

SYSTEM LOKALIZACJI PIESZEGO

W referacie przedstawiono system lokalizacji wykorzystujący Globalny System Pozycjonowania oraz nawigację inercyjną. Opisano koncepcję systemu, warunki działania i wyniki wstępnych doświadczeń.

PEDESTRIAN LOCATION SYSTEM

The paper presents a location system utilizing Global Positioning System and dead reckoning navigation. Described are system design, operating conditions, and results of initial testing.

1. KONCEPCJA SYSTEMU

Przedstawiany system służy do określania pozycji pieszego w dowolnym terenie. System ten ma być używany jako pomoc nawigacyjna dla osób niewidomych, która umożliwi prowadzenie po zadanej trasie do wybranego punktu docelowego. Z powodu takiego zastosowania system powinien być dostępny i autonomiczny oraz działać spójnie i dokładnie. Dostępność oznacza prostą konstrukcję i nieuciążliwe użytkowanie. Autonomiczność to niezależność od specjalnych dodatkowych usług, jak interaktywna pomoc z zewnątrz. Spójność wymaga działania w sposób ciągły, bez chwilowych zaników i nieuzasadnionych skoków wyznaczanej pozycji.

System obejmuje odbiornik GPS oraz czujniki nawigacji inercyjnej (kompas i krokomierz). Odbiornik GPS umożliwia wyznaczanie pozycji nie obciążonej błędami sumacyjnymi, co jedną sekundę, z dokładnością rzędu 5 m (95%, w dobrych warunkach). Ponieważ w środowisku miejskim odbiornik GPS niekiedy przestaje wyznaczać pozycję oraz jest podatny na znaczne zakłócenia, konieczne jest zastosowanie dodatkowego systemu nawigacji inercyjnej, który w każdych warunkach będzie wyznaczał zmianę pozycji. Pozycja wyznaczana przez taki system jest obciążona błędem wzrastającym liniowo z czasem, ale przez krótkie okresy jest wystarczająco dokładna dla zastąpienia odbiornika GPS.

Połączenie danych z odbiornika GPS i czujników nawigacji inercyjnej pozwoli określać pozycję z optymalną dokładnością i redukować błędy charakterystyczne dla poszczególnych czujników. Propozycję takiego połączenia danych przez filtrację Kalmana przedstawili M. Niedźwiecki i L. Zawalich ([1]). Kolejnym możliwym sposobem podniesienia spójności i dokładności jest porównywanie wyznaczonej pozycji z mapą terenu. Taki system przedstawili W. Ehret i H. Talkenberg ([2]).

Na obecnym etapie prac wykonano urządzenie umożliwiające rejestrację danych z czujników i przeprowadzono wstępne doświadczenia.

1.1 Elementy systemu

- Odbiornik DGPS model GBX-8/03 firmy Communication Systems International
 - 8-kanałowy
 - odbiornik morskiej poprawki różnicowej w paśmie 275-325 kHz
 - zintegrowana antena odbiorcza sygnału GPS i poprawki różnicowej
- Kompas elektroniczny model Vector V2G (moduł OEM) firmy Precision Navigation
 - częstotliwość odczytów: 5 Hz
 - rozdzielczość: 2°
 - zakres dopuszczalnego odchylenia od pionu 15°
 - dwa zawieszono kardanowo czujniki magneto-indukcyjne
- Krokomierz elektroniczny model Eliektronika SZE-01, produkcji radzieckiej
 - zawiera czujnik kontaktronowy oraz sprężyste zamocowany magnes
 - daje jeden impuls na krok
- Urządzenie do akwizycji danych
 - oparte na mikroprocesorze PHILIPS 80C552 z pamięcią RAM 512 kilobajtów
 - rejestruje co sekundę następujące dane pomiarowe:
 - czas wyznaczenia pozycji przez DGPS
 - pozycja DGPS (długość i szerokość geograficzna)
 - liczba widocznych satelitów
 - parametr HDOP (proporcjonalny do błędu konfiguracji widocznych satelitów)
 - wiek poprawki różnicowej
 - liczba kroków zarejestrowanych w ciągu sekundy
 - pięć kolejnych odczytów kompasu elektronicznego

2. WARUNKI DZIAŁANIA

2.1 Globalny system pozycjonowania (GPS)

System GPS służy do wyznaczania pozycji na podstawie sygnałów, które odbiornik otrzymuje od kilku spośród 24 satelitów systemu krążących wokół Ziemi. Do wyznaczenia pozycji konieczny jest jednoczesny odbiór sygnału z co najmniej trzech satelitów.

Wyznaczona pozycja jest obciążona między innymi błędem wynikającym ze zmiennej prędkości fali radiowej w jonosferze. Błąd ten można znacznie zredukować w systemie różnicowym DGPS, gdzie odbiornik GPS otrzymuje z najbliższej naziemnej stacji referencyjnej poprawki do pozycji wyznaczanej na podstawie sygnałów satelitarnych.

Dostępność odczytu GPS zależy od liczby satelitów, które w danej chwili są "widoczne" dla odbiornika. Satelita jest widoczny, jeśli jego sygnał jest odbierany z wystarczającą mocą. Drzewa mogą znacznie osłabiać sygnał satelitarny, a ściany budynków praktycznie uniemożliwiają jego odbiór. Liczba widocznych satelitów zależy więc od wielkości widocznej części nieba. Podczas poruszania się w środowisku miejskim liczba widocznych satelitów niekiedy spada poniżej minimum koniecznego do uzyskania odczytu pozycji, na czas kilku minut lub na odcinkach kilkuset metrów.

Drugi problem występujący w miastach polega na odbijaniu sygnału satelitarnego od ścian dużych budynków - kiedy docierający do odbiornika sygnał odbity jest silniejszy od sygnału biegnącego w linii prostej, odbiornik odczytuje nieprawidłową odległość do satelity. Powoduje to skokowe zmiany wyznaczonej pozycji, sięgające kilkudziesięciu lub nawet kilkuset metrów.

Dokładność wyznaczenia pozycji zależy od konfiguracji widocznych satelitów - związany z tym błąd jest proporcjonalny do objętości bryły tworzonej przez widoczne satelity i odbiornik. Przy niekorzystnej konfiguracji wzrasta minimalna liczba widocznych satelitów potrzebnych do wyznaczenia pozycji.

Satelity systemu GPS są w ciągłym ruchu, dlatego przy pracy w trybie różnicowym na dokładność wpływa również wiek poprawki różnicowej, czyli czas, który upłynął od obliczenia ostatniej odebranej poprawki do wyznaczenia pozycji odbiornika DGPS z zastosowaniem tej poprawki. Zaniki sygnału poprawki różnicowej zmuszają do używania starszych poprawek, co obniża dokładność wyznaczenia pozycji.

2.2 Nawigacja inercyjna

Zastosowana metoda nawigacji inercyjnej polega na zmianie chwilowej pozycji przy wykonaniu każdego kroku. Pozycja jest zmieniana o przyjętą średnią długość kroku w kierunku aktualnie wskazywanym przez kompas.

Wykrywanie wykonania kroku przez krokomierz jest dosyć proste i niezawodne. Przewidywane źródła błędów to zmiany długości kroku podczas marszu oraz dodatkowe niepełne kroki rejestrowane podczas rozpoczynania marszu i zatrzymywania się. Do zmniejszenia takich błędów konieczna jest estymacja długości kroku.

Zastosowany kompas elektroniczny mierzy natężenie pola magnetycznego w dwóch prostopadłych kierunkach w płaszczyźnie poziomej i na tej podstawie wyznacza kierunek linii siły pola magnetycznego Ziemi. Cewki mierzące natężenie pola są zawieszane kardanowo, aby umożliwić kompensację odchylenia kompasu od płaszczyzny poziomej w zakresie do 15 stopni. Odchylenie jednego lub obu czujników od płaszczyzny poziomej wywołuje znaczne błędy odczytu kierunku.

Kompas elektroniczny, nawet utrzymywany w płaszczyźnie poziomej, podlega błędem wynikającym ze zniekształcenia pola magnetycznego Ziemi przez występujące w pobliżu obiekty wykonane z metali magnetycznych oraz statyczne i dynamiczne pola elektromagnetyczne. Dlatego wskazania kompasu są obciążone znacznymi błędami w budynkach (uzbrojenie), w pobliżu samochodów, mostów, torów itd.

Kolejnym źródłem błędów są ruchy ciała osoby, która nosi na sobie kompas. Takie błędy mogą ulegać uśrednieniu przy nawigacji inercyjnej.

Na wskazania kompasu mogą wpływać przedmioty metalowe noszone przez osobę używającą urządzenia. Jeśli te przedmioty zachowują stałą pozycję w stosunku do kompasu, ich wpływ można wyeliminować przez kalibrację kompasu. Podczas wykonywania doświadczeń nie stwierdzono jednak żadnych istotnych błędów o takim pochodzeniu.

3. DOŚWIADCZENIA

Przeprowadzone doświadczenia miały na celu zapoznanie się z rzeczywistą charakterystyką działania stosowanych czujników oraz zbadanie dokładności odtwarzania trasy na podstawie danych pomiarowych.

Osoba wykonująca doświadczenia nosiła odbiornik GPS w plecaku, z anteną umieszczoną nad plecakiem na wysokości głowy. Kompas i krokomierz przymocowano do paska, tak by były możliwie sztywno połączone z tułowiem.

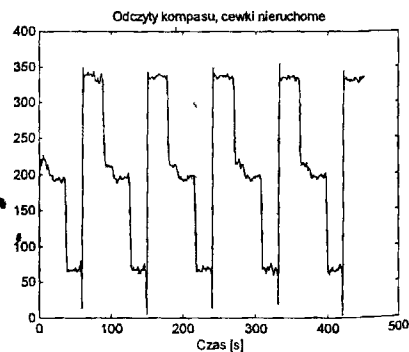
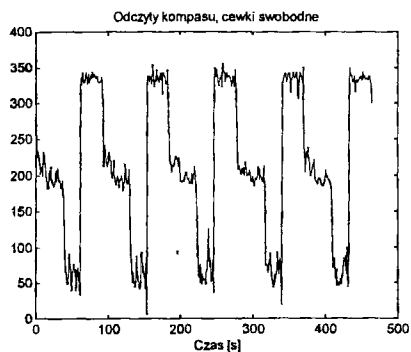
Po wykonaniu doświadczeń zarejestrowane wyniki pomiarów ładowano do komputera PC i przetwarzano w trybie offline.

W nawigacji inercyjnej obliczano pozycję co 1 sekundę. Jako kierunek stosowano medianę pięciu kolejnych odczytów kompasu. W obliczeniach przyjęto średnią długość kroku równą 90 cm, wyznaczoną na podstawie doświadczeń.

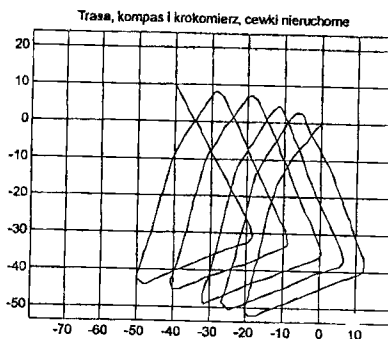
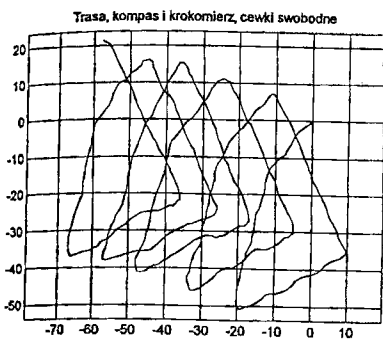
3.1 Trasa trójkątna

Stosowany kompas elektroniczny zawiera dwie cewki, które dzięki swobodnemu zawieszeniu mają pozostawać w pozycji poziomej, zapewniając wyższą dokładność odczytów. Na tej trasie sprawdzono wpływ zawieszenia cewek kompasu na właściwości odczytów kierunku.

Trasa została pokonana po pięć razy przy cewkach zawieszonych swobodnie i przy cewkach zablokowanych w stałej pozycji. Stwierdzono, że przy cewkach swobodnych odczyty kierunku mają znacznie większą wariację, niż przy cewkach nieruchomych. To oznacza, że swobodne zawieszenie cewek, zamiast kompensować odchylenia cewek od poziomu, wywołuje wahania silniejsze niż odchylenia tułowia od pionu podczas chodzenia.



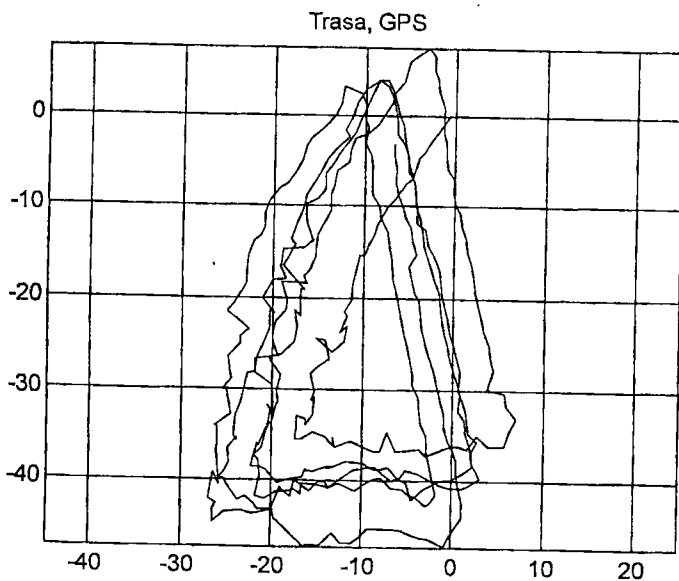
Na następnej stronie przedstawiono porównanie trasy odtworzonej na podstawie kompasu i krokomierza przy cewkach swobodnych i nieruchomych.



Przy nieruchomych cewkach obliczona trasa jest bardziej wygładzona i mniej chaotyczna, dlatego w dalszych doświadczeniach cewki kompasu pozostały zablokowane w stałej pozycji.

To doświadczenie wykazało, że trasa jest odtwarzana przez nawigację inercyjną w sposób spójny, ale obciążony systematycznym błędem, objawiającym się tu przez dryft pozycji w kierunku północno-zachodnim. Należy zbadać i wyeliminować przyczynę tego błędu.

Oto ta sama trasa zarejestrowana przez odbiornik GPS.

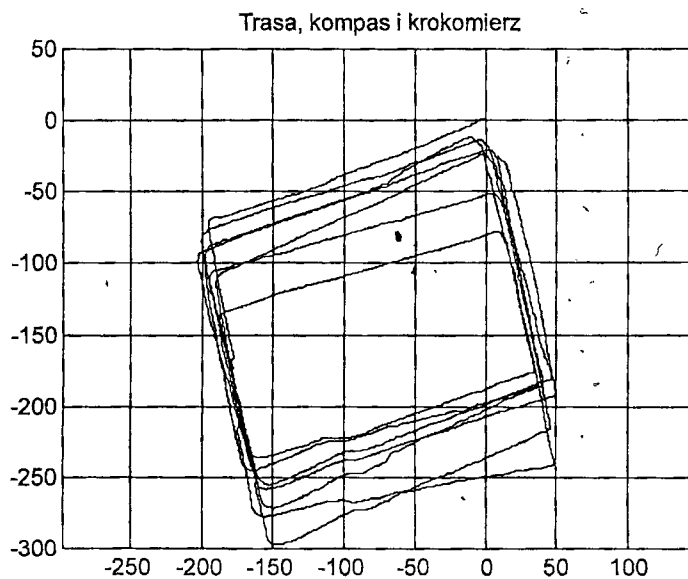
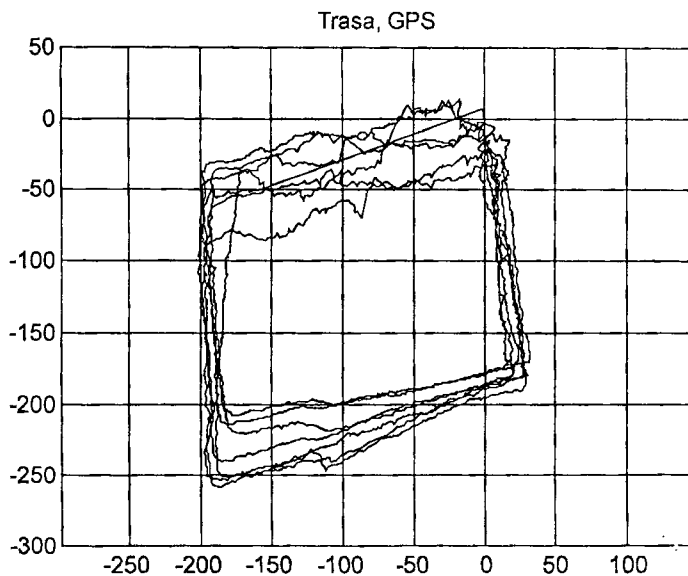


Widać tu błędy odczytów GPS o różnym czasie trwania. Błędy krótkookresowe, utrzymujące się przez kilka sekund, przejawiają się przez poszarpanie odcinków trasy. Błędy długookresowe, utrzymujące się przez kilkadziesiąt sekund lub dłużej, przejawiają się przez przesunięcia między odpowiadającymi sobie odcinkami trasy.

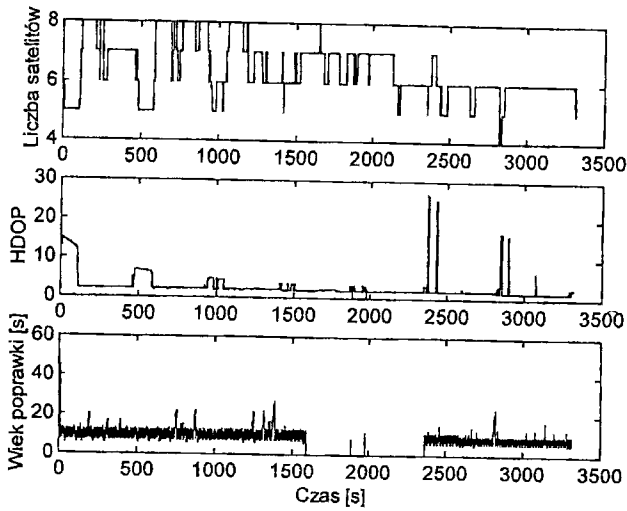
Można oczekiwać, że skuteczne połączenie odczytów GPS z nawigacją inercyjną pozwoli wyeliminować błędy krótkookresowe oraz zmniejszyć błędy długookresowe.

3.2 Trasa czworokątna

W tym doświadczeniu ośmiokrotnie pokonano tę samą trasę. Cały górny odcinek oraz lewy dolny narożnik trasy znajdowały się pod drzewami, co wyraźnie pogorszyło odczyty GPS w tych miejscach. Na obu odcinkach "poziomych" występują większe zniekształcenia, zarówno dla odczytów GPS, jak i dla nawigacji inercyjnej.

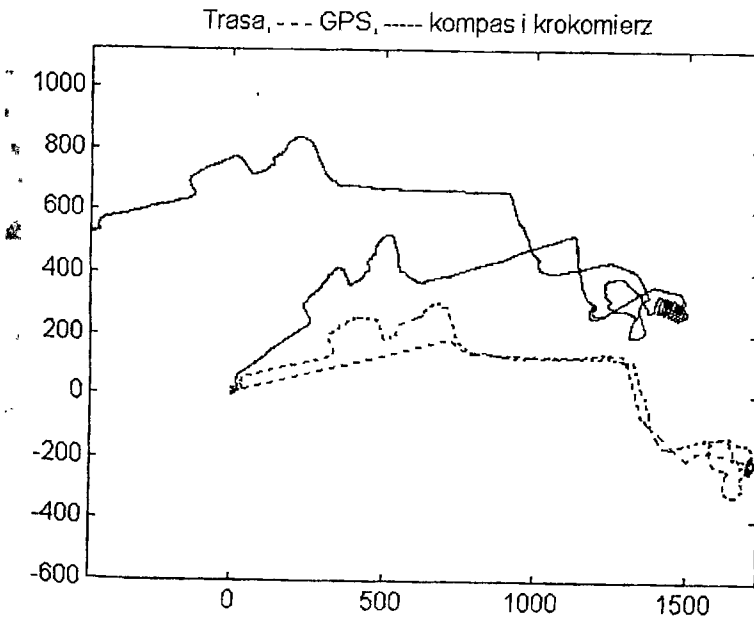


Poniżej przedstawiono liczbę widocznych satelitów, parametr HDOP i wiek poprawki różnicowej podczas doświadczenia.



3.3 Długa trasa

To doświadczenie służy porównaniu odczytów GPS i nawigacji inercyjnej na długiej trasie (około 7 km). Początkowa i końcowa część trasy jest taka sama. Prosty odcinek na początku trasy GPS jest wywołany długim zanikiem sygnału.



W nawigacji inercyjnej ponownie występuje wyraźny dryft w kierunku północno-zachodnim. Błąd końcowej pozycji nawigacji inercyjnej wynosi około 700 m, czyli 10%. Nie jest to jednak regułą, gdyż na trasie czworokątnej nie wystąpił wyraźny dryft, tylko stosunkowo niewielkie odchylenia w kierunku północ-południe, a błąd końcowej pozycji nawigacji inercyjnej wyniósł zaledwie 27 m, czyli 0,5% przy długości trasy 5,3 km. Wydaje się, że odczyty kompasu w niektórych kierunkach ulegają silniejszym zniekształceniom.

3.4 Trasa wewnątrz budynku

Ostatnie doświadczenie służyło sprawdzeniu działania nawigacji inercyjnej wewnątrz budynku. Trasa składa się z wejścia po schodach o cztery piętra w górę, przejścia przez korytarz, zejścia drugimi schodami w dół i powrotu korytarzem do punktu początkowego.



Doświadczenie wykazało występowanie w budynku znacznych zakłóceń działania kompasu, widocznych szczególnie na klatce schodowej - na początku wykresu zamiast łamanej powinny występować cztery nałożone na siebie pętle, podobnie jak z prawej strony. Ten wpływ może zdyskwalifikować stosowany układ nawigacji inercyjnej wewnątrz budynków.

4. ZAKOŃCZENIE

W celu opracowania pomocy nawigacyjnej dla osób niewidomych rozpoczęto budowę systemu lokalizacji, opartego na odbiorniku GPS oraz kompasie i krokomierzu. Wykonano urządzenie umożliwiające akwizycję danych pomiarowych z tych czujników. Przeprowadzono wstępne doświadczenia, które potwierdziły zasadność łączenia ze sobą danych z zastosowanych czujników, a także ujawniły istnienie pewnych systematycznych błędów kompasu, które wymagają zbadania i usunięcia.

LITERATURA

- [1] M. Niedźwiecki, L. Zawalich: *ARGO - a Navigation and Message System for the Blind*; Fourth International Symposium on Methods and Models in Automation and Robotics, Międzyzdroje, Polska, sierpień 1997, strony 687-691.
- [2] W. Ehret, H. Talkenberg: *GNSS for Pedestrian Navigation - a Low-Cost Tool in City Environment*; First European Symposium on Global Satellite Navigation Systems - GNSS, Monachium, Niemcy, kwiecień 1997, strony 381-390.