

Analiza możliwości pomiaru położenia z użyciem GPS oraz barometrycznego czujnika wysokości

Patryk Szywalski, Dawid Wajnert

Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Katedra Elektrotechniki i Mechatroniki,
ul. Prószkowska 76, 45-758 Opole

Streszczenie: Tematem artykułu jest analiza wyników pomiaru położenia, zrealizowanego za pomocą trzech egzemplarzy odbiorników GPS oraz czujnika ciśnienia, na podstawie której wykonano barometryczny czujnik wysokości. Systemy nawigacji są stosowane głównie w autonomicznych lotach bezałogowych systemów latających, które wymagają dużej dokładności pomiaru pozycji urządzenia. W artykule zaproponowano sposób doboru odbiornika sygnału GPS na podstawie charakterystyk statycznych i dynamicznych.

Słowa kluczowe: GPS, barometryczny czujnik wysokości, quadcopter

1. Wprowadzenie

Aktualnie rozwijane są systemy autonomicznych lotów z wykorzystaniem bezałogowych systemów latających [1]. Jako takie urządzenie rozumie się konstrukcję jedno- bądź wielosilnikową, która realizuje zaprogramowaną misję bez udziału człowieka. Czterosilnikowy dron, tzw. quadcopter jako jedno z nielicznych urządzeń umożliwia start i lądowanie pionowe [2]. Loty autonomiczne wymagają jednak dużej wiedzy o otoczeniu (w którym znajduje się urządzenie) oraz znajomości jego dokładnej pozycji w przestrzeni R3 [3]. Celem systemu nawigacji jest zapewnienie jak największej dokładności i precyzji pozycji, które również są niezwykle ważne dla bezpiecznej eksploatacji drona [4, 5].

W artykule pokazano metody otrzymania pozycji urządzenia wykorzystując odbiorniki GPS oraz barometryczny czujnik wysokości. Omówiono również alternatywne systemy nawigacji. Niestety każda z metod ma swoje osobliwości i pomiar położenia obarczony jest pewnym błędem. Wszystkie badania przeprowadzone w pracy zostały wykonane wzdłuż szerokości geograficznej północnej (na wykresach oś x) i długości geograficznej wschodniej (na wykresach oś y).

Jednym z głównych elementów bezałogowego systemu latającego jest system nawigacji. Jedną z możliwości pozyskania informacji o pozycji jest system GPS (ang. *Global Positioning System*). Jego dokładność jest uzależniona od zastosowanego odbiornika i często nie jest zadowalająca. Alternatywą do GPS może być nawigacja inercyjna, która na podstawie wskaźników z akcelerometru, żyroskopu i (opcjonalnie) magnetometru

potrafi wyliczyć pozycję względem punktu startowego. Realizacja takiego systemu wiąże się jednak z dokładnym, częstym i synchronicznym pomiarem wskazanych urządzeń [6]. Istnieją również hybrydy łączące w swojej budowie GPS i nawigację inercyjną. Zaletą takich rozwiązań jest duża dokładność pomiaru w globalnym układzie odniesienia [7]. Kolejną alternatywą może być system nawigacji oparty o analizę obrazu z kamer. Wadą takiego rozwiązania jest jednak duże zapotrzebowanie na moc obliczeniową [8]. Kolejnym rozwiązaniem mogą być tzw. nawigacje lokalne polegające na rozstawieniu odpowiednich nadajników w obszarze pracy urządzenia. Takie systemy cechują się dokładnością ± 2 cm i potrafią działać na obszarze nawet 1 km [9]. Dodatkową informację o pozycji można uzyskać na podstawie barometrycznego czujnika wysokości.

2. Budowa przyrządu pomiarowego

Pracę rozpoczęto od opracowania stabilnej konstrukcji (rys. 1), za pomocą której można przeprowadzić testy wybranych czujników. Sercem obliczeniowym urządzenia jest procesor quad-core ARM Cortex-A53 (4×900 MHz), zamontowany na minikomputerze Raspberry Pi2. Sterownik ma 1 GB pamięci RAM (ang. *Random Access Memory*), cztery porty USB (ang. *Universal Serial Bus*), port MicroUSB, złącze HDMI (ang. *High-Definition Multimedia Interface*), złącze kart pamięci microSD (ang. *Secure Digital*), interfejs kamery i 40-pinowe złącze ogólnego przeznaczenia GPIO (ang. *General-Purpose Input/Output*). Zaletą Raspberry Pi2 jest możliwość podłączenia dowolnych czujników, analiza danych w czasie rzeczywistym oraz komunikacja z operatorem za pomocą dodatkowego modułu radiowego (pracującego na paśmie 2,4 GHz) bądź modułu Wi-Fi (ang. *Wireless Fidelity*) umożliwiającego bezpośrednie połączenie z komputerem operatora. Wykorzystując standardy Wi-Fi można stworzyć bezprzewodową sieć komputerową. Jako system operacyjny wybrano Raspbian. Cały sterownik uzupełniają trzy moduły podłączone do Raspberry Pi2: 16-kanalowy, 12-bitowy generator sygnału PWM (ang. *Pulse-Width Modulation*), Sense Hat oraz Arduino Nano.

Autor korespondujący:

Dawid Wajnert, d.wajnert@po.opole.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 24.07.2018 r., przyjęty do druku 17.09.2018 r.



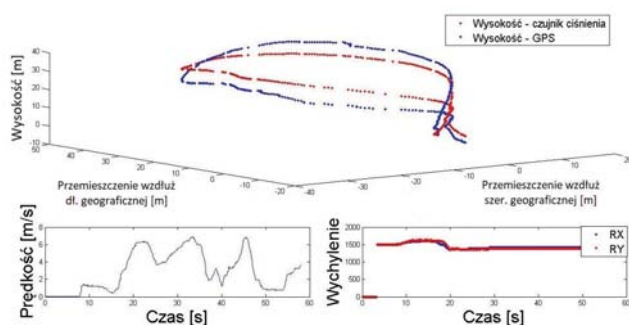
Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

Metodę regulacji sygnału napięciowego PWM wykorzystano do płynnej regulacji prędkości obrotowej silników [10]. W tym celu zastosowano dodatkowe rozszerzenie umożliwiające wygenerowanie 16 sygnałów PWM o rozdzielczości 12 bitów i częstotliwości z zakresu 40–1600 Hz. Rozszerzenie Sense Hat zawiera wiele czujników, niezbędnych do sterowania bezałogowym systemem latającym. Ma wbudowany akcelerometr, żyroskop, magnetometr, barometr, czujnik temperatury, czujnik wilgotności i matrycę 8 × 8 LED RGB. Arduino Nano wykorzystano jako odbiornik radia 2,4 GHz.



Rys. 1. Czterosilnikowa konstrukcja drona

Fig. 1. Quadcopter



Rys. 2. Wizualizacja mierzonych parametrów na panelu operatora

Fig. 2. Visualization of measured parameters on the operator panel

Skrypt przygotowany w programie MATLAB 2016a umożliwia śledzenie i wizualizowanie w czasie rzeczywistym takich parametrów urządzenia, jak pozycja i prędkość z systemu GPS, wychylenia regulatora położenia (parametry RX i RY) oraz wyznaczona za pomocą barometru wysokość.

Rysunek 2 pokazuje panel operatorski urządzenia. Jako odbiornik sygnału GPS stosowano zamiennie U-blox 6M, U-blox 7 oraz U-blox M8N. Częstotliwość odświeżania danych wynosiła kolejno 5 Hz dla wersji U-blox 6M i 10 Hz dla wersji U-blox 7 oraz M8N.

Ważnym parametrem wyboru odbiornika GPS jest parametr zimnego i ciepłego startu (Cold and Warm Start). Zimny start definiuje czas od włączenia do określenia pozycji przy założeniu, że wiedza o teoretycznym położeniu, prędkości, kierunku i czasie wszystkich 24 satelitów jest aktualna jednak wiedza o odstępstwach od modelu teoretycznego, wybranych satelitów jest nieaktualna. Zimny start występuje, gdy odbiornik był nieaktywny od około 4 godzin. Ciepły start następuje wtedy, gdy dodatkowa wiedza o odstępstwach od modelu teoretycznego minimum trzech satelitów jest znana, a konieczne jest jedynie precyzyjne zsynchronizowanie czasu z tymi satelitami. Ciepły start występuje zwykle od 20 minut do 4 godzin po ostatnim użyciu odbiornika. Dla wszystkich badanych odbiorników czas

ten wynosił około 29 sekund (zimny start) i 1 sekundy ciepły start [11–13].

Do pomiaru ciśnienia wykorzystano 24-bitowy czujnik ST Micro LPS25H charakteryzujący się zakresem pomiaru od 260 hPa do 1260 hPa o dokładności ±1 Pa w zakresie temperatury 20–60 °C [14].

2. Parametry urządzenia

Masa urządzenia wynosi 1427 gram z modułem Wi-Fi bądź 1386 gram bez modułu. Zasięg konstrukcji jest ograniczony zasięgiem komunikacji radiowej i wynosi około 500 m. Urządzenie jest zasilane baterią litowo-polimerową o pojemności 6200 mAh, i napięciu 11,1 V, co umożliwia około 25 minut lotu. Urządzenie ma wyświetlacz 8 × 8 LED RGB, na którym wyświetlane są informacje o urządzeniu, etapy inicjalizacji urządzenia oraz sygnalizowane błędy (np. brak wymaganej liczby satelitów przy pomiarze za pomocą GPS). W systemie znajduje się czarna skrzynka – po każdym locie szereg danych: pozycja GPS (szerokość i długość geograficzna, wysokość), wysokość z barometrycznego czujnika ciśnienia, prędkość pobrana z GPS, czas, przyspieszenia względem każdej osi (x, y, z), przemieszczenia przełączników na aparaturze radiowej, sygnały wyjściowe regulatorów PID odpowiedzialnych za stabilizację urządzenia w osiach x, y, z , zostaną zapisane do pliku. Następnie plik ten można pobrać z urządzenia i dokonać analizy danych.

3. Global Positioning System

Pracę z systemami nawigacji rozpoczęto od wyboru odpowiedniego odbiornika. Testom poddano trzy odbiorniki GPS z różnych kategorii cenowych. Jako parametr decydujący o wyborze odbiornika wybrano częstotliwość odświeżania, dokładność pomiaru w charakterystykach statycznych oraz cenę.

Parametr długości i szerokości geograficznej został przeliczony z stopni na metry. W charakterystykach statycznych jako punkt początkowy przyjęto miejsce w którym uruchomiono urządzenie tworząc względny układ odniesienia.

Przeliczenie stopni na metry jest uzasadnione, ponieważ jeden stopień na kuli ziemskiej nie równa się stałej wartości w metrach. Parametr ten jest uzależniony od miejsca pomiaru. Przykładowo na równiku jeden stopień odpowiada 111,32 km, natomiast przy 67 równoleżniku już tylko 43,496 km. Wykonując poniższe obliczenia przyjęto przybliżenie, że planeta Ziemska jest kulą. Zgodnie z geometrią kuli wyznaczono współczynniki (1–2), za pomocą których, przemnażając wartość wyrażoną w stopniach uzyskuje się wartość przemieszczenia względem południka i równoleżnika zerowego w metrach. Wartość współczynników uzależniona jest od szerokości geograficznej.

$$\text{deg } 2m_s = \frac{dl_p}{180} \cdot 1000 \quad (1)$$

$$\text{deg } 2m_d = \frac{dl_r \cdot \cos(\text{szer})}{360} \cdot 1000 \quad (2)$$

gdzie: dl_p – długość południka, dl_r – długość równika, szer – wartość szerokości geograficznej w stopniach.

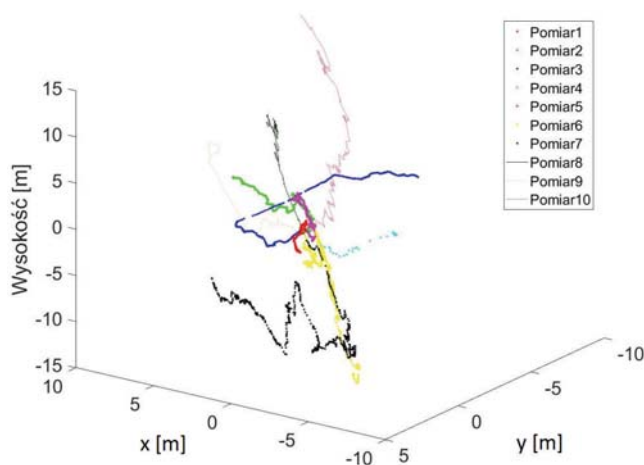
Następnie każdy pomiar z układu GPS zostaje porównany z wartością początkową i przemnożony przez odpowiedni współczynnik. Parametr wysokości jest zwracany przez GPS bezpośrednio w metrach.

Przykładowo według nawigacji Google, ratusz w Opolu ma koordynaty 50,6684837 N szerokości geograficznej oraz

Tabela 1. Zestawienie danych pomiarowych

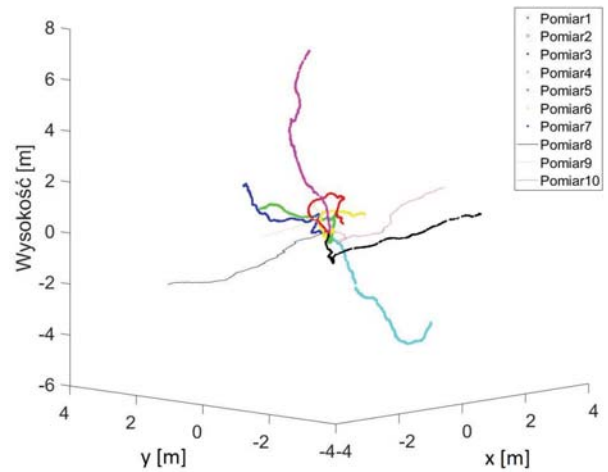
Table 1. A summary of measurement data

Odbiornik	U-blox 6M			U-blox 7			U-blox M8N		
Oś Lp.	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]
1	1,77	1,27	1,73	1,02	1,22	1,8	0,65	0,50	1,52
2	1,26	4,64	4,39	2,19	1,6	4,3	1,88	0,47	1,27
3	7,38	4,90	4,64	1,35	1,22	2,4	1,92	1,08	1,84
4	3,12	3,14	2,09	1,04	1,61	2	0,90	2,44	4,77
5	1,19	2,09	3,57	1,95	2,94	4,7	1,57	1,48	7,54
6	4,18	6,71	11,36	2,10	8,58	4,6	0,68	0,74	1,08
7	4,14	8,53	9,10	1,93	8,44	2,9	2,30	2,63	1,80
8	3,37	5,51	8,00	1,06	0,79	1,7	2,33	2,87	2,00
9	2,46	6,92	6,77	1,58	2,08	5,7	0,88	1,50	1,22
10	7,73	8,91	15,10	1,17	1,04	2,7	1,64	2,10	2,16
Średnia	3,66	5,26	6,67	1,54	2,96	3,28	1,47	1,58	2,524
Średnia dla osi x, y, z	5,20			2,59			1,86		



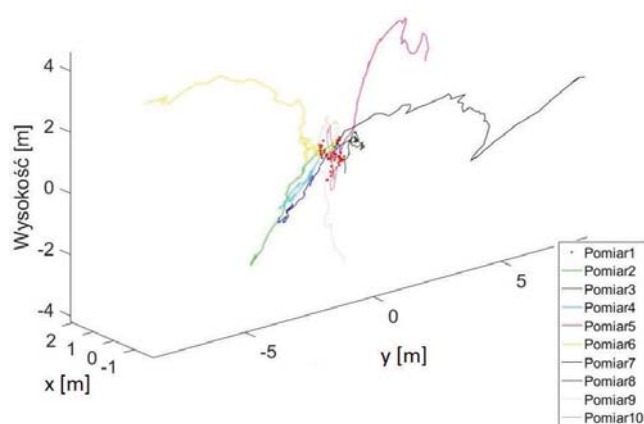
Rys. 3. Zestawienie graficzne otrzymanych wyników dla odbiornika U-blox 6M

Fig. 3. Graphical comparison of results for the U-blox 6M receiver



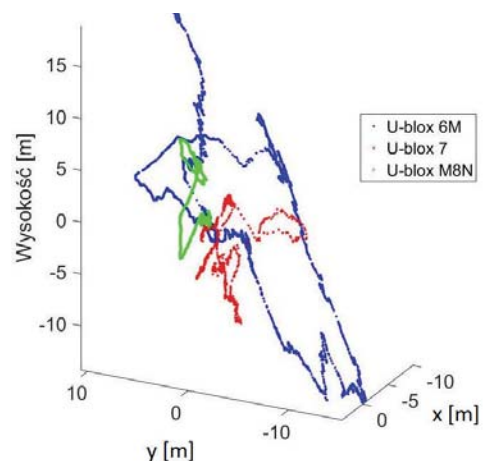
Rys. 5. Zestawienie graficzne otrzymanych wyników dla odbiornika U-blox M8N

Fig. 5. Graphical comparison of results for the U-blox M8N receiver



Rys. 4. Zestawienie graficzne otrzymanych wyników dla odbiornika U-blox 7

Fig. 4. Graphical comparison of results for the U-blox 7 receiver



Rys. 6. Porównanie wszystkich trzech badanych odbiorników sygnału GPS

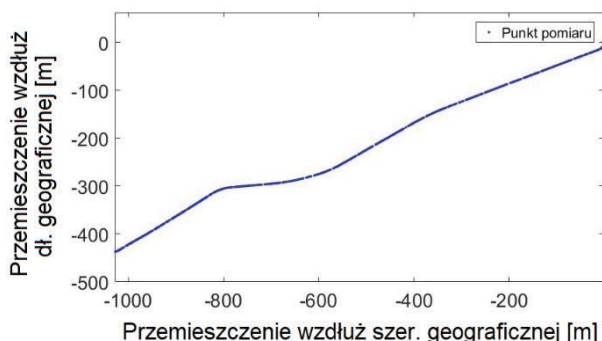
Fig. 6. Comparison of three tested GPS receivers

17,9225019 E długości geograficznej. Parametry zwracane przez system GPS wynoszą:

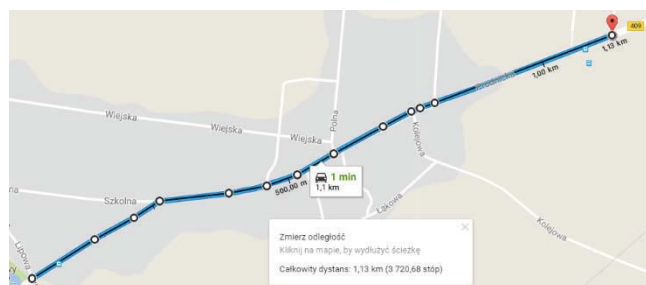
- 1 minuta długości geograficznej to 1,1766 km w przestrzeni R2,
- 1 minuta szerokości geograficznej to 1,8540 km w przestrzeni R2.

Na podstawie powyższego przykładu widać, że różnica jednego stopnia długości i szerokości geograficzną jest (dla tego przykładu) bardzo duża i należy ją uwzględnić.

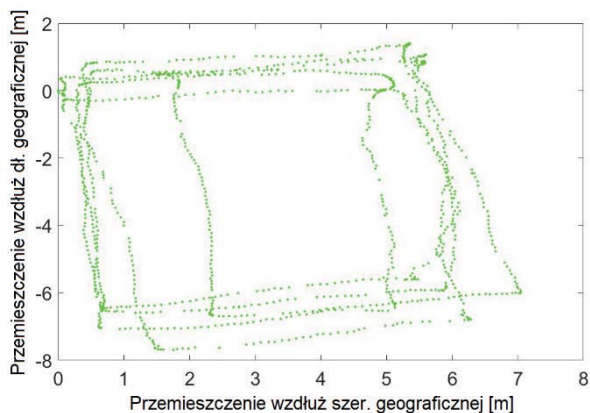
Kolejnym etapem był test odbiorników w stanie statycznym. Zbadano trzy odbiorniki GPS U-Blox 6M, U-Blox 7 oraz U-Blox



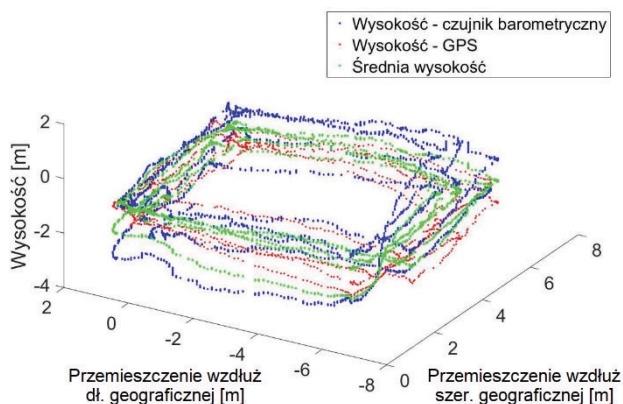
Rys. 7. Pomiar odcinka drogi wykonany odbiornikiem GPS U-Blox M8N z częstotliwością 10Hz
 Fig. 7. Measurement of the distance with using the GPS U-Blox M8N receiver at frequency of 10Hz



Rys. 8. Zrzut ekranu z nawigacji Google
 Fig. 8. A screenshot of Google Navigation



Rys. 9. Wykres przemieszczenia odbiornika zgodnie z wskazaniami GPS wzdłuż długości i szerokości geograficznej
 Fig. 9. Receiver displacement graph according to GPS display along longitude and latitude



Rys. 10. Wykres przemieszczenia odbiornika zgodnie z wskazaniami GPS U-blox M8N oraz barometrycznego czujnika wysokości w osiach x, y, z
 Fig. 10: Graph of the displacement according to the U-blox M8N GPS and the barometric height sensor in x, y, z axes

M8N. Wykonanie pomiaru polegało na uruchomieniu odbiornika na około 10 minut, następnie pobrano próbki pomiarowe. Wykorzystując odbiornik U-Blox NEO-6M pobrano 300 próbek pomiarowych co 0,2 sekundy natomiast U-Blox 7 i M8N pobrano 600 próbek pomiarowych co 0,1 sekundy (wynika to z maksymalnej częstotliwości odświeżania odbiornika). Całość powtórzono dziesięć razy. Na rysunkach 3–5 pokazano zestawienie graficzne otrzymanych danych. Rysunek 6 pokazuje porównanie wszystkich trzech, będących w bezruchu przez 10 minut odbiorników. Widać, że skupienie pomiarów różni się i jest najkorzystniejsze dla modelu M8N. Wszystkie testy zostały wykonane w tym samym dniu i miejscu zaraz po sobie. W tabeli 1 pokazano maksymalne i minimalne wskazania poszczególnych odbiorników względem badanej osi.

Wstępna analiza wykresów (3–6) i tabeli 1 pokazuje, że rozrzut danych odbiornika M8N jest prawie 3-krotnie mniejsze niż modelu U-blox 6M i o 30% mniejsze od modelu U-blox 7. Dodatkowym atutem tego odbiornika jest dwukrotnie większa częstotliwość odświeżania danych pomiarowych (w porównaniu do U-blox 6M).

Do dalszych badań wybrano odbiornik M8N, ponieważ cechował się on najmniejszym błędem w stanie statycznym. Sprawdzenie poprawności działania nawigacji zostało wykonane dokonując pomiaru długości pewnych odcinków dróg. Istotne jest, aby mierzony odcinek zmieniał się zarówno w długości jak i szerokości geograficznej. Wybrane odcinki zostały wybrane w taki sposób, aby można było je porównać z danymi nawigacji Google [15], zatem punkty charakterystyczne początku i końca powinny być łatwe do odnalezienia na mapie. Często były to skrzyżowania (środek przecięcia dwóch osi jezdni) bądź cały odcinek drogi. Pomiar części z odcinków pokazano na rysunku 7 natomiast na rysunku 8 pokazano ten sam odcinek w internetowej nawigacji Google Maps.

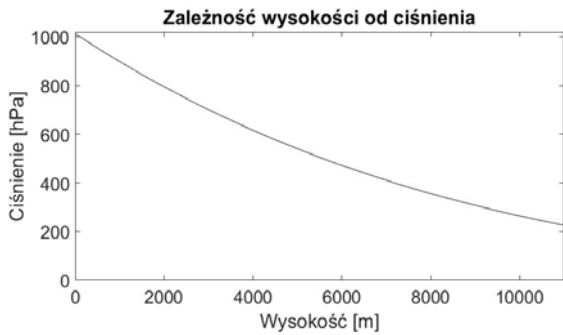
Pomiar odcinka polegał na przejściu i pobraniu z częstotliwością 10 Hz danych pomiarowych między punktami charakterystycznymi. Następnie dane zostały zaimportowane do programu MATLAB 2016a, policzono odległości pomiędzy punktami i zsumowano. Wyliczony odcinek miał długość 1133 m. Według nawigacji Google całkowity dystans wynosił 1130 m. Cały proces powtarzano kilkakrotnie, również z innymi odcinkami dróg. Zauważono, że różnica pomiędzy rzeczywistym pomiarem, a informacją z Google Maps jest stała i niezależna od długości odcinka. Maksymalny błąd wynosił 3,5 m i jest spowodowany prawdopodobnie błędami pomiarowymi bądź niedokładnością GPS.

Ostatecznie porównując pomiar do wskazań z nawigacji można stwierdzić, że w zakresie pracy urządzenia (maksymalne odcinki 15 km) przeliczenie stopni na metry zostały dobrze przyjęte, a uproszczenie kształtu ziemi do kuli, nie wpływa znacząco na błąd pomiaru.

Sprawdzenie dokładności systemu GPS w ruchu wykonano przemieszczając odbiornik U-blox M8N wzdłuż krawędzi prostokąta o wymiarach 6 m × 8 m nie zmieniając wysokości i utrzymując stałą prędkość 1 m/s. Doświadczenie miało na celu pokazanie, jaki jest rozrzut danych pomiarowych, gdy odbiornik jest w ruchu. Wyniki przemieszczeń wzdłuż długości i szerokości geograficznej pokazano na rysunku 9. Wykres 10 uwzględnił dodatkowo parametr wysokości. Wynik tego doświadczenia pokazują ogromną wadę odbiorników GPS. Nawigacja nie potrafiła wyznaczyć żadnego z wierzchołków czworokąta.

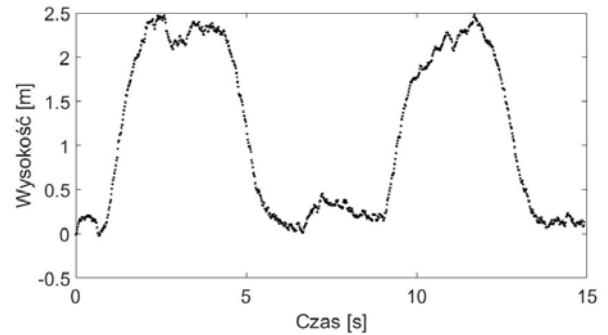
4. Barometryczny czujnik wysokości

Jako barometryczny czujnik wysokości wykorzystano czujnik ST Micro LPS25H. Jego zaletą jest 24-bitowa rozdzielczość pomiaru ciśnienia w zakresie 260 hPa do 1260 hPa z dokładno-



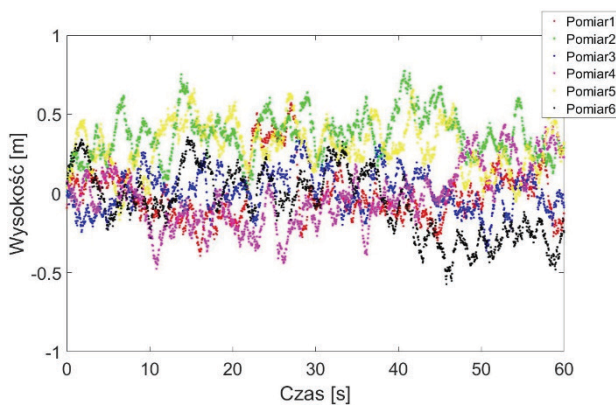
Rys. 11. Zależność wysokości od ciśnienia na podstawie wzoru barometrycznego

Fig. 11. Height to pressure relation based on barometric formula



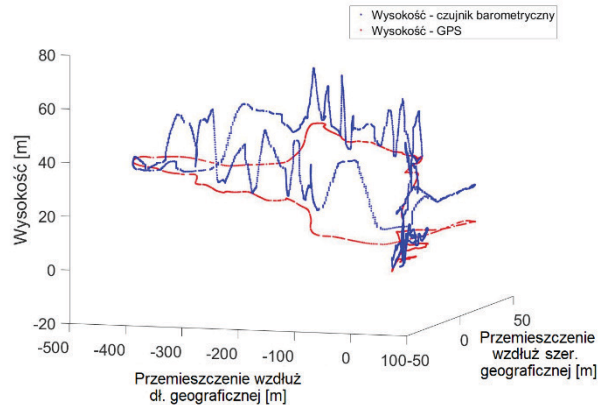
Rys. 13. Pomiar wysokości w pomieszczeniu

Fig. 13. Height measurement in the room



Rys. 12. Charakterystyka statyczna barometrycznego czujnika wysokości

Fig. 12. Static characteristics of the barometric height sensor



Rys. 14. Porównanie parametru wysokości GPS z czujnikiem barometrycznym

Fig. 14. Comparison of the GPS altitude parameter with the barometric sensor

ścią na poziomie ± 1 Pa oraz 16-bitowa rozdzielczość pomiaru temperatury w zakresie $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Barometryczny czujnik wysokości wykorzystuje zależność zmiany ciśnienia do wysokością zgodnie z wzorem 3 [16].

$$h = \frac{T_0 \left(\left(\frac{p}{P_0} \right)^{\frac{R \cdot L_0}{g_0 \cdot M}} - 1 \right)}{L_0} \quad (3)$$

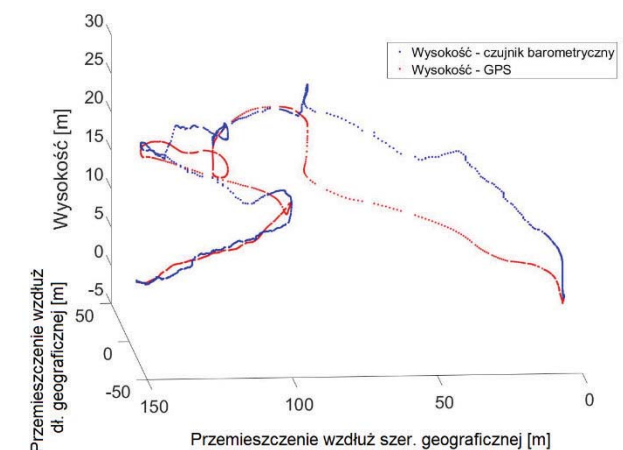
gdzie: h – wysokość nad poziomem morza (w metrach), T_0 – standardowa temperatura nad poziomem morza $288,15\text{ K}$, L_0 – stała zmiany temperaturowej $-0,0065\text{ K/m}$, p – zmierzone ciśnienie [hPa], P_0 – ciśnienie statyczne $1013,25\text{ hPa}$, g_0 – przyspieszenie ziemskie $9,80665\text{ m/s}^2$, M – masa molowa powietrza $0,0289644\text{ kg/mol}$, R – stała gazowa $8,31432\text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$.

Po podstawieniu stałych do wzoru (3) upraszcza się on do wzoru (4).

$$h = 44330,8 \left(1 - \left(\frac{p}{1013,25} \right)^{0,190263} \right) \quad (4)$$

Zależność ciśnienia od wysokości wyznaczonej na podstawie (4) pokazano na rysunku 11.

Pierwszym etapem sprawdzenia poprawności działania było wyrysowanie charakterystyki statycznej barometrycznego czujnika wysokości (rys. 12). W ten sposób sprawdzono jaki jest rozrzut pomiaru. Pomiar polegał na pobraniu sześciu serii danych przez 1 minutę z częstotliwością 100 Hz .



Rys. 15. Porównanie parametru wysokości GPS z czujnikiem barometrycznym

Fig. 15. Comparison of the GPS altitude parameter with the barometric sensor

Analiza danych wykazała, że rozrzut pomiaru jest mniejszy niż dla najlepszego odbiornika GPS i średnia różnica między wartością maksymalną, a minimalną w jednej próbie pomiarowej wynosi $0,8522\text{ m}$.

Pierwsze próby pomiaru wykorzystując barometryczny czujnik wysokości dokonano w mieszkaniu, gdzie przemieszczono czujnik o $2,3\text{ m}$. Rysunek 13 przedstawia otrzymany wynik.

Minimalna wartość wskazana przez czujnik wynosiła $-0,0225\text{ m}$, a maksymalna $2,47\text{ m}$. Pomiar powtarzano kilkakrotnie. Pomiar obarczony był błędem około 20 cm .

Kolejnym etapem sprawdzenia barometrycznego czujnika ciśnienia było wyrysowanie charakterystyk dynamicznych czuj-

Tabela 2. Zestawienie parametrów czujników oraz danych pomiarowych
Table 2. Sensor parameters and measurement data

Czujnik	Cena [zł]	Częstotliwość [Hz]	Zimny start [s]	Ciepły start [s]	Średnia odchyła względem osi x, y, z
U-blox 6M	70	5	32	1	5,20
U-blox 7	55	10	30	1	2,59
U-blox M8N	190	10	29	1	1,89
ST Micro LPS25H	35	100	(nie dotyczy)	(nie dotyczy)	(nie dotyczy)

nika. Pomiar odbywał się już w warunkach zewnętrznych, mierząc ciśnienie podczas lotu. Jako porównanie posłużono się odbiornikiem GPS. Na rysunku 14 pokazano zarejestrowaną trajektorię. Parametr długości i szerokości geograficznej jest niezmienny i został pobrany bezpośrednio z GPS’u.

Analiza danych wskazała, że pomiar obarczony jest dużym błędem, gdyż fizycznie urządzenie nie zmieniało tak szybko wysokości. Błędne wyniki uargumentowano złym umiejscowieniem czujnika na urządzeniu, który w trakcie lotu został bezpośrednio narażony na wiatr i szybkie zmiany temperaturowe. Kolejne testy przeprowadzono zmieniając położenie czujnika, wkładając go do obudowy uniemożliwiającej zakłócenie pomiaru przez własne jednostki napędowe (silnik + śmigło) i owijając go pianką o wymiarach 5 cm × 5 cm i grubości 1 cm.

Na rysunku 15 pokazano wyniki pomiaru wysokości mierzonej dwiema metodami. Pierwsza (w kolorze czerwonym) za pomocą barometrycznego czujnika wysokości, natomiast druga za pomocą systemu GPS. Zauważono, że poprawne umiejscowienie czujnika, oraz owinięcie go pianką wyeliminowało skoki pomiarowe, czasami sięgające nawet kilku tysiącom metrów. W trakcie dalszych badań nie zauważono już nagłych wahań wskazań czujnika.

5. Podsumowanie

Podsumowując wykonane pomiary dostępnych systemów nawigacji stwierdzono, że zarówno wskazania z GPS, jak i barometrycznego czujnika wysokości obarczone są pewnym błędem. Można go oszacować wykonując charakterystyki statyczne każdego czujnika w obszarze jego pracy. Ostatecznie stwierdzono, że najlepszym odbiornikiem okazał się model U-blox M8N. W tabeli 2 umieszczono podsumowanie głównych parametrów badanych czujników. Ze względu na niemożliwość oceny dokładnie, który pomiar wysokości obarczony jest mniejszym błędem zdecydowano, że na parametr wysokość będą miały wpływ oba czujniki, w takim samym stopniu i wyznaczono go na podstawie wzoru 5.

$$wys = \frac{wys_gps + wys_cis}{2} \tag{5}$$

gdzie: *wys_gps* – parametr wysokości pobrany z odbiornika GPS, *wys_cis* – parametr wysokości wyznaczony za pomocą ciśnienia.

Dalsze prace zostaną poświęcone alternatywnym sposobem wyznaczenia pozycji wykorzystując filtry komplementarne.

System nawigacji może dokonywać wyboru i oceny prawdopodobieństwa poprawności pomiaru GPS na podstawie liczby połączonych satelit z odbiornikiem. Dodatkowo wykorzystując akcelerometr można zminimalizować efekt „pływającej” pozycji z GPS.

Bibliografia

1. Becmer D., Skorupka D., Duchaczek A., *Trendy rozwojowe bezzałogowych systemów latających*, „Problemy Techniki Uzbrojenia”, Zeszyt 136 nr 4/2015, 19–40.
2. Piotrowski P., Witkowski T., Piotrowski R., *Bezzałogowa zdalnie sterowana jednostka latająca*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 19, Nr 1/2015, 49–55.
3. Krasuski K., Wierzbiński D., *Wyznaczenie kursu bezzałogowego statku powietrznego na podstawie danych GPS i INS*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, Nr 4/2015, 63–68.
4. Topczewski S., Żugaj M., Narkiewicz J., *Integrated attitude and navigation system for small airplane*, „Journal of KONES Powertrain and Transport”, Vol. 24, No. 1 2017, 339–348.
5. Szywałski P., *Opracowanie algorytmu autonomicznego lotu dla bezzałogowego system latającego*, Opole 2017.
6. Madgwick S., *An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays*, http://x-io.co.uk/res/doc/madgwick_internal_report.pdf, (pobrano: 2018-05-01).
7. Sang Heon Oh, Dong-Hawn Hwang, *Low-cost and high performance ultra-tightly coupled GPS/INS integrated navigation method*, Space Research 2017, Vol. 60, Issue 12, 2691–2706.
8. Pacholski N., *Extending the sensor edge smart drone positioning system*, MSc Thesis, The University of Technology, Adelaide 2013.
9. <https://marvelmind.com>, dostęp: 2018-05-01.
10. Strzelczyk P., Macek-Kamińska K., *Kontroler lotu dla bezzałogowych obiektów latających*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 19, Nr 4/2015, 69–73.
11. UBlox NEO-6M datasheet
12. UBlox 7 datasheet
13. UBlox NEO-M8N datasheet
14. ST Micro LPS25H datasheet
15. www.google.pl/maps, dostęp: 2018-06-10
16. Wenjie Zhu, Yu Dong, Guanglong Wang, Zhongtao Qiao, Fengqi Gao, *High-precision Barometric Altitude Measurement Method and Technology*, 2013 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), 430–435.

Possibility Analysis of the Location Measurement by Using the GPS Receiver and Barometric Altimeter

Abstract: The subject of the article is the analysis of the position with using three pieces of GPS receivers and a pressure sensor which was the basis of the barometric height sensor. The navigation application is designed primarily to the use of quadrocopters, that requires the highest accuracy of the device position measurement. The paper proposes a method of selecting the GPS signal receiver based on static and dynamic characteristics.

Keywords: GPS, barometric altitude sensor, quadrocopter

mgr inż. Patryk Szywalski

patryk.szywalski@gmail.com

Student trzeciego stopnia Politechniki Opolskiej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki. (kierunek: Automatyka i Robotyka). Zainteresowania: robotyka, modelarstwo, programowanie.



dr inż. Dawid Wajnert

d.wajnert@po.opole.pl

Pracownik Katedry Elektrotechniki i Mechatroniki Politechniki Opolskiej. Obszar działalności naukowej obejmuje systemy sterowania oraz układy zawieszenia magnetycznego.



