

Grzegorz SIERPIŃSKI¹
Ireneusz CELIŃSKI

KONCEPCJA UŻYCIA TECHNOLOGII SIECI GSM DO IDENTYFIKACJI PRZEMIESZCZEŃ W MIASTACH

Struktura sieci transportowej w odniesieniu do infrastruktury sieci GSM posiada liczne podobieństwa. Problem wykorzystania danych z sieci GSM w planowaniu i organizacji transportu publicznego i prywatnego sprowadza się do skorelowania danych dotyczących przemieszczeń użytkowników terminali w sieci GSM z parametrami infrastruktury liniowej i punktowej linii komunikacji zbiorowej i infrastruktury drogowej. Poniższy artykuł w zarysie wyjaśnia te kwestie.

THE CONCEPTION OF GSM TECHNOLOGY USAGE FOR IDENTIFICATION OF MOVEMENTS IN URBAN AREAS

The structure of transportation and GSM nets have the numerous similarities. The general problem of data utilization from GSM technology in planning and organization of public and private transportation is correlating the relating data of movements in GSM net with transportation net (parameters of linear and punctual road infrastructure). Following article explains these matters.

1. WSTĘP

Artykuł stanowi kontynuację myśli i uzupełnienie wskazań zawartych w artykule "Możliwości wykorzystania architektury systemów GSM w modelowaniu, planowaniu i obsłudze transportu publicznego i prywatnego w obszarach zurbanizowanych".

Organizując transport w mieście należy precyzyjnie określić potrzeby osób przemieszczających się. Pozwala to właściwie kształtować transport publiczny i zarządzać ruchem. Dane pozyskane z sieci komórkowych opisują - wprost kompletne tablice źródło-cel (ang. OD matrix) dla sieci transportowej, która pokryta jest zasięgiem działania telefonii komórkowej. Okres, dla którego dane są rejestrowane waha się do 3-12 miesięcy. Na bazie danych z takiego okresu czasu można tworzyć prognozy ruchowe w zakresie transportu publicznego i prywatnego (choć nie tylko). W praktyce każdy dowolny interwał czasu Δt działania sieci komórkowej dostarcza takie dane. Czas minimalny pozyskania danych na

¹ Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej, POLSKA, 41-300 Dąbrowa Górnicza, ul. Ciepłaka 1c

potrzeby organizacji transportu publicznego i prywatnego w praktyce ograniczony jest zdolnością obliczeniową procedur wykonujących przetwarzanie danych z systemu GSM w zakresie danych gromadzonych w rejestrze CDR (ang. Call Detail Record) i procedury aktualizacji lokalizacji terminala MS w sieci. Na podstawie takich danych można zestawić kompletne macierze czasów pobytu poszczególnych abonentów w konkretnych komórkach sieci. Oznacza to możliwość sformułowania macierzy T , gdzie t_{ij} oznacza czas pobytu abonenta i -tego w j -tej komórce sieci telefonii komórkowej przemieszczającego się w kierunku komórki j -tej. Macierz ta rozpatrywana w sekwencji interwałów pomiarowych stanowi charakterystykę dynamiczną sieci transportowej tzn. $T_1(t_1) \rightarrow T_2(t_2) \rightarrow \dots T_i(t_i) \rightarrow \dots T_n(t_n)$. W ten sposób można rejestrować przemieszczenia w sieci transportowej technicznie.

Kolejne zagadnienie wiąże się z kwestiami prawnymi. Jeśli istniała będzie kiedykolwiek możliwość prawna (obecnie wyłącznie za zgodą abonenta – pojawia się również problem systemów pre-paid²) przetwarzania danych osobistych właściciela terminala poruszającego się w sieci – jego dane będzie można kojarzyć z innymi systemami typu CEPIK, PESEL. [11]. Umożliwiać to będzie szybkie i stosunkowo precyzyjne identyfikowanie przynależności danego abonenta powiązanego z terminalem do określonej mody transportu. Oznacza to bowiem możliwość identyfikacji czy właściciel terminala posiada samochód osobowy czy też nie. Na podstawie prostej substrakcji danych w systemie GSM w powiązaniu z danymi bazy CEPIK czy PESEL będzie można określić bezwzględną liczbę charakteryzującą popyt na transport publiczny w każdej komórce sieci GSM. Autorzy zakładają utrzymanie się malejącej w dalszym ciągu tendencji w zakresie napełnienia środków komunikacji indywidualnej wynoszące obecnie ok. 1,3 osoby/pojazd [3]. Ponadto na podstawie danych z sieci GSM określających sekwencję przemieszczenia terminala MS w koordynatach współrzędnych geograficznych można na tej podstawie wyznaczyć prędkości środków transportu jakimi było ono realizowane. Do rozwiązania pozostaje problem korelacji tak określonego popytu na usługi transportu publicznego z elementami infrastruktury sieci transportowej. Całość obliczeń powinna zostać wykonana w pewnym horyzoncie czasu Δt , którego wartość silnie zależeć będzie od przepustowości łącz cyfrowych systemu GSM i zdolności obliczeniowych systemu. Dla celów organizacyjnych i planowania komunikacji publicznej horyzont ten będzie odpowiednio większy. Tym niemniej autorzy mają pewne sugestie zmian w organizacji tegoż transportu które zostaną omówione dalej.

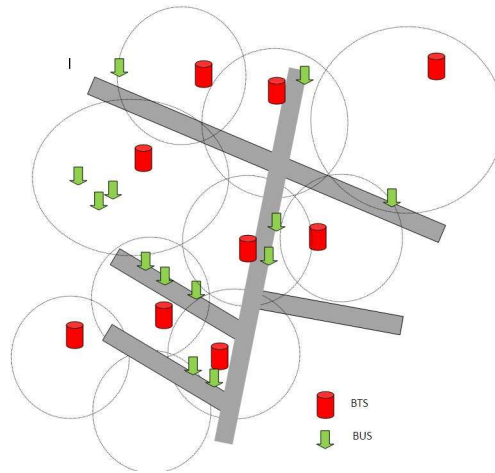
Brak możliwości korzystania z zewnętrznych baz danych - takich jak CEPIK, zmniejsza szybkość i precyzję określania popytu w sieci transportowej na usługi w zakresie transportu publicznego. Konieczne jest wykonywanie w takim przypadku obliczeń dodatkowych w zakresie określenia prawdopodobnej mody transportu wykorzystywanej dla przemieszczenia się użytkownika terminala GSM. W tym celu można wykorzystać własności procedury aktualizacji lokalizacji użytkownika terminala w sieci GSM. Przemieszczenia terminala w sieci GSM pomiędzy poszczególnymi komórkami (BST) opisuje zbiór wektorów $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_n$, gdzie $\omega_i(p_{xy})$, określa przemieszczenie terminala w sieci pomiędzy komórkami x i y . Każde z przemieszczeń $\omega_i(p_{xy})$ wykonywane jest w czasie $\Delta t \rightarrow 0$, gdzie droga terminala w sieci opisywana jest jako zbiór przemieszczeń $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n$. Zastosowanie w opracowaniu tych danych podstawowych charakterystyk liczbowych zbioru danych jak średnia i wariancja umożliwia oszacowanie z dużym

² obecnie pojawia się tendencja kontrolowania posiadaczy kart pre-paid.

prawdopodobieństwem do jakiej mody należy użytkownik danego terminala. Poza sytuacją zatoru w ruchu drogowym w sieci GSM obserwowane będą różne średnie prędkości przemieszczania się terminali, które są zmiennymi zależnymi od prędkości komunikacyjnej mody transportu jaką wykonywane jest dane przemieszczenie. Podejście takie znacząco zawęży interwał czasu, w którym mógłby być zestawiany model ruchu dla transportu publicznego. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest poszukiwanie środków prawnych lub technicznych umożliwiających powiązanie baz danych sieci GSM z innymi bazami w tym PESEL i CEPIK. Ta ostatnia baza nie jest tak istotna z uwagi na fakt, że szacowanie miejsca zamieszkania użytkownika terminala może być wykonane z dużą dokładnością wyłącznie na podstawie danych samej sieci. Lokalizacja taka, wykonywana okresowo mogłaby być realizowana z wykorzystaniem precyzyjnych metod lokalizacji [1], [2], [4], [5], [6], [8], [9], [10]. Problemem końcowym jest korelacja pozyskanych w przedstawiony sposób danych z siecią transportową.

2. KORELACJA DANYCH POZYSKANYCH Z SIECI GSM Z SIECIĄ TRANSPORTU PUBLICZNEGO I PRYWATNEGO

Możliwe jest pozyskanie danych z sieci komórkowej GSM/UMTS na potrzeby transportu publicznego i prywatnego w przedmiocie liczby potencjalnych pasażerów w rejonie komunikacyjnym sprowadzonym do obszaru pojedynczej komórki GSM. Zagadnienie odwzorowania infrastruktury transportowej na obszarze sieci telefonii komórkowej jest problemem złożonym i przekracza ramy tego opracowania. Tym niemniej operacja taka nie tylko jest możliwa, lecz również charakteryzuje się licznymi interesującymi aspektami. Na rysunku 1 przedstawiono orientacyjną lokalizację stacji bazowych BST kilku sieci GSM w centrum Katowic (4 operatorów w różnych standardach sieci). Na tym samym rysunku naniesiono przystanki komunikacji zbiorowej (zaznaczone kolorem zielonym) oraz przybliżone modele komórek sieci jednego z operatorów. Nie można zaznaczyć dokładnych granic z uwagi na specyfikę medium transmisyjnego. W przypadku korzystania z usług wszystkich dostępnych w analizowanym obszarze operatorów można podnieść precyzję pozyskiwania danych w zakresie określania przemieszczeń użytkowników terminali MS. Nawet w przypadku korzystania tylko z danych jednego operatora można zebrać dane odnośnie przemieszczeń około 30% populacji osób przemieszczających się w tym obszarze [7]. Ponadto wykorzystane mogą być w tym zakresie dane z rejestru HRL (ang. Home location register). Korzystając dodatkowo z rejestru VRL (ang. Visitor location register) i informacji o połączeniach wychodzących do i przychodzących od operatorów zewnętrznych można podnieść procent pozyskiwanych danych nawet do 90-100% osób przemieszczających się w obszarze analizy.



Rys.1. Analizowane dane na tle punktów dostępowych do sieci transportu publicznego.

Na rysunku 1 przedstawiono orientacyjną lokalizację stacji terminali BTS (rysunek 1 nie posiada skali). Rozmówcę/użytkownika sieci GSM można lokalizować w takim obszarze z dokładnością do położenia geograficznego stacji bazowych. Tj. może nastąpić jednoznaczne przyporządkowanie terminala MS do określonej stacji bazowej w danej chwili. Przedstawiona na rysunku 1 sytuacja dotyczy śródmieścia Katowic, gdzie nasycenie stacjami bazowymi jest duże. W każdym większym mieście dla rejonu stacji bazowej można więc przedstawić popyt na usługi transportu publicznego z dokładnością od 30 do 100% populacji. Wynika to z liczby abonentów zarejestrowanych w sieciach komórkowych w Polsce [7] i 100% pokrycia centrów polskich miast zasięgiem działania tych sieci. Podejście takie umożliwia przypisanie popytu na usługi w zakresie transportu publicznego generowane w danej komórce sieci telefonii do jednego lub grupy przystanków komunikacji zbiorowej, których lokalizacja jest znana z dokładnością do współrzędnych geograficznych, tak jak pokazano to na rysunku 1. W zasięgu jednej stacji bazowej w centrach miast z reguły znajdowało się będzie kilka, maksymalnie kilkanaście przystanków komunikacji zbiorowej. W podejściu prezentowanym na rysunku 1 występuje problem niejednoznaczności przypisania określonej podaży (zgłoszeń w sieci komórkowej) do określonego przystanku komunikacji zbiorowej (w centrach miast). Różnice odległości pomiędzy dwoma sąsiednimi przystankami w sieci transportowej przedstawionej na rysunku 1 dochodzą jednak maksymalnie do 100m. Błąd przypisania w tym przypadku relacji popyt-przystanek komunikacji zbiorowej można pominąć (przy założeniu właściwych rozkładów i powiązań między liniami). W przypadku terenów podmiejskich takie niejednoznaczności nie powinny występować, gdyż jedna stacja bazowa obejmowała będzie mniejszą liczbę przystanków komunikacji zbiorowej, a dodatkowe procedury umożliwią wyeliminowanie przypadków spornych. Tymi dodatkowymi procedurami może być korelacja lokalizacji dokładnej abonenta z siecią drogową. Porównanie dwóch koordynat i przypisanie takiego wektora do maski sieci drogowej jednoznacznie identyfikuje położenia abonenta jak również lokalizację najbliższego dla niego przystanku komunikacji zbiorowej.

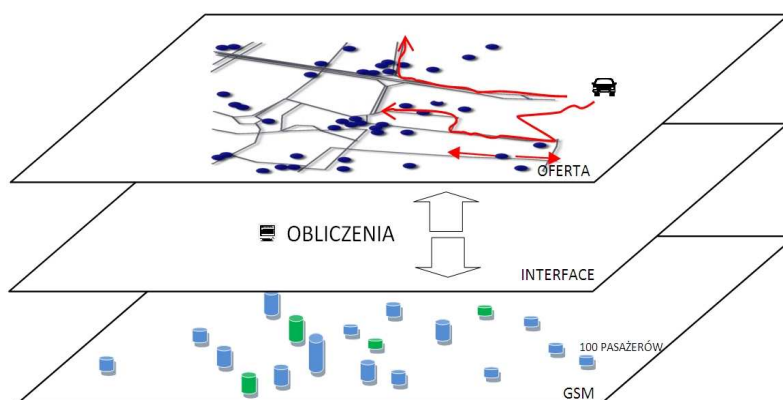
3. MODYFIKACJA PLANOWANIA I ORGANIZACJI TRANSPORTU PUBLICZNEGO I PRYWATNEGO.

Warunki umożliwiające budowanie konkurencyjnej oferty transportu publicznego w stosunku do komunikacji indywidualnej sprowadza się w pierwszym rzędzie do wyeliminowania niedogodności tej pierwszej. Poprzez niedogodności należy tu rozumieć ściśle zdeterminowane punkty dostępu do sieci transportu publicznego wyznaczone poprzez lokalizację przystanków komunikacji zbiorowej. Jest to tzw. nieelastyczny dostęp do sieci (infrastruktury) transportowej. Drugą niedogodnością transportu publicznego jest zdeterminowany czas dostępu do sieci transportu publicznego. Czas ten determinowany jest dokładnie określonym rozkładem jazdy ustalającym częstotliwość obsługi poszczególnych punktów dostępu do sieci transportowej. Na podstawie przeprowadzonej wyżej analizy dostępnych danych z sieci GSM wydaje się możliwym częściowe lub nawet zupełne wyeliminowanie w przyszłości tych niedogodności transportu publicznego.

Jak wcześniej stwierdzono, na podstawie analizy danych oferowanych przez sieć GSM można określić zbiór wektorów $\omega(p_{xy})$ opisujących przemieszczenia w sieci GSM poszczególnych jej abonentów (użytkowników terminali MS) pomiędzy jej komórkami. Dowolną komórkę sieci GSM można skojarzyć z odpowiednimi punktami dostępu do infrastruktury drogowej (przystankami). Ścisłej zbiory tych wektorów można opisać w funkcji czasu $\omega(p_{xy}(t))$. W funkcji czasu opisane są również częstotliwości obsługi poszczególnych punktów dostępowych do sieci transportowej poprzez środki transportu komunikacji publicznej. Zagadnienie sprowadza się wówczas do skorelowania funkcji częstotliwości pojawiania się abonentów w danej komórce sieci z częstotliwością obsługi tej komórki poprzez pojazdy komunikacji zbiorowej. Znając te zależności można się w dalszej perspektywie pokusić o tworzenie nowych rozwiązań w zakresie transportu publicznego. Autorzy mają tu na myśli tworzenie dynamicznych rozkładów jazdy i dynamicznie wariantowanych przebiegów linii komunikacji zbiorowej. Zagadnienie to przekracza ramy przedmiotowego artykułu. Nie wolno zapominać, że w systemach takich komunikacja z ich użytkownikiem jest realizowana dwukierunkowo. Oznacza to, że elastyczna oferta przewozowa w czasie rzeczywistym komunikowana jest potencjalnym jej odbiorcom.

Zgłoszenia do sieci telefonii komórkowej można na podstawie badań lokalizacji terminali MS (ang. Mobile station) opisać za pomocą dwuwymiarowej funkcji gęstości f_{xy} – gdzie x i y oznaczają współrzędne geograficzne zgłoszenia terminala do sieci komórkowej. W efekcie powstaje trójwymiarowy obraz funkcji gęstości zgłoszeń do sieci komórkowej, a zarazem potencjalne punkty, w których może wystąpić duża liczba zgłoszeń w celu obsługi poprzez środki komunikacji zbiorowej. Rozkład przystanków komunikacji zbiorowej w chwili obecnej, który jest opisany np. funkcją g_{xy} gdzie (x,y) - koordynaty geograficzne przystanku można również skorelować z funkcją uzyskaną na podstawie analizy danych sieci GSM. Zakładając ponadto rozwój nowej formy przystanków komunikacji zbiorowej (infrastruktura instalowana tymczasowo) można lokalizacje przystanków zmieniać dynamicznie zgodnie z obserwacjami fluktuacji danych z sieci GSM. Chodzi oczywiście o zmiany w niewielkim zakresie do kilkuset metrów, może 1-2 km w większych interwałach czasu. Ułatwi to w znacznym stopniu dostęp do komunikacji publicznej – gdyż będzie ona zgodna z rozkładem przestrzennym rzeczywistego popytu na tego rodzaju usługi. Stan taki można utrzymywać przy wprowadzaniu komunikacji publicznej na określony obszar, ale

również w sytuacji okresowego badania zmian rozkładu przestrzennego przemieszczeń. W sposób przedstawiony w tej koncepcji można zatem wyeliminować dwie podstawowe niedogodności transportu publicznego w stosunku do komunikacji indywidualnej. Jedną związaną ze zdeterminowanym punktem dostępu do sieci, drugą związaną ze zdeterminowanym czasem dostępu. Dzięki temu może zostać podniesiona konkurencyjność transportu publicznego w stosunku do komunikacji indywidualnej nie na drodze restrykcji i ograniczeń lecz na poprzez właściwe dostosowanie tejże do potrzeb.



Rys.2. Koncepcja nowego podejścia do organizacji sieci transportu publicznego.

Na rysunku 2 przedstawiono trzy warstwy koncepcji. Pierwsza warstwa tzw. GSM ustala punkty lub ściślej rozkład podaży w sieci transportowej. Na podstawie tych danych warstwa tzw. interface (centrum obliczeniowe) ustala rozkłady jazdy, lokalizacje, trasy linii. Informacja w warstwie najwyższej „1” dociera do użytkowników sieci transportowej.

4. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono koncepcję podniesienia konkurencyjności oferty transportu publicznego w oparciu o możliwość pozyskania określonych danych z sieci GSM. W zamyśle autorów ma to pomóc w lepszym kształtowaniu oferty tego transportu na tle rozwiązań obecnie stosowanych. Wiele problemów poruszonych w tej koncepcji wymaga szczegółowego rozwiązania. Jednym z nich jest problem korelacji danych pomiędzy bazami danych znajdujących się w gestii różnych podmiotów, w tym zarówno podmiotów budżetowych, jak również prywatnych. Kolejnym problemem jest określenie metod korelacji danych stacji bazowych z siecią punktową infrastruktury transportu publicznego (przystankami). Wymaga to niewątpliwie szczegółowego opracowania. Pozostaje ponadto kwestia doboru metod korelacji funkcji gęstości rozkładu zgłoszeń w sieci komórkowej w czasie i w przestrzeni z funkcjami gęstości rozmieszczenia przystanków komunikacji zbiorowej i częstotliwością ich obsługi. Zdaniem autorów korzyści wynikające z rozwoju proponowanej koncepcji są przesłanką do podjęcia wysiłku w tym kierunku. Otwiera się w tej kwestii szerokie pole badawcze.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Borriello, G et al.: The disappearing computer: Delivering real-world ubiquitous location systems. In: Communications of the ACM, Vol. 48, No. 3, 2005, pp. 36-41.
- [2] Celiński I, Sierpiński G.: The Study Of Modal Distribution Of The Travel Based On Mobile Phone Networks Data. IIIrd International Scientific Conference Transport Problems. Katowice - Tarnowskie Góry 20-22 June 2011.
- [3] Karoń, R. Janecki, A. Sobota z zespołem, Program inwestycyjny rozwoju trakcji szynowej na lata 2008-2011. Analiza ruchu, Praca NB, Wydział Transportu Politechniki Śl., Katowice 2009.
- [4] Rashid, O. et al.: Extending Cyberspace: Location Based Games Using Cellular Phones. In: ACM Computers in Entertainment, Vol. 4, No. 1, 2006, pp. 1-16.
- [5] Rashid, O.; Coulton, P.; Edwards, R.: Implementing Location Based Information/Advertising for Existing Mobile Phone Users in Indoor/Urban Environments. In: IEEE Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Business (ICMB'05), Sydney, Australia, 2005, pp. 377-383.
- [6] Richter, U. et al.: Location-based Services: Konkurrenz durch lizenzfreie Alternativen. In: VDE Kongress 2004, Berlin, Germany, 2004, pp. 65-70.
- [7] Rynek komórkowy po IIkw.2010, www.telix.pl (odsłona 18.05.2011).
- [8] Samsioe, J.; Samsioe, A.: Competitor Analysis in the Location Based Service Industry. In: IEEE-Proceedings of First International Conference on Mobile Business (ICMB'02), Athens, Greece, 2002.
- [9] Schiller, J.; Voisard, A.: Location-based services. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, USA, 2004.
- [10] Tarumi, H.; Matsubara, K.; Yano, M.: Implementations and Evaluations of Location-Based Virtual City System for Mobile Phones. In: Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference Workshops. Dallas, USA, 2004, pp. 544-547.
- [11] www.cepik.gov.pl/