

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

KIERUNEK: INFORMATYKA

SPECJALNOŚĆ: SYSTEMY INFORMATYKI W MEDYCYNIE

PRACA DYPLOMOWA
INŻYNIERSKA

System inspekcji obszarów z wykorzystaniem
autonomicznych dronów

Autonomous drone-based scouting system

AUTOR:

Mateusz Bączek

PROWADZĄCY PRACĘ:

Dr inż. Michał Kucharzak, Katedra Systemów i
Sieci Komputerowych

OCENA PRACY:

Spis treści

Spis rysunków	4
Spis listingów	5
Spis tabel	6
1. Wstęp	8
1.1. Geneza pracy	8
1.2. Cel pracy	9
1.3. Zakres pracy	9
2. Wymagania funkcjonalne systemu	10
2.1. Oprogramowanie na dronie	10
2.2. Protokoły wymiany danych	10
2.3. Oprogramowanie serwerowe	11
2.4. Oprogramowanie klienckie	11
3. Architektura systemu: przegląd i wybór technologii	12
3.1. Zarys architektury	12
3.2. Dron	13
3.3. Protokoły wymiany danych	14
3.4. Oprogramowanie serwerowe	17
3.5. Oprogramowanie klienckie	18
3.6. Struktura repozytoriów	18
3.7. Wspólne punkty stykowe - <code>git submodules</code>	18
3.8. Podsumowanie architektury	18
4. Wdrażanie systemu	19
4.1. Konteneryzacja	19
4.2. Automatyczne budowanie projektów	19
4.3. Automatyczne aktualizacje kontenerów	19
5. Testy systemu	20

5.1. Testy jednostkowe	20
5.2. Testy integracyjne	20
5.3. Systemy ciągłej integracji	20
5.4. Testy w terenie	20
6. Podsumowanie	21
6.1. Wyniki testów	21
6.2. Osiągnięta sprawność	21
6.3. Pola do poprawy	21
6.4. Wnioski	21
Literatura	22
Indeks rzeczowy	23

Spis rysunków

3.1. Zarys architektury systemu	12
3.2. Diagram przedstawiający system generowania implementacji protokołu, na podstawie narzędzia <code>protobuf</code>	15
3.3. Architektura systemu obsługującego telemetrię	17

Spis listingów

3.1. Przykład definicji pakietu <code>protobuf</code>	15
3.2. Przykład wykorzystania wygenerowanej implementacji pakietów w języku Python .	16

Spis tabel

3.1. Najpopularniejsze otwarte projekty oprogramowania obsługującego kontrolery lotu	13
--------------------------------------------------------------------------------------	----

Skróty

GCS (ang. *Ground control station*)

JSON (ang. *JavaScript Object Notation*)

Protobuf (ang. *Protocol Buffers*)

Rozdział 1

Wstęp

1.1. Geneza pracy

Lotnictwo autonomiczne to prężnie rozwijający się sektor branży lotniczej. Technologie pozwalające na wykorzystanie autonomicznych dronów i samolotów w nowych projektach biznesowych są dostępne na wyciągnięcie ręki - istnieją zarówno systemy zamknięte, w pełni komercyjne, jak i projekty zupełnie otwarte, pozwalające na zapoznanie się z kodem źródłowym oprogramowania sterującego statkami powietrznymi i interakcję z aktywną społecznością pasjonatów, wspólnie rozwijającą projekt.

W świecie biznesu powstają coraz to nowe rozwiązania, wykorzystujące autonomiczne maszyny do świadczenia usług - od razu nasuwającym się rozwiązaniem jest autonomiczne dostarczanie paczek [1], ale istnieją też znacznie bardziej ambitne projekty: dostarczanie defibrylatora wprost do domu osoby, u której wystąpiło zatrzymanie akcji serca [2] lub generowanie trójwymiarowych map terenu, wykorzystując zdjęcia wykonanych z dronów [3]. Biznes jest stosunkowo młody, więc branża jest otwarta na innowatorów – firmy takie jak Boeing i Lockheed Martin sponsorują międzynarodowe konkursy przeznaczone dla młodych konstruktorów [4].

Zainteresowani autonomicznym lotnictwem inwestorzy nie ograniczają się do prywatnych firm. Rząd australijskiego stanu Queensland współorganizuje *UAV Challenge* – zawody skupione wokół rozwijania systemów wspierających służby medyczne [5].

Wykorzystanie otwartych technologii, skupionych wokół awiacji autonomicznej i połączenie ich z nowoczesnymi praktykami wdrażania oprogramowania to temat atrakcyjny zarówno z perspektywy inżynierii oprogramowania, jak i z perspektywy biznesowej. Koło naukowe Politechniki Wrocławskiej – *Akademicki Klub Lotniczy* (AKL) zajmuje się budowaniem i rozwijaniem autonomicznych dronów i samolotów [6]. Omawiany w pracy system powstał w ramach realizacji projektu z Wrocławskiego Funduszu Aktywności Studenckiej [7].

1.2. Cel pracy

Celem pracy jest stworzenie prototypu systemu inspekcji terenów, wykorzystującego autonomiczne drony. System ma integrować się z już istniejącym oprogramowaniem sterującym autonomicznymi maszynami, oraz wykorzystywać napisaną na potrzeby pracy infrastrukturę informatyczną, pozwalającą na planowanie tras lotów, obsługę telemetrii i rozpoznawanie obiektów na zdjęciach wykonanych w czasie lotu, za pomocą algorytmów sztucznej inteligencji. Finalnie, system ma generować raport podsumowujący każdy lot, w którym zawarta będzie trasa pokonana przez drona i zdjęcia wykonane w trakcie lotu, wraz z rozpoznanymi na nich obiektami.

Architektura systemu musi pozwalać na zautomatyzowanie procesu wdrażania systemu, oraz zautomatyzowanie wdrażania nowych funkcjonalności - każde z wdrożeń musi być poprzedzone testami integracyjnymi na poziomie całego systemu.

Prototyp ma być w pełni testowalny, zarówno na poziomie pojedynczych elementów systemu jak i na poziomie integracji całego projektu - testy muszą angażować wszystkie komponenty systemu, uruchomione wewnątrz w pełni zautomatyzowanego środowiska testowego.

1.3. Zakres pracy

Zakres pracy obejmuje elementy projektu związane z inżynierią i architekturą oprogramowania - proces projektowania struktury systemu, wybór technologii, zaprojektowanie punktów stykowych w systemie, automatyzacja procesu wdrażania systemu i nowych funkcjonalności.

Praca opisuje także sposób testowania systemu - od weryfikacji poprawności działania poszczególnych komponentów, po pełne automatyczne testy integracyjne, wykorzystujące wszystkie komponenty systemu wraz ze zintegrowanym symulatorem drona.

Rozdział 2

Wymagania funkcjonalne systemu

2.1. Oprogramowanie na dronie

Wielowirnikowce podłączone do systemu muszą być zdolne do autonomicznego lotu - w kontekście pracy oznacza to zdolność do automatycznego startu, lądowania, stabilizacji oraz samodzielnego lotu do koordynatów GPS. W trakcie lotu, maszyna musi zbierać i wysyłać dwa rodzaje danych:

- dane telemetryczne,
- zdjęcia wykonane w czasie lotu.

Dane telemetryczne muszą zawierać informacje o pozycji drona oraz identyfikować maszynę za pomocą unikatowego identyfikatora oraz numeru lotu. Przesyłany jest też poziom naładowania baterii oraz informacja, czy w obecnym czasie prowadzone jest nagrywanie.

2.2. Protokoły wymiany danych

W przypadku systemu działającego autonomicznie, wymiana danych jest kluczowym elementem pozwalającym na sprawdzanie poprawności działania i diagnozowania błędów w systemie. Podczas lotów testowych często nie ma możliwości bezpośredniej obserwacji systemu lub ingerencji w jego sposób działania. Odpowiednia architektura zbierająca i archiwizująca dane z lotów pozwala znacznie szybciej wykryć potencjalne problemy i zapobiec krytycznym błędom.

2.2.1. Dane telemetryczne

Protokół do wymiany danych telemetrycznych powinien wysyłać dane w postaci binarnej, gdyż jest to bardziej efektywne niż kodowanie ich w postaci tekstowej (na przykład w formacie JSON, typowym dla języków wysokopoziomowych - wykorzystywanym w technologiach webowych).

Protokół powinien być w łatwy sposób rozszerzalny, pozwalając w przyszłości zredefiniować część wysyłanych pakietów lub dodać nowe dane, bez tracenia kompatybilności wstecznej bądź konieczności przebudowania całego systemu. Poszczególne komponenty systemu będą pisane

w różnych językach programowania - biorąc to pod uwagę, pożądaną cechą protokołu jest też możliwość szybkiego przeportowania go na inny język programowania.

2.2.2. Zdjęcia wykonane w trakcie lotu

Efektywny przesył zdjęć oraz filmów to temat zbyt obszerny i wymagający, żeby poruszać go w treści pracy - system powinien wykorzystywać dowolny prosty w implementacji protokół wysyłania zdjęć. Architektura systemu powinna zapewnić możliwość prostej wymiany tego komponentu, dzięki czemu w przyszłości będzie możliwe zastąpienie go przez bardziej zoptymalizowane rozwiązanie.

2.3. Oprogramowanie serwerowe

Serwer webowy jest komponentem, który odbiera, archiwizuje i przekazuje dane nadchodzące z dronów do aplikacji klienckiej. Jest punktem centralnym systemu, wykorzystywanym bezpośrednio przez wszystkie pozostałe elementy.

2.3.1. Odbiór i multipleksowanie telemetry

Aby umożliwić diagnozowanie stanu systemu w czasie rzeczywistym - szczególnie stanu wykonujących lot wielowirnikowców, telemetria nadchodząca z maszyn nie może być jedynie archiwizowana na dysku serwera centralnego. Konieczną funkcjonalnością jest przesyłanie jej w czasie rzeczywistym do wielu jednocześnie podłączonych klientów.

Umożliwi to podjęcie akcji w przypadku wykrycia krytycznego błędu, który mógłby zakończyć się uszkodzeniem bądź rozbiciem drona, ułatwi też wykonywanie testów - zarówno na rzeczywistych maszynach, jak i wykorzystujących symulatory lotu.

2.4. Oprogramowanie klienckie

Aplikacja kliencka skupiona jest wokół trzech funkcjonalności:

1. planowanie tras i harmonogramu lotów,
2. odbiór telemetry i zdjęć z dronów w czasie rzeczywistym,
3. przegląd i analiza telemetry oraz zdjęć zarchiwizowanych z poprzednich lotów.

Kluczowym elementem aplikacji klienckiej jest obsługa mapy - wszystkie wymienione funkcjonalności wymagają wizualizacji nadchodzących danych geograficznych, rozszerzonych o dodatkowe informacje (na przykład godzina przelotu przez dany punkt lub zarejestrowane w danym miejscu zdjęcia i wykryte na nich obiekty).

Rozdział 3

Architektura systemu: przegląd i wybór technologii

3.1. Zarys architektury

Rys. 3.1: Zarys architektury systemu



3.2. Dron

3.2.1. Kontroler lotu

Wielowirnikowce podłączone do systemu, muszą być wyposażone w kontroler lotu – umożliwiający autonomiczny lot, stabilizację oraz obsługę peryferiów takich jak czujniki oraz silniki.

Spośród aktywnie rozwijanych i popularnych projektów [8] tworzących oprogramowanie do kontrolerów lotu, można wyróżnić cztery najpopularniejsze inicjatywy:

Tab. 3.1: Najpopularniejsze otwarte projekty oprogramowania obsługującego kontrolery lotu

Nazwa projektu	Rok założenia	Docelowy hardware	Licencja
ArduPilot[9]	2009	otwarte mikrokontrolery ARM	GPLv3
AutoQuad[10]	2011	mikrokontrolery STM Cortex M4	GPLv3
LibrePilot[11]	2015	zamknięte źródłowo kontrolery lotu, bazujące na architekturze ARM	GPLv3
PX4 Autopilot[12]	2012	otwarte mikrokontrolery ARM	BSD

Spośród wymienionych projektów, ArduPilot posiada najbardziej rozbudowaną bazę dokumentacji i instrukcji. Architektura projektu umożliwia skompilowanie projektu na standardowy komputer typu PC uruchomienie go w wirtualnym środowisku[13], co ułatwia proces testowania oprogramowania, które steruje dronem – model maszyny jest symulowany, jednak warstwa komunikacji jest dokładnie taka sama, jak w przypadku pracy z prawdziwym dronem. Dodatkowo, projekt realizowany był w kole studenckim, w którym ArduPilot jest od lat wykorzystywany do sterowania dronami i samolotami, co przesądziło o zastosowaniu go jako oprogramowanie do kontrolera lotu.

3.2.2. Komputer pokładowy

Poza kontrolerem lotu, który zawiera jedynie oprogramowanie niezbędne do sterowania dronem i udostępniania strumienia telemetrii, na maszynie musi znaleźć się też komputer pokładowy, do zastosowań bardziej ogólnych. Będzie on wykorzystywany do obsługi wysokopoziomowych peryferiów: kamery oraz modemu GSM. Do zadań komputera pokładowego będzie należała także realizacja logiki biznesowej systemu - odczytanie harmonogramu przelotów z serwera webowego i załadowanie do kontrolera lotu konkretnej trasy przelotu.

Wymagania sprzętowe

Aby wypełniać zadania wymienione powyżej, komputer pokładowy musi posiadać następujące interfejsy sprzętowe:

- UART – do komunikacji z kontrolerem lotu,
- USB – do komunikacji z modemem,
- CSI – do komunikacji z kamerą.

Większość dostępnych na rynku komputerów klasy SBC (*Single-board Computer*) posiada powyższe interfejsy, więc wymagania sprzętowe nie są tutaj ograniczeniem. W projekcie został wykorzystany najpopularniejszy do zastosowań amatorskich komputer *Raspberry Pi*.

Oprogramowanie

Na komputerze pokładowym zainstalowany jest system Linux – gwarantuje to bezproblemową obsługę peryferiów oraz dostępność stosu sieciowego, koniecznego do przesyłania danych telemetrycznych i zdjęć. Dodatkowo, wymagane jest oprogramowanie dekodujące i enkodujące wiadomości protokołu *MavLink*, który jest wykorzystywany przez ArduPilota do komunikacji z zewnętrznymi systemami [14].

Infrastruktura projektu ArduPilot dostarcza gotowe narzędzia do parsowania i tworzenia wiadomości w protokole *MavLink*. Jedną z nich jest *pymavlink* - implementacja protokołu *MavLink* w języku Python. *pymavlink* zawiera podstawowe funkcje i obiekty konieczne do komunikacji z kontrolerem lotu. Biblioteka jest niskopoziomowa i nie w całości napisana w sposób obiektowy – finalnie wykorzystujemy więc bibliotekę *dronekit-python*[15], która rozbudowuje *pymavlink* o w pełni obiektowy, wysokopoziomowy interfejs do komunikacji z kontrolerem lotu. Skrypty odpowiedzialne za logikę biznesową napisane są w Pythonie.

3.3. Protokoły wymiany danych

3.3.1. Dane telemetryczne - biblioteka *protobuf*

W trakcie lotu, drony regularnie wysyłają dane telemetryczne. Każdy pakiet danych telemetrycznych w systemie zawiera następujące informacje:

- unikatowy identyfikator maszyny,
- identyfikator lotu (unikatowy dla każdej maszyny),
- pozycję odczytaną z odbiornika GPS,
- poziom naładowania baterii,
- informacja czy w obecnej chwili wykonywane są zdjęcia z lotu,
- timestamp w standardowym 32-bitowym formacie unixowym.

Nie jest wykluczone, że w przyszłości może pojawić się potrzeba dołączenia do danych telemetrycznych nowych informacji, na przykład w przypadku, gdy do maszyny zostanie dodane nowe oprzyrządowanie, lub gdy system byłby adaptowany do obsługi innego rodzaju misji. Dodatkowo, skala projektu wymusza utrzymywanie implementacji tego samego protokołu w wielu różnych językach programowania – oprogramowanie wysyłające telemetrykę z drona napisane jest w Pythonie, interfejs webowy wyświetlający telemetrykę będzie musiał być jednak napisany w języku JavaScript (ponieważ tylko ten język jest wspierany przez przeglądarki internetowe). W przyszłości może pojawić się konieczność dodania wsparcia dla innego języka programowania – na przykład gdyby do systemu miałyby być dodany kolejny komponent. Jest to potencjalne źródło problemów związanych z integracją między komponentami systemu, ponieważ

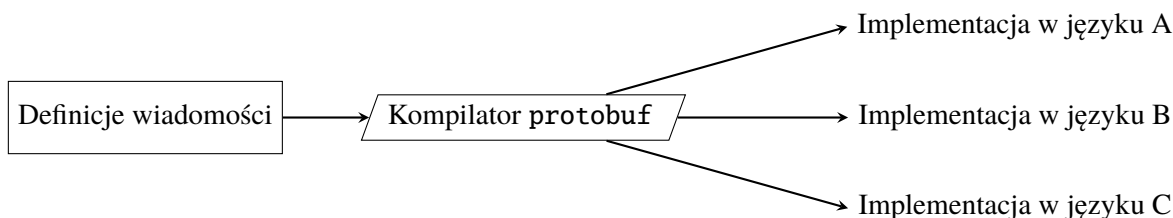
wraz z dodawaniem kolejnych danych telemetrycznych i zwiększaniem liczby wspieranych języków, rośnie szansa na popełnienie błędu w implementacji protokołu. Nawet w przypadku dwóch równolegle wspieranych języków, utrzymywanie spójnej implementacji protokołu nie jest zadaniem trywialnym – szczególnie jeśli protokół wysyła dane w formie binarnej, co jest konieczne, gdy jednym z wymagań jest wydajne zapakowanie danych.

Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu jest wykorzystanie narzędzi do generowania kodu. Narzędzia tego typu pozwalają na zdefiniowanie standardu danych telemetrycznych we własnym (specyficznym dla narzędzia) języku, opisującym strukturę danych przesyłanych przez protokół. Następnie, narzędzia takie generują implementację protokołu w wybranych językach programowania. Dzięki automatycznemu generowaniu implementacji protokołu, programiści nie muszą dbać o spójność implementacji pomiędzy wieloma językami.

Wykorzystywanym w projekcie narzędziem do generowania implementacji protokołu jest **protobuf** (*Protocol Buffers*)[16] – biblioteka napisana w firmie Google, stworzona z myślą o zapewnianiu wydajnej komunikacji w czasie rzeczywistym pomiędzy wieloma systemami informatycznymi. W obecnej wersji (v3.14.0), biblioteka pozwala na generowanie kodu w językach:

- Python
- C++
- Java
- C#
- JavaScript
- Go

Rys. 3.2: Diagram przedstawiający system generowania implementacji protokołu, na podstawie narzędzia **protobuf**



Poza automatycznym generowaniem kodu protokołu, **protobuf** zapewnia także:

- wydajne wykorzystanie miejsca – biblioteka upakuje dane w formie binarnej,
- kompatybilność wsteczną – w przypadku dodania nowego typu pakietu telemetry, implementacja zachowuje spójność z poprzednimi wersjami. Dzięki temu możliwe jest stopniowe wprowadzanie zmian w wielokomponentowym systemie,
- automatycznie generowane mechanizmy, pozwalające na sprawdzanie, czy dane umieszczone w pakiecie telemetry są poprawne (sprawdzanie typów, sprawdzanie czy zostały wypełnione wszystkie pola pakietu),
- interfejs programistyczny, umożliwiający samodzielne dopisanie wsparcia nowych języków do kompilatora **protobuf**.

Listing 3.1: Przykład definicji pakietu protobuf

```

syntax = "proto3";

package Telemetry;

/**
    Wiadomość zawierająca pozycję
    maszyny w trakcie lotu
*/
message Position {
    float lat = 1;
    float lng = 2;
    float alt = 3;
    float heading = 4;
}

message TelemFrameHeader {
    /* Flight metadata */
    fixed32 timestamp = 1;
    int32 machine_id = 2;
    fixed32 flight_id = 3;

    /**
        Kompozycja wcześniej
        zdefiniowanej wiadomości
    */
    Position position = 4;
}

```

Listing 3.2: Przykład wykorzystania wygenerowanej implementacji pakietów w języku Python

```

# Wygenerowany moduł zawierający definicje
# pakietów, domyślnie nosi nazwę definitions_pb2
import definitions_pb2
import time

header = definitions_pb2.TelemFrameHeader()

header.timestamp = int(time.time())
header.machine_id = 1
header.flight_id = 5

header.position.lat = 5
header.position.lng = 10
header.position.alt = 15
header.position.heading = 20

# Postać binarna, gotowa do zapisania do pliku
# lub wysłania przez protokół UDP/WebSocket

```



```
serialised_header = header.SerializeToString()
print("Serialised header:")
print(serialised_header)
```

3.3.2. Zdjęcia wysyłane w trakcie lotu - biblioteka `imagezmq`

Wykonane przez drony zdjęcia wysyłane są na serwer webowy za pomocą biblioteki `imagezmq`. Jak zaznaczono we wstępie, wysyłanie strumienia wideo to temat zbyt skomplikowany, aby poruszać go w pracy – rozwiązanie wykorzystywane do przesyłu zdjęć zostało wybrane ze względu na prostotę instalacji i implementacji.

Biblioteka `imagezmq` pozwala wysyłać obrazy za pomocą protokołu `zmq`. Przed wysłaniem, obrazy są kompresowane, jednak jest to kompresja ograniczająca się do pojedynczego kadru – nie zaś strumienia obrazów, jak by to miało miejsce w przypadku strumieniowania filmu z lotu.

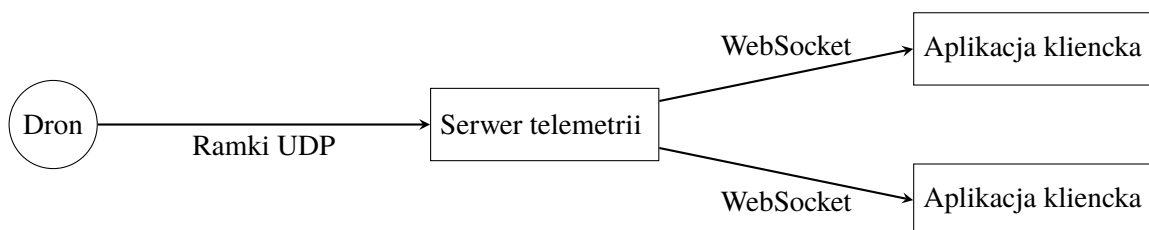
3.4. Oprogramowanie serwerowe

Serwer webowy jest punktem stykowym wszystkich elementów w systemie. Na serwerze przechowywane są wszystkie dane konieczne do działania systemu, takie jak trasy i harmonogramy lotów. Nadchodząca z dronów telemetria jest na serwerze multipleksowana i archiwizowana, pozwalając zarówno na odbieranie jej w czasie rzeczywistym z poziomu aplikacji klienckiej, jak i na analizę już zakończonych lotów.

3.4.1. Obsługa telemetrii

System obsługujący dane telemetryczne odbiera nadchodzące z maszyn pakiety `protobuf`, następnie w czasie rzeczywistym przekazuje je do aplikacji klienckich – w ten sposób możliwy jest jednoczesny odbiór telemetrii na dowolnie wielu urządzeniach. Poszczególne loty rozróżnialne są za pomocą unikatowej krotki (`id_maszyny`, `id_lotu`). Gdy system zauważy, że pakiety telemetryczne z danego lotu przestały napływać (przez ponad 10 sekund nie pojawił się żaden nowy pakiet o danym (`id_maszyny`, `id_lotu`)), archiwizuje wszystkie otrzymane w ramach tego lotu pakiety, aby możliwe było przeanalizowanie ich po locie.

Rys. 3.3: Architektura systemu obsługującego telemetrię



Pakiety pomiędzy dronem a serwerem telemetrii wysyłane są za pośrednictwem protokołu UDP. Decyzja umotywowana jest naturą protokołu – jest bezpołączeniowy, dzięki czemu bę-

dzie odporny na potencjalne straty zasięgu, które mogą wystąpić w przypadku przelotu maszyny przez miejsce o słabym pokryciu siecią GSM. Wykorzystanie protokołu UDP zapewnia też mniejszy narzut dodatkowych danych, niż w przypadku wykorzystania TCP.

Po odebraniu ramek UDP na serwerze telemetrii, dane telemetryczne rozsyłane są do wszystkich podłączonych obecnie aplikacji klienckich. Aplikacja kliencka może być uruchomiona na dowolnej przeglądarce internetowej, w związku z czym wykorzystanie niskopoziomowych protokołów nie jest tutaj możliwe - przeglądarki internetowe nie obsługują ich ze względów bezpieczeństwa. Nadal wymagana jest jednak komunikacja w czasie rzeczywistym - w związku z czym wykorzystany został protokół WebSocket, obsługiwany przez wszystkie obecnie używane przeglądarki internetowe. Protokół posiada swoje implementacje we wszystkich popularnych językach programowania.

Równoczesna obsługa ramek protokołu UDP oraz połączeniowego protokołu WebSocket, uniemożliwia wykorzystanie wysokopoziomowego frameworka, napisanego z myślą o typowych projektach w obrębie technologii webowych – tego typu narzędzia nie zapewniają wsparcia dla niskopoziomowych protokołów, takich jak UDP.

3.4.2. Rest API

System zaopatrzony jest w standardowy serwer Rest API[17], pozwalający na zapis i odczyt:

- Tras lotów
- Harmonogramów lotów
- Danych telemetrycznych, odebranych w trakcie lotu
- Obrazów otrzymanych w trakcie lotu

Wszystkie obecnie używane popularne języki programowania, posiadają przynajmniej jeden aktywnie rozwijany framework służący do pisania interfejsów Rest API. W projekcie wykorzystano język Python i framework Django, jednak równie dobrze sprawdzi się tutaj dowolna inna technologia (Spring, .NET, Ruby on Rails).

3.4.3. Sztuczna inteligencja - analiza obrazów z lotów

3.5. Oprogramowanie klienckie

3.6. Struktura repozytoriów

3.7. Wspólne punkty stykowe - git submodules

3.8. Podsumowanie architektury

Rozdział 4

Wdrażanie systemu

4.1. Konteneryzacja

4.2. Automatyczne budowanie projektów

4.3. Automatyczne aktualizacje kontenerów

Rozdział 5

Testy systemu

5.1. Testy jednostkowe

5.2. Testy integracyjne

5.2.1. Symulacja i symulatory

5.3. Systemy ciągłej integracji

5.4. Testy w terenie

Rozdział 6

Podsumowanie

6.1. Wyniki testów

6.2. Osiągnięta sprawność

6.3. Pola do poprawy

6.4. Wnioski

Literatura

- [1] Amazon Inc, "Amazon prime air," 2013. <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>.
- [2] A. Claesson, A. Bäckman, M. Ringh, L. Svensson, P. Nordberg, T. Djärv, and J. Hollenberg, "Time to Delivery of an Automated External Defibrillator Using a Drone for Simulated Out-of-Hospital Cardiac Arrests vs Emergency Medical Services," *JAMA*, vol. 317, pp. 2332–2334, 06 2017.
- [3] F. Remondino, L. Barazzetti, F. Nex, M. Scaioni, and D. Sarazzi, "Uav photogrammetry for mapping and 3d modeling-current status and future perspectives," vol. XXXVIII-1/C22, 01 2011.
- [4] R. Pogrzebny and K. Florencka, "Sukces polskich studentów na zawodach sae aero design w usa," 2018. <https://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C29012%2Csukces-polskich-studentow-na-zawodach-sae-aero-design-w-usa.html>.
- [5] UAV Challenge , "Sponsors and supporters 2019 & 2020," 2019. <https://uavchallenge.org/about/sponsors-and-supporters/>.
- [6] "Akademicki klub lotniczy - strona internetowa," 2020. <https://akl.pwr.edu.pl/>.
- [7] "Wrocławski fundusz aktywności studenckich - strona internetowa," 2020. <https://wca.wroc.pl/fast-fundusz-aktywnosci-studenckiej>.
- [8] E. S. M. Ebeid, M. Skriver, and J. Jin, "A survey on open-source flight control platforms of unmanned aerial vehicle," 08 2017.
- [9] "Ardupilot - strona domowa projektu," 2020. <https://ardupilot.org/>.
- [10] "Autoquad - historia projektu," 2020. <http://autoquad.org/home/autoquad-project-timeline/>.
- [11] "Librepilot - strona domowa projektu," 2020. <https://www.librepilot.org/site/index.html>.
- [12] "Px4 autopilot - strona domowa projektu," 2020. <https://px4.io/>.
- [13] "Ardupilot - dokumentacja funkcjonalności symulatora autopilota," 2020. <https://ardupilot.org/dev/docs/sitl-simulator-software-in-the-loop.html>.

- [14] “Ardupilot - dział dokumentacji poświęcony protokołowi mavlink,” 2020. <https://ardupilot.org/dev/docs/mavlink-commands.html>.
- [15] “Dronekit - strona domowa projektu,” 2020. <https://dronekit.io/>.
- [16] “Protocol buffers - strona domowa projektu,” 2020. <https://developers.google.com/protocol-buffers>.
- [17] R. T. Fielding and R. N. Taylor, “Principled design of the modern web architecture,” *ACM Trans. Internet Technol.*, vol. 2, p. 115–150, May 2002.