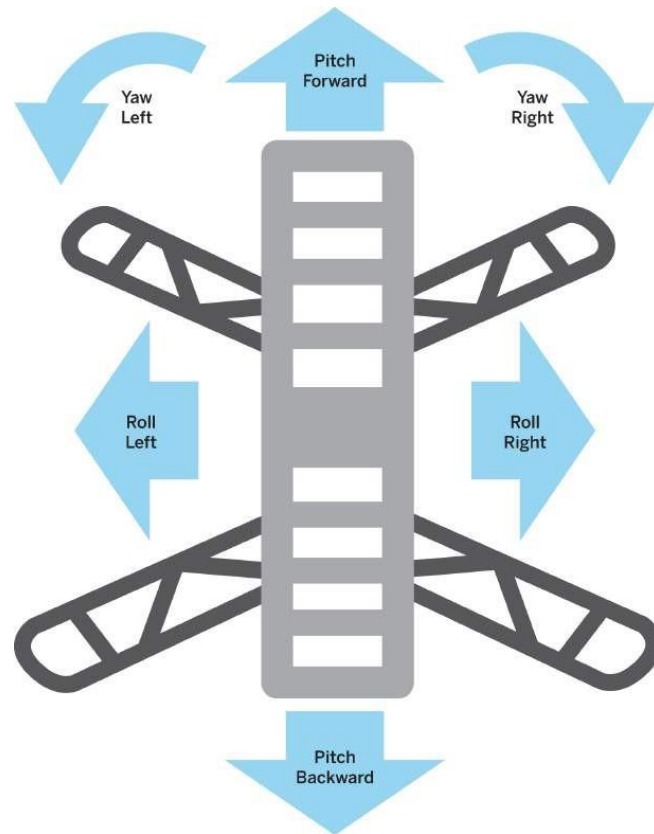
Roll

Gerakan kiri-kanan stick kanan adalah saluran untuk roll, juga dikenal sebagai aileron. Roll memiringkan pesawat ke kiri atau kanan dalam kaitannya dengan bagian depan pesawat. Dengan pesawat terbang, ini akan terjadi dengan memiringkan sayap sayap horizontal (dikenal sebagai aileron), dalam arah yang berlawanan satu sama lain. Pendorong vektor juga bertanggung jawab untuk menangani semua gerakan gulungan. Perubahan sikap ini menyebabkan pesawat terbang ke arah kemiringan. Sama seperti pitch, roll maksimum dibatasi dalam mode autolevel dan tidak terbatas dalam mode manual. Dengan pengaturan autopilot yang tepat dan sedikit latihan, pesawat kecil dapat melakukan barrel roll layaknya pesawat.

1.6 MENGGUNAKAN SIMULATOR PENERBANGAN

Mulailah berlatih perintah tongkat terbang sesegera mungkin menggunakan perangkat lunak simulator penerbangan di komputer. Kami menyarankan Anda meneliti untuk menemukan yang Anda rasa nyaman. Kami menggunakan Phoenix Professional Flight Simulator di Kamp Pembuat Quadcopter kami. Ini adalah disk perangkat lunak yang dilengkapi dengan remote control sebenarnya yang terhubung ke komputer Anda menggunakan kabel USB. Ada juga beberapa aplikasi seluler, termasuk beberapa yang gratis, yang dapat Anda unduh. Simulator lain yang saat ini kami gunakan adalah Heli-X.

Kami menikmatinya, karena berfungsi di Mac. Simulator adalah alat yang berharga bagi pilot pemula untuk membangun pengalaman dan kepercayaan diri tanpa merusak peralatan yang mahal. Operator yang lebih berpengalaman juga dapat menggunakannya untuk menjaga keterampilan mereka tetap tajam. Mampu berlatih terbang tidak peduli seperti apa cuaca di luar ruangan itu bagus. Terry menghabiskan seluruh musim dingin terbang dengan perangkat lunak simulator untuk membangun keterampilannya sejak dini. Memori otot yang kuat dari perintah tongkat membuat semua perbedaan jika Anda menghadapi tantangan saat mengemudikan.



Gambar 1-5 Quadcopter dasar yang menunjukkan bagaimana perintah tongkat akan menggerakkan pesawat.

BAB 2 RANGKA PESAWAT

2.1 APA ITU RANGKA PESAWAT?

Airframe adalah badan utama pesawat. Semua komponen lain—balok-balok, baterai, komputer, dll.—dipasang ke badan pesawat. Airframes dapat sangat bervariasi dalam ukuran dan kompleksitas. Beberapa badan pesawat yang kami buat saat pertama kali tertarik untuk terbang adalah desain yang sangat sederhana yang dibuat sketsa di bagian belakang serbet, dan dipotong dari papan pres dengan jigsaw. Hari ini, kami menggunakan perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD) untuk mendesain bingkai kami sebelum memotongnya dengan mesin kontrol numerik terkomputerisasi (CNC). Kita akan menyentuh banyak jenis desain populer dalam bab ini, tetapi pertama-tama mari kita lihat sekilas bagaimana ini benar-benar terbang.

Vektor Dorong

Salah satu ciri umum yang akan Anda lihat dengan semua badan pesawat ini adalah mereka menggunakan balok-balok searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. Ini adalah fondasi yang memungkinkan multirotor bergerak ke segala arah. Setiap motor lain berputar ke arah yang berbeda dari yang tepat di sebelahnya, memungkinkan setiap motor diseimbangkan oleh motor lawannya. Akibatnya, hampir semua UAV memiliki jumlah balok-balok yang genap (dengan satu pengecualian yang akan kita bahas di bagian selanjutnya).

Pada quadcopter, misalnya, motor NW dan SE mungkin berputar searah jarum jam sedangkan motor NE dan SW berputar berlawanan arah jarum jam (berbicara dalam hal bantalan kompas). Dengan mengkonfigurasi pesawat dengan cara ini, yang harus kita lakukan untuk menggerakkan quadcopter ke segala arah, termasuk yaw, adalah mengubah kecepatan kombinasi motor tertentu. Misalnya, untuk menggerakkan pesawat searah jarum jam, kita akan meningkatkan kecepatan motor NW dan SE. “Dorongan” salah satu motor dan “tarikan” motor lainnya akan memutar pesawat ke arah yang kita inginkan.

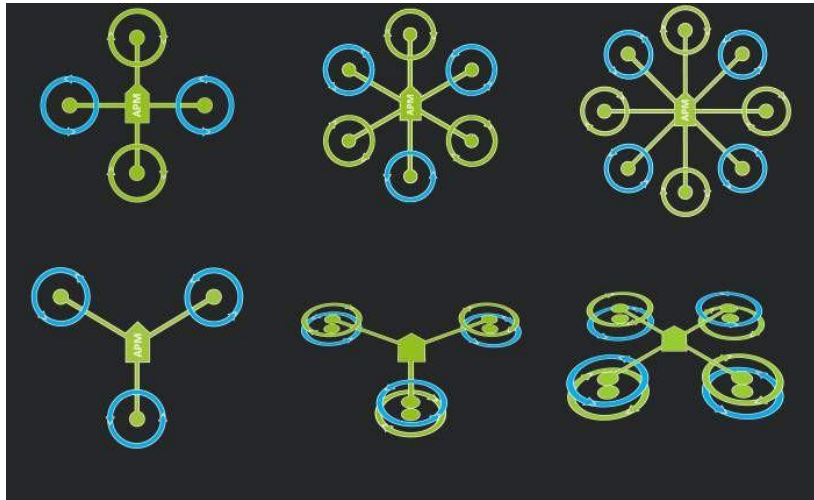
Mengapa Arah Berlawanan?

Anda mungkin telah memperhatikan bahwa balok-balok kami berputar berlawanan arah dari satu ke yang berikutnya. Ada alasan yang sangat bagus untuk ini. Proses itu memberikan keseimbangan yang berlawanan pada pesawat. Jika Anda menggunakan balok-balok yang semuanya berputar ke satu arah, pesawat secara alami ingin berputar ke arah itu, dan pengontrol penerbangan harus melawan kecenderungan itu setiap saat.

Cara lain untuk memikirkannya adalah dengan memeriksa helikopter ukuran penuh. Rotor utama yang berputar di atas pesawat jelas hanya berputar ke satu arah. Rotor ekor memberikan penyeimbang yang membuat pesawat tetap lurus. Jika Anda mengeluarkan pesawat dari persamaan, helikopter akan tetap terbang, tetapi akan berputar di sekitar sumbu rotor sepanjang waktu mengudara.

2.2 DESAIN PESAWAT

Gambar 2-1 menunjukkan berbagai jenis bingkai yang akan kita lihat di bagian berikut. Perhatikan arah setiap prop berputar dibandingkan dengan tetangganya.



Gambar 2-1 Jenis bingkai yang menunjukkan rotasi arah baling-baling.

Tricopter

Tricopter adalah satu-satunya multirotor umum yang tidak memiliki jumlah props yang ganjil. Ini mencapai gerakan yaw dengan menempatkan salah satu dari tiga kombo motor/prop (biasanya yang di belakang) pada poros yang memungkinkan dorongan miring. Ini fitur tiga baling-baling total.

Quadcopter

Mungkin desain paling populer saat ini, quadcopter menawarkan desain mekanis paling sederhana dengan jumlah komponen yang dibutuhkan paling sedikit. Ini fitur total empat baling-baling.

Hexacopter

Desain lain yang sangat populer adalah hexacopter, karena kemampuannya yang meningkat untuk membawa muatan sambil tetap cukup gesit. Ini fitur enam baling-baling; Anda mungkin juga mendengar desain ini yang disebut "*flat six*".

Octocopter

Desain octocopter sering digunakan untuk pesawat yang membutuhkan peningkatan muatan bersama dengan redundansi. Karena memiliki total delapan baling-baling, octocopter dapat tetap terbang jika ada kerusakan pada salah satu motor atau penyangganya. Tujuh sisanya akan menjaga pesawat di udara tanpa insiden. Anda mungkin juga mendengar desain ini yang disebut "delapan datar"

Y6

Yang pertama dari pesawat "koaksial" kami, Y6 memiliki enam motor dan baling-baling yang dipasang pada badan pesawat dengan tiga lengan. Ini dilakukan dengan menumpuk motor dan penyangga di bagian atas dan bawah setiap lengan dengan masing-masing berputar ke arah yang berlawanan dari yang lain. Anda mungkin pernah melihat desain koaksial pada helikopter RC yang biasa dibeli di toko. Jenis desain ini secara inheren lebih stabil tetapi 20%–25% kurang efisien daripada desain "datar" tradisional.

X8

Desain koaksial populer lainnya adalah X8. Bingkai itu sendiri terlihat hampir identik dengan quadcopter, dengan perbedaan utama adalah bahwa setiap lengan sekarang memiliki dua motor dan penyangga dengan total delapan.

2.3 BAHAN

Banyak jenis bahan yang berbeda digunakan untuk membuat drone modern. Beberapa opsi yang lebih populer termasuk serat karbon, fiberglass, dan berbagai jenis plastik atau logam. Seperti kebanyakan hal dalam hobi ini, Anda akan selalu melakukan tindakan penyeimbangan berdasarkan karakteristik mana yang penting bagi Anda.



Gambar 2-2 Bingkai fiberglass G-10 sedang dipotong pada mesin CNC.

Ada pepatah lama dalam hobi ini, "Murah, kuat, atau ringan: Anda dapat memiliki dua." Sementara bahan seperti serat karbon mungkin memiliki rasio berat terhadap kekuatan yang sangat tinggi, mereka bisa sangat mahal untuk dikerjakan. Untuk alasan ini, banyak orang memulai dengan membuat desain mereka dari kayu, atau bahkan plastik acrylonitrile butadiene styrene (ABS) yang dicetak 3D. Bingkai yang akan kita kerjakan dalam buku ini disebut Little Dipper dan terutama terbuat dari fiberglass G-10 (lihat Gambar 2-2). Menurut kami bahan ini merupakan keseimbangan yang bagus antara berat, kekuatan, dan biaya.

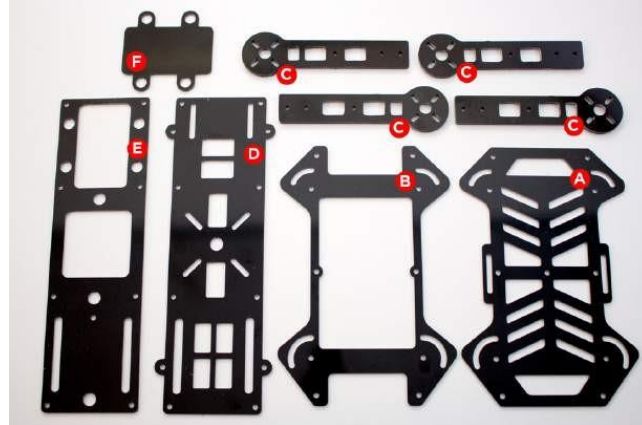
2.4 MENJAGA KESEIMBANGAN

Apa pun jenis rangka yang Anda buat, selalu sangat penting untuk menjaga bobot seimbang dari depan ke belakang dan dari sisi ke sisi. Jika Anda mendesain sesuatu dari awal, menjaga agar bingkai tetap simetris adalah cara yang bagus untuk memastikan keseimbangan akan mudah dilakukan setelah pembangunan Anda selesai. Jika Anda harus menggunakan desain yang sedikit asimetris, cobalah untuk memposisikan komponen Anda pada bingkai sedemikian rupa sehingga pada akhirnya mengembalikannya ke keseimbangan.

Membangun Badan Pesawat Little Dipper

The Little Dipper adalah quadcopter yang ringkas dan dapat dilipat. Badan pesawatnya terdiri dari dua subframe yang membantu mengisolasi getaran motor dari sensor

penerbangan dan pencitraan. Subframe ini disebut frame bersih dan kotor. Rangka kotor adalah subframe bawah, dan memegang semua bagian yang bergerak seperti motor dan baling-baling. Bingkai bersih berada di atas dan menampung semua elektronik penerbangan dan komunikasi.



Gambar 2-3 Anda harus memiliki semua bagian ini dalam kit bingkai Anda.

Letakkan bagian bingkai datar, dan lihat diagram fotografi pada Gambar 2-3 untuk mengidentifikasinya. Bagilah menjadi dua bagian pembuatan subframe. Bagian A dan B membentuk rangka yang kotor (A adalah bagian bawah, B adalah bagian atas), sementara C mengidentifikasi empat boom, yang akan menahan motor dan penyangga kita. Bagian D, E, dan F membentuk bingkai bersih: D menunjukkan pelat bingkai bersih bawah, sementara E menunjukkan pelat bingkai bersih atas. Bagian F adalah pelat kamera, yang berada di atas bola isolasi karet (lebih lanjut tentang itu segera).

Apa yang Membuatnya Bersih?

Istilah bersih dan kotor mungkin tampak seperti cara yang aneh untuk menggambarkan bingkai. Kami tidak berbicara tentang bagian bingkai yang paling dekat dengan tanah dan karena itu kemungkinan besar akan kotor. Kita berbicara tentang getaran. Teori di balik jenis subframe ini sederhana: buat satu subframe untuk menahan semua bagian yang bergerak—yang menyebabkan getaran—dan subframe lainnya untuk menahan yang lainnya. Kami mengisolasi kedua subframe ini dengan menyediakan kontak sesedikit mungkin di antara mereka. Untuk *Little Dipper*, kami mengirimkannya dengan empat penyangga aluminium kecil yang memasang kedua bingkai bersama-sama. Hal ini dimungkinkan untuk mengisolasi mereka lebih jauh dengan mengganti *stand-off* aluminium dengan versi karet. Selama pengujian kami, kami menemukan perbedaan yang sangat kecil dalam kinerja antara keduanya. Hasilnya, kami yakin bahwa penyangga aluminium bertahan lebih lama, dan pada akhirnya itulah yang mendorong kami untuk memasukkannya ke dalam kit bingkai.

2.5 RANGKA ALTERNATIF

Meskipun kami memandu Anda melalui contoh bangunan kami dengan *Little Dipper*, beberapa opsi alternatif untuk badan pesawat disajikan pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1. Alternatif badan pesawat untuk Little Dipper

Nama Bingkai	Konfigurasi	Boom Independen	Bingkai Bersih / Kotor	Lipat Boom
Lumenier QAV250	Quadcopter kelas 250	Tidak	Tidak	Tidak
Blackout Mini Spider Hex	Hexacopter kelas 290	Ya	Tidak	Tidak
DroneKraft Mach 300	Quadcopter kelas 300	Ya	Ya	Tidak

QAV250 (lihat Gambar 2-4) adalah salah satu frame paling populer di pasaran saat ini. Ini sangat ringan karena desain dua pelatnya yang sederhana dan sangat efektif untuk balap quadcopter.

**Gambar 2-4** QAV250 dengan props serat karbon 5X3.

2.6 PETUNJUK PEMBUATAN

Berikut adalah alat yang Anda perlukan untuk memulai (lihat Gambar 2-5):

- Kunci Allen metrik (2,5 mm). Set lengkap bagus untuk dimiliki, tetapi kami akan menggunakan kunci pas 2,5 mm selama pembuatan ini.
- Sebuah kunci pas yang dapat disesuaikan, tang jarum-hidung atau driver mur 7/32. Semua ini akan berfungsi, tetapi jika Anda menggunakan driver mur, pastikan itu cukup ramping untuk masuk ke ruang sempit di sekitar bingkai. Soket ratcheting penuh tidak akan berfungsi, karena terlalu besar. Tang berujung jarum akan sedikit menandai perangkat keras Anda, jadi gunakan itu sebagai upaya terakhir.

**Gambar 2-5** Alat yang Anda perlukan untuk pembuatan bingkai.

Langkah 1: Instal Standoff

Mulailah membangun bagian bawah badan pesawat—rangka yang kotor—dengan memasang penyangga aluminium pendek (lihat Gambar 2-6). Temukan pelat rangka atas yang kotor (pelat B pada Gambar 2-3). Ada empat lubang 3 mm di setiap sudut pelat (lihat Gambar 2-7). Gunakan lubang tersebut untuk memasang standoff dengan sekrup 5 mm (sekrup hitam pendek yang disertakan dalam kit).



Gambar 2-6 Penyangga—baik aluminium untuk kekakuan dan masa pakai yang lebih lama, atau karet untuk meningkatkan isolasi getaran—digunakan untuk memisahkan kedua subframe.



Gambar 2-7 Tunjukkan lubang pemasangan standoff pada pelat B dari rangka yang kotor.

Pasang sekrup secara manual melalui lubang, lalu pasang penyangga di sisi lain pelat. Sekrup tidak boleh keluar dari sisi lain kebuntuan (jika itu terjadi, Anda menggunakan sekrup yang salah). Ketika keempatnya selesai, pelat B akan terlihat seperti meja terbalik dengan kaki mencuat ke udara, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-8.



Gambar 2-8 Keempat standoff aluminium dipasang pada pelat B.

Jalan Mana Yang Saya Hadapi?

Pada Gambar 2-8, pelat B mengarah menjauh dari kamera dan sisi kanan menghadap ke atas. Artinya, bagian depan drone—dan pelat tunggal ini—adalah ujung di bagian atas Gambar 2-8. Ada dua indikator jelas yang memberi tahu kita hal ini: pertama, kebuntuan singkat mengarah ke atas; kedua, lubang pemasangan boom melengkung (lebih banyak lagi dalam satu menit) berputar ke arah belakang pesawat. Anda juga dapat mengidentifikasi bagian depan bingkai karena memiliki lubang boom melengkung yang lebih panjang (atau lebih lebar, tergantung bagaimana Anda melihatnya). Ingatlah indikator-indikator ini saat Anda bergerak melalui build.

Langkah 2: Selesaikan Perakitan Rangka Kotor

Lengkapi bagian bawah, atau rakitan rangka kotor, dengan memasang empat boom (pelat C pada Gambar 2-3) dan pelat rangka kotor bawah (pelat A) ke pelat rangka atas Anda. Jika sudah selesai maka akan terlihat seperti Gambar 2-9.

Melakukan langkah ini satu demi satu adalah yang terbaik. Mulailah dengan menempatkan pelat A dan B di atas satu sama lain dengan penyangga di pelat B mengarah ke atas. Pastikan kedua pelat menghadap ke arah yang sama. Anda dapat memeriksanya dengan menemukan lubang boom (ditunjukkan pada Gambar 2-10) dan memastikan bahwa lubang setengah bulan melengkung sejajar di antara kedua pelat. Jika tidak, balikkan salah satu piring (depan ke belakang) hingga lubangnya cocok.



Gambar 2-9 Bingkai kotor dirakit sepenuhnya dari pelat A, B, dan C.

Mengapa Lubang Itu Melengkung?

Anda mungkin memperhatikan bahwa lubang pemasangan boom yang ditunjukkan pada Gambar 2-10 terdiri dari satu lubang bundar normal 3-mm dan satu slot melengkung.

Ada alasan sederhana untuk desain ini. Kombinasi ini memungkinkan boom kami dilipat ke belakang dan memungkinkan desain yang lebih ringkas serta melunakkan benturan jika terjadi tabrakan. Lengan lipat akan memberi jalan jika Anda menabrak dengan semua jenis gerakan maju, sedangkan lengan padat jauh lebih rentan patah.

Anda dapat mengidentifikasi lubang boom di pelat A dan B dengan cukup mudah. Lubang pemasangan depan dan belakang akan memiliki lubang bundar 3-mm tunggal yang diposisikan tepat di atas slot 3-mm melengkung yang memungkinkan pelipatan bingkai.



Gambar 2-10 Lubang pemasangan boom belakang (perhatikan lubang jangkar tepat di atas slot lipat).

Mari kita lanjutkan dengan mengapit boom (pelat C pada Gambar 2-3) di antara pelat bingkai kotor atas dan bawah (pelat A dan B); lihat Gambar 2-11.



Gambar 2-11 Boom berbaris dan siap diapit di antara pelat rangka kotor atas dan bawah.

Berdiri Tegak

Penyangga ditambahkan ke desain untuk membantu mengisolasi getaran antara rangka yang bersih dan rangka yang kotor, sehingga harus berada di atas pelat atas rangka yang kotor (pelat B).

Sekarang ambil boom pertama Anda dan sejajarkan dua lubang 3 mm pada ujung persegi panjang dengan lubang pemasangan boom. Ambil sekrup pemasangan 12 mm (sekrup panjang yang disertakan dalam kit) dan letakkan washer hitam datar di atasnya. Sekarang secara manual dorong sekrup dan washer ini melalui salah satu lubang pemasangan boom di pelat atas, lalu boom, dan akhirnya pelat bawah. Kami merekomendasikan memulai dengan lubang angkur 3 mm terlebih dahulu. Setelah sekrup masuk melalui kumpulan pelat yang diapit, dorong washer hitam datar lainnya di sisi lain sebelum akhirnya menempatkan mur pengunci 3 mm di bagian bawah. Ulangi ini untuk lubang kedua pada boom (lihat Gambar 2-

12 dan 2-13). Setelah Anda memasang satu boom, ulangi seluruh langkah ini untuk boom lainnya.



Gambar 2-12 Mendorong sekrup kedua melalui lubang pemasangan.



Gambar 2-13 Menempatkan mur di bagian bawah bingkai.

Jangan Mengencangkan Mur-nya

Anda dapat dengan mudah mengencangkan mur pada sekrup pemasangan boom. Ini tidak akan menyebabkan kerusakan apa pun, tetapi akan mencegah boom Anda terlipat. Anda ingin mengencangkannya cukup untuk menahan boom di tempatnya dengan kuat, tetapi tidak terlalu banyak sehingga mencegahnya terlipat sama sekali. Berlatih melipat boom saat Anda melalui langkah ini. Mur yang kami gunakan, yang disebut mur pengunci, memiliki lapisan nilon di ujung benang yang menahan mur di tempatnya tanpa harus mengencangkannya. Anda tetap harus mempertimbangkan untuk memeriksa kekencangan sekrup/mur pemasangan selama inspeksi pesawat biasa.

Blackout Mini Spider Hex

Jika Anda sedang membangun kerangka Blackout Spider Hex, boom Anda akan dipasang ke pelat bawah dengan cara yang sangat mirip. Perbedaan utama yang akan Anda lihat adalah Anda menggunakan empat sekrup, bukan dua dan boom tidak akan terlipat ke dalam bodi.

Langkah 3: Pasang Rangka Bersih

Selanjutnya, kita akan membangun bingkai bersih kita. Bingkai ini terdiri dari pelat D, E, dan F (yang akan kita tambahkan nanti di buku ini) dari Gambar 2-3. Kami juga akan menggunakan delapan standoff 37 mm yang disertakan dalam kit. Ide menyeluruhnya adalah menggunakan pelat D dan E sebagai bagian atas dan bawah bingkai kita yang disatukan dengan penyangga.

Mari kita mulai dengan mencari pelat D. Anda akan melihat delapan lubang berdiameter 3 mm yang ditempatkan di sekitar tepi pelat. Ini adalah lubang pemasangan kebuntuan kami. Ambil sekrup hitam 5 mm (salah satu sekrup pendek yang disertakan dengan kit) dan dorong secara manual melalui salah satu lubang (lihat Gambar 2-14). Tidak masalah lubang mana yang Anda pilih, karena kami akan mengulangi ini untuk semua lubang. Anda juga tidak memerlukan mesin cuci untuk sekrup ini.

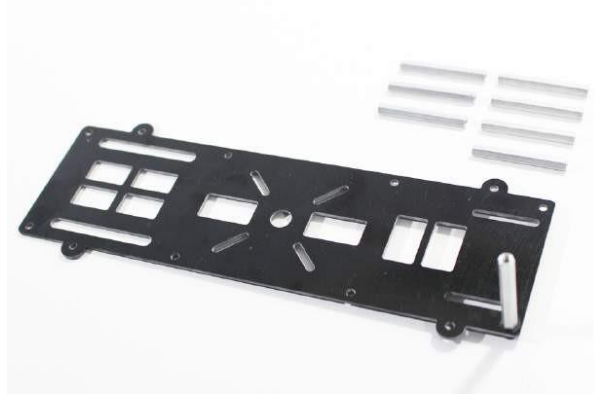
Selanjutnya, ambil salah satu standoff 37 mm Anda dan pasang pada bagian sekrup yang mencuat dari sisi lain pelat D (lihat Gambar 2-15 dan 2-16). Setelah Anda mengencangkannya dengan jari, Anda dapat mengencangkannya lebih jauh dengan kunci pas Allen dan kunci pas atau tang yang dapat disesuaikan.



Gambar 2-14 Dorong sekrup 5 mm melalui lubang pemasangan standoff pada pelat D.



Gambar 2-15 Menghubungkan kebuntuan 37 mm pertama di bagian belakang sekrup pemasangan kami.



Gambar 2-16 Kebuntuan pertama kami dipasang (sisanya menunggu di sayap).

Sekarang kita dapat mengulangi langkah-langkah ini untuk sisa jarak 37 mm (lihat Gambar 2-17). Setelah semua selesai, pelat D akan seperti Gambar 2-18.

Sekarang setelah kami memasang standoff 37 mm pada pelat D, kami siap untuk memasang pelat E. Jika Anda belum melakukannya, temukan pelat itu dan perhatikan baik-baik. Anda akan melihat dua hal penting. Pertama, ada delapan lubang pemasangan yang identik di sekeliling bingkai (seperti di pelat D) dan kedua, ada dua slot panjang di dekat tepi pelat di salah satu ujungnya (seperti di pelat D). Tempatkan pelat E di atas rakitan kami dan pastikan dua slot panjang berada tepat di atas dua slot panjang di pelat bawah kami. Ini harus menyerupai Gambar 2-19.

Seperti yang mungkin sudah Anda duga, kita perlu memasang lebih banyak sekrup pemasangan 5 mm melalui lubang di pelat E ke dalam standoff kita (lihat Gambar 2-20). Mulailah dengan menempatkan sekrup secara manual ke dalam lubang dan kemudian kencangkan dengan kunci Allen 2,5 mm (lihat Gambar 2-21).



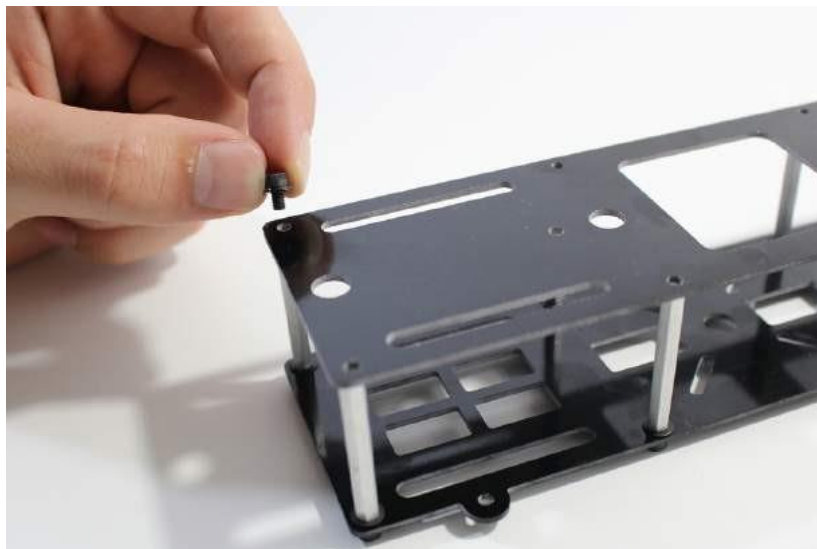
Gambar 2-17 Mengencangkan kebuntuan 37 mm terakhir pada pelat D.



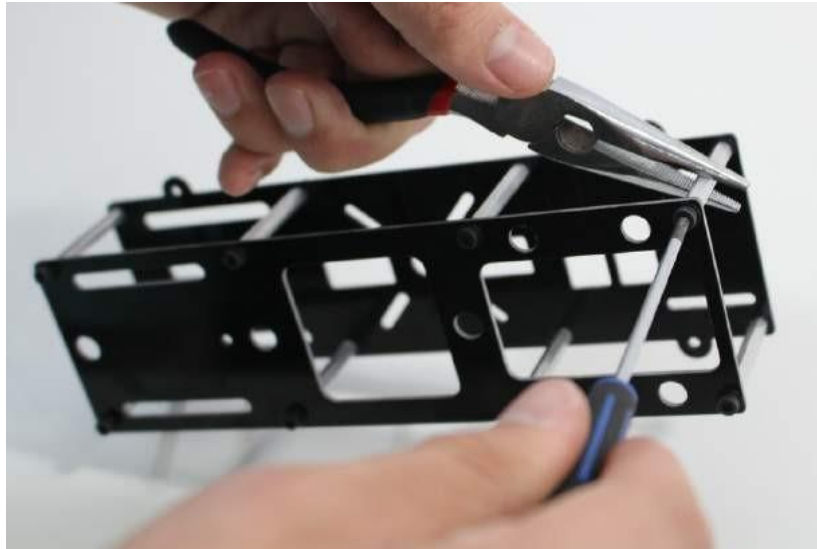
Gambar 2-18 Pelat D dengan semua standoff 37 mm terpasang dan siap untuk pelat E.



Gambar 2-19 Plat E di atas rakitan kami sebelum menambahkan sekrup pemasangan.



Gambar 2-20 Masukkan sekrup pemasangan pertama kami melalui pelat E ke dalam kebuntuan 37 mm kami.



Gambar 2-21 Setelah Anda memasang semua sekrup, pastikan semuanya bagus dan kencang.

Lumenier QAV250

Jika Anda menggunakan QAV250 untuk badan pesawat Anda, Anda akan melihat bahwa seluruh badan pesawat dirakit dengan cara yang mirip dengan kerangka bersih kami. Perbedaan utamanya adalah QAV memiliki boom yang terpasang di pelat bawahnya dan hanya menggunakan enam standoff untuk memisahkan dua pelat rangka. Ini akan menciptakan bingkai yang lebih ringan yang sangat cocok untuk aplikasi balap.

Kerja yang baik! Anda sekarang telah membangun basis dari kedua subframe kami. Jika semuanya berjalan sesuai rencana, bangunan Anda akan terlihat seperti Gambar 2-22. Akhirnya mulai terlihat seperti quadcopter, bukan begitu?

Secara teknis, kita perlu menghentikan pembuatan bingkai pada titik ini. Ada elektronik (dibahas dalam bab berikutnya) yang perlu dipasang di kedua subframe, dan itu jauh lebih mudah jika tidak dipasang satu sama lain. Karena itu, kami akan menunjukkan kepada Anda langkah terakhir untuk membangun bingkai sekarang (ini sangat sederhana) dan Anda dapat merujuk kembali ke bab ini nanti di buku saat kami siap untuk itu.



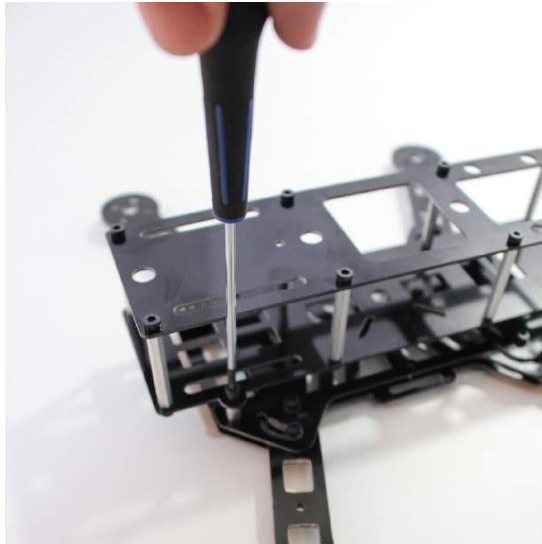
Gambar 2-22 Kedua subframe kami telah dirakit dan siap untuk dimuat dengan komponen penerbangan.

Langkah 4: Lampirkan Dua Subframe Bersama

Sekadar menegaskan kembali: langkah pembuatan bingkai terakhir ini tidak boleh dilakukan jika Anda baru saja mencapai akhir Bab 2. Kita perlu memasang elektronik di kedua subframe kita, dan langkah ini harus disimpan sampai kita mencapai akhir Bab 4 (pemasangan pilot otomatis). Karena langkah ini sangat sederhana, dan demi kesinambungan, kami akan menampilkannya di sini dan Anda dapat merujuk kembali ke bab ini atau (kemungkinan besar) menariknya dari ingatan.

Mulailah dengan menempatkan bingkai bersih di atas bingkai kotor. Sejajarkan empat tab kecil yang menonjol dari bagian bawah bingkai yang bersih (dengan lubang 3 mm di tengahnya) dengan empat pembatas pendek yang mencuat dari atas bingkai yang kotor. Pastikan kedua bingkai mengarah ke arah yang sama. Anda dapat menentukannya dengan sangat sederhana: bagian belakang rangka yang bersih memiliki dua slot panjang di sepanjang sisi antara dua sekrup pemasangan penyangga belakang, sedangkan bagian belakang rangka yang kotor adalah arah yang akan ditunjuk oleh boom saat dilipat.

Setelah Anda menempatkan bingkai di atas satu sama lain, ambil sekrup pemasangan 5 mm terakhir Anda dan letakkan secara manual melalui lubang tab di bingkai bersih sebelum mengencangkannya dengan kunci pas Allen 2,5 mm. Ulangi ini untuk keempat lubang tab. Lihat Gambar 2-23 untuk melihat cara melakukannya.



Gambar 2-23 Memasang dua subframe kami dengan sekrup melalui tab pemasangan (pada bingkai bersih) ke dalam standoffs pendek (pada bingkai kotor).

Itu saja Anda telah memasang dua subframe. Itu mudah, bukan?

Bagaimana dengan Plat Kamera?

Jika Anda memperhatikan dengan seksama selama bab ini (kami bercanda, tentu saja Anda!), Anda akan memperhatikan bahwa ada satu pelat tambahan yang belum kami gunakan: pelat F, atau dikenal sebagai pelat kamera. Ini akan dipasang—bersama dengan bola isolasi getaran—di bagian selanjutnya dalam buku ini. Kamera dibahas di Bab 8, dan kami

merasa itulah tempat terbaik untuk menjelaskan detail tentang fungsi pelat kamera dan cara memasangnya.

Video Tutorial

Anda dapat menemukan video terperinci yang menunjukkan semua langkah ini serta hasil yang diperoleh pembaca lain dengan mengunjungi situs web pendamping.

BAB 3

KERETA LISTRIK

Kereta Listrik adalah sekelompok komponen yang menghasilkan daya dan mentransfernya dengan cara yang menciptakan gerakan. Di mobil Anda, mesin menciptakan tenaga yang ditransfer ke transmisi yang mengirimkannya melalui sistem gandar dan akhirnya ke roda yang membuat mobil bergerak. Quadcopter kami juga memiliki sistem power train yang membantu kami menciptakan gerakan. Mari kita lihat komponen-komponen itu sekarang.

3.1 BALING-BALING

Tempat terbaik untuk memulai adalah di akhir, di baling-baling. Penyangga, seperti yang biasa disebut, sering dibandingkan dengan ban pada *power train* mobil; sama seperti ban “mencengkeram jalan” untuk menciptakan gerakan bagi mobil, baling-baling “mencengkeram” udara, menggerakkan drone. Dan seperti ban untuk mobil Anda, alat peraga datang dalam berbagai bentuk dan ukuran, dan harus dipilih sesuai dengan power train lainnya yang akan menggerakkannya. Ada tiga spesifikasi utama yang ingin Anda cari saat memilih props: direction, size, dan pitch.

Arah

Perhatikan baik-baik alat peraga dalam kit Anda. Perhatikan bahwa baling-baling datang dalam dua bentuk berbeda dengan sudut pitch yang berlawanan. Alat peraga ini dimaksudkan untuk diputar dalam arah terbalik satu sama lain. Setiap jenis memiliki nama resmi pendorong atau traktor. Alat peraga pendorong, kadang-kadang disebut alat peraga kidal, menghasilkan daya angkat saat diputar berlawanan arah jarum jam. Alat peraga traktor, kadang-kadang disebut tangan kanan, menghasilkan daya angkat saat diputar searah jarum jam. Bersama-sama, kedua alat peraga ini berfungsi untuk menjaga agar pesawat tetap seimbang dan rata. Kami akan membahas bagaimana ini bekerja secara lebih rinci nanti dalam buku ini.

Alat Peraga Pendorong

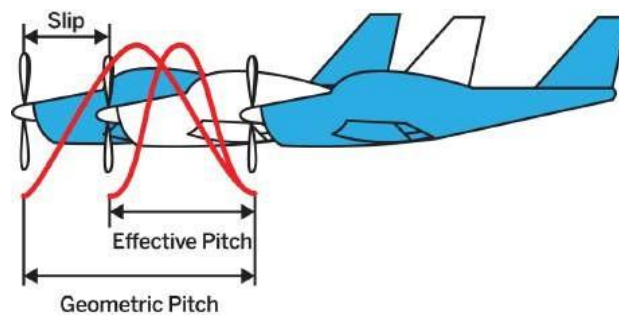
Alat peraga pendorong mendapatkan nama tersebut karena pada awalnya dirancang untuk pesawat dengan motor yang dipasang di belakang (seperti pesawat pertama Wright bersaudara) yang akan mendorong pesawat ke udara, daripada menariknya dari depan. Ini sangat mirip dengan propulsi di kapal.

Ukuran dan Pitch

Baling-baling memiliki hub di tengah yang dipasang langsung ke motor, dan dua bilah (terkadang lebih) yang memanjang keluar dari hub. Ukurannya cukup sederhana untuk ditentukan: diukur dalam inci dari ujung ke ujung pada penyangga dua bilah. Untuk Little Dipper, alat peraga dalam kisaran 5 hingga 6 inci sangat ideal, tetapi beberapa drone dapat menggunakan penyangga hingga 29 inci atau lebih!

Pitch sedikit lebih rumit untuk dijelaskan. Kebanyakan orang salah berasumsi bahwa itu adalah pengukuran derajat bahwa penyangga menunjuk ke atas dari bidang datar. Pada kenyataannya, pitch adalah ukuran seberapa jauh baling-baling akan bergerak maju jika melewati materi padat dengan satu putaran. Pikirkan benang pada sekrup kayu. Benang halus akan bergerak dengan jarak yang lebih pendek dengan satu putaran dibandingkan dengan benang kasar. Alat peraga bekerja dengan cara yang sama persis. Penyangga bernada tinggi di bagian depan pesawat, atau bahkan bagian belakang perahu (secara teori) akan mendorong pesawat lebih jauh dengan satu putaran daripada penyangga bernada rendah. Ini juga lebih sulit untuk diputar, sama seperti sekrup kasar itu!

Di luar cakupan buku ini untuk membahas hal ini secara lebih rinci, tetapi kami akan menyebutkan bahwa nada baling-baling jarang ditemui dalam kehidupan nyata (lihat Gambar 3-1). Sesuatu yang disebut prop slip selalu menciptakan perbedaan antara jarak yang seharusnya ditempuh kendaraan dan seberapa jauh sebenarnya ia bergerak. Jika Anda tertarik dengan itu, banyak situs web memiliki banyak pengetahuan tentang topik tersebut.



Gambar 3-1 Slip adalah perbedaan antara Pitch Geometris dan Pitch Efektif.

Semakin tinggi nada, semakin banyak udara yang akan melewati baling-baling dengan setiap putaran. Melewati lebih banyak udara melalui penyangga menghasilkan tingkat dorong yang lebih tinggi. Ini bagus jika Anda membutuhkan lebih banyak daya angkat di pesawat Anda, tetapi berhati-hatilah bahwa ini menghasilkan efisiensi yang lebih rendah, karena motor pesawat membutuhkan lebih banyak energi (dalam bentuk daya baterai) untuk memutar penyangga bernada lebih tinggi. Pindah ke prop bernada lebih tinggi dapat mengurangi waktu penerbangan Anda secara keseluruhan, sebagai hasil dari mendapatkan lebih banyak daya angkat.

Baling-baling datang dalam semua jenis ukuran dan kombinasi nada, masing-masing dengan pro dan kontra sendiri. Beberapa lebih efisien, sementara yang lain menghasilkan lebih banyak daya angkat. Biasanya, semakin tinggi nada dan/atau semakin besar penyangga, semakin banyak daya angkat yang dihasilkan. Jika Anda memiliki pesawat yang berat, atau yang perlu terbang dengan kecepatan tinggi, prop dengan nada tinggi atau besar akan ideal. Namun, jika kebutuhan Anda adalah untuk waktu penerbangan yang lebih lama dengan muatan yang lebih ringan, sesuatu dengan nada yang lebih rendah mungkin akan menjadi yang terbaik untuk Anda. Peningkatan angkat memang datang dengan harga: efisiensi penyangga.

Spesifikasi ukuran dan pitch biasanya seperti 0845P atau 08X4.5P di sisi penyangga itu sendiri, di dekat hub (lihat Gambar 3-2). Dua angka pertama adalah ukurannya, 8 (inci), diikuti oleh nada, 4,5°. P menunjukkan bahwa itu adalah baling-baling pendorong. Beberapa perusahaan menyebut props pusher props kidal dan mungkin menandai mereka dengan L atau R (untuk terbalik) di nama prop bukannya P. Tractor props tidak memiliki huruf di akhir; penunjukan mereka hanya akan menjadi 0845.



Gambar 3-2 Dua pendorong dan dua traktor.

Efisiensi Versus Daya Dorong Maksimum

Alat peraga yang kami gunakan pada Little Dipper berukuran 6 × 3. Alat ini memiliki keuntungan memberikan lebih banyak daya dari desain 6 inci yang lebih besar, namun efisiensi yang lebih tinggi dari pitch 3°. Jika Anda mencari kecepatan lebih untuk pesawat Anda, cobalah prop dengan nada lebih tinggi seperti 6 × 4,5. Ingat: semakin tinggi nada, semakin banyak udara yang melewati penyangga, dengan biaya menggunakan lebih banyak daya dari baterai.

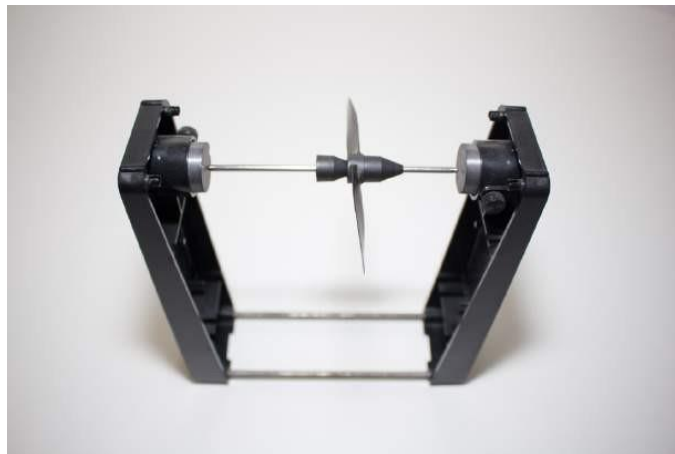
3.2 ALAT PERAGA PENYEIMBANG

Di sini kita menemukan diri kita menggambar paralel lain antara ban dan baling-baling. Sama seperti ban Anda yang perlu diseimbangkan agar berputar dengan mulus pada kecepatan tinggi, begitu juga dengan alat peraga Anda. Ini adalah prosedur yang rumit, tetapi sangat penting bagi siapa pun yang memiliki hobi ini untuk dikuasai. Saat Anda menyeimbangkan alat peraga Anda, Anda memastikan bahwa setiap bilah penyangga memiliki berat yang sama dan akan mengurangi jumlah getaran saat berputar pada putaran tinggi per menit (RPM). Prosesnya cukup sederhana secara teori: pasang penyangga yang Anda butuhkan seimbang ke poros yang berputar bebas. Gandar yang berputar bebas ini dapat dicapai dengan beberapa cara berbeda. Tempatkan batang logam melalui tengah lubang pemasangan penyangga Anda dan gantung di antara dua magnet, biarkan berputar dari titik tumpu yang hampir tanpa gesekan. Kurangnya gesekan ini memungkinkan setiap titik berat pada baling-baling berputar perlahan ke tanah, di bawah pengaruh gravitasi.

Apakah baling-baling benar-benar tidak bergerak, atau ingin "bersandar" ke satu arah atau yang lain? Dengan menggunakan teknik ini untuk mengidentifikasi titik-titik berat di penyangga, seseorang dapat menerapkan beban tambahan ke sisi yang ringan, atau mengurangi bobot dari sisi yang berat. Ingatlah bahwa ini biasanya penyesuaian yang sangat

kecil. Menambah berat badan mungkin datang dalam bentuk beberapa klip kecil selotip atau stiker label, sementara mengurangi berat biasanya dilakukan dengan amplas dan sedikit kesabaran. Ketika sepenuhnya seimbang, baling-baling harus dapat dipindahkan ke posisi apa pun tanpa satu bilah atau bilah lainnya condong ke tanah.

Jika pemikiran untuk membangun prop balancer terdengar menakutkan, jangan khawatir. Beberapa perusahaan membuat penyeimbang dari segala bentuk dan ukuran. Model yang kami gunakan, ditunjukkan pada Gambar 3-3, adalah salah satu yang kami miliki selama kami bekerja dengan pesawat RC. Baling-baling modern mendekati keseimbangan sempurna dari pabrik, tetapi selalu merupakan ide bagus untuk memeriksanya sendiri. Biasanya, semakin baik kualitas prop, semakin besar kemungkinan untuk diseimbangkan dari pabrik. Alat peraga yang lebih murah mungkin menghemat sedikit uang, tetapi Anda harus meluangkan waktu untuk menyeimbangkannya sendiri.



Gambar 3-3 Ketika seimbang sempurna, penyangga harus dapat duduk di penyeimbang dalam posisi apa pun tanpa jatuh ke satu arah atau yang lain.

Menyeimbangkan Video

Masih tidak yakin bagaimana cara menyeimbangkan alat peraga Anda? Kami memiliki video yang menunjukkan kepada Anda bagaimana melakukannya, langkah demi langkah.

Motor

Satu perbedaan utama antara power train quadcopter kami dan mobil Anda adalah bahwa kami menggunakan sistem penggerak langsung daripada transmisi. Dengan mobil Anda, Anda memiliki satu sumber tenaga utama: mesin, yang terhubung ke transmisi, yang membagi tenaga itu di antara roda-roda yang membutuhkannya. Dengan penggerak langsung, setiap roda, atau penyangga dalam hal ini, dipasang langsung ke sumber dayanya sendiri. Untuk paha depan kami, sumber dayanya adalah motor tanpa sikat.

Ukuran

Kebanyakan motor brushless modern dalam industri hobi diidentifikasi dengan lebar dan tinggi rumah motor (lihat Gambar 3-4). Sebuah motor 2216 memiliki lebar 22 mm dan tinggi 16 mm. Tentu saja, tidak setiap perusahaan mengikuti konvensi penamaan yang sama persis, jadi sebaiknya merujuk ke lembar spesifikasi jika memungkinkan.



Gambar 3-4 Motor 2204 ini diberi peringkat pada 2300 kV dan bekerja dengan alat peraga 5 atau 6 inci.

Peringkat kV

Spesifikasi lain yang mungkin pernah Anda lihat tertera di sisi motor brushless adalah peringkat kV. Ini memberitahu kita RPM motor untuk setiap volt listrik yang dimasukkan ke dalamnya. Pengukuran ini di bawah beban nol pada motor, jadi sebenarnya RPM akan bervariasi tergantung pada gesekan dan beban. Anda sekarang dapat melihat bagaimana peringkat ini adalah skala geser untuk RPM tergantung pada tegangan baterai. Baterai bertegangan lebih tinggi akan membuat motor berputar lebih cepat, tetapi nilai kV tetap sama.

Menghitung RPM

Sebuah motor 900 kV dengan baterai yang mengeluarkan 12 volt akan berputar pada 10.800 RPM (12×900) tanpa beban. Motor yang sama menggunakan baterai yang lebih besar (16,8 volt) akan berputar pada 15.120 RPM.

3.3 MEMASANGKAN DENGAN ALAT PERAGA YANG TEPAT

Setiap motor akan tampil pada level yang berbeda tergantung pada baling-baling yang dipasangkan dengannya. Hari-hari ini, tebakan biasanya minimal, karena sebagian besar pabrikan motor memposting spesifikasi penyangga yang direkomendasikan untuk motor mereka. Untuk menentukan penyangga yang tepat untuk bangunan Anda, Anda harus memiliki gagasan tentang berat total drone Anda setelah Anda selesai. Semakin berat Anda merencanakan bangunan Anda, semakin besar penyangga yang harus Anda gunakan berdasarkan saran pabrikan.

Total Lift

Istilah umum yang akan Anda dengar dalam kaitannya dengan motor dan prop combo adalah total lift mereka, yang merupakan jumlah daya dorong ke atas yang dihasilkan oleh motor/prop combo di dunia nyata. Ini biasanya didokumentasikan dengan nilai bobot yang mewakili daya angkat yang dihasilkan pada perintah throttle 100%. (Kebanyakan pabrikan memberikan informasi ini.) Motor 2204 yang kami gunakan pada pembuatan Little Dipper dapat menghasilkan daya angkat total 539 gram dengan penyangga 6×3 . Jika kita mengubah alat peraga, nomor lift akan berubah. Jelas, ini diukur untuk setiap motor dan baling-baling. Untuk menghitung daya angkat seluruh helikopter, gandakan hasil Anda dengan jumlah

lengan pada helikopter Anda (empat untuk quad kami). Untuk Little Dipper, itu menjadi (4 × 539 gram) 2.156 gram angkat!

Hitung Kapasitas Muatan Anda

Satu spesifikasi yang harus ditentukan oleh setiap perancang UAV adalah kapasitas muatan. Inilah perbedaan antara total lift pesawat dan all up weight (AUW). AUW persis seperti apa bunyinya: berat pesawat seperti yang diperlengkapi untuk penerbangan, dengan motor, baterai, komputer, dan sebagainya. Sekarang setelah kami memahami cara menghitung total angkat kami, kami dapat menimbang semua komponen kami untuk menemukan AUW kami dan menentukan kapasitas muatan pesawat kami.

Pengontrol Kecepatan Elektronik

Pengendali kecepatan elektronik (ESC) adalah sirkuit elektronik kecil yang digunakan untuk secara mandiri mengontrol kecepatan dan arah setiap motor di quad kami. Empat ESC dipasang di pesawat kami, masing-masing dirancang khusus untuk digunakan dengan motor tanpa sikat. Mereka bekerja dengan mengubah daya dari baterai penerbangan utama menjadi urutan sinyal listrik yang dikirim melalui tiga kabel berbeda ke motor tanpa sikat. Urutan itu mengontrol kecepatan, putaran, bahkan kemampuan pengereman motor. Kecepatan yang diperlukan untuk setiap motor dikomunikasikan ke setiap ESC dari pengontrol penerbangan. Kami akan memiliki lebih banyak tentang itu di bagian selanjutnya.

Klasifikasi: Ampere dan volt

Umumnya ada dua spesifikasi utama yang perlu Anda cari saat membeli ESC: ampere dan voltase. Jumlah volt yang dinilai untuk ESC menentukan ukuran baterai yang dapat Anda gunakan dengan ESC (kita akan membahas baterai secara lebih mendalam di “Baterai Penerbangan” di halaman 50). Untuk saat ini, kami hanya akan menunjukkan bahwa unit yang akan kami gunakan dalam contoh kami adalah baterai tiga sel dengan nilai 12,6 volt. Ingat lembar spesifikasi motor yang kami sebutkan saat membahas angkat total? Spesifikasi yang sama itu umumnya juga berisi penarikan arus dalam ampli. Informasi itulah yang Anda gunakan untuk menentukan ukuran ESC yang Anda butuhkan untuk motor dan prop yang Anda inginkan.

Firmware SimonK

Jenis ESC yang digunakan pada drone tingkat hobi pada awalnya dirancang untuk digunakan di pesawat RC. Dalam upaya untuk meningkatkan kinerja, penggemar RC Simon Kirby mengembangkan firmware open source untuk ESC tingkat hobi, yang disebut firmware SimonK. Peningkatannya memberikan waktu respons yang lebih cepat untuk motor, yang sangat meningkatkan stabilitas pesawat. Sebagian besar produsen ESC utama sekarang menawarkan ESC SimonK yang secara khusus disetel untuk penggunaan multirotor (lihat Gambar 3-5).



Gambar 3-5 ESC yang kami gunakan dalam contoh build kami diberi peringkat untuk 12 amp dan hingga 16,8 volt (baterai 4S).

3.4 BATERAI PENERBANGAN

Salah satu perkembangan teknologi terpenting yang membantu memunculkan drone sipil saat ini adalah baterai lithium-polimer (Li-Po). Sangat mirip dengan yang digunakan pada smartphone, baterai Li-Po memiliki rasio kapasitas-terhadap-berat yang jauh lebih besar daripada baterai nikel-kadmium (NiCD) dan nikel-metal hidrida (NiMH) generasi lama. Penghematan berat itu adalah kunci untuk membantu UAV diluncurkan.

Kapasitas Dan Tegangan

Sebagian besar baterai Li-Po modern diklasifikasikan menurut kapasitas dan tegangannya. Semua baterai Li-Po mencapai tegangan akhir dengan memasang rangkaian sel baterai yang lebih kecil di dalam unit baterai utama. Setiap sel diberi nilai 3,7 volt (4,2 terisi penuh). Itu berarti baterai tiga sel, seperti yang ada di demo kami, memiliki daya 11,1 volt (3 x 3,7v) dan dapat mencapai 12,6 volt (3 x 4,2v) saat terisi penuh.

Satuan ukuran kapasitas adalah amp-hour (Ah). Ini menjelaskan berapa lama daya baterai akan bertahan di bawah beban tertentu: baterai 10 Ah yang memberi daya pada perangkat 1-amp akan bertahan sekitar 10 jam. Baterai yang sama dengan beban 5-amp akan bertahan sekitar 2 jam. Semua baterai kami akan hadir dengan peringkat mili-amp hour (mAh) yang menentukan kapasitas baterai kami (lihat Gambar 3-6). Baterai dengan nilai 2200 mAh memiliki kapasitas lebih tinggi daripada baterai yang hanya 1500 mAh. Secara teori, baterai ini akan bertahan lebih dari 30% lebih lama dari 1500 mAh. Namun, dalam dunia penerbangan yang sebenarnya, mungkin tidak demikian. Baterai 2200 mAh memiliki bobot lebih dari baterai 1500 mAh, yang berarti harus mengeluarkan lebih banyak daya untuk mengangkat quadcopter-nya. Kami akan membahas keseimbangan rumit ini lebih lanjut di sepanjang buku ini.

Meskipun baterai Li-Po membantu memajukan hobi kami, baterai itu masih memiliki beberapa kekurangan. Baterai Li-Po menjadi tidak stabil dalam keadaan tertentu dan dapat terbakar! Untuk alasan ini, Anda harus selalu berhati-hati saat menangani Li-Pos. Ganti baterai yang rusak, dan jangan pernah menggunakan baterai yang bocor dengan cara apa pun; itu adalah resep untuk bencana! Gunakan tas tahan api saat mengisi baterai Li-Po. Cukup hubungkan baterai Anda ke pengisi daya seperti biasa, lalu tempatkan baterai di dalam tas tahan api dan tutup lubang di sekitarnya sebanyak mungkin. Itu selalu merupakan ide yang baik untuk mengawasi baterai Anda saat mengisi daya.



Gambar 3-6 Baterai penerbangan utama tiga sel 2200-mAh.

Tinggalkan Sedikit Di Dalam Tangki

Aturan praktisnya adalah jangan pernah mengosongkan baterai Anda di bawah 3,2 volt per sel. Artinya, untuk baterai tiga sel, pengosongan di bawah 9,6 volt akan merusaknya. Kami

menemukan bahwa menyetel alarm untuk 3,5 atau 3,4 volt per sel memungkinkan kami mendarat dengan cukup di tangki (sekitar 20%) untuk menjaga baterai kami tetap bahagia. Selain itu, hindari menyimpan baterai yang sudah terisi penuh. Pengisi daya yang paling layak memiliki pengaturan penyimpanan yang dapat Anda gunakan yang menurunkannya menjadi 3,8 volt per sel yang bagus. Ini akan sangat meningkatkan umur baterai Anda.

3.5 PETUNJUK PEMBUATAN

Untuk bagian bangunan ini, Anda akan membutuhkan (lihat Gambar 3-7):

- Besi solder dan solder
- Helping Hands atau sistem penjepit lainnya
- Pistol panas
- 12 pasang (pria dan wanita) konektor peluru 2 mm
- Penyusutan panas 1/8 inci beberapa inci
- Pemotong / penari telanjang kawat
- kunci pas Allen
- Ikat zip kecil
- Pita busa dua sisi
- Gunting



Gambar 3-7 Daftar materi untuk bab ini cukup serius!

Langkah 1: Pasang Power Distribution Board (PDB)

Hal pertama yang perlu kita lakukan adalah mengamankan lokasi di bingkai kotor kita untuk PDB. Pada saat kami membangun, kami membuat PDB kami sendiri dari G-10 berlapis tembaga (lihat Gambar 3-8 dan 3-9), tetapi ada banyak versi kecil yang murah di pasaran yang sesuai dengan kebutuhan. Yang ini sangat pas di tengah bingkai kotor kami. Mulailah dengan menempelkan beberapa strip kecil selotip dua sisi ke sisi belakang PDB (lihat Gambar 3-10).



Gambar 3-8 Papan distribusi daya DIY kami dipotong dari G10 berlapis tembaga.



Gambar 3-9 Seperti inilah tampilan PDB kami—kami melapisi beberapa titik solder dan menambahkan selotip cair untuk lapisan insulasi.

Sekarang tekan PDB ke tempatnya di tengah bingkai kotor di mana akan mudah diakses oleh kabel baterai, ESC, dan tambahan apa pun yang memerlukan akses ke daya (lihat Gambar 3-11). Ada lubang 3 mm di tengah jika Anda ingin juga menambahkan sekrup untuk dukungan ekstra. Kami menemukan bahwa selotip dua sisi melakukan pekerjaan yang sangat baik untuk menahannya dan memilih untuk tidak menggunakannya. Jika Anda menggunakan sekrup, coba gunakan sekrup dan mur nilon kecil, yang akan menghemat berat dan juga tidak berfungsi sebagai konduktor.



Gambar 3-10 Menerapkan pita dua sisi ke sisi belakang PDB.



Gambar 3-11 PDB ditekan dengan kuat ke tempatnya.

Langkah 2: Solder pada Konektor Peluru

Langkah ini agak opsional, tetapi dapat membuat instalasi jauh lebih mudah. Konektor peluru memungkinkan Anda untuk mencolokkan dan mencabut ESC dan motor satu sama lain daripada menyoldernya secara langsung. Kelebihan menggunakannya termasuk kemudahan penggunaan selama pemeliharaan, pemecahan masalah, dan peningkatan. Kontra termasuk kegagalan karena kehilangan kontak. Jika konektor peluru gagal, itu dapat menyebabkan tabrakan pada quad (satu motor dari empat berhenti berputar dan Anda jatuh seperti batu). Dengan daftar pro dan kontra ini, Anda dapat memahami mengapa orang memiliki pendapat tajam tentang konektor ini di kedua arah. Kami akan membiarkan Anda memutuskan sendiri apakah Anda ingin menggunakannya, tetapi buku ini akan mengasumsikan bahwa pengguna telah menginstalnya. Jika Anda memutuskan untuk tidak menggunakannya, sebaiknya Anda langsung menyolder sambungan Anda dan menyegelnya dengan heat shrink. Pastikan koneksi

Anda benar sebelum Anda menyalakan setrika itu! Tarik keluar pembantu tangan ketiga dan nyalakan besi solder Anda saatnya untuk mulai bekerja!

Konektor peluru, seperti hampir semua jenis konektor lain di muka bumi, terdiri dari sepasang konektor: satu perempuan dan satu laki-laki. Kami akan memasang ujung jantan pada motor kami dan versi betina pada ESC. Ini dianggap sebagai praktik terbaik, karena ESC adalah ujung yang memberikan kekuatan dan peluru betina akan dilindungi untuk memberikan perlindungan ketika tidak ada sesuatu yang dicolokkan. Mulailah dengan mengambil salah satu dari empat motor Anda dan melepaskan sekitar 1/8 inci insulasi dari masing-masing dari tiga kabel motor. Selanjutnya, rekatkan ujung kawat dengan menambahkan sedikit solder ke ujung setrika Anda dan lapisi bagian luar kabel motor Anda dengannya (lihat Gambar 3-12).



Gambar 3-12 Ujung motor dilucuti, dikalengkan, dan siap untuk mengambil konektor peluru jantan.

Baru mengenal Solder?

Kami berasumsi bahwa Anda pernah menggunakan besi solder di masa lalu Anda. Mungkin hanya sekali, mungkin setiap hari, tetapi kami mengasumsikan pemahaman dasar tentang cara kerjanya. Jika Anda benar-benar baru mengenal konsep ini, atau hanya ingin kursus penyegaran, lihat tutorial menyolder mendalam kami di situs web.

Selanjutnya, kita akan mengeluarkan tangan ketiga kita dan menggunakannya untuk menambahkan konektor peluru jantan ke kabel motor kita. Jepit satu konektor peluru ke salah satu klip buaya dengan salah satu ujung motor kaleng di yang lain. Luangkan waktu Anda dan pastikan Anda dapat memosisikan kedua bagian ini dengan nyaman sehingga Anda dapat dengan mudah mengaksesnya dengan besi solder Anda. Setelah Anda memiliki semua yang dikonfigurasi sesuai kebutuhan, letakkan setrika Anda di bagian luar konektor peluru, biarkan memanaskan hanya beberapa detik sebelum menerapkan beberapa solder ke bagian dalam konektor tempat kabel berada. Lihat Gambar 3-13 untuk info lebih lanjut.



Gambar 3-13 Semuanya dalam posisi dan kami siap untuk menyolder konektor pertama kami.

Oleskan solder dalam jumlah sedang tanpa berlebihan. Setelah ujung konektor peluru tampak hampir penuh, lepaskan setrika dan solder. Biarkan sambungan menjadi dingin selama beberapa saat sebelum melepaskannya dari tangan ketiga (lihat Gambar 3-14). Selamat: Anda baru saja menyelesaikan pekerjaan solder pertama Anda di build ini! Apakah rasanya enak? Kami berharap demikian, karena Anda memiliki banyak hal yang harus dilakukan. Mari kita lakukan!

Setelah solder mendingin, lepaskan ujung motor dan peluru dari tangan ketiga dan ulangi langkah-langkah tersebut untuk menyolder dua ujung motor dan konektor peluru lainnya. Setelah motor pertama Anda selesai, ulangi langkah untuk 3 motor yang tersisa. Setelah selesai, Anda harus memiliki 4 motor dengan 12 konektor peluru jantan yang disolder ke semua kabel motornya (1 di setiap kabel).



Gambar 3-14 Solder kami mendingin saat ditahan di tempat dengan tangan ketiga.

Sekarang saatnya untuk mengisolasi koneksi kita. Untuk langkah itu, kita membutuhkan tabung heat-shrink berukuran 1/8 inci dan heat gun (atau pengering rambut jika Anda tidak memilikinya). Potong tiga bagian 1/2-inci heat shrink dan paskan dengan longgar di atas sambungan peluru yang baru disolder. Anda ingin menempatkan heat shrink di bagian belakang konektor yang terangkat, karena bagian konektor male depan akan dimasukkan ke konektor female (lihat Gambar 3-15). Jika kita memiliki heat shrink yang menghalangi koneksi, itu dapat menyebabkan steker yang tidak dapat diandalkan. Jangan ragu

untuk mencolokkan steker pria dan wanita satu sama lain beberapa kali dan perhatikan di mana koneksi terjadi. Ini akan membantu Anda lebih memahami di mana Anda harus—dan, yang lebih penting, tidak boleh—memasang heat shrink di sambungan Anda.



Gambar 3-15 Heat shrink sudah terpasang dan siap untuk menggunakan heat gun.

Setelah panas menyusut pada posisinya, siapkan senapan panas Anda. Kami akan dengan lembut menerapkan panas ke heat shrink (lihat Gambar 3-16). Coba posisikan kabel agar Anda dapat memanaskan satu per satu, terutama jika Anda baru dalam proses ini. Jika Anda menggunakan pengering rambut atau senapan panas dengan banyak perpindahan angin, berhati-hatilah agar udara yang bergerak tidak memindahkan heat shrink yang Anda posisikan dengan hati-hati. Terapkan proses ini ke ketiga lead dan Anda akan mendapatkan sesuatu yang terlihat seperti Gambar 3-17. Hanya perlu beberapa detik untuk mengecilkan tabung. Setelah kencang di sekitar konektor dan kabel, Anda dapat melanjutkan.



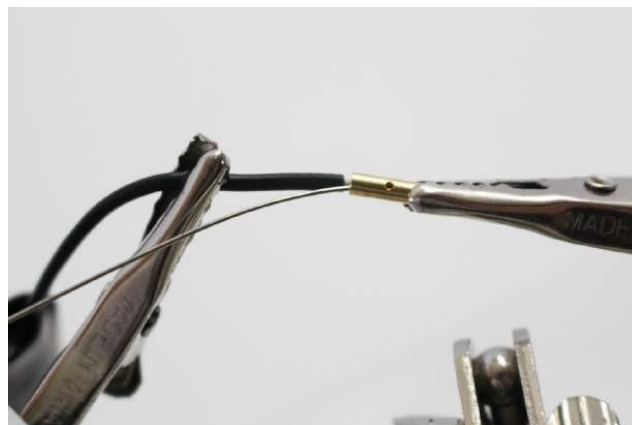
Gambar 3-16 Menggunakan senapan panas kami untuk mengecilkan tabung kami untuk tujuan isolasi.



Gambar 3-17 Produk jadi.

Kami mulai membuat beberapa kemajuan nyata. Pada titik ini, Anda memiliki empat motor dengan konektor peluru yang disolder kuat ke masing-masing ujungnya, yang diisolasi dengan hati-hati dengan heat shrink. Sekarang saatnya mengulangnya lagi dengan konektor perempuan di ESC. Bergantung pada ESC apa yang Anda beli, mungkin sudah ada konektor peluru yang disolder. Jika konektor Anda sudah terpasang, periksa apakah konektor tersebut berfungsi dengan peluru motor pria Anda. Jika semuanya tampak terhubung dengan baik dan pas, lewati sisa langkah ini.

Seperti halnya motor Anda, temukan tiga kabel hitam yang keluar dari ESC Anda (bukan steker servo, kabel mentah), lepaskan sekitar 1/8 inci insulasi, dan siapkan kabel untuk penyolderan. Kami akan mengikuti langkah yang sama persis yang kami lakukan untuk motor dengan satu-satunya perbedaan adalah bahwa kami menyolder konektor perempuan kali ini (lihat Gambar 3-18). Berjalan kembali melalui langkah-langkah sebelumnya jika mereka belum tertanam di kepala Anda karena telah melakukannya berkali-kali!



Gambar 3-18 Menyolder konektor peluru wanita pertama kami.

Setelah semua konektor disolder dan siap untuk mulai mengisolasinya, perhatikan perbedaan area yang perlu diisolasi antara colokan jantan dan betina. Daripada inci panas menyusut yang Anda gunakan untuk colokan jantan, betina akan membutuhkan satu inci atau lebih (lihat Gambar 3-19). Penyusutan panas seharusnya hanya sampai ke ujung konektor tanpa melewatinya sambil tetap memanjang di atas kawat di ujung lainnya. Ingatlah bahwa

panas menyusut Anda akan berubah bentuk sedikit saat menyusut, sehingga mungkin menarik kembali dari tepi saat Anda menerapkan panas. Kami biasanya memposisikannya untuk menempel sedikit melewati tepi konektor untuk mengantisipasi agar menempel sempurna setelah menyusut. Jika Anda mencoba teknik ini dan ujungnya mencuat setelah menyusut, gunakan pisau silet untuk memotong dengan hati-hati setiap bagian yang menghalangi konektor jantan membuat sambungan yang kokoh (lihat Gambar 3-20).



Gambar 3-19 Pastikan untuk memotong panas menyusut ke panjang yang tepat untuk konektor perempuan.



Gambar 3-20 Setelah menerapkan sedikit panas, semuanya terlihat nyaman seperti serangga di permadani!

Pada titik ini, kami memiliki empat motor dengan konektor peluru laki-laki dan empat ESC dengan konektor peluru perempuan. Jika Anda belum melakukannya, mari kita coba menghubungkannya satu sama lain dan melihat bagaimana mereka cocok (lihat Gambar 3-21). Fantastis, Anda sudah siap untuk memasang power train di drone Anda. Pada titik ini, letakkan apa yang Anda lakukan dan ambil minuman favorit Anda dari dapur. Anda layak mendapatkannya.



Gambar 3-21 Sukses: semuanya pas seperti sarung tangan.

Langkah 3: Pasang Pengontrol Kecepatan

Pengendali kecepatan elektronik biasanya dipasang dengan salah satu dari dua cara: baik pada rangka itu sendiri, atau pada boom di dekat baling-baling yang berputar untuk mendapatkan pendinginan tambahan dari downdraft prop. Karena boom kami terlipat pada rangka khusus ini, kami akan memasang pengontrol kecepatan di bagian dalam rangka yang kotor. Gunakan selotip dua sisi untuk memasang pengontrol kecepatan. Oleskan strip kecil dengan lebar sekitar 1/2 inci ke satu sisi ESC (lihat Gambar 3-22 dan 3-23). Periksa untuk melihat apakah satu sisi lebih rata dari yang lain. Terkadang ESC dapat memiliki kapasitor bulat besar yang menempel di satu sisi. Jika Anda menemukan hal itu terjadi pada ESC Anda, tempelkan selotip ke sisi lain dan rekatkan kapasitor sehingga selotip dapat memiliki cakupan permukaan sebanyak mungkin.

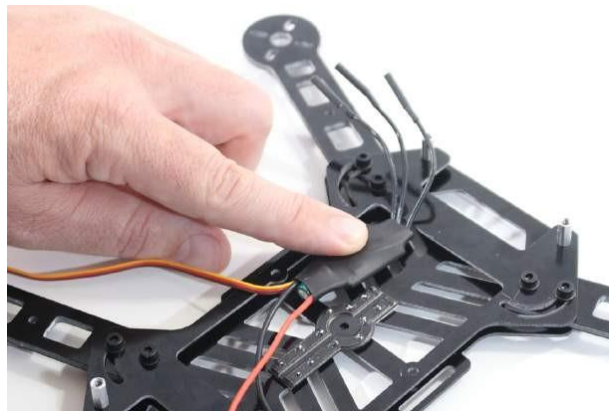


Gambar 3-22 Oleskan strip kecil selotip dua sisi dari sisi uji datar ESC.

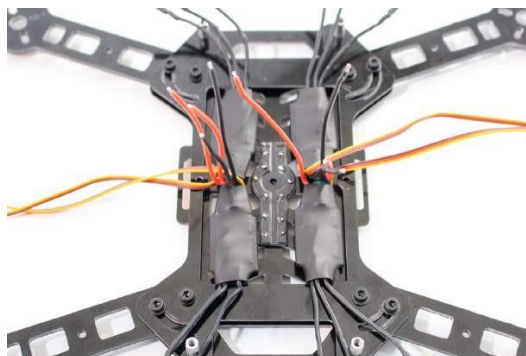


Gambar 3-23 Ulangi untuk keempat ESC.

Sekarang kita memiliki pita yang diterapkan ke ESC, mari kita posisikan mereka di subframe kita. Ambil salah satu ESC dan pastikan selotip sudah terkelupas dan siap dipasang. Temukan ruang terbuka di bingkai kotor di sekitar tempat kami memasang PDB kami. Cobalah untuk memisahkan ini secara mental ke dalam kuadran dan tempatkan setiap ESC ke dalam ruangannya sendiri. Kabel daya merah dan hitam yang keluar dari ESC harus mengarah ke tengah bingkai, sedangkan kabel motor hitam yang kita gunakan pada langkah terakhir mengarah ke luar. Pastikan Anda memposisikan ESC cukup tinggi sehingga yang lain bisa muat di bawahnya. Lihat Gambar 3-24 dan 3-25 untuk info lebih lanjut.



Gambar 3-24 Posisikan ESC lalu tekan dengan kuat ke tempatnya, pastikan ada cukup ruang di bawahnya untuk unit lain.



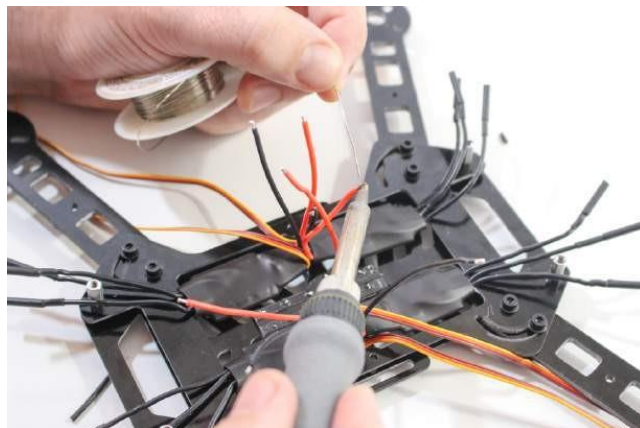
Gambar 3-25 Ketika semua ESC berada di tempatnya, seharusnya terlihat seperti ini.

Langkah 4: Solder Catu Daya

Langkah selanjutnya adalah menyolder catu daya. Konsep keseluruhan di sini adalah menghubungkan kabel positif dan negatif (masing-masing kabel merah dan hitam) dari masing-masing ESC dalam rangkaian paralel. Jika Anda tidak terbiasa dengan rangkaian paralel, tidak apa-apa. Ini adalah konsep yang cukup sederhana. Ini berarti bahwa semua kabel merah (positif) bergabung bersama dalam satu koneksi sementara semua kabel hitam (ground) berada di koneksi lain. Jika Anda melihat Gambar 3-9, menjadi sangat jelas bagaimana cara kerjanya. Kami memiliki satu strip di papan untuk lead positif dan satu untuk ground. Semua ESC serta kabel baterai utama kami akan terhubung ke PDB.

Mari kita mulai dengan satu ESC sebagai contoh pertama. Ambil kabel merah yang keluar dari ESC Anda dan tentukan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai sirkuit positif secara efektif pada catu daya (dalam kasus kami, strip kiri). Sekarang klip kawat itu dengan panjang itu (atau hanya sedikit lebih lama, untuk berjaga-jaga) dan lepaskan 1/8 inci insulasi dari ujungnya. Sekarang timah kawat yang terbuka dengan besi solder Anda dan siapkan untuk dipasang ke PDB (lihat Gambar 3-26).

Setelah timah positif dikalengkan, pastikan ujung besi solder Anda bagus dan bersih sebelum memuatnya dengan sedikit solder lagi. Selanjutnya, ambil tang runcing Anda dan gunakan untuk menahan kabel ESC Anda ke PDB pada titik di mana Anda ingin membuat sambungan. Pastikan Anda berada di sirkuit PDB yang benar. Ini adalah keunggulan positif kami, jadi pastikan itu di sirkuit positif. Terakhir, oleskan setrika panas Anda ke bagian atas kabel positif, selipkan di antara ujung setrika dan PDB. Jika Anda telah menerapkan cukup banyak solder ke semua komponen, semuanya akan meleleh bersama tanpa masalah. Setelah itu terjadi, lepaskan setrika Anda sambil terus memegang timah selama beberapa detik lagi dengan tang. Jika Anda memperhatikan solder, Anda akan melihatnya dingin dalam hitungan detik. Ini akan mengambil lebih banyak tampilan akhir matte dan lebih sedikit tampilan cair. Setelah ini terjadi, Anda dapat melepas tang dan memeriksa sambungannya. Jika tampaknya kendor sama sekali, ulangi langkah-langkah yang diperlukan sampai Anda memiliki sambungan solder yang kokoh (lihat Gambar 3-27).



Gambar 3-26 Tinning kabel daya ESC pertama kami sebelum memasangnya ke PDB.



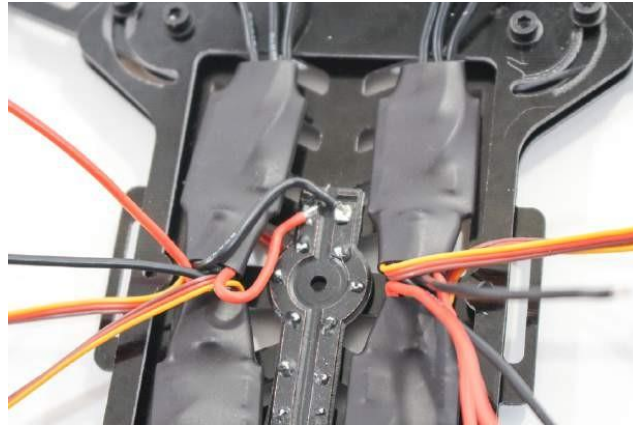
Gambar 3-27 Kabel pertama kami disolder dan tampaknya merupakan sambungan yang solid.

Setelah Anda memiliki lead positif pertama, ulangi langkah yang sama untuk lead negatif Anda pada ESC yang sama. Satu-satunya hal yang harus Anda lakukan secara berbeda adalah menghubungkan kabel ke sirkuit negatif pada PDB (dalam kasus kami, strip kanan); lihat Gambar 3-28 dan 3-29.

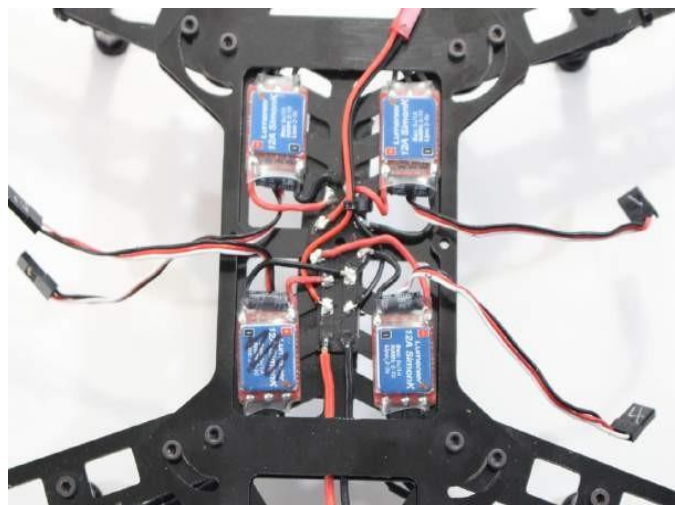


Gambar 3-28 Solder kabel negatif dengan cara yang sama, pastikan Anda menghubungkannya ke sirkuit negatif yang terlihat di sini pada strip yang paling dekat dengan bagian bawah gambar.

Luar biasa—ESC pertama Anda terhubung ke PDB! Sekarang lakukan sisanya dengan cara yang sama (lihat Gambar 3-30). Luangkan waktu Anda dan pikirkan di mana Anda akan menempatkan kabel untuk semua ESC. Jangan membuat kesalahan dengan memotong salah satu kabel Anda terlalu pendek untuk menghemat ruang. Lebih baik untuk meninggalkan sedikit panjang ekstra pada awalnya.



Gambar 3-29 ESC pertama kami siap untuk mendapatkan daya dari PDB.



Gambar 3-30 Contoh build lain dari armada kami dengan semua ESC yang terhubung ke PDB.

Kami hampir selesai dengan besi solder kami. Sudah mulai panas di bengkel Anda? Satu-satunya yang tersisa untuk disolder adalah kabel baterai utama. Ini dilampirkan dengan cara yang sama persis seperti lead ESC. Klip beberapa insulasi dari ujungnya, rekatkan kawatnya, tahan di tempatnya dengan tang, dan berikan sedikit panas. Pastikan Anda menghubungkan ke sirkuit yang benar dan sambungan solder Anda bagus dan kokoh.

Proofing Drone Anda di Masa Depan

Meskipun Anda hanya menambahkan sejumlah komponen ke pesawat Anda saat ini, siapa yang tahu apa yang akan terjadi di masa depan? Ada baiknya untuk merencanakan ke depan sekarang dengan menambahkan kabel daya ekstra yang tidak digunakan ke PDB untuk item yang ingin Anda sertakan nantinya. Pada Gambar 3-30, Anda akan melihat bahwa kita telah melakukan hal itu. Coba tambahkan kabel daya JST (tersedia online dengan harga beberapa sen) ke sirkuit daya Anda dan biarkan terselip rapi di antara bingkai yang bersih dan yang kotor. Kemudian ketika Anda ingin menambahkan sesuatu seperti pemancar video, yang harus Anda lakukan adalah mencabut steker itu dan memanfaatkan daya Anda di sana. Tidak perlu mengeluarkan besi solder lagi.

Langkah 5: Pasang Motor Brushless

Motor brushless untuk drone kecil seperti Little Dipper terus berkembang. Pada saat kami mulai menulis buku ini, ada beberapa model di pasaran yang digunakan kebanyakan orang. Hanya beberapa bulan kemudian, ada lusinan, dan lebih banyak lagi yang ditambahkan setiap saat. Karena lanskap yang terus berubah ini, kami tidak akan memberikan instruksi khusus untuk satu model tertentu melainkan gagasan menyeluruh yang berlaku untuk semua model yang berbeda.

Konsep di balik pemasangan motor Anda ke boom sangat sederhana; temukan sekrup pemasangan dengan panjang yang sesuai yang disertakan dengan motor Anda (mungkin ada beberapa panjangnya) dan masukkan melalui lubang pemasangan di ujung bulat boom dan ke lubang berulir di bagian bawah motor Anda. Setelah Anda mengencangkannya, kerjakan setiap putaran sekrup yang berlawanan untuk putaran dengan cara yang sama seperti yang Anda lakukan pada roda mobil saat mengganti flat.

Perhatikan Arah Benang

Perhatikan bahwa motor Anda memiliki poros yang menahan penyangga di tempatnya. Poros ini berulir, dan mur dari beberapa jenis (disebut mur penyangga) dipasang di atas ulir itu dan memberi tekanan pada penyangga. Pada hari-hari awal drone kecil, semua utas itu adalah utas standar searah jarum jam. Karena motor kami berputar searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam, pabrikan menyadari bahwa jika mereka membuat motor dengan ulir standar dan ulir mundur, mereka dapat menggunakan arah penyangga pemintalan untuk membantu menjaganya tetap kencang. Pastikan Anda selalu memiliki ulir yang disekrup dengan arah yang berlawanan dengan arah putaran penyangga.



Gambar 3-31 Motor kami duduk tepat di boom siap dipasang.

Motor berputar searah jarum jam harus memiliki poros berulir terbalik. Motor berlawanan arah jarum jam bekerja paling baik dengan ulir standar. Satu tangkapan: tidak semua pabrikan membuat motor mereka dengan cara ini. Banyak yang masih hanya menggunakan ulir standar pada semua motornya. Ini masih akan bekerja dengan baik; pastikan untuk mengencangkannya dengan baik dan memeriksanya secara teratur (sebagaimana mestinya). Moral dari cerita ini adalah untuk selalu mengetahui jenis ulir yang dimiliki poros motor Anda dan pastikan Anda memasangnya di lokasi yang tepat. Jika Anda perlu memastikan arah putaran motor Anda, lakukan sebelum memasangnya ke rangka.

Untuk build Little Dipper kami, motor kami akan berputar searah jarum jam pada motor NE dan SW sedangkan motor NW dan SE berputar berlawanan arah jarum jam.

Mulailah proses pemasangan Anda dengan meletakkan motor rata di bagian atas boom sambil menyejajarkan lubang pemasangan di bagian bawah boom dengan lubang berulir di bagian bawah motor Anda (lihat Gambar 3-31). Pastikan Anda memiliki motor dengan arah ulir yang benar untuk arah motor yang diantisipasi. Lead motor harus berjalan di sepanjang boom. Pastikan mereka tidak berlari ke arah lain.



Gambar 3-32 Pasangkan sekrup dengan cara yang sama seperti Anda membuat satu set mur roda pada mobil untuk memastikan kekencangan yang merata di sekelilingnya.



Gambar 3-33 Kencangkan sekrup secara bergantian untuk memastikan semuanya rata.

Sekarang masukkan sekrup pertama secara manual melalui lubang pemasangan motor boom dan ke lubang berulir di bagian bawah motor. Setelah yang pertama selesai, masukkan sekrup yang berlawanan dan teruskan sampai Anda memiliki keempatnya di tempatnya (lihat Gambar 3-32). Setelah Anda memasukkan semua sekrup secara manual ke tempatnya, kencangkan untuk menghidupkan sekrup yang berlawanan, mirip dengan mur roda pada mobil (lihat Gambar 3-33).

Sekarang setelah Anda memasang motor pertama di tempatnya, lanjutkan ke tiga motor lainnya. Jangan lupa perhatikan arah utas yang Anda pasang!

Langkah 6: Hubungkan Motor Brushless

Motor brushless kami akan terhubung ke pengontrol kecepatan melalui tiga kabel hitam yang kami pasang konektor peluru sebelumnya. Jika Anda baru mengenal motor

brushless, Anda mungkin melihat sesuatu yang lucu saat ini: kabelnya tidak diberi label. Tapi ada alasan mengapa. Tidak ada cara yang salah untuk menghubungkan motor tanpa sikat ke pengontrol kecepatan, hanya arah putaran motor yang berbeda. Anda dapat menghubungkan ketiga kabel tersebut dalam kombinasi apa pun yang memungkinkan dan tidak akan pernah "salah" dalam arti bahwa Anda akan merusak motor; itu hanya akan berputar ke satu arah atau yang lain.

Tujuan utama kami adalah membuat motor NE dan SW berputar berlawanan arah jarum jam. Namun karena build kita belum selesai, sambungkan saja semuanya dan kita bisa mengujinya nanti di buku untuk mengetahui perubahan apa yang perlu kita buat. Sekarang menjadi sangat jelas mengapa ada nilai dalam menggunakan konektor peluru! Jika Anda harus melakukan langkah ini dengan menyolder langsung di antara komponen, itu akan menjadi jauh lebih sulit.

Langkah 7: Bersihkan

Pada titik ini, merupakan ide bagus untuk menggunakan beberapa ikatan kabel dan membersihkan pekerjaan pengkabelan Anda. Ini juga membantu untuk menempatkan tab pengidentifikasi pada lead servo yang keluar dari pengontrol kecepatan sebelum Anda mengancingkan semuanya. Ini akan membuat hidup Anda jauh lebih mudah ketika mengerjakan proyek-proyek berikutnya nanti di buku ini. Kami biasanya menggunakan spidol berujung halus atau pena cat dan memberi label nomor motor pada kabel ESC.

3.6 PENUTUP

Pada titik ini, Anda harus memasang pengontrol kecepatan dan motor secara permanen. Pastikan semuanya terpasang dengan kuat dengan sedikit risiko lepas. Periksa juga semua penyolderan di power harness/papan distribusi daya Anda untuk memastikan tidak ada yang longgar. Sambungan antara motor Anda dan pengontrol kecepatan harus bersifat sementara pada saat ini. Kami akan kembali ke pengkabelan motor nanti di buku ini ketika semua komponen kami sudah terpasang.

BAB 4

PENGENDALI PENERBANGAN

4.1 APA ITU PENGENDALI PENERBANGAN?

Pada dasarnya, pengontrol penerbangan adalah otak dari drone Anda. Ini mengukur kinerja pesawat Anda melalui berbagai sensor, ratusan kali per detik, dan kemudian mengelola semua penyesuaian mikro yang diperlukan pada setiap motor untuk menjaga pesawat Anda stabil di udara. Pikirkan apa yang terjadi ketika Anda berjalan di jalan. Anda tidak memikirkan variasi yang diperlukan dalam gaya berjalan Anda karena trotoar atau angin sakal yang tidak rata. Anda hanya berjalan, dan otak Anda menghasilkan detail itu dan mengeksekusinya sementara satu-satunya pikiran Anda adalah "maju." Pengendali penerbangan bertindak dengan cara yang sama. Saat Anda memberikan perintah kepada drone Anda untuk bergerak maju dengan kecepatan 10 mil per jam, pengontrol penerbangan mengambil keseluruhan perintah Anda dan memecahnya menjadi ratusan perintah per detik untuk masing-masing motor untuk mencapai perintah tersebut. Jika drone menghadapi beberapa jenis hambatan, seperti angin sakal, pengontrol penerbangan akan mencoba membuat perbedaan yang diperlukan untuk tetap mencapai perintah Anda tanpa masukan tambahan dari pilot.

4.2 SUMBER TERBUKA VERSUS SUMBER TERTUTUP

Anda dapat membagi semua pengontrol penerbangan di dunia menjadi dua kategori: sumber terbuka dan sumber tertutup. Beberapa pengontrol penerbangan open source yang populer termasuk APM (AudruPilot), CC3D Open Pilot, Sparky, dan berbagai rasa MultiWii. Semua proyek ini memiliki satu kesamaan: siapa pun dapat mengunduh file build dan perangkat lunak yang diperlukan untuk membuatnya sendiri. Kami sangat menganjurkan Anda untuk meluangkan sedikit waktu online untuk memeriksa semua proyek ini. Mereka semua memiliki komunitas hebat yang dibangun di sekitar mereka dan menawarkan banyak pengetahuan tentang UAV.

Kontroler penerbangan sumber tertutup tersedia dalam semua jenis konfigurasi. Beberapa model yang lebih populer adalah Wookong dan Naza oleh DJI serta Super-X dan Mini-X oleh X-Aircraft. Sistem ini biasanya berpemilik dan tidak menawarkan pengguna kesempatan untuk memodifikasi kode perangkat lunak itu sendiri.

4.3 SENSOR

Jantung dari pengontrol penerbangan adalah unit pengukuran inersia (IMU); lihat Gambar 4-1. Unit ini berisi rangkaian sensor untuk membantu pengontrol penerbangan memantau aktivitas pesawat. Sensor yang paling umum termasuk accelerometer, giroskop, dan barometer. Ini mengukur percepatan dan kecepatan rotasi pesawat, dan tekanan udara (yang sering kali dapat diubah menjadi ketinggian pesawat). Ketiga sensor ini menyediakan semua data yang dibutuhkan autopilot untuk menjaga pesawat tetap stabil di udara.

Sensor tambahan juga digunakan di luar IMU untuk fungsionalitas tingkat lanjut. Ini termasuk penerima GPS, magnetometer, sensor aliran optik, dan sensor kecepatan udara. Seiring berjalannya waktu, kita akan melihat lebih banyak sensor yang diperkenalkan ke pengontrol penerbangan untuk membantu tugas-tugas seperti Sense and Avoid, computer vision, dan kecerdasan buatan (AI).



Gambar 4-1 Pengontrol penerbangan ini memiliki IMU dan port internal untuk sensor eksternal.

Berikut adalah ikhtisar APM dan semua input/output (I/Os):

Masukan 1–8

Port ini akan terhubung ke penerima radio kami. Ini mengumpulkan instruksi penerbangan kami dari darat dan mengirimkannya ke APM.

GPS

Port ini akan terhubung ke sensor GPS kami.

I2C (sirkuit terpadu, diucapkan I-kuadrat-C)

Ini adalah bus komputer serial standar yang digunakan untuk berbagai jenis periferal. Jika Anda pernah menggunakan Arduino sebelumnya, Anda mungkin akrab dengan protokol I2C. Kami akan menggunakan port ini untuk kompas eksternal kami.

PM

Ini adalah port modul daya kami. Ini memungkinkan kami untuk memantau catu daya kami.

JP1

Ini adalah port jumper yang digunakan untuk memberi tahu APM jika harus ada modul daya yang digunakan.

Keluaran1–8

Ini akan memasok sinyal yang kita butuhkan untuk pengontrol kecepatan elektronik kita. Atau, ini dapat mengirim sinyal ke satu set servos jika Anda menggunakan APM untuk model pesawat terbang atau input ke pengontrol gimbal jika Anda meminta APM untuk mengontrol pemasangan kamera di drone Anda.

Telega

Radio telemetri kami terhubung ke sini.

A0–A11

Sama seperti di Arduino, ini adalah pin analog yang dapat ditetapkan pengguna kami. Ini tidak akan digunakan dalam buku ini.

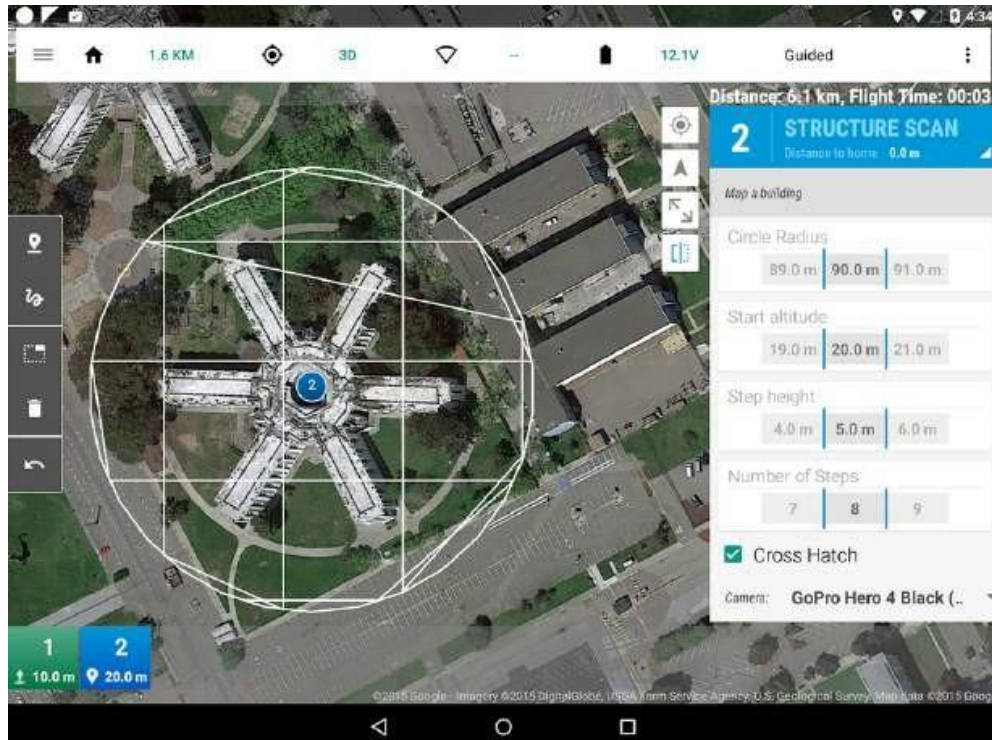
4.4 KARAKTERISTIK PENERBANGAN

Meskipun semuanya dapat disesuaikan sampai batas tertentu, setiap pengontrol penerbangan biasanya membawa serangkaian karakteristik penerbangannya sendiri ke meja. Beberapa pengontrol lebih lembut dan lembek dan memungkinkan helikopter untuk melayang dengan cara yang sangat lancar. Jenis karakteristik penerbangan tersebut lebih banyak dicari oleh fotografer udara atau videografer dengan pesawat yang lebih besar. Orang lain mungkin cenderung lebih tajam dan memiliki perasaan otoritas yang lebih besar, seperti yang digunakan oleh pembalap first-person view (FPV).

4.5 ASISTEN PERANGKAT LUNAK

Semua pengontrol penerbangan modern memiliki beberapa jenis antarmuka perangkat lunak (lihat Gambar 4-2). Hal ini memungkinkan pengguna untuk mendapatkan akses ke banyak parameter penting dalam pengontrol penerbangan. Sementara beberapa asisten perangkat lunak lebih kuat daripada yang lain, mereka semua umumnya mengontrol konfigurasi pesawat, pengaturan komunikasi, dan keuntungan autolevel. Asisten perangkat lunak dapat terhubung melalui Bluetooth, USB, atau radio telemetri, dan dikembangkan untuk platform seluler dan desktop.

Asisten yang akan kita gunakan, yang disebut *Mission Planner*, juga termasuk stasiun bumi built-in. Hal ini memungkinkan aplikasi untuk menampilkan informasi penting yang dikirim kembali dari pesawat, seperti geolokasi dan pembacaan sensor. Akses ke informasi ini di lapangan dapat menjadi bantuan yang luar biasa untuk jenis penerbangan tertentu—seperti misi pemetaan atau pemantauan pertanian—dan sangat membantu selama semua jenis proses pemecahan masalah. Jika Anda mengikuti buku ini dengan kit pendamping, unduh aplikasi perangkat lunak Mission Planner Ardupilot. Jika Anda menggunakan Mac, coba gunakan APM Planner sebagai gantinya.



Gambar 4-2 Aplikasi pengontrol penerbangan Tower dari Robotika 3D yang berjalan di tablet Android.

4.6 PETUNJUK PEMBUATAN

Petunjuk Pembuatan Langkah-demi-Langkah Untuk bagian bangunan ini, Anda memerlukan:

- Pita dua sisi busa satu inci
- Gunting
- Pena cat halus atau Sharpie
- Ikat zip kecil

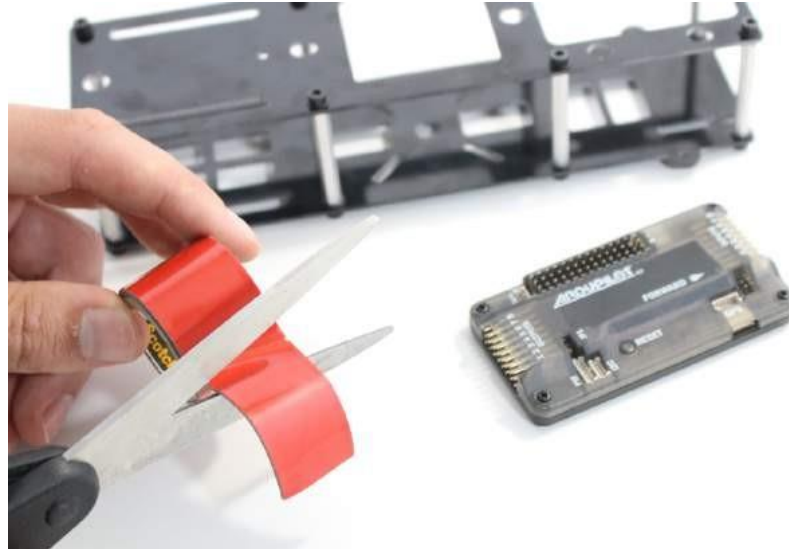
Langkah 1: Pasang Pengendali Penerbangan

Pengontrol penerbangan APM akan dipasang di pelat bawah bingkai bersih. Gunakan dua potongan kecil selotip dua sisi di kedua ujung pengontrol penerbangan untuk menempelkannya dengan kuat ke rangka (lihat Gambar 4-3 dan 4-4). Hindari menggunakan satu selotip besar, yang nantinya akan sulit dilepas. Rekaman itu memang memiliki beberapa kualitas isolasi getaran, jadi umumnya pita yang lebih tebal yang dapat Anda temukan, semakin baik (sampai tingkat tertentu; tidak perlu pita setebal 1/2 inci). Pastikan panah maju pada pengontrol penerbangan APM mengarah ke depan pada UAV, dan pengontrol penerbangan diposisikan langsung di tengah bingkai sebelum mendorongnya ke tempatnya (lihat Gambar 4-5).

Jalan Mana Yang Maju?

Ingat dari bab-bab sebelumnya bahwa badan pesawat kita memiliki bagian depan dan belakang yang jelas. Bagian belakang memiliki dua slot tali baterai yang panjang dan sempit di antara dua lubang pemasangan di belakang. Ini akan muncul di pelat atas dan bawah bingkai bersih. Indikator lainnya adalah boom terlipat ke belakang pada bingkai. Namun indikator lainnya adalah bahwa lubang besar yang akan ditutup oleh dudukan kamera (dibahas dalam

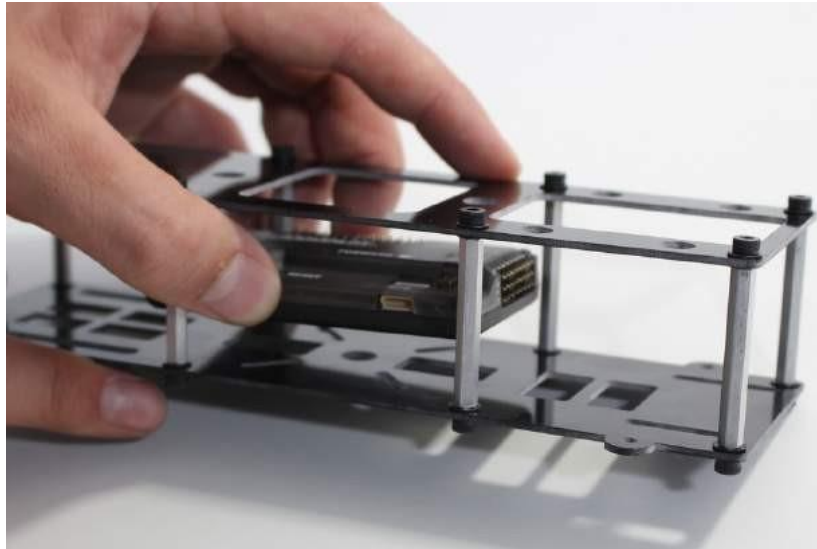
Bab 8) pada bingkai bersih berada di depan. Pastikan autopilot Anda mengarah ke depan— cari panah ke depan pada casing APM—dan berada di tengah mungkin. Mengarahkannya ke arah yang salah akan membuat penerbangan perdananya sangat singkat!



Gambar 4-3 Potong sekitar satu inci selotip dua sisi untuk digunakan dalam pemasangan APM.



Gambar 4-4 Potong selotip Anda menjadi dua dan letakkan setiap bagian di salah satu ujung APM, lalu lepaskan bagian belakangnya.



Gambar 4-5 Dengan pita perekat terbuka, posisikan APM di tengah—pastikan mengarah ke arah yang benar—dan tekan dengan kuat ke tempatnya.

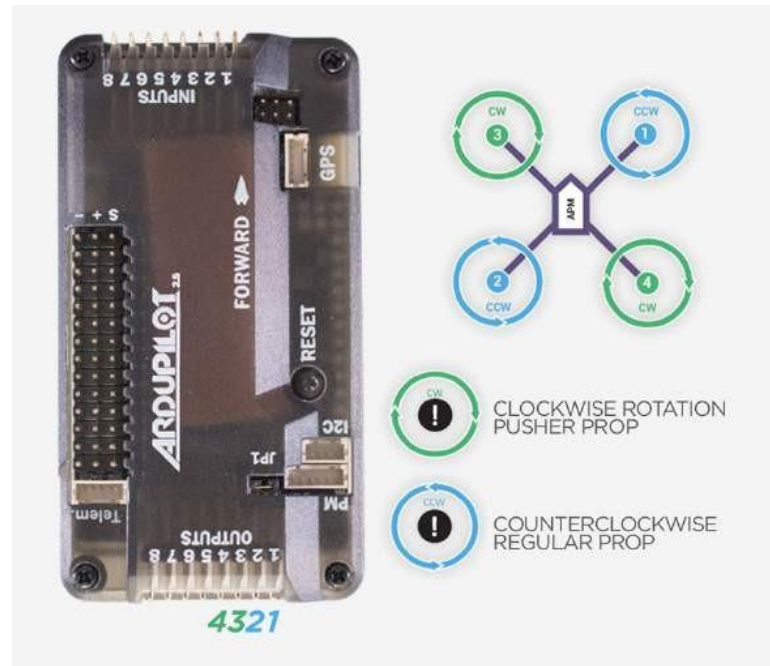
Langkah 2: Pasang Output Pengontrol Penerbangan

Seperti yang telah kita diskusikan, pengontrol penerbangan tidak lebih dari sebuah mikroprosesor yang mengambil serangkaian input, menjalankan perhitungan pada input tersebut, dan kemudian mengirimkan sinyal yang sesuai untuk membuat Anda tetap di udara. Pada titik ini, satu-satunya hal yang harus kami sambungkan ke pengontrol penerbangan adalah motor dan ESC (output) kami. Lihatlah output berlabel 1–8 pada APM. Perhatikan bahwa setiap keluaran memiliki tiga pin header yang ditumpuk secara vertikal di bawah nomor yang melabelinya. Ketiga pin tersebut untuk sinyal, daya, dan ground yang ditemukan di setiap servo lead pada ESC Anda. Mereka bahkan diberi label di sebelah kanan pin (S, +, -); lihat langsung mereka dari bagian belakang unit.

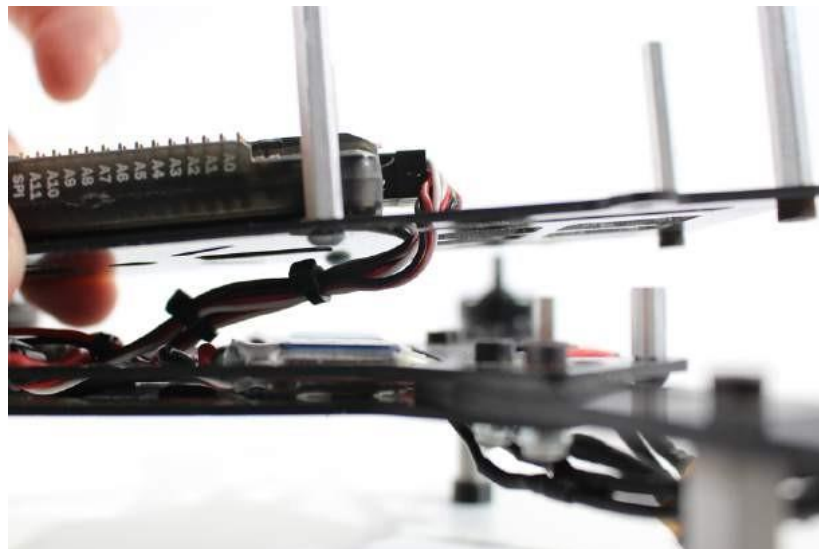
Standar Warna Kawat

Standar tiga kabel yang Anda lihat di ESC terkadang disebut kabel servo. Ini selalu berisi kabel daya, sinyal, dan ground dengan konektor header perempuan yang Anda lihat. Yang bisa berubah adalah warna kabelnya. Sebagai aturan praktis, kekuatannya akan selalu merah, tetapi warna lain bisa termasuk dalam salah satu dari dua gaya. Mereka akan menjadi hitam = ground/putih = sinyal, atau coklat = ground/oranye = sinyal. Mempelajari ini sekarang akan menyelamatkan Anda dari sakit kepala.

Output 1 dan 2 masing-masing untuk motor NE dan SW. Identifikasi pengontrol kecepatan yang menangani setiap motor, dan pasang kabel servo dari ESC tersebut ke port output yang sesuai. Pastikan semua kabel arde (hitam) berada di bagian bawah kabel servo saat dicolokkan. Ulangi langkah ini, tambahkan motor NW ke output 3, dan motor SE ke output 4. Ini diilustrasikan dengan jelas pada Gambar 4-6.



Gambar 4-6 Setiap motor memiliki keluaran khusus dan arah putaran; unit APM dan diagram APM keduanya menunjuk ke arah depan yang sama.

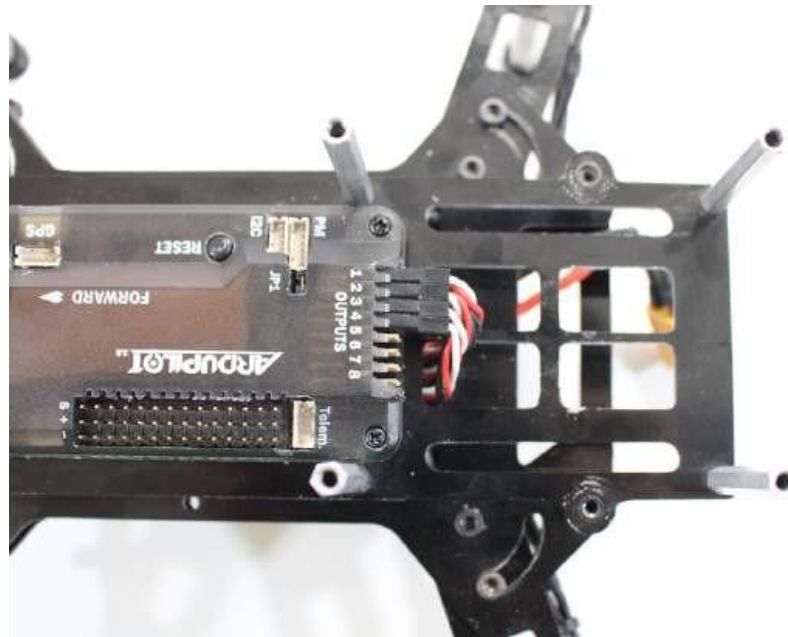


Gambar 4-7 ESC kami memimpin rute dengan baik dari bingkai kotor ke atas melalui lubang di bagian belakang bingkai bersih, memberi mereka akses mudah ke port output pada APM (perhatikan bahwa pelat bingkai bersih atas telah dilepas sehingga kami bisa mendapatkan foto yang lebih baik— tidak diperlukan untuk melakukan ini).

Untuk merutekan kabel ini dengan benar, ambil pena cat kecil atau Sharpie dan beri label setiap steker ESC dengan nomor output yang sesuai. Setelah diberi label dengan jelas, sejajarkan ujung semua colokan dan letakkan satu atau dua dasi kecil di sepanjang panjang kabel tepat di bawah colokan. Ini akan membantu menjaga semuanya tetap rapi dan teratur. Sekarang dorong kelompok kabel itu melalui salah satu dari empat lubang persegi panjang di

bagian belakang bingkai bersih (dekat pin keluaran APM). Lihat Gambar 4-7 untuk foto detail dari proses ini.

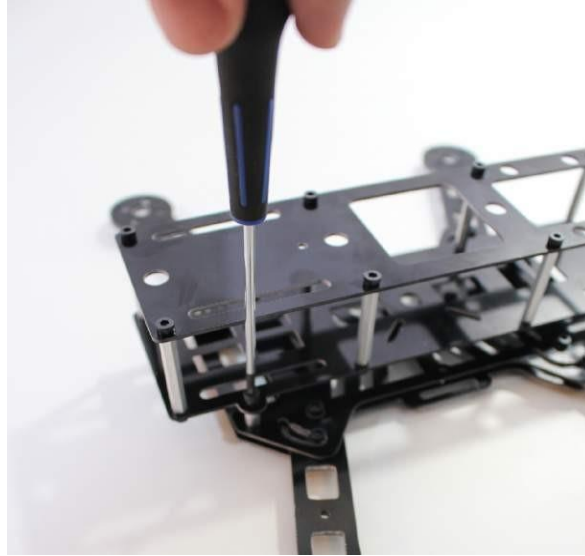
Sekarang, cukup tancapkan masing-masing colokan ESC ke output APM yang Anda beri label sebelumnya. Jika Anda mengikuti langkah-langkah ini dengan benar, Anda akan memiliki koneksi yang rapi antara APM Anda dan ESC pesawat, mirip dengan Gambar 4-8. Perhatikan perhatian yang kami berikan untuk menjaga kabel serapi mungkin. Bangunan yang bersih lebih mudah untuk dikerjakan.



Gambar 4-8 Semua ESC kami dicolokkan ke output APM (Catatan: pelat bingkai bersih atas telah dilepas sehingga kami bisa mendapatkan foto yang lebih baik. Tidak perlu melakukan ini).

Langkah 3: Lampirkan Dua Subframe ke Satu Sama Lain

Sekarang setelah ESC kita terhubung ke APM, kita dapat melanjutkan dan melampirkan dua subframe satu sama lain. Jika Anda ingat, kami membahas langkah ini di akhir Bab 2 saat kami sedang membangun bingkai. Jika Anda tidak mengingat langkah ini, lihat kembali "Langkah 4: Pasang Dua Subframe Bersama". Sebagai tinjauan singkat, Anda menjalankan empat sekrup pemasangan 5 mm melalui tab pemasangan pada rangka yang bersih ke dalam standoff pendek yang terletak di bagian atas rangka yang kotor. Gambar 4-9 mungkin menarik ingatan Anda.



Gambar 4-9. Akhirnya, kami siap untuk melampirkan dua subframe kami satu sama lain!

4.7 PENUTUP

Sekarang kami memiliki pengontrol penerbangan yang terpasang dengan kuat ke rangka yang bersih, dan memiliki output ke empat motor. Periksa kembali semua koneksi dan pastikan kabel yang sesuai masuk ke port yang sesuai. Memeriksa ulang sekarang dapat menyelamatkan Anda dari sakit kepala nanti.

BAB 5

GPS, KOMPAS, DAN MONITOR BATERAI

Dalam bab ini, kita akan membahas tiga aksesori yang akan kita tambahkan ke drone kita. Masing-masing komponen ini sendiri akan membuat bab yang cukup kecil, jadi kami pikir kami akan membahas ketiganya dalam satu bab.

5.1 GPS

Satu fitur dengan jelas menarik garis antara drone dan pesawat model: kemampuan untuk beroperasi menggunakan GPS (lihat Gambar 5-1). Penambahan teknologi navigasi satelit ini memungkinkan tingkat kontrol yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan. Kontrol ekstra ini memungkinkan perancang drone untuk mengembangkan mode penerbangan untuk jenis penerbangan tertentu.



Gambar 5-1 Unit GPS uBlox 3DR dengan kompas bawaan.

5.2 MODE PENERBANGAN

Mari kita tinjau beberapa jenis mode penerbangan yang memungkinkan GPS.

Loiter (posisi dan ketinggian)

Mungkin fitur GPS yang paling sering digunakan, loiter melakukan persis seperti namanya: ia menahan pesawat di lokasi tertentu (lintang, bujur, dan ketinggian) dengan menekan tombol. Saat dalam posisi ditahan, pesawat akan mengoreksi sendiri lokasinya jika diubah oleh kekuatan luar. Misalnya, begitu loiter diaktifkan, pesawat secara otomatis akan terbang kembali ke lokasi semula jika angin mendorongnya menjauh. Ini biasanya dalam kisaran plus atau minus dua meter bila dikonfigurasi dengan benar. Pendekatan yang sama diambil dengan ketinggian. Penahan ketinggian biasanya dalam jarak plus atau minus tiga meter, dan dapat menggunakan sensor tambahan selain GPS, seperti barometer internal.

Kembali ke Rumah (RTH) gagal aman

Salah satu fitur keselamatan terbaik di UAV modern. Kembali ke Rumah (RTH) hanya dimungkinkan bila GPS digunakan. Mode ini memungkinkan pesawat untuk menentukan

lokasi awal, biasanya lokasi lepas landas asli, dan kembali ke sana dalam keadaan gagal aman tertentu. Kehilangan koneksi radio ke pesawat Anda adalah salah satu pemicu umum untuk RTH. Ini bisa terjadi jika baterai radio Anda mati saat dalam penerbangan atau jika Anda terbang di luar jangkauan siaran radio. Beberapa orang juga memprogram sakelar khusus di radio mereka untuk menggunakan RTH.

Keamanan RTH

Meskipun ini adalah fitur hebat yang pasti dapat menyelamatkan pesawat Anda pada saat dibutuhkan, fitur ini hanya boleh digunakan sebagai failsafe, bukan fitur umum. Jangan pernah menerbangkan pesawat Anda terlalu jauh sehingga Anda tidak dapat membawanya kembali sendiri. Dengan kata lain, jangan mengandalkan fitur RTH.

Navigasi titik jalan

Penggunaan data GPS yang sedikit lebih maju adalah navigasi otonom melalui titik jalan yang diprogram. Perangkat lunak kontrol darat mengunggah daftar instruksi navigasi ke pengontrol penerbangan, yang menjalankannya, selangkah demi selangkah, sebagai misi lengkap. Teknik ini sangat berguna dalam industri pemetaan UAV, di mana pola penerbangan tertentu perlu diterbangkan berkali-kali. Selalu konfirmasi kinerja GPS yang optimal di pesawat Anda sebelum mencoba terbang melalui titik arah. Jika pesawat dapat menahan posisi dan RTH dengan aman, pesawat itu harus lebih dari kemampuan terbang titik arah.

Apakah GPS Saya Bekerja dengan Benar?

Salah satu cara yang bagus untuk mengetahui seberapa akurat GPS Anda tanpa menjalankan risiko misi penerbangan yang rumit adalah dengan melihat lokasinya di dalam perangkat lunak kontrol darat Anda. Tempatkan pesawat dalam satu posisi stabil di lapangan terbuka yang besar tanpa memindahkannya. Jika pesawat tampak melayang di perangkat lunak kontrol darat, Anda mungkin mengalami gangguan yang memengaruhi GPS Anda. Coba reposisi dan ulangi tes. Pilihan lain adalah menaikkannya lebih tinggi dari komponen elektronik lainnya.

Penggunaan terbaru untuk data GPS di dunia multirotor saat ini adalah fungsi Follow Me. Mode ini memungkinkan pengguna untuk mengirim aliran data lokasi pengguna secara real-time ke drone, melalui penggunaan aplikasi seluler. Drone kemudian menggunakan data lokasi itu dari ponsel Anda untuk mengikuti Anda dari ketinggian dan jarak yang telah ditentukan. Kemungkinan untuk liputan olahraga saja sangat fantastis—bayangkan drone kamera selalu melayang 20 kaki di atas kepala quarterback—tetapi Follow Me harus digunakan dengan hati-hati. Karena sebagian besar UAV kecil tidak memiliki teknologi Sense and Avoid, mode Follow Me dapat menyebabkan masalah di lingkungan yang padat atau padat. Jika Anda bermain ski di bawah cabang pohon itu, quad Anda tidak akan dapat mengetahuinya di sana dan bisa terbang langsung ke dalamnya.

5.3 KOMPAS

Sementara GPS memungkinkan drone kami untuk mendapatkan tingkat otonomi yang lebih tinggi, itu tidak akan bernilai banyak jika tidak dapat mempertahankan arahnya. Di situlah kompas berperan. Sering digabungkan bersama dengan GPS menjadi satu unit (seperti dalam demo build kami), kompas memberi tahu drone kami tidak hanya di mana semua arah

mata angin berada, tetapi juga ke arah mana ia menunjuk saat startup dan perubahan apapun yang terjadi selama pengoperasiannya.

Apakah Ini Benar-benar Kompas?

Bagi sebagian besar dari kita, istilah kompas mungkin memunculkan gambar instrumen bundar mengkilap yang Anda lihat pada perjalanan hiking atau petualangan pramuka pertama Anda. Anda tahu yang saya bicarakan, dengan jarum yang selalu menunjuk ke utara. APM Anda sebenarnya tidak memiliki perangkat seperti itu di dalamnya. Ia menggunakan sensor elektronik kecil yang disebut magnetometer untuk menemukan bantalan kompasnya. Sama seperti kompas tradisional, magnetometer mengukur medan magnet di sekitarnya dan menggunakan informasi itu untuk menentukan ke arah mana ia menghadap hanya saja ia melakukannya tanpa jarum mewah. Selama buku ini, istilah kompas dan magnetometer akan dipertukarkan.

5.4 BATERAI MONITOR

Aksesori kecil tapi sangat penting lainnya dalam pembuatan kami adalah monitor baterai (di beberapa kalangan juga disebut modul daya). Sementara beberapa pengontrol penerbangan lainnya memiliki beberapa bentuk pemantauan baterai bawaan seperti modul daya internal APM memungkinkan Anda untuk menambahkannya sebagai sensor opsional. Meskipun opsional, kami sangat menyarankan Anda menambahkan satu ke pesawat Anda (lihat Gambar 5-2). Ini menyediakan beberapa data terpenting yang dapat Anda minta dan umumnya dilengkapi dengan sebagian besar APM sebagai bagian dari bundel dasar (tergantung dari mana Anda membelinya).



Gambar 5-2 Monitor baterai inline kami mengumpulkan data misi yang sangat penting saat kami terbang.

Teori di balik monitor baterai sederhana: tempatkan papan sirkuit kecil sejajar dengan kabel utama baterai dan biarkan mengumpulkan tegangan kritis dan informasi arus listrik yang diumpankan kembali ke APM. Dari sana, kita dapat mengarahkan firmware untuk melakukan

beberapa hal yang berbeda dengan informasi tersebut, seperti secara otomatis kembali ke rumah (RTH) ketika tegangan tertentu tercapai sebagai ukuran failsafe.

5.5 PETUNJUK PEMBUATAN

Langkah-langkah berikut akan memandu Anda melalui pemasangan GPS, kompas, dan monitor baterai. Meskipun bagian bangunan ini mungkin tampak cukup sederhana dari perspektif pemasangan, harap perhatikan baik-baik, karena kesalahan ini dapat berdampak besar pada stabilitas dan keandalan pesawat Anda:

Langkah 1: Pasang Puck GPS

Memasang keping GPS mungkin merupakan salah satu langkah paling sederhana dari keseluruhan pembuatan ini. Penting untuk diketahui bahwa sebagian besar keping GPS juga berisi kompas, yang berarti mereka memiliki bagian depan dan belakang khusus. Selalu pastikan panah ke depan mengarah ke depan pesawat. Jika komponen GPS Anda dilengkapi dengan braket pemasangan yang dinaikkan, gunakanlah (lihat Gambar 5-3). Jika tidak dan Anda tidak memiliki cara untuk membuatnya—Anda dapat memesannya dari Robotika 3D atau Gudang Pembuat. Biasanya dianggap sebagai praktik terbaik untuk menempatkan keping GPS (dengan kompas internal) tinggi di atas perangkat elektronik lainnya untuk menghindari gangguan magnetik. Ikuti instruksi perakitan yang disertakan dengan braket pemasangan Anda, lalu pasang braket ke bagian atas bingkai drone sedekat mungkin dengan pusat gravitasi. Tempelkan selotip dua sisi dalam jumlah banyak ke braket atau temukan cara untuk memasangnya di tempatnya untuk menahannya di tempatnya.



Gambar 5-3 3DR membuat tiang yang bagus untuk GPS uBlox.

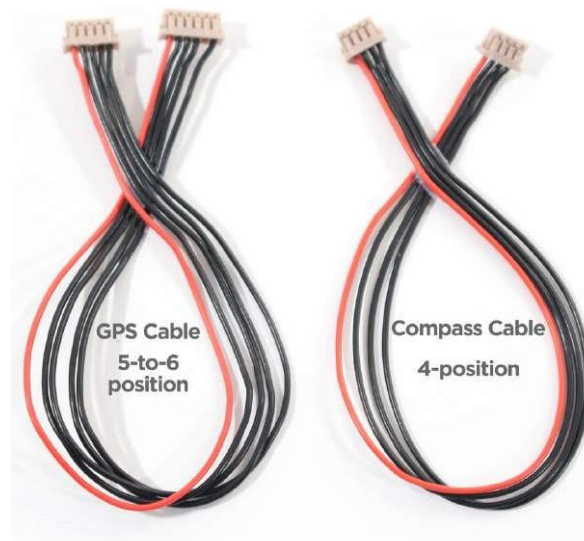
Untuk build kami, kami membuat dudukan GPS kami sendiri dari standoff ekstra 37 mm dan basis cetak 3D (lihat Gambar 5-4). Itu adalah unit yang akan Anda lihat di sebagian besar gambar yang tersisa di bab ini. Tergantung pada unit GPS yang Anda gunakan, beberapa desain terbuka tersedia di Internet untuk dudukan yang dapat dicetak 3D.



Gambar 5-4 Kami ingin menjaga semuanya tetap sederhana dengan tiang GPS DIY ini.

Langkah 2: Hubungkan GPS dan Kompas ke APM

Jika Anda membeli GPS uBlox 3DR untuk bangunan Anda, seharusnya dilengkapi dengan dua (mungkin lebih) kabel kecil yang memungkinkan Anda menghubungkannya ke APM. Keluarkan dari tas dan periksa dengan cermat. GPS ini dapat bekerja dengan beberapa sistem autopilot yang berbeda, sehingga kemungkinan akan dikirimkan dengan berbagai kabel untuk menutupi semua pangkalan. Dua yang ingin Anda temukan diidentifikasi sebagai kabel 4-posisi dan kabel 5-ke-6-posisi. Ini mungkin terdengar sedikit lucu pada awalnya, tetapi ini cukup sederhana. Posisi menunjukkan berapa banyak kabel yang dapat dipasang ke ujung steker. Dalam kasus kami, kami memiliki satu kabel yang memiliki empat posisi di kedua ujungnya dengan empat kabel yang berjalan di antaranya. Yang ini untuk kompas (magnetometer). Kabel kedua kami memiliki steker 5 posisi di satu ujung dan steker 6 posisi di ujung lainnya dengan lima kabel yang berjalan di antara keduanya. Itu benar, salah satu colokan Anda akan memiliki tempat kosong di steker; ini normal, jadi jangan khawatir. Kita akan membahas mengapa hal itu terjadi nanti, tetapi untuk sekarang, lihat kabel yang akan kita gunakan pada Gambar 5-5. Jika Anda tidak mendapatkan kabel ini dengan kompas Anda, beri tahu vendor Anda segera, terutama jika Anda membeli APM dan GPS bersama-sama dari toko yang sama!



Gambar 5-5 Pastikan Anda memiliki kabel yang tepat untuk pekerjaan itu.

Sekarang kita telah mengidentifikasi kabel yang tepat, mari kita lihat unit GPS itu sendiri. Tidak ada banyak untuk itu; itu adalah kotak hitam kecil dengan dua port di sisi kiri berlabel GPS dan MAG. Setelah pemeriksaan lebih dekat Anda akan melihat bahwa port GPS memiliki enam pin kecil di dalamnya dan port MAG memiliki empat. Apakah ini mulai masuk akal sekarang? Kabel GPS posisi 5-ke-6 akan menyambungkan ujung 6-posisi ke port GPS, sedangkan kabel kompas akan mengambil salah satu ujung kabel 4-posisi kami (lihat Gambar 5-6).



Gambar 5-6 Dua port di samping keping GPS kami.

Sekarang kita memiliki salah satu ujung kabel yang terhubung ke keping GPS, mari pasang ujung lainnya ke APM. Temukan steker 5 posisi yang terhubung ke port GPS (pada keping GPS kami) dan colokkan ke port GPS di APM (di sebelah panah maju di atas). Sekarang, ambil sisa steker 4 posisi dan masukkan ke port I2C (singkatan dari inter-integrated circuit dan

diucapkan I-squared-C). Lihat Gambar 5-7 untuk detail tentang bagaimana kedua kabel ini terhubung.



Gambar 5-7 GPS dan kompas (magnetometer) kami dicolokkan ke APM.

Di Jalan Mana Steker Duduk?

Berikut adalah cara cepat dan mudah untuk mengetahui bagaimana steker harus dimasukkan ke dalam komponen Anda. Semua kabel yang dimasukkan ke dalam unit APM itu sendiri akan selalu memiliki satu kabel merah di sisi kanan (sebagaimana ditentukan oleh label teks port). Anehnya, kami menemukan kebalikannya pada unit GPS uBlox; kabel merah selalu di kiri. Ini menjadi jelas dari tempat GPS dan APM dihubungkan pada Gambar 5-7.

Langkah 3: Pasang Monitor Baterai

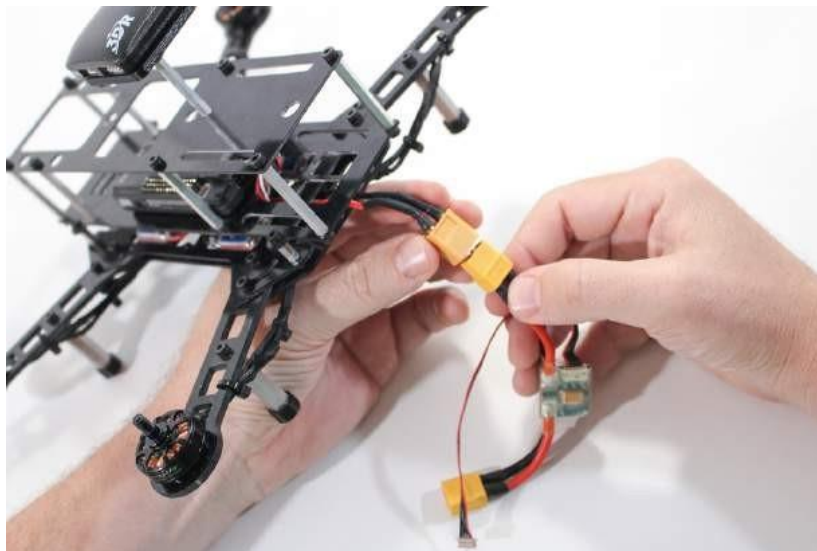
Akhirnya, kami akan memasang monitor baterai kami. Ingat, ini adalah aksesori opsional. Jika Anda memilih untuk meninggalkan milik Anda—mungkin Anda ingin menghemat beberapa gram berat badan—lalu lewati langkah ini. Meskipun demikian, ada banyak nilai dalam memiliki data penting ini yang dipantau selama penerbangan drone Anda, dan kami mendorong Anda untuk maju dengan bagian pembuatan ini.

Gambaran pemasangannya cukup sederhana: pertama, kami mencolokkan kabel baterai utama kami dari papan distribusi daya (atau kabel daya) ke monitor baterai kami, kemudian kami mencolokkan steker 6 posisi ke port PM pada APM. Baterai penerbangan sekarang akan dicolokkan ke monitor baterai daripada kabel daya utama yang keluar dari papan distribusi daya. Gambar 5-8 menunjukkan monitor baterai terpasang di bangku.



Gambar 5-8 Monitor baterai kami terpasang di bangku, berbicara dengan APM melalui kabel 6 posisi yang dihubungkan ke port PM.

Mulailah dengan mencolokkan monitor baterai ke kabel baterai utama dari papan distribusi daya (lihat Gambar 5-9). Ini adalah kabel yang sama yang biasanya Anda gunakan untuk menyambungkan baterai jika Anda tidak menggunakan monitor baterai.



Gambar 5-9 Monitor baterai Anda harus memiliki jenis colokan yang sama dengan kabel baterai utama Anda (XT-60, dalam kasus kami).

Selanjutnya, kita perlu memasang monitor baterai kita di bagian belakang bingkai kita (lihat Gambar 5-10). Mulailah dengan mendorong steker kabel baterai asli ke dalam ruang antara bingkai yang bersih dan kotor hingga ke bagian belakang bingkai. Itu harus pas di sana dengan baik dan pas dengan monitor yang terletak di bagian bawah bingkai yang bersih. Pastikan untuk merutekan kabel 6 posisi melintasi bagian bawah bingkai melalui lubang yang sama dengan yang Anda rutekan colokan ESC sebelumnya dalam buku ini. Kabel ini akan cukup

panjang untuk mencapai port PM pada APM, tujuan akhirnya. Karena kabel pada monitor baterai kami sangat pendek, kami dapat memasang monitor itu sendiri ke bagian belakang bingkai dengan satu atau dua ikatan ritsleting sehingga kabel baterai yang baru terbuka dan mudah diakses oleh baterai penerbangan kami (lihat Gambar 5-11).



Gambar 5-10 Memasang monitor baterai kami dan siap dipasang ke rangka.



Gambar 5-11 Kabel baterai baru dapat diakses oleh baterai penerbangan.

Sekarang hanya ada satu hal yang harus dilakukan: pasang kabel 6 posisi yang keluar dari monitor baterai Anda ke port PM seperti yang ditunjukkan sebelumnya di bab ini. Pastikan kabel merah di dalam kabel berada di sisi kanan (seperti yang ditunjukkan oleh label port).

5.6 PENUTUP

Itu saja untuk GPS, kompas, dan monitor baterai. Nanti di buku ini, kami akan menggunakan perangkat lunak pengontrol penerbangan untuk mengonfirmasi bahwa GPS mengambil sinyal yang kami cari. Kami juga akan melihat pengaturan untuk monitor baterai. Untuk saat ini, lanjutkan ke bab berikutnya.

BAB 6 PEMANCAR

6.1 APA ITU PEMANCAR?

Sejauh ini kita telah berbicara tentang banyak komponen yang berbeda dari pesawat Anda tetapi belum berbicara tentang bagaimana pesawat dikendalikan. Di situlah pemancar masuk (lihat Gambar 6-1). Pemancar adalah remote control untuk pesawat Anda. Anda dapat menggunakan pemancar untuk mengirim perintah ke pesawat Anda dengan memanipulasi tongkat, penggeser, tombol, atau sakelarnya. Perintah dikirim dari pemancar ke penerima di pesawat, yang mengirimkan perintah tersebut ke autopilot atau komponen lainnya.



Gambar 6-1 Pemancar Taranis yang populer, dibuat oleh FrSky.

6.2 PITA FREKUENSI PALING UMUM

Pada hari-hari awal pesawat RC, pemodel beroperasi di kisaran yang lebih rendah dari pita frekuensi AM. Ini bekerja dengan baik untuk jarak jauh tetapi memiliki satu kelemahan utama: hanya satu orang yang dapat disetel ke frekuensi itu pada satu waktu. Jika teman Anda memiliki saluran yang sama pada pemancarnya, dia dapat mengganggu pesawat Anda hanya dengan menyalakannya.

Pemancar modern telah mengatasi masalah ini dengan berpindah ke pita frekuensi 2,4 GHz yang lebih tinggi dan menggunakan lompatan frekuensi untuk memastikan bahwa tidak seorang pun pernah berada pada frekuensi yang sama pada waktu yang sama persis. Bahkan baru-baru ini, beberapa pabrikan mulai memindahkan saluran kontrol RC mereka ke pita frekuensi 5,8 GHz. Hal ini dilakukan agar mereka dapat mencadangkan pita frekuensi 2,4 GHz untuk transmisi video (yang akan kita bahas lebih rinci di Bab 8). Penting untuk mengetahui dengan tepat pita frekuensi mana yang Anda operasikan, karena terbang dalam kelompok di

mana frekuensi yang saling bertentangan menghalanginya untuk wilayah udara dapat menyebabkan masalah.

6.3 MODE BERBEDA DI SELURUH DUNIA

Satu hal penting yang perlu diketahui saat membeli pemancar RC adalah mode operasinya. Mode 2 digunakan di Amerika Serikat. Ini menempatkan throttle dan kemudi di stick kiri, dengan pitch and roll di stick kanan. Mode 1 digunakan di seluruh Eropa dan Jepang dan membalikkan kedua stik sehingga throttle berada di sebelah kanan.

PWM Versus PPM

Jika Anda telah berbelanja untuk pemancar RC sebelumnya, Anda mungkin pernah melihat istilah PWM dan PPM yang terkait dengannya. Mereka berdiri untuk modulasi lebar pulsa (PWM) dan modulasi posisi pulsa (PPM), masing-masing. Label ini mengidentifikasi protokol komunikasi yang berbeda antara receiver Anda (lihat Gambar 6-2) dan komponen di pesawat Anda. Perbedaan teknis utama antara keduanya adalah bahwa PPM adalah digital sedangkan PWM adalah analog. Sebagai pembuat, Anda akan melihat bahwa perbedaan pemasangan terbesar antara keduanya adalah bahwa PPM mengomunikasikan hingga sembilan saluran kontrol melalui satu kabel (komunikasi serial digital), sedangkan PWM memerlukan satu kabel untuk setiap saluran individu (komunikasi analog).



Gambar 6-2 Penerima enam saluran oleh Spektrum.

Penting untuk membaca dokumentasi receiver dan autopilot Anda untuk mengetahui protokol mana yang harus Anda gunakan. Jika PPM tersedia, kami sangat menyarankan Anda untuk menggunakannya, karena ini akan membersihkan instalasi Anda secara dramatis dengan lebih sedikit kabel. Namun, tidak semua perangkat keras mendukung protokol PPM, jadi konsultasikan dengan manual pemilik Anda untuk referensi lebih lanjut. Pada saat penulisan buku ini, APM tidak mendukung protokol komunikasi digital pada garpu firmware utamanya. Sejauh yang kami tahu, beberapa pengembang telah mampu membuat firmware khusus yang mendukungnya, tetapi kami tidak menyarankan Anda untuk menginstal firmware yang belum diuji dari pengembang indie sebagai pendatang baru dalam hobi ini. Tetap dengan rilis resmi untuk saat ini, dan Anda akan jauh lebih bahagia dalam jangka pendek!

6.4 PETUNJUK PEMBUATAN

Untuk bagian bangunan ini, Anda akan membutuhkan:

- Pita dua sisi busa satu inci
- Gunting
- Lead servo pria-ke-pria

Langkah 1: Identifikasi Apa yang Anda Butuhkan

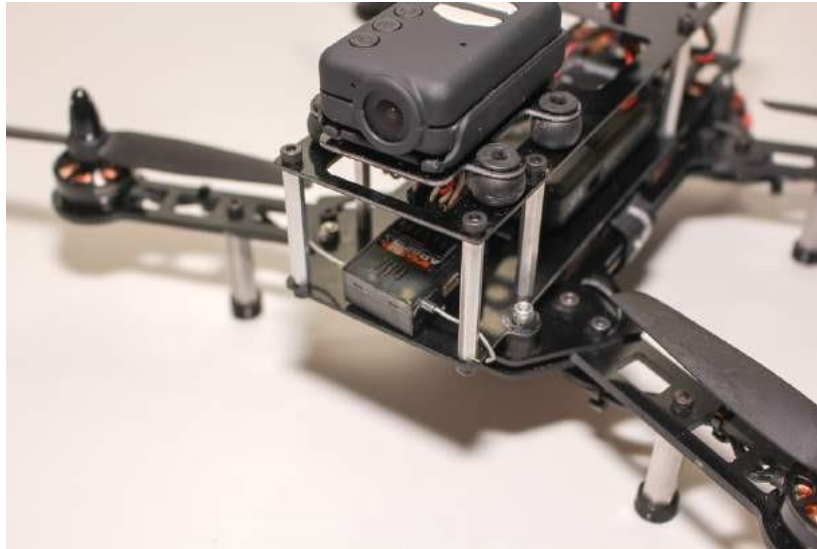
Ide tingkat tinggi di balik pemasangan penerima RC itu mudah. Anda secara fisik memasang penerima pada bingkai, lalu pasang serangkaian kabel di antara penerima dan autopilot. Karena perbedaan antara PWM dan PPM, serta standar pabrikan yang berbeda, ada lusinan skenario koneksi yang berbeda antara receiver Anda dan autopilot; namun, kami hanya akan membahas satu di sini. Contoh tersebut akan menjadi koneksi PWM ke penerima gaya Spektrum (lihat Gambar 6-3). Jika Anda sedang membangun sesuatu yang berbeda, lihat manual pemilik autopilot dan pemancar Anda untuk urutan koneksi yang benar.



Gambar 6-3 Penerima Spektrum kami dicolokkan ke input APM di bangku.

Langkah 2: Pasang Penerima

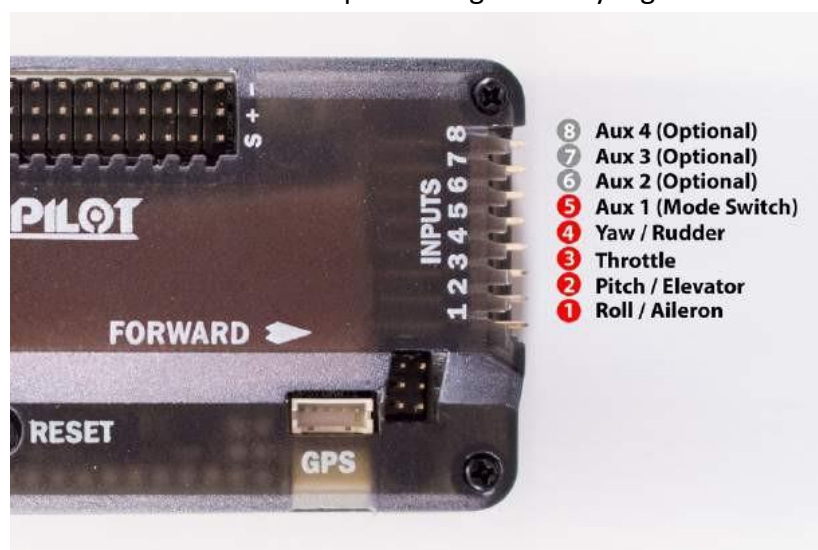
Gunakan sepotong pita dua sisi busa tebal untuk memasang penerima di suatu tempat di badan pesawat Anda (lihat Gambar 6-4). Kami merekomendasikan menempatkannya di dalam bagian depan bingkai, karena ini akan memberi Anda akses lebih mudah ke port input APM nanti di build.



Gambar 6-4 Penerima Spektrum dipasang di hidung badan pesawat.

Langkah 3: Colokkan Penerima

Ambil lima kabel servo pendek pria-ke-pria dan sambungkan sesuai dengan Gambar 6-5. Hubungkan input 1 ke saluran roll receiver Anda, input 2 ke saluran pitch, input 3 ke saluran throttle, input 4 ke saluran yaw, dan terakhir masukan 5 ke Aux 1. Kami akan menggunakan saluran ini untuk beralih di antara mode penerbangan kami yang berbeda.



Gambar 6-5 Skema pengkabelan PWM untuk APM.

BAB 7 RADIO TELEMETRI

7.1 PEMANTAUAN DAN KONTROL PERANGKAT LUNAK

Sekarang, Anda mungkin telah memperhatikan satu hal yang sangat penting tentang pemancar RC: mereka hanya mengirim komunikasi dalam satu arah, dari pemancar ke pesawat. Untuk mendapatkan akses ke salah satu data onboard dari pesawat Anda, kami harus menggunakan radio dua arah khusus yang dikenal sebagai tautan telemetri.

Pilih Frekuensi yang Tepat

Radio telemetri beroperasi pada dua frekuensi standar. Di Amerika Serikat, kami biasanya menggunakan pita 915 MHz, sedangkan pita 433 MHz lebih disukai di Eropa. Standar ini dibuat untuk membantu menghindari interferensi dari elektronik lain di pasar terbuka. Mengoperasikan pada pita frekuensi yang salah dapat menjadi ilegal di beberapa bagian dunia. Pastikan untuk memeriksa undang-undang di negara Anda untuk melihat standar apa yang harus Anda gunakan.

Seperti namanya, tautan telemetri mengambil serangkaian pengukuran dari pesawat Anda dan mengirimkannya kembali ke tanah di mana mereka dapat ditampilkan dalam perangkat lunak kontrol darat (Gambar 7-1). Selain itu, data—seperti titik jalan, misi penerbangan otonom, dan konfigurasi pesawat—dapat dikomunikasikan ke pesawat dari perangkat lunak kontrol darat yang sama.



Gambar 7-1 Tablet Android ini dapat digunakan stasiun bumi dengan penambahan radio telemetri dan aplikasi gratis.

Memiliki akses ke jenis informasi ini saat Anda masih aman di lapangan bisa menjadi keuntungan besar. Ini dapat membantu Anda mengidentifikasi masalah sebelum menjadi tidak terkendali. Beberapa titik data yang dibutuhkan perangkat lunak kontrol tanah Anda adalah garis lintang, garis bujur, ketinggian, posisi pesawat, tegangan baterai saat ini, arah pesawat, kecepatan dan durasi penerbangan, dan masih banyak lagi. Anda dapat menemukan

daftar lengkap semua data yang dikomunikasikan dalam manual perangkat lunak kontrol tanah Anda.

7.2 PETUNJUK PEMBUATAN

Untuk bagian bangunan ini, Anda akan membutuhkan:

- Pita dua sisi busa satu inci
- Satu inci Velcro
- dasi zip

Langkah 1: Pasang Radio Stasiun Bumi

Perangkat radio telemetri Anda sebenarnya akan datang dengan dua radio yang berbeda. Satu masuk ke pesawat sementara yang lain terhubung ke perangkat lunak kontrol darat Anda (Gambar 7-2). Radio darat dapat dipasang dengan berbagai cara; namun, kami biasanya menggunakan Velcro di bagian belakang tablet atau laptop yang menjalankan perangkat lunak tersebut. Ini memungkinkan kami untuk menghapus radio saat kami tidak menggunakan perangkat lunak kontrol tanah.



Gambar 7-2 Velcro memegang radio telemetri di bagian belakang tablet kami saat digunakan dan memungkinkan pelepasan yang mudah saat kami tidak terbang.

Perangkat Lunak Stasiun Bumi

Karena APM adalah platform open source, sejumlah bundel perangkat lunak stasiun bumi tersedia untuk itu. Favorit pribadi kami adalah Tower untuk tablet Android dan Mission Planner untuk PC berbasis Windows. Jika Anda menggunakan laptop Mac, periksa APM Planner. Ini sangat mirip dengan Mission Planner, tetapi lintas platform dengan build yang tersedia untuk Windows, OS X, dan Linux.

Langkah 2: Siapkan Radio Pesawat untuk Pemasangan

Untuk radio pesawat, kami sarankan menggunakan pita busa dua sisi untuk memasang radio ke rangka (Gambar 7-3). Potong dua strip kecil dengan lebar sekitar 1/2 inci dan letakkan

di ujung radio yang berlawanan. Untuk lokasi, ada beberapa fleksibilitas di sini, tetapi kami sarankan Anda menempatkan radio di bagian belakang badan pesawat. Ini akan memindahkan radio telemetri sejauh mungkin dari penerima RC. Jangan pasang radio dulu. Kami ingin memasang kaset dan menyiapkannya, tetapi kami masih perlu memasang radio, dan ini akan lebih mudah dilakukan jika belum dipasang.



Gambar 7-3 Pita busa dua sisi dapat digunakan untuk mengencangkan radio ke rangka udara.

Jalan Mana yang Naik?

Pastikan Anda memasang komponen ini di tempat yang benar. Anda dapat dengan mudah mengidentifikasi bagian depan bingkai karena memiliki potongan besar untuk dudukan isolasi getaran tempat kamera akan duduk. Peningat bagus lainnya adalah boom melipat ke belakang pada bingkai, bukan ke depan.

Langkah 3: Colokkan Radio

Menghubungkan radio telemetri baru Anda tidak bisa lebih sederhana (lihat Gambar 7-4). Temukan kabel yang benar yang disertakan dengan perangkat radio dan colokkan ke bagian belakang radio pesawat. Kabel ini akan memiliki lima kabel individual (empat hitam dan satu merah), tetapi steker di kedua ujungnya akan memiliki slot untuk enam kabel, membiarkan salah satunya kosong. Ini normal. Ujung kabel yang lain akan dicolokkan ke port telemetri pada autopilot Anda.



Gambar 7-4 Mencolokkan radio telemetri akan jauh lebih mudah jika dilakukan sebelum dipasang ke bingkai.

Langkah 4: Pasang Radio Pesawat

Sekarang setelah Anda memasang radio, lanjutkan dan pasang di bagian belakang badan pesawat (lihat Gambar 7-5). Pita perekat dua sisi harus menahannya dengan aman di tempatnya. Pastikan antena menonjol dari bingkai cukup jauh untuk memungkinkan antena berputar bebas sesuai kebutuhan, tetapi tidak terlalu jauh sehingga menghalangi saat Anda menanganinya.



Gambar 7-5 Produk akhir dengan radio terpasang di tempatnya.

Anda akan melihat tab kecil di sisi colokan kabel yang memungkinkan kabel untuk dicolokkan hanya ke satu arah. Temukan tab tersebut dan identifikasi arah sebelum menerapkan tekanan (lihat Gambar 7-6).



Gambar 7-6 Tab pemandu di sisi masing-masing steker memungkinkan mereka hanya dicolokkan dengan benar.

BAB 8

PERALATAN KAMERA DAN FPV

Fotografi udara saat ini adalah penggunaan drone nomor satu, jadi topik kamera pada drone bisa menjadi buku tersendiri. Buku itu bisa mencakup spektrum yang luas dari pengaturan, dari yang besar Rig bioskop Hollywood senilai Rp 750.000.000, hingga kamera olahraga aksi kecil, seperti yang akan kami gunakan pada demo build kami. Bab ini menyentuh dasar-dasar memiliki kamera fixed-mount dengan kemampuan untuk menyiarkan langsung, biasanya ke monitor kecil atau kaca mata video.

8.1 KAMERA DRONE POPULER

Memilih kamera yang tepat untuk drone Anda bisa terasa seperti tugas yang sulit jika Anda baru mengenal topik tersebut. Lima hal teratas yang selalu kami cari saat memilih kamera baru untuk drone kami adalah:

Berat dan ukuran

Seperti setiap komponen lain di dunia drone, bobot selalu menjadi salah satu kualitas pertama yang harus dipertimbangkan. Itu selalu lebih diinginkan untuk memiliki komponen yang lebih ringan.

Pemicu jarak jauh

Saat merekam video, Anda cukup memulai perekaman video saat berada di tanah dan menghentikannya saat Anda mendarat. Namun, ini sedikit lebih rumit untuk foto diam. Foto diam perlu dipicu terus menerus selama penerbangan. Salah satu solusi populer adalah mengintegrasikan intervalometer ke dalam kamera. Ini pada dasarnya adalah pengatur waktu yang memicu rana kamera setiap X jumlah detik. Solusi populer lainnya termasuk lengan servo mekanis yang secara fisik dapat menekan tombol rana pada kamera, atau bahkan remote inframerah yang dapat dikontrol oleh pemancar RC sekunder.

Siaran langsung

Fitur penting misi lainnya untuk kamera drone adalah kemampuan untuk menyiarkan streaming langsung melalui beberapa jenis port keluaran yang terletak di kamera. Port ini dapat berupa output High-Definition Multimedia Interface (HDMI) digital, atau sinyal analog melalui sejumlah jenis colokan yang berbeda. Percaya atau tidak, sinyal analog adalah metode yang paling disukai sepanjang waktu. Alasan untuk ini adalah bahwa pemancar video kami hanya akan menerima sinyal analog.

Resolusi kamera

Setelah Anda menemukan beberapa kamera yang memenuhi persyaratan yang baru saja dicantumkan, Anda harus mempertimbangkan resolusi keseluruhan. Sejauh menyangkut video, resolusi adalah hal yang cukup mudah untuk dipecahkan. Bahkan kamera olahraga aksi kecil hadir dalam resolusi setinggi 4.000 hari ini. Masih fotografi, bagaimanapun, adalah cerita lain. Selalu periksa peringkat megapiksel untuk memastikannya memenuhi kebutuhan Anda.

Biaya

Setelah Anda mengurangi daftar kandidat potensial menggunakan empat kualitas pertama, saatnya untuk melihat harga. Harga dapat berkisar dalam setiap kategori, jadi lakukan riset untuk memastikan Anda mendapatkan kesepakatan yang tepat. Harapkan untuk membayar hingga Rp 1.500.000 untuk kamera gantungan kunci kecil, antara Rp 1.500.000 dan Rp 7.500.000 untuk kamera olahraga aksi yang layak, di suatu tempat antara Rp 4.500.000 dan Rp 15.000.000 untuk kamera mikro empat pertiga kecil, dan di mana saja dari Rp 7.500.000 untuk refleksi lensa tunggal digital (DSLR) kamera.

8.2 KAMERA MICRO FOUR THIRDS

Pada tahun 2002, empat pertiga (4:3) sepenuhnya digital, sistem standar terbuka diperkenalkan, yang memungkinkan bodi kamera dan lensa yang dapat dipertukarkan dari pabrikan yang berbeda (lihat Gambar 8-1). Nama ini berasal dari rasio aspek sensor gambar, yang 30%–40% lebih kecil dari DSLR ukuran penuh. Namun, sensor ini masih sekitar sembilan kali lebih besar dari kamera "point and shoot" yang ringkas.



Gambar 8-1 Kamera empat pertiga mikro yang sangat populer, bodi kamera Lumix GH4 dengan lensa sudut lebar 17-mm Olympus.

Keuntungan paling nyata yang dibawa sistem empat pertiga ke dunia UAV adalah sensor yang lebih kecil memungkinkan kamera yang lebih kecil dan lebih ringan untuk dikembangkan. Sebaliknya, lensa yang lebih kecil dan lebih dangkal memungkinkan cahaya mengenai sensor kamera ke arah yang lebih tegak lurus. Jalur cahaya langsung meningkatkan kedalaman bidang, yang mengurangi risiko foto tidak fokus. Ini juga menghasilkan gambar dengan sudut yang lebih terang dan resolusi off-center keseluruhan yang lebih baik. Pada dasarnya, dengan kamera empat pertiga, Anda dapat memperoleh foto berkualitas tinggi dengan muatan kamera yang relatif kecil. Untuk pembuatan demo kami, kami sarankan menggunakan kamera olahraga aksi Mobius, atau kamera gantungan kunci 808.

8.3 MOBIUS ACTIONCAM

Untuk *quadcopter* kecil kami, kami merekomendasikan menggunakan Mobius ActionCam atau sesuatu di kelas berat yang sama (lihat Gambar 8-2). Model khusus ini sangat cocok untuk pesawat seukuran Little Dipper karena bobotnya yang ringan dan kemudahan penggunaan. Beberapa fitur utamanya adalah:

- Jejak kecil: 61 mm (L) x 35 mm (L) x 18 mm (T).
- Ringan: sekitar 38 gram (tergantung model yang dibeli).
- Baterai Li-Po internal yang dapat diisi ulang: tidak perlu disambungkan ke sistem daya pesawat.
- Video Full HD pada 1080p/30FPS; 720p/60FPS untuk video HD gerak lambat.
- Intervalometer foto diam (mode selang waktu) menangkap hingga 2304 × 1536. Tidak perlu pemacu kamera eksternal; itu memicu dirinya sendiri setiap x detik.
- Umpan video langsung tersedia saat merekam video, sangat baik untuk menghubungkan ke pemancar video.



Gambar 8-2 ActionCams berdampingan: GoPro Hero 3, sudut lebar Mobius, lensa standar Modius, dan cam gantungan kunci 808.

8.4 FPV UNTUK STREAMING LANGSUNG

Salah satu fitur fantastis yang dimiliki drone Anda adalah kemampuan untuk melihat apa yang dilihatnya secara real time. Ini dimungkinkan dengan menambahkan pemancar video. Pemancar, atau vTX (lihat Gambar 8-3), mengambil streaming langsung dari kamera Anda dan menyiarkannya melalui rentang frekuensi tertentu ke penerima, atau rTX, di darat. Penerima kemudian terhubung ke monitor atau kacamata video untuk menampilkan umpan langsung.



Gambar 8-3 Pemancar video 5,8 GHz dengan antena daun semanggi opsional dan sudut kanan.

Secara tradisional, komunikasi ini terjadi melalui pasangan pemancar/penerima video analog 5,8 GHz. Namun, baru-baru ini, beberapa produsen mulai menggunakan jaringan WiFi 5,8 atau 2,4 GHz dengan perangkat seluler untuk menampilkan streaming video ini. Arsitektur keseluruhan adalah sama untuk kedua desain: Anda masih memiliki pemancar yang mengirimkan sinyal ke tanah di mana ia diambil oleh penerima dan kemudian ditampilkan pada beberapa jenis monitor.

Apa yang Dapat Kami Pasang di Kit Kami?

Karena kami sedang membangun kit Little Dipper yang otonom, ambang batas kami untuk perlengkapan tambahan sangat rendah. Jika Anda memiliki APM, GPS, dan kamera terpasang, Anda hanya akan memiliki kemampuan untuk menambahkan satu hal lagi. Singkatnya, Anda memiliki pilihan antara menambahkan pemancar FPV atau radio telemetry, tetapi kami tidak menyarankan untuk menambahkan keduanya. Kami telah melewati proses penambahan radio telemetry sebelumnya di buku ini, jadi kami akan melanjutkan jalur pembangunan itu dan tidak akan meninjau info lebih lanjut tentang FPV. Namun, jika Anda tertarik untuk mempelajari lebih lanjut tentang cara memasang pemancar video atau perlengkapan FPV lainnya, jangan ragu untuk memeriksa web ekstra kami tentang topik tersebut.

8.5 PETUNJUK PEMBUATAN

Untuk bagian bangunan ini, Anda memerlukan:

- Pita dua sisi busa satu inci
- Gunting
- Benang gigi 12 inci atau benang gigi yang tidak dilapisi lilin

Langkah 1: Kencangkan Dudukan Kamera

Seperti yang Anda ingat dari Bab 2, rangka Little Dipper memiliki pelat isolasi getaran kecil yang dirancang untuk menampung Action-Cam kecil. Jika Anda memasang kamera

Mobius di quad Anda, kamera tersebut seharusnya sudah dilengkapi dengan quick-release mount (lihat Gambar 8-4). Langkah pertama kami adalah mengencangkanudukan kamera pelepas cepat ke pelat isolasi kamera. Untuk melakukannya, cukup potong dua potongan kecil pita busa dua sisi dengan panjang kira-kira 1/2 inci dan oleskan ke bagian bawah pelat pelepas cepat. Sekarang lepaskan lapisan pelindung dari pita dan pasang quick-release mount ke pelat isolasi getaran (lihat Gambar 8-5).

Pastikan Itu Lurus!

Pita perekat dua sisi mungkin sulit untuk ditarik dari bagian plastik yang lebih kecil, sepertiudukan kamera pelepas cepat kami. Luangkan waktu Anda dan pastikan Anda memasang kamera dengan baik dan lurus pada pelat isolasi getaran. Jika tidak, akan sulit untuk memisahkannya dan menerapkannya kembali, dan tidak ada yang menginginkan kamera yang terlihat bengkok di bawah bingkai!



Gambar 8-4 Mount rilis cepat untuk kamera Mobius.



Gambar 8-5 Dudukan pelepas cepat setelah dipasang ke Pelat Isolasi Getaran.

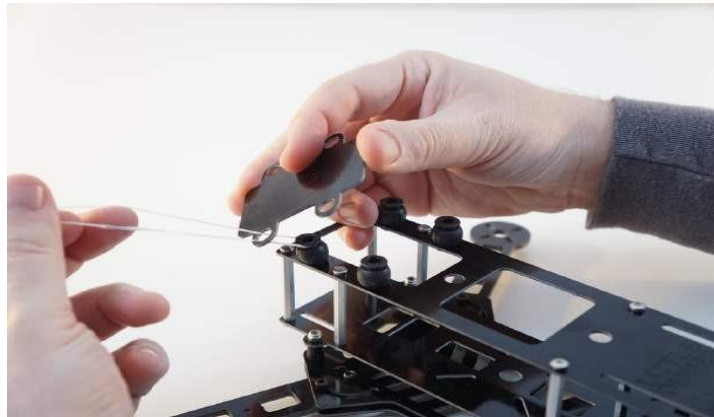
Langkah 2: Pasang Pelat Isolasi Getaran

Jika Anda belum melakukannya, sekarang adalah saat yang tepat untuk memasang pelat isolasi getaran ke dudukan bola karet pada rangka. Cara cepat dan mudah untuk melakukannya adalah dengan menggunakan seutas benang atau benang gigi yang tidak

dilapisi lilin untuk menarik dudukan bola melalui lubang pemasangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8-6. Ulangi langkah ini untuk keempat bola karet.

Apakah Anda Menghadapi Arah yang Benar?

Pastikan dudukan kamera menghadap ke arah yang benar. Dudukan pada dasarnya memiliki tiga sisi dengan satu ujung terbuka untuk kamera meluncur ke dalamnya. Pastikan ujung yang terbuka mengarah ke bagian depan pesawat.



Gambar 8-6 Memasang pelat isolasi getaran ke dudukan bola karet.

Langkah 3: Tempatkan Kamera di Quick-Release Mount

Sekarang setelah kita memiliki dudukan kamera pelepas cepat yang terpasang pada pelat isolasi getaran—dan pelat itu dipasang pada dudukan bola karet—yang perlu kita lakukan hanyalah menggeser kamera ke dudukan kamera (lihat Gambar 8-7). Pastikan lensa kamera menjauhi dudukan kamera, lalu sejajarkan alur kecil yang membentang di sekitar bagian tengah kamera dengan lima tab yang menonjol dari dinding samping dudukan kamera. Tab inilah yang menahan kamera di tempatnya saat diposisikan di dalam dudukan. Sekarang, dorong perlahan kamera kembali ke dudukan sambil menahan bagian belakang dudukan untuk dukungan ekstra.



Gambar 8-7 Kamera mobius di sebelah dudukan kamera pelepas cepat.

BAB 9

PENGATURAN ARDUPILOT MEGA (APM)

Pada titik ini, sebagian besar bangunan rangka drone Anda telah selesai. Sekarang saatnya masuk ke Mission Planner dan mulai mengatur autopilot Anda. Setelah kami menyelesaikan proses ini, kami hanya memiliki beberapa hal kecil untuk dibenahi pada pembuatan dan kemudian pesawat kami akan siap untuk terbang. Bab ini akan terstruktur sedikit berbeda dari yang lain, karena kita akan langsung masuk ke petunjuk langkah demi langkah sebelum melihat sisa aplikasi Mission Planner.

9.1 PETUNJUK PEMBUATAN

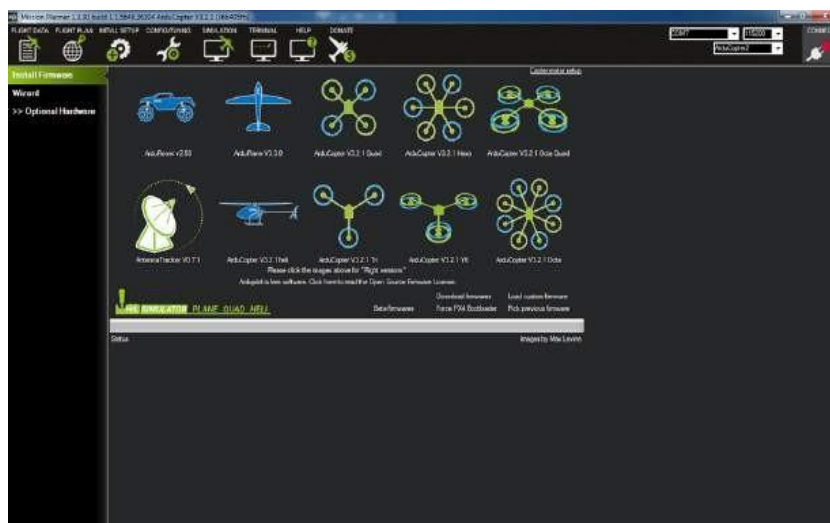
Untuk bagian bangunan ini, Anda memerlukan:

- PC laptop yang menjalankan Windows 7 atau yang lebih baru (jika Anda hanya memiliki Mac, coba atur partisi Boot Camp untuk menginstal Windows)
- Versi terbaru dari aplikasi Mission Planner
- Kabel USB 1.1/2.0 Mikro "B"

Langkah 1: Perbarui Firmware

Hal pertama yang harus kita lakukan adalah memastikan bahwa kita menjalankan versi firmware terbaru. Tergantung kapan APM Anda dibuat, APM bisa memiliki sejumlah versi berbeda. Jangan mengambil risiko menggunakan apa yang dikirimkannya; melalui proses pembaruan, dan kemudian Anda dapat yakin bahwa Anda berada di jalur yang benar:

- a. Nyalakan laptop Anda dan buka Mission Planner.
- b. Colokkan kabel USB ke APM dengan ujung lainnya masuk ke laptop Anda.
- c. Buka tab Pengaturan Awal di Mission Planner dan klik Instal Firmware di menu sebelah kiri.

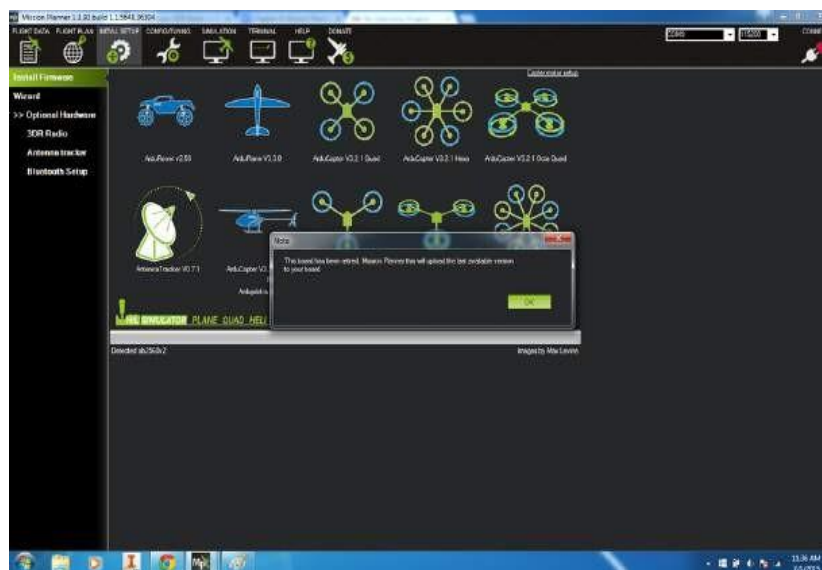


Gambar 9-1 Pilih jenis firmware yang perlu Anda perbarui (ArduCopter Quad, dalam kasus kami).

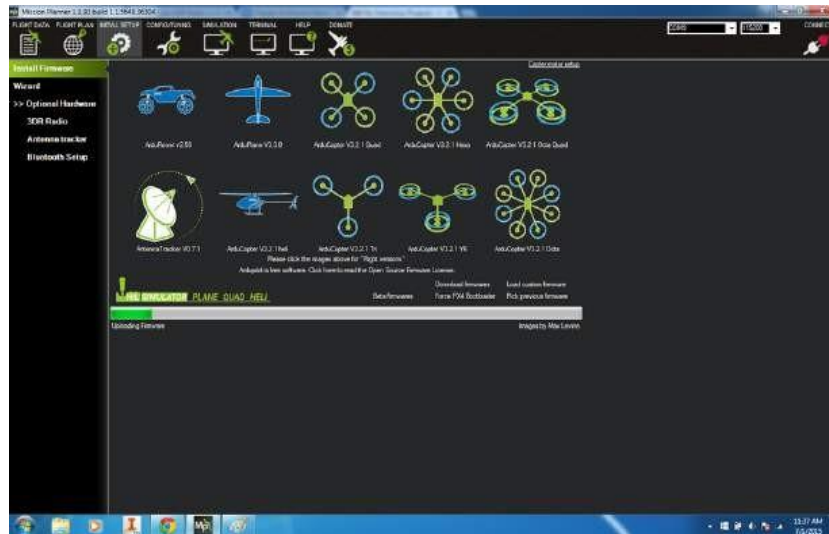
- d. Dari tombol grafis di tengah layar, pilih ArduCopter vX.X Quad (dengan vX.X adalah nomor versi Anda) sebagai jenis firmware; lihat Gambar 9-1.
- e. Anda akan diminta untuk mengonfirmasi bahwa Anda ingin memperbarui firmware. Klik Ya untuk melanjutkan (lihat Gambar 9-2).
- f. Mission Planner akan menemukan versi terbaru dari firmware APM yang tersedia untuk perangkat keras Anda dan memulai proses pembaruan. Klik OK untuk melanjutkan (lihat Gambar 9-3).
- g. Pengunggahan firmware dimulai (lihat Gambar 9-4).
- h. Setelah firmware diunggah, perlu diverifikasi (lihat Gambar 9-5).
- i. Setelah pembaruan selesai, Mission Planner memberi tahu Anda tentang langkah-langkah tambahan yang mungkin perlu dilakukan sebagai hasil pembaruan (lihat Gambar 9-6).



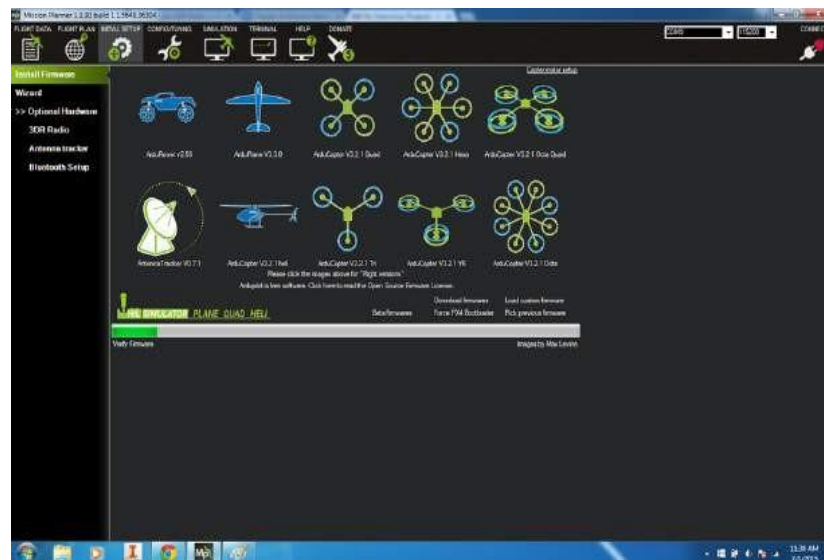
Gambar 9-2 Konfirmasikan bahwa Anda ingin meningkatkan dengan mengklik YA.



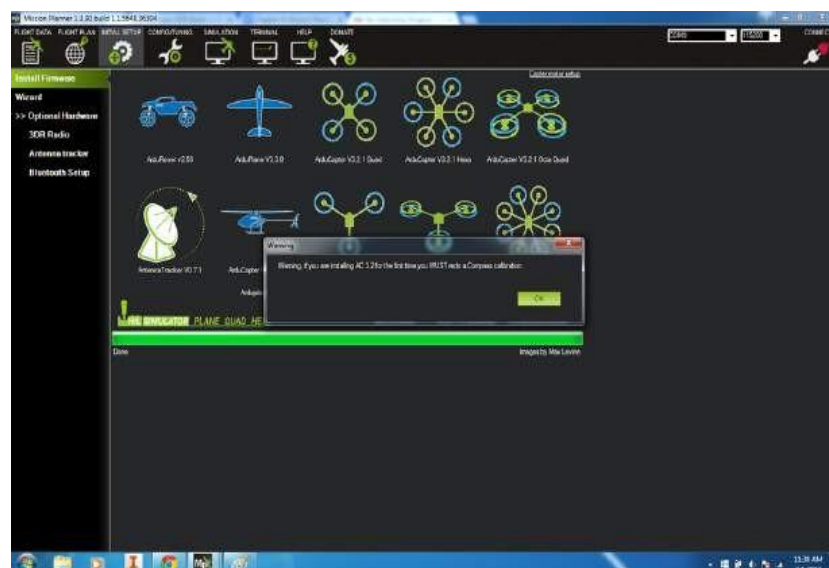
Gambar 9-3 Mission Planner secara otomatis menemukan versi firmware terbaru yang didukung oleh APM Anda.



Gambar 9-4 Unggahan firmware telah dimulai.



Gambar 9-5 Verifikasi firmware sedang berlangsung.



Gambar 9-6 Kita semua sudah selesai! Klik OK untuk melanjutkan.

Tetap terhubung

Jangan lepaskan kabel USB dari APM Anda sampai pembaruan selesai. Sangat penting bagi Anda untuk mengawasi bilah kemajuan untuk melihat kapan pemutakhiran selesai dan tidak pernah mengganggu prosesnya.

Tarif Baud Dan Port Com

Setiap kali Anda terhubung ke APM Anda dengan Mission Planner, Anda harus menunjukkan baud rate yang tepat di mana komunikasi Anda harus berjalan. Ini mendefinisikan bit per detik untuk komunikasi data. Aturan umum adalah menggunakan 115200 untuk komunikasi melalui kabel USB dan 57600 untuk komunikasi melalui radio telemetri. Aplikasi lain mungkin mendeteksi jenis komunikasi dan menyesuaikannya untuk Anda secara otomatis, tetapi tetap merupakan hal yang baik untuk diketahui, karena Mission Planner meminta masukan ini.

Selain itu, Anda perlu mengetahui port COM mana yang digunakan APM Anda untuk berkomunikasi dengan laptop Anda. Mission Planner cukup bagus dalam menemukan APM Anda dan memilih port COM yang benar secara default, tetapi ada trik untuk itu. Anda perlu mencolokkan APM sebelum membuka Mission Planner. Jika ini masih tidak berhasil, lihat pengaturan PC Anda dan temukan semua port COM yang terbuka. Anda akan melihat APM Anda terdaftar di sana sebagai Arduino Mega. Catat port COM itu dan ingat itu bergerak maju.

Langkah 2: Hubungkan dan Selesaikan Pengaturan Wajib

Sekarang setelah kami memperbarui firmware kami, kami memiliki awal yang bagus untuk memulai. Mari kita telusuri pengaturan wajib kita sekarang dan siapkan burung ini untuk terbang!

Sebenarnya ada dua cara Anda dapat menyelesaikan langkah ini. Salah satunya adalah dengan menggunakan Wizard yang terletak langsung di bawah tombol Install Firmware yang Anda gunakan pada langkah terakhir. Cara kedua adalah dengan melakukannya secara manual. Kita akan berjalan melalui proses manual dalam contoh ini, tetapi kedua cara pada dasarnya adalah hal yang sama; wizard hanya memaksa Anda untuk melakukan semua langkah bersama-sama, sementara entri manual memungkinkan Anda untuk melakukan hanya langkah-langkah yang Anda inginkan. Setiap kali kami menyiapkan helikopter baru, kami ingin menyelesaikan semua langkah ini, tetapi mungkin ada saatnya di masa mendatang di mana Anda juga ingin meninjau kembali hanya satu atau dua langkah ini seperti kalibrasi GPS atau IMU dan kami ingin Anda melakukannya tunjukkan itu dari awal.

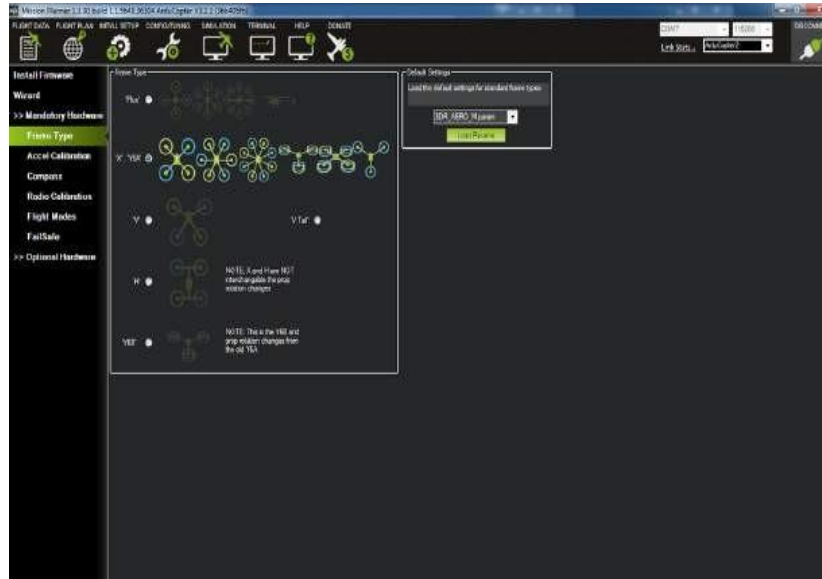
Sebelum kita dapat mengatur apapun, kita perlu menghubungkan APM kita ke Mission Planner. Ini mengharuskan Anda untuk memilih port COM dan Baud Rate sebelum mengklik tombol Connect di sudut kanan atas aplikasi. Setelah Anda terhubung, Anda akan melihat serangkaian opsi menu baru muncul di kolom sebelah kiri, termasuk Perangkat Keras Wajib dan Perangkat Keras Opsional.

Langkah 2.1: Setel jenis bingkai

Klik tombol Frame type dari kolom sebelah kiri di bawah judul Mandatory Hardware dan pilih kategori X copter (lihat Gambar 9-7).

Abaikan Pengaturan Default

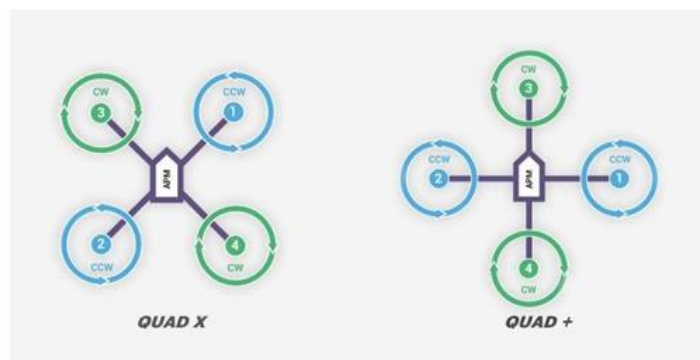
Anda akan melihat bahwa di sebelah pilihan bingkai Anda adalah menu tarik-turun berjudul Pengaturan Default. Anda dapat mengabaikannya selama pembuatan ini. Ini digunakan sebagai jalan pintas untuk drone off-the-shelf tertentu. Misalnya, jika Anda memiliki quad 3D Robotics Iris+, Anda akan menemukan pengaturan dalam menu ini yang ditujukan khusus untuk model tersebut. Sayangnya, Mission Planner tidak disertakan dengan pengaturan default untuk model kami, jadi kami harus mengaturnya secara manual. Tidak apa-apa; Anda belajar lebih banyak melakukannya dengan cara itu!



Gambar 9-7 Pilih jenis bingkai.

X versus +

Saat kami memilih jenis bingkai X, Anda mungkin memperhatikan bahwa sejumlah opsi tersedia. Yang paling umum adalah X dan + (kadang-kadang disebut I oleh perangkat lunak lain).



Gambar 9-8 Dua quadcopter dengan konfigurasi berbeda, X dan +.

Ini mengacu pada konfigurasi bingkai dan bagaimana kaitannya dengan pemosisian APM. Jika Anda dapat membayangkan garis lurus yang membentang sepanjang APM Anda dan memanjang ke depan, konfigurasi X akan menunjukkan garis itu di antara dua motor,

sedangkan konfigurasi + akan menunjuk langsung ke satu. Gambar 9-8 mengilustrasikan hal ini.

Langkah 2.2: Kalibrasi akselerometer

Sublangkah selanjutnya adalah mengkalibrasi accelerometer kami. Ini menetapkan garis dasar bagi APM untuk memahami arah naik, turun, dan sebagainya. Mission Planner akan meminta Anda untuk memindahkan drone ke posisi yang berbeda, jadi pastikan Anda memiliki area yang bagus dan jelas pada permukaan kerja yang rata untuk mengikuti petunjuk seperti yang dijelaskan. Penting bagi Anda untuk melakukan ini di area yang setinggi mungkin. Jika Anda memilikinya, gunakan level gelembung untuk mengonfirmasi bahwa area yang Anda pilih tidak di luar level. Kami sering menggunakan meja TV kecil karena mudah digeser ke atas jika dimiringkan sedikit.

Klik tombol Accel Calibration dari menu sebelah kiri (lihat Gambar 9-9). Ini akan menempatkan satu tombol berlabel Calibrate Accel di jendela aplikasi utama. Klik tombol itu dan ikuti petunjuk yang ditetapkan Mission Planner sebelum Anda. Ini akan meminta Anda untuk memposisikan drone Anda di sejumlah posisi berbeda sebelum menekan tombol apa saja untuk melanjutkan. Setelah proses selesai, Anda akan melihat pemberitahuan bahwa kalibrasi berhasil atau gagal.

Posisi yang akan diminta untuk Anda gunakan adalah:

Tingkat

Posisi normal pesawat akan dipertahankan ketika duduk dengan sisi kanan menghadap ke atas.

Terbalik

Persis seperti apa bunyinya: balikkan pesawat dari posisi biasanya.

Hidung ke bawah

Bagian depan drone mengarah lurus ke bawah menuju tanah dengan ekor mencuat lurus ke atas.

Hidung ke atas

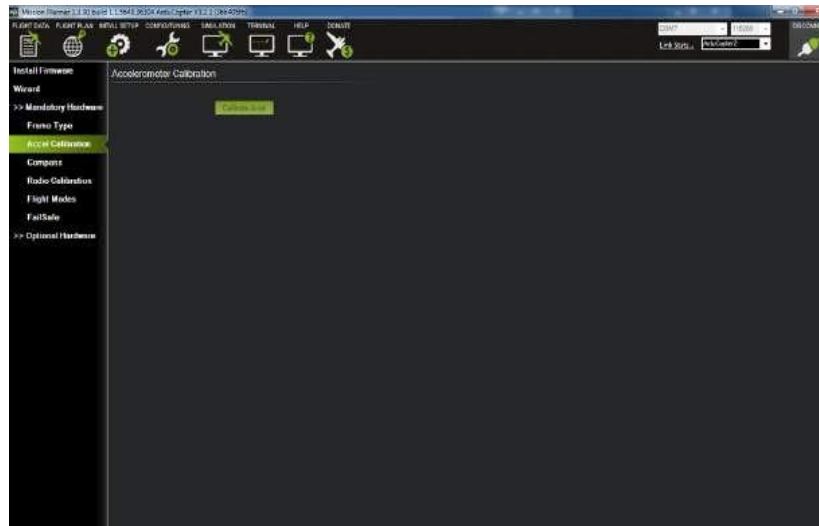
Ekor pesawat mengarah lurus ke bawah dengan hidung mengarah lurus ke atas.

Kiri

Sisi kiri pesawat mengarah lurus ke bawah dengan sisi kanan mengarah lurus ke atas.

Kanan

Sisi kanan pesawat mengarah lurus ke bawah dengan sisi kiri mengarah lurus ke atas.

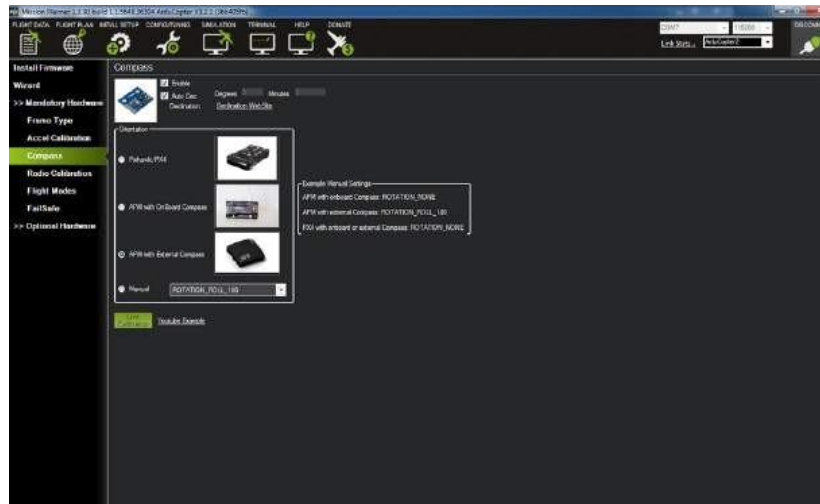


Gambar 9-9 Kalibrasi akselerometer.

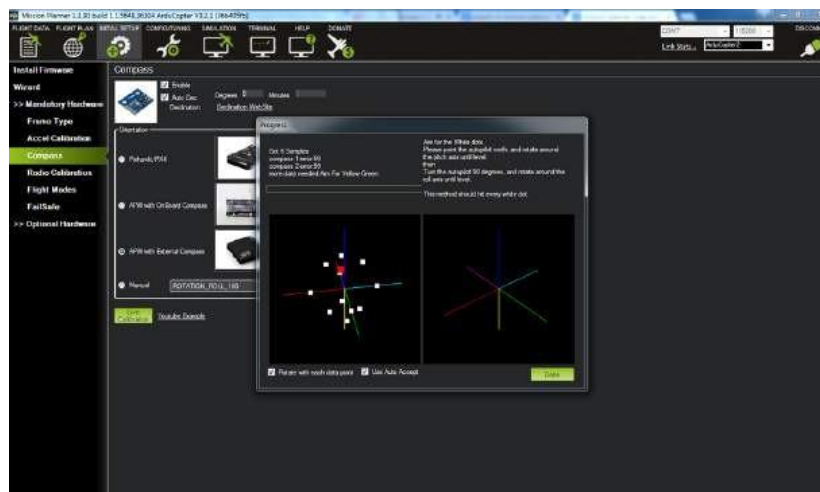
Langkah 2.3: Siapkan kompas

Klik tombol Kompas di menu sebelah kiri. Ini akan menampilkan layar pengaturan kompas di jendela aplikasi utama (lihat Gambar 9-10). Menyiapkan kompas adalah proses yang sangat penting yang melibatkan tiga langkah dasar:

- a. Aktifkan deklinasi otomatis: Temukan dan centang kotak Aktifkan dan Deklinasi Penolakan Otomatis di bagian atas jendela aplikasi utama. Ini memungkinkan APM untuk menggunakan GPS-nya untuk menemukan bagian dunia tempat Anda berada dan kemudian menyempurnakan kompas Anda untuk lokasi tersebut. Hal ini memungkinkan untuk offset antara utara sejati dan utara magnetis.
- b. Memilih jenis kompas dan orientasi: Di bawah bidang Orientasi di jendela aplikasi utama, pilih opsi APM dengan Kompas Eksternal. Ini akan mengubah teks di bagian bawah bidang itu menjadi ROTATION_ROLL_180. Informasi ini memberi tahu APM ke arah mana kompas menunjuk, sehingga ia memiliki garis dasar untuk memulai pengukurannya.
- c. Lakukan kalibrasi: Sekarang kita telah menetapkan orientasi kompas kita, kita dapat mengkalibrasinya (lihat Gambar 9-11). Klik tombol Live Calibration di bagian bawah jendela aplikasi utama dan ikuti petunjuk masalah Mission Planner. Langkah ini mungkin memakan waktu beberapa menit karena aplikasi meminta Anda untuk memutar pesawat di sekitar semua sumbu yang memungkinkan sehingga dapat mengambil titik sampel dalam bola virtual. Luangkan waktu Anda dan ikuti petunjuknya sampai Mission Planner memberi tahu Anda bahwa kalibrasi telah berlalu. Jika, karena alasan aneh, gagal, jangan khawatir. Jalankan kalibrasi lagi dan pastikan untuk bergerak di sekitar semua sumbu kompas.



Gambar 9-10 Pengaturan kompas.



Gambar 9-11 Kalibrasi kompas.

Langkah 2.4: Kalibrasi radio

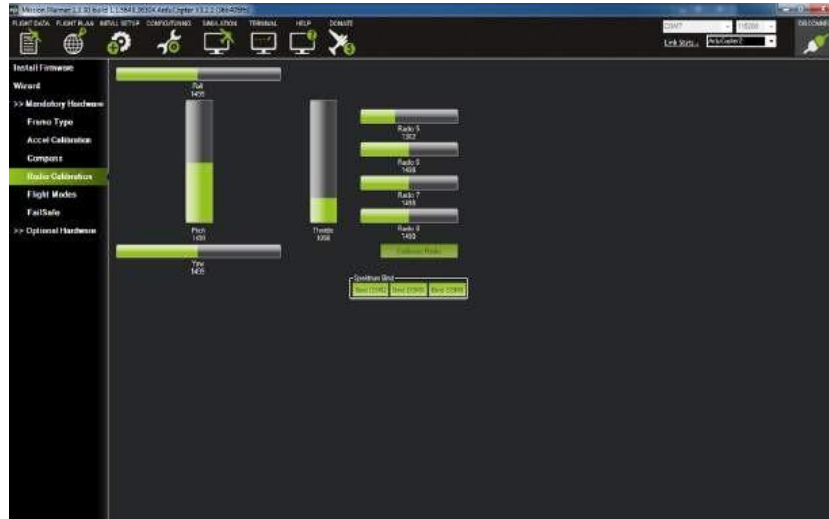
Selanjutnya adalah kalibrasi radio. APM mengacu pada pemancar sebagai radio, jadi mulai dari sini kita menggunakan kedua istilah itu secara bergantian. Klik tombol Radio Calibration di menu sebelah kiri (lihat Gambar 9-12). Ini akan menampilkan halaman kalibrasi di jendela aplikasi utama. Ide umumnya di sini adalah mengizinkan Mission Planner untuk berbicara dengan radio Anda dan mencari tahu batasan setiap saluran. Selama kalibrasi, Anda akan diminta untuk menekan stik, sakelar, dan kenop ke pengaturan minimum dan maksimumnya sehingga aplikasi dapat mempelajari jangkauan setiap saluran. Grafik batang hijau akan mewakili setiap saluran radio, dan mereka akan bergerak dengan kontrol radio (lihat Gambar 9-13):

- Jika Anda belum melakukannya, hidupkan pemancar radio Anda.
- Klik tombol hijau Kalibrasi Radio di bawah grafik batang Radio 8 di jendela aplikasi utama.
- Saat diarahkan, pindahkan semua kontrol radio ke pengaturan maksimum dan minimumnya. Ini termasuk setiap dan semua kontrol yang akan Anda gunakan seperti

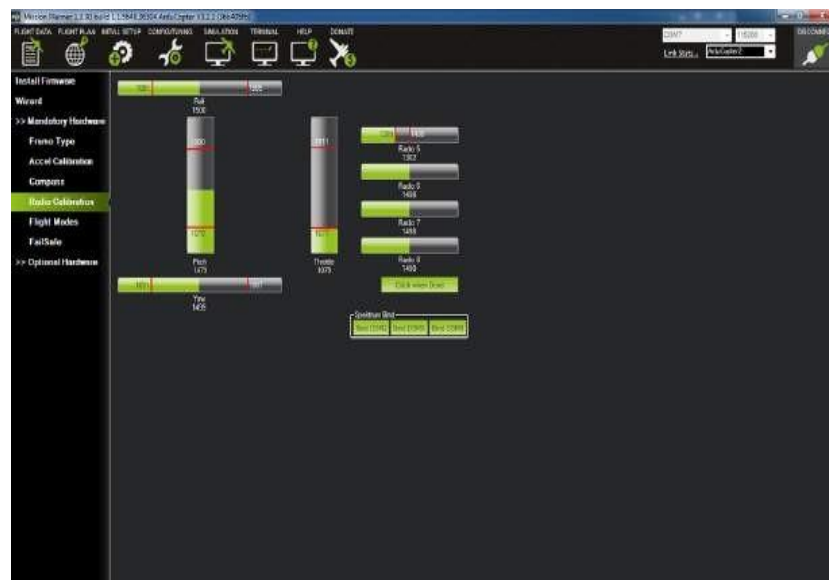
tongkat, sakelar, kenop, dan penggeser (tergantung pada radio yang Anda miliki) yang ada di pemancar. Anda akan melihat bahwa garis merah halus akan muncul pada grafik batang untuk setiap saluran yang menunjukkan pengaturan min-max.

- d. Setelah ini selesai, klik tombol Klik saat Selesai (sama seperti tombol kalibrasi, labelnya baru saja diubah).

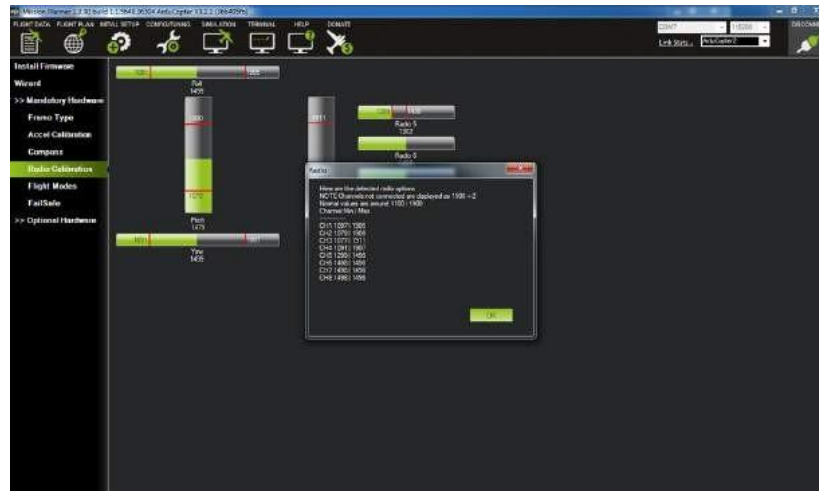
Setelah Anda menyelesaikan kalibrasi, sebuah pop-up kecil akan muncul yang memberi Anda nilai min-max untuk setiap saluran radio (lihat Gambar 9-14). Klik OK untuk menghilangkan layar ini dan melanjutkan ke langkah berikutnya.



Gambar 9-12 Sebelum memulai proses Kalibrasi Radio.



Gambar 9-13 Perhatikan garis merah yang menunjukkan nilai min-max untuk setiap saluran.

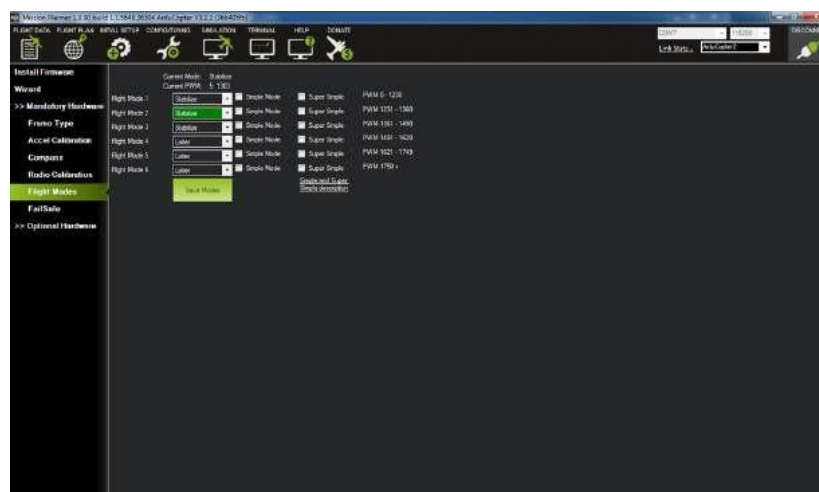


Gambar 9-14 Selamat! Radio Anda dikalibrasi.

Langkah 2.5: Atur mode penerbangan

Sekarang setelah radio kami dikalibrasi, mari atur mode penerbangan yang sesuai pada sakelar mode penerbangan kami. Untuk memulai proses ini, klik tombol Flight Modes di menu sebelah kiri. Ini akan menampilkan tampilan penetapan mode penerbangan di jendela aplikasi utama. Kami akan menggunakan ini untuk mengatur mode penerbangan Loiter dan Stabilize kami. Jika Anda memiliki radio yang memiliki sakelar tiga posisi (beberapa hanya memiliki dua posisi), maka Anda dapat memilih satu mode penerbangan tambahan seperti Otomatis (navigasi titik jalan) atau RTH (kembali ke rumah):

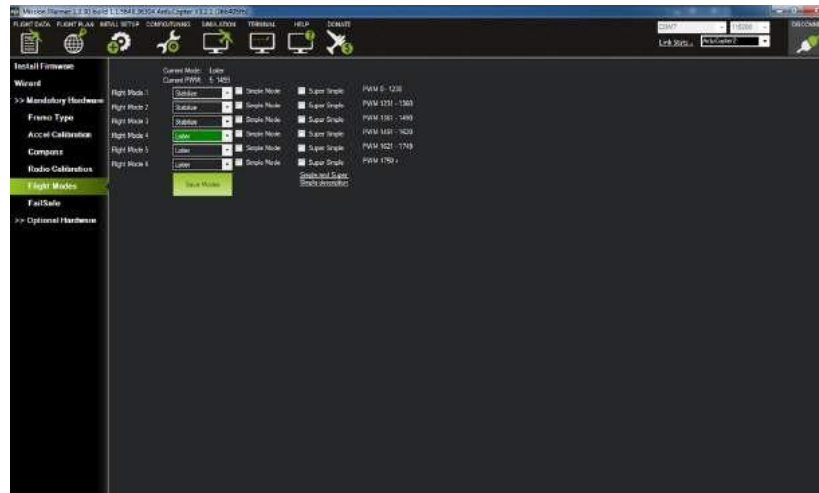
- Dengan radio yang dihidupkan, ubah posisi yang berbeda pada sakelar mode penerbangan Anda sambil menonton Mission Planner. Anda akan melihat bahwa setiap posisi pada sakelar Anda akan menyalakan menu mode penerbangan yang berbeda berwarna hijau dalam aplikasi. Catat posisi sakelar mana yang menyalakan menu mode mana.



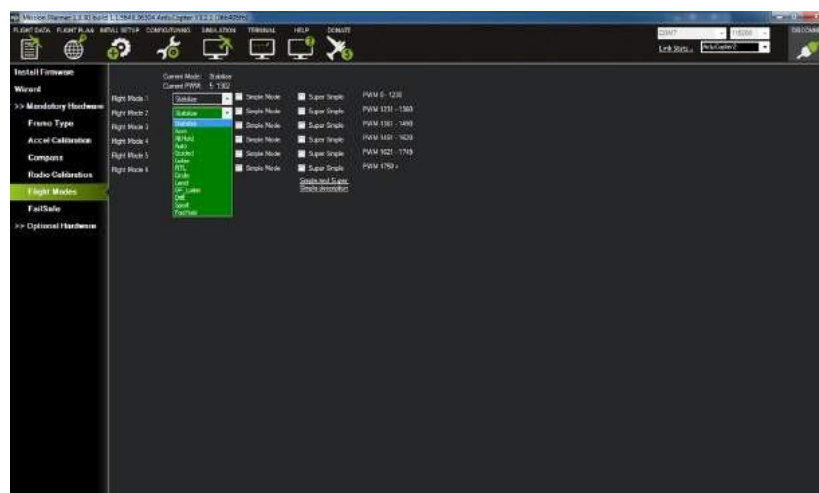
Gambar 9-15 Beralih posisi 1 menyalakan menu mode penerbangan 2.

- Gunakan menu tarik-turun untuk setiap mode penerbangan untuk menetapkan mode yang diinginkan ke posisi sakelar itu. Misalnya, jika Anda memiliki posisi 1 pada sakelar

menu mode penerangan 2 dalam aplikasi, Anda dapat menetapkan mode penerbangan Loiter ke posisi sakelar itu hanya dengan mengubahnya di menu tarik-turun (lihat Gambar 9-15). Sekarang ubah ke posisi 2 dan tetapkan Stabilkan dengan menu mode tersebut (lihat Gambar 9-16 dan 9-17).



Gambar 9-16 Beralih posisi 2 menyalakan menu mode penerbangan 4.



Gambar 9-17 Menetapkan mode Stabilisasi penerbangan ke mode slot 2 dengan menu tarik-turun.

Langkah 2.6: Pengaturan failsafe

Kami hampir selesai dengan pengaturan wajib kami. Hal terakhir dalam daftar kami adalah pengaturan failsafe. Ini memungkinkan kami untuk menentukan tindakan apa yang diambil ketika bagian tertentu dari pesawat kami gagal, seperti ketika kami kehilangan koneksi radio atau jika baterai turun di bawah level tertentu saat kami masih terbang. Untuk memulai langkah ini, klik tombol FailSafe di menu sebelah kiri:

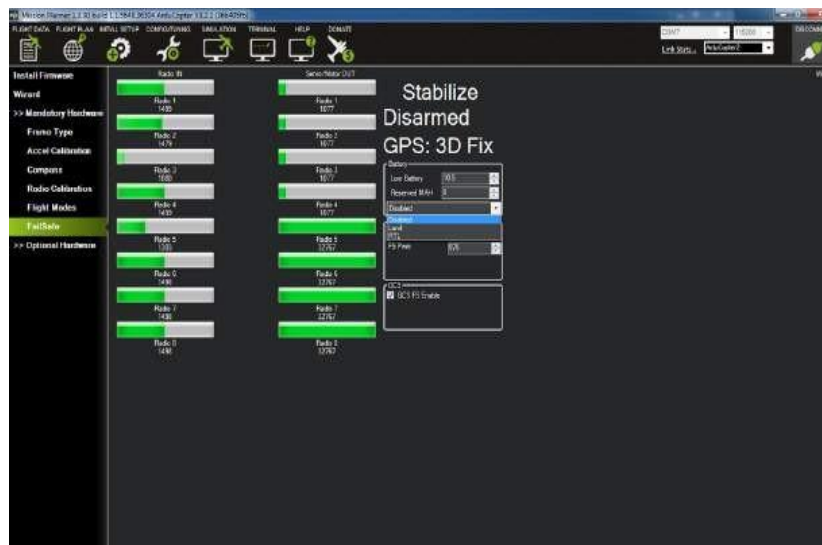
- Temukan bidang Baterai di sisi kanan jendela aplikasi utama. Atur opsi Baterai Rendah ke 10.4 dan MAH Cadangan ke 0. Ini memungkinkan kita untuk memantau hanya voltase dan bukan kapasitas baterai. Anda hanya harus mengatur pengaturan MAH jika Anda menggunakan baterai dengan ukuran yang sama sepanjang waktu dan tahu persis seberapa banyak Anda ingin "tinggal di tangki" sebelum Anda memicu failsafe.

Menyetel ini saat menggunakan lebih dari satu ukuran baterai dapat menyebabkan pemacu failsafe prematur.

- b. Sekarang kita perlu mengatur tindakan yang akan diambil saat acara Battery Fail-Safe kita berlangsung. Kami melakukan ini dengan memilih salah satu dari menu drop-down di bidang Baterai yang sama (lihat Gambar 9-18).

Pilihannya adalah:

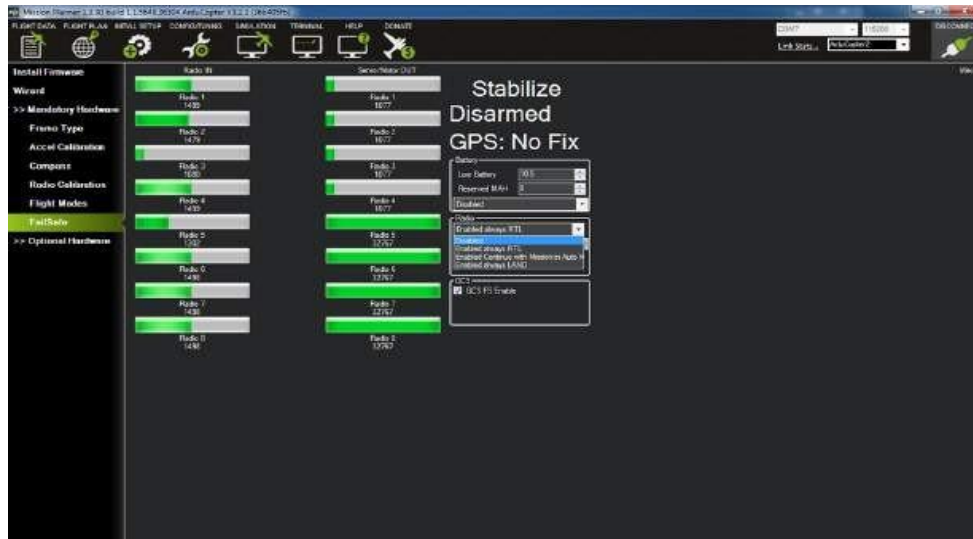
- Dengan disabilitas
- Tanah
- RTH (kembali ke rumah)



Gambar 9-18 Opsi Baterai Gagal Aman.

- c. Di bidang Radio tepat di bawah, pilih tindakan yang Anda inginkan dari menu tarik-turun (lihat Gambar 9-19). Ini akan memberi tahu APM apa yang harus dilakukan setiap kali koneksi radio terputus untuk jangka waktu tertentu (seperti yang diputuskan oleh APM). Sekarang atur bidang teks FS PWM ke nilai 975. Ini memberi tahu APM berapa nilai PWM yang seharusnya selama acara RTH. Opsi untuk tindakan Radio FailSafe adalah:

- Dengan disabilitas
- Diaktifkan selalu RTH
- Diaktifkan Lanjutkan dengan Misi dalam Mode Otomatis
- Diaktifkan selalu Land



Gambar 9-19 Opsi Radio FailSafe.

Langkah 3: Perangkat Keras Opsional

Anda telah berhasil melalui pengaturan perangkat keras wajib! Sekarang saatnya untuk beralih ke perangkat keras opsional. APM memungkinkan banyak perangkat keras opsional untuk ditambahkan ke autopilot. Ini adalah salah satu hal hebat tentang sistem dan apa yang menarik begitu banyak DIYers dan tinkerers. Pengaya yang paling umum adalah radio telemetri dan monitor baterai, tetapi ada daftar panjang opsi tambahan termasuk sensor sonar, monitor kecepatan udara, sensor aliran optik, pada tampilan layar (OSD), gimbal kamera (berbasis servo), antena pelacak, dan modul Bluetooth. Sebagian besar pengaya ini berada di luar cakupan buku ini. Pada kenyataannya, Anda bisa saja menulis seluruh buku tentang opsi ini saja! Dalam langkah khusus ini, kami akan membahas dua opsi paling populer: radio telemetri dan monitor baterai. Jika Anda telah memilih untuk tidak menginstal komponen ini, silakan lewati semua Langkah 3.

Langkah 3.1: Radio 3DR (telemetri)

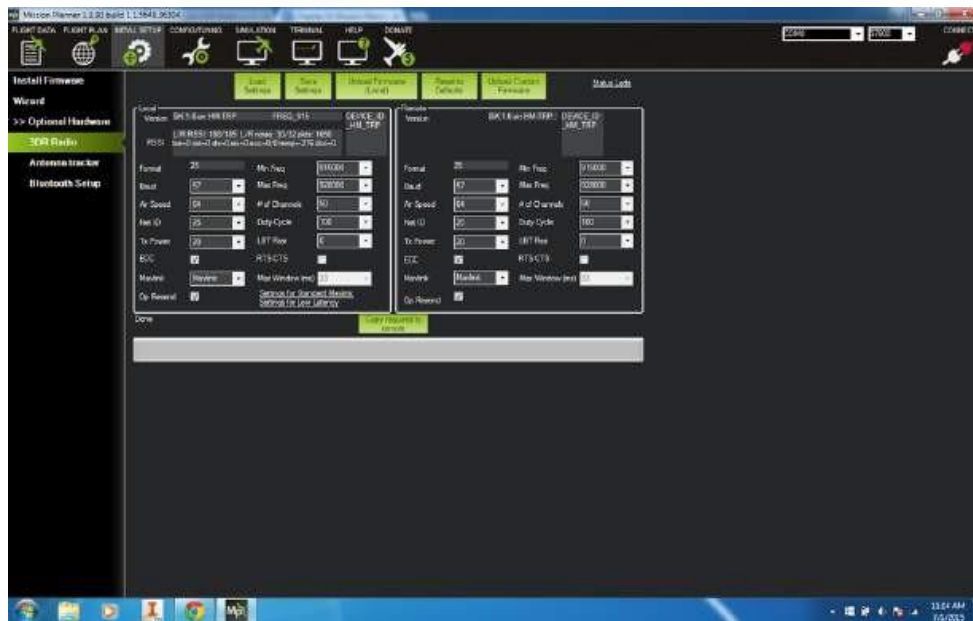
Di Bab 7, kami memasang radio telemetri kami untuk APM. Radio ini berasal dari pabrik yang dipasangkan dalam set yang cocok yang keduanya disetel ke saluran yang sama, atau Net ID. Secara teori, Anda tidak perlu melakukan apa pun selain menyambungkan radio ini dan menekan tombol sambungkan. Namun, ada baiknya mengetahui di mana letak pengaturan radio dan bagaimana mengubahnya jika perlu (lihat Gambar 9-20). Ini juga merupakan ide yang baik untuk menyetel ID Net Anda sendiri jika Anda terbang dengan teman-teman sehingga Anda tidak mengganggu satu sama lain.

Ikuti langkah-langkah ini untuk memeriksa apakah radio Anda berkomunikasi satu sama lain seperti yang diharapkan:

- Pastikan Anda belum terhubung ke Mission Planner melalui USB. Jika demikian, lepaskan dan cabut kabelnya.
- Nyalakan pemancar radio dan drone Anda dengan radio telemetri terpasang.
- Hubungkan radio telemetri bumi ke laptop Anda dan buka Mission Planner.

- d. Atur port COM Anda sesuai kebutuhan dan Baud Rate Anda menjadi 57600, lalu klik sambungkan.

Jika Anda ingin mengubah pengaturan Net ID Anda sehingga Anda dapat terbang dengan orang lain dan tidak menimbulkan gangguan, cukup gunakan menu tarik-turun untuk menemukan saluran baru. Pastikan untuk menyetel radio Lokal (darat) dan Remote (udara) ke nomor ID yang sama, lalu klik tombol hijau Simpan Pengaturan di bagian atas jendela aplikasi utama.



Gambar 9-20 Pengaturan radio telemetri dimuat.

Langkah 3.2: Monitor baterai

Perangkat keras opsional lain yang disukai banyak orang adalah monitor baterai. Ini adalah perangkat sederhana namun dapat memberikan informasi yang sangat berharga dan berpotensi menyelamatkan pesawat Anda jika terjadi kegagalan baterai. Seperti yang telah kita bahas di Bab 5, monitor baterai dipasang sejajar antara steker distribusi daya utama Anda dan baterai itu sendiri. Ini menggunakan chip kecil yang berkomunikasi dengan APM untuk menganalisis penarikan saat ini dan kapasitas yang tersisa di baterai. Halaman di Mission Planner ini memungkinkan Anda untuk menyesuaikan beberapa pengaturan untuk monitor baterai. Untuk membuka layar ini, pilih Battery Monitor di menu sebelah kiri.

Ada tiga pengaturan yang dapat Anda kendalikan:

Memantau

Ini menentukan apa yang akan dipantau oleh monitor baterai. Pilihan Anda adalah Disabled, Battery Volts, dan Voltage and Current. Sebaiknya gunakan Tegangan dan Arus jika Anda menggunakan monitor baterai (lihat Gambar 9-21). Ini memberikan lebih banyak informasi, dan itu selalu merupakan hal yang baik.

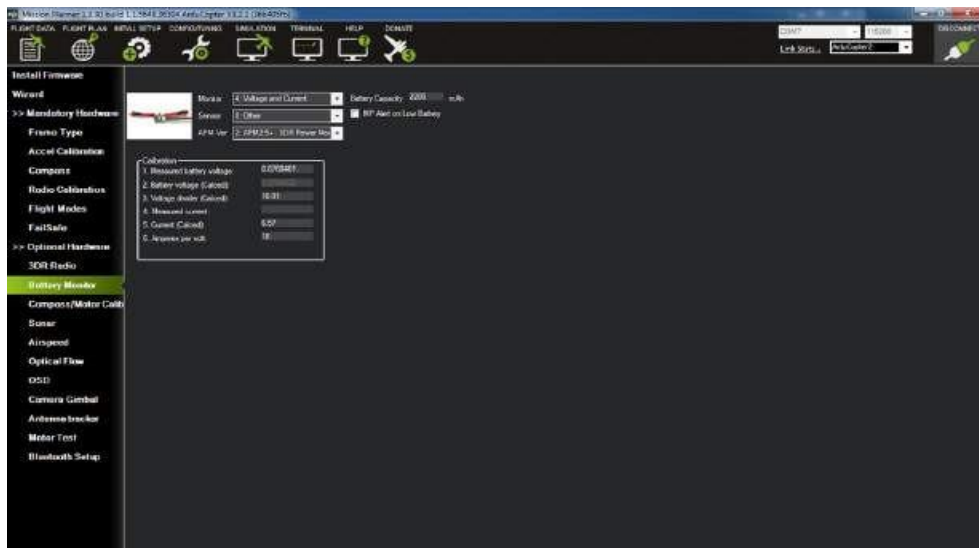
Sensor

Menu ini memungkinkan Anda untuk memilih jenis sensor monitor baterai yang Anda gunakan. Jika Anda membeli kit Anda dari Gudang Pembuat, Anda ingin menggunakan opsi Modul Daya 3DR. Jika Anda membeli monitor di tempat lain, konsultasikan dengan

toko tempat Anda membelinya dan cari tahu jenis monitor apa yang mereka jual kepada Anda, lalu pilih dari daftar. Jika Anda tidak tahu dan tidak memiliki cara untuk mengetahuinya, opsi Lainnya biasanya akan berfungsi.

Versi APM

Ini cukup jelas. Untuk build ini, pilih opsi APM 2.5+ 3DR Power Module. Jika Anda membeli rasa APM yang berbeda (seperti Pixhawk atau PX4), temukan model Anda di opsi dan pilih.



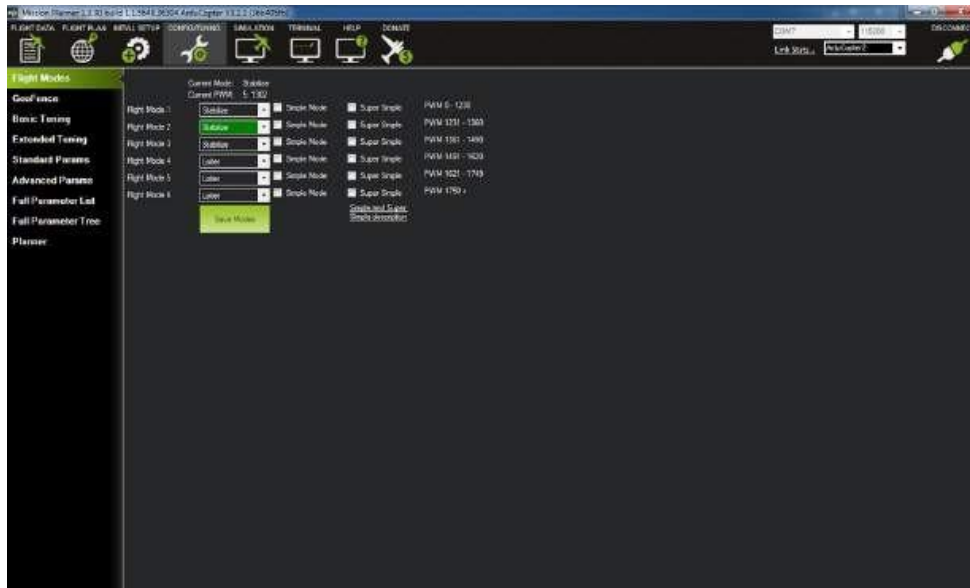
Gambar 9-21 Halaman pengaturan monitor baterai.

9.2 MARI JELAJAHI SISA PERENCANA MISI

Kerja bagus—Anda telah selesai menyiapkan quadcopter baru yang dilengkapi APM! Mari luangkan waktu beberapa menit sekarang untuk melihat-lihat aplikasi Mission Planner lainnya. Sejauh ini, semua yang kami gunakan ada di tab Pengaturan Awal. Kami sekarang akan meninjau beberapa fitur di beberapa tab lainnya. Beberapa akan mencerminkan fitur yang telah kita bahas, tetapi sebagian besar akan baru. Klik tombol Config/Tuning di bagian atas dan mari kita jelajahi beberapa opsi yang muncul di menu sebelah kiri.

9.3 MODE PENERBANGAN

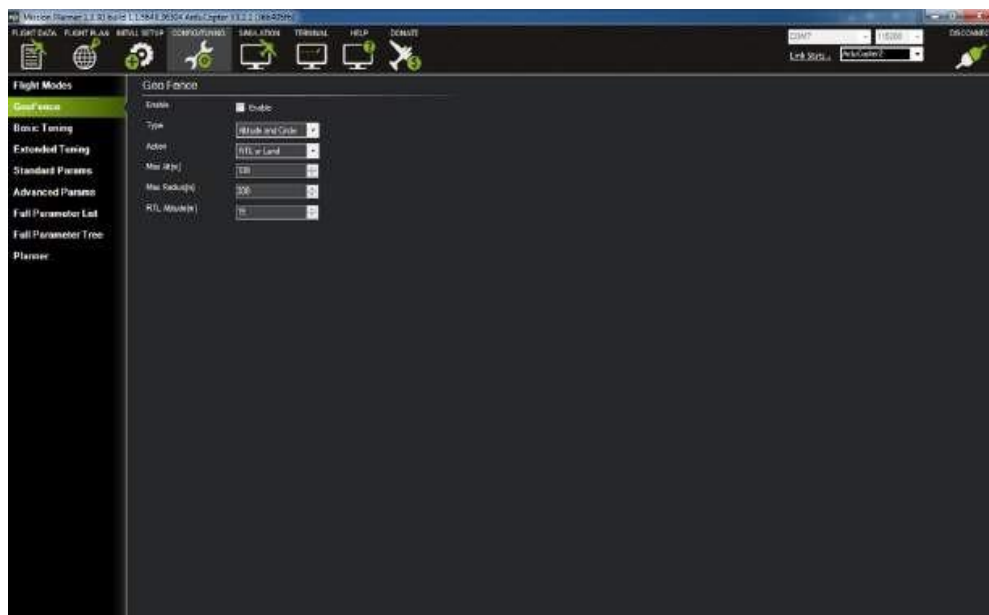
Layar ini (lihat Gambar 9-22) sebenarnya identik dengan layar Mode Penerbangan yang telah kita bahas sebelumnya dalam bab ini. Anda dapat menggunakan halaman ini untuk menetapkan mode penerbangan yang berbeda ke berbagai posisi sakelar pada pemancar radio Anda.



Gambar 9-22 Layar Mode Penerbangan.

Pagar Geo

Geo Fence bisa menjadi fitur keselamatan yang cukup keren untuk pilot baru. Ia melakukan persis seperti namanya: ia mendirikan pagar virtual di sekitar titik lepas landas Anda sehingga Anda tidak boleh terbang lebih jauh. Anggap saja sebagai cara untuk menjaga quad Anda pada tali virtual! APM akan menggunakan lokasi lepas landas awal Anda untuk menetapkan titik awal, dan dari sana opsi yang Anda pilih di layar ini akan menentukan seberapa jauh Anda bisa terbang dan apa yang terjadi jika pagar itu dilanggar. Jika Anda ingin menggunakan fitur ini, cukup centang kotak Aktifkan di bagian atas jendela aplikasi utama, lalu atur parameter Anda di bawah ini sesuai keinginan Anda (lihat Gambar 9-23). Ingatlah bahwa parameter akan berada dalam satuan metrik, jadi angka menunjukkan meter, bukan kaki.

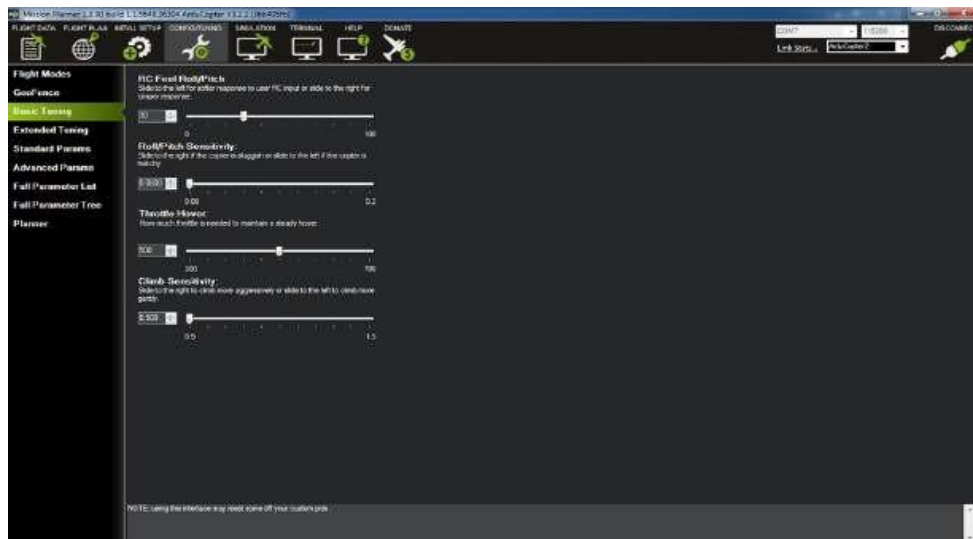


Gambar 9-23 Layar Pagar Geo.

Penyetelan Dasar

Jika Anda menghabiskan waktu online membaca tentang drone, Anda mungkin pernah mendengar tentang orang-orang yang menyetel helikopter mereka untuk melakukan satu atau lain cara. Idenya di sini adalah bahwa sejumlah drone yang berbeda memiliki karakteristik penerbangan yang berbeda dan autopilot APM, dalam kasus kami perlu disetel agar sesuai. Pikirkan Biduk Kecil kita; ini jelas akan memiliki serangkaian karakteristik yang berbeda dari Octocopter seberat 35 lb dengan DSLR di bawahnya. Tuning memungkinkan Anda untuk menggunakan autopilot yang sama di kedua pesawat tetapi mengubahnya untuk bekerja di kedua lingkungan.

Penyetelan Dasar adalah titik masuk untuk menyetel APM Anda (lihat Gambar 9-24). Satu hal yang menarik orang untuk menggunakan platform APM adalah ia memiliki serangkaian parameter yang hampir tak ada habisnya yang dapat Anda gunakan untuk menyempurnakannya untuk fungsionalitas tingkat lanjut (sebagian besar akan berada di luar cakupan buku ini). Halaman ini memungkinkan Anda untuk mengatur hanya beberapa yang mengubah "rasa" pesawat Anda. Anda dapat menyesuaikan respons drone dari input Anda dari pemancar, seberapa sensitif drone terhadap autoleveling, di mana pesawat harus melayang sehubungan dengan input throttle, serta seberapa agresifnya akan menanjak saat diberi input dari mencekik. Setiap masukan memberikan deskripsi singkat tentang apa yang dilakukan penggeser pada pesawat. Jika Anda memiliki radio telemetry, mudah untuk membuka Mission Planner saat pesawat terbang dan sedikit menyesuaikannya untuk melihat efeknya secara real time.



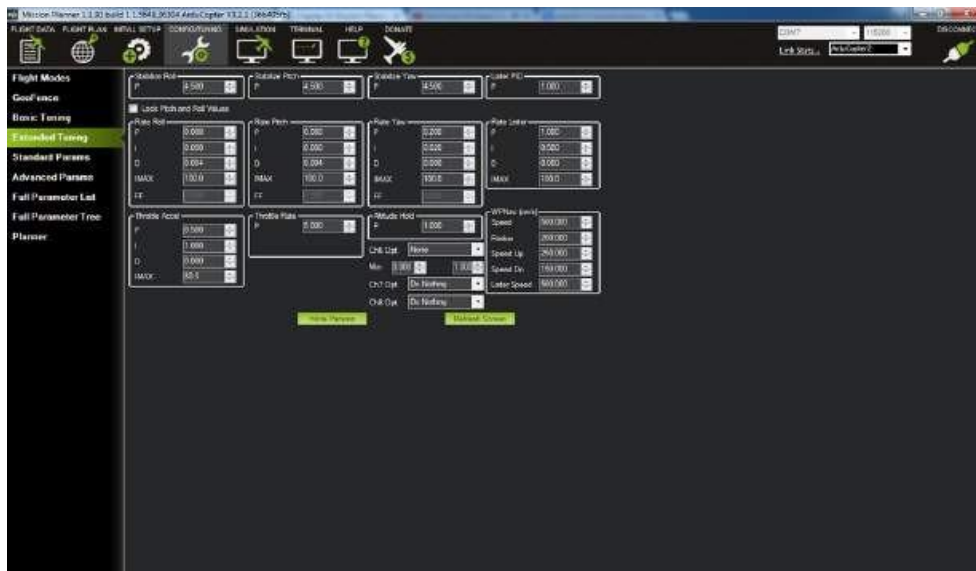
Gambar 9-24 Parameter Tuning Dasar.

Penyetelan yang Diperpanjang

Layar Penyetelan yang Diperpanjang ini memungkinkan Anda untuk melakukan penyetelan karakteristik penerbangan tingkat yang jauh lebih tinggi (lihat Gambar 9-25). Kadang-kadang disebut tuning PID (Proportional, Integral, Derivative), layar Extended Tuning memungkinkan Anda menyesuaikan masing-masing dari tiga gerakan pesawat (roll, pitch, dan yaw) dengan variabel yang dimasukkan ke dalam algoritme pengontrol PID. Jenis pengontrol ini sangat populer dalam sistem kontrol industri skala besar. Proses ini bekerja dengan

membuat umpan balik loop kontrol yang menghitung nilai kesalahan dan mencoba untuk memperbaiki kesalahan tersebut ke hasil yang diinginkan.

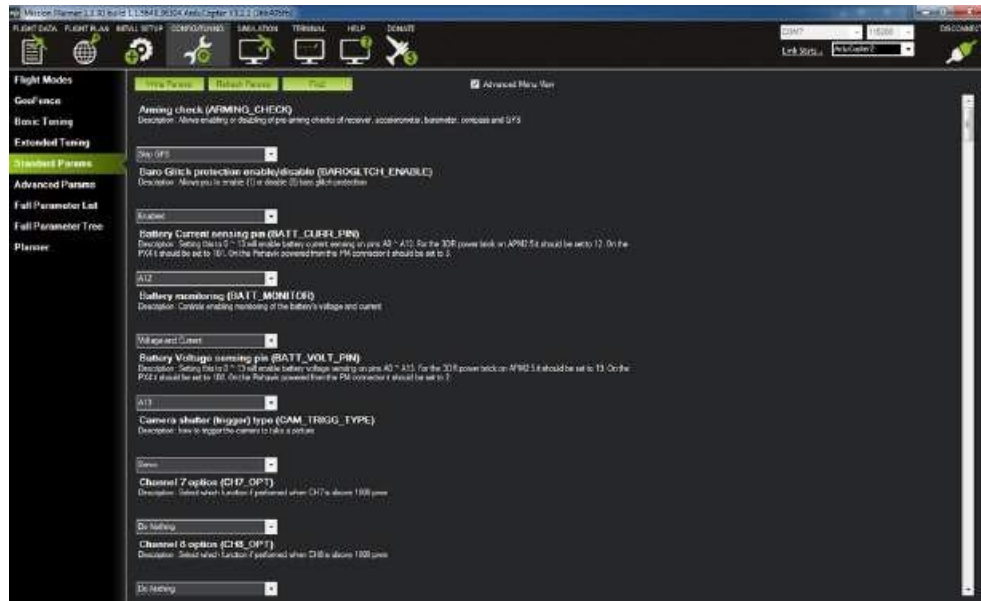
Untungnya, APM hadir dengan pengaturan standar di sini yang tampaknya berfungsi dengan baik untuk sebagian besar pemasangan langsung. Jika pesawat Anda tidak terbang seperti yang Anda inginkan, dan Anda merasa perlu menyesuaikan PID untuk mendapatkan kinerja puncak, kami menyarankan Anda melakukan riset independen tentang topik tersebut. Penyetelan PID bisa menjadi cukup rumit dengan cepat, dan karena itu, berada di luar cakupan buku ini. Ada juga opsi untuk Menyesuaikan Otomatis pengaturan PID Anda dengan APM, tetapi kami telah melihat hasil yang beragam dengan proses ini. Bahkan jika ini adalah pilihan untuk Anda, tetap merupakan ide yang baik untuk mempelajari lebih lanjut tentang teori penyetelan PID sehingga Anda memahami apa yang terjadi di balik layar. Jika Anda tertarik untuk mempelajari lebih lanjut, kami memiliki titik awal yang baik di situs web.



Gambar 9-25 Layar Tuning yang Diperpanjang.

Parameter Standar

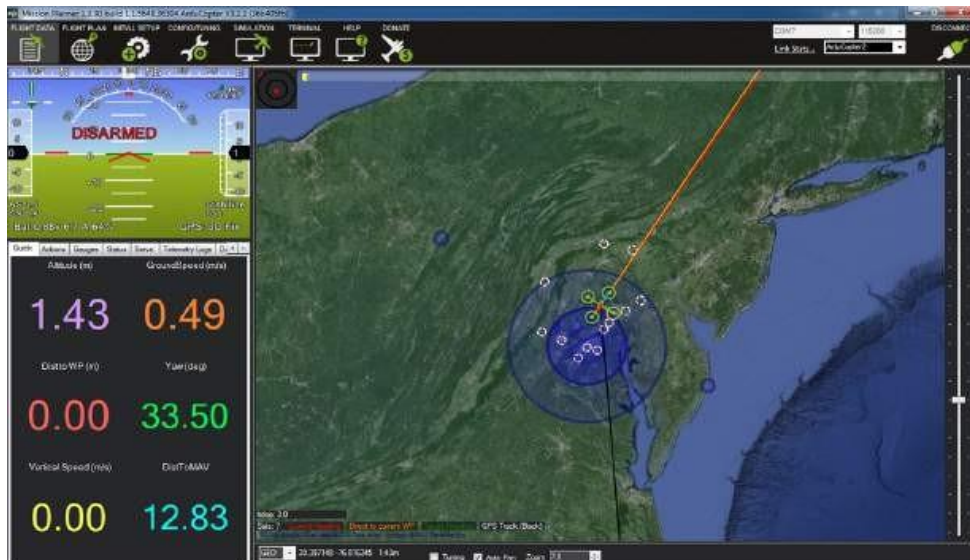
Halaman Standard Params mulai menunjukkan fleksibilitas ekstrim dari platform APM (lihat Gambar 9-26). Layar menunjukkan daftar panjang parameter yang dapat diatur untuk membantu menyesuaikan atau menyempurnakan pesawat Anda untuk kebutuhan spesifik Anda. Meskipun daftar ini terlalu panjang untuk dibahas di sini, kami tentu mengundang Anda untuk menjelajahnya sendiri; namun, sebuah peringatan: berhati-hatilah dengan apa yang Anda ubah! Jika Anda tidak mengerti apa yang dilakukan sesuatu, cari di situs web APM sebelum mengubahnya dan mencoba terbang. Daftar lengkap Parameter Standar dan Lanjutan dapat ditemukan di situs web Ardupilot.



Gambar 9-26 Param Standar.

Data Penerbangan

Untuk sebagian besar buku ini sekarang, kita telah membicarakan tentang data telemetri yang dikirim kembali ke stasiun bumi Anda melalui radio telemetri. Layar Data Penerbangan (lihat Gambar 9-27) adalah tempat kita benar-benar dapat melihat sebagian besar data tersebut. Saat Anda membuka tab Data Penerbangan, Anda akan melihat peta besar di sisi kanan layar. Ini akan memberi Anda pembaruan waktu-nyata tentang lokasi pesawat Anda (selama Anda memiliki perbaikan GPS).



Gambar 9-27 Layar Data Penerbangan.

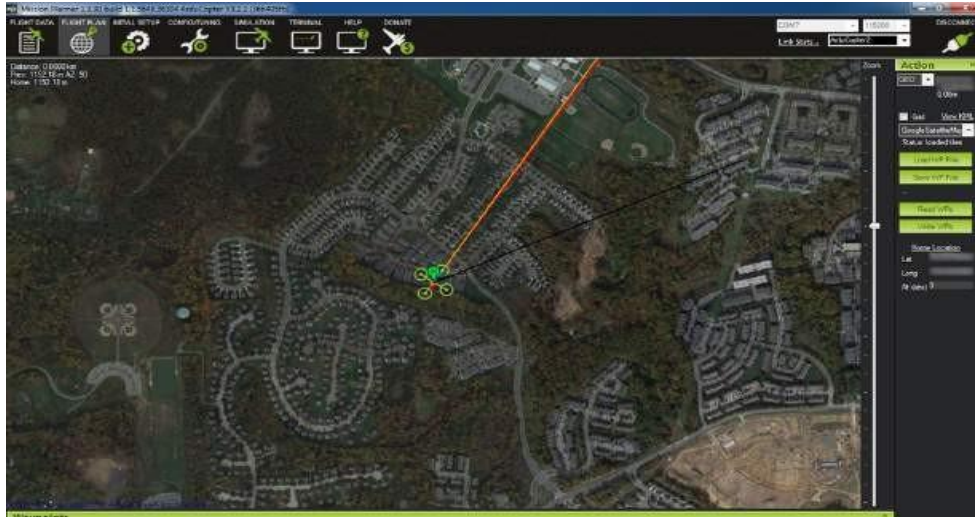
Di sisi kiri aplikasi akan ada kolom yang dipecah menjadi dua bagian atas dan bawah. Bagian atas berisi instrumen yang mungkin terlihat familier bagi Anda. Ini pada dasarnya adalah cakrawala buatan seperti yang akan Anda lihat di pesawat skala penuh. Satu-satunya perbedaan di sini adalah bahwa cakrawala kami memiliki beberapa data tambahan di atasnya yang berkaitan langsung dengan jenis pesawat kami. Instrumen ini akan menampilkan sikap

pesawat saat bergerak melalui ruang angkasa dengan menggerakkan garis cakrawala kita dipisahkan oleh bidang hijau dan biru serta heading pesawat, mode penerbangan, status GPS, level baterai, dan heading kompas. Ruang di bawah cakrawala buatan digunakan untuk menampilkan sejumlah titik data yang dikembalikan dari APM ke stasiun bumi kami. Titik data ini bisa sangat berguna selama penerbangan karena membantu Anda mengukur hal-hal seperti seberapa cepat pesawat Anda terbang, seberapa jauh Anda telah terbang dari titik lepas landas, dan berapa ketinggian Anda saat ini.

9.4 RENCANA PENERBANGAN

Terakhir, kita akan melihat sekilas layar Flight Plan, yang memungkinkan Anda untuk merencanakan penerbangan otonom Anda (lihat Gambar 9-28). Sekilas, tampilannya sangat mirip dengan layar Data Penerbangan kami karena memiliki jenis peta yang sama, tetapi peta ini memiliki banyak fungsi tambahan yang terpasang di dalamnya.

Segala sesuatu mulai dari seluruh misi hingga satu titik jalan dapat direncanakan dari layar ini. Tidak peduli seberapa rumit misi Anda, semuanya terdiri dari serangkaian titik arah yang mengarahkan pesawat ke garis lintang, garis bujur, dan ketinggian tertentu. Anda juga akan memberi tahu pesawat apa yang harus dilakukan setelah mencapai setiap titik jalan, misalnya, Anda mungkin ingin pesawat berhenti sejenak selama 30 detik atau langsung melanjutkan ke titik jalan berikutnya dan seberapa cepat ia harus terbang untuk mencapai titik jalan tersebut.



Gambar 9-28 Layar Rencana Penerbangan.

Sangat penting bagi Anda untuk memiliki pemahaman yang kuat tentang penerbangan manual sebelum mencoba semua jenis penerbangan otonom. Setiap pilot harus dapat secara manual mengambil kendali dan menerbangkan pesawat pulang jika terjadi kegagalan GPS atau sensor.

Perangkat Lunak Tablet Otonom

Meskipun Mission Planner adalah aplikasi tangguh yang lebih dari sekadar mampu merencanakan dan mengeksekusi rencana penerbangan otonom, itu tidak selalu merupakan hal termudah untuk digunakan di lapangan karena Anda harus menjalankannya di laptop.

Banyak orang suka menggunakan tablet Android yang lebih kecil untuk mengurangi jumlah perlengkapan yang mereka butuhkan untuk berkemas untuk penerbangan mereka. Tablet bahkan dapat dipasang langsung ke pemancar radio 2,4 GHz dalam upaya menjaga semua sistem kontrol di satu lokasi yang rapi. Jika Anda tertarik menjelajahi tablet untuk kerja lapangan, unduh aplikasi Android 3DR yang disebut Tower. Ini adalah versi terbaru dari aplikasi Droid Planner yang sudah lama digunakan. Jika Anda ingin mempelajari lebih lanjut tentang stasiun bumi tablet, lihat detailnya di situs web kami.

9.5 MEMPERSIAPKAN PENERBANGAN PERDANA ANDA

Secara teknis, pada titik ini, Anda selesai dengan build. Semua komponen sudah terpasang, pengontrol penerbangan Anda sudah diatur, dan Anda hampir siap untuk mengujinya dan melihat seberapa baik Anda bisa terbang! Namun, kami ingin menawarkan Anda beberapa saran cepat terlebih dahulu. Jika Anda baru dalam penerbangan RC, kami sarankan Anda menyelesaikan bab-bab selanjutnya untuk mendapatkan pemahaman yang baik tentang cara terbang dengan aman.

Setelah Anda melakukannya, Anda dapat melanjutkan dengan langkah-langkah berikut:

1. Lepaskan baling-baling Anda dan periksa kembali apakah semua motor Anda berputar ke arah yang benar. Jika Anda ingat dari buku sebelumnya, kami memasang konektor peluru dari ESC kami ke motor tanpa mengetahui apakah kami memiliki arah yang benar. Sekarang saatnya untuk memeriksa ulang ini. Persenjatai motor Anda (standarnya adalah tongkat kiri ke bawah dan ke kiri selama tiga detik) dan periksa setiap motor satu per satu. Jika Anda menemukannya berputar ke arah yang salah, ubah dua dari tiga koneksi peluru untuk membalikkan arah.
2. Dengan props masih mati dan motor berputar ke arah yang benar, periksa untuk melihat apakah APM autoleveling dengan benar. Anda dapat menentukan apakah ini benar dengan memutar motor secara perlahan sambil menahan quad dan dengan lembut mencelupkan rangka ke satu arah. Jika APM bekerja seperti yang diharapkan, secara otomatis akan meningkatkan kecepatan motor yang jatuh lebih dekat ke tanah. Jika Anda merasa ini tidak benar, periksa kembali apakah semua ESC Anda terhubung ke port output yang benar di APM.
3. Jika sejauh ini semuanya bekerja seperti yang diharapkan, jangan ragu untuk memakai alat peraga Anda dan coba lemparkan burung ini ke udara! Luangkan waktu Anda dan mulai perlahan. Putar alat peraga ke atas dengan lembut dan lihat apakah Anda dapat membuat segi empat nyaris terlepas dari tanah. Berikan beberapa perintah tongkat ringan saat melakukan ini. Konfirmasikan bahwa semuanya berfungsi sebagaimana mestinya, seperti perintah Roll Left yang benar-benar menyebabkan pesawat terbang ke kiri. Jika semuanya tampak baik-baik saja, perlahan-lahan berikan sedikit gas lagi sampai Anda berada satu atau dua kaki di udara. Hindari tinggal terlalu dekat dengan tanah,

di mana Anda akan terjebak dalam efek tanah, yang dapat menyebabkan Anda kesulitan. Efek tanah terjadi ketika udara yang didorong melalui alat peraga Anda menyentuh tanah dan menciptakan gangguan yang dapat sedikit mendorong pesawat Anda.

4. Luangkan waktu dan latihan Anda! Ini bukan perlombaan dan tidak ada hadiah untuk segera mengudara. Jika Anda meluangkan waktu sekarang dan merasakan pesawat Anda jatuh, Anda akan jauh lebih berhasil bergerak maju.

BAB 10

PENERBANGAN YANG AMAN DAN BERTANGGUNG JAWAB

10.1 KEAMANAN ADALAH DI ATAS SEGALANYA

Ada alasan mengapa kita sering mendengar istilah keselamatan terlebih dahulu dalam kehidupan kita sehari-hari: melakukan apa yang Anda bisa untuk melindungi kesejahteraan diri sendiri dan orang lain lebih penting daripada peralatan atau tugas apa pun yang harus diselesaikan. Membangun dan menerbangkan UAV kecil buatan tangan Anda dengan aman dan bertanggung jawab akan memastikan kemampuan Anda yang berkelanjutan untuk mengambil bagian dalam upaya ini untuk waktu yang lama.

Mereka yang bertahan dalam membangun dan menerbangkan UAV kecil memahami pentingnya memperhatikan keselamatan dengan serius. Dengan demikian, mereka menghormati dan mewakili model pesawat dan komunitas UAV secara keseluruhan. Dengan mengingat konsep-konsep dalam bab ini, mengambil bagian dalam robotika udara adalah cara yang luar biasa untuk belajar atau mendapatkan disiplin. Anda harus mendedikasikan diri Anda untuk memperhatikan secara konsisten melakukan semua yang diperlukan untuk menghasilkan hasil terbaik yang sukses dan aman dalam semua cara yang memungkinkan.

10.2 PELATIHAN DAN PENDIDIKAN

Bagian besar dari tetap aman saat menjelajahi multirotor adalah belajar sebanyak mungkin tentang teknologi mereka, dan potensi risikonya. Kemajuan baru dalam teknologi UAV kecil di bidang kontrol dan keselamatan otonom sedang dikembangkan setiap saat, dan tetap mengikuti perkembangan ini dapat menjaga penerbangan Anda tetap aman. Namun, kami tidak menyarankan untuk mengandalkan mode kontrol penerbangan otomatis. Mode penguncian dan stabilisasi GPS adalah fitur yang fantastis, tetapi jika ada peralatan yang gagal mengirim atau menerima perintah, operator yang bertanggung jawab tahu cara mengambil alih penerbangan manual pesawat mereka. Tidak ada pengganti untuk membangun tingkat pengetahuan konten Anda sendiri, pengalaman, dan waktu latihan "pada tingkat."

10.3 SUMBER DAYA

Anda bertanggung jawab untuk membangun dan menerbangkan UAV dengan aman dan bertanggung jawab, tetapi Anda tidak sendirian. Jika Anda tidak yakin tentang bagian mana pun dari desain, pembuatan, atau penerbangan pesawat Anda, tidak apa-apa untuk meminta bantuan. Ada banyak sumber daya dan forum online yang tersedia untuk pengembang UAV kecil, di mana Anda bisa mendapatkan saran dan informasi tentang praktik terbaik untuk keamanan dan teknologi UAV.

Pada akhir 2014, tiga kelompok tersebut bekerja sama dengan Badan Penerbangan Federal AS (FAA) untuk menyepakati pernyataan kebijakan dan praktik terbaik untuk menerbangkan UAV kecil dengan aman. Kelompok-kelompok ini, Association for Unmanned Vehicles International (AUVSI), Academy of Model Aeronautics (AMA), dan Small Unmanned Aerial Vehicles Coalition (SUAVC) menyusun daftar singkat tentang hal-hal yang boleh dan

tidak boleh dilakukan dalam mengemudikan UAV kecil yang mereka sebut "Aturan Udara." Pedoman keselamatan yang mereka sarankan adalah tempat yang baik untuk memulai, tetapi kami menyarankan Anda secara aktif dan teratur melihat sendiri aturan tersebut saat aturan tersebut terus berkembang. Kami telah merangkum daftar mereka dalam poin-poin di bawah ini, dan telah menguraikannya dengan beberapa ide tambahan untuk penerbangan UAV kecil yang berpengetahuan dan bertanggung jawab.

Tautan Penting

Tautan penting untuk kelompok sumber daya SUAS utama meliputi:

- AUVSI
- AMA
- SUAVC
- FAA

Selain itu, lihat daftar prosedur keselamatan komprehensif kami. AMA juga memiliki PDF satu halaman tentang praktik terbaik untuk menerbangkan pesawat RC.

10.4 ATURAN KESELAMATAN PENERBANGAN UTAMA

Penerbangan yang aman dan bertanggung jawab harus selalu menjadi perhatian nomor satu Anda saat bersiap untuk mengudara. Kenali item-item berikut, dan Anda akan siap berbagi langit dengan orang-orang di sekitar Anda:

- Selalu terbang di bawah 400 kaki. Pesawat skala penuh terbang di atas 500 kaki. Ini menciptakan zona penyangga 100 kaki di wilayah udara antara pesawat berawak dan tak berawak.
- Terbangkan pesawat Anda dalam jarak pandang (LOS). Ini berarti Anda dapat terus-menerus melihat pesawat Anda saat mengoperasikannya. Dari pengalaman kami, melihat pesawat Anda ke arah yang sama dengan matahari dapat mempersulit jarak pandang. Pikirkan tentang waktu dan arah yang diinginkan di mana Anda akan ditempatkan. Roda pendaratan berwarna atau lampu LED membantu mengidentifikasi bagian depan dan belakang multirotor, yang membantu mempertahankan orientasi Anda. Lihat catatan di bawah bagian ini tentang terbang dengan aman menggunakan kacamata FPV.
- Bergabunglah dengan klub lokal untuk penggemar UAV atau pesawat model. Jika hal itu tidak memungkinkan di wilayah Anda, buat grup MeetUp Anda sendiri untuk membahas perkembangan yang aman dan bertanggung jawab tentang praktik terbaik penerbangan UAV.
- Jangan pernah terbang dalam jarak lima mil dari bandara mana pun, dalam jarak tiga mil dari stadion besar antara satu jam sebelum dan sesudah acara, dan sama sekali tidak di taman nasional atau pangkalan militer. Lihat peta interaktif ini yang mengidentifikasi zona larangan terbang.
- Ambil pelajaran penerbangan. Ini akan membantu memperkuat prinsip-prinsip penerbangan, dan ini akan membuat Anda mengalami navigasi ruang udara dari sudut pandang pilot skala penuh. Anda mungkin juga dapat menemukan kursus lokal tentang pengoperasian pesawat kecil tak berawak.

- Selalu periksa peralatan Anda untuk memastikan setiap komponen berfungsi dengan baik sebelum setiap penerbangan.
- Lakukan untuk bersenang-senang! Jangan terbang untuk tujuan komersial tanpa izin dari FAA. Anda harus memiliki pengalaman bertahun-tahun sebelum ini harus menjadi perhatian. Asuransi di pesawat Anda tidak diperlukan untuk penggunaan rekreasi, tetapi memilikinya adalah ide bagus. Jika Anda bergabung dengan klub terbang AMA, cakupan asuransi terbatas sudah termasuk dalam keanggotaan. Asuransi adalah persyaratan untuk penggunaan komersial.
- Jangan pernah terbang sembarangan. Tidak hanya itu berbahaya, dan tidak menghormati orang-orang dan properti di daerah tersebut, tetapi Anda mungkin akan dikeluarkan kutipan dan denda yang besar dan kuat. Terbang dengan aman.

10.5 TAMPILAN ORANG PERTAMA

Banyak penggemar multirotor suka terbang *first-person view* (FPV) menggunakan kacamata video yang memberi pilot rasa duduk di kokpit. Kamera kecil yang dipasang di bagian depan UAV memungkinkan tampilan waktu nyata dari perspektif drone. Penerbangan FPV semakin populer berkat balap minidrone yang terorganisir dan kompetitif. Majalah Make: edisi April/Mei 2015 penuh dengan fitur dan informasi FPV yang luar biasa. Berikut beberapa tipsnya:

- Bawalah seorang teman untuk bertindak sebagai pengintai. Anda memerlukan seseorang untuk menjadi mata kedua Anda untuk menjaga agar helikopter tetap berada dalam garis pandang dan memperingatkan Anda tentang apa pun yang dapat mengganggu jalur penerbangan Anda.
- Komunikasikan dengan jelas saluran/frekuensi video apa yang Anda gunakan dengan selebaran FPV lain di sekitar untuk menghindari gangguan dalam penerimaan dan visibilitas Anda.
- Pergi ke lokasi yang terbuka lebar dan terpencil jauh dari orang, properti, jalan, dan kabel listrik.
- Hindari membawa anak-anak atau hewan peliharaan ke area lapangan terbang FPV karena mereka tanpa sadar dapat memasuki jalur penerbangan Anda.
- Ikuti semua pedoman keselamatan lain yang diuraikan di bagian sebelumnya.

10.6 DIMANA DAN KAPAN TERBANG

Perencanaan adalah langkah penting dalam penerbangan yang aman dan sukses. Ada pepatah: gagal merencanakan; rencana untuk gagal. Ada banyak hal yang perlu dipertimbangkan sebelum penerbangan perdana Anda, dan setiap lepas landas setelahnya. Kami menggunakan daftar periksa sebelum penerbangan untuk memastikan bahwa kami telah memeriksa semua fungsi yang diperlukan untuk misi yang kami rencanakan. Anda dapat menggunakan aplikasi produktivitas favorit Anda untuk membuat daftar periksa pra-penerbangan Anda sendiri. Banyak tersedia di toko aplikasi online. Aplikasi daftar tugas yang kami gunakan adalah Wunderlist. Ini disinkronkan dengan mudah di berbagai platform. Ini

juga gratis, yang bagus. Lihat bagian berikutnya untuk poin informasi spesifik yang mungkin ingin Anda sertakan dalam daftar periksa pra-penerbangan Anda.

Kami juga suka menggunakan fitur 3D di Apple Maps untuk merencanakan misi kami. Anda dapat melihat perspektif yang sangat dekat dengan apa yang ingin Anda capai saat dalam penerbangan. Fitur waktu dan pencahayaan mungkin juga penting bagi Anda, jika tidak ada alasan lain selain untuk memastikan Anda tidak melihat langsung ke matahari saat melacak UAV Anda secara visual.

Cara terbaik untuk mengidentifikasi potensi risiko adalah secara langsung. Kami ingin mengunjungi suatu lokasi terlebih dahulu untuk melihat apakah ada cukup ruang, dan apakah lokasi tersebut berpotensi menimbulkan bahaya. Kembangkan rencana untuk mengurangi risiko dengan sebaik-baiknya ke tingkat yang dapat ditoleransi oleh semua yang terlibat di area penerbangan. Anda mungkin perlu mendapatkan izin atau setidaknya izin untuk terbang di suatu area, bahkan jika itu tampak seperti lapangan kosong. Jika Anda memiliki halaman sendiri yang sangat besar, Anda memiliki pengaturan ideal untuk ruang latihan reguler yang bebas stres, selama jaraknya lima mil laut atau lebih dari bandara utama mana pun. Akhirnya, taman nasional AS (pada saat penulisan ini) dianggap sebagai zona larangan terbang. Kami berharap ini berubah di beberapa titik di masa depan. Paling tidak, kami berharap untuk melihat prosedur yang berlaku bagi fotografer udara untuk mendapatkan izin mengakses taman nasional di bawah aturan National Park Service.

10.7 DAFTAR PERIKSA PREFLIGHT DAN INFORMASI LOG PENERBANGAN

Seperti halnya di pesawat ukuran penuh, daftar periksa pra-penerbangan dan log penerbangan sangat penting untuk menjaga keamanan pesawat dan lingkungan terbang:

- Tanggal dan waktu.
- Lokasi dan area lepas landas/pendaratan yang aman telah ditetapkan.
- Operator dan anggota tim penerbangan seperti pengintai atau operator kamera.
- Semua sambungan kabel dan perangkat keras aman.
- Pesawat, radio dan saluran, mode/pengaturan penerbangan
- Baling-baling dan baterai yang digunakan. Kami suka memberi label dan melacak penggunaan setiap baterai.
- GPS: Jumlah satelit yang terkunci.
- Cuaca, arah matahari, arah dan kecepatan angin. Kecepatan angin aman maksimum bergantung pada berat dan desain pesawat Anda. The Little Dipper sangat ringan dengan berat 2 lbs, jadi yang terbaik adalah menerbangkannya di bawah 10 mil per jam. Multirotor yang lebih berat dapat menangani angin yang lebih kuat. Juga, hindari curah hujan. Air dan elektronik tidak bercampur dengan baik.
- Tujuan/subjek, misi, dan contact person.
- Potensi bahaya dan rencana penanganannya masing-masing.
- Ketinggian/kecepatan tercapai.
- Payload secure paling baik untuk memulai tanpa payload.
- Pengaturan kamera dan kartu memori dengan ruang yang tersedia.

- Panjang penerbangan dan pengamatan apakah ada hal yang tidak biasa terjadi terkait peralatan atau pengalaman?

Cobalah yang terbaik untuk terbang menjauh dari siapa pun, tetapi menghindari setiap orang terkadang bisa sulit. Jika ada penonton yang hadir selama penerbangan, buatlah zona lepas landas dan mendarat yang aman (lihat Gambar 10-1). Kami menjaga jarak minimal 30 kaki antara UAV kami dan orang atau benda apa pun. Kami suka menggunakan kerucut pengaman untuk menandai batas zona aman kami. Anda juga bisa menggunakan terpal ekstra besar dengan kerucut yang membebani sudut-sudutnya. Terpal juga akan menjauhkan kotoran dari perangkat elektronik sensitif UAV Anda. Menciptakan garis pengaman fisik menggunakan tali, tiang, cat, atau bubuk pelapis lapangan adalah cara yang bagus untuk menjauhkan penonton. Jika Anda memiliki pengintai, minta dia berbicara dengan siapa pun di sekitar untuk memberi tahu mereka apa yang Anda lakukan, mengarahkan penonton untuk menjauh dari zona penerbangan, dan selalu waspada di mana UAV berada. Ingat, terbang di dekat stadion besar dengan kerumunan di tribun dilarang oleh FAA satu jam sebelum dan satu jam setelah acara dijadwalkan (serta selama acara itu sendiri, tentu saja).



Gambar 10-1 Selalu jaga zona aman di sekitar pesawat Anda selama lepas landas dan mendarat.

Secara aktif mencari kabel di area penerbangan. Kabel listrik di udara, dan bahkan kabel longgar di tanah, bisa sangat berbahaya saat terbang. Cabang-cabang pohon yang terentang, tiang lampu, dan fitur arsitektur juga dapat menjadi ancaman. Menjaga jarak dan menghindarinya sepenuhnya adalah satu-satunya cara untuk sepenuhnya menghindari risiko yang terkait dengan hal-hal semacam ini.

10.8 INSPEKSI PESAWAT

Membuat asumsi dapat menyebabkan membuat kesalahan besar. Jangan pernah berasumsi bahwa semua yang ada di multirotor Anda bekerja dengan baik hanya karena Anda

melihatnya terbang dengan sempurna kemarin. Selalu lakukan pemeriksaan sistem sebelum setiap penerbangan. Pengujian tentu saja konstan dalam hobi ini. Pemeriksaan yang lebih menyeluruh dengan perawatan rutin rutin, bersama dengan dokumentasi yang menyertainya, juga merupakan ide yang bagus. Uji motor dan pengaturan tanpa baling-baling. Terakhir, tambahkan baling-baling, mundur, dan lakukan uji prop-directional. Jika Anda melihat ada yang salah, atau harus memperbaiki/mengubah apa pun, dokumentasikan di tempat.

Tinjau prosedur baterai (lihat kembali Bab 5). Usia mereka, bagaimana mereka ditangani, dan disimpan, dan apakah mereka utuh atau memiliki muatan yang tidak terpakai semuanya dapat berpengaruh pada baterai Li-Po. Ambillah sendiri untuk mengetahui cara menggunakan, menyimpan, dan membuangnya secara bertanggung jawab. Temukan pusat pengiriman lokal Anda yang dapat menerima baterai Li-Po bekas. Pahami bahwa penggunaan baterai Li-Po bisa berbahaya dan membutuhkan perhatian disiplin Anda. Anda harus memiliki alat pemadam kebakaran di tangan untuk berjaga-jaga.

10.9 LOG PENERBANGAN DAN PEMELIHARAAN

Sebagian besar informasi yang sama dari daftar periksa pra-penerbangan dapat digunakan untuk menghasilkan log penerbangan Anda. Penting untuk mendokumentasikan setiap penerbangan Anda. Ini membantu Anda meningkatkan kinerja pembuatan dan penerbangan UAV, dengan mengenali pola dalam data yang Anda kumpulkan. Manfaat tambahan dari menyimpan catatan penerbangan adalah jika Anda mampu menunjukkan upaya proaktif yang konsisten di pihak Anda untuk selalu terbang dengan keselamatan sebagai prioritas, Anda akan jauh lebih baik jika motif Anda saat terbang dipertanyakan.

Selain log penerbangan, kami juga menyarankan untuk menyimpan log pemeliharaan terpisah untuk build UAV Anda. Ini mungkin sesederhana menggunakan kertas dan pengikat, atau file terperinci yang disimpan secara digital di perangkat elektronik seluler apa pun yang Anda inginkan. Catat setiap perbaikan atau peningkatan yang Anda lakukan, dan kapan Anda melakukannya. Jawab pertanyaan, “Apa yang menyebabkan masalah?” dan “Mengapa perbaikan atau penggantian diperlukan?” Selesaikan pengujian yang relevan setelah pekerjaan selesai, dan catat pengamatannya. Tentu saja, menggunakan komponen berkualitas membantu mengurangi goresan kepala, dan waktu perbaikan dan dokumentasi. Misalnya, mekanisme logam versus plastik secara alami akan lebih tahan lama dan tahan lebih lama.

Apa yang kami katakan di Bab 2 masih berlaku: rekam proses pengambilan keputusan Anda selama pembuatan drone Anda, terutama jika itu adalah pengalaman robotika udara pertama Anda. Jelaskan faktor apa yang membuat Anda membuat setiap pemilihan komponen di seluruh build Anda. Bandingkan suku cadang atau merek yang Anda pertimbangkan, dan apa hasil dari setiap keputusan. Ini mungkin tampak seperti latihan yang berlebihan, tetapi nanti Anda akan senang memiliki bahkan setengah dari informasi tersebut di tangan.

10.10 HUKUM DAN PERATURAN

Di banyak negara, para penghobi telah menikmati model penerbangan selama hampir 100 tahun. Sepanjang abad ke-20, aturan akal sehat memandu komunitas model pesawat

karena biasanya mengawasi dirinya sendiri dengan sedikit atau tanpa insiden. Baru-baru ini, kemampuan pesawat ini telah meningkat pesat, dan ini menarik minat para pembuat undang-undang, terutama di Amerika Serikat. Kami sangat menyarankan siapa pun yang baru saja menjadi hobi pesawat model untuk memeriksa undang-undang lokal dan nasional mengenai teknologi tersebut. Area ini bergerak dengan kecepatan yang sangat cepat sehingga apa pun yang kita tulis kemungkinan besar akan ketinggalan zaman pada saat buku ini sampai di rak. Jika Anda tinggal di Amerika Serikat, situs web FAA atau AMA adalah tempat terbaik untuk memulai.

BAB 11

APLIKASI DUNIA NYATA

11.1 DRONE BERMANFAAT

Ketika digunakan dengan aman dan bertanggung jawab, UAV kecil dapat diterbangkan untuk berbagai aplikasi. Ketika kami berbicara dengan siswa, mereka terus-menerus menemukan kegunaan baru yang kreatif untuk teknologi. UAV dapat sangat bermanfaat bagi industri, manusia, dan planet kita. Banyak universitas sekarang menawarkan jurusan dalam sistem udara tak berawak. Yang pertama, University of North Dakota, memulai programnya pada tahun 2009, dan Kansas State University adalah perguruan tinggi AS kedua yang menawarkan jurusan UAS. Kebutuhan akan UAV di bidang pertanian mendorong sekolah-sekolah di Midwest untuk memimpin. Di sini, kami akan mengeksplorasi apa yang kami rasakan sebagai aplikasi paling bermanfaat di dunia nyata untuk penggunaan UAV. Daftar ini hanyalah awal dari bagaimana drone membantu menghemat waktu, uang, dan nyawa.

11.2 FOTOGRAFI UDARA

Keinginan untuk menciptakan fotografi dengan nuansa dan perspektif yang unik merupakan motivator kuat yang membuat banyak orang tertarik pada UAV (lihat Gambar 11-1 dan 11-2). Kamera olahraga aksi yang ringan dan tahan lama telah memainkan peran penting dalam popularitas drone kecil. Kemampuan untuk melihat area yang lebih luas dan mendapatkan pemahaman yang jelas tentang lingkungan telah menyebabkan aplikasi dalam industri film, penyiaran olahraga, dan jurnalisme. Kami mulai menggunakan UAV buatan Terry untuk memotret lanskap dan arsitektur pada tahun 2010.



Gambar 11-1 Monumen Kunci Francis Scott, Baltimore, MD, diambil dengan Sony NEX-5n.

Teknologi UAV dan kamera terus berkembang pesat. Pada titik ini, kami lebih suka terbang dengan model kamera empat pertiga mikro pada dasarnya hibrida antara model DSLR

point-and-shoot dan ukuran penuh. Fitur penting yang harus dimiliki adalah sensor jarak jauh yang memungkinkan Anda memicu rana dari tanah. Metode lain adalah dengan mengatur kamera untuk mengambil gambar secara berkala, katakanlah setiap lima detik atau lebih. Kami telah menemukan bahwa tim yang terdiri dari dua orang bekerja dengan baik untuk menyusun bidikan terbaik. Pilot mampu berkonsentrasi mengoperasikan pesawat, sedangkan operator kamera menggunakan kontroler kedua untuk gimbal dan kamera. Monitor stasiun bumi memungkinkan Anda melihat pemandangan dari kamera terpasang dan memperbaiki posisi udara Anda untuk menangkap komposisi akhir. Lihat kembali Bab 8 untuk informasi lebih lanjut tentang peralatan kamera UAV.



Gambar 11-2 Karnaval Pemadam Kebakaran, Baltimore, MD, diambil dengan Canon S95.

11.3 PEMETAAN DAN SURVEI

Drone terbukti menjadi alat yang efisien yang merevolusi bidang sistem informasi geografis (GIS). Muatan drone dapat mengumpulkan berbagai data menggunakan kamera dan sensor. Perangkat ini, yang digunakan bersama dengan penanda tanah yang direferensikan secara geografis, menghasilkan peta yang sangat akurat dengan resolusi hingga lima sentimeter per piksel.

Dua jenis perangkat lunak utama terlibat dalam pemetaan UAV. Jenis pertama adalah untuk perencanaan misi, dan yang kedua untuk pengolahan data. UAV terbang dalam pola mesin pemotong rumput secara mandiri (lihat Gambar 11-3). Beberapa aplikasi perencanaan misi tersedia termasuk aplikasi open source gratis. Misi diunggah ke UAV secara keseluruhan. Saat menerbangkan misi, muatan mengarah lurus ke bawah dan menangkap data secara berkala, menciptakan gambar area yang tumpang tindih setidaknya 60% dari depan ke belakang dan 40% dari sisi ke sisi. Setelah data terkumpul, diproses dengan menghilangkan distorsi dan menggabungkan gambar untuk membuat mosaik orto rektifikasi. Seperti halnya perangkat lunak navigasi, ada juga berbagai solusi pemrosesan data dari aplikasi yang diinstal secara lokal hingga layanan berbasis cloud.



Gambar 11-3 Garis putih menunjukkan jalur penerbangan pemetaan UAV dalam pola mesin pemotong rumput.

11.4 PERTANIAN PRESISI

Teknologi baru sangat penting untuk memenuhi kebutuhan nutrisi populasi yang terus bertambah. Dengan 2,2 juta peternakan di Amerika Serikat saja, pertanian presisi akan sangat diuntungkan dari UAV kecil. Petani, ahli agronomi, dan penyedia layanan pendukung pertanian semuanya menyadari hal ini dan lebih paham teknologi daripada yang Anda kira. Drone lebih murah dan lebih mudah diakses daripada pesawat biasa. UAV juga dapat menyelesaikan tugas yang sebelumnya dilakukan dengan pesawat berawak jauh lebih cepat dengan hasil yang lebih presisi. Selain itu, karena peternakan umumnya terletak di daerah yang jarang penduduknya, masalah privasi dan keamanan terkait drone tidak terlalu menjadi perhatian.

Ada dua bidang utama di mana UAV membantu petani. Yang pertama adalah dengan GIS, dan biasanya menggunakan gaya sayap tetap pesawat drone. Mereka tidak membutuhkan banyak tenaga, yang membantu mereka bertahan di udara lebih lama. Dengan mengumpulkan data dari sensor inframerah dan file gambar yang dijahit, petani dapat memetakan pertanian secara efisien, memperkirakan hasil panen, menilai kesehatan tanaman, mengidentifikasi gulma atau tanaman yang sakit, mencatat pertumbuhan tanaman, dan mengukur tingkat hidrasi. Semua informasi ini kemudian dianalisis dan digunakan untuk membuat keputusan pengelolaan tanaman terbaik. Resep untuk pupuk dan pestisida kemudian dapat diterapkan secara selektif pada masing-masing tanaman dalam rencana lapangan yang lebih baik. Di sinilah jenis pesawat UAV kedua masuk. Helikopter atau multirotor yang mampu membawa muatan digunakan untuk menyemprotkan berbagai formula yang ditentukan, baris demi baris, tepat hanya ke tanaman yang membutuhkannya.

Program pertanian presisi UAV yang berhasil ditemukan di Kanada, Brasil, dan Swedia, tetapi model yang menonjol ada di Jepang. Kementerian Pertanian Jepang menugaskan Yamaha untuk mengembangkan sistem udara tak berawak untuk pertanian pada tahun 1983. Helikopter tak berawak Yamaha RMAX telah menyemprot tanaman sejak tahun 1991. Saat ini,

RMAX menyemprotkan 40% dari sawah Jepang, sekitar 2,5 juta hektar. Peningkatan hasil mereka diperkirakan setinggi 30% sambil mempertahankan catatan keamanan yang sempurna. Drone memang akan merevolusi pertanian.

11.5 PENCARIAN DAN PENYELAMATAN

Drone telah berkali-kali membantu lokasi orang hilang yang berhasil, apakah insiden itu karena bencana alam, penculikan, atau sekadar kehilangan arah dan tersesat. Sebuah UAV yang dilengkapi dengan kamera resolusi tinggi atau sensor inframerah dapat mencari ratusan hektar dalam hitungan menit. Untuk menutupi area yang sama di lapangan akan memakan waktu puluhan atau ratusan relawan berjam-jam atau bahkan berhari-hari. Periode waktu awal sejak seseorang pertama kali dilaporkan hilang adalah yang paling penting, dan memobilisasi sumber daya lebih awal dapat membuat semua perbedaan dalam menemukan mereka dalam keadaan hidup.

Beberapa contoh tim yang secara efektif merancang atau menggunakan drone untuk pencarian dan penyelamatan dengan biaya dan risiko yang lebih kecil termasuk:

- Royal Canadian Mounted Police menemukan sebuah keluarga yang tersesat selama berhari-hari saat mendaki di hutan dekat Danau Topsai di luar Nova Scotia.
- Penjaga Pantai Selandia Baru menggunakan pesawat tak berawaknya untuk menemukan orang dan kapal yang hilang di laut. Robolifeguard adalah sUAV yang memiliki modul penangkal hiu.
- Grup Swiss telah mengembangkan drone untuk misi dalam ruangan yang ketat yang disebut Gimbal UAV. Itu ditempatkan di dalam sangkar yang dapat memantul dari rintangan atau berguling di tanah.
- David Lesh, pengguna drone amatir, menemukan Guillermo DeVenecia, pria hilang berusia 82 tahun yang mengembara ke ladang kedelai. Setelah berhari-hari mencari menggunakan metode lain, Lesh terbang pada ketinggian 200 kaki dan dengan cepat melihat DeVenecia.
- EquuSearch nirlaba Texas mendapat perhatian luas karena mengajukan petisi untuk ditinjau ke Pengadilan Banding AS untuk Distrik Columbia, dengan keluhan terhadap FAA karena salah memerintahkan penghentian dan penghentian dalam email karena menggunakan UAV untuk pencarian dan penyelamatan. Pengadilan menemukan bahwa email FAA "bukan surat penghentian dan penghentian resmi yang mewakili kesimpulan akhir badan tersebut." Misi Equusearch telah berkontribusi untuk menemukan banyak orang hilang.

11.6 INSPEKSI INFRASTRUKTUR

Infrastruktur yang menua dan munculnya cuaca ekstrem dapat berdampak buruk pada infrastruktur transportasi, komunikasi, dan energi. Inspeksi struktur yang terkait dengan industri ini adalah di mana UAV kecil memberikan banyak keuntungan dibandingkan pesawat berawak biasa (lihat Gambar 11-4). Drone mampu mencapai close-up yang ketat dan masuk ke area yang sulit dijangkau. Keamanan adalah keuntungan lain yang jelas. Pertimbangkan pekerja yang harus memanjat struktur atau menggunakan truk ember dan derek untuk

menahan diri dari sisi jembatan besar dan gedung pencakar langit. Metode usang ini sangat berbahaya, memakan waktu, dan mahal. Untuk biaya satu penerbangan berawak, perusahaan dapat memiliki dan mengoperasikan seluruh sistem pencitraan UAV.

Mampu menahan UAV pada satu set koordinat GPS yang tepat, ditambah kemampuan untuk menggerakkan kamera udara dalam tiga sumbu, memungkinkan operator untuk mendapatkan pandangan yang sangat jelas dari setiap area yang dibutuhkan teknisi untuk mendapatkan tampilan yang mendetail. Umpan langsung memungkinkan inspektur untuk melihat secara real time apa yang dilihat drone. File resolusi tinggi kemudian dapat disimpan dan ditinjau untuk membuat penilaian dan mengembangkan strategi perbaikan.



Gambar 11-4 Gambar udara-ke-udara dari RC Rotor Inspection Drone dengan titik kamera lurus ke atas; X8 dikemudikan oleh Beresford Davis, dan fotonya dibuat oleh Terry Kilby.

Drone adalah pengubah permainan untuk memeriksa berbagai struktur termasuk:

- Jembatan
- Saluran listrik
- Menara seluler
- Bangunan
- Atap
- Pipa dan rig minyak
- Pembangkit nuklir (pengukuran radiasi)
- Analisis termal bangunan
- Tip suar kilang gas
- Fasilitas pengolahan air
- Turbin angin
- Tumpukan asap
- Pembangkit listrik tenaga air

- Kapal
- Susunan surya
- Monumen bersejarah
- Kereta Api
- Jalan raya (jalan layang, terowongan)
- Peralatan besar (derek, pemindah tanah)

11.7 KONSERVASI

Ahli biologi dan klimatologi menghadapi banyak tantangan sulit dalam perjuangan mereka untuk menyelamatkan spesies yang terancam punah di planet kita dan habitatnya. Mereka harus mencakup lokasi yang luas dan sulit dinavigasi. Merencanakan ekspedisi mahal, melelahkan, dan memakan waktu. Para konservasionis tewas karena bertemu dengan pemburu bersenjata. Banyak selama bertahun-tahun telah meninggal terbang di pesawat ringan di ketinggian rendah untuk pengamatan mereka. Karena kebutuhan yang mendesak, para ilmuwan menyambut baik banyak keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan sUAV untuk menyelesaikan pekerjaan mereka secara efisien. Kecepatan, keamanan, dan penghematan waktu dan biaya sangat luar biasa. Namun, manfaat terbesar mungkin adalah kekayaan data dari gambar dan sensor beresolusi tinggi yang belum pernah terlihat sebelumnya, apalagi dikumpulkan. Tampaknya drone telah memberikan harapan baru bagi para konservasionis.

BAB 12

MEMPERLUAS KEMAMPUAN DRONE ANDA

Selamat! Anda telah melakukannya. Anda membangun drone pertama Anda, dan Anda telah mempelajari sejumlah pelajaran berharga di sepanjang jalan. Kami berharap bahwa setidaknya beberapa dari pelajaran ini akan beresonansi dengan Anda dengan cara yang mendorong eksperimen di masa depan. Bab ini memberi Anda beberapa saran untuk modifikasi yang dapat Anda lakukan sekarang setelah Anda menguasai seni membuat drone.

12.1 TAMBAHKAN KAMERA

Jika Anda membuat kit otonom, itu tidak datang dengan paket FPV atau kamera. Sekarang setelah Anda merasa nyaman membuat pesawat ini, inilah saat yang tepat untuk menambahkan umpan video langsung untuk melihat apa yang dilihat drone Anda secara real time. Untuk melakukan ini, Anda perlu menambahkan pemancar video di pesawat dan penerima video ke stasiun bumi dengan beberapa jenis monitor (kacamata atau layar kecil) untuk melihat umpan (lihat Gambar 12-1 dan 12-2).



Gambar 12-1 Pemancar video 5,8 GHz dengan adaptor sudut kanan dan antena Skew Planer terbalik.

Instalasi FPV

Model drone, Little Dipper, yang kami gunakan sebagai contoh build untuk buku ini adalah quadcopter kelas 300, yang berukuran kecil dibandingkan dengan desain drone lainnya. Untuk alasan ini, untuk menambahkan FPV ke quad yang begitu ringkas, kami menyarankan Anda menghapus komponen lain (yang tidak penting untuk penerbangan). Jika Anda telah menambahkan semua yang ditampilkan dalam buku ini, sudah ada banyak barang elektronik yang dimuat ke drone Anda. Untuk kinerja penerbangan terbaik, masa pakai baterai, dan stabilitas keseluruhan, yang terbaik adalah menghindari mencoba membawa

terlalu banyak pada rangka drone Anda. Jika FPV adalah suatu keharusan bagi Anda, mungkin melepas radio telemetry adalah cara yang tepat. Memasang sistem FPV bisa menjadi satu bab penuh dari sebuah buku, dan berada di luar cakupan buku ini. Namun, jika Anda tertarik dengan topik tersebut dan ingin mempelajari lebih lanjut, silakan kunjungi halaman FPV online kami.



Gambar 12-2 Kamera olahraga aksi Mobius pilihan bagus untuk pesawat seukuran Little Dipper sangat populer karena bobotnya yang ringan dan performanya yang tinggi.

12.2 KUMPULKAN LEBIH BANYAK DATA DENGAN SENSOR LAIN

APM mampu menggabungkan sejumlah sensor tambahan. Karena ini adalah platform open source, Anda bahkan dapat mengubah firmware untuk bereaksi terhadap input sensor tertentu sesuka Anda. Mungkin Anda ingin menggunakan sensor kecepatan angin untuk memperlambat penerbangan ke depan setelah kecepatan tertentu tercapai, atau mungkin sensor jarak untuk mendeteksi saat Anda berada pada jarak tertentu dari tanah. Ini semua mungkin dengan sedikit riset dan beberapa kode pintar. Komunitas drone DIY yang fantastis yang bermunculan secara online dapat berfungsi sebagai sumber daya yang sangat berharga untuk proyek semacam itu.

Sumber Daya Web yang Hebat

Cara yang bagus untuk mulai menulis firmware kustom atau menggabungkan sensor kustom adalah dengan menemukan orang lain yang telah berpengalaman di bidang ini, dan mengembangkan apa yang telah mereka lakukan. Drone DIY berfungsi sebagai komunitas yang hebat untuk terhubung dengan pengembang lain. Jika Anda tertarik untuk menulis firmware atau perangkat lunak khusus untuk drone yang baru Anda buat, lihat Kit Drone; ini adalah lapisan tengah baru yang berada di atas basis kode asli dan memungkinkan Anda untuk dengan mudah menulis kode khusus dalam bahasa Python.

12.3 MENGUBAH KECEPATAN

Salah satu mod pertama yang selalu kami tanyakan tentang drone adalah bagaimana membuatnya lebih cepat. Seperti yang telah Anda pelajari dalam buku ini, mendapatkan kinerja yang diinginkan memerlukan tindakan penyeimbangan yang baik antara semua

komponen dan desain. Teori yang sama juga berlaku untuk kecepatan. Hal-hal utama yang perlu dipertimbangkan ketika mencoba meningkatkan kecepatan quadcopter Anda meliputi:

Bobot

Seperti apa pun yang dibangun untuk kecepatan, bobot adalah hal pertama yang harus Anda perhatikan saat mencoba meningkatkan kinerja. Di mana saja Anda dapat mencukur beberapa gram akan memungkinkan Anda melihat beberapa peningkatan kemampuan pesawat Anda. Semakin banyak Anda dapat mencukur, semakin baik Anda dalam jangka panjang, meskipun hanya beberapa gram di sana-sini. Pertimbangkan untuk menghapus bagian mana pun yang tidak penting untuk misi. Apakah Anda benar-benar membutuhkan radio telemetri itu hanya untuk terbang cepat? Bagaimana dengan GPSnya? Mungkin Anda ingin mengganti autopilot sama sekali dengan sesuatu yang jauh lebih ringan. Ini semua adalah hal yang perlu dipertimbangkan ketika mencoba mengurangi berat badan.

Ukuran dan nada prop

Seperti yang kita pelajari sebelumnya, alat peraga sangat mirip dengan ban pada mobil dan dapat sangat memengaruhi kinerja pesawat kita di dunia nyata. Jika Anda ingin meningkatkan kecepatan quad Anda, cobalah bereksperimen dengan alat peraga yang berbeda. Semakin tinggi nada, semakin banyak udara yang akan Anda gerakkan melalui penyangga, yang umumnya sama dengan kecepatan yang lebih tinggi. Namun, berhati-hatilah: ada yang namanya terlalu banyak nada. Anda mungkin melihat penurunan stabilitas pesawat Anda pada titik tertentu. Alat peraga adalah bagian yang cukup murah dari persamaan ini, jadi kita akan sering membeli beberapa jenis berbeda untuk dimainkan dan mencari tahu persis bagaimana kinerjanya pada peralatan kita sendiri daripada menerima saran secara online. Sesuatu yang tidak bekerja untuk orang lain mungkin bekerja dengan baik untuk Anda, dan sebaliknya. Di Little Dipper, penyangga berukuran 6 inci adalah yang terbesar yang dapat Anda muat, jadi cobalah bereksperimen dengan penyangga bernada berbeda dengan ukuran tersebut.

Tegangan baterai

Dalam Bab 3, kita telah membahas tentang bagaimana Anda dapat menghitung RPM motor Anda dengan mengalikan tegangan baterai dengan nilai KV motor Anda. Dalam persamaan tersebut, kita hanya membahas baterai tiga sel yang memiliki tegangan 12,6 dengan muatan penuh. Setiap volt, seperti yang telah kita pelajari, memiliki daya sekitar 4,2 volt saat terisi penuh. Apa yang tidak kami jelajahi adalah beragam jenis baterai di luar sana. Bagaimana jika Anda mengganti baterai tiga sel menjadi empat sel? Sekarang Anda berbicara tentang tegangan maksimum 16,8 dan peningkatan kecepatan motor 9.660 RPM! Itu bisa membuat perbedaan besar saat membangun quad balap!

12.4 MENINGKATKAN TEGANGAN BATERAI

Meningkatkan tegangan operasi dapat berdampak pada komponen Anda yang lain. Pastikan bahwa semua yang ada di power train dinilai untuk bekerja dengan baik dengan

voltase yang Anda rencanakan untuk digunakan. ESC, motor, dan autopilot semuanya perlu diberi peringkat untuk voltase yang Anda cari.

Mungkin kombinasi pemenang datang dalam bentuk kapasitas yang lebih kecil (untuk bobot yang lebih ringan) baterai bertegangan lebih tinggi (untuk RPM lebih tinggi) dikombinasikan dengan alat peraga yang lebih pendek (untuk respons yang lebih cepat) yang memiliki nada lebih tinggi (untuk memindahkan lebih banyak udara). Bereksperimen dengan semua opsi yang berbeda ini adalah apa yang kami anggap sebagai bagian yang menyenangkan dari membangun pesawat ini.

12.5 MENINGKATKAN WAKTU PENERBANGAN

Aturan umum untuk meningkatkan waktu terbang adalah menggunakan prop yang lebih panjang yang memiliki nada lebih rendah. Dalam hal kit Little Dipper, kami telah memaketkannya dengan penyangga 6 inci (terbesar yang dapat ditampung di bingkai) dengan tinggi nada 4,5 atau 3. Mungkin tidak banyak ruang upgrade yang tersisa, tetapi Anda dapat bereksperimen dan melihat apa yang dapat Anda lakukan. Pada saat penulisan bab ini, alat peraga 6 × 2 baru saja mulai memasuki pasar, dan ini merupakan kemungkinan yang baik untuk waktu penerbangan yang lebih lama. Tentu saja, mengurangi berat pesawat juga akan memberi Anda sedikit lebih banyak waktu terbang, jadi lihat itu sebagai opsi lain untuk meningkatkan waktu terbang Anda.

12.6 PEMECAHAN MASALAH DI KOMUNITAS DRONE

Rekomendasi terakhir kami dalam buku ini adalah Anda menerima kenyataan bahwa selama drone masih ada dalam hidup Anda, perbaikan dan pemecahan masalah juga demikian. Memecahkan masalah yang muncul dan memengaruhi kinerja penerbangan adalah bagian normal dari menjadi penggemar UAV kecil. Anda akan menyelesaikan perawatan rutin dan pemeriksaan sistem sebelum setiap penerbangan untuk meminimalkan kejadian yang tidak diinginkan saat terbang, tetapi perbaikan tidak dapat dihindari. Untungnya, Anda tidak sendirian. Seperti yang disebutkan di Bab 1, ada komunitas drone online yang mapan dan lengkap yang kami anjurkan agar Anda terlibat.

Forum online yang bermanfaat dan populer meliputi:

- Drone DIY adalah sumber yang sangat bagus jika Anda menggunakan komponen APM.
- MultiRotorForums.com adalah sumber fantastis yang diisi oleh pilot berpengalaman dan pemula.
- YouTube memiliki banyak video tutorial drone. Lihat kru FliteTest.
- Produsen komponen UAV juga dapat memberikan informasi yang berguna. DJI memiliki informasi instruksional cetak dan online yang luar biasa.
- Ada banyak grup Facebook UAV untuk desain dan pabrikan bingkai tertentu, termasuk grup hebat untuk pembangun dan pilot wanita yang disebut Amelia Droneharts.
- Maker Media memiliki deretan publikasi instruksional yang fenomenal termasuk Make: majalah dan seluruh seri buku-buku Memulai.
- Kami juga mengundang Anda untuk membagikan foto pembuatan drone Anda ke galeri situs web kami. Kami akan senang melihat bagaimana Anda mengambil konsep-

konsep dalam buku ini dan menjalankannya. Gunakan alamat email yang hanya masuk untuk mengirim foto bangunan multicopter Anda: userbuilds@gettingstartedwithdrones.com

BAB 13

KODE I/O DASAR

Dalam bab ini kita akan membuat kerangka dasar untuk kode pengontrol penerbangan baru kita dan belajar berkomunikasi dengan beberapa periferal utama kita, termasuk radio dan motor. Kami akan menggunakan kerangka kerja yang kami bangun di sini sebagai platform untuk beberapa bab berikutnya, di mana kami akan menambahkan fungsi IMU dan mode. Angka-angka di bagian ini menunjukkan sirkuit yang dibangun di atas papan tempat memotong roti. Jika Anda berencana untuk menggunakan sirkuit yang sama persis seperti yang ditunjukkan pada bab-bab berikut dalam proyek Anda sendiri, maka Anda dapat langsung melompat ke membangun semua ini di papan sirkuit tercetak yang akan kita paparkan nanti. Saatnya menulis beberapa kode!

13.1 MENYIAPKAN IDE

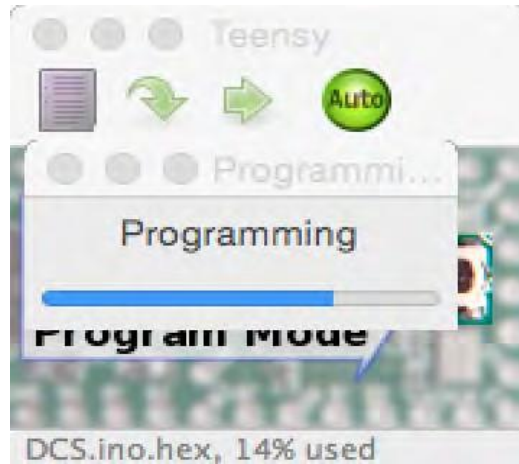
Prosesor Teensy 3.2 dapat diprogram menggunakan Arduino IDE. Ini dapat diunduh dari www.arduino.org/software#ide, di mana juga terdapat petunjuk tentang cara menginstalnya. Menggunakan IDE ini dengan Teensy 3.2 mengharuskan Anda menginstal Teensyduino, sebuah paket dari PJRC (perancang Teensy), yang menyertakan program Teensyloader dan beberapa perpustakaan khusus Teensy. Paket ini tersedia di www.pjrc.com/teensy/teensyduino.html. Pertama instal Arduino IDE, lalu paket ini. Dengan menjalankan program Teensyloader yang disertakan, Anda dapat mengunggah kode ke Teensy seperti Arduino lainnya. Buka Arduino IDE, sambungkan Teensy dengan USB, dan atur IDE seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13-1.



Gambar 13-1 Pengaturan Arduino IDE untuk Teensy 3.2.

Untuk memverifikasi bahwa semuanya berfungsi, biasanya menjalankan program contoh Blink. Buka sketsa ini dengan File → Example → Basics → Blink pada menu Arduino IDE,

lalu tekan tombol upload. Setelah program dikompilasi, Anda seharusnya dapat melihat kemajuan pengunduhan di layar Teensyloader kecil (Gambar 13-2).



Gambar 13-2 Teensyloader mengupload kode ke Teensy 3.2.

Jika sketsa ini diunggah dan berjalan dengan benar, Anda akan melihat LED kuning pada kipas Teensy, satu detik menyala, satu detik mati. Bekerja? Besar!

13.2 LOOP UTAMA

Sebagian besar sistem kontrol penerbangan akan memiliki setidaknya dua loop utama, yang disebut dalam dan luar atau cepat dan lambat. Mungkin juga ada tugas latar belakang dan tugas yang digerakkan oleh interupsi dan sistem penjadwalan tugas yang lebih kompleks, tetapi kami mencoba membuatnya tetap sederhana, jadi kami akan tetap menggunakan loop cepat dan lambat untuk saat ini. Kami akan secara tidak langsung menggunakan pemrosesan interupsi, tetapi kami akan melakukannya melalui perpustakaan yang sudah ada.

Loop cepat menjalankan hal-hal penerbangan penting. Ini termasuk membaca akselerometer, gyros, dan input kontrol; menghitung posisi kami dan setiap koreksi yang diperlukan; dan terakhir memperbarui kecepatan motor. Semua ini dapat dilakukan dalam dua atau tiga milidetik bahkan pada prosesor 8-bit yang lambat. Kami akan mengatur waktu target loop dalam kami menjadi dua milidetik. Kode loop dalam seharusnya dapat dieksekusi sedikit lebih cepat dari ini, tetapi kita akan menjalankannya tepat pada interval dua milidetik untuk konsistensi. Akhirnya, setelah kontrol penerbangan selesai, kami membaca pesan telemetri yang tertunda. Membaca pada loop cepat membantu menjaga antrian input agar tidak meluap, tetapi kita hanya menulis pada loop lambat. Inilah yang terlihat seperti lingkaran dalam:

```

#define FASTLOOPTARGET (2000) // length of inner control loop in microseconds

unsigned long fastLoopLength;
unsigned long fastLoopStart = 0;

void loop() {

    // the fast loop for flight control
    unsigned long fastLoopEnd = micros();
    fastLoopLength = fastLoopEnd - fastLoopStart;
    if ((fastLoopLength) > FASTLOOPTARGET)
    {
        fastLoopStart = fastLoopEnd;
        readIMU();           // read raw gyro/accel/mag
        calcIMU();           // calculate current yaw/pitch/roll
        doMode();            // calculate yaw/pitch/roll commands
        doPID();             // smooth yaw/pitch/roll commands
        doMix();             // convert cmds to motor speeds
        writeMotors();       // write to pwm
        mspRead();           // check for new telemetry msgs
        fastLoopTiming = micros() - fastLoopEnd;
    }
}

```

Baris pertama mendefinisikan panjang loop. Dua ribu mikrodetik adalah target dua milidetik kami. Mengabaikan deklarasi, pada awal setiap melewati loop program utama kami memeriksa untuk melihat apakah cukup waktu telah berlalu. Jika demikian, kami mengatur ulang jam dan menjalankan daftar panggilan loop cepat. Akhirnya, waktu yang diperlukan untuk memproses loop cepat dicatat. Kami berharap ini tetap jauh lebih rendah dari waktu loop target kami.

Loop lambat memiliki banyak struktur yang sama. Tugas dalam putaran lambat kami semuanya adalah komunikasi untuk saat ini, khususnya pengiriman semua data telemetri kami. Kita dapat menukar kecepatan putaran ini dengan jumlah data yang akan dikirim dalam setiap lintasan. Kecepatan baud koneksi Bluetooth (115.200) membatasi jumlah total data yang dapat dikirim. Dengan kecepatan pembaruan 10 per detik, kami masih dapat mengirim banyak data di setiap lintasan. Berikut adalah kode loop lambat:

```

#define SLOWLOOPTARGET (100) // length of outer control loop in milliseconds

unsigned long slowLoopLength;
unsigned long slowLoopStart = 0;

void loop() {

    ...
}

```

```
// the slow loop for communications
unsigned long slowLoopEnd = millis();
slowLoopLength = slowLoopEnd - slowLoopStart;
if ((slowLoopLength) > SLOWLOOPTARGET)
{
    slowLoopStart = slowLoopEnd;
    long slowLoopTimingStart = micros();
    mspWrite();
    slowLoopTiming = micros() - slowLoopTimingStart;
}
}
```

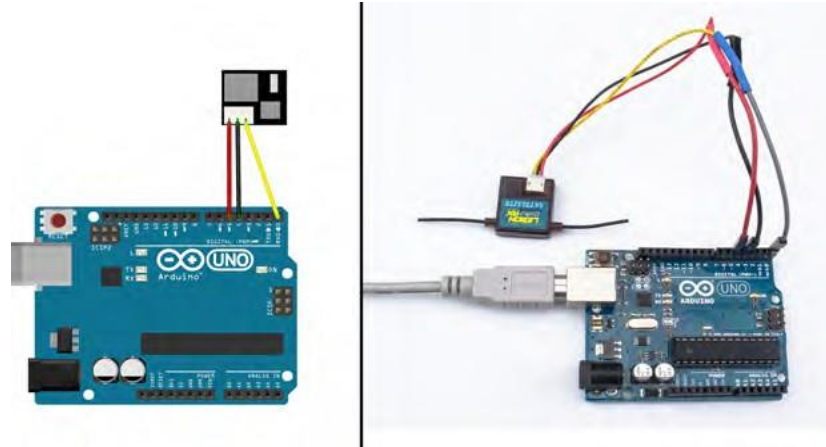
Saat ini, kami hanya memiliki satu tugas dalam putaran lambat: pengiriman pesan telemetri. Melakukan pengiriman di sini menjamin bahwa kami akan mengirim pesan paling banyak 10 kali per detik.

13.3 PENERIMA RC

Sekarang mari kita menempatkan radio ke radio kontrol dengan menghubungkan penerima Lemon RX. Pertama, kita harus mengikat penerima ke pemancar kita. Untuk menempatkan penerima dalam mode mengikat, urutan pulsa harus diterapkan ke pin daya. Karena penerima hanya membutuhkan 3.3V dan tidak menarik banyak daya, dimungkinkan untuk benar-benar mematikan unit dari pin data pada Arduino 5V. Ini akan memudahkan untuk mengalirkan daya ke penerima, kecuali bahwa kami tidak menggunakan Arduino 5V. The Teensy menggunakan daya 5V, tetapi hanya 3.3V yang disebut level logika.

Setelah mempertimbangkan sirkuit yang semakin kompleks untuk memungkinkan Teensy mengontrol daya ke penerima Lemon RX, saya akhirnya menyadari bahwa menambahkan semua sirkuit ini, yang tidak akan kita perlukan saat terbang, adalah pendekatan yang salah. Sebagai gantinya, saya sarankan Anda mendapatkan Arduino level logika 5V lama dan melakukan proses sederhana ini. Saya menggunakan Arduino Uno lama yang saya miliki, dan tersedia secara eceran dari tempat-tempat seperti Radio Shack dan Fry's.

Solder sementara beberapa pin di ujung kabel receiver agar bisa langsung dicolokkan ke header di Arduino. Sekarang sambungkan kabel merah (atau paling kiri, melihat ke bawah ke penerima), kabel ke pin D5 pada Arduino, kabel hitam (atau tengah) ke pin D4, dan kabel kuning (atau paling kanan) ke pin D0. Anda dapat melihat bagaimana ini terlihat pada Gambar 13-3.

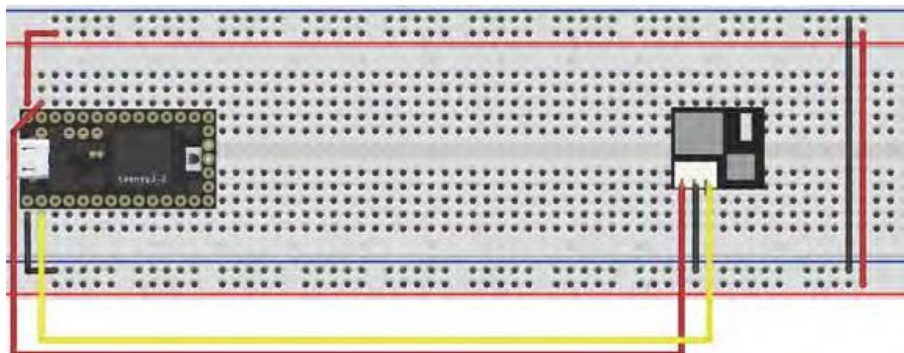


Gambar 13-3 Gambar fritzing dan aktual menggunakan Arduino Uno untuk mengikat penerima Lemon RX.

Anda dapat mengunduh kode untuk proses penjidlan di

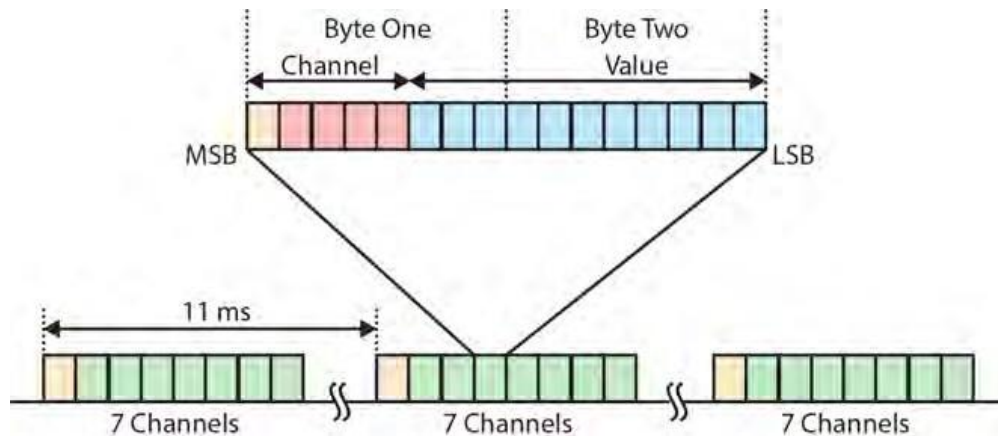
<http://www.maderonesbook.com/projects/VizDrone>.

Ingatlah untuk mengubah pengaturan port di Arduino IDE agar sesuai dengan papan yang Anda gunakan, lalu atur kembali untuk memprogram Teensy nanti. Unduh dan jalankan spekbind, dan receiver akan segera mulai berkedip cepat. Setelah penerima siap, tahan tongkat kiri pada pemancar dan hidupkan. Pemancar harus berbunyi bip dan pola kedipan penerima harus berubah. Dengan penerima terikat ke pemancar, mari kita sambungkan ke Teensy 3.2 dan perbarui kode kita untuk membacanya. Penerima ini membutuhkan 3.3V, seperti yang disebutkan, tetapi ini bukan masalah sekarang karena Teensy 3.2 menghasilkan daya 3.3V hingga 250 mAh, diatur turun dari input 5V-nya. Ini berarti kita hanya dapat menghubungkan receiver langsung ke Teensy seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13-4.



Gambar 13-4 Penerima Lemon RX mendapatkan kekuatannya dari CPU Teensy 3.2.

Kami hanya menerima data pada koneksi ini, karena tidak ada pengaturan untuk mengirim kembali ke penerima. Aliran data terdiri dari frame pada interval 11-milidetik, masing-masing berisi delapan nilai 16-bit, header, dan tujuh nilai saluran. Untuk radio dengan lebih dari tujuh saluran, diperlukan dua bingkai untuk mengirimkan semua nilai. Anehnya, saluran tampaknya dalam urutan acak, jadi kita harus memperhatikan nilai saluran di bit 11–14. Sebuah gambar akan membuatnya lebih jelas, jadi lihatlah Gambar 13-5.



Gambar 13-5 Format radio DSM mencakup tujuh saluran di setiap frame.

Kami akan menggunakan perpustakaan Serial Arduino standar untuk membaca dari penerima. Namun, kita harus menggunakan interupsi acara serial alih-alih hanya membiarkan buffer perpustakaan untuk kita karena kita perlu mengetahui waktu byte yang tiba untuk menentukan kapan sebuah frame dimulai. Handler interupsi menyangga byte baru dan mem-parsing frame jika sudah selesai. Kodenya terlihat seperti ini:

```
// RX interrupt
void serialEvent1() {
    checkForNewFrame();

    // put data in buffer
    while ((Serial1.available()) && (rxBufPos < RX_BUFFER_SIZE))
        rxBuf[rxBufPos++] = (char)Serial1.read();

    // parse frame if done
    if (rxBufPos == SPEK_FRAME_SIZE)
        parseRXData();
}
```

Mengurai data penerima mentah menjadi nilai saluran nyata pasti melibatkan beberapa matematika bilangan bulat berantakan yang kami coba hindari. Tetapi kami memiliki nomor saluran 4-bit dan nilai 10-bit yang dikemas ke dalam 2 byte, sehingga kode tersebut akan terlihat seperti berikut ini tidak peduli bagaimana Anda melakukannya:

```
// parse raw serial data into channels
void parseRXData() {
    // convert to channel data in the 1000-2000 range
    #define SPEK_FRAME_SIZE 16 // 1024 mode
```

```

#define SPEK_CHAN_SHIFT 2 // Assumes 10 bit frames, that is 1024 mode.
#define SPEK_CHAN_MASK 0x03 // Assumes 10 bit frames, that is 1024 mode.
for (int b = 0; b < SPEK_FRAMF_ST7F; b += 2)
{
    uint8_t bh = rxBuf[b];
    uint8_t bl = rxBuf[b+1];
    uint8_t spekChannel = 0x0F & (bh >> SPEK_CHAN_SHIFT);
    if (spekChannel < RC_CHANS)
        rcValue[spekChannel] = 988 + (((uint16_t)(bh &
            SPEK_CHAN_MASK) << 8) + bl);
}

// constrain outputs and implement deadband
#define DEADBAND (10)
#define DEADTOP (MIDRC + DEADBAND)
#define DEADBOT (MIDRC - DEADBAND)
for (int i=0; i<4; i++)
{
    rcValue[i] = constrain(rcValue[i], MINRC, MAXRC);
    if ((rcValue[i] > DEADBOT) && (rcValue[i] < DEADTOP))
        rcValue[i] = MIDRC;
}
}

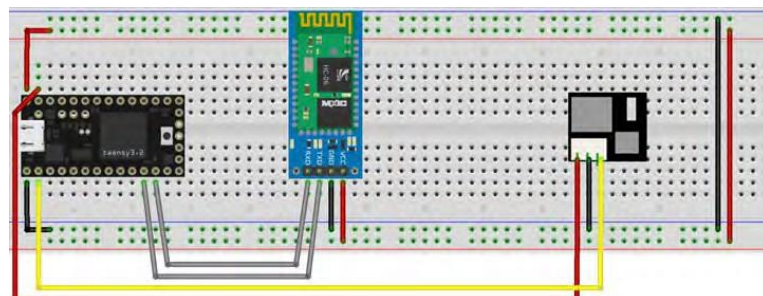
```

Perhatikan bahwa rutin ini juga mengimplementasikan deadband pada nilai input. Ini berarti bahwa ketika Anda memegang tongkat cukup dekat ke tengah rentang, nilainya akan dikonversi ke titik tengah persis. Ini membantu menghilangkan penyimpangan kecil dalam roll, pitch, dan yaw.

13.4 BLUETOOTH

Modul Bluetooth HC-06 memerlukan empat kabel untuk mengirim, menerima, dan daya. Ini menggunakan daya 5V yang sama dengan Teensy. Gambar 13-6 menunjukkan radio Bluetooth dan radio RC yang terhubung pada papan tempat memotong roti.

Kami akan menggunakan protokol serial MultiWii (MSP) untuk telemetri, yang berarti bahwa kami akan dapat menggunakan perangkat lunak stasiun kontrol tanah yang ada seperti MultiWiiConf. Protokol ini dirancang agar sederhana dan efisien. Stasiun bumi meminta pembaruan dan mengirim perintah. Drone mengirimkan pesan yang diminta dan memperbarui pengaturannya seperti yang diminta. Untuk meminta pembaruan, stasiun bumi hanya mengirim pesan pembaruan dengan ukuran data nol. Setiap pesan dimulai dengan "\$M" dan "<" atau ">", tergantung pada apakah pesan tersebut ke atau dari drone.



Gambar 13-6 Radio Bluetooth dan RC keduanya menggunakan pita radio 2,4 GHz

Misalnya, untuk meminta roll, pitch, dan yaw saat ini, yang secara kolektif disebut sikap, stasiun bumi akan mengirim:

```
"$M<", 108, 0, <crc>
```

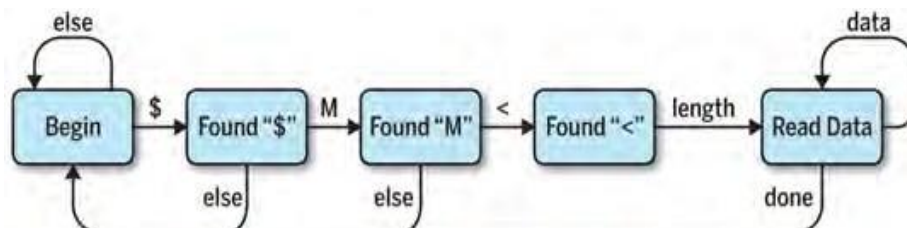
Drone kemudian mungkin merespons dengan:

```
"$M>", 108, 6, <roll>, <pitch>, <yaw>, <crc>
```

Angka 108 adalah singkatan dari perintah MSP_ATTITUDE. <crc> di akhir setiap pesan singkatan dari cyclic redundancy check, yang dalam hal ini berarti eksklusif-atau dari setiap byte dalam pesan. Ini adalah nilai 8-bit. Nilai <roll>, <pitch>, dan <yaw> semuanya 16-bit. Untuk mengirim pesan, kami memiliki rutinitas yang mengirim pembukaan, menulis data ke buffer, kemudian menghitung CRC dan mengirimkannya. Lihat kode sumber online untuk detailnya, tetapi sebagai contoh, berikut adalah kode untuk mengirim pesan yang telah kita bicarakan:

```
void writeMSP_ATTITUDE() {
    mspWriteStart(MSP_ATTITUDE);
    mspWriteWord(IMURoll*10);
    mspWriteWord(-IMUPitch*10);
    mspWriteWord(-IMUHead);
    mspWriteEnd();
}
```

Perhatikan bahwa *10 pada roll and pitch. Ini matematika bilangan bulat sial lagi. Anda dapat mengalikan dengan 10 dan tetap tidak melebihi kisaran bilangan bulat 16-bit, jadi ini memungkinkan satu tempat desimal presisi. Ini tampaknya tidak diperlukan untuk yaw. Untuk mengurai pesan MSP yang masuk, kita akan menggunakan mesin negara. Ini hanya cara yang bagus untuk mengatakan bahwa kita akan menunggu "\$", lalu menunggu "M", dan seterusnya. Dalam kasus kesalahan—misalnya, jika kita tidak mendapatkan "M" setelah "\$"—kita kembali ke awal. Kami menyebut kondisi Ditemukan "M" sebuah negara. Setelah kita membaca pembukaan "\$M<", kita membaca panjang byte, kemudian mengulang dalam keadaan yang sama saat membaca byte data. Gambar 13-7 menunjukkan ini dalam diagram keadaan.



Gambar 13-7 Diagram status ini menunjukkan cara mengurai pesan MSP.

Memiliki diagram seperti ini untuk bekerja membuatnya lebih mudah untuk menulis kode. Kode yang dihasilkan terlihat seperti ini:


```

enum {MSPSTATE_BEGIN, MSPSTATE_DOLLAR, MSPSTATE_M, MSPSTATE_LT, MSPSTATE_DATA}
mspState = MSPSTATE_BEGIN;
int mspBytesRemain = 0;
void mspRead() {
    // read available messages
    while (Serial.available())
    {
        char ch = 0x7f & Serial.read();
        switch (mspState) {
            case (MSPSTATE_BEGIN) : mspState = (ch == '$') ? MSPSTATE_DOLLAR :
                                    MSPSTATE_BEGIN; break;
            case (MSPSTATE_DOLLAR) : mspState = (ch == 'M') ? MSPSTATE_M :
                                    MSPSTATE_BEGIN; break;
            case (MSPSTATE_M)      : mspState = (ch == '<') ? MSPSTATE_LT :
                                    MSPSTATE_BEGIN; break;
            case (MSPSTATE_LT)    :
                mspState = MSPSTATE_DATA;
                mspBytesRemain = ch + 2; // data+cmd+checksum
                if (mspBytesRemain == 0)
                {
                    evaluateMSPCmd();
                    mspBufPosIn = 0;
                    mspState = MSPSTATE_BEGIN;
                }
                break;
            case (MSPSTATE_DATA)  :
                mspInBuf[mspBufPosIn++] = ch;
                if (--mspBytesRemain == 0)
                {
                    evaluateMSPCmd();
                    mspBufPosIn = 0;
                    mspState = MSPSTATE_BEGIN;
                }
                break;
        }
    }
}

```

Menjelang akhir rutinitas ini, pekerjaan sebenarnya akan dilakukan dalam panggilan ke `evaluationMSPCmd()`. Saat kami mendapatkan permintaan untuk pembaruan, yang sebagian besar dikirim oleh MultiWiiConf, kami hanya menetapkan tanda untuk mencatat permintaan tersebut. Pembaruan sebenarnya dikirim nanti dalam putaran lambat untuk memastikan kami tidak mengirim lebih dari 10 per detik dan mengambil waktu dari kontrol penerbangan. Perintah aktual seperti perubahan pada pengaturan PID atau bahkan posisi tongkat RC ditangani saat diterima.

Seperti dengan kode penerima RC, kami akan menggunakan perpustakaan Serial Arduino standar untuk mengimplementasikan telemetri kami. Dalam hal ini kita dapat membiarkan perpustakaan melakukan antrian karena kita tidak perlu tahu waktu yang tepat ketika sebuah byte masuk. Kita hanya perlu membaca antrian cukup sering agar tidak meluap sehingga membaca dalam loop cepat. Satu-satunya kerumitan adalah bahwa kita sebenarnya membutuhkan dua antrian input, karena kita bisa mendapatkan pesan dari USB atau Bluetooth. Anda dapat melihat detailnya di file `MSP.cpp` di kode sumber.

13.5 MOTOR

Setelah kerumitan penerapan telemetri, mengendalikan motor menjadi mudah. Kami menggerakkan motor dengan modulasi lebar pulsa (PWM) dari output digital pada Teensy. Rangkaian driver motor yang sebenarnya akan kita bahas di bab selanjutnya. Sekarang, mari kita lihat perangkat lunak yang dibutuhkan.

Modulasi lebar pulsa menyampaikan informasi dengan panjang masing-masing pulsa. Motor kami sebagian besar merespons siklus kerja, atau rasio waktu tepat waktu dengan waktu mati, tetapi ternyata tingkat atau frekuensi di mana pulsa tersebut terjadi masih merupakan kompromi yang menarik. Terlalu rendah dan kita akan melihat denyut nadi motor, tetapi kita tidak perlu serendah itu. Pada frekuensi sedang, dalam rentang beberapa ratus hingga beberapa ribu siklus per detik, pulsa menjadi terdengar sebagai regekan bernada tinggi. Tapi kita tidak bisa terus naik lebih tinggi.

Rangkaian driver motor kami, seperti kebanyakan, menggunakan transistor efek medan (FET) untuk menghidupkan dan mematikan aliran besar arus berdasarkan input dari Arduino. Ternyata dalam aplikasi kami, FET menggunakan daya sebagian besar saat beralih, jadi semakin cepat kami beralih, semakin banyak daya yang harus hilang sebagai panas. PWM motor untuk motor kecil yang disikat seperti yang kami gunakan di sini sering berjalan pada 8 kHz. Meskipun bernada tinggi, kebanyakan orang dapat mendengar suara dalam rentang ini. Kami akan mulai dari sana, tetapi pertimbangkan untuk naik lebih tinggi jika suaranya ternyata menjadi masalah.

Kode untuk ini lebih sederhana daripada deskripsi. Kami menggunakan panggilan `Write()` analog Arduino standar:

```
uint16_t motor[4];
uint8_t PWM_PIN[4] = {20, 21, 22, 23};

void writeMotors() {
    for (int i=0; i<4; i++)
        analogWrite(PWM_PIN[i], (motor[i]-1000)/4);
}

void initMotors() {
    for (int i=0; i<4; i++) {
        motor[i] = 1000;
        pinMode(PWM_PIN[i], OUTPUT);
        analogWriteFrequency(PWM_PIN[i], 8000);
    }
    writeMotors();
}
```

Nilai dalam motor variabel [4] berkisar dari 1.000 hingga 2.000. Ini mewakili kisaran PWM servo standar dalam mikrodetik, tetapi itu hanya angka arbitrer bagi kami. 1.000 dikurangi dan dibagi 4 untuk memberikan angka dalam kisaran 0 hingga 256 untuk register PWM yang sebenarnya. Jika kami mengendalikan pesawat sayap tetap yang stabil secara alami, kami hanya dapat menghubungkan radio RC ke motor atau servo dan selesai. Faktanya, kita tidak membutuhkan prosesor sama sekali, sebagaimana dibuktikan oleh semua pesawat

RC yang terbang selama beberapa dekade tanpa stabilisasi atau kontrol otomatis. Namun, desain quadcopter modern kita membutuhkan stabilisasi, dan untuk menstabilkan quadcopter kita harus memahami apa yang membuatnya terbang. Jadi, pemberhentian kita berikutnya adalah ringkasan singkat dari aerodinamika multirotor.

BAB 14

IMU/AHRS

Sekarang setelah kami memahami gaya aerodinamis dasar yang bekerja pada drone kami, kami dapat membuat sistem kontrol yang menggunakan gaya ini untuk membuat drone kami melakukan apa yang kami inginkan. Tetapi untuk mengontrol posisi kita, kita harus mengetahui posisi kita, dan untuk ini kita mulai dengan unit pengukuran inersia (IMU). Inersia menggambarkan kecenderungan benda yang diam untuk tetap diam dan benda yang bergerak untuk tetap bergerak. Dengan kata lain, inersia mewujudkan hukum pertama Newton tentang gerak.

Inersia menjelaskan mengapa Anda terlempar ke belakang ke tempat duduk Anda saat mobil yang Anda masuki berakselerasi atau mengapa Anda terlempar ke samping saat mobil berbelok. Tubuh Anda mencoba untuk tetap di satu tempat ketika mobil bergerak atau mencoba untuk tetap bergerak dalam garis lurus ketika mobil berbelok. Melalui desain yang cerdas, para insinyur telah membangun struktur kecil ke dalam sirkuit terpadu yang mengukur kekuatan ini. Ketika chip ini mengukur akselerasi garis lurus, kami menyebutnya akselerometer. Sementara akselerometer akan mendeteksi akselerasi drone karena daya dorongnya sendiri, kami terutama menggunakan akselerometer di drone untuk mendeteksi gaya gravitasi yang konstan. Saat mencoba mempertahankan drone, penting untuk mengetahui jalan mana yang turun.

Ketika sirkuit terpadu kami mengukur rotasi, kami menyebutnya giroskop. Giroskop piringan pemintalan besar digunakan untuk pekerjaan ini di masa lalu, dan namanya telah melekat meskipun chip saat ini beroperasi dengan prinsip yang berbeda, seperti yang akan kita lihat. Dalam drone, kami menggunakan giroskop untuk menstabilkan rotasi kami. Mereka tidak akan memberi tahu kita ke arah mana kita menghadap, tetapi mereka akan membiarkan kita tetap menghadap ke arah yang sama. Dengan menggabungkan akselerometer untuk menentukan arah gravitasi dan gyro untuk menentukan tingkat rotasi kita, kita dapat menjaga diri kita tetap sejajar dengan cakrawala dan menjaga diri kita agar tidak berputar-putar, tetapi kita tidak tahu arah mana yang akan kita tuju. Dengan kata lain, kita memiliki referensi mutlak untuk roll and pitch tetapi tidak yaw.

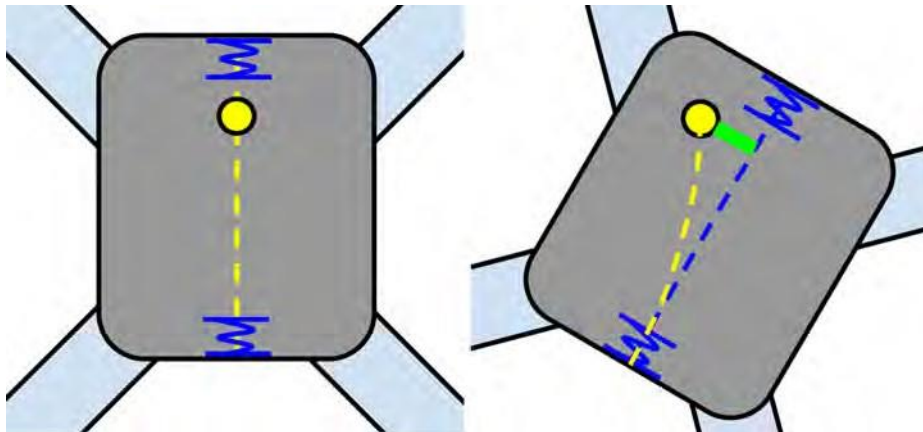
14.1 GYRO

Magnetometer kami bekerja seperti kompas kecil dalam tiga dimensi. Dengan menambahkan data ini ke sensor inersia, kita dapat memegang heading mutlak. Dengan sensor baru muncul akronim baru. Kami sekarang menyebut sistem itu sebagai sistem referensi sikap dan arah (AHRS), karena ini dapat memberi kami pembacaan yang lengkap dan mutlak tentang arah kami. Terkadang kita perlu tahu tidak hanya ke mana kita menuju, tetapi juga di mana kita berada misalnya, untuk navigasi titik jalan otonom yang lengkap. Untuk mencapai ini kita harus menambahkan lebih banyak sensor, seperti altimeter dan GPS, tetapi itu adalah subjek untuk bab selanjutnya.

Insinyur telah mengembangkan sejumlah perangkat menarik untuk menstabilkan pesawat selama bertahun-tahun. Orville Wright, dalam salah satu pengembangannya yang independen dari Wilbur, membangun penyamarataan sayap yang menggunakan baling-baling untuk mengukur arus udara, tetapi tidak pernah berhasil dengan baik. Lawrence Sperry membangun autopilot pertama yang benar-benar berfungsi pada waktu yang sama, menggunakan giroskop berputar untuk referensi sikap. Giroskop adalah bisnis keluarga Sperry, ayah Lawrence telah menciptakan gyrocompass dan gyro stabilizer untuk kapal.

Baru-baru ini, pada tahun 1963, para ilmuwan mengembangkan interferometri laser atau giroskop laser cincin. Ini beroperasi dengan mengirimkan sinar laser dalam dua arah di sekitar jalur dan mencatat pola interferensi yang dihasilkan. Saat Anda memutar sistem, jalur cahaya lebih panjang di satu arah dan lebih pendek di arah lain hanya karena Anda telah memindahkan titik pertemuannya. Panjang jalur yang berbeda mengubah pola interferensi (dikenal sebagai efek Sagnac), dan ini dapat diukur untuk menentukan laju rotasi. Teknologi yang sangat keren, tetapi tetap terlalu mahal untuk digunakan dalam model penerbangan.

Gyro sirkuit terpadu yang kami masukkan ke dalam drone modern kami didasarkan pada teknologi lain: sistem mekanik listrik mikro (MEMS). Kadang-kadang disebut giroskop struktur bergetar, IEEE telah menstandarisasi nama komponen ini sebagai giroskop getaran Coriolis, karena mereka bergantung pada gaya Coriolis yang sama yang membuat badai berbelok ke satu arah di Belahan Bumi Utara dan satu lagi di Belahan Bumi Selatan. Gaspard-Gustave de Coriolis menggambarkan efek ini pada tahun 1835 setelah mencatat bahwa tembakan meriam jarak jauh cenderung mendarat di sebelah kanan target mereka di Utara dan ke kiri di Selatan. Untuk melihat cara kerjanya, cobalah eksperimen pemikiran berikut.



Gambar 14-1 Bola berakhir di tempat yang sama (drone yang bergerak!).

Bayangkan sebuah bola kecil memantul bolak-balik dari depan ke belakang drone Anda. Sekarang, saat bola memantul dari belakang dan mengarah ke depan, bayangkan drone berbelok ke kanan. Jika bola kecil tidak terhubung ke drone, ia akan terus terbang ke arah yang sama dan dengan demikian mendarat di sebelah kiri tempat yang seharusnya ada di drone. Pada Gambar 14-1 bilah hijau mewakili defleksi jalur bola, relatif terhadap drone, karena rotasi. Dengan cara yang hampir sama, struktur getar kecil di dalam chip yang kami masukkan ke dalam drone kami terdorong ke kiri atau kanan saat mereka diputar. Dengan mengukur

defleksi ini, chip kemudian dapat memberi tahu kita seberapa cepat ia berputar. Beberapa struktur seperti itu kemudian digunakan untuk mengukur rotasi dalam arah yang berbeda.

14.2 AKSELEROMETER

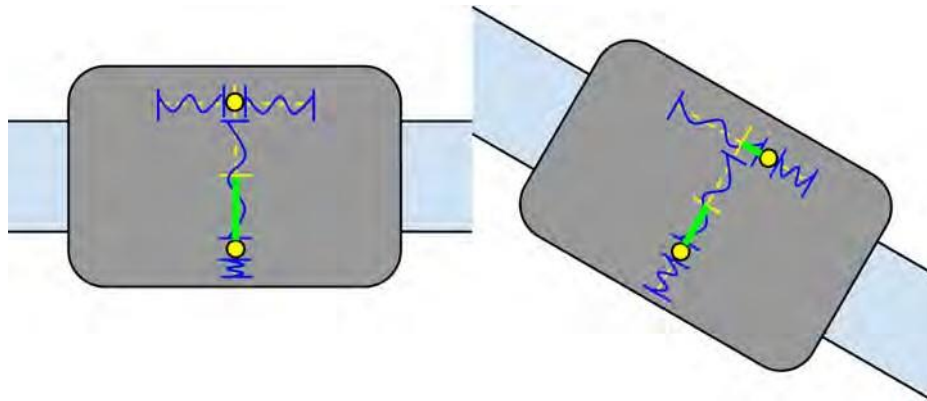
Berbeda dengan berbagai desain giroskop yang beroperasi pada prinsip yang berbeda, semua akselerometer pada dasarnya bekerja dengan cara yang sama. Mereka mengukur gaya yang diberikan oleh beban saat kerangka yang dipegangnya dipercepat. Biasanya, berat ada di ujung pegas dan kami mengukur defleksi pegas. Kadang-kadang sensor piezoelektrik kristal yang menghasilkan tegangan saat ditekan digunakan untuk mengukur gaya.

Akselerometer sirkuit terpadu di drone kami menggunakan teknologi MEMS seperti gyros. Dalam hal ini struktur terdiri dari massa kecil yang ditahan oleh lengan yang lentur dan lentur. Jari-jari kecil di sisi massa bergerak relatif terhadap jari-jari tetap di bingkai, yang menciptakan kapasitor variabel yang dapat diukur untuk menentukan seberapa jauh massa telah membelokkan lengan pegas. Masing-masing struktur ini dapat mengukur percepatan hanya dalam satu atau dua arah, sehingga beberapa struktur seperti itu harus digunakan untuk mendapatkan ukuran percepatan tiga dimensi.

Mengukur akselerasi tentu saja dapat memberi tahu kita seberapa cepat kita melaju. Jika kita berakselerasi pada 5 mil per jam (mph) per detik selama 3 detik, maka kita akan melaju 15 mph. Jika kita kemudian berhenti mempercepat dan melakukan perjalanan pada 15 mph selama 1 jam, kita melakukan perjalanan pada 15 mil, sehingga kita dapat menggunakan percepatan untuk menemukan jarak juga, meskipun ini membutuhkan pengukuran yang sangat akurat. Jika kita benar-benar melaju sedikit lebih atau kurang dari 15 mph, kesalahan akan bertambah setiap jam kita mengemudi.

Beberapa drone menggunakan akselerasi untuk menentukan kecepatan dan posisi, tetapi ini biasanya hanya dilakukan pada drone tingkat lanjut dan sebagai tambahan untuk GPS. Dalam hal ini kita hanya perlu menggunakan apa yang disebut navigasi inersia antara pembaruan GPS, yang umumnya dari 1 hingga 10 kali per detik, sehingga kesalahan tidak memiliki waktu untuk menumpuk terlalu banyak. Meskipun demikian, sistem seperti itu mengutamakan pengurangan getaran dalam sistem kontrol karena getaran dapat bertambah hingga terlihat seperti gerakan garis lurus pada akselerometer.

Lebih penting lagi bagi kami, selain mereka dipengaruhi oleh gerakan drone kami, gravitasi menarik beban kecil di akselerometer, sehingga memberi tahu kami jalan mana yang turun. Informasi inilah yang akan kami gunakan saat kami menggabungkan data akselerometer dan gyro untuk membuat unit pengukuran inersia yang lengkap. Pada Gambar 14-2 Anda dapat melihat bagaimana defleksi pegas horizontal dan vertikal berubah saat drone miring ke depan.



Gambar 14-2 Dengan membandingkan pembelokan kedua bola pada pegas, kita dapat menentukan arah gravitasi.

Tentu saja, chip gyro/akselerometer asli seperti MPU-6050 yang kami pilih memiliki struktur yang jauh lebih rumit daripada contoh-contoh ini. Pegas adalah lengan yang sangat fleksibel dan ada banyak jari kelingking yang mencuat dari strukturnya, yang membentuk kapasitor variabel untuk mengukur pergerakannya. Perubahan kecil ini dideteksi, didigitalkan, dan tersedia bagi kita sebagai beberapa nilai pada bus inter-integrated circuit (I2C). Adalah tugas kode IMU kami untuk membaca data ini dan memahaminya.

14.3 IMU

IMU membaca data mentah dari chip sensor, menggabungkannya, dan mengubah hasilnya menjadi nilai yang dapat kita gunakan seperti roll, pitch, dan yaw. Kami akan menggunakan perpustakaan Arduino Wire untuk berkomunikasi dengan chip MPU-6050. Pesan pertama kami ke chip ini harus berupa kode inisialisasi. Ini mengatur parameter untuk cara menskalakan dan memfilter hasil sebelum memberikannya kepada kami. Meskipun pengaturan ini sangat penting, dan mungkin perlu diubah jika waktu putaran cepat berubah, kode ini sangat spesifik untuk aplikasi dan tidak mungkin digunakan kembali, jadi mari beralih ke membaca sensor.

Sekali selama setiap loop cepat, kami memanggil rutinitas `readIMU()` dan `calcIMU()`. Yang pertama membaca nilai mentah dan yang kedua menghitung roll, pitch, dan yaw dari nilai-nilai ini. Kami memisahkan fungsi-fungsi ini sehingga fungsi lain, khususnya rutinitas kalibrasi, dapat membaca nilai mentah dan melakukan hal lain dengannya. Untuk membaca satu set nilai dari bus I2C, kami membuat permintaan dan kemudian membaca byte hingga respons selesai. Dalam kasus kami, kami akan membaca tujuh nilai 16-bit, dengan total 14 byte. Permintaan terlihat seperti ini:

```
//-----
// read gyro and accel
void requestIMU()
{
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
  Wire.endTransmission(true);
  Wire.requestFrom(MPU,14,true); // request a total of 14 registers
}
```

Saat membaca respons, kami juga memeriksa kesalahan bus. Ketika pesan selesai, kita harus melakukan beberapa matematika bilangan bulat jelek untuk menggabungkan byte menjadi kata-kata 16-bit. Inilah hasilnya:

```
//-----
// read available IMU bytes and process if full message
uint8_t imuBufPos = 0;
uint8_t imuBuf[14];
void readIMU()
{
    // read the whole IMU set
    requestIMU();
    while (imuBufPos < 14) // block until enough data read
    {
        if (Wire.available() > 0)
        {
            imuBuf[imuBufPos++]=Wire.read();
            if (Wire.getError() != 0)
                i2cErrorCnt++;
            debugVals[2] = i2cErrorCnt;
        }
    }
    if (imuBufPos == 14)
    {
        Acc[0]=imuBuf[0]<<8|imuBuf[1]; // 0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C (ACCEL_XOUT_L)
        Acc[1]=imuBuf[2]<<8|imuBuf[3]; // 0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E (ACCEL_YOUT_L)
        Acc[2]=imuBuf[4]<<8|imuBuf[5]; // 0x3F (ACCEL_ZOUT_H) & 0x40 (ACCEL_ZOUT_L)
        Tmp=imuBuf[6]<<8|imuBuf[7]; // 0x41 (TEMP_OUT_H) & 0x42 (TEMP_OUT_L)
        Gyro[0]=imuBuf[8]<<8|imuBuf[9]; // 0x43 (GYRO_XOUT_H) & 0x44 (GYRO_XOUT_L)
        Gyro[1]=imuBuf[10]<<8|imuBuf[11]; // 0x45 (GYRO_YOUT_H) & 0x46 (GYRO_YOUT_L)
        Gyro[2]=imuBuf[12]<<8|imuBuf[13]; // 0x47 (GYRO_ZOUT_H) & 0x48 (GYRO_ZOUT_L)

        //Acc[2] = -Acc[2];
        imuBufPos = 0;
    }
}
}
```

Sekarang untuk bagian yang menyenangkan, perhitungannya! Kita dapat memilih dari beberapa algoritma yang diteliti secara menyeluruh, termasuk filter Kalman (yang akan kita bahas nanti), filter pelengkap, dan algoritma Mahony/Madgwick. Implementasi Madgwick dari metode Mahony memiliki keuntungan karena tersedia sebagai kode sumber sederhana dengan hak yang jelas. Ini juga memiliki sejarah bekerja dengan sukses di proyek pesawat model lainnya. Akhirnya, karena diimplementasikan dengan quaternions, kode yang dioptimalkan Madgwick sangat efisien.

Apa itu quaternion, Anda bertanya? Diciptakan pada tahun 1843 oleh Rowan Hamilton, yang sangat senang dengan pemikiran bahwa dia mengukir formula ke jembatan yang dia lewati di Dublin ketika dia menemukannya, quaternions digunakan dalam grafik komputer dan navigasi, antara lain, untuk mewakili rotasi. Mereka membuat beberapa perhitungan lebih mudah dan menghindari kunci gimbal. Kunci gimbal terjadi di giroskop nyata ketika mereka mencapai batas gerak fisik. Hal serupa terjadi dalam kode kita ketika kita mencapai beberapa batas representasi matematis rotasi. Ini seperti berdiri di Kutub Utara dan menanyakan arah selatan.

Dilucuti dari bahasa matematika yang lebih tinggi, prosesnya berjalan seperti ini:

1. Baca data gyro dan akselerometer mentah.
2. Hitung laju perubahan berdasarkan arah arus dan data gyro.
3. Tentukan perbedaan antara perkiraan berbasis gyro ini dan perkiraan dari akselerometer.
4. Perbaiki laju perubahan berbasis gyro dengan mendorongnya ke arah berbasis akselerometer sesuai dengan parameter penyetelan.
5. Perbarui perkiraan arah kami berdasarkan tingkat perubahan yang dikoreksi ini dan jumlah waktu yang telah berlalu.
6. Ubah quaternions menjadi roll, pitch, dan yaw.

Lihat basis kode yang sebenarnya untuk melihat detailnya, atau baca saja tentang implementasi Madgwick secara online. Kode di IMU kami telah diubah untuk hanya menggunakan data kalibrasi kami dan untuk menghasilkan apa yang disebut sudut roll, pitch, dan yaw Tait–Bryan. Sejauh ini, kami telah menggambarkan sistem 6DOF, dengan tiga derajat kebebasan masing-masing untuk gyros dan akselerometer. Sekarang, mari tambahkan tiga lagi untuk magnetometer.

14.4 MAGNETOMETER

Magnetometer mengukur arah medan magnet yang melewatinya. Biasanya medan bumi mendominasi pengukuran ini, tetapi interferensi dari medan magnet yang dihasilkan oleh sistem tenaga drone itu sendiri dapat menjadi masalah. Kami mendapatkan informasi ini dalam bentuk vektor, seperti data akselerometer, dan data magnetometer digunakan dalam perhitungan sikap dengan cara yang sama seperti data akselerometer.

Secara matematis, ini cukup signifikan. Sementara sistem 6DOF memberikan roll dan pitch absolut relatif terhadap permukaan bumi, itu hanya dapat memberikan yaw relatif ke tempat asalnya, dan itu dibatasi oleh gyro drift. Saat kita naik ke sistem 9DOF, kita sekarang dapat menghitung rotasi tiga dimensi absolut relatif terhadap Bumi. Persamaan kami memberikan solusi tunggal.

Praktis, beralih dari enam ke sembilan derajat kebebasan tidak membeli banyak fungsi baru dengan sendirinya. Kita bisa menerapkan apa yang disebut mode tanpa kepala, di mana tongkat pada pemancar sesuai dengan arah absolut seperti utara dan selatan, bukan maju dan mundur relatif terhadap drone. Meskipun ini menarik, magnetometer menjadi penting saat kami menambahkan GPS dan mencoba melakukan navigasi otomatis. Dengan penambahan magnetometer, IMU kami mendapat nama baru. Sistem seperti itu umumnya dikenal sebagai sistem referensi sikap dan arah (AHRS), atau, dalam literatur akademis, sistem magnetik, laju sudut, dan gravitasi (MARG). Selanjutnya, kami akan membawa hasil IMU kami bersama dengan perintah RC.

BAB 15

MODE DAN CAMPURAN

Di dalam mobil, Anda memutar roda dan menahannya untuk membuat mobil berputar dengan kecepatan konstan. Pada pesawat bersayap tetap, Anda memutar roda kontrol selama beberapa detik hingga pesawat menggelinding cukup jauh, lalu kembalikan roda ke hampir nol untuk menahan posisi menggelinding. Sudut gulungan menentukan kecepatan putaran, dan roda kontrol menentukan ini secara tidak langsung dengan mengontrol kecepatan gulungan. Dalam bahasa drone, kita mungkin menyebut mobil "mode sudut" dan pesawat "mode kecepatan". Menariknya, pilot drone akan menggunakan kedua mode ini dan beberapa mode lainnya, terkadang beralih di antara beberapa mode dalam satu penerbangan.

Mode saat ini menentukan apa arti stik pada pemancar. Gabungkan ini dengan sikap kita, dan kode mode mengeluarkan perintah ke kode campuran seperti "maju ke depan dengan kuat" atau "yaw sedikit ke kiri." Kode campuran mengambil perintah ini dan menentukan berapa banyak throttle untuk dikirim ke masing-masing motor. Pada jenis pesawat lain, pencampuran ini mungkin juga mengontrol beberapa servos atau mungkin memerlukan urutan gerakan yang kompleks ("tepi kanan, lalu pegang sudut tepi"). Dengan tetap menggunakan multirotor, kami menghilangkan banyak kerumitan dan dengan demikian memungkinkan untuk membuat sesuatu yang fungsional saat kami belajar.

15.1 MODE

Saya telah mengatakan bahwa mode menentukan arti dari tongkat pada pemancar RC. Namun sebelum menjelaskan mode yang akan kita gunakan secara detail, sebuah kata tentang penggunaan lain dari mode kata. Pemancar RC datang dalam mode 1 atau mode 2 (atau beberapa dapat dialihkan), yang dalam hal ini berarti tongkat kanan atau tongkat kiri mengontrol throttle. Seseorang dapat menyusun ulang saluran dalam perangkat lunak, tentu saja, tetapi stik throttle biasanya tidak memiliki pegas, jadi ini membuat perbedaan nyata. Hampir semua pemancar yang digunakan dengan drone menggunakan mode 2, yang berarti throttle di sebelah kiri. Sekarang kita tahu tongkat mana yang mengontrol throttle, kita dapat menggali dan mencari tahu apa yang dilakukan tongkat lainnya.

Sistem kontrol yang berbeda memiliki nama yang berbeda untuk berbagai mode, meskipun fungsinya tetap sangat mirip. Apa yang akan kita sebut mode sudut sesuai dengan menstabilkan mrdoudCeopinteAr. Di MultiWii, hal yang paling dekat dengan mode kecepatan yang akan kita terapkan adalah apa yang disebut mode manual, meskipun keduanya tidak persis sama, seperti yang akan kita lihat. Saat kita menambahkan sensor, kita harus menambahkan mode untuk menggunakannya. Kita dapat menambahkan mode penahanan ketinggian untuk menggunakan data barometer, dan jika kita menambahkan GPS, kita juga memerlukan mode untuk itu. Sekarang, mari kita lihat dua mode dasar, yang hanya bergantung pada sensor inersia—mode sudut dan mode kecepatan.

Modus Sudut

Hampir semua drone kelas mainan berjalan dalam mode sudut. Faktanya, jika sebuah mainan drone memiliki dua mode yang berbeda, mereka mungkin hanya dua versi mode sudut dengan parameter penyetelan yang berbeda. Pemula menemukan mode sudut intuitif, karena sudut tongkat berhubungan langsung dengan sudut drone. Ini juga memiliki keuntungan bahwa ketika Anda melepaskan tongkat, drone kembali ke level dan setidaknya berhenti berakselerasi, bahkan jika tidak berhenti bergerak.

Saat terbang dalam mode sudut, sudut drone terhadap tanah sebanding dengan sudut tongkat kendali. Seperti yang kita lihat saat menyetel X4Wii, beberapa pengaturan dapat mengubah hubungan ini bahkan sebelum kita benar-benar melakukan perhitungan mode. Tingkat RC menentukan rasio antara sudut tongkat dan sudut drone. Drone mungkin bergerak 20 derajat ketika tongkat bergerak 10 derajat atau hanya 5, yang akan menjadi tingkat RC masing-masing 2 atau 0,5. Pengaturan eksponensial RC mengambil rasio garis lurus ini dan meratakannya mendekati 0 sehingga kami dapat melakukan penyesuaian kontrol yang baik dengan lebih mudah.

Untuk menghitung sudut akhir yang diinginkan untuk roll dan pitch, pertama-tama kita mengubah nilai RC menjadi float dalam kisaran -1 hingga 1, kemudian mengalikannya dengan kecepatan RC dan parameter yang disebut `maxAngle`, yang menentukan sudut drone sebenarnya saat Nilai RC, sebagaimana dimodifikasi oleh laju, mencapai 1. Untuk menemukan nilai perintah gaya yang kita inginkan untuk memutar drone—kita ambil selisih antara sudut yang diinginkan dan sudut sebenarnya. Bagi perbedaan ini dengan 90 derajat dan kami memiliki ukuran antara -1 dan 1, yang kami sebut `axisCmd` dan yang akan disebut oleh insinyur sistem kontrol sebagai kesalahan karena sistem kontrol mencoba mengarahkan perbedaan ini ke 0. Berikut kode untuk pitch dan gulungan:

```
// pitch/roll: axis cmd = imu angle - rc angle
axisCmd[1] = -((float)IMURoll - maxAngle * rcRate[1] * (float)((int16_t)rcValue[1]
- (int16_t)MIDRC) / halfRange) / 90.0f;
axisCmd[2] = -((float)IMUPitch - maxAngle * rcRate[2] * (float)((int16_t)rcValue[2]
- (int16_t)MIDRC) / halfRange) / 90.0f;
```

Kami menafsirkan tongkat yaw dalam mode kecepatan bahkan ketika sistem secara keseluruhan dalam mode sudut. Akan canggung jika harus memegang tongkat ke kiri atau kanan sepanjang waktu kita ingin menghadap ke arah itu. Sebaliknya, tongkat mengontrol laju perubahan yaw. Defleksi kecil mungkin berarti "berbelok 5 derajat per detik", di mana dalam mode sudut sebenarnya berarti "menghadap 5 derajat ke kanan." Demikian pula, ketika kita memusatkan tongkat, drone terus menunjuk ke mana ia menunjuk. Itu tidak kembali ke utara.

Untuk mengontrol laju yaw, pertama-tama kita harus menghitungnya dengan mengambil selisih antara heading saat ini dan heading sebelumnya. Fungsi `circleDiff()` melakukan ini dengan benar, bahkan ketika dua arah berada di kedua sisi utara. Baris berikutnya menghaluskan laju yaw untuk menghilangkan kebisingan dan getaran. Bentuk umum dari $X = (1 - \alpha)X + (\alpha)previousX$ dapat digunakan di mana saja sinyal perlu dibersihkan. Ketika mendekati 0, sinyal melewati hampir tidak berubah. Ketika mendekati 1, output berubah sangat lambat, hanya merespon rata-rata input.

Setelah kita menghitung kecepatan yaw, kode untuk yaw terlihat seperti kode untuk roll dan pitch. Kami hanya mengambil perbedaan antara nilai yang sebenarnya dan yang diinginkan. Kode berakhir seperti ini:

```
const float yawRateSmooth = 0.01f;

// compute and smooth the yaw rate
float yawRate = deltat_inv * circleDiff(IMUHead, prevHead);
yawRate = (yawRateSmooth * yawRate) + ((1.0f - yawRateSmooth) * prevYawRate);
prevYawRate = yawRate;

// yaw: axis cmd = imu rate - rc rate
axisCmd[3] = (yawRate - 90.0f * rcRate[3] * (float)((int16_t)rcValue[3]
    - (int16_t)MIDRC) / halfRange) / 90.0f;
prevHead = IMUHead;
```

Di bagian selanjutnya, kita akan membahas mode kecepatan penuh, di mana pitch dan roll ditangani sama seperti yaw yang ada di sini.

Mode Nilai

Apa yang akan kita sebut mode rate banyak orang tahu sebagai mode acro atau akrobatik. MultiWii menyebut mode manual ini, meskipun itu tampaknya kurang deskriptif karena kami masih menstabilkan drone dalam mode ini. Mode rate tidak memerlukan referensi absolut ke ground. Drone hanya akan terus berputar ke kiri selama Anda memegang tongkat di sebelah kiri, tidak peduli ke mana arahnya. Dengan demikian, kami tidak memerlukan akselerometer untuk menerapkan mode kecepatan, dan secara historis, ketika gyro dan akselerometer berada dalam chip yang terpisah dan lebih sulit untuk didapatkan, banyak pilot terbang secara eksklusif dalam mode kecepatan hanya dengan gyro.

Namun, dalam sistem kontrol kami, kami memiliki akselerometer. Dalam beberapa kasus, Anda mungkin ingin menghindari menggunakannya untuk menghindari kebisingan yang ditimbulkan oleh sensor, tetapi tampaknya tidak menjadi masalah di sini, jadi kami hanya akan menghitung tingkat roll dan pitch dari output sudut roll dan pitch IMU yang ada, hanya seperti yang kita lakukan dengan yaw di atas. Faktanya, kodenya sangat mirip, kami tidak akan mengambil ruang untuk mengulanginya di sini.

15.2 CAMPUR

Ketika saya terbang di depan umum dan seseorang berhenti untuk bertanya, "Bagaimana cara kerjanya?" lebih sering daripada tidak apa yang mereka ingin tahu adalah sesuatu tentang bagaimana pencampuran bekerja. Itu pertanyaan yang cukup alami. Anda dapat melihat tongkat kendali pada pemancar dan dengan jelas motor adalah benda yang dikendalikan, tetapi bagaimana yang satu mengarah ke yang lain?

Sebagai contoh, kami melihat bagaimana memutar motor lebih cepat di satu sisi dan lebih lambat di sisi lain dapat membuat drone berguling. Kode untuk ini juga cukup sederhana. Pertama kita mengatur output untuk semua motor berdasarkan throttle (`axisCmdPID[0]`),

kemudian kita memodifikasi masing-masing motor berdasarkan sumbu yang sesuai (roll dalam contoh berikut), diskalakan oleh throttle saat ini:

```
// set throttle
for (int i=0; i<4; i++)
    motorCmd[i] = (int16_t)axisCmdPID[0] / throttleCorrection;

// apply roll
motorCmd[0] += (int16_t)(axisCmdPID[0] * (-axisCmdPID[1]));
motorCmd[1] += (int16_t)(axisCmdPID[0] * (-axisCmdPID[1]));
motorCmd[2] += (int16_t)(axisCmdPID[0] * ( axisCmdPID[1]));
motorCmd[3] += (int16_t)(axisCmdPID[0] * ( axisCmdPID[1]));
```

Bagian pitch dan yaw serupa, kecuali kecepatan motor mana yang naik dan mana yang turun. Satu poin bagus dan satu subjek besar bersembunyi di contoh itu. Ketika drone dimiringkan ke samping, hanya sebagian dari daya dorong yang menjadi daya angkat. Membagi dengan throttleCorrection, ukuran pengurangan ini yang dihitung untuk kami oleh IMU, menambahkan sedikit dorongan untuk menebusnya. Ini poin yang bagus, tapi itu membuat drone kami terbang sedikit lebih mudah.

Sekarang untuk subjek besar: mungkin Anda memperhatikan bahwa sementara kode mode kami menggunakan variabel axisCmd sebagai outputnya, input di sini sebenarnya disebut axisCmdPID. PID di sini adalah algoritme yang secara efektif melakukan sedikit pemulusan di antara bagian mode dan campuran. Topik ini layak mendapat bab tersendiri.

BAB 16

PID

Tersembunyi di antara mode dan campuran, kami menemukan pengontrol turunan proporsional–integral (PID). Di satu sisi, itu hanya filter pemulusan kecil yang diterapkan pada perintah sumbu sebelum mengirimnya ke motor. Di sisi lain, sebagai pembuat drone dan pilot, Anda mungkin menghabiskan lebih banyak waktu untuk menangani PID daripada komponen lain dari sistem control tidak mengubah algoritme, karena hanya ada beberapa rasa standar, tetapi menyetel parameter PID. Dan beberapa hal akan membuat banyak perbedaan dalam cara drone Anda terbang!

16.1 ALGORITMA

Seperti stabilisasi gyroscopic, setidaknya beberapa kredit untuk algoritma PID pergi ke keluarga Sperry. Dalam hal ini Elmer Sperry, ayah Lawrence, yang membangun autopilot pertama untuk pesawat terbang; ia datang dengan ide saat bekerja pada autopilot untuk kapal Angkatan Laut. Dia memperhatikan bahwa juru mudi akan mengkompensasi tidak hanya kesalahan kursus saat ini, tetapi riwayat langsung kesalahan itu dan setiap perubahan mendadak dalam kesalahan. Dia menerapkan ini dengan sistem pneumatik, tetapi prinsipnya tetap sama hingga hari ini.

16.2 P—PROPORSIONAL

Ketika orang yang memegang kemudi menggerakkan kemudi lebih jauh saat kapal semakin jauh dari jalurnya yaitu, jika posisi kemudi sebanding dengan kesalahan arah maka orang yang memegang kemudi tersebut bertindak sebagai “P”, atau proporsional, bagian dari algoritma. Demikian pula, jika Anda menekan pedal akselerator mobil Anda lebih keras secara proporsional dengan seberapa banyak kecepatan Anda di bawah target, Anda menerapkan bagian "P" dari pengontrol PID.

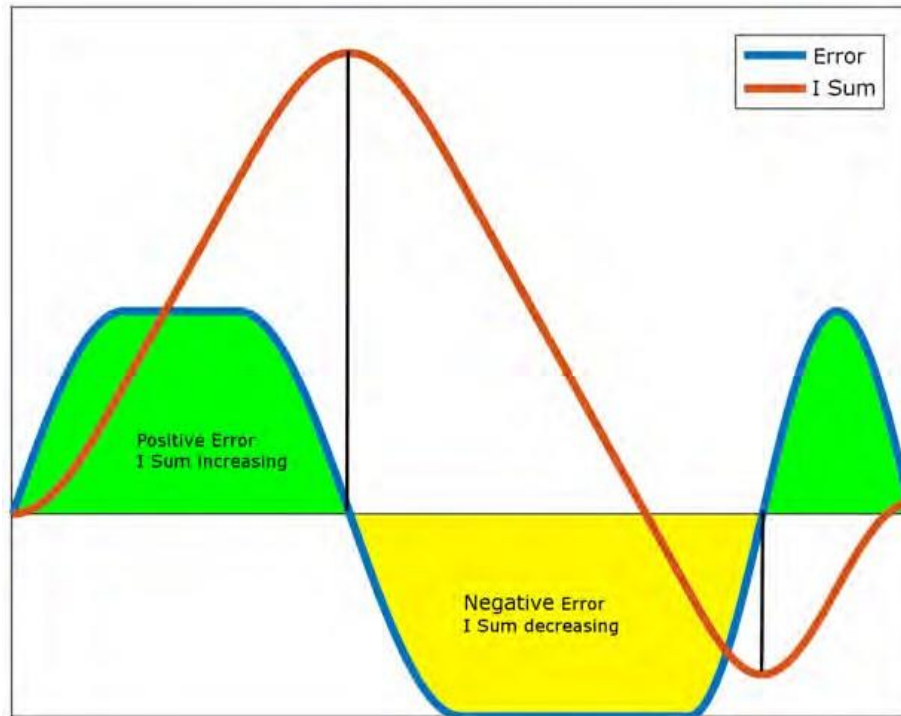
Istilah "P" mengontrol gaya keseluruhan yang akan digunakan sistem kontrol untuk mencapai keluaran yang diinginkan. Tidak cukup "P", dan drone Anda tidak akan memiliki kekuatan untuk merespons input kontrol Anda. Kontrol akan terasa lembek. Terlalu banyak “P”, dan drone Anda akan bereaksi berlebihan dan mungkin beresilasi dengan liar.

16.3 I—INTEGRAL

Jadi sekarang Anda naik bukit di mobil Anda dan melambat sedikit, membuat Anda menekan pedal lebih keras. Mungkin ini cukup untuk menahan kecepatan baru Anda yang lebih lambat, tetapi ada kesalahan terus-menerus beberapa mil per jam. Ketika Anda memberikan sedikit lebih banyak gas untuk memperbaiki kesalahan yang sedang berlangsung ini, Anda sekarang menambahkan "I", atau integral, bagian dari algoritma.

Seorang ahli matematika mungkin menggambarkan integral sebagai area di bawah kurva. Pada Gambar 11-1, garis biru mewakili kesalahan dan garis merah merupakan area di bawah kurva ini, atau jumlah kesalahan masa lalu. Selama kesalahan tetap positif (area hijau),

maka semakin besar areanya, semakin tinggi garis merahnya. Ketika garis biru berjalan di bawah sumbu, kami mengatakan area yang dihasilkan adalah negatif dan mengurangi totalnya. Saat kami menjumlahkan semua area, kami mendapatkan jumlah semua kesalahan masa lalu.



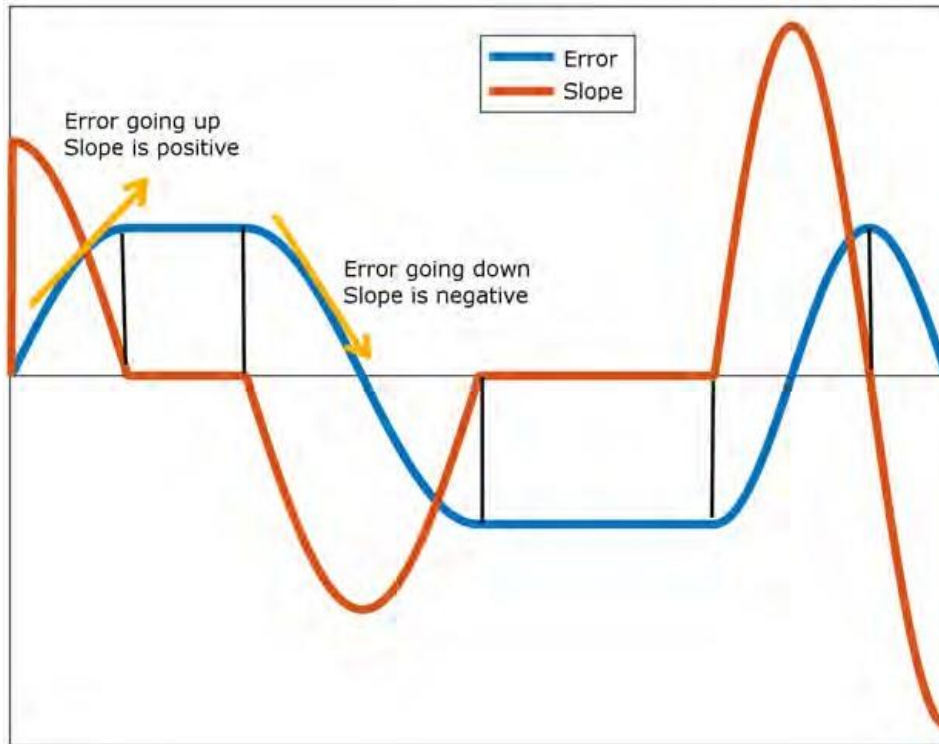
Gambar 16-1 Garis merah adalah jumlah dari semua nilai masa lalu dari garis biru.

Istilah "I" mengoreksi kesalahan jangka panjang untuk memastikan bahwa output akhirnya mencapai nilai yang diinginkan. Hal ini juga menyebabkan output mencapai nilai yang diinginkan lebih cepat. Meningkatkan "I" membuat drone Anda terasa lebih tajam, merespons lebih cepat untuk mengontrol input, tetapi terlalu banyak dapat menyebabkan overshoot dan osilasi, seperti terlalu banyak "P."

14.4 D—DIFFERENSIAL

Jika suku integral adalah tentang kesalahan jangka panjang, turunan atau suku "D" adalah tentang respon sesaat. Pada saat Anda pertama kali menabrak bukit itu dan mobil Anda mulai melambat, Anda mungkin hanya memberi sedikit gas ekstra agar tidak terlalu melambat saat Anda menemukan posisi pedal yang tepat untuk mempertahankan kecepatan Anda. Istilah "D" merespons perubahan kesalahan, bukan ukuran kesalahan saat ini.

Seorang ahli matematika mungkin akan menggambarkan turunan dari kurva sebagai kemiringan pada suatu titik. Jika kita memplot kecepatan mobil Anda terhadap waktu, maka saat Anda mulai menanjak, kurva akan miring ke bawah. Demikian pula, jika Anda tidak menginjak pedal gas dengan cukup cepat saat jalan mendatar, kecepatan Anda mungkin tiba-tiba meningkat dan plot kecepatan Anda akan miring ke atas. Pada Gambar 16-2, garis merah berada di atas nol saat garis biru naik dan di bawah nol saat turun.



Gambar 16-2 Istilah "D" tergantung pada kemiringan kesalahan.

Istilah "D" membuat respons langsung lebih cepat dan dapat membantu mencegah overshoot dan meredam osilasi.

16.5 IMPLEMENTASI

Untuk algoritma yang memiliki banyak kegunaan dan mendapat banyak perhatian akademis, penerapannya cukup mudah. Ada beberapa poin bagus antara teori dan praktik bahkan di sini. Secara teori, integral atau jumlah dari semua kesalahan masa lalu hanya akan terus bertambah besar dan besar jika tidak diperbaiki sepenuhnya. Dalam praktiknya, jarang berhasil dengan baik untuk membiarkan variabel meningkat tanpa batas, jadi implementasi PID yang sebenarnya biasanya menyertakan batas pada integral runaway yang mungkin, yang disebut integral windup. Kita melihat ini dalam kode berikut, di mana `constrain()` digunakan dalam perhitungan `pid_isum`:

```
// compute PID for each axis
for (int i=0; i<MYPIDITEMS; i++)
{
    e = axisCmd[i];
    pid_isum[i] = constrain(pid_isum[i] + (e * deltat), -1, 1); // constrain to stop windup
    pid_ddt[i] = (e - prevE[i]) / deltat;
    axisCmdPID[i] = (pid_p[i] * e) + (pid_i[i] * pid_isum[i]) + (pid_d[i] * pid_ddt[i]);
    prevE[i] = e;
}
```

Penyetelan

Menyetel PID bisa sesederhana memutar kenop pada pemancar Anda hingga drone Anda terbang lebih baik, atau serumit analisis fungsional penuh sistem yang diikuti dengan kalkulasi algoritmik parameter penyetelan. Kami akan menggunakan proses berulang untuk

mengubah nilai (mungkin dengan ponsel cerdas Anda) dan melakukan uji terbang singkat hingga diperoleh hasil yang memuaskan.

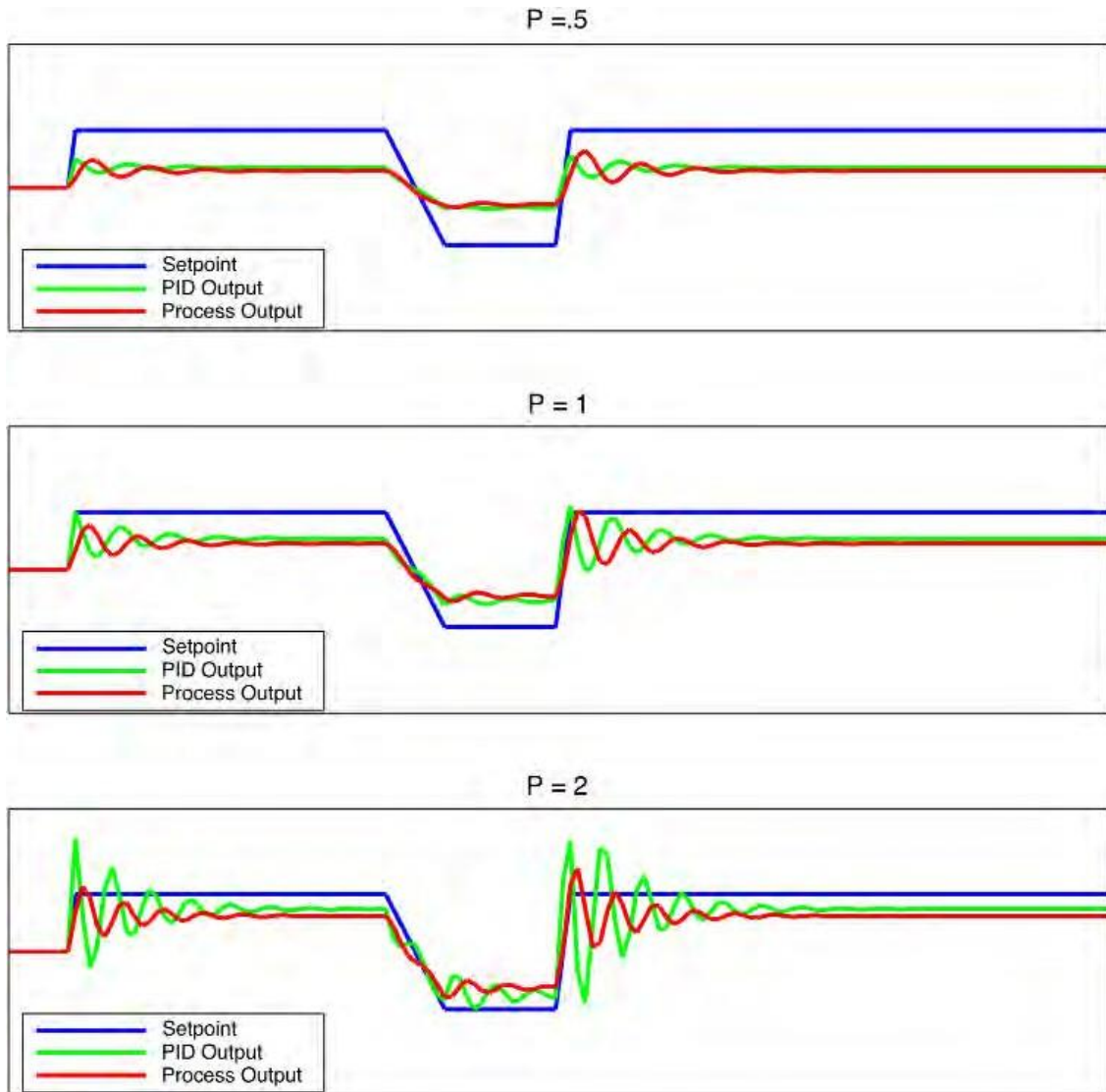
16.6 TEORI

Proses berikut mengasumsikan titik awal dengan "P" disetel ke nilai rendah, 0,5 atau kurang, dan "I" dan "D" disetel ke 0. Pada setiap langkah, ubah parameter yang dimaksud menggunakan koneksi Bluetooth ke komputer atau smartphone, lalu lakukan penerbangan singkat untuk menguji hasilnya. Beberapa detik biasanya cukup.

1. Tingkatkan "P" sampai osilasi dimulai. Kurangi menjadi setengah jumlah ini.
2. Tingkatkan "I" jika diperlukan untuk membuat respons kontrol lebih cepat. Jika osilasi terjadi, mundur beberapa dan tinggalkan.
3. Tingkatkan "D" jika diperlukan untuk membuat respons terhadap gangguan lebih cepat.
4. Saat "I" dan "D" dinaikkan, "P" mungkin perlu dikurangi beberapa.

Ini semua akan lebih masuk akal dengan sebuah contoh. Katakanlah setpoint mewakili sudut roll yang diinginkan dari drone kami, yang ditunjukkan pada Gambar 16-3 hingga 16-5 dengan garis biru. Itu dimulai di tengah, bergerak cepat ke satu ekstrem, lalu bergerak lebih lambat ke ekstrem lainnya dan tiba-tiba kembali. Garis hijau menunjukkan output dari pengontrol PID dan garis merah menunjukkan sudut gulungan yang dihasilkan dari drone hipotetis kami.

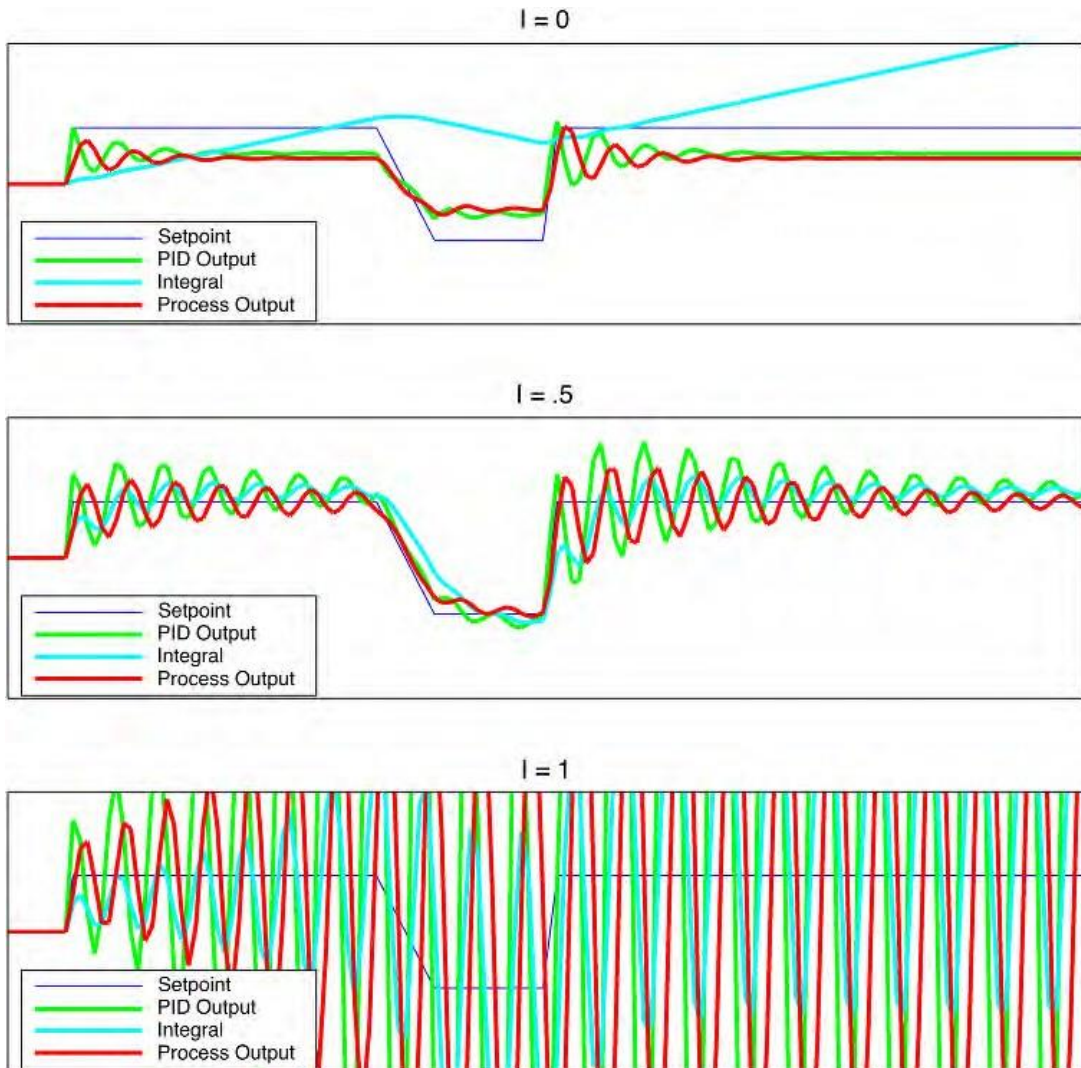
Pada Gambar 16-3, kita mulai dengan "P" diatur ke 0,5, yang sedikit rendah. Sudut yang dihasilkan tidak bergerak sejauh setpoint. Saat kami meningkatkan "P" ke 1, hasilnya semakin mendekati setpoint, dan osilasi kecil mulai menjadi sangat terlihat. Pada saat kita mengatur "P" ke 2, osilasinya terlalu banyak, jadi menurut prosedur kita, kita mundur dan menyetelnya ke 1.



Gambar 16-3 Bahkan dengan "P" dihidupkan sampai osilasi menjadi buruk, output masih tidak mencapai setpoint.

Sebuah drone dengan "P" yang terlalu kecil tidak akan memiliki kekuatan manuver untuk merespon input kontrol Anda atau gangguan dari angin. Kata "goyang" muncul di benak. Dengan terlalu banyak "P", kami mendapatkan osilasi. Ini mungkin tampak sangat mirip dengan goyangan "P" rendah, tetapi biasanya akan lebih cepat. Drone itu bergerak maju mundur, bukan hanya berputar-putar.

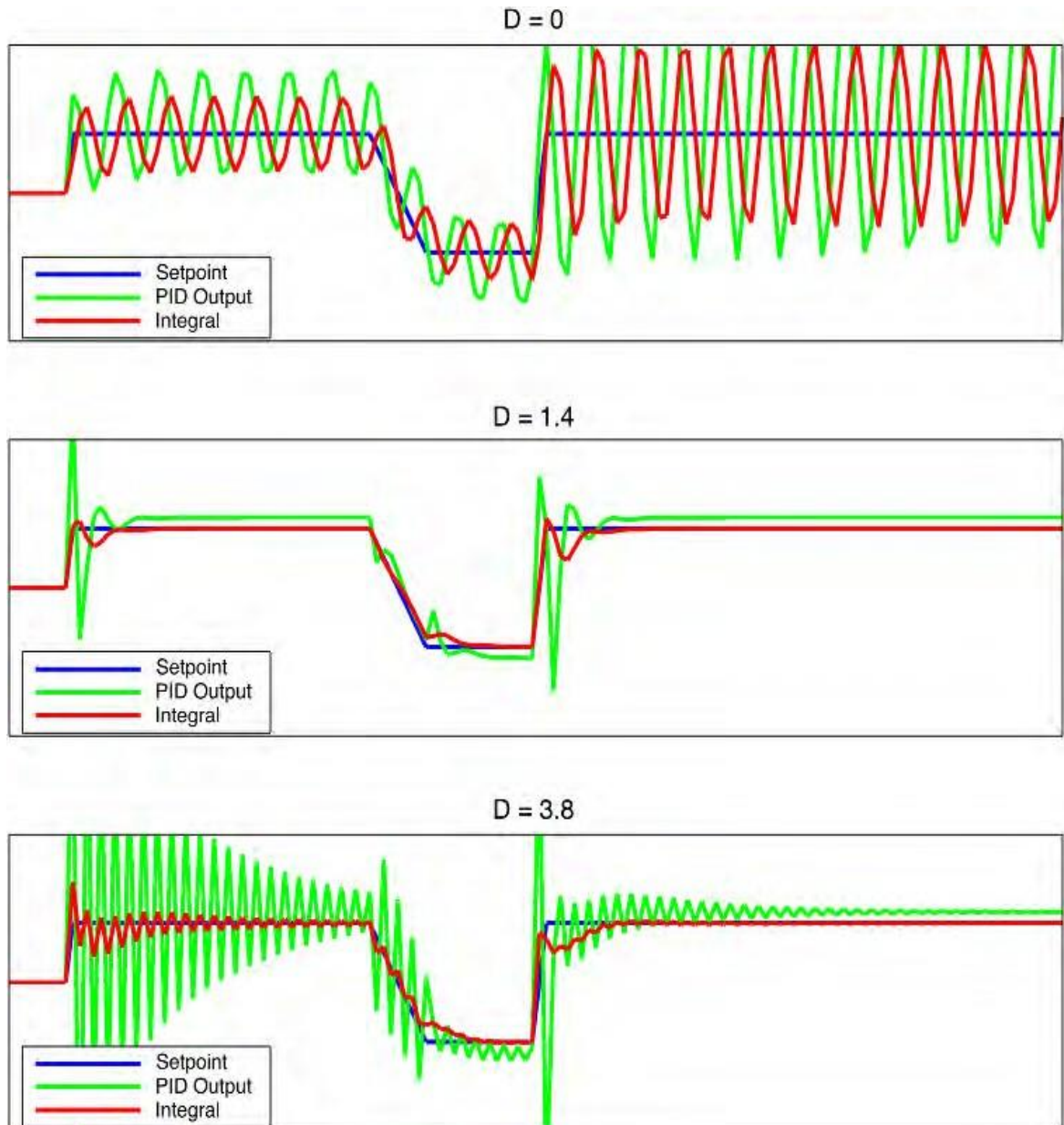
Pada Gambar 16-4, kita menambahkan garis baru berwarna cyan untuk menunjukkan bagaimana suku integral bertambah. Di grafik atas, kita membiarkan "I" di 0. Anda dapat melihat bahwa integral terus bertambah besar atau lebih kecil selama kita mempertahankan posisinya, karena kita tidak melakukan apa pun untuk memperbaiki kesalahan. Di grafik tengah, kami menetapkan "I" ke 0,5, yang hanya mengoreksi kesalahan, tetapi juga menambah osilasi. Dengan "I" disetel ke 1, osilasi meningkat, bukan menurun, jadi kita harus mundur sedikit, sesuai dengan proses kita. Kami akan maju dengan set "Saya" 0,8.



Gambar 16-4 Peningkatan I membawa output ke setpoint tetapi menambahkan lebih banyak osilasi.

Menyetel "I" ke 0 terkadang berfungsi dengan baik, jadi sulit untuk mengatakan seperti apa "I" yang terlalu kecil itu, kecuali bahwa sedikit lebih banyak membuat segalanya sedikit lebih tajam. Terlalu banyak "I" menciptakan osilasi yang keras dan cepat, sama seperti dengan "p."

Pada titik ini, osilasi terlalu tinggi untuk ditoleransi, tetapi perhatikan apa yang dapat dilakukan oleh istilah "D"! Setelah mencoba beberapa nilai, "D" sekitar 1,4 tampaknya paling sempurna meredam osilasi tanpa memperlambat respons atau menciptakan osilasi sendiri. Pada grafik ketiga kita dapat melihat bahwa mendorong "D" hingga 3 menghasilkan dering yang tidak dapat diterima pada output.



Gambar 16-5 Peningkatan "D" dapat meredam osilasi dari "P" dan "I", atau menambahkan lebih banyak osilasi dari "P" dan "I".

Terlalu sedikit "D" tidak membuat tanda tangannya sendiri; itu hanya memungkinkan osilasi "P" dan "I," untuk melanjutkan. Atur dengan benar, "D" meredam osilasi ini. Atur "D" terlalu tinggi dan kita mendapatkan osilasi lagi, tetapi sering kali lebih cepat yang disebabkan oleh "P" atau "I." Mereka mungkin, pada kenyataannya, terlalu cepat untuk dilihat secara langsung karena banyak sistem kontrol drone menjalankan loop PID 500 kali per detik, tetapi drone tetap tidak dapat diterbangkan.

Hasil akhirnya terlihat cukup flyable. Pada setiap perubahan setpoint yang cepat, pengontrol PID segera memberikan respons kuat, diikuti oleh respons kuat ke arah lain untuk menghentikan gerakan saat setpoint tercapai. Ada satu goyangan setelah itu saat sistem mengunci ke posisi baru, dan kemudian tetap rata sempurna.

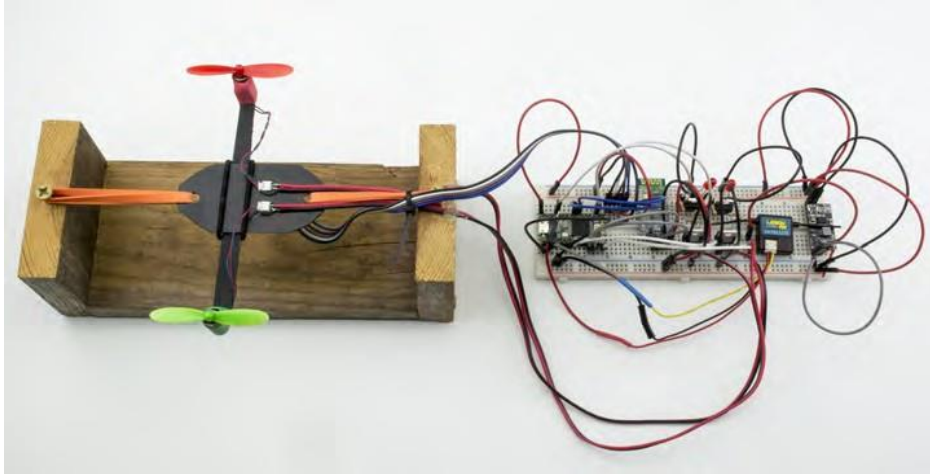
16.7 LATIHAN

Menyetel PID Anda dengan benar bisa membuat frustrasi, terutama ketika lebih dari satu parameter perlu diubah dan osilasi yang dihasilkan terus membuat drone Anda mogok. Tetapi kebanyakan orang tidak perlu menemukan diri mereka dalam situasi ini. Faktanya, dalam kasus yang paling umum mencoba membuat drone yang berfungsi terbang sedikit lebih baik mengubah PID bisa menjadi mudah dan memuaskan.

Jika drone Anda terbang dengan baik sekarang tetapi Anda ingin lebih halus atau lebih cepat dalam respons kontrolnya, maka penyesuaian PID seharusnya mudah. Sebenarnya, saya akan selalu memulai dengan menyesuaikan parameter RC, tetapi dengan asumsi Anda telah melakukannya, Anda hampir selalu dapat memindahkan "P," "I," dan "D" ke atas dan ke bawah dalam proporsi yang sama. Jika pengaturan saat ini adalah 1, 0,1, dan 0,01, kemudian menyesuaikan 10% menghasilkan 1,1, 0,11, dan 0,011. Bergerak ke atas atau ke bawah sedikit demi sedikit dan Anda harus dapat mengetahui bahwa keadaan semakin memburuk sebelum keadaan menjadi sangat buruk sehingga menyebabkan crash.

Namun, jika Anda baru saja membuat drone baru, atau membuat modifikasi besar seperti mengganti motor atau prop, maka Anda mungkin harus membuat perubahan yang lebih drastis. Jika memungkinkan, temukan orang lain yang telah membuat drone menggunakan komponen serupa dan mulailah dengan nilai-nilai mereka. Saya memberikan nilai kerja untuk semua proyek dalam buku ini, misalnya. Jika Anda tidak dapat mengaturnya, nilai default dalam sistem kontrol penerbangan populer sering kali lebih baik daripada memulai dengan "D" dan "I" pada 0. Beberapa sistem kontrol penerbangan, seperti ArduCopter, memungkinkan Anda menyetel parameter dalam penerbangan menggunakan Radio RC, yang dapat membuat proses lebih cepat; beberapa bahkan dapat melakukan autotune dan mendapatkan pengaturan yang bisa diterapkan sendiri.

Jika Anda memiliki basis kode yang benar-benar baru atau memulai dari awal, maka beberapa jenis alat uji akan memungkinkan Anda untuk men-debug kode tanpa menabrak dan merusak sesuatu. Gambar 16-6 menunjukkan alat uji yang saya gunakan untuk men-debug algoritma PID dalam kode Visible Drone. Algoritma PID adalah salah satu algoritma yang paling berguna dan penting dalam rekayasa sistem kontrol. Bagi saya, memahami PID benar-benar mulai membuka misteri bagaimana segala sesuatunya bekerja. Sebenarnya ada lebih banyak hal yang terjadi daripada yang terlihat, tetapi ini adalah proses yang dapat kita pahami dan gunakan untuk membuat mesin kita bekerja lebih baik. Drone Anda akan merespons lebih baik. Lengan robot Anda akan bergerak lebih lancar. Teko kopi Anda akan menahan suhu yang lebih tepat. Tidak buruk untuk kurang dari 10 baris kode!



Gambar 16-6 Rig ini memungkinkan implementasi PID baru untuk diuji tanpa crash.

BAB 17

MOTOR BRUSHLESS DAN ESCNYA

Selain ukurannya, apa yang benar-benar membedakan drone yang lebih besar ini dari proyek lain yang telah kami lakukan adalah motor tanpa sikat dan pengontrol kecepatan elektronik (ESC) yang diperlukan untuk menjalankannya. Secara teknis, FET tunggal, yang diberi makan oleh resistor tunggal, yang kami gunakan untuk menggerakkan setiap motor di Visible Drone dianggap sebagai pengontrol kecepatan elektronik, tetapi motor brushless kami membutuhkan lebih banyak lagi. Sikat, seperti yang terdapat pada motor kecil tanpa biji yang kami gunakan sebelumnya, rusak dengan sangat cepat pada putaran tinggi motor ini. Menghilangkannya menambah banyak keandalan jangka panjang dari motor brushless, tetapi itu berarti kita membutuhkan pengontrol kecepatan yang lebih kompleks.

ESC mengambil arus dari baterai dan mengalihkannya ke kumparan yang berbeda di motor hanya dengan kecepatan yang diperintahkan oleh sistem kontrol. Mereka benar-benar potongan kit yang luar biasa, seperti yang akan kita lihat sebentar lagi. Tapi pertama-tama, sedikit tentang sejarah berbagai motor brushless.

17.1 MOTOR BRUSHLESS

Banyak orang pertama kali mengenal motor brushless pada masa floppy disk, meskipun mereka mungkin tidak mengetahuinya. Motor ini tidak cepat atau kuat, tetapi sangat andal, yang penting mengingat penggunaan konstan yang pernah diterima disket. Keandalan ini berasal langsung dari kurangnya kuas yang dinamai demikian.

Dalam motor yang disikat, kumparan bergerak, jadi untuk mendapatkan arus ke kumparan, pegas menahan sikat stasioner terhadap cincin pada poros yang berputar. Kuas ini biasanya berupa balok kecil atau potongan logam. Dalam motor arus searah (DC), cincin dibagi menjadi beberapa bagian yang menuju ke kumparan yang berbeda, tetapi perpecahan menyebabkan keausan lebih cepat dan dapat memicu. Di sebagian besar motor arus bolak-balik (AC), cincin yang tidak terpisah digunakan, yang tidak menyala tetapi masih aus.

Dalam motor tanpa sikat, kami membalikkan struktur biasa dan memiliki magnet permanen yang bergerak mengelilingi satu set kumparan stasioner. Gambar 17-1 menunjukkan jenis motor yang kami gunakan terbuka sehingga Anda dapat melihat kumparan dan magnet. Kumparan dapat dihubungkan langsung ke elektronik tanpa cincin atau sikat atau apa pun. Elektronik kemudian harus menyalakan setiap kumparan secara bergantian sehingga magnet tertarik pada tingkat yang diinginkan. Tentu saja, elektronik harus mengetahui posisi motor untuk melakukan ini dengan benar.

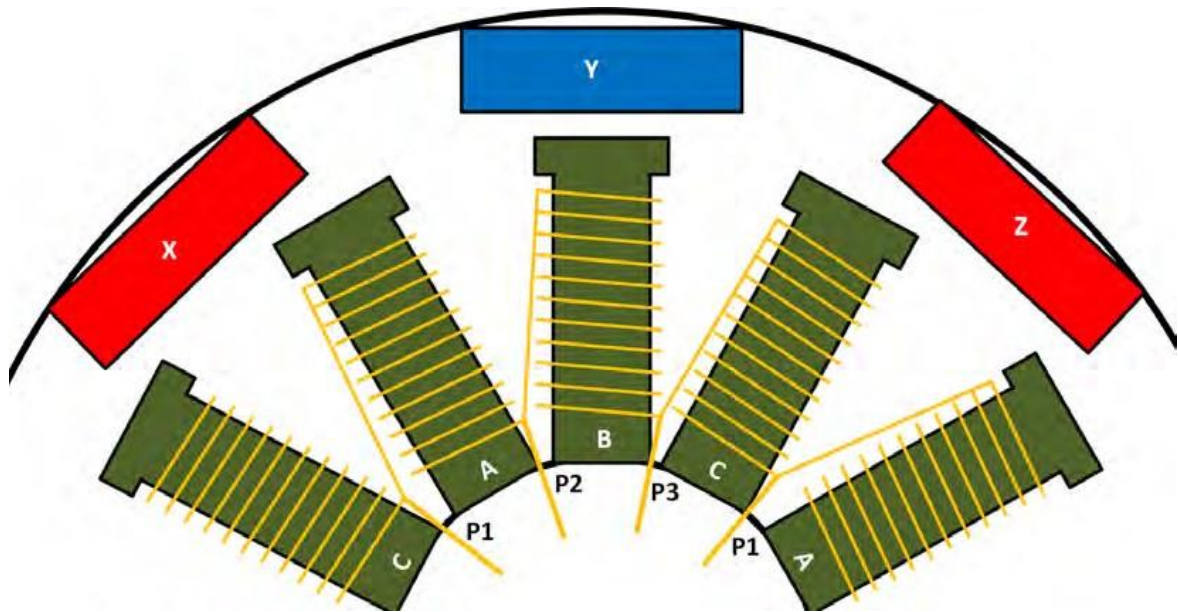


Gambar 17-1 Motor ini memiliki 12 kumparan dan 14 magnet

Pada motor AC industri besar, posisinya biasanya ditentukan dengan semacam encoder optik. Gimbal memiliki IMU yang mirip dengan drone kami untuk menentukan posisinya. Tetapi kedua sistem ini membutuhkan komponen dan kabel tambahan. Karena mereka umumnya berjalan cepat dan dalam arah yang sama, motor brushless yang kami gunakan untuk menggerakkan baling-baling dapat menggunakan solusi yang lebih sederhana dan sangat cerdas, yang akan kita bahas sebentar lagi saat melihat lebih dalam ke ESC. Pertama, sedikit lebih banyak tentang cara kerja drive.

Motor brushless yang kami gunakan dalam sistem tenaga pesawat RC, dan motor brushless gimbal, dan, pada kenyataannya, sebagian besar motor AC di dunia, adalah tiga fase. Pada motor, ini berarti bahwa berapa pun banyak kumparan yang mereka miliki, mereka akan disambungkan dalam kelompok tiga. Kelompok kumparan ini kemudian akan diberi energi secara berurutan sehingga saat Anda bergerak di sekitar motor, Anda melewati kumparan dari grup A, lalu B, lalu C, lalu A lagi dan seterusnya. Ingat, kumparan ini tidak bergerak. Di sekitar mereka menggerakkan serangkaian magnet permanen dengan kutub bolak-balik menghadap ke dalam, pertama ke utara, lalu ke selatan, lalu ke utara lagi.

Pada titik dalam urutan yang digambarkan pada Gambar 17-2, kumparan A pertama menarik magnet X ke sana dengan medan magnet utara; kumparan B baru saja menarik magnet Y dengan medan selatan, dan karena magnet Z telah melewatinya, kumparan C sekarang akan mati sejenak, kemudian beralih ke medan selatan. Ketika urutan berlanjut, magnet X akan ditarik secara bergantian ke A, B, dan C, lalu A berikutnya.



Gambar 17-2 Motor brushless biasanya memiliki tiga set kumparan, di sini diberi label A, B, dan C.

Meskipun Anda mungkin berharap bahwa kita memerlukan enam kabel, dua per grup koil, untuk mengontrol motor ini, koil sebenarnya disambungkan secara seri sehingga kita hanya membutuhkan total tiga kabel, berlabel P1, P2, dan P3. Motor brushless mungkin memiliki sedikitnya 4 atau sebanyak 24 atau lebih kumparan. Jumlah magnet, atau kutub, harus berbeda dan biasanya sedikit lebih besar. Ini memastikan bahwa kumparan dan kutub tidak mulai sejajar dengan sempurna sehingga motor tidak dapat menentukan arah mana yang harus ditempuh. Motor berdaya rendah dan berkecepatan rendah dapat lolos dengan lebih sedikit kumparan. Motor gimbal brushless biasanya memiliki banyak kumparan untuk mengoptimalkan akurasi posisi dibandingkan kecepatan atau kerumitan.

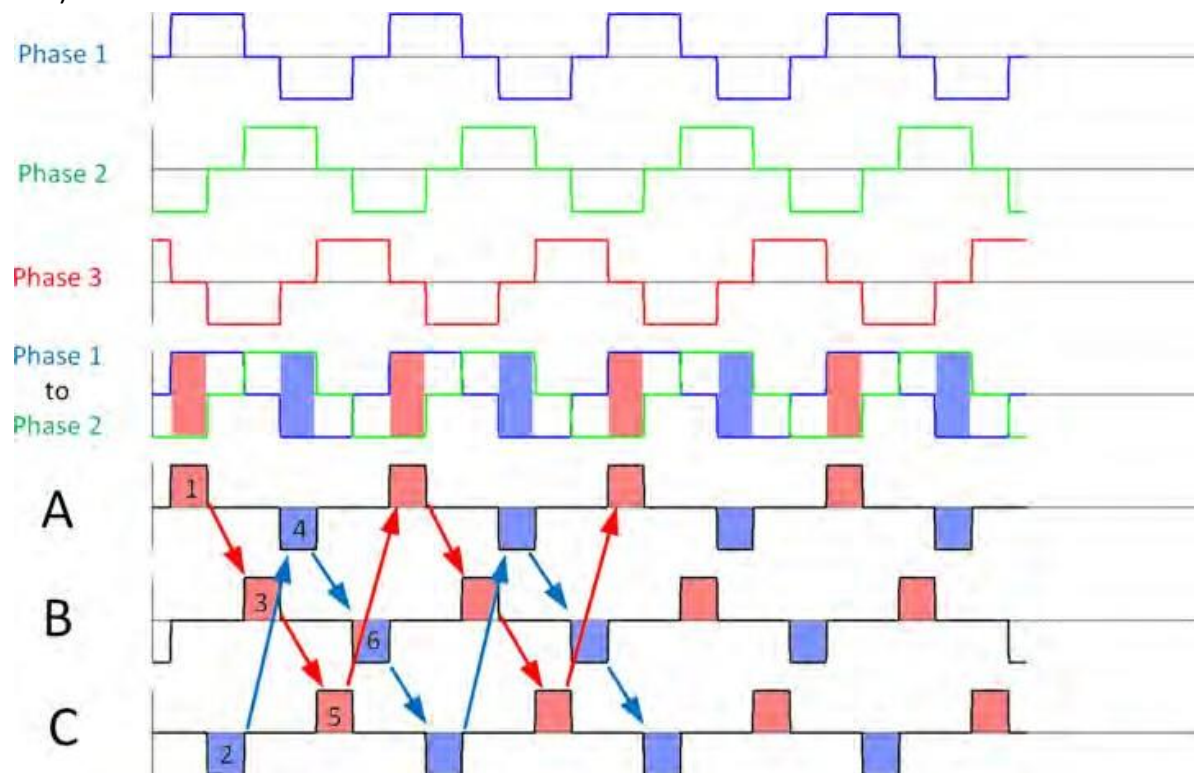
Saya memilih motor EMax MT2216 II KV810 untuk drone ini atau lebih tepatnya, itulah yang saya miliki sekarang. (Awalnya saya menggunakan beberapa motor generik 2212 13T/1000KV yang tidak berfungsi.) Apa arti dari semua angka ini? Kecuali yang terakhir, tidak banyak bagi kami. Yang pertama, angka empat digit dalam deskripsi motor tanpa sikat dipecah menjadi dua angka dua digit, di sini 22 dan 16. Dalam kasus kami ini adalah lebar dan tinggi stator, atau kumparan internal. Dalam kasus lain, angka-angka ini mewakili ukuran casing luar. Angka terakhir, KV810, menghubungkan kecepatan motor tanpa beban dengan tegangan input.

Beberapa motor juga diberi label dengan jumlah lilitan kawat di sekitar setiap kumparan, seperti 13T untuk 13 lilitan. Peringkat KV motor sangat bergantung pada jumlah putaran yang digunakan, jadi angka-angka ini secara langsung (OK, berbanding terbalik untuk geeks matematika di luar sana) terkait. Secara umum, semakin tinggi jumlah belokan, semakin rendah KV. Peringkat KV yang lebih rendah berarti motor akan lebih baik dalam mengayunkan penyangga besar dan membawa beban tinggi. Peringkat KV yang lebih tinggi berarti motor akan berputar lebih cepat untuk voltase tertentu baik untuk props kecil dan quad cepat.

Komunitas mobil RC cenderung menggunakan rating jumlah belokan lebih banyak daripada dunia pesawat RC.

17.2 ESC

Pengendali kecepatan elektronik, atau ESC, mengambil daya dari baterai dan mengirimkannya ke kumparan motor tanpa sikat yang terpasang sedemikian rupa untuk membuatnya berjalan pada kecepatan yang diperintahkan pada inputnya. Masing-masing berisi beberapa FET untuk mengontrol daya dan beberapa sensor untuk menentukan posisi motor, serta pengontrol tertanam untuk mengikat semuanya. Ya, setiap ESC memiliki prosesor kecilnya sendiri, dan dalam beberapa kasus Anda benar-benar dapat memperbarui kode, meskipun kami tidak perlu melakukannya. Seperti disebutkan di bagian sebelumnya, motor brushless dan ESC yang kami gunakan untuk aplikasi RC adalah tiga fase. Ini berarti bahwa kumparan motor, betapapun banyaknya, disambungkan dalam tiga kelompok (lihat Gambar 17-3).



Gambar 17-3 Grafik ini menunjukkan bagaimana output tiga fase dari ESC memberi energi pada setiap grup koil secara berurutan.

Ketiga keluaran ESC masing-masing mengikuti pola yang sama tetapi dimulai pada waktu yang berbeda. Anda dapat melihat bagaimana mereka didistribusikan di bagian atas Gambar 16-3, di mana garis biru, hijau, dan merah mewakili output P1, P2, dan P3. Setengah bagian bawah hanya mengisolasi dua keluaran pertama sehingga perbedaan di antara keduanya dapat lebih mudah dilihat. Ketika P1 lebih tinggi, perbedaannya diarsir merah dan ketika P2 lebih tinggi, itu diarsir biru. Pada garis berlabel A, perbedaan ini digambar ulang di sekitar titik asal.

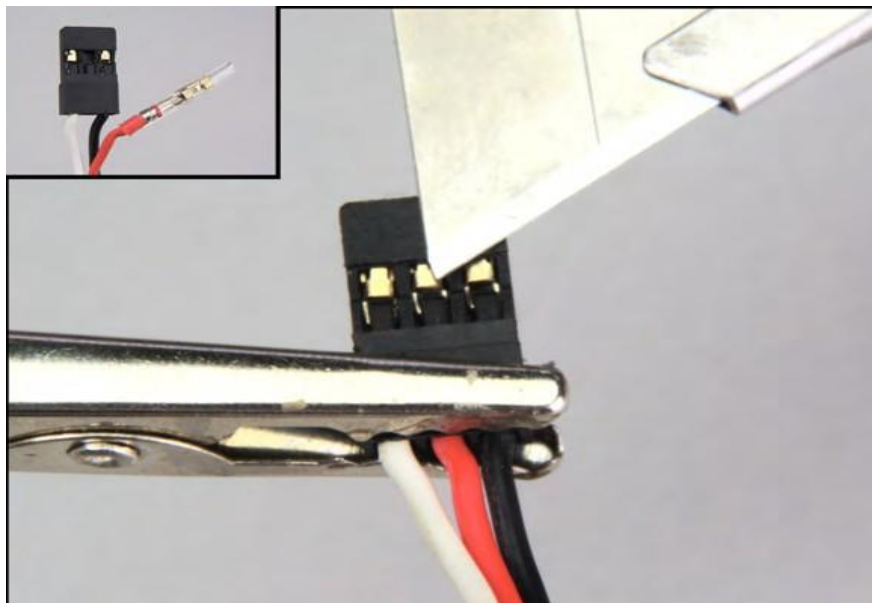
Kami memberi label garis ini A karena menunjukkan tegangan yang dikirimkan ke grup koil A. Dimana ini positif atau merah, kumparan menghasilkan medan magnet utara dan di mana negatif atau biru, menghasilkan medan magnet selatan. Garis B dan C menunjukkan perbedaan antara P2 dan P3 dan P3 dan P1, masing-masing, yang akan menjadi tegangan pada kelompok kumparan B dan C.

Jika sinyal pada Gambar 17-3 digunakan untuk menggerakkan motor yang ditunjukkan pada Gambar 16-2, kita akan berada di awal garis waktu dengan kumparan grup A baru mulai menarik magnet X ke arahnya. Saat kita mengikuti urutan garis merah, pada posisi 1, magnet X akan melewati kumparan A. Pada posisi 3 akan melewati kumparan B. Setelah melewati kumparan C pada posisi 5, urutan kemudian dimulai lagi karena magnet X kita yang sama akan melewati kumparan berikutnya di grup A. Garis biru juga menelusuri rute magnet Y.

17.3 BEC

ESC kami juga menyediakan daya 5 volt untuk sistem kontrol penerbangan melalui sirkuit eliminasi baterai (BEC). Alih-alih penerima menyalakan servo melalui kabel tengah kabel servo, kami menjalankannya mundur. ESC mengirimkan daya kembali di sepanjang kabel ini ke pengontrol penerbangan. Salah satu dari ESC kami dapat menghasilkan hingga beberapa amp, yang merupakan daya yang besar untuk seluruh sistem kontrol kami. Tetapi mereka semua melakukan ini, dan Anda tidak boleh hanya menghubungkan beberapa sumber daya secara bersamaan. Setiap perbedaan kecil di antara tegangan output akan mengakibatkan ESC membuang-buang pertarungan arus di antara mereka sendiri dan mungkin terlalu panas.

Solusi tradisional adalah melepas kabel tengah (merah) dari konektor pada semua kecuali satu kabel sinyal ESC. Gambar 17-4 menunjukkan cara menyelipkan pisau di bawah klip yang menahan pin. Tarik pin dari tiga dari empat ESC dan tutupi dengan heat shrink untuk keamanan seperti yang ditunjukkan pada foto sisipan. Kami akan mengikatnya kembali saat kami menyelesaikan pemasangan kabel sistem kontrol.



Gambar 17-4 Menarik pin merah dari tiga dari empat ESC mencegah masalah catu daya.

Sekarang setelah kami memberi daya pada motor dan ESC kami dan memahaminya, kami dapat menghubungkannya ke sistem kontrol. Sekompleks apa pun, mereka ternyata menjadi hal yang sederhana dan dapat diandalkan untuk digunakan dalam praktik.

BAB 18

GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)

Global Positioning System (GPS) memungkinkan drone kami menemukan posisi yang tepat dengan mendengarkan sinyal dari beberapa satelit. Receiver yang kita miliki saat ini berukuran kecil, murah, cepat, dan akurat. Penerima GPS pertama yang saya gunakan terlalu berat untuk diangkat oleh satu orang. Untungnya, receiver dan satelit terus berkembang. Gambar 18-1 menunjukkan salah satu satelit generasi terbaru.



Gambar 18-1 Satelit GPS seri IIIa, milik NASA.

GPS menemukan jalannya ke pesawat dan kru survei bertahun-tahun yang lalu, tetapi butuh revolusi ponsel untuk membuat receiver sekecil dan semurah yang akan kita gunakan. Penerima GPS yang akan kita gunakan untuk drone besar kita, dikombinasikan dengan magnetometer tiga sumbu yang akan kita bahas di bab berikutnya, cocok dengan keping bundar kecil sekitar dua inci.

18.1 SEJARAH

Sistem Pemosisian Global dibuat di AS pada tahun 1973, dan satelit pertama diluncurkan pada tahun 1978. Pada pertengahan 1980-an, ketika saya sedang mengerjakan prototipe sistem GPS untuk Angkatan Udara dan Angkatan Laut AS, hanya ada beberapa satelit yang berfungsi. Receiver yang kami gunakan beratnya lebih dari 50 pon dan harganya masing-masing Rp 2.250.000.000. Masing-masing memiliki jam cesium eksternal, menambahkan beberapa ribu ke total.

Kemudian, pada tahun 1983, Rusia menembak jatuh Korean Airlines penerbangan 007 ketika secara tidak sengaja tersesat ke wilayah udara mereka. Sebagai tanggapan, Ronald

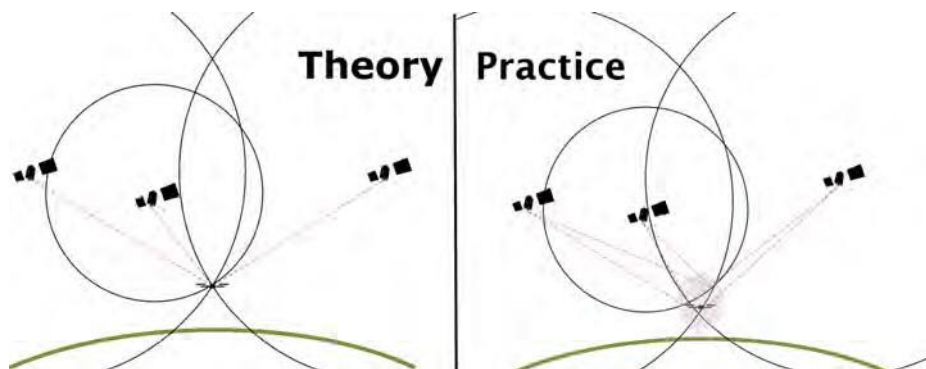
Reagan mengumumkan bahwa akurasi penuh dari sistem GPS akan tersedia untuk warga sipil. Sebelumnya, bagian akurasi tinggi telah dikripsi dan hanya subsistem akurasi rendah yang tersedia untuk umum.

Hari ini Rusia menjalankan sistem penentuan posisi satelit mereka sendiri, yang disebut GLONASS (Sistem Satelit Navigasi Global). Dan model penerima GPS terbaru untuk drone dapat menggunakan GLONASS dan satelit GPS Amerika secara bersamaan. Ini berarti ada lebih banyak satelit yang tersedia, yang membantu keandalan dan akurasi hasil, seperti yang akan kita lihat di bagian berikutnya.

18.2 TEORI

Navigasi satelit bergantung pada gagasan sederhana bahwa waktu sama dengan jarak. Jika kita mengetahui waktu yang dibutuhkan sinyal radio untuk melakukan perjalanan dari satelit ke kita, dan kita tahu bahwa ia melaju dengan kecepatan cahaya, maka kita dapat menghitung jarak ke satelit. Jadi, satelit GPS terus menyiarkan pesan seperti "Saya mengirim pesan ini tepat 03:22:17.64836125 GMT." Kemudian kita hanya perlu mengetahui waktu yang tepat ketika kita menerima pesan seperti itu. Mengetahui waktu saat ini dengan sangat akurat adalah bagian dari trik.

Dengan mencatat secara tepat kapan kita menerima setiap pesan dengan jam internal kita dan mengambil perbedaan antara ini dan waktu mulai yang terkandung dalam pesan, kita dapat menghitung perkiraan waktu penerbangan. Ubah waktu ini menjadi jarak dan sertakan posisi masing-masing satelit yang diketahui, dan kita dapat mulai melihat masalah geometri. Untuk membuatnya sangat mudah dilihat, mari kita pertimbangkan dua dimensi dan tiga satelit.



Gambar 18-2 Agar GPS berfungsi dalam praktik, kami menggunakan filter Kalman.

Dalam kerangka Teori Gambar 18-2, lingkaran di sekitar setiap satelit mewakili jarak yang kami hitung ke satelit itu. Dengan kata lain, jika kita hanya tahu tentang satu satelit, maka lingkaran di sekitarnya akan mewakili semua tempat kita berada. Tambahkan satelit kedua, dan dua lingkaran (biasanya) berpotongan di dua titik. Tambahkan sepertiga, dan hanya ada satu titik yang kita bisa berada di posisi kita!

Karena kita memasukkan tiga variabel ke dalam persamaan, kita seharusnya dapat menentukan tiga besaran keluaran, tetapi di dunia datar kita hanya memiliki dua. Tapi tidak ada yang hilang di sini! Solusi persamaan ini juga memberi tahu kita seberapa jauh waktu lokal

kita dari waktu bersama satelit. Sumber informasi waktu yang sangat akurat ini digunakan dalam banyak aplikasi yang tidak memerlukan posisi sama sekali, seperti menjaga sinkronisasi jam di menara ponsel.

Tentu saja, dunia nyata tidak benar-benar terlihat seperti masalah dalam buku teks geometri. Lingkaran tidak benar-benar berbaris, seperti yang ditunjukkan dalam bingkai Latihan Gambar 18-2. Ini berarti kita bisa menggunakan matematika yang lebih menarik! Alih-alih hanya melihat satu set pengukuran, kami mengambil rata-rata banyak pengukuran dari waktu ke waktu. Dan bukan hanya rata-rata sederhana, baik filter Kalman atau teknik pemulusan data lainnya yang sama menariknya.

Filter Kalman dikembangkan oleh Rudolf E. Kálmán, antara lain, sekitar tahun 1960 dan dapat ditemukan dalam aplikasi dari dirgantara hingga robotika hingga seismologi. Seperti kebanyakan algoritme yang memiliki nama, rak-rak yang penuh dengan kertas telah ditulis tentang subjek ini, tetapi inilah garis besar sederhana tentang cara kerjanya.

Pertama, kita membutuhkan model yang dapat memprediksi nilai selanjutnya. Dalam satu kasus sederhana, jika kita mengetahui ketinggian dan kecepatan vertikal kita, kita dapat menghitung ketinggian berikutnya. Kemudian kami melakukan beberapa pengukuran: mungkin pembacaan barometer dan jumlah nilai akselerometer kami. Sekarang kami mengambil rata-rata tertimbang ketinggian dari tiga sumber kami (prediksi dan dua pengukuran). Triknya ada di bobot, tentu saja. Kami mengubah bobot untuk setiap nilai ketinggian untuk membuat kesalahan total perbedaan antara hasil akhir kami dan setiap nilai sekecil mungkin.

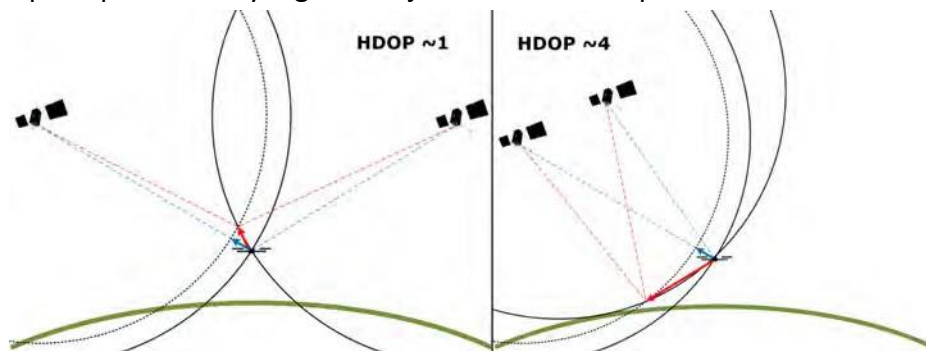
Untuk mendapatkan posisi yang paling akurat, variasi ionosfer harus diperhitungkan. Sinyal radio bergerak dengan kecepatan cahaya, seperti yang dikatakan Einstein, tetapi kecepatan cahaya sedikit bervariasi tergantung pada apa yang dilalui cahaya. Ionosfer, bagian dari atmosfer atas antara 75 dan 1.000 kilometer di atas Bumi, sedikit memperlambat sinyal dari satelit GPS, dan ketebalannya bervariasi.

Untuk mengimbangi ketebalan ionosfer yang bervariasi, satelit GPS mentransmisikan pada dua pita frekuensi yang berbeda (benar-benar, hingga lima sekarang). Karena jumlah ionosfer yang memperlambat sinyal juga bergantung pada frekuensi sinyal, penerima dapat mengukur perbedaan waktu kedatangan pesan yang sama di setiap pita untuk menentukan seberapa besar pengaruh ionosfer terhadap sinyal dari satelit tertentu. Sayangnya, sebagian besar penerima GPS yang kami gunakan di drone, seperti yang ada di ponsel dan banyak perangkat konsumen, hanya menerima salah satu dari dua pita GPS utama sehingga tidak dapat memanfaatkan koreksi ini. Karena itu, kita perlu memperhatikan cuaca antariksa. Ya, ruang memiliki cuaca!

Hal-hal seperti badai matahari dapat mengaduk ionosfer dan membuatnya lebih tebal. Receiver saluran ganda dapat mengoreksi hal ini, tetapi receiver saluran tunggal kami tidak bisa. Akan ada hari-hari ketika Anda melacak banyak satelit dan geometri (atau HDOP, dibahas di bagian berikutnya), terlihat bagus, tetapi posisi Anda masih tampak buruk. Ini mungkin karena badai luar angkasa, dan ada situs web yang memungkinkan Anda memprediksi dan melacak pengaruhnya terhadap kualitas sinyal GPS.

18.3 HDOP

HDOP adalah singkatan dari pengenceran horizontal presisi. Ini mengukur sejauh mana susunan satelit, atau konstelasi yang buruk, menurunkan keakuratan posisi Anda. Dengan akurasi teoretis 1 meter tetapi HDOP 5, Anda bisa berada 5 meter dari tempat yang Anda pikirkan. Pada firstigfruarnee18o-f3F, kesalahan kecil pada jarak ke satu satelit menghasilkan kesalahan dengan ukuran yang sama pada posisi yang dihitung. Pada frame kedua, kedua satelit berdekatan di langit. Dalam situasi ini, kesalahan kecil dalam jarak ke satu satelit menghasilkan kesalahan beberapa kali ukuran dalam posisi yang dihitung. Anda dapat melihat bahwa panah merah yang menunjukkan kesalahan posisi sekarang sekitar empat kali lebih panjang daripada panah biru yang menunjukkan kesalahan posisi satelit asli.



Gambar 18-3 HDOP tinggi berarti kesalahan posisi membesar.

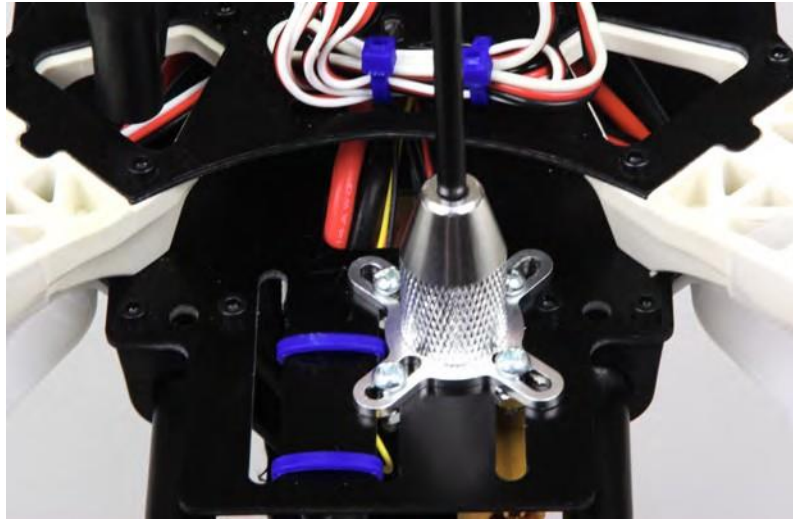
Praktis, kami ingin terbang dengan HDOP 2 atau kurang. Anda dapat mengatur HDOP minimum dan jumlah satelit yang diperlukan dalam sistem kontrol penerbangan. Jika kondisi ini tidak terpenuhi, maka Anda tidak dapat mempersenjatai motor dalam mode yang membutuhkan GPS. Namun, berhati-hatilah: Anda masih dapat beralih ke mode yang bergantung pada GPS, bahkan saat HDOP tinggi, saat Anda sudah terbang.

18.4 INSTALASI

Dengan semua kerumitan dalam teori pengoperasian GPS, kerumitan pemasangannya mungkin tampak sedikit sepele, tetapi tetap saja rumit. Unit GPS yang saya dapatkan disambungkan untuk pengontrol penerbangan PX4 atau APM, dan Pixhawk Lite memiliki port GPS/telemetri gabungan unik yang memerlukan beberapa kabel khusus. Kami akan kembali ke ini jika kami memutuskan untuk menambahkan unit tampilan di layar (OSD) yang memerlukan port telemetri kedua. Untuk saat ini, kita hanya perlu menghubungkan GPS dengan benar.

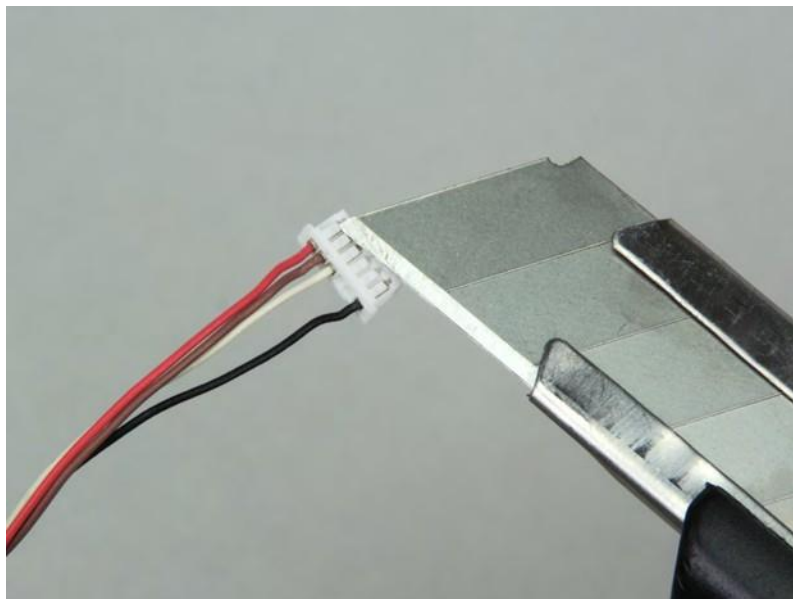
Pengkabelan umumnya berjalan lebih baik saat benda yang kita sambungkan tidak bergerak, jadi mari kita pasang tiang GPS sebelum melakukan pengkabelan. Anda membutuhkan empat baut #4-32 x 3/8" dengan mur. Pasang alas pada tempatnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18-4, kunci tiang ke alas dan bagian atas tiang dengan sekrup yang disetel, kemudian tempelkan keping GPS di atasnya dengan pita busa tempel ganda yang disediakan. Sekarang kita siap untuk pemasangan kabel.

GPS saya sebenarnya datang dengan colokan kosong ekstra untuk pemasangan ulang, tetapi jika Anda berhati-hati, Anda dapat menarik pin dan memasukkannya kembali tanpa merusak steker. Gambar 18-5 menunjukkan cara menggeser bilah pisau ke dalam klip penahan dan melepaskan pinnya.



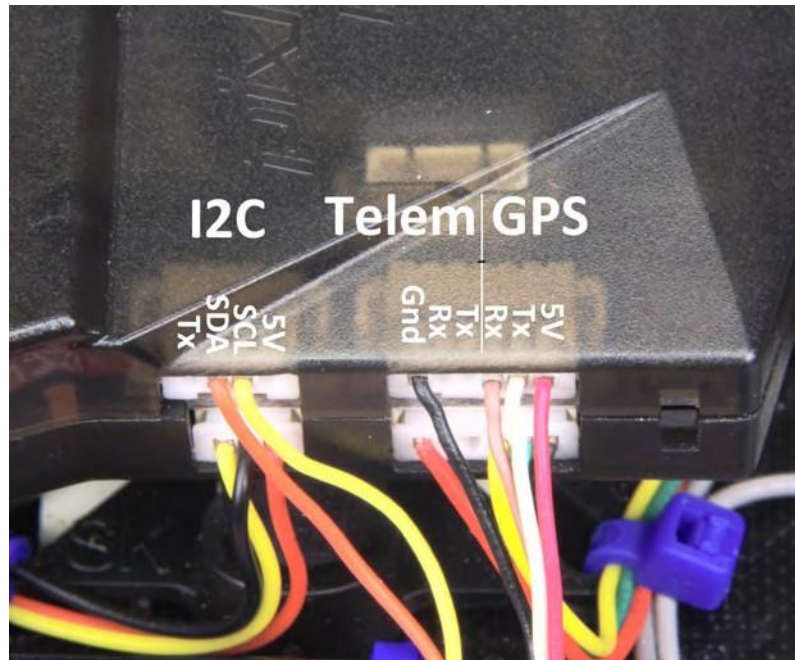
Gambar 18-4 Tiang GPS terpasang kuat ke pelat bawah rangka.

Merah hampir selalu berarti positif dalam hal ini, 5 volt jadi melihat pinout dari Pixhawk pada Gambar 18-6 Anda dapat melihat bahwa kabel merah dan hitam harus ditukar. Saya menebak kabel mana yang mengirim (TX) dan menerima (RX), tapi tebakan saya salah. Ketika saya menyalakan pengontrol penerbangan saya, saya mendapat lampu berkedip di GPS, tetapi pengontrol tidak mengenalinya. Anda dapat memeriksa dengan menghubungkan ke perangkat lunak stasiun bumi Anda.



Gambar 18-5 Dengan hati-hati, Anda dapat melepaskan pin tanpa merusak stekernya.

Jika GPS berfungsi, Anda akan melihat beberapa status seperti "GPS: No Fix." Jika Anda tidak mendapatkan status GPS apa pun, coba tukar jalur TX dan RX.



Gambar 18-6 Pixhawk Lite menggunakan GPS bersama dan port telemetri.

Sekarang Anda seharusnya dapat melihat status GPS di perangkat lunak stasiun bumi Anda. Untuk memperbaikinya, drone harus berada di luar ruangan atau setidaknya di dekat jendela. Jika Anda menyalakan drone dari baterai, Anda dapat mengaturnya di luar ruangan, terhubung melalui telemetri radio, dan menonton di komputer saat GPS Anda memperoleh satelit dan HDOP meningkat. Di bab berikutnya, kita akan membahas magnetometer, tapi coba tebak? Anda baru saja selesai menginstal satu. Unit GPS yang dibuat untuk digunakan dengan sistem PX4 juga dilengkapi magnetometer tiga sumbu.

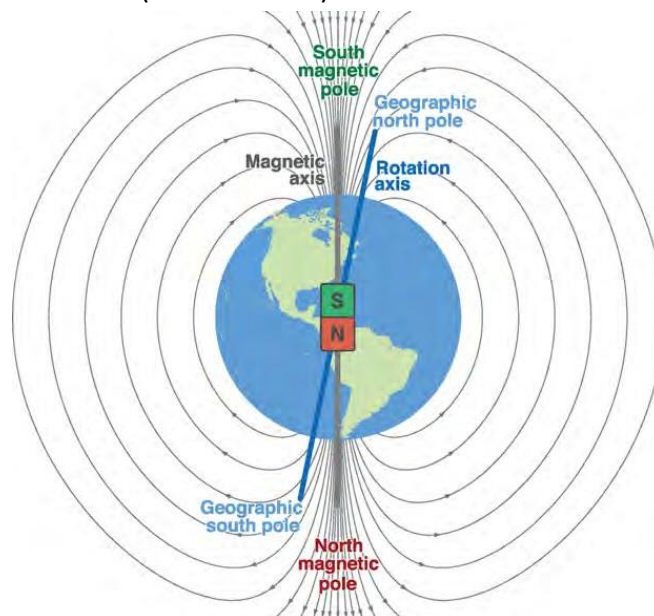
BAB 19 MAGNETOMETER

Manusia telah menggunakan perangkat penginderaan magnetik selama berabad-abad, dan hewan mungkin selama ribuan tahun. Kami telah menempuh perjalanan jauh dari potongan-potongan besi yang mengambang, baik dalam peralatan kami maupun dalam pemahaman kami. Manusia telah belajar, sering kali dengan menabrakkan kapal ke bebatuan, tentang penyimpangan dan variasi, dan tentang perubahan variasi dari waktu ke waktu. Variasi magnetis dari bandara lokal saya telah berubah lebih dari setengah derajat selama hidup saya, sebagaimana dicatat pada grafik penerbangan.

Praktis, di dunia drone, perangkat kerasnya menjadi sangat sederhana. Sebuah chip tunggal dengan antarmuka I2C yang nyaman memberi kita pengukuran tiga sumbu medan magnet lokal. Secara operasional, kompas tetap, seperti biasanya, sedikit bermasalah. Mereka harus dikalibrasi (dalam kasus kami dengan melakukan "tarian magnetometer" tunggu saja!), Dan kadang-kadang kita harus mengkompensasi perubahan medan karena arus motor. Kami sudah memasang magnetometer beserta unit GPS, jadi bab ini akan membahas cara kerjanya dan cara terbaik untuk menggunakannya.

19.1 MEDAN MAGNET BUMI

Kita semua telah melihat gambaran dasar tentang bagaimana garis-garis medan magnet mengalir melalui Bumi (Gambar 19-1).



Gambar 19-1 Medan magnet bumi tidak cukup sejajar dengan kutub utara geografis.

Jika Anda telah bermain banyak dengan magnet, Anda tahu bahwa mereka suka berbaris dengan cara tertentu, utara ke selatan dan selatan ke utara. Jadi, jika kita membiarkan magnet bergerak bebas tanpa ada magnet lain di dekatnya, ia akan sejajar dengan magnet besar tapi lemah yaitu Bumi. Manusia telah lama mengetahui cara

mengapungkan batu magnet (batu magnet alami), atau kemudian peniti besi, sehingga mereka akan menunjuk ke arah utara magnetis.

Perhatikan istilah kutub magnet. Hal pertama yang perlu Anda ketahui untuk menggunakan kompas untuk navigasi adalah bahwa kutub utara magnetis saat ini berada beberapa ratus kilometer dari kutub utara geografis, poros yang mengelilingi Bumi. Dan kutub utara magnet bergerak lebih dari 50 kilometer per tahun, akhir-akhir ini menuju ke utara dari Kanada. Ahli geologi memberi tahu kami bahwa medan magnet Bumi telah membalik utara ke selatan beberapa kali dalam sejarahnya, meskipun kami tidak berharap ini memengaruhi navigasi dalam waktu dekat.

Kami, atau mungkin komputer kami atas nama kami, harus memperhatikan perbedaan antara magnetis dan utara geografis ketika mencoba menerbangkan jalur magnet dan melacak diri kami sendiri di peta yang berorientasi geografis. Untuk mendapatkan hak ini membutuhkan pemahaman tidak hanya global tetapi juga perbedaan lokal antara peta dan pembacaan kompas.

19.2 DEKLINASI DAN DEVIASI

Deklinasi, lebih sering disebut variasi, mengukur perbedaan lokal antara magnetis dan utara sejati. Ini termasuk perbedaan karena perbedaan posisi kutub dan perbedaan lokal yang disebabkan oleh hal-hal seperti perbedaan ketebalan kerak bumi dari deposit lokal bijih besi. Manusia telah belajar tentang deklinasi dengan cara yang sulit, sering kali membayar dengan nyawa pelaut.

Christopher Columbus mencatat bahwa perbedaan antara magnetis dan utara yang sebenarnya sangat berubah saat ia melintasi Atlantik pada abad kelima belas. Pada abad ketujuh belas, dipahami bahwa perbedaan ini juga berubah dari waktu ke waktu, dan bahwa akan ada perbedaan murni lokal. Tetapi baru pada abad kesembilan belas peta yang akurat dan berguna dari variasi kompas yang dihasilkan tersedia.

Deviasi, sebagai lawan deklinasi atau variasi, menggambarkan upaya kita untuk mengukur medan magnet bumi, bukan medan itu sendiri. Sudah lama diketahui, misalnya, bahwa besi apa pun di kapal dapat membuang kompas dari masalah nyata begitu lambung mulai dibuat darinya! Pada 1800-an John Gray dan kemudian Lord Kelvin datang dengan sistem untuk mengoreksi efek ini. Sistem Lord Kelvin menempatkan dua bola besi besar, satu di kedua sisi binnacle kapal atau dudukan kompas, yang dapat dipindahkan untuk mengkompensasi kesalahan. Secara tradisional dicat merah dan hijau (Gambar 19-2), ini umumnya dikenal sebagai bola Kelvin.



Gambar 19-2 Bola merah dan hijau di binnacle kapal ini benar untuk keberadaan besi di kapal.

Di pesawat modern, kami masih membawa kompas magnet dasar, dan itu juga akan mencakup satu set magnet kecil yang ditempatkan di sekitarnya untuk mengoreksi keberadaan besi dalam struktur pesawat. Tetapi koreksi ini tidak pernah sempurna, sehingga kompas pesawat juga dilengkapi dengan apa yang disebut kartu kompas. Kartu kecil ini, ditempatkan di sebelah kompas, mencantumkan kesalahan yang tersisa pada sudut yang berbeda sehingga pilot dapat memperbaiki satu atau dua derajat terakhir itu. Saat Anda bepergian dengan kecepatan 500 mil per jam, sudut kecil bisa menjadi jarak yang jauh dengan tergesa-gesa!

19.3 MAGNETORESISTANSI

Tentu saja, drone kami tidak membawa jarum besi yang mengambang di minyak. Mereka membawa perangkat solid-state menggunakan properti yang dikenal sebagai magnetoresistance. Para ilmuwan dan insinyur telah menemukan banyak mekanisme yang berbeda di mana hambatan listrik suatu bahan dapat dibuat bervariasi dengan medan magnet di sekitarnya. Ketika mereka menemukan efek yang lebih besar, mereka harus membuat nama yang lebih konyol, seperti "magnetoresistance raksasa," "magnetoresistance kolosal," dan bahkan "magnetoresistansi luar biasa." Chip magnetometer di drone kami umumnya menggunakan anisotropic magnetoresistance (AMR), yang berarti bahwa perubahan

resistansi bervariasi dengan arah medan magnet, properti yang berguna ketika Anda mencoba menemukan arah.

Masing-masing jenis magnetoresistance yang disebutkan mungkin, pada kenyataannya, diproduksi oleh kombinasi beberapa mekanisme fisik yang mendasarinya. Tanpa membahas semua detailnya, salah satu hasil dari cara kerja AMR juga memiliki nama yang menyenangkan yang mungkin Anda dengar digunakan untuk menggambarkan sistem ini: sensor tiang tukang cukur. Sensor AMR dimulai dengan strip tipis permalloy, paduan nikel-besi. Tetapi dengan sendirinya ini hanya akan memberi tahu Anda, pada dasarnya, seberapa dekat Anda dengan menunjuk ke utara, bukan apakah Anda sedikit ke timur atau barat. Dengan menempatkan serangkaian strip aluminium di permalloy pada sudut 45 derajat, respons ke kiri dan kanan menjadi berbeda, dan chip yang dihasilkan terlihat seperti tiang tukang cukur, seperti yang terlihat pada Gambar 19-3.

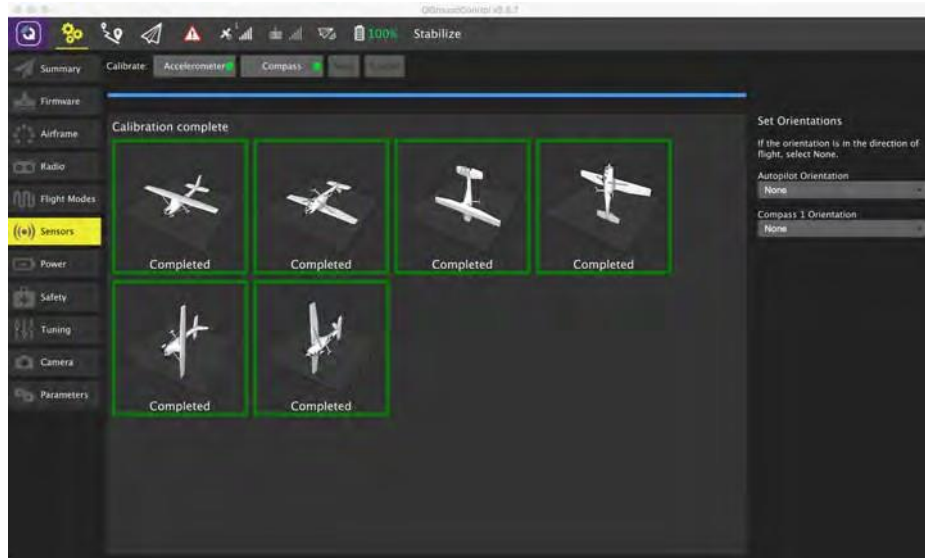


Gambar 19-3 Strip aluminium membantu menentukan kiri dari kanan dan membuat struktur terlihat seperti tiang tukang cukur

19.4 GUNAKAN DI DRONE

Memasang magnetometer modern ke dalam sistem kontrol drone kami sangatlah mudah. Pilih chip seperti magnetometer tiga sumbu HMC5883L yang berbagi keping dengan penerima GPS kami. Sekarang sambungkan daya dan antarmuka I2C, dan selesai. Tetapi membangun kompas selalu merupakan bagian yang mudah. Belajar menggunakannya adalah masalahnya. Semua hal yang baru saja kita bicarakan muncul dalam perangkat lunak penerbangan dan proses kalibrasi. Saat Anda menyiapkan drone menggunakan perangkat lunak stasiun kontrol darat, sistem dapat membaca posisi Anda dari penerima GPS dan, menggunakan Internet, menemukan deklinasi magnetik lokal Anda. Atau, Anda dapat memasukkan nilai dengan tangan.

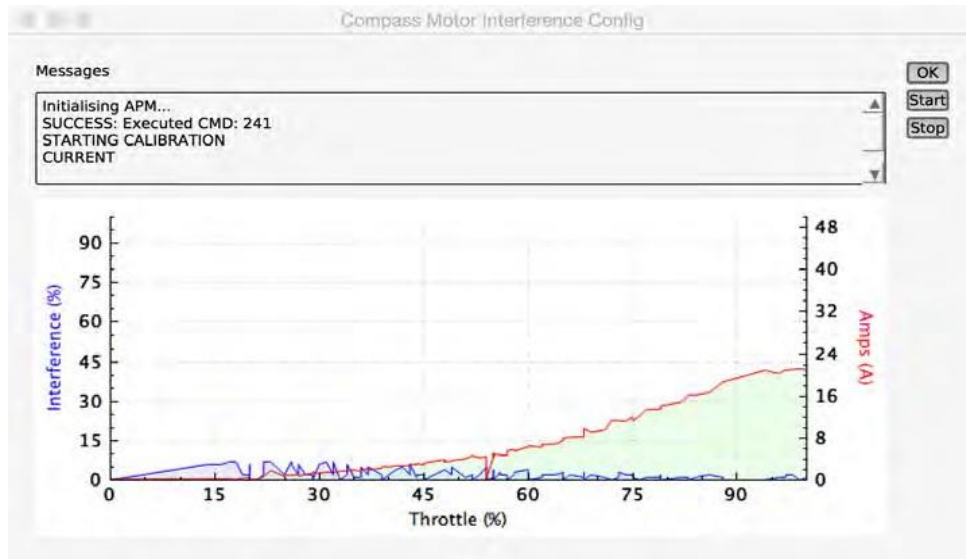
Berikutnya adalah apa yang kita sebut kalibrasi kompas. Sama seperti mereka masih mengayunkan seluruh kapal dan pesawat untuk menentukan deviasi kompas mereka, kita bisa mengayunkan drone kita di sekitar apa yang dikenal sebagai "tarian kompas." Anda memulai prosesnya dengan memilih opsi kalibrasi kompas di perangkat lunak stasiun kontrol darat Anda, lalu ikuti instruksi saat Anda mengarahkan drone ke arah yang berbeda dan berputar. Gambar 19-4 menunjukkan kalibrasi lengkap menggunakan QGroundControl.



Gambar 19-4 Layar kalibrasi kompas ini memandu Anda saat melakukan tarian Kompas.

Proses ini mengkompensasi keberadaan banyak magnet permanen yang kuat di motor satu jenis penyimpangan dalam pembacaan kompas kami. Tetapi kami juga memiliki magnet listrik di motor tersebut dan arus tinggi yang mengalir melalui sistem tenaga kami, yang dapat menciptakan medan magnet yang berubah selama penerbangan. Desain drone besar kami, seperti kebanyakan, menempatkan kompas dan penerima GPS di tiang, beberapa inci di atas sistem tenaga dan radio lainnya. Ini meminimalkan gangguan pada kompas, dalam kasus kami ke tingkat yang dapat diterima (seperti yang akan kita lihat). Untuk menguji ini dan mengkompensasinya jika perlu, kita dapat melakukan tes kompas.

Untuk melakukan kompasnot, Anda harus terlebih dahulu menghapus semua alat peraga Anda (kita akan berbicara tentang memilih dan memasang alat peraga di bab berikutnya) dan memasangnya kembali sehingga mereka akan mendorong ke bawah, bukan ke atas. Tukar pasangan atau gerakkan masing-masing dengan satu tangan. Kemudian, di lokasi yang aman tanpa orang lain terlalu dekat, mulai kalibrasi kompas, yang akan menginstruksikan Anda untuk menggerakkan throttle ke atas dan ke bawah. Sistem akan memantau arus yang digunakan dan gangguan magnetik yang dihasilkan dan menghitung faktor koreksi untuk digunakan nanti. Gambar 19-5 menunjukkan hasil yang saya dapatkan: gangguan kurang dari 10 persen. Hasil rendah ini tidak mengejutkan karena kami memiliki kompas di tiang.



Gambar 19-5 Hasil kompasnot ini menunjukkan gangguan yang tidak signifikan.

Mengingat bahwa saya telah menunjukkan tingkat gangguan yang sangat rendah dengan desain ini, saya sebenarnya tidak akan merekomendasikan menjalankan tes ini pada drone ini kecuali Anda memiliki alasan untuk mencurigai adanya masalah kompas. Pertama-tama, berbahaya untuk menjalankan alat peraga ini dengan kecepatan penuh di dekat orang, termasuk Anda sendiri. Ada juga kerumitan dan ruang untuk kesalahan saat mengganti alat peraga. Dan akhirnya, dapat terjadi bahwa hasil tes yang buruk memberikan kalibrasi yang terbang jauh lebih buruk daripada tidak melakukan ini sama sekali. Saya sudah melakukan tes, jadi Anda tidak perlu melakukannya. Ini adalah rekayasa di tempat kerja.

Kami hampir tidak menyentuh sejarah kompas yang menarik, tetapi mudah-mudahan Anda telah cukup belajar untuk mengetahui mengapa Anda harus melakukan tarian lucu itu saat menyiapkan drone Anda. Dan, tentu saja, Anda harus mengulanginya jika Anda mengubah perangkat keras, terutama saat menambahkan sesuatu dengan lebih banyak motor, seperti gimbal, atau jika Anda mengubah lokasi lebih dari beberapa mil. Tapi cukup teori untuk sementara waktu.

BAB 20

ALIRAN OPTIK, SONAR, DAN LIDAR

Teknologi terus bergerak maju. Penerima GPS Rp 2.250.000.000 tahun 1980-an telah menjadi Rp 225.000 yang kami gunakan untuk menavigasi drone kami. Dan meskipun mereka tidak dapat melakukan semua yang dilakukan oleh receiver kelas militer, mereka bekerja jauh lebih baik secara keseluruhan. Demikian pula, sensor (dan kekuatan pemrosesan yang diperlukan untuk menggunakannya) yang dulunya merupakan domain eksklusif proyek militer rahasia kini dapat diintegrasikan ke dalam drone kami. Vendor perangkat keras memperdagangkan desain open source untuk menekan biaya, dan komunitas perangkat lunak open source bekerja terus-menerus untuk mendukung gadget terbaru.

Dalam bab ini, kita akan melihat beberapa teknologi baru yang masuk ke proyek drone hari ini optical flow, sensor resolusi 2r1s⁻(1F) dan teknologi terkait sonar dan lidar. Dua yang terakhir ini mengukur jarak; biasanya bagi kita itu berarti ketinggian, yang harus kita ketahui untuk menggunakan sensor aliran optik.



Gambar 20-1 Sensor aliran optik PX4Flow.

20.1 SONAR

Ketika kita mendengar kata sonar, itu memunculkan gambar orang-orang ketakutan yang mendengarkan dengan seksama ping di kapal selam mereka. Atau mungkin Anda yang kurang bela diri memikirkan kelelawar yang menggunakan ping ultrasonik untuk melacak dan menangkap serangga. Dimulai dengan kamera Polaroid SX-70 di tahun 1970-an, yang menggunakan sonar untuk fokus, sonar telah menjadi bentuk pencarian jangkauan yang sangat murah dan umum di berbagai aplikasi saat ini.

Para penggemar menggunakan sonar untuk menghindari tabrakan pada robot atau sebagai pendeteksi gerakan untuk tampilan interaktif atau sejuta hal lainnya. Modul pinger ultrasonik HC-SR04 sangat umum, mudah digunakan, dan murah sehingga hampir semua proyek dapat menyertakannya. Harganya hanya beberapa dolar dan hanya membutuhkan

empat kabel dan beberapa baris kode untuk digunakan. Gambar 20-2 menunjukkan salah satu modul ini.



Gambar 20-2 Pinger ultrasonik murah ini dapat digunakan untuk menentukan ketinggian.

Orang-orang telah berhasil menggunakan modul HC-SR04 untuk mengontrol ketinggian drone. Kesederhanaan mereka cocok digunakan dengan sistem APM 8-bit yang lebih lama. Tapi mereka juga punya batasan. Ini bukan pencari jangkauan paling akurat yang tersedia. Mereka tunduk pada gangguan dari kebisingan latar belakang. Dan yang paling penting bagi kami, mereka hanya dapat bekerja hingga beberapa meter paling banyak.

Untuk jangkauan dan akurasi yang lebih baik, tim Dronecode merekomendasikan untuk beralih ke modul sonar yang agak lebih mahal seperti Maxbotix HRLV-EZ4, yang disertakan dengan sensor aliran optik yang akan kita bahas segera. Maxbotix menjual seluruh lini pencari jangkauan ultrasonik yang lebih baik, dan yang satu ini memiliki sinar tersempit untuk jangkauan terpanjang. Menurut pabrikan, sensor ini mengukur hingga milimeter pada jarak hingga lima meter.

20.2 LIDAR

Nama lidar berasal dari kombinasi cahaya dan radar. Teknologi ini menggunakan cahaya, umumnya laser, untuk mengukur jarak ke suatu objek dengan mengukur waktu yang dibutuhkan pulsa cahaya untuk melakukan perjalanan ke objek itu dan dipantulkan kembali. Cahaya bergerak jauh lebih cepat daripada suara, tentu saja, jadi sistem lidar harus mampu mengukur waktu yang sangat, sangat kecil dengan akurat; dengan demikian, sistem ini masih jauh lebih mahal daripada sonar.

Di sisi positifnya, lidar bisa lebih akurat daripada sonar dan jauh lebih rentan terhadap gangguan dari lingkungan atau sistem lain pada drone. Beberapa produsen sekarang membuat sistem lidar khusus untuk drone, dan tumpukan penerbangan APM mendukung rangkaian modul Lidar-Lite. Pada titik ini, proyek open source seperti APM hanya

menggunakan lidar untuk pengukuran ketinggian. Di masa depan, itu mungkin juga berperan dalam menghindari tabrakan.

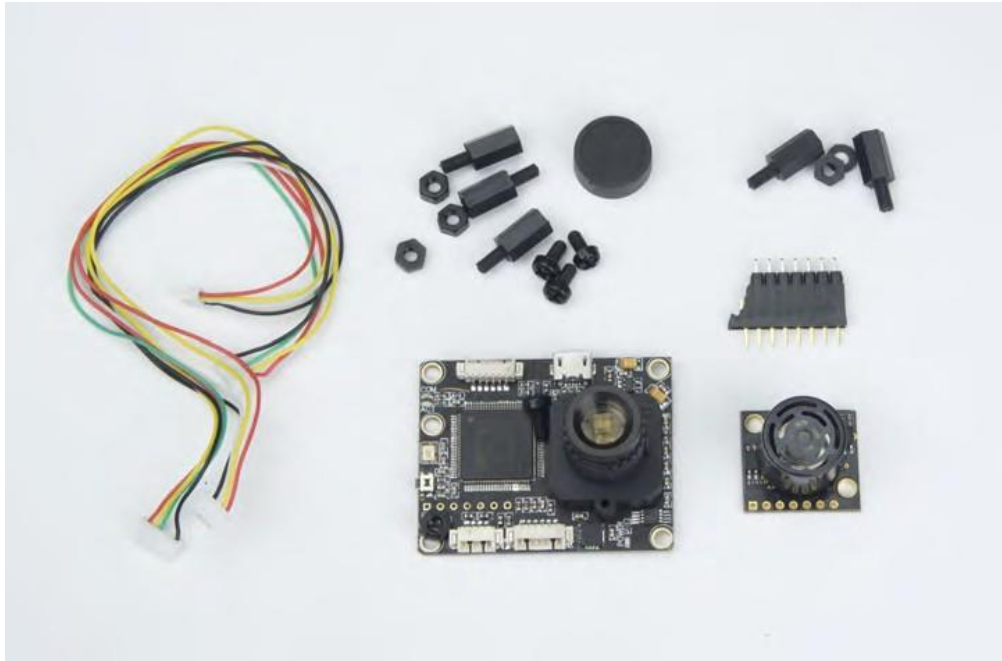
20.3 SENSOR ALIRAN OPTIK

Disadari atau tidak, sebagian besar dari kita menggunakan bentuk sensor aliran optik setiap hari dalam bentuk mouse optik. Anda yang ingat tikus dengan gerakan pelacakan bola bergulir tahu betapa jauh lebih baik teknologi optik saat ini. Ini bekerja dengan membandingkan gambar berurutan dari kamera resolusi rendah untuk melihat ke arah mana gambar telah bergerak. Ide yang sama sebenarnya, perangkat keras yang sama dapat digunakan untuk menjaga drone tetap berada di tempat tetap di tanah.

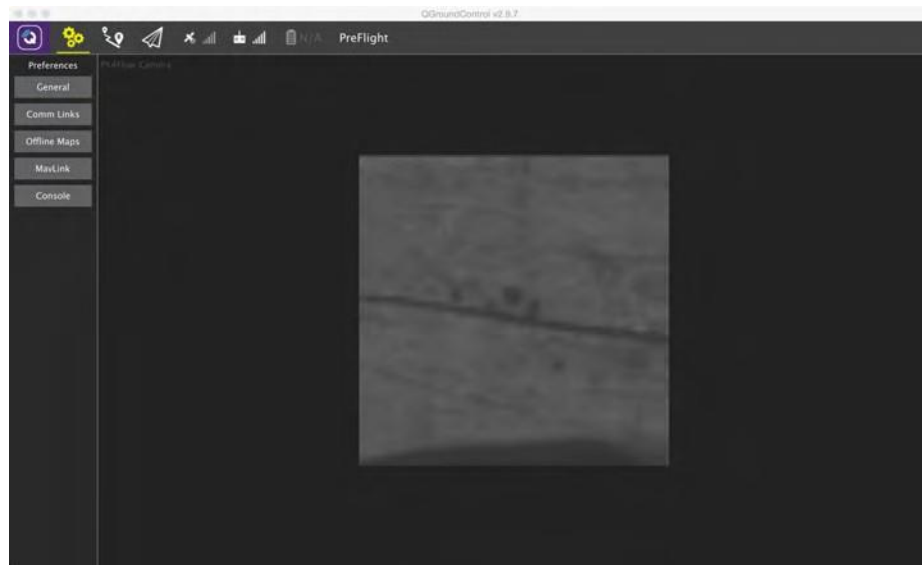
Ketika drone Parrot AR asli keluar dengan sangat meriah, salah satu teknologi yang membuatnya menonjol adalah penginderaan aliran optik. Ini memberinya stabilitas posisi yang jauh lebih ketat daripada yang dimungkinkan dengan GPS, di dalam atau di luar. Saat ini, khususnya di dunia APM dan PX4, kita melihat dua sistem aliran optik umum digunakan. Opsi yang lebih murah menggunakan sensor DNS3080, yang dibuat untuk digunakan pada mouse. Anda dapat menghubungkan unit ini melalui bus SPI-nya ke sistem kontrol APM 2.x 8-bit yang lebih lama. Dikombinasikan dengan modul sonar HC-SR04 super-murah, Anda dapat mencoba teknologi aliran optik dengan harga di bawah Rp 750.000 namun dibutuhkan banyak peretasan, dan Anda tidak dapat mengharapkan hasil terbaik dari peralatan dengan harga terendah.

Opsi yang lebih baik di dunia Dronecode, yang disebut PX4Flow, menggunakan papan pengontrol yang dibuat khusus dengan kamera yang lebih baik. Seperti disebutkan, pembuat drone umumnya memasang unit ini dengan sensor ultrasonik Maxbotix yang lebih baik, yang dapat terhubung langsung ke pengontrol. Ini menghasilkan satu unit lengkap yang terhubung dengan mudah melalui I2C, seperti yang terlihat pada Gambar 20-3.

Ini masih memerlukan beberapa pengaturan, meskipun dalam hal ini pengaturannya agak menyenangkan. Anda dapat terhubung langsung ke papan pengontrol aliran optik melalui USB dan mengkalibrasi menggunakan perangkat lunak khusus, yang mencakup kemampuan untuk langsung melihat gambar kamera yang dilihatnya (Gambar 20-4).



Gambar 20-3 PX4Flow sering kali dilengkapi dengan ping ultrasonik untuk ketinggian.



Gambar 20-4 Layar konfigurasi PX4Flow memungkinkan Anda melihat gambar kamera.

20.4 ODOMETRI VISUAL

Odometri visual: bukankah itu istilah yang bagus? Itu hanya berarti mencari tahu di mana Anda berada dengan melihat sekeliling. Kami melakukan ini setiap hari, tetapi baru mulai menemukan jalannya ke robot dan drone kami. Akademisi telah bekerja pada teknologi ini selama bertahun-tahun sekarang, terutama yang berlaku untuk dunia augmented reality. Komputer harus dapat memetakan dunia di sekitar kita untuk memproyeksikan berbagai hal ke dalamnya. Menempatkan kekuatan pemrosesan pada pesawat tak berawak untuk melakukan interpretasi semacam ini dan pemetaan gambar video telah menjadi penghalang hingga saat ini. Proyek akademik telah menggunakan pemrosesan jarak jauh untuk menguji teori mereka. DJI sebenarnya membangun perangkat eksperimental yang disebut Guidance,

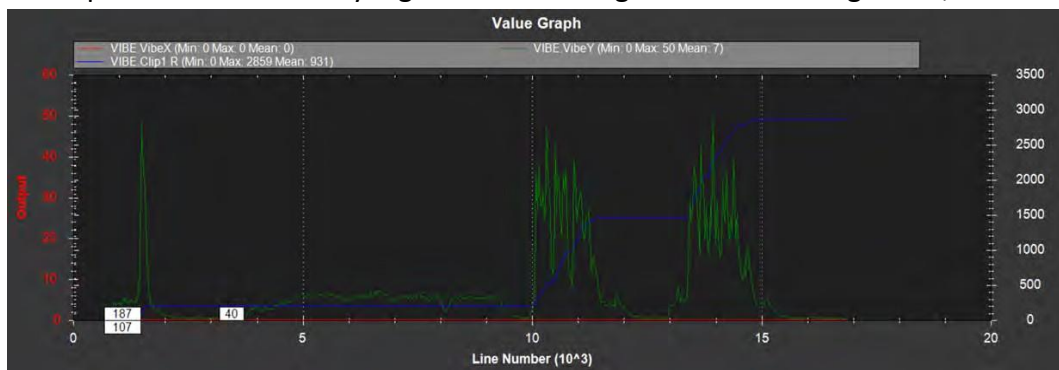
yang menggunakan serangkaian kamera dan pencari jarak ultrasonik untuk mencoba menghindari tabrakan.

Saat ini, ini bukan sesuatu yang dapat Anda terapkan dengan murah dan mudah: Anda tidak bisa hanya membeli suku cadang dari China, mencolokkan bus standar, dan mengaktifkannya dengan kotak centang di perangkat lunak ground control Anda. Tapi siapa tahu, pada saat Anda membaca ini, odometri visual mungkin ada di setiap drone yang menghargai diri sendiri di luar sana. Saat dipasang dan diatur dengan benar, beberapa kombinasi pencarian jangkauan dan sensor aliran optik membuat tambahan yang sangat praktis untuk drone canggih saat ini. Ini akan memungkinkan Anda untuk terbang dengan stabilisasi posisi di dalam ruangan di mana tidak ada GPS, atau melakukan lepas landas dan pendaratan otomatis yang presisi. Sistem besok memungkinkan drone Anda menemukan tempatnya di peta dengan melihat atau terbang di dekat drone lain tanpa menabraknya. Perhatikan ruang ini untuk perkembangan menarik dalam waktu dekat!

BAB 21 GETARAN

Jika Anda membaca forum drone untuk waktu yang lama, Anda pasti akan menemukan diskusi tentang getaran. Saya telah mengalami beberapa benturan keras yang saya yakini disebabkan oleh getaran, jadi saya memiliki minat yang sangat pribadi pada subjek tersebut. Getaran penting bagi siapa saja yang menerbangkan pesawat multirotor. Kita semua menggunakan sistem stabilisasi inersia, gyro dan akselerometer, dan ini sangat sensitif terhadap getaran. Fotografi udara bergantung pada platform yang stabil untuk memotret. Dan pada akhirnya, getaran yang buruk dapat membuat drone terpisah begitu saja.

Gambar 21-1 menunjukkan log dari pengujian ketika drone saya mengalami beberapa getaran yang menghancurkan. Ini menunjukkan gaya dalam kisaran tiga hingga lima kali gaya gravitasi (yaitu, 3–5G). Pembacaan yang masuk akal di sini akan kurang dari sepersepuluh dari itu. Sebuah platform foto udara yang baik akan sering membaca kurang dari 0,1G.



Gambar 21-1 Inilah yang tampak seperti getaran berlebihan di log.

21.1 PENYEBAB GETARAN

Sungguh ironis bahwa getaran harus menjadi masalah pada kendaraan dengan begitu sedikit bagian yang bergerak, tetapi bagian yang bergerak itu berputar sangat cepat—hingga 7.000 RPM untuk 1045 props dan 2216 motor dari drone besar yang baru saja kami buat. Jika penyangga atau motor atau bahkan mur penyangga sedikit tidak seimbang, itu akan menciptakan getaran. Karena kami menjalankan motor kami pada rentang RPM penuh yang mungkin selama penerbangan normal, jika ada frekuensi buruk di sana yang sejalan dengan resonansi bingkai, kami akhirnya akan memukulnya. Gambar 21-2 menunjukkan bingkai dari video yang terjadi dengan drone ini, dengan motor yang berbeda.

Anda akan senang mengetahui bahwa dengan props yang seimbang, motor EMax 2216 yang akan kami gunakan untuk menerbangkan drone ini tidak pernah menunjukkan getaran seperti ini. Itu harus membuat platform fotografi udara yang bagus.



Gambar 21-2 Saat getaran beresonansi dengan bingkai, getarannya bisa menjadi besar.

21.2 EFEK GETARAN

Getaran menyebabkan banyak masalah. Di forum drone, orang berbicara paling banyak tentang jello di video mereka. Saya akan kembali ke apa artinya ini dalam satu menit, tetapi saya yakin alasan mengapa hal ini sering disebutkan hanyalah karena merekam video dari drone merupakan cara yang sangat baik untuk melihat seberapa buruk getaran pada waktu yang berbeda di penerbangan. Anda dapat melihat log, tentu saja, tetapi jello dalam video adalah apa yang diperhatikan orang ketika semuanya baik-baik saja. Saya kira pada titik tertentu getaran mungkin hanya membuat bagian-bagiannya bergetar, tetapi saya belum pernah mengalami hal ini. Tentu saja, sekrup akan lepas lebih cepat karena getarannya semakin parah. Ini dapat menyebabkan bagian-bagiannya jatuh pada akhirnya, tetapi selama Anda memeriksa sekrup penting sebelum terbang, ini tidak akan terjadi pada Anda.

Masalah berbahaya yang tidak dapat Anda lihat sampai terlambat terjadi ketika getaran mulai memengaruhi akselerometer dan gyro. Itu mungkin hanya menyebabkan sedikit penyimpangan. Karena navigasi inersia digunakan untuk melengkapi barometer dalam mode penahan ketinggian, getaran dapat membuat drone Anda bergerak naik turun dalam mode ini. Terakhir, sistem multisensor canggih seperti yang kami gunakan di sini terus-menerus memeriksa sensor mereka satu sama lain dan akan berhenti menggunakan yang tampaknya tidak berfungsi. Ini hampir pasti akan terjadi pada saat yang kritis, tepat ketika Anda dapat menggunakan semua bantuan yang dapat Anda peroleh dari sensor Anda!

Kembali ke jello di video sekarang. Saat drone Anda bergetar bolak-balik, dan kamera tidak cukup terlindungi dari getaran tersebut, Anda akan melihat gerakan kecil ini tercermin dalam video. Tetapi kamera aksi tidak mengambil seluruh bingkai sekaligus. Mereka memindai bingkai pada tingkat tertentu. Jika drone Anda bergetar bolak-balik tiga kali untuk setiap bingkai yang diambil kamera, maka garis vertikal akan tampak memiliki tiga gelombang di dalamnya saat Anda melihat ke bawah bingkai.

21.3 REDAMAN DAN ISOLASI

Secara teknis, apa yang oleh semua orang disebut "peredam getaran" di drone, jenis shock mount yang kami gunakan untuk pengontrol kami atau yang paling banyak digunakan gimbal harus benar-benar disebut "isolasi getaran." Redaman terjadi ketika energi getaran diubah menjadi bentuk lain, biasanya panas yang disebabkan oleh gesekan, sebelum mencapai benda yang dilindungi. Peredam kejut mobil melakukan ini ketika mereka menggunakan cairan untuk mengubah gerakan mobil menjadi panas. Isolasi terjadi ketika energi melewati item tanpa banyak mempengaruhinya. Pegas, baik baja atau silikon seperti bola peredam yang sering digunakan di drone, menyerap energi sementara sehingga barang yang dilindungi tidak perlu.

Sistem terbaik menggunakan kombinasi redaman dan isolasi. Mobil memiliki guncangan dan pegas, atau mungkin penyangga, yang tidak lain adalah kombinasi yang seimbang dari keduanya. Kami tidak banyak melihat sistem redaman yang sebenarnya di drone, jadi mari kita lihat bagaimana kami dapat menggunakan isolasi untuk mengurangi masalah yang disebabkan oleh getaran.

Pertama, mari kita lebih spesifik tentang tujuan kita. Kami ingin menghentikan gerakan reguler berfrekuensi tinggi yang berasal dari props dan motor yang berputar. Tetapi kita harus membiarkan gerakan drone yang sebenarnya tanpa perubahan atau penundaan yang signifikan. Secara matematis, ini adalah gerakan frekuensi rendah. Pembuat drone menggunakan bola silikon, o-ring yang diregangkan, dan bantalan yang terbuat dari bahan isolasi getaran khusus. Dalam setiap kasus, material bertindak sebagai semacam pegas. Untuk membuatnya bekerja dengan baik, kita harus menyesuaikan kekakuan pegas itu dengan situasi.

Frekuensi gerakan yang ingin kita hentikan dan lewati mempengaruhi kekakuan pegas yang ideal, tetapi kita tidak dapat mengubahnya. Akan tetapi, kita dapat mengubah faktor penting lainnya, berat benda yang sedang diangkat. Semakin berat objek yang diisolasi, semakin mudah untuk mengisolasinya dari gerakan kecil berfrekuensi tinggi yang tidak kita inginkan. Kita dapat memanfaatkan fakta ini dengan memasukkan lebih banyak bobot dengan sistem kontrol. Saya telah mempertimbangkan untuk menggunakan shock mount yang lebih besar pada drone ini dan memasang radio RC dan telemetri dengan pengontrol penerbangan, meskipun tingkat getarannya sudah baik-baik saja. Beberapa drone komersial, seperti Parrot Bebop, menempatkan baterai di sisi yang terisolasi dengan sistem kontrol dan kamera, menambah banyak bobot pegas.

21.4 PROP BALANCING

Jika Anda mengalami masalah getaran, mulai dari jello ringan hingga benturan, Anda perlu menyeimbangkan alat peraga Anda. Bahkan jika Anda tidak melihat tanda-tanda getaran sama sekali, menyeimbangkan alat peraga Anda akan membuat motor Anda berjalan sedikit lebih mulus dan membuat bantalan bertahan lebih lama. Mudah. Tidak membutuhkan alat yang mahal. Dibutuhkan alat khusus, penyeimbang penyangga, tetapi alat dasar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 21-3 berharga kurang dari Rp 150.000. Yang lebih baik akan

memungkinkan penyeimbangan alat peraga pengencang sendiri yang tidak memiliki lubang sepenuhnya.



Gambar 21-3 Penyeimbang penyangga, gunting, dan pita listrik adalah semua yang Anda butuhkan untuk menyeimbangkan penyangga.

Dengan adaptor hub yang tepat di tempatnya, kencangkan perlahan penyangga ke dalam penyeimbang. Potong selembar pita listrik, satu sentimeter persegi untuk penyangga yang sangat tidak seimbang atau kurang jika penyangga sudah tampak dekat. Tempelkan selotip di tepi depan dan periksa keseimbangannya. Gerakkan ke depan dan ke belakang hingga bilahnya tampak sehalus mungkin. Sekarang saatnya untuk menyeimbangkan hub prop. Ya, itu poin yang bagus dan tidak semua orang melakukannya, tetapi Anda memilikinya di penyeimbang, jadi mengapa tidak?

Setelah bilah benar-benar seimbang, dorong satu sisi ke bawah. Jika penyangga memiliki kecenderungan untuk kembali ke level tidak peduli bilah mana yang Anda dorong, sisi bawah hub lebih berat. Sebaliknya, jika Anda mendorong salah satu bilah ke bawah, sisi itu tetap di bawah, maka sisi atas hub lebih berat. Anda dapat meringankan sisi yang lebih berat dengan mengampelas sedikit dengan amplas berbutir sedang. Mungkin yang terbaik adalah melepas penyangga dari penyeimbang sehingga Anda tidak mengampelasnya dan membuat alat Anda tidak seimbang. Saya menemukan bahwa satu sisi hub selalu terlihat lebih berkedip dan berakhir lebih berat, jadi saya akan sering mengampelas sisi itu sedikit bahkan sebelum memulai.

Jika Anda mendapatkan motor yang bagus dan menyeimbangkan alat peraga Anda dengan baik, Anda dapat menikmati terbang yang mulus dan video yang mulus. Dan bahkan jika drone Anda terbang dengan baik dengan alat peraga langsung dari kotak pengiriman, bantulah bantalan dan gyro Anda dan tetap seimbangkan keduanya. Drone Anda akan terasa lebih seperti mesin presisi.

BAB 22

MODE KEGAGALAN DAN TOLERANSI KESALAHAN

Jika Anda mulai memikirkan semua cara kegagalan dapat menjatuhkan drone Anda, itu bisa sedikit membuat depresi. Salah satu penyangga terlepas, salah satu dari selusin sambungan solder yang menjalankan motor terlepas, salah satu dari 24 FET di ESC gagal..., dan itu hanya sistem tenaga. Dan semuanya kembali ke satu koneksi baterai. Kami menyebut masing-masing item ini sebagai satu titik kegagalan, dan kami dapat melakukan yang lebih baik.

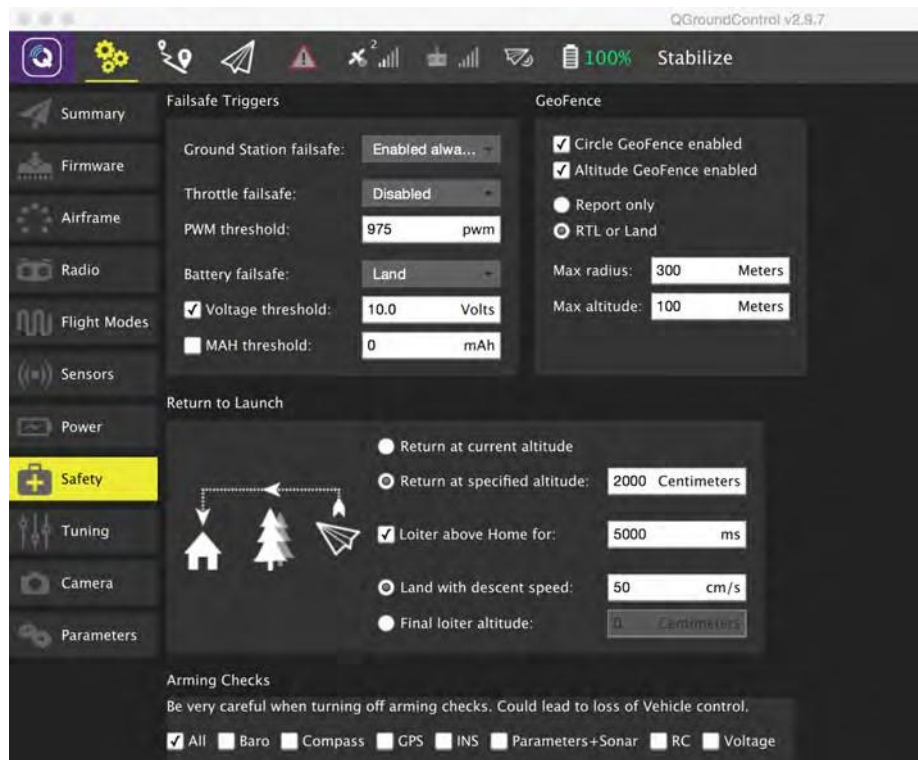
Insinyur kadang-kadang akan berbicara tentang "tidak ada satu titik kegagalan", tetapi kami hampir tidak pernah benar-benar mencapai tingkat keandalan ini, bahkan hanya dalam sistem kontrol. Masalahnya datang dalam transisi. Jika suatu komponen gagal, cadangannya tidak hanya harus ada, tetapi juga harus aktif dan berjalan dan dalam kondisi yang sama persis sehingga dapat mengambil alih dengan mulus. Jika kita tidak bisa terus berlari, setidaknya kita bisa gagal dengan selamat. Faktanya, failsafes sekarang umum dalam sistem kontrol drone, dan pembuat drone telah belajar untuk menduplikasi komponen kunci tertentu dan beralih atau mengelola tanpa ketika salah satu gagal.

22.1 FAILSAFES

Tidak diragukan lagi, pilot pesawat RC telah berurusan dengan kehilangan koneksi radio utama mereka sejak balon berpemandu radio pertama terbang pada abad kesembilan belas. Orang-orang tua memiliki cerita yang tak ada habisnya tentang "yang terbang jauh". Hari ini, kita bisa (biasanya) melakukan lebih baik.

Jika drone Anda memiliki kunci GPS yang baik saat Anda lepas landas, jika Anda kehilangan kontak radio, perangkat lunak kontrol penerbangan dapat diatur untuk kembali secara otomatis dan melayang atau mendarat di lokasi lepas landas, terlebih dahulu mendaki ke ketinggian yang aman untuk menghindari rintangan. Gambar 23-1 menunjukkan layar pengaturan failsafe di QGroundControl, di mana semua pengaturan terkait keselamatan dikumpulkan dengan baik di satu tempat.

Kegagalan umum lainnya dari sistem kontrol saat ini biasanya menerapkan pemicu ketika baterai Anda hampir habis. Bahkan drone terkecil pun akan mengedipkan lampunya sebagai peringatan yang gagal saat mereka kehabisan jus. Sistem kontrol drone yang lebih kompleks sering kali memiliki respons dua langkah: pertama, peringatan, seperti lampu berkedip atau bel peringatan, diikuti dengan pendaratan otomatis jika voltase baterai turun di bawah batas tertentu. Saya sangat menyarankan Anda meninjau semua pengaturan failsafe untuk setiap drone yang Anda terbangkan. Sangat membingungkan melihat drone Anda mulai menanjak ketika Anda menyuruhnya untuk mendarat jika Anda tidak tahu bahwa itu telah disetel ke ketinggian aman 30 meter.



Gambar 22-1 QGroundControl menempatkan semua pengaturan keamanan di satu tempat.

Melihat drone yang Anda kehilangan kendali untuk pulang ke darat bisa sangat melegakan, tetapi tidak setiap kegagalan membuat drone mampu melakukan manuver ini. Dalam kasus kegagalan motor atau kehilangan daya, Anda tidak dapat benar-benar terus terbang, sehingga beberapa drone komersial yang lebih berat membawa parasut pemulihan yang dapat dipicu ketika semuanya salah. Peluncuran pemulihan semacam itu diperlukan oleh operator komersial di beberapa bagian Eropa di mana drone dapat dioperasikan di dekat orang-orang.

22.2 REDUNDANSI

Pilot pesawat multimesin tradisional melatih panjang lebar tentang cara terus terbang dalam menghadapi kegagalan mesin. Meskipun quadcopter dengan mesin mati dapat tetap terbang, dibutuhkan pemrograman khusus. Begitu kita naik ke enam atau delapan motor, menjadi lebih masuk akal untuk mengharapkan sistem kontrol mampu mengatasi kehilangan satu. Jika drone memiliki kelebihan daya yang cukup dan kegagalannya tidak menghasilkan semacam ketidakseimbangan dan getaran yang mengerikan, maka sistem yang disetel dengan baik mungkin dapat mengatasi cukup baik untuk memungkinkan pendaratan terkontrol, setidaknya. Hal ini mungkin ada di benak para fotografer udara profesional saat mereka memasang kamera mahal mereka, tetapi kemudian kamera itu cukup berat. Saya ingin tahu apakah mereka memiliki kekuatan berlebih untuk benar-benar melakukannya.

Sistem kontrol bahkan quadcopter berukuran sedang dapat menggunakan beberapa jenis redundansi lain untuk meningkatkan keandalan dan kinerja. Karena semuanya tergantung pada satu daya, tidak mengherankan jika masalah daya menyebabkan banyak kegagalan. Sistem daya yang sangat redundan mungkin menggunakan dua baterai dengan

masing-masing berjalan ke set motor yang berbeda, tetapi bahkan dengan satu baterai, pengontrol seperti Pixhawk dan APM dapat menerima daya dari modul daya dan sirkuit eliminator baterai di salah satu ESC dan beralih sepenuhnya ke sumber yang baik ketika salah satu sumber gagal.

Saat kita menambahkan sensor yang semakin kompleks, seperti penerima GPS, kita harus mulai memikirkan apa yang terjadi ketika sensor tersebut gagal. Pengendali penerbangan Pixhawk sebenarnya memiliki dua akselerometer dan dua gyro. Ini hanya memiliki satu kompas, tetapi diharapkan Anda akan menambahkan kompas eksternal juga. Ada dua port GPS juga. Filter navigasi di tumpukan penerbangan ArduPilot dikonversi untuk menggunakan filter Kalman yang diperluas (EKF), yang membuat penanganan sensor yang datang dan pergi bekerja lebih baik, dan banyak logika ditambahkan untuk terus membandingkan sensor yang berbeda.

Ketika drone menjadi lebih kompleks dan mengintegrasikan lebih banyak teknologi, failsafes dan redundansi akan menjadi alat penting dalam desain mereka. Seperti yang diketahui dengan baik oleh perancang komputer berbasis tabung vakum pertama, satu bagian yang cukup andal membuat sistem yang cukup andal. Gunakan 10.000 di antaranya, dan Anda harus mulai berpikir untuk mendeteksi dan menangani kegagalan.

BAB 23 ANTARMUKA

Sepanjang buku ini kami telah menghubungkan satu prosesor ke prosesor lain menggunakan beberapa jenis antarmuka dengan akronim lain untuk sebuah nama. Standar ini memungkinkan kami untuk membeli unit GPS dari satu perusahaan dan pengontrol penerbangan dari yang lain dan percaya bahwa mereka akan dapat berbicara. Tetapi jumlah mereka, dan aliran konstan yang baru, bisa sedikit menakutkan. Bab ini mencantumkan banyak antarmuka yang biasa digunakan pada drone, dengan beberapa diskusi tentang kegunaan masing-masing.

23.1 ANTARMUKA KOMPUTER

Sebagian besar kabel pada drone yang kompleks menghubungkan komputer yang berbeda bersama-sama: misalnya, pengontrol penerbangan ke ESC atau ke radio telemetri. Semua koneksi ini menggunakan beberapa jenis antarmuka serial. Ini hanya berarti bahwa bit dikirim satu demi satu pada satu kabel, bukan secara paralel pada beberapa kabel.

Dalam beberapa kasus, tidak ada standar yang lebih tinggi yang diberi nama. Ini serial lama biasa (tidak ada akronim). Penerima telemetri terhubung ke pengontrol penerbangan menggunakan empat kabel: daya (sering disebut Vcc), ground (GND), transmit (TX), dan receiver (RX). Agar dua komputer dapat berbicara dengan cara ini, masing-masing TX harus terhubung ke RX yang lain; kemudian satu biasanya memasok daya ke yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 23-1.



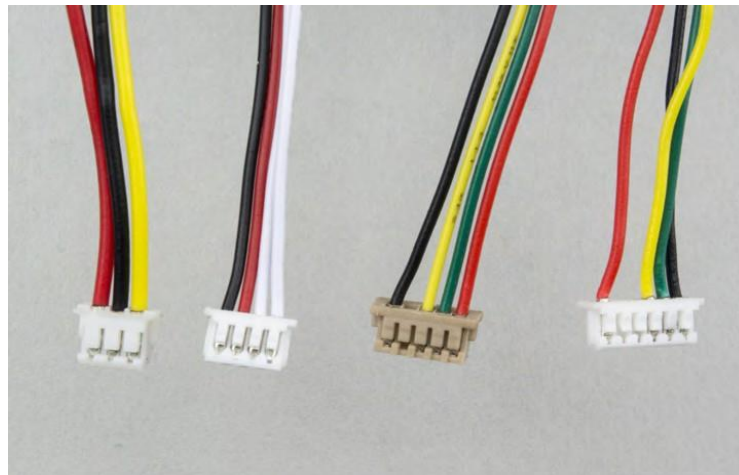
Gambar 23-1 Dalam koneksi serial dasar ini, transmisi masing-masing sisi terhubung ke penerima sisi lain.

Seperti halnya sambungan listrik, Anda harus berhati-hati dengan voltase. Catu daya mungkin lima volt (5V), tetapi bisa jadi 3.3V atau bahkan 12V. Level logika yang disebut pada jalur TX dan RX dapat berupa 3.3V atau 5V, atau bahkan mungkin 3.3V, tetapi kompatibel dengan 5V. Frasa terakhir ini berarti bahwa perangkat akan mengeluarkan level logika 3.3V tetapi jika Anda memberinya output 5V yang lebih tinggi, itu tidak akan menggoreng apa pun. Jika tidak, tegangan harus cocok di mana-mana.

Seperti yang kami temukan ketika memilih FET, sistem yang menggunakan apa yang disebut logika 3.3V sebenarnya tidak menghasilkan 3.3V untuk tinggi dan 0V untuk rendah.

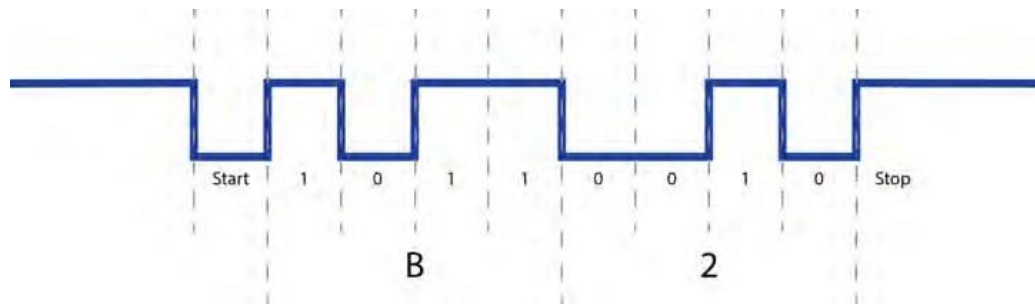
Jika Anda memasang volt meter pada sinyal tinggi dalam sistem 3.3V, itu mungkin akan membaca sesuatu di bawah 2V. Demikian pula, sinyal rendah tidak akan cukup 0V. Selama Anda menghubungkan sistem dari keluarga yang sama, baik 3.3V atau 5V, maka Anda tidak perlu memikirkan voltase pasti yang digunakan. Seharusnya hanya muncul secara detail ketika Anda melakukan hal-hal aneh seperti menggunakan pin data 5V untuk memberi daya pada penerima 3.3V sehingga Anda dapat menggerakkannya untuk memasukkannya ke mode pengikatan.

Secara fisik, antarmuka serial sederhana dapat menggunakan hampir semua konektor. Proyek Arduino dasar sering kali tidak menggunakan konektor sama sekali, mengandalkan pin dan header atau kabel sederhana di papan tempat memotong roti. Drone akan sering menggunakan konektor yang lebih kecil seperti DF13 atau Micro JST yang ditunjukkan pada Gambar 24-2. Konektor ini tersedia dalam berbagai ukuran, dengan dua hingga selusin pin atau lebih dan dengan jarak pin 1 mm, 1,25 mm, 1,5 mm, atau 2,5 mm. Pin tambahan mungkin tidak tersambung, atau mungkin digunakan untuk port kedua pada konektor yang sama, seperti pada pengontrol penerbangan Pixhawk Lite.



Gambar 23-2 Konektor Micro JST dengan jarak 1 mm dan dari tiga hingga enam pin.

Itu koneksi fisiknya. Logikanya, komputer pengirim menahan jalur data tinggi sampai siap untuk mulai mengirim pesan. Setiap pesan dimulai dengan bit awal yang rendah untuk memberi tahu komputer lain bahwa satu byte akan datang. Pengirim kemudian mengeluarkan delapan bit, satu demi satu, diikuti oleh bit tinggi untuk menunjukkan bahwa pesan telah berakhir. Urutan berjalan dari yang paling signifikan hingga yang paling tidak signifikan. Format ini, disebut 8N1 untuk menandakan delapan bit data, tanpa paritas atau bit cek, dan bit satu perhentian, tampaknya mendominasi komunikasi serial dasar, meskipun format lain tentu saja memungkinkan. Gambar 23-3 menunjukkan nilai 0xB2 yang dikirim dengan cara ini.



Gambar 23-3 Nilai heksagonal B2 yang diturunkan melalui jalur serial.

Kami menyebut kecepatan pengiriman bit ini sebagai baud rate. Unit baud (Bd) menghormati mile Baudout, yang menemukan kode 5-bit yang digunakan pada mesin teletype kertas awal. Unit mengukur tingkat di mana simbol, dalam hal ini satu dan nol, dikirim. Dalam kasus saluran serial sederhana, ini sama dengan kecepatan bit. Baud rate yang umum pada drone adalah 57.600 atau 115.200 bit per detik. Beberapa koneksi, seperti I2C, mungkin jauh lebih cepat. Sekarang kami telah mengirim satu nomor. Standar lain mendefinisikan apa arti angka-angka itu. Pesan yang lebih kompleks mungkin dimulai dengan sebuah alamat, sehingga beberapa perangkat dapat berbagi koneksi tetapi hanya mengirim pesan ke salah satu dari mereka, lalu mungkin indikator jenis pesan yang menentukan konten lainnya. Untuk setiap antarmuka yang kami gunakan—inter-integrated circuit (I2C), serial peripheral interface (SPI), controller area network (CAN), dan banyak lagi komite bertemu dan dokumen teknis yang panjang dapat ditulis. Ini semua sangat penting untuk insinyur tertentu, sebenarnya.

Untungnya, Anda tidak perlu membaca dokumen tersebut untuk menghubungkan kompas I2C ke pengontrol penerbangan Anda, tetapi berikut adalah beberapa hal yang mungkin membantu saat menggunakan I2C. Perhatikan bahwa diagram pengkabelan serial dasar (Gambar 24-1) hanya mencakup dua perangkat. Kami menyebut I2C bus karena memungkinkan beberapa perangkat terhubung ke port yang sama. Kita dapat, misalnya, menambahkan sensor aliran optik pada port yang sama tempat kompas terhubung. Juga, mengetahui bahwa dua dari empat kabel I2C adalah untuk data dan dua untuk daya menjelaskan mengapa koneksi kompas dari kompas/GPS terintegrasi hanya memiliki dua kabel. Kompas mendapatkan kekuatannya dari koneksi GPS.

Satu hal lagi tentang I2C, karena ini adalah antarmuka yang umum pada drone: gangguan dari sistem daya atau bus lain dapat menyebabkan kesalahan komunikasi dengan I2C. Ini bukan cara yang paling toleran terhadap kesalahan dua prosesor. Ada alasan mengapa ada log untuk kesalahan I2C. Jika Anda mengalami masalah dengan bus I2C, coba putar kabelnya beberapa kali saja. Langkah-langkah lain, seperti menggunakan kabel berpelindung, juga berfungsi, tetapi beberapa putaran dapat melakukan keajaiban untuk menyamakan interferensi di setiap jalur data sehingga dapat dibatalkan.

Mengingat masalah dengan I2C, pembuat drone telah mencari alternatif yang lebih baik. Dan tempat apa yang lebih baik untuk dilihat selain mobil, lingkungan yang terkenal keras untuk menjalankan komputer? Industri otomotif datang dengan bus yang sangat kuat yang disebut jaringan area pengontrol, yang berfungsi dengan baik untuk menghubungkan

beberapa perangkat ke sistem kontrol dalam kondisi sulit. Sudah, beberapa ESC menggunakan bus CAN dan gimbal Storm32 telah didesain ulang untuk menggunakannya juga.

Akhirnya, sejauh koneksi komputer-ke-komputer berjalan, saya telah menyaksikan industri lain dengan enggan beralih ke Ethernet alih-alih protokol lain yang dirancang khusus untuk sistem kontrol. Seperti banyak hal, pasar massal telah menyediakan peralatan jaringan yang sangat cepat dan andal. Metode percobaan ulang acak Ethernet untuk menentukan siapa yang akan menggunakan bus tidak sesuai dengan keinginan insinyur sistem kontrol untuk prediktabilitas. Tetapi Ethernet berjalan jauh lebih cepat dengan uang yang jauh lebih sedikit daripada sebagian besar alternatif sehingga saya tidak akan terkejut menemukannya di drone saya segera.

23.2 STANDAR RADIO RC

Sistem kontrol radio telah berkembang jauh sejak saat melakukan bahkan elektronik saluran tunggal itu sulit, jadi sistem seperti Galloping Ghost menggunakan bagian mekanis sebagai gantinya. Di sisi frekuensi radio, di mana dulu Anda harus memiliki bendera di antena pemancar Anda untuk menunjukkan saluran mana yang Anda gunakan, sekarang banyak orang dapat berbagi pita 2,4 GHz tanpa gangguan karena teknologi frequency hopping dan spread spectrum. Dan sekali lagi, peralatan pasar massal (kali ini WiFi) menggunakan frekuensi yang sama ini membantu membuat suku cadang menjadi umum dan karenanya murah.

Namun, dunia radio RC memiliki standar yang berlipat ganda, seperti DSM/DSM2/DSMX, FrSky, atau bahkan AFHDS 2A. Sistem yang dinamai dengan akronim ini masing-masing menggunakan pita radio 2,4 GHz dengan sedikit berbeda. Sistem bervariasi dalam biaya, kemampuan untuk menolak interferensi, jangkauan, dan jumlah saluran, dan variasi di antara model yang berbeda menggunakan standar yang sama mungkin sama besarnya. Anda harus meneliti model tertentu yang Anda pertimbangkan, bukan hanya standarnya.

23.3 DSM/DSM2/DSMX

Meskipun sebagai aturan, pemancar dan penerima Anda harus menggunakan standar yang sama, kami sebenarnya telah melihat salah satu pengecualian dalam proyek kami sebelumnya. Seri standar DSM/DSM2/DSMX, yang dimiliki oleh Spektrum, masing-masing dibangun di atas yang terakhir. Kami menggunakan pemancar DSMX dan penerima DSM2. DSM asli menggunakan frekuensi tunggal, DSM2 dapat beralih di antara dua frekuensi untuk menghindari interferensi, dan DSMX menggunakan beberapa frekuensi dengan cara yang lebih kompleks. Tetapi pemancar DSM2 atau DSMX apa pun harus bekerja dengan penerima DSM2 atau DSMX apa pun, jadi penggunaan kami baik-baik saja.

Beberapa variasi DSM tampaknya menjadi standar radio paling populer untuk pengontrol penerbangan terkecil dan terintegrasi sepenuhnya, seperti MicroMWC yang kami gunakan di X4Wii atau pengontrol Pico32 yang berukuran serupa tetapi lebih bertenaga. Jika Anda ingin menjadi modular, seperti yang kami lakukan di Visible Drone, receivernya masih murah, dan kami menggunakan pemancar yang sama untuk kedua proyek tersebut.

Kemampuan untuk hanya menggunakan receiver satelit juga memungkinkan proyek yang sangat kecil.

23.4 FRSKY

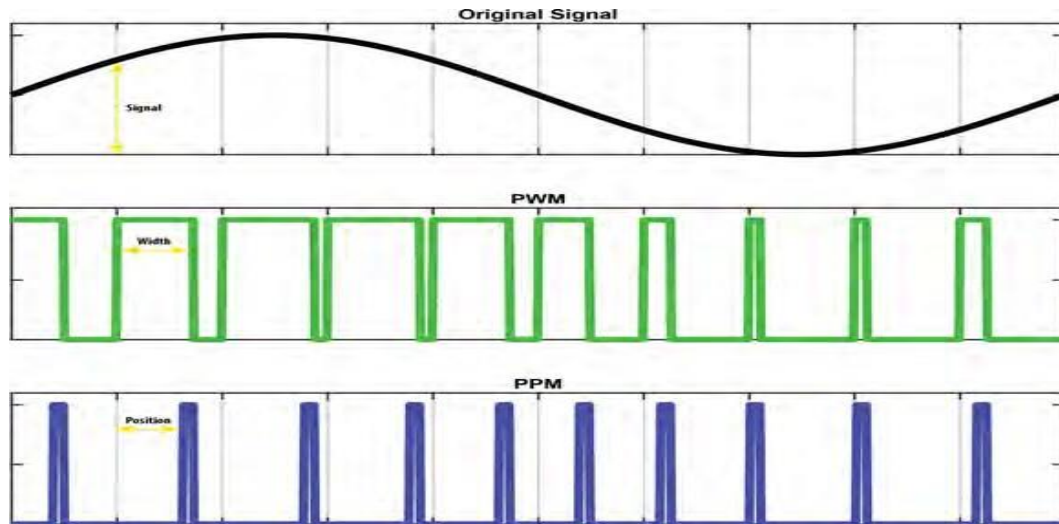
FrSky membangun rangkaian pemancar dan penerima canggih. Pemancar mendukung pencampuran lanjutan dan kontrol mode yang serupa dengan banyak pengaturan RC yang tersedia di pengontrol penerbangan. Radio FrSky memanfaatkan fakta bahwa tautan radio 2,4 GHz sebenarnya dua arah untuk mengirim data telemetri kembali dari pesawat ke pemancar. Perusahaan juga menjual rangkaian sensor, termasuk kecepatan udara, GPS, dan sensor arus, yang dipasang langsung ke penerima untuk ditampilkan di layar pemancar. Sementara sebagian besar fitur ini mungkin lebih berguna di pesawat sayap tetap, banyak pilot drone yang serius menggunakan FrSky untuk kualitas dan kinerjanya.

23.4 KONTROL SERVO/ESC

Meskipun Anda mungkin melihat beberapa konektor berbeda yang digunakan, hampir semua servos yang digunakan dalam model RC mematuhi standar listrik dan logika yang sama. Mereka menggunakan level logika 5V dan mengirim data menggunakan modulasi lebar pulsa (PWM). Biasanya akan ada tiga kabel, untuk daya, ground, dan sinyal. Sinyal terdiri dari serangkaian pulsa, masing-masing dari 1.000-2.000 mikrodetik panjangnya. Inilah sebabnya mengapa Anda sering melihat posisi kontrol RC direpresentasikan sebagai angka dalam kisaran 1.000–2.000. Panjang pulsa memberitahu servo posisi apa yang harus dicoba untuk dicapai atau dipertahankan. Dengan setiap denyut nadi, posisinya bisa berubah. Sebagian besar pengontrol kecepatan elektronik telah mengadopsi standar PWM yang sama ini untuk kontrolnya.

Modulasi posisi pulsa (PPM) menggunakan string pulsa berjangka waktu seperti PWM, tetapi setiap pulsa akan memiliki lebar yang sama. Waktu, atau posisi, dari setiap pulsa menentukan nilai yang diwakilinya. Modulasi posisi pulsa gabungan (CPPM) dibangun berdasarkan ide ini, mengirimkan grup dengan delapan nilai secara berurutan dengan celah sinkronisasi yang lebih panjang di antara grup sehingga Anda dapat mengetahui di mana grup dimulai. Banyak penerima RC modern akan memiliki port PWM terpisah untuk setiap saluran, tetapi juga satu port CPPM yang memungkinkan penerima dihubungkan ke pengontrol penerbangan dengan satu kabel.

Grafik sering kali menyampaikan konsep seperti PWM dan PPM lebih baik daripada kata-kata, jadi inilah contohnya. Garis hitam di bagian atas pada Gambar 23-4 menunjukkan dokumen asli yang akan dikodekan. Garis hijau menunjukkan bagaimana sinyal tersebut dapat dikodekan menggunakan PWM. Garis biru di bagian bawah menunjukkan bagaimana sinyal yang sama dapat dikodekan menggunakan PPM.



Gambar 23-4 PWM dan PPM mengkodekan informasi yang sama dengan cara yang berbeda.

23.6 TELEMETRI

Data telemetri memberi tahu kita hal-hal seperti sikap atau posisi drone saat ini. Itu juga dapat berisi informasi status atau konfigurasi seperti mode atau pengaturan PID. Telemetri berjalan dua arah dalam banyak kasus, artinya kita dapat mengubah banyak hal di drone juga. Ini memungkinkan kami memperbarui konfigurasi seperti pengaturan PID tersebut, atau mengendalikan drone, mengubah mode, dan memberi tahu ke mana harus pergi. Ini menjadikan telemetri sebagai cadangan yang berguna jika Anda mengalami masalah dengan radio RC utama Anda.

Data telemetri dikomunikasikan dalam sistem kontrol drone melalui tautan serial dan antara drone dan tanah melalui berbagai jenis tautan radio. Cara yang kompleks dan beragam agar data direpresentasikan di radio membuat saya terpesona, tetapi Anda biasanya tidak perlu mengetahuinya selama pemancar dan penerima Anda cocok. Yang perlu Anda ketahui adalah definisi dari berbagai standar telemetri.

Dua standar telemetri paling umum masing-masing memiliki dunia kontrol penerbangan dan perangkat lunak kontrol darat yang mendukungnya. Cabang MultiWii/Baseflight/Cleanflight dari struktur perangkat lunak kontrol penerbangan semuanya menggunakan MultiWii Serial Protocol (MSP). The Visible Drone, di awal buku ini, juga mengimplementasikan beberapa tipe pesan MSP. Sistem kontrol penerbangan Arduino/PX4 menggunakan apa yang mereka sebut MAVLink untuk berbicara dengan stasiun bumi mereka.

Untuk menunjukkan seperti apa pesan-pesan ini, mari kita perhatikan sebuah contoh. Semua pesan MSP dimulai dengan karakter "\$M". Kemudian, untuk pesan yang datang dari drone, karakter berikutnya adalah ">", dan menjadi "<" untuk pesan yang akan di-back up. Selanjutnya kita memiliki hitungan payload data, tidak termasuk semua pembukaan dan byte perintah, dan kemudian perintah. Akhirnya, ada nilai biner yang sebenarnya. Pesan sikap, yang disebut MSP_ATTITUDE, adalah perintah nomor 108.

Jadi, pesan lengkapnya seperti ini:

\$M	Pembukaan
>	Indikator arah
6	Jumlah byte muatan
108	Memerintah
<i>16-bit integer</i>	(Gulung dalam derajat)*10
<i>16-bit integer</i>	(Pitch dalam derajat)*10
<i>16-bit integer</i>	(Yaw dalam derajat)*10

23.7 GPS

Selain protokol telemetri mana pun yang digunakan, kami sering melihat satu standar komunikasi serial lainnya di drone kami—standar NMEA 0183 National Marine Electronics Association untuk data GPS. Seperti MAVLink dan MSP, NMEA 0183 mendefinisikan serangkaian jenis pesan, dalam hal ini untuk hal-hal seperti memperbaiki kualitas dan posisi. Standar ini juga mencakup hal-hal tentang koneksi fisik, baud rate, dll., tetapi unit GPS yang kita lihat di drone tidak menggunakan bagian standar itu. Mereka biasanya berkomunikasi menggunakan level logika 3.3V pada 57.600 baud, seperti hampir semua hal lainnya. Perhatikan bahwa hal-hal seperti mengubah baud rate bukan merupakan bagian dari standar dan dengan demikian dapat bervariasi dari satu merek GPS ke merek berikutnya.

Dengan unit GPS yang murah dan mudah digunakan seperti saat ini, Anda dapat memasukkannya ke dalam proyek apa pun di mana mengetahui posisi Anda, atau bahkan waktu yang tepat, akan membantu. Sebuah contoh cepat akan berfungsi untuk menunjukkan protokol sederhana ini. Pesan yang ditampilkan di sini memberikan posisi saat ini. Perhatikan bahwa tidak seperti MSP, nilai numerik diberikan dalam teks, bukan biner, dan bidang data dipisahkan dengan koma:

\$	Pembukaan
GP	Pesan dari GPS
GGA	Pesan waktu dan posisi
172814.0	waktu UTC
3018.9370	Lintang sebagai ddmm.mmmm
N	Lintang Utara atau Selatan
09743.0739	Bujur sebagai dddmm.mmmm
W	Bujur Timur atau Barat
1	Perbaiki kualitas, 1=perbaiki 3D
16	Jumlah satelit yang digunakan
0.9	HDOP
151.0	Ketinggian di atas permukaan laut
M	Tinggi dalam meter
2.0	Tinggi di atas tanah
M	Tinggi dalam meter
<empty>	Digunakan untuk GPS diferensial

<empty>	Digunakan untuk GPS diferensial
*	Indikator akhir pesan
1234	Ceksum

Ketika kami menempatkan ini bersama-sama dalam pesan yang lengkap akan terlihat seperti ini:

```
$GPGGA,172814.0,3018.9370,N,09743.0739,W,1,16,0.9,151.0,M,2.0,M,,,*1234
```

Meskipun itu mungkin tidak langsung mengatakan Austin, TX, kepada Anda, cukup mudah bagi komputer untuk menafsirkannya. Pemahaman tentang berbagai standar dan protokol yang digunakan pada drone akan membantu Anda dengan baik, apakah Anda ingin menulis aplikasi mewah untuk mengontrol drone Anda dari jarak jauh atau hanya ingin memahami mengapa kami terkadang harus menukar kabel pengirim dan penerima. Mungkin Anda sedang membangun beberapa jenis pesawat baru yang belum pernah dilihat dunia! Jika Anda membuatnya berbicara MSP atau MAVLink, Anda dapat memanfaatkan perangkat lunak stasiun bumi yang ada dan berkonsentrasi pada desain baru Anda. Mungkin memahami cara kerja protokol ini akan menginspirasi Anda untuk menciptakan protokol Anda sendiri. Jika cukup bagus, mungkin mereka akan menamainya dengan nama Anda, seperti Samuel Morse dan kode Morse-nya atau mile Baudout dengan kode Baudout dan baud rate.

BAB 24

MASA DEPAN

Sefuturistik drone saat ini yang melakukan penerbangan sepenuhnya otonom mungkin tampak, kebanyakan orang setuju bahwa kita baru berada di awal. Mungkin masih ada terobosan baru yang mengubah permainan, terobosan seperti di motor, baterai, dan sistem kontrol yang saya jelaskan di Bab 1 memungkinkan drone. Teknologi baterai tampak seperti satu tempat di mana perubahan radikal mungkin terjadi. Tetapi kita akan tetap berada di tempat yang lebih aman, atau mungkin di langit yang lebih aman, di sini dengan hanya menanyakan ke mana tren saat ini akan membawa kita.

24.1 SPESIALISASI

Drone foto udara sudah terlihat berbeda dari drone balap. Jika dan ketika kami memiliki drone pengiriman, itu pasti akan menjadi jenis yang berbeda lagi. Sama seperti hari ini kami memiliki beberapa kategori mobil yang mapan (mobil ekonomi, pikap, mobil sport, kendaraan off-road, dll.), Saya berharap ada beberapa kategori drone yang mapan. Sama seperti hari ini beberapa orang dapat memberi tahu Anda berapa banyak tenaga kuda yang dapat dihasilkan mesin di mobil mereka, banyak kategori drone hanya akan melakukan pekerjaan dengan kinerja yang diukur dengan satu atau dua angka yang jelas, seperti waktu penerbangan. Kemudian, seperti halnya mobil hot-rodders, akan ada kelompok tertentu yang mengetahui segala hal tentang drone mereka, yang terus-menerus berusaha menemukan kombinasi terbaik dari komponen dan pemrograman.

Namun, saya akan mengharapkan satu aspek dari drone terbang untuk bergerak menuju standarisasi daripada spesialisasi: kontrol yang kami gunakan untuk menerbangkannya. Sama seperti mobil yang memiliki pedal di tempat yang sama dan pesawat tradisional memiliki tata letak instrumen standar, saya berharap produsen dan komunitas sistem kontrol yang berbeda akan mengadopsi beberapa standar antarmuka manusia yang umum. Saya pikir nama dan definisi yang tepat dari beberapa mode penerbangan standar bisa menjadi umum. Keamanan akan meningkat jika fitur keselamatan seperti sakelar pengaman di drone besar kami digunakan dengan cara yang sama di setiap tumpukan penerbangan.

24.2 PERATURAN

Pemerintah juga menaruh minat pada drone, dan peraturan baru tentang drone selalu disahkan. Ini adalah tebakan yang cukup bagus bahwa tren ini akan berlanjut.

24.3 KEMUDAHAN PENGGUNAAN

Tren kemudahan penggunaan drone selama ini sebagian besar terjadi pada drone berukuran sedang hingga besar, karena drone ini memiliki kapasitas muatan untuk membawa teknologi baru. Karena teknologi itu menjadi lebih umum dan lebih terintegrasi, ia harus masuk ke drone yang lebih kecil dan lebih kecil.

Drone yang lebih mudah diterbangkan berarti drone yang lebih aman. Jika kontrol terlalu kompleks, maka kesalahan lebih mungkin terjadi. Ada pekerjaan komersial yang bisa dilakukan drone, tetapi jika seseorang harus berlatih ratusan jam untuk belajar menerbangkannya, itu tidak akan terjadi. Kemungkinan pendidikan untuk drone akan terbuka karena mereka juga menjadi lebih mudah untuk diterbangkan. Bayangkan apa yang dapat dilakukan anak-anak dengan drone yang dapat dikirim dalam misi otonom dengan antarmuka yang menyenangkan seperti Lego Mindstorms! Pelajaran, seperti pekerjaan, lebih mungkin berhasil ketika hadiahnya lebih cepat.

Di sisi lain, saya berharap akan selalu ada tempat untuk keterampilan piloting juga. Balap drone dengan cepat menjadi olahraga penonton yang populer. Para pakar sudah memperdebatkan apakah pembalap mobil adalah atlet dalam arti yang sama dengan pelari. Saya ingin tahu apakah seorang pria yang duduk di kursi taman dengan kaca mata sambil memutar-mutar ibu jarinya pada beberapa tongkat akan dihitung? Di kepalanya dia pergi seratus mil per jam!

24.4 KEAMANAN

Seperti yang kita lihat di Bab 23, drone semakin aman, dengan fitur seperti redundansi sensor dan sistem failsafe. Saya tentu berharap tren ini berlanjut dengan parasut pemulihan dan sistem serta pengontrol daya yang sepenuhnya redundan, dan bahwa kami menangani kegagalan dengan lebih anggun. Dengan bertambahnya jumlah drone dari tahun ke tahun, kami akan dipaksa untuk terus membuat drone kami lebih aman jika kami ingin diizinkan untuk terus menerbangkannya. Jika drone diizinkan untuk terbang di atas orang, seperti halnya pesawat tradisional terbang di atas kota kita setiap hari, maka risiko jatuhnya drone harus jauh lebih rendah daripada yang dapat diklaim oleh kebanyakan drone di udara saat ini. Saya yakin kita akan belajar membangun kelas drone yang dapat diterbangkan dengan aman di dalam dan di sekitar orang. Orang-orang menerbangkan drone mereka dekat dengan orang sepanjang waktu sekarang, terlepas dari itu, jadi ini akan baik untuk semua orang, pilot dan pengamat.

24.5 PENERBANGAN MANUSIA

Seringkali, sebuah cerita baru muncul di mana seseorang atau beberapa perusahaan telah mengikat cukup banyak teknologi drone untuk dapat membawa manusia. Sayangnya, saya harus mengatakan bahwa kebanyakan dari mereka terlihat seperti ide yang buruk. Saya telah mengomentari jumlah titik kegagalan pada drone hari ini. Hal ini dapat dikurangi dengan redundansi, tetapi sebenarnya merancang sistem kontrol di mana kehidupan manusia berisiko dimulai jauh lebih jauh dari itu.

Saat merancang untuk keselamatan manusia, Anda mulai dengan proses manajemen. Jika Anda tidak tahu apa yang Anda lakukan, bagaimana Anda tahu bahwa Anda melakukannya dengan benar? Redundansi dan toleransi kesalahan dalam arti sempit yang telah kita bahas sebelumnya tentu berperan. Teknik analisis khusus seperti mode kegagalan dan analisis efek (FMEA) atau teknik pengujian seperti pengujian hardware-in-loop (HIL) memungkinkan sistem divalidasi sebelum benar-benar dibangun. Hal-hal ini akan datang ke drone. Sudah pengujian

dan simulasi HIL dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak stasiun kontrol tanah tertentu.

Mobil tanpa pengemudi yang membawa manusia berbagi jalan dengan kita sekarang. Drone kecil kami yang dikemudikan dari jarak jauh atau otonom perlu berbagi langit dengan pesawat tradisional yang lebih besar seiring dengan bertambahnya jumlah kami. Kita mungkin belum sampai di sana, tetapi saya dapat membayangkan suatu hari ketika beberapa konvergensi teknologi drone dan pesawat konvensional memungkinkan saya lepas landas dengan multirotor saya sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Admoko, D. (2015). Kajian Pembuatan Dem Menggunakan Perangkat Lunak Agisoft Dan Pix4dmapper Dari Data Pemotretan UAV (Studi Kasus: Desa Gading Kulon-Kecamatan Dau Kabupaten Malang Jawa Timur) (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang).
- Bintoro, W., Oktorini, Y., & Darli, V. V. (2018). Pemetaan Detail Tutupan Lahan Menggunakan Pesawat Tanpa Awak Di Arboretum Universitas Riau Dan Sekitarnya. *Jurnal Ilmu-Ilmu Kehutanan*, 2(1), 15-25.
- Cherub Dim, et al. Novel Experiment Design for Unmanned Aerial Vehicle Controller Performance Testing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019.
- D. Cadogan, et al. Inflatable and rigidizable wings for unmanned aerial vehicles. 2nd AIAA Unmanned Unlimited Systems, Technologies, and Operations. 2003.
- Dadang. 2019. Formulasi Pestisida untuk Drone disampaikan pada Seminar Nasional Penggunaan Drone dalam Bidang Perlindungan Tanamandalam Rangka menuju Industri Pertanian 4.0 di Indonesia. 5 Agustus 2019, Bogor (ID): ISSAAS Indonesia Chapter
- Fabio Augusto de Alcantara Andrade, et al. Autonomous Unmanned Aerial Vehicles in Search and Rescue Missions Using Real-Time Cooperative Model Predictive Control. *MDPI*. 2019.
- García-Martínez, H., Flores-Magdaleno, H., Khalil-Gardezi, A., Ascencio-Hernández, R., Tijerina-Chávez, L., Vázquez-Peña, M.A., and Mancilla-Villa, O.R. 2020. Digital Count of Corn Plants Using Images Taken by Unmanned Aerial Vehicles and Cross Correlation of Templates. *Agronomy*; 10(4):469. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040469>
- Guillaume Jouvét, et al. High-Endurance UAV for Monitoring Calving Glaciers: Application to the Inglefield Bredning and Eqip Sermia, Greenland. *Frontier in Earth Science* Vol. 7. 2009.
- He Bin; Amahah Justice. The design of an unmanned aerial vehicle based on the ArduPilot. *Journal of Science and Technology* Vol.2 No 4. 2009.
- Hodgson, J. C., Baylis, S. M., Mott, R., Herrod, A., & Clarke, R. H. (2016). Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific reports*, 6(1), 1-7.
- Irawaty, E., Useng, D., & Achmad, M. 2017. Analisis Biofisik Tanaman Padi dengan Citra Drone (UAV) Menggunakan Software Agisoft Photoscan. *Jurnal Agritechno*, 10(2), 109 - 122. <https://doi.org/10.20956/at.v10i2.65>

- J. T. K. Pin, et al. Generic unmanned aerial vehicle (UAV) for civilian application-A feasibility assessment and market survey on civilian application for aerial imaging. IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology. 2012.
- Joao Fortuna, et al. Using low cost open source UAVs for marine wild life monitoring - Field Report. 2nd IFAC Workshop on Research, Education and Development Unmanned Aerial Systems. 2013.
- Julliyantari, N.L.P., Wijaya, I.M.A.S; Budisanjaya, I.P.G. 2021. Pendugaan Intensitas Serangan Penyakit BLB (Bacterial Leaf Blight) pada Tanaman Padi menggunakan Pendekatan Citra Termal. Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian), [S.l.], v. 9, n. 1, p. 86-94, <https://doi.org/10.24843/JBETA.2021.v09.i01.p09>.
- Julzarika, A. (2010). Perbandingan Teknik Orthorektifikasi Citra Satelit SPOT5 Wilayah Semarang dengan Metode Digital Mono Plotting (DMP) dan Metode Rational Polynomial Coefficients (RPCs). Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital, 6.
- Junarto, R, Djurdjani 2020, Pemetaan objek reforma Agraria dalam kawasan hutan (studi kasus di Kabupaten Banyuasin)', Bhumi, Jurnal Agraria dan Pertanahan, vol. 6, no. 2, hlm. 219-235
- Junarto, R., Djurdjani, D., Permadi, F. B., Ferdiansyah, D., Admaja, P. K., Sholikin, A. R., & Rahmansani, R. (2020). Pemanfaatan teknologi unmanned aerial vehicle (uav) untuk pemetaan kadaster. BHUMI: Jurnal Agraria dan Pertanahan, 6(1).
- Karyati, K., & Adhi, M. A. (2017). Jenis-jenis Tumbuhan Bawah di Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman.
- Karyati, K., & Syafrudin, M. (2016). Fluktuasi iklim mikro di Hutan Pendidikan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Dulbahri, Suharsono, P., Hartono, Suharyadi, & Sutanto. (1993). Penginderaan jauh dan interpretasi citra. Gadjah Mada University.
- Malinee, R., Stratoulis, D., and Nuthammachot, N. 2021. Detection of Oil Palm Disease in Plantations in Krabi Province, Thailand with High Spatial Resolution Satellite Imagery. Agriculture. 11. 251. 10.3390/agriculture11030251.
- Marsujitullah, Zainuddin, Z., Manjang, S., Wijaya, A.S. 2019. Rice Farming Age Detection Use Drone Based on SVM Histogram Image Classification. J. Phys.: Conf. Ser. 1198 092001 doi:10.1088/1742-6596/1198/9/092001
- Marwati, A., Prasetyo, Y., & Suprayogi, A. (2018). ANALISIS PERBANDINGAN KLASIFIKASI TUTUPAN LAHAN KOMBINASI DATA POINT CLOUD LIDAR DAN FOTO UDARA BERBASIS METODE SEGMENTASI DAN SUPERVISED. Jurnal Geodesi Undip, 7(1), 36-45.

- Moon S, Lee D, Lee D, Kim D, Bang H. 2021. Energy-Efficient Swarming Flight Formation Transitions Using the Improved Fair Hungarian Algorithm. *Sensors*; 21 (4) : 1260. <https://doi.org/10.3390/s21041260>
- Neupane, K.; Baysal-Gurel, F. 2021. Automatic Identification and Monitoring of Plant Diseases Using Unmanned Aerial Vehicles: A Review. *Remote Sens.* 13, 3841. <https://doi.org/10.3390/rs131938>
- Norasma, C.Y.N., Fadzilah, M.A., Roslin, N.A., Zanariah, Z.W.N., Tarmidi, Z., and Candra, F.S. 2019. Unmanned Aerial Vehicle Applications In Agriculture. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 506 012063
- Paneque-Gálvez, J., McCall, M. K., Napoletano, B. M., Wich, S. A., & Koh, L. P. (2014). Small drones for community-based forest monitoring: An assessment of their feasibility and potential in tropical areas. *Forests*, 5(6), 1481-1507.
- Pedro L. Jimenes, Jorge A. Silva; Juan S. Hernandez. Experimental validation of Unmanned Aerial Vehicles to tune PID controllers in open source autopilots. *European Conference For Aeronautics And Space Sciences (Eucass)*. 2017.
- Permenhub PM 90. 2015. Pengendalian Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara yang Dilayani Indonesia.
- Pranata, A. H., Jauhari, A., & Fithria, A. (2020). ANALISIS AKURASI LUAS TUTUPAN LAHAN MENGGUNAKAN UAV (Unmanned Aerial Vehicle) DI KAWASAN HUTAN DENGAN TUJUAN KHUSUS (KHDTK) ULM DI MANDIANGIN. *Jurnal Sylva Scienteeae*, 3(5), 796-804.
- Radiansyah, S. (2017). Aplikasi Pesawat Tanpa Awak (UAV)/Drone untuk Pemantauan Satwa Liar. *Scientific Repository*, 1-77.
- Santoso, H. 2020. Pengamatan dan Pemetaan Penyakit Busuk Pangkal Batang di Perkebunan Kelapa Sawit Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dan Kamera Multispektral. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 16. 69-80. [10.14692/jfi.16.2.69-80](https://doi.org/10.14692/jfi.16.2.69-80).
- Sari, N. M., & Kushardono, D. (2014). Klasifikasi Penutup Lahan Berbasis Obyek Pada Data Foto Uav Untuk Mendukung Penyediaan Informasi Penginderaan Jauh Skala Rinci (Object Based Classification Of Land Cover On Uav Photo Data To Support The Provision Of Detailed-Scale Remote Sensing Information). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 11(2).
- Schmidt, F. H. (1951). Rainfall types based on wet and dry period ratios for Indonesia with western New Guinee. *Verhandeligen*.
- Schott, J.R. 2007. *Remote Sensing: The Image Chain Approach*. Oxford University Press, New York, USA

- Shofiyanti, R. 2011. Teknologi Pesawat Tanpa Awak untuk Pemetaan dan Pemantauan Tanaman dan Lahan Pertanian. *Informatika Pertanian*, Vol. 20 No.2, Desember 2011 : 58 – 64
- Sitompul, J. R., Ruswanti, C. D., Sukandar, H., Ganesa, A. S., Pratama, F. R., Siagian, H. S., & Pribadi, R (2019). Klasifikasi Vegetasi dan Tutupan Lahan Pada Citra UAV Menggunakan Metode Object-Based Image Analysis di Segara Anakan, Kabupaten Cilacap.
- Stott, E., William, R.D., and Hoey, T.B. 2020. Ground Control Point Distribution for Accurate Kilometre-Scale Topographic Mapping Using an RTK-GNSS Unmanned Aerial Vehicle and SfM Photogrammetry. *Drones* 2020, 4(3), 55; <https://doi.org/10.3390/drones4030055>
- Suroso Indreswari; Irmawan Erwhin. Analysis Of Aerial Photography With Drone Type Fixed Wing In Kotabaru, Lampung. *Journal Of Applied Geospatial Information* Vol 2 No 1. 2018.
- Swastikayana, I. (2011). sistem informasi geografis berbasis web untuk Pemetaan pariwisata kabupaten gianyar (studi kasus pada dinas Pariwisata kabupaten gianyar) (Doctoral dissertation, UPN" Veteran" Yogyakarta).

TEKNOLOGI DRONE

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

BIO DATA PENULIS



Penulis memiliki berbagai disiplin ilmu yang diperoleh dari Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang. dan dari Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW) Salatiga. Disiplin ilmu itu antara lain teknik elektro, komputer, manajemen dan ilmu sosiologi. Penulis memiliki pengalaman kerja pada industri elektronik dan sertifikasi keahlian dalam bidang Jaringan Internet, Telekomunikasi, Artificial Intelligence, Internet Of Things (IoT), Augmented Reality (AR), Technopreneurship, Internet Marketing dan bidang pengolahan dan analisa data (komputer statistik).

Penulis adalah pendiri dari Universitas Sains dan Teknologi Komputer (Universitas STEKOM) dan juga seorang dosen yang memiliki Jabatan Fungsional Akademik Lektor Kepala (Associate Professor) yang telah menghasilkan puluhan Buku Ajar ber ISBN, HAKI dari beberapa karya cipta dan Hak Paten pada produk IPTEK. Penulis juga terlibat dalam berbagai organisasi profesi dan industri yang terkait dengan dunia usaha dan industri, khususnya dalam pengembangan sumber daya manusia yang unggul untuk memenuhi kebutuhan dunia kerja secara nyata.



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

PENERBIT :

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

JL. Majapahit No. 605 Semarang
Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id