

CZAPLA Zbigniew

## WYZNACZANIE POŁOŻENIA POJAZDÓW NA PODSTAWIE DANYCH OBRAZOWYCH

### Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono szybką metodę detekcji pojazdów wykorzystującą konwersję obrazu do modelu dwuwarstwowego. Dwuwarstwowy model obrazu zawiera warstwę wartości bazowych pikseli oraz z warstwę wartości różnicowych pikseli. Podział na warstwy przeprowadzany jest predykcyjnie, przy użyciu zmodyfikowanego kodowania delta. Rozkład pikseli bazowych w dwuwarstwowym modelu obrazu odpowiada zawartości obrazu. Detekcja pojazdów przeprowadzana jest na podstawie rozkładu pikseli bazowych. Prezentowana metoda detekcji pojazdów jest szybka oraz atrakcyjna obliczeniowo.

### WSTĘP

Wyznaczanie parametrów ruchu drogowego może odbywać się na podstawie danych obrazowych [7, 13]. Obrazy scen ruchu drogowego w postaci cyfrowej poddawane są analizie, w wyniku której otrzymywany jest zbiór atrybutów opisujących obraz [6, 9]. W komputerowej analizie obrazów wykorzystywane są: segmentacja, indeksacja obiektów oraz klasyfikacja obiektów. Często przed analizą obrazu przeprowadzane jest przetwarzanie wstępne, którego celem jest uwydatnienie cech obrazu istotnych dla jego analizy.

Segmentacja obrazu polega na grupowaniu pikseli, spełniających ustalone kryteria jednorodności, w obszary lub obiekty. Podstawowym kryterium jednorodności jest zgodność wartości pikseli. Do najczęściej wykorzystywanych technik segmentacji należą segmentacja przez podział obrazu [16], segmentacja przez rozrost obrazu [5, 16], segmentacja przez wykrywanie krawędzi [1, 5], segmentacja na podstawie tekstury [11, 17].

Przetwarzanie obrazów pozwala na zmniejszenie wpływu zakłóceń, poprawę kontrastu, a także umożliwia wykrywanie krawędzi. Wykrywanie krawędzi jest ważną operacją przeprowadzaną w procesie analizy obrazów [12]. Najbardziej znanymi metodami wykrywania krawędzi są metody gradientowe [8, 10, 15]. Do wykrywania krawędzi stosowane są również inne metody [14]. Przetwarzanie obrazów przeprowadzane jest często jako przetwarzanie wstępne.

Do wyznaczania parametrów ruchu drogowego na podstawie danych obrazowych można wykorzystać dwuwarstwowy model obrazu [2, 3]. W konwersji obrazu do modelu dwuwarstwowego stosowany jest kodowanie predykcyjne [4] o algorytmie zbliżonym do kodowania delta. Konwersja obrazu do modelu dwuwarstwowego jest przeprowadzana jako operacja przetwarzania wstępnego.

### 1. DWUWARSTWOWY MODEL OBRAZU

Obrazy niektórych klas zawierają obszary pikseli o zbliżonych do siebie wartościach. Piksele takich obszarów mogą być opisane przez sekwencje składające się z wartości odniesienia

nazywanej wartością bazową oraz ciągu wartości różnic między wartościami kolejnych pikseli i wartością bazową. Reprezentację obrazu tworzą wszystkie tak wyznaczone sekwencje pikseli, z podziałem na warstwę wartości bazowych i warstwę wartości różnicowych [2, 3].

Reprezentacja obrazu w postaci jego modelu dwuwarstwowego przeznaczona jest dla obrazów achromatycznych z poziomami szarości, o 8-bitowej rozdzielczości poziomów jasności. Takie założenie pozwala na ograniczenie długości przedziału wartości różnicowych do 16 (na przykład przedział  $\langle -8, 7 \rangle$ ), co pozwala na zapisanie dwóch wartości różnicowych w jednym bajcie. Wartościami bazowymi są niezmiennione wartości pikseli zapisywane jako 8-bitowe liczby całkowite bez znaku.

Konwersji obrazu do modelu dwuwarstwowego poddawane są obrazy o rozdzielczości przestrzennej  $M \times N$  (wiersze  $\times$  kolumny) pikseli. Obraz źródłowy jest opisany przez macierz obrazu  $\mathbf{X}$

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

Jeżeli liczba wierszy macierzy  $\mathbf{X}$  jest nieparzysta, to dodawany jest dodatkowy wiersz, zawierający piksele o zerowej wartości. Do konwersji obrazu do modelu dwuwarstwowego wymagana jest macierz konwersji  $\mathbf{D}$  wartości różnicowych

$$\mathbf{D} = [d_{m,n}] \quad 0 \leq m \leq M-1, \quad 0 \leq n \leq N-1, \quad (2)$$

macierz konwersji  $\mathbf{B}$  wartości bazowych

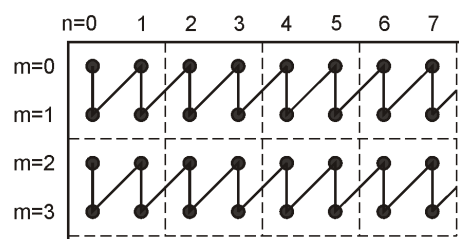
$$\mathbf{B} = [b_{m,n}] \quad 0 \leq m \leq M-1, \quad 0 \leq n \leq N-1, \quad (3)$$

oraz macierz  $\mathbf{Y}$  wartości wyjściowych

$$\mathbf{Y} = [y_{m,n}] \quad 0 \leq m \leq \frac{3}{2}M-1, \quad 0 \leq n \leq N-1. \quad (4)$$

Macierz  $\mathbf{Y}$  składa się z  $3M/2$  wierszy. W pierwszych  $M/2$  wierszach zapisywane są wartości różnicowe, po dwie w każdy element macierzy. Kolejne  $M$  wierszy przeznaczonych jest na wartości bazowe (w najgorszym przypadku każdy piksel obrazu jest wartością bazową).

Skanowanie obrazu odbywa się blokami. Macierz obrazu  $\mathbf{X}$  jest dzielona na bloki pikseli. Piksele wewnątrz bloków są skanowane kolumnami. Porządek skanowania, przy podziale na bloki  $2 \times 2$  piksele, przedstawia rys. 1.



**Rys. 1.** Porządek skanowania kolumnami przy podziale na bloki  $2 \times 2$  piksele

Źródło: opracowanie własne

Konwersja obrazu do modelu dwuwarstwowego rozpoczyna się od ustalania początkowej wartości bazowej, którą staje się wartość piksela obrazu o współrzędnych (0, 0). Początkowa wartość bazowa zapisywana jest do macierzy konwersji **B**

$$b_{0,0} = x_{0,0} \cdot \quad (5)$$

Elementy macierzy obrazu **X** są kolejno odczytywane zgodnie z porządkiem skanowania. Możliwe są dwa przypadki. W pierwszym przypadku różnica między wartością odczytanego piksela i aktualną wartością bazową mieści się w zakresie ustalonym dla wartości przyrostowych

$$\Delta x_{\min} \leq \Delta x_{m,n} \leq \Delta x_{\max} \quad (6)$$

i wtedy wartość różnicowa zapisywana jest do wektora konwersji **D**

$$d_{m,n} = \Delta x_{m,n} \cdot \quad (7)$$

W drugim przypadku różnica między wartością analizowanego piksela i wartością bazową nie mieści się w zakresie ustalonym dla wartości przyrostowych i wtedy do macierzy konwersji **D** zapisywany jest znacznik  $c$  nowej wartości bazowej

$$d_{m,n} = c, \quad (8)$$

oznaczający zmianę wartości bazowej. Do macierzy konwersji **B** zapisywana jest nowa wartość bazowa, którą jest pełna wartość analizowanego piksela

$$b_{k,l} = x_{m,n}, \quad k = i \text{ int } N, \quad l = i \text{ mod } N. \quad (9)$$

Indeksy  $k, l, m, n$  wskazują na bieżącą pozycję w macierzach konwersji, indeks  $i$  określa liczbę porządkową wartości bazowej ( $0 \leq i \leq i_{\max}$ ), operator int oznacza dzielenie całkowite, a operator mod resztę z dzielenia.

Sąsiadujące ze sobą wartości elementów macierzy konwersji **D** łączone są ze sobą po dwie, a następnie, w postaci wartości bajtowych, zapisywane są do macierzy wyjściowej **Y**

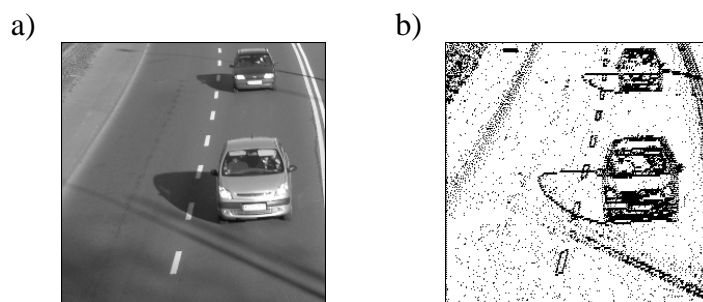
$$y_{m,n} = d_{2m,n} \cdot 16 + d_{2m+1,n}, \quad 0 \leq m \leq \frac{M}{2} - 1, \quad 0 \leq n \leq N - 1. \quad (10)$$

Po zapisaniu wartości różnicowych do macierzy wyjściowej **Y**, zaczynając od elementu  $y_{M/2,0}$  zapisywane są wierszami wartości bazowe zawarte w macierzy konwersji **B**.

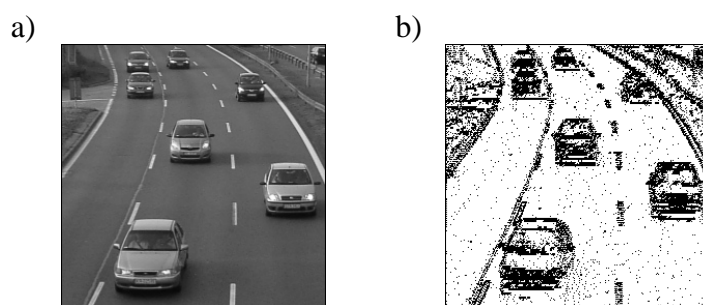
Reprezentacja obrazu, uzyskana w wyniku jego konwersji do modelu dwuwarstwowego, jest zwykle mniejsza niż reprezentacja w postaci mapy bitowej, a rozkład wartości bazowych odpowiada krawędziom występującym w obrazie.

## 2. OBRAZY TESTOWE

Do modelu dwuwarstwowego przekonwertowano dwa obrazy testowe: Obraz 1 oraz Obraz 2. Rozdzielczość przestrzenna każdego z obrazów testowych wynosi 256 x 256 pikseli. Zastosowano skanowanie kolumnami przy podziale na bloki 2 x 2 piksele. Wyniki konwersji obrazów testowych do modelu dwuwarstwowego przedstawiają rys. 2 oraz rys. 3.



**Rys. 2.** Wyniki konwersji obrazu Obraz 1 do modelu dwuwarstwowego: a) obraz oryginalny;  
b) rozkład wartości bazowych pikseli  
Źródło: opracowanie własne



**Rys. 3.** Wyniki konwersji obrazu Obraz 2 do modelu dwuwarstwowego: a) obraz oryginalny;  
b) rozkład wartości bazowych pikseli  
Źródło: opracowanie własne

Obrazy testowe różnią się szczegółowością. W wyniku konwersji obrazu źródłowego otrzymywany jest dwuwarstwowy model obrazu, w którym rozkład punktów bazowych odpowiada zawartości obrazu.

### 3. BINARNA REPREZENTACJA OBRAZU

Binarna reprezentacja obrazu wyznaczana jest na podstawie zawartości macierzy **D** wartości przyrostowych. Położenie pikseli bazowych zapisywane jest w macierzy **E** wartości binarnych na podstawie położenia znaczników nowej wartości bazowej w macierzy **D**.

$$\mathbf{E} = [e_{m,n}] \quad 0 \leq m \leq M - 1, \quad 0 \leq n \leq N - 1, \quad (11)$$

gdzie:

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

Elementy macierzy **E**, spełniające  $e_{m,n} = 1$  nazywane są punktami bazowymi.

Zawartość macierzy **E** poddawana jest operacjom filtrowania przy użyciu filtrów cyfrowych. W operacjach filtrowania wykorzystywane jest okno filtru o rozmiarze 3 x 3 elementy. Okno filtru przedstawia rys. 4. Środek okna filtru przemieszcza się kolejno po wszystkich elementach  $e_{m,n}$ , z wyjątkiem elementów brzegowych ( $1 \leq m \leq M-2$ ,  $1 \leq n \leq N-2$ ).

$e_{m-1,n-1}$	$e_{m-1,n}$	$e_{m-1,n+1}$
$e_{m,n-1}$	$e_{m,n}$	$e_{m,n+1}$
$e_{m+1,n-1}$	$e_{m+1,n}$	$e_{m+1,n+1}$

**Rys. 4.** Okno filtru

Źródło: opracowanie własne

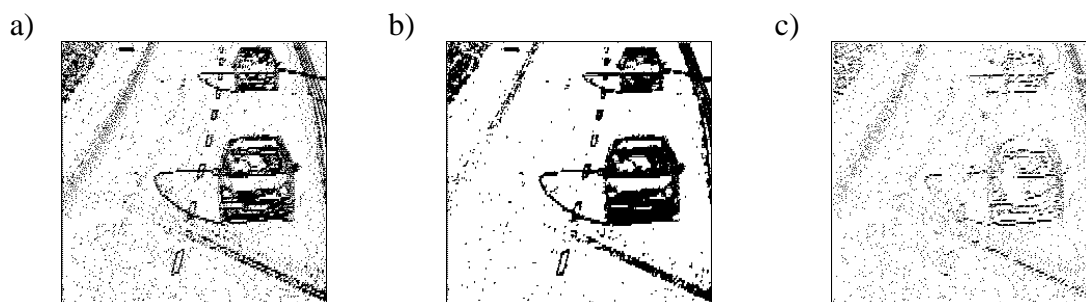
Operacja filtrowania przeprowadzana jest w dwóch etapach. W pierwszym etapie usuwane są izolowane punkty bazowe. Dla każdego punktu bazowego analizowany są kierunki poziomy oraz pionowy. Izolowane punkty bazowe są usuwane zgodnie z zależnością

$$e_{m,n} = 0 \quad \text{dla} \quad e_{m,n-1} = 0 \wedge e_{m,n+1} = 0 \wedge e_{m-1,n} = 0 \wedge e_{m+1,n} = 0. \quad (12)$$

W drugim etapie, do macierzy  $E$  wprowadzane są dodatkowe punkty bazowe. Wprowadzanie dodatkowych punktów bazowych odbywa się na podstawie analizy rozmieszczenia punktów bazowych w kierunku poziomym oraz w kierunku pionowym. Dodatkowe punkty bazowe wprowadzane są zgodnie z zależnością

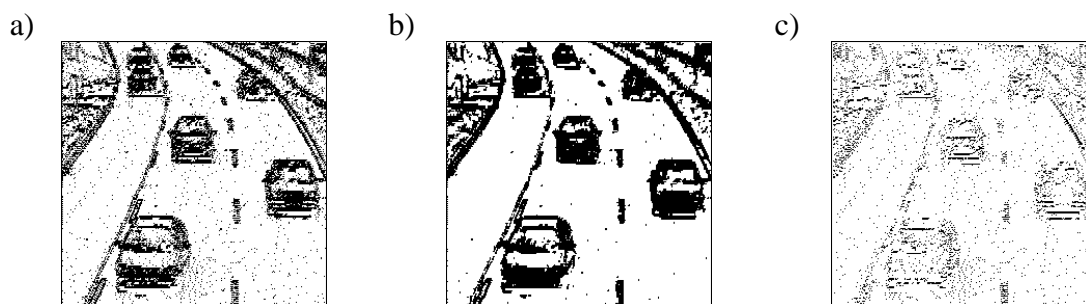
$$e_{m,n} = 1 \quad \text{dla} \quad (e_{m,n-1} = 1 \wedge e_{m,n+1} = 1) \vee (e_{m-1,n} = 1 \wedge e_{m+1,n} = 1). \quad (13)$$

Wyniki operacji filtrowania obrazów testowych przedstawiają rys. 5 oraz rys. 6.



**Rys. 5.** Wynik filtracji obrazu Obraz 1: a) obraz przed filtracją; b) obraz po filtracji; c) punkty bazowe usunięte lub dodane w wyniku filtracji

Źródło: opracowanie własne



**Rys. 6.** Wynik filtracji obrazu Obraz 2: a) obraz przed filtracją; b) obraz po filtracji; c) punkty bazowe usunięte lub dodane w wyniku filtracji

Źródło: opracowanie własne

Rozkład punktów bazowych pikseli binarnej reprezentacji obrazu odpowiada krawędziom obiektów występujących na obrazie. W konwersja obrazu do modelu dwuwarstwowego wykorzystywane są operacje całkowitoliczbowe oraz binarne, co powoduje, że metoda ta jest prostsza obliczeniowo niż większość znanych metod wykrywania krawędzi (np. metody gradientowe stosujące maski Sobela lub Prewitta).

#### 4. WYZNACZANIE POŁOŻENIA POJAZDÓW

Położenie pojazdów wyznaczone jest przy użyciu binarnej reprezentacji obrazu (macierz  $\mathbf{E}$ ). Obiekty na obrazie określane są z wykorzystaniem kwadratowego okna obiektów o rozmiarze  $P \times P$  elementów, gdzie  $P$  jest liczbą naturalną, nieparzystą. Okno obiektów wykorzystywane jest do zliczania punktów bazowych w otoczeniu elementu centralnego. Rozmiar okna obiektów określa również minimalne wartości długość i szerokość obiektu wymagane do lokalizacji obiektu.

Środek okna przesuwany jest po wszystkich elementach  $e_{m,n}$  binarnej reprezentacji obrazu, w obszarze ograniczonym do drogi, z pominięciem  $(P - 1)/2$  pikseli brzegowych. Elementy, które nie mieszczą się w oknie z powodu krzywizny drogi są pomijane. Dla każdego elementu centralnego obliczana jest liczba charakterystyczna  $L_{m,n}$

$$L_{m,n} = \sum_{i=m-\frac{P-1}{2}}^{m+\frac{P-1}{2}} \sum_{j=n-\frac{P-1}{2}}^{n+\frac{P-1}{2}} e_{m,n} \cdot \quad (14)$$

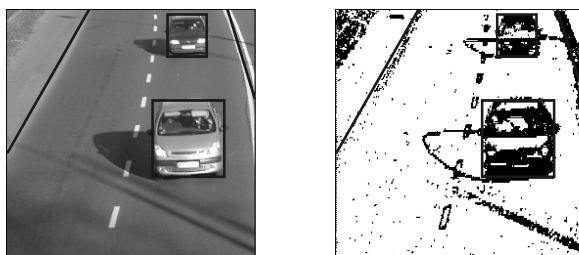
Liczba charakterystyczna porównywalna jest z minimalną wartością  $L_{H\min}$  ustaloną dla obecności obiektu i na tej podstawie zapisywane są wartości elementów  $h_{m,n}$  macierzy  $\mathbf{H}$

$$H = [h_{m,n}] \quad 0 \leq m \leq M - 1, \quad 0 \leq n \leq N - 1, \quad (15)$$

zgodnie z zależnością

$$h_{m,n} = \begin{cases} L_{m,n}, & \text{dla } L_{m,n} \geq L_{H\min} \\ 0, & \text{dla } L_{m,n} < L_{H\min} \end{cases} \quad (16)$$

Obiekty na obrazie określone są przez ciągi niezerowych wartości elementów macierzy  $\mathbf{H}$ . Rozmiary obiektu wyznaczone są na podstawie długości ciągów niezerowych wartości w wierszach i kolumnach oraz rozmiaru okna obiektów. Na rys. 7 przedstawiono zaznaczone obiekty na Obrazie 1.



**Rys. 7.** Obraz 1 wraz z zaznaczonymi obiektami: a) na obrazie oryginalnym; b) na binarnej reprezentacji obrazu

Źródło: opracowanie własne

Obiekty zaznaczono na obrazie czarnymi obwiedniami prostokątów. Obiektami są pojazdy występujące na obrazie. Wyznaczanie położenia pojazdów zostało ograniczone do obszaru drogi zaznaczonego czarnymi liniami.

Algorytm wyznaczania położenia pojazdów może być rozszerzony do postaci pozwalającej na wyznaczania liczby pojazdów przemieszczających się przez linię poprowadzoną w poprzek drogi. Takie rozwiązanie wymaga poklatkowej analizy sekwencji obrazów.

## PODSUMOWANIE

Wyznaczanie położenia pojazdów odbywa się na podstawie binarnej reprezentacji obrazu. Pojazdy na obrazie lokalizowane są z wykorzystaniem kwadratowego okna obiektów, w którym przeprowadzane jest zliczanie punktów bazowych w otoczeniu elementu centralnego. Od rozmiaru okna obiektów zależą minimalne wartości długość i szerokość obiektu wymagane do lokalizacji obiektu.

Niewielka liczba operacji przeprowadzanych przy użyciu dwuwarstwowego modelu obrazu powoduje, że jest on atrakcyjny obliczeniowo i nadaje się do konstruowania szybkich algorytmów przetwarzania.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bellon R. P., Silva L.: *New Improvement to Range Image Segmentation by Edge Detection*. IEEE Signal Processing Letters, vol. 9, no. 2, 2002, pp. 43-45.
2. Czapla Z.: *Dwuwarstwowy model obrazu cyfrowego w przetwarzaniu obrazów ruchu drogowego*. Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 3/2013, s. 1717-1725.
3. Czapla Z.: *Wyznaczanie zajętości pola detekcji na podstawie dwuwarstwowego modelu obrazu*. TTS technika transportu szynowego, 9/2012, s. 2307-2315.
4. Drozdek A.: *Wprowadzenie do kompresji danych*. WNT, Warszawa 2007.
5. Fan J., You D. K. Y., Elmagarmid A. K.: *Automatic Image Segmentation by Integrating Color-Edge Extraction and Seeded Region Growing*. IEEE Transaction on Image Processing, vol. 10, no. 10, 2010, pp. 1454-1466.
6. 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, pp. 701-719.
7. Gaca J., Sucharzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka*. WKiŁ, Warszawa 2009.
8. Gonzales, R.C., Woods, R.E.: *Digital Image Processing*. Pearson Prentice Hall, New Jersey (2008).
9. Kamijo S., Matsushita Y., Ikeuchi K., Sakauchi M.: *Traffic Monitoring and Accident Detection at Intersections*. IEEE Transactions on Intelligence Transportation Systems, Vol. 1, No. 2, 2000, pp.108-118.
10. Kang C.-C., Wang W.-J.: *A novel edge detection method based on the maximizing objective function*. Pattern Recognition, 40, 2007, pp. 609-618.
11. Malik J., Belongie S., Lesung T., Shi J.: *Contour and Texture Analysis for Image Segmentation*. Journal of Computer Vision 43(1), 2001, pp. 7-27.
12. Malina W., Śmiatacz M.: *Metody cyfrowego przetwarzania obrazu*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2005.
13. Nowacki G. (red.): *Telematyka transportu drogowego*. Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2008.
14. Qian, R.J., Huang, T.: *Optimal Edge Detection in Two-Dimensional Images*. IEEE Transactions on Image Processing, vol. 5, no. 7, pp. 1215-1220, 1996.

15. Rosin P. L.: *A simple method for detecting salient regions*. Pattern Recognition, 42, 2009, pp. 2363-2371.
16. Tadeusiewicz R., Korohoda P.: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997.
17. Wei-Ying M., Manjunath B. S.: *EdgeFlow: A Technique for Boundary Detection and Image Segmentation*. IEEE Transaction on Image Processing, vol. 9, no. 8, 2000, pp. 1375-1388.

## **DETERMINATION OF VEHICLE LOCATION ON THE BASIS OF IMAGE DATA**

### *Abstract*

*The paper presents a fast method of vehicle detection using image conversion into the two-layer model. The two-layer image model contains the base pixel values layer and the difference pixel values layer. Splitting into the layers is carried out by predictive method with the use of a variant of delta encoding. Layout of base pixel values of the two-layer image model is in accordance with the image content. Vehicle detection is carried out on the basis of layout of base pixel values. The presented method is fast and computationally attractive.*

### ***Autorzy:***

dr inż. **Zbigniew Czapl**a – Politechnika Śląska, Wydział Transportu.