

NAWIGACYJNE PRZYGOTOWANIE I WYKONANIE LOTU FOTOGRAMETRYCZNEGO SAMOLOTEM ZAŁOGOWYM WYPOSAŻONYM W URZĄDZENIE NAWIGACYJNE GARMIN G1000

KAROL ROTCHIMMEL, KONRAD WODZIŃSKI

Centrum Technologii Kosmicznych, Zakład Teledetekcji, Instytut Lotnictwa,
Al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa
karol.rotchimmel@ilot.edu.pl, konrad.wodzinski@ilot.edu.pl

Streszczenie

Publikacja zawiera opis przygotowania nawigacyjnego lotu fotogrametrycznego samolotem posiadającym urządzenie nawigacyjne Garmin G1000 oraz omówienie jego realizacji. W ramach realizowanego w Instytucie Lotnictwa projektu naukowego HESOFF wykonywane są loty fotogrametryczne z wykorzystaniem kamery kadrowej [1]. Na plan lotu decydujący wpływ ma zakładana dokładność pozyskanych danych obrazowych: rozdzielczość przestrzenna zdjęć (wymiar piksela terenowego) oraz pokrycie wzajemne zdjęć. Wykonując lot fotogrametryczny samolotem załogowym należy zdefiniować parametry: punkty nawigacyjne zaczynające i kończące pojedynczy szereg fotogrametryczny, czyli prosty odcinek nad fotografowaną powierzchnią oraz odległość między szeregami. Wyznaczone punkty są zapisywane w urządzeniu nawigacyjnym Garmin G1000. Następnie tworzony jest plan lotu obejmujący przelot samolotu po wyznaczonych punktach w odpowiedniej kolejności. Przeprowadzone próby w locie z włączonym autopilotem wykazały trudności z utrzymaniem zaplanowanego kierunku na krótkich odcinkach – poniżej 10 km.

Słowa kluczowe: samolot, lot fotogrametryczny, Garmin G1000, szeregi fotogrametryczne, nawigacja satelitarna.

1. WPROWADZENIE

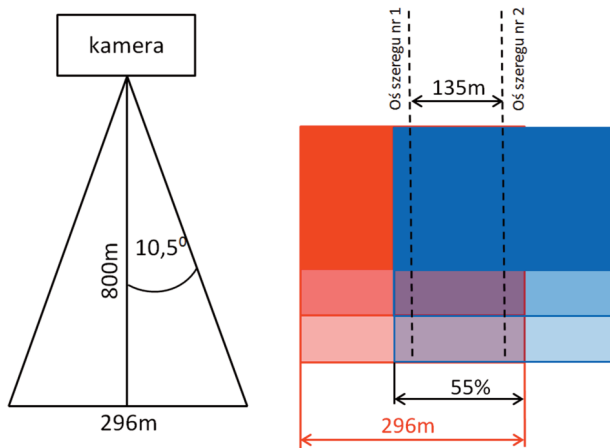
Zakład Teledetekcji Instytutu Lotnictwa realizuje projekt naukowy o nazwie HESOFF. Jednym z jego założeń jest wykonywanie powietrznego monitoringu badanych lasów przy użyciu kamery wielospektralnej składającej się z sześciu obiektywów rejestrujących obrazy w kilku zakresach promieniowania elektromagnetycznego. Do wykonania takiego zadania został wykorzystany samolot załogowy Cessna 182 z urządzeniem nawigacyjnym Garmin G1000. Monitorowanie lasów przy użyciu samolotu pozwala na pozyskanie materiału zdjęciowego dla znacznych obszarów w krótkim czasie (ok. 2 km² w 30 min). Aby uzyskać pełen obraz całego obszaru badanego lasu należy wykonać szereg zdjęć według ustalonego planu lotu fotogrametrycznego.

W trakcie wykonywania nalotu fotogrametrycznego samolot leci wzdłuż linii prostej wykonując zdjęcia z pewnym interwałem czasowym obliczonym na podstawie zasięgu pojedynczego zdjęcia

i planowanego pokrycia podłużnego (tak powstaje szereg zdjęć) [2]. Ponieważ na podstawie pojedynczego zdjęcia nie jest możliwe określenie przestrzennego położenia odfotografowanych na nim punktów, każdy fragment obszaru musi być sfotografowany co najmniej na dwóch zdjęciach. Pokrycie wzajemne dwu sąsiednich zdjęć (pokrycie podłużne) powinno wynosić minimum 60%. Jeśli jeden szereg nie obejmuje całego opracowywanego obszaru wykonuje się kilka równoległych do siebie szeregów. Wzajemne pokrycie sąsiednich szeregów (pokrycie poprzeczne) powinno wynosić minimum 30% [3]. Ta wielkość pokrycia poprzecznego zapewnia możliwość znalezienia punktów wspólnych zdjęć zrobionych w idealnych warunkach. Zaleca się większe pokrycie, nawet 60%, jeżeli przewidujemy trudności utrzymywania zaplanowanej osi lotu, ze względu na występujący boczny wiatr, termikę atmosfery, niedokładność urządzenia nawigacyjnego.

2. WYZNACZENIE SZEREGÓW

W ramach projektu HESOFF wykorzystywana jest zbudowana w Zakładzie Teledetekcji autorska platforma Quercus 6 rejestrująca dane obrazowe wraz z możliwością ich przetwarzania w czasie rzeczywistym [4]. Platforma wyposażona jest 6 kamer przemysłowych wraz z obiektywami 12,5 mm kącie rozwarcia (FOV) 15° wzdłuż i 21° wszerz. Kamery mogą być wyzwalane z zadanym interwałem czasowym (co sekundę lub szybciej) dlatego pokrycie podłużne zdjęć będzie przekraczało 60%. Wysokość lotu oraz pokrycie poprzeczne zdjęć pozwoli określić odległość pomiędzy szeregami. Dla wysokości 800 m i pokrycia poprzecznego 55% szeregi muszą być oddalone od siebie o 135 m [5]. Taki układ szeregów został zaprezentowany na rysunku 1.



Rys. 1. Pole widzenia kamery i rozmieszczenie szeregów [opracowanie własne]

Ustalona wartość odległości szeregów pozwala na wyznaczenie punktów początku i końca szeregu tak, aby obszar fotografowany zawierał pewien zapas bezpieczeństwa tj. uwzględniając dokładności nawigacyjne systemu GPS (system jednoczęstotliwościowy, dokładność wyznaczenia pozycji ok. 10m) oraz wpływ warunków atmosferycznych na zmianę kierunku oraz przechył i pochył samolotu. Samolot przelatując nad badanym obszarem musi już mieć ustalony kurs i wysokość, dlatego punkty zaczynające i kończące szeregi muszą znacznie wybiegać poza obszar badany.

Samolot prowadzony jest po następujących po sobie szeregach, dlatego punkty wlotowe na dany szereg zaczynają się po tej samej stronie, co punkty wylotowe z poprzedniego szeregu (rys. 2). Punkt

1 rozpoczyna lot fotogrametryczny, a punkt 16 jest jego zakończeniem. Dla obszaru badanego w okolicy miasta Krotoszyn otrzymano w sumie 8 szeregów oddalonych od siebie o 135m. Wiedząc jak mają wyglądać szeregi można zacząć wyznaczać współrzędne geograficzne przypisane do wyznaczonych punktów. Przy wykorzystaniu zaawansowanych narzędzi serwisu Google Maps określone jest położenie geograficzne poszczególnych punktów (początki i końce szeregów).



Rys. 2. Zobrazowanie szeregów wyznaczonych dla pokrycia fotogrametrycznego zaznaczonego obszaru leśnego [opracowanie własne]

Tabela 1. Parametry nalotu [6]

Kierunek nalotu	N-S
Wysokość względem powierzchni terenu	800 m
Odległość między osiami szeregów	100 m
Ogniskowa obiektywów	13 mm
Wymiar matrycy CCD	1200 x 804px
Wymiar piksela	3,75 x 3,75 μm
Piksel GSD	0,25 m
Zasięg poprzeczny zdjęć	300 m
Zasięg podłużny zdjęć	201 m
Pokrycie podłużne zdjęć	75 %
Pokrycie poprzeczne zdjęć	65 %

3. PROGRAMOWANIE TRASY LOTU

Wyznaczone punkty nawigacyjne należy wprowadzić do pamięci urządzenia nawigacyjnego Garmin G1000 zamontowanego na samolocie. W tym celu należy wejść w odpowiednią zakładkę USER WAYPOINTS. Przyciskiem MENU wybierana zostaje funkcja CREATE NEW WAYPOINT i możliwe jest rozpoczęcie tworzenia nowego punktu. Należy nadać mu nazwę i określić jego współrzędne geograficzne a następnie zatwierdzić dane przyciskiem ENT. Tak utworzone punkty fotogrametryczne należy połączyć ze sobą tworząc odpowiedni plan lotu. Przycisk FPL otwiera funkcję tworzenia lub wybierania istniejących planów lotów. W celu utworzenia nowego planu należy przyciskiem MENU wybrać polecenie CREATE NEW FLIGHT PLAN. Następnie wpisujemy lotnisko startu jako początek trasy, a dalej stworzone wcześniej punkty nawigacyjne o numerach od 1 do 16 [6]. Wpisywanie punktów do planu lotu przedstawia kolejny rysunek (Rys.3).



Rys. 3. Tworzenie planu lotu złożonego z wpisanych wcześniej punktów nawigacyjnych [Wodziński, 2014]

4. WYKONANIE LOTU



Rys. 4. Lot po zaprogramowanym szeregu [Wodziński, 2014]

Fotogrametryczny lot jest zadaniem, którego wykonanie wymaga posiadania pewnej wiedzy na temat układu sterowania samolotem w funkcji autopilota z załączonym programem trzymania wysokości ALT (Altitude Hold Mode), kierunku HDG (Heading Select Mode) oraz wyznaczonej

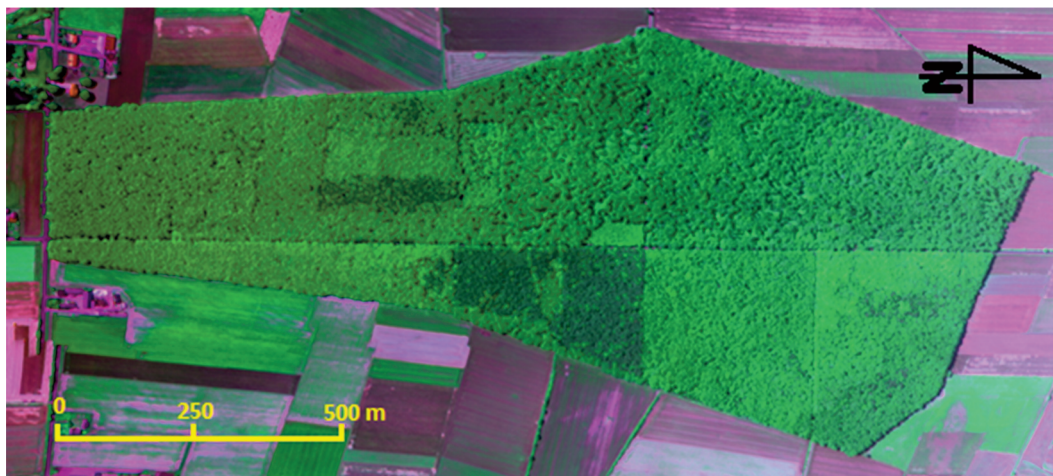
trajektorii GPS NAV. Należy pamiętać, że wyznaczone szeregi są dosyć krótkie (ok. 3 km) dlatego nie jest możliwy w pełni-automatyczny lot wzdłuż szeregów bez wspomaganie manualnego sterem kierunku przez pilota. Lot wzdłuż wyznaczonych odcinków musi odbywać się albo na całkowitym manualnym sterowaniu, albo w trybie autopilota ALT i HDG z korekcją manualną sterem wysokości lub w trybie GPS NAV z taką samą korekcją. Bez wspomnianej korekcji samolot niedokładnie utrzymuje krótkie, zaprogramowane szeregi. Poprawić ten błąd można używając orczyka (pedały sterujące sterem kierunku).

W funkcji GPS NAV poprawka nie wymusza wykonania przez pilota skomplikowanych czynności, natomiast poprawka w funkcji HDG musi się odbywać z równoczesną poprawką pokręteł HDG tak, aby samolot nie wykonywał przechylenia w przeciwną stronę do poprawki orczykowej. Lot po zaprogramowanym szeregu przedstawia rysunek 4.

Warto wspomnieć również o technice wykonywania nawrotów między kolejnymi szeregami. Niewykonalny jest precyzyjny wlot bezpośrednio w kolejny szereg oddalony o 135m, dlatego należy odlecieć nieznacznie dalej od końca szeregu i wykonać manewr tzw. łezkę (zakręt $45^{\circ}/270^{\circ}$) lub zakręt prostopadły ($90^{\circ}/270^{\circ}$). Pozwoli to na odpowiednie wejście w kolejny szereg. Zakręty należy wykonywać w funkcji HDG lub manualnie.

5. REZULTATY

Efektom wykonania lotu fotogrametrycznego jest pozyskanie zdjęć, które następnie zostają przetworzone do postaci mozaiki fotografowanego terenu. Pozyskane zobrazowania poddane są selekcji i ocenie jakości. Do przetworzenia zostają wykorzystane tylko zdjęcia wykonane nad badanym obszarem, odrzucane są zdjęcia wykonane podczas zakrętów [7]. Kamera jest uruchomiona podczas całego lotu, zdjęcia pozyskiwane są w trybie ciągłym, od momentu startu do lądowania. Wyselekcjonowane zdjęcia kopiowane są do stacji cyfrowej i składane są w programie Agisoft PhotoScan [8], efekty przedstawione zostały na rysunku 5.



Rys. 5. Mozaika fotografowanego obszaru leśnego [opracowanie własne]

6. WNIOSKI

Z przeprowadzonych prób w locie wynika, że samolot nie jest w stanie samodzielnie utrzymywać zaprogramowanych szeregów fotogrametrycznych na tak krótkich odcinkach. Lot z włączonym

autopilotem w funkcji ALT i GPS NAV musi być nieznacznie korygowany orczykiem, aby dokładnie zrealizować trasę lotu i wtedy ten sposób lotu jest najkorzystniejszy dla takich parametrów szeregów. Dla szeregów długich (pow. 10km) autopilot nie wymaga korekcji manualnej. Przy wąskiej bazie poprzecznej zakręty należy wykonywać manualnie.

Na przedstawionej mozaice widać niedokładności złożenia zdjęć. Wynikają one z niewystarczającego pokrycia poprzecznego terenu. Spowodowane jest to niedokładnym wejściem w szereg, podmuchami wiatru. Aby zlikwidować ten problem zaleca się zawęzić odstęp między szeregami ze 135m na 100m przy zachowaniu wysokości 800m i użyciu tej samej kamery [9].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wiśniowski, W. i Wolański, P., 2014, *Rola Instytutu Lotnictwa w badaniach kosmicznych*, Prace Instytutu Lotnictwa, Warszawa.
- [2] Butowtt, J. i Kaczynski, R., 2003, *Fotogrametria*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.
- [3] http://www.fotogrametria.agh.edu.pl/~aboron/studia%20stacjonarne/semestr%204/konspekty/Te mat1/PLAN-LOTu_2016.pdf
- [4] Wiśniowski, W., 2014, *Specjalizacje Instytutu Lotnictwa. Przegląd i Wnioski*, Prace Instytutu Lotnictwa, Warszawa.
- [5] <http://matrix.ur.krakow.pl/~isig/kgr/dydaktyka/cw1.pdf>
- [6] Garmin G1000, 2011, *Pilot's Guide for Cessna Nav III*. Olathe, USA.
- [7] Zawila-Niedźwiecki, T., 2013, *Teledetekcja i fotogrametria obszarów leśnych*, Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin.
- [8] Kacprzak, M. i Rotchimmel, K., 2016, *Tworzenie produktów fotogrametrycznych z wykorzystaniem zdjęć wykonanych blokiem kamer niometrycznych*, Prace Instytutu Lotnictwa, s. 120-129.
- [9] Kurczyński, Z., 2014, *Fotogrametria*, PWN, Warszawa.

NAVIGATION PREPARATION AND CONDUCTING OF PHOTOGRAMMETRIC FLIGHT WITH MANNED AIRCRAFT FITTED WITH NAVIGATION DEVICE GARMIN G1000

Abstract

The publication contains a description of a photogrammetric flight preparation on aircraft fitted with a navigation device Garmin G1000. Within the research project HESOFF conducted at the Institute of Aviation photogrammetric flights are made using a digital sensor frame camera. The accuracy of the acquired aerial image data has a decisive influence on the flight plan with the most important parameters: spatial resolution (Ground Sample Distance) and photo overlap. Performing photogrammetric flight manned aircraft the following parameters should be defined: determination of waypoints beginning and ending with a photogrammetric single strip and a distance between strips. The designated points are saved on the navigation device Garmin G1000. Next, a flight plan including the plane flight over set points in the right order is created. In-flight tests performed with the autopilot revealed difficulties in maintaining the planned direction over a distance shorter than 10 km.

Keywords: airplane, photogrammetric flight, Garmin G1000, photogrammetric strips, satellite navigation.