

# Systemy wykrywania zdarzeń niepożądanych na autostradach i drogach ekspresowych



**JACEK OSKARBSKI**  
joskar@pg.gda.pl



**KAZIMIERZ JAMROZ**  
kjamroz@pg.gda.pl



**MARCIN ZAWISZA**  
marcin.zawisza@pg.gda.pl



**KAROL ŻARSKI**  
karol.zarski@pg.gda.pl

Politechnika Gdańska,  
Wydział Inżynierii  
Lądowej i Środowiska,  
Katedra Inżynierii Drogowej

Szybkie wykrycie zagrożeń w ruchu i natychmiastowe ostrzeżenie kierowców o ich wystąpieniu możliwe jest dzięki zastosowaniu urządzeń i aplikacji Inteligentnych Systemów Transportu (ITS). Losowo występujące zdarzenia niepożądane na drogach (np. unieruchomienie pojazdu na skutek awarii lub niedyspozycji kierowcy, zdarzenie niebezpieczne – wypadek lub kolizja, awaria elementów infrastruktury drogowej, złe warunki atmosferyczne) ograniczają przepustowość elementów układu drogowego i powodują wzrost strat czasu oraz zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń wtórnych, będących często niebezpiecznymi zdarzeniami drogowymi.

Do zdarzeń niepożądanych zaliczamy [1]:

- zachowania przedkonfliktowe i konflikty ruchowe, zwane incydentami w innych rodzajach transportu (kolejowym, wodnym i lotniczym),
- zdarzenia niebezpieczne, które w zależności od skutków dzieli się na:
  - zdarzenia niebezpieczne, tylko ze stratami materialnymi, tj. kolizje drogowe,
  - zdarzenia niebezpieczne ze stratami osobowymi:
    - wypadki drogowe z ofiarami rannymi,
    - wypadki drogowe z ofiarami śmiertelnymi,
    - wypadki drogowe z wieloma ofiarami śmiertelnymi, tj. katastrofy drogowe.

zujących [2]. Ponadto wskazuje się na korzyści wynikające z redukcji zdarzeń seryjnych i wtórnych (do 29%), redukcję czasu pracy kierowców, redukcję zużycia paliwa i emisji spalin [3], [4]. Zastosowanie elementów ITS (automatyczna detekcja, weryfikacja i monitoring) na autostradach przebiegających przez obszary miejskie w Atlancie przyczyniło się do skrócenia czasu od momentu zgłoszenia zdarzenia do podjęcia działań ratowniczych w miejscu wypadku o 50%, a od zgłoszenia zdarzenia do oczyszczenia miejsca wypadku o 38% [5]. Wdrożenie podobnych środków na autostradach w obszarze Houston pozwoliło na skrócenie trwania incydentu średnio o 30 minut [3], [6]. W opracowaniach [3], [7] wskazano na redukcję zdarzeń wtórnych (15–38%), redukcję wypadków rodzaju „najechanie na tył pojazdu” (4–30%) oraz redukcję ciężkości zdarzeń wtórnych (21–43%) jako korzyści z zastosowania ITS. W symulacjach prowadzonych z wykorzystaniem oprogramowania IDAS (*ITS Deployment Analysis System*) założono skrócenie czasu trwania incydentu o 9% w przypadku zastosowania systemu automatycznego wykrywania incydentów, o 39% w przypadku istnienia systemu zarządzania incydentami, reagującego w sposób systemowy i zaplanowany na wystąpienie zdarzenia i o 51% w przypadku wdrożenia obu systemów [8].

Jednym z najważniejszych przedsięwzięć, które pozwolą na znaczne zmniejszenie skutków wypadków będzie wprowadzenie ogólnoeuropejskiego systemu szybkiego powiadomienia o wypadkach drogowych – eCall [9], którego początek systematycznego wdrażania przewidziano pod koniec roku 2015 (obowiązkowo w nowych pojazdach). Systemy automatycznego wykrywania zdarzeń z wykorzystaniem systemów monitoringu w pojazdach (AACN – *Advanced Automatic Collision Notification*, On-Star) od lat rozwijane są w innych krajach [10]. Wdrożenie systemu eCall niewątpliwie przyczyni się do szybszego wykrycia zdarzeń drogowych (kolizji, wypadków), natomiast nie wyeliminuje innych zagrożeń. Szybkiego wykrycia wymagają również inne incydenty (zatrzymanie pojazdu na pasie ruchu, mała prędkość pojazdu w stosunku do panujących warunków na drodze, kolejka pojazdów, zgubiony ładunek na drodze itp.), które mogą skutkować zdarzeniami wtórnymi.

## Metody i algorytmy wykrywania zdarzeń drogowych

Pierwszym z celów wdrażania systemów zarządzania zdarzeniami niepożądanymi, których elementem są systemy ich wykrywania, jest możliwość bardziej efektywnego wykorzystania przepustowości istniejącego układu drogowego w przypadku wystąpienia incydentu. Cel ten realizowany jest poprzez wpływanie na rozkład ruchu za pośrednictwem informacji przekazywanych kierowcom (ograniczanie przeciążeń ele-

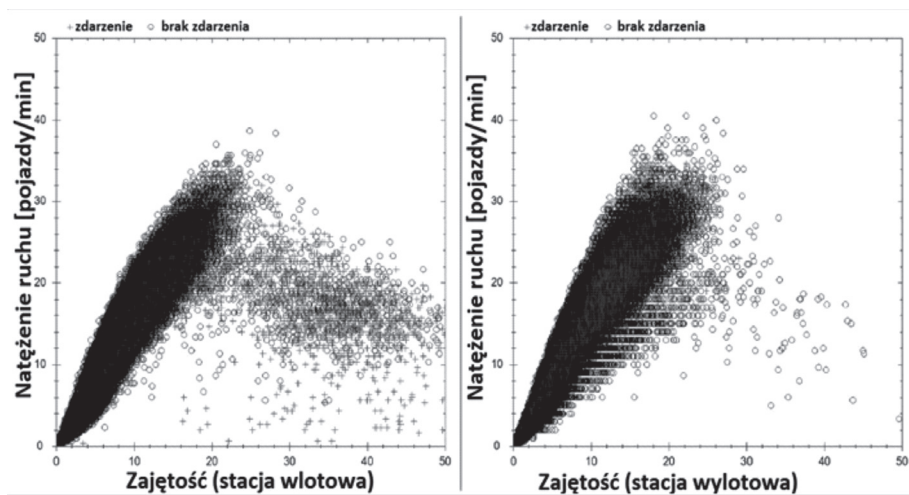
mentów układu drogowego, na których nastąpiły zaburzenia w ruchu spowodowane incydem przy jednoczesnym dociążaniu ciągów alternatywnych, dzięki czemu następuje zwiększenie efektywności systemu transportu poprzez zmniejszenie globalnych strat czasu użytkowników). Drugim celem wdrażania systemów wykrywania incydentów i systemów informacji dla kierowców o konieczności zredukowania prędkości jazdy w przypadku nietypowych sytuacji na drodze, powodujących wzrost zagrożenia, jest zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia drogowego lub zdarzenia wtórnego. Istotną jest również możliwość gromadzenia danych z systemu detekcji, które stanowią podstawę do usprawniania strategii zarządzania ruchem i akcji ratowniczej (systemów zarządzania incydentami).

Metody wykrywania zdarzeń drogowych można podzielić na nieautomatyczne i automatyczne. Metody nieautomatyczne to wykorzystanie informacji przekazanej służbom zarządzania ruchem przez świadków zdarzenia za pośrednictwem telefonu komórkowego, informacje z kamer telewizji przemysłowej (bardzo pomocne podczas weryfikacji zdarzenia, prowadzone są również badania automatyzacji wykrycia zdarzeń za pośrednictwem kamer monitoringu) lub przez specjalistyczne patrole drogowe. Metody automatyczne bazują na wykrywaniu zdarzenia za pośrednictwem systemów detekcji (zmiany natężenia lub prędkości, zajętości detektorów) oraz z wykorzystaniem systemów monitoringu w pojazdach (np. eCall).

Coraz częściej stosowane są metody, które sugerują wystąpienie zdarzenia niepożądanego na podstawie nagłych zmian czasu podróży na odcinkach dróg. Metody te wykorzystują do obliczania czasów przejazdu kamery ANPR (*Automatic Number Plate Recognition*), które rozpoznają numery rejestracyjne pojazdów oraz skanery Bluetooth/WiFi, rozpoznające adresy fizyczne smartfonów, tabletów, zestawów głośnomówiących, urządzeń nawigacji w pojazdach na początku i końcu odcinka objętego pomiarem. Metody z wykorzystaniem monitorowania zmian czasu przejazdu odcinka są tym dokładniejsze, im krótszy odcinek objęty jest pomiarem. Stosowano również metody wykorzystujące lokalizację pojazdów za pośrednictwem GPS. Możliwa jest także kombinacja kilku metod zintegrowanych na poziomie informatycznym (wykorzystanie środków telematki transportu, instalowanych zarówno w pasie drogowym, jak i w pojazdach), co w połączeniu z technologią telefonów komórkowych gwarantuje większą niezawodność systemu wykrywania incydentów. Wykrywalność zdarzenia i szybkość jego wykrycia zależy ponadto od liczby specjalistycznych patroli, nadzorujących drogi i szybkości ich reagowania [11].

W systemach wykrywania incydentów stosowane są algorytmy, które pozwalają na analizę zmian parametrów ruchu takich jak prędkość pojazdów, natężenie ruchu, zajętość detektorów lub czas przejazdu odcinka drogi (rys. 1).

W celu porównania skuteczności poszczególnych algo-



Rys. 1. Zależność natężenia ruchu od zajętości detektora stacji pomiaru w przypadku poszczególnych stanów ruchu zdefiniowanych w algorytmie McMaster [12]

rytmów wykrywania incydentów najczęściej wykorzystuje się trzy miary oceny:

- wskaźnik wykrywalności (*detection rate – DR*), definiowany jest jako stosunek liczby wykrytych zdarzeń do całkowitej liczby zdarzeń,
- wskaźnik fałszywych alarmów (*false alarm rate – FAR*), definiowany jako procentowy udział liczby błędnie wykrytych zdarzeń w całkowitej liczbie wykrytych zdarzeń,
- czas wykrycia zdarzenia (*time to detect – TTD*), definiowany jest najczęściej jako średni przedział czasu od chwili zaistnienia zdarzenia do czasu jego wykrycia, bez uwzględnienia czasu potrzebnego na jego weryfikację.

W większości algorytmów podejmowana jest jedna decyzja – o wystąpieniu zdarzenia niepożądanego lub jego braku w danym interwale czasowym w przeliczeniu na stację detekcyjną. Sposoby określenia wskaźnika wykrywalności są różne, ze względu na różne sposoby kalkulacji. Przy dłuższym czasie analizowania danych przez algorytm (dłuższy czas wykrycia zdarzenia), wyniki są bardziej satysfakcjonujące (wskaźniki wykrywalności są wyższe, a wskaźniki fałszywych alarmów niższe). Celem algorytmu jest minimalizacja czasu wykrycia zdarzenia, dlatego należy dążyć do zachowania równowagi pomiędzy parametrami skuteczności zastosowanej metody (tzn. przy możliwej do zaakceptowania liczbie fałszywych alarmów, należy zachować dopuszczalny czas wykrycia zdarzenia oraz zadowalający wskaźnik wykrywalności) [13], [14], [15].

Do kompleksowej oceny algorytmów stosowany jest wskaźnik *CI*, obliczany według wzoru:

$$CI = (DR \cdot (1 - FAR)) / (\exp(TTD \cdot [TTD]_{\downarrow \max}^{-1})) \quad (1)$$

w którym:

- CI* – wskaźnik jakości algorytmu,
- DR* – wskaźnik wykrywalności,
- FAR* – wskaźnik fałszywych alarmów,
- TTD* – średni czas wykrycia zdarzenia,
- $TTD_{\max}$  – maksymalny czas wykrycia zdarzenia.

Wskaźnik uwzględnia maksymalizację *DR* oraz minimalizację *TTD* i *FAR* [12]. Większe wartości *CI* oznaczają wyższą jakość algorytmu.



Należy nadmienić, że na wartość wskaźników *DR* i *FAR* wpływa wiele czynników związanych z cechami drogi oraz typem zdarzeń niepożądanych i czasem ich zajścia. Czynniki związane z geometrią drogi, mające wpływ na wartość wskaźników to np. przebieg osi drogi w planie sytuacyjnym, przebieg niwelety, obecność wjazdów i skrzyżowań. Wskaźniki zależne są również od typu incydentu (zablokowanie pasa ruchu lub pojazd poza pasem ruchu) oraz pory dnia (okresy szczytów ruchu i okresy poza szczytem). Powyższe czynniki mogą być związane z profilem natężenia ruchu w różnych warunkach geometrii i gęstości ruchu. Stwierdzono ponadto, że w przypadku algorytmów wykorzystujących pętle indukcyjne, warunki pogodowe i stan nawierzchni nie wpływają na wartość *DR* [16].

Dotychczas przygotowano i badano wiele algorytmów wykrywania zdarzeń niepożądanych, które można podzielić na cztery główne grupy:

- algorytmy na modelach wzorcowych,
- algorytmy na teorii katastrof,
- algorytmy na obliczeniach statystycznych
- algorytmy na sztucznej inteligencji.

Jako osobną grupę przedstawia się przetwarzanie obrazu wideo, w której często wykorzystuje się algorytmy z wyżej wymienionych grup [14].

Algorytmy na modelach wzorcowych wykorzystują informacje o parametrach potoku ruchu, tj. natężenia ruchu i zajętości detektora, porównując dane z detektorów z wzorami teoretycznymi, wyprowadzonymi z danych historycznych. Spośród algorytmów tej grupy należy wymienić algorytm kalifornijski (zwany również algorytmem TSC), wraz z jego późniejszymi modyfikacjami (algorytmy TSC#7 i TSC#8), algorytm APID, algorytm PATREG oraz algorytm Minnesota [11], [14].

Algorytmy na teorii katastrof uwzględniają wystąpienie nagej, dyskretnej zmiany w jednej zmiennej, podczas gdy pozostałe zmienne zależne wykazują zmiany ciągłe w czasie (rozważane zmienne to prędkość pojazdów, zajętość detektora oraz natężenie ruchu). Niewątpliwą zaletą algorytmów z tej grupy jest możliwość odróżnienia zaistnienia zdarzenia od zmian zmiennych, związanych z wystąpieniem zatłoczenia drogi, wynikającego z wyczerpywania przepustowości. Różnica pomiędzy algorytmami na teorii katastrofy a algorytmami na wzorcach polega na tym, że metoda wzorcowa to określanie zmian pojedynczych zmiennych w uprzednio określonych progach, natomiast w teorii katastrof porównuje się wiele zmiennych w czasie, porównując je z wcześniejszymi trendami zmienności danych. Grupę algorytmów na teorii katastrofy reprezentuje algorytm McMaster [17]. Na rys. 1. przedstawiono zależność natężenia ruchu od zajętości stacji pomiaru ruchu (wlotowej i wylotowej) w przypadku poszczególnych stanów ruchu zdefiniowanych w algorytmie McMaster [18].

W algorytmach na obliczeniach statystycznych następuje porównanie bieżących danych o potoku ruchu, pozyskanych z detekcji z danymi uzyskanymi z prognoz. W prognozach zastosowanie znajdują szeregi czasowe. Algorytmy klasyfikują jako zdarzenia wszystkie zmiany parametrów ruchu wykraczające poza prognozowany zakres wartości parametrów. Spośród algorytmów na obliczeniach statystycznych można wyróżnić: 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*) i *Low Pass Filter* [11], [14].

Sztuczna inteligencja wykorzystywana jest w najmłodszej grupie algorytmów automatycznego wykrywania zdarzeń. Zastosowanie znajdują tutaj sieci neuronowe oraz teoria zbiorów rozmytych.

Porównując miary oceny skuteczności poszczególnych grup algorytmów wykrywania zdarzeń niepożądanych (wyniki odnoszą się do rozwiązań wdrożonych na autostradach, jak i badań laboratoryjnych) zaobserwowano, że [11], [12], [13], [14], [18]:

- w grupie algorytmów na modelach wzorcowych wskaźnik wykrywalności przyjmuje wartości od 45–86%, średni czas wykrycia zdarzenia 0,85–19,12 min, wskaźnik fałszywych alarmów 0,03–1,73%;
- w grupie algorytmów na teorii katastrof wskaźnik wykrywalności przyjmuje wartości od 68–100%, średni czas wykrycia zdarzenia 0,35–2,2 min, wskaźnik fałszywych alarmów 0,002–11,97%;
- w grupie algorytmów na obliczeniach statystycznych wskaźnik wykrywalności przyjmuje wartości od 80–100%, średni czas wykrycia zdarzenia 0,4–4,0 min, wskaźnik fałszywych alarmów 0–1,87%;
- w grupie algorytmów na sztucznej inteligencji wskaźnik wykrywalności przyjmuje wartości ok. 90%, średni czas wykrycia zdarzenia 0,9–0,96 min, wskaźnik fałszywych alarmów 0,01–1,0%.

Wobec zróżnicowanych efektów stosowania poszczególnych algorytmów w różnych warunkach zewnętrznych (parametrów ruchu i drogi, warunków atmosferycznych) zasadna jest fuzja algorytmów z różnych grup, pracujących w różnych systemach detekcji (np. pętle indukcyjne i przetwarzanie obrazu wideo).

## Koncepcja wykrywania zdarzeń niepożądanych na Obwodnicy Trójmiasta

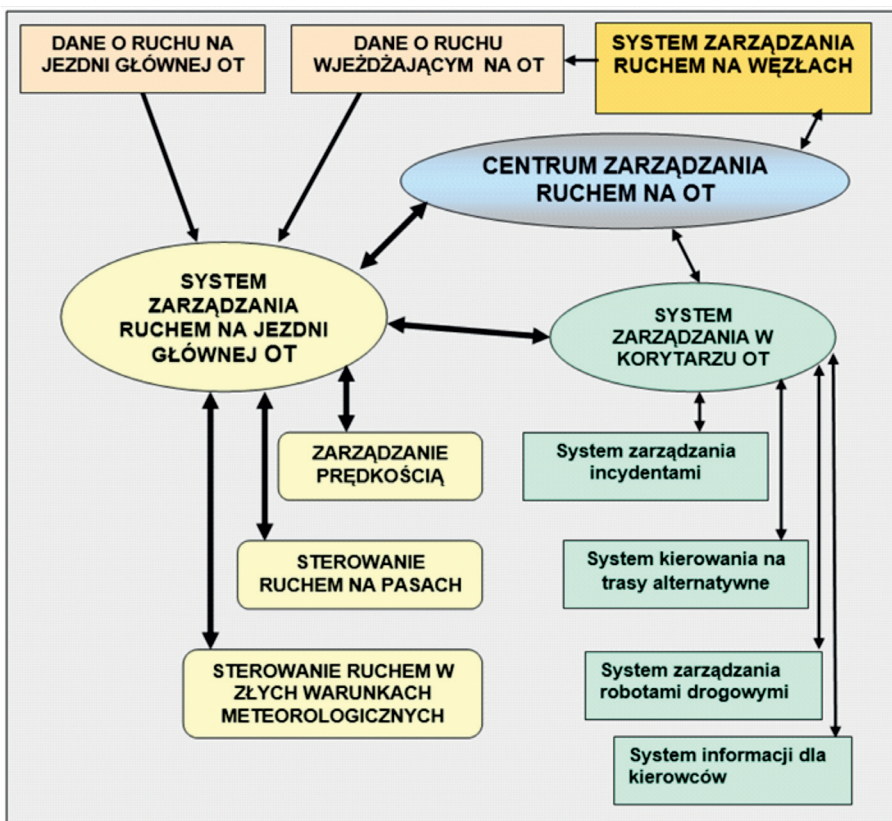
Wstępny przegląd algorytmów oraz propozycję zastosowania systemu zarządzania ruchem na Obwodnicy Trójmiasta przedstawiono w opracowaniach [19], [20].

Obwodnica Trójmiasta jest uzasadnionym miejscem do wdrożenia projektu pilotażowego zaawansowanego systemu zarządzania ruchem ze względu na bardzo dużą liczbę zdarzeń drogowych oraz innych incydentów, powodujących zaburzenia w ruchu (kilka razy w ciągu dnia). System, który bezwzględnie należy zintegrować z elementami systemu *TRISTAR* wdrażanymi na obszarze Gdańska, Gdyni i Sopotu będzie składał się z podsystemów przedstawionych w tab. 1 i na rys. 2.

W strukturze logicznej przewidziano, że zarządzanie incydentem rozpoczyna się w momencie, gdy informacja o zdarzeniu dotrze do dyspozytora w Centrum Zarządzania Ruchem na Obwodnicy Trójmiasta, kończy się natomiast, gdy zostaną przywrócone normalne warunki ruchu. W przypadku wypadku drogowego policja, straż pożarna i służby zajmujące się usuwaniem pojazdów z pasa drogowego przybywają na miejsce zdarzenia niezależnie od siebie. Zarządzający obwodnicą włą-

Tabela 1. Podsystemy zarządzania ruchem na Obwodnicy Trójmiasta [20]

Zarządzanie ruchem na Obwodnicy Trójmiasta	
Podsystemy	Funkcje zarządzania ruchem
System zarządzania ruchem na węzłach obwodnicy	Zarządzanie ruchem na wjazdach na drogę główną (regulowanie dopływu pojazdów na jezdnię główną – <i>ramp metering</i> )
	Sterowanie ruchem na skrzyżowaniach z sygnalizacją w obrębie węzłów
System zarządzania ruchem na jezdni głównej obwodnicy	Zarządzanie prędkością
	Sterowanie ruchem na pasach
	Sterowanie ruchem w złych warunkach atmosferycznych
System zarządzania ruchem w korytarzu obwodnicy	Kierowanie pojazdów na trasy alternatywne
	Zarządzanie incydentami
	Zarządzanie robotami drogowymi
	Zarządzanie ruchem ciężarowym
	Informacja dla kierowców i podróżnych



Rys. 2. Struktura funkcjonalna systemu zarządzania ruchem na Obwodnicy Trójmiasta (OT) [20]

cza się do akcji w przypadku poważnego uszkodzenia drogi lub w przypadku konieczności przygotowania objazdu na dłuższy okres. Bardzo ważną rolę odgrywa tu Centrum, które zarządza ruchem w korytarzu obwodnicy, tak aby zakłócenia w ruchu były jak najmniejsze oraz informuje kierowców (poprzez znaki i tablice zmiennej treści oraz informacje radiowe, SMS-y, internet, RDS) o zaistnieniu zdarzenia i preferowanej trasie objazdu.

Zarządzanie zdarzeniami drogowymi na drogach szybkiego ruchu składa się z następujących funkcji:

- automatyczna detekcja zdarzenia,

- weryfikacja zdarzenia systemem nadzoru (telewizja przemysłowa),
- automatyczne powiadamianie centrów powiadamiania ratunkowego/służb ratowniczych,
- informacja do odpowiednich służb ratowniczych (o zdarzeniu i jego lokalizacji),
- urządzenie AVL w pojazdach służb ratowniczych (zarządzanie pojazdami służb ratowniczych),
- monitorowanie stanu pacjenta w pojeździe ratowniczym w drodze do szpitala z możliwością udzielenia wskazówek co do sposobu postępowania z pacjentem.

Na poszczególnych odcinkach przewiduje się obsługę zbierania danych i realizację sterowania (struktura fizyczna) za pomocą niżej wymienionych bloków.

#### A. Blok pomiarowy:

- na węzle: na jezdni głównej, w odległości co 300–500 m na obszarze węzła konieczne są detektory rejestrujące: natężenie, prędkość pojazdów, czas zajęcia detektora, na łącznicy konieczna jest stacja pomiaru przejazdu na włączeniu do jezdni głównej,
- na odcinku międzywęzłowym między sąsiednimi węzłami co 800–1000 m, konieczne są detektory rejestrujące: natężenie, prędkość pojazdów, czas zajęcia detektora,
- na drogach współpracujących z obwodnicą, w miejscach newralgicznych Trasy Średnicowej Aglomeracji oraz ulicach łączących obwodnicę z Trasą Średnicową (konieczność wykorzystania danych z systemu TRISTAR, wdrożonego w obszarze miejskim),

#### B. Blok przetwarzania danych:

- analiza i przetwarzanie danych z detektorów, funkcje tę może realizować stacja transmisji danych dla grupy detektorów,
- gromadzenie danych, przewiduje

się przesyłanie, agregowanie i gromadzenie w bazie danych zlokalizowanej w Centrum Zarządzania Ruchem na obwodnicy oraz w miejskich centrach zarządzania ruchem (CZR) w Gdańsku i Gdyni,

#### C. Blok transmisji danych. Transmisja i przekazywanie danych pomiędzy:

- detektorami (DP) i stacją transmisji danych (STD) – przewody kablowe,
- stacją transmisji danych i centrami zarządzania – łącze teletechniczne (przewodowe lub bezprzewodowe),



- sterownikiem lokalnym (SLZ) i centrami zarządzania – łącze teletechniczne przewodowe.
- D. Sterowanie ruchem, za pomocą znaków zmiennej treści (ZZT) w ciągu jezdni głównej i na drogach dojazdowych, tablic zmiennej treści (TZT) i urządzeń sygnalizacji świetlnej (*ramp metering*) na węzłach poprzez sterowniki lokalne (SLZ).
- E. Przekazywanie informacji dla użytkowników za pomocą znaków zmiennej treści, tablic zmiennej treści na obwodnicy oraz w systemach Gdańska i Gdyni oraz równolegle przekazywanie informacji poprzez Centrum Zarządzania Ruchem Obwodnicy Trójmiasta do innych systemów i użytkowników (np. Centrum Powiadamiania Ratunkowego).

## Podsumowanie

W artykule zaprezentowano metody stosowane głównie do wykrywania zdarzeń drogowych na autostradach i drogach ekspresowych. Przedstawiono ponadto koncepcję wdrożenia systemu zarządzania incydentami na Obwodnicy Trójmiasta. Metody wykrywania zdarzeń są nieodzownym elementem systemów zarządzania incydentami, ale również znajdują zastosowanie w lokalnym dynamicznym zarządzaniu prędkością z wykorzystaniem znaków zmiennej treści. Przedstawione metody są udoskonalane a skuteczność detekcji ruchu wzrasta. Wobec zróżnicowanych efektów stosowania poszczególnych algorytmów wykrywania incydentów 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 lub przetwarzania obrazu wideo) lub łączenie dwóch albo więcej metod (np. metody wykorzystujące analizy parametrów ruchu z metodami przetwarzania obrazu wideo, z 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 sygnalizacji wystąpienia zdarzenia może być zdeterminowana wystąpieniem alarmów w większości algorytmów zastosowanych w fuzji [12]. Stosowanie kilku metod wykrywania zdarzeń jednocześnie, w jeszcze większym stopniu wpływa na skuteczność systemu wykrywania i weryfikacji wystąpienia zdarzenia drogowego oraz na dokładność jego lokalizacji.

## Bibliografia

- [1] K. Jamroz, A. Kadziński, A. Szymanek, K. Chruzik, L. Gućma, J. Skorupski, *Integracja metod zarządzania ryzykiem w transporcie*. Rozdz. 7 w pracy zbiorowej pod red. R. Krystka pt.: *Zintegrowany System Bezpieczeństwa Transportu*, tom 2: *Uwarunkowania rozwoju integracji systemów bezpieczeństwa transportu*. WKŁ Warszawa 2009
- [2] K.J. Button, D.A. Hensher, L. Schintler, *Handbook of Transport Systems and Traffic Control*, Pergamon 2001
- [3] Transportation Research Board: *Analytical procedures for determining the Impacts of Reliability Mitigation Strategies*, SHRP2 Reliability Research, Report S2-LO3-RR-1, 2013
- [4] G.L. Chang, S. Rochon, *Performance Evaluation and Benefit Analysis for CHART in Year 2007*. Final report, 2007. <http://chartinput.umd.edu/reports/chart2007final.pdf>
- [5] Booz-Allen & Hamilton: *1996 Olympic and Paralympic Games, Event Study, Executive summary*, Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation, 1997
- [6] *Intelligent Transportation Systems Joint: Benefit. Research and Innovative Technology Administration*, U.S. Department of Transportation, 1997. <http://www.itsbenefits.its.dot.gov/its/benecost.nsf/0/0B37A6D584E620B2852569610051E268>
- [7] Institute of transportation Engineers: *1996 ITS Tour Report: Eastern North America and 1996 ITS World Congress: Volume I*. 1997
- [8] Cambridge Systematics, INC.: *IDAS User's Manual*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 2000
- [9] M. McDonald, H. Keller, J. Klijnhout, V. Mauro, R. Hall, A. Spence, C. Hecht, O. Fakler, *Intelligent Transport Systems in Europe. Opportunities for Future Research*. World Scientific, 2006
- [10] K. Ozbay, W. Xiao, G. Jaiswal, B. Bartin, *Evaluation of Incident Management Strategies*. Final Report no FHWA-NJ-2005-020, 2005. <http://cait.rutgers.edu/files/FHWA-NJ-2005-020.pdf>
- [11] K. Ozbay, P. Kachroo, *Incident Management in Intelligent Transportation Systems*, Artech House, Inc., 685 Canton Street, Norwood MA 02062 1999
- [12] S. Boonsiripant, A. Sumalee, K. Jedwanna, W. Rungritidech, *Adaptive Incident Detection Algorithm for Suburban Expressway*. 17th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (HKSTS), At Hong Kong, 2012. [https://www.researchgate.net/publication/270272719\\_Adaptive\\_Incident\\_Detection\\_Algorithm\\_for\\_Suburban\\_Expressway](https://www.researchgate.net/publication/270272719_Adaptive_Incident_Detection_Algorithm_for_Suburban_Expressway)
- [13] J. Oskarbski, *Wykrywanie zdarzeń drogowych z wykorzystaniem telematyki transportu*. TRANSCOMP – XV International Conference, Logistyka 6/2011)
- [14] T.M. Martin, J. Perrin, B. Hansen, *Incident Detection Algorithm Evaluation*, University of Utah 2001. <http://www.mountain-plains.org/pubs/pdf/MPC01-122.pdf>
- [15] K.F. Petty, M. Ostland, J. Kwon 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](http://www.sci.csueastbay.edu/~jkwon/papers/inc_detection.pdf)
- [16] H. Al-Deek, *Final Report, Incident Detection at Freeway Geometric Bottlenecks*, University of Central Florida, 1995. [http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed\\_Proj/Summary\\_TE/0510672\\_B8347.pdf](http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed_Proj/Summary_TE/0510672_B8347.pdf)
- [17] N. Persaud Bhagwant, F. Hall, *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
- [18] E. Parkany, *A Complete Review of Incident Detection Algorithms & Their Deployment: What Works and What Doesn't*. Prepared for The New England Transportation Consortium February 7, 2005, NETCR37 Project No. 00-7
- [19] K. Jamroz, M. Litwin, *Review of incident detection applications. implications for TRISTAR-Incident detection module*. Paper presented on: 5th International Conference "Transport Systems Telematics - TST'05, Katowice-Ustroń, November 3-5, 2005
- [20] K. Jamroz, J. Oskarbski i inni: *Koncepcja ogólna systemu zarządzania ruchem na Obwodnicy Trójmiasta*. Politechnika Gdańska, Gdańsk, 2002