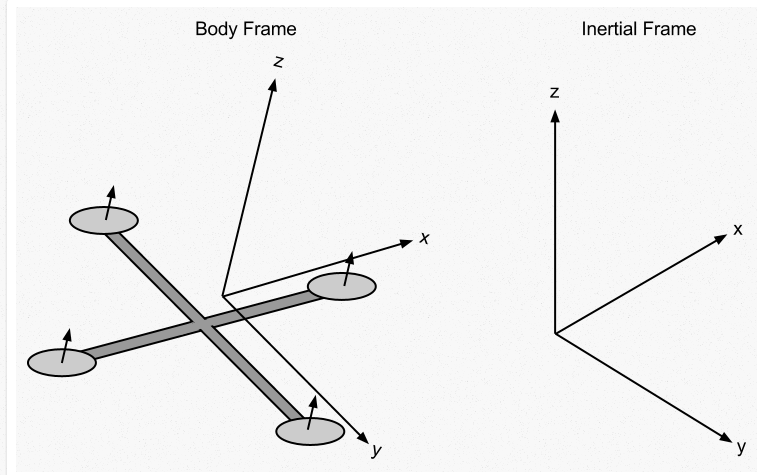
# Mechanika

## Układ Współrzędnych

Dobrano lokalny układ współrzędnych przypisany do środka ciężkości ramy **[**bx, by, b­­z**]** i globalny układ współrzędnych **[**ax, ay, a­­z**]** i jak na rysunku... //TODO

## Kinematyka

Zdefiniowano kolejno pozycję i orientację quadcoptera w globalnym układzie współrzędnych **[**bx, by, b­­z**]** jako:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |
|  |  | (2) |

gdzie:  
 – obrót (roll)  
 – pochylenie (pitch)  
 – skręt (yaw)  
Powyższę kąty określa się jako kąty RPY (roll, pitch, yaw).

Następnie zdefinowano prędkości liniowe i prędkości kątowe w lokalnym układzie współrzędnych:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |
|  |  | (4) |

Macierz rotacji ***R*** reprezentującą przejście między lokalnym układem współrzędnych a globalnym układem współrzędnych uzyskuje się poprzez kolejne przekształcenia:  
co daje ostatecznie macierz rotacji [1]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5) |

gdzie:  
*C – cos()*  
*S – sin()*

Macierz przejścia między układem lokalnym do układu inercjalnego dla prędkości kątowych jest następująca [1]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (6) |

gdzie:  
*T – tan()*

Daje to następującą zależność prędkości kątowych w obydwu układach [1]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (7) |
|  |  | (8) |

## Siły i momenty

Każde z 4 niezależnych śmigieł generuje ciąg, oraz moment obrotowy zależne od prędkości obrotowej. Wzajemne kierunki obrotów śmigieł są przedstawione na rysunku... //TODO  
Kierunki i zwroty sił i momentów działających na model są przedstawione na rysunku...//TODO

RYSUNEK

Siła ciągu generowana przez śmigło w zależności od prędkości obrotowej jest w przybliżeniu wyrażona wzorem: [2]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (9) |

gdzie:  
*F* – siła ciągu  
*ω* – prędkość obrotowa  
*kF* – stała proporcjonalności ciągu

Sumując siły działające na wszystkie silniki w układzie lokalnym można zapisać zależność wektorową:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (10) |

Do uproszczonego modelu można przyjąć siły oporu ruchu w układzie lokalnym zależne liniowo od prędkości [2]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (11) |

Moment obrotowy generowany przez śmigło w zależności od prędkości obrotowej jest w przybliżeniu wyrażony wzorem: [2]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (12) |

gdzie:  
*F* – siła ciągu  
*ω* – prędkość obrotowa  
*kM* – stała proporcjonalości momentu

Indeksami 1 i 3 oznaczono silniki wpływające na obrót, zaś indeksami 2 i 4 silniki wpływające na pochylenie. Sumując momenty działające na model w układzie lokalnym można zapisać zależność wektorową:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (13) |

## Momenty bezwładności

Założono strukturę quadcoptera o ramionach pokrywających się z osiami bx i by układu lokalnego. Macierz bezwładności ***I*** może być zapisana następująco:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (14) |

Często w praktyce przy odpowiedniej symetrii konstrukcji można założyć, że [1].

## Dynamika

Wykorzystując podane powyżej zależności można wyprowadzić równania dynamiczne ruchu.  
Na podstawie [2] i wypisanych równań **(5)**, **(10)** i **(11)** można zapisać równanie opisujące dynamikę zmian pozycji dla układu inercjalnego:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (15) |

Po rozpisaniu otrzymujemy:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (15) |

gdzie:  
m – masa quadcoptera  
g – przyspieszenie ziemskie równe  
 – wektor pozycji w układzie inercjalnym  
– macierz rotacji z układu lokalnego do inercjalnego  
 – wektor sił w układzie lokalnym  
 – wektor sił tarcia w układzie globalnym

Na podstawie [2] można zapisać równanie opisujące dynamikę zmian orientacji dla układu lokalnego:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (17) |

# Budowa

Każdy quadcopter zdalnie sterowany składa się z podstawowych, niezbędnych do realizacji lotu elementów. Są to następujące elementy:

* Rama
* Sterownik lotu
* IMU – Inertial Measurement Unit – jednostka pomiaru orientacji modelu
* 4 Silniki ze śmigłami
* ECS – Electronic Speed Control – kontroler obrotów do każdego silnika
* Odbiornik RC
* Bateria

Minimum niezbędbych części do budowy quadcoptera i kierunek zależności zostały przedstawione na schemacie ...  
Gdzie:  
kolor czarny – przepływ informacji  
kolor niebieski – przepływ zasilania

Rama

Silnik

CS

Silnik

CS

ECS

ECS

IMU

Odbiornik RC

Bateria

ECS

ECS

Silnik

CS

Silnik

CS

## Rama

Multicoptery wymagają sztywnych i lekkich ram do zamocowania wszystkich części. Istnieje bardzo dużo mozliwych konstrukcji różniących się kształtem, wymiarami i materiałami. Z powodu mniejszych ugięć i wypaczeń, sztywniejsza rama zapewnia stabilniejszy lot. Z drugiej strony, jeżeli rama jest zbyt krucha, nieuniknione upadki będą owocować częstszymi uszkodzeniami i potrzebami naprawy. Rama powinna być jednocześnie lekka, ponieważ niższa masa wpływa korzystnie na czas lotu.  
 Jednym z najbardziej powszechnych materiałów używanych komercyjnie do wykonania ramy jest włókno węglowe. Zapewnia wysoki stosunek sztywności do masy i dobrą wytrzymałość zmęczeniową. Największymi minusami są możliwość blokowania sygnałów radiowych przez laminat węglowy i przewodnictwo elektryczne [3].  
 Inne często używane materiały to między innymi laminat szklano-epoksydowy, aluminium [4], ABS i PLA. Charakteryzują się niższą sztywnością i odpornością na uszkodzenia, jak również niższym stosunkiem sztywności do masy. Dodatkowo, elementy plastikowe mogą być dowolnie ukształtowane. Niektore komercyjne drony, jak np. DJI Phantom, odeszły od powszechnej konstrukcji: płytka centralna ramy + ramiona. Zamiast tego rama jest jednolita, bez wyraźnie oddzielonych ramion.  
 Powszechna jest integracja układów zasilania z centralną płytą ramy. Daje to możliwość przylutowania przyłączy baterii i zasilania ESC bezpośrednio do ramy, co ogranicza potrzebę prowadzenia dużej ilości kabli. Nie jest to niezbędne rozwiązanie, lecz ogranicza możliwość powstania bałaganu, jak również zapewnia większą niezawodność.  
 Głównym parametrem charakteryzującym rozmiar ramy jest rozpiętość mierzona między osiami dwóch silników zamieszczonych po przekątnej. Dla modeli typu quad jest to jedyna możliwa przekątna. Dla modeli typu hexa-, octa-, lub innych jest to przekątna pomiędzy osiami silników najbardziej od siebie odległych. Ramę dobiera się w zależności od zastosowania quadcoptera.

## Sterownik lotu

Sterownik lotu jest głównym elementem każdego modelu latającego. Jest on odpowiedzialny prawidłową pracę wszystkich systemów. W minimalnym wariancie składa się z mikrokontrolera i peryferii pozwalających na przeprowadzanie obliczeń; sensorów dostarczających danych pozwalających na estymację położenia i orientacji drona; oraz modułu radiowego którym odbierane są sygnały radiowe. Jednostka logiczna przetwarza informacje z sensorów dotyczące położenia i orientacji i sygnały z modułu radiowego, a następnie odpowiednio steruje wyjściami na kontrolery obrotów silników [5]. Sterownik lotu może wykonywać dodatkowe zadania, takie jak obliczanie trasy, czy przetwarzanie parametrów lotu, w zależności od zastosowania.

## Bateria

Dominujący rodzaj baterii to akumulatory litowo-polimerowe. Model latający zazwyczaj wyposażony jest w jedną baterię, wspólną dla układu napędowego (silników) i układu logicznego (sterownika lotu). Jest to możliwe poprzez zastosowanie BEC (Battery Eliminator Circuit), który jest częścią kontrolera obrotów

## Kontrolery obrotów

ESC (Electronic Speed Controler) zazwyczaj posiada 3 piny dostosowane do rastra 2,54 mm, wpinane do sterownika lotu. Piny te to: pin sygnałowy, masa, oraz 5 V (BEC). Komunikacja z kontrolerem odbywa się poprzez modulację szerokości impulsów (PWM - Pulse-Width Modulation), lub modulację położenia impulsu (PPM – Pulse-Position Modulation). Kontroler obrotów zasilany jest z bezpośrednio z baterii. Wyjścia są podłączone do jednego silnika.

## Silniki

# Bibliografia

[1](Gibiansky, 2012)  
[2] (Luukkonen, 2011)  
[3] (Mathew Thomas, 2016)  
[4] (Manarvi, et al., 2013)  
[5] (Bondyra, et al., 2015)