

System inteligentny rozpoznawania znaków drogowych

Streszczenie. Artykuł przedstawia autorską metodę dotyczącą komputerowego rozpoznawania znaków drogowych. Problem badawczy podejmowany w artykule określony został poprzez zdefiniowanie i opisanie sposobu tworzenia wzorców znaków drogowych, wyboru miary podobieństwa obrazów cyfrowych oraz reguł decyzyjnych w systemie rozpoznania. W celu detekcji znaku wykorzystano segmentację obrazu opartą na przestrzeni barw RGB, natomiast rozpoznawanie znaku oparto o detektor narożników. Na ich podstawie wyodrębniane są cechy deskryptora SURF, takie jak: liczba cech, położenie, skala, miara, znak Laplace'a i orientacja. Deskryptor SURF jest inwariantny względem obrotu i zmian skali, wykazuje wysoką powtarzalność detekcji punktów obrazu oraz odporność na jego zakłócenia. Dopasowanie znaku do wzorca opiera się na podstawie minimalnej odległości między wektorami, np. odległości Euklidesa lub Mahalanobisa. Badania poprawności algorytmu detekcji i rozpoznawania znaków drogowych dokonano przy pomocy aplikacji w środowisku MATLAB wraz z dodatkami: Computer Vision System Toolbox oraz Image Processing Toolbox. Otrzymane wyniki badań wskazują na wysoką skuteczność wykrycia i rozpoznania znaków drogowych. Aplikacja została przetestowana na zbiorze czterdziestu rzeczywistych zdjęć testowych znaków drogowych. Poprawnej detekcji nie dokonano tylko dla dwóch zdjęć testowych.

Abstract. The article describes the author's method concerning the detection and recognition of traffic signs. The article investigates the definition and description of the traffic sign patterns, identifying the similarities of the digital pictures and decision criteria in the detection systems [4]. At the beginning for the traffic signs detection the picture segmentation was made which is based on the colour spectrum RGB (red, green, blue). Next in the process of sign recognition the detector of picture corners was used. On this base the following parameters of descriptor SURF were chosen for recognition: number of picture features, its situation, scale, the sign of Laplace's function and picture orientation. The descriptor SURF is invariant with regard to rotation and scale changes, shows the high repetitious of the picture points detection and high resistance on jamming. The adjustment of recognized traffic sign to the appropriate pattern is based on the minimal distance between vectors, that is the Euclidean or Mahalanobis distance. An investigation into the correctness of the detection algorithm were made using an application in the MATLAB environment using Computer Vision System Toolbox and Image Processing Toolbox. Results achieved prove high accuracy in detection and recognition of traffic signs [1]. The application has been tested in 40 real-life traffic sign photos. Only two photos were not identified correctly. (**The road signs recognition in an intelligent car devices**)

Słowa kluczowe: systemy inteligentne, wykrywanie i rozpoznawanie znaków drogowych

Keywords: smart devices, digital pictures, traffic signs recognition

Wstęp

W przeciągu ostatnich kilku lat systemy inteligentne w samochodach stopniowo stają się standardem, a ich możliwości wydają się być nieograniczone. Zainteresowaniem cieszą się przede wszystkim systemy wspomagające kierowcę i zapewniające mu dodatkowe bezpieczeństwo. Możemy zaliczyć do nich systemy zapobiegające blokowaniu się kół podczas hamowania, aktywne tempomaty, aktywne reflektory, systemy potrafiące zatrzymać pojazd w przypadku zagrożenia czy systemy łączności wzywające służby ratunkowe w razie wypadku. Istnieją też systemy, które potrafią monitorować zmęczenie kierowcy oraz jego trzeźwość [10]. Do urządzeń wspomagających kierowcę zalicza się również systemy detekcji i rozpoznawania znaków drogowych [3, 4, 6, 8]. Zwiększa to bezpieczeństwo na drodze ze względu na fakt, że eliminowane są sytuacje, w których kierowca przeoczy znak drogowy. Producenci samochodów jednak nie udostępniają zbyt wielu informacji na temat wykorzystanych technologii, jak i wiarygodnych wyników oceniających skuteczność tych systemów.

System firmy Audi informuje kierowcę o dopuszczalnej w danej chwili prędkości jazdy. Urządzenie wyświetla zarówno aktualnie dopuszczalną prędkość, jak i informacje o tymczasowym ograniczeniu prędkości. Kamera umieszczona z przodu samochodu pozwala rozpoznać także okresowe ograniczenia prędkości.

System firmy BMW śledzi znaki drogowy za pomocą kamery wbudowanej w lusterko wsteczne. W połączeniu z systemem nawigacyjnym rozpoznaje znaki ograniczenia prędkości i zakazu wyprzedzania – zarówno znaki zamontowane przy drodze, jak i te zamontowane nad jezdnią. Wszelkie zakazy wyprzedzania lub ograniczenia prędkości wyświetlane są na tablicy rozdzielczej lub wyświetlaczu w formie znaku drogowego, aż do momentu gdy ograniczenie zostanie zmienione bądź zniknie.

System firmy Mercedes-Benz za pomocą zintegrowanej kamery potrafi rozpoznawać znaki drogowy z

ograniczeniem prędkości oraz pokazuje je na centralnym wyświetlaczu. Dodatkowo system synchronizuje pokazywane ograniczenia prędkości z danymi w systemie nawigacyjnym.

System firmy Opel znany jako Opel Eye posiada szerokokątną kamerę o wysokiej rozdzielczości umieszczoną pomiędzy szybą przednią i lusterkiem wstecznym, która identyfikuje znaki drogowy i oznaczenia pasów drogi. Rozpoznaje znaki drogowy ograniczenia prędkości oraz zakazu wjazdu oraz informuje kierowcę o końcu ograniczenia. System w każdym momencie wyświetla te informacje, które mają największe znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa jazdy, filtruje nadmiar znaków mogący rozproszyć uwagę kierowcy. Jeśli w bezpośrednim sąsiedztwie wykryte zostaną dwa znaki, to ten o szczególnym znaczeniu, na przykład „Zakaz wjazdu” przejmie pierwszeństwo nad ograniczeniem prędkości.

System firmy Volkswagen informuje kierowcę o aktualnych znakach drogowych. Znaki drogowy wykryte przez kamerę są oceniane pod względem wiarygodności, istotności i ważności. Informacje pokazywane są na wielofunkcyjnym wyświetlaczu i/lub na wyświetlaczu systemu nawigacyjnego (rys. 1).



Rys. 1. Ograniczenie prędkości wyświetlone na desce rozdzielczej i ekranie systemu nawigacji

Metoda rozpoznawania znaków drogowych

W celu detekcji danego obiektu na obrazie, jak i dalszego rozpoznania stosuje się wiele technik przetwarzania i analizy obrazów. Przetwarzaniu mogą być poddane obrazy binarne, monochromatyczne i kolorowe.

Jednym z ważniejszych przekształceń punktowych, wykorzystywanym w procesie rozpoznawania, jest binaryzacja obrazu. Celem binaryzacji jest radykalna redukcja ilości informacji zawartej w obrazie. Proces binaryzacji polega na tym, że obraz mający wiele poziomów szarości zamienia się na obraz, którego piksele mają wyłącznie wartości 0 i 1 [9].

Najczęściej wykorzystuje się następujące metody binaryzacji:

- binaryzacja z dolnym progiem

$$(1) \quad L'(m, n) = \begin{cases} 0 & \text{dla } L(m, n) \leq a \\ 1 & \text{dla } L(m, n) > a \end{cases}$$

- binaryzacja z górnym progiem

$$(2) \quad L'(m, n) = \begin{cases} 0 & \text{dla } L(m, n) \geq a \\ 1 & \text{dla } L(m, n) < a \end{cases}$$

- binaryzacja z podwójnym ograniczeniem

$$(3) \quad L'(m, n) = \begin{cases} 0 & \text{dla } L(m, n) \leq a_1 \\ 1 & \text{dla } a_1 < L(m, n) \leq a_2 \\ 0 & \text{dla } L(m, n) > a_2 \end{cases}$$

- binaryzacja warunkowa (binaryzacja z histerezą)

$$(4) \quad L'(m, n) = \begin{cases} 0 & \text{dla } L(m, n) \leq a_1 \\ s & \text{dla } a_1 < L(m, n) \leq a_2 \\ 1 & \text{dla } L(m, n) > a_2 \end{cases}$$

- binaryzacja wielokryterialna – przeprowadzana niezależnie na wielu obszarach obrazu, znacznie różniących się poziomem jasności.

gdzie: $L(m, n)$ - jasność punktu w obrazie źródłowym $L(m, n) \in [0, 2^B - 1]$, $L'(m, n)$ - wartość odpowiedniego punktu w obrazie wynikowym, a - próg binaryzacji, a_1, a_2 - progi binaryzacji, ($a_1 < a_2$), s - wartość sąsiadujących punktów, $s \in \{0, 1\}$.

Przy wykonywaniu binaryzacji obrazu podstawowym problemem jest odpowiedni wybór progu binaryzacji. Najczęściej, w celu znalezienia odpowiedniej wartości progu binaryzacji stosuje się histogram obrazu, który jest prostą i użyteczną funkcją, pozwalającą w sposób globalny scharakteryzować obraz [9].

Histogram można określić jako funkcję $h(i)$ zdefiniowaną w następujący sposób:

$$(5) \quad h(i) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} p\left(\frac{i}{(m,n)}\right), i = 0, 1, \dots, 2^B - 1$$

gdzie: $p\left(\frac{i}{(m,n)}\right) = \begin{cases} 1 & \text{gd } L(m, n) = i \\ 0 & \text{w przeciwnym wypadku.} \end{cases}$

W praktyce oznacza to, że poszczególne składowe funkcji $h(i)$ oznaczają liczbę pikseli o jasności i występujących na obrazie [9].

Czynnością spinającą poziom wstępnego przetwarzania obrazu z analizą poszczególnych obiektów jest proces segmentacji obrazu, który umożliwia wydzielenie obszarów spełniających pewne kryteria jednorodności. Kryteriami tymi mogą być np. kolor obszaru, kształt czy faktura. Segmentację wykorzystuje się między innymi jako etap przygotowawczy do rozpoznawania znaków drogowych, określenia ich relacji przestrzennych czy detekcji ich cech charakterystycznych [9].

Aktualnie najczęściej wykorzystywane techniki segmentacji to:

- segmentacja oparta na kolorach (ang. *color based segmentation*),
- segmentacja oparta na kształtach (ang. *shape based segmentation*),
- segmentacja poprzez wykrywanie krawędzi (ang. *edge detection*).

Segmentacja oparta na kolorach opiera się na poszukiwaniu obszarów obrazu o zadanym kolorze. Dąży się do tego aby otrzymać tylko interesujące nas obszary, a pozostałe usunąć z obrazu. Taki zbinaryzowany obraz najczęściej przyjmuje postać, gdzie obszarom charakterystycznym przypisuje się wartości 1, a elementy tła otrzymują wartości 0.

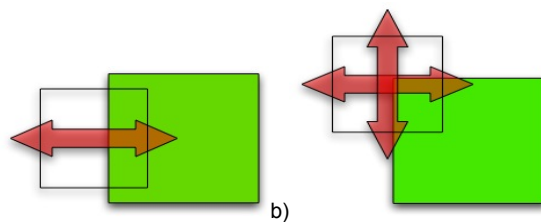
Segmentacja oparta na kształtach opiera się na poszukiwaniu na obrazie kształtów, które przedstawiają interesujące nas obiekty. W przypadku detekcji znaków drogowych mogą być to koła, trójkąty i prostokąty. Dalsze postępowanie jest takie samo jak w segmentacji opartej na kolorach.

Natomiast segmentacja poprzez wykrywanie krawędzi polega na wyszukiwaniu krawędzi między obszarami na obrazie. Pozwala to wydzielić ważne elementy obrazu. Często stosuje się również kombinacje tych metod, np. jednoczesne wykorzystanie segmentacji opartej na kolorach i kształtach.

W celu wyodrębnienia pewnych rodzajów cech i wnioskowania o zawartości obrazu w rozpoznawaniu obrazów stosuje się detekcję narożników (ang. *corner detection*). Detekcja narożników pokrywa się z tematyką wykrywania punktów charakterystycznych (ang. *interest point detection*) [5, 9, 11].

Narożnik (róg) można zdefiniować jako przecięcie dwóch krawędzi. Inna definicja mówi, że narożnik to punkt, dla którego istnieją dwa dominujące i różniące się kierunkiem krawędzie w lokalnym otoczeniu punktu. Punkt charakterystyczny to punkt na obrazie, który ma dobrze zdefiniowaną pozycję i może być dokładnie wykryty. Oznacza to, że punktem charakterystycznym może być narożnik, ale także może to być izolowany punkt lokalnego maksimum lub minimum intensywności, zakończenia linii lub punkt na krzywej, gdzie krzywizna osiąga wartość lokalnie maksymalną [5, 9].

Wykrywanie narożników jest bardzo przydatne dla opisu kształtu i dopasowania. Działa na takiej zasadzie, że umieszcza się małe okno na obrazie, które zostaje przemieszczone w dowolnym kierunku i bada się zmiany intensywności. Jeśli okno znajduje się na płaskiej powierzchni obrazu, wówczas nie ma zmian intensywności, kiedy okno się porusza (rys.2a). Jeżeli okno znajduje się na narożniku, wtedy będą zmiany intensywności we wszystkich kierunkach i stąd wynika, że w tym miejscu musi znajdować się narożnik (rys.2b), [5, 11].



Rys. 2. a) Brak zmian intensywności, b) Wystąpienie zmian intensywności

Deskryptor SURF

Deskryptor SURF (ang. *Speeded Up Robust Features*) jest inwariantny względem obrotu i zmian skali, jednocześnie zachowuje wysoką powtarzalność detekcji punktów obrazu oraz odporność na jego zakłócenia. Zaprezentowany został przez Herberta Bay'a, Tinne Tuytelaars'a i Luca Van Gool [1]. Opisuje rozkład odpowiedzi falki Haar'a (ang. *Haar Wavelet*) w sąsiedztwie punktów charakterystycznych. Wykorzystywane są tylko 64 wymiary, zmniejszając tym samym czas obliczeń cech.

Metodę zaproponowaną przez Bay'a, Tuytelaars'a i Van Gool można podzielić na trzy główne etapy. Pierwszy etap

polega na znalezieniu punktów charakterystycznych (ang. *interest points*) w obrazie, takich jak narożniki, krawędzie czy skrzyżowania typu „T”. Najważniejszą cechą tego etapu jest powtarzalność detekcji, czyli zdolność znalezienia tych samych punktów charakterystycznych w zmieniających się warunkach otoczenia. Następnym etapem jest stworzenie wektora cech reprezentującego sąsiedztwo każdego punktu charakterystycznego. Deskryptor ten musi być reprezentatywny, a jednocześnie odporny na zaszumienie obrazu, błędy wykrycia oraz geometryczne i fotometryczne deformacje.

W ostatnim etapie wektory deskryptora są dopasowywane między różnymi obrazami. Nie jest tu wykorzystywana informacja o kolorze. Dopasowywanie często opiera się na odległości między wektorami, np. odległości Mahalanobisa czy Euklidesa [5]. Wymiar deskryptora ma bezpośredni wpływ na szybkość metody i jej dokładność [1].

Aplikacja komputerowa

Aplikacja komputerowa *Road Sign Recognition* do detekcji i rozpoznawania znaków drogowych na obrazach cyfrowych została wykonana w środowisku *MATLAB* używając *Computer Vision System Toolbox* and *Image Processing Toolbox*. Umożliwia ona wczytanie pliku obrazu cyfrowego w formacie **.jpg*, **.png* lub **.gif*, detekcji i rozpoznania znaków ostrzegawczych oraz znaków zakazu, wyświetlenia wykrytego i rozpoznanego znaku w specjalnym oknie na monitorze oraz wyświetlenia liczby cech wspólnych między wykrytym znakiem, a rozpoznany wzorcem [2].

Środowisko *MATLAB* [7] posiada wbudowane trzy metody wykrywania narożników:

- detekcja narożników Harris'a i Stephens'a,
- metoda minimalnej wartości własnej autorstwa Shi i Tomasi,
- metoda lokalnego porównania intensywności (ang. *Features from Accelerated Segment Test*, FAST) Rosten'a i Drummond'a.

Analiza wyników obliczeń

Systemy detekcji i rozpoznawania znaków drogowych cechują się wykorzystaniem szeregu różnych technik i algorytmów. W celu detekcji znaku drogowego wykorzystano segmentację obrazu opartą na kolorze. Operowano na obrazach w przestrzeni RGB. Zaś rozpoznawanie znaków oparto o detekcję narożników i cechy deskryptora SURF.

Aby określić jakość detekcji i rozpoznawania znaków drogowych zostało zrobionych 40 zdjęć testowych (tab.1). Zdjęcia zostały wykonane kompaktowym aparatem cyfrowym w rozdzielczości trzech megapikseli. Zdjęcia wykonywane były z różnej odległości, pod różnym kątem i w różnych warunkach oświetleniowych [2].

Tabela 1. Liczba zdjęć znaków drogowych w zbiorze testowym

Symbol znaku	Znak drogowy	Liczba zdjęć
A-7	Ustąp pierwszeństwa	6
A-11	Nierówna droga	2
A-11a	Próg zwalniający	7
A-16	Przejście dla pieszych	2
A-21	Tramwaj	1
A-30	Inne niebezpieczeństwo	4
B-1	Zakaz ruchu w obu kierunkach	6
B-2	Zakaz wjazdu	3
B-36	Zakaz zatrzymywania się	9

Poniżej na rysunku 3 przedstawiono przykład poprawnej detekcji i rozpoznania znaków drogowych: Próg zwalniający

i Zakaz wjazdu. Zdjęcia te zostały wykonane z wykorzystaniem lampy błyskowej. Program dokonał poprawnej detekcji i rozpoznania. Moduł rozpoznawania wykrył 315 cech wspólnych między wykrytym znakiem a wzorcem dla znaku Próg zwalniający i 21 cech wspólnych dla znaku Zakaz wjazdu.



Rys.3. Rozpoznanie znaków: Próg zwalniający i Zakaz wjazdu

Jakość modułu detekcji została określona poprzez sprawdzenie ile znaków zostało poprawnie wykrytych, a ile z nich to fałszywe detekcje (tab.2). Uzyskane wyniki są bardzo zadowalające, w przypadku obu grup znaków. Fałszywe wykrycie wystąpiło tylko na jednym zdjęciu. Błąd modułu detekcji polegał na braku wykrycia całego obszaru znaku, co uniemożliwiło jego dalsze poprawne rozpoznanie.

Tabela 2. Wyniki działania modułu detekcji

Grupa znaków	Liczba zdjęć	Wykryte znaki	Fałszywa detekcja
Znaki ostrzegawcze	22	21	1
Znaki zakazu	18	17	1

Test modułu rozpoznawania był bardziej złożony ze względu na możliwość wyboru jednej z spośród trzech metod detekcji narożników. Na podstawie wykrytych narożników wyodrębniane są cechy deskryptora SURF. W tabelach 3 i 4 przedstawione zostały wyniki działania modułu rozpoznawania z wykorzystaniem każdej z metod detekcji narożników. W każdym z przypadków deskryptor SURF działał w ten sam sposób.

Tabela 3. Wyniki działania modułu rozpoznawania dla grupy znaków ostrzegawczych typu A dla różnych metod detekcji narożników

Grupa znaków: Znaki ostrzegawcze			
Metoda	Poprawne rozpoznanie	Fałszywe rozpoznanie	Brak rozpoznania
Harris & Stephens	5	11	6
Shi & Tomasi	7	9	6
Rosten & Drummond	7	9	6

Tabela 4. Wyniki działania modułu rozpoznawania dla dla grupy znaków zakazu typu B dla różnych metod detekcji narożników

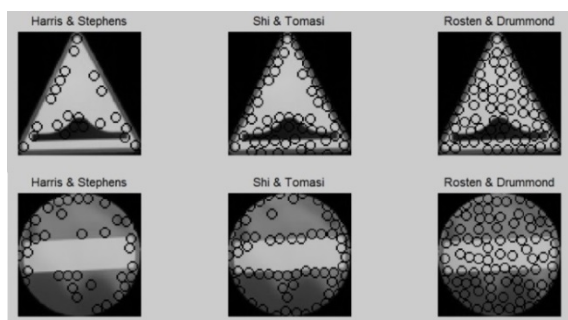
Grupa znaków: Znaki zakazu			
Metoda	Poprawne rozpoznanie	Fałszywe rozpoznanie	Brak rozpoznania
Harris & Stephens	3	5	10
Shi & Tomasi	4	12	2
Rosten & Drummond	4	6	8

Wyniki działania modułu rozpoznawania nie są dostatecznie zadowalające. Niezależnie od wykorzystanej metody cechują się one niewielką liczbą poprawnie rozpoznanych znaków, a znaczną liczbą fałszywych rozpoznań. Wiele jest również wystąpień „braku rozpoznania”, który charakteryzuje się zerową liczbą cech wspólnych pomiędzy wykrytym znakiem a wzorcami.

Dla grupy znaków typu A najlepsze wyniki otrzymywane są przy wykorzystaniu metody Shi & Tomasi oraz Rosten & Drummond, które uzyskały identyczne rezultaty. Natomiast dla znaków typu B najefektywniejsza okazała się metoda Shi & Tomasi.

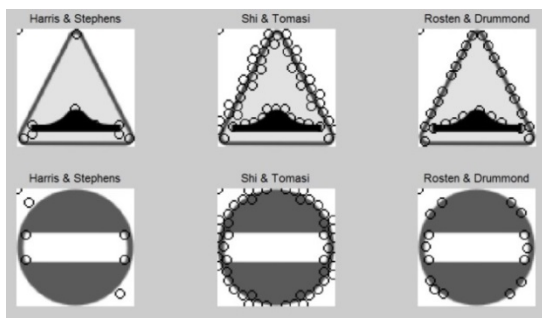
Na rysunku 4 przedstawiono wyniki detekcji narożników poszczególnych metod dla wykrytych znaków: Próg zwalniający oraz Zakaz wjazdu. Natomiast na rysunku 5 przedstawiono wyniki detekcji narożników dla obrazów wzorcowych odpowiadających tym znakom.

Można zauważyć (rys.4), że każda z metod wykrywa inną liczbę narożników. Jest to spowodowane odmiennym podejściem działania każdej z metod. Najwięcej narożników dla przykładowych wykrytych znaków otrzymano przy zastosowaniu metody Rosten'a i Drummond'a. Pozwała to stwierdzić, że jest to metoda najbardziej czuła na zmiany intensywności w obrazie.



Rys.4. Detekcja narożników dla znaków wykrytych

Całkowicie odmiennie prezentują się wyniki detekcji narożników dla obrazów wzorcowych (rys.5). Detektory w tym wypadku wykryły znacznie mniej narożników niż dla obrazów znaków wykrytych. Spowodowane to jest znacznie mniejszą liczbą zmian intensywności, ponieważ obrazy wzorcowe wykonane zostały w programie graficznym i są „idealnym” odwzorowaniem rzeczywistych znaków. Nie występują tu zmiany oświetlenia ani rotacja obrazu.

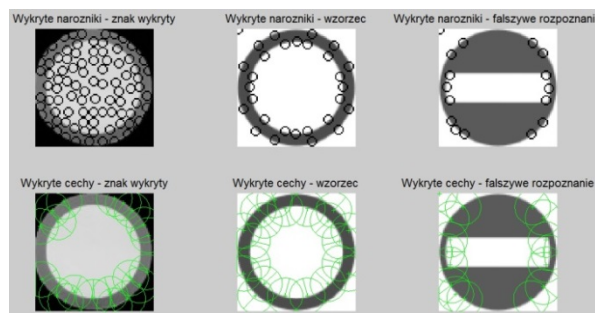


Rys.5. Detekcja narożników dla obrazów wzorcowych

Rysunek 6 przedstawia wyniki detekcji narożników (najefektywniejszą z testowanych metod) dla znaku Zakaz wjazdu oraz wyodrębnienia cech deskryptora SURF odpowiednio dla wykrytego znaku, prawidłowego wzorca oraz wzorca fałszywie rozpoznanego. Można łatwo zauważyć, że część wykrytych narożników jest bardzo podobna dla każdego z obrazów. Wraz z przedstawioną wcześniej niewielką liczbą wykrywanych narożników dla obrazów wzorcowych stanowi to największą wadę proponowanego rozwiązania.

Oświetlenie spotykane w świecie rzeczywistym powoduje powstawanie wielu zmian intensywności w fotografowanym znaku, które nie występują w obrazie wzorcowym. Zmiany te powodują wyodrębnienie cech deskryptora SURF, które nie znajdują się na obrazie wzorcowym.

Takie elementy jak zabrudzenia znaku czy znajdująca się na nim naklejka powodują „generację” dodatkowych zmian intensywności, które nie występują w rzeczywistym obrazie znaku, jaki reprezentowany jest przez wzorec.



Rys.6. Analiza fałszywego rozpoznania dla znaku „Zakaz wjazdu”

Podsumowanie

Opracowana aplikacja systemu detekcji znaków drogowych na podstawie zdjęć cyfrowych cechuje się wysoką skutecznością ich wykrycia. Dla zbioru czterdziestu zdjęć testowych, poprawnej detekcji nie dokonano tylko dla dwóch zdjęć. Z kolei zaproponowane rozwiązanie rozpoznawania znaków drogowych oparte o dopasowywanie cech deskryptora SURF, wyodrębnionych na podstawie wykrytych narożników, jest bardzo czułe na zmiany oświetlenia występujące w świecie rzeczywistym.

Skutkuje to licznymi zmianami intensywności, powodując detekcję kolejnych narożników, które nie występują w obrazach wzorcowych. Również warunki pogodowe, wysokość czy kąt pod jakim umieszczony jest znak mają wpływ na jego detekcję i rozpoznanie. Często znaki przysłonięte są przez inne obiekty, posiadają zabrudzenia czy z biegiem czasu ich kolor błednie. Wiele samochodowych systemów rozpoznawania znaków drogowych skupia się na analizie tylko określonej grupy znaków.

Autor: dr inż. Jan Matuszewski, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Radioelektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: jmatuszewski@wat.edu.pl

LITERATURA

- [1] Bay H., Tuytelaars T., Luca Van Gool: *SURF - Speeded Up Robust Features*. ECCV 2006, 9th European Conference on Computer Vision, Graz, Austria, May 2006.
- [2] Bratkowski M.: *Opracowanie programowej aplikacji do detekcji i rozpoznawania znaków drogowych*. Praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2012.
- [3] Broggi A., Cerri P., Medici P., Hisio G.: *Real Time Road Signs Recognition in Intelligent Vehicles*. Symposium, Istanbul, Turkey, June 2007, pp. 981-986.
- [4] Dyczkowski K., Gadecki P., Kułakowski A.: *Traffic Signs Recognition System*. Proceedings of the World Conference on Soft Computing, San Francisco State University, USA, 2011.
- [5] Harris C., Stephens M.: *A Combined Corner and Edge Detector*, Proceedings of 4th Alvey Vision Conference, 1988.
- [6] Hoferlin B., Zimmermann K.: *Towards Reliable Traffic Sign Recognition*; In IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Xi'an, Shaanxi, China, June 2009.
- [7] MathWorks Company: *Matlab Product Help*; Matlab R2012a (7.14.0.739).
- [8] Shneier M.: *Road Sign Detection and Recognition*; In IEEE Computer Society International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Gaithersburg, June 2005. National Institute of Standards and Technology.
- [9] Tadeusiewicz R., Kohoroda P.: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*. Wyd. Fundacji Postępu Telekomunikacji, Krakow 1997.
- [10] Materiały internetowe: www.technikajazdy.info/inteligentna-technika-samochodowa.
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/Corner_detection