

OSKARBSKI Jacek¹

WYKRYWANIE ZDARZEŃ DROGOWYCH Z WYKORZYSTANIEM TELEMATYKI TRANSPORTU

W ostatnich latach na terenie Polski możemy zaobserwować intensyfikację wdrożeń środków i metod Inteligentnych Systemów Transportu. Zaawansowane systemy zarządzania i sterowania ruchem lub ich elementy pojawiają się zarówno na polskich autostradach, jak i w obszarach sieci dróg miejskich. Jedną z funkcji, jaką realizować mogą systemy zarządzania ruchem jest zarządzanie incydentami, którego elementem jest wykrywanie zdarzeń drogowych. W referacie przedstawiono metody wykrywania zdarzeń drogowych, których wdrożenie przyczyni się do podniesienia niezawodności systemu transportu w miastach i na autostradach poprzez skrócenie zaburzeń ruchu związanych z wystąpieniem zdarzenia oraz poprawy bezpieczeństwa ruchu poprzez zmniejszenie ciężkości wypadków na skutek szybszego udzielenia pomocy poszkodowanym.

ROAD INCIDENTS DETECTION WITH THE USE OF TRANSPORT TELEMATICS

We can observe the intensification of measures and methods for deployment of Intelligent Transportation Systems on Polish territory in recent years. Advanced management and traffic control systems or their elements appear in both the Polish motorways and in urban street networks areas. One of the functions that can perform traffic management systems is to manage the incident, which element is to detect traffic incidents. The paper presents methods for detection of traffic incidents, implementation of which will contribute to improve the reliability of the transport system in cities and on motorways by reducing the traffic disturbances associated with the occurrence of incidents and to improve traffic safety by reducing the severity of accidents as a result of rapid assistance to victims.

1. WSTĘP

Wypadki drogowe są jednym z największych problemów zdrowia publicznego, którego wagę uwidaczniają konsekwencje w postaci degradacji poziomu życia ofiar i ich rodzin. Ofiary wypadku drogowego doznają najczęściej mnogich obrażeń ciała, które bezpośrednio zagrażają życiu i są przyczyną trudności diagnostycznych oraz wymagają wielospecjalistycznego leczenia i rehabilitacji[1]. Redukcja negatywnych konsekwencji dla

¹Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Inżynierii Drogowej;
80-233 Gdańsk; ul. Narutowicza 11/12. joskar@pg.gda.pl tel. 604 475 876

dalszego życia ofiary wypadku lub zachowanie życia warunkowane jest skróceniem czasu jaki upłynie od wystąpienia wypadku do udzielenia pierwszej pomocy oraz podjęcia dalszych interwencji medycznych. Skrócenie czasu udzielenia pomocy poszkodowanemu zależne jest od szybkości wykrycia wypadku, co jest warunkiem rozpoczęcia akcji ratowniczej oraz jej sprawnego przeprowadzenia. Usprawnienie działań służb ratowniczych wymaga zrealizowania szeregu przedsięwzięć, do których należy zaliczyć także zastosowanie środków Inteligentnych Systemów Transportu (ITS) w zakresie usprawnienia łączności oraz urządzeń drogowych, w celu skrócenia dojazdu do miejsca zdarzenia i czasu trwania akcji ratowniczej. Jednym z najważniejszych przedsięwzięć, które pozwolą na znaczne zmniejszenie skutków wypadków będzie wprowadzenie ogólnoeuropejskiego systemu szybkiego powiadamiania o wypadkach drogowych – eCall [2], którego wdrożenie przewidziano w roku 2015. Implementacja systemu pozwoli na manualne (za pośrednictwem przycisku w pojeździe) lub automatyczne (dzięki czujnikom zainstalowanym w pojeździe, które będą aktywowane w przypadku uszkodzenia samochodu na skutek zdarzenia drogowego) nawiązanie kontaktu i wezwanie służb ratowniczych. Wdrożenie systemu eCall niewątpliwie przyczyni się do skrócenia czasu akcji ratowniczej i zmniejszenia ciężkości wypadków, natomiast nie wyeliminuje większości zagrożeń stwarzanych przez system transportu. Rozwiązania wymagają problemy związane między innymi ze zminimalizowaniem zaistnienia zdarzeń wtórnych, będących skutkiem zaistniałego wypadku drogowego (np. uniknięcie najechania na pojazdy unieruchomione na skutek wystąpienia zdarzenia) oraz zdarzeń spowodowanych nieuzasadnionym zatrzymaniem pojazdu na pasie ruchu, małą prędkością pojazdu w stosunku do panujących warunków na drodze (uszkodzenie pojazdu lub niedyspozycja kierowcy), ruchem pojazdu w niedozwolonym kierunku. Wykrycie powyższych zagrożeń w ruchu i natychmiastowe ostrzeżenie kierowców o ich wystąpieniu jest możliwe dzięki zastosowaniu środków telematiki transportu, środków inteligentnych systemów transportu, które opisano poniżej.

2. METODY WYKRYWANIA ZDARZEŃ DROGOWYCH

Podstawę zintegrowanego systemu zarządzania bezpieczeństwem ruchu na drogach stanowi sprawny system zarządzania zdarzeniami drogowymi. Głównym celem zarządzania zdarzeniami jest informowanie kierowców o zaistnieniu zdarzenia i ewentualnie jego charakterze oraz przywrócenie drogi do pełnej funkcjonalności (przepustowości) po oczyszczeniu miejsca zdarzenia. Proces zarządzania zdarzeniami składa się z wykrycia zdarzenia, jego weryfikacji a następnie podjęcia odpowiednich działań służb ratowniczych, ale również działań zarządcy drogi, prowadzących do minimalizacji i jak najszybszej eliminacji skutków zdarzenia i przywrócenia normalnych warunków ruchu. Zdarzenia drogowe przyczyniają się do powstawania opóźnień w ruchu, które są zależne od stopnia ograniczenia przepustowości oraz całkowitego czasu trwania zakłóceń w ruchu wywołanych zdarzeniem. Na czas trwania zdarzenia wpływa czas jego wykrycia, weryfikacji, dotarcia służb ratowniczych oraz oczyszczenia miejsca zdarzenia. Celem stosowania metod wykrywania zdarzeń jest ograniczenie czasu wykrycia zdarzenia.

Przykładem funkcjonującej niezależnie od zarządcy drogi metody wykrywania zdarzeń, posiadającej cechy systemu jest technologia telefonów komórkowych. Obserwowanie

ruchu przez jego uczestników przyczynia się do zmniejszenia czasu wykrycia zdarzenia (pod warunkiem, że informacja o zdarzeniu jest przekazana do odpowiednich służb).

Obecnie na wielu autostradach i drogach ekspresowych zamontowane są kamery telewizji przemysłowej nadzorujące ruch, które dostarczają obraz do Centrów Zarządzania Ruchem. W centrach tych, operatorzy ruchu obserwują obraz i podejmują odpowiednie działania w przypadku zaistnienia zdarzenia. Jednak jest to sposób mało efektywny, gdyż nadzorowanie przez operatorów coraz większych ilości kamer równocześnie jest uciążliwe a często przy dużej ilości urządzeń niewykonalne. Dlatego metody wykrywania zdarzeń wymagają coraz większego stopnia automatyzacji i elektronicznego monitoringu.

Dostępne systemy umożliwiają w sposób automatyczny i ciągły monitorować potok ruchu oraz kierowców otrzymywane z detekcji dane do algorytmów wykrywania zdarzeń. Dynamiczny rozwój techniki spowodował, że dostępnych metod wykrywania zdarzeń jest wiele. Obecnie dostępne metody wykrywania zdarzeń najczęściej bazują na danych o ruchu otrzymywanych z detektorów pętlowych, montowanych w jezdniach i na poboczach. Ponadto, w celu uzyskania danych o ruchu, Centra Zarządzania Ruchem wykorzystują między innymi kamery wideo oraz radary, urządzenia na podczerwień, detektory magnetyczne i ultradźwiękowe. Wykrywanie zdarzeń przy użyciu metod przetwarzania obrazu wideo posiada szereg zalet. Metody wykorzystujące do detekcji pętle indukcyjne umożliwiają zbieranie danych o potoku ruchu jedynie w przekrojach, w których są zlokalizowane. Kamery wideo mogą monitorować ruch drogowy na wielu pasach w całym polu widzenia kamery a przy tym dostarczać operatorom ruchu dodatkowych informacji o aktualnych warunkach ruchu i jednocześnie weryfikować zaistnienie zdarzenia. Wskaźnik wykrywalności zdarzeń przy zastosowaniu metod przetwarzania obrazu jest niższy, niż przy zastosowaniu tradycyjnych pętli indukcyjnych. Jednakże zastosowanie kamer w połączeniu z detektorami pętlowymi, znacznie zmniejsza współczynnik fałszywych alarmów oraz zwiększa współczynnik wykrywalności. Należy podkreślić, że metody przetwarzania obrazu wideo są nieustannie udoskonalane w celu zminimalizowania oddziaływania złych warunków atmosferycznych na dokładność detekcji.

Metody przetwarzania obrazu mogą być stosowane w połączeniu z metodami pomiarów parametrów ruchu, wykorzystujących detektory pętlowe, umożliwiając w ten sposób realizację bardziej efektywnych algorytmów wykrywania zdarzeń. W pierwszej kolejności algorytm wykrywania zdarzeń z wykorzystaniem metod pomiarów parametrów ruchu przy zastosowaniu pętli indukcyjnych pozwala na identyfikację odbiegającego od normalnego wzorca ruchu, który wstępnie określa jako zdarzenie. Automatycznie uruchomiona kamera zostaje skierowana w miejsce, w którym zaszło podejrzenie wystąpienia zdarzenia i za pomocą metody przetwarzania obrazu, realizując algorytm weryfikujący prawdziwość alarmu potwierdza jego zasadność.

Ponieważ prawie każdy kierowca lub pasażer posiada telefon komórkowy, czas wykrycia zdarzenia oraz wskaźnik wykrywalności wciąż ulegają poprawie. Zmniejszając się ilość badań algorytmów automatycznego wykrywania zdarzeń przypisywana jest w części wzrostowi używania telefonów komórkowych, jednakże podobnie jak w przypadku systemu eCall, w wielu przypadkach informacja o pojawiających się zagrożeniach nie trafia do odpowiednich służb oraz innych kierowców, którzy są nieświadomi zagrożenia, które zaistniało na trasie ich podróży. Połączenie wykorzystania telefonów komórkowych z innymi metodami umożliwia dokładniejszą identyfikację miejsca zdarzenia i skraca czas jego weryfikacji.

Oprócz metody powiadamiania telefonicznego oraz metod wykrywania zdarzeń z wykorzystaniem systemów monitoringu w pojazdach (np. eCall) można wyróżnić metodę patrolowania. Metoda polega na wykryciu zdarzenia drogowego przez specjalistyczne patrole, które nadzorują poszczególne odcinki drogi i w przypadku wykrycia poważnego zdarzenia informują odpowiednie służby. Wskaźnik wykrywalności i czas detekcji zależy od liczby patroli i szybkości ich reagowania [3]. Biorąc pod uwagę niewielką liczbę patroli w Polsce ta metoda wydaje się mało efektywnym mechanizmem wykrywania zdarzeń na drogach naszego kraju.

3. ALGORYTMY WYKRYWANIA ZDARZEŃ

Metody wykrywania zdarzeń wykorzystują algorytmy, które pozwalają na analizę zmian parametrów ruchu takich, jak prędkość pojazdów, natężenie ruchu oraz zajętość detektorów. W celu porównania skuteczności poszczególnych algorytmów wykorzystuje się trzy główne parametry - wskaźnik wykrywalności (detection rate - DR), wskaźnik fałszywych alarmów (false alarm rate - FAR) oraz czas wykrycia zdarzenia (time to detect - TTD). Wskaźnik wykrywalności definiowany jest jako stosunek liczby wykrytych zdarzeń do całkowitej liczby zdarzeń. Wartość wskaźnika zależy od sposobu definiowania zdarzenia. W niektórych analizach uwzględnia się zdarzenia występujące jedynie na pasach ruchu, w niektórych bierze się pod uwagę również zatrzymania pojazdu na poboczu drogi. Rozpoznawalność zdarzeń, w efekcie których pojazdy zostają unieruchomione na poboczu, nie przyczyniając się do przzerwiania potoku ruchu lub jego zakłócenia jest dużo mniejsza. Czas wykrycia zdarzenia definiuje się, jako przedział czasu od momentu zaistnienia zdarzenia do czasu jego wykrycia, bez uwzględnienia czasu potrzebnego na jego weryfikację. Wskaźnik fałszywych alarmów jest definiowany jako procentowy udział liczby błędnie wykrytych zdarzeń w całkowitej liczbie wykrytych zdarzeń. W większości algorytmów podejmowana jest jedna decyzja - o wystąpieniu zdarzenia lub jego braku, w danym interwale czasowym w przeliczeniu na stację detekcyjną. Sposoby określenia tego parametru są różne, ze względu na różne sposoby kalkulacji. Zazwyczaj, im większa ilość podejmowanych decyzji w jednostce czasu oraz im większa ilość detektorów w sieci, tym wskaźnik fałszywych alarmów jest wyższy. Ze względu na powyższe często definiuje się dodatkowy wskaźnik, który uwzględnia liczbę fałszywych alarmów przypadających na stację detekcyjną w jednostce czasu.

Wartości opisanych wskaźników są od siebie zależne. Przy wzroście wskaźnika wykrywalności, wzrasta również wskaźnik fałszywych alarmów. Analogicznie przy mniejszych wskaźnikach fałszywych alarmów zaobserwowano również mniejsze wartości wskaźnika wykrywalności, między innymi ze względu na mniejszą czułość algorytmu. Natomiast, przy wzroście wskaźnika wykrywalności, wzrasta również średni czas wykrycia zdarzenia. Można również zauważyć zależność, że przy spadku wartości czasu wykrycia zdarzenia, wzrasta współczynnik fałszywych alarmów. Powyższe prowadzi do wniosku, że przy dłuższym czasie analizowania danych przez algorytm (dłuższy czas wykrycia zdarzenia), wyniki są bardziej satysfakcjonujące (wskaźniki wykrywalności są wyższe a wskaźniki fałszywych alarmów niższe). Oczywiście czas wykrycia zdarzenia nie może być zbyt długi, dlatego należy dążyć do zachowania równowagi pomiędzy parametrami skuteczności zastosowanej metody (tzn. przy możliwej do zaakceptowania liczbie

falszywych alarmów, należy zachować dopuszczalny czas wykrycia zdarzenia oraz zadowalający wskaźnik wykrywalności) [4,5].

W okresie ostatnich 30 lat rozwinięto i sklasyfikowano cztery główne grupy algorytmów wykrywania zdarzeń: algorytmy bazujące na modelach wzorcowych, algorytmy bazujące na teorii katastrofy, algorytmy bazujące na obliczeniach statystycznych oraz algorytmy bazujące na sztucznej inteligencji. W latach 70-tych XX wieku opracowano pierwsze algorytmy oparte na modelach wzorcowych oraz bazujące na obliczeniach statystycznych. Metoda sztucznej inteligencji jest najnowszą metodą spośród czterech wyżej wymienionych. Jako osobną grupę przedstawia się algorytmy przetwarzania obrazu wideo, w której często wykorzystuje się algorytmy z wyżej wymienionych grup [4].

3.1 Algorytmy bazujące na modelach wzorcowych

Algorytmy bazujące na modelach wzorcowych są najbardziej powszechnymi algorytmami wdrożonymi na autostradach. Korzystają one z informacji o parametrach potoku ruchu, otrzymywanych z pętli indukcyjnych, tj. natężenia ruchu i zajętości detektora, porównując dane z detektorów z wzorami teoretycznymi, wyprowadzonymi z danych historycznych. Algorytmy z tej grupy wymagają wstępnego wyznaczenia progów, do których parametry ruchu byłyby porównywane. Ustanowienie progów jest trudne i czasochłonne. Etap ten jest bardzo ważny więc nie należy go lekceważyć, ponieważ dokładność określenia progów jest kluczowym elementem dla późniejszego funkcjonowania algorytmów. Spośród algorytmów tej grupy należy wymienić algorytm kalifornijski (zwany również algorytmem TSC), wraz z jego późniejszymi modyfikacjami (algorytmy TSC 7 i TSC8), algorytm APID (składnik oprogramowania COMPASS, zastosowany na sieci autostrad w Toronto, który również stanowi modyfikację algorytmu Kalifornijskiego), algorytm PATREG oraz algorytm Minnesota[3,4].

3.2 Algorytmy bazujące na teorii katastrofy

Algorytmy bazujące na teorii katastrofy uwzględniają wystąpienie nagłej, dyskretnej zmiany w jednej zmiennej, podczas gdy pozostałe zmienne zależne wykazują zmiany ciągłe w czasie. Rozważanymi zmiennymi są prędkość pojazdów, zajętość detektora oraz natężenie ruchu. W przypadku znacznego, nagłego spadku prędkości, bez jednoczesnego wzrostu zajętości detektora i natężenia ruchu, zostaje uruchomiony alarm. Dzięki temu zastosowanie algorytmów z tej grupy pozwala na odróżnienie zaistnienia zdarzenia od wystąpienia zatłoczenia drogi. Zdarzenie powoduje przyrost kolejki pojazdów oraz nagły, znaczny spadek prędkości. Różnica pomiędzy algorytmami opartymi na teorii katastrofy a algorytmami bazującymi na wzorcach polega na tym, że metoda wzorcowa bazuje na określaniu zmian pojedynczych zmiennych w uprzednio określonych progach, natomiast w teorii katastrofy porównuje się wiele zmiennych w czasie, porównując je z wcześniejszymi trendami zmienności danych. Przykładem algorytmu z tej grupy jest algorytm McMaster [6,7].

3.3 Algorytmy bazujące na obliczeniach statystycznych

W algorytmach bazujących na obliczeniach statystycznych następuje porównanie bieżących danych o potoku ruchu z danymi uzyskanymi z prognoz z wykorzystaniem szeregów czasowych. Algorytmy klasyfikują jako zdarzenia wszystkie zmiany parametrów ruchu wykraczające poza prognozowany zakres wartości parametrów. Zaletą stosowania tych algorytmów jest uwzględnianie dużej ilości danych. Algorytmami sklasyfikowanymi do tej kategorii są: algorytm HIOCC (High Occupancy Algorithm), algorytm ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving-Average), algorytm SND (Standard Normal Deviates), algorytm DES (double exponential smoothing), algorytm DELOS (Detection Logic with Smoothing), algorytm Bayesian oraz algorytm pojedynczego detektora SSID (Single-Station Incident Detection), Low Pass Filter [3,4].

3.4 Sztuczna inteligencja

Sztuczna inteligencja wykorzystywana jest w najmłodszej grupie algorytmów automatycznego wykrywania zdarzeń. Zastosowanie znajdują tutaj sieci neuronowe oraz teoria zbiorów rozmytych. Wadą sieci neuronowych jest znaczny udział fałszywych alarmów oraz stosunkowo długi czas wykrywania zdarzeń. Wynika to przede wszystkim ze wstępnie przyjętych założeń, nakładających na sieci neuronowe zadania rozpoznawania warunków zatłoczeń, wywołanych przekroczeniem przepustowości od zatłoczeń spowodowanych zdarzeniami. Powyższy proces rozpoznawania znacznie wydłuża czas wykrycia zdarzenia, jednakże w porównaniu z innymi algorytmami jest on zadawalający.

3.5 Porównanie algorytmów wykrywania zdarzeń

Porównanie algorytmów wykrywania zdarzeń jest bardzo trudnym zadaniem ze względu na zróżnicowanie warunków ruchu w miejscach badań (niektóre z badań były testami symulacyjnymi), warunków meteorologicznych oraz ze względu na liczbę i zróżnicowanie detektorów, służących do zbierania danych, dlatego też przedstawione porównanie trudno jest uznać za miarodajne, jednakże wyniki przedstawione w tab. 1, mogą stanowić podstawę do zgrubnej oceny stosowanych rozwiązań.

Różnice w skuteczności algorytmów opartych na pętach indukcyjnych są znaczne. Przykładowo zastosowanie algorytmu Bayesian pozwala na wykrycie wszystkich zdarzeń i przy równoczesnym braku fałszywych alarmów, jednakże przy najwyższej wartości czasu wykrywania zdarzeń. Wśród testowanych algorytmów, algorytmy APID i DES sprawdzały się najlepiej. Algorytm APID osiągnął wartość współczynnika wykrywalności wynoszący 89%, średni czas wykrycia zdarzenia rzędu 2.5 minut oraz współczynnik fałszywych alarmów na poziomie 0.05%. Algorytm DES jest szybszy – średnio wykrywa zdarzenie w czasie 0.7 min. i charakteryzuje się wyższym wskaźnikiem wykrywalności – ok. 91%, jednakże przy dużej liczbie fałszywych alarmów. Należy również pamiętać o wpływie złych warunków atmosferycznych na realizację algorytmów. W 1993r. badacze japońscy, Chang i Lin przedstawili raport dotyczący czułości algorytmów na warunki pogodowe. Wynika z niego, że algorytm APID wykazał dużą odporność na tego typu błędy. Natomiast algorytm McMaster wykazał wzrost współczynnika fałszywych alarmów podczas śnieżycy.

Algorytm Bayesian też się okazał być wrażliwym na warunki pogodowe. Algorytmy SND i DES tolerowały umiarkowane zmiany warunków pogodowych.[4]

Tab. 1. Zestawienie wyników analizy poszczególnych algorytmów

Nazwa algorytmu	DR (%)	TTD (min)	FAR (%)	Miejsce badania
APID	86	2.50	0.05	Toronto, Boston
DES	92	0.70	1.87	Toronto
ARIMA	100	0.40	1.50	Laboratorium
Bayesian	100	3.90	0	Laboratorium
California	82	0.85	1.73	California, Chicago, Texas
McMaster	68	2.20	0.0018	Minnesota
Sieci neuronowe	89	0.9 - 0.96	0.01 - 0.012	Laboratorium
Zbiory rozmyte	n/a	n/a	do 1.00	n/a
SND	92	1.10	1.30	n/a
SSID	100	n/a	0.20	Laboratorium
Low Pass Filter	80	4.00	0.3	
TSC #7	67	2.91	0.134	California, Chicago, Texas
TSC #8	68	3.04	0.177	California, Chicago, Texas
Przetwarzanie wideoobrazu	90	0.37	3.00	Francja
Telefony komórkowe	38 -100	-	5.00 – 7.4	n/a
Patrole drogowe	17 - 25	-	0 – 5.4	Stany Zjednoczone

Zródło: opracowanie własne na podstawie [3,4]

4. WNIOSKI

W referacie przedstawiono metody stosowane głównie do wykrywania zdarzeń drogowych na autostradach i drogach ekspresowych. Przedstawione metody są udoskonalane a skuteczność detekcji wzrasta. Wobec zróżnicowanych efektów stosowania poszczególnych algorytmów w różnych warunkach ruchu, przy różnym natężeniu ruchu i warunkach meteorologicznych zasadnym jest łączenie różnych algorytmów w jednej metodzie wykrywania zdarzeń (np. przy użyciu pętli indukcyjnych), łączenie dwóch lub więcej metod (np. metody bazującej na analizach parametrów ruchu z metodami przetwarzania obrazu wideo, metodami zgłoszeń telefonicznych, metodami wykorzystującymi czujniki w pojazdach oraz metodami patroli drogowych) w celu maksymalizacji skuteczności wykrywania zdarzeń drogowych. Fuzja algorytmów nie jest zadaniem skomplikowanym, ponieważ wykorzystują one te same narzędzia detekcji, zbierające te same lub podobne dane w porównywalnych przedziałach czasowych. W przypadku jednoczesnego wykorzystania kilku algorytmów, decyzja o wystąpieniu zdarzenia może być zdeterminowana wystąpieniem alarmów dla większości algorytmów zastosowanych w fuzji. Stosowanie kilku metod wykrywania zdarzeń jednocześnie, w jeszcze większym stopniu wpływa na skuteczność systemu wykrywania i weryfikacji wystąpienia zdarzenia drogowego oraz dokładność jego lokalizacji.

W ostatnich latach trwały prace nad opracowaniem algorytmów wykrywania zdarzeń, które mogłyby niezawodnie funkcjonować w warunkach ruchu miejskiego, w którym zmienność parametrów ruchu oraz czynników wywołujących tą zmienność jest nieporównywalnie większa niż w przypadku autostrad. Zakłócony potok ruchu, możliwość łatwej zmiany pasa ruchu przy niskiej prędkości poruszania się pojazdów oraz obecność sygnalizacji świetlnej oddziałującej na potok ruchu są czynnikami, które utrudniają detekcję zdarzenia. Algorytm TSC_ar [8] sprzęga programy sygnalizacji świetlnej z funkcją detektora. W algorytmie zaproponowano i przetestowano z wykorzystaniem oprogramowania mikrosymulacyjnego Paramics trzy nowe usprawnienia: nową konfigurację detektorów z połączeniem z sygnalizatorami świetlnymi; modyfikację struktury funkcjonowania sieci Bayesian oraz połączenie poprzednich dwóch usprawnień przy użyciu złożonych, ściśle określonych scenariuszy sieci Bayesian. Powyższe badania stanowią krok w kierunku rozwoju metod wykrywania zdarzeń w obszarach zurbanizowanych, które przyczynią się do podniesienia niezawodności systemu transportu w miastach poprzez skrócenie zaburzeń ruchu związanych z wystąpieniem zdarzenia oraz poprawy bezpieczeństwa ruchu poprzez zmniejszenie ciężkości wypadków na skutek szybszego udzielenia pomocy poszkodowanym.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Oskarbska I., Oskarbski J., Urbanowicz A.: *Ratownictwo i pomoc ofiarom wypadków drogowych*, Transport Miejski i Regionalny nr 7-8/2006.
- [2] http://www.esafetysupport.org/en/ecall_toolbox/
- [3] Ozbay K., Kachroo P.: *Incident Management in Intelligent Transportation Systems*, Artech House, Inc., 685 Canton Street, Norwood MA 02062 1999.
- [4] Martin T. M., Perrin J., Hansen B.: *Incident Detection Algorithm Evaluation*, University of Utah 2001. <http://www.mountain-plains.org/pubs/pdf/MPC01-122.pdf>
- [5] Petty K. F., Ostland M., Kwon J. et al.: *A new methodology for Evaluating Incident Detection Algorithms*, Department of Statistics, University of California, Berkeley (2001), http://www.sci.csueastbay.edu/~jkwon/papers/inc_detection.pdf.
- [6] Persaud Bhagwant N., Hall F.: *Catastrophe Theory and Patterns in 30-second Freeway Traffic Data Implications for Incident Detection*, Transportation Research-A, Vol. 2, (103-113). Pergamon Press, Great Britain 1989.
- [7] Persaud Bhagwant N., Hall F.; Hall L. M.: *Congestion Identification Aspects of the McMaster Incident Detection Algorithm*. Transportation Research Record 1287(167-175) 1990.
- [8] Zhang K., Taylor A.P.: *Towards transferable Incident Detection Algorithms*, University of South Australia, Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, (pp. 2263-2274) 2005.