

GÓRSKA Małgorzata<sup>1</sup>  
JACKOWSKI Stefan<sup>2</sup>

## OPTYMALIZACJA SIECI INTELIGENTNYCH OBSERWATORÓW

*Rozszerzając wcześniejsze prace [1-3] na temat sieci inteligentnych punktów obserwacyjnych służących do śledzenia ruchu poszukiwanych samochodów przedstawia się główne elementy wirtualnego środowiska testowania i optymalizacji konfiguracji proponowanego systemu. Symulacje stochastyczne ruchu rozpatrywanych pojazdów na podstawie przyjętego zachowania kierowców [3] pozwalają na ocenę konfiguracji sieci, która następnie podlega optymalizacji za pomocą algorytmu ewolucyjnego.*

## OPTIMIZATION OF A NETWORK OF INTELLIGENT OBSERVERS

*Following previous work [1-3] on a network of intelligent observation units for the interception of wanted vehicles we outline the main building blocks of a virtual environment serving to test and optimize the configuration of the proposed system. Stochastic simulations of the motion of considered cars on the basis of assumed drivers' behavior [3] lead to a quantitative assessment of the net configuration, which subsequently undergoes optimization by an evolution type algorithm.*

### 1. WSTĘP

Monitorowanie ruchu jest dynamicznie rozwijającą się dziedziną telematyki transportu lądowego. Szczególnym przypadkiem analizowanym w tej pracy jest nadzorowanie przemieszczania się konkretnych, określonych pojazdów w czasie rzeczywistym, por. [1].

Celem takiego śledzenia samochodów jest wsparcie policji przy lokalizacji skradzionych aut. Zakłada się stałą wymianę informacji pomiędzy władzami a operatorami sieci obserwacyjnej (*OC – Observation Center*) w sprawie aktualnej listy poszukiwanych wozów, dostępnych danych o ich rejestracji przez punkty obserwacyjne i prognoz co do kierunku i szybkości dalszej jazdy wraz z opcjami ewentualnego zatrzymania sprawców kradzieży.

Elementami umożliwiającymi realizację takiego zadania są akwizycja danych o pozycji poszukiwanych jednostek, szybka i niezawodna transmisja danych oraz przetwarzanie

<sup>1</sup> Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.  
Tel: + 48 48 361-77-32, E-mail: malgorzata.gorska@pr.radom.pl

<sup>2</sup> Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.  
Tel: + 48 48 361-77-30, E-mail: s.jackowski@pr.radom.pl

informacji w celu podjęcia działań interwencyjnych. Sprawność działania systemu będzie zależała od parametrów jego składowych. W tym artykule skupiamy się na optymalnym wyborze pozycji instalacji kamer obserwacyjnych. Okazuje się, że można w ten sposób istotnie zwiększyć empiryczne prawdopodobieństwo, że konkretny samochód na określonej trasie zostanie zarejestrowany przez system, zob. [3]. Ponadto odpowiednio dobierając punkty obserwacyjne jako zmienne decyzyjne można powiększyć udział dłuższych sekwencji obserwacji, które polepszą szanse trafnej prognozy pozycji, por. [2].

W celu bliższego określenia pojęcia optymalizacji wyboru pozycji jednostek obserwacyjnych należy testować działanie systemu w wirtualnej rzeczywistości.

Modelowane są najpierw obiekty poszukiwane, przyjmując pewne założenia o sposobie ich poruszania się. Trajektorie będą funkcją miejsca wyjściowego ruchu, celu jazdy i preferencji kierowcy. Ponadto należy uwzględnić wpływy losowe, które dodają element stochastyczny do zbioru trajektorii obiektów wirtualnie śledzonych. Szczegóły omawiane będą w następnym rozdziale.

Następnie w Rozdziale 3 przedstawia się schemat symulacji idealnej sieci obserwacyjnej. Abstrahuje się przy tych rozważaniach od komplikacji związanych z identyfikacją optyczną pojazdów i z telekomunikacją. Symulacja zakłada, że zbliżenie się pojazdu do punktu obserwacji pociąga za sobą z pewnością rejestrację tego zdarzenia w systemie, i że ta informacja może być natychmiast wykorzystana do rekonstrukcji przybliżonej trajektorii, a następnie do ekstrapolacji ruchu poruszającego się po drodze samochodu. Cel optymalizacji będzie oparty na rozkładzie liczb zarejestrowanych pojazdów w systemie. Ponadto oceniana będzie trafność prognoz przyszłych pozycji.

Rozdział 4 poświęcony będzie aspektom implementacji systemu. Dyskutuje się wpływ specyfikacji sprzętu i parametrów punktów obserwacyjnych dalej nazywanych *I2CU* (*Intelligent Interconnected Camera Units*) oraz organizacji wymiany i przetwarzania danych.

Można wnioskować, zob. Rozdział 5, że przy prognozowaniu trajektorii ruchu danego obiektu, po etapie rekonstrukcji, trafność wyznaczania pozycji z upływem czasu maleje, zob. też [2]. W związku z tym zarówno czas potrzebny na analizę danych jak i na transmisję informacji są bardzo istotnymi czynnikami wpływającymi na skuteczność systemu.

## 2. MODELOWANIE RUCHU POSZUKIWANYCH POJAZDÓW

Przedmiotem obserwacji sieci są obiekty ruchome, w tej pracy pojazdy drogowe. Optymalizacja sprawności proponowanej sieci już na etapie projektowania wymaga badań symulacyjnych ruchu poszukiwanych obiektów. Konieczne jest więc zdefiniowanie ich modelu zachowania. Badania symulacyjne polegają na wygenerowaniu dużych liczb wirtualnych obiektów ruchomych, na których testuje się symulowaną sieć obserwatorów. Skuteczność obserwacji – np. mierzona liczbą zarejestrowanych obiektów przez *I2CU*, bądź w liczbie efektywnych interwencji policji – będzie następnie podstawą do ulepszania sieci. Można powiedzieć, że optymalizacja sieci dopasuje pozycje punktów obserwacji do profilu intensywności ruchu, zob. [3]. W tym sensie modelowanie typu zachowań kierowców jest jednym z fundamentalnych elementów systemu.

Przyjmuje się, że ruch poszukiwanych obiektów odbędzie się na pewnym obszarze zainteresowania  $\Omega$ . Tym obszarem może być np. terytorium Polski, Mazowsza czy

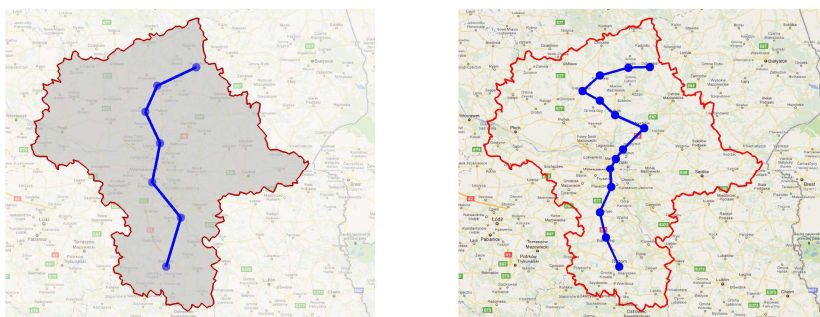
Warszawskiego Śródmieścia. W zależności od dokładnego typu zachowania obiektu i skali badań celowe mogą być dalsze restrykcje na pozycje lub kierunki jazdy i prędkości.

Jeżeli w trakcie symulacji ruchu obiekt dochodzi do granicy obszaru  $\Omega$ , istnieją opcje zaniechania dalszego jego śledzenia, kontynuacji z wymuszeniem pozostania wewnątrz terytorium  $\Omega$  bądź czekania na powrót do obszaru. Z dodatkowych restrykcji należy przede wszystkim wymienić założenie, że ruch odbywa się po określonych szlakach komunikacyjnych. Założenie to jest zasadne, niemniej można go w pewnych okolicznościach pominąć. Przykładowo w skali całego państwa przy realistycznej rozdzielczości modelu komputerowego można akceptować, że każdy punkt jest osiągalny dla pojazdu drogowego. Zaś na poziomie dzielnicy miasta model ruchu swobodnego należy zastąpić modelem ruchu po grafie opisującym dopuszczalne węzły i drogi pomiędzy nimi.

W transporcie drogowym, nawet przy założeniu ruchu swobodnego, należy uwzględnić skrajną niejednorodność terenu. Są ulice, szosy, drogi krajowe, autostrady, dróżki leśne. Należy rozróżnić pomiędzy sobą np. skupiska zaludnienia a rezerваты przyrody.

Niemniej z powodów metodologicznych zasadne jest wpięrow badanie podstawowych elementów systemu abstrahując od wspomnianych komplikacji. Nie nadaje się z początku obszarowi  $\Omega$  żadnej infrastruktury, obiekty mogą się poruszać po całym terenie bez ograniczeń lub chociażby uwzględnienia różnorodności zaludnienia czy rozbudowy sieci dróg. Pierwsze wyniki uzyskane przy takim podejściu przedstawiono w artykułach [1, 2].

Definicja konkretnej infrastruktury obszaru wymaga wprowadzenia pewnych pojęć z teorii grafów oraz stochastyki. W szczególności przyporządkuje się położeniom prawdopodobieństwa, z jakimi z nich wystartuje trajektoria ruchu obiektu i że trajektoria w nich się kończy. Dalej przyjmuje się pewne rozkłady prawdopodobieństwa zmiany kierunku, gdy pojazd znajduje się w określonym punkcie.



Rys.1. Przykładowe trajektorie – ruch swobodny i ruch po sieci dróg

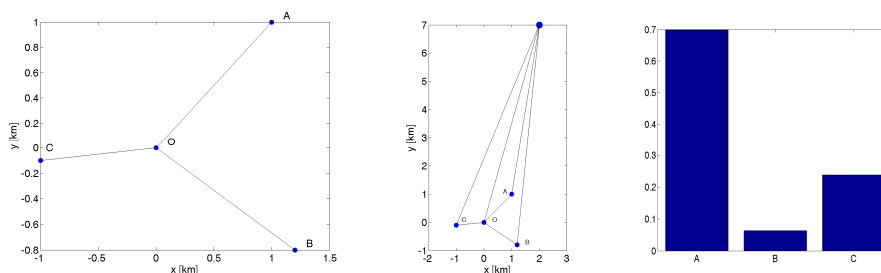
Matematycznie przez ruch rozumie się funkcję  $r$ , która każdej chwili czasu przyporządkuje pozycję obiektu, tj. współrzędne geograficzne, np. długość i szerokość. W pracy [2] badane były pewne klasy funkcji pod względem przydatności do opisu ruchu pojazdu. Posługiwano się przede wszystkim funkcjami przedziałami wielomianowymi, w najprostszym przypadku liniami łamanymi. Parametry tych funkcji – np. początek, koniec, punkty pośrednie – generowano losowo. Rys.1 przedstawia trajektorie

ze zdefiniowanymi punktami początku i celu jazdy samochodu w ruchu swobodnym oraz po sieci dróg. Do celów symulacji wykorzystano mapy pobrane z [10].

W przypadku ruchu po siatce wystarczy do opisu ruchu tabela, która zestawia czasy z identyfikacją węzła, do którego pojazd dotarł. W symulacji komputerowej tabelę tego typu mogą być generowane na podstawie odpowiednich rozkładów prawdopodobieństwa wyboru następnego odcinka drogi. Wariant oparty na kartezjańskiej siatce dróg został opracowany w [3], a podstawy teoretyczne pochodzą aż z 1905r., [8, 9].

Należy uwzględnić w obu przypadkach, ruchu po siatce jak i ruchu swobodnego, pewną losowość – zmiany kierunku i prędkości jazdy narzucone przez zdarzenia spoza modelu, np. napotkanie na przeszkodę czy otrzymanie nowej instrukcji w trakcie jazdy. Jednocześnie założyć należy celowość jazdy, czyli do pewnego stopnia determinizm.

Odpowiednie rozkłady zmiennych losowych dopasuje się do postulatu, że zachowanie kierowcy ma być celowe. Szczegóły modelowania takich prawdopodobieństw zawarte są w [3].



Rys.2. Podejmowanie decyzji w ruchu po siatce dróg

Na Rys.2 przedstawiono (od lewej) elementarny węzeł komunikacyjny, następnie zmiany odległości do celu oraz wykres przedstawiający rozkład prawdopodobieństwa wyboru. Z ostatniego ewidentnie wynika, że największe prawdopodobieństwo wyboru trasy ma zdarzenie, dzięki któremu odległość z punktu  $O$  do celu wyraźnie się skróci.

Teoretycznie ruch może być zdefiniowany w nieskończonym przedziale czasu. W badaniach realistycznych potraktuje się trajektorię za zakończoną, gdy albo pojazd przekroczy granicę założonego terytorium  $\Omega$ , albo kierowca (losowo, arbitralnie) podejmuje decyzję zmiany prędkości do zera.

### 3. SYMULACJA I OPTYMALIZACJA

Symulacja działania opisanego pierwotnie w [1] systemu, a konkretyzowanego wyżej oraz w pracach [2, 3] jest koniecznością, ponieważ realna sieć obserwacyjna jeszcze nie istnieje. Przed podjęciem inwestycji na taką skalę potrzebne są szczegółowe obliczenia z jednej strony spodziewanego przyrostu sukcesów w odnalezieniu skradzionych aut i aresztów sprawców oraz oszacowanie związanego z tym potencjału odstraszenia potencjalnych złodziei. Z drugiej strony ze specyfikacji elementów sieci i jej konfiguracji, zob. Rozdział 4, można oszacować koszty instalacji i operacji systemu. Dopiero znajomość

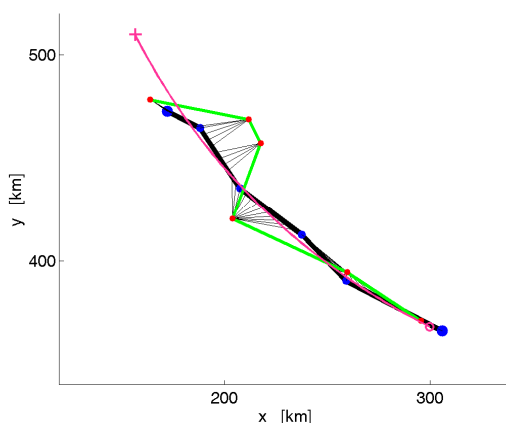
tych dwóch elementów pozwoli na podjęcie decyzji w kwestii inwestycji w tego typu system.

Wyniki symulacji mogą istotnie wpłynąć na projektowanie realnej sieci obserwatorów. Poprzez celowe zmiany parametrów sieci, takich jak usytuowanie punktów obserwacji, można obniżyć koszty albo zwiększyć skuteczność kierowanych akcji policyjnych, albo też znaleźć najlepszy kompromis pomiędzy oboma kierunkami działania.

W celu przeprowadzenia badań symulacyjnych potrzebne są modele komputerowe każdego komponentu całości badanego systemu. W poprzednich rozdziałach wprowadzone zostały kolejno model obszaru i sieci dróg, czyli terytorium objętego badaniami, oraz różne modele zachowania się kierowcy/kierowców, zob. [2, 3]. Te dwie składowe razem pozwalają wygenerować wiarygodne trajektorie ruchu każdego pojedynczego poszukiwanego obiektu.

Ruch obiektu uzależniony jest od pewnych zmiennych losowych, czyli od przypadku, i na tym etapie modelowania jest niezależny od faktu, że podlega obserwacji. Kierowcy albo nie zdają sobie sprawy, że są oni obserwowani, albo nie mają informacji na temat lokalizacji punktów obserwacji, albo nie biorą ich pod uwagę.

Typowa symulacja komputerowa w ramach tej pracy polega na generowaniu dużej liczby trajektorii aut skradzionych. Przy tym miejsce kradzieży, cel jazdy i sposób wyboru trasy są zmiennymi losowymi, które cechują się określonym rozrzutem. Niemniej są one zgodne z pewnym założonym typem zachowania kierowcy. W obecnie analizowanym przypadku jest to złodziej, który chce uciec od miejsca kradzieży i dostać się do pewnego miejsca na obszarze będącym pod obserwacją lub poza obszarem działania systemu. W programie symulacyjnym próbki zmiennych losowych uzyskane są z rozkładów opisanych w [3]. Za ich pomocą konstruuje się odcinki tras samochodów jako łańcuchy łączące kolejne etapy jego ucieczki. Na Rys.3 przedstawiono wygenerowaną losowo trajektorię auta w ruchu swobodnym, następnie aproksymację oraz predykcję dalszej jego trasy.

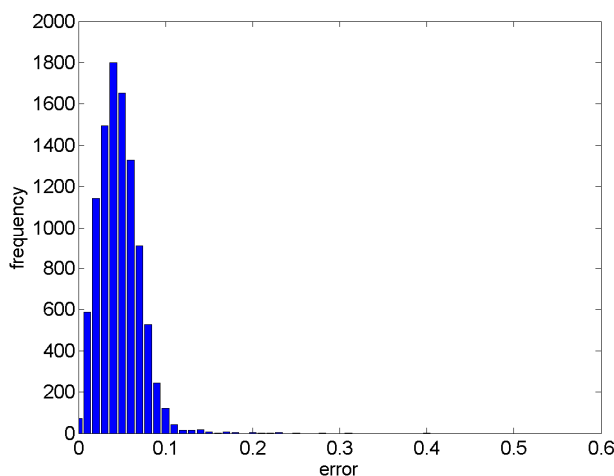


Rys.3. Aproksymacja i predykcja na przykładzie ruchu swobodnego

Wygenerowane trajektorie muszą być następnie analizowane statystycznie. Przy zadanej trajektorii ruchu jednego auta można policzyć, jak często, kiedy i gdzie trafił na kamerę obserwacyjną. Liczbę tzw. *widzeń* poszukiwanego pojazdu należy traktować jako miarę sukcesu systemu. Zmienność sytuacji w ruchu ulicznym, odzwierciedlana w symulacji za pomocą generatora liczb losowych, powoduje, że wyniki mają pewien rozrzut. Preferowane jest ustawienie punktów obserwacyjnych tak, by wartość oczekiwana liczby widzeń była możliwie duża. Detale podejścia zawarte są w artykule [3].

W pracy [2] wykazano, że dane o trajektoriach uzyskane za pomocą symulacji komputerowej jak opisano wyżej mogą służyć do prognozy kursu pojazdów. Okazuje się przy tym, że korzystnie jest mieć dłuższe sekwencje kolejnych obserwacji. W takich przypadkach łatwiej ocenić cel i prędkość jazdy. Można zatem stwierdzić, że im krótszy jest przedział czasu od ostatniej zarejestrowanej obserwacji, tym prognozy mają większą trafność.

W artykule [2] podsumowano wyniki symulacji za pomocą histogramów. *Rys.4* przedstawia rozkład błędów prognoz na 10000 przypadków w ruchu swobodnym, w krótkim przedziale czasu.



*Rys.4. Rozkład błędów prognoz*

Należy zaznaczyć, że wyniki zawarte w [2] dotyczyły ruchu swobodnego, podczas gdy wartości oczekiwane szacowane w [3] obliczono w przypadku ruchu po idealnej sieci dróg, na przykładzie siatki kartezjańskiej.

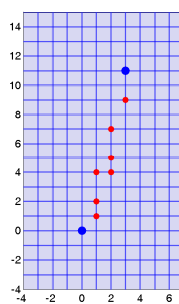
Bez optymalizacji pozycji w przypadku gładkich trajektorii ruchu wolnego w około 5% przypadków zapowiedziana pozycja pewnego obiektu w [2] różniła się na tyle od zasymulowanej pozycji, że interwencja sił policyjnych byłaby bezskuteczna.

Za pomocą optymalizacji możliwe jest polepszenie jakości sieci obserwatorów zrozumianej jako średnia liczba trafnych prognoz – czyli udanej akcji policji podjętej na podstawie informacji systemu. Zmiennymi decyzyjnymi są w tym przypadku pozycje

kamer, opcjonalnie parametry metody ekstrapolacji. Należy pamiętać, że mogą istnieć pewne ograniczenia. Przykładowo ze względu na podziały administracyjne, koszty bądź przepisy prawne nie każda pozycja kamery może być dopuszczona.

Zważywszy na złożoność zagadnienia algorytmy ewolucyjne są najdogodniejszym narzędziem do modyfikacji zmiennych decyzyjnych w taki sposób, by przy uwzględnieniu wspomnianych ograniczeń uzyskać lepsze wartości funkcji celu. Należy zaznaczyć, że w badanym zagadnieniu ewaluacja funkcji celu wymaga przeprowadzenia dużej liczby symulacji, algorytm genetyczny z kolei polega na dużej liczbie ewaluacji.

Pojęcie optymalności może być zależne od dalszych parametrów, takich jak na przykład pułap błędu prognozy, od którego uważa się prognozę za bezużyteczną. Innym istotnym parametrem jest przedział czasu, przewidziany na interwencję – determinuje on błąd ekstrapolacji.



Rys.5. Dotychczasowy optymalny dobór pozycji siedmiu punktów obserwacyjnych (I2CU)

Na Rys.5 przedstawiany jest wybrany wynik optymalnego wyboru punktów obserwacyjnych na siatce prostokątnej przy ustalonych parametrach modelu, początku i celu jazdy. Kryterium oparte jest na liczbie serii dłuższych niż pięć.

#### 4. IMPLEMENTACJA SYSTEMU

W poprzednim rozdziale pokazano możliwości oceny pracy systemu w świecie wirtualnym, zakładając idealne i natychmiastowe działanie wszystkich jego składowych. Wymienić należy przede wszystkim punkty obserwacyjne, które bez wyjątku rejestrują każdy pojazd w ich polu widzenia, bezbłędnie stwierdza tożsamość i bezzwłocznie przekazuje informację do OC. Telekomunikacja w symulacji nie stwarza ani zakłóceń ani opóźnień. W tym rozdziale dany jest przegląd obecnych opcji przeniesienia systemu do świata realnego. Istotnymi punktami są dostępność rozwiązań technicznych, z drugiej zaś strony koszt inwestycji i operacji bieżącej. Aspektom ekonomicznym poświęcona będzie oddzielna praca. Niżej tematyzuje się możliwości techniczne.

Jednym z najistotniejszych uwarunkowań działania systemu jest brak wsparcia elektronicznego ze strony pojazdów obserwowanych. Drugim poważnym ograniczeniem jest niedopuszczalność stosowania lamp błyskowych, ponieważ poszukiwane samochody stanowią nikłą część całkowitego strumienia pojazdów. W odróżnieniu od zwykłych

fotoradarów, przy których prędkość zmierzona radarem wyzwala kamerę, kolejność jest odwrócona: dopiero po analizie obrazu wiadomo, czy pojazd był poszukiwany czy nie. W warunkach złej widoczności np. nocą, podczas deszczu czy mgły, stawia to wysokie wymagania co do jakości podukładów optycznych punktów I2CU jak i implementowanych metod identyfikacji tablic rejestracyjnych.

Celowym jest więc wyróżnienie kilku parametrów sprzętowych systemu. Należy podkreślić, że ogromne tempo postępu technicznego rozszerza paletę możliwości w sposób nieustanny, tak że w chwili urzeczywistnienia inwestycji niniejszy przegląd należy koniecznie uaktualnić.

Względnie łatwym zadaniem jest usprzętowanie OC. Należy go wyposażać w sprzęt telekomunikacyjny, kompatybilny z I2CU, a także Centralny Serwer wraz z odpowiednim oprogramowaniem. Główne jego działanie będzie identyczne z działaniem symulacji, które w środowisku wirtualnym już zostało opracowane, zob. Rozdział 3.

W skład punktu I2CU z definicji wchodzi podzespół optyczny, czyli jedna czy zestaw kilku odpowiednich kamer. Prócz tego konieczny jest podukład do lokalnego przetwarzania danych, czyli mikroprocesor wraz z odpowiednim oprogramowaniem, służący do identyfikacji wszystkich przejeżdżających aut i do porównania z zadaną listą poszukiwanych pojazdów. Do obiegu informacji w ramach rozważanego projektu założono użycie sieci bezprzewodowych, zatem jako trzeci komponent konieczna jest jednostka telekomunikacyjna, czyli nadajnik/odbiornik z odpowiednią anteną. Nie należy pominąć zaopatrzenia punktu obserwacyjnego w prąd i montaż, czyli dodatkowo konstrukcje mechaniczne wraz z obudową.

Do celu monitoringu można oprzeć się na istniejących już systemach. Jednym ze szczególnie interesujących jest najnowszy produkt firmy PolCam Systems - PolCam Mobile ANPR. Jest to pierwszy, całkowicie polski System Automatycznego Rozpoznawania Tablic Rejestracyjnych. Oparty jest na technologii ANPR (Automatic Number Plate Recognition) umożliwiającej rozpoznawanie tablic rejestracyjnych z tradycyjnej kolorowej kamery, a jego skuteczność sięga progu 99%. Produkt obecnie w fazie testów, lecz skuteczność samej technologii ANPR została już wielokrotnie udokumentowana. Jest ona narzędziem sił policyjnych w wielu krajach. W Polsce wykorzystana również przy opracowaniu programu pilotażowego Krajowego Systemu Automatycznego Poboru Opłat (KSAPO), zob. [7].

Następnie, kluczowym elementem jest sposób przekazu informacji do OC i stąd do I2CU. Zakłada się między innymi wykorzystanie sieci komórkowych. Należy ocenić przydatność różnych dostępnych ich wersji w kolejnych generacjach.

Głównym wyznacznikiem doboru odpowiedniej technologii komunikacyjnej jest typ danych jaki należy przesyłać z I2Cu do OC i odwrotnie. Mogą to być zarówno sygnały informacyjne, pliki tekstowe, graficzne, a także strumienie wideo. Zakładając, że akwizycja oraz wstępna analiza danych odbywa się w punktach obserwacyjnych, można zadeklarować, że zasadne jest przysyłanie do OC tylko danych dotyczących poszukiwanych pojazdów, a więc nie jest konieczne obciążenie systemu telekomunikacyjnego poprzez przesył obrazów. Wystarczająca jest informacja o zaistniałym widzeniu skradzionego pojazdu, czyli data, czas oraz pozycja konkretnego punktu obserwacyjnego. W stronę przeciwną konieczne jest tylko regularne uaktualnienie listy poszukiwanych pojazdów. Wybór tego typu przesyłanej informacji zmniejsza się



wymagania w stosunku do systemów transmisyjnych, co skutkuje możliwością zastosowania tańszych rozwiązań i/lub zapewnia szybszy transfer danych.

Również czas jest bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na skuteczność działania całego systemu. Wymagane jest także dokładne pokrycie danego obszaru. Zatem należy wskazać takie systemy telekomunikacyjne, które są w jak największym stopniu odporne na wpływ interferencji zarówno pochodzących od innych sygnałów korzystających z tego samego pasma jak i pochodzenia zewnętrznego (zjawiska atmosferyczne).

Przyjmując, że telekomunikacyjna sieć heterogeniczna jest wielopoziomowa, celowo jest tworzyć jeden z poziomów na bazie bezprzewodowych sieci szerokopasmowych. Wskazane jest rozwiązanie działające na dużym obszarze w charakterze zarówno sieci dostępowych dla I2CU, jak i sieci szkieletowych dla innych poziomów.

Oprócz sieci lokalnych (WLAN) opartych na warstwie fizycznej np. IEEE 802.11 wraz z rozszerzeniami, względnie IEEE 802.16, należy również wykorzystać system UMTS, [6]. Zastosowana w nim technologia HSPA znacznie zwiększa prędkość transmisji danych w stosunku do poprzednika - systemu GSM/GSM EDGE, zob.[4]. W chwili obecnej można wyróżnić transfer z przepływnością do 21,6 Mbit/s – z sieci w stronę terminala (HSDPA) oraz 5,76 Mbit/s w stronę odwrotną (HSUPA). Zaznaczyć należy także zwiększoną odporność na zakłócenia dzięki zastosowaniu metody z widmem rozproszonym (WCDMA). Umożliwia ona rozproszenie transmisji na pasmo o szerokości 5 MHz, co w dużej mierze podnosi skuteczność całego systemu. Szczegóły odporności systemu trzeciej generacji na interferencje zostały opisane szczegółowo w artykule [5]. Rozmiar komórki waha się w zależności od jej typu: od kilkunastu metrów w przypadku pikokomórki do kilkunastu kilometrów w przypadku makrokomórki, tym samym system UMTS daje możliwość pokrycia badanego obszaru za pomocą mniejszej ilości anten, w stosunku do systemów 2G oraz 2,5G, co zmniejsza to koszty realnej implementacji omawianego systemu.

W przyszłości wskazane jest również wykorzystanie standardów telefonii komórkowej czwartej generacji (4G) takich jak LTE Advanced (E-UTRA) i WiMAX-Advanced. Już dziś wdrożone są ich niepełne wersje określane mianem 3,9G. Nadmienić należy, że systemy te są wciąż usprawniane. Dopóki nie spełnią założeń sprecyzowanych przez międzynarodową organizację ITU-R już w 2008 r. nie należy zaliczać wyżej wymienionych systemów do czwartej generacji, choć potocznie nazwa ta jest już w stosunku do nich używana. Jedno z głównych założeń dotyczy przesyłu danych na poziomie aż 1Gbit/s (download) do odbiorców stacjonarnych, 500Mbit/s – od odbiorcy (upload), oraz 100Mbit/s dla użytkowników mobilnych. Problemy dotyczące tak wysoko postawionych wymagań są jeszcze na etapie rozwiązywania. Wybrane systemy zostaną poddane szczegółowej analizie w kolejnych artykułach.

## 5. WNIOSKI

Badana w pracy koncepcja sieci inteligentnych punktów obserwacyjnych służących do śledzenia ruchu poszukiwanych samochodów może być przydatnym narzędziem w zwalczaniu kradzieży aut. Symulacje stochastyczne działania systemu wykazały, że zarówno w przypadku ruchu swobodnego jak i ruchu po sieci możliwa jest rekonstrukcja drogi pojazdu. W pewnych okolicznościach metodą ekstrapolacji uzyskane prognozy dalszej trasy ruchu są na tyle dokładne, że umożliwiają one skuteczną interwencję policji.

Rozszerzając analizę głównych elementów na poziomie modelu teoretycznego i testu jego funkcjonalności w wirtualnym środowisku podane są konkretne opcje implementacji proponowanego systemu.

Ważnym aspektem badań są koszty instalacji, utrzymania i operacji sieci obserwacyjnej. Tym samym testowanie i optymalizacja konfiguracji składowych systemu nabierają olbrzymiego znaczenia. Ocena konfiguracji sieci oparta jest na różnych kryteriach, które następnie polepszane są przez modyfikacje dobrane za pomocą algorytmu ewolucyjnego.

W artykule badano obserwację ruchu rozpatrywanych pojazdów na podstawie przyjętego zachowania kierowców poruszających się swobodnie bądź po sieci referencyjnej do określonego celu jazdy. Ograniczono się do teoretycznych przypadków. Dla przyszłego zastosowania potrzebne są dalsze badania modeli ruchu drogowego.

Wobec relacji kosztów do szans sukcesu należy w dalszych badaniach również rozpatrywać opcję wielu tanich obserwatorów – *LCOU (Low Cost Observation Unit)* – które przekazałyby informacje bezpośrednio do OC, bez albo po jedynie wstępnej analizie. Wtedy obciążenie sieci telekomunikacyjnej będzie znacznie wyższe, lecz koszt jednostek ulegnie istotnej redukcji. W konsekwencji poszerzają się możliwości zagęszczenia sieci poprzez zwiększenie liczby punktów obserwacyjnych.

Przyjmując założenie – tanio a dużo – można rozbudować koncepcję o obserwatorów mobilnych. Takie jednostki mogłyby zostać zainstalowane przykładowo na miejskich autobusach. Zalety obu rozwiązań i ewentualnych wersji pośrednich należy ewaluować drogą dalszych badań symulacyjnych, których celem będzie wybór optymalnej opcji.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Górka M.: *Tracing multiple mobile objects by a network of intelligent detectors*, Czasopismo Logistyka 3/2011
- [2] Górka M.: *Course prediction for mobile object tracing network*, in: Proceedings of the 4th International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists, TU Poznań, 2011
- [3] Górka M.: *Assessment of observer positions for given behavior of drivers*, XV Międzynarodowa Konferencja TransComp, Zakopane, 05-08.12.2011
- [4] Górka M., Chrzan M.: *Możliwości wykorzystania UMTS w bezprzewodowych sieciach heterogenicznych*, Czasopismo Logistyka 6/2009
- [5] Górka M., Grzywacz S.: *Możliwości poprawy jakości transmisji w systemie UMTS*, Czasopismo Logistyka 6/2010
- [6] Jackowski S., Chrzan M.: *Współczesne systemy telekomunikacyjne*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej 2008
- [7] Nowacki G., Niedzicka A., Smoczyńska A., Rozestaniec R., Kallweit T.: *Krajowy system automatycznego poboru opłat – projekt pilotażowy*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej 2011
- [8] Pearson K.: *The problem of the Random Walk*, Nature, 72, 1905
- [9] Pólya G.: *Über eine Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsrechnung betreffend die Irrfahrt im Strassennetz*, Mathematische Annalen, 84 (1-2), pp 149–160, 1921
- [10] Internet: <http://maps.google.pl>, retrieved 15.09.2011, 09:15