

Jan PIECHA, Wiesław PAMUŁA, Marcin STANIEK

METODA WYZNACZANIA KOLEJKI POJAZDÓW I OPISU ZDARZEŃ DROGOWYCH

Streszczenie. Praca zawiera opis realizowanych badań elementów teleinformatycznych rejestratorów zdarzeń drogowych; za pomocą wideodetektora pojazdów. Przedmiotem niniejszego raportu jest omówienie algorytmu wykrywania i opisu kolejek pojazdów na wybranym pasie ruchu. W pracy zawarto elementy uzasadnienia wyboru zdarzeń drogowych charakterystycznych dla procesu analizy stanu obiektu, rejestrowanego za pomocą wideodetektora pojazdów, dyskusję cech charakterystycznych metod wykrywania zdarzeń, uzasadnienie wyboru metod zabezpieczenia i formatu zapisu danych w pamięci rejestratora, opis algorytmu działania rejestratora.

THE METHOD OF VEHICLES QUEUE DEFINITION AND TRAFFIC ACCIDENTS DESCRIPTION

Summary. This paper contains description of recently carried out investigations within road traffic accidents by telematic equipment; vehicles video-detectors. The aim of this paper is description of the vehicles detection algorithms, and their queues description, recorded on a distinguished traffic lane. This contribution classifies the specific accidents selection for the traffic objects analysis. The video camera was used as a source of the data analysis with its characteristic features discussion. The data format and its computing algorithms were also discussed.

1. WPROWADZENIE

Moduł rejestratora zdarzeń drogowych to urządzenie, które na podstawie bieżących pomiarów stanu ruchu drogowego identyfikuje chwilowe wartości stanu obiektu, w polu obserwacji kamery.

Stosowane w monitorowaniu ruchu drogowego kamery cyfrowe umożliwiają pozyskanie wideoobrazu, który poddawany jest określonym procesom obróbki. Dzięki nim otrzymujemy opis pojazdów w postaci wyodrębnionych deskryptorów, których analiza i wzajemna korelacja stanowią punkt wyjścia w procesie identyfikacji zdarzeń drogowych.

System pomiarów parametrów ruchu drogowego przekazuje dane do bazy zarejestrowanych stanów obiektu. Umożliwiają one analizę parametrów ruchu w zadanym obszarze sieci drogowej.

2. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

W czasie projektowania rejestratora zdarzeń drogowych określono założenia oraz narzucano wymagania dla urządzenia. W trakcie opracowań algorytmu obliczeń należy mieć na uwadze szczególne ograniczenia wnoszone przez niezbędne technologie układów mikroprogramowanych (RISC), czyli charakterystyki metrologiczne i sprzętowe opracowania.

2.1. Założenia i wymagania metrologiczne

Podstawowym problemem w projektowaniu urządzeń detekcji pojazdów było zdefiniowanie zdarzeń drogowych, będących elementem określonej interpretacji. Przyjęto następujące zdarzenia drogowe, będące przedmiotem rejestracji i badań:

- kolejka pojazdów,
- zatrzymanie pojazdu,
- przekroczenie linii zatrzymania (ruch do/z pola detekcji).

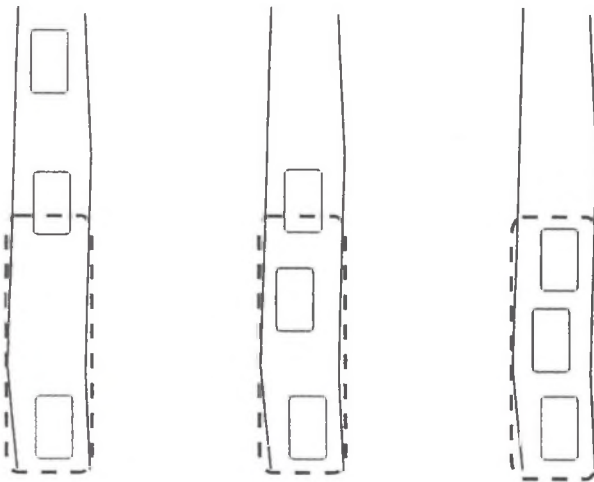
Istotne, dla przeprowadzenia analizy ruchu jest określenie rozkładu identyfikowanych zdarzeń drogowych w czasie. Niezbędne jest zatem rejestrowanie czasów wystąpienia i trwania zdarzenia.

Kolejka pojazdów

Kolejce pojazdów odpowiadają następujące cechy:

- małe prędkości poruszania,
- niewielkie odległości pomiędzy pojazdami,
- duże straty czasów przejazdu.

Na rys. 1 przedstawiono powstawanie kolejki pojazdów w polu detekcji. Kolejka zostaje rozpoznana, gdy cały obszar pola detekcji jest zajęty i nie występuje ruch pojazdów. Kolejki pojazdów to inaczej zdarzenie zatrzymania ruchu drogowego.

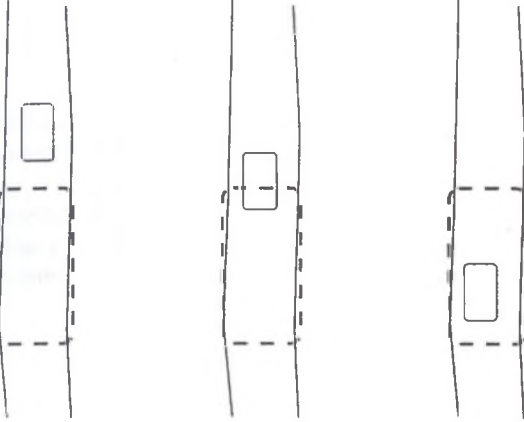


Rys.1. Definicja kolejki pojazdów
Fig.1. Vehicles queue definition

Zatrzymanie pojazdu

Zatrzymanie pojazdów opisują dwa stany sieci drogowej. Pierwszy pozwala wykryć pojazd, zatrzymany względami warunków ruchu bądź systemu sterowania. Drugi dotyczy postoju pojazdu spowodowanego wolą kierującego.

Na rys. 2 przedstawiono stan, w którym pojedynczy pojazd wjeżdża do pola detekcji i zatrzymuje się w jego obszarze. Ma miejsce rozpoznanie zdarzenia zatrzymania pojazdu. Pole detekcji jest zajęte i nie występuje w nim ruch.

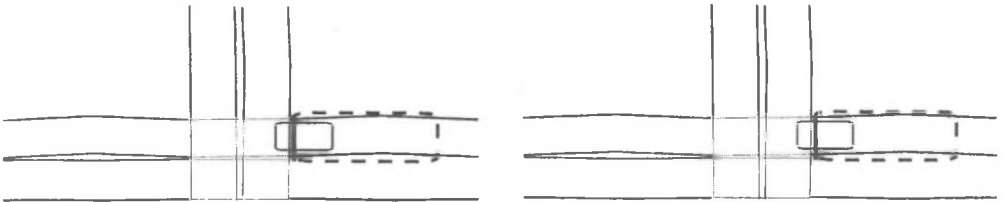


Rys. 2. Definicja zatrzymania pojazdu w polu detekcji
Fig. 2. Vehicle stop definition for detection area

Wjazd i wyjazd pojazdu

Monitorowane elementy sieci opisują wjazd i wyjazd pojazdów z pola detekcji. Dotyczy to przede wszystkim identyfikacji stanu przejazdu przez skrzyżowanie podczas trwania światła czerwonego.

Zdarzenie przejazdu przez skrzyżowanie w czasie nadawania sygnału światła czerwonego ilustruje rys. 3. Zdarzenie to jest rozpoznawane jako przejazd przez linię wyjazdu z pola detekcji.



Rys. 3. Definicja przejazdu przez skrzyżowanie
Fig. 3. The crossroad passing definition

Pola detekcji

Założenia do projektu rejestratora zdarzeń dotyczą również liczby i rozmiaru pól detekcji. Zdefiniowano cztery pola detektora z uwagi na sposób usytuowania kamery stanowiska pomiarowego – na skrzyżowaniu (najczęściej na „bramie”), której pole widzenia nie obejmie więcej niż cztery pasy ruchu (pole detekcji na jeden pas ruchu). Minimalny rozmiar pola detekcji, jaką przyjęto dla rejestratora zdarzeń, to 100x200 pikseli. Wynika to z przyjętego założenia, że minimalny identyfikowany ma wymiar 10x20 pikseli, czyli pole obserwacji, musi dotyczyć większego obszaru.

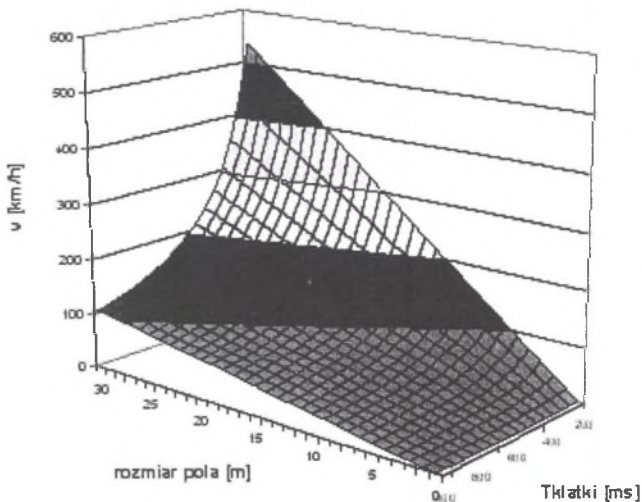
Czas zdarzenia

Czas trwania zdarzenia drogowego to informacja, jaka musi zostać dołączona do wykrytego i zarejestrowanego zdarzenia drogowego. W nowszych systemach sterowania badanie stanu obiektu odbywa się co 250 ms [ZIR06].

Przyjmując maksymalny rozmiar pola widzenia z kamery jako 100x75 m, dla przyjętych pól detekcji otrzymujemy wartość 15x30 m. Poruszający się obiekt w polu detekcji zniknie, gdy w okresie 0,2 s przemieści się on o 30 m. Daje to prędkości 150 m/s. Dla pól mniejszych oszacowanie prędkości daje wartość:

$$v = \frac{\text{rozmiar pola}}{T_{KLATKI}} \quad (1)$$

Odzwierciedlenie przebiegu prędkości w funkcji rozmiaru pola i okresu poboru klatek przedstawiono na rys. 4. Widoczna na nim zależność pozwala na dobór okresu T_{KLATKI} próbkowania danych do wideodetektora w funkcji prędkości pojazdów w wybranym obszarze sieci drogowej. Przyjęcie zbyt dużych interwałów T_{KLATKI} uniemożliwia identyfikację pojazdów w polu detekcji.



Rys. 4. Wykres prędkości w funkcji rozmiaru pola widzenia kamery i okresu pobierania klatek
Fig. 4. Velocity as a function of view area size and frames registration period

Tablica 1

Okres pobierania klatek [ms]	Minimalna długość pola detekcji [m]		
	V=50km/h (teren zabudowany)	V=90km/h (teren niezabudowany)	V= 130km/h (autostrada)
500	25	45	65
200	10	18	26
100	5	9	13

Minimalny rozmiar pola detekcji w funkcji prędkości i częstotliwości rejestracji klatek obrazu wideo

W tablicy 1 przedstawiono minimalne długości pól detekcji dla wybranych elementów sieci drogowej, w zależności od częstotliwości rejestracji klatek obrazu z kamery oraz prędkości maksymalnej (dozwolonej na badanym elemencie sieci drogowej).

Projektując bazę danych o zdarzeniach drogowych, przyjęto tygodniowy okres ich rejestracji. Wymagane dane o rejestrowanych zdarzeniach drogowych określono jako następujące rekordy danych:

- rodzaj zdarzenia,
- czas wystąpienia
- czas trwania,
- miejsce wystąpienia (nr pola detekcji).

Rozmiar pamięci zdarzeń

Tygodniowy okres rejestracji zdarzeń nakłada duże wymagania na rozmiar pamięci. Zakładając rozmiar rekordu danych w przybliżeniu równy 1,kB wideodetektor WD-R powinien być wyposażony w co najmniej:

$$R_{pk} = 1kB \cdot \text{liczba zdarzeń} \quad (2)$$

Dodatkowo przyjęto, że należy pamiętać ostatnich 5 min wideopodglądu zdarzenia. Założono: $T_{klatki} = 1s$, skąd liczba klatek w ciągu 5 min wynosi 300. Klatka obrazu zawiera prawie 400 tysięcy pikseli.

$$R_{pw} = 300 \cdot 400 \cdot 10^3 = 120MB \quad (3)$$

W przypadku rejestrowania przejazdów przez linie zatrzymań należy zarejestrować co najmniej kilkadziesiąt klatek dla uzyskania wiarygodnego i jednoznacznego potwierdzenia przejazdu.

$$R_{pp} = 50 \cdot 400 \cdot 10^3 = 20MB \quad (4)$$

gdzie: 50 oznacza liczbę rejestrowanych klatek.

W ciągu tygodnia można oczekiwać nawet kilkuset zdarzeń drogowych typu przejazd przez linie zatrzymań, stąd:

$$R_{pc} = 200 \cdot 20MB = 4GB \quad (5)$$

W sumie uzyskuje się oszacowanie:

$$R_p = R_{pk} + R_{pw} + R_{pc} \approx 4GB \quad (6)$$

Synchronizacja z systemem sterowania ruchem drogowym

Ważne dla wyznaczania zdarzeń drogowych z punktu widzenia analizy ruchu jest określanie reakcji między sytuacją drogową a stanem sygnalizacji świetlnej. Zdarzenie przekroczenia linii zatrzymanie – wjazd / wyjazd z pola detekcji staje się przejazdem na czerwonym świetle, jeżeli złoży się to zdarzenie z informacją o stanie światła sygnalizacji przed linią zatrzymania.

3. REJESTRACJA ZDARZEŃ DROGOWYCH

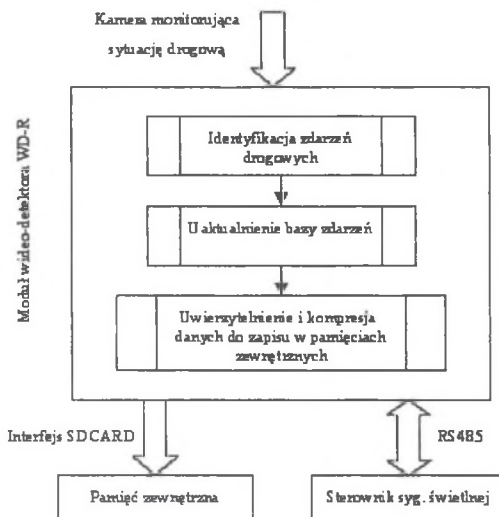
Zadanie rejestracji zdarzeń drogowych można podzielić na trzy bloki operacji:

- wykrycie zdarzeń,
- uaktualnienie bazy zdarzeń,
- zabezpieczenie i kompresja danych w celu ich zapisu w pamięci zewnętrznej.

Uaktualnianie bazy zdarzeń drogowych z dwóch odrębnych zadań, różniących się formatami rekordów danych:

- zadanie rejestracji zdarzeń za okres 1 godziny,
- zadanie rejestracji pięciominutowej sekwencji wideo dokumentującej szczegóły wybranych zdarzeń.

Schemat blokowy działania WD-R przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schemat działania wideorejestratora zdarzeń

Fig. 5. Schema of the events video registration process

4. METODY WYKRYWANIA ZDARZEŃ DROGOWYCH

Projektowanie algorytmu wykrywania zdarzeń drogowych odbywa się w dwóch etapach: opis pojazdu w polu detekcji i interpretacja opisu.

Część algorytmu dotycząca wykrywania zdarzeń drogowych analizuje zajętości pól detekcji, ich historię oraz wzajemną korelację i na tej podstawie informuje o wykrytych zdarzeniach.

Metody detekcji oparte są na analizie:

- mapy krawędzi pojazdów na obrazie,
- zbioru pikseli na obrazie.

4.1. Analiza mapy krawędzi

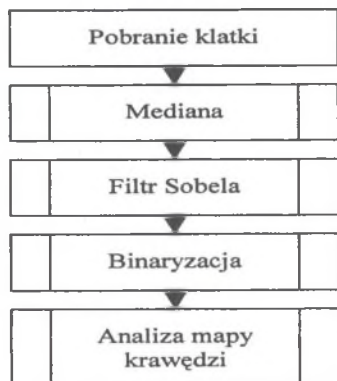
Analiza krawędzi pojazdów wymaga wyznaczenia krawędzi obiektów na obrazie. Wyznaczenie krawędzi realizowane jest z użyciem filtrów Sobela, Laplace'a (rys.6).



Rys. 6. Mapa krawędzi pojazdów

Fig. 6. Edges map of vehicles

Schemat blokowy metody analizy mapy krawędzi przedstawiono na rys. 7. Danymi wejściowymi są klatki z kamery monitorującej przestrzeń ruchu. Obraz, po dokonaniu na nim operacji medianowania (usunięcia szumów), zostaje przekształcony do postaci mapy krawędzi.



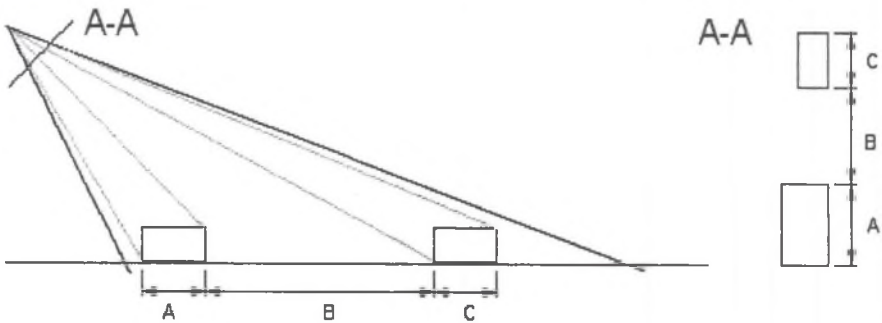
Rys. 7. Schemat blokowy analizy mapy krawędzi

Fig. 7. Schema of edges map analysis

Wyniki uzyskane dla mapy krawędzi zbudowanej na obrazie 768x512 okazały się niewystarczające do identyfikacji zdarzeń drogowych. Wynikało to z faktu, że pojazdy o rozmiarze nieznacznie większym od 10x20 pikseli zawierały bardzo małą liczbę pikseli, która w sposób niewystarczający opisywała obiekt. Na niektórych obrazach opis pojazdu w postaci mapy krawędzi był równoznaczny z szumem.

W celu eliminacji tego problemu niezbędne jest zastosowanie kamer pozwalających na uzyskanie obrazów o dużej rozdzielczości (większej liczby pikseli) do opisu tego samego obiektu w rzeczywistości.

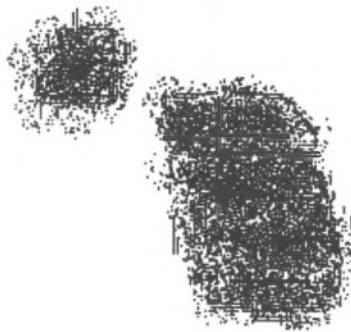
Dla badanych przypadków, gdzie kamera została usytuowana na bramie sygnalizacji świetlnej na wysokości 4,5-6,5 m, zmniejszanie liczby pikseli przypadające do opisu tego samego fragmentu obiektu zostało przedstawione na rys. 8.



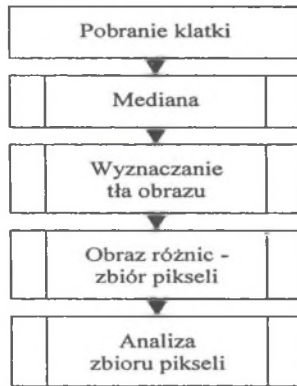
Rys. 8. Zmiany rozmiaru dla głębi obrazu
Rys. 8. The change of size for image depth

4.2. Analiza zbiorów pikseli

Druga metoda, wybrana do oceny skuteczności, dotyczyła wyodrębnienia obiektu jako zbioru pikseli opisanych kształtem pojazdu (rys.9, rys.10).



Rys. 9. Pojazd jako obiekt określony zbiorem pikseli
Fig. 9. The vehicle as an object defined by set of pixels

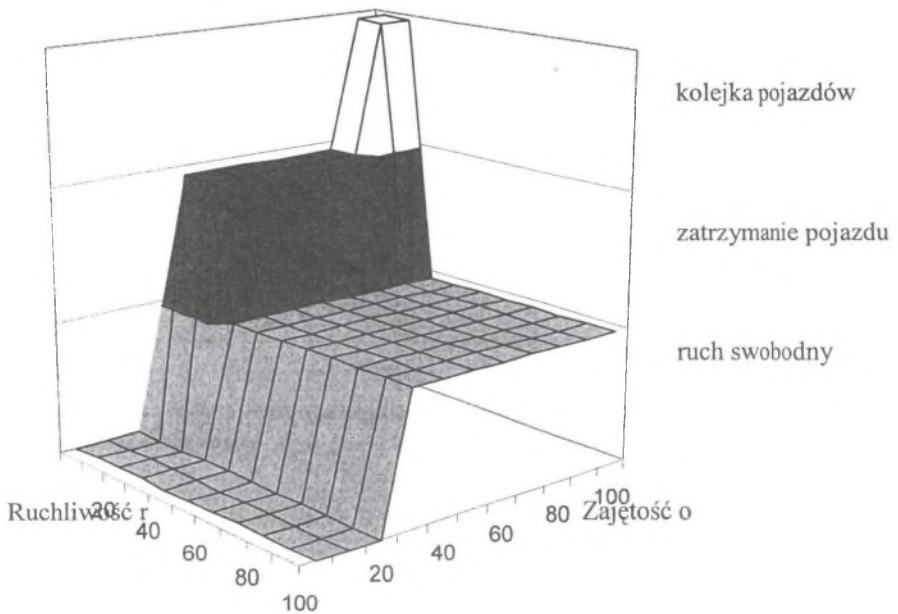


Rys.10. Schemat blokowy analizy mapy krawędzi

Fig. 10. Schema of edges map analysis

5. FUNKCJA ZDARZENIA

Metoda opisu pojazdów w polu detekcji określa algorytm identyfikacji zdarzeń drogowych, który opiera się na analizie zajętości, współczynnika zmian (ruchliwości), jego historii oraz wzajemnej korelacji.

Rys. 11. Wykres funkcji zdarzenia $z = f(o, r)$ Fig. 11. Plot of the event function $z = f(o, r)$

Na rys. 11 przedstawiono wykres zdarzeń w funkcji o i r , wyrażony w procentach.

Funkcję zdarzenia zapisano zależnością:

$$z = f(o, r)$$

gdzie:

- z – zdarzenie drogowe,
- o – zajętość fragmentu/całości pola detekcji,
- r – ruchliwość (współczynnik zmian).

Współczynnik o określony jest stosunkiem zajętości fragmentu pola detekcji względem całego i wyrażony został w procentach. Zdefiniowana wartość o_m to wartość zajętości, powyżej której obiekt znajdujący się w polu określany zostaje jako pojazd.

Ruchliwość r wyrażona w procentach została określona jako liczba zmian wartości pikseli między klatkami k i $k-1$. Wprowadzona wartość r_m marginesu zmian pozwala określić ruchliwość jako ruch lub zatrzymanie pojazdu.

5.1. Zatrzymanie pojazdu

Algorytm wykrywania zatrzymania pojazdu w polu detekcji polega na rozwiązaniu funkcji:

$$z = f(o, r) \quad (7)$$

Przy spełnieniu warunków:

$$o \geq o_m \cap r \leq r_m \quad (8)$$

5.2. Kolejka pojazdów

Kolejka pojazdów to rozszerzenie wcześniej omawianego zdarzenia drogowego zatrzymania pojazdu:

$$z = f(o, r) \quad (9)$$

Przy spełnieniu warunków:

$$o \geq o_w \cap r \leq r_m \quad (10)$$

Wartość o_w określa obszar, który nie musi być zajęty w polu detekcji i wynika z odległości między pojazdami, struktury rodzajowej (np. rower), lub nieprecyzyjnego określenia pola detekcji. Współczynnik o_w eliminuje problem identyfikacji całkowitej zajętości pola detekcji przez podział odcinka pola detekcji wzdłuż kierunku ruchu. Innymi słowy, sprawdza zajętości pola od linii wjazdowej do wyjazdowej.

5.3. Przejazd przez skrzyżowanie

Przejazdu przez skrzyżowanie na czerwonym świetle jest zdarzeniem drogowym wymagającym określenia dodatkowej zmiennej do funkcji identyfikującej zdarzenia:

- wjazd do pola detekcji zdefiniowanego na skrzyżowaniu,
- wyjazd z pola detekcji (wlotu) na skrzyżowanie.

Funkcje wykrywania przejazdu zdefiniowano w następujący sposób:

$$z = f(o, r, s) \quad (11)$$

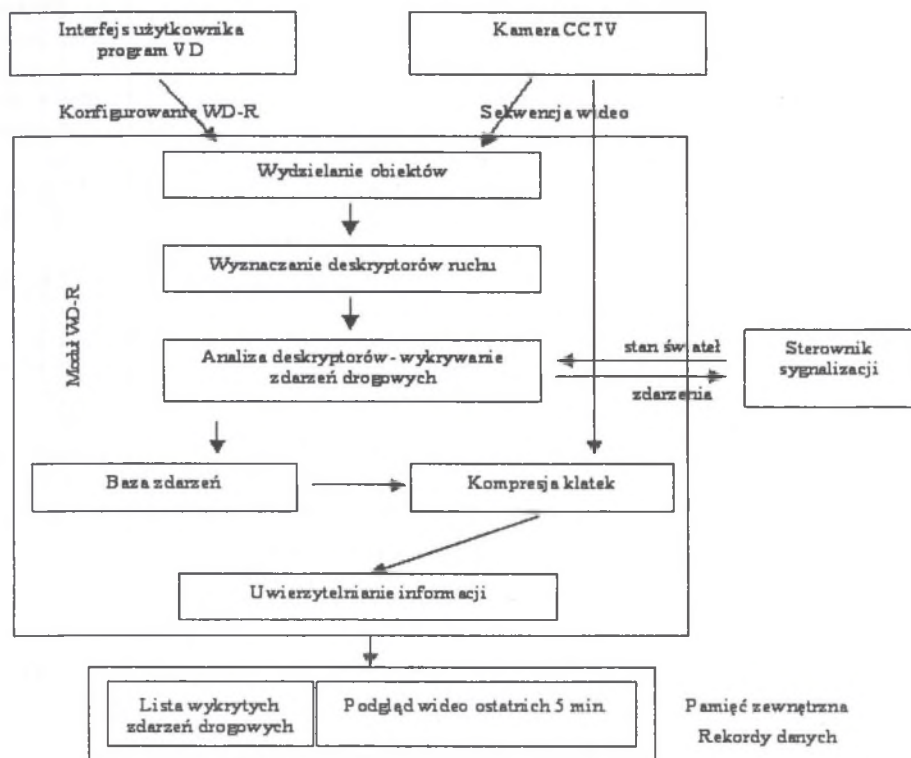
gdzie: s – stan sygnalizacji (przyjmuje wartość 0 - zielony lub 1 - niezielony).

Algorytm wykorzystuje zdefiniowaną linię wyjazdu z pola detekcji; zawiera on operacje, które polegają na analizie wirtualnego pola wygenerowanego wokół linii zatrzymania. Wjazd do tego pola w czasie trwania sygnału czerwonego określony zostanie jako przejazd przez skrzyżowanie. Rozwiązanie funkcji dla następujących warunków identyfikuje sytuację drogową jako przejazd:

$$o \geq o_w \cap r \leq r_m \cap s = 1 \quad (12)$$

6. ALGORYTM REJESTROWANIA ZDARZEŃ DROGOWYCH

Podstawowa funkcja wideodetektora (rejestratora zdarzeń drogowych) to identyfikacja stanu drogi w polu obserwacji kamery. Dane wejściowe do realizacji funkcji rejestracji to zdefiniowane pola detekcji, określone zdarzenia drogowe oraz sekwencja zarejestrowanych obrazów. Algorytm działania modułu rejestratora zdarzeń drogowych przedstawia schemat blokowy na rys. 12.



Rys. 12. Algorytm działania wideorejestratora WD-R

Fig. 12. The processing algorithm of video registration unit

7. PODSUMOWANIE

Elementy pośredniczące w wykrywaniu zdarzeń drogowych to moduł nadzorczy lub sterownik sygnalizacji świetlnej. Dostarczają one m.in. informacji o stanie grup sygnalizacyjnych oraz w momencie zapytania ze strony WD-R wysyłają informacje o aktualnym czasie.

Prezentacja otrzymanych wyników dokonywana jest na trzy sposoby:

- komunikat tekstowy w postaci listy zdarzeń,
- podgląd sekwencji wideo z ostatnich pięciu minut,
- indykatory synoptyczne – LED.

Wyznaczone deskryptory ruchu pozwalają na określenie zajętości i współczynnika zmian pól detekcji. Analiza tych wielkości umożliwia wykrycie zdarzeń drogowych. Kolejny krok algorytmu wymaga dostarczenia informacji o stanie sygnalizacji świetlnej na poszczególnych grupach sygnałowych oraz informacji o aktualnym czasie.

Literatura

1. Siyal M.Y., Fathy M.: "Image Processing Techniques For Real-Time Qualitative Road Traffic Data Analysis" School of EEE, Technological University, Singapore 1999.
2. Siyal M.Y., Fathy M.: "Measuring traffic movements at junctions using image processing techniques" School of EEE, Nanyang Technological University, Nanyang Avenue, Singapore 1996.
3. Tai J., Tseng S., Lin Ch., Song K.: "Real-time image tracking for automatic traffic monitoring and enforcement applications" Department of Electrical and Control Engineering, National Chiao Tung University, Taiwan 2003.
4. Melo J., Naftel A., Bernardino A., Santos-Victor J.: "Viewpoint Independent Detection of Vehicle Trajectories and Lane Geometry from Uncalibrated Traffic Surveillance Cameras" University of Manchester Institute of Science and Technology 2004.
5. Haag M., Nagel H.-H.: Incremental recognition of traffic situations from video image sequence, Image and Vision Computing vol 18. 2000 pp. 137-157.
6. Koller D., Daniilidis K., Nagel H.-H.: Model-Based Object Tracking in Monocular Image Sequence of Road Traffic Scenes, International Journal of Computer Vision vol 10:3. 1993 pp. 257-281.
7. Romanowski M.: Analiza wybranych metod wydzielenia obiektów z pola ruchu dla sekwencji obrazów sytuacji drogowej. Praca dyplomowa - Politechnika Śląska 2004, promotor Pamuła W.
8. Staniek M.: Analiza zdarzeń drogowych na podstawie deskryptorów ruchu pojazdów. Praca dyplomowa - Politechnika Śląska 2005, promotor Pamuła W.

Recenzent: Dr hab. inż. Romuald Szopa
 Profesor Politechniki Częstochowskiej