

GÓRSKA Małgorzata¹
JACKOWSKI Stefan²

Analiza wybranych czynników wpływających na trajektorie ruchu poszukiwanych pojazdów

System poszukiwania pojazdów, sieć dróg, symulacja

Streszczenie

Rozważana w artykułach [1,2,3,4] koncepcja systemu poszukiwania zadanych pojazdów na podstawie danych wizualnych sukcesywnie rozwijana jest o kolejne etapy symulacji. Celem nadrzędnym jest uzyskanie największego prawdopodobieństwa trafnej prognozy trajektorii danego pojazdu, która w efekcie pozwoli na skuteczną interwencję wybranym użytkownikom systemu. Konieczne jest więc analizowanie zróżnicowanych typów kierowcy jak i trafne rozłożenie punktów obserwacyjnych. Aktualnie przedłożono rezultaty badań nad bardziej rozbudowanym modelem kierowcy poruszającym się po hipotetycznej sieci dróg. Odległości od punktu początkowego do celu jazdy mierzone są po odcinkach trasy, które dodatkowo mogą być charakteryzowane wagami zależnymi od parametrów drogi (np. jakość nawierzchni, przepustowość, podział na drogi płatne itp.). Efekty przypadkowych odchyień od optymalnych decyzji kierowców (najkrótszych tras) są uwzględniane przy wyznaczaniu pozycji punktów obserwacyjnych. W perspektywie planuje się optymalizację jakości predykcji, która przedstawiona zostanie w kolejnych pracach.

STUDY OF CHOSEN FACTORS INFLUENCING TRAJECTORIES OF SELECTED VEHICLES

Abstract

We extend the concept of a network for visual tracing definite vehicles, presented recently in [1,2,3,4], by successive improvements of available simulation components. The final aim is to make good predictions of future positions of the object under surveillance, which allows the interception of the target by the authorities. It is crucial to include the whole spectrum of possible driver behaviors in order to decide reasonably about optimal positions for observation points. In the present article, the simulation is extended to a more flexible road net together with a more sophisticated driver model. Distances are measured along the road segments and may be weighted by road conditions such as state of the surface, traffic density and fees. The effects of random deviations from optimal decisions of drivers on the traffic densities at chosen camera positions are studied. Thus, the observation network may be subject to optimization with respect to the number of registered targets. Later on, the objective will be the quality of predictions, which will be considered in a forthcoming paper.

1. WSTĘP

W poprzednich pracach [1,2,3,4] została zaprezentowana koncepcja sieci jednostek obserwacyjnych *I2CU* (*Intelligent Interconnected Camera Units*), będących częścią projektu systemu poszukiwania użytkowników dróg publicznych. Głównym celem jest optymalizacja tejże sieci, a w szczególności lokalizacji obserwatorów. Oczywistym elementem optymalizacji jest uwzględnienie sposobu zachowania się obiektów będących pod obserwacją oraz restrykcje narzucone przez zastosowanie ustalonej sieci dróg.

W przypadku ruchu drogowego poszukiwanymi obiektami są pojazdy takie jak samochody osobowe czy ciężarówki, których trajektorie ograniczone są systemem szlaków komunikacyjnych. Wstępne symulacje działania sieci obserwacyjnej były jednak wykonane na przykładzie ruchu swobodnego na zadanym terytorium, względnie na siatce regularnej prostokątnej. Ponadto założono bardzo uproszczony zestaw reguł definiujących ruch pojazdów po ustalonym terenie lub po odcinkach siatki.

Ogólnie można założyć, że większość kierowców stara się podróżować w sposób zdeterminowany do ustalonego celu jazdy. W rzeczywistości wybór trasy odbywa się jednak pod wpływem całego szeregu czynników losowych. Należą do nich z jednej strony osobiste preferencje poszczególnych kierowców, spontaniczne zmiany planów, a z drugiej zewnętrzne czynniki takie jak warunki drogowe, wypadki lub remonty dróg. Dzięki nowoczesnym technikom telekomunikacyjnym i nawigacji satelitarnej coraz więcej kierowców w każdej chwili zna optymalną trasę do celu jazdy. Niemniej, albo świadomie albo na przykład przez pomyłkę, zdarzają się trasy odbiegające od najlepszej.

Celem niniejszej pracy jest rozszerzenie symulacji prezentowanych w poprzednich publikacjach [1,2] pod trzema aspektami. Po pierwsze w Rozdz.2. uwzględniony zostanie ruch po siatce realistycznej, bardziej zbliżonej do rzeczywistej

¹ 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

² 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

niż siatka idealna, na której podstawie powstały prace [3,4]. Świadomie nie opierano się na konkretnej rzeczywistej sieci dróg, by uzyskać wyniki o znaczeniu ogólnym sięgającym poza pojedynczy przypadek szczególny. W tym celu siatki generowane są w sposób losowy. Drugie rozszerzenie dotyczy sposobu liczenia odległości, który uwzględnia realia siatki dróg zamiast odległości mierzonej w linii prostej od pozycji aktualnej do celu jazdy danego pojazdu. Po trzecie uwzględnia się prawdopodobieństwo omyłkowych bądź zamierzonych decyzji o zmianie preferowanej optymalnej trasy. Szczegóły zostaną omówione w Rozdz.3.

Ostatecznie model wielokrotnie (10000 razy) zasymulowano, celem badania indywidualnych trajektorii pojazdów biegnących przez zdefiniowaną sieć dróg od wybranego początku do zadanego końca trasy. Wyniki eksperymentów komputerowych zależą od wyboru parametrów modelu, od geometrii siatki oraz od punktu wyjścia i celu badanych trajektorii. W Rozdz.4. zostanie przedstawiony model, w którym testowana będzie wrażliwość opracowanej symulacji względem zmian wybranych opcji przedstawionych w rozdziałach poprzednich. Wyniki badań podane zostaną w Rozdz.5. Szczególnie interesującym aspektem jest liczba pojazdów przejeżdżających przez każdy pojedynczy odcinek sieci dróg, względnie węzeł, czyli skrzyżowanie. Rezultaty przedstawiane są w formie map gęstości ruchu oraz trójwymiarowych schematów, dzięki którym w Rozdz.5. możliwe jest wstępne określenie ewentualnych pozycji jednostek obserwacyjnych.

2. SYNTEZA SIECI DRÓG

Opracowany syntetyczny model dróg przedstawiony został na rys.1. Wygenerowano go z siatki prostokątnej losowo niekształcąc oraz modyfikując poprzez dodawanie i usuwanie pewnych odcinków.

Początkowo przyjmuje się wierzchołki według wzoru:

$$Z_{ij} = x_i + y_j \quad (1)$$

gdzie: $x_i = i\Delta x + \xi_i$
 $y_j = j\Delta y + \zeta_j$
 $i = 1 \dots m$
 $j = 1 \dots n$.

Tutaj wielkości ξ oraz ζ oznaczają przypadkowe zaburzenia losowane według rozkładu normalnego z wartością średnią zerową i z dyspersją kilkakrotnie mniejszą od kroków siatki, [8, 9].

Odcinki dróg, czyli krawędzie grafu opisującego mapę połączeń pomiędzy wierzchołkami, które natomiast odpowiadają skrzyżowaniom bądź rozgałęzieniom tras, przyjęte są wyłącznie pomiędzy bezpośrednimi sąsiadami. Oznacza to, że istnieje trasa pomiędzy Z_{ij} i $Z_{i'j'}$, dokładnie wtedy, gdy zachodzi dla par wskaźników relacja:

$$|i - i'| + |j - j'| = 1 \quad (2)$$

Powyższy wzór jest spełniony dokładnie wtedy, gdy rozpatrywane dwa punkty leżą na jednej linii horyzontalnej, a ich pozycje wertykalne różnią się dokładnie o jeden, albo odwrotnie - mają one wspólną pozycję wertykalną, a pozycje horyzontalne posiadają różnicę co do wartości bezwzględnej równą jeden.

Przy dalszych rozważaniach dogodniej będzie stosować oznaczenia zawierające pojedynczy wskaźnik, w celu uniknięcia wprowadzania poczwórnych wskaźników przy opisie połączeń w sieci drogowej.

Numeracja odbywa się według wzoru:

$$V_l = Z_{ij} \quad (3)$$

jeżeli: $l = (i - 1)n + j$

Odpowiada to numeracji wierzchołków wierszami, czyli najpierw po wskaźniku drugim, następnie po pierwszym. Konwencja taka jest umowna, alternatywnie można przykładowo stosować numerację kolumnami.

Na potrzeby symulacji zapisuje się informację o istnieniu połączeń w macierzy E w taki sposób, że:

$$E_{ll'} = 1 \quad (4)$$

gdy V_l i $V_{l'}$ są połączone, a 0 w przeciwnym przypadku. Należy zaznaczyć, że ignorujemy połączenia wierzchołka z samym sobą, gdyż mają one zerową długość.

W ten sposób odzwierciedlono naturalny wzrost sieci dróg spotykany w wielu regionach.

W pewnych odstępach, niekoniecznie regularnych, występują trasy zachód-wschód, a także w kierunku prostopadłym - odpowiednio z południa na północ. Dodatkowo w pobliżu wielkich aglomeracji istnieją odcinki biegnące po przekątnych.

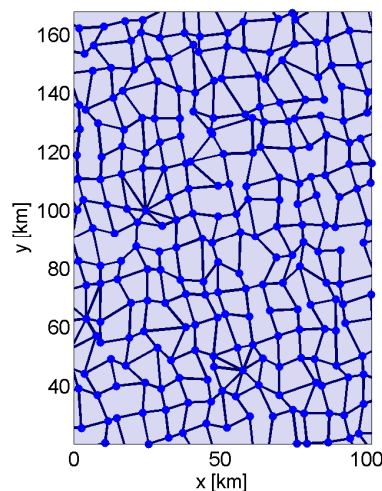
Uwzględnia się to przy syntezie siatki przez dodanie wybranych połączeń pomiędzy sąsiadami niebezpośrednimi. W tym przypadku w numeracji podwójnej zachodzi:

$$|i - i'| \cdot |j - j'| = 1 \quad (5)$$

Powyższa równość zachodzi dokładnie wtedy, gdy obie współrzędne pozycyjne są różne o jeden lub minus jeden.

Należy wziąć również pod uwagę tereny nieprzejezdne. W symulacji naturalne przeszkody takie jak jeziora, rzeki czy góry zostały uwzględnione poprzez losowe usuwanie odcinków dróg, czyli jedynek z macierzy E .

Z powodu tych naturalnych barier dystans do wybranego celu może być znacznie dłuższy od odległości mierzonej w linii prostej. W niniejszych obliczeniach pominięto naturalną krzywiznę Ziemi, ponieważ symulacje dotyczą dostatecznie małych obszarów.

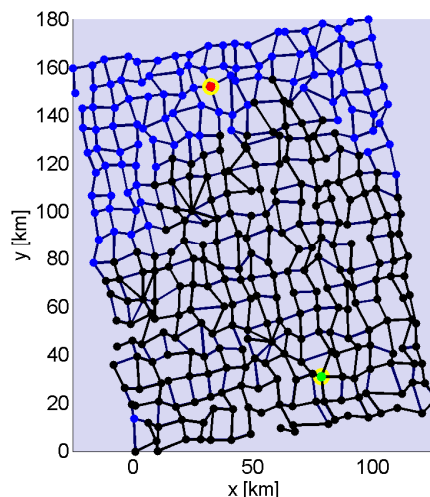


Rys.1. Pseudorealistyczna sieć dróg

Następnym krokiem jest wybranie spośród węzłów punktu początkowego i docelowego. Skonstruowanie optymalnego wyboru drogi pomiędzy tymi punktami jest bliżej opisane w następnym rozdziale. W celu znalezienia najlepszej ścieżki biegnącej wzdłuż danych odcinków tras wymagane jest obliczenie odległości pomiędzy dowolnie wybranym punktem a celem jazdy. W przypadku ogólnym, gdy należy uwzględnić cały szereg punktów docelowych, różnych dla poszczególnych pojazdów, trzeba skonstruować pełną metrykę, czyli tablicę odległości pomiędzy każdą parą wierzchołków.

W pierwszej kolejności należy zdefiniować odległości pomiędzy najbliższymi sąsiadującymi węzłami. W tym miejscu założono zgodność aktualnie mierzonych odcinków ze strukturą odległości Euklidesowej. Następnie algorytm postępuje wstecz poczynając od punktu docelowego poprzez węzły sąsiadujące, przy tym zawsze wybierając najkorzystniejszą drogę do zbioru punktów już zaznaczonych. Sytuację obrazuje rys.2. W kolejnych powtórzeniach rozbudowuje się warstwami podzbiór wierzchołków zaznaczonych, tj. takich, dla których znany jest dystans i połączenie do najlepszego z węzłów sąsiadujących.

Zakładając, że graf jest spójny, czyli że nie ma wysp - wierzchołków lub ich zbiorów niepołączonych z resztą terytorium, w ten sposób przypisuje się każdemu punktowi siatki odległość oraz kierunek do celu.



Rys.2. Budowanie mapy odległości

W artykule założono brak występowania odrębnych stref takich jak na przykład wyspy, przez co punkt docelowy jest osiągnięty z każdej wybranej pozycji początkowej. Idea oraz złożoność wymaganych obliczeń są porównywalne z problemami programowania dynamicznego.

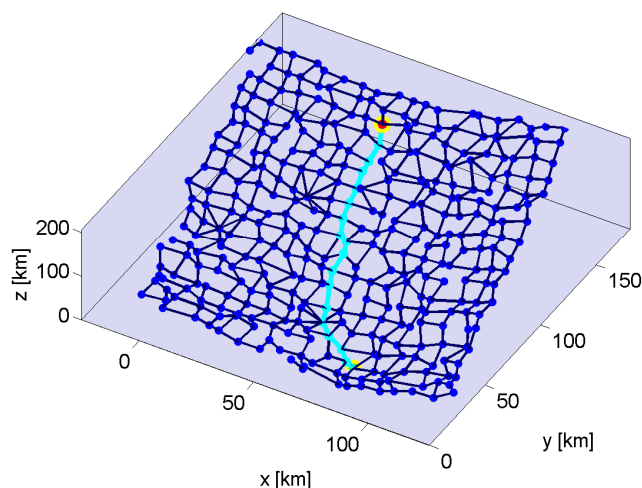
3. PODEJMOWANIE DECYZJI

Każda pojedyncza trajektoria samochodu poruszającego się od punktu wyjścia do zadanego celu może być traktowana jako ciąg kolejnych sąsiadujących ze sobą wierzchołków. Na każdym z nich, czyli na każdym skrzyżowaniu, podejmowana jest decyzja o kolejnym ruchu. Sukcesywnie wybierane są odcinki, każdorazowo zgodnie z obliczonym prawdopodobieństwem. W przypadku prostokątnej sieci dróg każde skrzyżowanie dawało cztery możliwości przemieszczania się. Tworząc realistyczne sieci dróg należy uwzględnić również odcinki tras, które mogą być nieprzejezdne na przykład z powodu remontu lub tak zwane ślepe zaułki. Do celów badań należy zaimplementować odpowiednie reguły, według których kierowca podejmuje decyzje w wierzchołkach o dowolnej liczbie połączeń.

W publikacji [2] oraz w cytowanych w niej pozycjach decyzje kierowcy były podejmowane losowo lub z preferencją jednego kierunku, bądź też bazując na odległości Euklidesowej. Po pierwsze metryka Euklidesowa została zastąpiona funkcją odległości specyficznej dla sieci dróg. Sposób obliczenia dystansu pomiędzy węzłami opisano w poprzednim rozdziale. Po drugie wzięto pod uwagę możliwość pomyłki kierowcy przy wyborze optymalnej trasy, której prawdopodobieństwo opisane jest poniżej. Uwzględniono również świadome odchylenia od najlepszej (najkrótszej/najszybszej/najtańszej) trasy prowadzącej do punktu docelowego. Takie nieprawidłowości mogą pojawić się na przykład ze zmęczenia kierowcy, możliwości postoju lub świadomej chęci zmylenia pościgu.

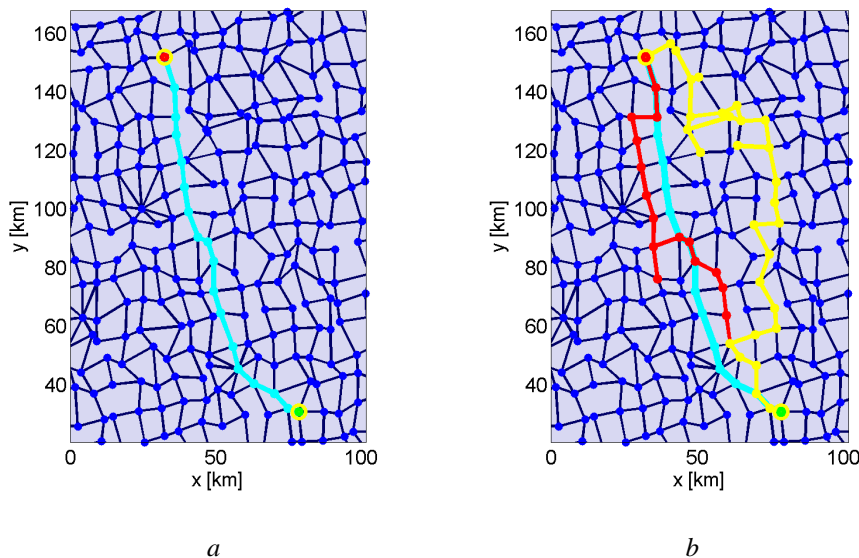
Założono, że kierowca jest w pełni poinformowany o zaistniałych przeszkodach, zna dobrze mapę lub na przykład używa nawigacji satelitarnej. Świadom jest długości odcinków, które ma do wyboru, oraz jaką redukcję (względnie jakie oddalenie) pozostałego dystansu do punktu końcowego przyniosą.

Znając cel podróży kierowcy w Rozdz.2. została utworzona mapa odległości pozostałej do celu. Każde skrzyżowanie ma przypisany dystans, jaki dzieli kierowcę od celu i optymalny dobór sąsiada, przez którego wiedzie optymalna trasa.



Rys.3. Mapa odległości oraz najkrótsza możliwa trasa

Krawędź o największym spadku, czyli ujemnym gradiencie, na mapie odległości przedstawia optymalną drogę do punktu docelowego. Na rys.3. spadek uwidoczniony został poprzez dodanie trzeciego wymiaru z, czyli pozostałej odległości do celu jazdy. Niemniej należy uwzględnić, że kierowcy nie zawsze przestrzegają zaleceń nawigacji czy nawet wcześniej przez siebie wybranej trasy. Gdy raz zmiana szlaku nastąpi, powrót do poprzedniej drogi nie zawsze jest wskazany. Preferowaną opcją jest wyznaczenie optymalnej trasy z aktualnej pozycji. W tym celu użyta może być już obliczona mapa z rys.3.



Rys.4. Mapa z optymalną (a) i alternatywną (b) trasą

Na Rys.4a kolorem cjan przedstawiona została trasa optymalna biegnąca od czerwonego punktu początkowego, do zielonego punktu celu. Z prawej strony (Rys.4b) na pierwszym wierzchołku odbiegającym od optymalnego wyboru (czerwona trasa) kierowca zauważa, że powrót nie jest korzystny. Podąża więc tymczasowo równoległe do optymalnej trasy, a błąd skoryguje później. W dalszym przebiegu mogą się zdarzać kolejne pomyłki, niemniej ostatecznie nawet często błędzący kierowca (np. żółta trajektoria na Rys.4.) też dojeżdża do celu.

W przypadku gdy wyborów nieoptymalnych dokonuje się nie omyłkowo lecz świadomie, założono, że kierowca zna ich koszt, który wiąże się z pokonaniem dodatkowej odległości, dłuższym czasem podróży, a także kosztami na przykład paliwa. Założono odstępstwa od najlepszej trasy za tym mniej prawdopodobne, im większe spowodowałyby opóźnienie, podczas gdy trasy niemalże równoważne pod względem czasu podróży mają również porównywalne szanse selekcji.

Zasada podejmowania decyzji o następnych odcinkach oparta jest na ocenie, o ile dana trasa przybliży pojazd do celu. Redukcja odległości odnoszona jest do długości odcinka, która w przypadku siatki nieregularnej nie jest stała, por. [2]. Oznaczono ten iloraz – redukcję podzieloną przez długość odcinka – symbolem c .

Rysunki 5. i 6. przedstawiają kilka aspektów tego podejścia. Zastosowane jest prawo potęgowe [8] wyrażane wzorem:

$$p = (\alpha + (0.5(1 + c))^\gamma) / (1 + \alpha) \quad (6)$$

gdzie: $\alpha > 0$

który przelicza otrzymany wyżej iloraz c charakteryzujący dany odcinek na poziom przydatności p . Z definicji wielkości c wynika, że na optymalnym odcinku c jest równy 1, natomiast przy oddalaniu się dokładnie w przeciwnym kierunku c ma wartość -1. Wzór (6) daje wartości p z przedziału [0,1]. Uwidoczniono to na Rys.5.

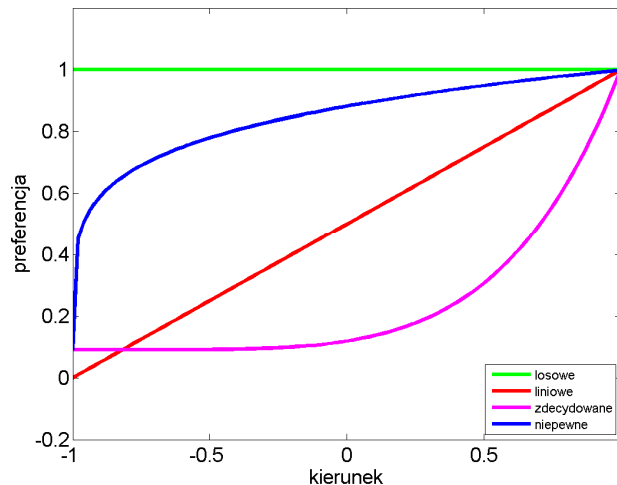
Parametry α i γ krzywej definiują szczegółowo typ zachowania poszukiwanego kierowcy. Duża wartość α charakteryzuje ściśle losowy sposób przemieszczania się, zaś duża wartość γ jest typowa dla małej tolerancji co do odstępstw od optymalnego wyboru. Zależności przedstawiono na Rys.6.

Następnie przelicza się poziomy preferencji na prawdopodobieństwa, biorąc pod uwagę, że suma prawdopodobieństw przy rozkładzie dyskretnym musi być równa jeden. Sumuje się więc preferencje, a następnie dzieli składniki przez otrzymany wynik:

$$P_l = \frac{p_l}{\sum_{s=1}^S p_s} \quad (7)$$

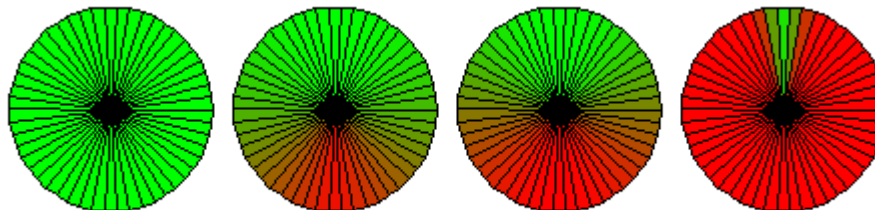
gdzie p_l oznacza preferencję drogi wychodzącej z aktualnego wierzchołka o numerze l . Liczba sąsiadów została oznaczona przez S . Tak obliczone wartości P_l spełniają postulaty rozkładu prawdopodobieństwa dyskretnego o S możliwych zdarzeniach elementarnych. Są specyficzne dla każdego wierzchołka siatki dróg.

W trakcie każdej symulacji losowany jest kolejny odcinek z rozkładu dyskretnego o wyliczonych według wzoru (7) prawdopodobieństwach za pomocą generatora liczb losowych. W niniejszej pracy skorzystano z wbudowanego generatora liczb losowych środowiska Matlab/Simulink.



Rys.5. Krzywe preferencji kierowcy (zachowania)

Krzywa koloru magenta na Rys.5. ma wartości ($\alpha=0.1$, $\gamma=5.0$) i jest typowa dla kierowcy zdeterminowanego, spieszącego się do celu. Optymalny odcinek ma dla niego ponadproporcjonalnie wielką wagę lub preferencję. Tym samym wybór innej trasy jest mało prawdopodobny, odpowiednio rzadko zdarza się przy symulacji. Niebieska krzywa ($\alpha=0.1$, $\gamma=0.2$) odpowiada bardziej niepewnej postawie kierowcy, który może lub chce wybrać trasę nieoptymalną. Przypadek liniowy odpowiada parametrom ($\alpha=0.0$, $\gamma=1.0$), a przypadek rozkładu jednostajnego (krzywa stała, wszystkie zdarzenia mają identyczne prawdopodobieństwa równe $1/S$) charakteryzuje się wartościami ($\alpha=0.0$, $\gamma=0.0$). Na Rys.6. na zielono zaznaczono zakresy kątów odchylenia od kierunku optymalnego, które mają szansę zostać obrane przez poszczególne typy kierowców. Kolor ten sukcesywnie „przechodzi” w czerwony, który wraz ze swoją intensywnością zmniejsza prawdopodobieństwo wybrania danych tras.



Rys.6. Ilustracja kilku przypadków preferencji kierowcy

W przypadku symulacji na przykład ucieczki złodzieja samochodu, rodzaj zachowania może być zmienny w trakcie jazdy. W obecnych badaniach skupiono się na jednolitym, ustalonym zestawie parametrów.

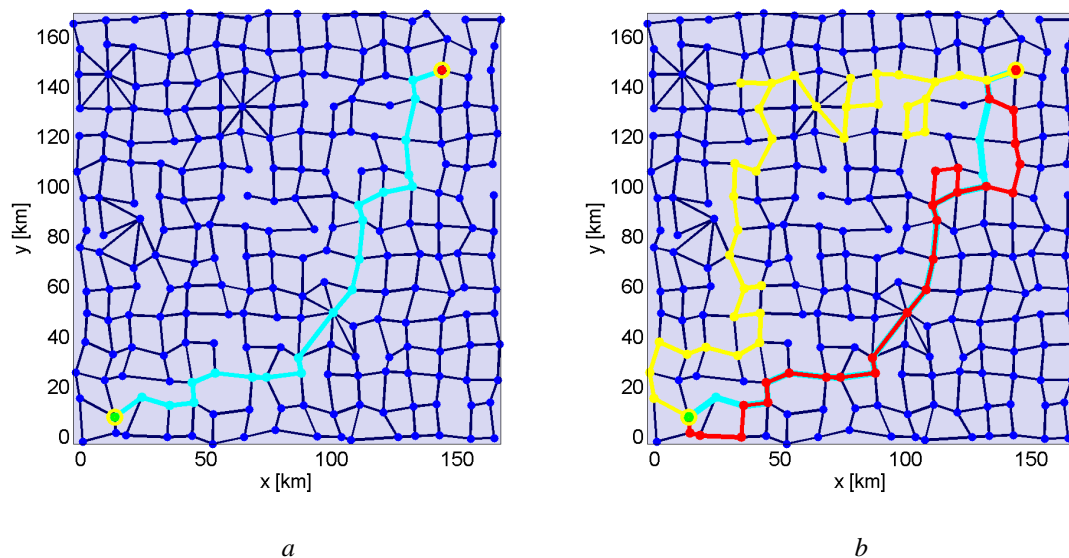
4. WYNIKI SYMULACJI

Pierwsze wyniki dotyczące obliczenia tras optymalnych oraz alternatywnych zawarto już w poprzednim rozdziale, Rys.3. Rezultaty badań – przeprowadzonych w programie Matlab/Simulink – są oczywiście zależne od geometrii sieci dróg oraz doboru punktu wyjścia oraz docelowego. Jednak w dużej mierze także model kierowcy wpływa na trajektorie.

W celu testowania poprawnego funkcjonowania badanego modelu powtórzono symulację zadając różne siatki dróg, różne punkty początku oraz końca trasy, dodatkowo modyfikowano parametry modelu kierowcy.

W tym rozdziale wybrano jeden szczególny przypadek, pokazany na Rys.7. Przedstawiona tam mapa dróg cechuje się tym, że małe perturbacje trasy optymalnej pomiędzy wybranymi punktami mogą doprowadzić do wyboru zupełnie odmiennego dojazdu do celu. Taka sytuacja ma miejsce w szczególności, gdy jeden z pierwszych dokonanych wyborów jest odmienny od optymalnego.

Rys.7a przedstawia optymalny dobór trasy (kolor cyan), zaś Rys.7b dodatkowo alternatywne trajektorie po losowym wprowadzeniu omawianych w poprzednim rozdziale preferencji kierowców. Na żółto i czerwono wygenerowano opcjonalne trasy, które fragmentami pokrywają optymalną, częściowo przebiegając identycznie.



Rys.7. Alternatywna mapa dróg z optymalną trajektorią (a) oraz opcjonalnymi (b)

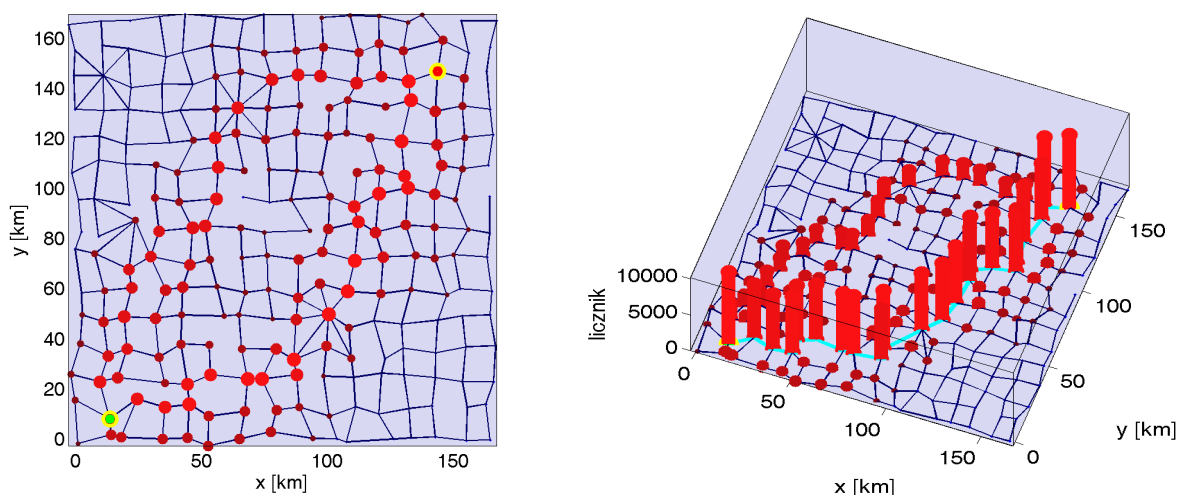
Zauważono ciekawe zjawisko - ze względu na przeszkody na linii prostej między punktem wyjścia a celem, zbiór trajektorii otrzymanych w trakcie symulacji rozdziela się na dwie klasy. Część przebiega przez południowy wschód, część przez północny zachód. W następnym rozdziale badany jest wpływ topografii sieci przedstawionej na Rys.7 na częstości, z którymi pojazdy obierają konkretne odcinki (drogi) i wierzchołki (skrzyżowania).

5. ANALIZA STATYSTYCZNA

W tym rozdziale wyniki symulacji badane będą pod względem statystycznym. Za pomocą prób losowych wyznacza się rozkłady empiryczne liczby przejazdów w węzłach sieci [9]. Przy tym uwzględniono możliwość pojawienia się przypadkowych odchyżeń od optymalnych decyzji. Algorytm symulacji polega na tym, że na każdym węzle wybierany jest sąsiedni, mając na uwadze chęć zmniejszenia pozostałej odległości do punktu docelowego. Czasami wybierany jest jednak inny odcinek, co może doprowadzić do drastycznych zmian trasy w zestawieniu z optymalnym szlakiem.

Wynika stąd fakt, że nie tylko węzły i krawędzie na trasie optymalnej – względnie na zbiorze wszystkich optymalnych tras – są przejeżdżane. Powstaje pewien rozrzut wokół trasy optymalnej i trasami alternatywnymi.

Narzędziem badań jest symulacja trajektorii dla dużej liczby kierowców (10000), następnie zgromadzone dane są wykorzystane do analizy statystycznej. Najważniejsze informacje odnoszą się do liczby przejazdów przez dany węzeł oraz odcinek trasy.



Rys.8. Liczby przejazdów - kodowanie kolorem, wielkością, grubością i wysokością

Wyniki przedstawione są na Rys.8. Pozwolą one wyodrębnić często odwiedzane węzły i odcinki jako zbiór kandydatów na najlepsze możliwe lokalizacje do zainstalowania sprzętu monitorującego. W omawianej aplikacji zasadnym jest rozpoczęcie optymalizacji od wyboru punktów bądź odcinków tras o największej liczbie zdarzeń, czyli o największej liczbie przejazdów aut, które na Rys.8. przedstawione są kolorem intensywnie czerwonym.

6. WNIOSKI

W pracy rozwinięto metodę symulacyjną przedstawioną w [1,2] oraz otrzymane wyniki dotyczące sieci obserwatorów poszerzono o przypadek dowolnej infrastruktury drogowej. Dotąd analiza skupia się na flocie samochodów jeżdżących ze wspólnego punktu startu do jednej destynacji. Zastosowanie praktyczne będzie wymagało nakładania na siebie całego szeregu trajektorii aut wychodzących z szerszych obszarów źródłowych i skierowanych do zadanych stref. Na podstawie takiego modelu można ostatecznie podjąć się optymalizacji pozycji jednostek obserwacyjnych ze względu na skuteczność działania sieci.

Miara funkcjonalności sieci obserwacyjnej zależy od charakteru zastosowania oraz wymagań operatora sieci. W przypadku śledzenia na przykład pojazdów skradzionych, może to być liczba udanych interwencji przeprowadzonych na podstawie prognozowanych pozycji poszukiwanych aut. W takiej sytuacji czas jest decydującym czynnikiem, skąd wynika, że aspekt telekomunikacji nabiera szczególnego znaczenia [7]. Istotne jest w jaki sposób, czyli także jak szybko informacje są przesyłane do sieci I2CU z *Centrum Obserwacyjnego* i w stronę przeciwną. Do tego celu warto posłużyć się także istniejącymi już strukturami telekomunikacyjnymi, takimi jak na przykład standard UMTS [5,6]. W artykułach [3,4] problem predykcji przyszłych pozycji został rozpatrywany w przypadku ruchu swobodnego, w czasie rzeczywistym. Jakość prognoz okazała się szybko malejącą funkcją czasu predykcji. Z tej przyczyny należy zadbać o jak najszybszy transfer danych, czyli ograniczenie opóźnień do minimum. Szczegółowa analiza tego zagadnienia w przypadku ruchu po grafach, odpowiadającego sytuacji w transporcie drogowym, będzie tematem dalszych prac.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Górską M., Jackowski S.: *Optymalizacja sieci inteligentnych obserwatorów*, Czasopismo Logistyka 6/2011
- [2] Górską M.: *Assessment of observer positions for given behavior of drivers*, Czasopismo Logistyka 6/2011
- [3] Górską M.: *Tracing multiple mobile objects by a network of intelligent detectors*, Czasopismo Logistyka 3/2011
- [4] Górską M.: *Course prediction for mobile object tracing network*, Proceedings of the 4th International Interdisciplinary Technical Conference of Young Scientists, Poznań, 2011
- [5] Górską M., Grzywacz S.: *Możliwości poprawy jakości transmisji w systemie UMTS*, Czasopismo Logistyka 6/2010
- [6] Górską M., Chrzan M.: *Możliwości wykorzystania UMTS w bezprzewodowych sieciach heterogenicznych*, Czasopismo Logistyka 6/2009
- [7] Jackowski S., Chrzan M.: *Współczesne systemy telekomunikacyjne*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, 2008
- [8] Klin M. Ch., Pöschel R., Rosenbaum K., (z niem. przeł. Jerzy Browkin): *Algebra stosowana dla matematyków i informatyków : grupy, grafy, kombinatoryka*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1992
- [9] Krysicki W.: *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach. Cz. 1*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2004