

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

im. Jarosława Dąbrowskiego

WYDZIAŁ CYBERNETYKI



PRACA DYPLOMOWA

STUDIA II^o

Temat pracy: **MOBILNY SYSTEM ZARZĄDZANIA I STEROWANIA BEZPILOTOWYM STATKIEM LATAJĄCYM**

INFORMATYKA

.....
(kierunek studiów)

SYSTEMY INFORMATYCZNE

.....
(specjalność)

Dyplomant:

Norbert WASZKOWIAK

Promotor:

dr inż. Michał DYK

Warszawa 2022

OŚWIADCZENIE

*Wyrażam zgodę / ~~nie wyrażam zgody~~ **
na udostępnianie mojej pracy przez Archiwum WAT

Dnia

.....

(podpis)

* *Niepotrzebne skreślić*

Spis treści

Wstęp	5
Rozdział I. Prezentacja zagadnienia bezpilotowych statków latających oraz koncepcji ich wykorzystania	6
I.1. Historia BSP	6
I.2. Technologia i producenci BSP	10
I.3. Zastosowania BSP	10
I.4. Dostosowywanie drona do wymagań użytkownika	11
Rozdział II. Przegląd i prezentacja technologii mobilnych z uwzględnieniem aspektów tworzenia aplikacji i komunikacji M2M	12
II.1. Komunikacja M2M	12
II.2. Technologie komunikacji M2M	13
II.3. Komunikacja bezprzewodowa w dronach konsumenckich	15
II.4. Sterowanie dronami za pomocą API dostarczonego od producenta	21
Rozdział III. Projekt mobilnego systemu zarządzania i sterowania BSP	23
III.1. Wymagania funkcjonalne	23
III.2. Wymagania pozafunkcjonalne	23
III.3. Stos technologiczny	23
III.4. Uzasadnienie warstwy pośredniczącej	23
III.5. Wysokopoziomowy diagram systemu	23
III.6. Diagram komponentów	24
III.7. Diagram klas i sekwencji	24
III.8. Wykorzystane urządzenia	24
Rozdział IV. Implementacja systemu	25
Rozdział V. Testy systemu oraz prezentacja użycia na wybranym case study	26
V.1. Scenariusz testowy autonomicznego lotu pomiędzy dwoma punktami	26
V.2. Scenariusz testowy autonomicznego lotu patrolowego	26
Rozdział VI. TMP	27
VI.1. Tytuł podrozdziału	27
VI.2. Tytuł podrozdziału	27
Podsumowanie	30
Bibliografia	31
Spis rysunków	34

Spis tabel.....	34
Załączniki.....	35

Wstęp

o skrotach bsp

Rozdział I. Prezentacja zagadnienia bezpilotowych statków latających oraz koncepcji ich wykorzystania

text

I.1. Historia BSP

I.1.1. Definicja BSP

W nomenklaturze związanej z domeną bezpilotowych statków latających można znaleźć wiele tożsamyh terminów na określanie bezpilotowy statek latających, są to m. in.:

- Bezzałogowy statek powietrzny, BSP (ang. *unmanned aerial vehicle*, UAV);
- Bezzałogowy system powietrzny (ang. *unmanned aerial system*, UAS);
- Samolot zdalnie sterowany (ang. *remotely piloted aircraft*, RPA);
- Dron (ang. *drone*),

Wszystkie terminy odnoszą się do jednego obiektu i będą w tej pracy używane zamiennie. Każdy z tych terminów kładzie nacisk na inną cechę która kwalifikuje takich wechikuł jako dron. Amerykański pisarz zajmujący się zagadnieniami systemów bezzałogowych i technologii obronnych, Kelsey Artheon na łamach czasopisma "Popular Science" definiuje to pojęcie następująco: "dron oznacza każdy bezzałogowy zdalnie sterowany pojazd latający, bez względu na to czy jest to mała, sterowana radiem helikopter-zabawka, czy też ważący 14,5 tony Global Hawk, wart 104 mln dolarów. Jeżeli coś lata i jest sterowane przez pilota z ziemi, to pasuje do potocznej definicji drona".¹ [1]

Warunkiem koniecznym według autora do zakwalifikowania wechikułu jako bezzałogowy statek powietrzny są:

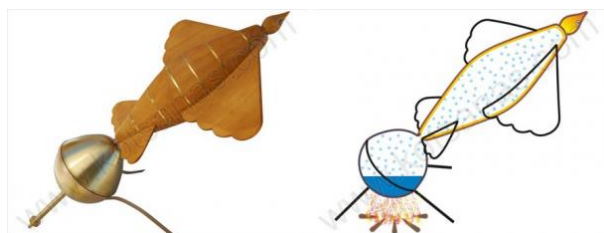
- **bezpilotowość** - wechikuł na swoim pokładzie nie posiada pilota
- **dwukierunkowość** - wechikuł musi mieć możliwość powrotu/wylądowania. Jest to podstawowa cecha odróżniająca drony od pocisków manewrujących,
- **sterowalność** - możliwość zmiany kierunku lotu w trakcie jego wykonywania

I.1.2. Błędnie sklasyfikowane wechikuły

Po zdefiniowaniu czym jest dron, można się zastanowić co było pierwszym elementem spełniającym tą definicję. Autor tej pracy, przyjmuje, że kluczowym elementem umożliwiającym zakwalifikowanie obiektu jako dron jest możliwość zmiany trajektorii lotu w trakcie jego działania. W literaturze często wskazywane są dwa obiekty jako

¹[2]

prekursory dronów, tzn. gołąb Archytasa z Tarentu i balony zawierające ładunki wybuchowe wykorzystane w konflikcie między Austrią i Wenecją w 1849r. Pierwszy rzekomy prekursor nie umożliwia sterowania obiektem po jego wystartowaniu, więc tym samym nie jest to zgodne z przytoczonymi definicjami. Ten wynalazek można uznać za pierwszą raketę, robota, ale nie drona. Drugi przykład, balony na gorące powietrze również nie mogą zostać uznane za dron z tego samego powodu. W dodatku pomysł austriaków zakończył się niepowodzeniem, ponieważ wiatr zwał balony na ich własne pozycje. [1].



Rys. 1. Latający gołąb Archytasa z Tarentu

Źródło: <https://input.niezalezna.pl//259fef5fd.jpg>

I.1.3. Pierwszy dron

Podczas I wojny światowej podjęto liczne próby skonstruowania bezpilotowych statków latających, ale żaden z nich nie został ukończony na przed skończeniem wojny. Przykładowo wechikuł Kettering Bug, był w stanie dolecieć na odpowiednią odległość, ale jego sterowanie polegało na wyliczeniu przez operatora dokładną liczbę obrotów silnika, lecz w takim wypadku bliżej takiemu samolotowi bliżej do torpedy niż do drona.

W 1931r. Królewskie Siły Powietrzne (ang. Royal Air Force) na podstawie samolotu szkolnego *De Havilland DH-60T "Tiger Moth"* opracowali pierwszy bezpilotowy statek powietrzny *DH-82B "Queen Bee"*. Samolot ten miał służyć jako ruchomy cel do ćwiczeń dla obsługi dział przeciwlotniczych, sterowany przez pilota za pomocą fal radiowych. Jego oficjalna prezentacja została jednak przerwana, ponieważ ówczesne systemy obrony powietrznej były mało skuteczne, do tego stopnia, że strzelającym skończyła się amunicja, zanim zestrzelili oni bezpilotowy samolot. Wechikuł też spełniał wszystkie wymagania określone wcześniej przez autora, więc uznaje on go za pierwszego drona.[9][1]

Równolegle w tym samym okresie, a konkretnie w 1935 roku powstał identyczny samolot dla amerykańskich odbiorców: *Radioplane OQ-2*, który był stworzony pierwotnie jako bezałogowiec, a nie przez modyfikację tak jak dron brytyjski.

I.1.4. Pierwsze drony rozpoznawcze

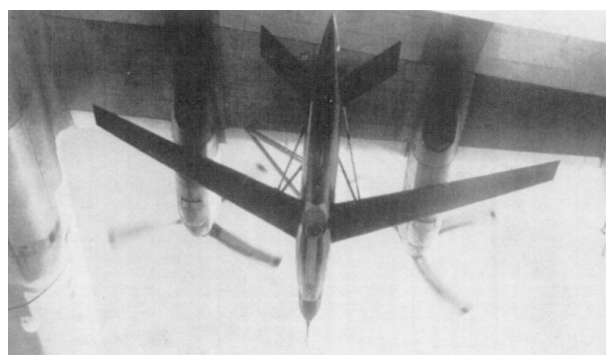
W okresie po II wojnie światowej USA dalej kontynuowało prace nad dronami, za pomocą firmy *Ryan Aeronautical Company* i ich serii dronów produkowanych od



Rys. 2. De Havilland Queen Bee i premier Wielkiej Brytanii Winston Churchill

Źródło: <https://www.iwm.org.uk/collections/item/object/205195356>

1951r. *Firebee*, czego efektem był m.in. *Ryan Model 147 Lightning Bug* opracowany w 1962r. Ten dron rozpoznawczy napędzany była za pomocą silnika rakietowego. Nie posiadał on sprzętu do lądowania i startowania z ziemi. Jego lądowanie odbywała się za pomocą spadochronu w który był wyposażony i przechwyceniu w locie przez helikopter. Start odbywał się z pokładu samolotu, tak samo jak pociski rakietowe, dron ten był umieszczany pod skrzydłem samolotu z którego odbywał start w powietrzu.[1][18]



Rys. 3. Ryan Model 147 Lightning Bug umieszczony pod skrzydłem samolotu transportowego

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Model_147_RPV_pictured_in_flight_under_wing_pylon_of_a_carrier_aircraft.png)

Model_147_RPV_pictured_in_flight_under_wing_pylon_of_a_carrier_aircraft.png

I.1.5. Ikona wśród BSP

Zdecydowanie do najpopularniejszego BSP na świecie należy zaliczyć *MQ-1 Predator*. Przez amerykańskiego producenta *General Atomics* jest on klasyfikowany jako zdalnie sterowany statek powietrzny, jest to amerykański. Pierwsze jego wersje nie posiadały na swoim pokładzie żadnych pocisków, ponieważ Amerykanie nie byli pewni czy

jest to zgodne z obowiązującym układem dotyczącym całkowitej likwidacji pocisków raketowych średniego zasięgu (ang. *Intermediate-range Nuclear Forces (INF) Traty*). Po wydarzeniach z 11 września 2001 r. została podjęta decyzja o uzbrojeniu Predatorów w pociski i skierowania ich do akcji. Umożliwiło to prowadzenie operacji militarnych bez ponoszenia strat w żołnierzach. Dron ten był wykrozystywany przez USA w trakcie konfliktów w Afganistanie, Iraku czy Pakistanie. USA na przestrzeni lat 2009-2021 stało się światowym liderem w używaniu dronów bojowych. [1][19]



Rys. 4. MQ-1 Predator, wyposażony w rakiety AGM-114 Hellfire

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/File:MQ-1_Predator,_armed_with_AGM-114_Hellfire_missiles.jpg

I.1.6. Dronykonsumenckie

Autorowi trudno wskazać początek "bumnia drony konsumenckie, ale jest on przekonany, że początek może wskazywać na okolice roku 2013r. Arguemntuje to tym, że wtedy miała miejsce premiera bezzałogowego statku powietrznego *Phantom* od obecnie najpopularniejszego producenta dronów konsumenckich *DJI*.

TODO: TUTAJ TRZEBA COS DOPISAC

I.1.7. Konflikt na Ukrainie

W kontekście bezzałogowych statków powietrznych nie można pominąć aktualnego konfliktu zbrojnego na Ukrainie. Należy go rozpatrywać w dwóch aspektach przewagi, która Ukrainę uzyskuje dzięki tureckim dronom *Bayraktar TB2* i wykorzystaniu dronów konsumenckich od ludności cywilnej do przeprowadzenia rozpoznania powietrznego.

Rząd ukraiński zwrócił się z prośbą do swoich obywateli o przekazanie swoich dronów na potrzeby armii. Są one wykorzystywane do bezpiecznego prowadzenia rozpoznania przez wojska ukraińskie. Dostarczają one obraz na żywo, wraz ze swoimi współrzędnymi geograficznymi, pozwala to budować przewagę informacyjną na polu

bitwy, a ten konflikt szczególnie uświadomił jak ważna jest informacja w dzisiejszych konfliktach zbrojnych.[10]

Czytając artykuły poświęcone dronowi Bayraktar w kontekście konfliktu na Ukrainie można odnieść jakby było to jedyny element budujący ich siłę. Autor nie może się z tym zgodzić, ale nie da się zaprzeczyć że ich rola jest znacząca. Głównym celem tej maszyny jest prowadzenie rozpoznania, ale mogą być one wyposażone w cztery pociski kierowane o zasięgu 8km. Sam dron jest jedną z tańszych opcji na rynku, bo jego cena waha się między 2-6 mln dolarów, a drony z najwyższej półki sięgają 100mln dolarów. Dron o rozpiętości skrzydeł rzędu 12 metrów i 6,5 metra długości może szybować przez 27h lub przelecieć 150km. Wzbija się na pułap 8200m i rozwija prędkość do 220km/h za sprawą silnika Rotax 912 iS o mocy 100 koni mechanicznych. [11][12]



Rys. 5. Bayraktar TB2

Źródło: https://www.instalki.pl/images/newsy/03-2022/Bayraktar_TB2_ukraina.jpg

I.2. Technologia i producenci BSP

text

I.3. Zastosowania BSP

Bezpilotowe statki latające znalazły szereg zastosowań, pierwotnie były wykorzystywane głównie w obszarze militarnym, dopiero później dostrzegł w nich potencjał obszar cywilny.

I.3.1. Militarne zastosowania BSP

Bezałogowe statki powietrzne w kontekście militarnym można dokonać podziału na następujące kategorie [23]:

- **operacyjno-rozpoznawcze:** BSP umożliwiające, rozpoznawanie oraz śledzenie obiektu/celu, a także monitorowanie i kontrole obszaru zainteresowania, np. granic lub strefy przybrzeżnej. Przykładem takiego dronu jest Lockheed Martin RQ-170 Sentinel;

- **bojowe:** BSP przenoszące i używające środki bojowe/ środki rażenia np. Bayraktar TB2;
- **amunicja krążąca:** BSP umożliwiające wykrywanie, rozpoznanie oraz atak na wyznaczony cel poprzez autodestrukcje np. WB Electronics Warmate;
- **wsparcia:** BSP umożliwiające ewakuacje lub dostawę amunicji, wyposażenia, środków medycznych i żywności do wysuniętych stanowisk wojsk własnych. np. Kaman KARGO UAV

I.3.2. Rolnictwo

I.3.3. Transport towarów i osób

I.3.4. Kinematografia i transmisje sportowe

I.3.5. Ratownictwo

<http://han.wat.edu.pl/han/ibuk/https/libra.ibuk.pl/reader/drony-wprowadzenie-technologie-zastosowania-sarah-e-kreps-203891>

text

I.4. Dostosowywanie drona do wymagań użytkownika

text

Rozdział II. Przegląd i prezentacja technologii mobilnych z uwzględnieniem aspektów tworzenia aplikacji i komunikacji M2M

W tym rozdziale przedstawiono technologie komunikacji bezprzewodowej wykorzystywane w komunikacji M2M, ze szczególnym uwzględnieniem komunikacji pomiędzy bezzałogowym statkiem powietrznym, a kontrolerem. Analizę wykorzystywanych rodzajów komunikacji dokonano na podstawie oferty najpopularniejszego producenta dronów konsumenckich DJI.

II.1. Komunikacja M2M

Komunikacja M2M (machine-to-machine) służy do definiowania technologii, która umożliwia wymianę informacji pomiędzy urządzeniami w sieci bez jakiegokolwiek ingerencji ludzi. Sztuczna inteligencja wraz z metodami uczenia maszynowego znacznie ułatwia takie procesy, między innymi umożliwia ona podejmowanie autonomicznych decyzji przez te urządzenia. Ta komunikacja jest podstawą istnienia IoT.[4]

II.1.1. Cel

Głównym celem M2M jest przenoszenia danych z sensorów do sieci. W porównaniu do innych technologii, które umożliwiają monitorowanie zasobów, korzysta ona często z dostępnych publicznie sieci np. GSM, co redukuje jej koszty utrzymania. Można wyróżnić 3 elementy takiego systemu:

- łącze do przesyłu danych, np. WiFi, GSM, RFID
- sensory, np. czujnik temperatury, kamera
- oprogramowanie, które umożliwia podejmowanie zautomatyzowanych decyzji

Najpopularniejszą dziedziną tej technologii, jest telemetria. Jej celem jest pomiar wybranej wielkości i jej przesyłanie do centralnej jednostki, oddalonej od miejsca pomiaru. Na początku do tego celu były wykorzystywane linie telefoniczne, a następnie radiowe. Rozwój technologii, a w tym łączności bezprzewodowej sprawił, że rola wykorzystywania telemetrii w nauce inżynierii i produkcji poszerzyła się do użytku codziennego w jednostkach grzewczych, miernikach elektrycznych i wszelkich urządzeniach podłączonych do internetu.[4]

II.1.2. Wymagania

Według Europejskiego Instytutu Norm Telekomunikacyjnych (ETSI) komunikacja M2M musi spełniać następujące wymagania:

- **Skalowalność:** w miarę dołączania kolejnych urządzeń do systemu system nadal musi funkcjonować;
- **Anonimowość:** na każde żądanie, w związku z wymaganiami prawnymi system musi umożliwiać ukrywanie tożsamości urządzenia;

- **Logowanie:** ważne wydarzenia w systemie, takie jak: pojawienie się błędnych informacji czy nieudane próby instalacji, muszą być zarejestrowane, a rejestry te muszą być dostępne na żądanie;
- **Zasady komunikacji między aplikacjami:** aplikacje w systemie powinny mieć możliwość komunikowania się. W szczególności bramki i urządzenia końcowe komunikujące się za pomocą technologii SMS czy Ethernet powinny komunikować się za pomocą połączenia P2P (peer-to-peer);
- **Metody dostarczania:** w ramach systemu powinny być dostarczane metody komunikacji takie jak: *unicast*, *multicast*, *broadcast* i *anycast*, a wszędzie gdzie to możliwe metoda *broadcast* powinna być zastąpiona za pomocą *multicast*, tak aby zminimalizować obciążenie sieci;
- **Harmonogram przesyłania komunikatów:** dostęp do sieci powinien być kontrolowany, tak samo, jak harmonogram przesyłania komunikatów. Sam system powinien również uwzględniać obciążenia aplikacji M2M w harmonogramie przesyłania wiadomości;
- **Wybór ścieżek komunikacyjnych:** ścieżki w systemie powinny zapewniać optymalizację bazującą na: awariach transmisji, kosztu i opóźnieniach, w momencie, gdy istnieją inne ścieżki do punktu docelowego. [4]

II.2. Technologie komunikacji M2M

Gdyby w technologii tak samo, jak w literaturze występowały epoki, aktualnie znajdowalibyśmy się w epoce połączonych ze sobą obiektów. IoT (Internet of Things) zdobywa aktualnie coraz więcej uwagi nie mał w każdej domenie, a szczególnie w takich jak biznes, elektronika konsumencka, przemysł czy transport. Niemal każdy obiekt elektryczny w dzisiejszym świecie jest ze sobą połączony w ten czy inny sposób. Siedząc w biurze, za pomocą dostarczanych aplikacji, możemy kontrolować drzwi, bramę garażową, czajnik elektryczny czy rolety okienne w naszym domu. W mieście kontrolujemy kamery i oświetlenie z odległych lokacji. IoT odgrywa w tym ważną rolę, ponieważ to ono umożliwia łączenie przeróżnych obiektów, za pomocą sieci połączeń i wymianę danych między nimi.[6]

II.2.1. Ogólna klasyfikacja technologii M2M

Poniżej przedstawiono ogólne porównanie technologii komunikacyjnych M2M.

II.2.2. LoRa

LoRa (Long Range) to nowa technologia połączeń bezprzewodowych w świecie IoT, która ostatnio ewoluowała i zyskała szczególną popularność, w urządzeniach z ograniczoną pojemnością elektryczną umożliwiając systemom wbudowanym przesyłanie małej ilości danych na dużych dystansach w krótkich interwałach czasowych.

	Local Area Network Komunikacja krótko dystansowa	Low Power Wide Area Internet Of Things	Cellular Network Tradycyjne M2M
Użycie	40%	45%	15%
Zalety	- Dobrze ugruntowana norma - W budynkach	- Niskie zużycie energii - Niskie koszty - Pozycjonowanie	- Istniejące pokrycie znacznego obszaru - Duża prędkość transmisji
Wady	- Wysokie zużycie energii elektrycznej - Duży koszt sieci i zależności	- Niska prędkość transmisji - Wschodzący standard	- Wysoki koszt posiadania - Mała autonomia
Technologia	Bluetooth, WiFi	LoRa	GSM, 3G, 4G, 5G

Tab. 1. Porównanie rodzajów technologii M2M.[6]

Komunikacja w aplikacjach IoT jest dzisiaj wykonywana w przeróżnych technologiach, a każda z nich ma swoje zalety, funkcje, a przez to też przeznaczenie. Żadna z tych technologii nie może pokryć całego zapotrzebowania świata IoT, ponieważ wszystkie one posiadają cechy, które czynią je odpowiednie dla postawionego konkretnego zadania.

WiFi to najpopularniejsza technologia komunikacji bezprzewodowej, która ewoluowała przez wiele lat i jest wykorzystywana przede wszystkim do komunikacji na dużych odległościach. Na krótkie dystanse mamy przeznaczone do tego np. Bluetooth czy ZigBee. We wszystkich z nich największą wadą jest duże zużycie energii elektrycznej. Technologia Lora zapewnia bezpieczne, mobilne dwukierunkowe połączenie o niskim koszcie elektrycznym, wykorzystywane jest ono w IoT, szczególnie w domenie smart city, czy nawet ogólnej komunikacji M2M. LoRa zalicza się do LPWA (Low Power Wide Area), czyli rodzaju bezprzewodowej rozległej sieci telekomunikacyjnej, stworzonej w celu umożliwienia komunikacji na duże odległości przy niskiej przepływności i niskim poborze energii. [5] W tego typu komunikacji wyróżnia się LoRa ze względu na jej:

- długodystansowość;
- dwukierunkowość;
- wysoką pojemność węzłów w sieci;
- długość życia na baterii;
- odporność interfejsów;
- bezpieczeństwo i efektywność sieci. [6]

Cechy

Technologie tą wyróżniają następujące cechy:

- Pojedyncza bramka może pokryć obszar aż 100km^2 ;
- Oferuje ona podwójne szyfrowanie AES;

- Bazuje na technologii CSS (widmo rozproszone Chirp), które umożliwia śledzenie obiektów i jest odporne na zanikanie sygnałów;
- Topologia gwiazdy eliminuje zanikanie danych przez urządzenia pośrednie, co przyczynia się do zmniejszenia poboru mocy. [6]

Ograniczenie przepustowości

W sieci LoRa wszystkie klasy ramek wymagają potwierdzenia, co wiąże się z tym, że po każdym potwierdzeniu ramki przez urządzenie końcowe w dowolnym oknie czasowym następuje okres wyłączenia, w celu zachowania zgodności z przepisami dotyczącymi cyklu pracy. W związku z tym, aby uniknąć wyczerpania limitu pojemności przez sieć i urządzenia końcowe, muszą one ograniczyć liczbę potwierdzeń. Również w podsięciach LoRa po przesłaniu danych następuje okres wyłączenia, w którym na danym kanale nie są wysyłane żadne dane. Te dwa okresy, tzn. okres wysyłania danych i wstrzymania transmisji stanowi cykl pracy, dlatego to w sieci LoRa przepustowość jest ograniczona cyklem pracy.[6]

II.2.3. Narow band IoT

Wraz z rozwojem świata IoT NB-IoT stało się wiodącą technologią komunikacji komórkowej dla zdalnych pomiarów w całej Europie. NB-IoT to technologia dostępu radiowego, która ponownie używa komponentów stworzonych przez jej poprzednika LTE, aby umożliwić jej działanie na licencjonowanej częstotliwości. Może ona również działać w trybie autonomicznym. Tak jak sama nazwa wskazuje, cały system działa w wąskim spektrum częstotliwości, bo tylko w 200kHz, co wprowadza elastyczność zastosowań dzięki minimalnym wymaganiom częstotliwości, w porównaniu do jej poprzednika LTE. Cała szerokość 200kHz została podzielona na kanały po 3.75 kHz lub 15 kHz, co umożliwia połączenie w bardzo wysoką prędkość nadawania, a także daleki zasięg połączenia, biorąc pod uwagę wąskie widmo sygnału. [7]

II.2.4. NB-IoT vs Lora

Zarówno LoRa jak i NB-IoT należą do wspomnianej wcześniej technologii LPWAN. Podstawowa różnica pomiędzy tymi dwoma technologiami można dostrzec w zużyciu baterii, prędkości transmisji i opóźnieniach.

II.3. Komunikacja bezprzewodowa w dronach konsumenckich

Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd., znany powszechnie pod nazwą handlową DJI, jest obecnie największym producentem dronów konsumenckich. W 2020r. firma ta posiadała 70% udziału w światowym rynku. [8] Przeglądając katalog ich produktów, można wyróżnić tylko 3 technologie komunikacji bezprzewodowej: wzmacnione WiFi (ang. enhanced WiFi), Lightbridge, OcuSync.

Parametr	LoRa	NB-IoT
Pasmo	125 kHz	180 kHz
Pokrycie	165 dB	164 dB
Żywotność baterii	15+ lat	10+ lat
Maksymalne natężenie elektryczne	32 mA	120 mA
Spoczynkowe natężenie elektryczne	1 μ A	5 μ A
Przepustowość	50 Kbps	60 Kbps
Opóźnienie	Zależne od klasy urządzenia	10 s
Bezpieczeństwo	AES 128 bit	3GPP (128 to 256 bit)
Geolokalizacja	Tak (TDOA)	Tak (In 3GPP Rel 14)
Jakość/cena	Wysoka	Średnia

Tab. 2. Porównanie technologii LoRa i NB-IoT [3]

II.3.1. WiFi

WiFi nie zostało wprowadzone ściśle do komunikacji bezprzewodowej statków powietrznych, ale odnajduje się w tym całkiem dobrze. Jest ona wykorzystywana głównie w bardziej budżetowych wersjach dronów, ze względu na możliwość skorzystanie przez producenta z posiadanej przez użytkownika infrastruktury (smartfonów), czy niskiej ceny komponentów.

Przykładowo dron *DJI Tello*, który jest najtańszą opcją dostępną od producenta DJI, przeznaczoną głównie do nauki latania, a nawet praktycznie programowania przez najmłodszych pasjonatów, nie posiada on w zestawie dedykowanego kontrolera. Kontrolowanie drona odbywa się za pomocą aplikacji na smartfona, która łączy się z dronem za pomocą WiFi tak jak do punktu dostępowego z internetem. Zasięg takiego połączenia według producenta to 100m [14].



Rys. 6. DJI Tello

Źródło: <https://store.dji.com>

W swojej ofercie DJI ma również dostępnego drona *DJI Mini SE*, który również korzysta z technologii WiFi, ale w swoim wyposażeniu posiada dedykowany do niego kontroler. Taka konfiguracja pozwala na uzyskanie zasięgu do 2 km. [13]

WiFi jest także bardzo podatne na wszelkie zakłócenia, wynikające z ukształtowania terenu czy zaszumienia sieci pochodzącego z istniejących sieci domowych. Wyprodukowanie drona w tej technologii jest najtańszą dostępną opcją, która umożliwia transmisję obrazu, jednak należy pamiętać, aby nie stawiać jej przy tym za dużych wymagań. WiFi stanowi bardzo dobry punkt startowy w komunikacji bezprzewodowej bezzałogowych statków powietrznych.

II.3.2. Lightbridge

Lightbridge to technologia od DJI, która doczekała się jej dwóch wydań. Pierwszych wzmianek o niej można doszukiwać się w 2014 roku. [15], a drugiego wydania już w 2015 roku [16]. Obecnie nie jest już rozwijana, a producent skupił się na rozwoju jego drugiej technologii: OcuSync.

Technologie prezentowane przez DJI mają parę cech zbliżające je do WiFi, przede wszystkim transmisja ta odbywa, gdyż odbywa się ona na tej samej częstotliwości: 2,4GHz. Była ona kierowana głównie do dronów z wyższego pułapu cenowego, dlatego że jej produkcja była bardzo kosztowna, a koszt wynikał z tego, że producent opracował to rozwiązanie na swoim autorskim układzie scalonym i oprogramowaniu. Wskutek czego pozwoliło to osiągnąć duże lepsze wyniki niż transmisja po WiFi. Zasięg lotu według producenta to odległość do 5km.

II.3.3. OcuSync

OcuSync został po raz pierwszy zademonstrowany przez producenta wraz z wydaniem drona *Mavic Mini Pro*. Pierwsze wydanie tej technologii pozwalało na transmisję do 7km na częstotliwości 2,4GHz. Obraz mógł być przesyłany w rozdzielczości 720p i 1080p. Jakość fullHD była dostępna tylko na krótszych odległościach, gdy dystans się zwiększał, a dostępna prędkość transmisji spadała, dron przechodził automatycznie na transmisję w 720p. Opóźnienie było rzędu 160-170ms. A największą cechą wyróżniającą tę technologię była możliwość podłączenia jednocześnie dwóch kontrolerów i do 4 urządzeń odbiorczych.

Kolejnym krokiem było wydanie kolejnej wersji oznaczonej jako OcuSync 1.5, w której dodano transmisję również na częstotliwości 5Ghz. Zmniejszono także opóźnienia w transmisji. Dodatkowo technologia umożliwiała automatyczną zmianę kanałów komunikacyjnych w trakcie lotu na te najmniej obciążone. W pierwszej wersji kanał transmisji można było wybrać tylko przed startem bezzałogowego statku powietrznego.

Wraz z wydaniem nowej wersji zaprezentowano gogle DJI przeznaczone do transmisji obrazu w trybie FPV (ang. first person view, widok pierwszo-osobowy) i również OcuSync Aircraft System, czyli zintegrowanego systemu umożliwiającego sterowanie i transmisję obrazu z wykorzystaniem tej technologii w dronach i pojazdach DIY.



Rys. 7. Pierwsza wersja gogli do FPV od DJI

Źródło: https://u.cyfrowe.pl/600x0/2/7/2_732250420.png



Rys. 8. Dji OcuSync Air Unit

Źródło: <https://store.dji.com>

Producent w trakcie swojej historii doprowadził do pewnych nieścisłości, mimo że dron *Phantom 4 pro v 2.0* korzystał teoretycznie z najnowszej wersji OcuSync, ale nie posiadał on możliwości zmiany kanałów transmisji w trakcie lotu, opóźnienie zależało też od tego, czy korzystano z kontrolera dołączonego do zestawu, czy jego droższej, lepiej wyposażonej wersji: *DJI RC Plus*.

Wersja 2.0 wprowadziła dalsze ulepszenia, m.in. kontrolowanie dronów na jeszcze większe dystanse i z jeszcze mniejszymi opóźnieniami, a także kompatybilność wsteczną po aktualizacji oprogramowania.



Rys. 9. DJI Phantom v2.0

Źródło: <https://store.dji.com>

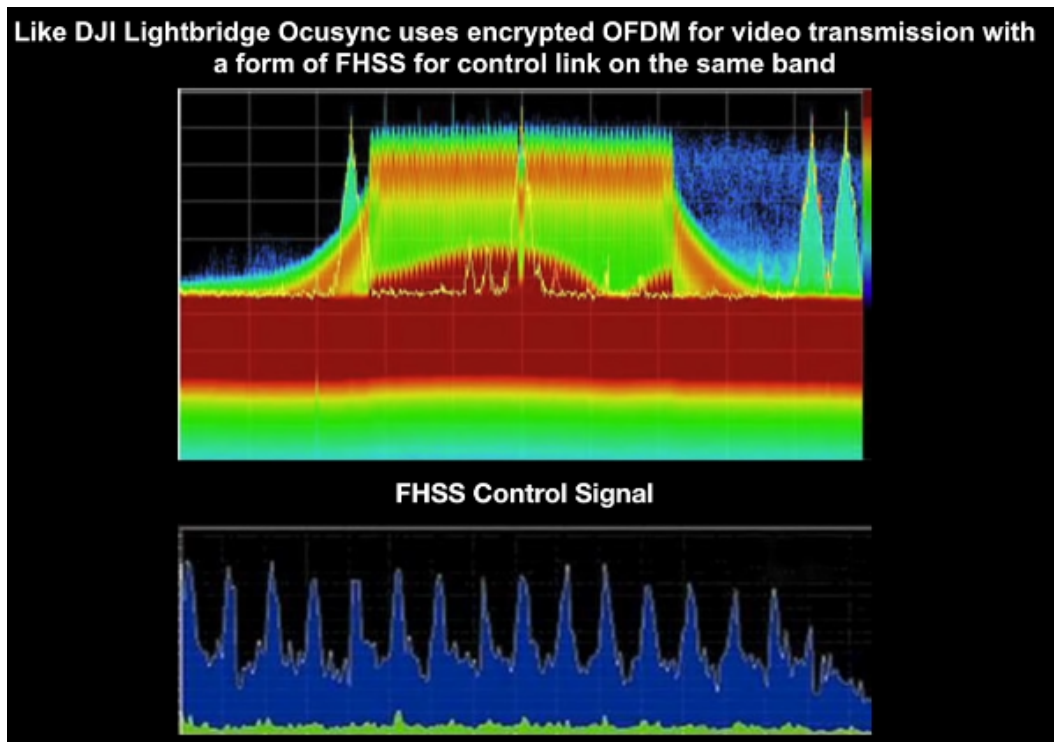


Rys. 10. DJI RC plus

Źródło: <https://store.dji.com>

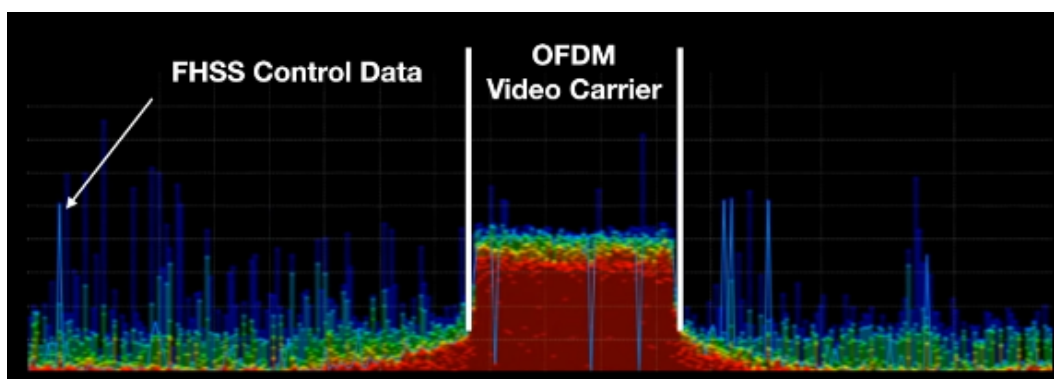
II.3.4. FHSS i OFDM

Zarówno Lightbridge, jak i OcuSync używają szyfrowanej modulacji OFDM (ang. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing, zwielokrotnianie z ortogonalnym podziałem częstotliwości)) dla transmisji obrazu i z formy FHSS (ang. Frequency-Hopping Spread Spectrum) dla transmisji sygnałów sterowania. Kanał dla transmisji obrazu nie zmienia się w trakcie całego lotu, pod warunkiem, że nie następują zakłócenia, albo użytkownik nie ustawi ręcznie innej częstotliwości. Z kolei metoda FHSS "skacze" po częstotliwościach w całym dostępnym widmie, w tym nawet w pasmie przeznaczonym do transmisji obrazu.[20] [17]



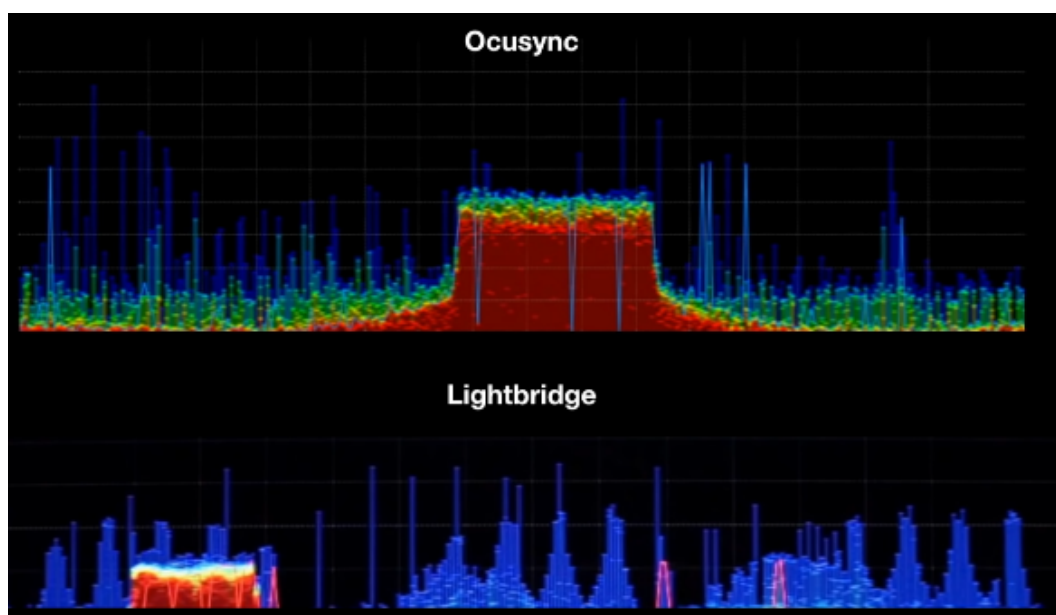
Rys. 11. Widmo OFDM i FHSS

Źródło: <https://www.youtube.com/watch?v=gfqcSv9sR0A>



Rys. 12. Widmo OcuSync z zaznaczoną modulacją FHSS i OFDM

Źródło: <https://www.youtube.com/watch?v=gfqcSv9sR0A>



Rys. 13. Porównanie widma OcuSync i Lightbridge

Źródło: <https://www.youtube.com/watch?v=gfqcSv9sR0A>

II.3.5. Przewaga OcuSync nad Lightbridge

OcuSync stało się główną technologią rozwijaną przez DJI, ponieważ wykorzystuje ono istniejące układy scalone przeznaczone do komunikacji WiFi. Producent wytwarza na nie swoje własne oprogramowanie, które można następnie aktualizować. Lightbridge był ich własnym układem scalonym, którego oprogramowania nie można było aktualizować, w dodatku komunikacji opierała się wyłącznie na paśmie 2,4GHz. Nowe procesory w układach WiFi dzięki coraz większej częstotliwości pracy zapewniły osiągnięcie tych samych efektów co Lightbridge, bez dodatkowego kosztu wynikającego z produkcji własnego układu scalonego.

II.4. Sterowanie dronami za pomocą API dostarczonego od producenta

Przeszukując internet w poszukiwaniu bezzałogowych statków powietrznych umożliwiających ich sterowanie za pomocą API od producenta można napotkać głównie rozwiązania od DJI. Wszystkie pozostałe rozwiązania nie działają na gotowych dronach, a na oprogramowaniu przeznaczonym do wgrania na wybranych jednostkach do sterowania modelami RC.

Najpopularniejszym tego rozwiązaniem jest ArduPilot, czyli pakiet oprogramowania nawigacyjnego działającego w pojeździe wraz z oprogramowaniem sterującym stacją naziemną.

II.4.1. DJI SDK

DJI dostarcza do swoich produktów następujące interfejsy API:

- **App Dev.** - interfejsy API przeznaczone do sterowania dronem z poziomu stacji

bazowej, kontroler stanowi interfejs pośredniczący między aplikacją wykorzystującą SDK a dronem powietrznym:

1. **Mobile SDK** - SDK przeznaczona na platformę iOS i Android. Aplikacja na smartfon za pomocą kabla USB podłączonego do kontrolera statku powietrznego realizuje zaprogramowaną logikę działania.
 2. **UX SDK** - Mobile SDK rozszerzony o elementy interfejsu użytkownika, co przyspiesza znacznie proces tworzenia oprogramowania.
 3. **Windows SDK** - SDK umożliwiające wydawanie aplikacji na systemach operacyjnych Windows.
- **Payload Dev.** - interfejsy API przeznaczone do nadawania logiki działania drona na poziomie samego drona, dzięki temu po utracie zasięgu może ona dalej funkcjonować zgodnie z zaprogramowaną logiką. Opcja dostępna dla najdroższych wersji dronów DJI, które można dostosowywać do swoich wymagań za pomocą odpowiednich rozszerzeń, np. kamery termowizyjnej
1. **Payload SDK** - zestaw narzędzi programistycznych umożliwiających tworzenie oprogramowania do rozszerzeń, które mogą być montowane na dronach DJI.
 2. **Onboard SDK** - otwarto źródłowa umożliwiająca komunikację bezpośrednią z wybranymi dronami i kontrolerami za pomocą interfejsu szeregowego.

Rozdział III. Projekt mobilnego systemu zarządzania i sterowania BSP

III.1. Wymagania funkcjonalne

text

III.2. Wymagania pozafunkcjonalne

text

III.3. Stos technologiczny

text

III.3.1. Java

text

III.3.2. Kotlin

text

III.3.3. DJI Mobile SDK

text

III.3.4. Lombook

text

III.3.5. Springboot

text

III.3.6. Android

text

III.4. Uzasadnienie warstwy pośredniczącej

text

III.5. Wysokopoziomowy diagram systemu

text

III.6. Diagram komponentów

text

III.7. Diagram klas i sekwencji

text

III.7.1. Gradle

text

III.8. Wykorzystane urządzenia

text

Rozdział IV. Implementacja systemu

text

Rozdział V. Testy systemu oraz prezentacja użycia na wybranym case study

text

V.1. Scenariusz testowy autonomicznego lotu pomiędzy dwoma punktami

text

V.2. Scenariusz testowy autonomicznego lotu patrolowego

Rozdział VI. TMP

VI.1. Tytuł podrozdziału

W procesie dyplomowania tekst pracy jest przetwarzany elektronicznie za pośrednictwem systemów USOS APD (Archiwum Prac Dyplomowych) oraz JSA (Jednolity System Antyplagiatowy). Plik pracy zapisany w formacie „pdf” winien mieć nazwę nadaną wg schematu: „WAT, myślnik, numer indeksu studenta, myślnik, data wysłania w formacie dd-mm-rrrr”, np. „WAT-12345-01.05.2021.pdf”. Plik umieszczany jest w systemie USOS APD poprzez indywidualne konto Dyplomanta.

Do pracy można załączyć dodatkowe pliki w formacie „docx”/„pdf”. W przypadku innych formatów (w tym „zip”) , należy je zapisać na płycie CD/DVD, opisanej trwale (niezmywalnym mazakiem) następująco: skrót nazwy uczelni, nazwa wydziału, kierunku studiów, specjalność, numer albumu studenta, imię i nazwisko studenta, temat pracy dyplomowej, własnoręczny podpis studenta.

VI.2. Tytuł podrozdziału

W tekście pracy kolejne wątki tematyczne należy oddzielać poprzez wcięciami akapitowe. W strukturze pracy zalecane jest:

- w przypadku wprowadzenia podrozdziałów wyróżnienie co najmniej dwóch na danym poziomie zagłębienia.

Praca powinna zawierać oryginalny tekst. W przypadku cytowania należy stosować przypisy dolne. W przypadku odwołania do literatury lub źródeł internetowych należy wstawiać hiperłącza do odpowiednich pozycji z bibliografii, np. [1].

Wszystkie skróty w pracy przy pierwszym ich użyciu powinny być rozwinięte (wyjaśnione). Pojedyncze litery z końca wierszy powinny być przeniesione na początek kolejnych wierszy poprzez wprowadzenie tzw. „twardej spacji” pomiędzy tą literą a kolejnym wyrazem (np. w edytorze Microsoft Word poprzez kombinację klawiszy Ctrl+Shift+Spacja).

Pracę mogą kończyć spisy rysunków i tabel – zalecane jest ich wprowadzenie w przypadku wystąpienia dużej liczby rysunków lub tabel w tekście pracy (powyżej 10). Praca może być uzupełniona załącznikami. W przypadku braku w pracy spisów rysunków i tabel lub załączników należy usunąć je ze struktury pracy oraz spisu treści.

Dla tekstu, tytułów, podpisów należy stosować style Wydziału (docx) lub zdefiniowane w tym szablonie.

Układ marginesów i numerów stron przewidziany jest do wydruku dwustronnego. Wydruk pracy nie jest wymagany.

Tabele i rysunki należy wyśrodkować. Dla podpisów stosowane są style Wydziału (docx) lub otoczenie table i tabular oraz figure (LaTeX):

- Nazwa tabeli umieszczona ponad tabelą;
- Podpis rysunku umieszczony pod rysunkiem;

- Źródło rysunku lub danych w tabeli pod tabelą/rysunkiem.

Numeracja tabel i rysunków powinna być ciągła i automatyczna w całej pracy.

Tab. 3. Nazwa tabeli

Lp	Kolumna 1	Kolumna 2	Kolumna 3
1.	Zawartość tabeli	Zawartość tabeli	Zawartość tabeli

Źródło: Badania własne. Jeżeli dane pochodzą z literatury lub zasobów sieci Internet, należy podać ich źródło. W innym przypadku można podać: Badania własne.

Dla wzorów zaleca się stosować wyśrodkowanie. Numerację automatyczną ciągłą w całej pracy należy wyrównać do prawej strony – przykład poniżej:

$$\sum_{j=0}^n a_{ij} \leq 1, i = \overline{1, n} \quad (1)$$

Kod źródłowy oraz algorytmy umieszcza się w tabelach dwukolumnowych (docx), lub otoczenia `lstlisting` i `algorithm` (LaTeX), z numeracją wierszy w pierwszej kolumnie:

- Tekst w tabeli kodu źródłowego: czcionka Courier New 11 pkt., wyjustowany do lewej;
- Nazwa kodu źródłowego umieszczona ponad kodem;
- Nazwa algorytmu umieszczona ponad algorytmem;
- Źródło kodu lub algorytmu poniżej.

Kod. 1. Nazwa kodu źródłowego

```

1      int silnia (int a)
2      {
3          return (a == 1) ? a : a * silnia(a-1);
4      }
```

Źródło: Badania własne. Jeżeli dane pochodzą z literatury lub zasobów sieci Internet, należy podać ich źródło. W innym przypadku można podać: Badania własne.

Alg. 1. Nazwa algorytmu

```
1      wczytaj(n)
2      inicjuj tab[1..n]
3      dla i ← 1 do n powtarzaj
4          wczytaj tab[i]
5      dla i ← 1 do n powtarzaj
6          dla j ← i + 1 do n powtarzaj
7              jeżeli tab[j] < tab[j - 1] to
8                  pom ← tab[j]
9                  tab[j] ← tab[j - 1]
10                 tab[j - 1] ← pom
11     dla i ← 1 do n powtarzaj
12         wypisz(tab[i])
```

Źródło: Badania własne. Jeżeli dane pochodzą z literatury lub zasobów sieci Internet, należy podać ich źródło.
W innym przypadku można podać: Badania własne.

Podsumowanie

Bibliografia

- [1] Sarah E. Kreps “Drony. Wprowadzenie Technologie Zastosowania” Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2019;
- [2] A. Kelsey “Flying Robots 101: Everthing You Need to Know about Drones”, Popular Science, TODO TOM, TODO STRONY, 08-03-2013
- [3] “NB-IoT vs Lora” <https://ubidots.com/blog/lorawan-vs-nb-iot/#lorawan-vs-nb-iot-a-quick-overview> [dostęp: 20-04-2022];
- [4] “machine-to-machine (M2M)” <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/machine-to-machine-M2M> [dostęp: 20-04-2022];
- [5] “LPWA wikipedia” <https://pl.wikipedia.org/wiki/LPWAN> [dostęp: 20-04-2022];
- [6] “LoRa Technology - An Overview, IEEE, 2018” <https://ieeexplore.ieee.org/document/8474715> [dostęp: 20-04-2022];
- [7] “On the Performance of Narrow-band Internet of Things (NB-IoT) for Delay-tolerant Services, IEEE, 2019” <https://ieeexplore.ieee.org/document/8768871> [dostęp: 20-04-2022];
- [8] “Wikipedia: SZ DJI Technology Co., Ltd.”, <https://pl.wikipedia.org/wiki/DJI> [dostęp: 20-04-2022];
- [9] “De Havilland DH-82 "Tiger Moth"("Queen Bee"), 1931”, <http://www.samolotypolskie.pl/samoloty/782/126/De-Havilland-DH-82-Tiger-Moth-Queen-Bee> [dostęp: 22-04-2022];
- [10] “Wojna w Ukrainie: Pasjonaci dronów namierzają rosyjskie wojska”, <https://fotoblogia.pl/17711,wojna-w-ukrainie-pasjonaci-dronow-namierzaja-rosyjskie-wojska> [dostęp: 22-04-2022];
- [11] “Tureckie drony na Ukrainie pokazały wojnę przyszłości. Bayraktar TB2 wyrządzają ogromne szkody”, <https://www.chip.pl/2022/03/tureckie-drony-w-ukrainie-pokazaly-wojne-przyszlosci-bayraktar-tb2-wyrzadzaja-ogromne> [dostęp: 22-04-2022];
- [12] “Zaskakująca skuteczność Bayraktarów. Ekspert o rosnącej roli dronów w wojnie”, <https://www.pap.pl/aktualnosci/news%2C1129159%2Czaskakujaca-skuteczosc-bayraktarow-ekspert-o-rosnacej-rol-i-dronow-w> [dostęp: 22-04-2022];
- [13] “DJI Mavic Mini SE”, <https://www.dji.com/pl/mini-se?site=brandsite&from=nav> [dostęp: 20-04-2022];
- [14] “DJI store”, <https://store.dji.com> [dostęp: 20-04-2022];

- [15] "DJI Lightbridge", <https://www.dji.com/pl/dji-lightbridge/info> [dostęp: 20-04-2022];
- [16] "DJI Lightbridge2", <https://www.dji.com/pl/lightbridge-2/info#specs> [dostęp: 20-04-2022];
- [17] "Wikipedia: OFDM", <https://pl.wikipedia.org/wiki/OFDM> [dostęp: 20-04-2022];
- [18] "Wikipedia: Ryan Model 147 Lightning Bug", https://en.wikipedia.org/wiki/Ryan_Model_147 [dostęp: 22-04-2022];
- [19] "Wikipedia: MQ-1 Predator", https://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator [dostęp: 22-04-2022];
- [20] "Wikipedia: FHSS", <https://pl.wikipedia.org/wiki/FHSS> [dostęp: 20-04-2022];
- [21] "DJI Mavic 2 - Ocusync 2.0 What is it & What's Compatible ? + How is it different from Lightbridge", <https://www.youtube.com/watch?v=gfqcSv9sR0A> [dostęp: 20-04-2022];
- [22] "DJI Gogle", https://u.cyfrowe.pl/600x0/2/7/2_732250420.png [dostęp: 20-04-2022];
- [23] "Konkurs MON na bezzałogowe sytemy powietrzne, lądowe, morskie", <https://www.wojsko-polskie.pl/wat/articles/aktualnosci-w/konkurs-mon-na-bezzałogowe-systemy-powietrzne-ladowe-i-morskie/> [dostęp: 21-04-2022];
- [24] Nazwisko i inicjały imion: Tytuł książki. Wydawnictwo, miejsce wydania, rok wydania
- [25] Larose D.T.: Odkrywanie wiedzy z danych - wprowadzenie do eksploracji danych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006
- [26] Nazwisko i inicjały imion: Tytuł artykułu w czasopiśmie. Nazwa czasopisma, tom (nr wydania), numery stron, rok wydania
- [27] Ackoff R. L.: Management misinformation systems. Management Science, 14 (4), 147-156, 1961
- [28] Nazwisko i inicjały imion: Tytuł wystąpienia konferencyjnego. Nazwa materiałów konferencyjnych i konferencji, miejsce konferencji, data konferencji
- [29] Jandos J., Vorisek J.: Enterprise Web 2.0. Proceedings of the 13th International Business Information Management Association (IBIMA), Marrakech, Morocco, 9-10.11.2009
- [30] Pełny adres strony internetowej [dostęp: dzień-miesiąc-rok]

- [31] <https://azure.microsoft.com/pl-pl/overview/machine-learning-algorithms/#popular-algorithms> [dostęp: 10-12-2021]

Spis rysunków

Rys. 1. Latający gołąb Archytasa z Tarentu	7
Rys. 2. De Havilland Queen Bee i premier Wielkiej Brytanii Winston Churchill ...	8
Rys. 3. Ryan Model 147 Lightning Bug umieszczony pod skrzydłem samolotu transportowego	8
Rys. 4. MQ-1 Predator, wyposażony w rakiety AGM-114 Hellfire	9
Rys. 5. Bayraktar TB2	10
Rys. 6. DJI Tello	16
Rys. 7. Pierwsza wersja gogli do FPV od DJI	18
Rys. 8. Dji OcuSync Air Unit	18
Rys. 9. DJI Phantom v2.0	19
Rys. 10. DJI RC plus	19
Rys. 11. Widmo OFDM i FHSS	20
Rys. 12. Widmo OcuSync z zaznaczoną modulacją FHSS i OFDM	20
Rys. 13. Porównanie widma OcuSync i Lightbridge	21

Spis tablic

Tab. 1. Porównanie rodzajów technologii M2M.[6]	14
Tab. 2. Porównanie technologii LoRa i NB-IoT [3]	16
Tab. 3. Nazwa tabeli	28

Załączniki

1. Płyta CD/DVD zawierająca:

- a) Prezentację wyników pracy dyplomowej
- b) Kody źródłowe oprogramowania
- c) Biblioteki programowe niezbędne do zbudowania i uruchomienia oprogramowania
- d) ...

2. ...