

Józef SUDA¹

LOKALIZACJA POJAZDÓW W SYSTEMACH ZARZĄDZANIA MIEJSKĄ KOMUNIKACJĄ PUBLICZNĄ

Streszczenie. W referacie omówiono przesłanki tworzenia systemów zarządzania ruchem drogowym i systemów zarządzania pojazdami komunikacji publicznej. Szczególną uwagę poświęcono funkcjom lokalizacji pojazdów komunikacji publicznej. Zaprezentowano rozwiązania zagraniczne i rozwiązanie krajowe. Przedstawiono koncepcję budowy systemu zarządzania autobusami w Warszawie.

AUTOMATIC VEHICLE LOCALISATION IN PUBLIC FLEET MANAGEMENT SYSTEMS

Summary. In the paper, the bases for the creation of road management systems and public fleet management systems were presented. The special attention was devoted to public fleet vehicles' localisation functions of these systems. Both domestic and foreign solutions were discussed. Finally, the concept of creation of public bus fleet management system in Warsaw was presented.

1. WPROWADZENIE

Współczesne społeczeństwo przykłada coraz większą wagę do swojego bezpieczeństwa i mobilności, nie znajduje to jednak odzwierciedlenia w malejącym rozwoju infrastruktury drogowej. Pomimo braku sprawdzonego sposobu minimalizującego uciążliwość ruchu drogowego, podejmowane są działania administracyjne i ekonomiczne umożliwiające efektywne przemieszczanie osób i towarów przy zachowaniu akceptowanego poziomu bezpieczeństwa. Podstawowe cele działania to:

- unikanie ruchu możliwego do uniknięcia,
- rozgęszczanie ruchu, którego uniknąć się nie da,
- czynienie ruchu drogowego bardziej znośnym dla środowiska.

Zadaniami umożliwiającymi osiągnięcie tych celów są:

- optymalna informacja dla użytkowników dróg (przed i w czasie podróży),
- zwiększenie efektywności sterowania ruchem (sterowanie potokami pojazdów),
- ulepszenie infrastruktury drogowej,
- ulepszenie środków transportu publicznego.

¹ Zakład Sterowania Ruchem Drogowym, Wydział Transportu, Politechnika Warszawska, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel. + 22 660 7585, e-mail: jsu@it.pw.edu.pl

Pierwsze z tych zadań polega na wpłynięciu na użytkowników dróg w zakresie wyboru środków poprzez dostarczenie informacji o podróży. Warunkiem niezbędnym do osiągnięcia tego jest połączenie istniejących systemów (z których każdy wykonuje tylko jedno określone zadanie) w system zarządzania ruchem drogowym w mieście lub regionie.

System taki łączy informacje dostarczane przez poszczególne podsystemy, aby wytworzyć łączną informację dla użytkownika dróg, która ostatecznie umożliwić ma aktywny wybór środka transportu. Analizy wykazały [1], że w obszarach, gdzie taki system zainstalowano, około 70% użytkowników dróg jest świadomych istnienia takich źródeł informacji, a 20% informacji tych używa. Warunki potrzebne do osiągnięcia tego celu spełnione są przez zastosowanie systemu zarządzania ruchem.

2. POJĘCIE I ELEMENTY SYSTEMU ZARZĄDZANIA RUCHEM DROGOWYM

System zarządzania ruchem to zbiór zintegrowanych metod i środków oddziaływania na ruch na podstawie informacji o bieżącym stanie ruchu i środowiska. Celem systemu zarządzania jest zapewnienie optymalnego przepływu (mobilności) osób i towarów na obszarze jego oddziaływania [1]. Istotną cechą systemu zarządzania jest to, że składa się on z wielu systemów cząstkowych o różnym stopniu oddziaływania na ruch i pozyskiwania informacji. Integrowane w ramach systemu zarządzania systemy cząstkowe wprowadzać można w dowolnej liczbie i kolejności. Niektóre systemy wymagają znajomości aktualnego położenia pojazdów.

Systemy lokalizacji pojazdów (AVL) stanowią zatem jeden z podstawowych elementów systemu zarządzania ruchem pojazdów i ich dobór stanowi o jakości systemu zarządzania. Systemy lokalizacji dostarczają podstawowej informacji o współrzędnych położenia pojazdu i pozwalają na określenie parametrów jego ruchu.

Obecnie przedsiębiorstwa komunikacji publicznej w wielu miastach, a także firmy transportowe, dysponują systemami umożliwiającymi zarządzanie taborem pojazdów. Zwykle są to skomputeryzowane systemy komunikacyjne umożliwiające lokalizację pojazdów, transmisję danych oraz łączność foniczną pomiędzy pojazdami a centrum dyspozytorskim.

3. CELE I ZADANIA ZARZĄDZANIA POJAZDAMI KOMUNIKACJI ZBIOROWEJ

Najogólniejszym celem zarządzania pojazdami komunikacji zbiorowej jest poprawa efektywności jej funkcjonowania. Należy przy tym dążyć do spójności celów sterowania eksploatacją transportu komunalnego z celami zarządzania całością ruchu miejskiego. Do głównych celów zarządzania ruchem w komunikacji zbiorowej należą:

- zapewnienie punktualności i regularności kursowania pojazdów,
- utrzymanie ciągłości ruchu i wysokiej niezawodności działania,
- podniesienie bezpieczeństwa, skrócenie czasu usuwania skutków awarii, wypadków itp.,
- zapewnienie pasażerom informacji o charakterze okresowym (np. rozkładzie jazdy), jak i bieżącym (np. czas przybycia do najbliższego przystanku, zakłócenia i przerwy w ruchu),
- ułatwienie pracy służbom eksploatacyjnym oraz zmniejszenie zmęczenia wywołanego pracą, a zwłaszcza zmudnymi czynnościami rutynowymi,
- lepsze wykorzystanie taboru będącego w dyspozycji przedsiębiorstwa, zwiększenie zdolności przewozowej linii i sieci komunikacji zbiorowej.

Typowa konfiguracja sprzętowa systemu zarządzania pojazdami obejmuje:

- urządzenia zainstalowane w pojazdach,
- centrum komunikacyjne zapewniające: transmisję danych i łączność foniczną,

- centrum dyspozytorskie odpowiedzialne za właściwą realizację celów,
- urządzenia infrastruktury drogowej pełniące funkcje sterujące, informacyjne, transmisyjne.

4. PIERWSZE REALIZACJE SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA RUCHEM POJAZDÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Jako jeden z pierwszych, w Europie, uruchomiono system „CITYLOC”, wprowadzony przez RATP (Regie Autonome des Transports Parisiens - Autonomiczny Zarząd Transportu Paryskiego). Przedsiębiorstwo eksploatuje codziennie ok. 4 000 autobusów, przewożących ok. 3 miliony pasażerów. Około tysiąca spośród tych autobusów jeździ w samym Paryżu, pozostałe poruszają się w promieniu ok. 35 km od centrum.

Przesłankę budowy systemu stanowiło wymaganie wspomnienia pracy kierowcy zarówno w przypadku awarii pojazdu, jak i agresji ze strony pasażerów. W tych ostatnich przypadkach konieczna była szybka interwencja. Usprawniła ją dokładna pozycja alarmującego autobusu i pojazdów interwencyjnych. Od roku 1970 cały tabor RATP wyposażony jest w system łączności radiowej, a od roku 1993 w łączność truckingową [3].

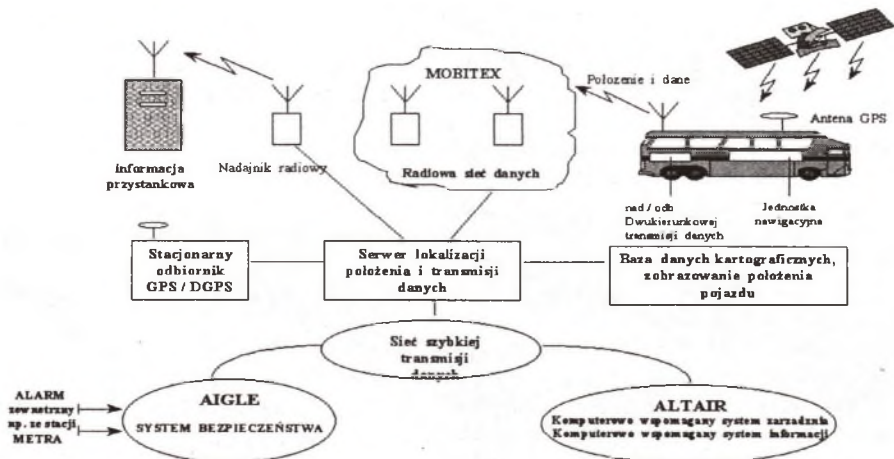
W latach 90. podjęto pierwsze prace zakładając, aby system lokalizacji umożliwiał:

- ciągłą lokalizację pojazdu w obszarze zurbanizowanym,
- lokalizację niezależną od planowej trasy pojazdu,
- średnią dokładność pomiaru w dowolnym miejscu od 10 do 20 metrów,
- maksymalnie możliwe wykorzystanie istniejących, standardowych rozwiązań.

RATP zdecydował przeprowadzić próby z systemem GPS-Navstar, stosując uzupełniające urządzenia w celu zapewnienia wymienionych wyżej wymagań. Osiągnięto dokładność rzędu 10 metrów, a bardzo często znacznie wyższą przy wykorzystaniu sprzętu (odbiornik GPS, przetworniki, komputery itp.) standardowego w wykonaniu przemysłowym.

Uzyskane wyniki stanowiły przesłankę dla budowy:

- systemu sterowania ruchem autobusów (SAE - Systeme d'Aide a l'Exploitation - System Pomocy Eksploatacyjnej),
- systemów informowania pasażerów (SIV - Systeme d'Information des Voyageurs) na przystankach autobusowych i wewnątrz pojazdów.



Rys. 1. Architektura Systemu „CITYLOC”

Fig. 1. „CITYLOC” System structure

Podstawowym założeniem budowanego systemu było uzyskanie lokalizacji bezwarunkowej. Niezależnej zarówno od położenia początkowego, jak i od trasy pojazdu.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że w miejskich warunkach Paryża satelity widzialne są średnio przez 40 do 50 % czasu. W celu uzyskania ciągłości lokalizacji niezbędne się stało uzupełnienie systemu dodatkowymi urządzeniami.

W rezultacie przeglądu możliwych w zastosowaniu urządzeń wybrano:

- przetwornik odometryczny typu „licznika obrotu kół”, stosowany w autobusach, zamocowany na wyjściu skrzyni biegów,
- przetwornik kierunku typu żyroskopu piezoelektrycznego,
- przetwornik kierunku ruchu: kontakt elektryczny dołączony do skrzyni biegów.

Uwzględniając jakość zastosowanych przetworników, uzyskano dokładność oszacowania położenia wynoszącą +/-10 m na dystansie 1 000 metrów (tzn. 1%). Dokładność ta była dla projektantów dostateczna szczególnie w aspekcie uzyskania korzystnego stosunku ceny i efektu w porównaniu z dokładnością otrzymaną przez GPS.

Stwierdzono doświadczalnie, że w ponad 95% przypadków osiągnięta dokładność wynosiła 5 do 10 metrów, a w pozostałych 5% nie była gorsza niż 20 m. Projekt „CITYLOC” został podzielony na dwa systemy posiadające wspólną lokalizację i serwer transmisji danych:

- system AIGLE pozwalający na lokalizację autobusów, w których występują problemy oraz lokalizację pojazdów interwencyjnych,
- system ALTAIR wspomagający eksploatację linii autobusowych (SAE) umożliwiający sterowanie ruchem pojazdów oraz systemem informacji pasażerów (SIV) realizowany:
 - na przystankach autobusowych za pomocą wskazywania czasu oczekiwania w minutach (informacje są aktualizowane co 30 s),
 - wewnątrz autobusów za pomocą wskazania najbliższego przystanku, sprzężony z systemem informacji dźwiękowej.

5. WARSZAWSKIE REALIZACJE NADZORU RUCHU TRAMWAJÓW „SNRT 2000”

Przedsiębiorstwo Tramwaje Warszawskie wyposażyło wszystkie posiadane składy tramwajowe (ok.450 szt.) w przewoźne terminale firmy Infotron oraz zbudowało stanowisko dyspozytorskie w centrali Nadzoru Ruchu, będące podstawą działania Systemu. System zbudowany został na bazie, uruchomionej w 1996 roku, systemu „LARUS” Izraelskiej firmy Tadiran.

System SNRT 2000 został zaprojektowany w celu łączności fonicznej i transmisji danych oraz dostarczenia infrastruktury umożliwiającej nadzór taboru liczącego kilkaset pojazdów z jednego centrum dyspozytorskiego, w tym:

- centralne zbieranie bieżąco aktualizowanych danych dotyczących lokalizacji pojazdów i przychodzących od nich zgłoszeń fonicznych i alarmowych,
- przesyłanie zebranych danych do centrum dyspozytorskiego,
- zobrazowanie operatorom w centrum dyspozytorskim obszernych danych o stopniu jakości realizowanych usług transportowych,
- przechowywanie danych dotyczących przewozów i tworzenie różnych raportów bazujących na tych danych,
- kierowanie do pojazdów rozkazów i związanych z nimi danych,
- zapewnienie łączności fonicznej pomiędzy dyspozytorami a kierowcami,
- poprawę bezpieczeństwa przez zapewnienie szybkiego, skutecznego i niezawodnego zgłaszania alarmów w przypadku zagrożenia.

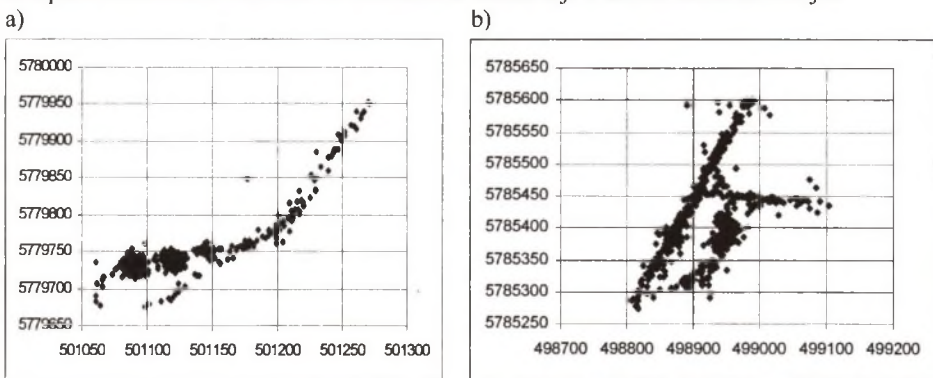
Każdy pociąg tramwajowy posiada odbiornik GPS, który umożliwia lokalizację z częstotliwością 10 razy na sekundę. Wyznaczoną w ten sposób pozycję do centrum nadzoru przekazuje odpytywane cyklicznie radio. Informacja z pozycją przesyłana do centrum nosi nazwę depechy nawigacyjnej. Przesyłana jest ona co 3 minuty.

W depechy nawigacyjnej przekazanej z pociągu tramwajowego zawarte są podstawowe informacje o jego aktualnej pozycji, nazwie zespołu przystankowego, w obrębie którego tramwaj się znajduje, oraz czasie wysłania depechy. Wszystkie otrzymywane informacje są archiwizowane w centrum nadzoru ruchu. Pozycja pojazdu zawarta w depechy jest określana w płaskim układzie współrzędnych x, y. Przykład depechy nawigacyjnej zaprezentowano na rysunku 2.



Rys. 2. Przykład depechy z pozycją tramwaju
Fig. 2. An example of tramway's position wire

Analizując dane z odbiorników GPS umieszczonych w tramwajach określono, jaką w praktyce dokładność zapewnia system GPS-Navstar w obszarach zurbanizowanych. Między innymi analizowana była dokładność lokalizacji tramwaju podczas postoju. Do oceny wybrano cztery pętle tramwajowe: „Annapol”, „Wyścigi”, „Pl. Narutowicza” i „Banacha”. Umożliwiło to porównanie wyników lokalizacji na pętlach położonych w centrum miasta, jak i na przedmieściach. Oceniano też dokładność lokalizacji w czasie ruchu tramwaju.



Rys. 3. Zobrazowanie położenia tramwajów w rejonie pętli „Wyścigi” (a) i pętli „Plac Narutowicza” (b) [5]

Fig. 3. Tramways' position illustration in terminus „Wyścigi” area (a) and terminus „Plac Narutowicza” area (b)

Pętla „Pl. Narutowicza” zlokalizowana jest w centrum miasta i otoczona wysokimi budynkami. Pętla „Wyścigi” znajduje się w „otwartym” terenie na peryferiach. Tabela 1 prezentuje wyniki analiz dokładności lokalizacji tramwajów na pętlach.

Tabela 1

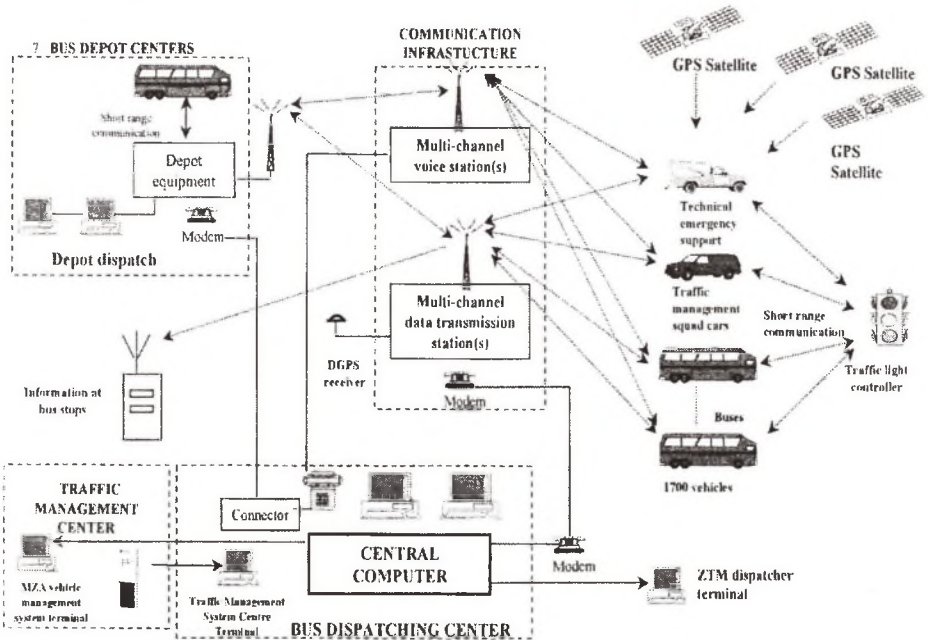
Dokładność oszacowań położenia tramwaju

| Pętla tramwajowa | Liczebność próby | Błąd położenia | |
|------------------|------------------|---------------------|----------------------------|
| | | Wartość średnia [m] | Odchylenie standardowe [m] |
| Annapol | 374 | 10,45 | 8,1 |
| Wyścigi | 560 | 10,25 | 7,59 |
| Pl. Narutowicza | 510 | 19,33 | 13,76 |
| Banacha | 297 | 13,11 | 10,65 |

Zródło: Materiały seminarium dyplomowego A. Cieślaka studenta specjalizacji Sterowanie Ruchem Drogowym Wydziału Transportu PW. Na podstawie telegramów z „SNRT 2000” [5]

6. KONCEPCJA SYSTEMU ZARZĄDZANIA RUCHEM POJAZDÓW MZA

System Zarządzania Ruchem Pojazdów Miejskich Zakładów Autobusowych w Warszawie będzie złożonym systemem organizacyjnym, informatycznym, informacyjnym, łączności i lokalizacji pojazdów stanowiącym element Systemu Centralnego Zarządzania Ruchem. System ten przewidziany jest dla 1700 pojazdów (autobusy, pogotowia tech., nadzór ruchu). Liczba pojazdów znajdujących się jednocześnie w ruchu nie przekroczy 1300.



Rys. 4. Koncepcja Systemu Zarządzania pojazdami MZA w Warszawie
Fig. 4. Concept of a MZA Warsaw Fleet Management System

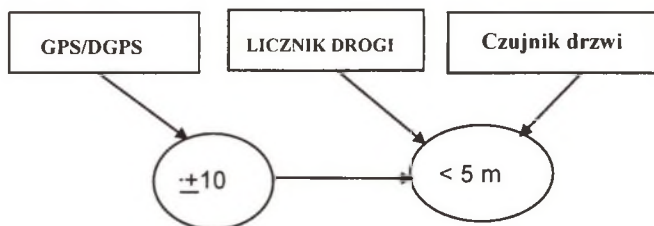
Zakłada się, że system będą tworzyły cztery podstawowe elementy funkcjonalne:

- Infrastruktura Komunikacyjna (łączność radiowa dalekiego i bliskiego zasięgu),
- Centrum Dyspozytorskie Nadzoru Ruchu,
- Stanowiska Zajezdniowe,
- Urządzenia Przewoźne, w tym odbiorniki GPS instalowane w autobusach, pogotowiach technicznych i radiowozach nadzoru ruchu.

Lokalizacja pojazdów w mieście realizowana będzie przy zastosowaniu procedury trzystopniowej. W pierwszym kroku zakłada się wykorzystanie ogólnie dostępnego systemu nawigacji satelitarnej GPS (DGPS). Informacja ta będzie służyła wstępnej lokalizacji i identyfikacji zespołu przystankowego, w rejonie którego pojazd się znajduje. Zobrazowanie położenia pojazdu na tablicy synoptycznej lub monitorach w Centrum Nadzoru Ruchu będzie realizowane na podstawie lokalizacji GPS-owej.

W następnym kroku położenie zostanie określone na podstawie sygnałów z licznika drogomierza. Ta informacja będzie podstawą dla podejmowanie decyzji przez autokomputer w pojeździe.

Trzecim krokiem określania (weryfikacji) położenia pojazdu jest analiza sygnałów z układu otwierania i zamykania drzwi, potwierdzającego obecność autobusu na konkretnym przystanku.



Rys. 5. Algorytm wyznaczania pozycji pojazdu
Fig. 5. The algorithm for calculating vehicle position

Urządzenia zainstalowane w pojazdach powinny pracować autonomicznie. Należy przez to rozumieć, że informacje o ewentualnych odchyleniach od rozkładu jazdy będą wyświetlane kierowcy nawet w przypadku braku łączności radiotelefonicznej z Centrum, a wszelkie dane dotyczące pracy pojazdu na trasie będą gromadzone w pamięci Urządzenia Przewoźnego i odczytane po powrocie do zajezdni. W trakcie wykonywania zadań autobus będzie realizować rozkład jazdy zadany przy wyjeździe z zajezdni lub będzie sterowany bezpośrednio z Centrum Dyspozytorskiego.

Autobusy podjeżdżając do skrzyżowań z sygnalizacją świetlną wymuszają będą priorytet przejazdu zależnie od zgodności z rozkładem jazdy i napełnieniem pojazdu. Informacje o godzinie przybycia mogą być wyświetlane pasażerom na przystanku.

7. PODSUMOWANIE

Do analiz metod lokalizacji w systemach zarządzania pojazdami wykorzystano informacje opublikowane w [4]. Zawierają one zestawienie 76 firm, oferujących systemy dla różnych środków transportu, takich jak: pojazdy ciężarowe, autobusy, pojazdy komunalne, pojazdy uprzywilejowane, taksówki i inne. Z analizy budowy systemów można wyciągnąć następujące wnioski dotyczące rozwiązań technicznych:

- brak jest jednoznacznych preferencji co do rodzajów rozwiązań systemów komunikacji,

- zdecydowanie preferowane jest wykorzystanie kanałów transmisji cyfrowej,
- najczęściej wykorzystywanym systemem lokalizacji pojazdów jest GPS.

Dodatkowe funkcje (poza lokalizacją pojazdów) realizowane w uruchomionych systemach to funkcja zapewnienia bezpieczeństwa i pomoc w wyznaczaniu trasy.

Sygnał satelitarny GPS jak każdy sygnały radiowy podlega zakłóceniom. Na zakłócenia najbardziej czułe są starsze odbiorniki, których anteny nie są wyposażone w odpowiednie filtry. Odbierają one często sygnały w paśmie, od 800 MHz do 2,5 GHz. Źródłem zakłóceń w tym paśmie częstotliwości może być wiele [6]. Najbardziej rozpowszechnionym źródłem są stacje przekaźnikowe telefonii komórkowej, których największe skupisko znajduje się na obszarach silnie zurbanizowanych. Przyczyną błędów lokalizacji jest też absorpcja sygnału GPS przez większość powierzchni, dlatego w obszarach zurbanizowanych ważnym źródłem zakłóceń jest wysoka zabudowa centrum, jak również niższa zabudowa przedmieść. Budowlane konstrukcje żelbetonowe w znacznym stopniu pochłaniają sygnał lub przesłaniają widoczność konstelacji. Ilustrują to pomiary wykonane w rejonie wiaduktu skrzyżowania ul. Chałubińskiego i Al. Jerozolimskich. Odbicia fal radiowych, powodujące wielotorowość sygnałów satelitarnych, a poprzez to wydłużenie czasu, w którym fala przebywa drogę od satelity do odbiornika, również miały wpływ na dokładność uzyskanych wyników.

Literatura

1. Suda J.: „Rozwój systemów zarządzania ruchem drogowym”, Materiały Konferencji Naukowo - Technicznej „Problemy komunikacyjne miast w warunkach zatłoczenia motoryzacyjnego”. Poznań 1997.
2. Suda J.: „New View on Traffic Management Systems” workshop in Ascom BV, 1998.07.10, (materiały nie publikowane) Arnhem, Holandia.
3. Chesnoy A., Bense D., Briolat C.: Radio positioning of Mobiles in a Densely Built up Urban Area and Applications to RATP Bus Fleet Management and Passenger Information. Materiały firmy SAGEM SA.
4. Scrase R.: Intelligent Fleet Management. ITS International - The journal of advanced transport infrastructure No13, Nov/Dec 1997 p.82-84
5. Cieślak A.: Materiały seminarium dyplomowego studenta specjalizacji Sterowanie Ruchem Drogowym Wydziału Transportu PW, 2002.
6. http://www.navi.pl/Zakl%C3%B3cenia_GPS

Abstract

The analysis of the systems' structures yields following conclusions concerning technical solutions:

- there is no unambiguously preferred solution to the choice of radio communication system,
- digital transmission channels are preferred the most,
- GPS is the most frequently applied vehicle localisation system.

Except for vehicle localisation, the additional functions realized by the employed systems include passengers and drivers safety and assistance in route choice.

GPS satellite signal is subject to disturbances as any other radio signal. This is due to GPS signal absorption by most of layers and deflections that create multi-way of signal. In the urban areas the important cause of atmospheric are high building in the city centre and low building in the suburbs.