

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Wydział Elektryczny

Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów

Informacyjno-Pomiarowych

Zakład Konstrukcji Urządzeń Elektrycznych

PRACA DYPLOMOWA MAGISTERSKA

na kierunku INFORMATYKA



Piotr Błądek

Nr ind. 252536

Sprawdzenie możliwości wykorzystania internetu rzeczy (IoT) oraz bezzałogowych statków powietrznych, przy wspomaganiu prowadzenia akcji ratowniczej

Zakres pracy:

1. Internet rzeczy
2. Bezzałogowe statki powietrzne
3. Zadanie bezzałogowych statków powietrznych w ratownictwie
4. Architektura systemu

5. Problemy praktyczne zaobserwowane podczas testów

(Podpis i pieczętka kierownika zakładu dydaktycznego)

Kierujący pracą: dr hab. inż. Piotr Biczel

Termin wykonania: 15 grudnia 2017

Praca wykonana i zaliczona pozostaje
własnością Instytutu i nie będzie
zwrócona wykonawcy

Politechnika Warszawska
Wydział Elektryczny

Warszawa, dnia roku

OŚWIADCZENIE

Świadomy odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa magisterska pt. *Wykorzystanie infrastruktury internetu rzeczy oraz bezzałogowych statków powietrznych przy wspomaganiu prowadzenia akcji ratunkowej*:

- została napisana przeze mnie samodzielnie
- nie narusza niczych praw autorskich
- nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

Oświadczam, że przedłożona do obrony praca dyplomowa nie była wcześniej podstawą postępowania związanego z uzyskaniem dyplomu lub tytułu zawodowego w uczelni wyższej.

Jestem świadom, że praca zawiera również rezultaty stanowiące własności intelektualne Politechniki Warszawskiej, które nie mogą być udostępniane innym osobom i instytucjom bez zgody Władz Wydziału Elektrycznego.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

(data i podpis dyplomanta)

Streszczenie

Temat pracy:

Wykorzystanie infrastruktury internetu rzeczy oraz bezzałogowych statków powietrznych przy wspomaganiu prowadzenia akcji ratunkowej

Słowa kluczowe: IoT, UAV

(data i podpis dyplomanta)

(data i podpis opiekuna)

Abstract

Topic:

Keywords: IoT, UAV

(date and signature of graduate student)

(date and signature of mentor)

Podziękowania.

Spis treści

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń	x
1. Wstęp	12
1.1. Cel i zakres pracy	12
1.2. Tło projektu	12
1.3. Wprowadzenie do zagadnienia	12
2. Internet rzeczy	14
2.1. Koncepcja pomysłu internetu rzeczy	14
2.2. Infrastruktura, sprzęt i BLE [5]	16
2.3. Komponenty IoT wykorzystane w tworzonym systemie	17
3. Bezzałogowe statki powietrzne	19
3.1. Czym są UAV	19
3.2. Rola UAV w projektowanym systemie	19
3.3. Autonomiczna misja	20
3.4. Bezpieczeństwo stosowania UAV w misji ratunkowej	22
4. Koncepcja techniczna systemu	23
4.1. Architektura tworzonego systemu	23
4.2. Schemat blokowy rozwiązania	23
4.3. Algorytm pracy	26
4.4. Podłączenie wielu statków do jednego systemu	27
4.5. Sterowanie autonomiczne	28
4.6. Bezpieczeństwo użytkowania	29
4.7. Aspekty mechaniczne systemu	29
5. Problemy i próba ich rozwiązania	30
5.1. Krótki czas lotu i zasięg UAV	30
5.2. Zawodność linku telemetrycznego	31
5.3. Wrażliwość systemu na sytuacje wyjątkowe	32
5.4. Problemy sprzętowe	32
5.5. Sygnał beacona	32

6. Testy systemu	32
7. Konkurs	32
8. Podsumowanie	33
8.1. Wnioski	33
8.2. Plany na przyszłość	35
Literatura	38
Spis rysunków	39
Spis tablic	39
Załączniki	40

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń

ADS-B	System automatycznego nadzoru rozgłoszeniowy (ang. Automatic dependent surveillance – broadcast) - system podający położenie „własnego” statku powietrznego innym statkom powietrznym oraz kontroli ruchu lotniczego (ADS-B out), a także odbierający sygnały od innych uczestników ruchu lotniczego.
EASA	Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (ang. European Aviation Safety Agency) - agencja zajmująca się problemami bezpieczeństwa lotniczego w Europie.
ICAO	Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ang. International Civil Aviation Organization) - agencja odpowiedzialna za wdrażanie międzynarodowych przepisów regulujących bezpieczeństwo w ruchu powietrznym.
IoE	Internet wszechrzeczy (ang. Internet of Everything) - koncepcja która rozszerza internet rzeczy (IoT) i kładzie nacisk na komunikację maszyna-maszyna, opisując bardziej skomplikowany system który obejmuje również ludzi i procesy.
IoT	Internet rzeczy (ang. Internet of Things) - koncepcja, wedle której przedmioty mogą gromadzić, przetwarzać, oraz wymieniać dane za pośrednictwem szeroko rozumianej sieci.
PAŻP	Polska Agencja Żeglugi Powietrznej (ang. Polish Air Navigation Services Agency PANSA) - agencja zarządza przestrzenią powietrzną, przepływem ruchu lotniczego i zapewnieniem służb ruchu lotniczego na terenie Polski.
RPA	Samolot pilotowany zdalnie (ang. Remotely-piloted aircraft)
RSSI	Wskaźnik siły sygnału w urządzeniu odbiorczym (ang. Received Signal Strength Indication) [16].
UAS	Bezzałogowy systemy statków powietrznych (ang. Unmanned Aircraft Systems) - szeroko rozumiane systemy obsługujące statki powietrzne, działające na pokładzie statków powietrznych w całości lub części.
UAV	Bezzałogowy statek powietrzny (ang. Unmanned Aerial Vehicle) - dron, który nie wymaga do lotu załogi obecnej na pokładzie oraz nie ma możliwości zabierania pasażerów.

- UAVO** Operator bezzałogowego stateku powietrznego (ang. Unmanned Aerial Vehicle Operator) - w polskim prawie oznacza świadectwo kwalifikacji operatorów dronów, uprawniające do ich wykorzystywania w celach innych niż loty sportowe i rekreacyjne.
- VLOS** (ang. Visual Line of Sight) - licencja uprawniająca do lotów w zasięgu wzroku poz warunkiem zachowania bezpiecznej odległości i odpowiedniego oznakowania. Dron musi mieć tabliczkę identyfikacyjną, a operator kamizelkę.

1. Wstęp

1.1. Cel i zakres pracy

Sprawdzenie możliwości wykorzystania internetu rzeczy oraz bezzałogowych statków powietrznych przy wspomaganiu prowadzenia akcji ratowniczej. Fizyczne zaprojektowanie i wykonanie kompletnego systemu, części działającej na pokładzie statku powietrznego, oraz części działającej na ziemi. Przetestowanie systemu w warunkach symulowanej akcji ratunkowej. Potwierdzenie lub zaprzeczenie użyteczności projektowanego systemu, wykazanie wad i zalet systemu.

1.2. Tło projektu

Pomysł projektu nasunęli organizatorzy konferencji "Parada Robotów 2017" i zarazem konkursu "Droniada" [1]. Zadaniem uczestników konkursu było wspomaganie ewakuacji medycznej 10 osób po ataku huraganowego wiatru, przy użyciu bezzałogowców w locie autonomicznym, lub ewentualnie półautonomicznym, oraz tzw. beaconów [2]. W tym dokumencie opiszę system lokalizowania poszkodowanych osób, który stworzony został na potrzeby wspomnianego wyżej konkursu. Przejdę od projektu systemu, przez jego implementację, testy, oraz to jak sprawdził się w zadaniu konkursowym, na koniec przedstawię wnioski jakie wyciągneliśmy z tego projektu i czy ma on jakąkolwiek przyszłość komercyjną, poniżej na zdjęciu znajduje się część naszego zespołu która brała udział w konkursie "Droniada" 1.1.

1.3. Wprowadzenie do zagadnienia

Projektowany system składał się z kilku części. Część pierwsza to poszkodowane w katastrofie osoby, a właściwie beacony które ratownicy medyczni wręczyli poszkodowanym osobom, beacony nadają uzgodniony sygnał reprezentujący pewien kolor, i tak kolor czerwony jest przyporządkowany do osób co do których wymagana jest natychmiastowa ewakuacja, kolorem żółtym oznaczone zostają osoby które wymagają pilnej ewakuacji (mniejszy priorytet), kolorem zielonym osoby które chodzą o własnych siłach, natomiast kolorem czarnym zgony, osoby których ciała zostaną usunięte dopiero po zakończeniu akcji ratowania życia. Jest to tzw. system znaczników Triage [3], rysunek 1.2 przedstawia przykładowy, papierowy, używany przez ratowników znaczek systemu Triage. Moim zadaniem jest próba udowodnienia że taki papierowy znaczek można zamienić na beacon, który nadając dookólnie zakodowany sygnał pomoże ratownikom w akcji ratunkowej.

Kolejnym komponentem systemu był statek powietrzny który miał za zadanie zbieranie, nadawanych przez beacony sygnałów i umiejscawianie ich na płaszczyźnie

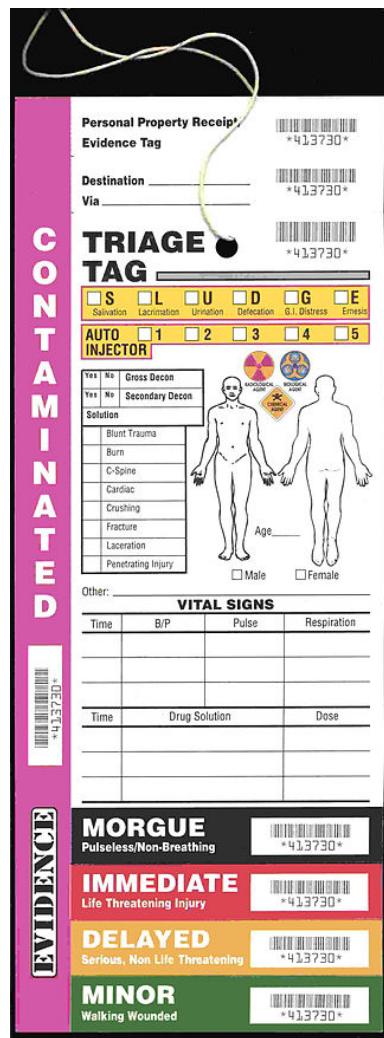


Rys. 1.1. Część naszego zespołu na konkursie "Droniada", osoby które brały udział w konkursie głównym.

mapy. Taki statek musiał zostać przez nasz zespół wyposażony w odbiornik bluetooth w wersji conajmniej 4.0 i odpowiednie oprogramowanie zbierające sygnały.

Ostatnim elementem systemu był system naziemny (ang. Ground Station). System ten zbierał zlokalizowane przez statek powietrzny sygnały i wyświetlał je na mapie, dodatkowo aproksymując pozycję realną beaconów na mapie. System ten składał się z kilku komponentów w architekturze klient-serwer.

Ogólny diagram BPMN mojego rozwiązania przedstawia rysunek 1.3. Na pierwszym torze widzimy beacona, na drugim statek powietrzny, na ostatnich trzech przedstawiona jest stacja naziemna. Stacja naziemna mogłaby być dowolnie dzielona na fizyczne maszyny, w naszym przypadku połączona była stacja naziemna z klientem proxy i z klientem odbiorczym, stacja naziemna z oprogramowaniem serwera była na innej maszynie fizycznej. W kolejnych rozdziałach będę przybliżał kolejno komponenty systemu.



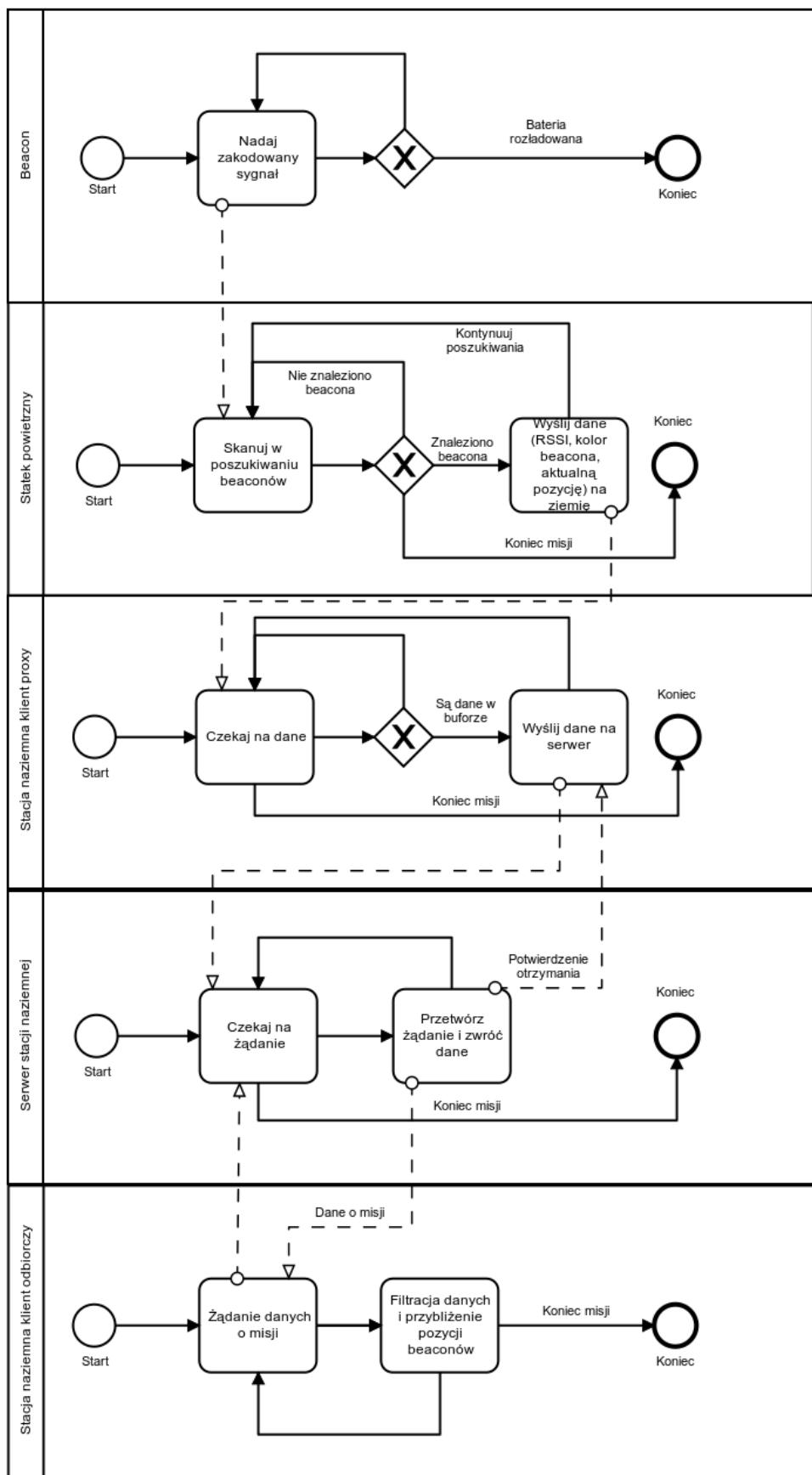
Rys. 1.2. Typowy znacznik systemu Triage, używany w akcjach ratowniczych [3].

2. Internet rzeczy

2.1. Koncepcja pomysłu internetu rzeczy

Internet rzeczy (ang. *Internet of Things - IoT*) to idea która zakłada że wszystko można podłączyć do sieci internet [4], wszystko to znaczy pojazd, budynek, i inne rzeczy wyposażone w elektroniczny system wbudowany z sensorami, aktorami oraz interfejs sieciowy, dzięki czemu możliwa jest wymiana danych.

Podstawowym celem idei internetu rzeczy jest stworzenie inteligentnych rzeczy, budynków, miast itp. Takie inteligentne rzeczy połączone w sieci mogą dać ludzkości możliwość nieustanego monitorowania zmieniających się warunków i przystosowywania tych inteligentnych rzeczy do wymagań użytkowników. Dla przykładu sieć czujników które zbierają dane pogodowe takie jak temperatura, ciśnienie, wysokość poziomu rzek itp mogłyby w czasie rzeczywistym wykrywać anomalie i sama na nie reagować. Taka szybka reakcja na zagrożenie znacząco zwiększa szanse na uratowa-



Rys. 1.3. Ogólny diagram BPMN przepływu danych w systemie.

nie ludzkiego życia i zmniejsza straty materialne.

2.2. Infrastruktura, sprzęt i BLE [5]

Warstwa odpowiedzialna za zbieranie danych ze świata rzeczywistego wyposażona jest przede wszystkim w sensory i elektroniczne identyfikatory. Sensory już od bardzo dawna używane są w przemyśle samochodowym, służbie zdrowia, zakładach produkcyjnych czy przemyśle kosmicznym, są coraz tańsze i mniejsze, dzięki temu mogą być dodawane jako standardowe wyposażenie do dowolnych urządzeń. Większość współczesnych telefonów jest wyposażona w akcelerometr, magnetometr, żyroskop, czujnik zbliżenia, czujnik oświetlenia, a nawet czujnik wilgotności czy barometr. Projekt CeNSE (ang. Central Nervous System of the Earth) ma na celu rozwój technologii tak, aby umożliwić oczujnikowanie całej naszej planety, tworząc swoisty układ nerwowy [6].

Bardzo ważną warstwą sieci internetu rzeczy jest warstwa transportowa. Warstwa transportowa łączy wszystkie sensory i aktory do sieci internet. Prowadzenie sieci kablowej jest bardzo drogie i czasochłonne, dlatego urządzenia implementujące ideę internetu rzeczy najczęściej wykorzystują różnorakie technologie bezprzewodowe, na przykład:

- Sieci komórkowe 2G, 3G, 4G - wymagają one doposażenia urządzenia w kartę SIM
- WiFi - sieci małego zasięgu, dla zapewnienia dostępu do internetu wymagany jest punkt dostępowy
- Bluetooth - protokół dedykowany sieciom osobistym, stosunkowo duże prędkości przesyłu
- ZigBee - niska przepustowość energooszczędność, spory zasięg w porównaniu z dwiema wyżej wymienionymi pozycjami
- Z-Wave - protokół dla domowej automatyki, wykorzystuje radio małej mocy

Urządzeniem które powstało specjalnie dla internetu rzeczy jest tzw. beacon, jest to urządzenie małej mocy które, w z góry określonych interwałach czasowych, nadaje dookoła ramki danych przy wykorzystaniu protokołu bluetooth. Ważne jest że beacon ma zaimplementowany bluetooth w wersji 4.0 (lub wyższej) potocznie nazywany BLE (ang. *Bluetooth Low Energy*). Ramki te mogą odbierać urządzenia znajdujące się w pobliżu beacona, zasięg typowego beacona to około 100m, na podstawie odebranego sygnału podejmować akcje. Ważnym parametrem sygnału nadawanego przez beacony, w naszym przypadku było tzw. RSSI, jest to po prostu

miara siły sygnału odebranego przez urządzenie odbiorcze. Im większy parametr RSSI tym mocniejszy sygnał, dzięki temu można z dość dużym błędem powiedzieć jak daleko znajdujemy się od nadajnika sygnału.

Z czego składa się IoT, jakich urządzeń używa, czym różni się bluetooth 4.0 od wcześniejszych wersji. Czym charakteryzują się kolejne wersje 4.1, 4.2, 4.3. Co to jest RSSI i jak je wykorzystać do określania pozycji, czy jest dokładne.

2.3. Komponenty IoT wykorzystane w tworzonym systemie

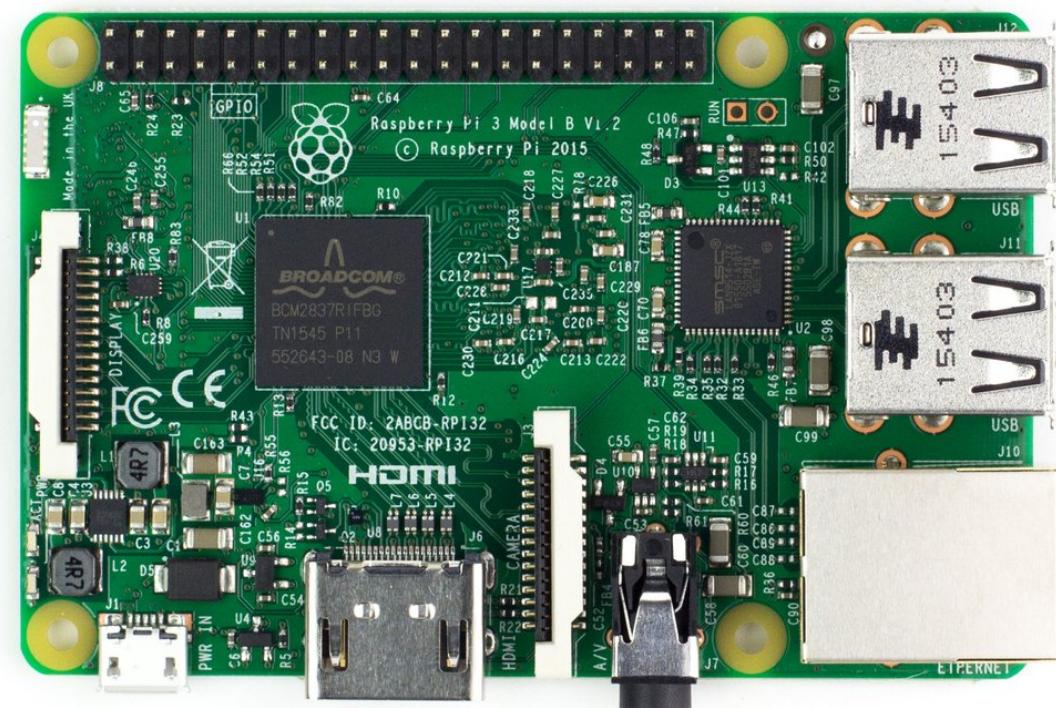
W tworzonym systemie wykorzystaliśmy beacons, jako urządzenia którymi oznaczane były osoby poszkodowane. Beacons to małe nadajniki sygnału radiowego, które najczęściej są używane do wysyłania danych na nasze telefony, w ogólności odbiornikiem może być dowolne urządzenie wyposażone w bluetooth w wersji 4.0 lub większej. Beacon często nazywany jest latarnią, działa on bowiem jako taka latarnia, zazwyczaj jest umieszczony w jednym, konkretnym miejscu, gdy wejdziemy w zasięg nadawanego przez niego sygnału możemy odbierać dane przez niego nadawane. Beacons konkursowe nadawały dane przy wykorzystaniu protokołu iBeacon^[7], stworzonego przez firmę Apple, innym równie popularnym protokołem jest Eddystone^[8], jednak ja skupiłem się na protokole iBeacon. To co nas najbardziej interesowało to bajty z danymi Major i Minor, oznaczającymi kolejno kolor i numer beacona według specyfikacji w tabeli 2.1.

Do odbioru sygnału organizatorzy konkursu proponowali użycie gatewaya produkcji firmy kontakt.io^[9], problem był taki że wspomnianego gatewya trzeba było zintegrować z komputerem pokładowym bezzałogowca, co wydawało się być zada-

Tab. 2.1. Kodowanie kolorów na dane Minor i Major

Major.Minor	Kolor	Znaczenie
1.1	Czarny	Kategoria BLACK, stwierdzono zgon, ciało zostanie zabrane po akcji ratunkowej.
2.1 2.2	Zielony	Odpowiednik kategorii GREEN, poszkodowany chodzi o własnych siłach - zdalny nadzór.
3.1 3.2 3.3	Żółty	Odpowiednik kategorii YELLOW, pilna ewakuacja medyczna.
4.1 4.2 4.3 4.4	Czerwony	Odpowiednik kategorii RED, natychmiastowa ewakuacja medyczna poszkodowanego.

niem trudnym. Postanowiłem więc użyć do tego celu komputera Raspberry Pi w wersji 3 model B [2.1](#) [11], który to wspiera bluetooth 4.0, jest stosunkowo małych rozmiarów ($56,5\text{mm} \times 85,6\text{mm} \times 17\text{mm}$), niewielkiej masy ($45g$), dodatkowo jest dość tanie, wszystkie te cechy idealnie pasują do urządzenia które można podłączyć do bezzałogowego statku powietznego. Na raspberrypi zainstalowałem system RTAndroid[10], tak żeby możliwe było skorzystanie z API ułatwiającego komunikację pomiędzy beaconami i odbiornikami, utrzymywany przez firmę kontakt.io, dzięki temu API pisanie aplikacji odbierającej dane było o wiele prostsze.



Rys. 2.1. Komputer Raspberry Pi 3 Model B, użyty w naszym projekcie w charakterze odbiornika bluetooth danych z beaconów.

3. Bezzałogowe statki powietrzne

3.1. Czym są UAV

Bezzałogowe statki powietrzne, UAV (ang. *Unmanned Aerial Vehicle*) potocznie nazywane dronami to statki powietrzne, które nie wymagają do lotu załogi obecnej na pokładzie oraz nie mają możliwości zabierania pasażerów, pilotowane są zdalnie lub wykonują lot autonomiczny. Niegdyś wykorzystywane jedynie w wojsku, stały się jednym z symboli walki z terroryzmem, pionierami w tego typu konstrukcjach były Stany Zjednoczone oraz Izrael. Ostatnio drony za sprawą spadającej ceny komponentów z których są konstruowane stały się dostępne praktycznie dla każdego, najczęstsze zastosowania dronów to fotografowanie i filmowanie z powietrza imprez masowych, wesel, promocja firm, turystyka, fotografowanie nieruchomości z powietrza, inwestycji typu droga szbkiego ruchu, most. Poza branżą zdjęciową, która w tym momencie jest głównym powodem zakupu dronów przez małe firmy usługowe ale też osoby prywatne, drony znajdują zastosowanie w geodezji, ochronie, straży pożarnej, interesują się nimi firmy kurierskie, dostawcy jedzenia, w leśnictwie i wiele więcej. Drony posiadają możliwość zamontowania na ich pokładzie różnorodnych sensorów, gdzie masa sensora jest oczywiście ograniczeniem, ale dron do kwoty którą jest za niego w stanie zapłacić statystyczny Kowalski może unieść już pokaźnych rozmiarów sensory. Również nasz projekt zakładał montaż takiego dodatkowego sensora na pokładzie statków powietrznych. Nasz plan zakładał użycie trzech statków powietrznych do wykonania misji, jednym z nich był płatowiec widoczny na zdjęciu 3.1, dwa pozostałe to czterowirnikowce, jeden komercyjny Phantom 3, drugi zbudowany przez nas od podstaw.

3.2. Rola UAV w projektowanym systemie

Zadaniem statków powietrznych które wykorzystaliśmy w projekcie było znalezienie w terenie nadajników sygnału bluetooth. Teren był z góry określony i wyznaczał go wielokąt wypukły zaprezentowany na rysunku 3.2. Do odbioru danych, taka jak pisałem wcześniej, użyliśmy Raspberry Pi 3 Model B, po jednym komputerze do każdego statku powietrznego, mieliśmy trzy statki, więc były trzy komputery Raspberry Pi. Statki powietrzne musiały się poruszać w taki sposób żeby po pierwsze pokryć swoim przelotem cały teren, po drugie, zmieścić się w wyznaczonym na 30 minut oknie czasowym misji. Ważne było żeby pozycje znalezionych beaconów podać z dużą dokładnością, błęd powyżej trzech metrów oznaczał stratę punktów. Nasz plan zakładał rozpoczęcie misji płatowcem z zaplanowaną misją która pokrywałaby cały teren poszukiwań, do momentu znalezienia pierwszego beacona przez płatowiec, czterowirnikowce miały pozostać uziemione, w momencie nadania informacji



Rys. 3.1. Nasz płatowiec, na bazie kadłuba skyhunter, podczas wykonywania misji konkursowej.

macji o znalezieniu pierwszego beacona, pierwszy z czterowirnikowców podrywały się i kierowały w pobliże miejsca znalezienia pierwszego beacona, po zadowalającym dla nas przybliżeniu pozycji beacona, czterowirnikowiec poruszałby się do kolejnego znalezionego beacona. Drugi czterowirnikowiec był swego rodzaju zabezpieczeniem gdyby pierwszy uległ awarii, lub gdyby pierwszy nie dawał sobie rady ze znajdowaniem kolejnych beaconów, czterowirnikowiec był sterowany manualnie przez wyszkolonego operatora, posiadającego świadectwo kwalifikacji UAVO.

3.3. Autonomiczna misja

Jednym z kryteriów oceny stosowanym przez jury konkursowe było wykonanie misji w trybie autonomicznym, to znaczy że statkami powinien sterować program komputerowy, nie człowiek. Planowanie takiej misji nie jest większym problemem, jako że stosowany przez nas kontroler lotu miał możliwość zaprogramowania mu takiej właśnie misji, planowanie misji polega na podaniu programowi punktu startu, punktu końca, oraz punktów pośrednich z wysokościami barometrycznymi, czyli wysokościami nad poziomem gruntu, na jakich ma się odbywać misja, przykład takiej misji znajduje się na rysunku 3.3. My wykonywaliśmy misję w trybie częściowo autonomicznym a częściowo manualnym, płatowiec miał wgraną misję, natomiast czterowirnikowce były sterowane przez operatorów. Początkowo były plany wyko-



Rys. 3.2. Mapa terenu w obrębie którego mogły znajdować się beacony konkursowe, pomarańczową linią wyznaczona jest granica zewnętrzna terenu.

nania całej misji autonomiczne, byłoby to możliwe przy wykorzystaniu narzędzia dronekit [12], które to udostępnia wygodny interfejs programistyczny ułatwiający sterowanie statkami powietrznymi. Wymagałby to jednak odemnie napisania programu który w odpowiedzi na znalezienie beacona przez pilotowca wysyałby w odpowiednie miejsce czterowirnikowiec w celu dokładniejszego zbadania pozycji beacona. Było to możliwe, ale bardzo trudne, ponieważ i tak miałem sporo pracy z innymi komponentami systemu, porzuciłem tą część projektu na samym początku. Program taki wymagałby ponadprzeciętnej obsługi sytuacji wyjątkowych, które przy takich misjach pojawiają się bardzo często (mocniejszy podmuch wiatru, przeszkoda statyczna na przykład drzewo, przeszkoda dynamiczna na przykład człowiek lub ptak) a to z kolei wymagałoby setek godzin testów i dodatkowego oprzyrządowania statku powietrznego (czujniki zbliżeniowe, zwiększenie widoczności poprzez dodatkowe lampki i ewentualne sygnały dźwiękowe w celu ostrzeżenia ludzi i odstraszenia ptaków). W rezultacie takiego programu sterującego czterowirnikowcem, nie otrzymalibyśmy niestety niczego lepszego niż jest nam w stanie zapewnić operator, żeby program przerósł operatora w tej kwestii potrzebne były tysiące godzin testów, których nie byliśmy w stanie zapewnić.



Rys. 3.3. Przykład misji autonomicznej w programie Mission Planner.

3.4. Bezpieczeństwo stosowania UAV w misji ratunkowej

Może się niestety tak zdażyć że w misji ratunkowej ucierpi sam ratownik, albo jego sprzęt, mieliśmy taki przykład podczas samego konkursu, gdzie jednej z drużyn zapaliła się bateria zainstalowana w statku powietrznym, przez co statek dosłownie spłonął, sytuację przedstawiają zdjęcia 3.4 oraz 3.5.



Rys. 3.4. Dron jednej z drużyn spłonął na zawodach.



Rys. 3.5. To co zostało z drona po pożarze baterii.

Jak widać Czy nie stanie się tak że trzeba będzie ratować ratownika, na co trzeba uważać, jak trzeba się oznaczyć, o czym należy pamiętać.

4. Koncepcja techniczna systemu

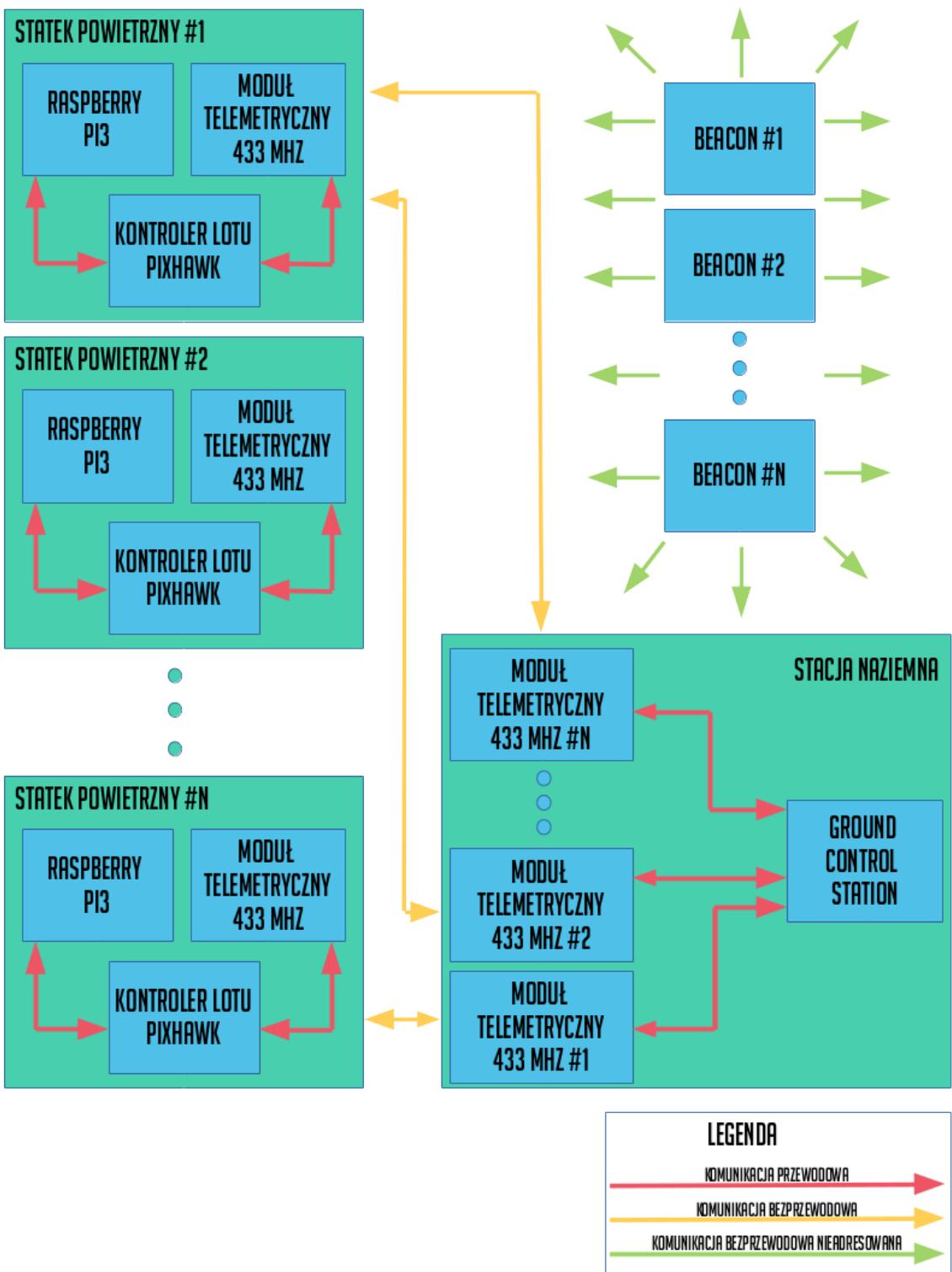
4.1. Architektura tworzonego systemu

Komponenty systemu, podział odpowiedzialności pomiędzy sprzęt i ludzi, protokoły pomiędzy urządzeniami, fale radiowe, zakłócenia...

4.2. Schemat blokowy rozwiązania

Na rysunku 4.1 znajduje się schemat blokowy zaproponowanego przeze mnie rozwiązania.

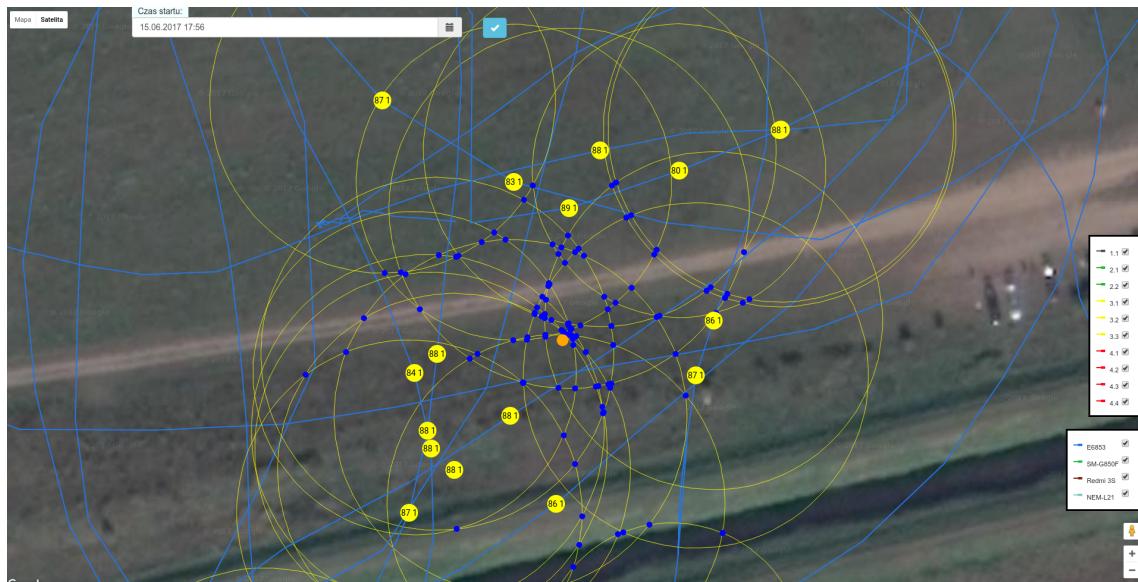
Stacja naziemna to komputer z zainstalowanym oprogramowaniem i modułami telemetrycznymi do odbierania komunikatów ze statków powietrznych. Moduły telemetryczne nie bez powodu pracują na częstotliwości $433MHz$ jest to bowiem częstotliwość na użytkowanie której nie potrzebne jest zezwolenie, według rozporządzenia Urzędu Komunikacji Elektronicznej [13]. Stacja naziemna niekoniecznie jest miejscem przy którym siedzi operator systemu. System został zaprojektowany w archi-



Rys. 4.1. Schemat blokowy.

tekurze klient-serwer, gdzie funkcje klientów może pełnić dowolne urządzenie które na dostęp sieciowy do serwera, przy czym nasz serwer znajdował się w bezpiecznym pomieszczeniu w Warszawie, podczas gdy my przy pomocy klientów w postaci róż-

nych urządzeń zasilaliśmy serwer danymi, a przy pomocy innych klientów dane z serwera były pobierane i prezentowane operatorowi w wygodnej i zrozumiałej dla niego postaci, której przykład stanowi rysunek 4.2.



Rys. 4.2. Widok ekranu operatora systemu.

Na rysunku widzimy dokładnie to co widzi operator systemu, zaprezentowany zrzut pochodzi z testów systemu przeprowadzanych jeszcze przed zawodami. Niebieska linia to trasa przelotu statku powietrznego użytego do testu. Zółte kropki to próbki sygnału jakie udało się zebrać, na kropkach pokazana jest siła sygnału (RSSI), oraz numer beacona w kolejności (w tym wypadku numer 1). Zółte okręgi wyznaczają gdzie prawdopodobnie znajduje się beacon (im słabszy sygnał tym większy okrąg, nasza aproksymacja działa podobnie jak ta która działa w systemie GPS). Tam gdzie żółte okręgi się przecinają stawiamy granatowy punkt, ale nie zawsze, wybieramy tylko te punkty które są najbliżej prawdopodobnego rozwiązania, w końcu pomarańczowy punkt stanowi rozwiązanie aproksymacji. W przedstawionym przykładzie system pomylił się około 2 metry na południe, co mogło być wynikiem dokładności systemu GPS i małej ilości próbek sygnału w zaprezentowanym przykładzie.

Dodatkowo operator po prawej stronie ma możliwość włączenia lub wyłączenia ścieżek pojazdów, oraz poszczególnych beaconów, co może być przydatne w przypadku dużej ilości danych. Na górze jest też możliwość wybrania z bazy danych od konkretnego momentu w czasie, na przykład możemy wybrać tylko punkty które zostały utworzone dzisiaj po godzinie 14 : 00, opcja ta była przydatna podczas przeprowadzania testów.

Wracając do schematu blokowego, kolejnym jego elementem są statki powietrzne, ich ilości w projektowanym systemie nie ograniczało nic. W praktyce oczywiście ograniczeniem mogłyby być przepustowość łączą jaką dysponowaliśmy, ilość operatorów potrzebnych do obsługi statków i na pewno same statki, które nie są tanie. Wyma-

nagnie jakie było postawione naszym statkom powietrznym to posiadanie kontrolera lotu pixhawk, miejsce na umieszczenie modułu Raspberry Pi 3, oraz posiadanie linku telemetrycznego $433MHz$. Od tego jednak również poczyniliśmy odstępstwo, ponieważ daliśmy możliwość pracy ze statkiem komercyjnym jakim jest Phantom 3 [4.3](#), nie ma on na wyposażeniu kontrolera lotu Pixhawk, a jedynie co było wymagane żeby Phantom mógł zasilać nasz system danymi to podczepienie mu urządzenia zainstalowaną aplikacją na system operacyjny Android, którą specjalnie dla tego celu napisaliśmy, urządzeniem mogło być Raspberry Pi 3, lub na przykład dowolny telefon wyposażony w bluetooth 4.0 lub większy.



Rys. 4.3. Phantom 3.

Ostatnim elementem zaprezentowanym na schemacie są beacons. Są to urządzenia wyposażone w nadajnik bluetooth, który ma możliwość wysyłania dookólnych, niezaadresowanych danych. Dzięki temu że dane nie są zaadresowane nie trzeba parować urządzeń (tak jak miało to miejsce przed pojawiением się bluetooth 4.0) i to jest podstawą IoT. Sygnały nadawane przez wspomniane beacons były zbierane przez statki powietrzne, a właściwie przez aplikację zainstalowaną na raspberry Pi 3, lub innym urządzeniu i wysyłane do stacji naziemnej.

4.3. Algorytm pracy

Algorytm pracy systemu jest następujący. Pierwszym krokiem jest rozmieszczenie włączonych beaconów, nadających dane w ustalonym wcześniej protokole ??,

na jakimś z góry ustalonym terenie. Beacons przypominają osoby które ucierpiały w katastrofie.

Kolejnym krokiem jest uruchomienie klientów, czyli urządzeń które będą sygnały zbierać, i umieszczenie ich na statkach powietrznych.

Następnie podłączamy się klientem który będzie dane odbierał, jako że nasz aplikacja została napisana w technologii webowej, klientem odbiorczym mogło być dowolne urządzenie posiadające dostęp do serwera i przeglądarkę internetową, na przykład laptop.

Od tego momentu rozpoczyna się misja właściwa, statki wznoszą się w powietrzu i oblatują wskazany teren, mogą to robić autonomiczne, z pomocą zaprogramowanej wcześniej przez operatora misji, lub operator sam może kierować ich ruchem, można też oczywiście stosować mieszaną taktykę, konfiguracja jest dowolna, statki są od siebie niezależne. Aplikacja zainstalowana na urządzeniu podczepionym do statku zbiera znalezione beaconsy przy pomocy linku telemetrycznego wysyła je do stacji naziemnej, która transmisuje je do serwera, a z serwera dowolny klient odbiorczy może je pobrać.

Klient odbiorczy ma po swojej stronie zaimplementowany algorytm aproksymacji punktu gdzie prawdopodobnie znajduje się poszukiwany beacon. Doszwiadczyony operator empirycznie wybiera miejsce znalezienia beaconsa i przekazuje je dalej.

Co po kolei się włącza, kto za co odpowiada i w którym momencie należy coś wyzwolić, pod jakimi warunkami, kto to ma zrobić.

4.4. Podłączenie wielu statków do jednego systemu

Projekt systemu od początku skupiał się na możliwości skorzystania z wielu statków powietrznych. Zostało to umożliwione dzięki zastosowaniu infrastruktury typu klient-serwer, klientów może być dowolnie wielu i nie muszą o sobie wiedzieć, z tego punktu widzenia nie ma problemu z wieloma statkami. Również samo przybliżanie położenia beaconów nie jest wrażliwe na ilość statków w przestrzeni, a to dzięki temu że aproksymacja dokonywana jest już po stronie klienta odbiorczego, im więcej punktów znalezionych, nawet jeżeli punkty znalazły różne statki, tym lepiej.

Może się natomiast pojawić problem innej natury, statki będą się poruszać po z góry zdefiniowanym obszarze i jak to bywa, mogą na siebie wpaść wykonując zadanie, może być to błąd operatora, błąd aparatury sterującej, błąd w programie kontrolera, usterka sprzętowa, może to też być coś z zewnątrz, ptak, drzewo, człowiek. Możliwości jest wiele, wyeliminować wszystkich zagrożeń na pewno się nie da, ale można je ograniczyć, stosując się do przyjętych procedur, przepisów prawa lotniczego, dla UAV też już są specjalne przepisy które regulują tą coraz szybciej rozwijającą się branżę.

Ostatnią kwestią są zakłócenia. Radia statków nie są dużych mocy, raz ze względu na ograniczenia regionalne, w Polsce obowiązuje bardzo rygorystyczne prawo, jeżeli chodzi o moce nadajników, dwa ze względu na to że im mocniejsze radio, tym więcej energii konsumuje, a na statku powietrznym nie ma chyba nic cenniejszego niż energia, trzeba ją oszczędzać. Dodatkowym problemem jest ilość urządzeń korzystających z tych samych częstotliwości, typowe częstotliwości stosowane dla UAV znajdują się w tabeli 4.1.

Należy zaznaczyć że tych częstotliwości używają również inne technologie i urządzenia, takie jak wi-fi, bluetooth, sterowanie bram i automatyka budynkowa, modemarze itd. Nie ma dużego prawdopodobieństwa sytuacji w której dron odbierze i przetworzy jakiś sygnał który nadał punkt dostępowy sieci Wi-Fi na ziemi, ze względu na to że każdy z sygnałów ma inny protokół i po prostu się nie zrozumieją. Problemem jednak jest nadawanie na podobnych falach w bliskiej odległości, sygnały które się na siebie nałożą, mogą prowadzić do zakłóceń i znaczącego spadku przepustowości transmisji, dlatego kilka dronów mających nadajniki sterujące na podobnej częstotliwości, może się zakłócać a ich zasięg może się znaczco zmniejszyć [14].

Czy jest możliwe, czy jest bezpieczne, jak nimi sterować, czy się wzajemnie nie zakłócają

4.5. Sterowanie autonomiczne

System zakładał możliwość lotu autonomicznego przez statki powietrzne, oczywiście zawsze pozostawała też możliwość lotu manualnego. Oprogramowanie którego uzupełniło możliwość lotu autonomicznego bez żadnych modyfikacji kodu, mieliśmy więc po części ułatwione zadanie. Po części ponieważ latając kilkoma statkami po tym samym obszarze zawsze jest możliwość kolizji, nasze oprogramowanie i sprzęt nie udostępniało nam żadnych narzędzi do omijania przeszkód, musielibyśmy być pewni trasy przelotu którą planowaliśmy. Samoczynne omijanie przeszkód było zdecydowanie zbyt szerokim tematem żebyśmy mogli je rozważać, w rezultacie większa odpowiedzialność spadła na operatorów, którzy musieli dbać o bezpieczeństwo.

Tab. 4.1. Typowe częstotliwości stosowane dla UAV

Częstotliwość	Opis
433MHz	sygnał telemetryczny w Europie
915MHz	sygnał telemetryczny w USA
1,2GHz	sygnał audio i wideo
2,4GHz	sygnał sterujący
5,8GHz	sygnał audio i wideo

stwo w tym zakresie.

Jak to robić, jak unikać kolizji, jak plaować misje

4.6. Bezpieczeństwo użytkowania

Ratownik udzielający pomocy przy użyciu naszego systemu powinien pamiętać przede wszystkim o swoim bezpieczeństwie. Tak jak ma to miejsce przy okazji wypadku samochodowego którego świadkiem jesteśmy, najpierw dbamy o własne bezpieczeństwo, zabezpieczamy miejsce zdarzenia i dopiero wtedy przystępujemy do akcji ratunkowej. Podobnie tutaj, przed rozpoczęciem misji trzeba zadbać o bezpieczeństwo, sprawdzić tzw. checklistę startową, sprawdzić stan statku powietrznego, czy na przykład nie uległ uszkodzeniu w transporcie, zorientować się w kwestii pogody, która ma tutaj niebagatelne znaczenie. Ważne żeby operator był zaopatrzony w kamizelkę odblaskową w jaskrawym kolorze, dzięki temu każdy będzie go widział z daleka. Do startu trzeba przygotować miejsce, nie można wystartować jeżeli miejsca jest zbyt mało, szczególnie jest to ważne jeżeli ma się statek powietrzny o starcie poziomym, ze startem pionowym jest zdecydowanie łatwiej, ale też trzeba uważać.

Operatora nie należy rozpraszać, powinna być też jedna osoba odpowiedzialna za zwracanie uwagi osobom postronnym, które przeszkadzają operatorowi, zadają pytania, nawet nieświadomie mogą doprowadzić do wypadku.

Należy również pamiętać o zabezpieczeniu samego sprzętu, do elementów elektronicznych nie powinna mieć woda, głównie chodzi tu o deszcz, czyli musimy ochronić statki co najmniej z góry i boków. Przechowywanie baterii i innej elektroniki również musi być robione w sposób przemyślany, co prawda napięcie na jakie są projektowane tego typu statki to najczęściej $24V$, rzadziej, ale zdarza się $36V$, więc w większości przypadków jest to napięcie uznawane za bezpieczne. Natomiast najczęściej stosuje się baterie z rodziny litowo-jonowych lub lito-polimerowych, należy pamiętać że baterie tego typu potrzebują odpowiedniego okuładu elektronicznego tzw. BMS (ang. Battery Management System), który nie tylko dba o ich optymalne zużywanie ale przede wszystkim o bezpieczeństwo użytkownika.

O czym powienien pamiętać ratownik tak żeby sam nie potrzebował pomocy

4.7. Aspekty mechaniczne systemu

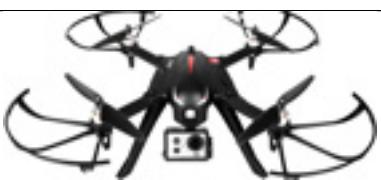
Tu nie będę się szeroko rozpisywał, bo i nie ma o czym. W systemie który projektowałem większość funkcjonalności była realizowana programowo, nie było elementów ruchmych, a jedyne o co musiałem zadbać to mocowanie odbiornia sygnału beaconów do statku powietrznego i zadbanie o to żeby nie uległ zamoczeniu, zostało to zrealizowane przy pomocy specjalnej obudowy do raspberry Pi. W przypadku płatowca raspberry zostało zamocowane w kokpicie, obok kontrolera lotu, w przy-

padku naszego drona pomiędzy baterią a koontrolerem pokładowym, w przypadku phantoma nie było zbyt dużo możliwości, jako że wewnątrz jego korpusu nie ma na nic miejsca, raspberry zostało więc przymocowane do nóżek.

5. Problemy i próba ich rozwiązań

5.1. Krótki czas lotu i zasięg UAV

Oczywistym problemem dronów zasilanych energią elektryczną jest relatywnie krótki czas lotu i zasięg. Poniżej znajduje się tabela gdzie dokonano szacunkowej wyceny czasu lotu i zasięgu przy umiarkowanych, porównywalnych warunkach pogodowych [5.1](#).

Nazwa	Zdjęcie	Zasięg [m]	Czas lotu [min]
Parrot AR drone		50	11
MJX Bugs 3		300	15
Upair One		500	20
Traxxas Aton		200	20
DJI Phantom 3 Stand		1500	25
Yuneec Q500+		2000	22

3DR Solo		500	22
Autel X-Star		2000	23
DJI Phantom 3 Pro		3000	23
DJI Phantom 4 Pro		7000	26
DJI Inspire 2		7000	27
DJI Mavic Pro		7000	27

Tab. 5.1. Szacunkowy czas lotu dronów seryjnych [15]

W tabeli zostały wymienione seryjne drony czterowirnikowe do ceny 3000\$ a więc takie które są dostępne dla każdego.

wspomnieć że można latać droższymi, płatowcami itp, ale napisać że niewiele się zyska

5.2. Zawodność linku telemetrycznego

Jednym z poważniejszych problemów na jaki się natknąłem było notoryczne zrywanie linku telemetrycznego pomiędzy dronem a stacją naziemną. Spowodowane to było przede wszystkim tym że urządzenia które stosowaliśmy były wątpliwej jakości, sytuację pogarszał fakt że musielismy mieć jednocześnie kilka linków, do kilku dronów.

5.3. Wrażliwość systemu na sytuacje wyjątkowe

5.4. Problemy sprzętowe

5.5. Sygnał beacona

Pierwsza sprawa jest taka że sygnał nadawany przez beacony ma doświadczalnie przez nas zmierzony zasięg maksymalny około $80m$, przy dobrych warunkach pogodowych i bezpośredniej widoczności, bez żadnych przeszkód pomiędzy odbiorikiem i nadajnikiem. Dodatkowo opieraliśmy się tutaj na parametrze RSSI [16], który wskazuje na siłę sygnału jaką widzi urządzenie odbiorcze, wskaźnik ten bardzo zależy od warunków pogodowych, przeszkód pomiędzy urządzeniami, wreszcie od samego wykonania urządzeń, szczególnie odbiorczego, na jego podstawie jedynie w przybliżeniu mogliśmy określić czy znajdujemy się w pobliżu beacona, czy jesteśmy daleko. Żeby więc znaleźć takiego beacona na ziemi z powietrza musimy po pierwsze lecieć nisko, a czasami nie jest to możliwe, są drzewa, budynki, linie energetyczne, które nie pozwolą nam lecieć nisko, założymy więc że na wysokości powyżej 20 metrów mamy wolną przestrzeń, jednak żeby znaleźć wszystkie beacony musimy lecieć tak żeby każdy punkt oblatywanego obszaru był od nas najdalej o te założone kilkadziesiąt metrów, skoro maksymalnie widzieliśmy beona z $80m$ założyliśmy że musimy lecieć co najdalej $60m$ od każdego punktu na przeszukiwanym obszarze. Im wyżej lecimy tym musimy lecieć ciasniej, czyli nasze ścieżki muszą być bliżej siebie. Problem ilustruje rysunek 5.1.

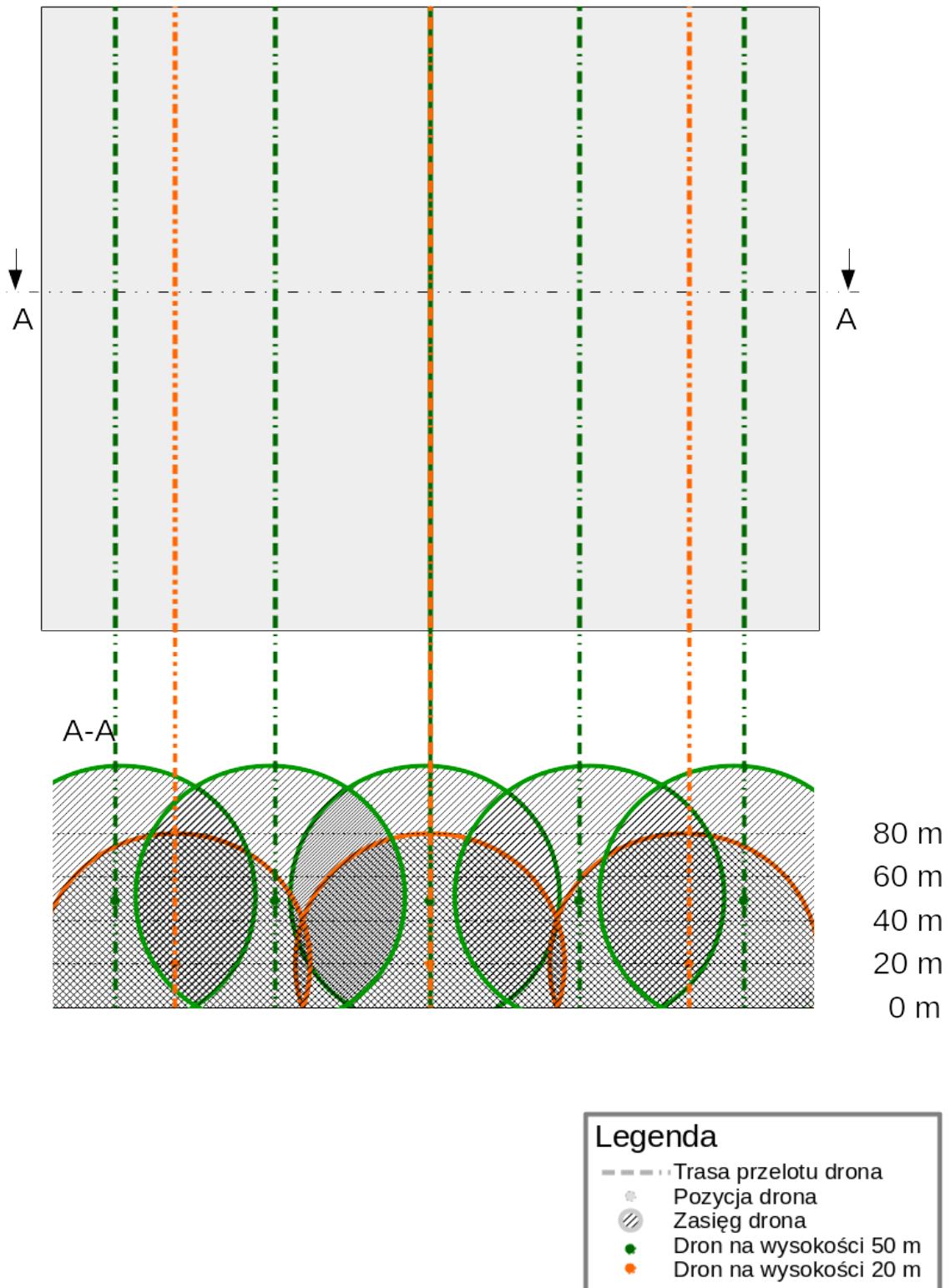
Na rysunku widzimy przykładowy obszar który musimy zbadać i dwie proponowane wysokości przelotu, wysokość $50m$ oznaczona jest na zielono, wysokość $20m$ na pomarańczowo, widać że aby przelecieć zadany obszar na wysokości $50m$ musimy przelecieć go w sumie 5 razy, w przypadku lotu na wysokości $20m$ wystarczy 3 razy, lot na wysokości $60m$ lub wyżej, przy naszych założeniach nie miałby już sensu.

6. Testy systemu

Loty autonomiczne, wyznaczanie charakterystyk siły sygnału bluetooth...

7. Konkurs

Jak nam poszło, jak dokładnie udało się określić pozycje, problemy podczas konkursu, wypadki, wyjątkowe sytuacje. Jak sprawdził się nasz sprzęt.



Rys. 5.1. Schematy przelotu.

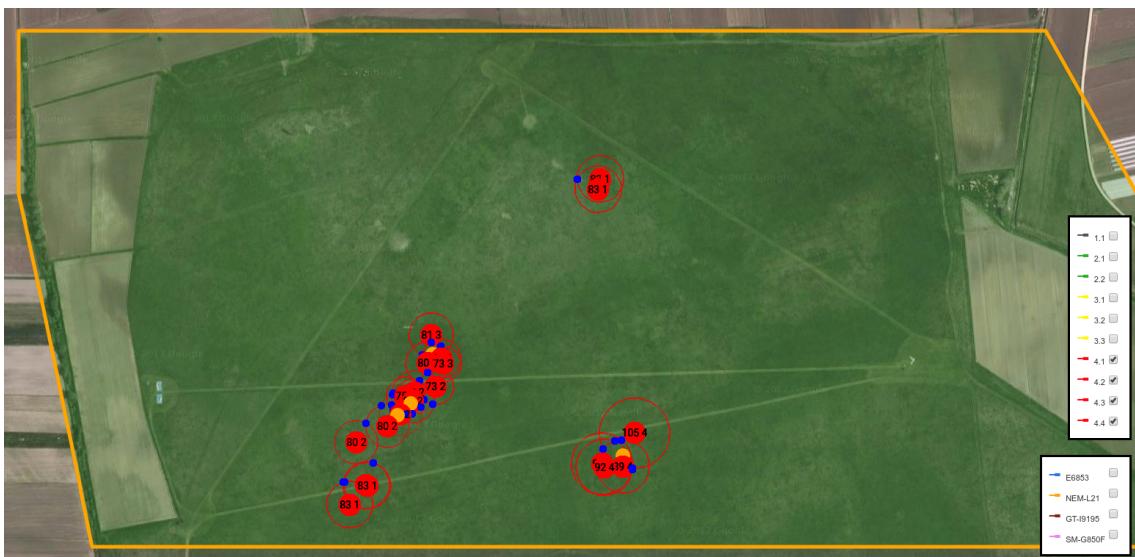
8. Podsumowanie

8.1. Wnioski

Podstawowym wnioskiem z przeprowadzonych testów i zawodów jest to że system w takim stanie w jakim był, nie może mieć żadnego poważnego zastosowania. Drony

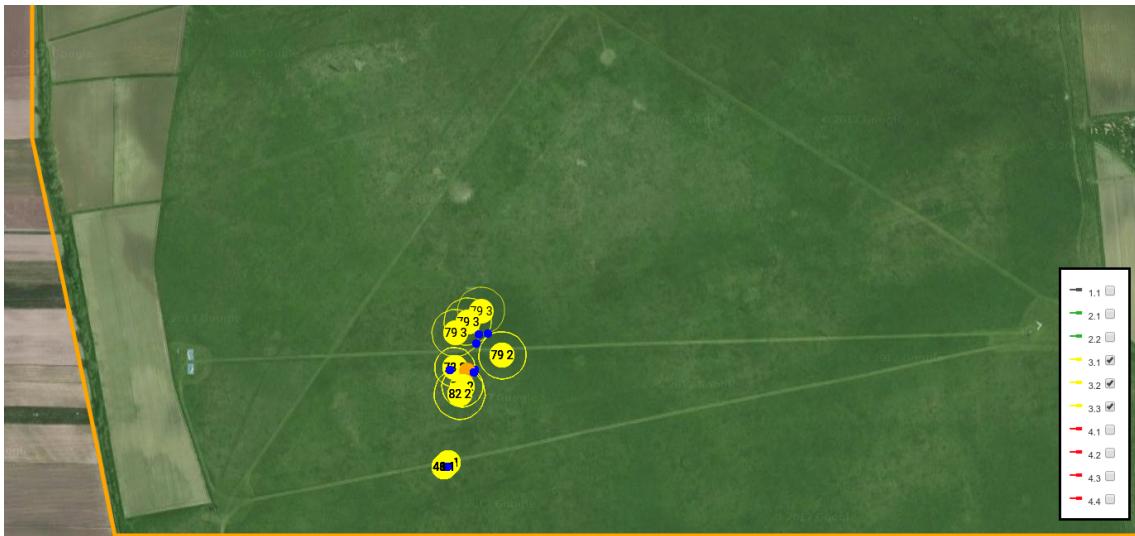


Rys. 7.1. Pozycje beaconów rozmieszczonych przez organizatorów podczas konkursu.



Rys. 7.2. Wskazanie naszego systemu na miejsce położenie beaconów czerwonych.

które mieliśmy do dyspozycji miały krótkie czasy lotu, mały zasięg, a prawdziwa misja ratunkowa nie odbywa się na powierzchni kilku kilometrów kwadratowych, gdzie można całą akcję przeprowadzić ręcznie, bez użycia niepotrzebnego dodatkowego sprzętu. Można oczywiście użyć droższego sprzętu, o większym zasięgu, ale znów czy beacony to dobry wybór?



Rys. 7.3. Wskazanie naszego systemu na miejsce położenie beaconów żółtych.



Rys. 7.4. Wskazanie naszego systemu na miejsce położenie beaconów zielonych.

8.2. Plany na przyszłość

Planów na przyszłość z tym konkretnym projektem nie mam, wydaje mi się że to co tutaj robiliśmy, w tej formie, nie ma przyszłości w ratownictwie, co najwyżej komponenty tego systemu mogłyby mieć zastosowanie w innym projekcie. Samo wyszukiwanie beaconów mogłyby mieć zastosowanie na przykład w biurach do sprawdzania kiedy pracownik przyszedł, wyszedł, gdzie mniej więcej się znajduje, a możnaby to było realizować przy pomocy beacona takiego jak na rysunku 8.1.

Podobnie na imprezach masowych można przy pomocy takiego beacon śledzić osoby. Gdyby siła sygnału takiego beacona miała większy zasięg, na przykład kilka kilometrów, takie beacony możnaby było rozdawać ludziom którzy idą w góry, dzięki



Rys. 7.5. Nałożenie naszych szacunkowych pozycji na obraz z pozycjami realnymi.

Tab. 7.1. Położenie beaconów konkursowych oraz naszych i błąd naszego pomiaru

Beacon	Pozycja realna [lat, lon]	Pozycja zmierzona [lat, lon]	Błąd [m]
1.1	50.0888040, 20.2041863		
2.1	50.0889409, 20.1968885	50.088867, 20.197039	13,46
2.2	50.0916493, 20.1993463	50.091776, 20.199251	16,65
3.1	50.0898048, 20.1971456	50.089800, 20.197217	4,73
3.2	50.0896552, 20.1971186	50.089036, 20.197759	81,58
3.3	50.0908825, 20.1989062	50.089979, 20.197821	126,74
4.1	50.0916549, 20.1998945	50.091767, 20.199826	13,61
4.2	50.0897875, 20.1975500	50.089981, 20.197523	22,37
4.3	50.0900354, 20.1976396	50.090101, 20.197607	8,21
4.4	50.0890267, 20.2006400	50.089051, 20.200665	3,23

temu łatwiej byłoby ich później znaleźć przy pomocy drona, w przypadku gdyby zabłądzili.



Rys. 8.1. Beacon w postaci karty, rozmiarowo zbliżony do karty kredytowej.

Literatura

- [1] *Parada Robotów Droniada 2017[online]*, dostęp w internecie w dniu 24 czerwca 2017: <http://www.5zywiolow.pl/droniada2017/>
- [2] *Bluetooth low energy beacon[online]*, dostęp w internecie w dniu 1 października 2017: https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy_beacon
- [3] *Znacznik systemu Triage[online]*, dostęp w internecie w dniu 24 czerwca 2017: https://en.wikipedia.org/wiki/Triage_tag
- [4] *Internet rzeczy[online]*, dostęp w internecie w dniu 24 czerwca 2017: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things
- [5] *Raport Obserwatorium ICT — Internet przedmiotów [online]*, dostęp w internecie w dniu 2 października 2017: http://www.obserwatoriumit.pl/site/assets/files/1059/internet_of_things.pdf
- [6] *Central Nervous System of the Earth [online]*, dostęp w internecie w dniu 2 października 2017: <https://en.wikipedia.org/wiki/CeNSE>
- [7] *Protokół iBeacon[online]*, dostęp w internecie w dniu 8 lipca 2017: <https://developer.apple.com/ibeacon/>

- [8] *Protokół Eddystone[online]*, dostęp w internecie w dniu 21 października 2017: <https://developers.google.com/beacons/eddystone>
- [9] *Gateway producji firmy kontakt.io[online]*, dostęp w internecie w dniu 8 lipca 2017: <https://store.kontakt.io/next-generation/33-gateway.html>
- [10] *Strona domowa projektu RTAndroid[online]*, dostęp w internecie w dniu 8 lipca 2017: <https://rtandroid.embedded.rwth-aachen.de>
- [11] *Raspberry Pi models comparison[online]*, dostęp w internecie w dniu 21 października 2017: <https://socialcompare.com/en/comparison/raspberrypi-models-comparison>
- [12] *Dronekit[online]*, dostęp w internecie w dniu 21 października 2017: <http://dronekit.io/>
- [13] *Rozporządzenie Urzędu Komunikacji Elektronicznej ws. dozwolonych częstotliwości nie wymagających zezwolenia na terenie RP[online]*, dostęp w internecie w dniu 18 września 2017: https://www.uki.gov.pl/files/?id_plik=12366
- [14] *Research into the Radio Interference Risks of Drones[online]*, dostęp w internecie w dniu 20 września 2017: https://www.agentschaptelecom.nl/sites/default/files/research_into_radio_interference_risks_of_drones.pdf
- [15] *Drones with the best flight times[online]*, dostęp w internecie w dniu 27 września 2017: <http://www.dronesglobe.com/guide/long-flight-time/>
- [16] *Received signal strength indication[online]*, dostęp w internecie w dniu 30 września 2017: https://en.wikipedia.org/wiki/Received_signal_strength_indication

Spis rysunków

1.1.	Część naszego zespołu na konkursie "Droniada", osoby które brały udział w konkursie głównym.	13
1.2.	Typowy znacznik systemu Triage, używany w akcjach ratowniczych [3].	14
1.3.	Ogólny diagram BPMN przepływu danych w systemie.	15
2.1.	Komputer Raspberry Pi 3 Model B, użyty w naszym projekcie w charakterze odbiornika bluetooth danych z beaconów.	18
3.1.	Nasz pątowiec, na bazie kadłuba skyhunter, podczas wykonywania misji konkursowej.	20
3.2.	Mapa terenu w obrębie którego mogły znajdować się beacony konkursowe, pomarańczową linią wyznaczona jest granica zewnętrzna terenu.	21
3.3.	Przykład misji autonomicznej w programie Mission Planner.	22
3.4.	Dron jednej z drużyn spłonął na zawodach.	22
3.5.	To co zostało z drona po pożarze baterii.	23
4.1.	Schemat blokowy.	24
4.2.	Widok ekranu operatora systemu.	25
4.3.	Phantom 3.	26
5.1.	Schematy przelotu.	33
7.1.	Pozycje beaconów rozmieszczonych przez organizatorów podczas konkursu.	34
7.2.	Wskazanie naszego systemu na miejsce położenie beaconów czerwonych.	34
7.3.	Wskazanie naszego systemu na miejsce położenie beaconów żółtych. .	35
7.4.	Wskazanie naszego systemu na miejsce położenie beaconów zielonych.	35
7.5.	Nałożenie naszych szacunkowych pozycji na obraz z pozycjami realnymi.	36
8.1.	Beacon w postaci karty, rozmiarowo zbliżony do karty kredytowej. . .	37

Spis tabel

2.1.	Kodowanie kolorów na dane Minor i Major	17
4.1.	Typowe częstotliwości stosowane dla UAV	28
5.1.	Szacunkowy czas lotu dronów seryjnych [15]	31
7.1.	Położenie beaconów konkursowych oraz naszych i błąd naszego pomiaru	36

Załączniki