

Politechnika Opolska

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Katedra



POLITECHNIKA
OPOLSKA

PRACA DYPOMOWA

inżynierska – stacjonarne I stopnia

TEMAT PRACY

**Oprogramowanie do precyzyjnego lokalizowania położenia
obiektów**

Promotor:

dr hab inż. Mariusz RZĄSA

Pracę wykonał:

Tomasz SZCZEPANIAK

nr. Albumu 085131

Opole, maj 2023

Oprogramowanie do precyzyjnego lokalizowania położenia obiektów

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono oprogramowanie do precyzyjnego lokalizowania położenia obiektów. Wykonano również szereg badań mających na celu przetestowanie tego oprogramowania, zarówno w warunkach idealnych jak i rzeczywistych. Program został napisany w node.js. Jest to aplikacja serwerowa, która obsługuje zapytania http na podstawie zasad i konwencji REST.

Software for precise location of objects

Summary

This paper presents software for precise location of objects. A number of tests were also carried out to test this software, both in ideal and real conditions. The program was written in node.js. It is a server application that handles http queries based on REST rules and conventions.

SPIS TREŚCI

1	Cel i zakres pracy.....	3
2	Wstęp	3
2.1	System GPS.....	4
2.2	System GSM.....	5
2.3	System RTLS.....	7
3	Podstawy zastosowanej metody obliczeniowej.....	7
3.1	Metoda trilateracji.....	8
3.2	Metoda liniowej projekcji wstecznej LBP	8
3.3	Metoda iteracyjnej liniowej projekcji zwrotnej ILBP	9
4	Technologie wykorzystane w programie	9
4.1	Urządzenia zewnętrzne	11
4.1.1	Charakterystyki skanera.....	12
5	Program	16
5.1	Tworzenie projektu	18
5.2	Pomiary – strona edycji.....	20
5.2.1	Pomiary offline.....	21
5.2.2	Pomiary online.....	27
5.3	Pozostałe funkcjonalności programu	30
6	Wnioski	31
7	Literatura	32

1 Cel i zakres pracy

Praca ma na celu zaprojektowanie i stworzenie oprogramowania do precyzyjnego lokalizowania położenia obiektów

Zakres pracy obejmuje takie zagadnienia jak:

1. Inwentaryzacja stanu wiedzy.
2. Wykonanie stosownego oprogramowania
3. Testy oprogramowania

2 Wstęp

Pierwszym systemem stworzonym przez człowieka do lokalizowania obiektów, który swoją popularność posiada do dnia dzisiejszego jest system GPS. Został stworzony w 1973 roku przez Amerykanów, początkowo tylko do celów wojskowych. W roku 1978 został udostępniony dla cywili dzięki decyzji Kongresu USA [1, 2].

System ten najczęściej wykorzystywany jest do lokalizowania położenia obiektów, które znajdują się w wolnej przestrzeni. W praktyce oznacza to, że na trasie nadajnik-odbiorca (satelita) powinno nie być stałych obiektów, które utrudniają komunikację. Do takich obiektów zliczamy przede wszystkim dachy budynków, przez które sygnał GPS ma problem się przedostać [2, 3]. W szczególności przez metalowe dachy, które odbijają ten sygnał. Zaletą tego systemu jest to, że dzięki łączności z satelitą można zlokalizować obiekt z każdego miejsca na ziemi. Nie można tego samego powiedzieć o systemach naziemnego radiokomunikacyjnego monitorowania położenia, gdzie potrzeba rozwiniętej infrastruktury telekomunikacyjnej.

Z problemem lokalizacji położenia obiektu, czy to człowieka możemy napotkać się w pomieszczeniach zamkniętych. System GPS nie zda swojej roli ze względu na zadaszenie, ściany i inne elementy, które utrudniają komunikację z satelitą [4].

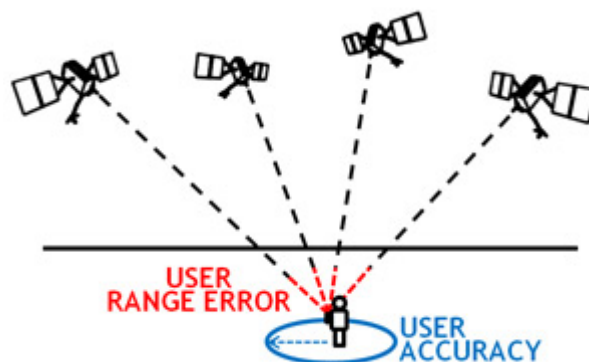
Technologia do lokalizacji w czasie rzeczywistym powstała, a także zaczęła ewoluować od 1998 roku. Na targach branżowych ID EXPO została zaprezentowana po raz pierwszy. Zaprezentowany system nosił nazwę RTLS (ang. Real-Time Location system) czyli system lokalizacji w czasie rzeczywistym. Systemy lokalizacji w czasie rzeczywistym śledzą przedmioty lub osoby podczas ich przemieszczania się po obiekcie. Systemy te można traktować jako GPS w pomieszczeniach, ponieważ zapewniają podobny poziom danych o lokalizacji i ruchu, zarówno w czasie rzeczywistym, jak i w szczegółowych historiach śledzenia. Na rynku istnieje wiele technologii RTLS jednak mają one wspólne cechy. Każdy taki system składa się z nadajnika, odbiorcy oraz systemu do zarządzania danymi, który je zbiera i przetwarza. Dzięki takiemu systemowi do zarządzania pracownicy mają łatwy wgląd do informacji na temat położenia badanego obiektu. Zarówno w czasie rzeczywistym jak i jego historii [7, 8, 9, 10].

2.1 System GPS

Jak było wspomniane we wstępie, GPS na początku był systemem wojskowym. Pomysł ten zrodził się z potrzeby dokładnego lokalizowania statków wojskowych na morzach i oceanach. Początkowo do tego celu był wykorzystywany system LORAN (Long-range Radio Navigation), w którym dwie stacje przesyłały w sposób ciągły współrzędne do nawigatorów wyposażonych w odpowiednią antenę pasywną. Następnie współrzędne były wykorzystywane do określenia położenia na wodzie. System był oparty na recepcji i różnicy faz fal radiowych nadawanych z dwóch anten [1, 2].

W dzisiejszych czasach systemy GPS znajdują swoje zastosowanie nie tylko w nawigacji. Wykorzystywane są również do wskazywania dokładnej lokalizacji w geodezji oraz w systemach telekomunikacyjnych, ponieważ satelity posiadają niezwykle dokładne zegary pokładowe. Zegary te wskazują czas z dokładnością nawet do 40 nanosekund. Z systemu korzystają firmy transportowe do lokalizowania swoich ciężarówek czy pracowników, w celu zweryfikowania pracy bądź śledzenia skradzionego pojazdu. Poprzez miniaturyzację urządzeń każdy smartwatch, czy smartphone posiada odbiornik GPS. Co za tym idzie aplikacje takie jak Facebook czy Twitter mogą śledzić nasze położenie [3].

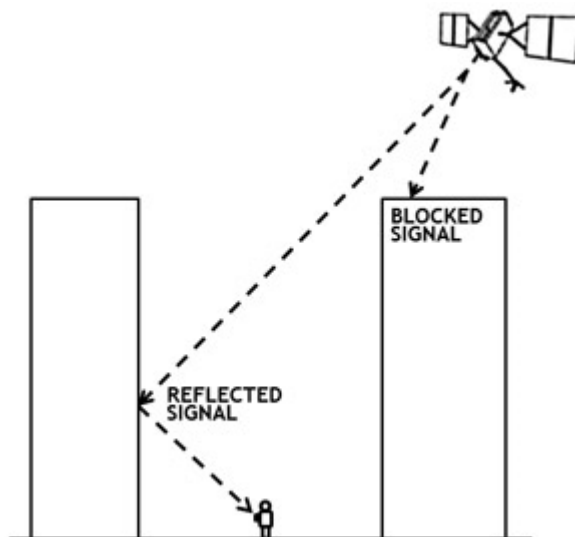
System GPS składa się z 31 satelitów krążących na orbicie wokół ziemi. 7 z nich to satelity zapasowe. Natomiast wszystkie są rozmieszczone w taki sposób, aby zagwarantować poprawne działanie co najmniej 24 z nich. Dodatkowo cztery satelity są zawsze widoczne z każdego punktu na ziemi a każda z nich nieprzerwanie wysyła dane w jej kierunku. Odbiornik może obliczyć swoją szerokość i długość geograficzną jeśli połączy się przynajmniej z trzema satelitami. Do obliczenia swojej pozycji w pionie (wysokości) odbiornik musi odbierać sygnał z co najmniej czterech satelit [2, 3, 6].



Rys. 2.1 Zobrazowanie różnicy między User Range Error a User Accuracy

Odbierany sygnał GPS może różnić się dokładnością z wielu powodów między innymi: warunki atmosferyczne, jakość odbiornika, blokowanie sygnału. Na rysunku 2.1 został zobrazowany pomiar błędu pseudoodległości użytkownika. Aby zmierzyć swoją pozycję odbiornik łączy się z kilkoma satelitami i bada dystans dzielący go od nich. URE (User Range Error) to miara dokładności pomiaru odległości. UA (user Accuracy) czyli dokładność

użytkownika odnosi się do tego jak duży jest błąd pomiarowy, czyli jak bardzo odbiega od rzeczywistego wyniku [4]. Dokładność pomiaru np. w smartfonach może spaść w pobliżu drzew, mostów, budynków. Sygnał z satelity najlepiej odbierany będzie pod gołym niebem. Słaby oraz pozbawiony dokładnej lokalizacji odbiorów sygnału będzie miał miejsce pod ziemią np. w stacji metra. Istnieją też rzadziej spotykane przyczyny do których należą np. zakłócenia radiowe; konserwacje satelit; burze słoneczne. W przypadku urządzeń nawigacyjnych może się okazać, że błąd nie jest spowodowany wadą sprzętową lecz niezaktualizowaną mapą, na której adresy ulic są oszacowane źle, bądź ich brakuje [5].



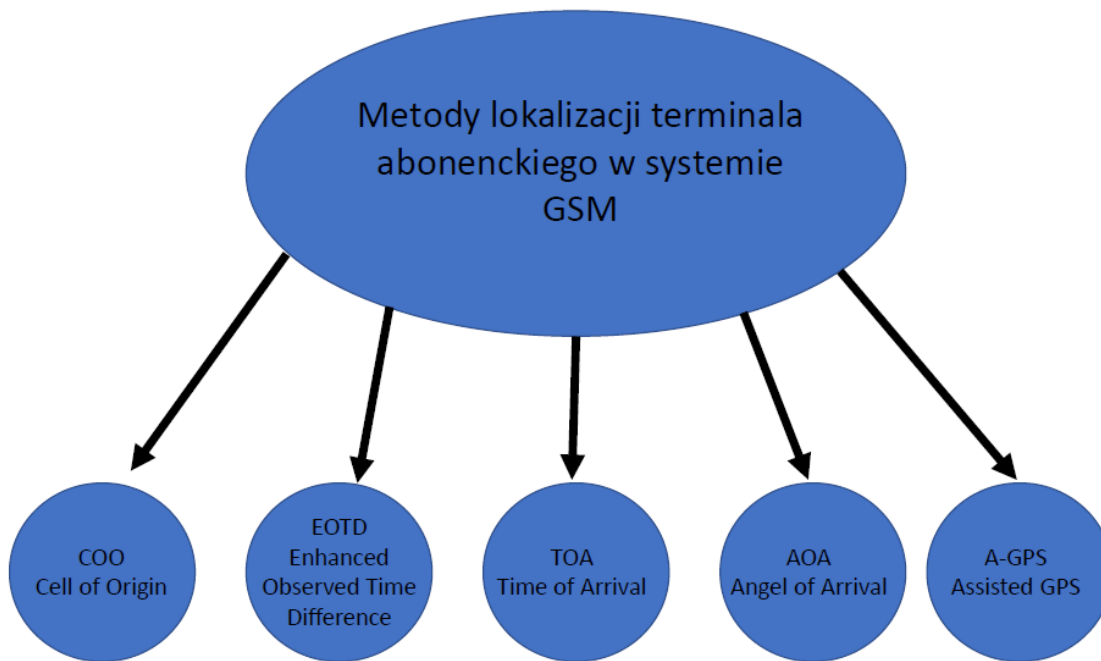
Rys. 2.2 Blokowanie sygnału GPS

2.2 System GSM

Ten podrozdział jest poświęcony systemom monitorowania opartym o technologie GSM. W praktyce najczęściej używa się go do monitorowania pojazdów. Nie tylko flot transportowych, lecz także prywatnych samochodów np. zabezpieczając je w ten sposób przed kradzieżą. Najczęściej stosowaną metodą w tych przypadkach jest połączenie systemu opisanego w rozdziale 2.1 z systemem GSM.

Sama idea lokalizacji abonenta w systemie GSM wymusza posiadanie telefonu z kartą SIM. Telefon musi być cały czas włączony, aby można go było rejestrować. Sygnał odbierany jest przez stacje telefoniczne, na podstawie których mierzy się odległość telefonu od stacji. Im więcej stacji w danym rejonie, tym pomiar będzie dokładniejszy. Kolejną informacją na temat położenia może być też przekroczenie granicy państwa przez abonenta. Następuje wtedy przejście abonenta przez operatora zagranicznego [11].

Rysunek 2.3 przedstawia metody dzięki którym można zlokalizować telefon (terminal GSM).



Rys. 2.3 Metody lokalizacji abonenta w systemie GSM

Metoda COO (Cell of Origin) jest najmniej dokładną metodą lokalizacji urządzenia. Przyjmuje się w niej lokalizację stacji jako lokalizację dzwoniącego. Pomiar lokalizacji mogą się wahać od kilku metrów do kilkunastu kilometrów. Jest to spowodowane tym, że na słupach telekomunikacyjnych z reguły są montowane 3 anteny, której każdy rozstaw wynosi 120 stopni. W obszarach wiejskich zasięg takiego nadajnika może sięgać 40km. Dokładność tej metody zależy od tego ile komórek znajduje się w danym obszarze. Im więcej telefonów, tym dokładniejszy jest pomiar [12].

Kolejną metodą do pomiaru odległości między abonentem a stacją radiową jest EOTD (Enhanced observed Time Difference). Zazwyczaj system ten wymaga modyfikacji istniejącej infrastruktury. Polega on na pomiarze odstępu czasowego przy wysyłaniu sygnału do innych stacji telekomunikacyjnych. Sygnał ten jest następnie porównywany i na tej podstawie dokonywane są stosowne obliczenia. Dokładność tej metody to około 125 metrów [13].

TOA (Time of Arrival) – tu również mierzy się czas propagacji sygnału, jednak nie uwzględnia się innych nadajników. Pomiar odbywa się tylko między komórką a stacją radiową. Im więcej stacji tym pomiar staje się dokładniejszy. Dokładność waha się między 50 a 400 metrów [14].

Metoda AOA (Angel of Arrival), czyli metoda kąta nadejścia sygnału charakteryzuje się pomiarem kąta z którego nadchodzi sygnał. Każda stacja odbiorcza musi być wyposażona w specjalne anteny, które umożliwią taki pomiar, oraz jednostkę obliczeniową. W metodzie tej potrzeba minimum dwóch stacji radiowych [15].

Assisted GPS to metoda, która wymaga zainstalowania w telefonie modułu GPS. W tym przypadku stacje radiowe asystują nadajnikowi GPS i pomagają ustalić pierwsze położenie urządzenia. Przez określenie lokalizacji metoda staje się szybsza, ponieważ nie trzeba na samym początku łączyć się z satelitami, co przeważnie zajmuje określony czas [16].

2.3 System RTLS

System lokalizowania w czasie rzeczywistym (real-time location system) to rozwiązania technologiczne, które umożliwiają śledzenie ludzi oraz obiektów w budynkach. Wszędzie tam gdzie niemożliwe jest korzystanie z systemu GPS bądź GSM, a potrzebna jest duża precyzja można skorzystać z technologii RTLS. Najpopularniejsze rozwiązanie tego systemu składa się z odbiorników sygnału zamieszczonych wewnątrz budynku (kilka na jedno pomieszczenie), nadajników (zwanymi tagami) zamontowanych na urządzeniach np. wózki widłowe, bądź noszonych przez ludzi. Do całego systemu potrzebne jest oprogramowanie, które przetworzy otrzymane sygnały dając odpowiednie wyniki. Dlatego tak ważne jest zastosowanie odpowiedniej metody obliczeniowej, która da najdokładniejszy wynik.

Taka technologia oprócz śledzenia tego co się dzieje w danym budynku pomaga również poprawić procesy produkcyjne w nim zachodzące. Wszystkie zebrane dane są zapisywane, analizowane i przetwarzane. Dobra analiza danych wskaże słabe punkty w działaniu firmy i poprawi czy przyspieszy produkcję lub inne procesy zachodzące w organizacji.

Do zagwarantowania połączenia pomiędzy tagami a odbiornikami sygnału (czytnikami) wykorzystuje się różne bezprzewodowe technologie. Popularnie wykorzystywane technologie to między innymi WiFi, Bluetooth, podczerwień, GPS, a także pasywne oraz aktywne systemy RFID. Pasywne systemy RFID to takie, w których nie potrzeba dodatkowe źródła zasilania. W aktywnych systemach do zasilania stosuje się baterie, bądź układ zasilania urządzenia, które jest śledzone np. wózek widłowy. Warto nadmienić, że takie baterie są bardzo ekonomiczne a ich pojemność i niskie zużycie energii pozwala zazwyczaj na 2 lata użytkowania [17].

Po umieszczeniu czytników w stałych miejscach danego pomieszczenia należy określić położenie tagów. Najczęściej do komunikacji wykorzystywane są odpowiednie częstotliwości radiowe. Następnie do obliczeń wykorzystuje się metody przedstawione w rozdziale 2.1 czyli szacownie czasu nadejścia sygnału bądź kąta przechwycenia sygnału.

Gdy czytnik zbierze informacje potrzebne do obliczeń czyli informacje o czasie nadejścia sygnału, bądź kątach i pozycjach, można przejść do obliczania pozycji. Do tego celu można użyć wybranej metody obliczeniowej. Zaliczamy do nich metody trilateracji, multilateracji, triangulacji. Wykorzystać też można algebraiczne metody rekonstrukcji obrazów wykorzystywane w tomografii (ILBP, ART). Uzasadnienie wyboru metody obliczeniowej zależy od tego jakimi danymi dysponujemy, oraz od ograniczeń procesora. To jakiej metody użyjemy ma też wpływ na ostateczną wydajność systemu [8].

3 Podstawy zastosowanej metody obliczeniowej

W pracy zastosowano trzy metody obliczeniowe, które może wybrać użytkownik. Są to metody: trilateracji, LBP (linear back projection), ILBP (iterative linear back projection). Zostaną one przybliżone w następnych rozdziałach.

3.1 Metoda trilateracji

Metoda trilateracji jest techniką wykorzystywaną do określenia położenia obiektu na podstawie pomiarów odległości od co najmniej trzech znanych punktów. W skrócie polega na pomiarze odległości od trzech punktów, a następnie na przecięciu okręgów o promieniach równych tym odległościom. Na tej podstawie wyznaczany jest punkt wspólny. Jest to popularna metoda stosowana w geodezji, nawigacji, kartografii oraz w inżynierii do dokładnego określania położenia i kształtu obiektów.

W przypadku systemów do lokalizowania obiektów, trilateracja jest wykorzystywana w różnych dziedzinach, na przykład w nawigacji satelitarnej (np. GPS) czy też w sieciach bezprzewodowych, takich jak Bluetooth, Wi-Fi czy RFID [19]. W przypadku systemów GPS, satelity wysyłają sygnały, a odbiorniki GPS odbierają te sygnały i obliczają swoje położenie na podstawie sygnałów od trzech różnych satelitów za pomocą trilateracji [1].

W sieciach bezprzewodowych trilateracja jest wykorzystywana do określania położenia urządzenia mobilnego, takiego jak telefon komórkowy, w oparciu o sygnały radiowe wysyłane przez wiele stacji bazowych [23]. W tym przypadku każda stacja bazowa wysyła sygnał radiowy do urządzenia mobilnego, a urządzenie mobilne odbiera te sygnały i oblicza swoje położenie na podstawie sygnałów z trzech różnych stacji bazowych.

Warto zauważyć, że dokładność trilateracji zależy od dokładności pomiarów odległości i jakości sygnału. W przypadku systemów bezprzewodowych, sygnał może być zakłócony przez szum i zanikanie sygnału, co wpływa na dokładność pomiarów.

W programie metoda trilateracji realizowana jest za pomocą algorytmu dostępnego na licencji MIT [38].

3.2 Metoda liniowej projekcji wstecznej LBP

Metoda liniowej projekcji wstecznej (ang. Linear Back Projection, LBP) jest popularną metodą rekonstrukcji obrazów z danych projekcyjnych, które mogą być zbierane za pomocą różnych technologii, w tym tomografii komputerowej (TK) i tomografii emisyjnej pojedynczych fotonów (SPECT). Metoda ta polega na odwróceniu procesu projekcji liniowej, który jest realizowany przez operację złożenia macierzy projekcji z wektorem projekcji obrazu. Aby odzyskać obraz, należy wykonać operację pseudoodwrotną macierzy projekcji, która zależy od wektora projekcji. Metoda LBP może być pomocna w systemach lokalizacji położenia obiektów, gdyż pozwala na dokładną rekonstrukcję trójwymiarowych obrazów z danych projekcyjnych [18].

W przypadku systemów lokalizacji położenia obiektów, metoda LBP może być stosowana do rekonstrukcji trójwymiarowego obrazu z danych uzyskanych z wielu kamer lub innych czujników. Po odzyskaniu trójwymiarowego obrazu, można dokładnie określić położenie obiektów w przestrzeni, co jest szczególnie przydatne w zastosowaniach takich jak monitorowanie ruchu pieszych, automatyczne prowadzenie pojazdów i lokalizacja przeszkód.

Metoda LBP może być również wykorzystana do rekonstrukcji obrazów z danych uzyskanych z tomografii optycznej koherentnej (OCT), co umożliwia dokładną lokalizację struktur anatomicznych w oku i innych częściach ciała. W przypadku OCT, metoda LBP umożliwia rekonstrukcję obrazów o dużej rozdzielczości, co pozwala na dokładne określenie lokalizacji chorób oczu i innych zaburzeń [20].

W programie metoda LBP realizowana jest poprzez własny algorytm napisany w języku c++.

3.3 Metoda iteracyjnej liniowej projekcji zwrotnej ILBP

Metoda iteracyjnej liniowej projekcji zwrotnej (ang. Iterative Linear Back Projection, ILBP) jest ulepszoną wersją metody LBP, która umożliwia dokładniejszą rekonstrukcję obrazów z danych projekcyjnych poprzez wielokrotne iteracyjne obliczanie pseudoodwrotności macierzy projekcji. Podobnie jak w przypadku LBP, metoda ILBP polega na odwróceniu procesu projekcji liniowej, jednak w przypadku ILBP odwracanie to jest przeprowadzane w sposób iteracyjny, a nie jednorazowy. Dzięki temu można uzyskać dokładniejsze i bardziej szczegółowe rekonstrukcje obrazów [21].

Metoda ILBP może być szczególnie przydatna w systemach lokalizacji położenia obiektów, gdyż pozwala na dokładniejszą rekonstrukcję trójwymiarowych obrazów z danych projekcyjnych. Dzięki temu można uzyskać bardziej dokładne informacje o położeniu i kształcie obiektów w przestrzeni, co może być przydatne w wielu zastosowaniach, takich jak monitorowanie ruchu pieszych, automatyczne prowadzenie pojazdów i lokalizacja przeszkód.

W porównaniu z metodą LBP, metoda ILBP jest bardziej skomplikowana obliczeniowo, ponieważ wymaga wielokrotnych iteracji w celu uzyskania dokładniejszych rekonstrukcji obrazów. Jednak dzięki temu, że metoda ta pozwala na dokładniejszą rekonstrukcję obrazów, może być stosowana w przypadkach, gdy dokładność jest kluczowa, np. w diagnostyce medycznej [22].

W programie metoda ILBP realizowana jest poprzez własny algorytm napisany w języku c++.

4 Technologie wykorzystane w programie

Program został napisany przy pomocy frameworka node.js, który oparty jest na języku JavaScript. Umożliwia on tworzenie aplikacji webowych po stronie serwera [24]. Jest on oparty na silniku JavaScript V8 stworzonym przez firmę Google, który zapewnia wysoką wydajność działania kodu [25].

W przeciwieństwie do tradycyjnych języków programowania po stronie serwera, takich jak Java czy PHP, Node.js działa asynchronicznie, co oznacza, że operacje wejścia/wyjścia są obsługiwane w tle, a programista nie musi czekać na ich zakończenie, aby

kontynuować działanie aplikacji. Dzięki temu Node.js jest szczególnie przydatne do obsługi dużych ilości danych w czasie rzeczywistym [26].

Node.js jest również łatwe w obsłudze, ponieważ korzysta z tego samego języka programowania, co aplikacje po stronie klienta, co ułatwia tworzenie oprogramowania na obu tych poziomach. Ponadto Node.js posiada bogatą bibliotekę modułów, która umożliwia programistom wykorzystanie gotowych rozwiązań przy tworzeniu aplikacji.

Node.js jest wykorzystywane przez wiele firm i organizacji, w tym m.in. PayPal, LinkedIn, Netflix, czy Walmart [27].

Do tego przy tworzeniu frontendu wykorzystanych zostało kilka różnych technologii internetowych takich jak języki: HTML, CSS, Javascript oraz framework Bootstrap.

HTML (Hypertext Markup Language) to język, który służy do tworzenia struktury i zawartości witryn internetowych [28]. HTML definiuje różne elementy, takie jak nagłówki, paragrafy, linki i obrazy, a następnie łączy je w całość, tworząc stronę internetową.

CSS (Cascading Style Sheets) to język służący do definiowania stylów i formatowania dokumentów HTML [29]. CSS umożliwia kontrolowanie wyglądu i układu elementów strony internetowej, w tym takich elementów jak kolor, czcionka, marginesy i wyrównanie.

JavaScript to język programowania skryptowego, który umożliwia tworzenie dynamicznych i interaktywnych aplikacji internetowych [30]. JavaScript jest szeroko wykorzystywany do interakcji z użytkownikiem, walidacji formularzy, animacji i zmiany zawartości strony bez konieczności przeładowywania jej.

Bootstrap to popularny framework CSS, który umożliwia tworzenie responsywnych i atrakcyjnych wizualnie stron internetowych [31]. Framework ten dostarcza gotowe elementy interfejsu użytkownika, takie jak nawigacja, formularze, przyciski i style, które można łatwo dostosować do własnych potrzeb.

W programie została wykorzystana baza danych MongoDB, która jest nierelacyjną bazą danych typu dokumentowego [32]. MongoDB przechowuje dane w postaci dokumentów BSON (Binary JSON), co oznacza, że dane są zapisywane w postaci plików JSON, ale są binarnie kodowane w celu osiągnięcia lepszej wydajności [33].

MongoDB oferuje wiele funkcjonalności, takich jak wsparcie dla indeksowania, replikacji i shardingu, co umożliwia przechowywanie dużych ilości danych w sposób skalowalny i wydajny [34]. W programie została wykorzystana w celu przechowywania kont użytkowników oraz projektów przypisanych do konkretnego użytkownika.

MongoDB umożliwia również łatwe dodawanie nowych pól do dokumentów, co sprawia, że jest to elastyczna i skalowalna baza danych, która może być dostosowana do różnych potrzeb biznesowych [35].

Wykorzystanie MongoDB w połączeniu z językiem JavaScript umożliwia programistom łatwe tworzenie aplikacji internetowych, które wykorzystują bazy danych typu NoSQL.

4.1 Urządzenia zewnętrzne

Na potrzeby testowania oprogramowania użyty został system BLEO. BLEO to innowacyjny system opracowany przez polską firmę o tej samej nazwie, który umożliwia lokalizację obiektów w pomieszczeniach, w których systemy oparte o GPS byłyby bezużyteczne. BLEO wykorzystuje technologię bluetooth do połączenia transmitera ze skanerem.



Rys. 4.1 Skaner BLEO

Na rysunku 4.1 przedstawiony został skaner BLEO, który jest jednym z elementów zestawu. Służy on do wykrywania transmiterów znajdujących się w jego pobliżu. Po odczytaniu ramek z danymi rozgłaszanymi przez transmitery, skaner przekazuje dane do oprogramowania, w którym są one odpowiednio przetwarzane dając użytkownikowi czytelne wyniki. Skaner łączy się z komputerem poprzez połączenie sieciowe LAN lub Wi-Fi. W oprogramowaniu tworzonym w pracy, należy podać adres IP skanera w celu zebrania z niego danych pomiarowych.



Rys. 4.2 Transmitter BLEO

Na rysunku 4.2 został przedstawiony transponder BLEO, który jest miniaturowym nadajnikiem. Wykorzystuje on technologie bluetooth i posiada zasilanie bateryjne. Ramka z danymi rozgłaszana jest cyklicznie. Według danych producenta częstotliwość rozgłaszania można ustawić w przedziale 0,3-10s [37].

4.1.1 Charakterystyki skanera

W celu dokładnej analizy wyników pomiarów została stworzona charakterystyka skanera. Wyznaczono ją poprzez pomiar zmiany mocy odbieranej w stosunku do zmiany odległości w jakiej transponder znajduje się od skanera. Odległość była zmieniana co 1 metr. Dla każdej odległości dokonano trzech pomiarów i wyznaczono ich średnią. Wyniki badania zamieszczone zostały w tabeli 4.1

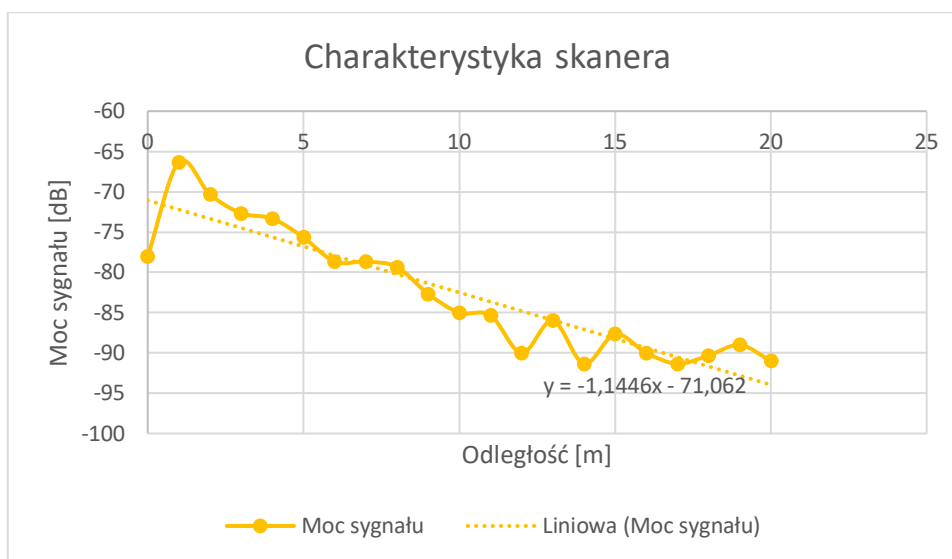
Tab 4.1 Wyniki pomiarów charakterystyki skanera

Odległość [m]	Moc sygnału [dB]			
	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Średnia
0	-76	-79	-79	-78
1	-66	-66	-67	-66,3333
2	-74	-69	-68	-70,3333
3	-74	-72	-72	-72,6667
4	-70	-72	-78	-73,3333
5	-75	-77	-75	-75,6667
6	-81	-78	-77	-78,6667
7	-77	-80	-79	-78,6667
8	-81	-78	-79	-79,3333
9	-82	-77	-89	-82,6667
10	-90	-83	-82	-85
11	-91	-82	-83	-85,3333
12	-92	-88	-90	-90
13	-88	-86	-84	-86
14	-87	-95	-92	-91,3333
15	-85	-88	-90	-87,6667
16	-90	-90	-90	-90
17	-89	-95	-90	-91,3333
18	-94	-91	-86	-90,3333
19	-91	-88	-88	-89
20	-92	-91	-90	-91

Na podstawie wyników badań stworzono charakterystykę odbiornika (rys. 4.3). Na charakterystyce została zamieszczona linia trendu, na podstawie której wyznaczono współczynniki a i b funkcji liniowej. Obliczone wartości współczynników funkcji liniowej z tej charakterystyki zostały wykorzystane do badania przy pomiarze offline z rozdziału 5.2.1.

Dzięki poznaniu charakterystyki odbiornika możemy określić jak zmienia się moc sygnału w zależności od odległości w jakiej znajduje się transponder od skanera. Oprogramowanie tworzone w pracy zaprojektowane jest w ten sposób, że wśród danych czujnika które trzeba

podać należy również uwzględnić obliczone wcześniej współczynniki a i b wartości średniej mocy sygnału. Do tego należy podać maksymalny zasięg czujnika. Mając te dane program może dokładnie określić odległość położenia obiektu (transmitera), dla różnych skanerów.



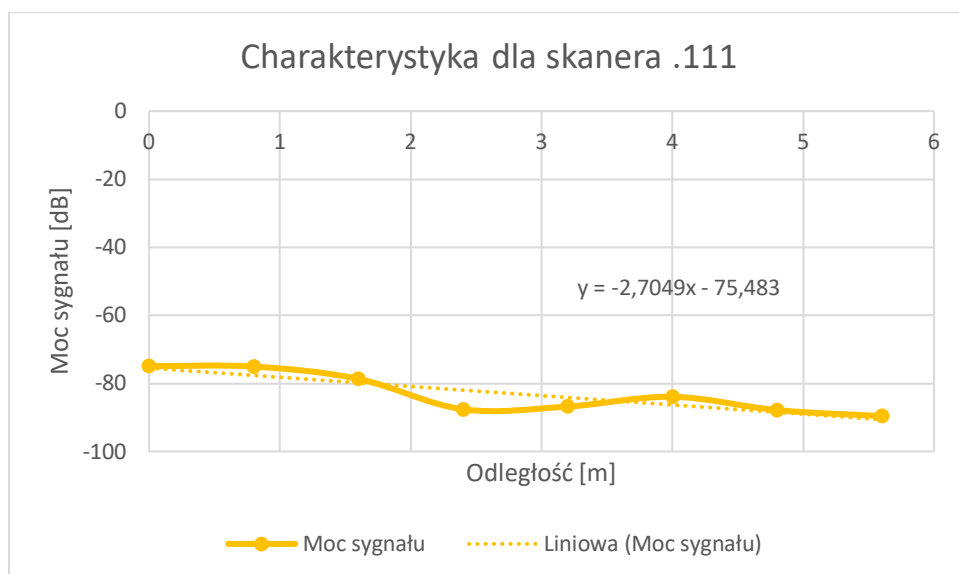
Rys. 4.3 Charakterystyka skanera BLEO

Do pomiarów online (rozdział 5.2.2) zostały utworzone charakterystyki dla każdego skanera biorącego udział w badaniu. Dla każdego skanera został przypisany indywidualny adres IP. Adresy różnią się liczbą w oktecie czwartym. W celu dokładnego pomiaru, charakterystyki zostały utworzone w pomieszczeniu, w którym odbywało się badanie.

Na rysunkach 4.4 – 4.7 zostały przedstawione charakterystyki, wraz z linią trendu oraz równaniem ją określającym. Pomiary zostały wykonane z użyciem programu realizowanego w pracy. Jeden pomiar trwał 50 sekund, w tym czasie program co 3,5 sekundy łączył się z czujnikiem zbierając moc odbieraną. Na podstawie otrzymanych pomiarów została wyliczona ich mediana. Po wykonaniu trzech pomiarów dokonano obliczenia średniej mocy odbieranej przez skaner od transmitera. Wyniki obliczeń dla poszczególnych skanerów zostały przedstawione w tabelach 4.2 – 4.5.

Tab 4.2 Wyniki pomiarów charakterystyki skanera .111

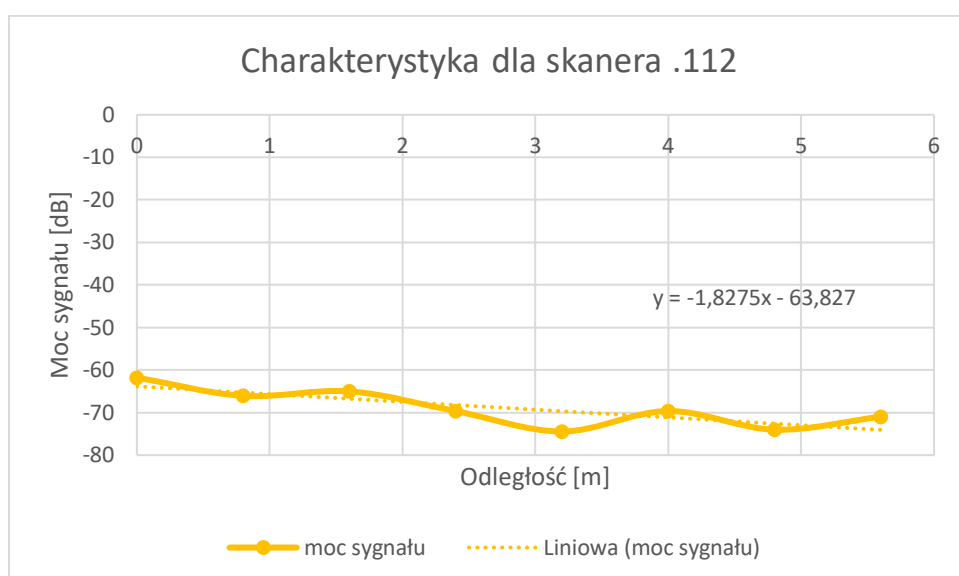
Odległość [m]	Moc sygnału [dB]			
	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Średnia
0	-74,54	-74,6	-75,625	-74,9217
0,8	-74,72	-75,09	-75,33	-75,0467
1,6	-78,44	-78,88	-78,71	-78,6767
2,4	-87,625	-87,66	-87,57	-87,6183
3,2	-86,71	-86,9	-86,81	-86,8067
4	-83,6	-83,88	-84,3	-83,9267
4,8	-87,18	-87,91	-88,45	-87,8467
5,6	-91	-90,125	-87,71	-89,6117



Rys. 4.4 Charakterystyka dla skanera .111

Tab 4.3 Wyniki pomiarów charakterystyki skanera .112

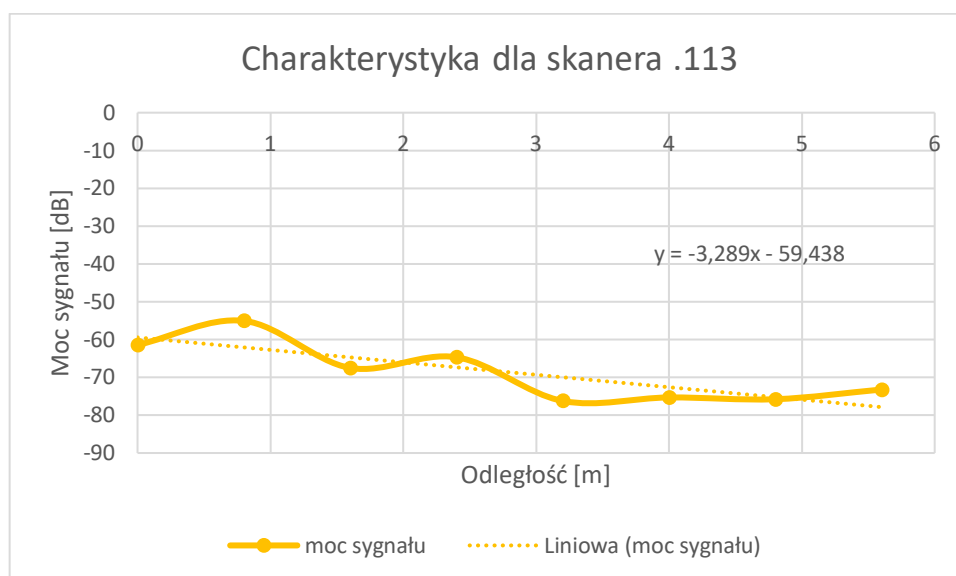
Odległość [m]	Moc sygnału [dB]			
	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Średnia
0	-61,46	-61,54	-62,3	-61,7667
0,8	-66	-66,21	-66	-66,07
1,6	-64,57	-65,09	-65,36	-65,0067
2,4	-69,84	-69,45	-69,66	-69,65
3,2	-74,2	-74,5	-74,625	-74,4417
4	-69,11	-70	-69,8	-69,6367
4,8	-74	-74,16	-73,9	-74,02
5,6	-70,75	-71,14	-71	-70,9633



Rys. 4.5 Charakterystyka dla skanera .112

Tab 4.4 Wyniki pomiarów charakterystyki skanera .113

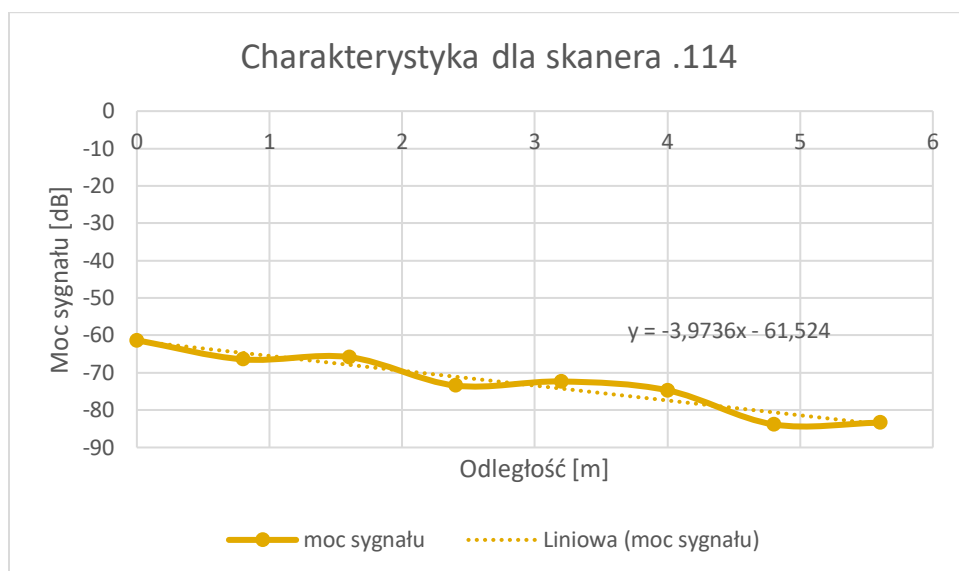
Odległość [m]	Moc sygnału [dB]			
	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Średnia
0	-61,35	-61,46	-61,5	-61,4367
0,8	-55,42	-54,66	-55,07	-55,05
1,6	-67,5	-67,33	-67,66	-67,4967
2,4	-64,75	-64,76	-64,5	-64,67
3,2	-76,625	-76,16	-75,92	-76,235
4	-75,6	-74,61	-75,71	-75,3067
4,8	-76,375	-73,2	-77,75	-75,775
5,6	-72,55	-73,7	-73,375	-73,2083



Rys. 4.6 Charakterystyka dla skanera .113

Tab 4.5 Wyniki pomiarów charakterystyki skanera .114

Odległość [m]	Moc sygnału [dB]			
	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Średnia
0	-61,23	-61,15	-61,53	-61,3033
0,8	-66,4	-66,25	-66,625	-66,425
1,6	-65,84	-65,69	-65,91	-65,8133
2,4	-73,625	-73,5	-73,16	-73,4283
3,2	-72,125	-72,375	-72,5	-72,3333
4	-74,28	-75,42	-74,4	-74,7
4,8	-86	-83	-82,5	-83,8333
5,6	-84,36	-81,9	-83,83	-83,3633



Rys. 4.7 Charakterystyka dla skanera .114

5 Program

Oprogramowanie działa jako aplikacja internetowa. To znaczy, że środowiskiem uruchomieniowym jest przeglądarka internetowa komputera. Po wpisaniu odpowiedniego adresu url witryny, można połączyć się z aplikacją. Przy pierwszym logowaniu ukaże się okno rejestracji (rys. 5.1), w którym po wpisaniu odpowiednich danych można utworzyć konto użytkownika.

Rejestracja

Imię

Nazwisko

Email

Hasło

Rejestruj

Logowanie

Rys. 5.1 Ekran startowy - rejestracja

Gdy użytkownik ma już swoje konto, można kliknąć w przycisk logowanie i wpisać e-mail i hasło podane przy rejestracji. Do autoryzacji i uwierzytelniania użytkowników użyto tokena JWT (JSON Web Token). JWT jest często używany w aplikacjach internetowych do autoryzacji użytkowników. Kiedy użytkownik loguje się do aplikacji, serwer generuje token JWT i przesyła go do klienta. Klient następnie przechowuje token i przesyła go do serwera wraz z każdym zapytaniem HTTP. Serwer weryfikuje token, aby potwierdzić, że użytkownik jest autoryzowany do wykonania żądanej operacji [36].

Po zalogowaniu się przychodzimy na stronę domową (rys. 5.2). Tutaj możemy stworzyć nowy projekt, bądź przejść do istniejących.

Search API Opcje Moje modele Wyloguj

Witaj Mirek! Stwórz swój projekt!

Długość najszerszego boku [m]

Szerokość rastra [m]

Rysuj

Co chcesz narysować?

Czujniki Ściany

Numer czujnika Adres IP

Wysokość czujnika nad ziemią [m] Zasięg czujnika [m]

a b

Moc sygnału

nazwa modelu

zapisz

Zapisz do txt

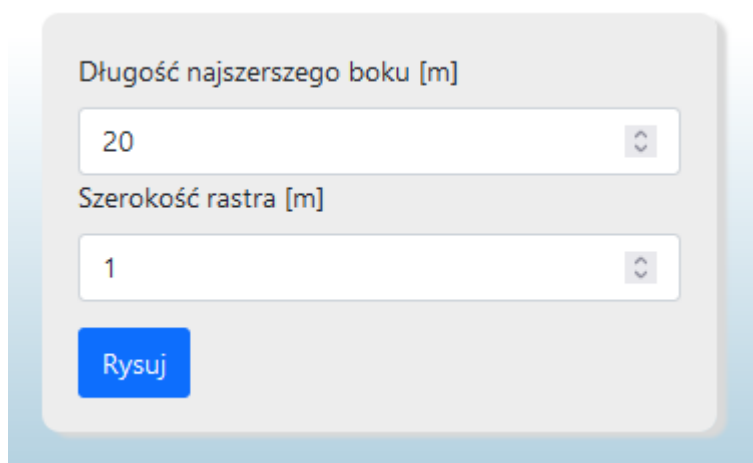
Przełóżaj... Nie wybrano pliku.

Created By Tomasz Szczepaniak

Rys. 5.2 Ekran użytkownika – tworzenie projektu

5.1 Tworzenie projektu

Tworzenie projektu zaczynamy od podania wymiarów pomieszczenia w którym będą znajdować się skanery oraz transmitery. Należy podać wymiar najszerszego boku pomieszczenia w metrach. Drugim parametrem jest szerokość rastra. Jest to wymiar odpowiadający za dokładność pomiaru. Na rysunku 5.3 zostało przedstawione okienko programu, w którym należy wpisać dane.



The image shows a software dialog box with a light gray background and rounded corners. It contains two input fields with white backgrounds and gray borders. The first field is labeled 'Długość najszerszego boku [m]' and contains the number '20'. The second field is labeled 'Szerokość rastra [m]' and contains the number '1'. Both fields have a small gray square with a double-headed arrow icon on the right side. Below the second field is a blue button with the white text 'Rysuj'.

Rys. 5.2 Wpisywanie podstawowych danych projektu

Po kliknięciu przycisku „rysuj” zostaje utworzone pole, na które należy zaznaczyć miejsce położenia skanerów. W programie można też oznaczyć ściany w celu lepszej wizualizacji. Skanery oznaczane są na mapie w kolorze zielonym, a ściany w kolorze czerwonym. Mapa posiada skalę w celu ułatwienia rozmieszczenia oprzyrządowania na niej. Mapa oraz pola służące do wpisywania danych dotyczących skanera znajdują się na rysunku 5.3.

Search API Opcje Moje modele Wyloguj

Witaj Mirek! Stwórz swój projekt!

Długość najszerszego boku [m]
20

Szerokość rastra [m]
1

Rysuj

Co chcesz narysować?

Czujniki Ściany

Numer czujnika: 1

Adres IP: 168.0.111:8000

Wysokość czujnika nad ziemią [m]:

Zasięg czujnika [m]: 20

a: -1.1446

b: -71.62

Moc sygnału:

Model: Model1

zapisz

Zapisz do txt

Przeglądaj... Nie wybrano pliku.

Rys. 5.3 Rozłożenie położenia skanerów i wpisywanie danych

Jak widać na rysunku 5.3 dla każdego czujnika należy wpisać odpowiednie dane, które umożliwią wykonanie stosownych pomiarów. Kolejno od lewej:

- „Numer czujnika” – w tym polu należy wpisać liczbę, którą chcemy aby był określany konkretny skaner
- „Adres IP” – tutaj wpisujemy adres IP skanera w formacie url
- „Wysokość czujnika nad ziemią” – wpisujemy ile metrów nad ziemią znajduje się czujnik. To pole może być pozostawione puste. Nie będzie miało to wpływu na obliczenia, gdyż program sam wykryje co jest podane i dobierze odpowiednią metodę obliczeniową.
- „Zasięg czujnika” – należy podać w metrach do jakiej odległości skaner potrafi wychwycić sygnał z transmitera.
- „a” – współczynnik a funkcji liniowej, która jest średnią stosunku mocy do odległości transmitera od czujnika. Zostało to omówione w rozdziale 4.1.1
- „b” – współczynnik b funkcji liniowej, która jest średnią stosunku mocy do odległości transmitera od czujnika. Zostało to omówione w rozdziale 4.1.1

- „moc sygnału” – w przypadku pomiarów offline – czyli takich w których nie podpinamy rzeczywistych skanerów do sieci – należy podać założoną moc, którą odbierze skaner, w celu wykonania obliczeń

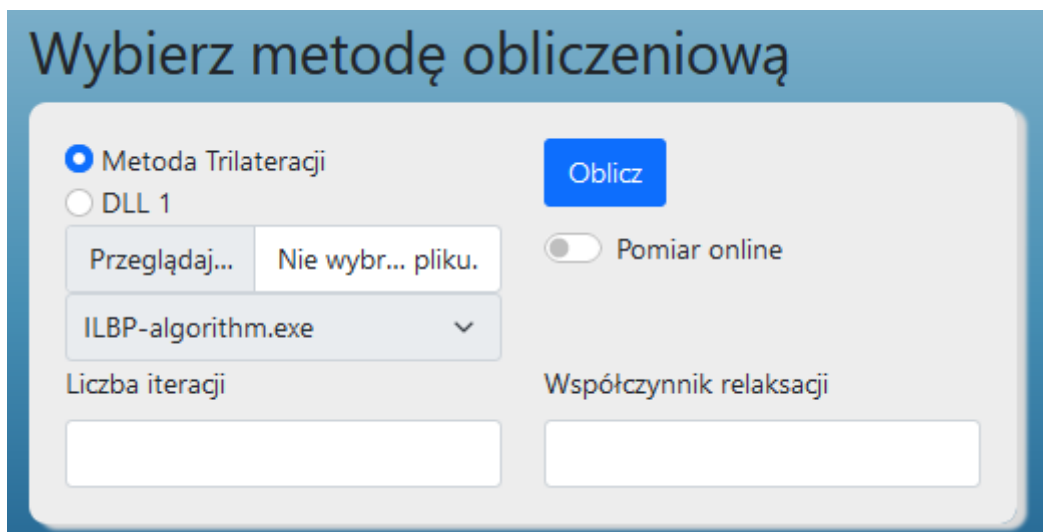
Natomiast ostatnie okienko służy do wpisania nazwy modelu. Nazwa ta będzie później widoczna w zakładce „moje modele” w menu górnym.

Gdy całość będzie wypełniona należy kliknąć przycisk „zapisz”. Spowoduje to zapisanie modelu w bazie danych i przypisanie jej dla konkretnego użytkownika. Można również alternatywnie wyeksportować model do pliku txt lub wczytać go z niego.

5.2 Pomiary – strona edycji

Po stworzeniu modelu i kliknięciu w jego nazwę w zakładce „moje modele” w menu górnym zostaniemy skierowani na stronę edycji. Można tutaj edytować nasz model, zmieniać położenie ścian, czujników, wpisywać nowe wartości w czujnikach. Po kliknięciu w wybrany element zostanie on usunięty. Następnie można dodać go jeszcze raz ze zmienionymi wartościami, zgodnie z opisem z rozdziału 5.1.

Najistotniejszą częścią tej strony jest możliwość dokonywania obliczeń, czyli wyznaczenia położenia wybranego obiektu na wcześniej stworzonej mapie. Pod mapą zostało dodane okienko z możliwością wyboru metody obliczeniowej (rys 5.4).



Rys. 5.4 Wybór metody obliczeniowej

Można dokonać wyboru spośród trzech dostępnych metod obliczeniowych, które zostały opisane w rozdziale trzecim. Dzięki suwakowi „Pomiar online” istnieje możliwość przełączenia się pomiędzy dwoma rodzajami pomiarów. Pomiar online – czyli pomiar z podłączonymi skanerami do systemu (muszą być podane adresy ip skanerów). Pomiar offline – przy deklaracji skanerów należy podać szacunkową moc sygnału odbieraną od transmitera. Dodatkowo istnieje możliwość implementacji własnych algorytmów. Po kliknięciu w przycisk „Przeglądaj” wyskoczy okno wyboru plików z własnego komputera. Należy załadować plik w formacie .exe. Plik zapisuje się na serwerze.

Nowo powstałe algorytmy muszą być zaprogramowane tak, aby poprzez komendę z wiersza poleceń pobierały nazwy plików .txt. Pierwszy plik to macierz czułości, a drugi to wartości mocy odbieranej przez skaner.

Dla metody iteracyjnej istnieje możliwość wpisania liczby iteracji oraz współczynnika relaksacji, które odpowiadają za dokładność obliczeń.

Przy wyborze metody obliczeniowej, którą jest jeden z algorytmów rekonstrukcji obrazu program w pierwszej kolejności wylicza macierz czułości. Macierz czułości jest tworzona jako dwuwymiarowa tablica o wymiarach odpowiadających rozmiarom obrazu wejściowego, gdzie każdy element macierzy zawiera informacje o czułości w danym punkcie obrazu. W celu otrzymania poprawnych wartości czułości, macierz czułości jest normalizowana. Obejmuje to przeskalowanie wartości czułości w zakresie od 0 do 1. Moc odbierana przez skaner także jest normalizowana. Przyjmuje wartości od 0 do 1, a normalizacja tej mocy jest przeprowadzona w oparciu o zasięg czujnika. Wyliczona w ten sposób macierz czułości oraz moc odbierana przez skanery są zapisywane jako pliki tekstowe. Następnie pliki te są wykorzystywane do dalszych obliczeń dla wybranego algorytmu rekonstrukcji.

5.2.1 Pomiary offline

Tak jak wspomniane było w rozdziale 5.1 i 5.2 po ówczesnym zadeklarowaniu mocy, którą czujnik odbiera, można wykonać pomiar offline. Na rysunku 5.5 został przedstawiony pomiar dla metody trilateracji. Wcześniej wprowadzone moce sygnału odbieranego na skanerze zostały tak dobrane, aby szukany wirtualny obiekt znajdował się w punkcie o współrzędnych 10:10. Wynik pomiaru charakteryzuje się niewielkim błędem.

W trakcie pomiarów z wyborem metody trilateracji, szukany obiekt jest oznaczony na mapie kolorem żółtym.

Dla każdego wyniku pomiaru, po prawej stronie ekranu (rys. 5.5) zostaje wyświetlona tabela, z której można odczytać wartość mocy odbieranej przez każdy skaner. W przypadku pomiarów offline, jest to moc którą wpisujemy w okienku „moc sygnału” podczas deklaracji skanera przed obliczeniami.

Search API Opje Moje modele Wyloguj

STRONA EDYCJI

Długość najszerszego boku [m]

Szerokość rastra [m]

Rysuj

Co chcesz narysować?

Czujniki Ściany

Numer czujnika
 Adres IP

Wysokość czujnika nad ziemią [m]
 Zasięg czujnika [m]

a b

Moc sygnału

08/02/

Wybierz metodę obliczeniową

Metoda Trilateracji DLL 1

Przeglądaj... Nie wyb... pliku Pomiar online

ILBP-algorithm.exe

Liczba iteracji Współczynnik relaksacji

# Czujnik nr.:	1
Urządzenie	Moc
1	1 -87.2419

# Czujnik nr.:	2
Urządzenie	Moc
2	2 -87.2419

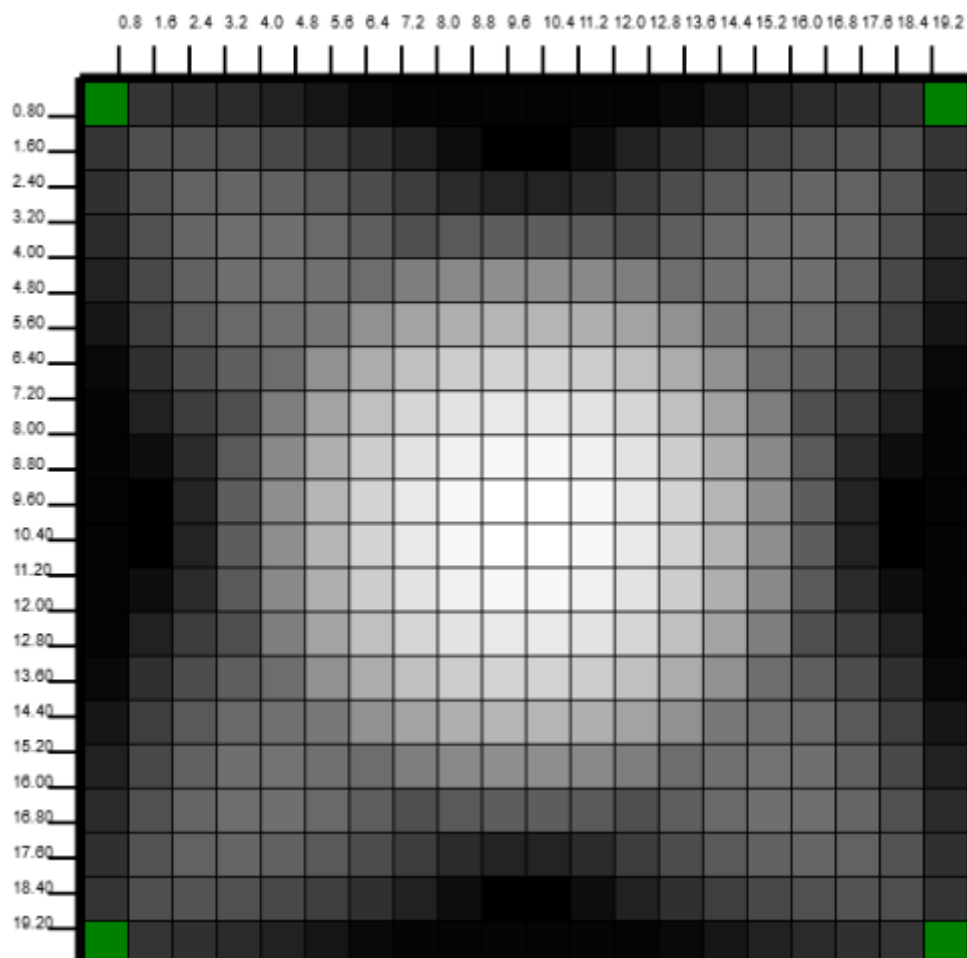
# Czujnik nr.:	3
Urządzenie	Moc
3	3 -87.2419

# Czujnik nr.:	4
Urządzenie	Moc
4	4 -87.2419

Created By Tomasz Szczepaniak

Rys 5.5 Pomiar offline – metoda trilateracji

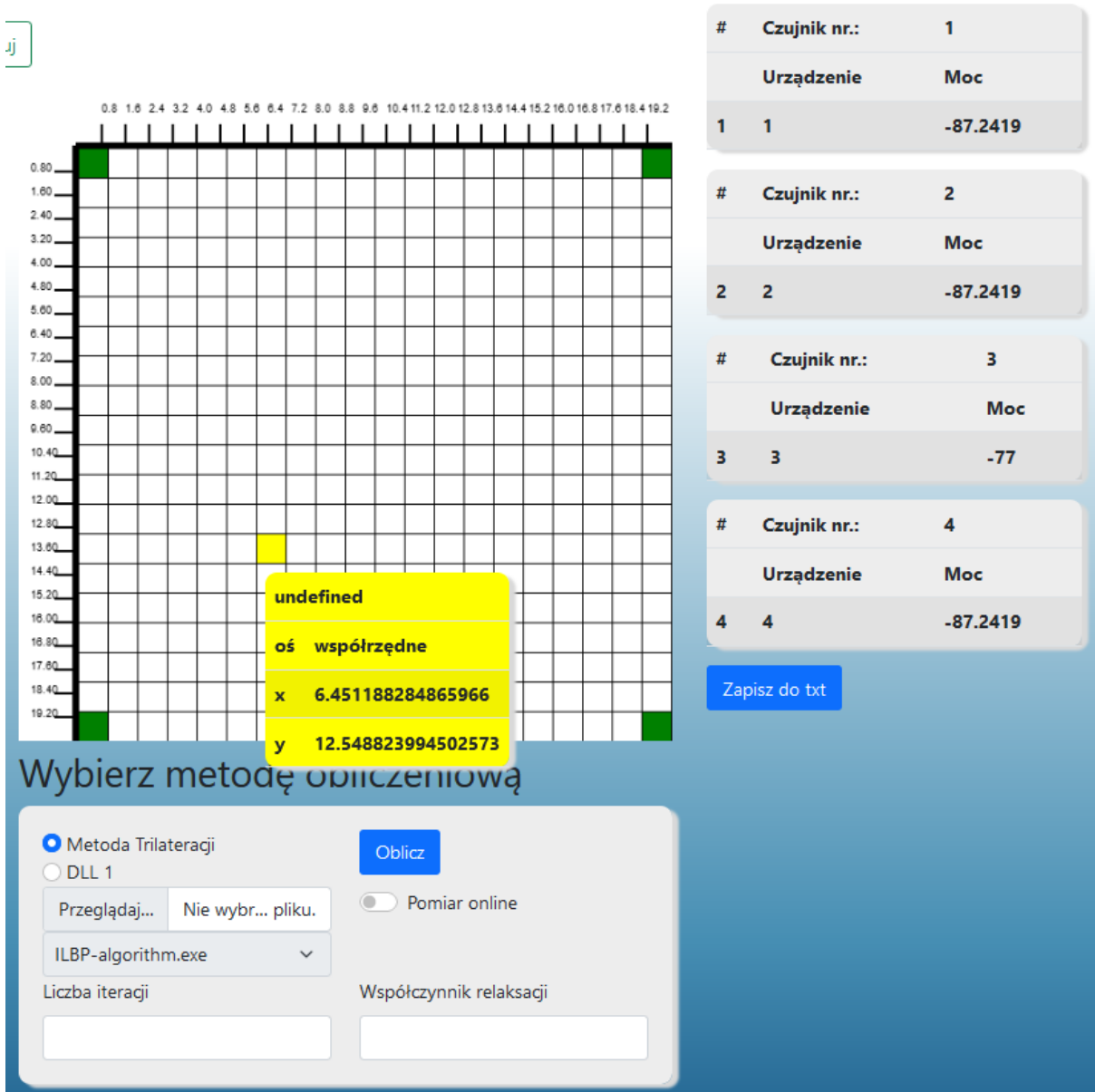
W przypadku pomiarów dla metod wykorzystujących macierz czułości, czyli LBP i ILBP generowana jest mapa w odcieniach szarości (rys 5.6). Przyjęto, że umieszczenie koloru białego na mapie odpowiada położeniu obiektu. Więc im kolor jest bielszy, tym większe prawdopodobieństwo, że szukany przedmiot znajduje się w tym miejscu. Dla pomiarów LBP z rys 5.6 przyjęto takie same moce odbierane przez skaner jak dla pomiarów metodą trilateracji z rysunku 5.5.



Rys. 5.6 Pomiar offline – metoda LBP

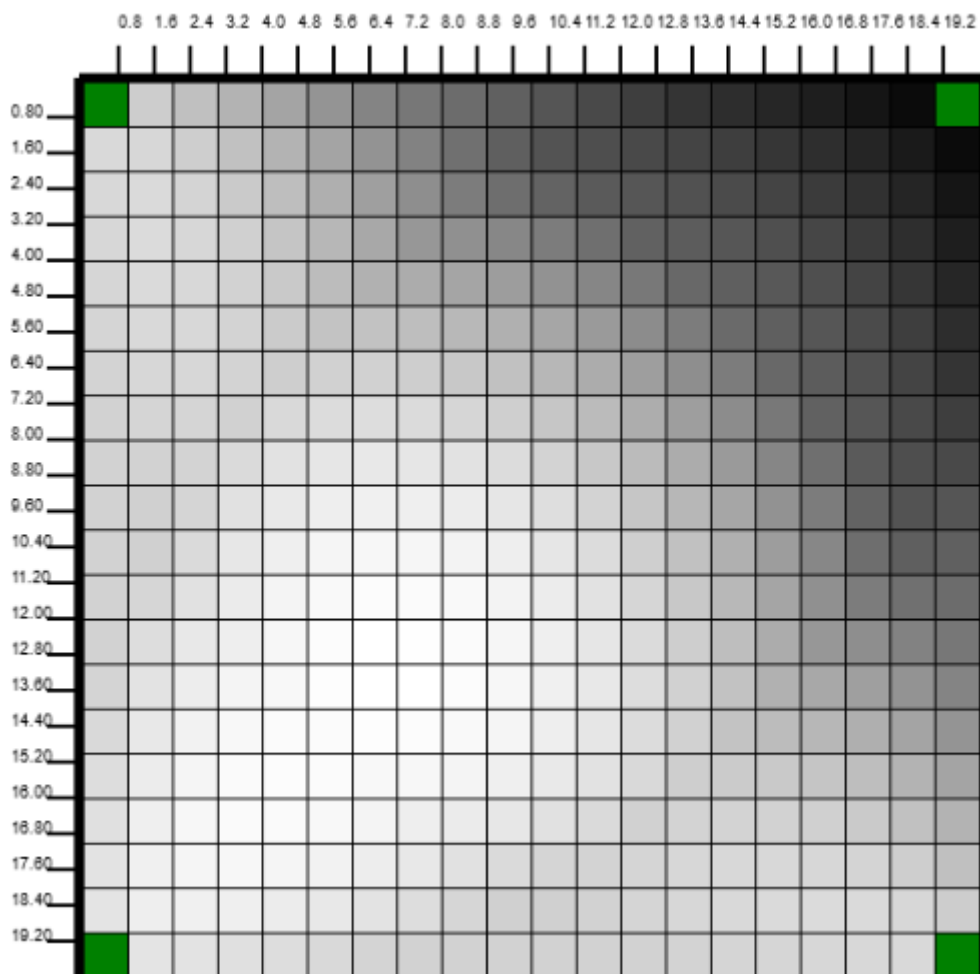
Podczas pomiarów metodą ILBP istnieje możliwość wpisania liczby iteracji oraz współczynnika relaksacji, które są niezbędne dla poprawnego uruchomienia algorytmu. Liczby te można zmieniać i sprawdzać, który wynik obliczeń będzie najlepszy. Domyślnie jeśli użytkownik nie poda tych liczb, to program przyjmuje, że liczba iteracji to 50, a współczynnik relaksacji wynosi 0,1. Wynik pomiarów dla metody ILBP przy tych samych wartościach mocy jest taki sam jak dla metody LBP. Ma to związek z tym, że moc sygnału jest znana, a przez co idealna i nie narażona na zakłócenia.

Na rysunku 5.7 został przedstawiony wynik obliczeń dla metody trilateracji, gdy sygnał docierający do skanera numer 3 został zmodyfikowany. Zmniejszono moc sygnału, symulując zakłócenia w układzie.



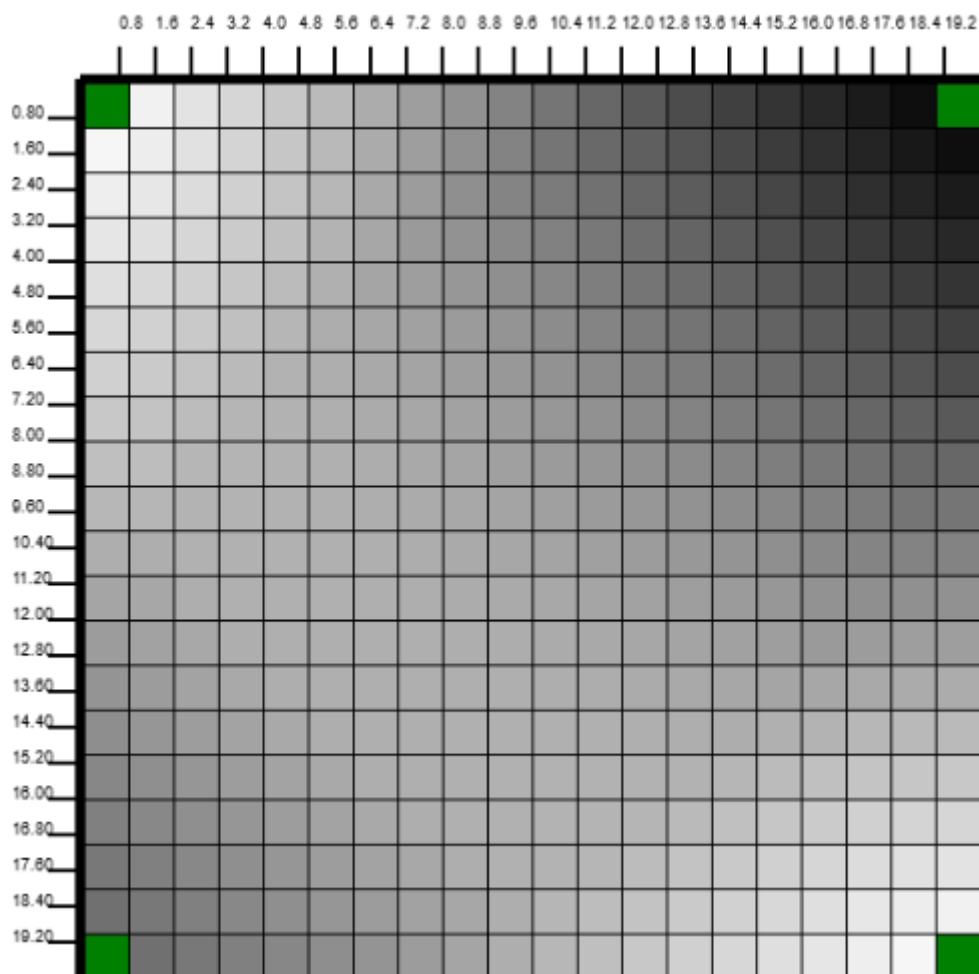
Rys 5.7 Pomiar offline – metoda trilateracji, przy nieidealnym sygnale

Na rysunku 5.8 zostały zamieszczone wyniki obliczeń dla metody LBP. Wartości mocy skanerów są takie same jak dla pomiarów z rysunku 5.7. Nie jesteśmy jednoznacznie wynioskować z tego rysunku, gdzie może znajdować się przedmiot. Algorytm wykluczył prawy górny róg mapy, co jest zgodne z wartościami zadanymi. Wartość mocy odbieranej na skanerze numer 3, który znajduje się w lewym dolnym rogu mapy wynosi -77db. Co odpowiada około 5-6m odległości transmitera od skanera. Tłumaczy to zatem więcej białych części mapy w lewym dolnym rogu.



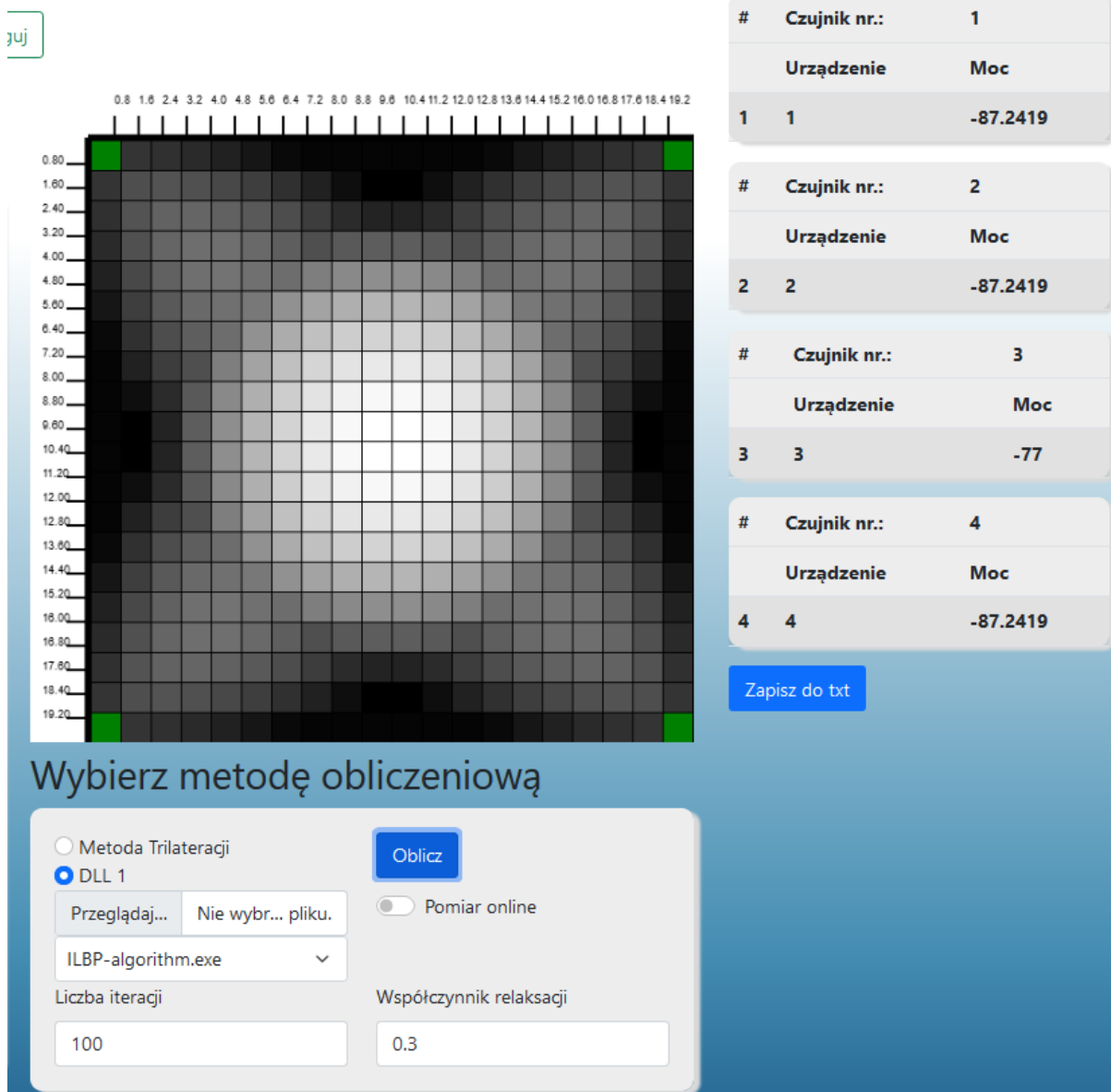
Rys 5.8 Pomiar offline – metoda LBP, przy nieidealnym sygnale

Na rysunku 5.9 został przedstawiony wynik pomiaru dla metody ILBP przy założeniu domyślnych wartości dla liczby iteracji (50) oraz współczynnika relaksacji (0.1). Jak widać wyniki te są bardzo rozmyte i w dalszym ciągu nie pozwalają jednoznacznie stwierdzić, gdzie znajduje się poszukiwany przez nas przedmiot.



Rys 5.9 Pomiar offline – metoda ILBP, przy nieidealnym sygnale oraz liczbie iteracji równej 50 i współczynnikowi relaksacji równemu 0,1

Na rysunku 5.10 został przedstawiony pomiar metodą ILBP przy zmienionych wartości iteracji i współczynnika relaksacji. Liczba iteracji wynosi 100, a współczynnik relaksacji wynosi 0,3. Wyniki które uzyskaliśmy dla tych wartości są zadowalające. Został wyeliminowany błąd, a pomiar jednoznacznie wskazuje, że poszukiwany przedmiot znajduje się w środkowej części pola.

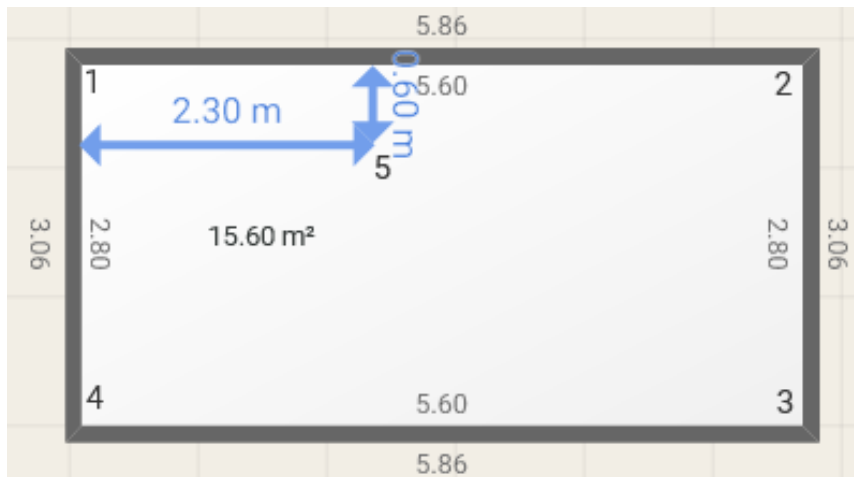


Rys 5.10 Pomiar offline – metoda ILBP, przy nieidealnym sygnale oraz liczbie iteracji równej 100 i współczynnikowi relaksacji równemu 0,3

5.2.2 Pomiary online

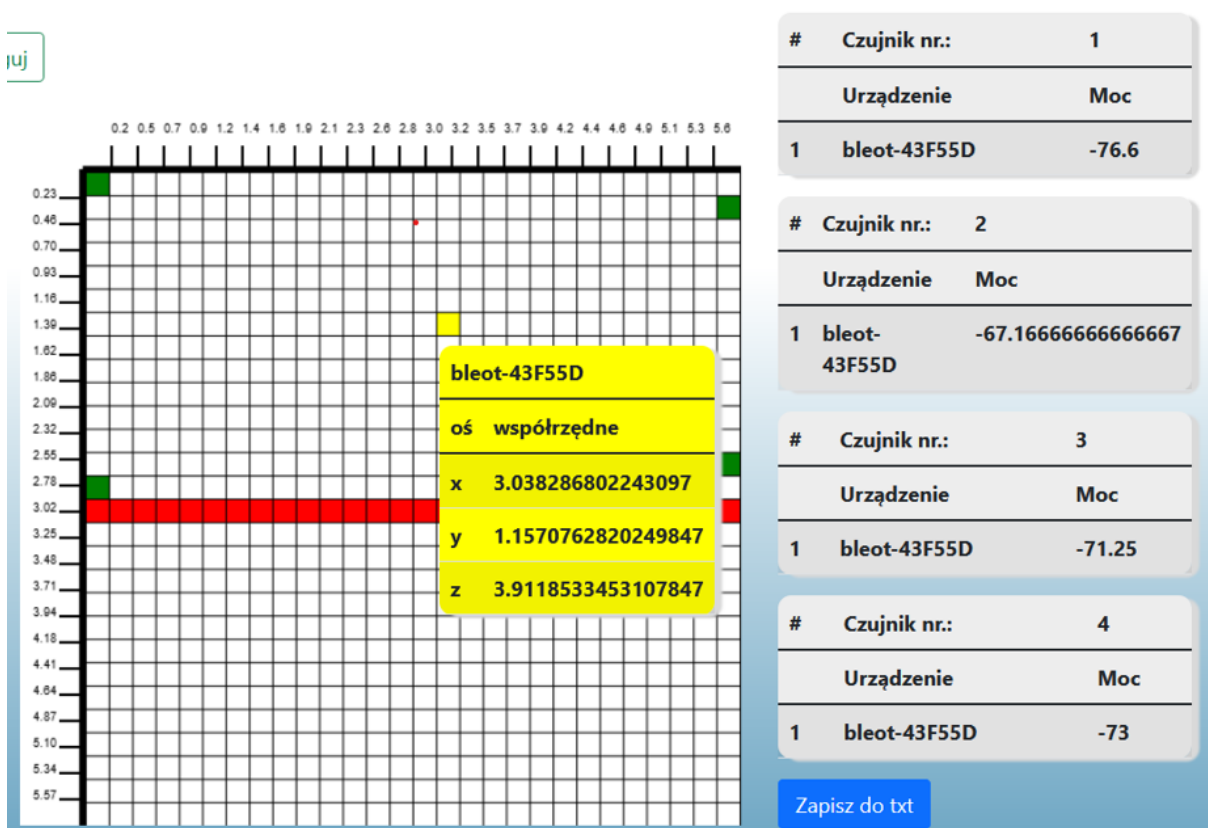
W tym rozdziale zostaną przedstawione wyniki pomiarów dla badania online. Sposób realizacji tego badania od pomiaru offline różni się tym, że należy podać adres IP skanera, z którym program ma się połączyć. Adres IP należy wpisać w odpowiednio zatytułowanym polu w programie (rys. 5.3). Zmiana rodzaju pomiaru odbywa się poprzez kliknięcie suwaka „pomiar online” tak jak na rysunku 5.4. Po kliknięciu przycisku „oblicz” program łączy się z czujnikami i przez 50 sekund co 3,5 sekundy odczytuje dane z skanera. Następnie z uzyskanych wyników obliczana jest mediana mocy odbieranej od transmitera.

Na rysunku 5.11 został przedstawiony rzut pomieszczenia, w którym były wykonywane pomiary. Zostały też na niego naniesione punkty, w których znajdują się czujniki oraz transponder BLEO.



Rys. 5.11 Rzut pomieszczenia, w którym odbywały się pomiary. 1 – skaner .111. 2 – skaner .112. 3 – skaner .113. 4 – skaner .114 5 – transmitter BLEO

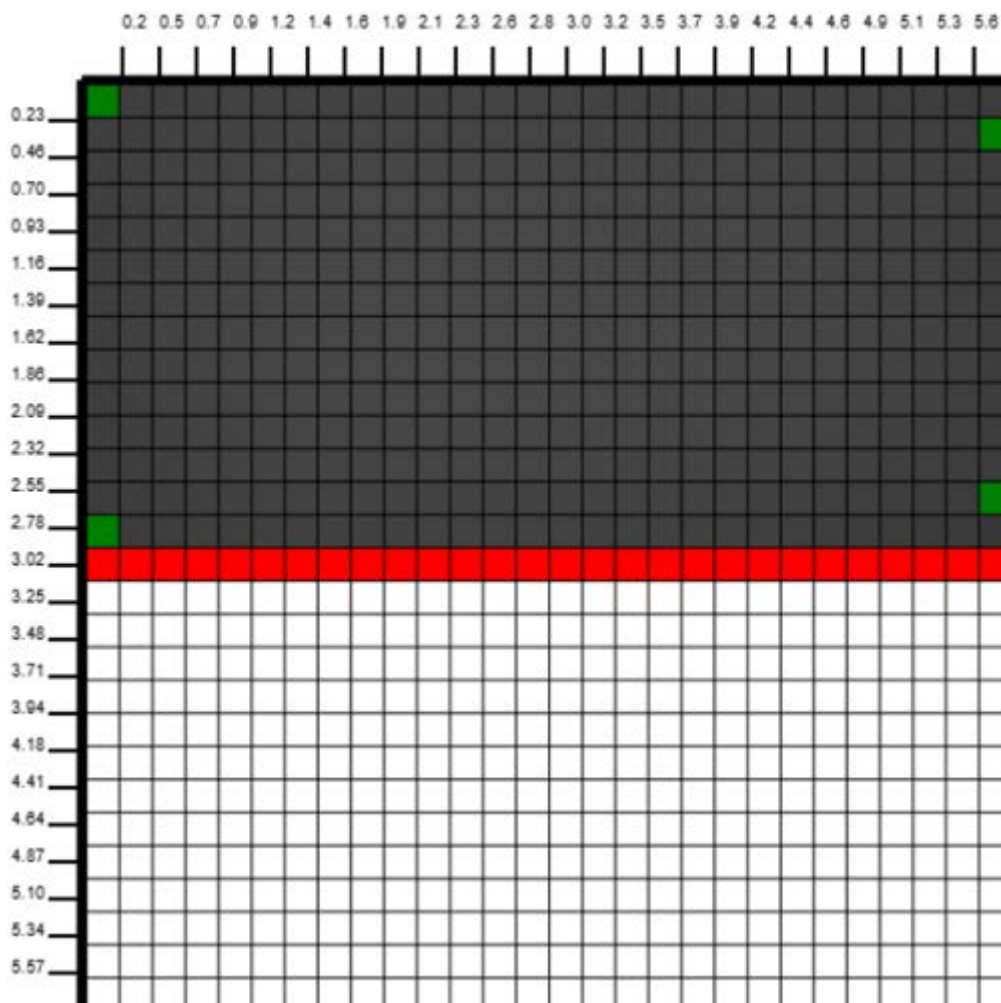
Rysunek 5.12 przedstawia wyniki pomiarów online dla metody trilateracji, wraz z wykazem mocy odbieranych przez skanery.



Rys. 5.12 Wyniki pomiaru online dla metody trilateracji, wraz z tabelą mocy odbieranych przez skanery.

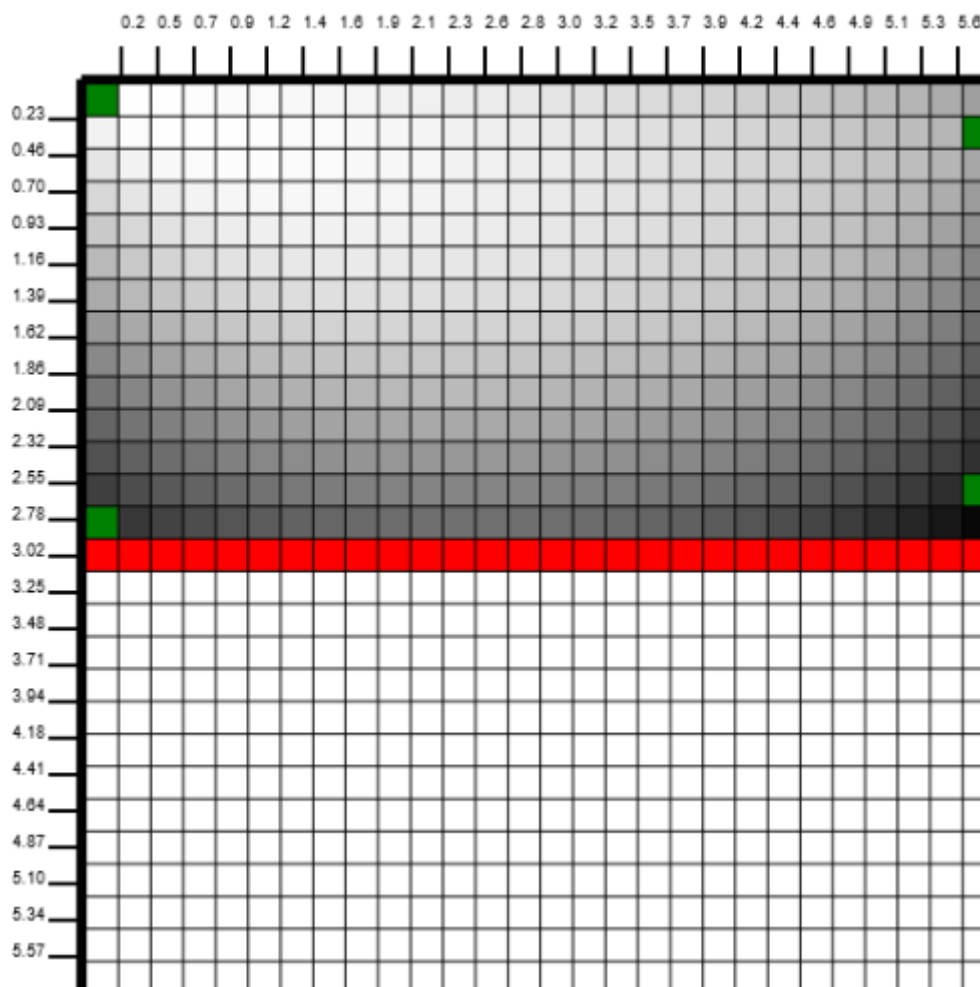
Rysunek 5.13 przedstawia wyniki pomiarów przy wykorzystaniu do obliczeń algorytmu LBP. Na rysunkach dla pomiarów online można zauważyć charakterystyczną poziomą czerwoną linię. Jest to oznaczenie ściany w budynku. Takie oznaczenie ściany ma wpływ na obliczenia z zastosowaniem algorytmów LBP i ILBP. Ściana ogranicza pole użyte do obliczeń, w związku z tym wyznaczana macierz czułości jest mniejsza. Oznacza to, że obszar

w którym szukamy położenia obiektu ogranicza się do rzeczywistego wymiaru położenia, a nie do całości modelu generowanego przez program.



Rys. 5.13 Wyniki pomiaru online dla metody LBP

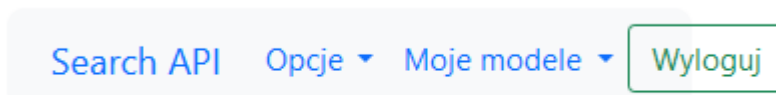
Na rysunku 5.14 zostały przedstawione wyniki pomiarów dla algorytmu ILBP. Liczba iteracji została ustawiona na 500, a współczynnik relaksacji wynosił 0,3.



Rys 5.14 Wyniki pomiaru online dla metody ILBP

5.3 Pozostałe funkcjonalności programu

Dodatkowo aplikacja posiada opcje, które można znaleźć w menu górnym. Po kliknięciu w zakładkę „moje modele” ukazuje się lista stworzonych przez danego użytkownika zapisanych modeli. W zakładce opcje posiadamy dwa przyciki: „wyloguj wszystkich” oraz „usuń konto”. Aplikacja umożliwia logowanie się kilku użytkowników na jedno konto równocześnie. Dzięki zastosowaniu tokena JWT, możliwe jest wylogowanie się z wszystkich urządzeń, na których aplikacja jest aktywna. W menu górnym znajduje się też przycisk wyloguj, dzięki któremu można wylogować się z bieżącej sesji. Na rysunku 5.15 zostało przedstawione menu górne.



Rys. 5.15 Menu górne

6 Wnioski

Powyższa praca miała na celu napisanie programu, który umożliwi precyzyjne lokalizowanie położenia obiektów. W pracy dokonywano pomiarów wykorzystując trzy różne metody obliczeniowe: trilateracji, algorytm LBP i algorytm ILBP. Natomiast sam program nie ogranicza się do wskazanych trzech metod. Za pomocą odpowiednich pól w programie (rozdział 5.2), można wgrywać własne algorytmy obliczeniowe, dzięki czemu aplikacja może stać się uniwersalnym narzędziem pod kątem miejsca, w którym jest wykorzystywana.

Wyniki obliczeń offline z rozdziału 5.2.1 pokazują, że gdy mamy do czynienia z idealnym środowiskiem, program może wskazać położenie obiektu co do centymetra. Najlepiej pokazane jest to dla metody trilateracji, gdzie aby prawidłowo zlokalizować obiekt, do obliczeń muszą być wprowadzone poprawne dane. Tak samo sprawa ma się w przypadku algorytmu LBP, który nie jest całkowicie odporny na błędy. Przy podaniu nieidealnego sygnału (rys. 5.8), algorytm gubi się i pokazuje duży obszar na mapie, w którym prawdopodobieństwo odnalezienia szukanego przez nas przedmiotu jest największe. Wyniki najlepiej prezentują się przy zastosowaniu algorytmu ILBP. Mimo dużego zniekształcenia mocy odbieranej przez odbiornik, algorytm prawidłowo pokazał położenie przedmiotu.

Algorytm ILBP eliminuje błędy w każdej kolejnej iteracji. Do użytkownika należy podanie liczby iteracji, oraz współczynnika relaksacji, które są do niego wprowadzane. Odpowiednie dobranie tych wartości przybliży do uzyskania satysfakcjonującego wyniku. Należy przy tym pamiętać, że wartości współczynnika relaksacji oraz liczba iteracji powinny być dostosowane do rozmiaru macierzy i wymaganego poziomu dokładności [39].

W badaniu online metoda trilateracji (rys. 5.12) wykazała się błędem. Różnica między wynikiem badań a rzeczywistym położeniem obiektu wynosiła około 73 cm dla osi x oraz 55 cm dla osi y. Jest to duży błąd biorąc pod uwagę wielkość pomieszczenia.

Metoda LBP (rys. 5.13) wypadła w tym badaniu poniżej oczekiwań. Z uzyskanego wyniku, nie można określić nawet przybliżonego miejsca, w którym może znajdować się szukany przez nas obiekt.

Najlepiej w tym badaniu zaprezentowała się metoda ILBP (rys. 5.14). Wynik nie jest dokładny, lecz można z niego wywnioskować, w którym obszarze pomieszczenia znajduje się przedmiot. Należy nadmienić, że oprogramowanie takie będzie służyć głównie do obsługi dużych pomieszczeń, gdzie zawężenie obszaru poszukiwań do takiego fragmentu jak na wspomnianym wcześniej rysunku, może w znacznym stopniu ułatwić odnalezienie poszukiwanego przedmiotu.

Błędy które zostały zaobserwowane przy badaniu online są spowodowane zbyt małą czułością urządzeń pomiarowych oraz zastosowaną technologią Bluetooth do bezprzewodowej komunikacji. Komunikacja ta może być podatna na różnego rodzaju zakłócenia, które mogą wywrzeć wpływ na moc sygnału odbieranego przez skaner. Przeszkody fizyczne oraz zakłócenia radiowe mogą wpłynąć w znacznym stopniu na tą moc. Osłabienie mocy może być spowodowane przez inne urządzenia elektroniczne, meble, ściany czy przechodzących ludzi. Sygnał może być pochłaniany, odbijany lub rozpraszany przez

przeszkody, co może prowadzić do nieregularnego spadku mocy sygnału. Inne urządzenia komunikujące się w pobliżu urządzeń Bluetooth, takie jak telewizory, routery Wi-Fi, mikrofalówki czy inne urządzenia bezprzewodowe, mogą powodować zakłócenia i interferencje na częstotliwościach używanych przez Bluetooth, co może wpływać na precyzję mocy odbieranego sygnału.

W związku z powyższym określenie charakterystyki urządzenia może być trudne. Najlepiej zrobić to w pomieszczeniu, w którym będą zainstalowane skanery, tak aby jak najlepiej odzwierciedlić rozproszenie mocy sygnału w danym miejscu. Mimo stworzenia charakterystyki skanera w miejscu, w którym będzie on używany, pomiar w dalszym ciągu narażony jest na dość duże zakłócenia. Dlatego lepszym rozwiązaniem byłby pomiar mocy, w oparciu o urządzenia wykorzystujące transmisję danych opartą o sieć Wi-Fi.

7 Literatura

- [1] **Narkiewicz J.:** „*GPS i inne satelitarne systemy nawigacyjne*”, WKŁ, 2007, ISBN: 978-83-206-1642-2
- [2] **Salvemini M.:** „*International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences // Global Positioning System*”, USA, wydanie 1, 2001, DOI: 10.1016/B0-08-043076-7/02528-6, s. 6250-6254
- [3] **Larry E. Daniel, Lars E. Daniel.:** „*Global Positioning Systems*”, Digital Forencics for Legal Professionals, 2012, DOI: 10.1016/B978-1-59749-643-8.00042-0, s. 309-319
- [4] **Tongyu Z., Aihua X., Rui S.:** „*Evaluation on user range error and global positioning accuracy for GPS/BDS navigation system*”, Proceedings of 2014 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference, 2014, DOI: 10.1109/cgncc.2014.7007297
- [5] **Strona GPS: The Global Positionig System** [online] [dostęp 5 październik 2022] <<https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>>
- [6] **Kunz M.:** „*Globalny system pozycjonowania (GPS) dla tworzenia GIS*”, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruni, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, 2001
- [7] **Ayay M.:** „*RTLS for Dummies*”, Wiley Publishing, Kanada, 2009

- [8] **Boukerche A., Oliveira H.A.B., Nakamura E.F. Loureiro A.A.F.:** „*Localization systems for Wireless Sensor Networks*”, Vol. 14, December 2007, DOI: 10.1109/MWC.2007.4407221; s. 6-12
- [9] **Yangi G., Lo A., Niemegeers I.:** „*A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks*”, Vol 11, March 2009, DOI: 10.1109/SURV.2009.090103; s. 13-32
- [10] **Ni L.M., Yunhao L., Yiu Cho L., Patil A.P.:** „*LANDMARC: indoor location sensing Using active RFID*”, Proceedings of the First IEEE International Conference, 23rd March 2003, DOI: 10.1109/PERCOM.2003.1192765
- [11] **Ciechulski T.:** „*Lokalizacja GSM i monitoring wizyjny w transportowych elektronicznych systemach bezpieczeństwa*”, Diagnostyka, PTDT, Vol. 14, No. 3, 2013, s. 29-33
- [12] **Trevisani E., Malkawa M.:** „*E-911 location standards and location commercial services*”, IEEE Emerging Technologies Symposium on Broadband, Wireless Internet Access. Digest of Papers (Cat. No.00EX414), kwiecień 2000
- [13] **Papakonstantinou K.:** „*Application of Signal Processing in Mobile terminal location*”, TELECOM Paris Tech, lipiec 2010
- [14] **Shu W., Min J., Byung K.:** „*Location based services for mobiles: Technologies and standards*”, IEEE International Conference on Communication (ICC), Chiny 2008
- [15] **Sakagami S., Aoyama S., Kuboi K., Shiota S., Akeyama A.:** „*Vehicle Position Estimaates by Multibeam Antennas in Multipath Environments*”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Volume 41, Issue 1, Luty 1992, s. 63-68, DOI: 10.1109/25.120146
- [16] **Van Diggelen F.:** „*A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS*”, Artech, 2009
- [17] **Ferrato A., Limongelli C., Mezzini M., Sansonetti G.:** „*Using Deep Learning for Collecting Data about Museum Visitor Behavior*”, Appl. Sci. 2022, 12, 533. <https://doi.org/10.3390/app12020533>
- [18] **Rzasa M.:** „*Zastosowanie pojemnościowych metod pomiarowych w badaniu przepływów dwufazowych*”, Politechnika Opolska, Opole 2022, ISBN 978-83-66033-98-6

- [19] **Kuipers J.B.:** „*Quaternions and rotation sequences: a primer with applications to orbits, aerospace, and virtual reality*”, Princeton University Press, 1999, ISBN 9780691102986
- [20] **Wang R. K.:** "Optical coherence tomography: a window into the mechanisms of diseases", Journal of biomedical optics 12.5 (2007): 051601
- [21] **Feldkamp L.A, Davis L.C., Kress J.W.:** „*Practical cone-beam algorithm*”, Journal of the Optical Society of America A, 1(6), 612-619, DOI: 10.1364/JOSAA.1.000612
- [22] **Kak Avinash C., Slanley M.:** „*Principles of computerized tomographic imaging*”, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2001. DOI: 10.1137/1.9780898719277
- [23] **Jain R. P.:** „The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling”, John Wiley & Sons, 1991. ISBN 0471503363
- [24] **Strona Node.js** [online] [dostęp 5 marca 2023] <<https://nodejs.org/en/>>
- [25] **Strona V8 JavaScript Engine** [online] [dostęp 5 marca 2023] < <https://v8.dev/>>
- [26] **Strona FreeCodeCamp – What Exactly is node js** [online] [dostęp 5 marca 2023] < <https://www.freecodecamp.org/news/what-exactly-is-node-js-ae36e97449f5/>>
- [27] **Strona Selloo – 10 Successful Companies Using Node.js** [online] [dostęp 5 marca 2023] < <https://selloo.com/blog/10-successful-companies-using-nodejs>>
- [28] **Strona w3 Schools – HTML introduction** [online] [dostęp 5 marca 2023] < https://www.w3schools.com/html/html_intro.asp>
- [29] **Strona w3 Schools – CSS introduction** [online] [dostęp 5 marca 2023] < https://www.w3schools.com/css/css_intro.asp>
- [30] **Strona w3 Schools – JavaScript introduction** [online] [dostęp 5 marca 2023] < https://www.w3schools.com/js/js_intro.asp>
- [31] **Strona w3 Schools – Bootstrap 5 Tutorial** [online] [dostęp 5 marca 2023] < <https://www.w3schools.com/bootstrap5/index.php>>
- [32] **MongoDB – What is MongoDB?** [online] [dostęp 5 marca 2023] < <https://www.mongodb.com/what-is-mongodb>>

- [33] **BSON Spec** [online] [dostęp 5 marca 2023] < <https://bsonspec.org/>>
- [34] **MongoDB - Features** [online] [dostęp 5 marca 2023] < <https://www.mongodb.com/features>>
- [35] **MongoDB – How to scale MongoDB** [online] [dostęp 5 marca 2023] < <https://www.mongodb.com/basics/scaling>>
- [36] **JSON Web Token Introduction - jwt.io** [online] [dostęp 6 marca 2023] < <https://jwt.io/introduction/>>
- [37] **BLEO – system lokalizacji** [online] [dostęp 6 marca 2023] < <https://www.bleo.com.pl/>>
- [38] **GitHub - vasturiano/multilateration: Locate points according to distributed beacon signals with consistent propagation speeds** [online] [dostęp 7 marca 2023] < <https://github.com/vasturiano/multilateration>>
- [39] **Briggs W. L, Henson V. E., McCormick S. F.:** „*A Multigrid Tutorial*” (2nd ed.). Society for Industrial and Applied Mathematics, 2000