

PORTFOLIO

(na wniosek firmy F16)

Analiza możliwości modyfikowania standardowego systemu nawigacji GPS pod kątem precyzyjnego lokalizowania urządzeń mobilnych wewnątrz budynków

Autor: Michał Turek

Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl

Wstęp

Celem nadrzędnym, któremu służyć ma niniejsza analiza, jest stwierdzenie czy możliwe jest zbudowanie systemu umożliwiającego precyzyjne lokalizowanie urządzeń mobilnych (posiadających standardowy odbiornik GPS-NAVSTAR) w miejscach, gdzie z uwagi na uwarunkowania środowiskowe nie jest obecnie możliwe. Miejsca takie to lokalizacje nie otrzymujące sygnału GPS lub otrzymujące jedynie wytłumiony sygnał szczątkowy (przykładowo: wnętrza budynków, statków, kopalnie itp.). Zakłada się przy tym, że urządzenie będzie mogło być swobodnie przemieszczane wewnątrz wspomnianej przestrzeni. Obliczana pozycja ma brać pod uwagę także te przemieszczenia (nie jest wystarczające ustalenie jedynie pozycji przybliżonej dotyczącej przedmiotowego miejsca użytkowania urządzenia mobilnego). Sprawdzeniu podlegać będzie zatem sytuacja, w której urządzenie mobilne nie będzie posiadało żadnych dodatkowych komponentów, umożliwiających rozszerzenie funkcjonalności pozwalającej na jego bardziej precyzyjne lokalizowanie. Urządzenie może zawierać jedynie standardowy moduł odbiornika GPS, a wszelka dodatkowa infrastruktura musi być przesunięta do środowiska tego urządzenia. Zakłada się naturalnie, że infrastruktura ta może korzystać zarówno ze standardowego GPS jak i innych systemów (i w konsekwencji urządzeń) dostarczających informację o lokalizacji.

1. Analiza systemu DGPS pod kątem możliwości użycia wewnątrz obiektów budowlanych

DGPS (Differential Global Positioning System) jest systemem umożliwiającym zwiększenie określania pozycji odbiornika mobilnego. W dobrze znanych pozycjach geograficznych znajdują się dodatkowe stacje emitujące sygnały podnoszące precyzję odbioru GPS. Stacje te emitują poprawki, które są odbierane przez dodatkowe urządzenia stanowiące rozszerzenie tradycyjnych odbiorników GPS [4]. Istnieją także warianty zakładające wykorzystanie dodatkowych satelitów geostacjonarnych jako stacji emitujących poprawki. Poprawki są naliczane i retransmitowane w dwóch trybach:

- postprocessing - przesyłane do mobilnego odbiornika jedynie jako globalna poprawka dla terenu w którym odbiornik się znajduje (metoda mało precyzyjna)
- w czasie rzeczywistym - na bieżąco, co umożliwia wzięcie pod uwagę bieżących zniekształceń GPS (redukcja nieoznaczoności pomiarów fazowych) będących skutkiem aktualnego usytuowania odbiornika

Metoda pozwala na osiągnięcie dokładności rzędu od 0,5 - 2 m (wersje postprocessing) do nawet 1-2 cm (wersje real time).

Technologia Real Time Kinematic[6] jest z najpopularniejszym przykładem gotowego systemu dedykowanego opartego na technice DGPS w wersji real time - przeznaczonym do zastosowań w geodezji i podobnych.

W rozwiązaniach DGPS do przekazu poprawek wykorzystywane jest różne medium fizyczne. Najczęściej jest to łącze satelitarne, VHF, GPRS lub WiFi [2]. Lokalizujące swoją pozycję urządzenie mobilne musi takie medium wykorzystywać, posiadając stosowną przystawkę.

Gotowe urządzenia stacji DGPS do reprezentowania informacji o poprawkach wykorzystują następujące technologie i standardy transmisji:

- RTCM [Radio Technical Commission for Maritime], RTCM SC-104. Dedykowany dla poprawek w czasie rzeczywistym, określa łącznie 63 różne pakiety danych

- RINEX (Receiver Independent Exchange System) - standard formatu danych, umożliwiającą archiwizowanie informacji powiązanej z GPS. Poza typowymi informacjami standard opisuje także rekordy poprawki zegarów odbiorników, dodatkowe wskazówki i oznaczenia zakończeń

- CMR – format opracowany specjalnie dla transmisji poprawek kinematycznych w systemie GPS Real Time Kinematic

Wykorzystanie gotowego wdrożenia technologii DGPS będzie się zapewne wiązało z koniecznością zastosowania danego standardu w odbiorniku (stworzenia analizatora komunikatów, zastosowania odpowiednich urządzeń do obsługi niższych warstw komunikacji).

Przykłady wdrożeń można klasyfikować głównie pod kątem miejsca rozlokowania dodatkowych stacji:

- na ziemi: GBAS (Ground Based Augmentation System) oraz GRAS (Ground-based Regional Augmentation System), np LAAS (ang. Local Area Augmentation System):

- jako satelity geostacjonarne: SBAS (Satellite Based Augmentation System), np. WAAS (ang. Wide Area Augmentation System), EGNOS (ang. European Geostationary Navigation Overlay Service)

- z sieci globalnej: SISNeT, z wykorzystaniem sieci Internet (poprzez GPRS/3G lub WLAN).

Wnioski:

Gotowego rozwiązania DGPS nie można wykorzystać, z następujących powodów:

- urządzenia klienta mają bazować jedynie na standardowych modułach GPS, ewentualnie wspomaganych przez (także standardowe) elektroniczne systemy orientacji przestrzennej. Nie ma zatem możliwości odbioru sygnału polepszającego pozycję, pochodzącego z anten urządzeń naziemnych operujących w innych technologiach

- urządzenia mają pracować w pomieszczeniach zamkniętych, gdzie głównym problemem są zaniki sygnały GPS, który jest potrzebny do pracy odbiornika DGPS (sygnał naziemny jest jedynie uzupełnieniem sygnału GPS)



- jak w punkcie poprzednim - urządzenia mają pracować w pomieszczeniach zamkniętych. Zatem podobne zaniki sygnału dotyczyć będą sygnału pochodzącego z urządzeń dodatkowych, jeśli te nawet zostałyby użyte. Konieczne byłoby tu rozmieszczanie wielu takich urządzeń (aby pokrycie sygnałem było duże), co znacznie skomplikowałoby cały system.

Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

2. Analiza możliwości symulowania satelitów GPS (z pominięciem aspektów prawnych)

Konstrukcja sygnału GPS dla odbiorników mobilnych

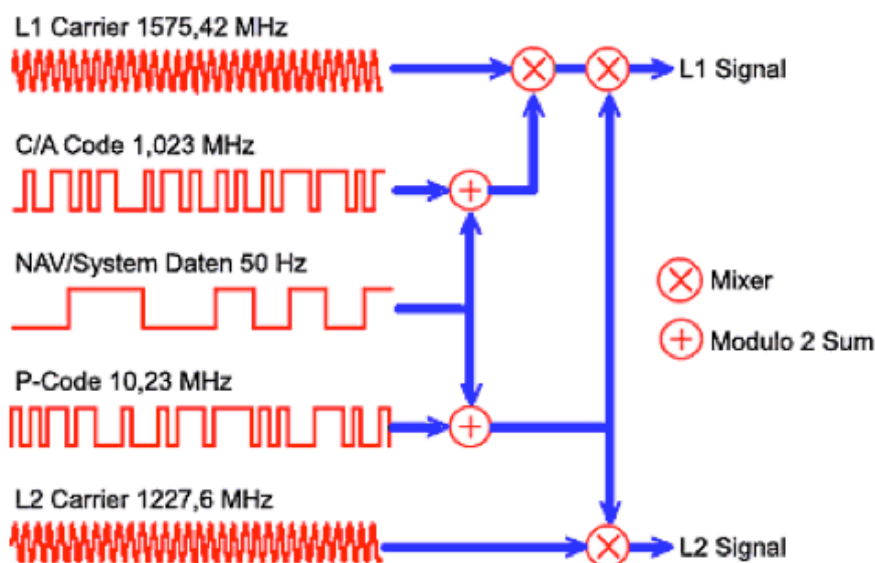
Cywilny wariant GPS operuje w pasmach L1 (1575,42MHz) i L2 (1227,6MHz) [9]. Sygnał w przypadku obydwu pasm jest modulowany z następujących składowych [1]:

- kod C/A (1,023 MHz)
- dane nawigacyjne (50 Hz)
- kod P (10,23 MHz)

Kod C/A zawiera pseudo-losowy identyfikator satelity. System przewiduje istnienie 32 satelitów powiadających swoje numery pseudo-losowe PRN - Pseudo Random Numbers. Długość kodu to 1023 bity. Kodu ten służy do modulowania sygnału właściwego w celu jego miksowania z innymi nadawanymi na tej samej częstotliwości z innych satelitów (technika Code Division Multiple Access, CDMA)

Kod P to tzw. precision code. Jego długość jest łańcuchem ekstremalnie długim (z prędkością 10,23 MHz czas transmisji to 233 dni). Nie jest emitowany w całości, transmisja jest zatrzymywana o ponawiana w interwale tygodniowym. Od 1994 roku jest dodatkowo szyfrowany (zabieg anty-spoofing).

Aby utworzyć gotowy sygnał dla L1 lub L2 dane są komponowane w podnośnej L1 lub L2 z użyciem modulacji amplitudy (zaburzenia max. amplitudy sygnału o stałej częstotliwości przy zmianie bitu L-H oraz H-L)



Rys 1. Modulowanie sygnału GPS dla wariantów L1 i L2, Peter H. Dana [5]

Sygnal L1 lub L2 (Rys. 1) jest nadawany. Akwizycja takiego sygnału po odebraniu polega na wyizolowaniu jego treści w raz z identyfikacją chwili czasowej jego odbioru (dzięki CDMA sygnały z różnych satelitów nie zaburzają się wzajemnie). Na podstawie prowadzonego procesu akwizycji określana jest wartość wskaźnika jakości pozycji GPS: Dilution of Precision (DOP) [7]. Jest ona sumą HDOP i VDOP (składowych Horizontal i Vertical tego wskaźnika). Niska jej wartość określa większe prawdopodobieństwo posiadania dokładnej pozycji (odczyty z kolejnych satelitów wykazują mniejszy rozrzut składowych posiadanej pozycji). Ponadto jest on wyznacznikiem liniowej nie-równoległości sygnałów biegnących od poszczególnych satelitów do odbiornik (proporcjonalne rozlokowanie kątowne satelitów, z których sygnały odczytano daje lepsze wyniki).

Klasyczny odbiornik GPS nie posiada możliwości identyfikacji kątownego kierunku źródłowego, z którego sygnał został odebrany. Informację umożliwiającą pozycjonowanie dostarcza jedynie pomiar opóźnienia sygnału, więc pośrednio - dystansu od nadajnika. Pozycja (i polepszenie DOP) uzyskiwana jest w konsekwencji rozkodowania wielu takich sygnałów z różnych źródeł.

Za tym idzie istotne spostrzeżenie - ewentualne wytworzenie systemu symulującego pracę satelitów GPS dla mobilnego urządzenia wymagało by umieszczenia w trójwymiarowym środowisku przynajmniej kilku nadajników w taki sposób, aby rozmieszczenie to było analogiczne do układu rzeczywistych satelitów GPS. Symulacja dotyczyć musiałaby całego układu geometrycznego satelitów - tak aby relatywne opóźnienia w odbiorze sygnałów składowych w urządzeniu mobilnym były wiarygodne i wskazywały na jego (sztucznie zaimplantowaną) pozycję w przestrzeni. Ponadto - pierwotne odległości pomiędzy satelitą GPS a odbiornikiem musiałby zostać przeskalowane (prędkość fali jest taka sama) i wzięte pod uwagę przy naliczaniu poprawek czasowych w emisji sztucznie przygotowanych sygnałów GPS. Bez preparowania tej informacji dla konkretnego urządzenia mobilnego nie będzie to możliwe (a nawet bez osiągnięcia tego celu i tak musiałby powstać bardzo złożony algorytm generujący pożądane opóźnienia sygnałów). Wyklucza to choćby interpretacja najprostszej sytuacji, w której urządzenie mobilne m przystosowane jedynie do odbioru naturalnych sygnałów GPS będzie oddalało się od nadajnika sygnałów sztucznych n_1 i przybliżało do nadajnika n_2 . W systemie naturalnym z kolei to samo urządzenie przemieszczałoby się pomiędzy satelitami s_1 i s_2 . Wówczas:

$$\text{dystans}(m,n_1)/\text{dystans}(m,s_1) \ll \text{dystans}(m,n_2)/\text{dystans}(m,s_1)$$

Brak proporcjonalności uniemożliwia wygenerowanie kompletu opóźnień sztucznie podanych sygnałów, które po przebyciu odległości dystans(m,n_x) umożliwią lokalizowanie urządzenia mobilnego na bazie tych samych danych lokalizacyjnych, jakie opisują rzeczywiste satelity GPS (dane te znajdują się po stronie odbiornika, więc nie jest możliwa ich wymiana). Tym samym algorytm uniwersalny generujący takie sygnały nie będzie możliwy do opracowania.

Symulatory GPS

Zespolony sygnał GPS jest możliwy do wytworzenia w emulatorach GPS dostępnych na rynku. Większość prostych i dostępnych symulatorów umożliwią rejestrację sygnału rzeczywistego, składowanie i odtworzenie go w warunkach laboratoryjnych w oryginalnej postaci. Odtwarzanie ma na celu testowanie urządzenia odbiornika GPS lub aplikacji bazującej na sygnale z takiego urządzenia. Wyście symulatora jest dodatkowo łączone z urządzeniem testowanym poprzez kabel (zamiast stosowania przekazu radiowego). Urządzenia bardziej zaawansowane umożliwiają symulowanie pozycji oraz innych danych GPS. W niektórych przypadkach dostępne jest oprogramowanie umożliwiające generowanie

scenariusza przemieszczania obiektu - czyli faktycznie sygnału sztucznego. Jest on jednak pre-generowany w całości przez aplikację i dopiero potem odtwarzany przez symulator. Przykład takiego oprogramowania to SatGen[10].

Przykłady symulatorów GPS:

- LABSAT 3, <http://www.labsat.co.uk/index.php/en/products/labsat-3>
- GSG-55, <http://www.spectracomcorp.com/ProductsServices/GPSSimulation/GSG55GPS16channelSimulator/tabid/1392/Default.aspx>
- National Instruments GPS Simulator, <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pl/nid/206805>
- GPSG-1000 http://www.aeroflex.com/ats/products/product/Avionics/GPS_Simulators/GPSG-1000~713.html

Należy tutaj pamiętać, że symulatory GPS umożliwią jedynie podanie gotowego sygnału go zakładając, że faktyczne sygnały (z satelitów) do niego nie docierają. Stąd przy testach odbiorników z wykorzystaniem takich symulatorów stosuje się głównie połączenia kablowe. Sygnał emitowany przez symulator jest już zespolony, więc nie będzie możliwe emitowanie kilku takich sygnałów z różnych miejsc jednocześnie - w celu ich zdekomponowania w odbiorniku i określenia położenia w referencji do anten nadawczych sygnału z (kilku) symulatorów.

Możliwości manipulowania sygnałem w ramach GPS spoofing.

Z uwagi na ściśle ewidencjonowanie dostępnych w systemie 32 satelitów (w praktyce liczba ta jest limitowana do 24) nie jest możliwe emulowanie nowych ich instancji w taki sposób, aby ich dane były odbieralne przez nie modyfikowane odbiorniki GPS. Jedyną możliwością wywarcia wpływu to emulowanie sygnału rzeczywistych satelitów GPS. W warunkach wytwarzania takiego sygnału na potrzeby urządzenia mobilnego koniecznym do powodzenia eksperymentu jest precyzyjne umiejscowienie fałszywego nadajnika - na drodze kątowno zgodnej z trasą prawdziwych sygnałów z satelity. Umożliwi to wytłumienie tych sygnałów poprzez podanie sygnału silniejszego.

Technika manipulowania rzeczywistym sygnałem GPS znana jest pod nazwą GPS spoofing. W czerwcu 2012 roku została w drodze eksperymentu przetestowana w praktyce [8]. Udało się wywrzeć wpływ na pozycję obliczoną przez odbiornik znajdujący się na dużej, otwartej przestrzeni (akwen morski). Doszło jednak jedynie do naliczenia błędnego przesunięcia położenia odbiornika z kontrolowanym wymuszeniem innej pozycji. Nie przejęto kontroli nad systemem, umożliwiającą pełną dowolność pozycjonowania atakowanego odbiornika.

Spoofing wymaga wygenerowania sygnału, który zostanie prawidłowo zidentyfikowany przez odbiorniki. Stworzenie urządzenia nadajnika będzie w pierwszej kolejności wymagało rozwiązania szeregu problemów sprzętowych z miksowaniem sygnałów i ich właściwym zakodowaniem. W ciągu dalszym - sygnał musi przejść poprawną walidację, czyli musi być imitacją sygnału rzeczywistego, katalogowanego w systemie satelity z wtórnie przekalkulowanymi opóźnieniami emisji wskazującymi na (fikcyjnie kalkulowaną dla systemu) pozycję GPS.

Zagrożenia GPS spoofing.

Pomijając kwestię celowego stwarzania zagrożeń dla obiektów ruchomych (jakie może być związane z techniką GPS spoofing) należy wziąć pod uwagę problem ewentualnych niepożądanych efektów ubocznych, które mogą mieć miejsce po emisji spreparowanych sygnałów GPS. O ile w zwartym terenie propagacja pozioma sygnału ze źródła niewielkiej mocy może być stosunkowo słaba i wywrzeć wpływ jedynie na obiekty zamierzone, o tyle w układzie pionowym takie źródło może mieć spory zasięg (brak przeszkód wytłumiających sygnał w tym kierunku). Realnym staje się więc zagrożenie dla obiektów znajdujących się w powietrzu (np. samoloty). Jest to dość istotny argument przeciwko wprowadzaniu tego typu manipulacji w praktyce.

Wnioski

Jest teoretycznie możliwe generowanie i emitowanie sygnału GPS określającego zadaną sztucznie pozycję w czasie rzeczywistym - tak, aby standardowy odbiornik GPS poprawnie ją zinterpretował. Ograniczenie wprowadzane jest jednak przez medium, jakie można wykorzystać. Musi ono zagwarantować wyizolowanie rzeczywistych sygnałów GPS, zatem ogranicza się do okablowania lub kompaktowych środowisk pozbawionych innych sygnałów na częstotliwości GPS.

Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl

Problem stanowi generowanie spreparowanego sygnału, który mógłby wspomagać faktyczne lokalizowanie urządzeń w takich środowiskach. Symulowany sygnał GPS jest tworzony na podstawie zadanych sztucznie współrzędnych. W czasie symulacji współrzędne te są jednak narzucane odgórnie i jeśli nawet się zmieniają w czasie - to nie mają nic wspólnego z faktyczną pozycją odbiornika GPS. Podanie (poprzez medium radiowe) do urządzenia mobilnego jego pozycji, mogło by się teoretycznie odbywać w drodze zastosowania jednego z następujących rozwiązań:

1. Sztuczne zdekomponowanie sygnału z symulatora i następnie nadawanie wielu odpowiednio spreparowanych sygnałów (symulujących obecność satelitów) z różnych miejsc środowiska wyizolowanego (zawierającego odpowiednio rozlokowane anteny symulatora). To rozwiązanie musiałoby się opierać symulatorze który posiadałby funkcjonalność w zakresie:

- emitowania wielu sygnałów GPS jednocześnie
- emitowania sygnałów składowych jedynie z wybranych satelitów
- emitowania sygnałów składowych z dowolnie zadanymi i bardzo precyzyjnymi opóźnieniami

Nie istnieje obecnie takie urządzenie. Tak czy inaczej - zakładając podanie do odbiornika fałszywego zegara i jednocześnie owych sygnałów system nadal nie będzie funkcjonował poprawnie, ponieważ geometria środowiska wyizolowanego (anteny symulatora + odbiornik) oraz globu (satelity GPS + odbiornik) jest różna (problem został omówiony na początku rozdziału). Możliwe byłoby jedynie wygenerowanie prawidłowego sygnału dla jednej idealnej sytuacji położenia odbiornika w środowisku wyizolowanym, więc lokalizowanie ruchomego odbiornika przy pomocy takiego sygnału byłoby niemożliwe.

Dodatkowo - aby w sieci pomieszczeń zamkniętych zaaplikowanie urządzeń imitujących satelity GPS było skuteczne, urządzeń musiałoby być wiele - aby w każdym momencie kilka z nich znajdowało się w zasięgu odbiornika GPS. To ostatecznie powiększa rangę problemu do rozmiarów powodujących utratę podstaw do podążania obroną.

2. Obserwacja pozycji urządzenia mobilnego innymi metodami jedynie po to, aby następnie przekazać do niego odpowiednio spreparowany sygnał GPS. To

Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl



rozwiązanie budzi nowe problemy związane z obserwacją przemieszczającego się urządzenia czy osoby (kamera, RFID, itp). Dodatkowo - ogranicza system do obsługi jedynie jednego takiego urządzenia. Jedyną zaletą jest fakt, że urządzenie (poza odbiornikiem GPS) nie musi posiadać innych interfejsów komunikacyjnych ani sensorów.

Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

3. Repeatery GPS

Problem braku sygnału GPS w pomieszczeniach jest niekiedy rozwiązywany przez instalowanie tzw. repeaterów GPS. Są to urządzenia umożliwiające retransmisję sygnału GPS bez ingerowania w jego treść. Posiadają antenę odbiorczą instalowaną w miejscu, gdzie zasięg GPS jest dobry, oraz nadawczą - instalowaną tam, gdzie jest zapotrzebowanie na sygnał. Repeatery znajdują przykładowo zastosowanie na statkach morskich (wzmacnianie ogólnie dostępnego sygnału), w samolotach (dostarczanie sygnału do urządzeń nawigacyjnych wysokiej niezawodności) itp.

Przykłady repeaterów GPS:

- ROGER GPS repeater, <http://www.gps-repeating.com>
- Clipper GPS Repeater (wersja mobilna), http://www.nasamarine.com/proddetail.php?prod=Clipper_GPS
- <http://www.gpsnetworking.com/>

Problem eliminujący takie rozwiązanie jako polepszające precyzję odczytu dla urządzeń mobilnych stanowi fakt, że repeater GPS emituje wyłącznie pozycje swojej anteny odbiorczej i to ona jest przyjmowana jako własna przez odbiorniki mobilne.

Wnioski

Rozwiązanie nie jest przydatne w zastosowaniach, gdzie celem jest polepszenie sygnału. Istnieje jednak możliwość wykorzystania wielu repeaterów niewielkiej mocy, których anteny nadawcze będą instalowane w wielu miejscach systemu pomieszczeń. Pozycja może być więc odczytywana z kolejnych anten z założeniem, że odbiornik otrzyma i poprawnie odbierze sygnał najmocniejszy (z najbliższej anteny). Pozycja dokładna urządzenia przemieszczającego się na trasie pomiędzy antenami nadawczymi musiałaby być określona przy użyciu innych metod (także jako różnicowa).

4. Rozwiązania mające na celu udoskonalanie pozycjonowania GPS zgłoszone we wnioskach patentowych

W ramach dodatku do analizy dokonano przeglądu baz patentów związanych z lokalizowaniem przestrzennym na bazie GPS i technologii pokrewnych. Przeglądu dokonano w celu otwarcia możliwości nakreślenia ewentualnej innej drogi rozwiązania problemu. Pobudką poboczną była identyfikacja możliwych do wykorzystania rozwiązań technicznych postulujących prowadzenie emisji sztucznego sygnału GPS na jego natywnej częstotliwości - dokonanej bez naruszania prawa i bez powodowania zakłóceń dla postronnych odbiorników GPS.

Przegląd bazy zgłoszeń patentowych miał także na celu identyfikację potencjalnie przydatnych rozwiązań technicznych powiązanych z polepszaniem precyzji lokalizacji GPS.

Identyfikacja wartościowych rozwiązań pozwoli być może kontynuować rozważania nad rozwiązaniem problemu w oparciu o nie. Brak takich rozwiązań może także utwierdzić w bezcelowości realizowania zadania obecnie obraną do analizy drogą - w związku ze zbyt dużą ilością problemów technicznych czy obecnością barier prawnych.

Rozpatrzono łącznie 146 zgłoszeń, ciekawsze rozwiązania (z pominięciem pomysłów przedstawiających rozwiązania bardzo podobne) ujęto poniższym zestawieniu:

(JP60093364) Polepszenie odbioru GPS poprzez zastosowanie zespołu odbiorników z antenami kierunkowymi. Anteny były sterowane mechanicznie przez system poszukujący optymalnej siły sygnału. W wyniku analizy zaniku sygnałów z anten kierunkowych możliwe było określenie kierunku (ułożenia kąтового) obiektu przemieszczającego się, na którym zainstalowany był cały system. Znajomość prędkości obiektu (z innych źródeł, np. klasyczne wykorzystanie GPS) pozwalało na polepszenie poprawki jego pozycji. Rozwiązanie wykorzystuje wiele anten jednocześnie (każda służy do obserwacji jednego satelity). Do rozwiązania bieżącego zadania opracowanie nieprzydatne - brak możliwości dobudowania dodatkowych urządzeń w kliencie GPS.

(JP2013190437) Polepszenie odbioru GPS poprzez zastosowanie dodatkowego modułu odbierającego lokalnie emitowany sygnał na częstotliwości GSM. W rozwiązaniu czas i część sygnałów pobierane są z klasycznego GPS. Dodatkowo obliczane jest opóźnienie referencyjne tych samych sygnałów pokonujących drogę: satelita -> odbiornik stacjonarny o znanej pozycji-> nadajnik GSM-> odbiornik GPS w urządzeniu mobilnym. Do rozwiązania bieżącego zadania opracowanie nieprzydatne - zbyt słabe parametry propagacji GSM w pomieszczeniach, brak sygnału głównego (bezpośrednio od satelitów)

(EP2519835) Podniesienie precyzji ustalania pozycji GPS poprzez przeskalowanie systemu odbioru. Rozwiązanie polega na zastosowaniu wielu odbiorników i anten GPS zlokalizowanych w miejscach nieznacznie od siebie odległych na jednym urządzeniu mobilnym (przesunięcia anten względem siebie są znane). Następnie wykonywane są obliczenia uśredniające wyniki (z uwzględnieniem znanych przesunięć). Rozwiązanie nieprzydatne - dostępny jest tylko jeden odbiornik GPS oraz nie ma gwarancji otrzymania sygnału GPS w dowolnym miejscu systemu zamkniętych pomieszczeń, do jakiego poszukiwane rozwiązanie jest przeznaczone.

(CN103033834) Podniesienie precyzji pozycjonowanie GPS poprzez rozmieszczenie punktów referencyjnych LED. W przestrzeni otaczającej urządzenie mobilne umieszczane są punkty świetlne, których obecność jest identyfikowana poprzez sensor optyczny dołączony do tego urządzenia. Różne częstotliwość światła LED lub kody nadawane przez LED pozwalają identyfikować punkty. Informacją dodatkową wykorzystywaną przy dokonaniu pomiaru jest siła odczytanego sygnału świetlnego (natężenie światła), umożliwiającą określenie przybliżonej odległości od niego. W połączeniu z danymi klasycznego GPS obliczana jest pozycja. Rozwiązanie także nie przydatne - o ile sensor można zastąpić popularną dziś w urządzeniach mobilnych, o tyle technologia pozwoli jedynie na orientacyjne ustalenie pozycji (np. identyfikację pomieszczenia) i nie polepszy pozycji odczytanej z klasycznego GPS (co znajduje się wśród wymagań).

(KR20120035840) Wytworzenie mikrosystemu GPS przeznaczonego do lokalizacji indoors. System bazuje na dedykowanym odbiorniku i 4 nadajnikach umieszczonych w środowisku. System umożliwia także pozycjonowanie globalne, ponieważ nadajniki otrzymują pozycję zewnętrznego i zgodnego z systemem GPS-NAVSTAR odbiornika i preparują własny sygnał dla mikro-systemu z uwzględnieniem poprawek do tej pozycji.

(US20110187591) System hybrydowy pozycjonowania GPS. Rozwiązanie oprócz odbiornika GPS wykorzystuje interfejsy IEEE 802.11 poprzez wykalibrowanie mocy nadawczej innych interfejsów (przystosowanych do pracy w połączeniach ad-hoc) a następnie pomiar mocy odbieranego sygnału. Informacja pozyskiwana tą drogą jest wykorzystywana do polepszania pozycji dostępnej za pomocą GPS. Brak możliwości wykorzystania z uwagi na bardzo niską precyzję pomiaru.

Powyższe zgłoszenia patentowe będą warte uwagi w przy poszukiwaniu innych metod rozwiązania postawionego problemu - zapewne poprzez zmodyfikowanie urządzenia mobilnego będącego przedmiotem pozycjonowania. Konieczne zapewne będzie dodanie dodatkowych urządzeń (sensorów), pozwalających na faktyczne podniesienie precyzji pozycjonowania w sytuacji gdy urządzenie znajduje się w miejscu, gdzie sygnał GPS zanika lub przez dłuższy czas nie ma go wcale. Przegląd zarejestrowanych patentów pozwala stwierdzić, że nie doszło do udanych i jawnych prób wytworzenia kompletnego sztucznego środowiska dla odbiornika GPS, które spełniłoby wymagania przyjęte do założeń dla niniejszej analizy. Potwierdza to ostatecznie tezę, iż do rozwiązania problemu trzeba szukać możliwości bazujących na założeniach innych.

Materiały źródłowe

- [1] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, "Global Positioning System (GPS). Theory and practice," Wien: Springer, 1992, 1992
- [2] F. Gustafsson and F. Gunnarsson, "Mobile positioning using wireless networks: possibilities and fundamental limitations based on available wireless network measurements,"
- [3] Narkiewicz J., „Globalny System Pozycyjny GPS. Budowa, działanie, zastosowanie”, WKŁ, Warszawa 2003
- [4] El-Rabbany A., "Introduction to GPS", Artech House, London 2002
- [5] http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html
- [6] <http://www.cage.curtin.edu.au/~will/getpdf9.pdf>
- [7] <http://gpstraining.com/downloads/MANUALS-QUICK%20GUIDES/RTKTrainingRevD.pdf>
- [8] <http://www.insidegnss.com/node/3659>
- [9] http://pl.wikipedia.org/wiki/Pasmo_L
- [10] <http://labsat.co.uk/index.php/en/products/satgen-simulator-software>