

Jan PIECHA, Bartłomiej PŁACZEK

METODA OKREŚLANIA DANYCH WEJŚCIOWYCH DLA SYSTEMU STEROWANIA RUCHEM DROGOWYM NA PODSTAWIE KSZTAŁTU POJAZDU

Streszczenie. Artykuł przedstawia raport z badań statutowych realizowanych w Zakładzie Informatyki Transportu w 2005 roku. Opisano w nim metodę zapisu i interpretacji danych o ruchu drogowym pozyskiwanych z wideorejestratora pojazdów. Zaproponowana metoda umożliwia uzyskanie spójnej reprezentacji strumienia ruchu pojazdów przenoszonych do modelu komórkowym [6] systemu sterowania ruchem drogowym. Automat komórkowy jest narzędziem do podejmowania decyzji dla sterowania ruchem pojazdów. Omówiono również ograniczenia czasowe istotne dla prawidłowego funkcjonowania systemu w trybie on-line. Jest to kolejny etap badań realizowanych w Zakładzie w dziedzinie zastosowań metod wizyjnych do opisu ruchu i pojazdów zdarzeń drogowych.

THE METHOD OF INPUT DATA DETERMINATION FOR TRAFFIC CONTROL SYSTEM ON THE BASE OF VEHICLE SHAPE

Summary. The paper presents report from a status research works carried out in this year in Department of Transport Informatics. A discussed method allows registration and interpretation of traffic data acquired by video-detection techniques. The elaborated method concerns a coherent data representation obtained of traffic stream detector for a cellular modeling [6] control procedures. The cellular simulator establishes a tool for a traffic decision making algorithms. The time limitations, important for proper system functioning in the on-line mode, have also been discussed. The report shows current investigations results in field of road traffic video-detection and traffic control processes being under development this year in the Transport Informatics Department.

1. WPROWADZENIE

Procesy optymalizacji sterowania ruchem drogowym wymagają aktualnych danych o stanie parametrów ruchu drogowego, opisujących precyzyjnie strumień pojazdów w modelu sterowania. Metody wizyjne umożliwiają rozpoznanie rodzaju pojazdu oraz ich rozmieszczenie na pasie ruchu. Parametry ruchu definiują klasy pojazdów ekstrahowane z pola widzenia kamery. Implementacja modelu komórkowego pozwala określić narzędzia zapisu danych i symulacji strumieni pojazdów z zadaną dokładnością sterowania ruchem pojazdów.

Wcześniejsze opracowania autorów proponowały metody detekcji i klasyfikacji pojazdów na podstawie algorytmów dopasowania ich wzorników [4]. Przedstawiono również komórkowy model opisu ruchu pojazdów na wybranym wlocie skrzyżowania [3, 5].

W rozdziale 2 artykułu opisano metodę wprowadzania danych pozyskiwanych z wideorejestratora pojazdów, przenoszonych do komórkowego modelu ruchu.

W metodzie uwzględnione zostały rzeczywiste położenia pojazdów oraz ich klasy określające parametry sterowania. Zaproponowana metoda pozwala, poza procedurą sterowania, prognozować (symulowanie) parametry strumieni pojazdów na podstawie ich stanu aktualnego; stanowiące warunki początkowe modelu symulacji.

Na tej podstawie przewidywany jest wpływ decyzji sterujących na zmianę warunków ruchu. Realizacja wymienionych funkcji sterowania jest możliwa o ile odpowiednie procedury aktualizacji zostaną wykonywane w oknie czasu, dobranego w funkcji parametrów modelu ruchu (własności systemu sterowania i parametrów ruchu).

Zasady określania ram czasu dla zdefiniowanych procedur operacyjnych zostały omówione w rozdziale 3 artykułu.

2. METODA AKTUALIZACJI KOMÓRKOWEGO MODELU RUCHU

Zaproponowana metoda aktualizacji danych modelu komórkowego obejmuje rozpoznawanie zajętości wszystkich komórek wydzielonych w monitorowanym obszarze oraz określanie klas pojazdów zgłaszających się w komórce źródłowej (pierwszej komórce dla analizowanego odcinka pasa ruchu).

Zastosowanie wizyjnych metod detekcji i klasyfikacji pojazdów oznacza potrzebę określenia procedur aktualizacji modelu ruchu poprzez ekstrakowanie danych z rejestrowanego kameralnie obrazu (dopasowania wzornika) [4]. W dalszej części artykułu omówiono metodę wprowadzania tych danych do modelu komórkowego.

2.1. Zasady klasyfikacja pojazdów

Klasy pojazdów determinują wartości parametrów statycznych pojazdów w modelu symulacyjnym. Dla rozpatrywanego węzła drogowego określony zostaje zbiór klas, który obejmuje wszystkie rodzaje pojazdów występujących w danym węźle:

$$KP = \{kp_1, kp_2, kp_3, \dots, kp_w\}. \quad (1)$$

Klasa pojazdów $kp_k = (s_k, P_k)$ obejmuje definicję wartości parametrów statycznych pojazdu s_k oraz definicję wzornika kształtu P_k . Wzornik stanowi zbiór punktów na płaszczyźnie dyskretnej opisujących reprezentatywny kształt pojazdu k -tej klasy.

Dla każdej klasy pojazdów muszą zostać odpowiednio dobrane: długość pojazdu (liczba zajmowanych komórek), prędkość maksymalna (w komórkach na sekundę) oraz składowa prawdopodobieństwa zahamowania, zależna od typu pojazdu.

Wartości elementów zbioru P_k zostają określone na podstawie klasyfikacji zarejestrowanego pojazdu, która polega na cyfrowej analizie obrazu z kamery. Kształt pojazdu jest porównywany z wzornikami zdefiniowanymi na podstawie obrazów wzorcowych. Obraz wzorcowy jest to obraz zarejestrowany w chwili detekcji reprezentatywnego pojazdu k -tej klasy.

W algorytmie klasyfikacji pojazdów wykorzystywana jest metoda dopasowania wzornika. Zbiór punktów krawędzi reprezentujących kształt zarejestrowanego pojazdu jest porównywany z wzornikami P_k , $k = 1, \dots, w$ dla wszystkich predefiniowanych klas pojazdów.

W procesie klasyfikacji wybrana zostaje klasa k^* , dla której kształt wzorcowy jest najbardziej zbliżony do kształtu aktualnie rejestrowanego pojazdu – spełniona jest zależność

$$DK_{k^*} \frac{\alpha_{k^*}}{l_{k^*}} = \min_k \left(DK_k \frac{\alpha_k}{l_k} \right), \quad (2)$$

gdzie:

DK_k – miara rozbieżności kształtu wyznaczona dla wzornika P_k ,

l_k – liczba punktów wzornika P_k ,

α_k – współczynnik wagowy dla klasy k .

Na tej podstawie do zbioru stanów pojazdów zostaje dodany nowy element $p_{mj+1}(t)$. Parametry statyczne nowego pojazdu przyjmują wartości zdefiniowane dla wybranej klasy pojazdów k^* :

$$s_{mj+1} = \bar{s}_{k^*}. \quad (3)$$

Zaktualizowany zostaje również stan pierwszej komórki odpowiadającej obszarowi detekcji pojazdów:

$$k_1(t) = mj + 1. \quad (4)$$

Natomiast parametry dynamiczne wygenerowanego pojazdu są określone według następujących zasad. Numer komórki zajmowanej przez przód pojazdu jest równy 1, ponieważ pojazdy są wstawiane do pierwszej komórki automatu:

$$wk_{mj+1}(t) = 1. \quad (5)$$

W chwili identyfikacji nowego pojazdu, jego prędkość jest równa prędkości maksymalnej:

$$v_{mj+1}(t) = v_{max_{mj+1}}. \quad (6)$$

Prędkość zostaje dostosowana do istniejących warunków po uwzględnieniu pierwszego kroku reguły automatu komórkowego, który powoduje ograniczenie prędkości pojazdu do wartości luki występującej aktualnie przed pojazdem.

Numery klas pojazdów kolejno zgłaszających się, wprowadzanych do komórki źródłowej, są zapamiętywane w rejestrze klas pojazdów zgodnie z ich kolejnością zgłoszeń. Rejestr klas pojazdów został zdefiniowany następująco:

$$RP = \{rp_0(t), rp_1(t), \dots, rp_{mi-1}(t)\}. \quad (7)$$

Rozmiar rejestru odpowiada liczbie komórek mi dla analizowanego odcinka pasa ruchu. Dane o klasach pojazdów wprowadzane są do rejestru RP w chwilach ich rozpoznania w komórce źródłowej. Jeżeli w chwili t nastąpiło zgłoszenie pojazdu w komórce źródłowej, to:

$$rp_l(t) = \begin{cases} k^* & \text{dla } l = 0 \\ rp_{l-1}(t-1) & \text{dla } 0 < l < mi \end{cases} \quad (8)$$

gdzie k^* oznacza numer klasy pojazdu, który w chwili t zgłosił się w komórce źródłowej. Zmienna $rp_0(t)$ zapamiętuje numer klasy pojazdu, który zgłosił się jako ostatni. Klasyfikacja pojazdów realizowana jest jak w metodzie aktualizacji komórki źródłowej. Jeżeli w danej chwili nie wystąpiło zgłoszenie, stan rejestru RP nie ulega zmianie:

$$rp_l(t) = rp_l(t-1) \text{ dla } 0 \leq l < mi. \quad (9)$$

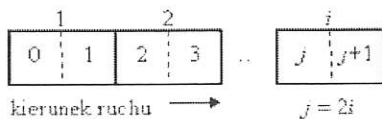
2.2. Rozpoznawanie obecności pojazdów

Aktualizacja modelu komórkowego obejmuje określenie zajętości poszczególnych komórek oraz przypisanie do zajętych komórek odpowiednich klas pojazdów zapamiętanych w rejestrze RP . Przyjmuje się założenie, że pojazdy nie zmieniają pasa ruchu, co jest prawdziwe dla obszaru skrzyżowania.

Model komórkowy opisuje zajętości odcinka drogi, przy czym długość oraz lokalizacja pojazdu określana jest z dokładnością odpowiadającą rozmiarowi pojedynczej komórki. Oznacza to, że najmniejszy pojazd w modelu zajmuje odcinek drogi równy długości komórki i zostaje przypisany do określonej komórki w modelu.

W analizie zajętości odcinka drogi, w notacji komórkowej automatu, przyjęto miarę zajętość odcinków pasa ruchu odpowiadającą połowie rozmiaru komórki ($l_k/2$).

Niech SK_i opisuje zajętość i -tej komórki, natomiast so_j zajętość j -tego obszaru detekcji (rys. 1). Zmienne SK_i oraz so_j przyjmują wartości binarne, gdzie wartość 1 oznacza obecność pojazdu w obserwowanym obszarze lub w komórce automatu.



Rys. 1. Podział pasa ruchu na komórki i obszary detekcji

Fig. 1. Traffic lane segmentation into cells and detection areas

Stan i -tej komórki S_i określany jest na podstawie detekcji obecności pojazdów w obszarach j zgodnie z zależnością:

$$SK_i = so_{2i} \vee (\overline{so_{2i}} \wedge q_{2i+1} \bmod 2 = 1), \quad (10)$$

gdzie

$$q_j = k: \bigwedge_{j \leq l < j+k} so_l = 1 \wedge so_{j+k} = 0. \quad (11)$$

Zatem komórka i jest zajęta przez pojazd w dwóch przypadkach:

- przypadek pierwszy, gdy zajęty jest należący do danej komórki obszar detekcji $2i$,
- przypadek drugi dotyczy stanu, w którym obszar $2i$ jest pusty, natomiast zajęty jest obszar $2i+1$ oraz liczba q_{2i+1} kolejnych zajętych obszarów detekcji począwszy od $2i+1$ jest nieparzysta.

Jest to pomiar zajętości odcinka drogi z dokładnością określoną przez rozmiar komórki.

Wyznaczenie zajętości komórek (zmienna SK_i , $i = 1, 2, \dots, mi$) - detekcja obecności pojazdu w poszczególnych obszarach jezdni (rys. 1) realizowana jest poprzez wyszukiwanie charakterystycznych elementów kształtu pojazdów za pomocą wzorników uwzględniających krawędzie równoległe oraz prostopadłe do osi jezdni.

W kolejnym kroku następuje określenie klas pojazdów zlokalizowanych w zajętych komórkach automatu. Pojazd j , dla którego numer klasy został zapamiętany w komórce $\hat{l}$ rejestru klas pojazdów RP jako $rp_j(t)$, jest przypisywany do komórki wskazywanej przez $wk_j(t)$. Wartość wskaźnika komórki $wk_j(t)$ dla pojazdu j musi spełnić następującą zależność:

$$\sum_{l=1}^{imax} SK_l = \sum_{l=0}^{\hat{l}-1} \overline{lp}_l + 1, \quad (12)$$

$$imax = wk_j(t) - \overline{lp}_i + 1,$$

gdzie, $\overline{lp}_l$ [k] oznacza długość pojazdu (liczbę zajmowanych komórek) zdefiniowaną dla klasy pojazdów $rp_l(t)$ (której numer został zapamiętany w komórce l rejestru RP).

Na rys. 2 przedstawiony został schemat procesu przypisywania klas pojazdów do zajętych komórek automatu na podstawie zawartości rejestru RP .

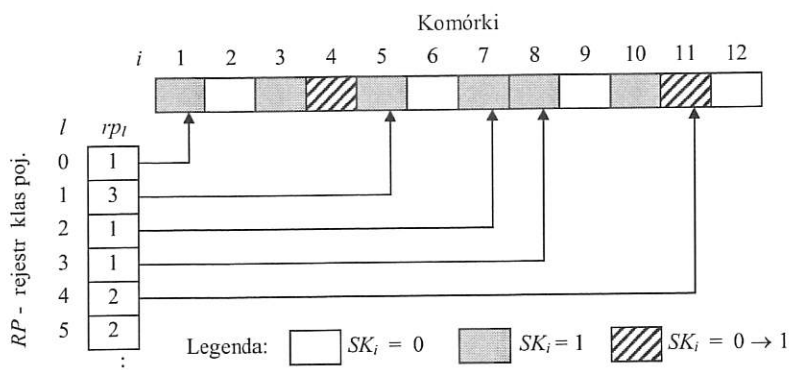
W procesie rozpoznawania zajętości komórek mogą pojawić się błędy, które mogą doprowadzić do utraty spójności pomiędzy informacją zawartą w rejestrze klas pojazdów a danymi z automatu komórkowego.

Taki problem występuje, gdy po etapie rozpoznawania obiektów pojawi się różnica między liczbą zajętych komórek automatu i sumą komórek zajmowanych przez pojazdy, które są zapisane w rejestrze RP . Nie zostaje wówczas spełniony warunek spójności:

$$\sum_{i=1}^{mi} SK_i = \sum_{l=0}^{mj} \overline{lp}_l, \quad (13)$$

gdzie mj oznacza liczbę pojazdów znajdujących się w obszarze komórek o numerach $i = 1, 2, \dots, mi$.

Gdy liczba zajętych komórek automatu jest mniejsza od sumy długości pojazdów zarejestrowanych w RP , wówczas następuje korekta atrybutu zajętości (uzupełnianie) komórek. Proces korekty został schematycznie zaprezentowany na rys. 2. W przedstawionym na rysunku przypadku uzupełniane są komórki 4 i 11.



Rys. 2. Określenie klas pojazdów oraz korekta zajętości komórek
Fig. 2. Determination of vehicles classes and cells occupancy correction

Korekta zajętość komórek oznacza, że dany pojazd j zajmuje komórkę i , dla której spełniony jest warunek:

$$wp_j(t) - lp_j < i \leq wp_j(t). \quad (14)$$

Gdy liczba zajętych komórek automatu jest większa od sumy długości pojazdów, następuje korekta polegająca na opróżnianiu zajętych komórek. W procedurze korekty wykorzystuje się konfigurację automatu komórkowego z poprzedniej iteracji. Przemieszczenia pojazdów określone zostają poprzez zastosowanie reguły automatu. Nadmiarowe zajęte komórki znajdujące się w obszarach, do których nie przemieścił się pojazd, zostają zamienione na komórki puste.

3. OGRANICZENIA CZASU W CELU UAKTUALNIENIA MODELU

Metoda wyznaczania wartości danych wejściowych automatu komórkowego w modelu symulacyjnym systemu sterowania ruchem drogowym (w sterowaniu „on-line”) musi zostać odniesiona do ograniczeń na czas podjęcia decyzji w układzie sterowania sygnalizacją świetlną. Wynikają one z:

- dynamiki ruchu pojazdów (prędkość maksymalna, minimalny odstęp czasu pomiędzy pojazdami),
- parametrów modelu komórkowego (jak: długość komórki, odstępy czasu próbkowania danych i iteracji obliczeń – związanych z tzw. ziarnistością procedur sterowania [Yao00]),
- dokładności miar dla czasów sterowania ruchem drogowym (dokładność obliczeń programu sygnalizacji świetlnej) [2].

Praca „on-line” automatu wiąże się z koniecznością definicji dopuszczalnego czasu rozpoznania i klasyfikacji pojazdu t_{kp} , który wyznaczamy na podstawie odstępów czasu pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami pojazdów (jadących w kolumnie).

Na podstawie danych literaturowych [1, 7] przyjęto do dalszych rozważań minimalny odstęp czasu między zgłoszeniami pojazdów równy 0,8 sekundy. Oznacza to, że w tym czasie ($t_{kp} = 0,8$ s) musi nastąpić detekcja i klasyfikacja pojazdu. Odstęp czasu nie uwzględnia długości pojazdu l_p a jedynie odstępy między pojazdami l_g . Zatem istnieje pewien zapas czasu, w którym pojazd przebywa odcinek drogi równy jego długości.

Dla przypadku badania stanu zajętości kilku pasów ruchu czasy detekcji i klasyfikacji pojazdów skracają się proporcjonalnie do liczby obserwowanych pasów. W najmniej korzystnym przypadku zgłoszenia pojazdów na wszystkich pasach ruchu są odnotowywane w przedziale czasu t_{kp} , zatem:

$$t_{kp} = \frac{0,8}{L_{pr}} \text{ [s]}, \quad (15)$$

gdzie L_{pr} jest liczbą obserwowanych pasów ruchu.

System symulacji realizujący predykcję parametrów ruchu drogowego w trybie „on-line” wymaga, aby konfiguracja (zbiór stanów komórek) automatu reprezentowała aktualne, rzeczywiste rozmieszczenie pojazdów. Stany komórek muszą być aktualizowane w czasie rzeczywistym. Przemieszczenie pojazdu z komórki poprzedniej do następnej stanowi zmianę obiektu sterowania. Zmiana ta wymaga realizacji procedur rozpoznawania obiektów oraz procedury uaktualnienia konfiguracji automatu komórkowego.

Aby system mógł funkcjonować w czasie rzeczywistym, wszystkie wymienione operacje powinny być realizowane w odstępie czasu t_a , w którym następuje przemieszczenie pojazdu pomiędzy sąsiednimi komórkami.

Przemieszczenie pomiędzy komórkami oznacza przebycie przez pojazd odcinka drogi równego długości komórki. Przyjmijmy, że dla skrzyżowań miejskich prędkość maksymalna pojazdów v_{max} jest równa 60 km/h. Dla przyjętej długości komórki $lk = 4,5$ m wymagany czas aktualizacji modelu komórkowego wynosi 0,27 s.

$$t_a = \frac{lk}{v_{max}} \cdot 3,6 \text{ [s]}. \quad (16)$$

Czas t_{srd} określają właściwości systemu sterowania ruchem drogowym – odpowiada on interwałowi czasu, w którym następują zmiany stanu strumienia pojazdów wymagające nowych decyzji dla stanu sterowania. Współczesne systemy sterowania czas t_{sdr} przyjmują równy 0,5 sekundy [2].

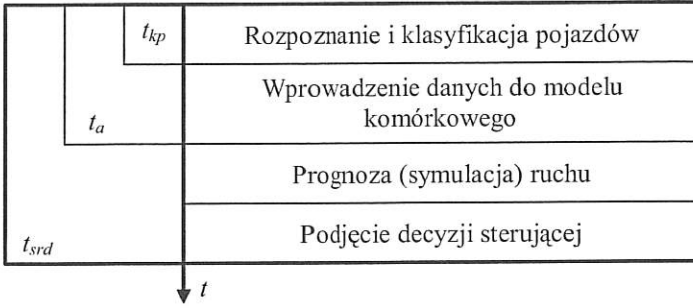
Na rys. 3 pokazano zdefiniowane wyżej wymagania czasowe, dotyczące sekwencji operacji w cyklu pracy systemu sterowania ruchem drogowym z komórkową symulacją ruchu w trybie „on-line”.

Najbardziej złożoną obliczeniowo procedurą w cyklu jest procedura rozpoznania i klasyfikacji pojazdu wykorzystująca techniki przetwarzania obrazu. Czas realizacji tej procedury ma decydujący wpływ na łączny czas realizacji cyklu pracy systemu.

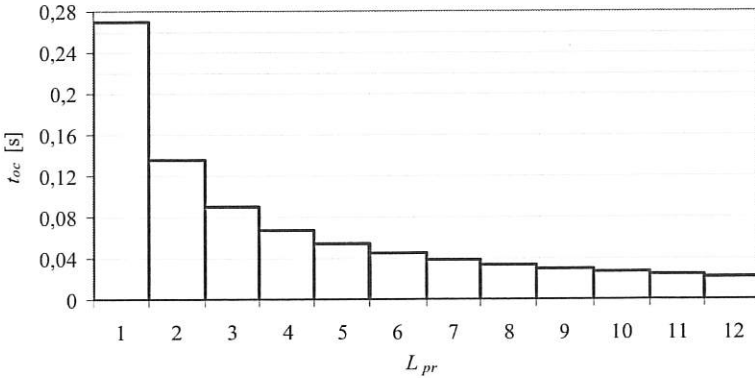
Określanie wartości zmiennych wejściowych automatu komórkowego w trybie „on-line” musi nastąpić w oknie czasowym t_a , pozwalającym zaktualizować stan automatu komórkowego. Poza podstawowym wymaganiem muszą zostać uwzględnione również ograniczenia zadane czasami t_{kp} oraz t_{srd} , które gwarantują prawidłowość określenia stanów sterowania.

Wymiar okna czasowego t_{oc} [s] przyjęto jako miarę czasu odniesienia dla procedur aktualizacji stanu automatu komórkowego każdego pojedynczego pasa ruchu:

$$t_{oc}(v_{\max}, L_{pr}) = \min\left(\frac{t_a}{L_{pr}}, t_{kp}, \frac{t_{srd}}{L_{pr}}\right). \quad (17)$$



Rys. 3. Schemat okna czasu dla systemu sterowania ruchem z symulacją on-line
Fig. 3. The time-window schema for traffic control system with on-line simulation



Rys. 4. Wymiar okna czasu w funkcji liczby monitorowanych pasów ruchu
Fig. 4. The time-window size as a function of the monitored traffic lanes number

Dla przyjętej stałej długości komórki $lk = 4,5$ [m] oraz gdy $t_{kp} > \frac{t_{srd}}{L_{pr}}$ przekształcamy zależność (17) do postaci (18):

$$t_{oc}(v_{\max}, L_{pr}) = \min\left(\frac{16,2}{v_{\max} \cdot L_{pr}}, \frac{0,5}{L_{pr}}\right) [\text{s}], \quad (18)$$

gdzie:

L_{pr} – liczba monitorowanych pasów ruchu,

v_{max} – prędkość maksymalna pojazdów [km/h].

Na rys. 4 przedstawiono miary okna czasowego t_{oc} w funkcji liczby monitorowanych pasów ruchu (dla przyjętej prędkości maksymalnej pojazdów $v_{max} = 60$ km/h).

Aktualizacja stanu automatu komórkowego dla pojedynczego pasa ruchu wraz z obliczeniami potrzebnymi do podjęcia decyzji sterujących musi się odbyć w czasie t_{oc} , aby możliwe było sterownie „on-line” strumienia pojazdów.

4. PODSUMOWANIE

W zaproponowanej metodzie dane o ruchu drogowym pochodzące z systemu wideodetekcyj zapisywane są w modelu komórkowym. Podejście to umożliwia symulację oraz predykcję ruchu w czasie rzeczywistym, jak również estymację kosztów ruchu (strat czasu, liczby zatrzymań, długości kolejek) dla pojedynczych pojazdów. Symulacja on-line z zastosowaniem proponowanej metody wprowadzania danych jest przydatna dla algorytmów sterowania ruchem.

Jak pokazuje zamieszczony przykład, powstające w procedurach wideodetekcji błędy rozpoznania zajętości komórki mogą być skutecznie niwelowane poprzez zaproponowany algorytm korekcji. Algorytm korekcji bazuje na sprawdzaniu spójności danych zawartych w komórkach i rejestrze klas pojazdów.

Literatura

1. ACC – układ automatycznego utrzymywania bezpiecznego odstępu. Auto Moto Serwis 09/2002, Wydawnictwo Instalator Polski, 2002.
2. Leśko M., Guzik J.: Sterowanie ruchem drogowym. Sterowniki i systemy sterowania i nadzoru ruchu, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
3. Płaczek B., Piecha J.: The cellular automata for road traffic control procedures. Transactions on Transport Systems Telematics. Emerging Technologies, praca zbiorowa pod red. Jana Piechy, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
4. Płaczek B.: Shape operators for vehicles detection and classification. Perner's Contact 2004 Proceedings, University of Pardubice, Pardubice 2004.
5. Płaczek B.: Metoda automatów komórkowych w dynamicznym modelu sterowania ruchem drogowym, Rejestracja i przetwarzanie danych w telematycznych systemach transportu. Praca zbiorowa pod red. Jana Piechy, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003

6. Płaczek B.: Koncepcja komórkowego systemu symulacji dla dynamicznego zarządzania ruchem drogowym. Materiały konferencyjne, II Konferencja Telematyka i Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego, Katowice 2002.
7. Wicher J.: Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.

Recenzent: Dr hab. inż. Romuald Szopa