

QUADROCOPTER

(sterowanie, stabilizacja, autopilot)

*Projekt przejściowy 2014/15
specjalności Robotyka
na Wydziale Elektroniki*

Politechnika Wrocławska 2014

Autorzy

Marcin Ciopcia

Michał Drwiega

Daniel Gut

Alicja Jurasik

Agata Leś

Kacper Nowosad

Piotr Semberecki

Hanna Sienkiewicz

Mateusz Stachowski

Paweł Urbaniak

Krzysztof Zawada

Skład raportu wykonano w systemie L^AT_EX



Praca udostępniana na licencji Creative Commons: *Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Na tych samych warunkach 3.0*, Wrocław 2014. Pewne prawa zastrzeżone na rzecz Autorów. Zezwala się na niekomercyjne wykorzystanie treści pod warunkiem wskazania Autorów jako właścicieli praw do tekstu oraz zachowania niniejszej informacji licencyjnej tak długo, jak tylko na utwory zależne będzie udzielana taka sama licencja. Tekst licencji dostępny na stronie: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/pl/>

Spis treści

I. Wstęp

1. Wstęp, Piotrek	6
1.1. Quadcopter, Krzysiek	6
1.1.1. Własności obiektu, Daniel	6
1.2. Dostępne rozwiązania, Kacper	6
1.3. Cel pracy, Hania	6

II. Zadania

2. Stabilizacja w punkcie - przygotowania, Daniel	8
2.1. Interfejs do istniejącego oprogramowania i sprzętu, Kacper	8
2.1.1. Flying Machine Arena, Michał	8
2.1.2. Rozpoznanie protokołu quadcoptera, Daniel	8
2.1.3. Rozpoznanie możliwości platformy, Daniel	8
2.2. Czujniki odległości, Alicja	9
2.2.1. Dobór czujników odległości, Hania	9
2.2.2. Rozmieszczenie czujników odległości, Paweł	9
2.3. Algorytmy rozpoznawania przesunięcia, Kacper	9
2.3.1. Algorytm Lucas—Kanade, Piotrek	9
2.3.2. Zmodyfikowany PTAM, Kacper	9
2.3.3. Algorytm SVO, Hania	9
3. Stabilizacja w punkcie - realizacja, Krzysiek	12
3.1. Ahsokam Marcin	12
3.2. Uruchomienie platformy latającej, Marcin	12
3.2.1. Uzbrajanie silników, Marcin	12
3.3. Uruchomienie kamery 3D, Michał	12
3.4. Uruchomienie komunikacji, Michał	12
3.4.1. Komunikacja ROS—kamera, Mateusz	13
3.4.2. Komunikacja ROS—MAVLINK, Mateusz	13
3.4.3. Komunikacja ROS—GroundStation, Krzysiek	13
3.4.4. Komunikacja ROS—czujniki, Daniel	13
3.4.5. Komunikacja MAVLINK—PixHawk, Mateusz	13
3.5. Czujniki odległości	13
3.5.1. Płytki PCB, Alicja	13
3.5.2. Oprogramowanie interfejsu, Michał	14
3.5.3. Dekodowanie sygnału PPM, Michał	17
3.5.4. Montaż czujników na platformie docelowej, Mateusz	18
3.6. Implementacja algorytmów przesunięcia, Kacper	18
3.6.1. Algorytm Lucas—Kanade, Piotrek	18
3.6.2. Zmodyfikowany PTAM, Kacper	18
3.6.3. Algorytm SVO, Hania	18
3.7. Stabilizacja w poziomie, Alicja	19
3.7.1. Fuzja sensoryczna, Alicja	19

3.8.	Stabilizacja w pionie, Paweł	19
3.8.1.	Fuzja sensoryczna, Michał	19
3.9.	Algorytm stabilizacji w punkcie	20
4.	Stabilizacja w pomieszczeniu	21
4.1.	Sterownik nadrzędny, Marcin	21
4.1.1.	Zdarzeniowy sterownik antykolizyjny, Paweł	21
4.1.2.	Lot wzdłuż ściany, Krzysiek	21
III. Testy		
5.	Testy stabilizacji	23
5.1.	Testy integracyjne na platformie docelowej	23
5.1.1.	Testy modułu ROS	23
5.1.2.	Testy modułu czujników	23
IV. Zakończenie		
6.	Podsumowanie	25
7.	Dodatki	26
8.	Bibliografia	27

Część I

Wstęp

1. Wstęp, Piotrek

1.1. Quadrocopter, Krzysiek

1.1.1. Własności obiektu, Daniel

1.2. Dostępne rozwiązania, Kacper

1.3. Cel pracy, Hania

Część II

Zadania

2. Stabilizacja w punkcie - przygotowania, Daniel

2.1. Interfejs do istniejącego oprogramowania i sprzętu, Kacper

2.1.1. Flying Machine Arena, Michał

2.1.2. Rozpoznanie protokołu quadrocoptera, Daniel

Przygotowanie specyfikacji interfejsu, Piotr

Wybór interfejsu, Piotr

2.1.3. Rozpoznanie możliwości platformy, Daniel

2.2. Czujniki odległości, Alicja

2.2.1. Dobór czujników odległości, Hania

Specyfikacja potrzeb, Hania

Dostępne rozwiązania, Alicja

Dobór czujników, Hania

2.2.2. Rozmieszczenie czujników odległości, Paweł

Przegląd rozwiązań, Paweł

Propozycja rozmieszczenia, Paweł

2.3. Algorytmy rozpoznawania przesunięcia, Kacper

2.3.1. Algorytm Lucas—Kanade, Piotrek

2.3.2. Zmodyfikowany PTAM, Kacper

2.3.3. Algorytm SVO, Hania

VO (ang. Visual Odometry) jest to proces estymacji ruchu pojazdu poprzez badanie zmian ruchu dzięki zdjęciom otrzymanym z pokładowej kamery. Warunki dobrej estymacji to

- odpowiednie oświetlenie sceny,
- dostosowanie szybkości zmienności otoczenia do użytego algorytmu, preferuje się raczej scenę statyczną,
- wybór odpowiednich zdjęć do przetwarzania.

Zalety

Ze względu na formę zawodów, quadcopter będzie poruszał się w zamkniętym pomieszczeniu, gdzie jak wiadomo sygnał GPS zawodzi. Dlatego zdecydowano się na użycie kamery pokładowej. Wizualna odometria może współpracować z innymi rozwiązaniami, dlatego finalnie do stabilizacji w punkcie system wizyjny zostanie połączony z czujnikami laserowymi oraz ultradźwiękowymi. Zminimalizuje to błąd estymacji ruchu, a co za tym idzie, będzie można przeciwdziałać dryfowi.

Ogólny schemat algorytmu SVO

Program SVO (Semi-direct Monocular Visual Odometry) [odwołanie do artykułu] jest zaimplementowany w ROSie. Wykorzystuje on obrazy dostarczone z pokładowej kamery. Quadcopter zbiera informacje ze środowiska poprzez zdjęcia w dyskretnych chwilach czasu

$$I_1, I_2, \dots, I_n.$$

Odpowiednie macierze transformacji opisują relację pomiędzy dwiema pozycjami kamery

$$A_k = \begin{bmatrix} R_{k,k-1} & T_{k,k-1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Pozycję kamery można obliczyć następująco

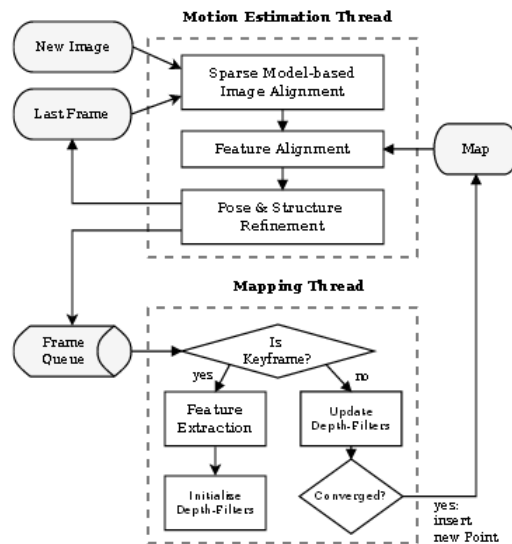
$$C_k = C_{k-1} \cdot A_k,$$

począwszy od znanej pozycji C_0 , ustawianej jako parametr. Głównym zadaniem algorytmu jest obliczenie transformacji A_k , po to żeby obliczyć pozycję kamery C_k , a co za tym idzie jej trajektorii, wykorzystując do tego obrazy I_k . Rysunek 2.1 przedstawia ogólny schemat algorytmu SVO. Jest on podzielony na dwa główne wątki, z czego jawnie korzystamy tylko z wątku estymującego ruch kamery. Można za pomocą tego rozwiązania zaimplementować algorytm SLAM.

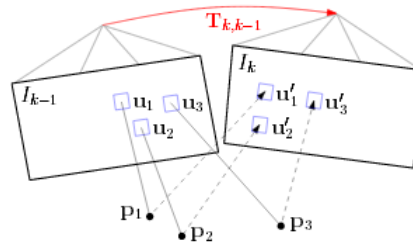
Etapy algorytmu SVO

Estymację ruchu/położenia kamery można podzielić na trzy etapy

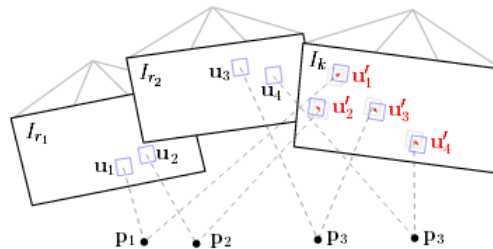
- etap pierwszy Rysunek 2.2 przedstawia zmianę pozycji między wcześniejszą i obecną ramką danych pośrednio przenosi pozycję p na odwzorowanie punktów w nowym obrazie. Algorytm minimalizuje fotometryczny błąd poprawki dotyczącej tych samych 3D punktów p .
- drugi etap Ze względu na niedokładności w punktach 3D oraz w estymacji pozycji kamery, fotometryczny błąd pomiędzy odpowiadającymi poprawkami (niebieskie kwadraty) w obecnej ramce i poprzedniej dodatkowo minimalizuje się przez optymalizację pozycji 2D każdego fragmentu indywidualnie, co jest pokazane na rysunku 2.3.
- trzeci etap Rysunek 2.4 wizualizuje ostatni etap, w którym to estymacja ruchu, pozycja kamery i struktura (punkty 3D) są optymalizowane, aby zminimalizować błąd odwzorowania, który został obliczony w poprzednim kroku.



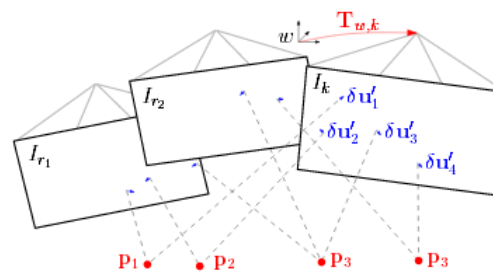
Rysunek 2.1. Schemat algorytmu SVO



Rysunek 2.2. pierwszy etap [odwołanie do artykułu]



Rysunek 2.3. drugi etap [odwołanie do artykułu]



Rysunek 2.4. trzeci etap [odwołanie do artykułu]

3. Stabilizacja w punkcie - realizacja, Krzysiek

3.1. Ahsokam Marcin

3.2. Uruchomienie platformy latającej, Marcin

3.2.1. Uzbrajanie silników, Marcin

3.3. Uruchomienie kamery 3D, Michał

3.4. Uruchomienie komunikacji, Michał

Komunikacja ze sterownikiem quadcoptera odbywa się z wykorzystaniem protokołu **MAVLink**, który został zaprojektowany do wymiany informacji między podsystemami robota oraz do komunikacji ze stacją kontroli (**GCS**). Specyfikację protokołu można znaleźć pod następującym odnośnikiem: <https://pixhawk.ethz.ch/mavlink>.

Dla dwóch wersji ROS'a: hydro i indigo został zaimplementowany protokół MAVLink, w postaci pakietu **mavros**. Pakiet ten umożliwia z poziomu ROS'a dostęp do parametrów sterownika, oraz pozwala wysyłać do niego komendy sterujące. Ponadto, pakiet ten umożliwia dodawanie własnych pluginów. Dokładny opis jest dostępny pod następującym odnośnikiem: <http://wiki.ros.org/mavros>.

Poniżej wymienione zostały wybrane funkcjonalności pakietu **mavros** w przypadku załadowania domyślnego zestawu pluginów.

- Publikowanie topic'ów zawierających dane z IMU (plugin **imu_pub**), między innymi:
 - orientacja obliczona przez sterownik ($\sim imu/data$),
 - wartości zmierzone przez IMU ($\sim imu/data_raw$),
 - odczyty magnetometru ($\sim imu/mag$),
 - temperatura ($\sim imu/temperature$),
 - ciśnienie powietrza ($\sim imu/FluidPressure$).
- Subskrybowanie topic'ów z komendami lotu:
 - zadane prędkości ($\sim setpoint/cmd_vel$),
 - zadane przyspieszenia ($\sim setpoint/accel$),
 - zadane prędkości kątowe ($\sim setpoint/att_vel$),
 - zadana poza ($\sim setpoint/attitude$).

Warto również wspomnieć o dwóch podobnych pakietach: **roscopter** i **mavlink_ros**. Pierwszy z nich występuje dla ROS'a w wersjach: groovy i hydro. Jego funkcjonalno-

ści są jednak ograniczone w porównaniu do pakietu **mavros**. Natomiast drugi pakiet, **mavlink_ros** jest przestarzały, a twórcy zalecają zastąpienie go pakietem **mavros**.

3.4.1. Komunikacja ROS—kamera, Mateusz

3.4.2. Komunikacja ROS—MAVLINK, Mateusz

3.4.3. Komunikacja ROS—GroundStation, Krzysiek

3.4.4. Komunikacja ROS—czujniki, Daniel

3.4.5. Komunikacja MAVLINK—PixHawk, Mateusz

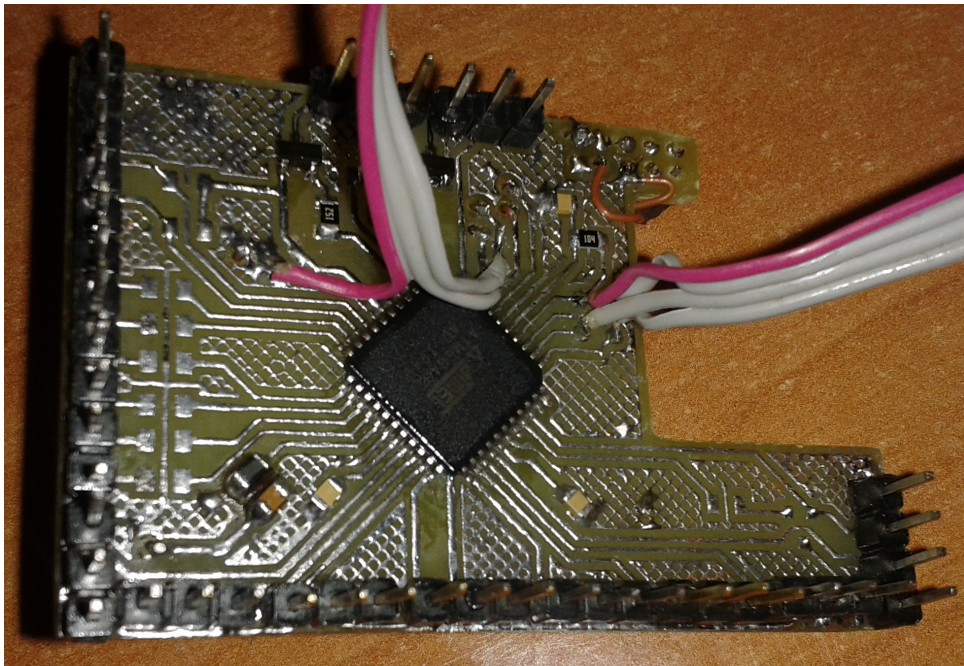
3.5. Czujniki odległości

3.5.1. Płytki PCB, Alicja

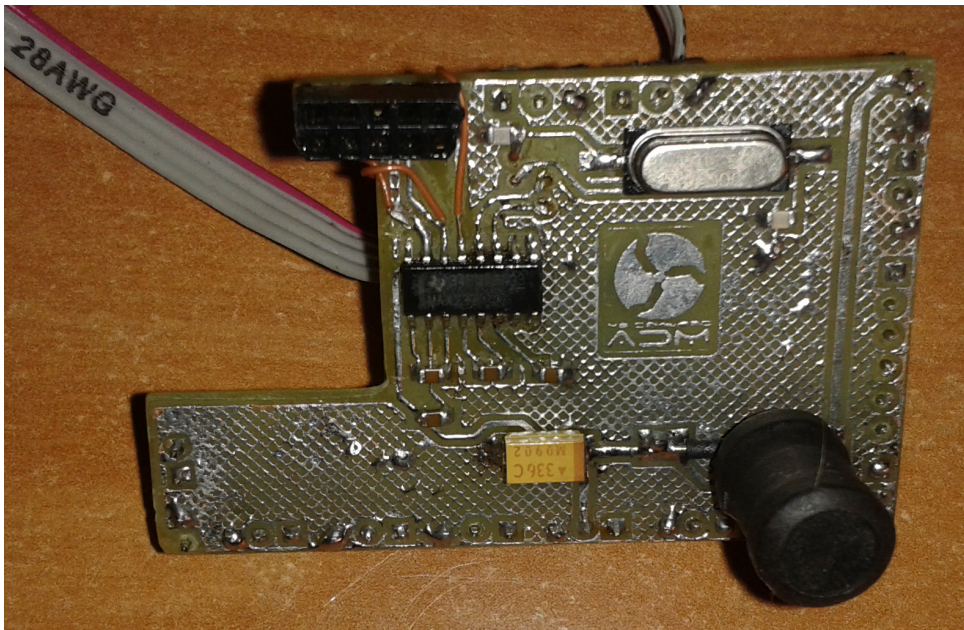
Specyfikacja potrzeb, Marcin

Wykonanie i uruchomienie płytki PCB, Michał

Na rysunku 3.1 przedstawiono wykonany interfejs czujników. Widoczne złącza umożliwiają podłączenie zasilania, czujników odległości Sharp, stopnia mocy oświetlenia, czy sygnału z aparatury RC.



(a) widok z góry



(b) widok z dołu

Rysunek 3.1. Przedstawienie wykonanego interfejsu

3.5.2. Oprogramowanie interfejsu, Michał

Urządzenie spełnia rolę interfejsu sterującego wybranymi podzespołami quadcoptera oraz jednostki pomiarowej, mierzącej odległości robota od przeszkód. Wyposażone zostało w mikrokontroler Atmel Atmega32. Aktualnie zaimplementowane funkcjonalności są następujące:

- cykliczne wykonywanie pomiarów napięć czujników odległości (porty ADC1-ADC7),
- pomiar odległości poprzez zliczanie czasu trwania impulsów (PW) generowanych przez sonary:

- przerwania zewnętrzne,
- timer zliczający czas.
- wysyłanie pomiarów do komputera nadrzędnego (UART),
- sterowanie oświetleniem quadcoptera,
- dekodowanie sygnału PPM z zadajnika RC,
- obsługa Pixhawk Failsafe.

Oprogramowanie zostało utworzone w języku C, z wykorzystaniem środowiska Atmel Studio 6, które jest nieodpłatnie udostępniane przez producenta mikrokontrolerów. Szczegółowa dokumentacja oprogramowania została utworzona z wykorzystaniem generatora Doxygen.

Protokół komunikacji z komputerem nadrzędnym

W celu umożliwienia komunikacji urządzenia z komputerem nadrzędnym konieczne było zaprojektowanie odpowiedniego protokołu komunikacyjnego. Warto zaznaczyć, że do omawianej komunikacji wykorzystuje się interfejs szeregowy UART.

Główną ideą zaprojektowanego protokołu komunikacji jednostki pomiarowej z komputerem jest wykorzystanie architektury klient-serwer. Rolę klienta pełni aplikacja uruchomiona na komputerze nadrzędnym, która wysyła odpowiednio zakodowane rozkazy. Natomiast interfejs sensorów dekoduje i realizuje otrzymywane rozkazy. W dalszej części przedstawiono szczegółowy opis protokołu.

Weryfikacja poprawności ramek

Suma kontrolna

W celu weryfikowania poprawności transmisji zaimplementowano obliczanie prostej sumy kontrolnej. Algorytm zlicza liczbę bitów o stanie wysokim w ciągu wysłanych bajtów. Metoda ta nie zapewnia dużej odporności na zakłócenia, ponieważ jest duże prawdopodobieństwo, że suma bitów o wysokim stanie niepoprawnego ciągu bajtów będzie równa sumie poprawnego. Jednak zaletą takiej sumy kontrolnej jest niewielka złożoność obliczeniowa.

Potwierdzanie rozkazów

Zwiększenie niezawodności transmisji zrealizowano przez implementację potwierdzania rozkazów. Potwierdzanie dotyczy tylko rozkazów, dla których nie jest oczekiwana transmisja zwrotna, czyli między innymi rozkazów konfiguracyjnych. W przypadku tej grupy oczekuje się potwierdzenia w postaci krótkiej ramki składającej się z kodu rozkazu oraz sumy kontrolnej.

Opis protokołu

W pierwszym odebranych bajcie danych przez jednostkę pomiarową, dwa najstarsze bity są bitami kontrolnymi o wartościach wysokiego stanu logicznego (11). Kolejne 6 bitów określa rozkaz, który należy wykonać. W ten sposób można zakodować do 64 różnych rozkazów, co wydaje się być wartością zupełnie wystarczającą. W przypadku, gdy nie ma dodatkowych danych dla jednostki pomiarowej, drugi bajt zawiera sumę kontrolną. Ogólna postać ramki danych została przedstawiona na rysunku 3.2.

Nr bajtu	1	2....n-1	n
Funkcja	2 bity startowe i kod rozkazu	Dodatkowe dane	Suma kontrolna

Rysunek 3.2. Ogólna postać ramki danych

Zaimplementowany protokół zakłada przesyłanie bardziej znaczących bajtów przed mniej znaczącymi (Big endian). Każdy dodatkowo przesyłany ciąg danych jest weryfikowany sumą kontrolną, której algorytm został przedstawiony w poprzednim podrozdziale. Rozkazy podzielono na cztery części w zależności od wartości pierwszych czterech bitów:

0xC (1100) żądania przesłania informacji zwrotnej,

0xD (1101) rozkazy konfiguracyjne,

0xE (1110) pozostałe rozkazy,

0xF (1111) pozostałe rozkazy.

W kolejnych podrozdziałach przedstawiono opisy poszczególnych grup rozkazów. Rozkazy opisane zostały przez podanie odpowiadających im wartości bajtów i krótkich opisów działania.

Żądania przesłania informacji zwrotnej - 0xC

1100 0000 - 0xC0

Weryfikacja poprawności działania transmisji. Oczekuje się odpowiedzi w postaci 0101 0101 - 0x55.

1100 1001 - 0xC1

Polecenie wysłania zmierzonych wartości z sensorów odległości oraz odczytanych wartości z sygnału PPM. Jednostką pomiarów sensorów Sharp są *mV*. W przypadku sonarów odległość podawana jest w *cm*. Wartości sygnału PPM dla kolejnych kanałów podawane jest w μs . Kolejność pomiarów w ramce określona została następująco:

- 2 bajty - napięcie w mV odczytane z sensora Sharp 1,
- 2 bajty - napięcie w mV odczytane z sensora Sharp 2,
- 2 bajty - napięcie w mV odczytane z sensora Sharp 3,
- 2 bajty - napięcie w mV odczytane z sensora Sharp 4,
- 2 bajty - napięcie w mV odczytane z sensora Sharp 5,
- 2 bajty - napięcie w mV odczytane z sensora Sharp 6,
- 2 bajty - napięcie w mV odczytane z sensora Sharp 7.
- 2 bajty - odległość zmierzona sonarem nr 1,
- 2 bajty - odległość zmierzona sonarem nr 2,
- 2 bajty - szerokość impulsu w μs w sygnale PPM dla kanału nr1,
- 2 bajty - szerokość impulsu w μs w sygnale PPM dla kanału nr2,
- 2 bajty - szerokość impulsu w μs w sygnale PPM dla kanału nr3,
- 2 bajty - szerokość impulsu w μs w sygnale PPM dla kanału nr4,
- 2 bajty - szerokość impulsu w μs w sygnale PPM dla kanału nr5,
- 2 bajty - szerokość impulsu w μs w sygnale PPM dla kanału nr6,
- 2 bajty - szerokość impulsu w μs w sygnale PPM dla kanału nr7,
- 2 bajty - szerokość impulsu w μs w sygnale PPM dla kanału nr8,

Rozkazy konfiguracyjne - 0xD

1101 0000 - 0xD0

Polecenie uruchomienia oświetlenia quadcoptera.

1101 0001 - 0xD1

Polecenie wyłączenia oświetlenia quadcoptera.

1101 0010 - 0xD2

Włączenie Pixhawk Failsafe (ustawienie stanu wysokiego).

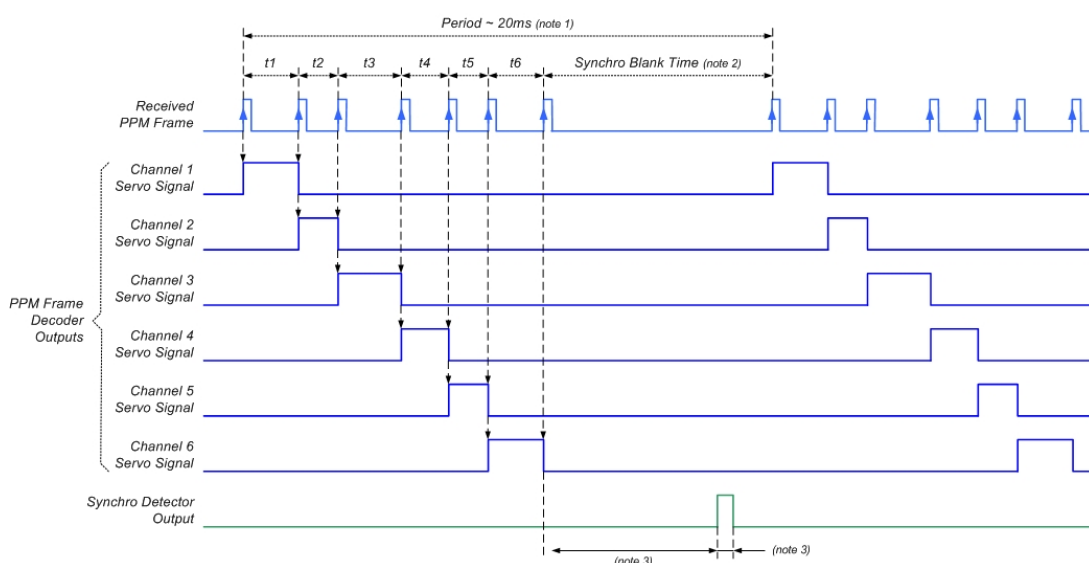
1101 0011 - 0xD3

Wyłączenie Pixhawk Failsafe (ustawienie stanu niskiego).

3.5.3. Dekodowanie sygnału PPM, Michał

W celu umożliwienia ręcznego sterowania quadcopterem przez operatora należało zrealizować dekodowanie sygnału PPM odbieranego przez aparaturę. Sygnał ten podłączony jest do wykonanego interfejsu i dekodowany przez umieszczony w nim mikrokontroler ATmega32.

PPM (Pulse Position Modulation) jest sygnałem, w którym informacje kodowane są z wykorzystaniem modulacji położenia impulsów. Umożliwia przesyłanie wartości w kilku kanałach (w przypadku dostępnej aparatury jest to 8 kanałów). Postać takiego sygnału przedstawiona została na rysunku 3.5.3.



Po zdekodowaniu sygnału PPM, wartości o poszczególnych kanałach wysyłane są do komputera nadrzędnego *nano6060*, gdzie przetwarzane są w środowisku *ROS* i następnie wysyłane do sterownika quadcoptera Pixhawk'a. Takie podejście umożliwia ręczne sterowanie, ale także realizację korekcji sterowania z wykorzystaniem modułu antykolizyjnego.

Realizacja dekodowania sygnału PPM na mikrokontrolerze

Na potrzeby dekodowania sygnału PPM wykorzystano przerwanie zewnętrzne generowane w zależności od rodzaju zbocza sygnału. Rozpoznawanie początku ramki zrealizowane zostało przez badanie przekroczenia maksymalnego odstępu między impulsami, które

w przypadku zwracanych wartości kanałów wynosi 2ms. Poniżej przedstawiono funkcję realizującą obsługę przerwania generowanego w przypadku zmiany stanu pinu do którego podłączono sygnał PPM.

Wydruk 3.1. Obsługa przerwania realizującego dekodowanie PPM

```

1 ISR (INT2_vect)
2 {
3     cli();
4     if (MCUCR & _BV(ISC2)) // rising edge interrupt
5     {
6         TCNT2 = 0; // Timer2 reset
7         timeCntPPM = 0;
8         MCUCR &= ~_BV(ISC2); // change to falling edge detect
9     }
10    else // falling edge interrupt
11    {
12        if ((timeCntPPM + TCNT2) > MAX_PPM_WIDTH) // new frame
13        {
14            channelPPMcnt = 0;
15        }
16        else // measurement for PPM channel
17        {
18            channelPPM[channelPPMcnt] = timeCntPPM + TCNT2;
19            if (channelPPMcnt < 7) // increase channel counter
20            {
21                channelPPMcnt++;
22            }
23        }
24    }
25    GIFR |= (1 << INTF1); // interrupt flag clear
26    sei();
27 }

```

Komunikacja ROS-czujniki, Daniel

3.5.4. Montaż czujników na platformie docelowej, Mateusz

3.6. Implementacja algorytmów przesunięcia, Kacper

3.6.1. Algorytm Lucas—Kanade, Piotrek

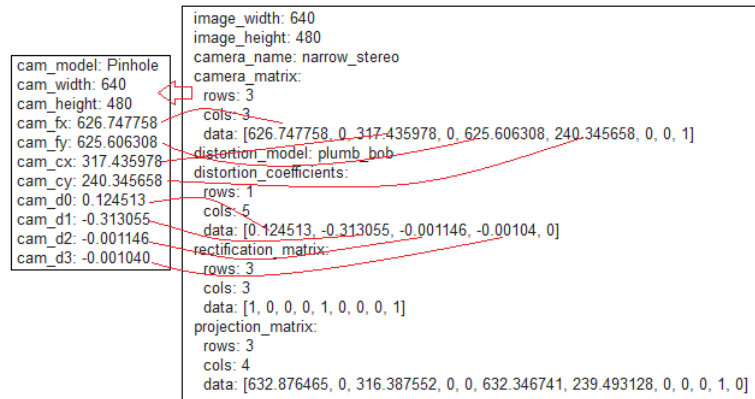
3.6.2. Zmodyfikowany PTAM, Kacper

3.6.3. Algorytm SVO, Hania

Kalibracja kamery

Do uruchomienia algorytmu potrzebny jest plik kalibracyjny. Kalibrację kamery wykonano standardowym narzędziem zaimplementowanym w ROSie w paczce `camera_calibration`.

Wynikiem tej operacji jest plik *.yaml. Na potrzeby algorytmu przekonwertowano plik *.yaml na format *.yaml.



Rysunek 3.3. Konwersja pliku *.yaml na *.yaml

Rysunek 3.3 przedstawia ręczne przekonwertowanie pliku kalibracyjnego.

Rezultat algorytmu

Do dalszego przetwarzania informacji dostarczonych z działającej paczki SVO można wykorzystać wiadomość publikowaną poprzez topic `/svo/points`. Rysunek 3.4 pokazuje strukturę kluczowego topicu SVO. ...

```

header:
  seq: 5892
  stamp:
    secs: 1418673322
    nsecs: 170325262
  frame_id: /world
ns: trajectory
id: 8195
type: 1
action: 0
pose:
  position:
    x: -0.00851521046703
    y: -0.00349843886924
    z: 0.0106530645546
  orientation:
    x: 0.0
    y: 0.0
    z: 0.0
    w: 0.0
scale:
  x: 0.006
  y: 0.006
  z: 0.006
std_msgs/Header header
uint32 seq
time stamp
string frame_id
string ns
int32 id
int32 type
int32 action
geometry_msgs/Pose pose
geometry_msgs/Point position
float64 x
float64 y
float64 z
geometry_msgs/Quaternion orientation
float64 x
float64 y
float64 z
float64 w
geometry_msgs/Vector3 scale
float64 x
float64 y
float64 z
  
```

Rysunek 3.4. Wycinek informacji zawartych w topicu `/svo/points`

3.7. Stabilizacja w poziomie, Alicja

3.7.1. Fuzja sensoryczna, Alicja

Czujniki wykorzystywane w fuzji, Alicja

Dostępne rozwiązania, Alicja

Realizacja, Hania

3.8. Stabilizacja w pionie, Paweł

3.8.1. Fuzja sensoryczna, Michał

Algorytm stabilizacji wysokości

Dane wejściowe:

- d_1, d_2 – pomiary z dwóch czujników odległości: górnego i dolnego,
- q – orientacja quadcoptera względem zewnętrznego układu odniesienia, w postaci kwaternionu (z Pixhawk),

Dane wyjściowe:

- F_z – siła w osi z quadcoptera.

Kroki algorytmu

1. Obliczenie rzeczywistych odległości od podłoża i sufitu na podstawie odczytów sensorów oraz orientacji quadcoptera względem zewnętrznego układu odniesienia.
2. Fuzja pomiarów – wybranie do stabilizacji odległości, która wolniej się zmienia (mniejsza pochodna). Celem jest uniezależnienie wysokości od niewielkich przeszkód.
3. Regulator PID:
 - wejście: wybrana wysokość h ,
 - wyjście: sterowanie w postaci siły w osi Z .

Czujniki wykorzystywane w fuzji, Paweł

Realizacja, Michał

3.9. Algorytm stabilizacji w punkcie

4. Stabilizacja w pomieszczeniu

4.1. Sterownik nadrzędny, Marcin

4.1.1. Zdarzeniowy sterownik antykolizyjny, Paweł

Analiza wykonalności, Paweł

Specyfikacja, Paweł

4.1.2. Lot wzdłuż ściany, Krzysiek

Analiza wykonalności, Mateusz

Specyfikacja, Mateusz

Część III

Testy

5. Testy stabilizacji

5.1. Testy integracyjne na platformie docelowej

5.1.1. Testy modułu ROS

5.1.2. Testy modułu czujników

Część IV

Zakończenie

6. Podsumowanie

7. Dodatki

8. Bibliografia