

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  |
|  | **OŚWIADCZENIE** | | |
|  | |  | | --- | | Imię i nazwisko: Piotr Kowalczyk  Data i miejsce urodzenia: 15.03.1992, Bartoszyce  Nr albumu: 137095  Wydział: Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki  Kierunek: informatyka  Poziom studiów: II stopnia  Forma studiów: stacjonarne | | | |
|  | |  | | --- | | Ja, niżej podpisany(a), wyrażam zgodę/nie wyrażam zgody\* na korzystanie z mojej pracy dyplomowej zatytułowanej: Radiowy system sterowania pojazdami bezzałogowymi  do celów naukowych lub dydaktycznych.1 | | | |
| |  |  | | --- | --- | | Gdańsk, dnia .................................. | .....................................................  *podpis studenta* | | | | |
|  | |  | | --- | | Świadomy(a) odpowiedzialności karnej z tytułu naruszenia przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 2006 r., nr 90, poz. 631) i konsekwencji dyscyplinarnych określonych w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2012 r., poz. 572 z późn. zm.),2 a także odpowiedzialności cywilno-prawnej oświadczam, że przedkładana praca dyplomowa została opracowana przeze mnie samodzielnie.  Niniejsza(y) praca dyplomowa nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadaniem tytułu zawodowego.  Wszystkie informacje umieszczone w ww. pracy dyplomowej, uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami zgodnie z art. 34 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych.  Potwierdzam zgodność niniejszej wersji pracy dyplomowej z załączoną wersją elektroniczną. | | | |
| |  |  | | --- | --- | | Gdańsk, dnia .................................. | .....................................................  *podpis studenta* | | | | |
|  | Upoważniam Politechnikę Gdańską do umieszczenia ww. pracy dyplomowej w wersji elektronicznej w otwartym, cyfrowym repozytorium instytucjonalnym Politechniki Gdańskiej oraz poddawania jej procesom weryfikacji i ochrony przed przywłaszczaniem jej autorstwa. | | |
| |  |  | | --- | --- | | Gdańsk, dnia ................................. | .....................................................  *podpis studenta* | | | | |
|  | |  | | --- | | \*) niepotrzebne skreślić | | | |
| |  | | --- | |  | | | | |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | |  | | --- | | 1 | | |  | | --- | | Zarządzenie Rektora Politechniki Gdańskiej nr 34/2009 z 9 listopada 2009 r., załącznik nr 8 do instrukcji archiwalnej PG. | | | |  | | --- | | 2 | | |  | | --- | | Ustawa z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym: | | |  | |  | | --- | | Art. 214 ustęp 4. W razie podejrzenia popełnienia przez studenta czynu podlegającego na przypisaniu sobie autorstwa istotnego fragmentu lub innych elementów cudzego utworu rektor niezwłocznie poleca przeprowadzenie postępowania wyjaśniającego. | | |  | |  | | --- | | Art. 214 ustęp 6. Jeżeli w wyniku postępowania wyjaśniającego zebrany materiał potwierdza popełnienie czynu, o którym mowa w ust. 4, rektor wstrzymuje postępowanie o nadanie tytułu zawodowego do czasu wydania orzeczenia przez komisję dyscyplinarną oraz składa zawiadomienie o popełnieniu przestępstwa. | | | | | |

**Streszczenie**

Treść streszczenia.

**ABSTRACT**

Streszczenie w języku angielskim.

Spis treści

[Wykaz Ważniejszych oznaczeń i skrótów 7](#_Toc450346448)

[1. Wstęp i cel pracy 8](#_Toc450346449)

[2. Stan wiedzy dotyczący pojazdów bezzałogowych 9](#_Toc450346450)

[2.1. Historia pojazdów bezzałogowych 9](#_Toc450346453)

[2.1.1. Pojazdy bezzałogowe dawniej [1] [2] 9](#_Toc450346454)

[2.1.2. Pojazdy bezzałogowe obecnie [5] [6] 10](#_Toc450346455)

[2.1.3. Pojazdy bezzałogowe w niedalekiej przyszłości [5] [7] 13](#_Toc450346456)

[2.2. Zastosowania 14](#_Toc450346457)

[2.3. Systemy sterowania [6] 14](#_Toc450346458)

[2.3.1. Systemy sterowania wykorzystujące częstotliwość 27 MHz 14](#_Toc450346459)

[2.3.2. Systemy sterowania wykorzystujące częstotliwość 40 MHz 16](#_Toc450346460)

[2.3.3. Systemy sterowania wykorzystujące częstotliwość 2,4 GHz 17](#_Toc450346461)

[1.1.1 Łączność z pojazdem bezzałogowym za pomocą WiFi 17](#_Toc450346462)

[3. charakterystyka radiowego systemu sterowania pojazdem bezzałogowym 21](#_Toc450346463)

[3.1. Opis koncepcji 21](#_Toc450346465)

[3.1.1. Zasada działania 21](#_Toc450346466)

[3.1.2. Procedura startowa 21](#_Toc450346467)

[3.1.3. Standard komórkowy 4G 21](#_Toc450346468)

[3.2. Opis podzespołów 21](#_Toc450346469)

[3.2.1. Raspberry Pi 21](#_Toc450346470)

[3.2.2. Modem LTE 23](#_Toc450346471)

[3.2.3. Kamera 23](#_Toc450346472)

[3.2.4. Karta sieciowa 24](#_Toc450346473)

[3.2.5. Zasilanie układu Raspberry Pi 25](#_Toc450346474)

[3.2.6. Kosztorys 25](#_Toc450346475)

[3.3. Warstwa sprzętowa 25](#_Toc450346476)

[3.3.1. Podłączenie systemu 25](#_Toc450346477)

[3.3.2. Konfiguracja 25](#_Toc450346478)

[3.4. Warstwa programowa 25](#_Toc450346479)

[3.4.1. Raspbian 26](#_Toc450346480)

[3.4.2. Webiopi 26](#_Toc450346481)

[3.4.3. Reverse SSH 26](#_Toc450346482)

[3.4.4. Opis strony WWW 26](#_Toc450346483)

[3.4.5. Automatyzacja procedury startowej 26](#_Toc450346484)

[3.4.6. Wysterowanie kontrolera lotu za pomocą sygnału PWM 26](#_Toc450346485)

[4. Badania testowe 27](#_Toc450346486)

[4.1. Wpływ ruchu drona na przesył komend sterujących i obrazu 27](#_Toc450346488)

[4.1.1. Opis scenariusza testowego 27](#_Toc450346489)

[4.1.2. Wyniki przeprowadzonych badań 27](#_Toc450346490)

[4.2. Wykorzystanie AEGISa do sprawdzenia wpływu zakłóceń na działanie systemu 27](#_Toc450346491)

[4.2.1. Opis scenariusza testowego 27](#_Toc450346492)

[4.2.2. Wyniki przeprowadzonych badań 27](#_Toc450346493)

[4.3. Porównanie przesyłu danych z wykorzystaniem sieci 3G/4G 27](#_Toc450346494)

[4.3.1. Opis scenariusza testowego 27](#_Toc450346495)

[4.3.2. Wyniki przeprowadzonych badań 27](#_Toc450346496)

[4.4. Czas pracy na zasilaniu bateryjnym 27](#_Toc450346497)

[4.4.1. Opis scenariusza testowego 27](#_Toc450346498)

[4.4.2. Wyniki przeprowadzonych badań 27](#_Toc450346499)

[4.5. Stabilność drona podczas lotu 27](#_Toc450346500)

[4.5.1. Opis scenariusza testowego 27](#_Toc450346501)

[4.5.2. Wyniki przeprowadzonych badań 27](#_Toc450346502)

[4.6. Wnioski oraz zauważone zagrożenia 27](#_Toc450346503)

[5. Podsumowanie 28](#_Toc450346504)

[Wykaz Literatury 29](#_Toc450346505)

[Wykaz rysunków 30](#_Toc450346506)

[Wykaz Tabel 31](#_Toc450346507)

# Wykaz Ważniejszych oznaczeń i skrótów

# Wstęp i cel pracy

# Stan wiedzy dotyczący pojazdów bezzałogowych



## Historia pojazdów bezzałogowych

Pojazdem bezzałogowym nazywamy pojazd naziemny, wodny lub powietrzny, który nie wymaga obecności załogi na swoim pokładzie. Pojazd bezzałogowy może być sterowany w sposób zdalny lub może poruszać się w pełni autonomicznie dzięki zamontowanym czujnikom na jego pokładzie. Sterowanie tego typu pojazdami jest możliwe dzięki wykorzystaniu fal elektromagnetycznych o częstotliwości od kilkudziesięciu do kilku tysięcy MHz.

### Pojazdy bezzałogowe dawniej [1] [2]

Początki współczesnej historii pojazdów bezzałogowych sięgają II Wojny Światowej. W formie naziemnej była to sterowana przewodowo niemiecka samobieżna mina Goliat zawierająca od 60 do 100 kg materiału wybuchowego [3]. W tym samym czasie badania nad latającym pojazdem bezzałogowym prowadzili Niemcy w ramach projektu Mistel. Idea tego projektu polegała na użyciu samolotu, jako bezzałogowej latającej bomby kierowanej, naprowadzanej wstępnie na cel przez pilota samolotu „nosiciela” [4]. Wraz z rozpoczęciem II Wojny Światowej gwałtownie przyśpieszył postęp technologiczny, a amerykańska armia, zajmująca się szkoleniem jednostek przeciwlotników potrzebowała zdalnie sterowanych maszyn do swoich ćwiczeń. W roku 1940 rozpoczęła się masowa produkcja dronów. Pojazd ten nazywał się Radioplane OQ-2 i liczył on zaledwie 3 metry długości. W tym samym czasie wdrożono pierwsze bojowe pojazdy bezzałogowe, które były pełnoprawnymi samolotami, wyróżniającymi się tym, że swoją ostatnią misję miały wykonać bez załogi na swoim pokładzie.

Kilkanaście lat po zakończeniu II Wojny Światowej zaczęto rozwijać koncepcje dronów rozpoznawczych, które początkowo były niewielkimi, prostymi konstrukcjami o napędzie śmigłowym. Jednym z najpopularniejszych był MQM-57 Falconer, który w 1955 roku został tak przebudowany, aby mógł on odgrywać rolę latającego zwiadowcy dzięki zamontowanym kamerom oraz flarom pozwalającym na doświetlenie fotografowanego terenu. Największą wadą tej konstrukcji był niewielki czas przez jaki maszyna mogła przebywać w powietrzu, a mianowicie było to zaledwie trzydzieści minut.



Rys.2.1. MQM-57 Falconer [2]

Technologiczny przełom nastąpił w Izraelu, gdzie przez wybuch wojny w 1973 roku konstruktorzy zaczęli intensywnie pracować nad pojazdami bezzałogowymi. Efektem tych prac były drony Mastiff i Scout, które udowodniły swoją skuteczność podczas bitwy powietrznej nad doliną Bekaa. Izraelskie drony w pierwszej kolejności rozpoznały stanowiska syryjskiej obrony przeciwlotniczej, a następnie sprowokowały je do wystrzelenia rakiet dzięki czemu było możliwe zniszczenie zdemaskowanych systemów obronnych.



Rys.2.2. Izraelski pojazd bezzałogowy Scout [2]

Światowym liderem w budowie powietrznych statków bezzałogowych był Izrael i właśnie do ich rozwiązań sięgnęli Amerykanie, w latach 80. Na podstawie Izraelskiego Tadiran Mastiffa powstała niewielka maszyna rozpoznawcza o nazwie kodowej RQ-2 Pioneer. Jeden z egzemplarzy tej maszyny wykonywał zwiad nad wyspą Failaka, zajmowaną przez wojska Saddama Husajna, które na widok nadlatującego bezzałogowca zaczęły się poddawać. Prawdziwym przełomem okazała się konstrukcja opracowana przez General Atomics Aeronautical Systems o nazwie GNAT-750, która wyróżniała się różnymi rodzajami kamer, modułem GPS, radiolokatorem oraz dalmierzem laserowym. Ponadto ten pojazd jako pierwszy na świecie mógł być sterowany za pomocą łącza satelitarnego dzięki czemu operator mógł sterować statkiem z dowolnego miejsca na świecie. Potencjał tej maszyny był na tyle duży, że na jego podstawie zaprojektowane jednego z najbardziej zaawansowanych dronów na świecie o nazwie MQ-1 Predator.

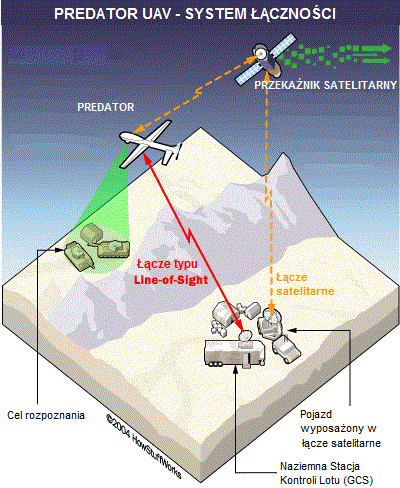
### Pojazdy bezzałogowe obecnie [5] [6]

MQ1-Predator jest to bezzałogowy pojazd latający, który w początkowych założeniach miał głównie służyć misjom zwiadowczym, ale z czasem zyskała ona możliwość przenoszenia uzbrojenia używanego do atakowania celów naziemnym oraz powietrznych.



Rys.2.3. UAV MQ1-Predator podczas misji zwiadowczej [5]

Do łączności zdalnej w tego typu pojazdach wykorzystywane są głównie dwa pasma częstotliwości, a mianowicie pasmo C (od 3,4 do 4,2 GHz) oraz Ku (od 10 do 18 GHz). Na całość systemu składa się statek bezzałogowy, GCS, czyli naziemna stacja kontrolna oraz zestaw satelit. Stacja kontrolna komunikuje się ze statkiem wykorzystując pasmo C, które służy również do przesyłania obrazu z kamer zamontowanych na dronie, w tym samym czasie komunikując się z satelitą poprzez pasmo Ku w celu kontrolowania drona w przypadku, gdy łączność bezpośrednia z GCS zostanie zerwana. Poza tym satelita ma jeszcze za zadanie przesyłać informacje zwrotne do innych placówek wojskowych [24]. Statki bezzałogowe wykorzystują także systemy pozycjonowania do dokładnego określenia swojej pozycji oraz odległości od celu.



Rys.2.11. System komunikacji zastosowany w UAV Predator [6]

Dzięki wykorzystaniu pasm C i  Ku, które nie należą do pasm częstotliwości stosowanych w celach ISM nie występuje tutaj problem przypadkowego przejmowania kontroli nad statkiem powietrznym, lub zakłócania sygnału nadawanego przez obce nadajniki. Inną istotną zaletą tego rozwiązania jest zasięg na jakim można komunikować się z dronem, który teoretycznie jest nieograniczony dzięki łączności satelitarnej, natomiast łączność w paśmie C jest głównie uzależniona od widoczności anteny nadawczej z odbiorczą i  średnio jej zasięg wynosi około 280 km. Poza wcześniej wymienionymi częstotliwościami w tego rodzaju systemach wykorzystuje się również pasma L (od 800 MHz do 2 GHz) oraz S (od 2 do 4 GHz). Pasmo L jest stosowane w telemetrii oraz łączności z systemami pozycjonowania, natomiast S w radarach pogodowych [24]. Obecnie wszystkie statki UAV stosują szyfrowaną transmisję danych, co niestety wiąże się ze zwiększoną złożonością obliczeniową, z którą muszą sobie radzić co raz to mniejsze układy elektroniczne.

Kolejną konstrukcją pozornie podobną do MQ1-Predator jest MQ-9 Reaper, który cechują się znacznie większymi rozmiarami oraz zasięgiem sięgającym kilku tysięcy kilometrów. Pojazd ten cechuje się nie tylko większym zasięgiem, prędkością czy udźwigiem, ale również tym, że przez ponad dobę może on utrzymywać się w powietrzu nad wyznaczonym rejonem wraz z 1300 kilogramami uzbrojenia na pokładzie.

### Pojazdy bezzałogowe w niedalekiej przyszłości [5] [7]

Wymienione pojazdy bezzałogowe mimo zastosowanej nowoczesnej technologii cechują się jednym wspólnym ograniczeniem, którym jest brak pełnej autonomii. Podczas wykonywania misji, dron realizuje założony przez człowieka plan, a w przypadku anomalii reaguje zgodnie z zaprogramowanym scenariuszem. Przyszłością bezzałogowych pojazdów są autonomiczne drony, które po otrzymaniu rozkazu samodzielnie decydują o najlepszym sposobie jego realizacji.

Jednym z takich pojazdów jest demonstrator technologii X-47B Pegasus, który ma mieć część możliwości współczesnego samolotu bojowego, a mianowicie poza misjami zwiadowczymi będzie on mógł atakować cele naziemne, zwalczać obronę przeciwlotniczą czy współpracować z innymi maszynami.



Rys.2.5. Pojazd bezzałogowy X-47B Pegasus [5]

Inną konstrukcją autonomiczną może się pochwalić firma Lockheed Martin współpracująca z TARDEC, która zaprezentowała system Autonomous Mobility Applique System. Koncepcja ta zapewnia pełną autonomiczność dla pojazdów należących do konwoju, które przemieszczają się po terenach stwarzających realne zagrożenie dla personelu wojskowego. Dzięki systemowi AMAS pojazdy są w stanie omijać wszelkie przeszkody jakie stoją na drodze. Ponadto firma zbrojeniowa Lockheed Martin zapewnia, że bezzałogowe pojazdy militarne są w stanie sobie poradzić na każdym terenie i w każdej sytuacji.

## Zastosowania

Zastosowanie pojazdów bezzałogowych w wojsku, medycynie i wśród cywili (fotografowanie).

Pojazdy bezzałogowe z powodzeniem znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach życia, niezależnie czy są to zastosowania wojskowe czy cywilne. Jednym z ciekawszych zastosowań jest wykorzystanie pojazdów bezzałogowych w rolnictwie. Japońska firma Yamaha od wielu lat jest zaangażowana w produkcję dronów Yamaga RMAX służących do opryskiwania winorośli i zbóż. Pojazd może dzięki silnikowi spalinowemu może unosić się w powietrzu nawet przez godzinę oraz jest w stanie spryskać pole 5-razy szybciej niż traktor. Kolejnym ważnym aspektem jest wyeliminowania ekspozycji rolnika na chemikalia, które zostają rozpylone na polu. Ponadto drony często są wykorzystywane do fotografowania pól z powietrza w celu oceny stanu upraw oraz wykryciu obszarów, które mogą być słabiej zasilane nawozem.

Innym zastosowaniem dronów jest

## Systemy sterowania [6]

Najprostsze układy służące do zdalnego sterowania pojazdami bezzałogowymi składają się z nadajnika emitującego fale elektromagnetyczne oraz z urządzenia wykonawczego, które jest zintegrowane z odbiornikiem tych fal. Taki zestaw podzespołów nazywa się aparaturą radiową. Ruch drążka sterującego w części nadawczej zostaje przetworzony na odpowiedni sygnał, który trafia do odbiornika, skąd sygnał jest przekazywany do mechanizmów wykonawczych, dzięki czemu osoba posiadająca urządzenie nadawcze ma pełną kontrolę nad pojazdem. W tym podrozdziale zaprezentowano kilka najpopularniejszych systemów sterowania, które wykorzystują takie pasma częstotliwości jak 27 MHz, 40 MHz oraz 2,4 GHz.

### Systemy sterowania wykorzystujące częstotliwość 27 MHz

Według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury „urządzenia nadawczo-odbiorcze wykorzystujące poszczególne kanały z pasma 27 MHz, przeznaczone do zdalnego sterowania modeli latających, lądowych oraz wodnych muszą pracować z mocą promieniowania nieprzekraczającą 100 mW (e.r.p) i  są one zaliczane do urządzeń radiowych bliskiego zasięgu, których używanie nie wymaga pozwolenia radiowego.” [2]. W  tego typu pojazdach jest stosowana antena typu D – dołączana, czyli przeznaczona do stosowania z danym urządzeniem z możliwością jej odłączania, ale zaprojektowaną jako niezbędną część urządzenia [2].

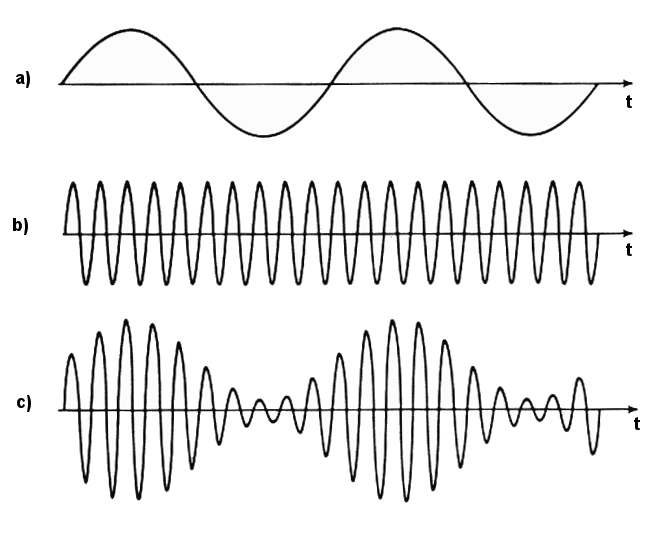
|  |  |
| --- | --- |
| a) | b) |



Rys.2.2. Model lądowy zdalnie sterowany, pracujący na częstotliwości 27 MHz [3]

a) część nadawcza, b) część odbiorcza

Przeważnie w sprzedaży dostępne są aparatury 2-3 kanałowe o zasięgu wynoszącym średnio 10-15 m, przy czym powyższa liczba kanałów pozwala jedynie na kontrole mocy silnika oraz kierunku poruszania się pojazdu. Urządzenia pracujące w tym paśmie wykorzystują technikę wąskopasmową, dla której szerokość pojedynczego kanału jest określona przez Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i  wynosi ona 10 kHz [2]. W  tym systemie używa się modulację amplitudową AM, która polega na uzależnieniu amplitudy fali nośnej od sygnału modulującego [9].



Rys.2.3. Przykład sygnału zmodulowanego amplitudowo

a) sygnał modulujący, b) fala nośna, c) sygnał zmodulowany amplitudowo

Częstotliwość 27 MHz jest najczęściej wykorzystywana w tańszych nadajnikach i  odbiornikach montowanych w zabawkach oraz prostych modelach naziemnych i  pływających. Pasmo te jest również przeznaczone dla celów ISM (przemysłowych, naukowych oraz medycznych), co może być główną przyczyną zakłóceń występujących w kanałach [2]. Inną istotną wadą z którą użytkownik musi się zmierzyć podczas stosowania urządzeń wykorzystujących tę częstotliwość jest niewielki zasięg oraz mała liczba dostępnych kanałów, która ogranicza funkcjonalność jednostki bezzałogowej. Do zalet powyższego rozwiązania można zaliczyć niską cenę gotowych aparatur oraz niewielki pobór energii.

### Systemy sterowania wykorzystujące częstotliwość 40 MHz

Pojazdy zdalnie sterowane nawodne, podwodne, naziemne oraz latające, których używanie nie wymaga pozwolenia radiowego mogą jeszcze pracować na częstotliwości 40 MHz pod warunkiem, że moc promieniowania będzie mniejsza bądź równa 100 mW (e.r.p.) [2]. Podobnie jak we wcześniej wymienionych aparaturach tak i  w tej stosowane są anteny dołączane typu D oraz wykorzystywana jest transmisja wąskopasmowa przez, którą pojazd zdalnie sterowany może być narażony na zakłócenia pochodzące od innego nadajnika pracującego w tym samym kanale. Przeważnie stosowane są aparatury 4-kanałowe o szerokości pojedynczego kanału radiowego równej 10 kHz [2]. Zasięg systemu, dla którego mamy pełną kontrolę nad pojazdem zdalnie sterowanym jest silnie uzależniony od ceny aparatury i  wynosi średnio od 50 do nawet 500 m.

|  |  |
| --- | --- |
| a) | b) |



Rys.2.6 Zdalnie sterowany model latający pracujący na częstotliwości 40 MHz [8]

a) część nadawcza, b) część odbiorcza

Urządzenia nadawczo-odbiorcze pracujące w paśmie 40 MHz są mniej podatne na interferencje wspólnokanałowe niż urządzenia pracujące w paśmie 27 MHz, w którym występują zakłócenia pochodzące z radiostacji samochodowych, tak zwanych CB radio, wykorzystujących również częstotliwość 27 MHz. Ponadto w aparaturach 40 MHz wykorzystywana jest modulacja FM, dzięki której system jest mniej podatny na zakłócenia niż w przypadku stosowania modulacji AM. Moduły nadawczo-odbiorcze wykorzystujące powyższą częstotliwość są rzadziej spotykane w porównaniu do tych pracujących na częstotliwościach 27 MHz i  35 MHz. Zasięg i  cena aparatur wykorzystujących to pasmo jest zbliżony do urządzeń wykorzystujących pasmo 35 MHz.

### Systemy sterowania wykorzystujące częstotliwość 2,4 GHz

Na dzisiaj najpopularniejszymi technologiami wykorzystującymi częstotliwość 2,4 GHz jest WiFi oraz Bluetooth, które od lat dominują w dziedzinie transmisji danych w sposób bezprzewodowy na niewielką odległość. W  tego typu aparaturach przeważnie dostępnych jest 6 kanałów, które oprócz standardowych funkcji udostępnionych przez aparatury 4 kanałowe, pozwalają na wykonywanie podniebnych figur i  akrobacji w trzech wymiarach, aczkolwiek wymagają one zaawansowanych umiejętności od osoby sterującej pojazdem. Większość urządzeń nadawczo-odbiorczych stosowanych przy sterowaniu zdalnym, pracujących w wyżej wymienionym paśmie używa sygnału rozproszonego, dzięki czemu sygnał jest odporniejszy na zakłócenia oraz zostaje wyeliminowana przypadłość z wcześniej wymienionych częstotliwości związana z interferowaniem fal oraz przypadkowym przejęciem kontroli nad pojazdem innej osoby. W  tego typu systemach stosuje się antenę typu D, czyli dołączaną lub typu I czyli antenę zaprojektowaną jako niezbędną, integralną część urządzenia. Anteny pracujące w paśmie 2,4 GHz są znacznie krótsze od anten stosowanych we wcześniej wymienionych systemach.

|  |  |
| --- | --- |
| a) | b) |



Rys.2.7. Porównanie przykładowych anten dołączanych [20]

a) 2.4 GHz, b) AM/FM

* + 1. Łączność z pojazdem bezzałogowym za pomocą WiFi

Technologia WiFi jest zestawem standardów służących do budowy sieci lokalnych LAN, MAN, a od niedawna także służących do sterowania w sposób zdalny jednostkami bezzałogowymi [11]. WiFi pracuje w zakresie częstotliwości od 2,4 do 2,483 GHz i  jest to pasmo przeznaczone również do celów ISM, co ma znaczący wpływ na zakłócenia występujące między częścią nadawczą, a odbiorczą. Według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury moc promieniowania nie powinna przekraczać 100 mW (e.i.r.p.) [2]. Szerokość pojedynczego kanału radiowego jest ściśle związana z techniką rozpraszania sygnału i  w przypadku WiFi wynosi ona 22 MHz [12]. Profesjonalne aparatury mają zasięg od 1,5 do około 4,5 km przy użyciu oddzielnie dokupionej anteny kierunkowej [13][15].

W technologii WiFi zastosowano technikę DSSS, czyli technikę bezpośredniego rozpraszania widma, która polega na tym, że podczas wysyłania, strumień danych jest mnożony przez odpowiedni pseudolosowy ciąg kodowy o większej szybkości bitowej, przez co strumień wyjściowy zajmuje znacznie szersze pasmo [12][16]. Właściwy wybór ciągu kodowego pozwala na zakodowanie informacji oraz możliwość wykorzystania danego pasma radiowego przez wielu nadawców i  odbiorców jednocześnie [12]. Aby odbiornik mógł skutecznie rozkodować i  wybrać te przeznaczone dla niego informacje spośród wielu innych, musi on dysponować układem deszyfrującym z tym samym i  jednocześnie zsynchronizowanym ciągiem kodowym co nadawca [12]. Dzięki zastosowaniu powyższej techniki rozpraszania sygnału transmisja danych użytkownika może odbywać się z szybkością 1 lub 2 Mbit/s [12]. Niestety układy oparte na technice DSSS są znacznie droższe i  wymagają większej mocy niż układy oparte na technice FHSS, czyli technikę rozpraszania widma polegającą na „skakaniu” sygnału po częstotliwościach w kolejnych odstępach czasu, w dostępnym paśmie [12][19].

|  |  |
| --- | --- |
| a) | b) |



Rys.2.8. Model latający wykorzystujący technologię WiFi

a) część nadawcza [13], b) część odbiorcza [14]

Systemy oparte na technologii WiFi są znacznie bardziej odporne na zakłócenia niż systemy pracujące na częstotliwościach wcześniej wymienionych. Dzięki zastosowaniu techniki rozpraszania sygnału pozbyto się problemu interferencji fal oraz przejmowania kontroli nad pojazdem bezzałogowym kogoś innego. Na skutek wykorzystania fal ultrakrótkich, zmniejszył się znacząco rozmiar anteny w części nadawczej i  odbiorczej. Istotną wadą WiFi jest wykorzystanie pasma ISM, w którym funkcjonują również urządzenia Bluetooth, telefony bezprzewodowe, radary meteorologiczne, radiowa telewizja przemysłowa czy kuchenki mikrofalowe [11]. Wymienione urządzenia mogą zakłócać pracę systemu, lub też mogą być zakłócane przez aparaturę służącą do zdalnego sterowania [11]. Inną istotną wadą stosowania tej technologii jest wysoka cena aparatur w porównaniu do aparatur pracujących w paśmie AM/FM.

Kolejną technologią wykorzystującą pasmo 2,4 GHz jest Bluetooth jest działający podobnie jak WiFi w paśmie ISM [12]. Zapewnia ona łączność ad hoc (niewymagającą żadnej infrastruktury sieciowej) pomiędzy przenośnymi urządzeniami elektronicznymi w niewielkiej odległości od siebie [12]. Według Rozporządzenia Ministra Infrastruktury moc promieniowania nie powinna przekraczać 100 mW (e.i.r.p.), a szerokość pojedynczego kanału powinna wynosić 1 MHz [2]. Moc nadajnika ma znaczący wpływ na zasięg całego systemu i  w związku z tym wyróżnia się trzy klasy urządzeń [11]:

* klasa 1 o mocy 100 mW cechująca się największym zasięgiem (do 100 m);
* klasa 2 o mocy 2,5 mW, która jest klasą najczęściej używaną (zasięg do 10 m);
* klasa 3 o mocy 1 mW, która jest klasą rzadko używaną (zasięg do 1 m).

Bluetooth stał się standardem styku bezprzewodowego używanego w komunikacji pomiędzy telefonami ruchomymi, laptopami, zestawami słuchawkowymi, drukarkami, projektorami, a od niedawna jest stosowany także do sterowania jednostkami bezzałogowymi poprzez nowoczesny typ telefonu ruchomego potocznie nazywanego smartfonem [12]. Celem stosowania technologii Bluetooth jest zastąpienie plątaniny kabli łączących te urządzenia przez połączenie bezprzewodowe ad hoc [12].

|  |  |
| --- | --- |
| a) | b) |



Rys.2.9. Model latający wykorzystujący technologię Bluetooth [17]

a) część nadawcza, b) część odbiorcza

Podstawową jednostką w technologii Bluetooth jest pikosieć, która zawiera węzeł nadrzędny oraz maksymalnie 7 węzłów podrzędnych [18]. Pikosieć jest ustanawiana przez pierwszą stację, która inicjuje transmisję do któregoś z urządzeń, jednocześnie stając się stacją nadrzędną [12]. Transmisja w podsieci odbywa się wyłącznie pomiędzy stacją nadrzędną i  podrzędną. Do tej pory ukazało się kilka standardów Bluetooth, z czego najnowszym jest standard Bluetooth 4.0 + LE (Low Energy) zapewniający przepływność do 1 Mb/s [18]. Najważniejszymi zaletami Bluetooth 4.0 jest zwiększony realny zasięg do 100 m oraz mniejszy pobór energii, aczkolwiek wiąże się to z obniżeniem przepływności podczas transferu danych.

W styku Bluetooth zastosowano technikę rozpraszania sygnału ze skokami po częstotliwościach FHSS [12]. Technika FHSS charakteryzuje się wysoką odpornością na zakłócenia, dużą pojemnością systemu, małym zużyciem mocy i  niskim kosztem produkcji części nadawczej i  odbiorczej, co jest istotne w przypadku pojazdów bezzałogowych sterowanych w sposób zdalny [12]. Co więcej, wykorzystanie FHSS pozwala uniknąć problemu interferencji fal. Wadą tego rozwiązania jest niska wydajność, długotrwałe nawiązywanie połączenia oraz generowanie silnych zakłóceń [12].

Technologia Bluetooth jest dobrą alternatywą dla WiFi w przypadku sterowania bezprzewodowego, gdyż jest równie odporna na zakłócenia, przy zachowaniu jednocześnie małego poboru energii oraz niskiego kosztu wyprodukowania urządzenia nadawczo-odbiorczego. Do wad łączności przez Bluetooth można zaliczyć stosunkowo niewielki zasięg i  niższą przepływność niż w przypadku WiFi oraz to, że podobnie jak wcześniej wymieniona technologia, Bluetooth pracuję w paśmie ISM, przez co aparatura może być zakłócana przez wiele urządzeń, które również wykorzystują te pasmo.

# charakterystyka radiowego systemu sterowania pojazdem bezzałogowym



## Opis koncepcji

Opis wybranego rozwiązania, sposób działania, schemat połączeniowy, schemat blokowy logiki.

### Zasada działania

### Procedura startowa

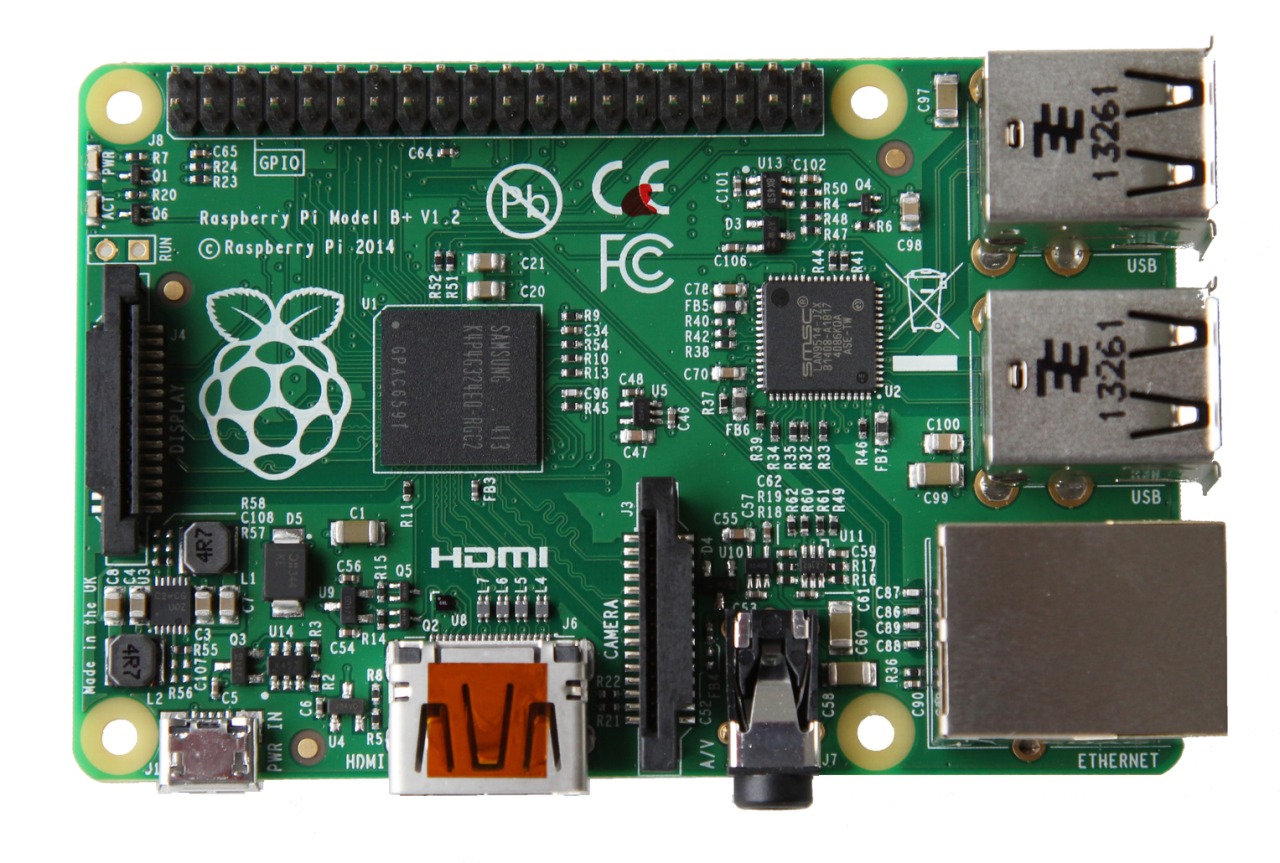
### Standard komórkowy 4G

## Opis podzespołów

Wymienienie listy podzespołów, ich opis, uzasadnienie wyboru tych podzespołów.

### Raspberry Pi

Raspberry Pi jest to miniaturowy komputer stworzony przez Raspberry Pi Foundation, która miała na celu skonstruowanie możliwie jak najtańszego oraz jak najmniejszego komputera mieszczącego się na pojedynczej płytce PCB. Model B+ posiada aż 4 złącza USB 2.0 oraz 40 pinów GPIO umożliwiających podłączenie dodatkowych modułów rozszerzających funkcjonalność układu. RPI nie posiada wbudowanej pamięci, ale istnieje możliwość zamontowania karty pamięci micro SD z adapterem na której można zainstalować dowolny system operacyjny oparty na jądrze Linuxa. Urządzenie jest zasilane przez kabel ze złączem micro USB o wydajności co najmniej 1,8 A i  napięciu 5 V. Zintegrowane złącze HDMI pozwala na bezpośrednie podłączenie telewizora lub monitora oraz transmisję obrazu w rozdzielczości Full HD. W  przypadku braku HDMI użytkownik ma do dyspozycji złącze RCA (popularny Chinch). Raspberry Pi nie ma wbudowanego zegara czasu rzeczywistego, więc system musi korzystać z zewnętrznego źródła czasu za pomocą Internetu lub pytać użytkownika o czas podczas uruchamiania.



Rys.4.1. Mikrokomputer Raspberry Pi B+ [34]

Transmisja audio odbywa się poprzez złącze Jack 3,5mm, które stosowane jest w popularnych głośnikach i  słuchawkach. Oprócz wcześniej wymienionych złącz Raspberry Pi posiada jeszcze wbudowane gniazdo Ethernet pozwalające na bezpośrednie podłączenie do sieci LAN. Dodatkowo układ został wyposażony w magistrale I2C pozwalającą na komunikację z czujnikami, SPI umożliwiający podłączenie różnego rodzaju pamięci oraz interfejs szeregowy UART. W  tabeli 4.1 zamieszczono pełną specyfikację techniczną tego układu.

**Tabela 4.1.** Specyfikacja techniczna Raspberry Pi B+

| Parametr | Wartość |
| --- | --- |
| Chip | Broadcom BCM2835 (CPU + GPU + DSP + SDRAM) |
| CPU | 700 MHz ARM1176JZF-S core (ARM11 family) |
| GPU | Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, 1080p30 h.264/MPEG-4 AVC high-profile decode |
| Pamięć (SDRAM) | 512 MB |
| Porty USB 2.0 | 4 |
| Wyjścia wideo | Composite RCA, HDMI |
| Wyjścia dźwięku | 3.5 mm jack, HDMI |
| Nośnik danych | złącze kart microSD / MMC / SDIO |
| Połączenia sieciowe | 10/100 Ethernet (RJ45) |
| Pozostałe złącza | 8 x GPIO, UART, szyna I2C, szyna SPI z dwoma liniami CS, +3,3V, +5V, GND |
| Zasilanie | 2000mA |
| Źródło zasilania | 5V przy pomocy złącza MicroUSB, opcjonalnie za pomocą złącza GPIO |
| Wymiary | 85 × 56 x 17mm |
| Waga | 45 g |
| Obsługiwane systemy operacyjne | Raspbian, Debian GNU/Linux, Fedora, Arch Linux, Android 4.0, NOOBs |

### Modem LTE

### Kamera

Urządzenie te posiada matrycę o rozdzielczości 5 Mpx oraz wspiera tryb HD 1080p, 720p oraz 640 x 480p. Raspberry Pi posiada sprzętowe wsparcie do obsługi tej kamery, dzięki czemu urządzenie nie zużywa mocy obliczeniowej procesora. Moduł podłączany jest do dedykowanego złącza w Raspberry Pi za pomocą specjalnej taśmy.



Rys.4.3. Raspberry Pi Camera HD [37]

Istnieje również możliwość dokupienia obudowy oraz uchwytu do kamery, dzięki którym urządzenie będzie w mniejszym stopniu podatne na niekorzystne warunki zewnętrzne.



Rys.4.4. Obudowa wraz z uchwytem dla Raspberry Pi Camera HD [37]

### Karta sieciowa

Jest to moduł wpinany w port USB, dzięki któremu Rasberry Pi może w łatwy sposób nawiązać łączność bezprzewodową poprzez WiFi. Urządzenie te pozwala na transmisję danych z maksymalną szybkością do 300 Mbit/s.



Rys.4.2. Karta sieciowa WiFi USB N 300Mbps Edup EP-N1528 [36]

W  projekcie planuje się zastosować kartę sieciową WiFi USB N 300Mbps Edup EP-N1528, którego specyfikacja techniczna została przedstawiona poniżej.

**Tabela 4.2.** Specyfikacja techniczna karty sieciowej WiFi USB N 300Mbps Edup EP-N1528

| Parametr | Wartość |
| --- | --- |
| Wspierane standardy | IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b |
| Prędkość transmisji | 11n: do 300 Mbps  11g: do 54 Mbps  11b: do 11 Mbps |
| Częstotliwość sygnału | 2,4 - 2,4835 GHz |
| Liczba kanałów | 13 |
| Moc transmisji | 18 dBm |
| Tryb modulacji | DBPSK, DQPSK, CCK, OFDM |
| Zabezpieczenia | WPS, 64/128/125 bitowy WEP, WPA / WPA2, WPA-PSK / WPA2-PSK, TKIP, AES |
| Obsługiwane systemy operacyjne | Windows XP/Vista/7, MAC OS, Linux (w tym Raspbian) |

### Zasilanie układu Raspberry Pi

Źródłem zasilania układu Raspberry Pi jest mobilna bateria PowerBank Romoss Solo 4s o pojemności 8000 mAh. Akumulator ten posiada komplet popularnych złącz w tym dwa gniazda USB poprzez które można jednocześnie zasilać układ Raspberry Pi oraz router LTE znajdujące się na pokładzie drona. Stan naładowania baterii jest monitorowany za pomocą 4 diod LED znajdujących się na obudowie akumulatora. Ładowanie baterii odbywa się poprzez dowolny zasilacz z wtykiem microUSB lub z portu USB komputera PC przy pomocy odpowiedniego przewodu.

### Kosztorys

## Warstwa sprzętowa

Sposób podłączenie, konfiguracja, położenie podzespołu w całej konstrukcji.

### Podłączenie systemu

### Konfiguracja

## Warstwa programowa

Lista używanych aplikacji, sposób konfiguracji, kody własne, dużo skrinów opisujących krok po kroku co robiłem.

### Raspbian

### Webiopi

### Reverse SSH

### Opis strony WWW

### Automatyzacja procedury startowej

### Wysterowanie kontrolera lotu za pomocą sygnału PWM

# Badania testowe



## Wpływ ruchu drona na przesył komend sterujących i obrazu

### Opis scenariusza testowego

### Wyniki przeprowadzonych badań

## Wykorzystanie AEGISa do sprawdzenia wpływu zakłóceń na działanie systemu

### Opis scenariusza testowego

### Wyniki przeprowadzonych badań

## Porównanie przesyłu danych z wykorzystaniem sieci 3G/4G

### Opis scenariusza testowego

### Wyniki przeprowadzonych badań

## Czas pracy na zasilaniu bateryjnym

### Opis scenariusza testowego

### Wyniki przeprowadzonych badań

## Stabilność drona podczas lotu

### Opis scenariusza testowego

### Wyniki przeprowadzonych badań

Wypunktowanie scenariuszy do testowania rozwiązania, opis.

## Wnioski oraz zauważone zagrożenia

Wnioski oraz propozycja tego co można ulepszyć w projekcie, aby wyniki były lepsze.

# Podsumowanie

# Wykaz Literatury

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | Ł. Michalik, „Drony [cz. 1]. Od pierwszych konstrukcji do drugiej wojny światowej,” Gadżetomania, [Online]. Available: http://gadzetomania.pl/3846,drony-cz-1-od-pierwszych-konstrukcji-do-drugiej-wojny-swiatowej. [Data uzyskania dostępu: 04 05 2016]. |
| [2] | Ł. Michalik, „Drony [cz. 2]. Od drugiej wojny światowej do walk nad doliną Bekaa,” Gadżetomania, [Online]. Available: http://gadzetomania.pl/3804,drony-cz-2-od-drugiej-wojny-swiatowej-do-walk-nad-dolina-bekaa. [Data uzyskania dostępu: 04 05 2016]. |
| [3] | „Goliath (mina),” [Online]. Available: https://pl.wikipedia.org/wiki/Goliath\_(mina). [Data uzyskania dostępu: 04 05 2016]. |
| [4] | „Mistel,” [Online]. Available: https://pl.wikipedia.org/wiki/Mistel. [Data uzyskania dostępu: 04 05 2016]. |
| [5] | Ł. Michalik, „Drony [cz. 3]. Czas autonomicznych maszyn bojowych,” Gadżetomania, [Online]. Available: http://gadzetomania.pl/3757,drony-cz-3-czas-autonomicznych-maszyn-bojowych. [Data uzyskania dostępu: 04 05 2016]. |
| [6] | P. Kowalczyk, Koncepcja systemu bezprzewodowego sterowania bezzałogowymi pojazdami poprzez urządzenie mobilne, Gdańsk: Politechnika Gdańska, 2015. |
| [7] | J. Moll, „Amerykańskie wojsko otrzyma pierwsze bezzałogowe pojazdy militarne,” Tylko Nauka, [Online]. Available: http://tylkonauka.pl/wiadomosc/amerykanskie-wojsko-otrzyma-pierwsze-bezzalogowe-pojazdy-militarne. [Data uzyskania dostępu: 04 05 2016]. |
| [8] | „Bezzałogowy statek powietrzny,” [Online]. Available: https://pl.wikipedia.org/wiki/Bezza%C5%82ogowy\_statek\_powietrzny. [Data uzyskania dostępu: 04 05 2016]. |

# Wykaz rysunków

# Wykaz Tabel