

Projekt techniczny i budowa platformy latającej typu quadcopter

Adrian Bonisławski, Michał Juchniewicz, Robert Piotrowski

Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska

Streszczenie: Jedną z licznych platform latających jest pojazd typu quadcopter. Rozwój techniki pozwala na budowanie konstrukcji przemieszczających się w wielu osiach. W artykule przedstawiono projekt, wykonanie i oprogramowanie pojazdu typu quadcopter. Dodatkowo dokonano filtracji sygnałów pomiarowych i opracowano algorytm sterowania.

Słowa kluczowe: quadcopter, platforma latająca, projektowanie, robotyka, mechatronika

DOI: 10.14313/PAR_203/91

1. Wprowadzenie

Quadcopter (rys. 1) to rodzaj platformy latającej. Przedrostek *quadro* oznacza, że mamy do czynienia z pojazdem, który jest napędzany czterema silnikami. Wszystkie ustawione są w pionowej osi. Regulacja odbywa się na zasadzie odejmowania/dodawania mocy do poszczególnych silników, co skutkuje stabilizacją platformy lub zmianą kierunku ruchu pojazdu.

Do podstawowych zastosowań quadcopterów należy zbieranie informacji w postaci zdjęć/filmów, za pomocą kamery przymocowanej do ramy pojazdu. Mają one możliwość swobodnego poruszania się w trzech osiach, więc wzniosą się na żądaną wysokość i zrobią zdjęcia lub nagrają film. W ten sposób można fotografować trudno dostępne



Rys. 1. Quadcopter

Fig. 1. Quadcopter

oraz niebezpieczne miejsca. Dane są wówczas zapisywane lub bezpośrednio przesyłane do operatora znajdującego się na ziemi. Analogiczne wykorzystanie można znaleźć w diagnostyce lub w działaniach szpiegowskich. Kolejne zastosowanie znajdują quadcoptery w meteorologii. Na różnych wysokościach mogą być wykonywane pomiary, np. ciśnienia, temperatury, wilgotności, prędkości wiatru. Kolejny obszar zastosowania obejmuje zabawę i rozrywkę. Wiele osób kupuje quadcoptery i traktuje jako latającą zabawkę. Liczne publikacje dotyczące quadcopterów obejmują projektowanie, modelowanie i sterowanie tymi urządzeniami [1–3].

Artykuł dotyczy projektu technicznego i wykonania 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.

2. Założenia projektowe

Główne założenia projektu dotyczyły małej masy i dużej wytrzymałości. Celem była budowa niedużego mocnego pojazdu latającego, który płynnie zmienia kierunki lotu oraz zachowuje stabilną pozycję w powietrzu. W związku z tym, do wykonania ramy, na której zamontowano wszystkie elementy, użyto włókna węglowego. Na końcu ramion zainstalowane zostały wydajne silniki z regulatorami sterującymi. Sygnał sterujący pochodzi z głównej płytki sterującej, po przeliczeniu w przygotowanym algorytmie wszystkich danych z urządzeń pomiarowych, zainstalowanych na oddzielnej płytce, umieszczonej w obudowie tłumiącej wibracje. Operator powinien sterować urządzeniem za pomocą bezprzewodowego zestawu (nadajnik/odbiornik). Informacje z odbiornika mają docierać do układu sterowania, w celu ich dalszego wykorzystania.

3. Budowa quadcoptera

3.1. Rama

Rama (rys. 2) wykonana została z włókna węglowego, a elementy do jej łączenia z nylonu. Długość ramion ramy wynosi 330 mm, a masa 55 g [4]. Jest to jedna z najlżejszych i najtrwalszych konstrukcji dostępnych na rynku, ponieważ zastosowano włókno węglowe, którego stosunek



Rys. 2. Widok ramy pojazdu [5]

Fig. 2. View of vehicle frame [5]

wytrzymałości do wagi wynosi 5. Ramę wykonano ze splotu typu *plain*, najlepszego do realizacji konstrukcji o nieskomplikowanych kształtach. Rama została zakupiona w postaci wyciętych części pierwotnych. Następnie wywiercono otwory i skruciono całość nylonowymi śrubami. Zwrócono szczególną uwagę na przewodnictwo elektryczne włókna węglowego. Nieizolowanie wszystkich elementów może prowadzić do powstania zwarcia i uszkodzenia konstrukcji.



Rys. 3. Mocowanie silnika ze śmigłem do ramy

Fig. 3. Engine with airscrew mounted on the frame

3.2. Silniki

Główny mechanizm napędowy to wysokoobrotowe silniki bezszczotkowe Turnigy Park300 [6] (rys. 3, tab. 1). Wykonują one 1600 obrotów na każdy 1 V zasilania, więc maksymalnie mogą osiągnąć prędkość powyżej 17 600 obr./min. Trzeba więc zwrócić szczególną uwagę na bezpieczeństwo. Ważnym aspektem w kontekście realizacji projektu jest również wyważenie silników – służą do tego małe śruby pod silnikami.

3.3. Regulatory

Regulatory Turnigy Plush [7] (rys. 4, tab. 2), polecane do tego modelu silników, są przeznaczone do bezpośredniego sterowania tymi elementami konstrukcji. Wymagają one jedynie jednorazowego zaprogramowania głównych cech, np. typu baterii, opóźnienia startu. Sygnał sterujący odpowiada za prędkość silnika.

W przypadku regulatorów wykorzystywanych w platformach latających pożądaną opcją jest wsparcie trybu Fast PWM (ang. *Pulse-Width Modulation*), które uruchomiono w konstrukcji. Ma to znaczenie, ponieważ w wejściu regulatorów znajduje się filtr dolnoprzepustowy, który opóźnia reakcję na sygnał sterujący, co nie jest sytuacją pożądaną.



Rys. 4. Regulator

Fig. 4. Speed controller

Tab. 1. Parametry silnika [6]

Tab. 1. Engine parameters [6]

Lp.	Parametr	Wartość
1	Zasilanie	7,4–11,1 V
2	Liczba obrotów na 1 V	1600
3	Maksymalny prąd	9 A
4	Maksymalna moc	85 W
5	Rezystancja wewnętrzna	0,18 Ω
6	Masa	25 g

Tab. 2. Parametry regulatora [7]

Tab. 2. Controller parameters [7]

Lp.	Parametr	Wartość
1	Stała wartość prądu	12 A
2	Układ dodatkowego zasilania	Liniowy: 5 V/2 A
3	Zakres napięcia DC	5,6 V – 16,8 V
4	Wymiary	32 × 24 × 10 mm
5	Masa	13 g

3.4. Urządzenia pomiarowe

W projekcie założono konieczność umieszczenia czterech urządzeń pomiarowych. Są to: akcelerometr trójosiowy BMA180 [8], żyroskop trójosiowy ITG3200 [9], magnetometr trójosiowy HMC5883L [10], barometr BMP085 [11]. Zostały one umieszczone na oddzielnej płytce (rys. 5).

Akcelerometr mierzy przyspieszenia w trzech osiach, żyroskop wychylenia konstrukcji, magnetometr kierunku, w którym jest ustawiony quadcopter, natomiast barometr ciśnienie, co pozwala określić wysokość, na jakiej znajduje się pojazd. Wszystkie urządzenia pomiarowe cechuje wysoka precyzja. Jest to niezbędne do stabilizacji położenia pojazdu. Akcelerometr pracuje w zakresie przeciążenia $\pm 2g$, który okazał się wystarczający (max 16g), więc zdecydowanie zwiększono precyzję pomiarów. Wykorzystano również wbudowany filtr dolnoprzepustowy 10 Hz. Żyroskop natomiast pracuje w pełnym zakresie $\pm 2000^\circ/s$, a dodatkowo użyto filtra dolnoprzepustowego 5 Hz. Magnetometr został skonfigurowany w trybie ciągłych pomiarów z częstotliwością 75 Hz, uaktywniono również sprzętowe ośmiokrotne uśrednianie. Barometr zaś pracuje w trybie maksymalnej rozdzielczości, co daje dokładność na poziomie 0,25 m.

Wymiana danych między urządzeniami pomiarowymi a układem sterowania następuje za pomocą magistrali I²C [12]. Jest to bardzo efektywny i popularny sposób przesyłu informacji. Urządzenia pomiarowe nie wprowadzają dodatkowych opóźnień i pracują z pełną prędkością magistrali (~400 kHz). Przy każdym uruchomieniu platformy latającej następuje kalibracja wszystkich elementów odpowiadających za obliczanie wychyleń obiektu, tj. akcelerometru, żyroskopu i magnetometru.

Podczas testów zauważono, iż istotne jest również rozmieszczenie urządzeń pomiarowych. Zgodnie z teorią, najlepsze efekty uzyskano umieszczając akcelerometr bardzo blisko punktu przecięcia wszystkich osi obrotu.

3.5. Enkoder

Turnigy 9X (tab. 3) [13] to jeden z najpopularniejszych, używanych w modelach latających, zestawów złożonych z nadajnika (rys. 6) i odbiornika (rys. 7), montowanego

Tab. 3. Parametry Turnigy 9X [13]

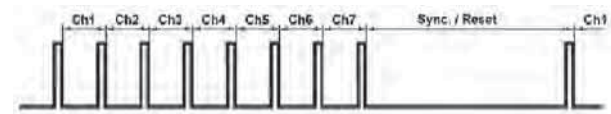
Tab. 3. Parameters of Turnigy 9X [13]

Lp.	Parametr	Wartość
1	Liczba kanałów	8 ppm/9 pcm
2	Wyświetlacz	128 × 64 LCD
3	Typ enkodera	PPM/PCM

do ramy quadcoptera. Odbiornik za pomocą enkodera komunikuje się z elementami na płytce sterującej.

Sygnal może być modulowany na dwa sposoby: PPM (ang. *Pulse-Position Modulation*) lub PCM (ang. *Pulse-Code Modulation*). Komunikacja może odbywać się na 8 lub 9 kanałach, w zależności od wybranego trybu modulacji. W projekcie wykorzystano pierwszy z nich.

Odbiornik ma 9 kanałów i oddzielne wyjścia dla każdego z nich. Ponieważ nie wykorzystano wszystkich pinów głównej jednostki obliczeniowej, wykonano moduł odpowiedzialny za odczytywanie wszystkich sygnałów i generowanie ramki PPM o długości 20 ms, mieszczącej dane z wszystkich kanałów i sygnał synchronizacji (rys. 8).



Rys. 8. Przykładowa ramka PPM [14]

Fig. 8. Example of frame PPM [14]

Główny mikrokontroler Atmega 1284P [15] ma dedykowany pin ICP (ang. *Input Capture Pin*), który zdecydowanie ułatwił odczyt informacji z wygenerowanego sygnału PPM. Ostatecznie wykorzystano tylko jeden pin na głównej płytce sterującej, odciążając jednocześnie procesor z obsługi wszystkich kanałów osobno.



Rys. 5. Rozmieszczenie urządzeń pomiarowych
Fig. 5. View of circuit board with sensors



Rys. 6. Nadajnik
Fig. 6. Transmitter



Rys. 7. Odbiornik
Fig. 7. Receiver

3.6. Śmigła

Śmigła to kolejny niezmiernie istotny element konstrukcji. Ich dobór poprzedziły testy wielu rodzajów śmigieł, które doprowadziły do wyboru najlepszego modelu. Wymiary śmigieł są ograniczone wymiarami i masą pojazdu. Równocześnie im większe wymiary, tym większy uciąż. Po licznych badaniach ostatecznie zastosowano śmigła o szerokości 6 cali. Do wyboru są zazwyczaj odmiany dwu- lub trójpłatowe. Śmigła trójpłatowe charakteryzują się większym uciążem, ale również bardziej skomplikowanym procesem wyważania. Materiał produkcyjny, jak i grubość łopaty mają znaczący wpływ na wytrzymałość. Ma to istotne znaczenie, ponieważ może dochodzić do kolizji śmigła z otoczeniem. Wyprofilowanie łopaty i kąt natarcia świadczą o stosunku siły nośnej i siły ciągu do sił oporu oraz szybkiego osiągnięcia obrotów. Ostatecznie wybrano trójpłatowe śmigła firmy Master Airscrew (rys. 9) wykonane z nylonu wzmocnianego włóknem szklanym o średnicy 6 cali i skoku 4 cali [16].



Rys. 9. Trójpłatowe śmigło Master Airscrew 6 × 4

Fig. 9. Airscrew Master Airscrew 6 × 4

3.7. Zasilanie

Quadrocopter potrzebuje odpowiedniego zasilania. Ze względu na niewielką masę urządzenia sama bateria też musi być lekka. Wybrano zatem baterie litowo-polimerowe. Zapas energii dostarczany jest przez 3-calowy akumulator Zippy o pojemności 1800 mAh [17]. Przy standardowej eksploatacji wystarcza to na ponad 10 minut lotu.

3.8. Komunikacja z komputerem

Do wymiany danych z komputerem zastosowano bezprzewodowy moduł komunikacyjny. W czasie lotu quadrocopter ma możliwość przesyłania wybranych parametrów. Transmisja odbywa się przez bluetooth. Obiekt łączy się z komputerem w trybie on-line i przesyła różne informacje, np. pomiarowe.

3.9. Kamera

W projekcie quadrocoptera użyto kamery Sony CCD 1/3" [18] oraz nadajnika/odbiornika Boscam 5,8 GHz FPV wireless [19]. Kamera służy do nagrywania filmów podczas lotu. Możliwa jest też transmisja na żywo przez wysyłanie obrazu sygnałem analogowym do odbiornika, który może być podłączony do komputera lub telewizora. Zasięg przesyłu obrazu na otwartym terenie wynosi 500 m. Można go zwiększyć do 1500 m dzięki zastosowaniu anteny kierunkowej. Opcjonalnie można dołączyć dodatkowy układ rejestrujący na karcie SD (ang. Secure Digital).

3.10. Główna jednostka obliczeniowa

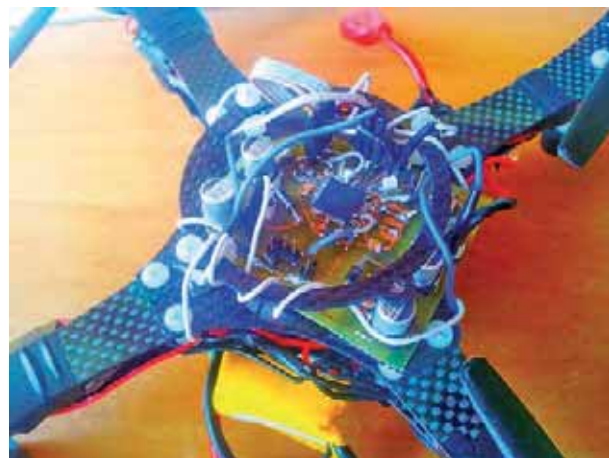
Układ został zbudowany na mikrokontrolerze ATmega 1284P-AU [15] w obudowie TQFP (ang. *Thin Quad Flat Pack*) firmy Atmel. Projekt przygotowano w środowisku Eagle [20]. Płytkę wykonano w nowoczesnej technologii SMD (ang. *Surface Mounted Devices*). Efekt końcowy przedstawiono na rys. 10, a specyfikację w tab. 4.

Tab. 4. Parametry mikrokontrolera ATmega 1284P-AU [15]

Tab. 4. Parameters of ATmega 1284P-AU [15]

Lp.	Parametr	Wartość
1	Organizacja pamięci Flash	128 kB
2	Pojemność pamięci EEPROM	4096 B
3	Pojemność pamięci SRAM	16 384 B
4	Częstotliwość taktowania	20 MHz
5	Liczba wejść/wyjść	32
6	Napięcie pracy	1,8–5,5 V
7	Rodzaj obudowy	TQFP

- Na głównej płytce zamontowano następujące elementy:
- ICP – wejście dla sygnału z enkodera. Jest to przetworzona informacja z nadajnika, którą wprowadza operator.
 - Wyjście na magistralę I²C dla sygnału z płytki z urządzeniami pomiarowymi. Przez magistralę I²C docierają informacje z urządzeń pomiarowych, które informują, w jakiej pozycji jest quadrocopter i w którą stronę się przemieszcza. Jest to niezbędna informacja dla zachowania stabilnej pozycji platformy latającej w powietrzu.
 - 4×PWM – sterowanie szerokością impulsów (sygnał zadany dla regulatorów silników). Po przeliczeniu sygnałów pomiarowych i z odbiornika, generowany jest sygnał



Rys. 10. Widok głównej płytki drukowanej wraz z jej umiejscowieniem w quadrocopterze

Fig. 10. View of circuit board

dla regulatorów silników w celu wytworzenia żądanej pozycji quadcoptera w powietrzu, czy też podczas lądowania/wznoszenia.

- Układy stabilizujące napięcie na wartości 3,3 V oraz 5 V.
- Wyjście do komunikacji z komputerem przez RS-232.
- Wyjście na programator.
- Zasilanie.
- Diody sygnalizacyjne.

4. Filtracja sygnałów pomiarowych

Najważniejszy element z urządzeniami pomiarowymi, czyli oddzielna płytką, przymocowana jest do ramy przez obudowę wygłuszającą wibracje. Niestety, jest to niewystarczające do wygenerowania sygnału, w którym nie będzie składowych pochodzących od zakłóceń spowodowanych wibracjami. Oprócz tego żyroskop wprowadza rosnący w czasie dryft pomiarowy. W związku z tym zdecydowano się zaimplementować filtr pomiarowy, aby wyeliminować skutki wibracji i otrzymać jedną, pewną i dokładną wartość kąta, na podstawie danych z wielu urządzeń pomiarowych.

Pierwsze próby testowania filtrów opierały się na dyskretnych filtrach komplementarnych. Filtr ten łączy dane pomiarowe z akcelerometru i żyroskopu za pomocą filtru dolno- i górnoprzepustowego. Ze względu na bardzo proste obliczenia, filtr nie obciąża procesora i jednocześnie daje dobrą estymację kąta. Równanie filtru komplementarnego pierwszego rzędu ma postać:

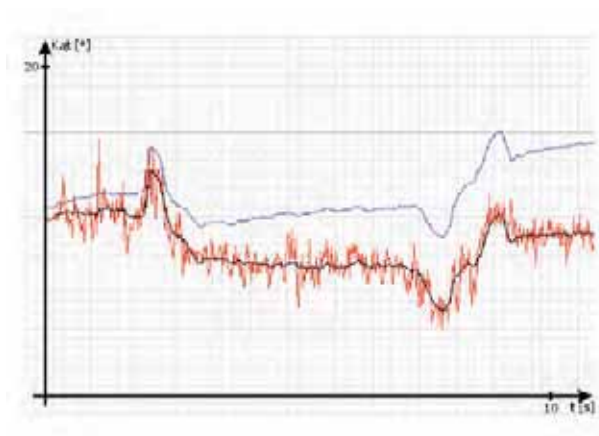
$$Angle = c \cdot Angle_{acc} + (1-c) \cdot (Angle + Angle_{gyro}) \quad (1)$$

gdzie: $Angle$ – kąt, $c = 0,01$ – stała filtru (w przedziale 0–1), $Angle_{acc}$ – kąt na podstawie pomiaru akcelerometru, $Angle_{gyro}$ – kąt na podstawie pomiaru z żyroskopu.

Wartości kątów $Angle_{acc}$ i $Angle_{gyro}$ nie są danymi bezpośrednio z urządzeń pomiarowych. Kąt z akcelerometru uzyskano na podstawie funkcji trygonometrycznych, a daną z żyroskopu należy całkować. Wykorzystanie filtru komplementarnego doprowadziło do wyeliminowania niepożądanego dryftu pomiaru z żyroskopu. Przetestowano również filtry komplementarne wyższego rzędu, ale różnice w wynikach były pomijalnie małe.

Kolejnym krokiem było sprawdzenie innych filtrów. Przetestowano filtr MARG (ang. *Sebastian Madgwick fusion filter*). Algorytm korzysta z reprezentacji kwaternionów, czyli algebraicznej struktury do opisu w przestrzeni trójwymiarowej, w której część rzeczywista ma jeden wymiar, a część urojona jest wektorem trójwymiarowym [21]. Posiadając urządzenia pomiarowe dające łącznie dziesięć stopni swobody, dostajemy pełne informacje o zniekształceniach magnetycznych i dryfcie żyroskopu. W przeciwieństwie np. do filtru Kalmana, filtr MARG nie wymaga wydajnego procesora, zatem dzięki szybszym operacjom rośnie częstotliwość pracy całego algorytmu, jednocześnie pozostawiając błąd (w porównaniu do filtru Kalmana) na poziomie maksymalnie $0,8^\circ$ (błąd dyna-

miczny). Ostatecznie filtr ten wybrano do dalszych prac. Porównanie działania filtrów dla wychylenia w jednej osi ($0-20^\circ$) przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11. Filtracja sygnałów
Fig. 11. Signals filtering

Scalkowany sygnał z żyroskopu (kolor niebieski) nie jest zaszumiony, ponieważ uruchomiony został filtr dolnoprzepustowy. Niestety dryft sygnału uniemożliwia jego wykorzystanie w sterowaniu. Filtr komplementarny pierwszego rzędu (kolor czerwony) wyeliminował dryft, ale z powodu podatności akcelerometru na wibracje, pojawiły się szумы. Filtr MARG (kolor czarny) skompensował dryft sygnału z żyroskopu i oczyścił go z zakłóceń.

5. Sterowanie

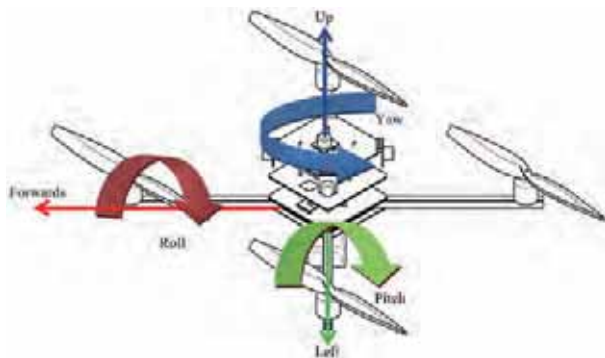
Ostatnim etapem projektu było opracowanie algorytmu sterowania platformą latającą. Celem sterowania jest stabilizacja wychylenia kąta w 3 osiach: Yaw – obrót wokół osi Z, Pitch – obrót wokół osi Y i Roll – obrót wokół osi X (rys. 12) [22].



Rys. 12. Kąty obrotu quadcoptera [22]
Fig. 12. Angles of rotation of quadcopter [22]

Quadrocopter powinien reagować na polecenia operatora, który wskaże na jakiej wysokości ma się znajdować, w którą stronę ma się przemieścić oraz czy ma się obrócić. Przeliczając te dane, razem z informacjami z urządzeń pomiarowych, układ sterowania wypracowuje wartości prędkości obrotowych dla silników. Sygnał ten trafia do regulatorów silników (punkt 3.3).

Sterowanie zostało zrealizowane za pomocą trzech regulatorów typu PID. Człon proporcjonalny P ma bezpośredni wpływ na wzmocnienie, więc odpowiada za oscylacje quadrocoptera i jego przeregulowania. Część całkująca eliminuje niedoskonałości pojazdu (np. niedokładne wyważenie, straty na silniku i śmigłach). Dobierając odpowiednie wartości członu różniczkującego D można przeciwdziałać szybkim zmianom kąta wychylenia obiektu. Przygotowano platformę testową, która nie pozwalała quadrocoptrowi latać, ale jednocześnie umożliwiła mu obrót w jednej osi. Umożliwiło to przeprowadzenie bezpiecznych testów eksperymentalnych doboru nastaw regulatorów. Ostatecznie otrzymano: $K_p = 1$, $K_i = 0,01$ i $K_d = 0,59$.



Rys. 12. Kąty obrotu quadrocoptera [22]

Fig. 12. Angles of rotation of quadrocopter [22]

6. Wynik końcowy

Wszystkie założenia spełniono i budowa platformy latającej została ukończona. Na rys. 13–15 pokazano quadrocopter w czasie lotów.

7. Podsumowanie

Pojazdy latające stają się popularnym narzędziem pracy lub zabawy. Na całym świecie powstają zarówno amatorskie projekty, jak i wyspecjalizowane urządzenia produkowane przez duże firmy. Rozwój techniki sprzyja budowie konstrukcji coraz lżejszych, bardziej wytrzymałych i precyzyjnych. W artykule przedstawiono projekt i wykonanie platformy latającej typu quadrocopter. Jej elastyczność, wynikająca z modułowej budowy, pozwala na prostą modyfikację i rozbudowę. W najbliższym czasie planowane jest opracowanie i implementacja w pojeździe efektywniejszych, bardziej zaawansowanych algorytmów sterowania.



Rys. 13. Quadrocopter w trakcie lotu – widok z góry

Fig. 13. Flying quadrocopter – top view



Rys. 14. Quadrocopter w trakcie lotu – widok z dołu

Fig. 14. Flying quadrocopter – bottom view



Rys. 15. Quadrocopter w akcji

Fig. 15. Flying quadrocopter

Bibliografia

1. 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.
2. Bresciani T. *Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter*. PhD thesis, Lund University, Department of Automatic Control.
3. Zhou Q.-L., Zhang Y., Rabbath C.-A.L., Theilliol D. (2010). *Design of Feedback Linearization Control and Reconfigurable Control Allocation with Application to a Quadrotor UAV*. Proc. of the Conference on Control and Fault Tolerant Systems, Nice, 6–8 October, 2010.
4. Data sheet Butterfly x250.
5. www.aliexpress.com/item/Butterfly-x250-330mm-shaft-mini-quadcopter-fiber-carbon-frames/650120526.html, dostęp 28.10.2013.
6. www.hobbyking.com/hobbyking/store/___19034___turnigy_park300_brushless_outrunner_1600kv.html, dostęp 10.11.2013.
7. www.hobbyking.com/hobbyking/store/___2161___turnigy_plush_12amp_2a_bec_besc.html, dostęp 10.11.2013.
8. irtfweb.ifa.hawaii.edu/~tcs3/jumpman/jumppc/1107-BMA180/BMA180-DataSheet-v2.5.pdf, dostęp 10.11.2013.
9. invensense.com/mems/gyro/documents/EB-ITG-3200-00-01.1.pdf, dostęp 10.11.2013.
10. www.51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Defense_Brochures-documents/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf, dostęp 10.11.2013.
11. www.bosch-sensortec.com/en/homepage/products_3/environmental_sensors_1/bmp085_1/bmp085, dostęp 10.11.2013.
12. i2c.info/i2c-bus-specification dostęp 10.11.2013.
13. Data sheet Turnigy 9X.
14. www.agert.homelinux.org/blog/images/9/97/Ppm2.gif, dostęp 28.10.2013.
15. Data sheet ATmega1284P-AU Atmel.
16. <http://masterairscrew.com/3-bladeseries.aspx>,dostęp 03.11.2013.
17. www.hobbyking.com/hobbyking/store/___21343___ZIPPY_Compact_1800mAh_3S_25C_Lipo_Pack.html, dostęp 03.11.2013.
18. hobbyking.com/hobbyking/store/uh_viewItem.asp?idProduct=16461, dostęp 10.11.2013.
19. www.hobbyking.com/hobbyking/store/uh_viewItem.asp?idProduct=15295, dostęp 10.11.2013.
20. www.cadsoftusa.com, dostęp 28.10.2013.
21. Hardy A.S. *Elements of Quaternions*. Ginn, Heath & Co., Boston.
22. www.engineering.purdue.edu, dostęp 28.10.2013.

Technical design and construction of flying platform type quadcopter

Abstract: One of the many flying platforms is vehicle of type quadcopter. The development of technique allows design and construction platforms for moving of several axes. The paper presents the project, construction and programming of flying platform type quadcopter. Moreover, the filtering of measurements signals and control algorithm was developed.

Keywords: quadcopter, flying platform, designing, robotics, mechatronics

Artykuł recenzowany, nadesłany 18.11.2013 r., przyjęty do druku 20.12.2013 r.

Adrian Bonisławski

Student pierwszego stopnia studiów inżynierskich na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej (kierunek: Automatyka i Robotyka, specjalność: Automatyka i Systemy Sterowania). Zainteresowania: elektronika, programowanie.

e-mail: adrian.bonislawski@gmail.com



Michał Juchniewicz

Student pierwszego stopnia studiów inżynierskich na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej (kierunek: Automatyka i Robotyka, specjalność: Automatyka i Systemy Sterowania). Zainteresowania: elektronika, motoryzacja.

e-mail: juchniewiczmichael@gmail.com



dr inż. Robert Piotrowski

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej (kierunek: Automatyka i Robotyka) (2001 r.). W 2005 r. uzyskał stopień doktora (Automatyka i Robotyka). Obecnie adiunkt w Katedrze Inżynierii Systemów Sterowania. Zainteresowania naukowe dotyczą modelowania i zaawansowanych metod sterowania procesami przemysłowymi.

e-mail: r.piotrowski@eia.pg.gda.pl

