



Małgorzata GÓRSKA, Stefan JACKOWSKI

## WYBRANE TECHNIKI SIECIOWEJ OBSERWACJI RUCHU POJAZDU DROGOWEGO

### *Streszczenie*

*W sukcesywnie rozwijanej koncepcji systemu poszukiwania pojazdów drogowych według zadanych cech wprowadzono kolejne metody obserwacji ich trajektorii. Ponieważ celem głównym opracowywanego systemu jest obserwacja, a następnie predykcja trasy poszukiwanego samochodu bardzo ważną składową jest możliwość zasymulowania jego ruchu na realistycznej sieci dróg. Niniejszy model pozwoli na zbadanie optymalnej konfiguracji punktów obserwacyjnych celem uzyskania największego prawdopodobieństwa trafnej prognozy trajektorii danego pojazdu. Eksperymentalnie opracowana siatka na podstawie kartezjańskiego układu współrzędnych została zmodyfikowana, co pozwoli na bardziej realistyczne odzwierciedlenie modelu mapy. W artykule przedłożono aktualne rezultaty badań.*

### WSTĘP

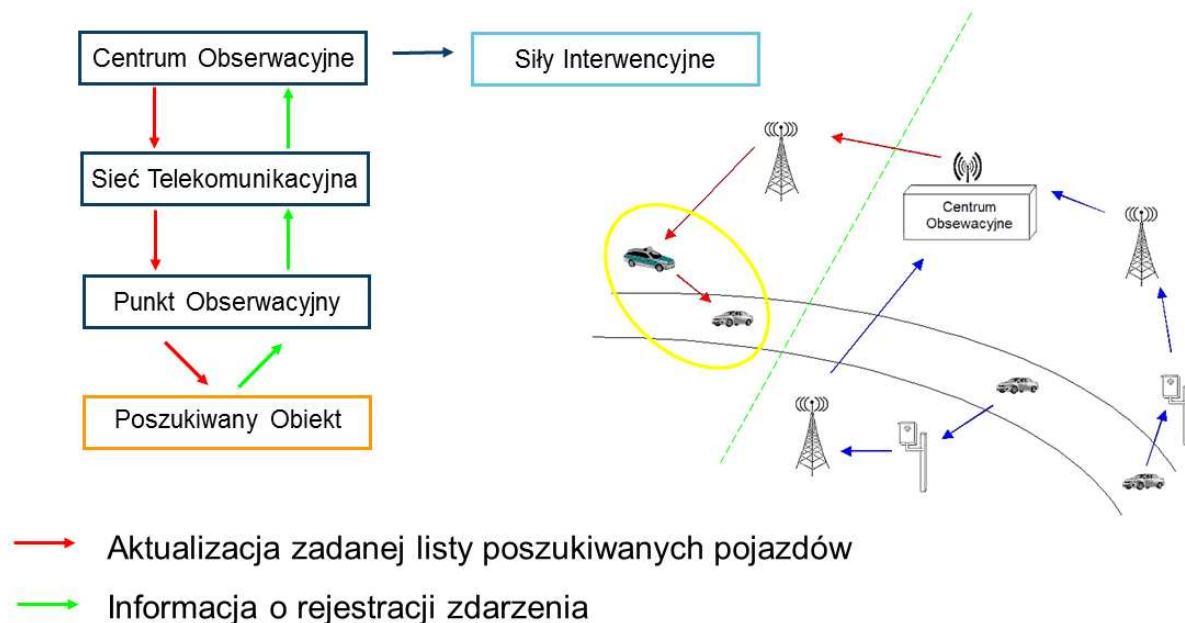
Struktura projektowanego systemu składa się z trzech głównych komponentów: centrum obserwacyjnego, punktów obserwacyjnych (czujników) oraz sieci telekomunikacyjnej. Dodatkowymi składowymi są sieć dróg oraz zbiór poszukiwanych pojazdów. Wybrane elementy zostały już przedstawione w serii artykułów [1], [2], [3], [4] oraz [5].

W pierwszym kroku zamodelowano pseudorealistyczną sieć dróg, która posłuży za podstawę badań. Nie jest wskazane, aby modelowanie odbywało się na realnej sieci dróg, ponieważ koncepcja systemu powinna być możliwa do aplikacji do prawie każdej mapy drogowej – nie tylko do konkretnego przypadku. Istotnym czynnikiem dla skutecznego działania sieci jest dwukierunkowa komunikacja pomiędzy sensorami a Centrum Obserwacyjnym, skąd jest uaktualniana lista zadanych pojazdów.

### 1. STRUKTURA SYSTEMU

Zakłada się, że obiekt zainteresowania jest rozpoznawany optycznie na podstawie informacji uzyskanych z punktów obserwacyjnych, w których umieszczone są kamery monitorujące drogi wraz z dodatkowym sprzętem odpowiednio oprogramowanym oraz nadajniki/odbiorniki wybranych systemów telekomunikacyjnych. Rejestracja tego zdarzenia jest przekazywana drogą bezprzewodową do Centrum Obserwacyjnego, gdzie dane są przetwarzane. Posłużą one do rekonstrukcji trajektorii wyznaczonego pojazdu celem krótkoterminowej predykcji jego dalszej trasy. Oczywiście im większa liczba widzeń,

tym lepsza jest jakość predykcji, która następnie posłuży do wspomagania zainteresowanych, uprawnionych sił interwencyjnych. Schemat działania systemu zademonstrowano na rys. 1.



**Rys. 1.** Struktura projektowanego systemu

Kluczowe dla pomyślnego działania proponowanego systemu jest rozwiązanie interdyscyplinarnych problemów takich jak wyznaczenie zbioru cech dystynktywnych rozpoznawanych obiektów, ich identyfikacji oraz przetworzenie danych na sygnał cyfrowy, opracowanie metodyki rozmieszczania czujników na określonej strukturze dróg, a także predykcja trasy poszukiwanego obiektu przy niedostatecznej gęstości rozmieszczenia czujników. Bardzo istotny jest również wybór urządzeń, środków transmisyjnych oraz struktury sieci heterogenicznej, ochrona informacji w systemie. Szczególną uwagę należy zwrócić na obieg informacji pomiędzy końcowymi elementami sieci: czujniki - centrum zarządzania.

Niektóre z wyżej wymienionych problemów są w różnym zakresie opisane w literaturze, w szczególności zagranicznej. Brak jest jednak opisu kompleksowego rozwiązania systemu, które wstępnie zaprezentowano w niniejszym artykule. Zagadnienie charakteryzowane jest poprzez modyfikację opisanych problemów automatycznego rozpoznawania tablic rejestracyjnych, dostępnego oprzyrządowania, ochrony informacji w sieci i oryginalne opracowanie problemów związanych z metodyką rozmieszczania punktów obserwacyjnych, predykcją trajektorii poszukiwanego pojazdu czy heterogeniczną siecią telekomunikacyjną.

W kolejnym rozdziale omówiono założenia dotyczące projektowanego systemu. Następnie opisano badania symulacyjne. Na zakończenie przedstawiono wnioski z dokonanych dotychczas badań, z których wyprowadzono plan dalszych prac.

Należy nadmienić, że system składa się z wielu komponentów, więc jego realizacja jest dość kosztowna. Ze względu na nie małe nakłady konieczne do budowy realnego systemu zasadne jest badanie jego funkcjonowania oraz skuteczności w rzeczywistości wirtualnej. Optymalizacja konfiguracji za pomocą symulacji może doprowadzić do znacznej redukcji kosztów budowy realnego systemu.

## 2. ZAŁOŻENIA

Realizacja proponowanego systemu narzuca konieczność określenia wymagań w zakresie dokładności identyfikacji, szybkości przesyłu i przetwarzania danych. Stąd w symulacji założono, że czujniki optyczne (kamery) mają dostatecznie wysoką rozdzielczość, by jednoznaczna identyfikacja obiektu ruchomego była możliwa. Zaś transmisja danych między punktami obserwacyjnymi a Centrum Zarządzania odbywa się przy wykorzystaniu współczesnych bezprzewodowych systemów dostatecznie szybko. Również ekstrakcja informacji z uzyskanych danych działa wystarczająco sprawnie.

Rozpatrywane są dwa warianty punktów obserwacyjnych. Pierwszy to I2CU (czyli Intelligent Interconnected Camera Unit), gdzie dane przetwarzane są lokalnie. Potrzebna jest zatem duża lokalna moc obliczeniowa, ale takie rozwiązanie pozwala odciążyć sieć telekomunikacyjną – przesyłana jest tylko informacja o zaistniałym zdarzeniu w formie danych pakietowych.

Natomiast drugi wariant LC2U (Low Cost Camera Unit) pozwala scentralizować moc obliczeniową - ciężar pracy systemu przeniesiony jest do centrum obserwacyjnego lub alternatywnie do Chmury Obliczeniowej (Cloud Computing). Ten wariant pozwala na zaimplementowanie większej liczby czujników, lecz także - ze względu na transmisję strumienia wideo - stawia znacznie większe wymagania sieci telekomunikacyjnej. W kolejnych etapach zostanie zbadany optymalny dobór omówionych wariantów.

Dalsze badania, jak modelowanie pozycji punktów monitorowania - optymalne pod względem skuteczności systemu mierzonej sukcesem wspartych sił interwencyjnych – będą się odbywać ze szczególnym uwzględnieniem topografii sieci dróg, jakości jednostek obserwacyjnych i charakterystyki sieci telekomunikacyjnej.

## 3. BADANIA SYMULACYJNE – RUCH POJAZDÓW

Dotychczasowe badania symulacyjne przeprowadzono w programie Matlab-Simulink. Bieżąca symulacja systemu polega na systematycznych testach. Zasymulowano różne trasy, po których następnie porusza się wirtualna flota pojazdów. Każdy z nich skraca krok po kroku odległość do aktualnego celu, wybierając kolejny segment sieci dróg. Przy każdym kroku sprawdzana jest pozostała odległość. Dane zapisywane są do tzw. 'log'-u.

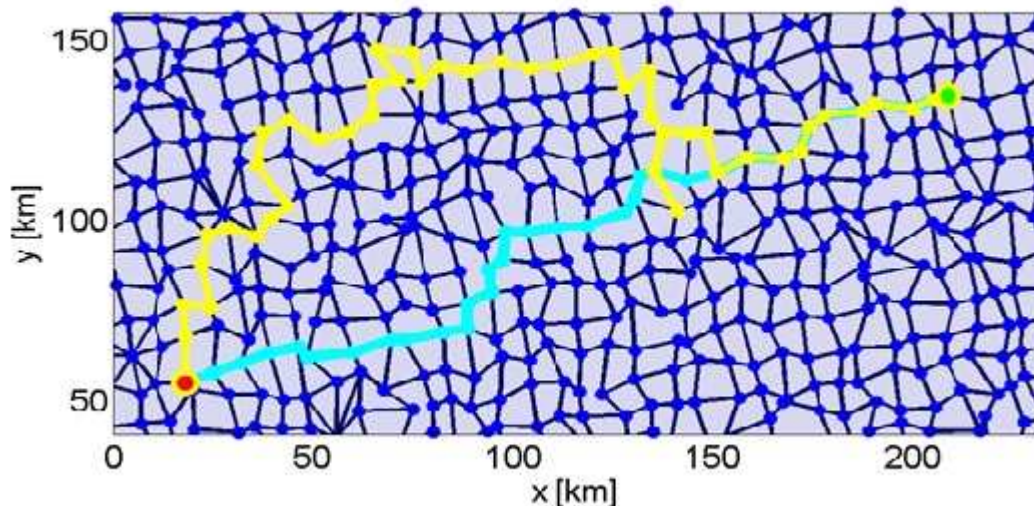
Na zakończenie symulacji odseparowano wyniki z zapisanych danych, np. który kierowca ile raz był widziany lub która kamera widziała jaką liczbę poszukiwanych pojazdów. rys. 2. przedstawia uproszczony schemat przebiegu symulacji.

```
for i=1 : I                                % początki tras
    for j=1 : J                              % cele tras
        for k=1 : K                          % kierowcy
            while dist>0                     % jazda
                go                             % wybierz segment
                check                          % sprawdź warunki
                write                          % zapisz informację
            end
        end
    end
end
summarize                                  % wyprowadź wyniki
```

Rys. 2. Globalny schemat symulacji

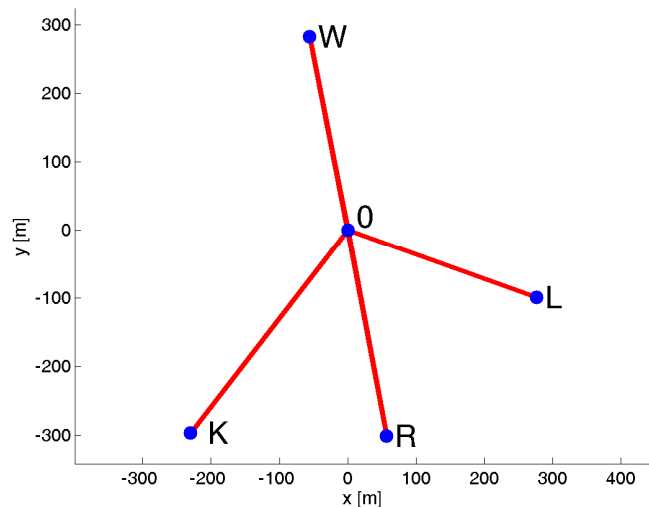
W pierwszym kroku zamodelowano pseudorealistyczną sieć dróg. Następnie dokonywany jest wybór początku i celu jazdy [8]. Program za pomocą algorytmu propagacji wstecznej oblicza optymalną trasę pomiędzy nimi, zaznaczoną na rys. 3. kolorem cyan.

Uwzględniając pewne odchylenia zamodelowano 10000 trajektorii, gdzie w każdym kroku dokonywany jest wybór kolejnych węzłów [11]. Na rys. 3. przedstawiono trzy przykładowe trasy pojazdu.



Rys. 3. Przykładowe przebiegi symulowanych trajektorii

Głównym celem symulacji jest podejmowanie decyzji na kolejnych węzłach, jak na przykładzie zobrazowanym na rys. 4. Będąc na danym skrzyżowaniu, np. na Rondzie Warszawskim w Radomiu, chcąc jechać do Krakowa, oceniamy dostępne opcje [10]. Wirtualny kierowca według pozostałej odległości do celu decyduje się z różnymi prawdopodobieństwami na kolejny segment.

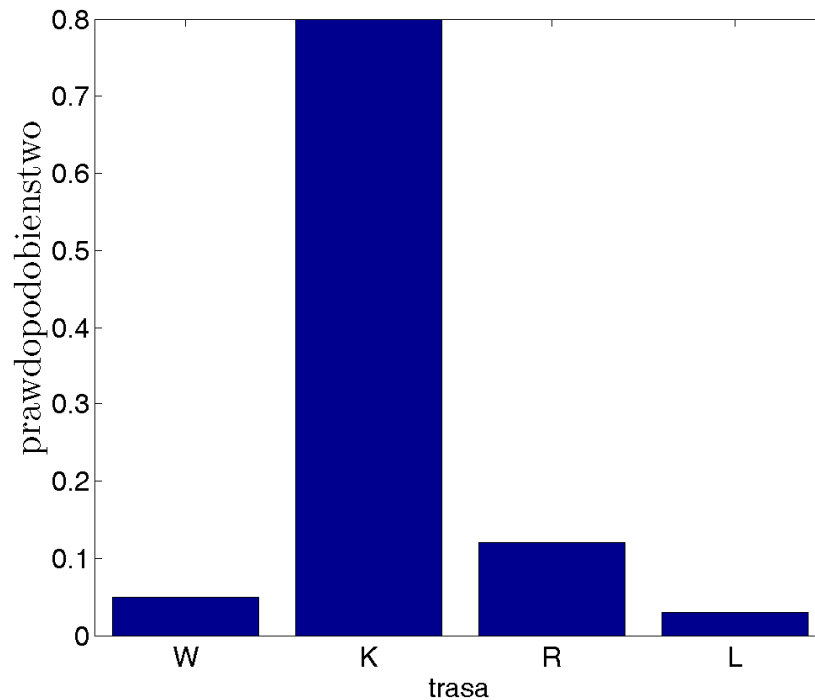


Rys. 4. Podejmowanie decyzji na skrzyżowaniu - węzeł o 4 gałęziach (segmentach)

W modelu omawianego systemu preferencje osobiste kierowcy uwzględniono poprzez parametry  $a$  i  $b$ . Z kolei redukcję odległości odnoszoną do długości odcinka, która w przypadku siatki nieregularnej nie jest stała oznaczono symbolem  $c$ .

$$p = (a + (0.5(1+c))^b) / (1+a) \quad (1)$$

Zastosowano prawo potęgowe wyrażone wzorem (1), który przelicza otrzymany iloraz  $c$  charakteryzujący dany odcinek na poziom przydatności  $p$ . Parametry  $a$  i  $b$  krzywej definiują szczegółowo typ zachowania poszukiwanego kierowcy.

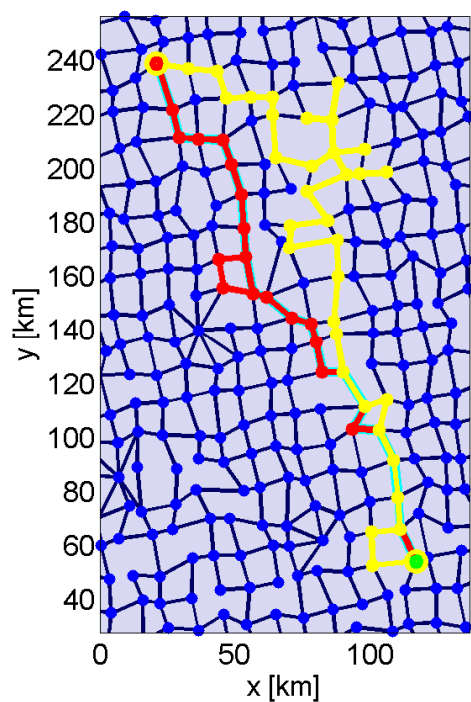


**Rys. 5.** Podejmowanie decyzji na skrzyżowaniu – rozkład dyskretny

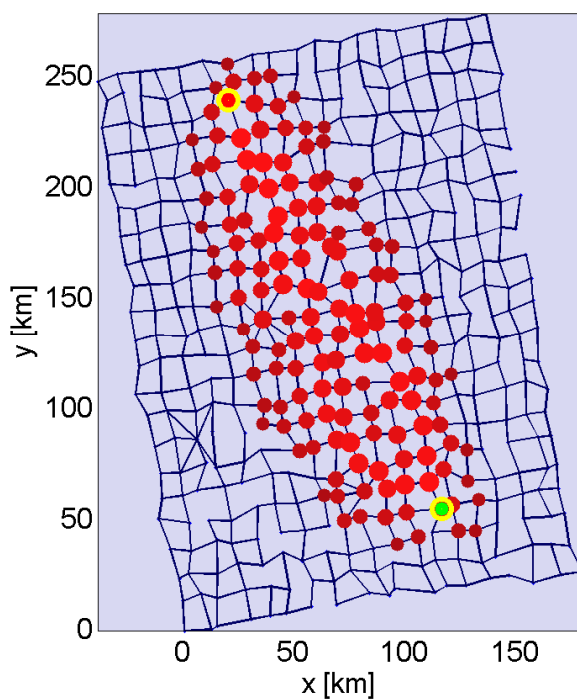
Duża wartość parametru  $a$  charakteryzuje ściśle losowy sposób przemieszczania się, zaś duża wartość  $b$  jest typowa dla małej tolerancji co do odstępstw od optymalnego wyboru. Następnie przelicza się poziomy preferencji na prawdopodobieństwa według wzoru (2), biorąc pod uwagę, że suma prawdopodobieństw przy rozkładzie dyskretnym (rys.5) musi być równa jeden [5].

$$P_l = \frac{P_l}{\sum_{s=1}^s P_s} \quad (2)$$

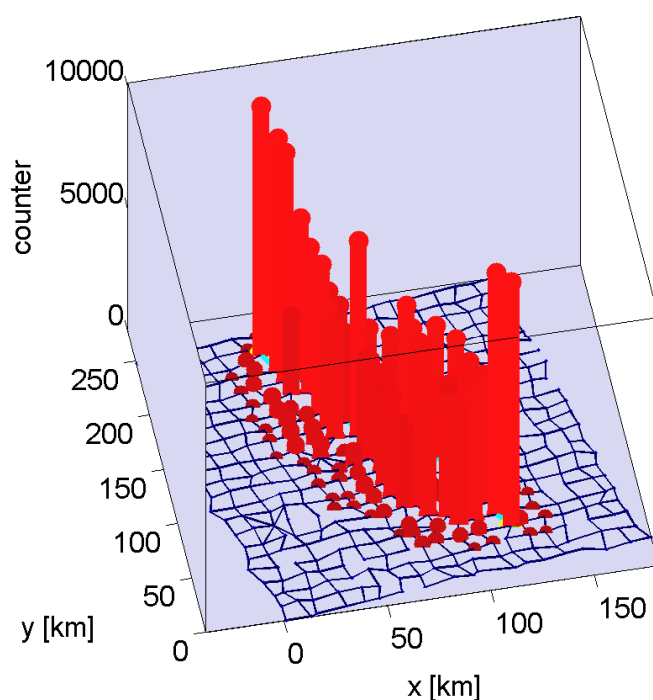
Na rys. 6. zaprezentowano trzy przykładowe trajektorie wirtualnych aut poruszających się po alternatywnej sieci dróg, natomiast na rys. 7. oraz 8. liczby przejazdów, które kodowane są kolorem, wielkością, grubością i wysokością.



**Rys. 6.** Przykładowe trajektorie na odmiennej sieci dróg



**Rys. 7.** Wyniki: częstości rejestracji – kodowanie kolorem i grubością



**Rys. 8.** Wyniki: częstości rejestracji – kodowanie wysokością

Jako że modelowane decyzje są losowe, różni kierowcy mogą wybrać różne trasy. Zasadne jest więc zliczanie w trakcie symulacji przejazdów przypadających na każde skrzyżowanie i każdy odcinek drogi w zadanej sieci [6], [7], [9]. W celu uwiarygodnienia wyników badań zasymulowano 10000 różnych kierowców na innej sieci dróg prezentowanej powyżej.

## PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki badań nad alternatywnymi sieciami dróg oraz metodami określania częstości badanych zdarzeń, które stanowią istotną składową projektowanego systemu poszukiwania pojazdów według zadanych cech.

Na prezentowanych przykładach zauważono, że umiejscowienie punktów obserwacyjnych jest najbardziej celowe w jak najkrótszej linii pomiędzy punktami początku i celu jazdy wirtualnego kierowcy. Realnie punkty te mogą przedstawiać dwie duże aglomeracje, a trasy optymalne – drogi ekspresowe lub autostrady, a także alternatywne szlaki komunikacyjne pomiędzy nimi. Widoczne są także strefy nieprzejezdne – w rzeczywistości mogą to być np. jeziora, lasy. Oczywiście jest, że w tych miejscach umieszczanie punktów obserwacyjnych jest bezcelowe.

Na podstawie otrzymanych wyników punkty obserwacyjne należy ustawić tam gdzie widoczne są wysokie słupki.

Aby omawiany projekt ostatecznie mógł być zastosowany w rzeczywistości będzie wymagał nakładania na siebie całego szeregu trajektorii aut wychodzących z szerszych obszarów źródłowych i skierowanych do zadanych stref. Zatem w kolejnych etapach pracy zaplanowano usprawnienie symulacji poprzez częściowe przejście z programowania w języku Matlab do C++ oraz rozszerzenie opcji optymalizacji o algorytm ga (Matlab, Optimization Toolbox) oraz algorytmy ewolucyjne (np. algorytm roju).

# SELECTED TECHNIQUES FOR THE NETWORK OBSERVATION OF ROAD VEHICLE MOVEMENT

## *Abstract*

*In a recently developed concept for tracing road vehicles, identified on the basis of given features, some methods for the observation of trajectories were introduced. The main goal of the system is the observation and then prediction of a vehicle's route, so a most important component is the possibility to simulate a car's movement on a real road network. A simulation model will help to find an optimal configuration of observation points in order to obtain the highest probability of vehicle's accurate trajectory prediction. The road net, which was first developed for computer experiments on the basis of Cartesian coordinates, was modified to resemble a more realistic map. The latest results of this ongoing research are presented.*

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Górńska M., Jackowski S.: Optymalizacja sieci inteligentnych obserwatorów, *Czasopismo Logistyka* 6/2011
2. Górńska M.: Assessment of observer positions for given behavior of drivers, *Czasopismo Logistyka* 6/2011
3. Górńska M.: Tracing multiple mobile objects by a network of intelligent detectors, *Czasopismo Logistyka* 3/2011
4. Górńska M.: Course prediction for mobile object tracing network, *Proceedings of the 4th International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists, Poznań, 2011*
5. Górńska M., Jackowski J.: Analiza wybranych czynników wpływających na trajektorie ruchu poszukiwanych pojazdów, *Czasopismo Logistyka* 3/2012
6. Gubner J.A.: *Probability and random processes for electrical and computer engineers*, Wydawnictwo Cambridge University, ISBN 978-0-511-22023-4, 2006
7. Hartenstein H., Laberteaux K.P.: *VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies*, Wydawnictwo JohnWiley & Sons, 2010
8. Hudert S., Niemann C., Eymann T.: *On Computer Simulation as a Component in Information Systems Research*, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6105, Global Perspectives on Design Science Research, str. 167-179, 2010
9. Olariu S, Weigle M.C.: *Vehicular Networks - From Theory to Practice*, Wydawnictwo Chapman & Hall/CRC, ISBN 978-1-4200-8588-4, 2009
10. Sohn J.H., Baek W.K.: *Vehicle dynamic simulation including an artificial neural network bushing model*, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol.19, nr 1, str. 255-264, 2005
11. Winter S., Yin Zhang-Cai: *The elements of probabilistic time geography*, *GeoInformatica*, Vol. 15, Nr 3, str. 417-434, 2011

## **Autorzy:**

**mgr inż. Małgorzata GÓRSKA** – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu

**prof. dr hab. Inż. Stefan JACKOWSKI** – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu