

Teresa PAMUŁA

ŚRODOWISKO PROGRAMOWE SYSTEMU PRZETWARZANIA OBRAZÓW DO OKREŚLANIA PARAMETRÓW RUCHU DROGOWEGO

Streszczenie. Przedstawiono projekt oprogramowania systemu do pomiarów parametrów ruchu drogowego z użyciem przetwarzania obrazów. Środowisko oparte jest na zbiorze modułów: filtrujących dane z kamery telewizyjnej, wyodrębniających obiekty, śledzących trajektorie obiektów, obliczających parametry ruchu obiektów. Proponuje się wykorzystanie pakietu programowego Delphi firmy Borland do implementacji środowiska.

SOFTWARE ENVIRONMENT OF THE IMAGE PROCESSING SYSTEM FOR DETERMINING ROAD TRAFFIC PARAMETERS

Summary. The paper presents the design of the software package for the image processing system for determining road traffic parameters. The package contains a set of software modules: filtering of data from the video camera, extracting the objects, object tracking, calculating traffic parameters. It is envisaged to use Borland's Delphi software development tools for the implementation of this environment.

1. WSTĘP

Wykorzystanie komputerowego przetwarzania obrazów stwarza możliwość automatycznego określania parametrów ruchu pojazdów, które nie mogą być określone z użyciem tradycyjnych detektorów pojazdów. Takimi parametrami są trajektorie ruchu pojazdów w obrębie skrzyżowań, rozmiary pojazdów, odstępki między pojazdami, dynamika ruchu pojazdów.

W oparciu o przegląd literatury i doświadczenia w dziedzinie przetwarzania obrazów przygotowano projekt środowiska programowego do weryfikacji algorytmów określania parametrów ruchu pojazdów [1], [2].

2. CEL PRZETWARZANIA

Założono następujący cel przetwarzania:

Wyznaczenie parametrów ruchu pojazdów w obrębie skrzyżowania.

Pojazdy wjeżdżające w obręb skrzyżowania należy zidentyfikować i określić ich trajektorie ruchu. Na podstawie trajektorii można wyznaczyć parametry ruchu obiektu, takie jak:

- średnia prędkość,
- liczba zatrzymań,
- czas przejazdu,
- marszruta.

Zbiór trajektorii utworzy bazę danych, którą można będzie przeanalizować standardowym językiem zapytań i wyznaczyć globalne parametry ruchu w obrębie skrzyżowania, takie jak: natężenia ruchu, potoki ruchu, średnie czasy przejazdu, straty czasu i inne.

3. ZAKRES PRZETWARZANIA

Dla osiągnięcia założonego celu należy z sekwencji obrazów z kamery telewizyjnej wyodrębnić poruszające się obiekty i wyznaczyć trajektorie ich ruchu. Brak optymalnych metod przetwarzania obrazu dla osiągnięcia tego celu [5]. Proponuje się stworzenie biblioteki modułów przetwarzających i weryfikację różnych algorytmów wykorzystujących przygotowane narzędzia.

Informacja z kamery zawiera zakłócenia, które w istotny sposób utrudniają efektywne wydzielenie obiektów.

Wydzielanie z obrazu obiektów dokonuje się z użyciem kilku metod segmentacji. Najczęściej stosuje się detekcję brzegów i klasteryzację [3], [4]. Segmentacja może być wspomagana analizą różnicową sekwencji obrazów [6], [7], [8] lub przez analizę piramid obrazów o różnych rozdzielczościach.

Kolejnym etapem w wyznaczaniu trajektorii jest śledzenie obiektu na obrazie. Obiekty zmieniając położenie w polu widzenia kamery zmieniają pozornie swoje gabaryty, następuje przesłanianie poruszających się obiektów. Śledzenie wymaga przewidywania przebiegu ruchu i wyodrębniania elementów zbieżnych z tym przebiegiem [8], [9].

Końcowy etap to tworzenie bazy danych o obiektach na obrazie. Analiza bazy pozwoli wyznaczyć szukane parametry ruchu obiektów, dokonać statystycznej obróbki danych lub obliczyć syntetyczne wskaźniki ruchu drogowego.

Wymagane moduły do realizacji kolejnych etapów przetwarzania można zebrać w grupy:

- filtracja,
- wyodrębnianie obiektów,
- śledzenie obiektów,
- baza danych.

3.1. Filtracja

Celem filtracji jest wyczyszczenie obrazu, tak aby spełnić założenia dla poprawnego stosowania procedur wyodrębniania obiektów. Polega ona na likwidowaniu zakłóceń w surowych danych z kamery telewizyjnej, redukcji szumów, wyostrzeniu brzegów obiektów, wygładzeniu płaszczyzn.

3.2. Wyodrębnianie obiektów

Podstawowym sposobem lokalizacji obiektów jest określanie brzegów i grupowanie ich w zamknięte figury, tj. w obiekty. Jeśli założymy, że obraz poprawnie wyczyszczono, to brzegi zostaną jednoznacznie określone; mogą jednak być nieciągłe. Gdy obiekty poruszają się, wzajemnie mogą się przysłaniać. Należy użyć informacji o wektorach ruchu, aby prawidłowo pogrupować elementy brzegowe obiektów. Wektory ruchu uzyskuje się z przetworzenia sekwencji obrazów. Zatem wyodrębnianie obiektów jest procesem ściśle związanym z ich śledzeniem.

3.3. Śledzenie obiektów

Podobnie jak przy wyodrębnianiu, istotna jest analiza sekwencji obrazów. Wyznaczenie pól wektorów ruchu dokonuje się przez określanie różnic w obrazach sekwencji. Dla uproszczenia pola przybliża się przez prostokąty i rejestruje położenia środków na kolejnych klatkach sekwencji.

3.4. Baza danych o obiektach

Zidentyfikowane obiekty będą rejestrowane w relacyjnej bazie danych. Konstrukcja tej bazy powinna umożliwić uzyskiwanie wymaganych globalnych parametrów ruchu z użyciem odpowiednio zorientowanego języka zapytań. Struktura danych o obiekcie musi zawierać znaczniki czasu i informacje o położeniu na obrazie.

4. STRUKTURY DANYCH

Przyjęta koncepcja składania algorytmów z przygotowanych modułów wymaga ujednoczenia struktur danych. Uporządkowane dane pozwolą uniknąć wielokrotnego przekształcania struktur przy wymianie danych między modułami. Ustalenie formatów umożliwi zgrubną, etapową weryfikację przetwarzania przez obserwację poprawności sformatowania danych.

Dane można sklasyfikować według stopnia przetworzenia:

- dane wejściowe - klatki telewizyjnego obrazu, okna wycięte z klatek, okna o zmniejszonej rozdzielczości,
- obiekty – opisy, parametry, trajektorie.

4.1. Dane wejściowe

Użyta kamera telewizyjna dostarcza dane z czujnika CCD o rozmiarach 768 x 576 pikseli. Generowanych jest 25 obrazów na sekundę. Są to surowe dane do przetwarzania w systemie. Wartość pikseli opisana jest liczbą o długości od 8 do 24 bitów (n) w zależności od trybu pracy przetwornika obrazu (frame grabbera) wprowadzającego dane do komputera.

Podstawową daną w systemie przetwarzającym jest wartość pikseli obrazu:

$$piksel(x, y) = f_p(x, y) : x \in \langle 0, 768 \rangle; y \in \langle 0, 576 \rangle; f_p \in \langle 0, 2^n - 1 \rangle$$

Jeden obraz z kamery obejmuje zbiór pikseli o współrzędnych wynikających z rozmiaru pikselowego czujnika CCD:

$$klatka = \{piksel(x, y) : x \in \langle 0, 768 \rangle; y \in \langle 0, 576 \rangle\}$$

Z klatki wycinany jest prostokąt o proporcji boków 4 x 3:

$$prostokat = \{piksel(x, y - b) : x \in \langle 0, 768 \rangle; y \in \langle 0, 512 + b \rangle\}$$

gdzie $b \in \langle 0, 64 \rangle$ – współrzędna początku prostokąta w klatce.

Użycie prostokątów w przetwarzaniu pozwala lepiej wykorzystać zakres widzenia kamery.

Większość operacji przetwarzania obrazów wykonywana jest na kwadratowym fragmencie klatki:

$$okno = \{piksel(x - a, y - b) : x \in \langle a, 512 + a \rangle; y \in \langle b, 512 + b \rangle\}$$

gdzie $a \in \langle 0, 255 \rangle$, $b \in \langle 0, 63 \rangle$ – współrzędne początku okna w klatce.

W obliczeniach transformat, w algorytmach wyodrębniania obiektów, stosowane są okna o zmniejszonych rozdzielczościach. Wartości pikseli tych okien są średnimi wartościami pomniejszych otoczeń pikseli:

$$okno^k = \{piksel(x, y) : x \in \langle 0, 2^k \rangle; y \in \langle 0, 2^k \rangle; f_p(x, y) = 1/4 \sum_{\substack{i=0,1 \\ j=0,1}} okno^{k+1}(2x + i, 2y + j)\}$$

k – poziom okna w piramidzie zmniejszonych okien.

4.2. Obiekty

Dane przetworzone w kolejnych modułach uzyskują informacje o swoich cechach, własnościach, otrzymują atrybuty. Adekwatnym sposobem przedstawienia tych informacji jest struktura rekordu.

Można wyróżnić następujące typy składowe tego rekordu:

- identyfikator – nazwa lub liczba,
- opis – wyspecyfikowanie cech
 - momenty,
 - przebieg brzegu obiektu,
 - przybliżenie geometryczne,
 - widmo częstotliwościowe,
 - przedstawienie falkowe,
- położenie przestrzenne,
- znacznik czasu.

W toku przetwarzania tworzona jest baza rekordów, która stanowi podstawę do wyliczania parametrów ruchu obiektów w obrębie skrzyżowania.

5. ORGANIZACJA PRZETWARZANIA

Dla ułatwienia tworzenia i modyfikacji algorytmu proponuje się graficzne konstruowanie toku przetwarzania. Metoda ta wykorzystywana w oprogramowaniu sterowników przemysłowych (Simatic, Fanuc) pozwala wizualnie kontrolować projekt algorytmu.

Każdy krok przetwarzania reprezentowany jest przez graficzną ikonę z zaznaczonymi wejściami i wyjściami. Wejścia odpowiadają strumieniom danych wejściowych. Wyjścia to wyniki. Połączenie ikon oznacza, że wyniki z jednego modułu stają się strumieniem danych do przetworzenia w drugim module.

Obrazkowe podejście do konstrukcji algorytmu nasuwa przypuszczenie, że znaczna część mocy obliczeniowej systemu przetwarzania zostanie użyta do obsługi graficznego interfejsu komunikacji z użytkownikiem. Istotnie tak jest i dla optymalnego wykorzystania komputera zaproponowano również pracę typu wsadowego. Algorytm zweryfikowany w trybie obrazkowym poddawany jest kompilacji i gotowy program można uruchomić dla zadanego zbioru klatek z kamery telewizyjnej.

6. MODUŁY PRZETWARZAJĄCE

Zbiór modułów przetwarzających uporządkowany został tematycznie w kilka grup. Grupy obejmują procedury związane z kolejnymi etapami obróbki obrazu z kamery telewizyjnej.

6.1. Filtrowanie i detekcja brzegów

Zdecydowano ograniczyć się do operacji opartych na operacjach okienkowych. Podstawowymi operacjami są:

- obliczanie gradientu,
- mnożenie przez tablicę,
- znajdowanie mediany.

Operacje te usuwają zakłócenia z obrazu lub wydzielają charakterystyczne elementy, np. brzegi, kontury. Miarami efektywności operacji są: szerokość otrzymywanego brzegu, stopień ciągłości konturu, wrażliwość na szumy [10], jakość filtracji.

Wokół zadanego piksela obrazu $M(x_0, y_0)$ określa się okienko (np. 5×5), które stanowi otoczenie punktu poddanego operacji okienkowej (rys. 1). Operator przypisuje pikselowi nową wartość $W(x_0, y_0)$

A	B	C	D	E
F	G	H	I	J
K	L	M	N	O
P	Q	R	S	T
U	V	W	X	Y

Rys. 1. Otoczenie 5×5 piksela M operacji okienkowej

Fig.1. 5×5 neighbourhood of point M used in windowing operations

Określa się następujące operatory:

ROB - operator Robertsa

WOSC- operator Wójcika

HUE - operator Hueckla

DOW - mnożenie otoczenia (3×3) przez zadaną tablicę 3×3

SUM - operator sumy różnic otoczenia

$$W(x_0, y_0) = (G-M) + (H-M) + (L-M)$$

SOB - operator Sobela dla otoczenia 3×3

$$W(x_0, y_0) = |(G+2L+Q) - (I+2N+S)| + |(G+2H+I) - (Q+2R+S)|$$

SR3 - maksymalna średnia różnica na okienku 3×3

$$W(x_0, y_0) = \max(D_v, D_n, D_d, D_e)$$

$$D_v = |(G+H+I) - (Q+R+S)|, \quad D_d = |(G+H+L) - (N+R+S)|$$

$$D_n = |(G+L+Q) - (I+N+S)|, \quad D_e = |(H+I+N) - (L+Q+R)|$$

- SR5 - maksymalna średnia różnica na okienku 5 x 5
 $W(x_0, y_0) = \max(D_v, D_n, D_d, D_c)$
 $D_v = |(A+B+C+D+E+F+G+H+I+J) - (P+Q+R+S+T+U+V+W+X+Y)|$
 $D_d = |(A+B+F+G+K+L+P+Q+U+V) - (D+E+I+J+N+O+S+T+X+Y)|$
 $D_n = |(A+B+C+D+F+G+H+K+L+P) - (J+N+O+R+S+T+V+W+X+Y)|$
 $D_c = |(B+C+D+E+H+I+L+N+O+T) - (F+K+L+P+Q+R+U+V+W+X)|$

Operatory Laplace'a:

$$L_x = L+N - 2M$$

$$L_y = H+R - 2M$$

- LAD - dodatni operator Laplace'a
 $W(x_0, y_0) = \max(0, L_x + L_y)$
- LAB - bezwzględny operator Laplace'a
 $W(x_0, y_0) = |L_x + L_y|$
- PLAD - pseudododatni operator Laplace'a
 $W(x_0, y_0) = \max(0, L_x, L_y)$
- PLAB - pseudobezwzględny operator Laplace'a
 $W(x_0, y_0) = \max(|L_x| + |L_y|)$

Operatory medianowe:

- MED - mediana wartości w okienku 3 x 3
 $W(x_0, y_0) = \text{mediana}(3 \times 3)$
- SRMED- różnica mediany i wartości średniej
 $W(x_0, y_0) = \max(0, M-n)$
M – mediana w oknie 3 x 3
n – wartość średnia w oknie 3 x 3
- SRMEB- wartość bezwzględna różnicy mediany i wartości średniej
 $W(x_0, y_0) = |M - n|$

Przeprowadzono sprawdzenie własności operatorów. Jako kryterium jakości przyjęto szerokość generowanych konturów. Redukcja obrazu do konturów znacznie zmniejsza ilość danych do dalszego przetwarzania.

Najlepszymi operatorami do wydzielenia konturów okazują się operatory medianowe. Jeżeli obraz zawiera mało szczegółów, bardzo efektywne są operatory Laplace'a. Interesującym operatorem jest operator Wójcicka, który uwzględnia nierównomierność oświetlenia sceny.

6.2. Wydzielanie obiektów

Procedury wyodrębniania obiektów przygotowano w oparciu o opracowanie [1], obejmują:

SPLIT – wydzielanie obszarów o zadanym zakresie wartości pikseli,

MERGE – łączenie obszarów o zadanym zakresie wartości pikseli,

SLBR – grupowanie pikseli leżących na brzegu obiektu,

SKU4 – skurczanie obrazu na podstawie sąsiedztwa czwórkowego,

SKU8 – skurczanie obrazu na podstawie sąsiedztwa ósemkowego,

ROZ4 – rozszerzanie obrazu na podstawie sąsiedztwa czwórkowego,

ROZ8 – rozszerzanie obrazu na podstawie sąsiedztwa ósemkowego.

Analiza różnicowa wykorzystuje sekwencje obrazów, zwykle są to pary sąsiednich w czasie klatek. Procedury te wspomagają wydzielanie obiektów z obrazu.

DOD – dodawanie obrazów,

ODJ – odejmowanie obrazów,

USR – uśrednianie obrazów.

Interesującą transformatą z punktu widzenia śledzenia obiektów jest transformata falkowa obrazu. Jeśli obiekt rozpatrzemy jako zakłócenie, to współczynniki transformaty umożliwiają określenie położenia i rozmiaru zakłócenia. Wybrano falki z dwoma funkcjami bazowymi:

FALKEZW – transformata oparta na EZW (embedded zerotree wavelet),

FALKH – transformata oparta na funkcji bazowej Haara.

Procedury działają na piramidzie obrazów o zmniejszających się rozdzielczościach.

6.3. Śledzenie obiektów

Zbiór składa się z procedur:

WEKT – wyznaczanie wektorów ruchu na podstawie pary kolejnych obrazów,

PROST – aproksymacja obiektów z użyciem prostokątów,

SZUK – szukanie obiektu w otoczeniu o zadanym rozmiarze.

7. REALIZACJA PROJEKTU ŚRODOWISKA

Środowisko jest przygotowywane w oparciu o zbiór narzędzi programowania Delphi firmy Borland. Programy będą przystosowane do działania w systemie operacyjnym Windows lub Windows NT dla komputerów typu PC. Przewiduje się oprogramowanie najbardziej obliczeniochłonnych procedur, filtrowania danych oraz działań na sekwencjach

obrazów, w assemblerze, aby zwiększyć prędkość działania. Wykorzystanie frame grabbera z procesorem może dodatkowo przyspieszyć co najmniej wszystkie operacje okienkowe obrazu.

LITERATURA

1. Sprawozdania z pracy CPBP 02.19 Podstawy rozwoju systemów i środków transportowych. Temat 02.15 Wykorzystanie komputerowych metod rozpoznawania obrazów do pomiarów parametrów ruchu pojazdów Katowice 1987-89.
2. Pamuła W.: Określanie parametrów ruchu pojazdów w oparciu o komputerowe metody rozpoznawania obrazów. Materiały IV Konferencji Zastosowanie mikroprocesorów w przemyśle. Szczecin 16-18 września 1987.
3. Gill S., Milanese R., Pun T.: Feature selection for object tracking in traffic scenes. Proc. SPIE-Int. SOC. Opt. Eng. (USA), 1995, vol. 2344, s. 253-66.
4. Gattuso D.: Image processing and motorway traffic control. Advances in Intelligent Systems, 1997, s. 284-9.
5. Fathy M., Siyal M.Y.: Measuring traffic movements at junctions using image processing techniques. Pattern Recognition Letters (Netherlands), May 1997, vol. 18 no 5, s. 493-500.
6. Franke U., Kutzbach I.: Fast stereo based objects detection for stop & go traffic. Proceedings of the 1996 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 1996, s. 339-44.
7. Fathy M., Siyal M.Y.: An image detection technique based on morphological edge detection and background differencing for real-time traffic analysis. Pattern recognition Letters (Netherlands), Dec 1995, vol. 16 no 12, s. 1321-30.
8. Jung Soh, Byung Tae Chun, Min Wang : Analysis of road image sequences for vehicle counting. 1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Intelligent Systems for the 21 St Century, 1995, vol. 1, s. 679-83.
9. Gloyer B., Aghajan H.K., Siu K.Y., Kailath t.: Video-based freeway monitoring system using recursive vehicle tracking. Proc SPIE-Int. Soc. Opt. Eng. (USA), 1995, vol. 2421, s. 173-80.

Recenzent: Dr Leszek Chmielewski

Wpłynęło do Redakcji 26.02.1998 r.

Abstract

The paper presents the design of the software package for the image processing system for determining road traffic parameters. The system is aimed specifically at road traffic analysis. In this case the class of objects which are to be extracted is limited. One can place the systems camera in such a way that occlusion problems can be avoided and so the problem of tracking is simplified.

The package contains a set of software modules: filtering of data from the video camera, extracting the objects, object tracking, calculating traffic parameters.

Filtering module consists of procedures for enhancing the images acquired by the systems CCD camera. The procedures act locally on image windows of the sizes 3x3 to 5x5 pixels.

Object extracting module comprises programs for disparity analysis that is adding, subtracting and averaging pairs of succeeding images, split and merge procedures, transform calculating procedures.

Object tracking contains object searching and approximation procedures, movement determining procedures.

The software package will be used to develop and optimise algorithms for determining moving object parameters. A graphical interface is to be used. Algorithms are to be constructed as data flow diagrams with icons representing particular processing procedures and connecting vectors representing the interchange of data.

The package is being prepared with the Borland Delphi software development tools.