

STEROWANIE DRONA ZA POMOCĄ MIKROKONTROLERA STM32

Beata Pniewska^{1*}, Konrad Wiśniewski²

¹Uniwersytet Radomski, Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki, Malczewskiego 29, 26-600 Radom, Polska, b.pniewska@urad.edu.pl

²Uniwersytet Radomski, Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki, konrad.wisniewski87@gmail.com

* Corresponding author

Streszczenie – W artykule zaprezentowano projekt techniczny platformy latającej typu quadcopter. Opracowano elementy mechaniczne i elektroniczne, z których zbudowano urządzenie, oprogramowano je i zaimplementowano sposoby komunikacji. Następnie zaproponowano metodę filtracji sygnałów pomiarowych i algorytm sterowania.

Słowa kluczowe – dron, quadcopter, sterowanie

WSTĘP

Quadcopter to typ platformy latającej gdzie przedrostek quadro określa, iż mamy do czynienia z pojazdem napędzanym czterema silnikami.[1][4][7] Rotory wszystkich silników ustawione są w osi pionowej, na których znajdują się śmigła poziomo do ziemi. Regulacja silników odbywa się na zasadzie odejmowania lub dodawania mocy. Taki zabieg ma za zadanie stabilizowanie platformy lub zmianą jej kierunku ruchu. Do zasadniczych zastosowań quadcopterów należą:

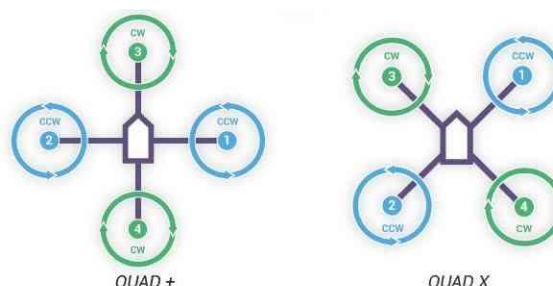
- zbieranie informacji w postaci zdjęć lub filmów – przy pomocy kamer zainstalowanych do ramy urządzenia, które mają możliwość swobodnego poruszania się w trzech osiach. Platforma może wznosić się na żądaną wysokość i robić zdjęcia lub nagrywać filmy nawet trudno dostępnych oraz niebezpiecznych miejsc. Dane można zapisywać lub bezpośrednio przysyłać do operatora znajdującego się na ziemi,
- wykonywanie pomiarów meteorologicznych – zbieranie informacji na różnych wysokościach np. ciśnienia, temperatury, wilgotności czy też prędkości wiatru,
- diagnostyka i działania szpiegowskie,
- zabawa i rozrywka,

W ramach prowadzonych prac opracowano i przebadano układ sterowania dronem, wykorzystujący moduł CC3D, oparty na mikrokontrolerze STM32.

I. ZASADA DZIAŁANIA QUADROKOPTERA

Quadcoptery aby wznosić się w powietrzu używają czterech silników. Śmigła dwóch z nich obracają się w kierunku przeciwnym niż dwa pozostałe. Śmigła wykonujące obrót w tych samych kierunkach zamontowane są na przeciwległych ramionach. Ważnym konstrukcyjnie elementem jest umiejscowienie silnika. Wyróżniamy dwa typy montażu w układzie X i krzyża. Ta pierwsza technika zdobyła większą popularność a wynika

to z faktu łatwiejszej instalacji optyki z przodu bez zasłaniania kadru kamery przez śmigła. Porównanie montażu w układzie X i krzyża przedstawia rysunek 1.

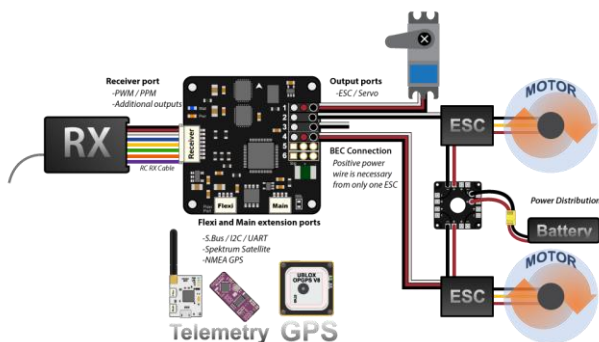


Rys. 1. Montaż silnika w układzie krzyża i X

Na powyższym rysunku przedstawiono również opisy obrotów śmigieł. Skrót literowy CW (ang. ClockWise) określa obrót zgodny z kierunkiem wskazówek zegara, natomiast inicjały CCW (ang. Counter-ClockWise) są odwrotnością tego ruchu. Śmigła można także klasyfikować na ciągnące tak zwane „normalne” oraz pchające. W tego typu statkach bezałogowych używa się zarówno jednych jak i drugich gdyż silniki parami obracają się w przeciwnych kierunkach. Silniki obracające śmigłami „normalnymi” generują siłę „ciągnącą” quadcopter do góry.

II. ELEMENTY SKŁADOWE I PROGRAMOWANIE DRONA

Kontrolery lotu CopterControl, CC3D i Atom to wszystkie typy sprzętu stabilizacyjnego, które działają na oprogramowaniu OpenPilot. Mogą być skonfigurowane do latania dowolnym płatowcem, od samolotu ze skrzydłem stałym do oktokoopera, przy użyciu oprogramowania OpenPilot Ground Control Station (GCS).



Rys. 2. Sposób połączeń systemu CopterControl [16]

Akcelerometri

Quadrocopter to typ platformy latającej gdzie przedrostek quadro określa, iż mamy do czynienia z pojazdem napędzanym czterema silnikami. Rotory wszystkich silników ustawione są w osi pionowej, na których znajdują się śmigła poziomo do ziemi. Regulacja silników odbywa się na zasadzie odejmowania lub dodawania mocy. Taki zabieg ma za zadanie stabilizowanie platformy lub zmianą jej kierunku ruchu. Do zasa

Akcelerometr jest urządzeniem czysto mechanicznym, które umożliwia pomiar przyspieszenia układu, w kierunku jego czułości. Kiedy analizujemy go z perspektywy czujnika należy uwzględnić również przetwornik wielkości fizycznej, na wielkość elektryczną. Układ mechaniczny akcelerometru można przedstawić przy użyciu masy M łączącej się z nieruchomą obudową czujnika, poprzez sprężynę o sztywności K oraz tłumik o współczynniku tarcia lepkiego D .

Akcelerometry najczęściej można spotykać w postaci mikroukładów elektromechanicznych wykonanych w technologii MEMS (ang. microelectromechanical system). Biorąc pod uwagę wielkość fizyczną (elektryczną), która jest zależna od przyspieszenia, tego typu układy można podzielić na:

- piezoelektryczne,
- pojemnościowe,
- piezorezystancyjne,
- termiczne.

Akcelerometr pojemnościowy wykorzystuje kondensator o zmiennej odległości okładek do pomiaru wielkości przemieszczenia masy względem obudowy. Konsekwencją działania przyspieszenia jest przemieszczanie się masy, co z kolei wywołuje zmianę pojemności kondensatora wykrywaną przez układy kondycjonujące sygnał. Dodatkowo konieczne jest wzmocnienie wygenerowanego sygnału ze względu na bardzo małe zmiany pojemności. Aby zniwelować błędy wykorzystuje się często układy różnicowe, dla których odczyt stanowi różnica zmian pojemności dwóch kondensatorów.

Akcelerometry piezorezystancyjne do pomiaru wielkości przemieszczenia masy względem obudowy wykorzystują z kolei układy tensometryczne. W tego typu układach masa umocowana jest na sprężystych belkach,

na których umieszczone są także piezorezystory. W rezultacie działania przyspieszenia, następuje ruch masy względem obudowy co skutkuje zginaniem belki rejestrowanym przez układ mostkowy

Żyroskop to urządzenie służące do pomiaru lub utrzymywania orientacji przestrzennej.[5] Jego zasada działania polega na określaniu położenia kąowego masy w przestrzeni i bezpośrednio wykorzystuje do tego zasadę zachowania momentu pędu. W uproszczeniu tradycyjny żyroskop to wirujący dysk zamontowany na stelażu, który umożliwia swobodną zmianę jego położenia w dowolnej płaszczyźnie. Dzięki takiemu rozwiązaniu urządzenie zmienia swoją orientację w przestrzeni a wirująca w środku masa nie. To właśnie w odniesieniu do niej można określić kąt ustawienia urządzenia. Współcześnie żyroskopy dzieli się na dwie grupy: kierunkowe oraz prędkościowe i to właśnie ten drugi typ stosuje się najczęściej w układach mikroelektronicznych. Takie sensory mierzą prędkość kątową obiektów obracających się wokół jednej lub wielu osi.

W ramach prowadzonych prac opracowano układ pomiarowy umożliwiający zbieranie oraz zapis parametrów ruchu pojazdu. Do budowy układu, wykorzystano żyroskopy wykonane w technologii MEMS (ang. microelectromechanical system).

Wraz z rozwojem układów MEMS, stworzono nowatorski rodzaj żyroskopów. Wprowadzie zachowały one swoją tradycyjną nazwę, są żyroskopami mechanicznymi, jednak zasada działania tych urządzeń jest zupełnie inna. Element odniesienia, w mechanizmach wykonanych z wykorzystaniem technologii MEMS, nie wykonuje ruchu obrotowego lecz drga. Zmiana prędkości obrotowej, skutkuje wywołaniem siły Coriolisa, która jest proporcjonalna do zmiany kąta obrotu w czasie.

Współczesne żyroskopy zaliczamy do dwóch grup:

- układy optyczne - opierają się na zjawisku Sagnaca polegającym na występowaniu różnicy czasu transmisji fal świetlnych w kanale, podczas jego obrotu. Ten grupa żyroskopów nie znajduje zastosowania w układach do wyznaczania parametrów ruchu pojazdu
- układy z wibrującym elementem (VSG – ang. Vibrating Structure Gyro) - mogą być zbudowane w różny sposób ale najczęściej używane są konstrukcje nawiązujące do zasady działania kamertonu. Polega to na wprawieniu urządzenia w drgania ciągłe, podobne do akustycznych. W wyniku obrotu kamertonu z prędkością kątową, na jego ramiona działa siła Coriolisa, która powoduje skrócenie jego ramion w płaszczyźnie prostopadłej do osi kamertonu.

System GPS (ang. Global Positioning System) to układ nawigacji satelitarnej wykonany i wprowadzony w XX wieku przez Stany Zjednoczone. Stosuje się go do ustalania pozycji odbiornika na powierzchni Ziemi a tworzą go trzy podstawowe podzespoły:

- kosmiczny – dwadzieścia cztery satelity, które okrążają Ziemię w czasie około dwunastu godzin. Satelity są rozłożone w równych odstępach na orbicie co gwarantuje stałą widoczność (przynajmniej pięć satelitów z prawdopodobieństwem 99,96% dla kąta 5°

- ponad horyzontem).
- naziemny – układ stacji, które mają za zadanie obserwowanie stanu satelitów i poprawiać ich pozycje na orbicie, gdy jest to konieczne.
- użytkowników – są to wszystkie odbiorniki Global Positioning System korzystające z sygnału nadawanego przez satelity.

Systemy GPS pozwalają na określanie pozycji obiektów na powierzchni Ziemi. Jest to wykonywane w sposób pośredni, ponieważ dokładne położenie obiektu jest wyznaczane przez rozwiązywanie układu równań sfer kulistych, których środkami są satelity.

Moduł GSM - Global System for Mobile Telecommunication – popularny standard telefonii komórkowej, ściśle odnoszący się do technologii 2G pracującej na pasmach 900 i 1800 MHz. Technologia sięga lat '90 i została wyparta przez nowsze wersje takimi jak 3G, LTE czy 5G, które charakteryzują się większymi prędkościami przesyłania danych. Moduł może służyć np. do przesłania nowych współrzędnych dla quadrokoptera.

Sterowanie silnika (ESC). Silnik bezszczotkowy to silnik, w którym nie występuje komutator mechaniczny lecz elektroniczny (przełączniki tranzystorowe) lub jest zasilany napięciem wielofazowym. Silnik BLDC zasilany jest przełączanym napięciem stałym. Taki silnik wymaga komutacji elektronicznej uzwojeń. Sterownik musi współpracować z czujnikami położenia wału, gdyż od tej informacji zależy synchronizacja. W uzwojeniach silnika indukuje się siła elektromotoryczna BEMF (ang. Back Electromotive Force) trapezoidalnego kształtu. Moment narastania i opadania napięcia przypada w momencie gdy ta faza jest nieaktywna [3][11].

III. OPIS PROGRAMU

Quadrokopter jest częścią stanowiska badawczego gdzie pod każdym z 4 silników znajduje się uchwyt do tensometru. Celem jest zbadanie jak wygląda rozkład sił w zależności od kierunku lotu. Badanie takie można pokazać jak zachowują się różne silniki na tych samych śmigłach, jak również śmigła o różnym skoku czy też długości na tych samych silnikach.

- Przyjęta prędkość jest prędkością w modzie normalnego lotu DJI Mini 4 Pro, wynoszącą 12 m/s.
- Przyjęta prędkość jest taka jak w DJI Mini 4 Pro w modzie normalnego lotu czyli 12 m/s.

Do quadrokoptera wysyłane są współrzędne celów a ten symuluje lot. Unoszenia przy starcie oraz opadania jest wartością stałą i wynosi 60 metrów co daje 5 sekund. Wartości brane pod uwagę podczas lotu to długość i szerokość geograficzna, wysokość jest równa constans, a zakrzywienie ziemi nie jest brane pod uwagę.

Przyjmuje się że współrzędne startowe to współrzędne

budynku Wydziału Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Radomskiego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu i wynoszą 51.408331548264144, 21.1517354840757. Program ma na celu symulowanie lotu do pozycji docelowej oraz powrót do miejsca startu. Program został napisany zgodnie z dobrymi praktykami:

1. nazwy funkcji opisują intencje którymi kierował się programista z zastrzeżeniem czytelności kodu, nie mogły być one przesadnie długie,
2. funkcje zostały podzielone na biblioteki
3. Biblioteki zawierają pliki *.h (pliki zawierające nagłówki funkcji udostępnionych w innych częściach kodu) oraz pliki *.c zawierające ciała funkcji jak również funkcje nie udostępniane poza ten plik
4. Biblioteki zostały podzielone na foldery o nazwach opisujących do czego służą.

Przykładem może być zbiór funkcji do obliczania odległości między punktem startowym a docelowym, którego plik nagłówkowy przedstawiono na rysunku 3.

```
#ifndef _FAKE_LOCATION_H_
#define _FAKE_LOCATION_H_

typedef struct Coordinates
{
    double xCoordinate;
    double yCoordinate;
} Coordinates;

double distanceInMetersBetweenCoordinates(Coordinates destination);

#endif /* _FAKE_LOCATION_H_ */
```

Rys. 3. Zawartość pliku nagłówkowego Location.h

IV. WNIOSKI

W trakcie realizacji projektu pojawiły się trudności takie jak przyłutowanie złącza dla programatora które miało bardzo małe pady lutownicze, dobrać sterownika USB do podłączenia mikrokontrolera STM32, ponieważ żaden nie działał na komputerze użytym do pracy, dopiero sformatowanie dysku i postawienie systemu na nowo pozwoliło na pracę z mikrokontrolerem. Pierwsze próby skompilowania programu też okazywały się fiaskiem, kluczowe okazało się odpowiednie ustawienie kompilatora i flag kompilacji. Projekt na którym bazowano przygotowany był dla kilku rodzin mikrokontrolerów STM jednak niektórzy producenci płytek CC3D stosowali zamienniki lepszych mikrokontrolerów z większą ilością pamięci na tańsze w których po wgraniu oryginalnego programu nie było już miejsca na dołożenie własnych

funkcjonalności.

Producenci takich wersji płytek zapewniali kompatybilność z oprogramowaniem OpenPilot oraz LibrePilot ale nie udostępniali kodów pod zastosowany przez siebie układ półprzewodnikowy.

CONTROLLING A DRONE WITH AN STM32 MICROCONTROLLER

This paper presents the design of a quadcopter flying platform. The mechanical and electronic components from which the device was built were developed, programmed and communication methods were implemented. A method of filtering measurement signals and a control algorithm were then proposed.

Key words: drone, quadcopter, control

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bonisławski A., Juchniewicz M., Piotrowski R.: Projekt techniczny i budowa platformy latającej typu quadcopter, *Pomiary Automatyka Robotyka*, vol.18, nr 1, 2014,
- [2] Gucma M. Podstawy Morskiej Nawigacji Inercyjnej, Wyd. AM, Szczecin, 2006
- [3] Hendershot J., Millers r.: TJE. Design of brushless permanent-magnet machines. 2010
- [4] Hoffmann G.M, Huang H., Waslander S.L., Tomlin C.J. (2007).Quadrotor Helicopter Flight Dynamics and Control: Theory and Experiment. *Proc. of the AIAA Guidance, Navigation and Control Conference*, South Carolina, 20–23 August, 2007
- [5] Nasiri S., A Critical Review of MEMS Gyroscopes Technology and Commercialization Status, *InvenSense*
- [6] Pomiary, praca zbiorowa pod red. J. Piotrowskiego, WNT, Warszawa, 2009
- [7] Tomasiak P., Okarma M., Marchewka D.: QUADROTOR - od pomysłu do realizacji, *Pomiary Automatyka Robotyka*, vol. 15, nr 9
- [8] Wagli A., Skaloud J., Turning Point. Trajectory Analysis for Skiers, *InsideGNSS*, Spring 2007
- [9] Waluś K. J., Analiza sygnałów dyskretnych w procesie modelowania ruchu pojazdów samochodowych, *Rozprawa Doktorska*, Poznań, 2009
- [10] Wetzstein G., Inertial Measurement Units I, EE 267 Virtual Reality Lecture 9, Stanford
- [11] Zajkowski K., Duer S., Sterowanie bezszczotkowym silnikiem prądu stałego, *Logistyka* 6/2011
- [12] Zakrzewski J., Kampik, M. Sensory i Przetworniki Pomiarowe, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2013
- [13] <http://elektronikab2b.pl/technika/20368-bezszczotkowe-silniki-dc-staja-sie-coraz-popularniejsze#.VX1TdfntlBc>
- [14] <http://www.cs.put.poznan.pl/rklaus/gps/odbiorniki.htm>
- [15] http://uav_society.blogspot.com/2014/06/quadcopter-mechanics.html
- [16] <http://zrobsobiedrona.blogspot.com/>