



PIOTR BURNOS

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
burnos@agh.edu.pl



JANUSZ GAJDA

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
jgajda@agh.edu.pl



**ZBIGNIEW
MARSZAŁEK**

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
antic@agh.edu.pl



PIOTR PIWOWAR

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
ppiwowar@agh.edu.pl



RYSZARD SROKA

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
rysieks@agh.edu.pl



MAREK STENCEL

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
masten@agh.edu.pl

System pomiaru parametrów ruchu drogowego o zmiennej strukturze Traffic-1

Funkcjonowanie i rozwój społeczeństw opiera się na ich zdolności do szybkiej i bezpiecznej migracji, jak również na transporcie towarów m.in. drogą lądową. Zapewnienie wymaganej przepustowości szlaków transportowych w erze intensywnego rozwoju motoryzacji stanowi poważne wyzwanie o zasięgu globalnym. Narastające oczekiwania dotyczące szybkiego przemieszczania ludzi i towarów pociągają za sobą konieczność rozbudowy sieci dróg oraz efektywnego wykorzystania istniejącej infrastruktury. Do istotnych narzędzi wspomagających ten proces należy zaliczyć systemy:

- sterowania ruchem drogowym,
- nadzorowania tego ruchu,
- zbierania i przetwarzania informacji o parametrach ruchu drogowego dla celów statystycznych,
- ważące pojazdy samochodowe w ruchu – *WIM (Weigh In Motion)*.

Wymienione rozwiązania określa się mianem Inteligentnych Systemów Transportowych – *ITS (Intelligent Transportation Systems)*, które odgrywają kluczową rolę w procesie sterowania ruchem oraz są źródłem bogatej wiedzy statystycznej, wykorzystywanej na etapie modernizacji istniejących i projektowania nowych dróg. Oczekiwania użytkowników systemów *ITS* przeznaczonych do pomiaru parametrów ruchu drogowego, dotyczą przede wszystkim automatyzacji oraz zapewnienia ciągłości pomiaru, możliwości wyboru zbioru mierzonych parametrów ruchu drogowego oraz dużej dokładności, a tym samym wiarygodności uzyskiwanych wyników [2]. Wychodząc naprzeciw wymaganiom stawianym takim systemom w Katedrze Metrologii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie skonstruowano system pomiaru parametrów ruchu drogowego Traffic-1. Innowacja rozwiązania przejawia się w strukturze systemu, która może być modyfikowa-

na przez użytkownika odpowiednio do aktualnych potrzeb pomiarowych. Jest to możliwe dzięki unikatowej konstrukcji, zawierającej jeden uniwersalny moduł cyfrowy oraz wymienne moduły analogowego kondycjonowania sygnałów z czujników pomiarowych. Dobór liczby oraz typu czujników jest podyktowany zbiorem mierzonych parametrów i zależy od użytkownika. System Traffic-1 umożliwia współpracę z różnymi typami i liczbą czujników pomiarowych, takimi jak pętla indukcyjna, piezoelektryczne detektory osi pojazdu, piezoelektryczne czujniki nacisku, oraz kwarcowe i polimerowe czujniki nacisku. Liczba parametrów mierzonych przez system jest duża i obejmuje m.in. podstawowe parametry pojazdów, takie jak: czas pojawienia się pojazdu w strefie pomiaru, prędkość, liczbę osi, długość itp. oraz charakterystyki opisujące ruch drogowy, na przykład: gęstość ruchu, natężenie ruchu pojazdów. Ponadto Traffic-1 umożliwia automatyczną klasyfikację pojazdów oraz ważenie pojazdów w ruchu *WIM*. Ostatnia możliwość, dotychczas zarezerwowana dla drógich rozwiązań komercyjnych, jest podstawową funkcją opisywanego urządzenia. W systemie zaimplementowano również szereg oryginalnych algorytmów, które umożliwiają zwiększenie dokładności uzyskiwanych wyników pomiarowych.

Struktura systemu Traffic-1

System Traffic-1 został zaprojektowany z myślą o szerokiej gamie odbiorców posiadających zróżnicowane oczekiwania co do zbioru mierzonych parametrów ruchu drogowego. Struktura systemu jest otwarta i składa się z jednostki centralnej oraz wymiennych modułów kondycjonowania sygnałów z czujników pomiarowych. Modyfikacja struktury i funkcji systemu sprowadza się do zainstalowania odpowiedniego typu modułu w obudowie systemu i połączeniu go z czujnikami. System samodzielnie rozpoznaje konfigurację i uruchamia odpowiadający jej algorytm estymacji parametrów. Skonstruowano dziewięć wymiennych modułów, co oznacza, że system Traffic-1 może pełnić rolę dziewięciu różnych systemów, współpracujących z różnymi typami i liczbą czujników (fot.1).

Możliwe są następujące konfiguracje czujników pomiarowych [4]:

- Pojedyncza pętla indukcyjna,
- Układ dwóch pętli indukcyjnych,
- Układ dwóch pętli indukcyjnych oraz detektor osi,
- Układ dwóch pętli indukcyjnych oraz polimerowy czujnik nacisku,
- Układ dwóch pętli indukcyjnych oraz kwarcowy czujnik nacisku,
- Układ trzech pętli indukcyjnych,
- Pojedyncza pętla indukcyjna oraz 2 detektory osi,



Fot.1. Elementy systemu Traffic-1

H. Pojedyncza pętla indukcyjna oraz 2 polimerowe czujniki nacisku,

I. Pojedyncza pętla indukcyjna oraz 2 kwarcowe czujniki nacisku.

W zależności od konfiguracji, system umożliwia pomiar następujących parametrów pojazdów (szczegóły podano w tab. 1):

- T – czas pojawienia się pojazdu w strefie pomiarów,
- V – prędkość pojazdu,
- L – długość pojazdu,
- N_{axle} – liczba osi,
- L_{axle} – odległości między osiami,
- Trailer – obecność przyczepy,
- Axle load – naciski poszczególnych osi,
- Total mass – masa całkowita pojazdu,
- Cl. magnet – klasa pojazdu na podstawie jego profilu magnetycznego,
- Cl. ALT – klasa pojazdu na podstawie liczby i odległości między osiami (możliwe są różne schematy klasyfikacji np. zgodnie FHWA F lub ALT).

Ponadto system pozwala wyznaczyć następujące charakterystyki ruchu drogowego [5]:

- k – gęstość ruchu,
- q – przepływ pojazdów,
- r – zajętość pasa ruchu,
- V_{mean} – średnia prędkość,
- Δt – odległości czasowe pomiędzy pojazdami.

Zmiana typu, liczby i konfiguracji czujników nie tylko umożliwia pomiar różnych parametrów pojazdów i ruchu drogowego, ale również w wielu przypadkach wpływa na dokładność ich pomiaru. Zestawienie mierzonych parametrów wraz z dokładnością pomiaru [3] wszystkich konfiguracji czujników pomiarowych zamieszczono w tabeli 1.

System został wyposażony w wewnętrzną pamięć, w której można zapisać parametry 150 tysięcy pojazdów, ciekłokrystaliczny ekran dotykowy umożliwiający sterowanie pracą systemu, a także bieżącą wizualizację wyników pomiarowych oraz charakterystyk opisujących ruch drogowy w strefie zainstalowania systemu. Na interfejs komunikacyjny wybrano łącze RS232, umożliwiające transmisję danych do zewnętrznego komputera oraz modem GSM umożliwiający bezprzewodową transmisję danych na serwer ftp. Wykorzystanie technologii GSM daje ponadto możliwość zdalnego monitoringu ruchu drogowego w dowolnej chwili czasu z komputera mającego dostęp do internetu. Urządzenie jest zdolne do automatycznego wykrywania stanów awaryjnych związanych z zainstalowanymi czujnikami. W systemie zastosowano szereg innowacyjnych rozwiązań sprzętowych oraz programowych, które zwiększają jego funkcjonalność i niezawodność, a tym samym podnoszą jego walory użytkowe. Do takich nowości należy zaliczyć algorytm estymacji prędkości pojazdu w układzie pomiarowym współpracującym z jedną pętlą indukcyjną, detekcję liczby osi pojazdu na podstawie jego profilu magnetycznego, automatyczne równoważenie układu współpracującego z pętlą indukcyjną, algorytm autokalibracji i korekcji temperaturowej wyników ważenia w systemie współpracującym z czujnikami nacisku oraz nową automatyczną metodę klasyfikacji pojazdów samochodowych ALT (nazwa pochodzi od słowa *alternatywna*).






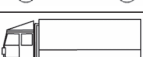
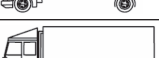

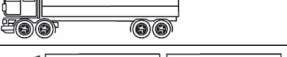




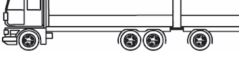



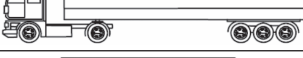

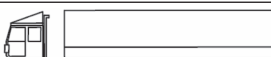
Zaproponowana metoda klasyfikacji ALT bazuje na pomiarze odległości między osiami i długości pojazdu [1]. Cechuje się dużą uniwersalnością wynikającą z otwartej struktury podziału pojazdów na kategorie, gdyż użytkownik może zmieniać ich liczbę w zależności od indywidualnych potrzeb. Algorytm automatycznej klasyfikacji wykorzystuje miary rozmyte oraz fuzję danych. Pozwala to, przy zachowaniu wysokiej selektywności podziału pojazdów na kategorie, uzyskać wysoką efektywność klasyfikacji, czego dowodem są wyniki uzyskane na podstawie przeprowadzonych pomiarów. Efektywność klasyfikacji wszystkich pojazdów jest na poziomie 95%, a pojazdów ciężarowych 100%. W tabeli 2 przedsta-

Tabela 1. Mierzone parametry oraz dokładność ich pomiaru w systemie Traffic-1

	T [v]	V [km/h]	L [m]	N_{axle}	L_{axle} [m]	Trailer	Axle load	Total mass	Cl. magnet	Cl. ALT	k, q, r, V_{mean}
A	0,01 s	6–23%	20%			✓			✓		✓
B	0,01 s	1,5% *	2% *			✓			✓		✓
C	0,01 s	1,5% *	2% *		2%	✓				✓	✓
D	0,01 s	1,5% *	2% *	✓	2%	✓	20–30%	15–20%		✓	✓
E	0,01 s	1,5% *	2% *	✓	2%	✓	15–25%	15–20%		✓	✓
F	0,01 s	7,5%	8%	8%	10%	✓				✓	✓
G	0,01 s	<1km/h	2% *	✓	±2,5 cm	✓				✓	✓
H	0,01 s	<1km/h	2% *	✓	±2,5 cm	✓	15–20 %	10–15%		✓	✓
I	0,01 s	<1km/h	2% *	✓	±2,5 cm	✓	10–15%	7–10%		✓	✓

* w sensie odchylenia standardowego

Tabela 2. Kategorie pojazdów najczęściej występujących na polskich drogach oraz efektywność ich automatycznej klasyfikacji przez algorytmy ALT oraz FHWA

Rodzaj pojazdu	Numer kategorii	Sylwetka	Efektywność [%]		Liczba pojazdów
			ALT	FHWA	
pojazdy pojedyncze	1		–	–	0
	2		99,26	98,8	673
zespół pojazdów	3		100	80,0	5
	4		100	0	3
pojazdy pojedyncze	5		75,6	76,9	156
	6		89,7	43,8	57
	7		100	100	14
	8		100	0	7
zespół pojazdów	9		100	Brak kategorii	8
	10		100	Brak kategorii	1
	11		100	Brak kategorii	5
	12		–	Brak kategorii	0
pojazdy członowe	13		–	–	0
	14		100	0	45
	15		100	100	109
	16		–	–	0
	17		100	0	1
	18		100	100	2
Pojazdy pojedyncze	19		72,7	90,9	11
	20		–	–	0
Łącznie poprawnie sklasyfikowano:			95,0	85,0	1097 poj, łącznie
Łącznie nie sklasyfikowano:			0,0	9,0	

wiono 20 kategorii pojazdów najczęściej występujących na polskich drogach oraz efektywność ich automatycznej klasyfikacji. Pomiarów dokonano na stanowisku badawczym WIM w Gardawicach na populacji 1097 pojazdów. Dla porównania w tabeli przedstawiono również wyniki uzyskane w popularnej klasyfikacji FHWA.

Podsumowanie

Opracowany system pomiarowy Traffic-1 jest uniwersalnym narzędziem nadającym się zarówno do długotrwałych pomiarów parametrów ruchu drogowego, jak również do pomiarów krótkookresowych realizowanych w ramach prac badawczych. Może być łatwo przenoszony pomiędzy różnymi stanowiskami pomiarowymi (system Traffic-1 może być zasilany z sieci lub z akumulatora). Opracowane algorytmy umożliwiają pomiar szerokiej gamy parametrów ruchu i pojazdów z małą niepewnością przy jednoczesnej minimalizacji kosztów związanych z zastosowanymi czujnikami pomiarowymi. Zrealizowany projekt jest podsumowaniem wieloletniego dorobku naukowego i konstrukcyjnego zespołu wykonawców. Tematyka pomiaru parametrów ruchu drogowego jest obecna w pracach badawczych prowadzonych w Katedrze Metrologii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie już od kilkunastu lat. W tym czasie zostało zrealizowanych pięć projektów badawczych finansowanych przez MNiSW, w tym jeden projekt rozwojowy. Zaprojektowano i skonstruowano kilkadziesiąt systemów pomiarowych o różnym stopniu złożoności, współpracujących z różną liczbą i typami czujników pomiarowych i mierzących różne parametry pojazdów i ruchu drogowego. Szczegółowe informacje na temat systemu Traffic-1 zamieszczono na stronie www.traffic-1.pl.

Bibliografia

- [1] Burnos P.: Alternative Automatic Vehicle Classification Method. *Metrology and Measurement Systems vol. XVII, number 3*. 2010, pp. 323–334
- [2] Ezell S.: Intelligent Transportation Systems. *The Information Technology & Innovation Foundation*. January 2010. <http://www.itif.org/>. Accessed April 2, 2010
- [3] Gajda J., Sroka R., Żegleń T.: Accuracy analysis of WIM systems calibrated using pre-weighed vehicles method. *Metrology and Measurement Systems vol. XIV, number 4*. 2007, pp. 517–527
- [4] Klein L.: *Sensor Technologies and Data Requirements for ITS*. Artech House, 2001
- [5] Maerivoet S., and De Moor, Bart. Traffic Flow Theory. *arXiv.org e-Print archive*. June 2005. <http://arxiv.org/abs/physics/0507126>. Accessed February 10, 2010 ■