

Cena 33,60 zł (w tym 5% VAT)

# Elektronika

nr 4/2015

ISSN 0033-2089

konstrukcje • technologie • zastosowania

Miesięcznik naukowo-techniczny Stowarzyszenia Elektryków Polskich

Wydawnictwo SIGMA & NOT

## SPA 2015

### SIGNAL PROCESSING

ALGORITHMS, ARCHITECTURES, ARRANGEMENTS, AND APPLICATIONS



Poznan,  
September 23-25  
2015

Poznan  
University  
of Technology

Center for  
Mechatronics  
Biomechanics  
and  
Nanoengineering

[www.spaconference.org.pl](http://www.spaconference.org.pl)



## ZESPÓŁ REDAKCYJNY

prof. dr hab. inż. Jerzy Klamka – redaktor naczelny  
Bożena Lachowicz – sekretarz redakcji

Stały współpracownik: mgr inż. Cezary Rudnicki,  
dr Ewa Papis-Polakowska

Redaktorzy tematyczni: mgr inż. Wiesław Jabłoński,  
mgr inż. Krzysztof Kowalski

Adres redakcji: ul. Czackiego 3/5, lok. 108 00-043 Warszawa,  
tel./fax (22) 827 38 79; tel.: (22) 826 65 64,  
e-mail: [elektronika@red.pl.pl](mailto:elektronika@red.pl.pl), [www.elektronika.orf.pl](http://www.elektronika.orf.pl)

Zamówienia na reklamę przyjmuje redakcja lub Dział Reklamy i Marketingu, ul. Ratuszowa 11, 00-950 Warszawa, skr. 1004,  
tel./fax (22) 827 43 65, e-mail: [reklama@sigma-not.pl](mailto:reklama@sigma-not.pl)

Kolportaż: ul. Ku Wiśle 7, 00-716 Warszawa, tel. (22) 840 35 89;  
tel./fax: (22) 840 59 49, (22) 891 13 74, e-mail: [kolportaz@sigma-not.pl](mailto:kolportaz@sigma-not.pl)

## RADA PROGRAMOWA

prof. dr hab. inż. Władysław Torbicz (PAN) – przewodniczący

dr hab. inż. Jerzy Czajkowski, prof. dr hab. inż. Andrzej Dziedzic, prof. Orla Feely, dr hab. inż. Krzysztof Górecki, dr inż. Józef Gromek, mgr inż. Jan Grzybowski, prof. dr hab. Ryszard Jachowicz, prof. dr hab. Włodzimierz Janke, [prof. dr hab. Włodzimierz Kalita], inż. Stefan Kamiński, prof. dr hab. inż. Marian P. Kaźmierkowski, dr inż. Wojciech Kocańda, dr Elias B. Kpodzo, prof. dr hab. Bogdan Kosmowski, dr inż. Zygmunt Łuczynski, prof. Wiesław Marszałek, prof. dr hab. inż. Józef Modelski, prof. dr hab. Tadeusz Morawski, prof. Spyridon G. Mouroutsos, prof. dr hab. Bohdan Mroziewicz, prof. dr hab. Andrzej Napieralski, prof. Yul Yunazwin Nazarrudion, prof. dr hab. Tadeusz Pałko, prof. dr hab. inż. Marian Pasko, prof. dr hab. Józef Piotrowski, prof. Roberto Rojas-Cessa, prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk, dr hab. inż. Grzegorz Różański, prof. dr hab. inż. Edward Sędek, prof. dr hab. inż. Zdzisław Trzaska, prof. dr hab. inż. Marian Wnuk, prof. dr hab. inż. Janusz Zarębski

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego,  
za opublikowane artykuły przyznaje 6 punktów.

W ocenie Index Copernicus – 6,04  
ponadto są indeksowane w bazach danych:  
BazTech, INSPEC oraz OCLC – WorldCat:  
<http://www.worldcat.org/title/elektronika/oclc/10475423>



Redakcja współpracuje z Polską Sekcją IEEE

Wydawnictwo Czasopism  
i Książek Technicznych

**SIGMA NOT** Sp. z o.o.

00-950 Warszawa, skr. poczt. 1004  
ul. Ratuszowa 11, tel. 22 818 09 18  
e-mail: [informacja@sigma-not.pl](mailto:informacja@sigma-not.pl)  
Internet: <http://www.sigma-not.pl>

Indeks 35722

Nakład do 2000 egz.  
Skład i druk: Drukarnia SIGMA-NOT Sp. z o.o.

Artykuły publikowane w Elektronice są rejestrowane w bazie danych CrossRef. Każdemu artykulowi przyznawany jest numer identyfikacyjny DOI (*Digital Object Identifier*). Autorzy artykułów publikowanych w Elektronice są proszeni do stosowania numerów DOI w wykazach literatury, wszędzie tam gdzie jest to możliwe.

## SPIS TREŚCI • CONTENTS

**Automatyczne systemy wizyjne usprawniające ruch drogowy i zwiększające bezpieczeństwo** (Automatic vision systems for improvement of traffic efficiency and safety) – Balcerek J., Konieczka A., Piniarski K., Maćkowiak K., Marciniak T., Dąbrowski A. . . . . 7

**Music genre classification applied to bass enhancement for mobile technology** (Inteligentna poprawa brzmienia niskich częstotliwości w urządzeniach mobilnych z zastosowaniem automatycznej klasyfikacji gatunków muzycznych) – Hoffmann P., Kostek B. . . . . 14

**Computer aided determination of singing voice sonority** (Komputerowo wspomagane określanie dźwięczności głosu śpiewaczego) – Półroliczak E. . . . . 20

**Performance evaluation of parallel background subtraction on GPU platforms** (Badanie wydajności zrównoleżonego algorytmu odejmowania tła na platformach GPU) – Szwoch G. . . . . 23

**Evolution method aided by knowledge base to improve learning effects of some neural networks** (Wspomagana bazą wiedzy metoda ewolucyjna polepszająca efekty uczenia niektórych sieci neuronowych) – Majewski J., Wojtyna R. . . . . 28

**Analysis of selected steganography algorithms** (Analiza wybranych algorytmów steganograficznych) – Piotrowski Z., Wojtuń J. . . . . 31

**TECHNIKI MIKROFALOWE I RADIOLOKACJA: Analiza algorytmu automatycznego rozpoznawania modulacji na potrzeby radia kognitywnego oraz systemów rozpoznania radioelektronicznego** (Analysis of Automatic Modulation Recognition Algorithm for Cognitive Radio (CR) and Radio intelligence (SIGINT)) – Walenckowska M., Kawalec A. . . . . 36

**Analiza możliwości wykorzystania BSP jako elementu systemu łączności i rozpoznania elektronicznego – zastosowania praktyczne** (UAV as an element of communication and electronic reconnaissance system – practical applications) – Cyrek J., Komorniczak W., Dudczyk J., Kawelec A. . . . . 40

**TECHNIKA INFORMATYCZNA: iBeacons – mobilne usługi lokalizacyjne** (iBeacons – mobile localization services) – Czajkowski R., Nowakowski W. . . . . 47

**Czasopisma NT, Indeksy, Cytowania, Bazy danych, Wydawnictwa Cyfrowe, Bibliometria. Część 4** (Technical Journals, Indexes, Citations, Data bases, Digital Publishing, Bibliometry. Part 4) – Romaniuk R.S. . . . . 51

# Automatyczne systemy wizyjne usprawniające ruch drogowy i zwiększające bezpieczeństwo

mgr inż. JULIAN BALCEREK, mgr inż. ADAM KONIECZKA, mgr inż. KAROL PINIARSKI,  
mgr inż. KRZYSZTOF MAĆKOWIAK, dr inż. TOMASZ MARCINIAK,  
prof. dr hab. inż. ADAM DĄBROWSKI

Poznań University of Technology, Faculty of Computing, Chair of Control and Systems Engineering,  
Division of Signal Processing and Electronic Systems

Utrudnienia w ruchu drogowym na obszarach zurbanizowanych mają znaczny wpływ na zanieczyszczenie powietrza, wydłużają czas podróży i zwiększają poziom stresu wśród kierowców oraz innych użytkowników dróg, a zatem negatywnie wpływają na bezpieczeństwo ruchu. Piesi są szczególnie narażeni na potrącenia przez pojazdy wyposażone w napędy hybrydowe lub elektryczne, które są tak ciche w porównaniu z większością innych pojazdów, że piesi mogą je przeoczyć. Takie pojazdy nie są słyszane z odpowiedniej odległości zwłaszcza przy małych prędkościach.

Zaproponowane w tym artykule automatyczne systemy wizyjne mające na celu usprawnienie ruchu ulicznego i zapewnienie bezpieczeństwa pieszych mogą stanowić część infrastruktury drogowej lub mogą być zamontowane w pojazdach. Systemy takie, w wersji mobilnej, mogą być używane bezpośrednio przez pieszych, zwłaszcza przez osoby starsze czy słabo widzące.

Częścią infrastruktury drogowej jest m.in. system monitoringu wykorzystujący kamery. Operator monitoringu może być wspomagany przez wiele narzędzi służących do wykrywania określonych zagrożeń lub zwiększających jego koncentrację. Możliwe jest automatyczne wykrywanie m.in.:

- pojazdów lub pieszych niestosujących się do sygnalizacji świetlnej
- pojazdów, które wjechały na skrzyżowanie, nie mogąc go opuścić
- pojazdów poruszających się drogą jednokierunkową w niewłaściwym kierunku
- pojazdów, których jazda może zagrażać pieszym [1, 2].

W sytuacjach wymagających od operatora zwiększonego skupienia na wybranych obiektach obserwowanej sceny takich jak ludzie lub pojazdy, pomocne mogą być wizualizacje stereowizyjne [3, 4]. Sygnał wizyjny może również wspomagać pracę operatora telefonu alarmowego [5].

Współczesne pojazdy wyposaża się w wiele systemów wspomagających kierowcę. Są wśród nich systemy do wykrywania obiektów znajdujących się w tzw. „martwym polu” kierowcy, do rozpoznawania znaków drogowych, linii wyznaczających granice pasa ruchu, rodzaju nawierzchni, do wykrywania stanów zmniejszonej uwagi kierowcy, do utrzymywania zależnej od prędkości, stałej odległości od poprzedzającego pojazdu, czy też do automatycznego parkowania [1].

Jednym z problemów ruchu w środowisku miejskim jest niska przepustowość skrzyżowań wyposażonych w sygnalizację świetlną. Liczbę samochodów przejeżdżających podczas trwania zielonego światła można zwiększyć, gdyż często kierowcy przegapiają moment jego zapalenia i ruszają z opóźnieniem. Dodatkowo, nawet o ponad sekundę, ruszenie opóźniają systemy wyłączające silnik pojazdu podczas postoju [6]. Wykrywanie światła sygnalizacji świetlnej opisano już w [7, 8], natomiast w niniejszym artykule zaproponowano automa-

tyczną metodę wykrywania zmiany światła z czerwonego na zielone, tak aby pojazdy mogły ruszać bez niepotrzebnych opóźnień.

Ważnym problemem jest właściwe stosownie przez kierowców tzw. „metody zamka błyskawicznego” w sytuacjach, kiedy np. dwa pasy ruchu do jazdy w tym samym kierunku zbiegają się do jednego. Pojazdy z kończącego się pasa muszą zjechać na sąsiedni. Jeśli każdy z kierowców jadących pasem, który się nie kończy, wpuści tuż przed zwężeniem dokładnie jeden pojazd z sąsiedniego pasa, wyrównane zostaną prędkości pojazdów na obu pasach i ruch będzie odbywał się płynniej, a zator zmniejszy się [9]. Niestety, kierowcy nie zawsze stosują się do tej zasady. Algorytmy do wykrywania światła stopu i kierunkowskazów pojazdów poprzedzających są opisane w [10, 11].

Autorzy niniejszego artykułu proponują system do automatycznej detekcji kierunkowskazu auta zmieniającego pas ruchu. System może działać w aucie, które nie zmienia pasa ruchu. Stosownie do sytuacji może wspomagać zwiększenie odległości od pojazdu poprzedzającego, by zachować miejsce tylko dla jednego pojazdu zmieniającego pas ruchu i umożliwić wjazd kolejnemu.

Proponowane mechanizmy, zintegrowane z innymi równoległymi rozwijanymi, mogą przyczynić się do konstruowania w pełni autonomicznych pojazdów.

Zgodnie ze współczesną ideą tzw. Internetu przedmiotów (z ang. *Internet of Things*, IoT), urządzenia poprzez Internet „obserwują świat” i pozyskują dane za pomocą odpowiednich czujników, przetwarzają i interpretują informacje, odpowiednio reagują, przesyłają dane przez sieć i pozostają w interakcjach z użytkownikami. Zastosowanie tej koncepcji może także służyć zwiększaniu bezpieczeństwa ludzi [12]. Obecnie najpowszechniej stosowanym urządzeniem mobilnym jest smartfon, który może m.in. pełnić rolę centrum sterowania innymi urządzeniami oraz może monitorować funkcjonowanie ludzkiego organizmu. Przenośnym urządzeniem jest również coraz popularniejszy smartwatch, czyli rozbudowany elektroniczny zegarek naręczny wyposażony w system operacyjny, umożliwiający instalowanie aplikacji i komunikujący się ze smartfonem użytkownika. Ideą Internetu przedmiotów mogą wypełniać także inteligentne ubrania, których funkcjonalność jest rozszerzana o wbudowane w nie urządzenia elektroniczne, takie jak kable, anteny, czujniki tlenu, pulsu, temperatury i pozycji. Obecnie takie ubrania są już wykorzystywane przez wojsko i straż pożarną [13, 14, 15]. Inteligentne ubrania pozwalają turystom monitorować stan organizmu i rejestrować te informacje [16]. Umożliwiają także automatyczną regulację temperatury ciała i monitorują funkcje życiowe osób przewlekle chorych lub starszych [17, 18]. Ponadto, np. system ratunkowy RECCO używa pasywnych odbiorników zintegrowanych z odzieżą w celu lokalizacji osób zasypanych lawiną [19].

W niniejszym artykule opisano automatyczny system wspomagający pieszych w zauważeniu nadjeżdżających pojazdów, który może stanowić aplikację na smartfon odpowiednio zamocowany na ubraniu lub może być wbudowany bezpośrednio w odzież.

Artykuł został podzielony na następujące rozdziały: po niniejszym wprowadzeniu, w drugim rozdziale przedstawiono koncepcje autorskich automatycznych systemów do usprawnienia ruchu ulicznego i zwiększających bezpieczeństwo pieszych. W trzecim rozdziale opisano implementacje algorytmów w środowisku Matlab, a w czwartym przebieg i wyniki eksperymentów przeprowadzonych na autorskiej bazie nagrań wideo. Wnioski końcowe i podsumowanie zostały opisane w ostatnim, piątym rozdziale.

## Koncepcja systemów detekcji

### System do wykrywania zmiany światła sygnalizacji ulicznej

Sensor wizyjny (kamera), który umożliwiłby wykrycie zmiany światła, musi być umieszczony w takim miejscu nadwozia samochodu, aby obejmował swoim zasięgiem sygnalizatory. Średnica lamp w typowym sygnalizatorze ogólnym do sterowania ruchem jest równa 300 mm [20], więc ich światło jest stosunkowo łatwe do zarejestrowania z niewielkiej odległości.

Proponowany system działa w następujący sposób: wykrywane jest zapalone czerwone światło. Po pewnym czasie czerwone światło wyłącza się i zapala się zielone. Żółte światło jest pomijane, gdyż w niektórych przypadkach nie jest wyświetlane przed zapaleniem zielonego. Wykrycie zielonego światła oznacza, że pojazd niezwłocznie powinien ruszyć. Ta informacja musi być przekazana do odpowiednich urządzeń pokładowych (np. systemu włączającego silnik w pojeździe, w którym jest on automatycznie wyłączany podczas postoju), które powinny przygotować samochód do natychmiastowego ruszenia. Ponadto kierowca może zostać ostrzeżony za pomocą odpowiedniego komunikatu dźwiękowego lub graficznego. Dzięki szybkiemu ruszeniu, na jednym cyklu zielonego światła przejedzie więcej pojazdów. Koncepcja zaproponowanego systemu jest pokazana na rys. 1.



Rys. 1. Koncepcja systemu wspomagającego kierowcę w bezwłocznym ruszeniu pojazdu  
Fig. 1. Concept of the driver assistance system for starting the vehicle movement without delay

### System wykrywający włączenie kierunkowskazów

System wykrywający włączenie kierunkowskazów przez pojazdy zmieniające pas ruchu wymaga zastosowania kamer, których pole widzenia obejmuje obszar przed pojazdem oraz częściowo na lewo i prawo od niego. Pole widzenia musi być na tyle duże, aby mógł się w nim znaleźć przynajmniej kierunkowskaz pojazdu poprzedzającego, którego kierowca zamierza zmienić pas. Wykrywane muszą być kierunkowskazy świecące na pomarańczowo, umieszczone na lusterku, błotniku lub w tylnym narożniku karoserii. W przypadku wykrycia włączenia kierunkowskazu powinna zostać podjęta jedna z dwóch poniższych decyzji:

- jeśli byłby to pierwszy samochód, który zmienia pas ruchu i będzie wjeżdżał przed pojazd wyposażony w proponowany system, to należy umożliwić mu wykonanie tego manewru. Prędkość powinna zostać zredukowana, by przygotować dla niego miejsce,
- jeśli byłby to kolejny pojazd, który zmienia pas ruchu, to pojazd wyposażony w proponowany system powinien utrzymać odległość od poprzedzającego pojazdu, nawet kosztem zwiększenia prędkości, aby manewr zmiany pasa nie był możliwy. W ten sposób także zostanie przygotowane z tyłu miejsce dla pojazdu, którego kierowca zamierza zmienić pas ruchu.

Dostosowanie prędkości do podjętej decyzji i aktualnej sytuacji drogowej może być wykonane albo automatycznie albo przez kierowcę, któremu zostanie to odpowiednio zasugerowane, np. za pomocą grafiki, dźwięku, czy też wibracji na kierownicy. Idea zaproponowanego systemu jest pokazana na rys. 2.



Rys. 2. Koncepcja systemu wspomagającego kierowcę we właściwym stosowaniu „metody zamka błyskawicznego”  
Fig. 2. Concept of the driver assistance system for proper use the “late merge scheme”

### System ostrzegania pieszych przed nadjeżdżającymi pojazdami

Ludzie z dysfunkcjami narządu wzroku lub słuchu, a także starsi i zmęczeni miewają problemy z zauważeniem pojazdów, które zbliżają się do nich od tyłu. Dotyczy to szczególnie wspomnianych pojazdów o napędzie hybrydowym lub elektrycznym, które są znacznie cichsze niż pojazdy z napędem konwencjonalnym. Często ludzie w ostatniej chwili zauważają samochód i wykonując nieoczekiwany, chaotyczny ruch mogą doprowadzić do niebezpiecznej sytuacji na drodze. W takim wypadku pomocne byłoby urządzenie mobilne wykrywające, z odpowiednim wyprzedzeniem, nadjeżdżający pojazd. Dźwiękowa lub wibracyjna informacja ostrzegłaby pieszego o potencjalnym niebezpieczeństwie i wpływałaby na jego właściwe zachowanie. Idea zaproponowanego systemu jest pokazana na rys. 3.



Rys. 3. Koncepcja systemu wspomagającego pieszego w rozpoznawaniu nadjeżdżających pojazdów  
Fig. 3. Concept of the pedestrian assistance system for detection of approaching vehicles

## Implementacja systemów

### System do wykrywania zmiany światła sygnalizacji świetlnej

Schemat algorytmu do wykrywania zmiany światła z czerwonego na zielone jest pokazany na rys. 4.



Rys. 4. Schemat algorytmu do wykrywania zmiany światła sygnalizacji ulicznej  
Fig. 4. Schema of traffic lights change detection algorithm

Po wczytaniu ramki wideo (o rozdzielczości 320×240 pikseli) jej kolory są przekształcane z modelu RGB na model HSV [21]. Wartości R, G i B są dzielone przez 255, aby przenieść je z zakresu 0...255 do zakresu 0...1. Następnie jest przeprowadzana binaryzacja koloru czerwonego (wykrycie obiektu pierwszego planu). Założono i eksperymentalnie zweryfikowano, że aby kolor został poprawnie uznany za czerwony kolor sygnalizacji świetlnej, równocześnie jego składowe muszą należeć do następujących zakresów:  $H \in (0,70; 1,00)$ ,  $S \in (0,20; 1,00)$  i  $V \in (0,60; 1,00)$ . Następnie jest przeprowadzana operacja morfologicznego zamknięcia elementem strukturalnym w kształcie dysku o promieniu równym 10 pikseli w celu zminimalizowania błędów klasyfikacji pikseli obiektu pierwszego planu podczas binaryzacji. Następnie okrąg, który odpowiada światłu czerwonemu, jest wykrywany przy pomocy transformacji Hougha okręgów [22].

Transformacja Hougha okręgów (ang. *Circle Hough Transform*, CHT) służy do wykrywania okrągłych obiektów na obrazie. W tym celu zakłada się, że piksele pierwszego planu o wysokim gradiencie (potencjalnie tworzące krawędź poszukiwanego okrągłego obiektu) leżą na okręgu opisanym równaniem

$$(x - a_x)^2 + (y - a_y)^2 = R^2, \quad (1)$$

gdzie  $a_x$  i  $a_y$  są współrzędnymi środka tego okręgu, a  $R$  jego z góry określonym promieniem. Każdemu takiemu pikselowi w dwuwymiarowej przestrzeni współrzędnych  $a_x$  i  $a_y$  środka poszukiwanego okręgu (tj. w tzw. przestrzeni parametrów) na podstawie zależności (1) odpowiada okrąg o promieniu  $R$  i środku  $(x, y)$ . Tworzące go komórki w zdyskretyzowanej przestrzeni parametrów (traktowane jako akumulatory) podlegają inkrementacji. Po wykonaniu analogicznych inkrementacji dla wszystkich pikseli tworzących krawędź analizowanego obiektu wybiera się akumulator o maksymalnej wartości, który jest potencjalnym środkiem  $(a_x, a_y)$  poszukiwanego okręgu o założonym promieniu  $R$ . Następnie poszukuje się maksymalnej wartości akumulatorów uzyskanych dla różnych promieni i na tej podstawie określa się właściwy promień okręgu. W istocie mamy przecież do czynienia z trójwymiarową przestrzenią parametrów.

W opisywanym systemie ustawiono zakres wyszukiwania okręgów o promieniach od 6 do 16 pikseli. Oznacza to, że dla sekwencji wideo o rozdzielczości 320×240 pikseli powierzchnia czerwonego światła musi wynosić od ok. 0,15% do 0,92% obszaru pojedynczej ramki obrazu. Poszukiwane okręgi powinny być jaśniejsze niż tło wokół nich, a czułość analizy (z zakresu od 0 do 1) ustawiono na 0,85. Należy przy tym zaznaczyć, że większe wartości czułości oznaczają, że wykrywane są bardziej zdeformowane okrągłe objekty. W przypadku braku wykrycia okręgu analizowana jest kolejna ramka.

Jeżeli czerwone światło nie zostało wykryte dla bieżącej ramki, ale zostało wykryte dla poprzednich, to wykonywana

jest procedura wykrywania zielonego światła. Jest ona podobna do tej, którą stosuje się dla światła czerwonego. Wczytywana jest ramka wideo, model RGB jest transformowany do reprezentacji HSV i przeprowadzana jest binaryzacja dla koloru zielonego. Aby został wykryty kolor zielony, składowe muszą należeć do następujących zakresów:  $H \in (0,45; 0,55)$ ,  $S \in (0,30; 1,00)$  i  $V \in (0,40; 1,00)$ . Następnie przepro-

wadzana jest operacja morfologicznego zamknięcia z obiektem strukturalnym o kształcie dysku. Ponownie przy pomocy transformacji Hougha okręgów wykrywany jest okrąg, który odpowiada światłu zielonemu. Jeśli zielony okrąg nie zostanie wykryty, to procedura detekcji jest powtarzana. Jeśli zielony okrąg zostanie wykryty, to zostaje wyświetlone ostrzeżenie o wykryciu zmiany światła z czerwonego na zielone.

### System wykrywający włączenie kierunkowskazów

Schemat algorytmu do wykrywania kierunkowskazów jest pokazany na rys. 5.

Po wczytaniu ramki wideo jej przestrzeń barw RGB jest transformowana do reprezentacji HSV. W celu wykrycia tylnych lamp pozycyjnych jest przeprowadzana binaryzacja dla następujących zakresów wartości poszczególnych składowych:  $H \in (0,00; 0,01) \cup (0,93; 1,00)$ ,  $S \in (0,27; 1,00)$  i  $V \in (0,31; 1,00)$ . Następnie wykonuje się operację morfologicznego zamknięcia z obiektem strukturalnym w kształcie dysku. Analogicznie jest też przeprowadzana binaryzacja oraz operacja zamknięcia w celu wykrycia świecenia kierunkowskazów. Przy binaryzacji używane były następujące zakresy wartości składowych:  $H \in (0,05; 0,24)$ ,  $H \in (0,55; 1,00)$  i  $H \in (0,55; 1,00)$ .



Rys. 5. Schemat algorytmu do wykrywania włączonych kierunkowskazów  
Fig. 5. Schema of algorithm for detection of turn signaling lights

W rezultacie powyższych operacji powstają dwie mapy binarne: tylnych lamp pozycyjnych i kierunkowskazów. Obszar lamp pozycyjnych jest odejmovany od obszaru kierunkowskazów jeśli mają części wspólne.

W kolejnym kroku na mapie świateł pozycyjnych znajdowane są połączone obszary, czyli takie, które mogą stanowić obiekty. Potem dla obszarów lamp pozycyjnych wyznacza się takie parametry jak: środek masy, liczbę pikseli i średnicę koła o tej samej powierzchni.

Dla znalezionych połączonych obszarów w mapie świateł pozycyjnych, kierunkowskaz jest poszukiwany w kwadratowych powierzchniach o środkach w środkach mas lamp pozycyjnych. Boki kwadratów mają długości równe średnicy koła pomnożonej przez stałą wartość, która jest współczynnikiem odległości pomiędzy światłem pozycyjnym i kierunkowskazem. Następnie, we wskazanym obszarze, poszukiwane są połączone obszary kierunkowskazów. Wyznaczane są środki masy obszarów kierunkowskazów. Na końcu wykryte kierunkowskazy są oznaczane na obrazie.

### System ostrzegania pieszych przed nadjeżdżającymi pojazdami

Schemat algorytmu do wykrywania nadjeżdżających pojazdów jest pokazany na rys. 6.



Rys. 6. Schemat algorytmu do wykrywania nadjeżdżających pojazdów  
Fig. 6. Schema of algorithm for detection of approaching vehicle

Analiza histogramu wskazuje na to, że na podstawie wartości w przestrzeni barw RGB są separowalne włączone przednie reflektory w samochodach i pozostałe elementy

obrazu. Nie jest to jednak wystarczający warunek detekcji, ponieważ na obrazie mogą znajdować się np. inne światła lub inne bardzo jasne obiekty. Dlatego należy również uwzględnić kształty obiektów. Do ich rozpoznania także można wykorzystać transformatę Hougha [23].

Proponowany algorytm najpierw wczytuje ramkę i odcina jej górną część, w której światła pojazdów z pewnością się nie pojawiają. Dzięki temu zmniejsza się liczbę koniecznych obliczeń. Następnie otrzymane obrazy są konwertowane do skali szarości. W kolejnym kroku są binaryzowane z progiem 0,8 (wybrany z zakresu od 0 do 1). Piksele o wartościach większych od progu są zamieniane na białe, a pozostałe – na czarne.

Okręgi, które odpowiadają przednim reflektorom pojazdów, są także wykrywane przy użyciu opisanej wcześniej transformacji Hougha okręgów. Ustawiono zakres wyszukiwanych promieni od 1 do 10 pikseli. Oznacza to, że dla ramek o rozdzielczości 320×240 pikseli powierzchnia reflektora musi wynosić od ok. 0,004% do 0,41% ich powierzchni. Poszukiwane okręgi powinny być jaśniejsze niż tło wokół nich. Stosowano czułość detekcji wynoszącą 0,95 dostępnego zakresu. Zastosowanie dużej wartości czułości powoduje wykrycie bardziej zdeformowanych okrągłych obiektów, co jest konieczne do wykrycia kształtu reflektorów pojazdów, które zazwyczaj nie są typowymi okręgami. Jeżeli nastąpi jednoczesne wykrycie dwóch reflektorów, zostanie wygenerowane graficzne ostrzeżenie o nadjeżdżającym pojeździe.

### Przebieg i wyniki eksperymentów

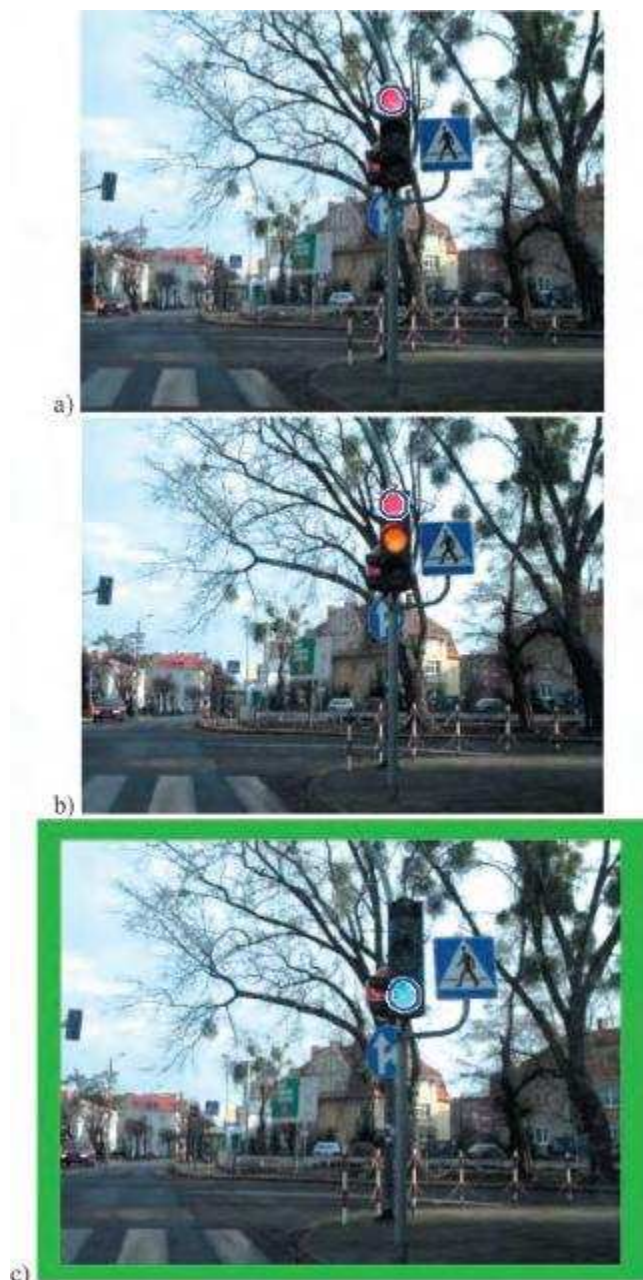
#### System do wykrywania zmiany świateł sygnalizacji ulicznej

Baza danych utworzona dla systemu wykrywającego zmianę świateł zawiera 50 sekwencji wizyjnych o rozdzielczości 320×240 pikseli. Ich łączny czas trwania to ok. 14 minut. Filmy zostały wykonane przy użyciu skierowanej do przodu kamery zamontowanej za przednią szybą samochodu osobowego. Nagrania uzyskano w różnych warunkach oświetleniowych – w nocy i w ciągu dnia (podczas słonecznej i pochmurnej pogody). Na każdym nagraniu, podczas postoju pojazdu, jest widoczny sygnalizator świetlny, którego światło zmienia się z czerwonego na zielone. Po zapaleniu się zielonego światła pojazd rusza. Każdorazowo sygnalizator znajduje się w innym miejscu kadru, gdyż jest to uzależnione od umiejscowienia sygnalizatora w obrębie pasa drogowego oraz tego, którym pojazdem w kolejce do sygnalizatora był pojazd użyty do zarejestrowania nagrań. Baza zawiera wyłącznie nagrania, na których ww. pojazd był maksymalnie piątym.

Zastosowany algorytm w 50% przypadków poprawnie wykrył zmianę światła z czerwonego na zielone. Co istotne, ani razu algorytm nie wykrył zmiany światła, która nie nastąpiła. W pozostałych przypadkach detekcja okazała się niemożliwa ponieważ:

- nagrania miały zbyt mały kontrast
- w nagraniach pojawiały się obiekty o takich samych kolorach i kształtach jak światła sygnalizatorów
- tylne lampy samochodów znajdowały się blisko światła sygnalizacji ulicznej
- analizowane były światła sygnalizatorów nadawane dla sąsiednich pasów ruchu
- występowały trudne warunki pogodowe.

Kolejne etapy wykrywania zmiany światła sygnalizacji świetlnej przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Etapy wykrywania zmiany światła sygnalizacji świetlnej: a) wykrycie czerwonego światła, b) etap pośredni z czerwonym i żółtym światłem, c) wykrycie zielonego światła i ostrzeżenie o zmianie światła

Fig. 7. Stages of detection traffic lights change: a) detection of red light, b) middle stage with red and yellow light, c) detection of green light and warning about the traffic lights change

### System wykrywający włączenie kierunkowskazów

Baza danych utworzona dla systemu wykrywającego włączenie kierunkowskazów pojazdu zmieniającego pas ruchu zawiera 18 sekwencji wizyjnych o rozdzielczościach 1280×720 i 1920×1280 pikseli. Ich łączny czas trwania przekracza 3 minuty. W przypadku tego systemu konieczna była większa rozdzielczość, ponieważ kierunkowskazy są zwykle mniejsze od światła sygnalizatorów i na nagraniach o mniejszej rozdzielczości nie były dostatecznie wyraźne. Początkowo kamerę zamontowano na lewym lusterku pojazdu. Jednakże w takim wypadku w jej polu widzenia znajdowała się znaczna część karoserii pojazdu. Podobnie było w przypadku zamontowania kamery wewnątrz pojazdu. W celu uzyskania lepszych wyników, ostatecznie zamontowano ją na atrapie wlotu powietrza z przodu samochodu. Nagrania wykonano w różnych warunkach oświetleniowych – podczas pochmurnej pogody i o zmierzchu. Pojazdy zmieniały pas ruchu z lewego na prawy raz lub dwa razy w trakcie każdego nagrania. Skuteczność działania proponowanego systemu prezentuje tabela 1.

Tab. 1. Skuteczność wykrywania włączenia kierunkowskazów w różnych warunkach

Tabl. 1. Effectiveness of the turn signaling lights detection in various conditions

warunki	liczba sytuacji do wykrycia	% poprawnie wykrytych sytuacji	% błędnych wykryć
pochmurny dzień	15	86,7	13,3
opad deszczu, dzień	2	50,0	50,0
zmierzch	1	100,0	0,0
łącznie	18	83,3	16,7

Zastosowany algorytm w ponad 83% przypadków poprawnie wykrył włączone kierunkowskazy, co oznacza stosunkowo dużą skuteczność opisanej wersji proponowanego systemu. Najlepsze wyniki detekcji osiągnięto w zachmurzone dni, kiedy pojazd znajdował się w niewielkiej odległości od kamery i kierunkowskazy były dobrze widoczne. Przykładowa detekcja kierunkowskazu jest pokazana na rys. 8.

Problemy z właściwym wykrywaniem wynikają z:

- niewłaściwej barwy lamp kierunkowskazów (biała zamiast żółtej) lub ich zbyt jasnego świecenia
- większych odległości do pojazdu zmieniającego pas
- niestandardowych kształtów tylnych lamp pojazdów.



Rys. 8. Wykrycie włączonego kierunkowskazu pojazdu (oznaczone przez system zielonym symbolem „T”)

Fig. 8. Vehicle turn signaling light detection (denoted by the system as green 'T')

## System ostrzegania pieszych o nadjeżdżających pojazdach

W celu ostrzegania pieszych kamera musi być zamontowana na plecach pieszego, najlepiej na wysokości łopatek. Przy takim umiejscowieniu jej drgania są najmniejsze. Na rys. 3. zaprezentowano ideę działania rozważanego systemu. Przy użyciu tak zamocowanej kamery smartfonu utworzono bazę nagrań zawierającą filmy zarejestrowane w miejscach reprezentatywnych dla przewidywanych zastosowań systemu. Do takich miejsc należą:

- parkingi i ich okolice
- krawędź drogi w obszarze zabudowanym o niewielkim ruchu pojazdów
- pobocze drogi o dużym natężeniu ruchu.

Baza nagrań wideo zawiera 30 filmów o rozdzielczości 480×640 pikseli. Ich łączny czas trwania wynosi ok. 27 minut. Filmy zostały zarejestrowane o różnych porach roku (zimą i wiosną), dnia (w południe, późnym popołudniem i o zmierzchu), przy różnych warunkach pogodowych (minimalne zachmurzenie, zachmurzenie i opady śniegu) i na różnych typach obszarów (droga wewnętrzna, lokalna i drogi z wieloma pasami ruchu w każdym kierunku).

Na nagraniach, podczas chodu pieszego, wyraźnie widać ruch kamery będący wynikiem stawiania kolejnych kroków. Zmiany pozycji kamery były jednak na tyle powolne, iż nie następowało „rozmycie” obrazu. Na każdym filmie do pieszego zbliża się samochód, który jest widziany przez kamerę.

Pliki wideo przeskalowano do standardowej rozdzielczości 240×320 pikseli, która pozwoliła na działanie algorytmu w czasie rzeczywistym (komputer Intel Core2Duo, 2×2,26 GHz, karta graficzna GeForce 9600 M GT) w środowisku programistycznym Matlab przy 45 klatkach na sekundę. Jest to wartość wystarczająca, aby z odpowiednim wyprzedzeniem wykryć nadjeżdżający pojazd. Należy zauważyć, że szybkość działania algorytmów może się znacząco zwiększyć po implementacji w języku C++ z wykorzystaniem biblioteki OpenCV.

Wyniki wstępnych badań wskazały, że pojazdy są wykrywane z dużym wyprzedzeniem. Odległość między samochodem i pieszym jest wówczas na tyle duża, że pieszy może bezpiecznie uniknąć kolizji z pojazdem. Skuteczność detekcji nadjeżdżających pojazdów w różnych warunkach prezentuje tabela 2.

Jak widać, skuteczność wykrywania samochodów jest bardzo wysoka dla wszystkich warunków, w których zarejestrowano nagrania. Detekcja nie powiodła się praktycznie tylko dla pojazdów z wyłączonymi reflektorami. Pojawiła się pewna liczba błędnych detekcji spowodowana szybkimi zmianami kontrastu i jasności w obrazie, a także refleksami przy dużym nasłonecznieniu. W celu poprawienia tego wyniku w przyszłości potrzebna będzie adaptacyjna metoda dopasowywania progu segmentacji oraz rozbudowanie etapu wstępnego przetwarzania obrazu. Nadmiarowe ostrzeżenia mogą także zostać wygenerowane, gdy maleje odległość między pieszym i pojazdem, ale ich kierunki ruchu nie przecinają się. System można ulepszyć dodając możliwość uwzględniania kierunków

ruchu, prędkości pojazdu oraz innych cech środowiska określających prawdopodobieństwo wypadku. Jednakże, w wielu sytuacjach odpowiednia reakcja systemu jest trudna lub nawet niemożliwa do określenia, ponieważ kierunek oraz prędkość pojazdu zmieniają się zbyt blisko pieszego.

System ten jest dedykowany do zastosowania w miejscach, w których występuje małe natężenie ruchu, takich jak strefy mieszkalne lub parkingi, gdzie ruch nie jest ciągły i w związku z tym piesi są mniej czujni. Może być także wykorzystany na obszarach o trudnych warunkach – np. w okolicach leśnych o zmroku. W miejscach dużego natężenia ruchu ludzie są bardziej ostrożni i proponowany system nie jest tam konieczny.

Ważną kwestią jest skuteczny sposób informowania pieszych o zagrożeniu – mogą to być odpowiednio modulowane dźwięki lub wibracje. Alarmy nie mogą być zbyt częste, gdyż piesi zaczną je ignorować.

Docelowo, po zintegrowaniu z odzieżą, system powinien być odporny na warunki atmosferyczne, a obiektyw nie powinien przykuwać uwagi innych osób.

Przykładowe etapy detekcji nadjeżdżającego pojazdu pokazano na rys. 9.



Rys. 9. Przykładowy proces wykrywania pojazdu: a) pojazd jest zbyt daleko od obiektywu, b) wykryty jest jeden reflektor, c) i d) wykryte są dwa reflektory i wyświetlone zostaje graficzne ostrzeżenie  
Fig. 9. Illustrative process of vehicle detection: a) vehicle is too far to camera, b) one light is detected only, c), and d) two lights are detected and warning is displayed

Tab. 2. Skuteczność wykrywania samochodów w różnych warunkach  
Tabl. 2. Effectiveness of the car detection in various conditions

warunki	liczba nadjeżdżających samochodów	% poprawnie wykrytych samochodów	% błędnych wykryć	% braku wykrycia
zima (śnieg, pełne zachmurzenie)	46	87,0	13,0	10,9
lato (słonecznie, częściowe zachmurzenie)	8	87,5	87,5	12,5
lato (późne popołudnie, wieczór)	54	88,9	11,1	13,0
łącznie	106	87,7	17,9	12,3



## Podsumowanie

Przeprowadzone wyniki badań dowodzą, że przy użyciu prostych metod akwizycji i przetwarzania sygnału wideo jest możliwe skuteczne wspieranie kierowcy w wykrywaniu zmiany świateł sygnalizatorów i kierunkowskazów innych pojazdów. Autorzy ponadto proponują system, który ostrzega pieszego o nadjeżdżającym pojeździe. Reprezentuje on kategorię systemów, które można nazwać systemami wspomagającymi pieszego (PAS, ang. *Pedestrian Assistance Systems*), w odróżnieniu od systemów wspomagających kierowcę (DAS, ang. *Driver Assistance Systems*).

W czasach zwiększającego się ruchu ulicznego i wydłużającego się czasu oczekiwania w korkach drogowych, każdy sposób skracający ten czas jest istotny. System wspomagania kierowców w wykrywaniu zmiany sygnalizacji świetlnej pozwala na zwiększenie liczby samochodów przejeżdżających przez skrzyżowanie. Prawidłowe stosowanie „metody zamka błyskawicznego” pozwoli na zrównanie prędkości ruchu na sąsiednich pasach i tym samym bardziej płynną jazdę. Umożliwi to kierowcom zaoszczędzenie czasu, obniży koszty podróży i zwiększy bezpieczeństwo, choćby poprzez zmniejszenie poziomu stresu użytkowników dróg.

Automatyczne wykrywanie pojazdu może być bardzo pomocne dla pieszych, a zwłaszcza dla osób starszych, mających problemy ze słuchem, osób bardzo zmęczonych, pracujących lub korzystających ze słuchawek, a także dla niewidomych. Urządzenia służące do wykrywania i ostrzegania mogą być zintegrowane z ubraniami lub występować jako aplikacja dla nowoczesnych telefonów komórkowych.

Autorzy planują dalsze zwiększanie skuteczności zaproponowanych systemów przy wykorzystaniu rozbudowywanych baz danych, ponadto pracują nad implementacją tworzonych algorytmów dla urządzeń mobilnych. Jednym z kolejnych etapów badań będzie rozszerzenie baz o sekwencje wideo zarejestrowane w technice stereowizyjnej. W oparciu o różnice pomiędzy dwoma kanałami obrazu uzyskane zostaną dodatkowe informacje, które pozwolą na skuteczniejszą detekcję analizowanych zjawisk w ruchu drogowym.

**Autorzy dziękują Panom Pawłowi Dymarkowskiemu, Michałowi Gibasowi, Maciejowi Czarneckiemu, Michałowi Szymańskiemu, Bartłomiejowi Leńniewskiemu, Pawłowi Lautenbachowi, Kajetanowi Biczkowskiemu, Adamowi Pawlikowskiemu i Karolowi Szałeckiemu, studentom Politechniki Poznańskiej, którzy pomogli w przeprowadzeniu eksperymentów.**

## Literatura

- [1] Balcerek J. i in., Recognition of threats in urban areas by means of the analysis of video sequences, Proc. of Multimedia Communications, Services and Security, MCSS 2010, IEEE International Conference, str. 41–48, Kraków, 6–7 maja 2010.
- [2] Perry A., Kiryati N., Real-Time Embedded System For Road-Crossing Assistance, MUSCLE International Workshop on Computational Intelligence for Multimedia Understanding, Antalya, Turkey, October 3, 4, 2013, Pages: 50–54.
- [3] Balcerek J. i in., Binary depth map generation and color component hole filling for 3D effects in monitoring systems, Proc. of Signal Processing SPA'2011, IEEE Poland Section Chapters Signal Processing, Circuits and Systems, Pages: 138–143, Poznań, Poland, 29–30 September 2011.
- [4] Balcerek J. i in., Brightness Correction and Stereovision Impression Based Methods of Perceived Quality Improvement of CCTV Video Sequences. Proc. of 4th International Conference MCSS 2011, Pages: 64–72, June 2–3, Krakow, Poland. Springer. Communications in Computer and Information Science, 2011.

- [5] Dąbrowski A. i in., Development of PUEPS corpus of emergency telephone conversations, Proc. of the Language Resources for Public Security Applications Workshop (LRPS 2012) at 8th international conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2012), Pages: 8–12, Istanbul, Turkey, 27 May 2012.
- [6] Borkowski J., Test systemów start-stop, <http://m.auto-swiat.pl/1-test-systemow-start-stop>, 07.02.2014.
- [7] Yu C., Huang C., Lang Y., Traffic light detection during day and night conditions by a camera, 2010 IEEE 10th International Conference on Signal Processing (ICSP), Pages: 821–824, 2010.
- [8] Diaz-Cabrera M., Cerri P., Sanchez-Medina J., Suspended traffic lights detection and distance estimation using color features, 2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2012, Pages: 1315–1320.
- [9] Johnson K., Late Merge...the Zipper System, <http://www.dot.state.mn.us/trafficeng/workzone/doc/When-latemerge-zipper.pdf>, Minnesota Department of Transportation, United States, Oct. 2008.
- [10] Almagambetov A., Casares M., Velipasalar S., Autonomous tracking of vehicle rear lights and detection of brakes and turn signals, 2012 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defence Applications (CISDA), 2012, Pages: 1–7.
- [11] Cabani I., Toulminet G., Bensrhair A., Color-based Detection of Vehicle Lights, Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2005, Pages: 278–283.
- [12] Mattern F., Floerkemeier C., From the Internet of Computers to the Internet of Things, in: Kai Sachs, Iliia Petrov, Pablo Guerrero (Eds.): From Active Data Management to Event-Based Systems and More, LNCS, Vol. 6462, Springer, 2010, Pages: 242–259.
- [13] Winterhalter C.A. i in., Development of electronic textiles to support networks, communications, and medical applications in future U.S. Military protective clothing systems, IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Volume: 9, Issue: 3, 2005, Pages: 402–406.
- [14] Pavlinic D.Z. i in., Multifunctional protective clothing system: Development vs. Functionality, 36th International Convention on Information & Communication Technology Electronics & Microelectronics (MIPRO), 2013, Pages: 307–311.
- [15] ProeTEX 6th Framework IST Integrated Project, IP Firefighter, Firefighter clothing system, <http://www.proetex.org/final%20proetex%20learning/firefighters.htm>, access: 18.05.2014.
- [16] Ching L., Sheng-Min W., The different demands of the smart clothing functions among three types of hikers, 9th International Conference on e-Health Networking, Application and Services, 2007, Pages: 217–220.
- [17] Lu Y., Luo W., Lu X., On design of temperature closed loop controller of solar calorific clothing, 2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE), Volume: 3, 2010, Pages: 435–439.
- [18] Schaar A.K., Ziefle M., Smart clothing: Perceived benefits vs. perceived fears, 5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2011, Pages: 601–608.
- [19] Atkins D., White Book, Avalanche Awareness Provided by RECCO, [http://www.recco.com/upload/Global/Images/Downloads/WB\\_English.pdf](http://www.recco.com/upload/Global/Images/Downloads/WB_English.pdf), access: 19.05.2014.
- [20] Dziennik Ustaw z 2003 roku, nr 220, poz. 2181, załącznik nr 3, Szczegółowe warunki techniczne dla sygnałów drogowych i warunki ich umieszczania na drogach.
- [21] Balcerek J. i in., Automatic detection of traffic lights changes from red to green and car turn signals in order to improve urban traffic, Proc. of Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements and Applications SPA'2014, IEEE Poland Section Chapters Signal Processing, Circuits and Systems, Pages: 110–115, Poznań, Poland, 22–24 September 2014.
- [22] Kerbyson D., Atherton T., Circle detection using Hough transform filters, Fifth International Conference on Image Processing and its Applications, 1995, Pages 370–374.
- [23] Balcerek J. i in., Video processing approach for supporting pedestrians in vehicle detection, Proc. of Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements and Applications SPA'2014, IEEE Poland Section Chapters Signal Processing, Circuits and Systems, pp. 100–103, Poznań, Poland, 22–24 September 2014.