

Grzegorz Jaromi, Damian Kordos, Tomasz Rogalski, Paweł Rzucidło, Piotr Szczerba

Wybrane elementy badań wizyjnego układu antykolizyjnego dla lekkich oraz bezzałogowych statków powietrznych

JEL: L93 DOI: 10.24136/atest.2019.048

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W pracy omówione zostały wybrane elementy badań i praktycznych testów wizyjnego układu antykolizyjnego, projektowanego z myślą o samolotach ultralekkich i lekkich oraz bezzałogowych statkach powietrznych. Na wstępie przedstawiono aktualne wymagania formalne związane z koniecznością instalacji systemów antykolizyjnych na statkach powietrznych. Przedstawiono koncepcję systemu IDAAS (ang. Intruder Detection And collision Avoidance System for light aircraft) oraz strukturę algorytmów związanych z przetwarzaniem obrazu. Zasadniczą część pracy stanowi omówienie wybranych scenariuszy realizowanych w trakcie badań.

Słowa kluczowe: system antykolizyjny, układ wizyjny, ACAS, samoloty lekkie, bezzałogowe statki powietrzne, BSP.

Wstęp

W ostatnich kilkunastu latach ruch lotniczy zwiększył się znacząco w skali światowej [31]. Na wielu lokalnych lotniskach odnotowano w tym czasie nawet kilkukrotny wzrost natężenia wykonywanych operacji lotniczych. Niestety, obserwuje się jednocześnie również trend związany ze zwiększaniem się liczby coraz słabiej wyszkolonych pilotów amatorów, co w konsekwencji przyczynia się do coraz liczniejszych incydentów lotniczych oraz wypadków w obszarze lotnictwa niekomercyjnego [30]. W najbliższej przyszłości postępować będzie również integracja ruchu załogowych i bezzałogowych statków powietrznych we wspólnej przestrzeni powietrznej [3, 25, 10, 28, 4, 19, 18]. Zachodzące zmiany sprawiają, że zachowanie bezpieczeństwa lekkich samolotów dyspozycyjnych oraz samolotów ultralekkich zaczyna stawać się coraz większym problemem.

Projekt IDAAS (ang. Intruder Detection And collision Avoidance System for light aircraft) wychodzi naprzeciw nowym wyzwaniom, gdyż ma na celu wytworzenie zaawansowanych technicznie systemów wykrywania i unikania kolizji w ruchu lotniczym dla lekkich oraz bezzałogowych statków powietrznych. Nad rozwiązaniami nowych systemów antykolizyjnych są obecnie prowadzone prace w wielu ośrodkach na świecie [27, 6, 24, 17, 15, 11, 13, 21, 5, 9, 14]. Projekt systemu IDAAS zakłada integrację niezależnych sensorów pomiarowych i wykonanie kompaktowego modułu pomiarowo – obliczeniowego współpracującego bezpośrednio z systemami pokładowymi. Zakłada się, iż system antykolizyjny zostanie zaprojektowany, jako konfigurowalny pod względem liczby i jakości sensorów w związku z charakterystyką platform powietrznych, do których będzie przeznaczony. Podstawową zaletą systemu IDAAS będzie pełna autonomiczność i niezależność od innych przyrządów i systemów. Będzie mógł on być wykorzystywany, jako samodzielny lub uzupełniający system antykolizyjny. W trakcie realizacji projektu badaniom poddane zostaną różne typy układów i sensorów rozpoznawczych, z szczególnym uwzględnieniem systemów wizyjnych [22, 20, 16, 26, 7, 12].

1. Analiza przepisów dotyczących systemów antykolizyjnych

Pokładowy system unikania kolizji ACAS (ang. Airborne Collision Avoidance System) działa niezależnie od urządzeń naziemnych i kontrolerów ruchu lotniczego, ostrzegających pilotów o obecności innych statków powietrznych, które mogą stanowić zagrożenie kolizją. Jeśli istnieje ryzyko kolizji, system inicjuje manewr, który zmniejszy ryzyko kolizji. Standardy ACAS i zalecane praktyki są określone głównie w załączniku 10, tom IV, Konwencji o Międzynarodowym Lotnictwie Cywilnym [2]. Wiele technologii stosowanych obecnie zarówno w lotnictwie wojskowym, jak i w lotnictwie ogólnym jest rozwijanych od lat 80. XX wieku. Rozróżnia się coraz częściej systemy typu ACAS i ASAS (system zapewnienia separacji powietrznej, ang. Airborne Separation Assurance System). Termin ACAS jest używany do opisywania systemów o krótkim zasięgu, które mają zapobiegać rzeczywistym zderzeniom „metal z metalem”. Natomiast termin ASAS jest używany do definiowania systemów o większym zasięgu, używanych do utrzymywania standardowej separacji tras pomiędzy statkami powietrznymi (5 Nm/9,3 km w poziomie i 1000 ft/300 m w pionie). Algorytmy Przetwarzania Obrazu (APO) zastosowane w systemie IDAAS będą spełniać zadania realizowane przez systemy klasy ACAS.

W praktyce, w Europie od 1 stycznia 2005 roku wszystkie cywilne stałopłaty z napędem silnikowym o maksymalnej masie startowej powyżej 5700 kg lub zdolne pomieścić więcej niż 19 pasażerów, muszą być wyposażone w TCAS II w wersji 7.0 [1]. Dodatkowo, wiele samolotów państwowych i statków powietrznych lotnictwa biznesowego również jest wyposażonych w systemy tej klasy. W dniu 20 grudnia 2011 r. Komisja Europejska opublikowała przepis wykonawczy nakazujący zastosowanie ACAS II wersja 7.1 w przestrzeni powietrznej Unii Europejskiej wcześniej niż w terminach określonych w załączniku 10 ICAO (patrz poniżej):

- dla wszystkich samolotów o maksymalnej certyfikowanej masie startowej powyżej 5700 kg lub dopuszczonych do przewozu więcej niż 19 pasażerów od 1 marca 2012 r
- z wyjątkiem samolotów posiadających indywidualny certyfikat zdolności do lotu wydany przed 1 marca 2012 r., który musi być wyposażony od dnia 1 grudnia 2015 r
- samolot niewymieniony powyżej, który będzie jednak wyposażony dobrowolnie w ACAS II, musi być posiadać wersję 7.1.

W 2009 roku jedynymi implementacjami spełniającymi standardy ACAS II określone przez ICAO były wersje 7.1 systemu TCAS II (ang. Traffic Collision Avoidance System) produkowanego przez trzech producentów:

- Rockwell Collins,
- Honeywell,
- ACSS (systemy komunikacji i nadzoru lotniczego, komunikacja L-3 i Thales Avionics).

Statki powietrzne uczestniczące w badaniach APO nie mają obowiązku posiadania systemu TCAS II w wersji 7.1. W przypadku uczestnictwa w badaniach obiektów, które taki system posiadają należy tak zaplanować loty, aby nie powodować generowania ostrzeżeń i alarmów TCAS II, gdyż są one automatycznie raportowane służbom ruchu lotniczego, jako sytuacje bezpośredniego

zagrożenia w ruchu lotniczym. Realizacja badań, które będą wymuszały takie sytuacje musi zostać indywidualnie uzgodniona z organami nadzoru ruchu lotniczego.

2. Propozycja systemu wizyjnego do detekcji intruzów

Strukturę proponowanego systemu wizyjnego do detekcji intruzów w przestrzeni powietrznej przedstawiono na rys. 1. Rozwiązanie to cechuje modułowa budowa. Moduł wejściowy odpowiada za pobranie obrazu z kamery i przekazanie go do układu wstępnego przetwarzania. W kolejnym module optymalizacji odbywają się globalne operacje, mające na celu unormowanie obrazu oraz jego poszczególnych kanałów, w celu dostosowania do dalszego przetwarzania. Moduł adaptacyjny umożliwia filtrację obrazu z uwzględnieniem zakłóceń i niestabilności warunków świetlnych w czasie wykonywania lotu (rys. 2). Tematyka ta została szeroko opisana w pracy [29]. Zadanie realizowane przez moduł generatora horyzontu polega na wydzieleniu z obrazu linii modelującej horyzont. Moduł generatora horyzontu pracuje równolegle w stosunku do modułu generatora obiektów, którego zadaniem jest z kolei wykrycie na obrazie obiektów mogących stanowić potencjalnych intruzów. W module tym może odbywać się również statystyczna analiza ruchu wykrytych obiektów. Moduł generatora grafiki wyjściowej jest niezbędny do weryfikacji wizualnej i ostatecznej prezentacji działania systemu wizyjnego w trakcie lotu (rys. 3).



Rys. 2. Rezultat działania modułu adaptacyjnego: po lewej stronie obraz zakłócony, po prawej stronie obraz przetworzony

3. Przygotowanie do badań w warunkach rzeczywistych lotów

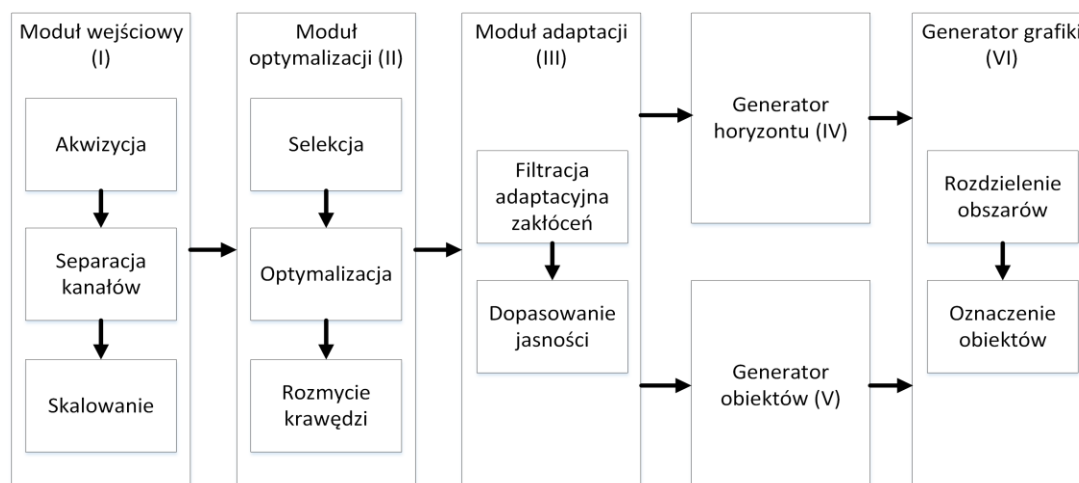
3.1. Uwarunkowania prawne

Podczas badań z wykorzystaniem załogowych statków powietrznych muszą zostać spełnione wymagania dotyczące minimalnej bezpiecznej odległości. Loty wykonywane będą w warunkach VFR (ang. Visual Flight Rules), a więc pilot będzie musiał samodzielnie zadbać o zachowanie bezpiecznej odległości od innych samolotów (statków powietrznych). Badania będą wykonywane w przestrzeni powietrznej, w której dopuszczalne są loty VFR (przestrzeń klasy B, C, D, E, F, G). W praktyce badania będą wykonywane do wysokości odpowiadającej poziomowi lotu FL095 (ok. 2900 m). Dotyczy to zarówno załogowych, jak i bezzałogowych statków powietrznych. Pod uwagę należy więc brać przestrzeń G, przestrzenie kontrolowane lotnisk (CTR, ang. Control Zone) oraz rejon kontrolowane lotnisk (TMA, ang. Terminal Control Area). W przestrzeni klasy G zezwala się na wykonywanie lotów IFR (ang. Instrumental Flight Rules) i VFR, nie zapewnia się separacji żadnym lotom, natomiast zapewnia się służbę informacji powietrznej.



Rys. 3. Obraz wyjściowy z kamery z powiększonym widokiem intruza (u góry) i przetworzony obraz wyjściowy z systemu wizyjnego z wykrytym intruzem (u dołu)

Loty VFR można wykonywać przy widzialności w locie nie mniejszej



Rys. 1. Ideowy schemat modularnego systemu wizyjnego

niż 5 km. W szczególności loty dzienne VFR w FIR (Rejon Informacji Lotniczej, ang. Flight Information region) Warszawa można wykonywać w przestrzeni niekontrolowanej w okresie od 30 minut przed wschodem słońca do 30 minut po zachodzie słońca, w przedziale wysokości na i poniżej 900 m (3000 ft) AMSL (średnia wysokość nad poziomem morza, ang. Average Medium Sea Level) lub 300 m (1000 ft) nad terenem – w zależności od tego, co jest wyższe. Przepisy dotyczące lotów z widocznością zawarto w dokumencie [23]. Badań nocnych nie planuje się. Badania z wykorzystaniem samolotów bezzałogowych realizowane w zasięgu wzroku (VLOS, ang. Visual Line of Sight) zostaną wykonane zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 27 października 2016 [8].

3.2. Określenie celu badań

Badania mają obejmować testy funkcjonalne systemu obserwacyjnego, pod względem działania algorytmów APO. Testy te mają mieć charakter ilościowy (różnice w działaniu APO na pokładzie samolotu, względem wyników badań naziemnych oraz wyników badań laboratoryjnych), jak również jakościowy (możliwości detekcji obiektów w zależności od odległości, typu obiektu, przejrzystości powietrza oraz warunków oświetlenia). Celem szczegółowym badań w locie będą zatem testy skuteczności APO wykonywane:

- w wybranych sytuacjach ruchowych, z uwzględnieniem klas obiektów podanych w ogólnym celu badań,
- w różnorodnych warunkach meteorologicznych i w różnorodnych warunkach oświetlenia.

Badania porównawcze zostaną przeprowadzone przy:

- bardzo dobrej przejrzystości powietrza i braku zachmurzenia lub małym zachmurzeniu (0/8 do 3/8),
- lekkim zamgleniu i/lub zapyleniu oraz przy jednoczesnym braku zachmurzenia lub małym zachmurzeniu (0/8 do 3/8),
- częściowym zachmurzeniu (4/8 do 6/8),
- całkowitym lub prawie całkowitym zachmurzeniu (7/8 do 8/8).

W wyniku realizacji badań zostaną określone sytuacje ruchowe, klasy obiektów oraz odległości, przy których możliwa jest detekcja intruzów. Określone zostaną również sytuacje, w których detekcja intruzów przy pomocy zastosowanych APO bądź ogólnie pojętych metod detekcji optycznej jest utrudniona lub też niewykonalna przy zastosowaniu testowanych technologii.

3.3. Wyposażenie statków powietrznych

Zgodnie z wymaganiami projektu, samolot załogowy, na którym będą zainstalowane sensory rozpoznawcze musi posiadać na wyposażeniu rejestrator pokładowy. Rejestrator ma zapewnić rejestrację następujących parametrów lotu statku powietrznego:

- położenie geograficzne,
- wysokość,
- prędkość względem ziemi,
- kąt drogi geograficzny,
- prędkość wznoszenia,
- wysokość barometryczna,
- kąty orientacji przestrzennej.

Rejestracja obejmie cały lot (od rozpoczęcia startu do zakończenia lądowania).

4. Wybrane elementy programu badań

4.1. Testy funkcjonalne w warunkach statycznych

Podstawowe testy funkcjonalne zostaną przeprowadzone po zainstalowaniu (lub umieszczeniu) wymaganego wyposażenia na pokładzie samolotu. Będą one polegały na uruchomieniu sprzętu i oprogramowania oraz sprawdzeniu poprawności funkcjonowania badanego systemu. W minimalnym zakresie należy sprawdzić:

- działanie algorytmów APO w sensie jakościowym poprzez wygenerowanie ruchu w polu widzenia kamery/kamer,
- poprawność rejestracji materiału wideo oraz informacji generowanej przez APO,
- poprawność działania systemu rejestracji danych.

W przypadku stwierdzenia różnic względem prób laboratoryjnych należy określić ich przyczyny. Wymagane poprawki lub wyjaśnienia muszą zostać dokonane przed przystąpieniem do kolejnego etapu badań.

4.2. Testy funkcjonalne w warunkach dynamicznych

Po uzyskaniu pozytywnych wyników testów statycznych należy wykonać 2-3 loty po kręgu lub jeden krótki (kilkunastominutowy) lot w rejonie lotniska. W trakcie tego lotu w zasięgu kamer systemu obserwacyjnego powinny znaleźć się ruchome obiekty naziemne. W miarę możliwości lot należy wykonać przy bezchmurnym niebie lub przy odpowiednio wysokim jednolitym zachmurzeniu, bez wyraźnie zarysowanych kształtów chmur. W trakcie tego lotu oraz po jego zakończeniu należy jakościowo zweryfikować:

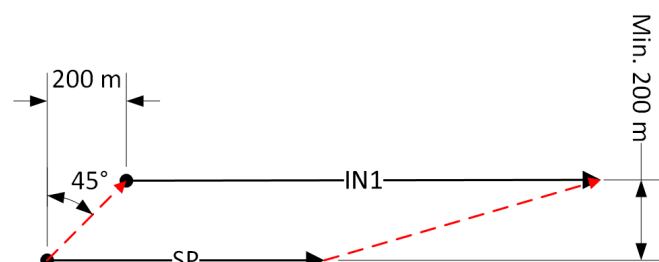
- poprawność rejestracji materiału wideo oraz informacji generowanej przez APO,
- poprawność działania systemu rejestracji danych.

Analizie ilościowej poddać należy:

- zjawiska związane z ewentualnym wykrywaniem fałszywych obiektów ruchomych na tle nieba/chmur,
- zjawiska związane z wykrywaniem rzeczywistych, jak również fałszywych obiektów ruchomych na tle ziemi (lub na ziemi),
- poprawność procesu detekcji linii horyzontu i rozróżniania obiektów znajdujących się nad i pod horyzontem.

4.3. Przykładowe scenariusze szczegółowe z jednym intruzem

Scenariusz IA będzie polegał na locie samolotu z zainstalowanymi elementami systemu IDAAS (obiekt SP) równolegle do toru lotu intruza (obiekt IN1). Zakładamy, że intruz będzie poruszał się z prędkością TAS o ok. 10 km/h większą niż SP. Scenariusz rozpocznie się w chwili, gdy intruz będzie widoczny na kursie mniejszym o 45 deg względem kursu SP. Lot będzie kontynuowany do chwili, gdy IN1 będzie widoczny na kursie mniejszym niż 15 stopni względem kursu SP (rys. 4).



Rys. 4. Scenariusz detekcji intruza na kursie równoległym (IA)

Drugi scenariusz (rys. 5) będzie polegał na locie IN1 przed masą SP. Punktem wyjścia do realizacji tego elementu lotu jest zakończenie scenariusza IA. Lot przedstawiony na rys. 5 będzie kontynuowany do chwili, gdy intruz znajdzie się na kursie większym o 45 stopni od kursu SP (45 stopni po prawej stronie od osi podłużnej SP). Po zakończeniu manewru może nastąpić przygotowanie statków powietrznych do realizacji analogicznego scenariusza, tym razem w stronę przeciwną. Schematycznie sytuacja ta jest zobrażona również na rys. 7. Po zakończeniu tego manewru SP wykona dwa zakręty w prawo o 90 stopni, zwracając uwagę na położenia IN1. Podobnie pilot IN1 wykona zakręt w lewo o 75 stopni, a następnie dwa następujące po sobie zakręty również w lewo o 45 stopni, zwracając uwagę na położenie SP (rys. 7). Po wykonaniu

tych manewrów samolot SP oraz IN1 powinny znaleźć się we wzajemnym położeniu umożliwiającym realizację scenariusza przedstawionego na rys. 6. Statki powietrzne będą od tej chwili wykonywały lot naprzeciw siebie z kursami różniącymi się o 180 stopni, jednak z offsetem nie mniejszym niż 200 m (względny bezpieczeństwa). Po minięciu się SP będzie kontynuował lot ze stałym kursem, natomiast IN1 wykona zakręt w prawo o 180 stopni, doganiając równocześnie SP1. Uzyskana wzajemna konfiguracja statków powietrznych umożliwi rozpoczęcie serii manewrów, tym razem na kierunku różniącym się o -90 stopni, względem kursu początkowego z rys. 7. W ten sposób będzie można wykonać cztery sekwencje scenariuszy na czterech różnych kursach, umożliwiających weryfikację wpływu oświetlenia na działanie APO. Planowane jest wykonanie badań dla tej samej wysokości lotu SP i IN1 oraz dla wysokości IN1 różniącej się odpowiednio o 50 m w górę i w dół. Lot będzie realizowany na wysokości wynikającej z uzyskanego zezwolenia.

W trakcie tego lotu oraz po jego zakończeniu należy jakościowo zweryfikować:

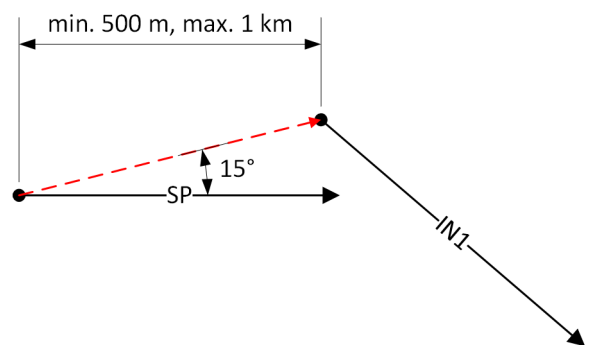
- poprawność rejestracji materiału wideo oraz informacji generowanej przez APO,
- poprawność działania systemu rejestracji danych.

Analizie ilościowej poddać należy:

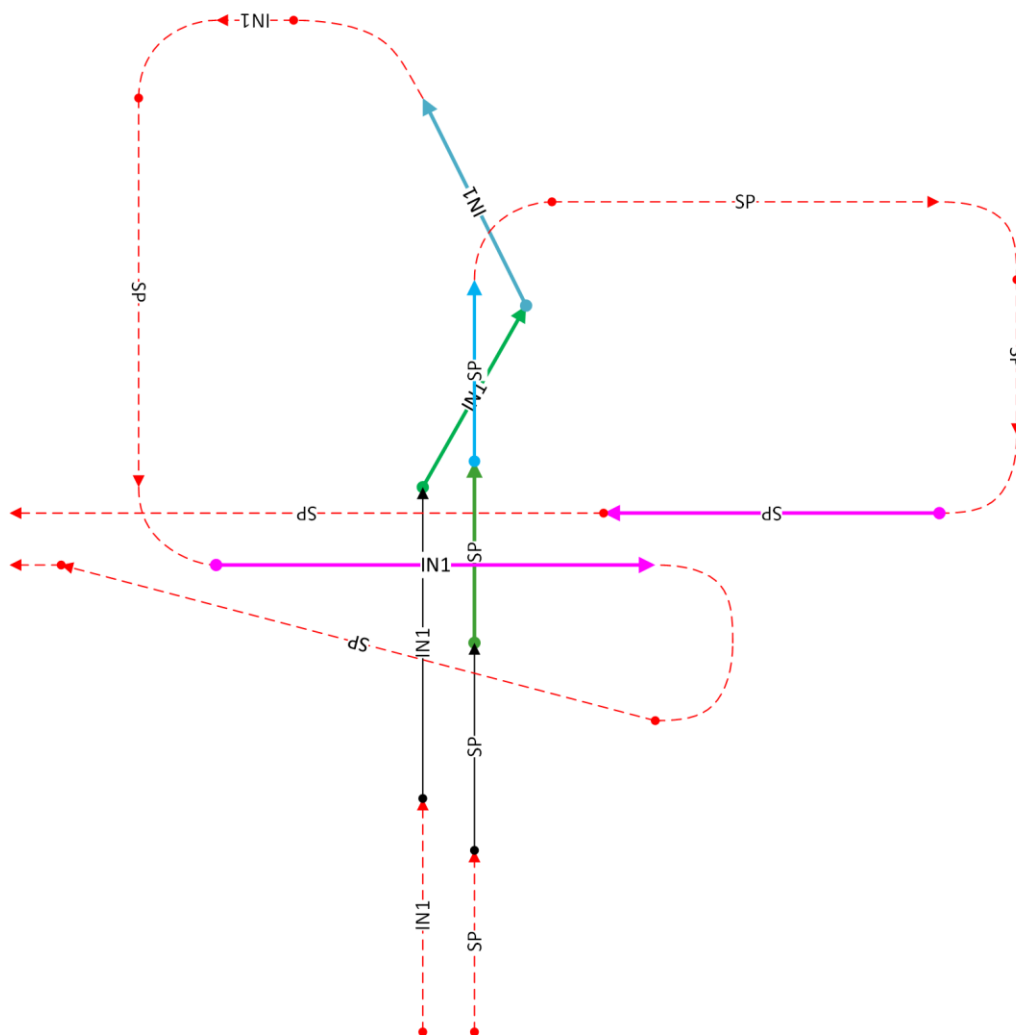
- zjawiska związane z ewentualnym wykrywaniem fałszywych obiektów ruchomych na tle nieba/chmur,
- zjawiska związane z wykrywaniem rzeczywistych, jak również

fałszywych obiektów ruchomych na tle ziemi (lub na ziemi),

- poprawność procesu detekcji linii horyzontu i rozróżniania obiektów znajdujących się nad i pod horyzontem,
- wpływ warunków oświetlenia na działanie APO,
- wpływ położenia IN1 (niżej, wyżej, ta sama wysokość) na działanie APO.



Rys. 5. Scenariusz detekcji intruza na kursie kolizyjnym, kursy o zbliżonej wartości (IB)



Rys. 7. Schemat graficzny planu lotu do realizacji scenariuszy detekcji intruza CS-23/CS-25

nak nie bliżej niż na odległość 500 m. Następnie będzie omijał szybowce z lewej strony, przelatując obok nich w odległości nie mniejszej niż 250 m. Po dokonaniu nawrotu cała sekwencja zostanie ponownie powtórzona. Planowane jest wykonanie sekwencji na czterech głównych kursach, tj. 0, 90, 190 i 270 stopni tak, aby umożliwić określenie wpływu oświetlenia słonecznego na działanie APO.



Rys. 11. Przykład detekcji dwóch intruzów w trakcie realizacji scenariusza z rys. 9: obraz wyjściowy z kamery (u góry) i przetworzony obraz wyjściowy z systemu wizyjnego (u dołu).

Na rys. 11 przedstawiono przykład detekcji dwóch intruzów w trakcie lotu pod słońce, realizowanego według scenariusza przedstawionego na rys. 9. W chwili rejestracji obrazu intruz nr 1 (z prawej na rys. 11) znajdował się w odległości 855 m od obiektu, na którym zainstalowano testowany układ wizyjny. Intruz numer 2 oddalony był natomiast o 996 m. Obydwa obiekty znajdowały się powyżej samolotu, na którym zarejestrowano materiał badawczy. Było to odpowiednio 70 m (intruz nr 1) i 69 m (intruz nr 2). Wymiary liniowe intruzów wynosiły ok. 15 m. Lot wykonywano w warunkach bezchmurnych, przy bardzo dobrej przejrzystości powietrza.

Podsumowanie

Badaniom prowadzonym z wykorzystaniem statków powietrznych towarzyszą liczne trudności i ograniczenia. Czynnikiem wpływającym na niepowtarzalność eksperymentów prowadzonych na pokładzie samolotu są przede wszystkim warunki meteorologiczne. W przypadku badań systemów wizyjnych dodatkowo sytuację komplikują zmienne warunki oświetlenia słonecznego, zależne od pory dnia i pory roku, jak również od wspomnianych powyżej warunków pogodowych. Kolejnym problemem są czynniki formalne, do których można zaliczyć m.in. sytuację ruchową. Ograniczeniem w wielu testach jest dyspozycja czasowa załogi oraz personelu obsługi naziemnej, posiadającego odpowiednie uprawnienia. Odrębny, choć niezwykle istotny problem, stanowią mogą również środki finansowe przeznaczone na testy. Właściwe przygotowanie programu badań pozwala uniknąć wielu trudności i zminimalizować konieczne wydat-

ki, choć niestety, nie wszystkie praktyczne aspekty testów są możliwe do przewidzenia na etapach analizy teoretycznej i planowania.

Podziękowania

Artykuł powstał w związku z realizacją projektu POIR.01.02.00-00-0018/15-IDAAS: „System wykrywania obiektów i unikania kolizji dla małych lub bezzałogowych statków powietrznych”. Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego; Program Operacyjny Inteligentny Rozwój 2014-2020, Działanie 1.2: Sektorowe Programy B+R. Liderem prowadzącym projekt jest EUROTECH sp. z o.o. (Mielec).



Bibliografia:

1. ACAS II equipage requirements, Eurocontrol – Supporting European Aviation, <http://www.eurocontrol.int/articles/acas-ii-equipage-requirements>, dostęp: 04.04.2018.
2. Annex 10 – Aeronautical Telecommunications – Volum IV – Surveillance Radar and Collision Avoidance Systems.
3. Bakunowicz J., Majka A., Nowak D., Walek Ł., Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa wspólnego użytkowania przestrzeni przez załogowe i bezzałogowe statki powietrzne, Lotnictwo w jednolitej europejskiej przestrzeni powietrznej. Dylematy i wyzwania. Akademia Obrony Narodowej 2015.
4. Basmadji F., Gruszecki J., Kordos D., Rzucidlo P., Development of ground station for a terrain observer-hardware in the loop simulations, AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, 2012: 4629.
5. Brzozowski B., Kordowski P., Rochala Z., Wojtowicz K., System antykolizyjny z wizualizacją otoczenia dla BSP, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika” 2013, tom 85[288], nr 4: 405-411.
6. Chamlou R., Design principles and algorithm development for two types of NextGen airborne conflict detection and collision avoidance, Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS), IEEE 2010: N7-1.
7. Christnacher F., Hengy S., Laurenzis M., Matwyschuk A., Naz P., Schertzer S., Schmitt G., Optical and acoustical UAV detection, “SPIE Security+ Defence” 2016: 99880B-99880B.
8. Dziennik Ustaw RP, Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 27 października 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków, 27 października 2016.
9. Dziubiński J., Popowski S., Stanisławski J., Detekcyjny system antykolizyjny śmigłowca z funkcją przewidywania manewru omijania przeszkód, Prace Instytutu Lotnictwa 2011: 73-93.
10. European Commission, Roadmap for the integration of civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System, Final report from the European RPAS Steering Group 2013.
11. Fasano G., Forlenza L., Tirri A. E., Accardo D., Moccia A., Multi-sensor data fusion: A tool to enable UAS integration into civil airspace, Digital Avionics Systems Conference (DASC) IEEE/AIAA 30th, 2011: 5C3-1.

12. Fu C., Duan R., Kircali D., Kayacan E., Onboard Robust Visual Tracking for UAVs Using a Reliable Global-Local Object Model, "Sensors" 2016, nr 16(9): 1406.
13. Ganguli A., Avadhanam S., Bai H., Yadegar J., Utt J., McCalmont J., Multiple intruder tracking using a laser enhanced EO/IR Sense and Avoid system, "Infotech@ Aerospace" 2011: 1478.
14. Graffstein J., Antykolizyjny system radarowy i jego współpraca z pokładowymi systemami automatycznego sterowania, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika” 2013, tom 85[288], nr 3: 259-266.
15. Jenie Y. I., Van Kampen E. J., Ellerbroek J., Hoekstra J., Conflict detection and resolution system architecture for unmanned aerial vehicles in civil airspace, AIAA 2015.
16. Lyu Y., Pan Q., Zhao C., Zhu H., Tang T., Zhang Y., A vision based sense and avoid system for small unmanned helicopter, International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), IEEE 2015: 586-592.
17. McCalmont J., Utt J., Deschenes M., Taylor M., Sanderson R., Montgomery J., McDermott D., Sense and avoid technology for unmanned aircraft systems, Defense and Security Symposium, International Society for Optics and Photonics 2007: 65660P-65660P.
18. Nowak D., Rogalski T., Pruchniak M., Wybrane metody sterowania bezzałogowym statkiem powietrznym w fazie lądowania, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe” 2017, nr 12.
19. Orkisz M., Majka A., Regionalne porty lotnicze szansą rozwoju systemu transportu samolotami lekkimi, „Przegląd Komunikacyjny” 2012, nr 2: 48-53.
20. Oszust M., Kapuscinski T., Warchol D., Wysocki M., Rogalski T., Pieniazek J., Kopecki G. H., Ciecinski P., Rzucidlo P., A vision-based method for supporting autonomous aircraft landing, "Aircraft Engineering and Aerospace Technology" 2018, 90(6): 973-982, <https://doi.org/10.1108/AEAT-11-2017-0250>.
21. Pazur A., Szelmanowski A., Borowski J., Michalak S., Badania modelowe systemów antykolizyjnych w zakresie poprawy bezpieczeństwa lotniczych systemów transportowych. „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe” 2013, nr 14(3): 379-387.
22. Pieniążek J. Investigation of Image Based Measurement for Aircraft Approach, 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), IEEE 2018: 618-623.
23. Polska Agencja Żeglugi Powietrznej, AIP Polska, ENR 1.2-1, 7 grudnia 2017.
24. Ramasamy S., Sabatini R., Gardi A., Avionics sensor fusion for small size unmanned aircraft sense-and-avoid, "Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace)", IEEE 2014: 271-276.
25. Schock P., Civil Air Space Invaders – the integration of drones in commercial aviation, Norton Rose Fulbright 2014.
26. Scholz N., Moll J., Mälzer M., Nagovitsyn K., Krozer V., Random bounce algorithm: real-time image processing for the detection of bats and birds, "Signal, Image and Video Processing" 2016, 10(8): 1449-1456.
27. Syler R. P., Airborne intruder detection considerations, No. SAND-85-2236; CONF-860519-4, Sandia National Labs., Albuquerque, NM (USA), 1986.
28. Szczepański C., UAVs and their avionic systems: development trends and their influence on Polish research and market, "Aviation" 2015, 19.1: 49-57.
29. Szczerba P., Rzucidlo P., Szczerba Z., Drupka G., Vision system supporting the pilot in variable light conditions "Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability" 2019, 21 (1): 60–67, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2019.1.8>.
30. Szydłowska B., Lotnictwo nie dla każdego, <https://www.samoloty.pl/artykuly-lotnicze/10570-lotnictwo-nie-dla-kadego>, data dostępu: 2018.10.31.
31. The World Bank, Air transport, passengers carried, <https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR>, data dostępu: 2018.10.31.

Selected elements of visual inspection of the collision avoidance system for light and unmanned aircraft

The work discusses selected elements of research and practical tests of the vision anti-collision system, designed for ultralight and light aircraft and unmanned aerial vehicles. At the outset, current formal requirements related to the necessity of installing anti-collision systems on aircraft are presented. The concept of IDAAS (Intruder Detection And collision Avoidance System for light aircraft) and the structure of algorithms related to image processing were presented. The main part of the work is to discuss the selected scenarios implemented during the research.

Keywords: anti-collision system, vision system, ACAS, light aircraft, unmanned aerial vehicle, UAV.

Autorzy:

mgr inż. **Grzegorz Jaromi** – EUROTECH sp. z o. o., Mielec, g.jaromi@eurotech.com.pl

dr inż. **Damian Kordos** – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania, d_kordosl@prz.edu.pl

dr hab. inż. **Tomasz Rogalski**, prof. PRZ – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania, orakl@prz.edu.pl

dr inż. **Paweł Rzucidło** – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania, pawelrz@prz.edu.pl; EUROTECH sp. z o. o., Mielec,

mgr inż. **Piotr Szczerba** – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania, psz@prz.edu.pl