

ANALIZA AKTUALNYCH METOD DETEKCJI BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH (DRONÓW)

Streszczenie

W artykule podjęto się przedstawienia i analizy aktualnie publikowanych systemów detekcji pod kątem ich wykorzystania do zabezpieczenia obszarów chronionych ze szczególnym uwzględnieniem lotnisk. Przedstawiono metody wykorzystywane do detekcji BSP. Materiał przedstawia również najnowsze systemy unieszkodliwiania bezzałogowych statków powietrznych zarówno dla zastosowań cywilnych jak i wojskowych.

WSTĘP

Aktualnie trudno zliczyć sposoby wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych (BSP) zwanych potocznie dronami (UAV - Unmanned Aerial Vehicle) zarówno dla zastosowań amatorskich jak i profesjonalnych. Koszt nabycia dronów do zastosowań rekreacyjnych jest coraz niższy co powoduje bardzo intensywny wzrost lotów wykonywanych przez operatorów bez specjalistycznej wiedzy związanej z przestrzenią powietrzną. Powoduje to jednocześnie generowanie coraz większej liczby zagrożeń, które można generalnie podzielić na następujące kategorie:

- zagrożenia w transporcie w tym w ruchu lotniczym (kolizja UAV z pojazdem, statkiem powietrznym lub odwrócenie uwagi kierującego);
- terroryzm (bezpieczeństwo transportu i infrastruktury krytycznej, obszary gęsto zaludnione, imprezy masowe);
- przemyt (granice – omińnięcie odprawy, obiekty ochrony specjalnej);
- zagrożenia dla mienia;
- szpiegostwo (naruszenie prywatności, szpiegostwo przemysłowe, podsłuch, szpiegostwo instytucji i osób publicznych, agencji rządowych, instalacji wojskowych);
- naruszenie prywatności (hałas, dyskomfort, poczucie zagrożenia);
- zagrożenia dla środowiska naturalnego (hałas, ogień, odstraszanie dzikich zwierząt).

Przedstawione zagrożenia nie mają niestety jedynie charakteru teoretycznego, gdyż przykładowo w zakresie naruszenia stref kontrolowanych lotnisk wyliczyć można szereg incydentów, które miały miejsce w ostatnim czasie. Główne z nich to [1]:

- lot siedmio-kilogramowym BSP wyposażonym w sprzęt filmowy w osi podejścia instrumentalnego na lotnisku Łódź Lublinek (luty 2014);
- lot i zrzucenie flary na wojskową część lotniska Kraków – Balice – trwają postępowania służb w tym zakresie (marzec 2014);
- lot BSP (helikopter) około 20 stóp (6,1 m) od skrzydła Airbus A320 podchodzącego do lądowania na wysokości 200 m – London Heathrow Airport – EGLL – RWY 09L (22 lipca 2014) – Brytyjski Urząd Lotnictwa Cywilnego zaklasyfikował to zdarzenie jako „poważne ryzyko kolizji” – pomimo akcji policji i innych służb nie znaleziono sprawcy;
- lot BSP w bezpośrednim sąsiedztwie dróg startowych lotniska Manchester Airport (20 kwiecień 2015) – spowodowało to zawieszenie operacji startów i lądowań lotniska na 20 minut. 4 przylatujące samoloty zostały przekierowane na inne lotniska.

Pomimo zaangażowania helikoptera policji nie zidentyfikowano operatora BSP;

- lot BSP sto metrów od samolotu Lufthansy – Lotnisko Chopina – Warszawa CTR EPWA (20 lipiec 2015) – poważny incydent 1425/15;
- lot BSP i filmowanie bezpośrednio nad pasem lotniska Istanbul Ataturk Airport lądujących i startujących samolotów pasażerskich (wrzesień 2015).



Rys. 1. Lot i zrzucenie flary przez BSP na wojskową część lotniska Kraków – Balice [3]

Według statystyk FAA do września 2015 piloci zgłosili 700 incydentów związanych z bliską obecnością BSP wobec załogowych statków powietrznych czyli trzy razy więcej niż w roku 2014 [2].

Coraz większa liczba zgłaszanych naruszeń strefy kontrolowanej lotnisk CTR (ang. controlled traffic region) oraz brak efektywnych możliwości zapobiegania i działań w trakcie zdarzenia dowodzi faktu konieczności szybkiego opracowania i wdrożenia systemu detekcji bezzałogowych statków powietrznych oraz likwidacji BSP naruszających chronione strefy powietrzne.

Na Wydziale Transportu, Katedry Technologii Lotniczych Politechniki Śląskiej opracowano system oparty o analizę sygnałów radiowych aparatury RC wsparty analizą obrazu w paśmie podczerwieni. System poddano wstępnym testom które wykazały skuteczność zastosowanych narzędzi do detekcji BSP.

1. OGÓLNY PODZIAŁ METOD DETEKCJI BSP

Aktualnie, możliwości detekcji BSP oparte są o 4 główne kierunki pozyskiwania informacji:

- analiza obrazu widzialnego oraz w paśmie podczerwonym;
- pomiar hałasu oraz analiza częstotliwości charakterystycznych dla BSP;

- detekcja określonych sygnałów radiowych w tym źródeł sygnału WiFi oraz aparatury RC, systemu wizyjnego FPV lub telemetrii;
- wykorzystanie radarów aktywnych i pasywnych;
- inne niepublikowane metody detekcji.

Z uwagi na różnorodność metod sterowania oraz zagrożenia jakie niesie ze sobą BSP [1] niezbędne jest stosowanie dla ochrony stref zastrzeżonych np. CTR lotnisk systemów wykorzystujących więcej niż jedną metodą detekcji. Przykładowy system proponowany przez autorów publikacji [3] stanowi komplementarne podejście do wykrywania BSP w oparciu o metody detekcji transmisji radiowych oraz termowizji.

2. PRZYKŁADY BUDOWY SYSTEMÓW DETEKCJI I ANALIZA MOŻLIWOŚCI ICH ZASTOSOWANIA DO OCHRONY CTR W LOTNICTWIE

Analiza literaturowa wykazała, że aktualnie istnieją systemy wykrywania BSP. Systemy te jednak mają ograniczone własności funkcjonalne, wynikające bądź to ze względów ekonomicznych, bądź technologicznych i zależą od odbiorcy do którego dedykowany jest dany system. Istniejące systemy do zastosowań cywilnych generalnie nie nadają się do bezpośredniego wykorzystania w warunkach lotnisk m.in. z uwagi na konieczność pracy jako urządzenie pasywne działające w środowisku z silnymi zakłóceniami i posiadające możliwość rozróżnienia BSP od innych statków powietrznych. Systemy wojskowe natomiast posiadają możliwość detekcji na wymaganym obszarze wraz z niszczeniem BSP jednak działają z wykorzystaniem systemów aktywnych w tym radarów pierwotnych i laserów dużej mocy co jest niedopuszczalne w obszarze lotniska.

Systemy wizyjne wykorzystujące analizę obrazu widzialnego stanowią jedną z najtańszych i najmniej zaawansowanych technologicznie metod. Analiza obrazu jest tu analogiczna do systemów zabezpieczenia mienia. W obszarze lotniska niezbędne jest jednak dodatkowo odróżnienie BSP od innego statku powietrznego i praca również w warunkach niewielkiej widzialności oraz w nocy. Pokazany na rys. 2. przykład wykorzystania analizy obrazu pokazuje, że metoda ta jest relatywnie łatwa do wdrożenia i nisko kosztowa. Jednocześnie metoda analizy obrazu ma znaczne ograniczenia związane z zakłóceniami (opady deszczu, śniegu, mgła lub noc) oraz charakteryzuje się niewielkim zasięgiem. Trudności w detekcji BSP pojawiają się również w przypadku przedstawionym na rys 2 tj. gdy dron jest usytuowany nie na tle jasnego nieba a na tle ciemnego obiektu np. lasu.



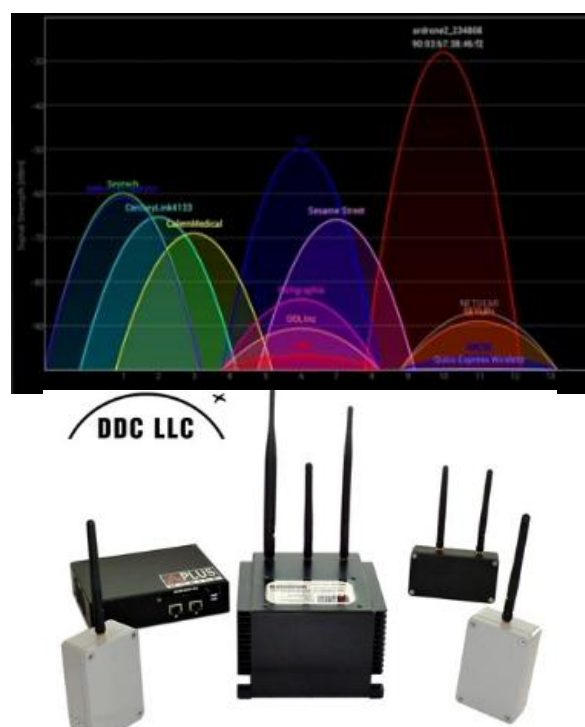
Rys. 2. Przykład obrazu do analizy systemu detekcji BSP

Systemy wykorzystujące pomiar i analizę dźwięku na określonych częstotliwościach są skuteczne dla zastosowań na ograniczonym obszarze. Dodatkowo w pobliżu lotniska istnieje możliwość powstania fałszywych alarmów generowanych poprzez inne statki powietrzne. Przykładem realizacji systemu opartego o analizę dźwięku jest system na rys. 3, którego, wg deklaracji producenta [4] czujnik dookólny ma zasięg ok. 100 m natomiast kierunkowy do 1 km.



Rys. 3. System detekcji dronów oparty o pomiar i analizę dźwięku [4]

Systemy oparte o wykrywanie nowych niezarejestrowanych sieci WiFi, które są wykorzystywane do sterowania przez smartfony lub tablety przez część dronów jest rozwiązaniem skutecznym jednak wyłącznie dla tej grupy BSP. Zasięg działania tych dronów a poprzez to i tego systemu jest niewielki. Istnieją systemy, które wyposażono również w skanery częstotliwości wykorzystywanych do sterowania BSP poprzez komunikację radiową RC (np. 1MHz - 6.8GHz [5]). Przykład tego typu systemu pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Detekcja sygnału WiFi lub detekcja sygnału aparatury sterującej RC [5]

Profesjonalne bezzałogowe statki powietrzne o dużym zasięgu pracy sterowane są nie poprzez sieć WiFi lub Bluetooth a drogą radiową z wykorzystaniem aparatury RC najczęściej działającej na częstotliwości: 2,4 GHz; 1,2 GHz lub 433 MHz wraz z telemetrią oraz FPV (obrazem zdalnym z kamery zamontowanej na BSP) pracującym na częstotliwości np. 5,8 GHz.

Istnieją również systemy wykorzystujące oprócz analizy dźwięku również analizę obrazu widzialnego oraz obrazu w paśmie podczerwonym (nie jest to zakres termowizji). Przykładem takiego rozwiązania jest system pokazany na rys. 7. System ten według producenta [6] posiada zasięg 100 m przy czym zasięg skanera częstotliwości audio 192 kHz oraz 40 kHz to 50-80 metrów. System zaopatrzone jest w kamera do analizy obrazu w dzień (60-120°) oraz w nocy w paśmie podczerwonym (nie jest to kamera termowizyjna).



Rys. 7. Kierunkowy system detekcji BSP w oparciu o analizę obrazu i analizę dźwięku[6]

System ten powinien charakteryzować się dużą skutecznością działania w warunkach użytku indywidualnego jednak brak możliwości zastosowania tego systemu do ochrony obszaru lotniska wynika ze zbyt małego zasięgu oraz działania kierunkowego a nade wszystko możliwości powstawania fałszywych alarmów od innych niż BSP statków powietrznych.



Rys. 8. System radaru aktywnego do wykrywania ptaków [8]

Jednym z ważniejszych możliwości detekcji BSP jest wykorzystanie radarów. Poza wykrywaniem statków powietrznych, systemy oparte o radar aktywny testowano do tej pory również do detekcji ptaków [7] i [8]. Radary tego typu musiały cechować się znacznie większą czułością i wykorzystywały często efekt Dopplera (możliwość

wykrycia BSP wyłącznie w ruchu). Aktualnie wykorzystuje się w tym celu również radary MIMO (Multiple Input MultipleOutput).

Wykorzystanie radarów w obszarze chronionym lotnisk w tym w obszarze strefy kontrolowanej CTR nie pozwala jednak na wykorzystanie radarów aktywnych.

Do detekcji oraz unieszkodliwiania zaproponowano również system AUDES (Anti-UAV Defence System) [12]. System ten bazuje na skanowaniu częstotliwości sterujących BSP, radarze pasywnym E-scan, śledzeniu z wykorzystaniem systemu wizyjnego oraz termowizyjnego a następnie unieszkodliwianiu przez zakłócanie radiowego (RC) sygnału sterującego BSP oraz sygnału GPS.



Rys. 9. System AUDES - Anti-UAV Defence System [12]

Według producenta system ten jest w stanie wykryć BSP z odległości 8 km. Minimalny wykrywany obiekt to 0,01 m². Detekcja tego systemu bazuje na radarze pasywnym. System nie bada obszaru chronionego z wykorzystaniem kamery termowizyjnej i nie skanuje obecności łącz radiowych sterujących BSP. Kamera termowizyjna w systemie AUDES jest wykorzystywana wyłącznie do wizualizacji BSP namierzonego wcześniej przez radar pasywny.

3. INNE SYSTEMY UNIESZKODLIWIANIA BSP

Poza systemami detekcji powstają również systemy unieszkodliwiania BSP na drodze radiowej. Przedstawiony na rysunku 5 system DroneDefender [9] wykorzystuje zagłuszanie sygnału sterowania oraz sygnału GPS. Jak podaje jednak sam producent nie ma możliwości testowania tego urządzenia ze względu na regulacje prawne i zakaz nadawania na zastrzeżonych częstotliwościach. System ten nie nadaje się tym samym do wykorzystania w normalnych warunkach do portu lotniczego gdyż jest systemem aktywnym w dodatku skutecznie zakłóca system GPS, który jest coraz częściej wykorzystywany w systemach nawigacji w lotnictwie.



Rys. 10. System unieszkodliwiania - DroneDefender [9]

Do unieszkodliwiania dużych bezzałogowych statków powietrznych oraz rakiet wykorzystuje się aktualnie rozwiązania wojskowe

oparte o lasery dużej mocy. Systemy takie testowane były przez wojsko w USA (Laser Weapon System - LaWS) oraz w Niemczech (firma Rheinmetall [10]) – rys 11. Niemiecka firma podaje, że testowane lasery tego typu mają moc 100 kW i zasięg strzału do 10 km. Według producentów będą one dostępne w 2016 roku.



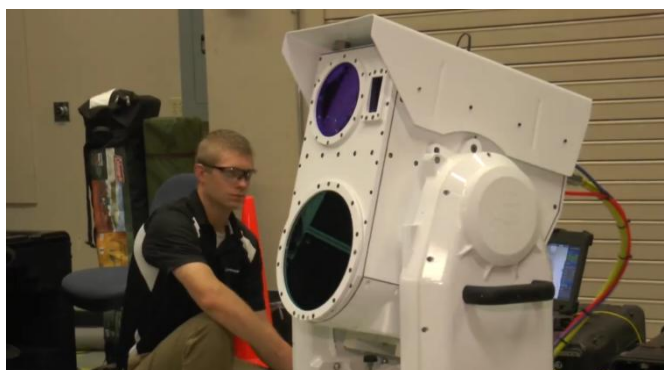
Rys. 11. System 4-Barrel Laser Gatling Gun firmy Rheinmetall [10]

Jednym z bardziej znanych systemów tego typu jest system ADAM (AreaDefenseAnti-Munitions) firmy Lockheed Martin – rys. 12.



Rys. 12. System ADAM do zwalczania rakiet, łodzi i dużych BSP firmy Lockheed Martin [9]

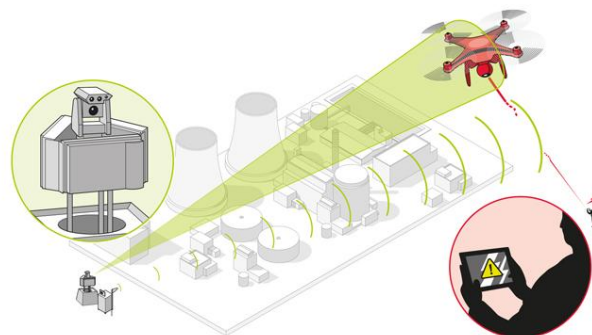
Według producenta system ADAM jest w stanie śledzić cel w odległości do 5 km i zniszczyć cel do 2 km.



Rys. 13. System Silent Strike firmy Boeing [11]

W systemie pokazanym na rys. 13 również wykorzystano laser do zwalczania BSP oraz system wizyjny do namierzania celu.

Innym wojskowym systemem przeznaczonym do detekcji małych obiektów w tym bezałogowych statków powietrznych jest system opracowany przez firmę Airbus Defence & Space – rys. 14. System ten ma w przyszłości bazować na rozwiązaniach militarnych firmy i wykrywać BSP z wykorzystaniem operacyjnego radaru aktywnego z odległości 5-10 km oraz unieszkodliwiać poprzez zakłócanie sterowania RC oraz sygnału GPS.



Rys. 14. System firmy Airbus Defence & Space [14]

Przedstawione systemy unieszkodliwiania dronów stanowią ważny element walki z BSP jednak ich zastosowanie pozostaje ciągle poza zakresem możliwości technicznych oraz prawnych do użytku cywilnego tym bardziej do użytku w strefie chronionej lotniska.

WNIOSKI I KIERUNKI DALSZYCH PRAC

Przeprowadzona analiza literaturowa oraz prace własne wykazały, że istnieją systemy wykrywające BSP do różnych zastosowań. Przeważająca większość systemów to układy oparte o jeden sposób detekcji wykrywające w ten sposób tylko część dronów i to w bardzo ograniczonym obszarze. Systemy te nadają się do zastosowań indywidualnych jednak nie spełniają wymagań stawianych systemom detekcji chroniącym obszar chroniony lotniska. Istnieją również systemy wojskowe, które wykorzystują zarówno skanery radiowe jak i radary z tym, że radary te są radarami aktywnymi co eliminuje ich cywilne wykorzystanie w obszarze lotnisk. Systemy wojskowe są ponadto wyposażone w systemy likwidacji BSP z wykorzystaniem laserów dużej mocy. Spośród przedstawionych systemów i bazując na informacjach ogólnodostępnych można stwierdzić, że jedynym systemem detekcji, który może spełnić wymagania lotnisk jest system AUDES. Producent nie przedstawił jednak szczegółowych danych oraz przykładów działania tych systemów w obszarze lotnisk, gdzie istnieje konieczność rozróżniania różnego typu statków powietrznych od BSP oraz innych elementów będących w ruchu. Według informacji producenta system ten nie skanuje częstotliwości radiowych charakterystycznych dla BSP. Znamienny jest również fakt wykorzystywania bardzo wysokich częstotliwości dla radaru pasywnego tj. 15,7 – 16,2 GHz przy jednoczesnym braku informacji o źródle tego sygnału, które pozwalałoby na uzyskiwanie deklarowanej detekcji obiektów o powierzchni 1 cm² z odległości 8 km. Jeżeli przedstawione parametry techniczne potwierdzą się w trakcie wdrożenia całego systemu AUDES na lotniskach (do tej pory wdrażano radary) to system ten będzie skutecznie eliminował problem BSP w obszarach chronionych. Jako kierunki dalszych prac należy brać pod uwagę możliwość budowy systemów komplementarnych mających różne uzupełniające się systemy detekcji (np. system radiowy, termowizyjny i radarowy) a poprzez to wykrywające możliwie wszystkie typy BSP wymienione w publikacji [1]. Celowe wydaje się również poszukiwanie nowych rozwiązań w zakresie

neutralizacji BSP, gdyż nie wszystkie rodzaje sterowania BSP można zagłuszyć systemami przedstawionymi aktualnie w artykule tj. zagłuszanie częstotliwości 2,4 GHz oraz częstotliwości GPS.

BIBLIOGRAFIA

1. Andrzej Fellner, Adam Mańka, Ilona Mańka: analiza zagrożeń wynikających z użytkowania bezzałogowych statków powietrznych (dronów), TTS, 12/2015;
2. Szymański P., Sosin F., Ochwat R., Włodarczyk M. Prezentacja konferencji Bezpieczeństwa w Lotnictwie Cywilnym pt. "Czy latamy bezpiecznie?" – Urząd Lotnictwa Cywilnego - 27 października 2015;
3. Fellner A., Mańka A.: *Safety and security in transport with using UAV (drone)*, materiały publikowane „Mezinárodní konferenci Aplikacesim-látorů vevýcvikuleckých specialistů”, Ostrava – Mošnov 2015;
4. Droneshield, <https://www.droneshield.com/omnidirectional-sensor>, 15.11.2015;
5. Personal Drone Detection System, <http://www.ddcountermeasures.com>, 15.11.2015;
6. System Dedrone, <http://www.dedrone.com/en/>, 15.11.2015;
7. Bioseco, <http://bioseco.com/oferta>, 15.11.2015;
8. ROBIN Radar System, <http://www.robinradar.com>, 15.11.2015;
9. System ADAM firmy Lockheed Martin, <http://www.lockheedmartin.com/us/products/ADAM.html>, 15.11.2015;
10. 4-Barrel Laser Gatling Gun, <http://www.popularmechanics.com/military/weapons/news/a17425/germanys-got-a-4-barrel-laser-gatling-gun/>, 15.11.2015;
11. System Silent Strike, <http://www.boeing.com/features/2015/08/bds-compact-laser-08-15.page>, 15.11.2015;
12. Blighter AUDS Anti-UAV Defence System, <http://www.blighter.com/products/blighter-auds-anti-uav-defence-system.html>, 15.11.2015;
13. System firmy Airbus Defence & Space, <https://airbusdefenceand-space.com/newsroom/news-and-features/counter-uav-system-from-airbus-defence-and-space-protects-large-installations-and-events-from-illicit-intrusion/>, 15.11.2015.

ANALYSIS OF CURRENT DETECTION METHODS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (DRONES)

Abstract

The article present and analyze the currently published detection systems in terms of their use to safety insurance in protected areas with special attention to airport. Article presents also typical methods used to detection BSP. The material contains also the latest systems and unmanned aerial vehicle disposal for both applications civil and military.

Autorzy:

dr hab. inż. naw. **Andrzej Fellner** – Katedra Technologii Lotniczych Wydział Transportu Politechnika Śląska, andrzej.fellner@polsl.pl
mgr inż. **Bogdan Mańka** – Katedra Technologii Lotniczych Wydział Transportu Politechnika Śląska*, bogdanmanka13@gmail.com
dr inż. **Adam Mańka** – Katedra Technologii Lotniczych Wydział Transportu Politechnika Śląska, adam.manka@polsl.pl