

# Sygnaly i systemy wizyjne w modelu automatyzacji pojazdów

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wybrane przykłady wykorzystania sygnałów i systemów wizyjnych w odniesieniu do zaproponowanego modelu grupującego zagadnienia związane z pojazdami autonomicznymi. Model ten uwzględnia wzajemne interakcje pomiędzy pojazdem, użytkownikiem i otoczeniem. Dodatkowo, systematyzuje on stan wiedzy dotyczący automatyzacji pojazdów na wszystkich poziomach. W niniejszej pracy model został doprecyzowany, mając na uwadze najnowocześniejsze rozwiązania z dziedziny przetwarzania obrazów i systemów wizyjnych.

**Abstract.** The article presents selected examples of the use of vision signals and systems in relation to the proposed model grouping issues related to autonomous vehicles. This model takes into account mutual interactions between the vehicle, the user, and the environment. Additionally, it systematizes the state of knowledge regarding vehicle automation at all levels. In this work, the model was refined, taking into account the latest solutions in the field of image processing and vision systems. (*Vision signals and systems in the vehicle automation model*).

**Słowa kluczowe:** pojazdy autonomiczne, interakcje pojazd-człowiek-otoczenie, przetwarzanie obrazów, rozpoznawanie obiektów.

**Keywords:** autonomous vehicles, vehicle-user-environment interactions, image processing, object recognition.

## 1. Wprowadzenie

Współczesne samochody osobowe, o coraz wyższym poziomie automatyzacji, poruszają się w określonym otoczeniu, z którym dochodzi do ich wzajemnego oddziaływania, czyli interakcji. Stosowane są różne systemy, które mają za zadanie asystowanie kierowcy w celu zapewnienia możliwie wysokiego poziomu bezpieczeństwa. W kompleksowym podejściu do tego zagadnienia, tj. w systemie bezpieczeństwa ruchu (ang. *Road Safety System*, RSS) wyróżnia się trzy główne elementy, tj. pojazd, kierowcę i otoczenie, pomiędzy którymi występują interakcje [1].

W trakcie automatyzacji pojazdów człowiek jako kierowca odgrywa coraz mniejszą rolę w prowadzeniu pojazdu [2]. Ponadto, w interakcjach mogą uczestniczyć także pasażerowie. Proponujemy zatem zamiast „kierowca” użyć określenia „użytkownik”. W konsekwencji, interakcje będą zachodzić pomiędzy pojazdem, użytkownikiem i otoczeniem.

Sumę interakcji występujących pomiędzy możliwymi kombinacjami dwóch różnych elementów modelu można opisać rozdzielając ją na sumę jednokierunkowych interakcji. Kierunek oznacza, że dany jeden element wpływa na drugi element. Można to zapisać wzorem ( $I$  – interakcje,  $p$  – pojazd,  $u$  – użytkownik,  $o$  – otoczenie)

$$I_{p-u} + I_{u-o} + I_{o-p} = I_{p-u} + I_{u-p} + I_{u-o} + I_{o-u} + I_{o-p} + I_{p-o}.$$

Interakcje mogą być bezpośrednie, tzn. kiedy dany element bezpośrednio wpływa na drugi, np. informacje z czujników otoczenia są odbierane przez pojazd, a następnie przetwarzane. Interakcje mogą też być pośrednie, np. kiedy użytkownik, na podstawie postrzeganego stanu otoczenia, przekazuje polecenia do pojazdu [1].

Zauważono potrzebę przedstawienia modelu mającego na uwadze nie tylko bezpieczeństwo, ale uwzględniającego też inne zagadnienia związane z pojazdami autonomicznymi, takie jak np. komfort i dbałość o środowisko. Pożądane było skoncentrowanie się nie tyle na trzech wymienionych elementach [3], ale na klasyfikacji uwzględniającej typy interakcji w oparciu o metody przetwarzania sygnałów. Dodatkowo należało również uwzględnić aspekt czasowy, związany m.in. z historią jak i również z przyszłymi planami dotyczącymi pojazdów. W rezultacie powstał model, w którym we wzajemne relacje pomiędzy pojazdem, użytkownikiem i otoczeniem wpisano pięć grup zagadnień związanych z akwizycją, transmisją i przetwarzaniem sygnałów, a w dwóch dodatkowych uwzględniono wpływ czasu [4].

Istotną część interakcji dotyczy przetwarzania sygnałów wizyjnych, obejmujących zakres widzialny pasma fal elektromagnetycznych. Schemat opisanego modelu [4] dopre-

cyzowano więc, mając na uwadze akwizycję, przetwarzanie i wyświetlanie obrazów, co przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Sygnaly wizyjne w modelu automatyzacji pojazdów (na podstawie pracy [4])

W niniejszej pracy przedstawiono przegląd literatury obejmującej wykorzystanie sygnałów wizyjnych w automatyzacji pojazdów i pojazdach autonomicznych, w kontekście interakcji pojazd, użytkownik, otoczenie.

## 2. Uczenie i weryfikacja metod jazdy autonomicznej

W ruchu drogowym występują różne, niejednokrotnie złożone, interakcje pomiędzy uczestnikami i wskazane jest modelowanie tych interakcji [5]. W badaniach związanych z automatyzacją pojazdów można wykorzystywać kinematyczne i dynamiczne modele pojazdów, służące np. do opisu manewrów ze stosunkowo niską jak i wysoką prędkością [6] oraz modele np. podążania za pojazdem poprzedzającym, czy też dojazdu do sygnalizacji świetlnej [7]. Określono także pewne zasady bezpieczeństwa jako propozycja modelu tzw. odpowiedzialnego bezpieczeństwa [8].

Weryfikacja metod planowania ruchu ma na uwadze poprawne i bezpieczne działanie na podstawie modeli. Przetestowanie zachowania pojazdów autonomicznych w rzeczywistych sytuacjach drogowych, w tym zdarzeniach takich jak kolizje i wypadki, wymagałoby jednak przejechania ogromnej liczby kilometrów na przestrzeni wielu lat i mogłoby stwarzać zagrożenie dla ludzi i mienia [9].

Jednym z rozwiązań tego problemu jest weryfikacja symulacyjna. Reprezentacja środowiska, innych użytkowników dróg i możliwych wariantów reakcji jest wymagająca ze względu na złożoność obliczeniową [5]. Może również niewystarczająco wiernie odzwierciedlać rzeczywiste warunki

drogowe, co potwierdzają badania dotyczące uczenia sztucznych sieci neuronowych w rzeczywistości wirtualnej.

Pewnym rozwiązaniem może być wykorzystanie makiet w mniejszej skali, przedstawiającej pojazdy i ich otoczenie. Umożliwia ona odtworzenie sytuacji problematycznych w sposób bezpieczny, przy równoczesnym ograniczeniu kosztów. Dobrym tego przykładem jest makietka dzielnicy miejskiej w skali 1:8 [10] przeznaczona do badań. Filmując makietę można uzyskać m.in. obrazy różnych detali otoczenia, z określonej perspektywy, na określonym tle.

Wyniki badań [11] wskazują, że dodanie obrazów pojazdów w skali, do obrazów rzeczywistych pojazdów do treningu i walidacji, przy niewielkim zbiorze, może nawet nieco zwiększyć dokładność podczas testów rozpoznawania rzeczywistych modeli. Także dodanie obrazów rzeczywistych pojazdów zwiększa dokładność rozpoznawania modeli w skali. Otwartą kwestią pozostaje dobór skali makiety i na ile wiernie modele powinny odwzorowywać środowisko.

### 3. Automatyczna percepcja otoczenia wykorzystująca sygnały z czujników wizyjnych

Czujnik wizyjny może być umieszczony bezpośrednio w karoserii pojazdu lub być elementem akcesoryjnym, czyli do badań można wykorzystać np. dane z wideorejestratorów [12]. Z kolei kamery zastępujące lusterka mogą zmniejszyć powierzchnię czołową i współczynnik oporu powietrza [13].

Stereowizja pozwala na oszacowanie odległości do obiektów na podstawie obrazów z dwóch kamer [14]. Wykorzystuje się do tego poziome rozbieżności pomiędzy widokami dla tego samego punktu trójwymiarowej sceny [15]. Można poprawić wyniki rozpoznawania przy zastosowaniu tzw. podwójnego rozpoznawania dwuwymiarowego (2D). Obiekty mogą zasłaniać obszar zainteresowania i może wystąpić problem z generowaniem mapy głębi. Dwa kanały obrazu, nawet przy braku poprawnie wygenerowanej mapy głębi, dostarczają więcej informacji niż jeden kanał, co przy zastosowaniu typowych algorytmów 2D umożliwia większą skuteczność rozpoznawania detali [16].

Na podstawie widoku np. z czterech kamer, system monitorowania widoku dookólnego, pozwala na wygenerowanie przekształconych i złożonych widoków, które są przydatne np. w postrzeganiu wielkości parkingu i odległości do obiektów, zwłaszcza przy mniejszych prędkościach [17]. Zwiększeniem funkcjonalności jest system monitorowania z szerokim zakresem widzenia, w którym powstaje pojedynczy, jednolity obraz otoczenia pojazdu w widoku z góry o promieniu widzenia ponad 30 metrów [18]. W pojazdach występują systemy wielokamerowe, oferujące nawet 18 widoków z kamer, w tym wodoodporne kamery umieszczone pod podwoziem, zapewniające podgląd terenu [19].

Percepcja otoczenia pojazdów oparta na przetwarzaniu obrazów zawiera rozpoznawanie obiektów (rysunek 2). Na podstawową strukturę systemu składa się: rejestrowanie danych, określanie obszarów zainteresowania, wyodrębnianie cech z proponowanych obszarów i klasyfikacja [20].

Systemy wizyjne mogą służyć do monitorowania ruchu w celu poprawy jego bezpieczeństwa, optymalizacji i zarządzania. Piesi, rowerzyści oraz użytkownicy hulajnogó elektrycznych, urządzeń transportu osobistego (np. monocykl elektryczny) i urządzeń wspomagających ruch (np. rolki), jako potencjalnie narażeni na obrażenia w zdarzeniach z udziałem samochodów, stali się celem rozpoznawania [21].

W zdarzeniach drogowych mogą uczestniczyć zwierzęta. Niejednokrotnie skutkami takich zdarzeń są obrażenia osób, zwierząt i uszkodzenia pojazdów. Kierowca może dostrzec zwierzę z opóźnieniem, natomiast system działający z poziomu pojazdu mógłby już w tym czasie aktywować np. awaryjne hamowanie [22, 23]. W literaturze opisano również system do automatycznego rozpoznawania m.in. krów,

dzików, saren, oraz innych, także mniejszych, zwierząt spotykanych na polskich drogach [12].



Rys. 2. Wybrane grupy obiektów rozpoznawanych wizualnie

Z kolei wykrycie pojazdu uprzywilejowanego umożliwi odpowiednią reakcją np. ustąpienie pierwszeństwa. Systemy mogą wspomagać kierowcę w obserwacji otoczenia, np. wykrywając karetki pogotowia [24] lub rozróżniając kolor emitowanego światła [25]. Automatyczne rozpoznawanie pojazdów uprzywilejowanych może być ukierunkowane na pojazdy występujące na terenie Polski, z uwzględnieniem gabarytów pojazdów i emisji sygnałów świetlnych [26].

Pojazdy poruszają się po nawierzchni, która wpływa na zachowanie pojazdu, i tym samym, na technikę jazdy. Znajomość nawierzchni pozwala systemowi sterującemu ustawić parametry napędu i zawieszenia oraz dostosować prędkość pojazdu i działanie systemów asystujących do warunków drogowych. Klasyfikacja może dotyczyć rodzaju nawierzchni (asfalt, beton, kostka, szuter, piasek itp.) lub stanu nawierzchni, np. zależnego od warunków atmosferycznych [27, 28, 29].

Na podstawie analizy obrazów można również rozpoznawać elementy infrastruktury: linie wyznaczające pasy ruchu [30], znaki drogowe [31] i światła sygnalizacji ulicznej [32]. Szczególnym przypadkiem jest rozpoznawanie zmiany światła z czerwonego na zielone w odpowiednim czasie, co pozwala na skrócenie czasu postoju i usprawnienie ruchu na skrzyżowaniach [33].

### 4. Sygnał wizyjny w komunikacji pojazdów

Powszechnie staje się wykorzystanie diod świecących (LED) do oświetlenia pojazdów oraz budowy sygnalizacji świetlnej. Za pomocą modulacji tego światła możliwe jest również prowadzenie transmisji danych między pojazdami (V2V) oraz między pojazdami a infrastrukturą drogową (V2I), np. w technologii Li-Fi [34].

Sygnały wizyjne mogą być bezpośrednio przekazywane do otoczenia. Adaptacyjne reflektory mogą służyć do precyzyjnej dystrybucji światła lub do wyświetlania bezpośrednio na jezdni np. brakującego oznaczenia drogowego, strzałek kierunkowych, ostrzeżeń o niskiej temperaturze, przejść dla pieszych [35]. Miliony pikseli światła w modułach pozwalają nawet na wyświetlenie filmu za pomocą reflektorów.

Wyświetlacze umieszczone na zewnątrz pojazdów mogą być źródłem informacji dla pieszych, np. poprzez wizualizację zielonych strzałek poinformować o możliwości przejścia po zatrzymaniu pojazdu [36]. Wyświetlacz z tyłu ciężarówki może prezentować widok przed nią kierowcy pojazdu za nią [37], ułatwiając wyprzedzanie. Wyświetlacze zewnętrzne mogą służyć jako ekrany ogłoszeniowe [38]. Wyświetlacz na obręczy koła jednoślada wykorzystuje LED-y umieszczone w obręczy. Obraz powstaje podczas obrotu koła [39]. Cyfrowa tablica rejestracyjna pozwala na wyświetlanie, poza numerami, np. wiadomości o porwaniu lub zaginięciu dziecka, oraz na personalizację tła i napisów [40].

Informacje mogłyby zawierać proste komunikaty, o niewielkiej rozdzielczości, powiększane do wyświetlenia na dużych ekranach dzięki skalowaniu obrazu [41]. Wyświetlacze zewnętrzne mogłyby być autostereoskopowe, umożliwiając wizualizację obrazu bliżej użytkownika pojazdu następującego, przy zastosowaniu metod stereowizji [15].

Także chromatropizm może być wykorzystany w motoryzacji. Jako termochromizm, gdy barwa światła odbitego zależy od temperatury, ze względu na zmianę odległości pomiędzy warstwami ciekłych kryształów, co można wykorzystać do personalizacji pojazdów lub do przekazywania informacji o niskich temperaturach [42]. Jako elektrochromizm, gdy zmiana przepuszczalności światła następuje po przyłożeniu napięcia polaryzującego ciekłe kryształy. Zastosowaniami są lusterka wsteczne, szyby i szklane dachy z regulacją przezroczystości [43].

### 5. Wizja w interakcjach pojazdu z użytkownikiem

Badania zaprezentowane w [44] wskazują, że to pojazdy powinny zapewniać środki do kontrolowania podróży poprzez wbudowane interfejsy, a nie polegać wyłącznie na smartfonach użytkowników. Należy także zwrócić uwagę na użyteczność i ergonomię interfejsów oraz zagwarantować ochronę danych.

Coraz powszechniej stosowane wyświetlacze przezierne prezentują informacje na szybie, jednak wysoki poziom nakładania się jego grafiki i otoczenia za szybą zwiększa czas spoglądania na wyświetlacz [45]. Rzeczywistość rozszerzona służy do dostarczenia informacji, łącząc dane związane z prowadzeniem pojazdu z rzeczywistą sceną. Można wykorzystać klasyczny ekran, wyświetlacz przezierny pojazdu lub ekran smartfonu, a obraz wirtualny może być projekcją dwu- lub trójwymiarową [46].

Kierowca, podobnie jak operator monitoringu, mógłby skorzystać z opcji stereowizyjnej, co potencjalnie mogłoby ułatwić podejmowanie decyzji i wydobywanie istotnych informacji o otoczeniu [15, 47]. Z kolei, do wyświetlania prostych grafik trójwymiarowych (3D), mogłyby służyć metody wizualizacji oparte na uproszczonych, nawet binarnych mapach głębi [15]. Obraz 3D wyświetlany za pomocą ekranów autostereoskopowych nie wymaga zakładania okularów. Istnieje nawet możliwość tworzenia obrazu 3D rzeczywistości rozszerzonej na wyświetlaczu przeziernym przy wykorzystaniu kamery do śledzenia wzroku [46].

Sterowanie pojazdem może się odbywać za pomocą gestów. Wyróżnia się mikrogesty (drobne ruchy palcem), które nie przeszkadzają kierowcy podczas trzymania kierownicy w czasie prowadzenia pojazdu oraz makrogesty (ruchy dłonią) służące typowo do interakcji z ekranami bez konieczności dotyknięcia ekranu lub przycisków, co zmniejsza potrzebę odwrócenia uwagi w precyzyjnym ruchu [48].

Określanie stanu użytkownika dotyczy stanu fizycznego i emocji [49]. Emocje można rozpoznawać na podstawie tzw. mowy ciała obejmującej wskaźniki niewerbalne takie jak: mimika, postawa ciała, gesty, czy też ruchy oczu [50].

Oświetlenie otoczenia deski rozdzielczej można wykorzystać do odzwierciedlenia emocji i wpływu na emocje, co może się objawiać poprawieniem wydajności prowadzenia pojazdu. Niebieskie światło powoduje rozluźnienie, a pomarańczowe bardziej krytyczne podejście do kwestii wydajności [40]. Wygląd detali pojazdu może być zindywidualizowany tj. dopasowany do upodobań użytkownika związanych z m.in. wiekiem, stylem życia i zainteresowaniami [51].

Interakcje pomiędzy człowiekiem, a pojazdem mogą się odbywać także w sposób pośredni, z wykorzystaniem aplikacji. Pomocą dla początkujących użytkowników, a także przy obsłudze starszych pojazdów mogą być aplikacje wspomagające lub rozpoznające detale pojazdu. Mogą odczytywać oznaczenia na nadwoziu, rozpoznawać kontrolki wyświetlane na desce rozdzielczej i elementy pod maską i informować przy użyciu rzeczywistości rozszerzonej [52]. Mogą też rozpoznawać parametry i stan ogumienia [53].

Z upływem lat do grona aut historycznych dołączają kolejne modele, które są gromadzone i chronione w państwowych i prywatnych zbiorach w celach edukacyjnych, inwe-

stycyjnych lub hobbystycznych. Można automatycznie rozpoznawać i oceniać stan pojazdów historycznych [11].

### 6. Podsumowanie i wnioski

Przetwarzanie sygnału wizyjnego ma zastosowanie w każdej grupie zagadnień związanych z interakcjami pomiędzy pojazdem, użytkownikiem i otoczeniem na wszystkich poziomach autonomii pojazdów.

Coraz powszechniejsze wykorzystanie zaawansowanych systemów wizyjnych związane jest z rozwojem technologii, celami środowiskowymi i zmieniającymi się uwarunkowaniami prawnymi. Przykładowo, według regulacji [54], pojazdy silnikowe muszą już być wyposażane m.in. w system ostrzegania o rozproszeniu uwagi kierowcy oraz wykrywanie obiektów przy cofaniu.

Przewiduje się, że w przyszłości systemy wizyjne będą dominować w pozyskiwaniu i przetwarzaniu danych za pomocą sztucznej inteligencji.

*Badania sfinansowano z subwencji badawczej 0211/SBAD/0224.*

**Autorzy:** dr inż. Julian Balcerek, Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Robotyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [julian.balcerek@put.poznan.pl](mailto:julian.balcerek@put.poznan.pl); prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski, Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Robotyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [adam.dabrowski@put.poznan.pl](mailto:adam.dabrowski@put.poznan.pl); dr inż. Paweł Pawłowski, Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Robotyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [pawel.pawlowski@put.poznan.pl](mailto:pawel.pawlowski@put.poznan.pl)

### LITERATURA

- [1] González-Saavedra J. F. et al., Survey of Cooperative Advanced Driver Assistance Systems: From a Holistic and Systemic Vision, *Sensors* 22, no. 8: 3040, 2022, doi: 10.3390/s22083040.
- [2] SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. J3016\_202104, [https://www.sae.org/standards/content/J3016\\_202104/](https://www.sae.org/standards/content/J3016_202104/), 30.04.2021 (dostęp: 04.04.2024).
- [3] Capustiac A. et al., A Human Centered Control Strategy for a Driving Simulator, *Int. J. of Mechanical & Mechatronics Engineering*, vol. 11, pp. 45-52, 2011.
- [4] Balcerek J., Pawłowski P., How to combine issues related to autonomous vehicles - a proposal with a literature review, *Signal Proc. Conf.: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*, Poznan, Poland, pp. 189-194, 2023, doi: 10.23919/SPA59660.2023.10274452.
- [5] Schwarting W., Alonso-Mora J., Rus D., Planning and Decision-Making for Autonomous Vehicles, *Annu. Rev. Control Robot. Auton. Syst.*, vol. 1, pp. 187-210, 2018.
- [6] Boyali A., Mita S., John V., A Tutorial On Autonomous Vehicle Steering Controller Design, Simulation and Implementation, Toyota Technological Institute, 2018.
- [7] Wagner P., Traffic Control and Traffic Management in a Transportation System with Autonomous Vehicles, In: Maurer M. et al. (eds), *Autonomous Driving*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2016, doi: 10.1007/978-3-662-48847-8\_15.
- [8] Mobileye, Responsibility-Sensitive Safety. A mathematical model for automated vehicle safety. The 5 Safety Rules of RSS, <https://www.mobileye.com/responsibility-sensitive-safety/> (dostęp: 04.04.2024).
- [9] Kalra N., Paddock S. M., Driving to Safety: How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability? RAND Corporation, RR-1478-RC, [https://www.rand.org/pubs/research\\_reports/RR1478.html](https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1478.html), 12.06.2016 (dostęp: 04.04.2024).
- [10] Quirk C., Model AV testing, Washington University in St. Louis, <https://samfoxschool.wustl.edu/the-school/news/734-model-av-testing>, 16.10.2023 (dostęp: 04.04.2024).
- [11] Balcerek J. et al., Vision system for automatic recognition of Polish historic vehicles, *Signal Proc.: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*, Poznan, Poland, pp. 167-172, 2022, doi: 10.23919/SPA53010.2022.9927937.
- [12] Balcerek J., Pawłowski P., Trzcieski B., System wizyjny do automatycznego rozpoznawania zwierząt na nagraniach z video-

- rejestratorów samochodowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 99, nr 10, s. 278-281, 2023.
- [13] Buscariolo F., Rosilho V., Comparative CFD Study of Outside Rearview Mirror Removal and Outside Rearview Cameras Proposals on a Current Production Car, *SAE Technical Papers*, 13, XXI Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, pp. 16-26, 2014, doi: 10.5151/engpro-simea-PAP4.
- [14] Franke U., Gehrig S., How Cars Learned to See, Daimler AG Research & Development, Böblingen, Photogrammetric Week '13, Fritsch D. (Ed.) Wichmann/VDE Verlag, Belin & Offenbach, pp. 3-10, 2013.
- [15] Balcerek J., Human-computer supporting interfaces for automatic recognition of threats, Ph.D. Dissertation, Poznań University of Technology, Supervisor: Dąbrowski A., Auxiliary supervisor: Pawłowski P., Poznań 2016.
- [16] Balcerek J. et al., Automatic recognition of image details using stereovision and 2D algorithms, *Signal Proc. Conf.: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*, Poznan, Poland, pp. 268-273, 2018, doi: 10.23919/SPA.2018.8563419.
- [17] Choi, K., Jung, H. G., Suhr, J. K., Automatic Calibration of an Around View Monitor System Exploiting Lane Markings, *Sensors*, 18, 2956, 2018, doi: 10.3390/s18092956.
- [18] Tseng, D.-C., Lin Y.-C., Chao T.-W., Wide-scoped Surrounding Top-view Monitor for Advanced Driver Assistance Systems, 4th Int. Conf. on Mechatronics, Materials, Chemistry and Comp. Engr. (ICMMCCCE), 2015, doi: 10.2991/icmmcce-15.2015.90.
- [19] GMC, HUMMER EV Pickup and HUMMER EV SUV, <https://www.gmc.com/electric/hummer-ev> (dostęp: 05.04.2024).
- [20] Ahmed S. et al., Pedestrian and Cyclist Detection and Intent Estimation for Autonomous Vehicles: A Survey, *Applied Sciences*, 9, no. 11: 2335, 2019, doi: 10.3390/app9112335.
- [21] Balcerek J. et al., Vision system for automatic recognition of selected road users, *Signal Proc. Conf.: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*, Poznan, Poland, pp. 155-160, 2022, doi: 10.23919/SPA53010.2022.9927954.
- [22] Prabhu R., Viswanathan N., Automated Roadside COW Animal Detection and Collision Prevention System, *Int. J. of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, pp. 145-149, 2021, doi: 10.48175/IJARST-2321.
- [23] Volvo, Pedestrian, Cyclist & Large Animal Detection, [https://volvo.custhelp.com/app/answers/detail/a\\_id/9778/~/pedestrian%2C-cyclist%26-large-animal-detection](https://volvo.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/9778/~/pedestrian%2C-cyclist%26-large-animal-detection), 11.04.2019 (dostęp: 05.04.2024).
- [24] Garg A. et al., 2019, Emergency Vehicle Detection by Autonomous Vehicle, *Int. J. of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 08, issue 05, May 2019.
- [25] Razalli H., Ramli R., Alkawaz M. H., Emergency Vehicle Recognition and Classification Method Using HSV Color Segmentation, 2020 16th IEEE Int. Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), Langkawi, Malaysia, pp. 284-289, 2020, doi: 10.1109/CSPA48992.2020.9068695.
- [26] Balcerek J. et al., Automatyczne rozpoznawanie pojazdów uprzywilejowanych, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 99, nr 10, s. 274-277, 2023.
- [27] Raj A. et al., Vision based road surface detection for automotive systems, 2012 Int. Conf. on Applied Electronics, Pilsen, pp. 223-228, 2012.
- [28] Nolte M., Kister N., Maurer M., Assessment of Deep Convolutional Neural Networks for Road Surface Classification, 2018 21st Int. Conf. on Intel. Transportation Systems (ITSC), Maui, HI, pp. 381-386, 2018, doi: 10.1109/ITSC.2018.8569396.
- [29] Balcerek J. et al., Classification of road surfaces using convolutional neural network, *Signal Proc. Conf.: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*, Poznan, Poland, pp. 98-103, 2020, doi: 10.23919/SPA50552.2020.9241254.
- [30] Khalifa O. et al., Vision Based Road Lane Detection System for Vehicles Guidance, *Australian J. of Basic and Applied Sciences*, vol. 5, pp. 728-738, 2011.
- [31] Biswas R., Fleyeh H., Mostakim M., Detection and classification of speed limit traffic signs, *World Congress on Computer Applications and Information Systems, WCCAIS*, 2014, doi: 10.1109/WCCAIS.2014.6916605.
- [32] Yoneda, K. et al., Robust Traffic Light and Arrow Detection Using Digital Map with Spatial Prior Information for Automated Driving. *Sensors*, 20, 1181, 2020, doi: 10.3390/s20041181.
- [33] Balcerek J. et al., Automatic detection of traffic lights changes from red to green and car turn signals in order to improve urban traffic, *Signal Proc.: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*, Poznan, Poland, pp. 110-115, 2014.
- [34] Janjua J. I. et al., Li-Fi Communications in Smart Cities for Truly Connected Vehicles, 2nd Int. Conf. On Smart Cities, Automation & Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS), Tangerang, Indonesia, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICON-SONICS53103.2021.9617200.
- [35] Mercedes-Benz Group AG., Digital Light. The light of the future hits the road, <https://group.mercedes-benz.com/innovation/specials/geneva-2018/digital-light.html> (dostęp: 06.04.2024).
- [36] Škoda Auto a.s. 2024, Future pedestrians may be assisted by robots and smart grilles, <https://www.skoda-storyboard.com/en/skoda-world/future-pedestrians-may-be-assisted-by-robots-and-smart-grilles/>, 02.03.2023 (dostęp: 06.04.2024).
- [37] Samsung Newsroom, The Safety Truck Could Revolutionize Road Safety, Samsung, <https://news.samsung.com/global/the-safety-truck-could-revolutionize-road-safety>, 18.06.2015 (dostęp: 06.04.2024).
- [38] Powerstar Trucks, Isuzu outdoor display led advertising truck, [https://www.isuzutrucks.com/isuzu-outdoor-display-led-advertising-truck\\_p629.html](https://www.isuzutrucks.com/isuzu-outdoor-display-led-advertising-truck_p629.html) (dostęp: 06.04.2024).
- [39] Tomanek Ł., Wyświetlacz na kołach motocykla, Ścigacz.pl, <https://www.scigacz.pl/Wyswietlacz.na.kolach.motocykla,22169.html>, 21.11.2013 (dostęp: 06.04.2024).
- [40] Grabowski P., Cyfrowe tablice rejestracyjne to moje nowe marzenie. Przyszłość jest teraz, boomerzy, Autoblog, Spider's Web, <https://spidersweb.pl/autoblog/cyfrowe-tablice-rejestracyjne-legalne/>, 13.06.2022 (dostęp: 06.04.2024).
- [41] Stasik P. M., Balcerek J., Extensible Implementation of Reliable Pixel Art Interpolation, *Foundations of Computing and Decision Sciences*, vol. 44, no. 2, pp. 213-239, 2019.
- [42] Woodford C., Thermochromic color-changing materials, Explain that Stuff, <https://www.explainthatstuff.com/thermochromic-materials.html>, 30.06.2023 (dostęp: 06.04.2024).
- [43] Edmund Optics, Multifunctional Smart Glass. The First Generation of Smart Glass: Electrochromic Glass, <https://www.edmundoptics.es/knowledge-center/trending-in-optics/multifunctional-smart-glass/>, 06.2019 (dostęp: 06.04.2024).
- [44] Oliveira L. et al., Evaluating How Interfaces Influence the User Interaction with Fully Autonomous Vehicles, pp. 320-331, 2018, doi: 10.1145/3239060.3239065.
- [45] Oh H. J., Ko S. M., Ji Y. G., Effects of Superimposition of a Head-Up Display on Driving Performance and Glance Behavior in the Elderly, *Int. J. of Human-Computer Interaction*, vol. 32, pp. 143-154, 2016, doi: 10.1080/10447318.2015.1104155.
- [46] Lee J. et al., Automotive augmented reality 3D head-up display based on light-field rendering with eye-tracking, *Opt. Express*, vol. 28, issue 20, pp. 29788-29804, 2020, doi: 10.1364/OE.404318.
- [47] Pawłowski P. et al., Visualization techniques to support CCTV operators of smart city services, *Multimed. Tools Appl.*, vol. 79, s. 21095-21127, 2020, doi: 10.1007/s11042-020-08895-6.
- [48] Jacob Y. et al., Hand gesture recognition for driver vehicle interaction, IEEE Computer Society Workshop on Observing and understanding hands in action (Hands 2015) of 28th IEEE conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'2015), Boston, United States, 06.2015, HAL Id: hal-01256263.
- [49] Hassib M. et al., Detecting and Influencing Driver Emotions Using Psycho-Physiological Sensors and Ambient Light, In book: *Human-Computer Interaction – INTERACT 2019*, pp.721-742, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-29381-9\_43.
- [50] Noroozi F. et al., Survey on Emotional Body Gesture Recognition, in *IEEE T. Affect. Comput. Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 505-523, 1 April-June 2021, doi: 10.1109/TAFFC.2018.2874986.
- [51] Arteo produkcja, Czym jest personalizacja auta?, <http://www.reklamanapojazdach.com.pl/p0XjStKlf.html>, Arteo design & production, GDP Interaktywna (dostęp: 06.04.2024).
- [52] Balcerek J. et al., Vision-based mobile application for supporting the user in the vehicle operation *Signal Proc.: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA)*, Poznan, Poland, pp. 250-255, 2019, doi: 10.23919/SPA.2019.8936754.
- [53] Balcerek J. et al., Automatyczne rozpoznawanie parametrów kół pojazdu, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 98, nr 9, s. 205-208, 2022.
- [54] Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/2144 z dnia 27 listopada 2019 r. (...), *Dz.U. L 325 z 16.12.2019*, p. 1-40, 2019.