ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: TRANSPORT z. 50 Nr kol. 1607

Bartłomiej PŁACZEK

DETEKCJA I KLASYFIKACJA POJAZDÓW Z ZASTOSOWANIEM OPERATORÓW KSZTAŁTU

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę klasyfikacji pojazdów na podstawie informacji obrazowej. Zastosowano operatory kształtu, które umożliwiają filtrowanie obrazu w poszukiwaniu pojazdów określonego rodzaju. Wzorniki kształtu bazują na definicjach typowych układów krawędzi. Zaprezentowano przykład podziału zarejestrowanej grupy pojazdów na dwie klasy – samochody osobowe i samochody ciężarowe oraz przykład identyfikacji ambulansów. Jako podstawę detekcji pojazdów uprzywilejowanych wykorzystano umieszczane na nich oznaczenia graficzne.

VEHICLES DETECTION AND CLASSIFICATION WITH SHAPE OPERATORS APPLICATION

Summary. The paper presents a vehicles classification method based on the graphical information processing. Shape operators for image filtering and vehicles of defined type searching have been applied. The shape patterns are based on the typical edges configurations. Example of vehicles group division into two classes – passenger cars and trucks as well as example of ambulances detection have been presented. Graphical signs placed on privileged vehicles were used for their identification.

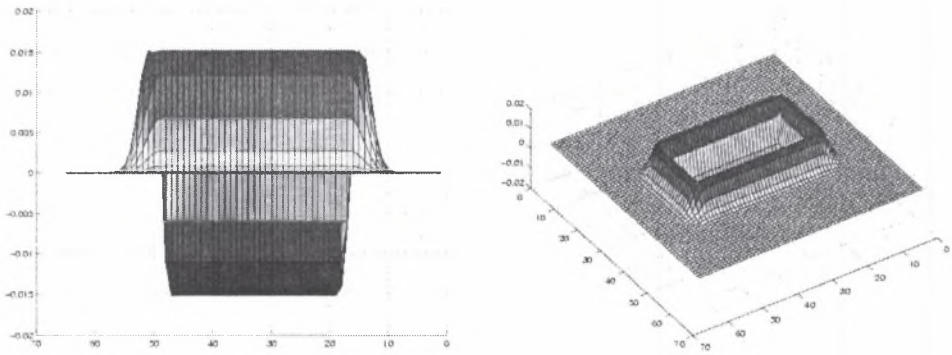
1. WPROWADZENIE

Analiza kształtu może stanowić podstawę detekcji i klasyfikacji pojazdów. Różne rodzaje pojazdów odznaczają się różnymi cechami kształtu. Pojazdy uprzywilejowane posiadają pewne oznaczenia graficzne o unikatowych kształtach, które pozwalają na ich identyfikację. Kształt obiektu definiują jego krawędzie. Zatem określenie kształtu wymaga wyznaczenia krawędzi [11]. Klasy obiektów charakteryzują się pewnymi typowymi konfiguracjami krawędzi. Operatory kształtu zawierają informację o układzie krawędzi obiektów, które są poszukiwane w obszarze obrazu. Na tej podstawie realizowana jest detekcja i śledzenie obiektów [6].

W opracowaniu [5] zaproponowano operator kształtu dla detekcji pojazdów na zdjęciach lotniczych (rys. 1). Operator ten stanowi połączenie czterech filtrów wykrywających krawędzie pojazdu. Jest on specyficznym detektorem krawędzi, który został tak skonstruowany, aby odpowiadał prostokątnym kształtom charakterystycznym dla pojazdów obserwowanych na zdjęciach lotniczych. Takie podejście bazuje na połączeniu w jeden proces operacji detekcji krawędzi i poszukiwania zadanego kształtu. Filtrowanie obrazu za pomocą takiego operatora wymaga znacznej ilości obliczeń, co oznacza długi czas operacji.

W niniejszym artykule omówiono algorytmy detekcji i klasyfikacji pojazdów, które odrębnie realizują procesy wykrywania krawędzi oraz dopasowanie operatorów (wzorników)

kształtu. Pierwszym etapem algorytmu jest zastosowanie prostego filtru górno-przepustowego wydobywającego krawędzie pojazdu z obserwowanego obrazu. Drugim etapem jest dopasowanie wzornika do binarnej mapy krawędzi uzyskanej w poprzednim kroku. Głównym atutem prezentowanej metody jest znacznie zmniejszenie złożoności obliczeniowej algorytmu, a więc i znaczna jego szybkość. Jest to jeden z najważniejszych parametrów procedur przetwarzania umożliwiający ich zastosowanie w systemach sterowania ruchem drogowym, pracujących w czasie rzeczywistym.



Rys.1. Operator kształtu dla detekcji pojazdów na zdjęciach lotniczych
Fig. 1. The operator for vehicles detection in aerial images

W dalszej części opracowania przedstawiono metodę rozpoznawania klasy pojazdu oraz algorytm detekcji pojazdów uprzywilejowanych. Przedstawiono również wyniki eksperymentów numerycznych dla tych algorytmów.

Omówiono także wpływ czynników zakłócających procedury określania kształtów pojazdów na podstawie sekwencji obrazów z kamery.

2. ROZPOZNAWANIE KLASY POJAZDU

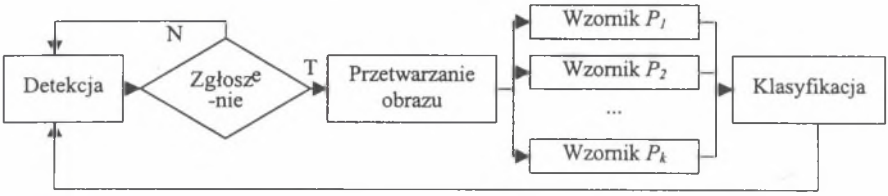
Na rys. 2 przedstawiono schemat blokowy opracowanego algorytmu detekcji i klasyfikacji pojazdów. Detekcja zgłoszenia pojazdu następuje w chwili wjazdu tego pojazdu do strefy rejestracji. Wykrycie zgłoszenia pojazdu inicjuje kolejne procedury rejestracji, przetwarzania obrazu, analizy kształtu i klasyfikacji pojazdu.

W procesach przetwarzania obrazu wyznaczana jest graficzna reprezentacja kształtu, która porównywana jest z odpowiednimi wzornikami. Metoda wyznaczania kształtu obiektów korzysta z procedur detekcji ruchu krawędzi oraz operacji morfologicznych (zamknięcie, powłoka wypukła). Rozpoznane krawędzie pojazdów uzupełniane są do figury wypukłej [7]. Przykłady obiektów graficznych uzyskanych w wyniku wymienionych operacji pokazano na rys. 3.

Wzornik kształtu P_l jest predefiniowanym zbiorem punktów należących do krawędzi E figury powstałej w wyniku przetwarzania obrazu i operacji morfologicznych, typowym dla danej klasy (l) pojazdów. Klasyfikacja pojazdu polega na znalezieniu wzornika o kształcie najbardziej zbliżonym do kształtu analizowanego obiektu graficznego.

Niech wzornik P_l i mapa krawędzi E będą zbiorami punktów. Porównywanie zbiorów punktów oznacza poszukiwanie odpowiadających sobie wzajemnie par punktów oraz minimalizowanie pewnej miary rozbieżności kształtów $D(P_l, E)$ [9].

Miara rozbieżności $D(P_l, E)$ jest wyznaczana dla każdego możliwego położenia P_l na analizowanym obszarze obrazu. Pozycja najlepsza, dla której otrzymana została minimalna wartość $D(P_l, E)$, zostaje zapamiętana.

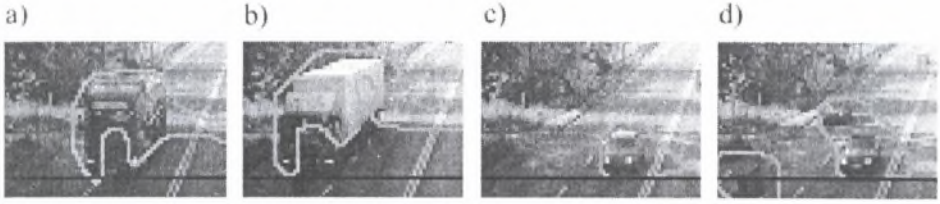


Rys. 2. Algorytm rozpoznawania klasy pojazdu
Fig. 2. The car's class recognition algorithm

Niech P_l i E będą zbiorami składającymi się odpowiednio z n i m punktów. Miara rozbieżności $D(P_l, E)$ jest sumą odległości pomiędzy punktami zbioru P_l i najbliższymi punktami zbioru E:

$$D(P_l, E) = \sum_{i=1}^{m} \min_{j=1...m} d(p_i, e_j), \tag{1}$$

gdzie:
p_i, e_j – odpowiednio elementy zbiorów P_l i E,
$d(p_i, e_j)$ – odległość pomiędzy p_i i e_j.



	$D(P_l, E) / n_l$			
	a)	b)	c)	d)
wzornik $l=1$ (s. osobowy)	1,48 (1,63)	1,71 (1,88)	0,90 (0,99)	2,05 (2,26)
wzornik $l=2$ (s. ciężarowy)	**1,06**	1,83	3,29	3,88

Rys. 3. Przykład klasyfikacji pojazdów
Fig. 3. The example of vehicles classification

Do mierzenia odległości punktów na siatce dyskretnej została wykorzystana tzw. blokowa (city block) definicja odległości. Obliczenia odległości blokowej wymagają mniejszego nakładu zasobów niż obliczenia odległości euklidesowej, ich dokładność jest wystarczająca dla porównywania wzorców. Odległość pomiędzy dwoma punktami na płaszczyźnie o współrzędnych (x_1, y_1) i (x_2, y_2) jest dana wzorem:

$$d((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2| \tag{2}$$

Klasa l^*, do której należy pojazd poddawany detekcji zostaje określona na podstawie zależności:

$$\frac{D(P_{l^*},E)}{n_{l^*}} = \min_{l=1\ldots k} \frac{D(P_l,E)}{n_l} \tag{3}$$

gdzie:
k – liczba uwzględnianych klas pojazdów,
n_l – liczba pikseli wzornika nr l.

Na rys. 3 przedstawiono przykład klasyfikacji pojazdów, przy uwzględnieniu dwóch klas. Dla przykładów a) i b) analizowany obiekt to samochód ciężarowy, w przypadkach c) i d) klasyfikacja dotyczy samochodu osobowego.

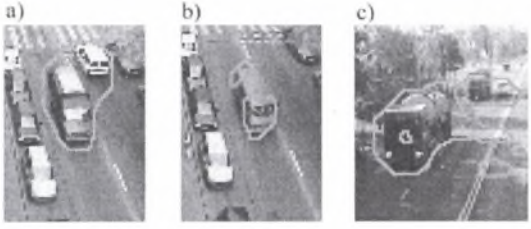
Błędny wynik klasyfikacji wystąpił w przypadku b), w którym wzornik kształtu pojazdu osobowego został dopasowany do fragmentu reprezentacji graficznej kształtu pojazdu ciężarowego. Działanie algorytmu zostało skorygowane poprzez zastosowanie większej wagi rozbieżności wzornika o mniejszym rozmiarze. Wprowadzono współczynniki wagowe: 1,1 dla samochodów osobowych i 1,0 dla samochodów ciężarowych. Obliczono iloczyn współczynników wagowych i wartości miary rozbieżności kształtu. Uzyskane po tej modyfikacji wyniki zamieszczono w nawiasach.

3. ZAKŁÓCENIA I BŁĘDY ROZPOZNAWANIA KSZTAŁTU POJAZDÓW

Przy wyznaczaniu kształtu pojazdów na podstawie sekwencji obrazów z kamery napotyka się wiele problemów utrudniających jednoznaczne zidentyfikowanie pojazdu lub wprowadzających elementy, które mogą zostać błędnie zinterpretowane jako pojazd.

Do typowych zakłóceń procesu rozpoznawania pojazdów zaliczamy:

- manewry mijania się lub wyprzedzania pojazdów na sąsiednich pasach, które powodują łączenie kilku pojazdów w jeden obiekt (rys. 4 a);
- ciemne barwy pojazdów, które słabo odróżnia się od tła, skąd możliwy podział pojazdu na kilka obiektów (rys. 4 b);
- cienie pojazdów i innych obiektów (np. drzew), które mogą być dołączone do kształtu pojazdu lub zostać zinterpretowane jako odrębne obiekty (rys. 4 c);
- częściowo zasłaniające się pojazdy, które mogą się łączyć w jeden obiekt i fałszować rozmiary pojazdów;
- duże rozmiary pojazdów, które mogą powodować błędy detekcji ruchu przez podział obrazu na kilka obiektów;
- gwałtowne zmiany oświetlenia, będące przyczyną błędów wyznaczania obszarów ruchu.



Rys. 4. Błędy rozpoznawania kształtu pojazdów
Fig. 4. Errors of the vehicles' shape recognition

Aby algorytm rozpoznawania pojazdów był odporny na wymienione powyżej zakłócenia i jednocześnie wystarczająco szybki, muszą zostać uwzględnione elementy wiedzy o rozpoznawanych obiektach oraz wynikające z tej wiedzy ograniczenia.

Zastosowanie wzorników pozwala badać przynależność pojazdu do znanych klas, na podstawie porównania kształtu, z uwzględnieniem cech geometrycznych i rozmiarów.

Zbyt małe obiekty zostają przypisane do jednego wzornika i połączone ze sobą, natomiast obiekty o dużych rozmiarach (np. o szerokości znacznie większej niż szerokość pasa ruchu) są dzielone za pomocą wzorników.

Ponieważ pojazdy mogą się poruszać wyłącznie w pewnych określonych obszarach, istnieje możliwość definiowania zakresu zmian współrzędnych obrazu, któremu jest przypisywany wzornik.

Liczne zakłócenia znacznie utrudniają identyfikację pojazdów. Zastosowanie wzorników kształtu umożliwia prostą klasyfikację obiektów. Ponadto pozwala rozwiązać znaczną część wymienionych problemów, bez konieczności stosowania modeli trójwymiarowych uwzględniających przekształcenia 3D, oświetlenie sceny czy wpływ obiektów znajdujących się w otoczeniu jezdni.

4. METODA ROZPOZNAWANIA POJAZDÓW UPRZYWILEJOWANYCH

Kamery wykorzystywane do monitorowania potoków ruchu można również zastosować do rozpoznawania cech pojazdów uprzywilejowanych (np. ambulansów), za pomocą technik analizy obrazu i operatorów kształtu pojazdów.

Rys. 5 przedstawia schemat blokowy algorytmu rozpoznawania pojazdów pogotowia ratunkowego. Dane wejściowe omawianego algorytmu stanowi obraz w 8-bitowej skali szarości. Przetwarzanie wstępne obrazu z kamery obejmuje normalizację oraz redukcję szumów za pomocą dolnoprzepustowego filtru medianowego.

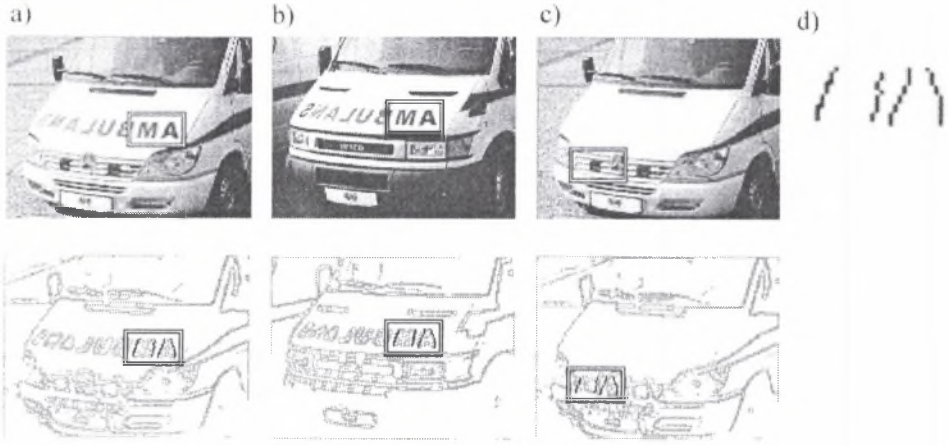
Normalizacja poprawia jasność i kontrast obrazu, funkcja intensywności obrazu przyjmuje wartości z pełnego zakresu 0 – 255. Kolejny krok dotyczy detekcji krawędzi z zastosowaniem filtru Sobela. Uzyskany obraz wynikowy jest odnoszony do zadanej wartości progowej w celu oddzielenia obrazu reprezentującego krawędzie obiektu.

Rys. 5. Schemat blokowy algorytmu rozpoznawania ambulansów
Fig. 5. The block scheme of the algorithm for ambulance recognition

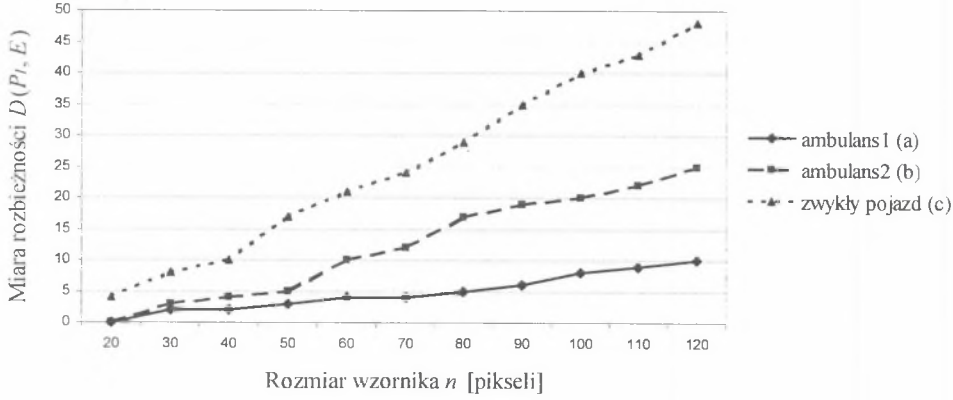
Uzyskana mapa krawędzi jest odnoszona do predefiniowanych wzorców. W przedstawionym przykładzie pojazd został prawidłowo sklasyfikowany jako ambulans. Gdy minimalna wartość miary rozbieżności kształtów jest odpowiednio niska, oznacza to, że kształt wzorcowy został wyodrębniony z mapy krawędzi.

Na rys. 5 pokazano ilustracje procesu identyfikacji ambulansu. Eksperyment przeprowadzono dla trzech różnych obrazów. Obrazy a) i b) przedstawiają dwa ambulanse, natomiast obraz c) przedstawia pojazd z rysunku a), z usuniętym oznaczeniem „AMBULANS". Rozdzielczość badanych obrazów wynosiła 160 x 120 pikseli. Mapy krawędzi wyznaczone dla każdego z nich pokazano w dolnym wierszu na rys. 5. Dwie pierwsze litery napisu „AMBULANS" na masce pojazdu stanowiły podstawę identyfikacji

ambulansu. Rys. 5 d) przedstawia wzorzec, który był dopasowywany podczas procedury detekcji. Jego rozmiar n wynosił 50 pikseli. Prostokątne ramki na zdjęciach wskazują pozycje, w których wzorzec został najlepiej dopasowany – funkcja rozbieżności kształtów $D(P, E)$ charakteryzowała się minimalnymi wartościami dla tych położeń wzornika.



Rys. 6. Przykład procesu identyfikacji ambulansu. Analizowane obrazy (wiersz górny) oraz ich mapy krawędzi (wiersz dolny) oraz wzornik kształtu
Fig. 6. The example of ambulance identification process. Examined images (upper row) and their edge maps (lower row) and pattern



Rys. 7. Wykres miary rozbieżności w funkcji rozmiaru wzornika
Fig. 7. Graph of values of dissimilarity measure for different pattern sizes

Zbadane zostały wzorniki kształtu reprezentowane przez różne liczby pikseli n (rys. 6). Wzornik nie został właściwie dopasowany dla rozmiaru n = 20 pikseli, ponieważ liczba

analizowanych pikseli była w tym przypadku zbyt mała. W pozostałych przypadkach znaki „AM" dla pojazdów a) oraz b) zostały właściwie rozpoznane. Należy podkreślić, że optymalne właściwości algorytmu rozpoznawania uzyskano dla rozmiaru wzornika $n = 50$ pikseli. W tym przypadku jednoznacznie można sklasyfikować pojazd jako ambulans, bazując wyłącznie na wyznaczonych wartościach miary rozbieżności kształtów.

5. PODSUMOWANIE

Operatory kształtu pozwalają wykrywać, klasyfikować i identyfikować pojazdy na podstawie informacji obrazowej. Zaproponowana metoda wzorników kształtu dla binarnych map krawędzi umożliwia prostą i szybką klasyfikację obiektów. W artykule przedstawiono wyniki eksperymentów, w których wykorzystano omawianą metodę do określania typu pojazdu (osobowy lub ciężarowy) oraz do detekcji ambulansów. Wyniki badań potwierdzają przydatność tej metody.

Ze względu na ograniczenia czasowe oraz wpływ zakłóceń, algorytm rozpoznawania typu pojazdów powinien charakteryzować się prostotą obliczeniową i odpornością na błędy detekcji. Konieczne jest uwzględnienie elementów wiedzy dotyczących rozpoznawanych obiektów. Zastosowanie odpowiednich operatorów kształtu umożliwia spełnienie tych wymagań.

Literatura

1. Belongie S., Malik J., Puzicha J.: Matching Shapes, ICCV 2001.
2. Betke M., Makris N., Fast object recognition in noisy images using simulated annealing, MIT, AI Memo-1510 1994.
3. Dailey D., Cathey W., Pumrin S.: An Algorithm to Estimate Mean Traffic Speed Using Uncalibrated Cameras, IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, Vol. 1, No. 2, 2000.
4. Malina W., Ablameyko S., Pawlak W.: Podstawy cyfrowego przetwarzania obrazów, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002.
5. Moon H., Chellappa R., Performance Analysis of a Simple Vehicle Detection Algorithm, Elsevier Preprint 2001.
6. Moon H.: Shape-encoded particle filtering for object detection and tracking, University of Maryland, 2001.
7. Nieniewski M.: Morfologia matematyczna w przetwarzaniu obrazów, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1998.
8. Płaczek B.: Klasy pojazdów w modelu automatów komórkowych dla sterowania ruchem drogowym, Materiały konferencyjne, III Konferencja Telematyka i Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego, Katowice 2003.
9. Veltkamp R.: Shape Matching: Similarity Measures and Algorithms, UU-CS-2001-03, 2001.
10. Veltkamp R., Hagedoorn M.: State-of-the-Art in Shape Matching, Utrecht University, Department of Computing Science 1999.
11. Ziou D., Tabbone S.: Edge Detection Techniques - An Overview, PRIA 8, 537-554, 1998.

Recenzent: Dr hab. inż. Wiesław Kotarski

Abstract

The shape operators allows to detect, classify and identify vehicles on the base of graphical information. The proposed method using shape patterns for binary edge maps, that makes possible easy and fast objects classification. The paper presents results of the experiments, in which the discussed method have been applied for vehicles' type recognition (passenger cars or trucks) and for ambulances detection. Test results confirm usability of this method.

With regard on temporal limitations and various perturbations influence, the vehicle's type recognition algorithm should be characterized with computational simplicity and robustness. It is important to take into account knowledge elements about recognized objects. Appropriate shape operators usage makes possible to fulfill these requirements.