ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 48 Nr kol. 1604

Wiesław PAMUŁA, Teresa PAMUŁA, Zbigniew CZAPLA

SYSTEM REJESTRACJI I PRZETWARZANIA OBRAZU CYFROWEGO ZDARZEŃ DROGOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono moduł detekcji i rejestracji obiektów w systemie rejestracji i przetwarzania obrazu cyfrowego zdarzeń drogowych. Zaproponowano rozwiązanie oparte na FPGA. Dla uproszczenia algorytmu detekcji wykorzystano jednowymiarową reprezentację obrazu z kamery. Zaimplementowano tok przetwarzania w prototypie programowym modułu i przeprowadzono badania poprawności detekcji. Dla zmniejszenia rozmiaru rejestrowanych strumieni obrazów wybrano kompresję w standardzie JPEG2000.

Uzyskane wyniki pozwalają potwierdzić skuteczność zaproponowanych rozwiązań, w tym możliwość implementacji w FPGA.

A SYSTEM FOR REGISTERING AND PROCESSING OF DIGITAL IMAGES OF TRAFFIC INCIDENTS

Summary. The paper presents the detection and registering module of the system for registering and processing of digital images of traffic incidents. The design is elaborated on the basis of a FPGA circuit. For simplifying the algorithm of detection a one dimensional representation of images from camera is utilised. The processing stream was implemented in software and tests were carried out to evaluate the detection procedures. For diminishing the size of registered image sequences the JPEG2000 standard of compression was chosen.

Results confirm the effectiveness of proposed processing task and show that it may be implemented in FPGA.

1. WPROWADZENIE

Zaproponowane rozwiązanie systemu systemu rejestracji i przetwarzania obrazu cyfrowego zdarzeń drogowych oparto na strukturze modułowej [1]. Dla realizacji zadań pomiarowych dobiera się odpowiednie moduły sprzętowe i programowe. Celem prac jest optymalizacja rozwiązań modułów dla osiągnięcia najefektywniejszego sposobu uzyskiwania pomiarów parametrów ruchu drogowego.

Najważniejszymi kryteriami oceny są:

- stopień złożoności obliczeniowej wykorzystywanych algorytmów,
- liczba operacji wymaganych dla uzyskania wielkości mierzonych.

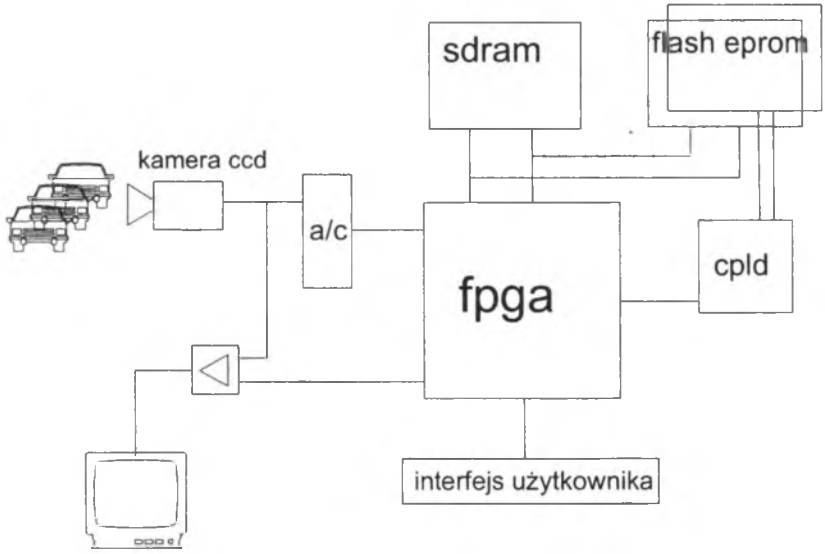
Pierwsze kryterium narzuca wymaganie wykorzystania możliwie elementarnych operacji na rejestrowanym strumieniu danych z kamery. Kolejne wynika z konieczności zastosowania standardowego sprzętu przetwarzającego aby zapewnić łatwość wdrożenia i niskie koszty realizacji.

W pierwszym etapie realizacji systemu wideorejestracji podjęto opracowanie modułów:
- detekcji obiektów,
- rejestracji zdarzeń drogowych.

Przyjęto następujące szczegółowe założenia konstrukcyjne:
- rozwiązanie sprzętowe oparte na FPGA konfigurowane w języku VHDL,
- podłączona standardowa kamera TV zgodna z CCIR601,
- możliwość zapamiętania kilkuset zdarzeń.

2. MODUŁ DETEKCJI I REJESTRACJI ZDARZEŃ

Rys.1 przedstawia schemat blokowy rozwiązania układu elektronicznego modułu.



Rys. 1. Schemat blokowy układu elektronicznego modułu detekcji i rejestracji zdarzeń
Fig. 1. Block scheme of the electronic circuit of the detection and registration module

Przetwornik analogowo-cyfrowy zamienia sygnał wideo z kamery na ciąg 8-bitowych wartości pikseli obrazu. Dane ładowane są do podręcznego bufora. Po przetworzeniu rejestrowane są w pamięci stałej typu flash EPROM. Przewidziano dwa moduły pamięci o łącznej pojemności 64 MB.

Algorytm sterowania i przetwarzania realizowany jest za pomocą układu FPGA. Zaproponowano wykorzystanie układów Spartan II firmy Xilinx [2]. Seria Spartan II zawiera do

400 tysięcy bramek logicznych. Konfiguracja układu ładowana jest za pomocą układu CPLD z części pamięci stałej modułu.

Detekcję obiektów wykonuje się przez:

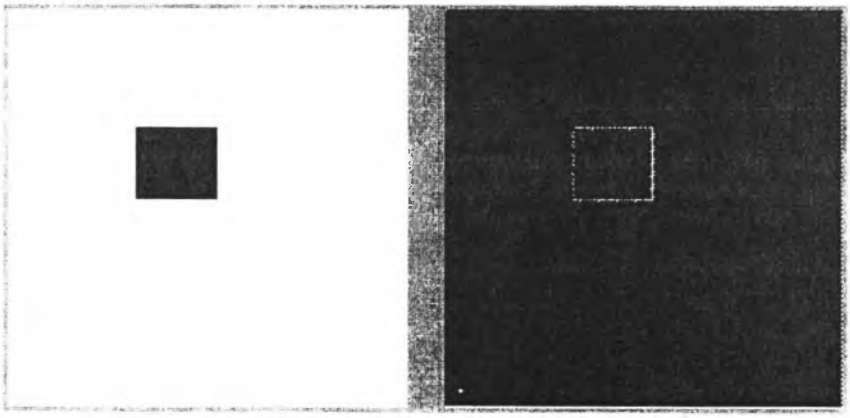
- wyodrębnienie z tła obszarów o zadanych cechach różniących obiekt od tła np.: kolor, tekstura,
- śledzenie zmian jasności w sekwencji obrazów.

Zarówno wyodrębnianie, jak i śledzenie wymaga odejmowania wartości pikseli obrazu zwykle uporządkowanych w tablicach dwuwymiarowych. Wykonywanie działań na tablicach oparte jest zwykle na mechanizmach indeksowania zawartości, co komplikuje sterowanie przepływem danych wewnątrz układu przetwarzającego.

3. JEDNOWYMIAROWA REPREZENTACJA OBRAZU

Zaproponowano przekształcenie obrazu do postaci jednowymiarowego wektora oraz przygotowanie jednowymiarowych wersji algorytmów detekcji obiektów.

Wykorzystano konstrukcję krzywej wypełniającej płaszczyznę do określenia odwzorowania [3]. Przeprowadzono badanie przydatności krzywej Hilberta dla reprezentacji obrazu. Wykonanie operacji określania brzegów obiektów wskazuje na typowe błędy - rys.2.



Rys. 2. Błędy jednowymiarowej operacji wyodrębniania brzegów obiektów
Fig. 2. Errors in edge detection done with one dimensional edge detector

Uzyskuje się poszarpane brzegi o szerokości 2-3 pikseli, gdy boki obiektu są równoległe do krawędzi obrazu. Przy dowolnym ułożeniu obiektu błędy te przestają być uciążliwe.

Dokonano też weryfikacji przydatności tej reprezentacji dla kompresji danych obrazowych [4, 5]. Uzyskuje się 30% redukcję liczby operacji i w przypadku znacznego stopnia kompresji odtworzony obraz pozostaje „bardziej czytelny" niż w przypadku tradycyjnego przetworzenia dwuwymiarowego.

4. ALGORYTM DETEKCJI OBIEKTÓW

Przygotowano algorytm detekcji obiektów i przeprowadzono symulację działania prototypu programowego układu przetwarzania. Prototyp opracowano w języku Object Pascal w środowisku Delphi 6 firmy Borland pod systemem operacyjnym Windows firmy Microsoft.

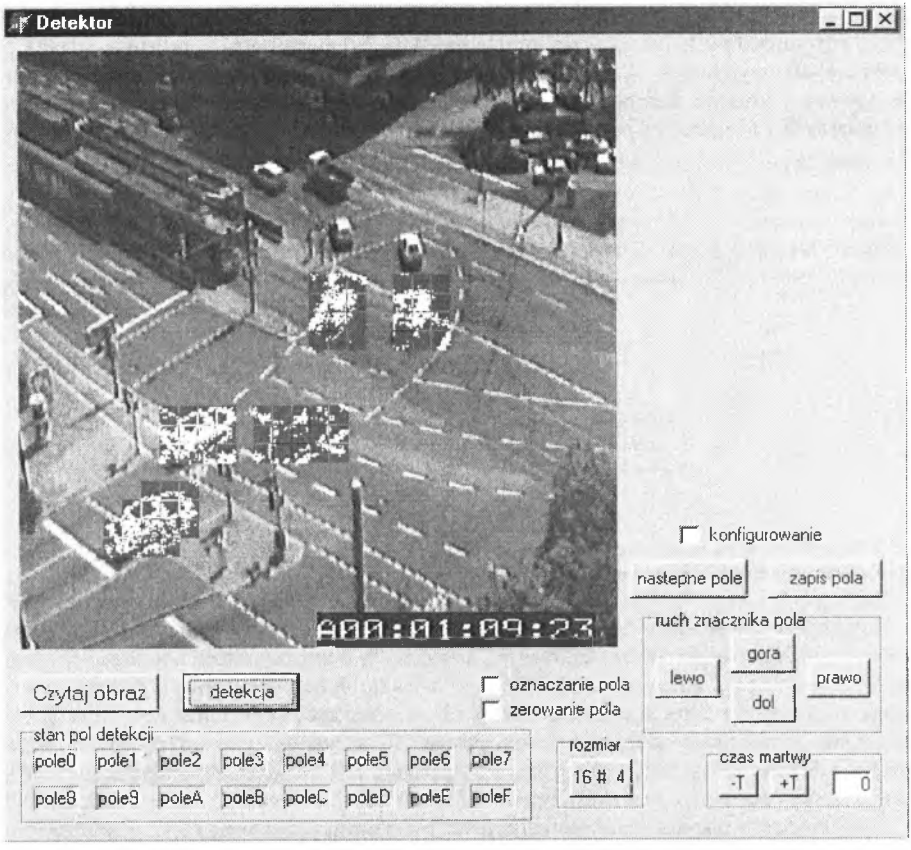
Rys. 3 przedstawia schemat blokowy algorytmu. Dane z kamery ładowane są do bufora, skąd na podstawie tablicy odwzorowania krzywej Hilberta przenoszone są do bufora wektora obrazu. W kolejnym kroku wyznaczone zostają brzegi obiektów z użyciem operacji morfologicznych na przesuwanych po wektorze odcinkach reprezentujących otoczenie obiektów.

Rys. 3. Schemat blokowy algorytmu detekcji obiektów
Fig. 3. Block schema of the object detection algorithm

Uzyskany wektor wynikowy poddawany jest binaryzacji za pomocą progowania. Zerojedynkowa postać obrazu porównywana jest z zadanymi polami detekcji i dokonywana jest ocena zajętości pól detekcji przez wykryte obiekty, a właściwie brzegi obiektów.

Rys. 4 przedstawia interfejs użytkownika programowego prototypu (makiety) detektora obiektów. Użytkownik może definiować pola detekcji oraz ustalać czas martwy detektora.

Przeprowadzono testy na obrazach ze stanowiska pomiarowego na ul.Krasińskiego 13 oraz na sekwencjach obrazów z Karlsruhe [6, 7] i stwierdzono wystarczającą dokładność detekcji z użyciem tylko brzegów obiektów.

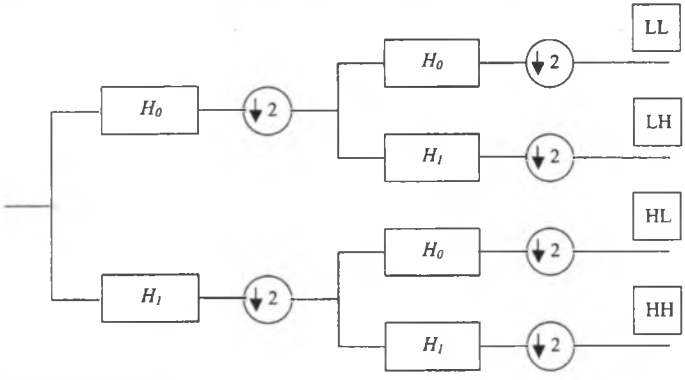


Rys. 4. Interfejs użytkownika makiety detektora obiektów
Fig. 4. User interface of the software object detector

5. KOMPRESJA DANYCH OBRAZOWYCH

Do kompresji danych obrazowych z wideorejestratora zdarzeń drogowych wybrano kompresję zgodną ze standardem JPEG 2000. W standardzie JPEG 2000 do kompresji danych obrazowych wykorzystywane są transformaty falkowe. Standard JPEG 2000 specyfikuje dwie metody obliczania transformat falkowych. Pierwsza z nich, określana jako *transformata falkowa pływającego punktu*, oznaczana jest symbolem (9,7), druga to *całkowita transformata falkowa* oznaczana symbolem (5,3). Nieodwracalna transformata falkowa (9,7) przeznaczona jest do kompresji stratnej, natomiast odwracalna transformata falkowa (5,3) generuje współczynniki falkowe całkowite i pozwala na przeprowadzenie kompresji bezstratnej. Do danych obrazowych z wideorejestratora zdarzeń drogowych należy stosować kompresję bezstratną, a zatem w standardzie JPEG 2000 wykorzystywana będzie transformata (5,3).

Kompresja falkowa obrazów wykorzystuje pasmowy rozkład sygnału dwuwymiarowego. Rozkład na podpasma sygnału dwuwymiarowego może być przeprowadzony za pomocą filtrów dwuwymiarowych lub poprzez przekształcenia jednowymiarowe przeprowadzane oddzielnie w obu wymiarach. W standardzie JPEG 2000 stosowane jest oddzielne przekształcanie wierszy i kolumn kompresowanego obrazu. Zasadę podpasmowego rozkładu obrazu o rozmiarze N x M na cztery podobrazy, każdy o rozmiarze $N/2$ x $M/2$, przedstawia rys. 5 [8].



Rys. 5. Schemat blokowy podpasmowego rozkładu obrazu
Fig. 5. Block diagram of subband image analysis

Rozkład dwuwymiarowego sygnału na podpasma realizowany jest przez filtry dolnoprzepustowe H_0 oraz górnoprzepustowe H_1, a sygnały w poszczególnych podpasmach ulegają podpróbkowywaniu. Pasmo LL powstało w wyniku dolnoprzepustowej filtracji wierszy i dolnoprzepustowej filtracji kolumn, pasmo LH w wyniku dolnoprzepustowej filtracji wierszy i górnoprzepustowej filtracji kolumn, pasmo HL w wyniku górnoprzepustowej filtracji wierszy i dolnoprzepustowej filtracji kolumn, a pasmo HH w wyniku górnoprzepustowej filtracji wierszy i górnoprzepustowej filtracji kolumn.

Do określania współczynników całkowitej transformaty falkowej (5,3) poszczególnych pikseli wymagane są zarówno wartości pikseli poprzedzających piksel, dla którego obliczana jest wartość transformaty, jak i wartości pikseli następujących po pikselu, dla którego obliczana jest transformata. W standardzie JPEG 2000 dla pikseli brzegowych wartości pikseli poprzedzających piksel brzegowy lub następujących po pikselu brzegowym obliczane są metodą *okresowego symetrycznego rozszerzenia*, którego zasadę dla przykładowego ciągu pikseli „ABCDEFG" w wierszu, gdzie piksele oznaczone literami k, m są pikselami brzegowymi, ilustruje rys. 6 [9].

DEFGFEDCB ABCDEFG FEDCBAB
| |
k m

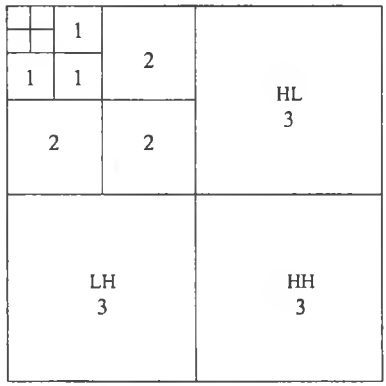
Rys. 6. Sposób rozszerzania pikseli brzegowych w wierszu
Fig. 6. Method of border pixels extending in a row

Wyznaczanie współczynników całkowitej transformaty falkowej $C(i)$ rozpoczyna się od obliczenia współczynników nieparzystych $C(2i+1)$, a następnie obliczane są współczynniki parzyste $C(2i)$. Zakładając, że wartości pikseli w wierszu wynoszą P_k, P_{k+1}, ..., P_m, współczynniki całkowitej transformaty falkowej określone są przez wzory [9]

$$C(2i+1) = P(2i+1) - \left[\frac{P(2i)+P(2i+2)}{2}\right], \quad \text{dla} \quad k-1 \le 2i+1 < m+1$$

$$C(2i) = P(2i) + \left[\frac{C(2i-1)+C(2i+1)+2}{4}\right], \quad \text{dla} \quad k \le 2i < m+1.$$

Jednowymiarowa transformata falkowa jest przeprowadzana L-krotnie, oddzielnie dla wierszy i kolumn, a jej wynikiem jest wydzielenie L poziomów rozdzielczości podpasm. Podpasma mogą być zorganizowane na trzy sposoby różniące się liczbą iteracyjnych filtracji przeprowadzanych dla poszczególnych wydzielanych podpasm. Często większość energii skupiona jest w pasmach LL i wtedy wykorzystywana jest organizacja podpasm przedstawiona na rys. 7 [9].



Rys. 7. Organizacja podpasm dla L=3
Fig. 7. Organisation of subbans for L=3

W prezentowanym przykładzie organizacji podpasm rozdzielczość na poziomie L=4 jest rozdzielczością obrazu źródłowego, natomiast rozdzielczość na poziomie L=0 przyporządkowana jest podpasmom o najniższej częstotliwości.

Każde z wydzielonych podpasm może być poddane kwantyzacji z innymi współczynnikami kwantyzacji. Z uwagi na to, że przeprowadzana jest kompresja bezstratna, wszystkie współczynniki kwantyzacji równe są jeden. Uzyskane w wyniku transformacji falkowej współczynniki w poszczególnych podpasmach kodowane są arytmetycznie.

Pracę wykonano w ramach badań własnych prowadzonych przez Zakład Informatyki Transportu Katedry Inżynierii Ruchu i Informatyki Transportu Wydziału Transportu, oznaczano symbolem BW-469/RT5/2003.

Literatura

1. Czapla Z., Pamuła T., Pamuła W.: System rejestracji i przetwarzania obrazu cyfrowego zdarzeń drogowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Seria Transport nr 44, Gliwice 2002, s 158-165.
2. Spartan II, Materiały firmy Xilinx California 2002.
3. Peitgen H., Jurgens H., Saupe D.: Fractals for the Classroom Part 1. Introduction to Fractals and Chaos. Springer Verlag Berlin 1992.
4. Pamuła W.: Własności transformaty falkowej dla kompresji danych z wideorejestratora zdarzeń drogowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Seria Transport nr 4, Gliwice 2002, s 155-161.
5. Pamuła W.: Advantages of Using Space Filling Curve for Computing Wavelet Transforms of Road Traffic Images, International Conference on Image Analysis and Processing, Mantova (Włochy) 16-19 września 2003, IEEE Society Press, New York 2003, pp. 614-620.
6. Nagel H.-H. et al: Kognitive Systeme, http://i21www.ira.uka.de/image_sequences/.
7. Haag M., Nagel H.H.: Tracking of complex driving maneuvers in traffic image sequences, Image and Vision Computing vol.16, 1998, pp. 517-527.
8. Salomon D.: Data Compression, The Complete Reference. Springer Verlag, New York 2000.
9. Sayood K.: Kompresja danych – wprowadzenie. Wydawnictwo RM, Warszawa 2002.

Recenzent: Dr hab.inż. Romuald Szopa,prof. Pol. Częstochowskiej

Abstract

The paper presents the detection and registering module of the system for registering and processing of digital images of traffic incidents. The design is elaborated on the basis of a FPGA circuit. For simplifying the algorithm of detection a one dimensional representation of images from camera is utilised. Thae image is converted to a vector using a space filling curve in this instance it is the Hilbert curve. The processing stream was implemented in software and tests were carried out to evaluate the detection procedures. For diminishing the size of registered image sequences the JPEG2000 standard of compression was chosen. The paper presents a concise description of the relevant parts of the standard, which will be used in compressing the image stream.

Results confirm the effectiveness of proposed processing task and show that it may be implemented in FPGA.