

Projekt Indywidualny 2019
system mapowania przestrzeni
wykorzystujący technologię LIDAR

Bazyli Reps

10 czerwca 2019

Spis treści

1 Wstęp	3
2 Omówienie technologii	3
2.1 Czujnik odległości	3
2.2 Obracanie czujnikiem odległości	4
2.3 Kontrolowanie układu	4
3 problemy związane z pomiarom odległości	5
3.1 minimalna długość krawędzi odbicia	5
3.2 kalibrowanie układu	6
4 kontrola różnych trybów pracy czujnika odległości	6
4.1 przełączanie trybów	7
4.2 skanowanie trybem krótkim	8
4.2.1 skanowanie trybem krótkim z zasłoniętymi powierzchniami odbijającymi	9
4.3 skanowanie trybem średnim	10
4.4 skanowanie trybem długim	11
4.5 porównanie trybów skanowania w pomiarze zarówno długich jak i krótkich odległości	11
4.5.1 wnioski z analizy poszczególnych trybów	18
5 kontrola różnych trybów pracy silnika krokowego	19
5.1 porównanie rozdzielczości skanów	19
5.2 wnioski z porównania rozdzielczości skanowania	25
6 Podsumowanie projektu	25

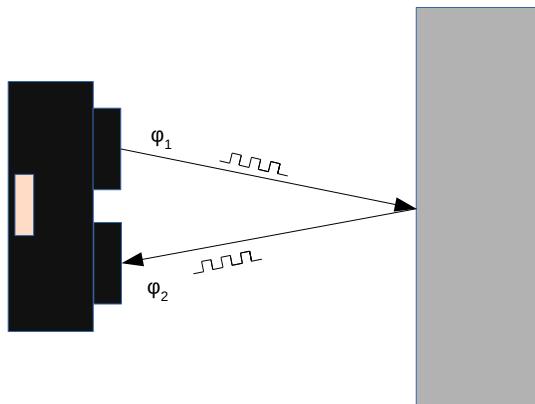
1 Wstęp

Celem niniejszego projektu było opracowanie systemu pozwalającego na mapowanie przestrzeni w płaszczyźnie poziomej w zakresie 360° . System w przyszłości zamierzam wykorzystać jako część autonomicznego robota pozwalającą na orientację w przestrzeni. Podstawę układu stanowi czujnik odległości precyzyjnie obracany za pomocą silnika krokkowego.

2 Omówienie technologii

2.1 Czujnik odległości

W projekcie wykorzystałem czujnik odległości wykorzystujący technologię TOF (Time Of Flight). Pomiar wykonywany za pomocą tej technologii polega na wysłaniu modulowanej fali świetlnej i obliczeniu odległości od powierzchni odbijającej na podstawie przesunięcia w fazie fali odbitej względem fali wyemitowanej. W projekcie używam czujnika wykorzystującego światło o długości fali 850nm emitowane przez diodę LED. Planowałem wykorzystać czujnik laserowy dysponujący znacznie lepszymi parametrami, jednak budżet nie pozwolił mi na takie rozwiązanie.



Rysunek 1: zasada działania pomiaru technologią TOF

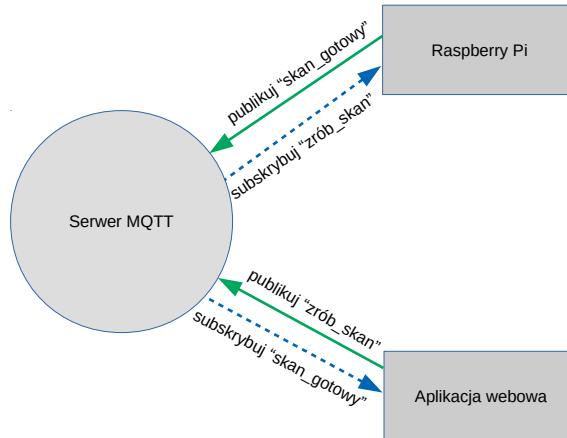
Zdecydowałem się na wybór tej technologii ponieważ pozwala ona na wykonywanie pomiarów z większą częstotliwością niż na przykład przy użyciu czujników ultradźwiękowych i wymaga mniej zasobów niż analizowanie obrazu z kamery. Dla porównania, czujniki ultradźwiękowe tej samej klasy cenowej pozwalają na pomiary odległości $d_{\max} < 8\text{m}$ z częstotliwością $f = 10\text{Hz}$, podczas gdy wykorzystywany w projekcie czujnik dysponuje $d_{\max} = 12\text{m}$ i $f = 100\text{Hz}$. Co za tym idzie, możliwe jest wykonanie skanu składającego się z 400 punktów w czasie około 4 sekund.

2.2 Obracanie czujnikiem odległości

Aby móc precyzyjnie sterować obrotem czujnika zastosowałem silnik krokowy o kącie 1.8° na krok co pozwalało mi na wykonanie 200 kroków podczas pełnego obrotu. Wykorzystywany przez mnie sterownik silnika umożliwiał wykorzystanie microsteppingu, czyli modulacji sygnału sterującego silnikiem w taki sposób, aby dzielić każdy krok na kolejne potęgi dwójki dzięki czemu mogłem wykonywać od 200 do 6400 kroków podczas jednego obrotu. Zastanawiałem się nad używaniem serw lub silników prądu stałego z enkoderami, jednak dokładna kontrola nad aktualnym kątem pomiaru jest najprostsza do osiągnięcia za pomocą silnika krokowego. Jest to spowodowane tym, że aby kontrolować serwa należy korzystać z modulacji PWM, do czego potrzebny jest precyzyjny zegar. Projekt wykonywałem na komputerze Raspberry Pi który nie ma możliwości generacji precyzyjnego PWM gdyż jego zegar jest oparty o software a nie o fizyczny zegar.

2.3 Kontrolowanie układu

Układ jest sterowany za pomocą skryptów w języku Python3 znajdujących się na komputerze Raspberry Pi do którego pinów podłączone są wszystkie urządzenia zewnętrzne. Skrypty można uruchamiać ręcznie bądź za pośrednictwem interfejsu będącego aplikacją webową napisaną w Django. Serwer tej aplikacji działa na drugim komputerze i jest niezależny od Raspberry. Do komunikacji pomiędzy aplikacją a Raspberry wykorzystałem protokół MQTT.



Rysunek 2: Schemat komunikacji pomiędzy aplikacją webową a Raspberry Pi.

Jeżeli użytkownik aplikacji wybierze opcję wykonania skanu, aplikacja publikuje na serwerze MQTT wydarzenie “zrób_skan” w którego treści znajdują się parametry skanu. Po odebraniu wiadomości na Raspberry wykonywane są pomiary zgodne z podanym parametrami. Po ich wykonaniu Raspberry publikuje na serwerze MQTT wydarzenie “skan_gotowy” w którego treści znajdują się parametry skanu.

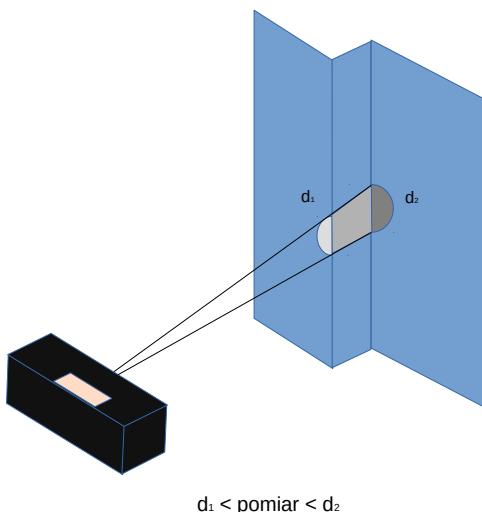
się wyniki pomiarów. Ta wiadomość jest następnie odbierana przez aplikację a jej treść zapisywana w bazie danych.

3 problemy związanie z pomiarem odległości

Błędy w pomiarach odległości były powodowane zasadą działania TOF jak i klasą wykorzystanego urządzenia oraz sposobem sterowania silnikiem.

3.1 minimalna długość krawędzi odbicia

Wiązka światła wysyłana przez czujnik niestety nie jest idealna. W przypadku wykorzystywanego czujnika jej promień skupienia wynosi 2.3° . Z tego powodu, na krawędziach badanych przedmiotów wiązka światła częściowo odbija się od krawędzi przedmiotu, a częściowo od powierzchni znajdującej się za nim. Powracająca fala jest sumą obu odbitych fal co powoduje błędne określenie odległości. Obliczona odległość zawsze jest dystansem pośrednim między dwiema powierzchniami.

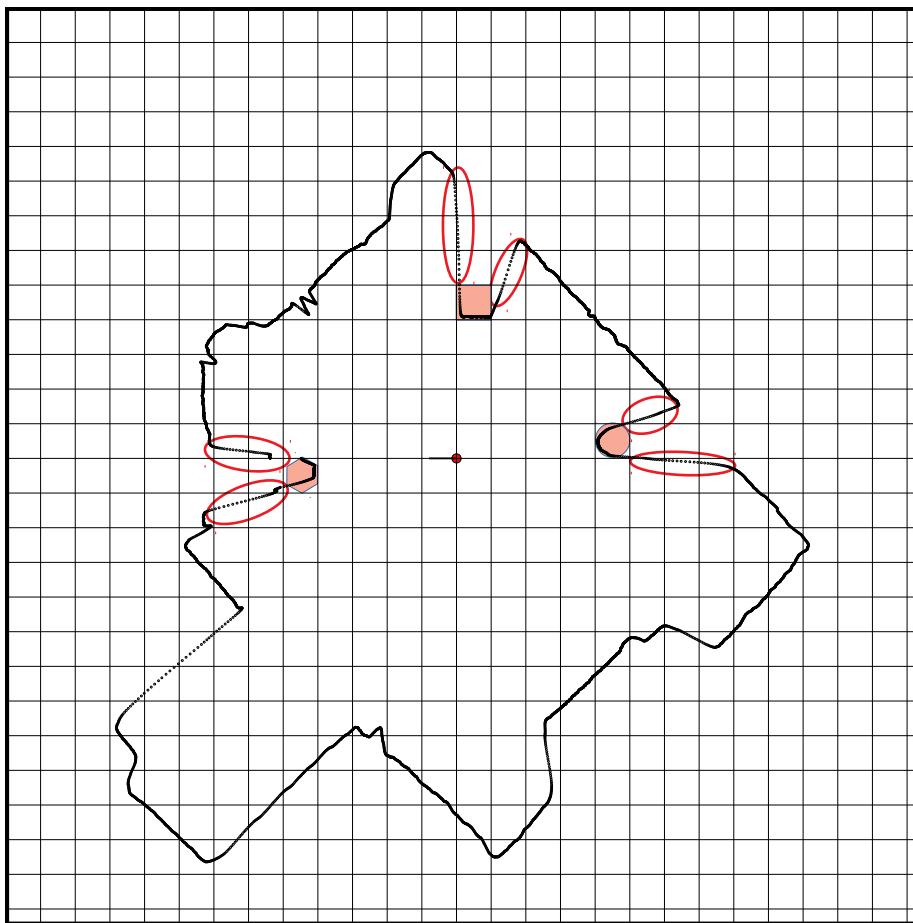


Rysunek 3: problem minimalnej długości krawędzi odbicia

odległość	1m	2m	3m	4m	5m
krawędź odbicia	4cm	8cm	12cm	16cm	20cm

Rysunek 4: długości minimalnej krawędzi odbicia dla wybranych odległości

Ten sam efekt występuje także w przypadku w którym przeszkoda jest niższa niż wysokość górnej części promienia. Z powodu tego zjawiska podczas skanu pojawiają się punkty wirtualne w miejscach w których żadna przeszkoda nie występuje.



Rysunek 5: Punkty wirtualne. Rzeczywisty skan wykonany przez system z dodanymi kształtami przeszkód. Na czerwono zaznaczone wirtualne punkty.

3.2 kalibrowanie układu

Aby skany były porównywalne należało zapewnić możliwość kalibracji układu. W tym celu wykorzystałem diodę laserową oraz fototranzystor. Przed i po każdym skanem system sprawdza, czy na fototranzystor świeci laser. Jeżeli nie, to wykonuje kroki na lewo i prawo aż znajdzie odpowiedni punkt.

Natężenie światła jest mierzone poprzez zastosowanie przetwornika A/D i wysyłanie z niego wartości do Raspberry poprzez interfejs SPI.

4 kontrola różnych trybów pracy czujnika odległości

Używany czujnik odległości może pracować w 4 trybach:

- krótki dystans: od 0 - 2 metrów
- średni dystans: od 0.5 do 5 metrów

- dług dystans: od 1 do 12 metrów
- tryb automatycznego wyboru trybu

Tryby te różnią się precyzją pomiaru. Najdokładniejsze pomiary są wykonywane w trybie krótkim, problemem jest natomiast tutaj moc odbieranego sygnału. Po przełączeniu na tryb krótki moc gwałtownie spada uniemożliwiając wykonywanie pomiarów dłuższych odległości. Pozostałe dwa tryby pozwalają na pomiary większych odległości, jednak dzieje się to niestety kosztem precyzji. Co za tym idzie, chcąc mierzyć odległości z różnych zakresów należy dynamicznie zmieniać tryby.

4.1 przełączanie trybów

W trybie automatycznej obsługi odległości czujnik wybiera tryb na podstawie aktualnej mocy sygnału. Jeżeli moc wzrośnie powyżej progu ustalonego przez użytkownika to czujnik przełącza się w tryb krótkiego dystansu. Jeżeli natomiast moc spadnie poniżej ustalonego progu to urządzenie przełącza się w tryb pomiaru średniej odległości. Sytuacja wygląda analogicznie pomiędzy trybem średnim i długim. W momencie przełączenia trybu zmienia się jednak precyzja pomiaru, co widać na poniżej pokazanym skanie:

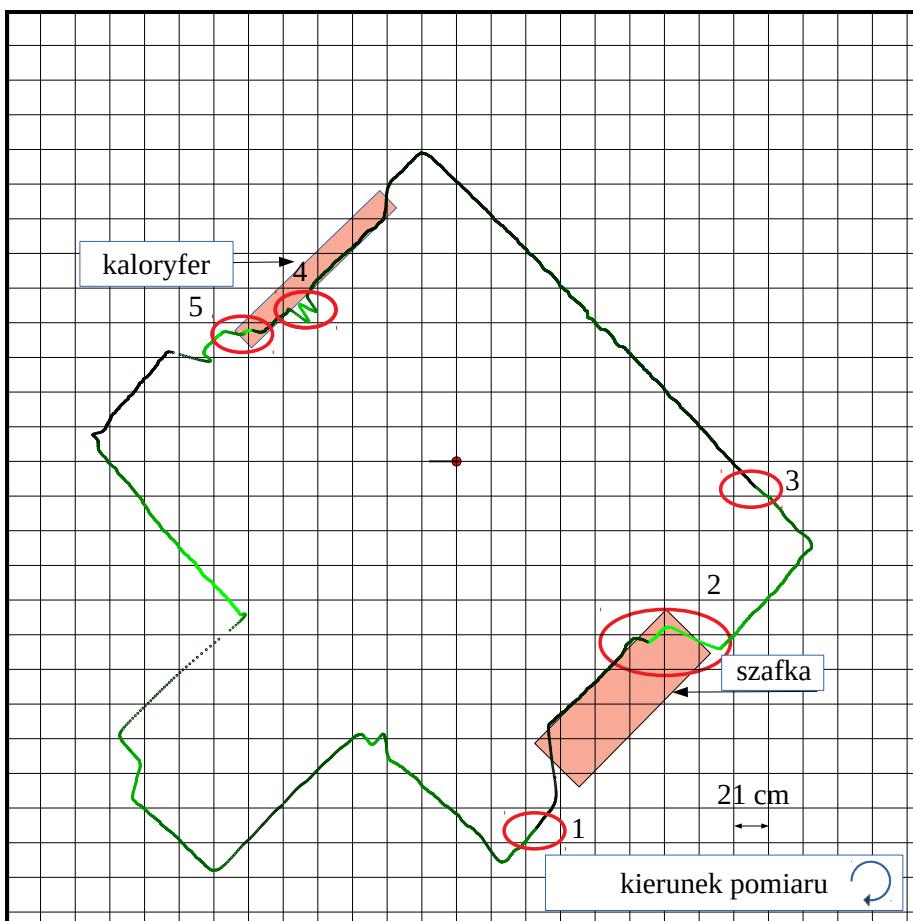
Jak widać w punktach 2 i 4, w momencie gdy kąt padania promienia czujnika zbliża się do prostopadłości, znacząco rośnie moc sygnału. W punkcie 2 w momencie przekroczenia progu następuje przełączenie trybu na pomiar bliski. Różnica wartości pomiaru pomiędzy dwoma trybami wynosi w tym miejscu około 5 cm.

Analogicznie wygląda sytuacja w punkcie 5. Podczas przekraczaniu krawędzi znajdującego się tam kaloryfera moc sygnału spada poniżej progu i następuje przełączenie trybu. W punkcie 4 czujnik wysyła wiązkę prostopadłą do odblaskowej powierzchni kaloryfera, co powoduje gwałtowne zakłócenia w pomiarze. Zakłócenie to występuje na wszystkich skanach i jest tym większe im większa jest rozdzielcość skanu.

Punkty 1 i 3 wykazują, że podczas przejścia z trybu krótkiego do trybu średniego nie występują zakłócenia, aczkolwiek w tych punktach przejście nie następuje wskutek prostopadłego rzutowania wiązki. Problem ten nie wynika jednak wyłącznie z kąta padania co widać na rys.7 w punkcie 3.

Ciekawie wygląda porównanie skanów różniących się jedynie kierunkiem wykonywania obrotu. Poniżej przedstawiam skan wykonywany ruchem przeciwnym do wskazówek zegara.

Porównując punkt 1 na rys.7 i punkt 2 na rys.6 można zobaczyć, że w obu przypadkach przełączeniu trybów towarzyszy różnica w pomiarze. Na rys.7 widać także to zjawisko w punkcie 3. W tym punkcie znowu widać przejście z trybu średniego do trybu krótkiego pokazujące różnice pomiaru w obu trybach. W tym przypadku wiązka nie pada prostopadle do powierzchni. W punkcie 2 widać przejście z trybu krótkiego do trybu średniego, któremu nie towarzyszą zakłócenia.



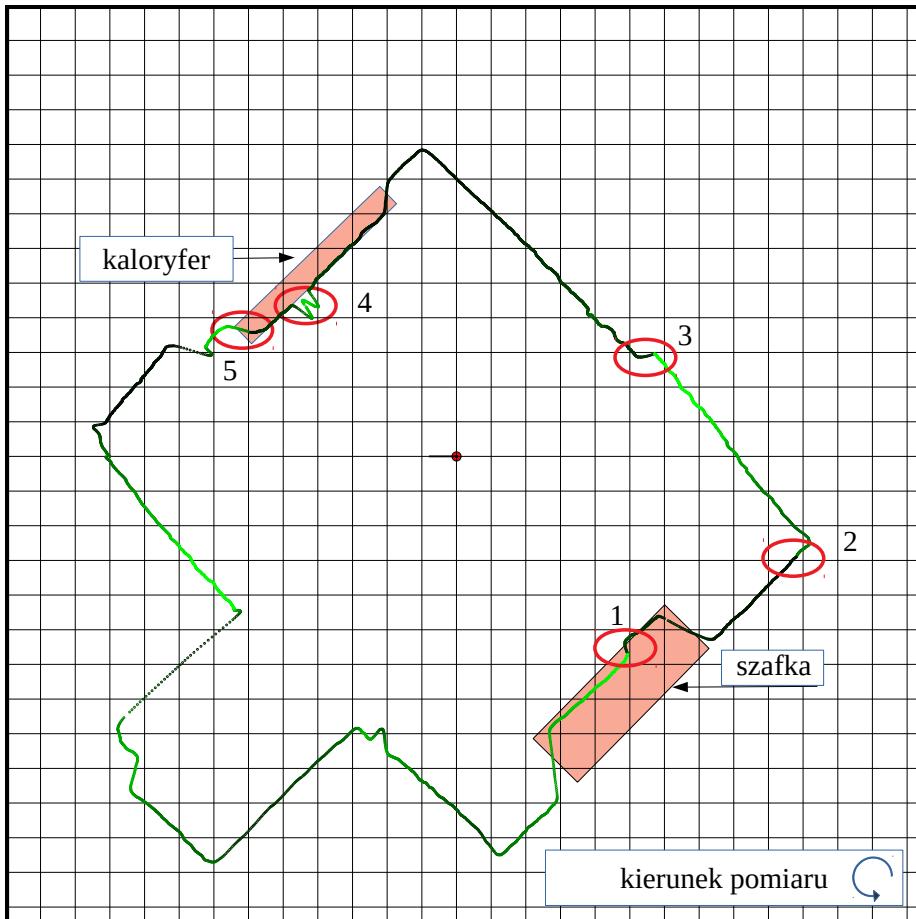
Rysunek 6: Przełączanie trybów skanowania. Pomarańczowy prostokąt symbolizuje znajdujący się tam mebel. Siła odbieranego przez czujnik sygnału dla każdego punktu przedstawiona została zamapowana na odcień zieleni. Im jaśniejszy kolor tym mocniejszy sygnał. Skala mocy sygnału 1 - 1000. Na czerwono zaznaczone miejsca zmiany trybu z krótkiego na średni i odwrotnie.

4.2 skanowanie trybem krótkim

Aby uniknąć zakłóceń spowodowanych przełączaniem trybów próbowałem skanować w jednym trybie. Oto wynik skanowania wyłącznie w trybie krótkim:

Podczas skanowania wyłącznie trybem krótkim nie napotykamy na zakłócenia spowodowane przełączaniem trybów, jednak jak widać w punkcie 3 spotykamy się z zakłóceniami spowodowanymi niewystarczającą mocą powracającej wiązki. Wraz ze wzrostem odległości pomiaru wyniki stają się coraz bardziej niepewne, jak widać w punkcie 4.

W punkcie 1 widać minimalne zakłócenie co wskazuje na to, że prostopadle padanie wiązki może powodować zakłócenia (tak jak na kaloryferze), jednak w punkcie 2 te zakłócenie nie występuje pomimo prostopadłości. Wniosuję, iż zakłócenia spowodowane prostopadłym padaniem są proporcjonalne do zdolności odbijania promieni przez daną powierzchnię.

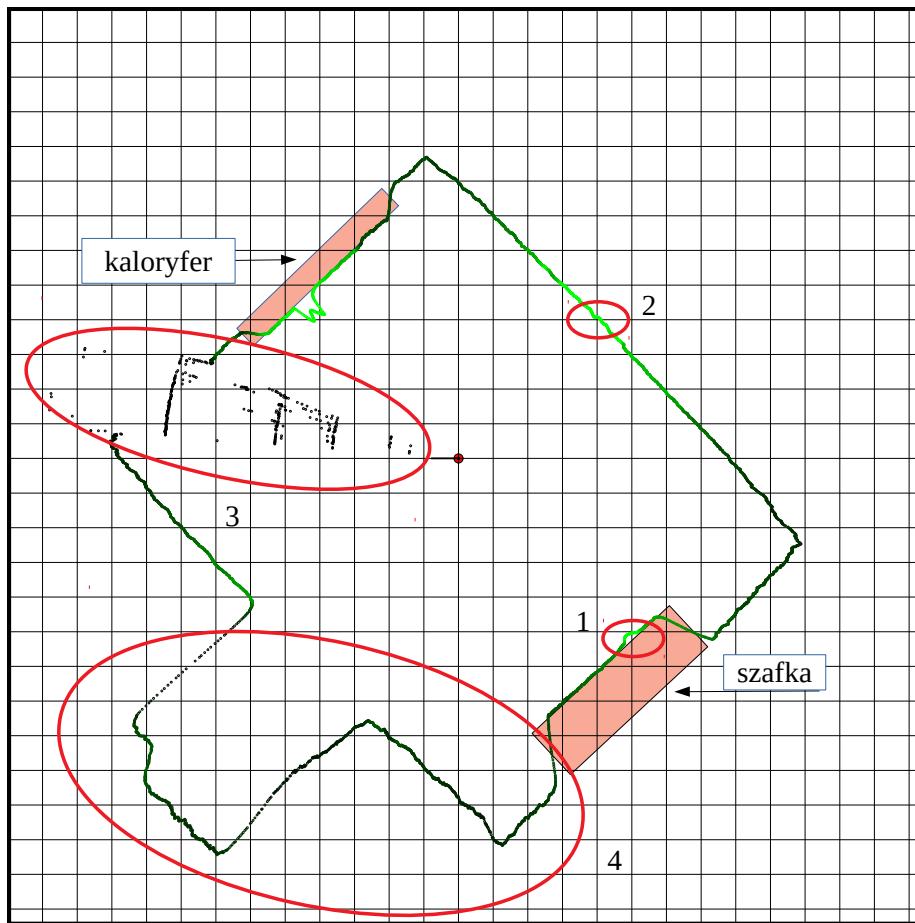


Rysunek 7: Przełączanie trybów skanowania skanując przeciwnie do ruchu wskazówek zegara

4.2.1 skanowanie trybem krótkim z zasłoniętymi powierzchniami odbijającymi

Aby być pewnym wpływu zdolności odbijania promieni na zakłócenia pomiaru zasłoniłem kaloryfer bordowym a szafkę granatowym matowym materiałem. Oto wynik skanu:

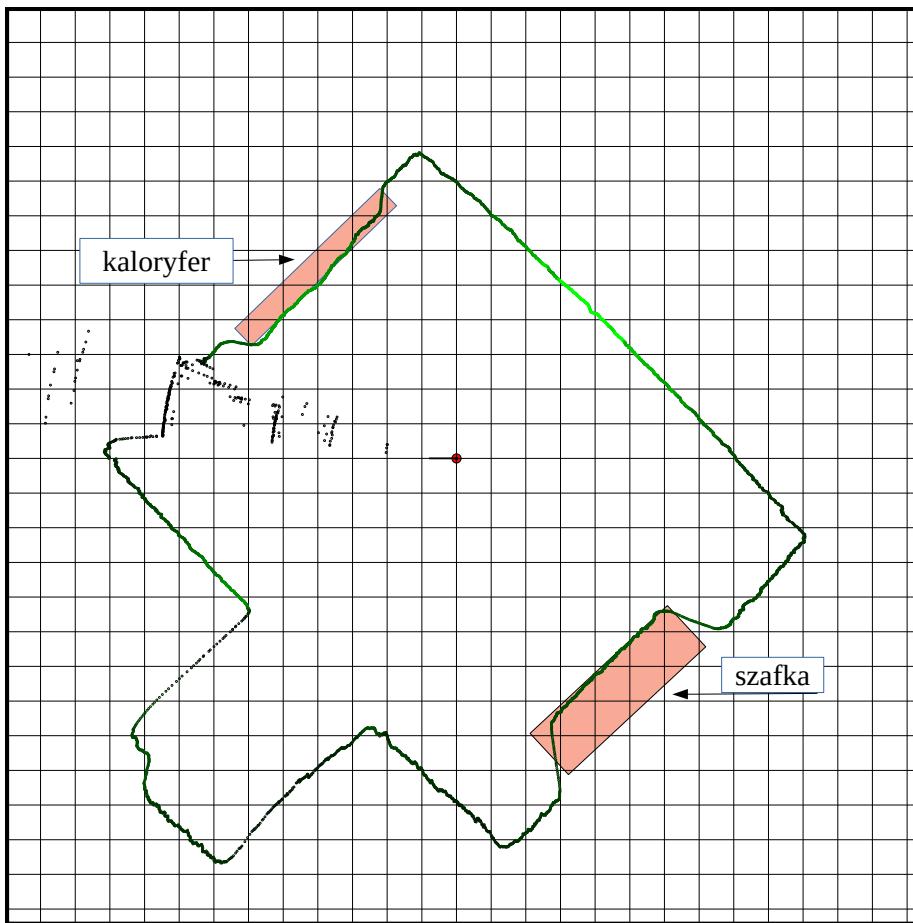
Ewidentnie po zmianie powierzchni odbijającej na matową zakłócenia znikały. Można też po zmianie jasności na kaloryferze i szafce zaobserwować wpływ zdolności powierzchni do odbijania światła na moc pomiaru. Wynika z tego, że układ będzie gorzej radził sobie ze skanowaniem białych przedmiotów i będzie wrażliwy na odbicia światła.



Rysunek 8: Skanowanie wyłącznie w trybie krótkim. Zmiana skalowania koloru, moc sygnału zawiera się obecnie w skali 0 - 50.

4.3 skanowanie trybem średnim

Skanujący w trybie średnim nie pojawiają się zakłócenia spowodowane przełączaniem oraz udaje się pokryć cały obszar. W prawym górnym rogu pomieszczenia pojawiają się jednak zakłócenia spowodowane zbyt małą mocą sygnału. Skala mocy sygnału 0 - 400.



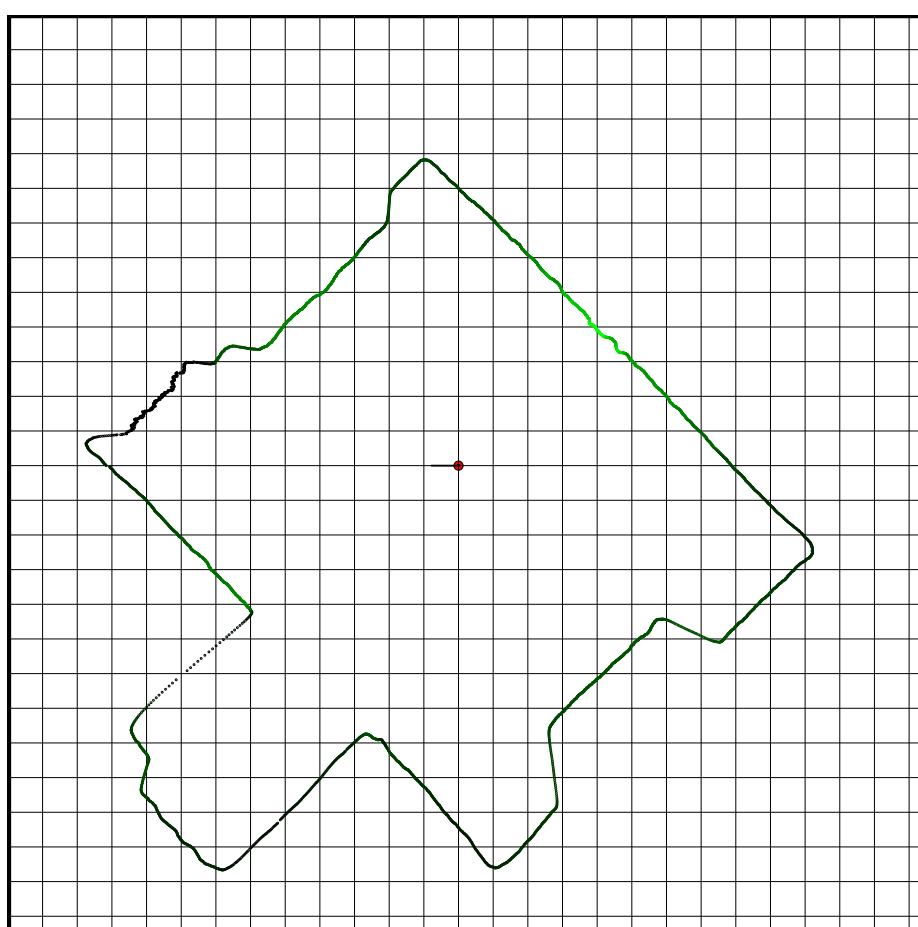
Rysunek 9: Skanowanie wyłącznie w trybie krótkim z zasłonięciem odbijających powierzchni. Kaloryfer oraz szafka są zasłonięte a ściana pozostała odsłonięta, co widać po mocy sygnału.

4.4 skanowanie trybem długim

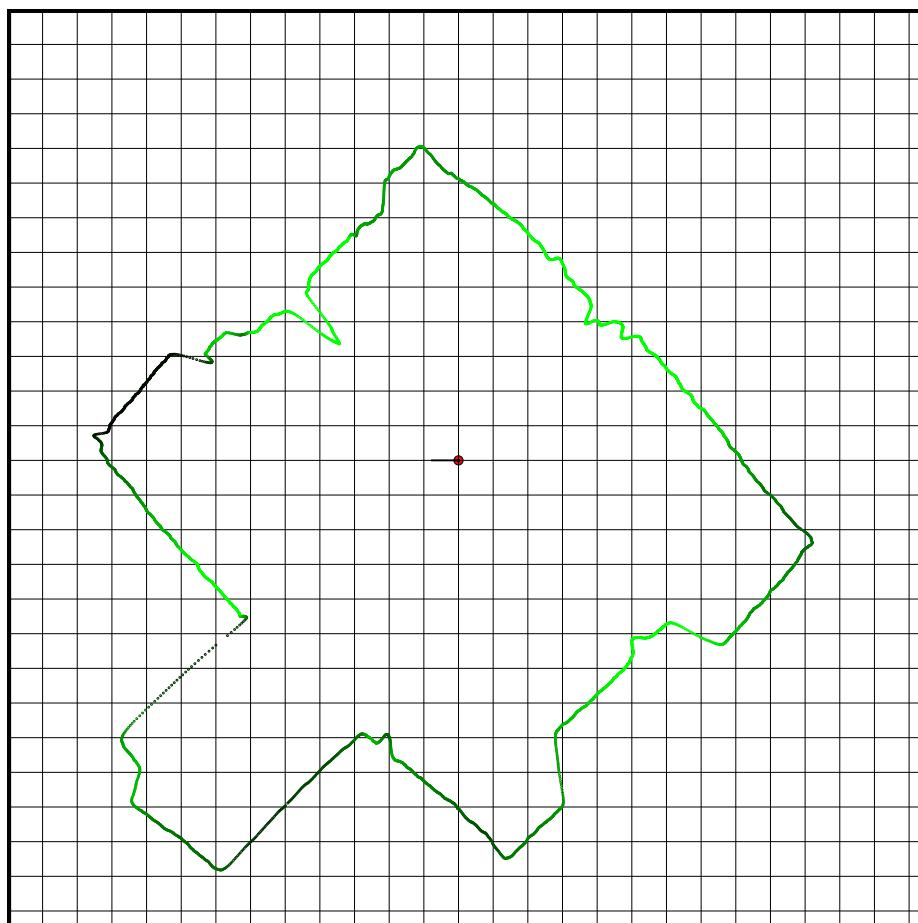
W trybie długim pojawiają się znaczące zakłócenia spowodowane odbiciami od powierzchni. Cały obszar jest jednak pokryty. Najmniejsze zakłócenia występują podczas pomiarów największych odległości. Skala mocy sygnału 0 - 1200.

4.5 porównanie trybów skanowania w pomiarze zarówno długich jak i krótkich odległości

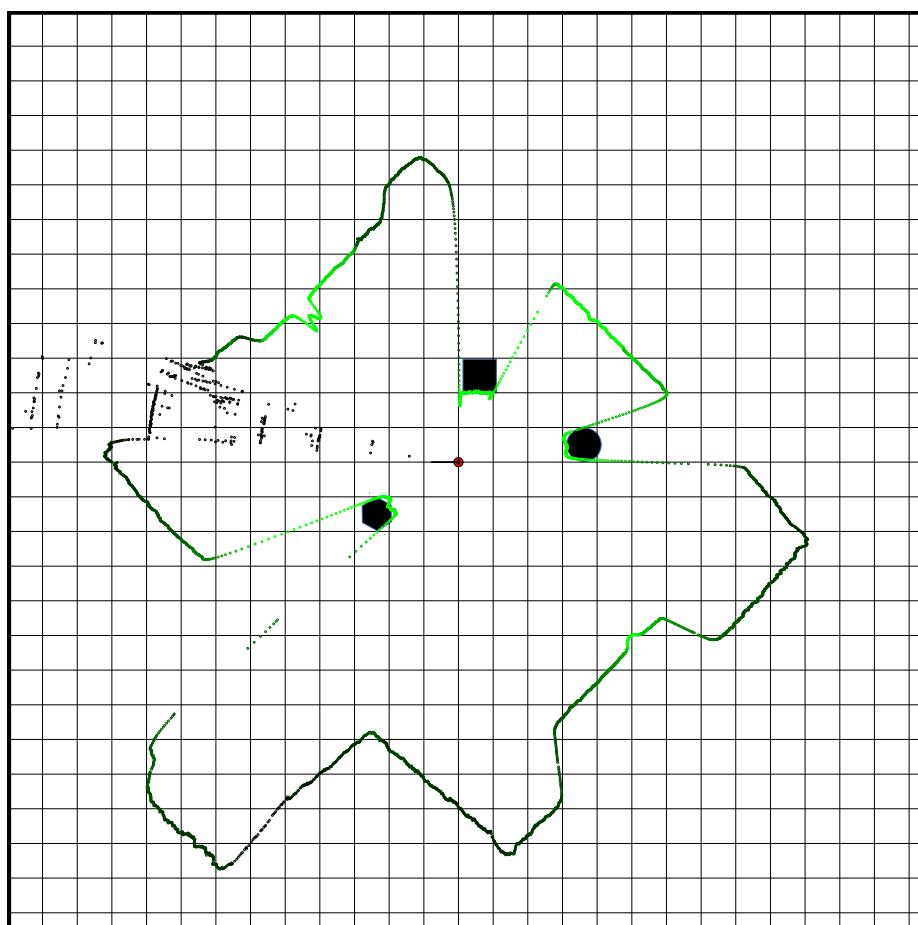
W rzeczywistych sytuacjach należy spodziewać się występowania podczas każdego skanu zarówno małych jak i dużych odległości. Poniżej zamieszczam zestawienie skanowania każdym z czterech trybów w otoczeniu bliskich oraz dalekich przeszkód.



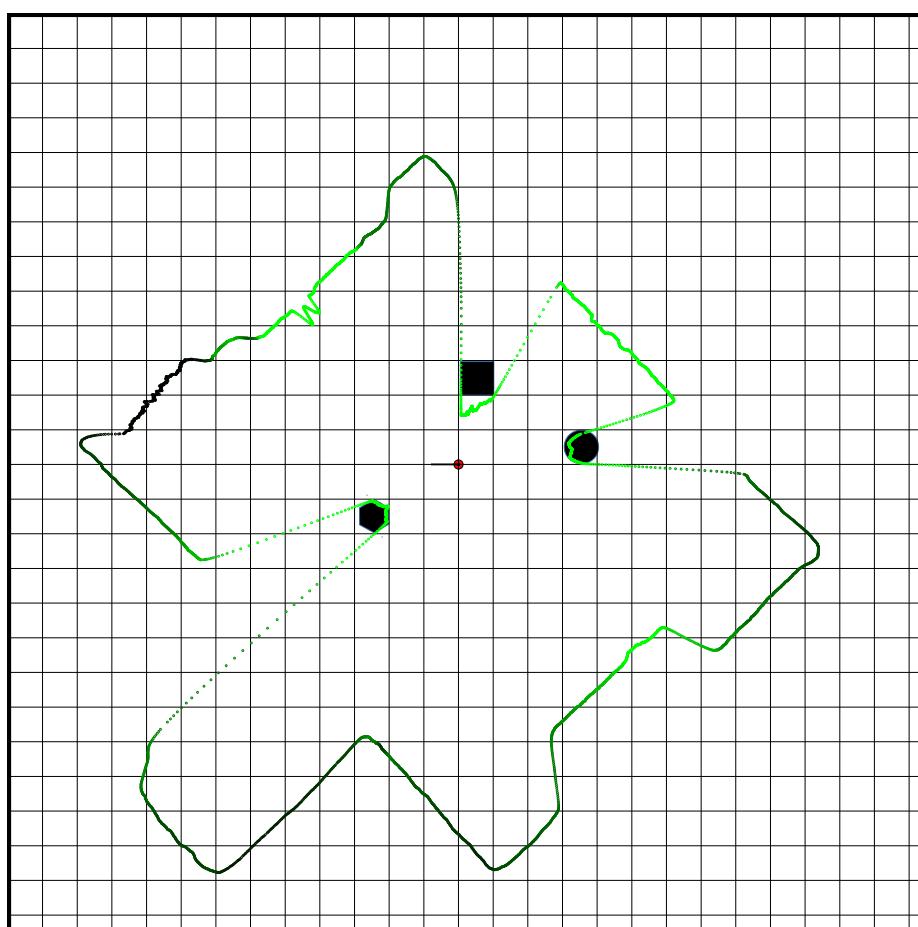
Rysunek 10: Skan w trybie średnim



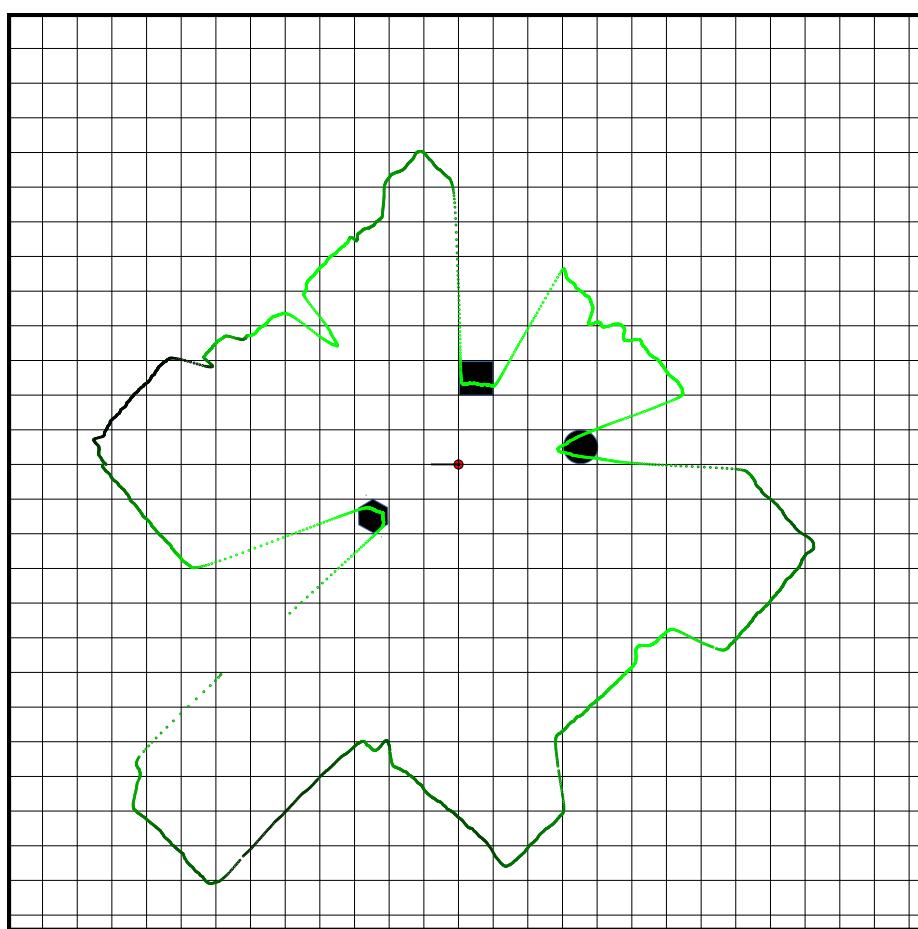
Rysunek 11: Skan w trybie długim



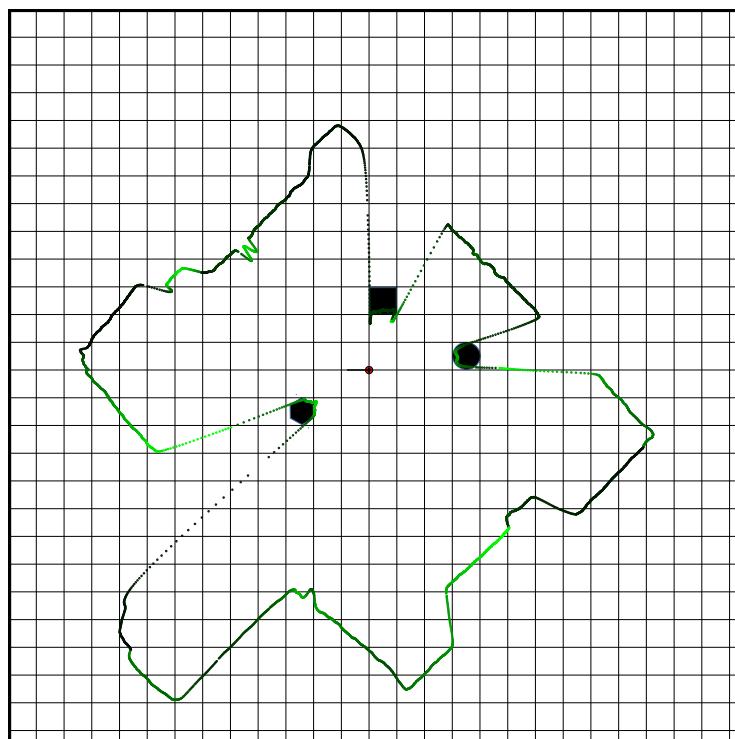
Rysunek 12: Skan w trybie krótkim z przeszkodami. Skala mocy sygnału 0 - 50



Rysunek 13: Skan w trybie średnim z przeszkodami. Skala mocy sygnału 0 - 400



Rysunek 14: Skan w trybie długim z przeszkodami. Skala mocy sygnału 0 - 1200



Rysunek 15: Skan z dynamicznym wyborem trybu. Skala mocy sygnału 0 - 1200

4.5.1 wnioski z analizy poszczególnych trybów

W warunkach w których prowadziłem pomiary oceniam że najlepiej z trybów pojedynczych sprawdził się tryb średni, ponieważ w trybie krótkim układ już znajdował się na granicy możliwości pomiaru i w przypadku większych odległości wyniki byłyby zupełnie niedokładne a w trybie długim w każdym skanie w przypadku bliżej znajdujących się obiektów pomiary są przekłamane, przy czym odległość jest zaniżana. Jako system do wykrywania przeszkód układ powinien moim zdaniem raczej widzieć fałszywe przeszkody niż nie widzieć prawdziwych.

Do funkcjonowania poza układem testowym najkorzystniejszy jest jednak tryb mieszany, ponieważ jeżeli nie mamy gwarancji, że pewne odległości nie zostaną przekroczone, musimy się na taką okoliczność przygotować.

5 kontrola różnych trybów pracy silnika krokowego

Używany przeze mnie sterownik silnika krokowego może pracować w następujących trybach: pełen krok , $1/2$, $1/4$, $1/8$, $1/16$ oraz $1/32$ kroku. Daje to następujące liczby pomiarów na obrót:

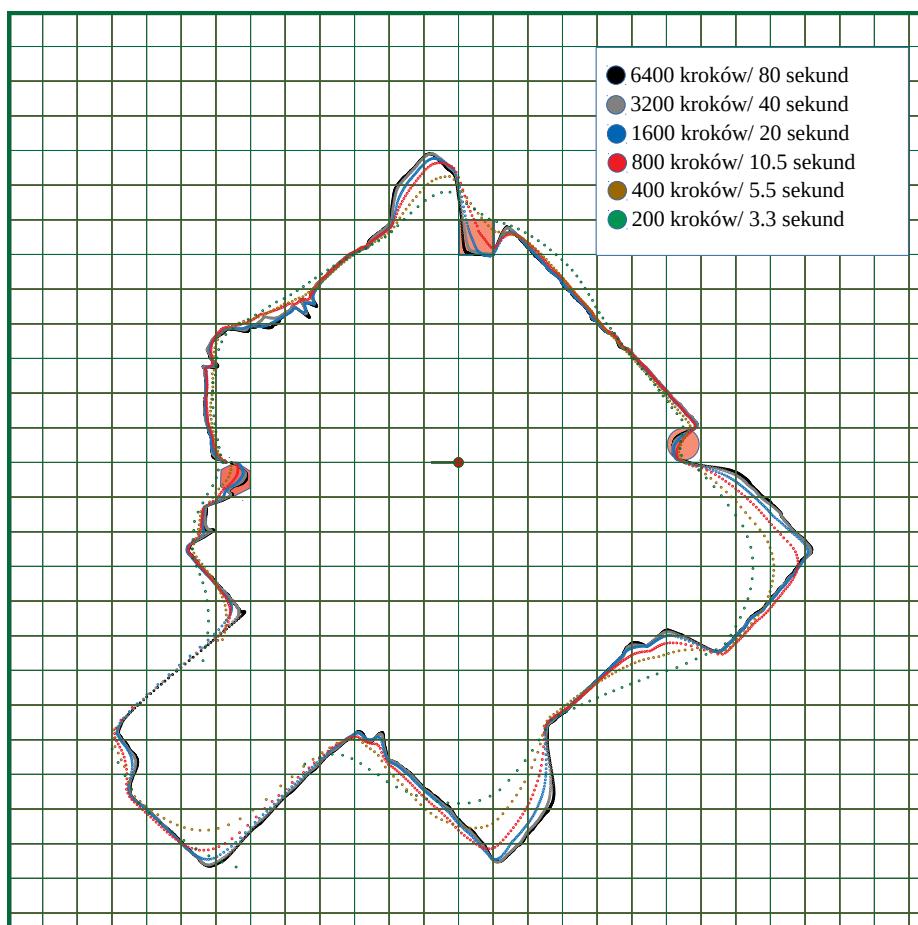
tryb	1	$1/2$	$1/4$	$1/8$	$1/16$	$1/32$
ilość kroków	200	400	800	1600	3200	6400

Rysunek 16: ilość kroków na obrót w zależności od trybu pracy kontrolera silnika

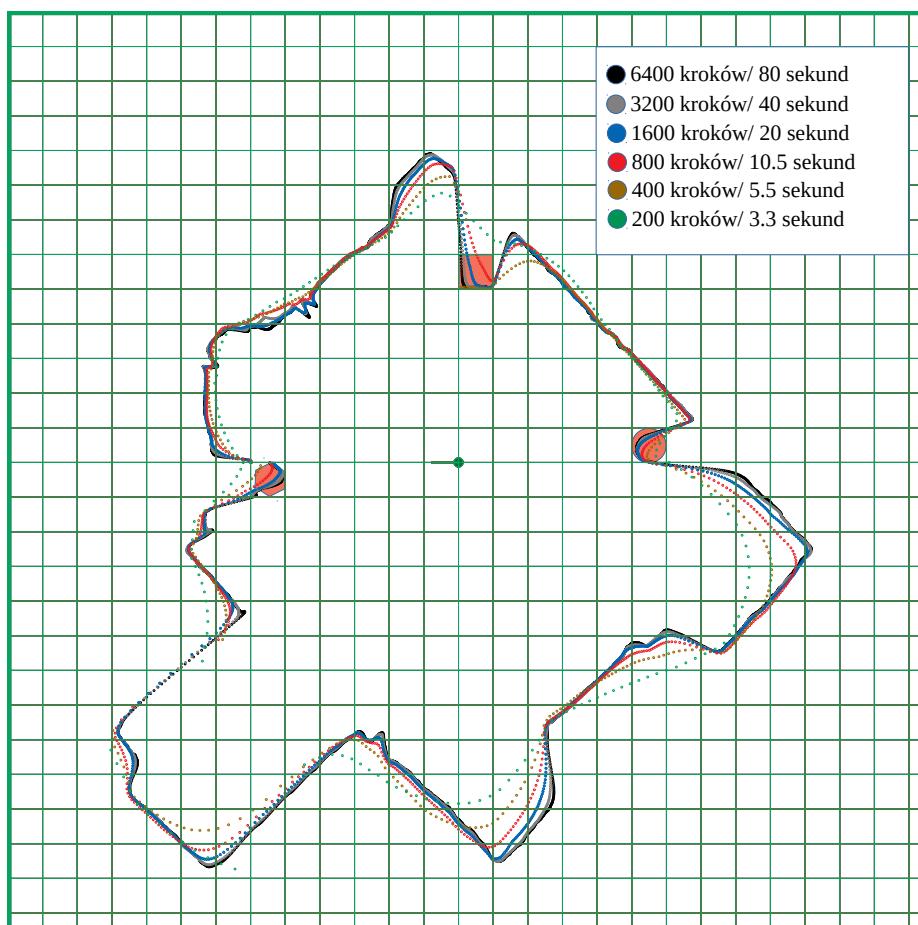
5.1 porównanie rozdzielczości skanów

Dokładność skanu jest oczywiście zależna od liczby pomiarów, ale od tej liczby zależy także czas trwania skanu. Poniżej przedstawiam porównanie skanów wykonanych z każdą z wymienionych rozdzielczości dla różnej odległości przeszkód. Aby ułatwić porównanie skany są naniesione na siebie a ich wyniki różnią się kolorami. W legendzie umieszczam też średnie czasy wykonywania pomiarów dla każdego trybu.

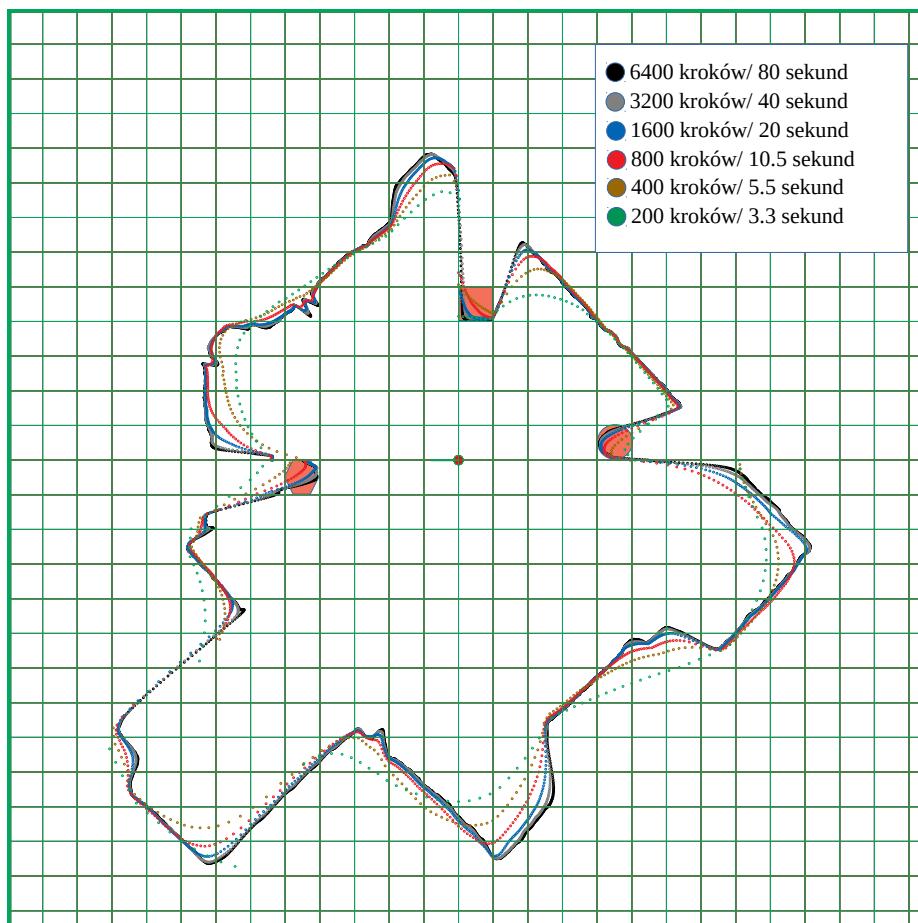
Skany wykonywane są zgodnie z ruchem wskazówek zegara oraz z dynamicznym wyborem trybu pomiaru odległości.



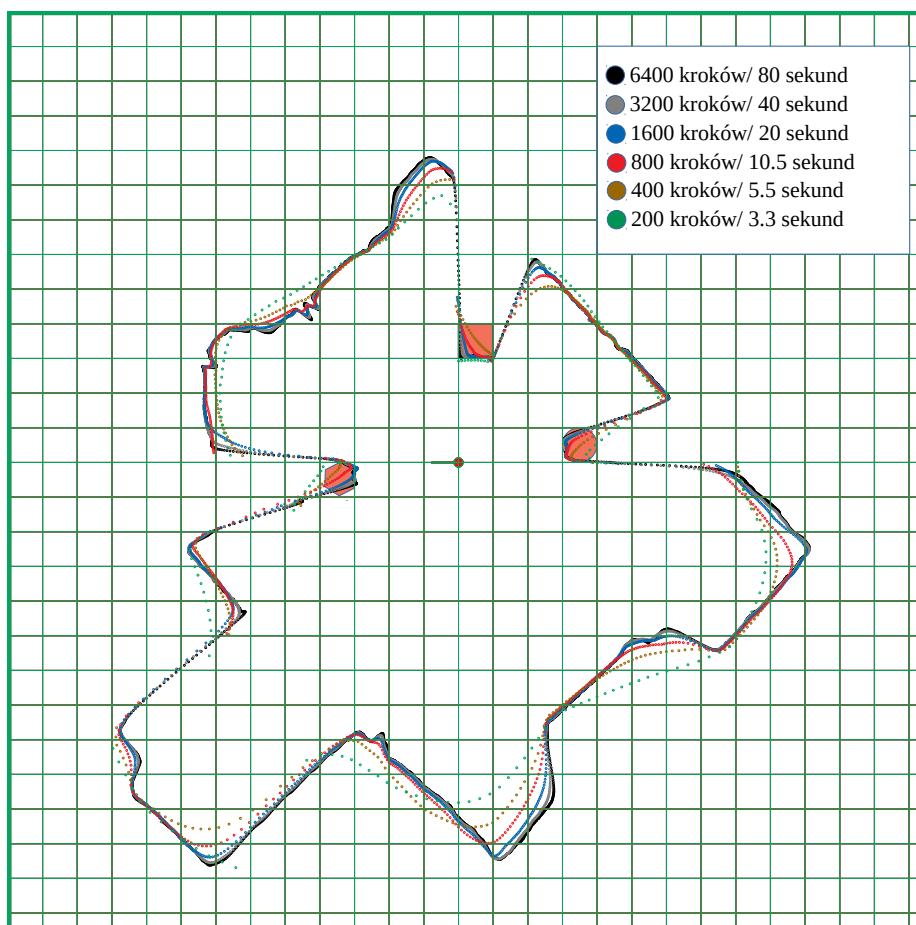
Rysunek 17: porównanie rozdzielczości, 126 cm



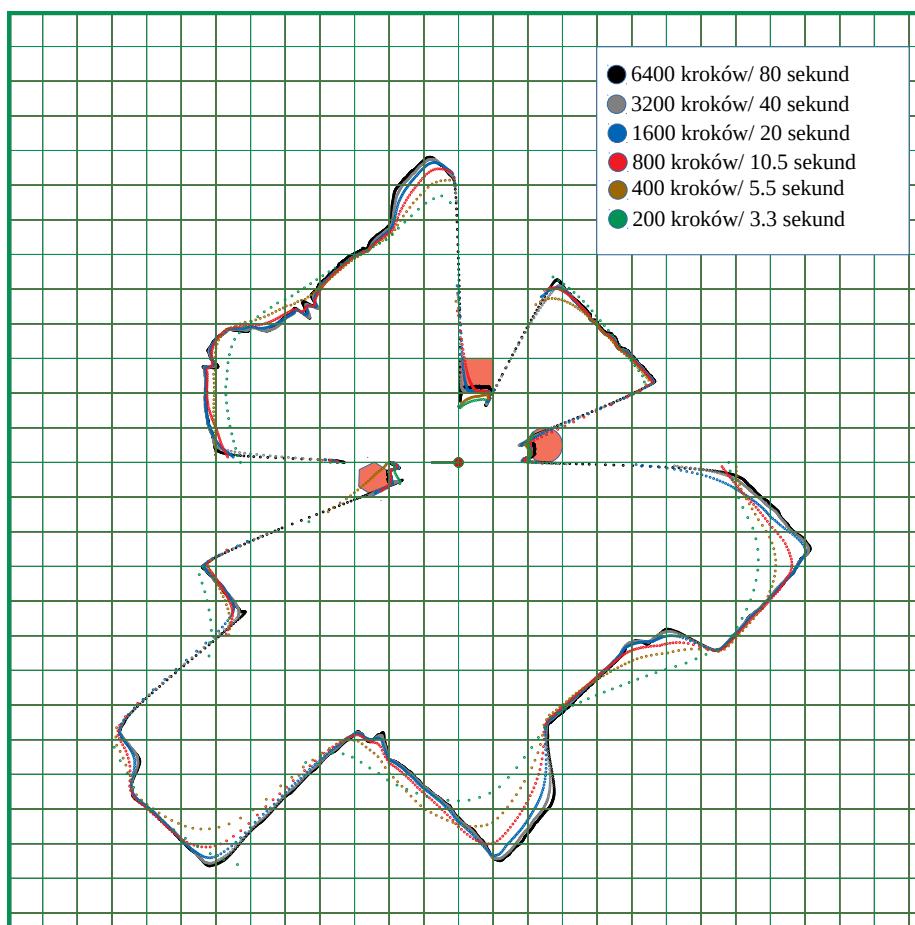
Rysunek 18: porównanie rozdzielczości, 105 cm



Rysunek 19: porównanie rozdzielczości, 84 cm



Rysunek 20: porównanie rozdzielczości, 63 cm



Rysunek 21: porównanie rozdzielczości, 42 cm

5.2 wnioski z porównania rozdzielczości skanowania

Co nie jest zaskakujące najdokładniejsze są skany o największej rozdzielczości. Niestety podczas zwiększania rozdzielczości wykładniczo rośnie czas wykonywania pomiarów. Dla układu mającego dostarczać robotowi informacji o otoczeniu 80 sekund na jeden skan to zdecydowanie zbyt wiele.

Należałoby się skupić w takim razie na skanach najszybszych, jednak są one obarczone największą niedokładnością oraz mają tendencję do zaniżania odległości od obiektów niewiele razy przekraczających minimalną długość odbicia na każdym dystansie, może z wykluczeniem najkrótszego (okolice 30-40 cm). Można byłoby jednak uwzględnić ten problem w algorytmie sterowania robotem tak, aby każde pole z siatki na którym znajduje się pomiar traktowało jako zajęte.

6 Podsumowanie projektu

Moim zdanie z powodzeniem można wykorzystać skonstruowany układ jako "oczy" robota. Musiałby on oczywiście współpracować z innymi czujnikami, ponieważ nie może mierzyć on odległości mniejszych niż 30 cm i skanuje tylko w jednej płaszczyźnie, więc nie dostarcza informacji o obiektach znajdujących się powyżej bądź poniżej płaszczyzny skanowania.

Ponadto, należałoby się zastanowić nad zastosowaniem czujnika odległości wykorzystującego laser o wiele lepszym skupieniu wiązki światła od diody w czujniku wykorzystywanym w tym projekcie. Problemem może okazać się cena (ja na LIDAR wydałem 160 złotych, urządzenie w półki wyżej zaczynają się od około 1000 złotych) a także rozmiar. Zaletą urządzenia z którego korzystałem jest jego bardzo mały rozmiar i pobór prądu (42mm szerokości i 120mA prądu!).

Podczas pracy nad projektem przekonałem się, że wykorzystanie technologii LIDAR do mapowania przestrzeni jest obarczone o wiele mniejszym błędem w przypadku skanowania większych przedmiotów, których rozmiar wielokrotnie przewyższa szerokość padającej na niego wiązki.