

Zbigniew Czapl

Gradientowe charakterystyki pola detekcji dla danych obrazowych

JEL: L96 DOI: 10.24136/atest.2018.489

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

Artykuł przedstawia metodę wyznaczania gradientowych charakterystyk opisujących pole detekcji. Przedstawiona metoda jest przeznaczona dla danych obrazowych. Dane obrazowe mają postać sekwencji obrazów źródłowych. Sekwencję obrazów źródłowych tworzą ramki pobrane ze strumienia wideo uzyskiwanego na stanowisku pomiarowym. To samo pole detekcji jest definiowane dla wszystkich obrazów sekwencji obrazów źródłowych.

Sekwencja obrazów źródłowych jest konwertowana do postaci binarnej. Konwersja jest przeprowadzana na podstawie analizy gradientów obrazów źródłowych. Rozmieszczenie otrzymywanych wartości binarnych obrazów wynikowych odpowiada zawartości obrazów źródłowych.

W obszarze pola detekcji, dla kolejnych obrazów wejściowych, obliczane są odpowiednio sumy wartości binarnych, arytmetyczna i uśredniona. Na podstawie uśrednionych sum wartości binarnych wyznaczane są gradientowe charakterystyki pola detekcji. Gradientowe charakterystyki pola detekcji są przeznaczone do detekcji pojazdów, mogą być również wykorzystywane do wyznaczania szybkości pojazdów lub do klasyfikacji pojazdów.

Słowa kluczowe: dane obrazowe, pole detekcji, charakterystyka gradientowa

Wstęp

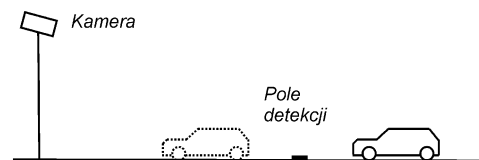
Współczesne systemy monitorowania ruchu drogowego wykorzystują dane obrazowe do wyznaczania jego parametrów. Przetwarzanie i analiza danych obrazowych umożliwia detekcję pojazdów, zliczanie i klasyfikację pojazdów, a także wyznaczanie szybkości pojazdów.

System wyznaczania trajektorii pojazdów przedstawiono w [1], gdzie detekcja pojazdów i wyznaczanie ich trajektorii następuje w wyniku analizy obszarów obrazu, w których zmiany jasności występują w więcej niż jednym kierunku. Wykorzystanie analizy statycznej i analizy dynamicznej do wyznaczania parametrów ruchu przedstawiono w [2]. Statycznie analizowane są tam pojedyncze obrazy sekwencji obrazów, analiza dynamiczna uwzględnia, oprócz obrazu bieżącego, również obrazy poprzedzające analizowany obraz bieżący. Wyznaczanie trajektorii pojazdów na skrzyżowaniach, przy użyciu algorytmów stochastycznych z podziałem obrazu na kwadratowe bloki, przedstawia [3]. Segmentację pozwalającą na określenie trajektorii pojazdów i polegającą na wyznaczeniu obrazu różnicowego przez odjęcie tła od obrazu bieżącego, progowanie, binaryzację oraz aktualizację tła przedstawia [4]. Również w [5] wyznaczany jest obraz różnicowy do określenia trajektorii pojazdów. W następnych krokach wydzielane są pasy ruchu, eliminowane są cienie oraz stosowana jest filtracja Kalmana. Wykorzystanie modułów wysokiego poziomu przetwarzania i modułów niskiego poziomu przetwarzania przedstawiono w [6]. Moduły niskiego poziomu przetwarzania przeznaczone są do określania właściwości danych obrazowych, a moduły wysokiego poziomu przetwarzania do wyznaczania trajektorii pojazdów. Uwzględnienie zależności czasowych oraz przestrzennych do detekcji pojazdów wykorzystano w [7] stosując wirtualne linie do wejściowej sekwencji obrazów.

Proponowana metoda opisu pola detekcji przez wyznaczenie jego gradientowych charakterystyk wykorzystuje konwersję obrazu źródłowego do binarnego obrazu wynikowego na podstawie gradientów obliczanych w bezpośrednim sąsiedztwie analizowanych pikseli obrazu źródłowego [8]. Analiza gradientowych charakterystyk pola detekcji umożliwia detekcję pojazdów, a przy zwiększeniu liczby pól detekcji pozwala także na wyznaczanie szybkości pojazdów oraz ich klasyfikację rodzajową.

1. Obrazy źródłowe

Wejściowy strumień wideo uzyskiwany jest z kamery umieszczonej nad drogą na stanowisku pomiarowym i skierowanej wzdłuż drogi. Kamera obejmuje widokiem obszar drogi zdefiniowany jako pole detekcji oraz odpowiednio obszary drogi przed polem detekcji i po polu detekcji. Pojazdy przemieszczające się przez pole detekcji rejestrowane są przez kamerę. Schemat stanowiska pomiarowego, z zaznaczonym przemieszczającym się pojazdem, przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

Kolejne ramki strumienia wideo tworzą sekwencję obrazów źródłowych. Liczba obrazów w sekwencji obrazów źródłowych zależy od liczby ramek strumienia wideo rejestrowanych w czasie 1 sekundy (klatek/s). Sekwencja obrazów źródłowych składa się z obrazów z poziomami szarości w formacie mapy bitowej o rozmiarze $N \times M$ pikseli. Położenie pikseli na obrazie określają współrzędne wierszy m ($0 \leq m \leq M - 1$) oraz współrzędne kolumn n ($0 \leq n \leq N - 1$). Przykładowe obrazy źródłowe przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Obrazy źródłowe

Kolejność obrazów w sekwencji obrazów źródłowych określona jest przez porządkowy numer sekwencyjny i . Każdy obraz źródłowy jest przetwarzany niezależnie od pozostałych. Przetwarzanie obrazów źródłowych polega na odpowiedniej ich konwersji do postaci binarnej.

2. Pola detekcji

Pojedyncze pole detekcji jest definiowane dla jednego pasa drogi. Pole detekcji jest prostokątem, którego rozmiar i położenie określone są przez współrzędne jego wierzchołków: lewego górnego (n_L, m_G), prawego górnego (n_P, m_G), lewego dolnego (n_L, m_D) oraz prawego dolnego (n_P, m_D). Przykładowe obrazy źródłowe,

z zaznaczonymi polem detekcji, przedstawia rys. 3 (pole detekcji zaznaczone zostało czarnym prostokątem).



Rys. 3. Obrazy źródłowe z zaznaczonym polem detekcji

Szerokość pola detekcji wynosi

$$k = n_P - n_L + 1 \quad (1)$$

a jego długość

$$l = m_D - m_G + 1 \quad (2)$$

Szerokość pola detekcji jest dobierana tak, aby odpowiadała szerokości pasa drogi, a długość pola detekcji ustalono niewielką, ułatwiającą dwuwartościową interpretację zmian jego właściwości. Współrzędne wierzchołków pola detekcji są takie same dla wszystkich obrazów sekwencji obrazów źródłowych.

3. Obrazy wynikowe

Obrazy wynikowe otrzymywane są w wyniku konwersji obrazów źródłowych do postaci binarnej. W konwersji wykorzystywana jest macierzowa postać obrazu cyfrowego oraz analiza gradientowa [9, 10].

Konwersja obrazów źródłowych do postaci binarnej przeprowadzana jest w oparciu o własny opracowany algorytm oparty na analizie gradientowej. W bezpośrednim sąsiedztwie przetwarzanego piksela obrazu źródłowego wyznaczone są długości gradientów. Długości gradientów porównywane są do wartości progowej. Na podstawie tego porównania określone są wartości binarne pikseli obrazu wynikowego przyporządkowanych do przetwarzanego piksela obrazu źródłowego.

Obraz źródłowy w formacie mapy bitowej reprezentowany jest przez macierz \mathbf{X} obrazu źródłowego

$$\mathbf{X} = [x_{m,n}] : m = 0, \dots, M-1, n = 0, \dots, N-1. \quad (3)$$

Obraz wynikowy reprezentuje binarna macierz \mathbf{Y} obrazu wynikowego o takim samym wymiarze jak macierz obrazu źródłowego

$$\mathbf{Y} = [y_{m,n}] : m = 0, \dots, M-1, n = 0, \dots, N-1. \quad (4)$$

Indeksy m, n elementów macierzy określają położenie pikseli obrazu źródłowego oraz opowiadających im pikseli obrazu wynikowego. Elementy macierzy obrazu źródłowego są kolejno przetwarzane wierszami i kolumnami zgodnie z porządkiem określonym przez rosnące wartości indeksów elementów macierzy. Przetwarzane są wszystkie elementy $x_{m,n}$ macierzy obrazu źródłowego z wyjątkiem elementów brzegowych

$$x_{m,n} : m = 1, \dots, M-2, n = 1, \dots, N-2. \quad (5)$$

Dla każdego przetwarzanego elementu macierzy obrazu źródłowego $x_{m,n}$ obliczane są długości gradientów G_W w wierszach, G_K w kolumnach

$$\begin{aligned} |G_W(m,n)| &= |x_{m,n} - x_{m,n-1}|, \\ |G_K(m,n)| &= |x_{m,n} - x_{m-1,n}|, \end{aligned} \quad (6)$$

a także G_G w kierunku skos w górę oraz G_D w kierunku skos w dół

$$\begin{aligned} |G_G(m,n)| &= |x_{m,n} - x_{m-1,n-1}|, \\ |G_D(m,n)| &= |x_{m,n} - x_{m+1,n-1}|. \end{aligned} \quad (7)$$

Wartości elementów $y_{m,n}$ binarnej macierzy obrazu wynikowego, odpowiadającym elementom sąsiadującym z przetwarzanym ele-

mentem macierzy obrazu źródłowego, wyznaczana jest przez porównanie wyznaczonych długości gradientów z ustaloną wartością progową T_G w wierszach

$$y_{m,n-1} = \begin{cases} 0 & \text{dla } |G_W(m,n)| \leq T_G, \\ 1 & \text{dla } |G_W(m,n)| > T_G, \end{cases} \quad (8)$$

kolumnach

$$y_{m-1,n} = \begin{cases} 0 & \text{dla } |G_K(m,n)| \leq T_G, \\ 1 & \text{dla } |G_K(m,n)| > T_G, \end{cases} \quad (9)$$

oraz w kierunkach skos w górę

$$y_{m-1,n-1} = \begin{cases} 0 & \text{dla } |G_G(m,n)| \leq T_G, \\ 1 & \text{dla } |G_G(m,n)| > T_G, \end{cases} \quad (10)$$

i skos w dół

$$y_{m+1,n-1} = \begin{cases} 0 & \text{dla } |G_D(m,n)| \leq T_G, \\ 1 & \text{dla } |G_D(m,n)| > T_G. \end{cases} \quad (11)$$

Wartość elementu macierzy obrazu wynikowego odpowiadającego przetwarzanemu elementowi macierzy obrazu źródłowego wyznaczana jest zgodnie z równaniem

$$y_{m,n} = y_{m,n-1} \vee y_{m-1,n} \vee y_{m-1,n-1} \vee y_{m+1,n-1}. \quad (12)$$

Zatem element macierzy obrazu wynikowego odpowiadający przetwarzanemu elementowi macierzy obrazu źródłowego, a także odpowiedni element z nim sąsiadujący przyjmują wartość binarną 1, jeżeli długość rozpatrywanego gradientu jest większa od ustalonej wartości progowej.

Wartości elementów brzegowych macierzy obrazu wynikowego ($m = 0, m = M-1, n = 0, n = N-1$) ustalana jest na 1. Przykładowe obrazy wynikowe, uzyskane w wyniku konwersji odpowiadających im obrazów źródłowych do postaci binarnej, bez zaznaczonego pola detekcji, przedstawia rys. 4 (punkty obrazów, którym odpowiadają elementy macierzy obrazu wynikowego równe 1, zaznaczono czarnymi kropkami).



Rys. 4. Obrazy wynikowe po konwersji obrazów źródłowych

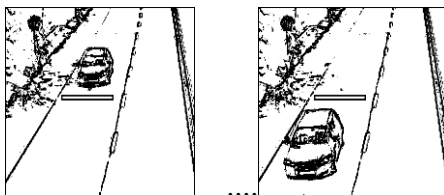
Punkty obrazu wynikowego, które określone są przez elementy macierzy obrazu wynikowego równe 1, nazywane są punktami krawędziowymi. Rozmieszczenie punktów krawędziowych na obrazie wynikowym odpowiada krawędziom obiektów występujących na obrazie źródłowym.

4. Gradientowe charakterystyki

Gradientowe charakterystyki wyznaczone są na podstawie arytmetycznych sum punktów krawędziowych w obszarze pola detekcji. Arytmetyczna suma punktów krawędziowych w obszarze pola detekcji obliczana jest po konwersji obrazu źródłowego do obrazu wynikowego. Obliczenia przeprowadzane są dla kolejnych obrazów wynikowych, odpowiadających kolejnym obrazom sekwencji obrazów źródłowych. Przykładowe obrazy wynikowe, z zaznaczonym polem detekcji, przedstawia rys. 5.

W wyniku obliczeń otrzymywana jest liczba punktów krawędziowych pola detekcji w funkcji numeru obrazu w sekwencji obrazów. Z uwagi na stały odstęp czasowy między kolejnymi obrazami sekwencji obrazów źródłowych, gradientowe charakterystyki przed-

stawiają zmiany liczby punktów krawędziowych w obszarze pola detekcji zachodzące w czasie.



Rys. 5. Obrazy wynikowe z zaznaczonym polem detekcji

Arytmetyczną sumę punktów krawędziowych s , występujących w obszarze pola detekcji, na obrazie o numerze sekwencyjnym i , określa równanie (wyrażenie za symbolami sumy oznacza elementy macierzy obrazu wynikowego równie 1)

$$s_{(i)} = \sum_{m=m_G}^{m_D} \sum_{n=n_L}^{n_P} y_{(i) m,n} : y_{(i) m,n} = 1. \quad (13)$$

Na podstawie arytmetycznej sumy punktów krawędziowych obliczana jest uśredniona suma punktów krawędziowych w obszarze pola detekcji. Uśredniona suma punktów krawędziowych u wyznaczana jest dla obrazu bieżącego o numerze sekwencyjnym i oraz ustalonej liczby obrazów poprzedzających obraz bieżący, oznaczonej P , zgodnie z równaniem

$$u_{(i)} = \frac{1}{P+1} \sum_{j=i-P}^i s_{(j)}. \quad (14)$$

Obliczenia uśrednionej sumy punktów krawędziowych przeprowadzane są dla obrazów spełniających $i > P$. Dla $P = 0$ uśredniona suma punktów krawędziowych równa jest arytmetycznej sumie punktów krawędziowych.

Względna wartość uśrednionej sumy punktów krawędziowych w obszarze pola detekcji, odniesiona do liczby pikseli obszaru pola detekcji, obliczona dla obrazu oznaczonego numerem sekwencyjnym i , wyrażona jest równaniem (k, l oznaczają odpowiednio szerokość oraz długość pola detekcji)

$$w_{(i)} = \frac{u_{(i)}}{k \cdot l}. \quad (15)$$

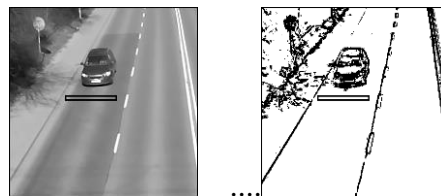
Gradientowe charakterystyki pola detekcji opisują zmiany uśrednionej sumy punktów krawędziowych w jego obszarze zachodzące w czasie. Uśredniona suma punktów krawędziowych pola detekcji zmienia się przy przejeździe pojazdu przez obszar pola detekcji. Zmiana uśrednionej sumy punktów krawędziowych obszaru pola detekcji może być spowodowana również zmianami porę dnia, oświetlenia i warunków atmosferycznych.

5. Wyniki pomiarów

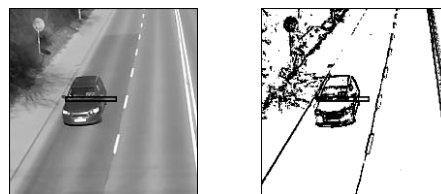
Pomiary przeprowadzono przy dobrych warunkach pogodowych i oświetleniowych. Strumień wideo uzyskano przy użyciu kamery o szybkości 30 klatek/s. Wejściową sekwencję obrazów tworzą obrazy o rozmiarze 384 x 384 piksele i rozdzielczości poziomów jasności 8 bitów na piksel. Poszczególne obrazy wejściowej sekwencji obrazów są oznaczone numerem sekwencyjnym.

Pole detekcji zdefiniowano dla jednego pasa drogi. Rozmiar pola detekcji wynosi 100 x 5 pikseli. Przeprowadzono konwersję obrazów sekwencji obrazów źródłowych do postaci binarnej przy ustalonej wartości progowej $T_G = 8$. Przykłady przetwarzanych obrazów ilustrują zbliżanie się pojazdu do pola detekcji, przejazd pojazdu przez pole detekcji oraz oddalanie się pojazdu od pola detekcji. Zbliżanie się pojazdu do pola detekcji przedstawiono na rys. 6, przejazd pojazdu przez pole detekcji na rys. 7, a oddalanie się pojazdu od pola detekcji na rys. 8 (z lewej strony rysunków zamieszczono obrazy źródłowe, z prawej strony odpowiadające im

binarne obrazy wynikowe). Pole detekcji zaznaczono czarnym prostokątem, czarne kropki na obrazach wynikowych oznaczają punkty krawędziowe.



Rys. 6. Zbliżanie się pojazdu do pola detekcji

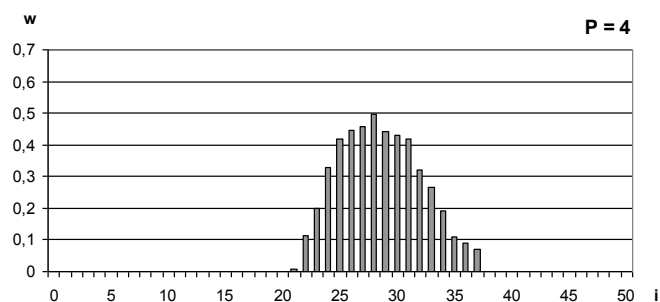


Rys. 7. Przejazd pojazdu przez pole detekcji



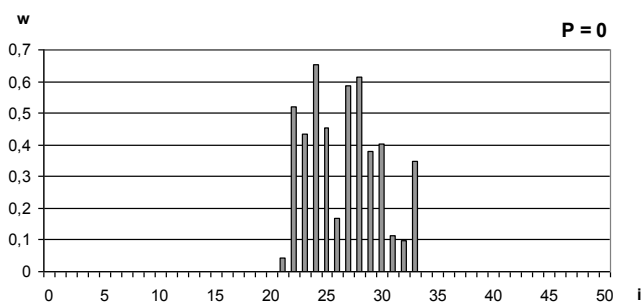
Rys. 8. Oddalanie się pojazdu od pola detekcji

Obrazy analizowanej wejściowej sekwencji obrazów przekonwertowano do postaci binarnej i obliczono arytmetyczne sumy punktów krawędziowych. Wyznaczono gradientowe charakterystyki pola detekcji obliczając uśrednione sumy punktów krawędziowych przy ustalonej liczbie P obrazów poprzedzających obraz bieżący. Przy wyznaczaniu gradientowej charakterystyki do detekcji pojazdów, korzystne jest uwzględnienie kilku obrazów poprzedzających obraz bieżący, co odpowiada działaniu filtra dolnoprzepustowego. Gradientową charakterystykę pola detekcji, przy liczbie obrazów poprzedzających obraz bieżący ustalonej na $P = 4$, przedstawia rys. 9.



Rys. 9. Gradientowa charakterystyka pola detekcji przy $P = 4$

Do ustalenia chwili, w której pojazd wjechał w obszar pola detekcji można wykorzystać gradientową charakterystykę pola detekcji, którą wyznaczono bez uwzględnienia obrazów poprzedzających obraz bieżący ($P = 0$). Taka gradientowa charakterystyka może być wykorzystana przy obliczaniu szybkości pojazdów między dwoma polami detekcji. Gradientową charakterystykę wyznaczoną przy $P = 0$ przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10. Gradientowa charakterystyka pola detekcji przy $P = 0$

Możliwe jest również stosowanie kombinacji gradientowych charakterystyk pola detekcji, np. wykrywanie wjazdu pojazdów do obszaru pola detekcji może odbywać się przy $P = 0$, a wykrywanie opuszczenia przez pojazdy obszaru pola detekcji przy $P > 0$.

Gradientowe charakterystyki pola detekcji mogą być wykorzystywane do inicjowania początkowej liczby punktów krawędziowych niezajętego pola detekcji oraz do bieżącej jej aktualizacji. Wtedy gradientowa charakterystyka pola detekcji wyznaczana jest przy dużych liczbach uwzględnianych obrazów poprzedzających obraz bieżący, rzędu kilkudziesięciu lub większych.

Podsumowanie

Charakterystyki pola detekcji dla danych obrazowych mogą być wyznaczone przy użyciu gradientów obrazów. Obrazy wejściowej sekwencji obrazów są przekształcane do postaci binarnej z wykorzystaniem porównania długości gradientów obrazu z ustaloną wartością progową. W wyniku konwersji otrzymywane są obrazy wynikowe o wartościach binarnych, których rozmieszczenie odpowiada zawartości obrazów źródłowych. Korzystając z binarnej postaci obrazów wynikowych można obliczyć arytmetyczne i uśrednione sumy punktów krawędziowych w obszarze pola detekcji. Na podstawie uśrednionej sumy punktów krawędziowych w obszarze pola detekcji, wyznaczana jest gradientowa charakterystyka pola detekcji. W zależności od sposobu wykorzystania gradientowej charakterystyki pola detekcji, przy jej wyznaczaniu uwzględniana jest odpowiednia liczba obrazów poprzedzających obraz bieżący.

Proponowana metoda wyznaczania gradientowych charakterystyk pola detekcji dla danych obrazowych jest prosta obliczeniowo. Z uwagi na niewielką wymaganą liczbę operacji, gradientowe charakterystyki pola detekcji mogą być stosowane w pomiarach przeprowadzanych w czasie rzeczywistym. Modyfikacje gradientowych charakterystyki pola detekcji pozwalają na ich wykorzystanie przy wyznaczaniu różnych parametrów ruchu. Gradientowe charakterystyki pola detekcji przeznaczone są do stosowania w systemach monitorowania i pomiarów ruchu drogowego.

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, vol. 6, pp. 271-288.
2. Fernandez-Caballero A., Gomez F. J., Lopez-Lopez J., Road traffic monitoring by knowledge-driven static and dynamic image analysis, *Expert Systems with Applications*, 2008, 35, pp. 701-719.

3. Kamijo S., Matsushita Y., Ikeuchi K., Sakauchi M., Traffic Monitoring and Accident Detection at Intersections, *IEEE Transactions on Intelligence Transportation Systems*, 2000, vol. 1, no. 2, pp. 108-118.
4. Gupte S., Masoud O., Martin R. F. K., Papanikolopoulos N. P., Detection and Classification of Vehicles, *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, 2002, vol. 3, no. 1, pp. 37-47.
5. Hsieh J., Yu S. H., Chen Y. S., Hu W. F., Automatic Traffic Surveillance System for Vehicle Tracking and Classification, *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, 2006, vol. 7, no. 2, pp. 175-187.
6. Cucchiara R., Piccardi M., Mello P.: Image Analysis and Rule-Based Reasoning for a Traffic Monitoring System, *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, 2000, vol. 1, no. 2, pp. 119-130.
7. 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*, 2012, vol. 13, no. 3, pp. 1215-1225.
8. Czapla Z., Point Image Representation for Efficient Detection of Vehicles, in: Burduk R., Jackowski K., Kurzyński M., Woźniak M., Żolnierek A. (eds.) *Proceedings of the 9th Conference on Computer Recognition Systems CORES 2015. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2016, vol. 403, pp. 691-700, Springer, Heidelberg.
9. Tadeusiewicz R., Korohoda P., *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków, 1997.
10. Malina W., Smiatacz M., *Metody cyfrowego przetwarzania obrazów*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2005.

Gradient characteristics of a detection field for image data

The paper presents a method of determination of gradient characteristics describing a detection field. The presented method is destined for image data. Image data are in the form of a source image sequence. Frames taken from a video stream, obtained at a measurement station, create a source image sequence. The same detection field is defined for all images of the source image sequence. The source image sequence is converted into binary form. Conversion is carried out on the basis of analysis of source images gradients. Layout of obtained binary vales of target images is in accordance with a content of source images. In the area of detection field, arithmetic and averaging sums of binary values are appropriately calculated. On the bases of averaging sums of binary values, gradient characteristics of the detection field are determined. Gradient characteristics of detection field are intended for vehicle detection and also can be utilized for vehicle speed determination or vehicle classification.

Keywords: image data, detection field, gradient characteristic.

Autorzy:

dr inż. **Zbigniew Czapla** – Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Zbigniew.Czapla@polsl.pl