

## WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK OPISUJĄCYCH PRZEJAZD POJAZDÓW PRZEZ POLE DETEKCJI

### Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę wyznaczania charakterystyk otrzymywanych w trakcie przejazdu pojazdów przez pole detekcji. W prezentowanej metodzie wykorzystywana jest wejściowa sekwencja obrazów. Kolejne obrazy wejściowej sekwencji obrazów przetwarzane są do postaci binarnej dwuwarstwowego modelu obrazu. Dwuwarstwowy model obrazu składa się z warstwy wartości bazowych pikseli oraz warstwy wartości różnicowych pikseli. Rozkład punktów bazowych dwuwarstwowego modelu obrazu odpowiada zawartości obrazu. Postać binarna dwuwarstwowego modelu obrazu tworzona jest na podstawie znaczników nowej wartości bazowej w warstwie wartości różnicowych. Dla każdego obrazu wejściowej sekwencji obrazów w obszarze pola detekcji obliczane są suma punktów bazowych oraz uśredniona suma punktów bazowych. Zmiany sumy punktów bazowych oraz uśrednionej sumy punktów bazowych opisują przejazd pojazdów przez pole detekcji. Artykuł zawiera prezentację wyznaczonych charakterystyk.

### WSTĘP

Wyznaczanie parametrów ruchu drogowego może odbywać się na podstawie danych obrazowych [1], [5]. Wykorzystanie kamer w systemach ruchu drogowego jest atrakcyjne jakkolwiek w systemach tych zwykle stosowane są algorytmy złożone i wielostopniowe. W systemach ruchu drogowego bazujących na danych obrazowych stosowane są różne metody przetwarzania obrazów jak: segmentacja, określanie parametrów pojazdów, identyfikacja pojazdów, wyznaczanie trajektorii ruchu [6], odejmowanie tła, filtracja [7], wykorzystanie wirtualnych linii detekcji, wykrywanie krawędzi, operacje morfologiczne [8].

Komputerowa analiza obrazu pozwala na wyznaczenie parametrów ruchu drogowego na podstawie danych obrazowych. Przed analizą obrazów często przeprowadzane jest ich przetwarzanie. Do ważnych metod przetwarzania obrazów należą metody wykrywania krawędzi. Popularnymi metodami wykrywania krawędzi są metody gradientowe [4], [9]. Stosowane są również inne metody wykrywania krawędzi [10], [11].

Proponowana metoda wyznaczania charakterystyk opisujących przejazd pojazdów przez pole detekcji wykorzystuje konwersję obrazów do modelu dwuwarstwowego [2], [3]. Konwersja obrazu do modelu dwuwarstwowego przeprowadzana jest w sposób predykcyjny przy użyciu zmodyfikowanego kodowania delta. Na podstawie zmian właściwości obszaru pola detekcji wyznaczone są charakterystyki opisujące przejazd pojazdów przez pole detekcji. Wyznaczenie charakterystyk opisujących przejazd pojazdów przez pole detekcji pozwala na określenie jego zajętości. Określenie zajętości pola detekcji umożliwia zliczanie pojazdów. Zastosowaniu większej liczby pól detekcji pozwala na wyznaczanie szybkości pojazdów oraz na ich klasyfikację.

### 1. ALGORYTM WYZNACZANIA CHARAKTERYSTYK OPISUJĄCYCH PRZEJAZD POJAZDÓW

Do wyznaczania charakterystyk opisujących przejazd pojazdów przez pole detekcji wykorzystywany jest strumień wideo otrzymywany z kamery umieszczonej nad drogą. Wejściową sekwencję obrazów stanowią kolejne klatki strumienia wideo tworząc ciąg obrazów poklatkowych. Poszczególne obrazy wejściowej sekwencji obrazów

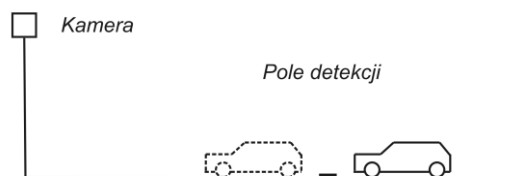
są oddzielnie przetwarzane. Przetwarzanie obejmuje konwersję obrazu do binarnej postaci modelu dwuwarstwowego, filtrację oraz określenie właściwości obszaru pola detekcji. Charakterystyki pojazdów przejeżdżających przez pole detekcji wyznaczone są na podstawie zmian właściwości obszaru pola detekcji. Pole detekcji jest zdefiniowane dla wszystkich obrazów wejściowej sekwencji obrazów.

### 2. WEJŚCIOWA SEKWENCJA OBRAZÓW

Wejściowa sekwencja obrazów stanowi ciąg obrazów achromatycznych o 8-bitowej rozdzielczości poziomów jasności i rozmiarze  $N \times M$  (kolumny  $\times$  wiersze) pikseli. Każdemu obrazowi wejściowej sekwencji obrazów przyporządkowany jest numer porządkowy oznaczony  $i$ . Uwzględniając, że szybkość strumienia wideo otrzymywanego z kamery wynosi  $f$  klatek na sekundę, to kolejne obrazy wejściowej sekwencji obrazów oddalone są od siebie o czas równy  $1/f$  sekund.

### 3. POLE DETEKCJI

Pole detekcji jest definiowane dla każdego rozpatrywanego pasa ruchu. Położenie pola detekcji jest takie same dla wszystkich obrazów wejściowej sekwencji obrazów. Rysunek 1 przedstawia schemat stanowiska pomiarowego oraz ilustruje przejazd pojazdu przez pole detekcji.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

Pole detekcji jest prostokątem określonym przez współrzędne swoich wierzchołków: lewego, górnego ( $x_L, y_G$ ), prawego, górnego ( $x_P, y_G$ ), lewego, dolnego ( $x_L, y_D$ ) oraz prawego, dolnego ( $x_P, y_D$ ). Rysunek 2 przedstawia wybrane obrazy wejściowej sekwencji obrazów z zaznaczonym polem detekcji.



Rys. 2. Obrazy wejściowej sekwencji obrazów z zaznaczonym polem detekcji

Pole detekcji umieszczone jest na jednym pasie ruchu. Szerokość pola detekcji ( $x_P - x_L + 1$ ) jest ustalana w taki sposób, aby pole detekcji obejmowało jeden pas ruchu. Długość pola detekcji ( $y_D - y_G + 1$ ) dobierana jest niewielka, co pozwala na uzyskanie dwustanowego charakteru zmian jego właściwości.

#### 4. KONWERSJA OBRAZU DO MODELU DWUWARSTWOWEGO

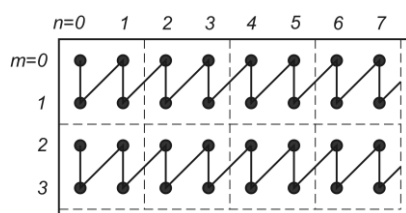
Konwersji do dwuwarstwowego modelu obrazu poddawane są kolejno wszystkie obrazy wejściowej sekwencji obrazów. Dwuwarstwowy model obrazu składa się z warstwy wartości bazowych (odniesienia) oraz warstwy wartości różnicowych. Każda wartość różnicowa przyporządkowana jest do odpowiadającej jej wartości bazowej [2], [3].

Przetwarzany obraz opisany jest przez macierz obrazu  $\mathbf{X}$  zawierającą wartości pikseli obrazu

$$\mathbf{X} = [x_{m,n}] \quad 0 \leq m \leq M-1, \quad 0 \leq n \leq N-1. \quad (1)$$

W konwersji obrazu do modelu dwuwarstwowego wykorzystywane są również macierze konwersji  $\mathbf{D}$  oraz  $\mathbf{B}$  o takim samym rozmiarze jak macierz obrazu  $\mathbf{X}$ . Macierz  $\mathbf{D}$  przeznaczona jest na wartości różnicowe a macierz  $\mathbf{B}$  na wartości bazowe (odniesienia).

Elementy macierzy obrazu  $\mathbf{X}$  są odczytywane kolejno zgodnie ustalonym porządkiem skanowania. Porządek skanowania przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Porządek skanowania

Po odczytaniu każdego elementu macierzy obrazu  $\mathbf{X}$  obliczana jest bieżąca wartość różnicowa  $\Delta x_{m,n}$  równa różnicy między odczytaną wartością pikseli i bieżącą wartością bazową. Obliczona bieżąca wartość różnicowa porównywana jest z ustalonymi maksymalną i minimalną wartością różnicową.

Mogą zachodzić dwa przypadki. W pierwszym przypadku bieżąca wartość różnicowa mieści się w ustalonym zakresie

$$\Delta x_{\min} \leq \Delta x_{m,n} \leq \Delta x_{\max} \quad (2)$$

i wtedy bieżąca wartość bazowa nie zmienia się, a wartość różnicowa zapisywana jest do macierzy konwersji  $\mathbf{D}$

$$d_{m,n} = \Delta x_{m,n}. \quad (3)$$

W drugim przypadku bieżąca wartość różnicowa nie mieści się w ustalonym zakresie

$$\Delta x_{m,n} < \Delta x_{\min} \vee \Delta x_{m,n} > \Delta x_{\max} \quad (4)$$

a wtedy bieżąca wartość bazowa zapisywana jest do macierzy konwersji  $\mathbf{B}$ , nową bieżącą wartością bazową staje się odczytana wartość pikseli, a do macierzy konwersji  $\mathbf{D}$  zapisywany jest znacznik nowej wartości bazowej  $c$

$$d_{m,n} = c. \quad (5)$$

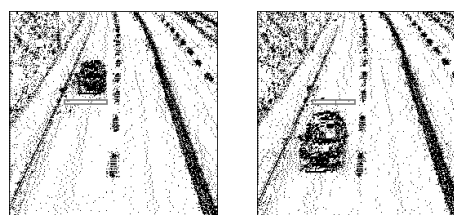
Konwersja kończy się po przetworzeniu ostatniego elementu macierzy obrazu  $\mathbf{X}$ . Dwuwarstwowy model obrazu tworzą elementy macierzy konwersji  $\mathbf{D}$  (warstwa wartości różnicowych) oraz elementy macierzy konwersji  $\mathbf{B}$  (warstwa wartości bazowych).

#### 5. POSTAĆ BINARNA ORAZ FILTRACJA

Do wyznaczenia postaci binarnej dwuwarstwowego modelu obrazu wykorzystywane jest rozmieszczenie znaczników nowej wartości bazowej w warstwie wartości różnicowych [2], [3]. Wartości binarne są zapisywane do binarnej macierzy  $\mathbf{E}$ , o rozmiarze takim samym jak macierz obrazu  $\mathbf{X}$ , zgodnie z zależnością

$$e_{m,n} = \begin{cases} 1, & \text{dla } d_{m,n} = c, \\ 0, & \text{dla } d_{m,n} \neq c. \end{cases} \quad (6)$$

Elementy macierzy binarnej  $\mathbf{E}$  równe 1 nazywane są punktami bazowymi. Rozkład punktów bazowych przykładowych obrazów wejściowej sekwencji obrazów, po konwersji do postaci binarnej modelu dwuwarstwowego, przedstawia rysunek 4 (na obrazach zaznaczono pole detekcji).



Rys. 4. Rozkład punktów bazowych obrazów po konwersji do postaci binarnej modelu dwuwarstwowego

Jakość obrazów w binarnej postaci modelu dwuwarstwowego można poprawić stosując filtry binarne. Operacje filtracji przeprowadzane są dla wszystkich elementów macierzy  $\mathbf{E}$  oprócz elementów brzegowych (spełniających  $1 \leq m \leq M-2, 1 \leq n \leq N-2$ ).

Operacje filtracji obejmują: usuwanie pojedynczych punktów bazowych w otoczeniu ortogonalnym

$$e_{m,n} = 0 \text{ dla } e_{m,n-1} \vee e_{m,n+1} \vee e_{m-1,n} \vee e_{m+1,n} = 0 \quad (7)$$

usuwanie pojedynczych punktów bazowych w otoczeniu diagonalnym

$$e_{m,n} = 0 \text{ dla } e_{m-1,n-1} \vee e_{m-1,n+1} \vee e_{m+1,n-1} \vee e_{m+1,n+1} = 0 \quad (8)$$

uzupełnienie punktów bazowych przy użyciu filtra poziomego

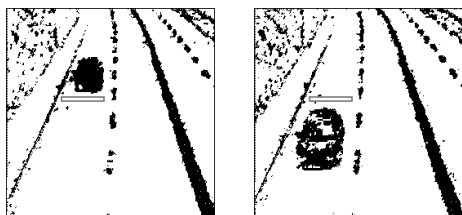
$$e_{m,n} = 1 \text{ dla } (e_{m,n-1} = 1 \wedge e_{m,n+1} = 1) \quad (9)$$

uzupełnienie punktów bazowych przy użyciu filtra pionowego

$$e_{m,n} = 1 \text{ dla } (e_{m-1,n} = 1 \wedge e_{m+1,n} = 1) \quad (10)$$

Rozkład punktów bazowych przykładowych obrazów wejściowej sekwencji obrazów, po konwersji do postaci binarnej modelu

dwuwarstwowego oraz filtracji, z zaznaczonym polem detekcji, przedstawiono na rysunku 5



Rys. 5. Rozkład punktów bazowych obrazów po konwersji do postaci binarnej modelu dwuwarstwowego oraz filtracji

Filtracja poprawia jakość obrazów w binarnej postaci modelu dwuwarstwowego. Jeżeli jakość obrazów jest wystarczająco dobra, filtracja może być pominięta. Rozkład punktów bazowych dobrze odwzorowuje krawędzie obiektów występujących na obrazach.

## 6. CHARAKTERYSTYKI OPISUJĄCE PRZEJAZD POJAZDÓW PRZEZ POLE DETEKcji

Każdy obraz wejściowej sekwencji obrazów jest konwertowany do modelu dwuwarstwowego oraz przeprowadzana jest jego filtracja. Następnie wyznaczane są parametry pola detekcji. Parametrami pola detekcji jest suma punktów bazowych znajdujących w jego obszarze oraz uśredniona suma punktów bazowych.

Suma punktów bazowych jest wyznaczana zgodnie z wzorem

$$S_i = \sum_{m=y_G}^{y_D} \sum_{n=x_L}^{x_P} e_{m,n} : e_{m,n} = 1. \quad (11)$$

Uśredniona suma punktów bazowych obliczana jest na podstawie sumy punktów bazowych  $S_i$  obrazu bieżącego oraz sum punktów bazowych  $K$  obrazów poprzedzających obraz bieżący

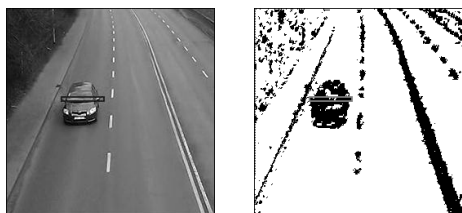
$$L_i = \frac{1}{K+1} \sum_{j=i-K}^i S_j. \quad (12)$$

Uśrednione sumy punktów bazowych obliczane są dla obrazów sekwencji spełniających zależność  $i > K$ . Zależności zmian sumy i uśrednionej sumy punktów bazowych w obszarze pola detekcji w funkcji czasu opisują przejazd pojazdu przez pole detekcji.

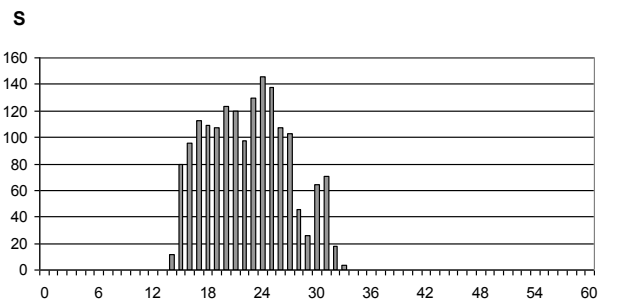
## 7. WYNIKI POMIARÓW

Obliczono sumy punktów bazowych w obszarze pola detekcji oraz wyznaczono charakterystyki zmian sum i uśrednionych sum punktów bazowych dla pojazdów różnego rodzaju przejeżdżających przez pole detekcji. Wartości uśrednione sum wyznaczono przy liczbie obrazów poprzedzających obraz bieżący  $K = 4$ .

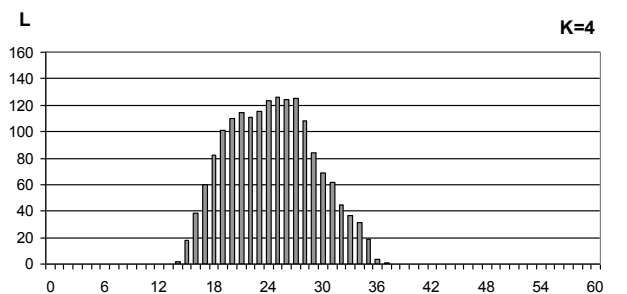
Obrazy ilustrujące przejazd samochodu osobowego przez pole detekcji przedstawia rysunek 6, charakterystyki sumy punktów bazowych w obszarze pola detekcji oraz sumy uśrednionej przedstawiają odpowiednio rysunki 7 oraz 8.



Rys. 6. Przejazd samochodu osobowego przez pole detekcji: obraz oryginalny i obraz po konwersji do modelu dwuwarstwowego



Rys. 7. Zmiany sumy punktów bazowych przy przejeździe samochodu osobowego przez pole detekcji

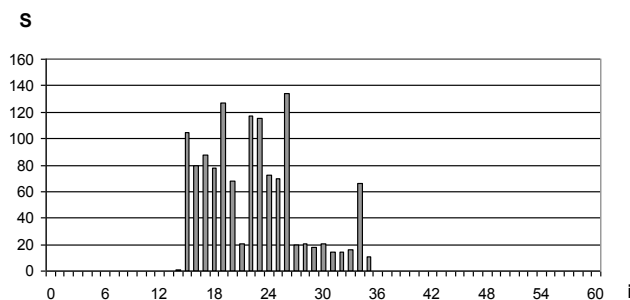


Rys. 8. Zmiany uśrednionej sumy punktów bazowych przy przejeździe samochodu osobowego przez pole detekcji

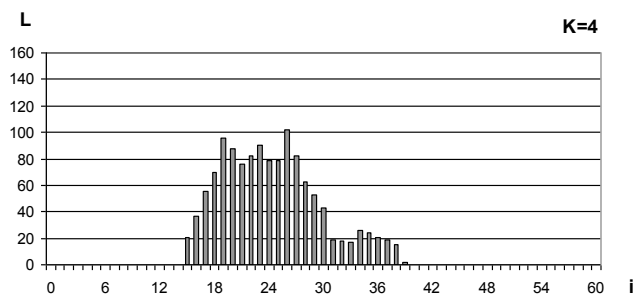
Obrazy ilustrujące przejazd mikrobusu przez pole detekcji przedstawia rysunek 9, charakterystyki zmian sumy punktów bazowych w obszarze pola detekcji oraz uśrednionej sumy punktów bazowych przedstawione są odpowiednio na rysunkach 10 i 11.



Rys. 9. Przejazdu mikrobusu przez pole detekcji: obraz oryginalny i obraz po konwersji do modelu dwuwarstwowego

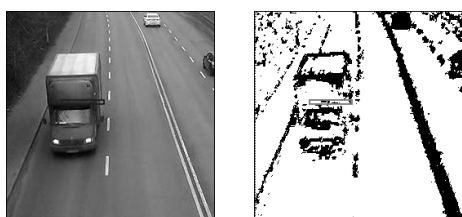


Rys. 10. Zmiany sumy punktów bazowych przy przejeździe mikrobusu przez pole detekcji

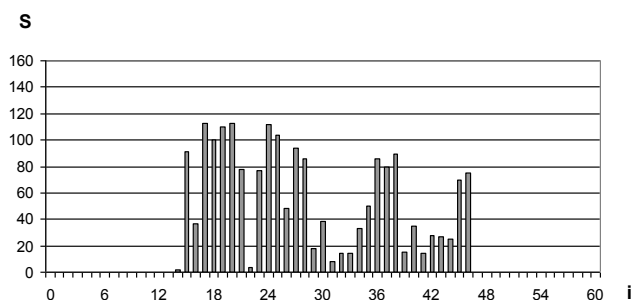


Rys. 11. Zmiany uśrednionej sumy punktów bazowych przy przejeździe mikrobusu przez pole detekcji

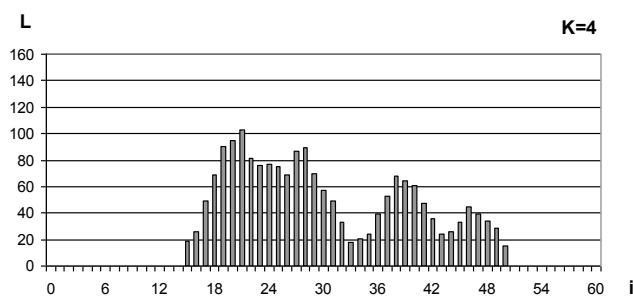
Obrazy ilustrujące przejazd samochodu ciężarowego przez pole detekcji zamieszczono na rysunku 12. Charakterystyki zmian sumy punktów bazowych w obszarze pola detekcji oraz sumy uśrednionej przedstawiają odpowiednio rysunki 13 oraz 14.



Rys. 12. Przejazdu samochodu ciężarowego przez pole detekcji: obraz oryginalny i obraz po konwersji do modelu dwuwarstwowego



Rys. 13. Zmiany sumy punktów bazowych przy przejeździe samochodu ciężarowego przez pole detekcji



Rys. 14. Zmiany uśrednionej sumy punktów bazowych przy przejeździe samochodu ciężarowego przez pole detekcji

Na podstawie sumy punktów bazowych w obszarze pola detekcji oraz uśrednionej sumy punktów bazowych wyznaczany jest stan pola detekcji.

Zmiana stanu pola detekcji ze stanu „pole detekcji wolne” na stan „pole detekcji zajęte” następuje, gdy pole detekcji jest w stanie „pole detekcji wolne” i wartość sumy punktów bazowych w obszarze pola detekcji będzie nie mniejsza niż wartość progowa  $S_{min}$  dla pola zajętego. Oznacza to, że zmiana stanu pola detekcji na „pole detek-

cji zajęte” może nastąpić dla  $S > S_{min}$ . Wartość  $S_{min}$  w warunkach, w których przeprowadzono pomiary, można ustalić na przykład na  $S_{min} = 50$ .

Zmiana stanu pola detekcji ze stanu „pole detekcji zajęte” na stan „pole detekcji wolne” następuje, gdy pole detekcji jest w stanie „pole detekcji zajęte” i wartość uśrednionej sumy punktów bazowych dla ustalonej liczby kolejnych obrazów w sekwencji będzie nie większa niż wartość progowa  $L_{max}$  dla pola wolnego. Oznacza to, że zmiana stanu pola detekcji na „pole detekcji wolne” może nastąpić, gdy dla ustalonej liczby kolejnych obrazów zachodzi  $L \leq L_{max}$ . Wartość  $L_{max}$  w warunkach, w których przeprowadzono pomiary, można ustalić na przykład na  $L_{max} = 10$ .

## PODSUMOWANIE

Wyznaczanie charakterystyk opisujących przejazd pojazdu przez pole detekcji przeprowadzane jest na podstawie danych obrazowych. Obrazy wejściowej sekwencji obrazów konwertowane są do binarnej postaci modelu dwuwarstwowego. Konwersja obrazu do binarnej postaci modelu dwuwarstwowego jest szybka i nieskomplikowana obliczeniowo. Rozmieszczenie punktów bazowych w binarnej postaci dwuwarstwowym modelu obrazu odpowiada zawartości obrazu.

Na podstawie charakterystyk opisujących przejazd pojazdów przez pole detekcji wyznaczany jest jego stan zajętości. Analiza stanu zajętości pola detekcji pozwala na zliczanie pojazdów. Zwiększenie liczby pól detekcji umożliwia wyznaczanie szybkości pojazdów, a także ich klasyfikację.

Prosty algorytm pozwala na efektywne wyznaczanie charakterystyk opisujących przejazd pojazdów przez pole detekcji. Niewielka liczba wymaganych operacji powoduje, że proponowana metoda jest atrakcyjna obliczeniowo co ma znaczenie na przykład w implementacjach rozwiązań przeznaczonych do systemów pracujących w czasie rzeczywistym.

## BIBLIOGRAFIA

1. Coifman B., Beymer D., McLauchlan P., Malik J., *A real-time vision system for vehicle tracking and traffic surveillance*. Transportation Research Part C, 1998, p. 271-288.
2. Czapla Z., *Video Based Vehicle Counting for Multilane Roads*. Logistyka, 4/2014, p. 2709-2717.
3. Czapla Z., *Klasyfikacja rodzajowa pojazdów na podstawie danych obrazowych*. Logistyka, 6/2014, s. 2851-2861.
4. Di Zeno S., *A note on the Gradient of a Multi-Image*. Computer Vision, Graphics and Image Processing. 1986, 33, p. 116-125.
5. Fernandez-Caballero A., Gomez F. J., Lopez-Lopez J., *Road traffic monitoring by knowledge-driven static and dynamic image analysis*. Expert Systems with Applications, 35, 2008, p. 701-719.
6. Gupte S., Masoud O., Martin R. F. K., Papanikolopoulos N. P., *Detection and Classification of Vehicles*. IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, Vol. 3, No. 1, 2002, p. 37-47.
7. Huang D.-Y., Chen C.-H., Hu W.-C., Yi S.-C., Lin Y.-F., *Feature-Based Vehicle Flow Analysis and Measurement for Real Time Surveillance System*. Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Vol. 3, No. 3, 2012, p. 282-296.
8. Mithun N. C., Rashid N. U., Rahman S. M. M., *Detection and Classification of Vehicles From Video Using Multiple Time-Spatial Images*. IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, Vol. 13, No. 3, 2012, p. 1215-1225.
9. Muthukrishnan R. M., Radha M., *Edge Detection Techniques for Image Segmentation*. International Journal of Computer

- Science & Information Technology (IJCSIT). vol. 3, no. 6, 2011, p. 259-267.
10. Qian R. J., Huang T. S. *Optimal Edge Detection in Two-Dimensional Images*. IEEE Transactions on Image Processing. 1996, vol. 5, no. 7, p. 1215–1220.
  11. Rosin P. L., *A simple method for detecting salient regions*. Pattern Recognition, 42, 2009, p. 2363-2371.

## DETERMINATION OF CHARACTERISTICS DESCRIBING VEHICLE DRIVING THROUGH A DETECTION FIELD

### *Abstract*

*The paper presents a method of determination of characteristics obtained in the course of vehicle driving through a detection field. An input sequence of digital images is applied in the presented method. Consecutive images from the input image sequence are converted into the binary form of the two-layer image model. The two-layer image model consists of the base pixel values layer and the difference pixel values layer. Layout of base pixel values is in accordance with an image content. The binary form of the two-layer image model is created on the basis of a new base value markers in the different values layer. For each image of the image input sequence the sum of the base points and the average sum of the base points are calculated within the detection field. Changes of sum of the base points and the average sum of the base points describe vehicle driving through the detection field. Experimental results are provided.*

Autor:  
dr inż. **Zbigniew Czapla** – Politechnika Śląska, Wydział Transportu