

JANOWSKI Artur¹
SZULWIC Jakub²

Indykatory mobilne GIS w analizie ruchu miejskiego

WSTĘP

Technologiczna dostępność pozycjonowania GNSS (ang. *Global Navigation Satellite System*) w tym szczególnie GPS-NAVSTAR (ang. *Global Positioning System – NAVigation Signal Timing And Ranging*), szerokie wykorzystanie narzędzi i algorytmów z zakresu systemów informacji przestrzennej (GIS, ang. *Geographic Information System*) oraz potrzeba zaspokojenia oczekiwań społeczeństwa informacyjnego powoduje znaczący rozwój obsługi informatycznej korporacji taksówkarskich. Podjęcie w artykule tego tematu wiąże się z zauważalnym postępowaniem także w tym segmencie transportu indywidualnego w miastach. Wraz z informatyzacją korporacji taxi, agregacją przedsiębiorstw taksówkarskich w zakresie formalnym (łączenie korporacji) i platform zarządzających (wspólna obsługa zgłoszeń, korzystanie z kompatybilnych systemów obsługi pasażerów) pozwala na przełożenie pozycjonowania pojazdów taxi na analizę potoków i sieci transportowych w miastach.

W obszarze miejskim można wydzielić komunikację zbiorową i indywidualną. Specyfika transportu taxi polega na niejednoznaczności w przypisaniu do jednej z tych grup. Ze względu na ogólne przepisy ruchu drogowego oraz sposób korzystania z pasa drogowego można traktować taksówki jako transport indywidualny, jednakże występują sytuacje, gdy pasy komunikacji miejskiej (tzw. bus pasy) są udostępniane przynajmniej w części obszaru miasta dla taxi (Łódź, Warszawa: pasy bus+taxi). W zasadzie jest to jednak atut dodatkowy zwiększający możliwość wykorzystania analizy ruchu taksówek w badaniach i optymalizacji sieci transportowej miasta.

1. ANALIZA PROBLEMU

W opracowaniach związanych z modelowaniem transportu w miastach szczególne znaczenie społeczno-gospodarcze ma analiza transportu zbiorowego na obszarze miast [1, 2]. Dodatkowo jako podstawowy i jednocześnie najważniejszy parametr wpływający na modelowanie podróży wskazywana jest prędkość (średnia) jazdy. Parametr ten rzeczywiście ma decydujące znaczenie w kontekście planowania i oceny przepustowości oraz modelowania potoków ruchu dla rozwiązań obszarowych. Zasadniczo jednak celem modelowania oraz analizy przejazdu jest ostateczna pozytywna weryfikacja procesu podróży przez indywidualnego użytkownika systemu transportowego.

Podczas oceny podróży przez użytkowników przestrzeni miejskiej, korzystających z dostępnych środków transportu, występują dwa główne parametry służące do oceny jakości systemu transportowego: cena i czas przejazdu. Każdy użytkownik masowy [3] (rozumiany jako jednostka poszukująca dedykowanych dla siebie rozwiązań, tu jako pasażer korzystający z ogólnej przestrzeni użytkowej miasta w kontekście indywidualnego planowania podróży) samodzielnie definiuje graniczne wartości maksymalnej ceny i najdłuższego dopuszczalnego czasu przejazdu. Elementem wartościującym jest też praca włożona w realizację podróży, przy czym ten parametr najmniej poddaje się weryfikacji matematycznej. W sumie te trzy parametry mają bezpośrednie oddziaływanie na użytkownika masowego i zasadniczo występują równocześnie.

Aktualnie na rynku polskim funkcjonuje kilka firm zajmujących się budowaniem systemów zarządzania zgłoszeniami w korporacjach taksówkarskich (opartych na rozwiązaniach AVL i rządziej AVL-LBS; AVL: ang. *Automatic Vehicle Location*, LBS: ang. *Location-based services* [4, 5]).

¹ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, Instytut Geodezji, tel. 601 571 571, e-mail artur.janowski@geodezja.pl

² Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Geodezji, tel. 609 271 271 e-mail jakub.szulwic@geodezja.pl

Dla uproszczenia przekazu w artykule przyjęto oznaczenia AVL-TAXI i AVL-LBS-TAXI. W kontekście użytkowym podkreślane mogą być cechy odróżniające system dyspozytorski taxi wsparty na technologii AVL od realizacji opartych na rozwiązaniach głosowych czy radiowych. Takie porównanie zawsze wskazuje na większą wartość systemów AVL. Jednak porównania funkcjonujących systemów w technologii AVL, a tym bardziej AVL-LBS nie może już tak jednoznacznie wskazać najlepszego rozwiązania - kryteriów oceny jest zbyt wiele.

Współcześnie rozwijane są metody analizy sieci transportowej oparte o portale mapowe wykorzystujące zwrotnie informację z nawigacji w pojazdach. Algorytmy użyte w tych systemach nie są jawne, a przez to nie poddają się jednoznacznej weryfikacji i standaryzacji. Jednocześnie bezpośrednio odnoszą się do parametru prędkości, wykorzystując go jako podstawowy, a nawet jedyny parametr analizy. Fakt ten jest potwierdzany na ulicach z wyboistą nawierzchnią (np. kostka brukowa lub ubytki w jezdni), gdzie portale mapowe wykazują duże natężenie ruchu, a w rzeczywistości jest to jedynie lokalne spowolnienie ruchu wynikające z parametrów drogi. Przykład ten wybitnie wskazuje, że można stworzyć system, który korzysta z nowoczesnych sposobów pozycjonowania, ale przez zastosowanie zbyt ogólnych algorytmów nieprawidłowo realizuje proces analizy sieci drogowej. W efekcie system nie spełnia założeń pokładanych w narzędziach monitorujących ruch drogowy w taki sposób, by analizy uzyskane z użyciem wspomnianych narzędzi mogły służyć do planowania podróży na poziomie szczegółowości oczekiwanej przez użytkownika masowego.

Modelowanie przepustowości może odbywać się w oparciu o zbadanie sieci drogowej parametrem prędkości, jednak z uwzględnieniem występowania czynników ograniczających prędkość przejazdu. W literaturze przedmiotu występują analizy oparte na pomiarze natężenia ruchu, zajętości odcinka trasy, prędkości pojazdów w funkcji długości pojazdu [1].

W odniesieniu do analizy ruchu pojazdów osobowych, przy których długość nie wpływa tak istotnie na zagadnienie przepustowości, stosuje się także podejście uproszczone uzależniające opór odcinka drogowego od zmiennych, do których zalicza się natężenie ruchu, przepustowość i prędkość pojazdu w ruchu swobodnym [6].

W ruchu miejskim istotnym jest, aby prawidłowo oszacować w jego modelu efekt przeciążenia sieci drogowej lub wybranego odcinka. W momencie tym powstaje sytuacja, która nie poddaje się analizom sieciowym a ma charakter punktowej lub liniowej nieciągłości ruchu. Zagadnienie to w XX wieku było szeroko analizowane i przykłady są dostępne w literaturze [7]. Oczywiście podążając w kierunku tworzenia modelu sieci transportowej, uwzględniającego możliwie wiele elementów odnoszących się do rzeczywistej sytuacji drogowej, można uwzględnić także inne parametry: klasę techniczną drogi czy uprzywilejowanie transportowe. Z doświadczeń eksperymentalnych wynika jednak, iż modele te powinny być weryfikowane i korygowane w oparciu o pomiary oparte o stacjonarne i permanentne punkty pomiarowe (pętle indukcyjne, systemy fotorejestracji). Jednakże poprawną aproksymację stanu terenowego w modelu sieci drogowej daje dopiero umieszczenie w danych wejściowych odpowiednio licznych przejazdów testowych lub kalibrujących/weryfikujących. Ten typ danych jest wprost dostępny przy wykorzystaniu rejestracji pozycji AVL (z uwzględnieniem dostępności pozycjonowania [8]) oraz usług wspartych na LBS wraz z przypisanym do użytkownika ruchu niepowtarzalnym w czasie i przestrzeni identyfikatorem oraz znacznikiem czasu. Wówczas w modelu powstają **indykatory mobilne**, z których każdy jest dostępny dla wybranej przestrzeni (w sensie georeferencyjnym) i dla zadanych warunków czasowo-zdarzeniowych (występujących w danych z minionych epok obserwacyjnych). Infrastruktura terenowa (nie tylko dla ruchu kołowego, ale też transportu szynowego na terenie miast) może być pozyskana z materiałów kartograficznych (np. zasób urzędowy geoportal.gov.pl, ewentualnie portali mapowych typu Open Street Map) lub z odwołaniem się do pomiarów z użyciem precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego [9].

W przypadku pozycjonowania z wykorzystaniem taksówek na modelowanie podróży składają się elementy drogi związane z ich dojazdem w celu zabrania pasażera oraz przejazdu z pasażerem z punktu początkowego do końcowego podróży. Do parametryzacji i oceny tych dwóch odcinków drogi należy użyć dwóch różnych algorytmów celu. Przy przejeździe po pasażera istotny jest czas,



na jaki została zamówiona taksówka: termin odroczone lub jak najszybszy. Przy przejeździe z pasażerem ocena jest wyrażona funkcją czasu i ceny. Możliwe jest oczywiście stosowanie do obydwu tych typów przejazdu takich samych algorytmów, jednak konieczne jest zastosowanie wagowania parametrów.

Obszar transportu związany ze świadczeniem usług taksówkarskich może być pod względem logistycznym i geoinformatycznym zagadnieniem istotnym nie tylko w kontekście poprawy funkcjonalności oraz przyspieszenia obsługi klienta. Cennym atutem jest możliwość permanentnej analizy potoków ruchu i przepustowości ulic na obszarach miejskich.

W literaturze można odnaleźć przykłady z wykorzystaniem pojazdów dedykowanych [10], ale opracowania te kierują się raczej w stronę optymalizacji floty pojazdów, diagnostyki technicznej niż analizy sieci drogowej miasta jako organizmu. Odpowiednio wyposażone pojazdy poddające się sparometryzowanej agregacji mogą jednak pełnić rolę indyktorów mobilnych GIS, o ile zachowane zostaną dodatkowe procedury filtrujące dane. W każdym przypadku włączenia pojazdów do systemu monitorowania sieci drogowej należy zachować parametr związany z typem źródła generującego dane AVL, aby model analityczny nie został obciążony negatywnymi cechami przypisanymi/generowanymi przez określoną grupę indyktorów mobilnych. Wśród kwalifikatorów i parametrów negatywnych można wymienić przynajmniej: uprzywilejowanie w przypadku pojazdów służb ratowniczych, liczne i przypadkowe postoje we flocie kurierskiej, cykliczne postoje oraz uprawnione strefy przejazdowe i stochastycznie nieprzeciętne wymiary pojazdów zbiorowej komunikacji autobusowej, niekompatybilne trasy przejazdów pojazdów szynowych w przestrzeni miejskiego ruchu kołowego. Dlatego autorzy artykułu wskazują na wykorzystanie grupy pojazdów taxi jako zbioru estymującego przepustowość i strukturę sieci tras drogowych w mieście. We flocie taxi nie tylko zaobserwowane zostały cechy powielające zachowania ogółu kierowców, ale także inne parametry (wymiar pojazdów, prędkość jazdy, uprzywilejowanie) są zgodne ze standardowym obrazem użytkownika masowego (uczestnika drogowego ruchu kołowego). Dodatkowo łatwo można wyeliminować w analizach sytuacje, gdy dane generowane przez indyktor mobilny nie powinny być wliczane do analiz (np. postoje w oczekiwaniu na pasażera lub na postoju taxi, zjazd do bazy, przejazd awaryjny itp.) i są już w momencie obsługi systemu od strony indykatorka mobilnego ograniczane przez użytkownika (zestaw opcji i zdarzeń drogowych). Taka koncepcja systemu w technologii AVL-LBS-TAXI pozwala na przekazywanie do centrum zarządzającego informacji o zdarzeniach systemowych i drogowych w postaci komunikatów dostępnych w zdefiniowanym schemacie w module będącym po stronie użytkownika drogi (indykator mobilny). Możliwe jest więc uzupełnienie mapy zdarzeń drogowych o dane przesłane z sieci drogowej a zaobserwowane przez taksówkarzy (np. brak przejazdu, kolizja lub zdarzenie wymagające udziału służb ratowniczych). Tak skonfigurowany system AVL-LBS-TAXI może podnieść bezpieczeństwo drogowe [11].

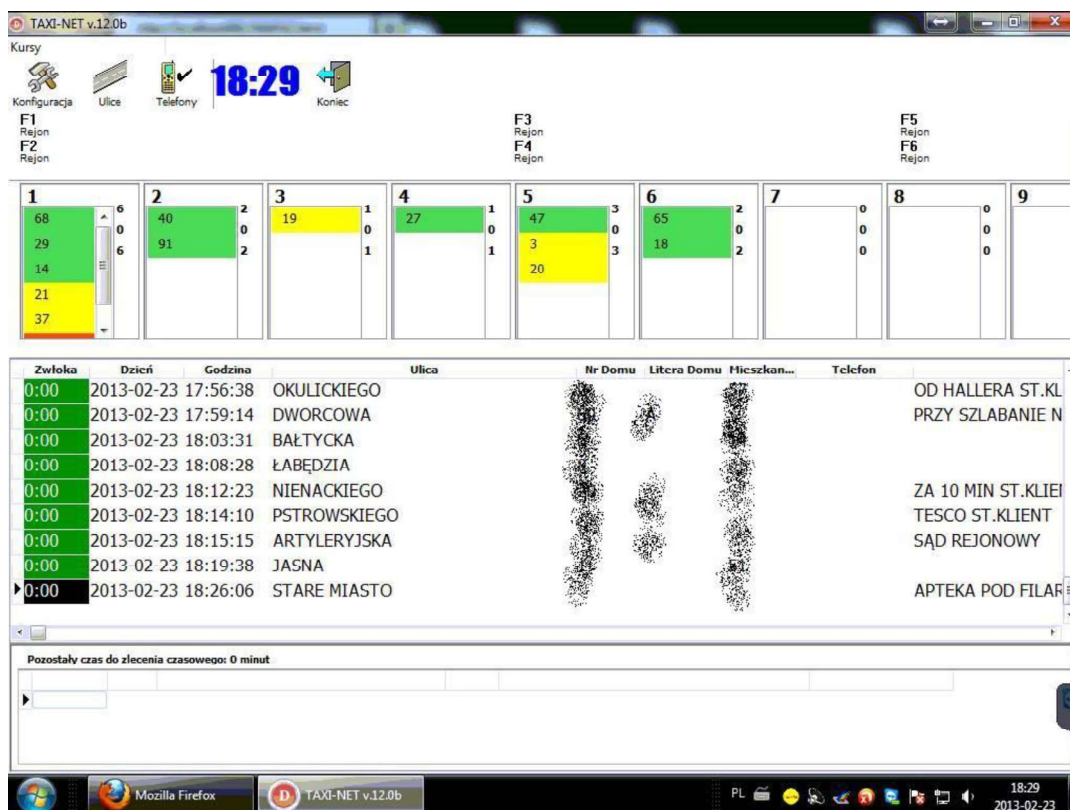
2. CECHY SYSTEMU

Zasadnicza budowa systemu AVL-LBS-TAXI opiera się na trzech modułach: zarządzającym w dyspozytorni, terminalowym w taksówce oraz integrującym.

Zadaniem **modułu zarządzającego** jest wyposażenie dyspozytorni w informacje użyteczne logistycznie:

- lista zrealizowanych, realizowanych i przyjętych do realizacji zleceń,
- geolokalizacja pojazdów korporacji wraz z ich rejonizacją, statusem (zajęty, wolny, w drodze po pasażera etc.) oraz opcjonalnej informacji o zdarzeniu drogowym,
- rejestracja i identyfikacja zamówień (np. dla połączeń telefonicznych CLIP),
- geokodowanie i geoprocessing zleceń transportowych dla taksówek.



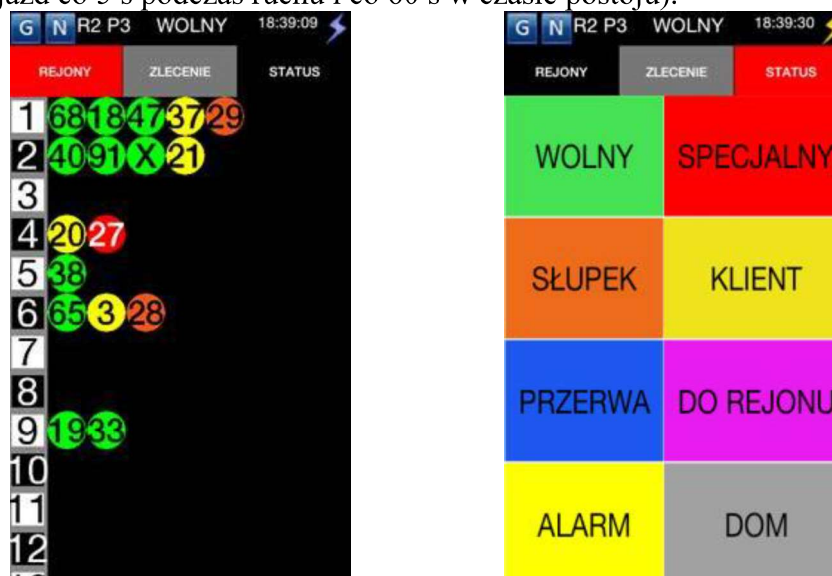


Rys. 1. Widok modułu zarządzającego - wersja z12.0b z roku 2013: podgląd zleceń i obsługa połączeń

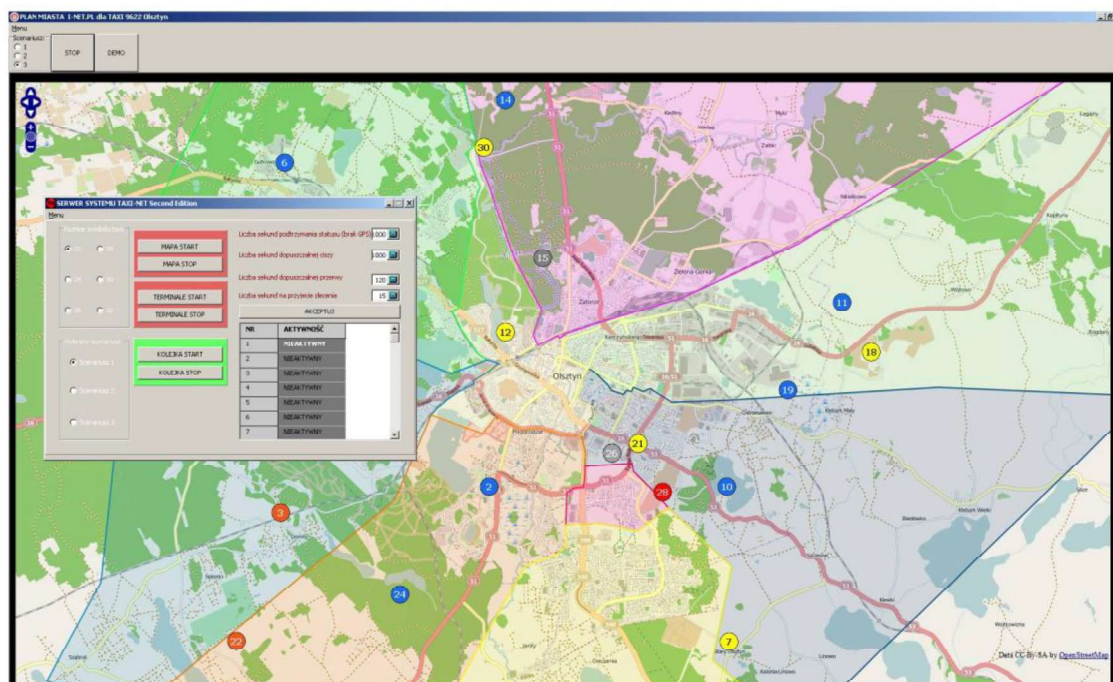
Moduł terminalowy zapewnia:

- komunikację z innymi modułami systemu przez medium internetowe,
- lokalizację przestrzenną,
- określenie statusu pojazdu (zajęty, wolny, w drodze po pasażera etc.),
- obsługę zdarzeń drogowych i komunikatów alarmowych,
- przyjmowanie zleceń.

Obecnie testowany moduł terminalowy pracuje pod kontrolą Android OS i zapewnia ekonomiczną transmisję internetową (przeciętnie 1,2 MB na 12h pracy z periodyzacją wysyłania współrzędnych lokalizujących pojazd co 5 s podczas ruchu i co 60 s w czasie postoju).



Rys. 2. Widok modułu terminalowego: taksówki w rejonach (przydzielone bezpośrednio) oraz statusy możliwe do przekazania do centrum zarządzającego.



Rys. 3. Panel konfiguracyjny modułu integrującego: konfiguracja współpracy modułu terminalowego i zarządzającego.

Moduł integrujący jest pośrednim w komunikacji dwóch pozostałych modułów. Zapewnia:

- dostarczenie parametrów wspierających ocenę ryzyka przyjęcia nowego zlecenia (weryfikacja zlecenia w oparciu o historię zleceń z przypisanych do zarejestrowanego klienta, numeru telefonu lub adresu),
- monitorowanie realizacji zleceń bieżących i oczekujących, w tym dedykowanych i niestandardowych, przewozów ryczałtowych,
- wsparcie nawigacyjne w sytuacjach niejednoznacznych przestrzennie,
- statystykę i analizę statystyczną zleceń,
- sparametryzowany zapis lokalizacji chwilowej indyktorów mobilnych tj. czasu (UTC) z serwera modułu, współrzędnych BL (WGS84), prędkości, azymutu.

Ostatnia wskazana możliwość może być mniej istotna z punktu widzenia korporacji, ale zasadniczo to ona właśnie stanowi podstawę dla prognoz analitycznych związanych z siecią transportu kołowego miasta.

Moduł ten dodatkowo, w oparciu o komunikację z modułem terminalowym, automatycznie odłącza pojazdy nie podtrzymujące komunikacji (brak przekazania pozycji przez zadany czas lub brak odpowiedzi na wysłane zlecenie). Moduł odpowiada za zmiany przydziału do rejonów oraz wzajemne kolejkovanie zleceń i pojazdów. Ze względu na ograniczoną precyzję pozycjonowania satelitarnego odbiorników samochodowych i związaną z tym możliwą oscylację pozycji między rejonami, moduł zawiera procedury weryfikacji przydziału rejonu przez wysłanie zapytania do kierowcy. Funkcjonalność ta jest aktywna tylko w strefach granicznych rejonów parametryzowanych jako strefa buforowa. Ta standardowa funkcjonalność GIS jest jednym z wielu algorytmów wykorzystywanych w systemie.

Referencją przestrzenną dla modułu integrującego oraz narzędziem wizualizacyjnym zdarzeń dla modułu dyspozytorskiego jest serwis Open Street Map. Wykorzystanie tego rozwiązania zgodnie z licencją OSM wymusiło stworzenie dedykowanego serwera HTTP.

Wstępny model sieci transportowej zbudowany w przestrzeni euklidesowej staje się bliższy rzeczywistości dopiero przez wsparcie na analizach w przestrzeni topologicznej. Założeniem jest zastosowanie teselacji Woronoja, w której centra są zdefiniowane jako punkty zmaksymalizowanej konwergencji strumieni pojazdów. Optymalizacja liczby centrów może być realizowana na podstawie

arbitralnego przyjęcia granicznych wartości natężenia ruchu. Docelowo model sieci transportowej może opierać się na modelu topologicznym wspartym na grafach skierowanych.

Istotnym również jest lokalna specyfika infrastruktury terenowo-transportowej [12] wynikająca z lokacji obszarów funkcjonalnych miasta (tereny przemysłowe, mieszkalne itp.) [13] z uwzględnieniem takich komponentów podróży jak czas, koszt i wysiłek [14], także w funkcjonalnej zależności od godziny, dnia w tygodniu, dni szczególne w kalendarzu oraz topografii terenu.

Można zalecić, by budowa modelu topologicznego oparta na rejonach (obszary, na jakie miasto jest dzielone przez korporację taxi) pozwalała na stosowanie teorii zbiorów przybliżonych [15]. Podejście to nie jest jednak niezbędne w sytuacji analizy ruchu miejskiego. Każdy rejon może być niezależnym klastrem w przestrzeni topologicznej, który wraz z pozostałymi klastrami występuje w jedynym organizmie miejskim, tworząc zwartą przestrzeń topologiczną a ta może stanowić bazę do realizacji analiz. Gwarantowany przez system dostęp do historycznych i testowych obserwacji przejazdów daje możliwość efektywnej estymacji prognozowanych zdarzeń.

Do podstawowych atutów zintegrowanego systemu obsługi zgłoszeń taxi można zaliczyć:

- aktualne pozycjonowanie taksówki na mapie,
- skrócenie czasu przyjmowania zlecenia do kilku sekund,
- automatyzację powiadamiania pasażera o oczekującej taksówce,
- automatyzację przypisania taksówek do rejonów i stref,
- zmiany liczby i zasięgu rejonów ze względu na porę dnia, dzień tygodnia, porę roku.

Wykorzystanie rozwiązań opartych na przestrzeni topologicznej może umożliwić wyliczenie ceny przejazdu już w momencie przyjęcia zlecenia i określenia trasy podróży. Rozwiązanie to jest skądinąd wymagane w niektórych krajach. Atut ten jest istotny tak ze względu na poprawienie konkurencyjności rynku przejazdów osobowych, jak i może być wymagany prawnie. Automatyczna lokalizacja taksówek oraz LBS w odniesieniu do potencjalnych pasażerów daje możliwość wskazania przez dyspozytora (przez moduł integrujący) lub klienta (przez panel WWW) taksówki, która w zakresie ekonomii dojazdu (czas i koszt) lub zaplanowanej daty i godziny realizacji usługi będzie predestynowana do obsługi zlecenia. Rozwiązanie to w systemie uzyskało także nazwę handlową „taksówki z sąsiedztwa”.

W empirycznym procesie budowy systemu (obejmującym lata 2001-2013 tj. w czasie zarządzania korporacją taxi oraz tworzenia dedykowanych systemów IT obsługi transportowej dla firm trzecich [16]) wdrażano liczne mechanizmy warunkujące odporność na czynniki personalne. Ważną dla analiz wydaje się także standaryzacja systemów logistyki transportu taxi wg założeń przywołanych w artykule oraz z uwzględnieniem zasad podejmowania decyzji w transporcie [17], aby systemy te mogły zostać uznane jako skuteczne w monitorowaniu i optymalizacji sytuacji transportowej miasta. Dopuszczone mogą być także systemy niestandaryzowane, ale wówczas szczególnie ważna jest dodatkowa analiza filtrująca zjawiska niepożądane albo ukierunkowane wyłącznym interesem jednego z uczestników systemu (tj. korporacji, taksówkarza lub pasażera).

WNIOSKI

Indykatory mobilne – bez zauważalnego wzrostu kosztów obsługi IT oraz obciążenia infrastruktury teleinformatycznej przedsiębiorstwa – mogą stanowić źródło dodatkowych danych pomiarowych w systemach AVL-LBS-TAXI. Dokonując rejestracji i składowania tych danych zyskuje się możliwość poszerzenia funkcjonalności AVL-LBS-TAXI o logikę temporalną. Odwołując się do przestrzeni topologicznej wspartej algorytmami GIS można uzyskać analizy realizowane dla miejskiej przestrzeni komunikacyjnej uwzględniające indywidualne cechy miasta. Umieszczenie indykatorów mobilnych w GIS pozwala tworzyć modele umożliwiające przygotowanie perspektywicznej (hipotetycznej) podróży.

Koncepcja systemu AVL-LBS-TAXI jest rozwijana i może służyć do integracji danych z mobilnych indykatorów GIS jako wsparcie analizy i zarządzania siecią drogową. Jest oczywistym, że samodzielnie system może służyć poprawie jakości obsługi pasażerów w obrębie konkretnej korporacji taksówkarskiej. Przy wykorzystaniu odpowiednio dużej liczby indykatorów mobilnych



także samodzielnie może realizować analizę sieci drogowej miasta. Szczególnie jednak włączenie danych pozyskanych z indyktorów mobilnych do GIS i zaawansowanych systemów zarządzania ruchem drogowym, takich jak TRISTAR w Trójmieście, może być niezależnym elementem weryfikacyjnym oraz wsparciem do poprawy logistyki transportowej miasta. Doświadczenia przeprowadzone przez autorów artykułu, oparte na wprowadzeniu indyktorów mobilnych wspartych o analizy GIS w przestrzeni topologicznej dają podstawy do wskazania użycia tego rozwiązania w analizach sieci drogowej, a uzyskiwane wyniki stanowią asumpt do dalszych badań w tej materii.

Streszczenie

W ramach artykułu autorzy przedstawią możliwości monitorowania sytuacji komunikacyjnej miasta z wykorzystaniem autorskiego i dedykowanego systemu monitorowania ruchu w mieście, opartego o pakiet oprogramowania stacjonarnego i mobilnego przeznaczonego dla korporacji taxi. Celem publikacji jest przedstawienie założeń optymalnych i minimalnych do realizacji monitoringu ruchu w mieście. Przywołane zostaną autorskie próby wdrożeń rozwiązań w Olsztynie (Polska) i możliwe do implementacji jako weryfikujący lub uzupełniający dla skomplikowanych i wysokokosztowych systemów zarządzania transportem oraz monitorowania przepustowości ulic miejskich.

Wg analiz wykonanych przez autorów system oparty na indyktorach mobilnych, implementowanych w nieuprzywilejowanych pojazdach pozwala skutecznie analizować sytuację transportową miasta. Dodatkowo dane pozyskane z ulic miasta są wzbogacone danymi georeferencyjnymi, dzięki czemu możliwe jest wsparcie analiz koniecznych dla rozwoju miast (sieci transportowe, sieci drogowe, utrudnienia i niemożliwości przejazdu) oraz wskazanie fakultatywnych i zastępczych dróg przejazdu).

Mobile GIS transport indicators used to monitor urban traffic

Abstract

In the article the authors present a possibility to monitor the transport situation in the city using a proprietary and dedicated traffic monitoring system based on a stationary and mobile software package designed for a taxi cab corporation. The purpose of the publication is to present the optimum and minimal assumptions for monitoring urban traffic. Proprietary implementations realized in Olsztyn (Poland) will be mentioned in the paper. They can be implemented as a verification or supplementary tool for complex and high cost transport management systems or systems monitoring the throughput of city streets.

According to the analyses carried out by the authors, a system based on mobile indicators, implemented in non-privileged vehicles, allows effective analysis of the transport situation in the city. Additionally, the data acquired from the streets are enhanced with geo-reference data, which makes it possible to support the analyses necessary for urban development (transport networks, road networks, traffic problems and obstacles and indication of alternative routes).

BIBLIOGRAFIA

1. Birr, Krystian, Kazimierz Jamroz, Wojciech Kustra. "Analiza czynników wpływających na prędkość pojazdów transportu zbiorowego na przykładzie Gdańska." *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej - Transport* (2013): 96.
2. Karoń, Grzegorz, Ryszard Janecki, Aleksander Sobota. "Modelowanie ruchu w konurbacji górnośląskiej—sieć publicznego transportu zbiorowego." *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice: Seria Transport* (2010): 35.
3. Janowski, Artur. "Dobór optymalnych narzędzi informatycznych przy konstruowaniu aplikacji SIP przeznaczonych dla odbiorcy masowego." *UWM Olsztyn, rozprawa doktorska* (2003).
4. Sadoun, Balqies, and Omar Al-Bayari. "LBS and GIS technology combination and applications." *Computer Systems and Applications, 2007. AICCSA'07. IEEE/ACS International Conference on. IEEE, 2007.*
5. Sotelo, M. A., et al. "Introduction to the special issue on emergent cooperative technologies in intelligent transportation systems." *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on* 13.1 (2012): 1-5.

6. Dailey, Daniel J. "A statistical algorithm for estimating speed from single loop volume and occupancy measurements." *Transportation Research Part B: Methodological* 33.5 (1999): 313-322.
7. Suh, Sunduck, Chang-Ho Park, and Tschangho John Kim. "A highway capacity function in Korea: measurement and calibration." *Transportation Research Part A: General* 24.3 (1990): 177-186.
8. Nowak, Aleksander. "Symulacje numeryczne wpływu przeszkód terenowych na dokładność wyznaczeń GNSS." *Logistyka* (2011).
9. Cezary Specht, Władysław Koc, Aleksander Nowak, Jakub Szulwic, Jacek Szmagliński, Marcin Skóra, Mariusz Specht, Marcin Czapnik. Dostępność fazowych Rozwiązań GPS / GLONASS podczas geodezyjnej inwentaryzacji dróg szynowych - na przykładzie linii tramwajowej Gdańska, *Technika Transportu Szynowego TTS* [ISSN: 1232-3829] 01/2012; 9:3441-3451
10. Sawicki, Piotr, Jacek Żak. "Technical diagnostic of a fleet of vehicles using rough set theory." *European Journal of Operational Research* 193.3 (2009): 891-903.
11. Joanna Żukowska, Marcin Budzyński, Road safety system in Poland, *Journal of KONBiN* 1(4)2008 ISSN 1895-8281.
12. Wojewódzka-Król, Krystyna, Ryszard Rolbiecki. *Infrastruktura transportu*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, 2008.
13. Sierpiński, Grzegorz. "Miary dostępności transportowej miast i regionów." *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*", seria Transport, Katowice (2010).
14. Geurs, Karst T., J. R. Ritsema van Eck. "Accessibility Measures: Review and Applications. Evaluation of Accessibility Impacts of Land-Use Transport Scenarios, and Related Social and Economic Impacts." RIVM report 408505 006, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven 2001.
15. Ge, Xun, Xiaole Bai, Ziqiu Yun. "Topological characterizations of covering for special covering-based upper approximation operators." *Information Sciences* 204 (2012): 70-81.
16. Janowski, Artur, Jakub Szulwic. "Współczesne narzędzia programistyczne na usługach fotogrametrii i SIP." *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 14 (2004).
17. Żak, Jacek. "Decision support systems in transportation." *Handbook on Decision Making*. Springer Berlin Heidelberg, 2010. 249-294.