



## 8. Budowa i zastosowanie dronów

*Andrzej Łączek*

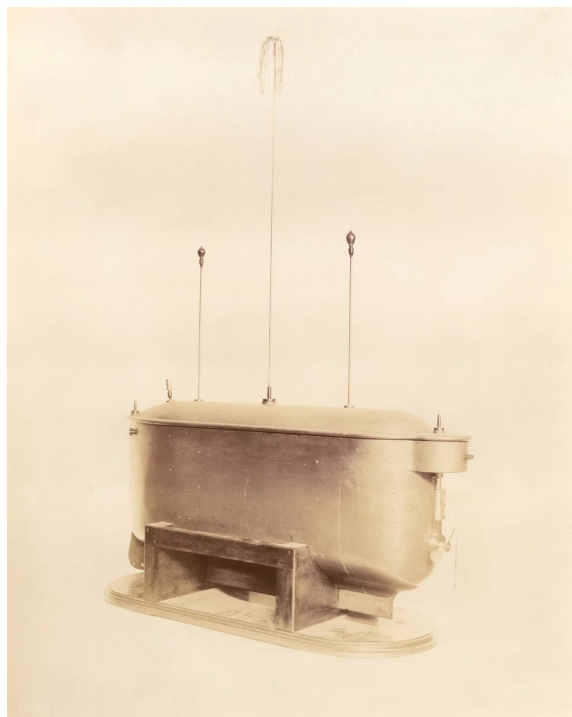
### 8.1 Historia dronów

Na początku XXI wieku drony zrobiły tak zawrotną karierę, że obecnie można je kupić w sklepach internetowych i w większości hipermarketów. Te najtańsze, kosztujące po kilkaset złotych, pozwalają nagrywać filmy wideo i fotografować z powietrza.

Jednak bezzałogowe statki powietrzne nie służą wyłącznie do zabawy i rekreacji. Znalazły zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki. Większe i bardziej zaawansowane drony służą do przenoszenia ładunków, pomagają w walce ze smogiem, w inspekcji sieci energetycznych, farm wiatrowych, farm fotowoltaicznych, w inspekcji trudno dostępnych miejsc i obszarów leśnych, geodezji, branży budowlanej itp. Są wykorzystywane do celów militarnych, badawczych, naukowych i transportowych, jednak możemy śmiało stwierdzić, że wciąż nie korzystamy w pełni z ich możliwości. Historia tych urządzeń rozpoczęła się, jak wiele innych technologii, w wojskowych laboratoriach i to właśnie na polu walki drony znalazły swoje pierwsze zastosowania. Zmieniają one sposób prowadzenia wojen, a obecnie znajdują coraz szersze zastosowania cywilne.

Choć prawdziwy rozwój dronów przypada na ostatnią dekadę, to pierwsze urządzenie, które można nazwać dronem, powstało w 1898 roku i nie był to pojazd latający. Była nią sterowana drogą radiową

bezzałogowa łódź podwodna, a jej twórcą i konstruktorem był słynny Nikola Tesla (rys. 8.1).

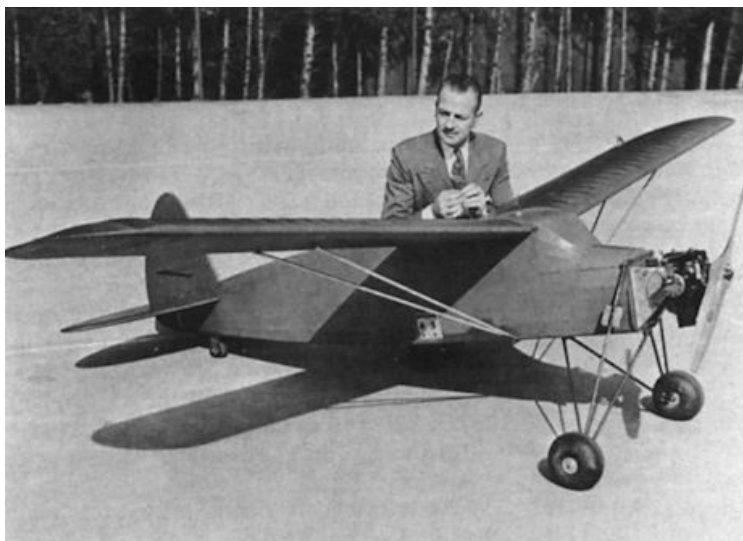


Rysunek 8.1: Pierwsze bezzałogowe, zdalnie sterowane urządzenie konstrukcji Tesli z 1898 roku [źródło]

Pewnego przełomu w rozwoju dronów latających dokonał Brytyjczyk Reginald Denny – aktor, któremu nie udało się zrobić większej kariery. Zajął się wówczas produkcją zabawek, ale takich, które były sterowane za pomocą nadajnika radiowego. Jak na tamte czasy była to dość zaawansowana technologia, szczególnie jeśli chodzi o sterowane drogą radiową modele samolotów. W 1935 roku Denny skonstruował bezzałogowe urządzenie latające Radioplane One (RP-1) i zaoferował je armii USA jako cel dla szkoleń artylerii przeciwlotniczej (rys. 8.2). To właśnie w latach 30-tych w Stanach Zjednoczonych bezzałogowe samoloty zaczęto nazywać dronami. Duże zainteresowanie ze strony US Army projektem RP-1 zaowocowało podpisaniem kontraktu na dostawę pierwszych zdalnie sterowanych dronów docelowych.

Kolejne lata przyniosły bardzo szybki rozwój technologii dronowej zarówno pod kątem samych konstrukcji, jak i wyposażenia i co za

tym idzie przeznaczenia. Obecnie na świecie drony określa się jako Unmanned Aerial Vehicle i wykorzystuje się skrót (UAV) lub jako bezzałogowe systemy powietrzne (BSP).



Rysunek 8.2: Reginald Denny i jego Radioplane One (RP-1) [źródło]

## 8.2 Rodzaje dronów

Drony latające, najogólniej rzecz biorąc, to bezzałogowe statki powietrzne. Jednak ze względu na ich konstrukcję, dzielą się na płatowce, śmigłowce oraz wielowirnikowce. Każda z tych trzech rodzajów konstrukcji charakteryzuje się swoją specyficzną budową i zastosowaniem.

**Płatowce** są najbardziej zbliżone kształtem do samolotu, a ich zastosowanie to przede wszystkim przemysł zbrojeniowy, ale znajdują również zastosowanie w geodezji i kartografii.

**Śmigłowiec** jest konstrukcją o bardzo skomplikowanej mechanice lotu i pilotażu. Z tego też względu konstrukcje tego typu są mało popularne w zastosowaniach przemysłowych i są wykorzystywane głównie do celów militarnych. Czasem są używane w lotnictwie cywilnym do misji o charakterze poszukiwawczo ratunkowym SAR (Search-And-Rescue), sporządzania dokumentacji fotograficznej z powietrza, w rolnictwie czy straży pożarnej jako drony gaśnicze lub po prostu jako modele do zabawy.

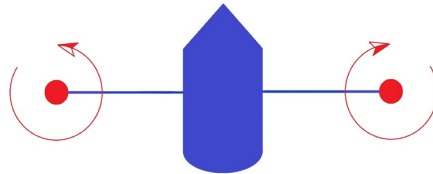
**Wielowirnikowce** to najbardziej rozpowszechniony w zastosowaniach cywilnych i wojskowych rodzaj dronów. Wielowirnikowce w prze-

ciwieństwie to płatowców są znacznie łatwiejsze w transporcie, a przygotowanie ich do pracy to kwestia kilku minut. Są doskonałym narzędziem do zbierania informacji z trudno dostępnych miejsc w krótkim czasie. Głównymi zaletami tych konstrukcji jest też ich łatwa obsługa i automatyzacja. Ze względu na dużą uniwersalność i różnorodność instalowanego na ich pokładzie sprzętu z powodzeniem wykorzystywane są celów militarnych, transportowych, w ratownictwie medycznym, służbach leśnych, rolnictwie, w branży filmowej itp. Łączność bezprzewodowa i GPS w połączeniu z odpowiednim oprogramowaniem do planowania misji autonomicznych sprawia, że nawet najbardziej skomplikowane zadania z wykorzystaniem dronów mogą być z łatwością zaplanowane i przeprowadzone. Pomimo tego, że do wykonania misji konieczny jest doświadczony pilot i operator, to jego rola ogranicza się tu raczej do nadzoru aniżeli samego sterowania lotem.

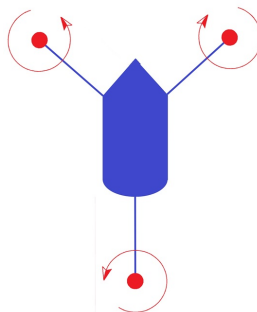
### 8.3 Podział dronów wielowirnikowych

Wielowirnikowce, ze względu na ilość posiadanych wirników, dzielą się na:

- **Bicoptery** – posiadają dwa silniki.

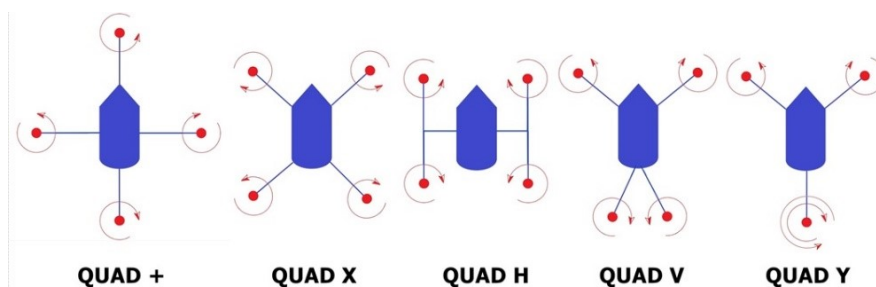


- **Tricoptery** – posiadają trzy silniki.

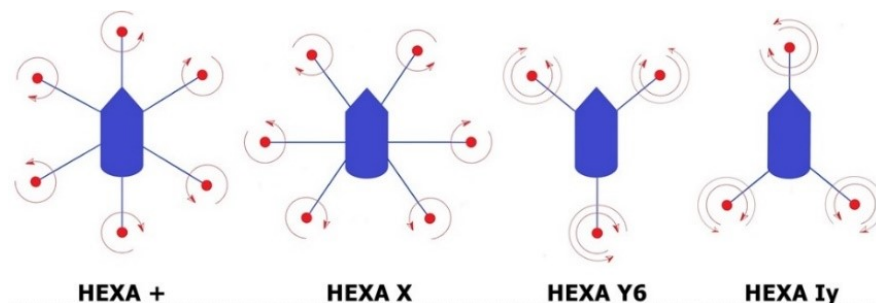




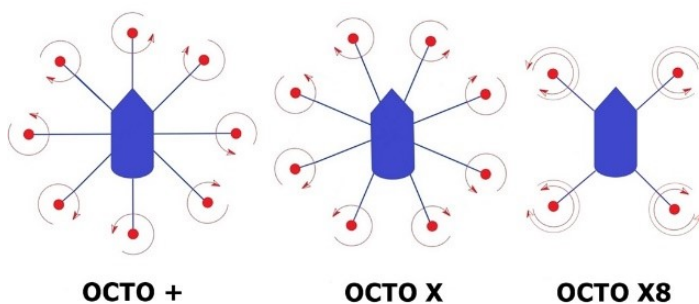
- **Quadcoptery** – posiadają cztery silniki.



- **Hexacoptery** – posiadają sześć silników.



- **Octocoptery** – osiem silników.



Najpopularniejsze z nich - takie, które możemy spotkać na co dzień - to hexacoptery i quadcoptery (rys. 8.3).



Rysunek 8.3: Dron w formie hexacoptera (a) i quadcoptera (b)

**Hexacopter** posiada sześć ramion i sześć silników, dzięki temu, gdyby jeden z silników uległ awarii maszyna nadal może bezpiecznie wylądować. Natomiast **quadcopter** to konstrukcja z czterema ramionami, gdzie na każdym z ramion umiejscowiony jest silnik. Ze względu na uniwersalność zastosowań, prostą konstrukcją i względnie niski koszt samodzielnej budowy wielu młodych konstruktorów sięga właśnie po tego typu rozwiązania. Dlatego też dalszą część artykułu poświęcimy właśnie tym konstrukcjom.

## 8.4 Budowa quadcoptera

Budowę quadcoptera możemy podzielić na kilka głównych podzespołów, bez których lot drona byłby niemożliwy. Są to:

- zespół napędowy (silniki, elektroniczne regulatory prędkości i śmigła);
- układ zasilania (akumulator, przetwornice impulsowe, stabilizatory napięcia, filtry);
- układ kontroli (elektroniczny kontroler lotu);
- układ sterowania (odbiorniki, aparatura, naziemna stacja kontroli lotu).

### Zespół napędowy

Zespół napędowy jest jednym z najważniejszych podzespołów w bezzałogowych statkach powietrznych. Stanowi on źródło mocy, którym rozporządza operator lub pokładowy system sterowania podczas pilo-

towania BSP. W skład zespołu napędowego quadcoptera wchodzi silniki elektryczne (najczęściej bezszczotkowe), elektroniczne kontrolery prędkości (ESC) i śmigła.

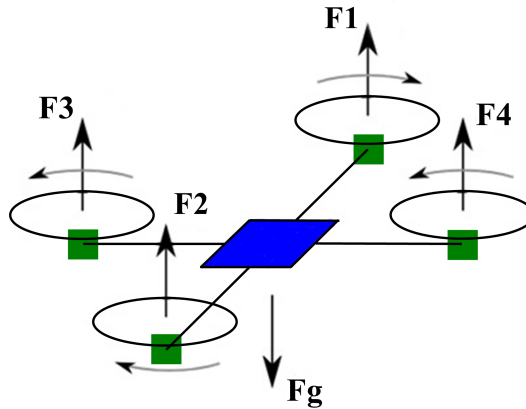
Quadcoptery posiadają w swojej konstrukcji cztery silniki napędowe (sterowane za pośrednictwem elektronicznych regulatorów prędkości obrotowej). Dwa z nich obracają się zgodnie ze wskazówkami zegara i oznaczane są jako CW (ang. Clockwise Rotation), a dwa w kierunku przeciwnym - oznaczone jako CCW (ang. Counter Clockwise Rotation). Silniki odpowiedzialne są za generowanie energii mechanicznej w postaci momentu obrotowego dostarczanego na śmigła, które z kolei wytwarzają siłę ciągu niezbędną do wykonania lotu. Warto jeszcze dodać, że wielowirnikowce zazwyczaj posiadają parzystą liczbę wirników, gdzie połowa obraca się zgodnie ze wskazówkami zegara, a druga połowa przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Silniki elektryczne do zastosowań w bezałogowych statkach powietrznych są oznaczane 4 cyframi np. 3510. Oznacza to, że posiada 35 mm średnicy i 10 mm wysokość. W uproszczeniu, jeśli silnik jest szerszy i dłuższy to jest on w stanie wygenerować większy moment obrotowy. Parametr silnika KV to nic innego jak liczba obrotów silnika na każdy V zasilania.

■ **Przykład 8.1** Silnik MT3510 600 KV posiada 35 mm średnicy i 10 mm wysokości. Zasilając go z baterii 3S, której znamionowe napięcie wynosi 11.1 V, osiągnie maksymalną liczbę obrotów 6660 ( $11.1 \text{ V} \cdot 600 \text{ KV} = 6660$ ). Jest to wartość orientacyjna, gdyż napięcie baterii nie jest stałe. W pełni naładowana osiąga 12.6 V, ale pod obciążeniem napięcie spada i jest coraz niższe wraz z jej rozładowaniem. ■

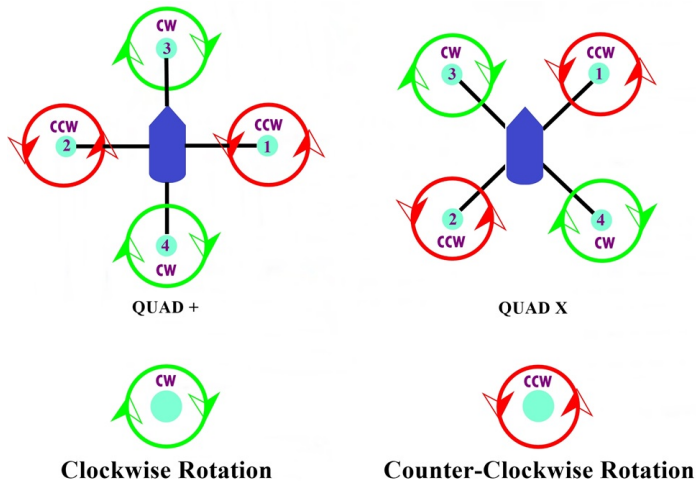
Elementem, który bezpośrednio steruje prędkością obrotową silnika jest regulator obrotów (ESC). Podstawowym parametrem regulatora obrotów jest maksymalny prąd, jaki jest on w stanie obsłużyć. Elementem bezpośrednio wytwarzającym siłę ciągu jest z kolei śmigło. Śmigła montowane na silnikach wielowirnikowców dzielą się na dwa rodzaje: ciągnące (stosowane np. w samolotach lub helikopterach) i pchające (stosowane w samolotach z tylnym napędem).

W quadcopterach używa się jednych i drugich. Dwa silniki, obracające śmigłami ciągnącymi, wytwarzają siłę nośną skierowaną do góry. Zatem na dwóch pozostałych silnikach, obracających się w przeciwnym kierunku, używa się śmigieł „pchających” aby wytwarzały siłę nośną również skierowaną do góry. W rezultacie wszystkie obracające się silniki i odpowiednio dobrane do nich śmigła wytwarzają siłę „ciągnącą” konstrukcję ku górze (rys. 8.4).



Rysunek 8.4: Układ sił działających na quadcopter

Śmigła obracające się w tych samych kierunkach są zamontowane na przeciwległych ramionach, tak jak to pokazano na rysunku 8.5.



Rysunek 8.5: Kierunek obrotu śmigieł w quadcopterze

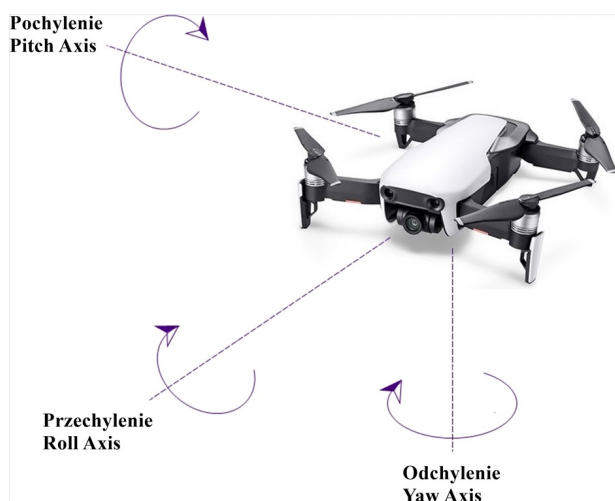
Zmieniając równomiernie prędkość obrotową wszystkich silników w napędzie sprawiamy, iż quadcopter unosi się lub opada. Jednak to nie wszystko. Każdy quadcopter może wykonywać pełen zakres podstawowych manewrów podczas lotu czyli:

- unosić się i opadać (ang. ALTITUDE/THROTTLE);
- obracać się wokół osi poziomej poprzecznej, co powoduje lot do przodu lub do tyłu (ang. PITCH);

- obracać się wokół osi poziomej wzdłużnej (ang. ROLL);
- obracać się wokół centralnej osi pionowej (ang. YAW).

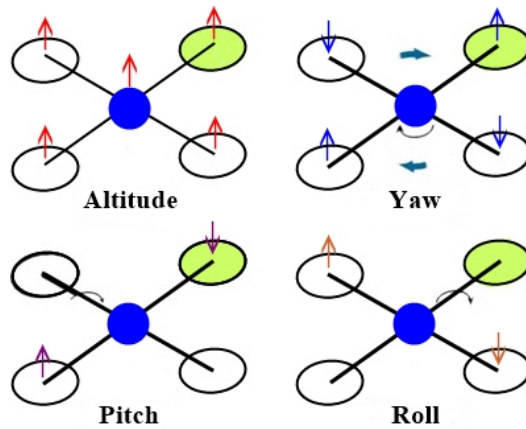
Temat sterowanie wielowirnikowcem wymaga zrozumienia tego, jak siły i momenty generowane przez napęd wpływają na jego prędkość i pozycję w przestrzeni. Orientacja przestrzenna statku powietrznego wyrażona jest w postaci trzech kątów:

1. Pochylenie - Pitch,
2. Przechylenie - Roll,
3. Odchylenie - Yaw (rys. 8.6).



Rysunek 8.6: Zmiany orientacji przestrzennej quadcoptera

Do wykonywania pełnego zakresu manewrów podczas lotu quadcoptera konieczne jest więc sterowanie prędkością obrotową poszczególnych silników. Obrót wokół środka ciężkości realizowany jest poprzez regulację prędkości obrotowej każdego z wirników, co pozwala wygenerować odpowiedni moment. Im większe lub mniejsze obroty silnika, tym większa lub mniejsza siła nośna zostaje przez nie generowana (rys. 8.7). Pochylenie (Pitch) i przechylenie (Roll) realizowane jest poprzez zwiększenie ciągu z jednej strony oraz zmniejszenie ciągu wirników po przeciwnej stronie. Odchylenie (Yaw) natomiast jest realizowane poprzez zwiększenie prędkości obrotowej wirników obracających się w jedną stronę oraz zmniejszenie prędkości obrotowej wirników obracających się w stronę przeciwną. Widać, że w przypadku wielowirnikowców lot nie jest w stanie odbyć się bez komputera pokładowego, tzw. kontrolera lotu.



Rysunek 8.7: Zmiana położenia quadcoptera w zależności od siły nośnej

## Układ zasilania

Źródło energii bezzałogowych statków powietrznych dobiera się zależnie od założonych parametrów konstrukcyjnych. Zdecydowanie najbardziej popularnym rozwiązaniem są drony napędzane energią elektryczną, której źródło stanowią akumulatory. Obecnie w zasilaniu wielowirnikowców najpopularniejsze są akumulatory litowo-polimerowe (Li-Po) zbudowane ze stopów litu oraz polimerów przewodzących. Akumulatory te, to inaczej mówiąc pakiety składające się z kilku połączonych ze sobą ogniw (cel), z których każda posiada napięcie znamionowe 3,7 V. Najczęściej stosowane są akumulatory 3-, 4-, i 6-ogniowe. Pakiety najczęściej posiadają dodatkową wtyczkę balansera, która zawiera wyprowadzenia wszystkich ogniw. Ilość ogniw oznaczana się literą S (dla ogniw połączonych szeregowo), albo P (dla ogniw połączonych równoległe).

Podstawowe parametry akumulatorów Li-Po to:

- ilość połączonych ogniw (np. 3 S),
- pojemność (np. 2200 mAh),
- wydajność prądowa (np. 25-35 C).

Dla przykładu - akumulator z oznaczeniem 3 S to pakiet złożony z trzech cel połączonych szeregowo, a pakiety o napięciu wynoszącym 7.4 V i 11.1 V to baterie 2 S i 3 S. Ważnym parametrem akumulatorów jest wydajność prądowa – oznaczona literą C. Określa maksymalny prądu, który można pobierać z akumulatora. Jest to mnożnik, który pozwala wyliczyć wydajność w amperach. Typowe wartości to 10 C,



15 C, 20 C itd. Spotyka się również oznaczenia typu 25-35 C, gdzie 25 C to typowa wydajność, a 35 C to wydajność chwilowa. Wydajność prądową można obliczyć ze wzoru:

$$I_p = C_p \cdot x \quad (8.1)$$

gdzie:

$I_p$  - maksymalna wydajność prądowa pakietu,

$C_p$  - pojemność pakietu,

$x$  - liczba oznaczona na pakiecie literą C.

■ **Przykład 8.2** Ogniwo 3 S o pojemności 2200 mAh i 20 C daje maksymalny prąd wyjściowy wynoszący 2,2 Ah ( $2200 \text{ mAh} \cdot 1000 = 2,2 \text{ Ah}$ ) pomnożone przez 20, czyli  $2,2 \text{ Ah} \cdot 20 \text{ C} = 44 \text{ A}$ . Z kolei bateria 1300 mAh, 30 C daje nam  $1,3 \text{ Ah} \cdot 30 \text{ C} = 39 \text{ A}$ . Może być też większe ogniwo (np. 3000 mAh) mające 15 C. Prąd wyjściowy w tym przypadku do  $3 \text{ Ah} \cdot 15 \text{ C} = 45 \text{ A}$ . Jak widać większa bateria o niższym C może dać większy prąd. ■

## Układy kontroli lotu

Nawet proste drony, takie jak quadcoptery, wymagają stosunkowo skomplikowanych urządzeń, aby móc wykonywać stabilny lot w określonym kierunku lub chociażby zawisnąć w powietrzu w miejscu. Sercem każdego quadcoptera i najważniejszym element całej konstrukcji jest kontroler lotu - urządzenie, dzięki któremu do sterowania używamy jedynie dwóch drążków na naszej aparaturze. To od niego zależy charakterystyka lotu naszego quadcoptera, sposób jego konfiguracji, stabilność w locie i łatwość jego sterowania.

Sterowanie dronem z użyciem pokładowego komputera na płycie sterującej ma wielką zaletę - czyni lot wyjątkowo stabilnym. Niestety ma też swoją poważną wadę - jakakolwiek usterka elektroniki podczas lotu może spowodować upadek drona. O ile samoloty poradzą sobie z awarią silnika, o tyle quadcopter spadnie jak kamień.

Sterowanie kopterem - nawet przez pokładowy komputer - nie byłoby możliwe, gdyby nie czujniki dostarczające odpowiednich danych kontrolerowi lotu sterującemu silnikami. Są to najczęściej żyroskopy i akcelerometry, czasem magnetometry i GPS. Żyroskop i akcelerometr służą do określania orientacji koptera w przestrzeni i do stabilnego utrzymania koptera w locie, ale działają w różny sposób.

**Akcelerometr** mierzy akcelerację, czyli przyspieszenie. Przyspieszenie jest ściśle związane z masą ciała i działającymi na nią siłami, np.

siłą grawitacji. Z lekcji fizyki szkoły podstawowej wiemy, że przyspieszenie ziemskie  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  i taką też wartość wskaże akcelerometr leżący w spoczynku na powierzchni ziemi. Ponieważ quadcopterami przemieszczamy się w obszarze działania siły grawitacji, przyspieszenie ziemskie służy akcelerometrowi do określania, gdzie jest „dół”, a gdzie „góra” w trakcie lotu koptera. Oczywiście mierzy on również przyspieszenia w innych kierunkach w trakcie lotu drona.

**Żyroskop** to z kolei urządzenie, które służy bezpośrednio do określania położenia kąтового drona w przestrzeni i wykorzystuje do tego zasadę zachowania momentu pędu.

Kolejnym ważnym elementem kontroli lotu jest **GPS**. Za jego pomocą sygnał z satelit krążących nad ziemią pozwala ustalić pozycję naszego koptera. Nie pozwala jednak na określenie zwrotu koptera, czyli informacji, w którą stronę jest skierowany przód. O ile samolot przemieszcza się zawsze do przodu, tak kopter może zawisnąć w powietrzu i wtedy stwierdzenie, jaki jest jego zwrot, nie jest możliwe jedynie po samym GPS. Do określenia tego kierunku służy magnetometr i korzysta przy tym z pola magnetycznego ziemi, podobnie jak igła kompasu wskazuje odpowiedni kierunek. Należy pamiętać by urządzenie to było oddalone od wszelkich metalowych obiektów, a już na pewno od kabli wysokonapięciowych lub innych źródeł pola magnetycznego, ponieważ w przeciwnym razie odczyt magnetometru będzie zaburzony lub niedokładny. W przypadku lotów autonomicznych użycie magnetometru nierozłącznie wiąże się z użyciem GPS.

Żyroskopy i akcelerometry są urządzeniami, które muszą się znaleźć w kontrolerze lotu quadcoptera, natomiast GPS i magnetometr przydadzą się tylko tym, którzy będą używać drona do lotów autonomicznych.

## Układ sterowania

Do podstawowych elementów układu sterowania należą nadajnik RC oraz odbiornik.

**Nadajnik** jest urządzeniem elektronicznym, które przekazuje do odbiornika w modelu (w sposób bezprzewodowy) sygnały z dźwigni sterujących. Poruszając dźwigniami (drażkami), przekazujemy do modelu w sposób proporcjonalny informację o tych ruchach. Nadajniki charakteryzują się:

- ilością kanałów - jest to ilość urządzeń, którymi może indywidualnie (niezależnie) sterować nadajnik (dla prostych aparatów może to być od 2 do 6 kanałów, a bardziej rozbudowane mogą

- posiadać nawet 16 i więcej);
- częstotliwością pracy - rodzaj pasma, na jakim pracuje nadajnik, nowoczesne aparaty pracujące na częstotliwości 2,4 GHz;
- sposobem ustawiania parametrów nadajnika;
- sposobem ich trzymania;
- mocą nadajnika.

**Odbiorniki RC** mają za zadanie odebrać sygnał pochodzący od nadajnika i przetworzyć go w impuls elektryczny, który następnie przekazywany jest do urządzeń podłączonych do odbiornika. Najczęściej są to serwomechanizmy i regulatory obrotów silników (ESC).

Obecnie sprzedawane na rynku wielowirnikowce posiadają w komplecie zestaw aparatury nadawczo-odbiorczej, jednak w przypadku własnych konstrukcji elementy te należy odpowiednio dobrać do własnych potrzeb. Wiele dostępnych na rynku dronów wykorzystuje standardowy układ sterowania, składający się z drążków i przycisków. Przykład nadajnika RC quadcoptera firmy DJI pokazano na rysunku 8.8.



Rysunek 8.8: Nadajnik (aparatura) RC DJI Phantom

Podczas gdy wygląd niektórych kontrolerów/nadajników może różnić się kształtem i wielkością, podstawowe elementy sterowania są takie same (rys. 8.9). Przechylenie lewego drążka do góry powoduje, że dron leci do góry, natomiast przechylenie go do dołu powoduje, że dron schodzi w dół. Przechylenie drążka w lewo lub w prawo obraca drona odpowiednio w lewo lub w prawo. Prawy drążek steruje kierunkiem lub ruchem drona. Popychając prawy drążek w górę, w dół, w lewo i w prawo, urządzenie porusza się odpowiednio do przodu, do tyłu, w lewo i w prawo.

Jest też kilka przycisków, które pozwalają na sterowanie kamerą.



Rysunek 8.9: Podstawowe funkcje drążków sterowych

Za pomocą tych przycisków można robić zdjęcia, nagrywać wideo, pochylać lub poruszać aparat, a także uzyskiwać dostęp do menu. Układ sterowania dronem jest dość intuicyjny i łatwy w obsłudze. Wystarczy pamiętać, która strona drona jest przednia. Dla większego bezpieczeństwa należy trzymać dron w trybie GPS podczas lotu, tak aby po zatrzymaniu drążków sterujących, dron unosił się i utrzymywał swoją pozycję.

## 8.5 Podsumowanie

Dzięki dynamicznemu rozwojowi technologii drony w niedalekiej przyszłości mogą znaleźć zastosowanie w niemal każdej dziedzinie życia. Jednak duża popularność i łatwy dostęp do coraz bardziej zaawansowanych technologicznie dronów, stwarza duże niebezpieczeństwo dla innych użytkowników przestrzeni powietrznej, szczególnie dla statków załogowych. Dlatego zachęcamy, aby do latania podchodzić z pełną odpowiedzialnością, uczestnicząc w profesjonalnych kursach i zapoznając się z aktualnymi przepisami lotniczymi.

Obecnie chcąc latać dronem ważącym więcej niż 250 g lub BSP (bezzałogowym statkiem powietrznym) ważącym mniej niż 250 g, ale posiadającym rejestrator danych (np. kamerę) w kategorii otwartej musimy zarejestrować się jako operator i każdorazowo zgłaszać swój lot w aplikacji „DroneRadar”. Warto więc już dziś zacząć pracować nad zwiększaniem świadomości dotyczącej tej technologii wśród obecnych i przyszłych użytkowników przede wszystkim dla wspólnego bezpieczeństwa.