



JAKUB SALACH

Politechnika Krakowska
kuba.salach@gmail.com



PIOTR WALAS

Akademia Górniczo-
Hutnicza
walas.piotr.prywatny@
gmail.com

Inteligentny system wizyjny sterowania sygnalizacją świetlną na wlotach skrzyżowań

W artykule zaprezentowano problematykę przetwarzania obrazów i zastosowania tej techniki w sterowaniu sygnalizacją świetlną. Obecnie stosowane metody nie zawsze są wystarczające, aby zapewnić optymalną przepustowość skrzyżowania. Przedstawiono również propozycję, która opiera się na rozróżnianiu przez kamerę: samochodu osobowego, samochodu ciężarowego oraz pojazdu uprzywilejowanego. Opisano dwa przykłady wlotów skrzyżowań, na których została zastosowana przedmiotowa metoda. W pierwszym omówiono problem zbyt krótkiego czasu zielonego dla pieszych przechodzących przez po-

dany przekrój drogi, natomiast w drugim zaobserwowano, że bez uwzględniania liczby samochodów oczekujących w kolejce, długość fazy zielonej nie jest optymalna.

Aktualne rozwiązania detekcji natężenia ruchu

Obecnie dostępny jest szeroki asortyment urządzeń detekcyjnych, umożliwiających wykonywanie pomiarów natężenia ruchu. Do głównych z nich należy zaliczyć:

- Wideodetektory

Jest to najczęściej stosowane rozwiązanie z detektorami umieszczonymi nad jezdnią. Charakteryzuje się ono bezinwazyjnością w stosunku do infrastruktury drogowej oraz do pojazdów znajdujących się w pasie drogowym. Ważną kwestią w prawidłowym działaniu systemu jest poprawne umiejscowienie kamer, tzn. tak żeby w jak najlepszy sposób rejestrowały one bieżący obraz. Metoda wideodetekcji działa na zasadzie przetwarzania obrazu na piksele, analizując zmiany zachodzące w danym obrazie. Dzięki takiemu działaniu można wykryć m.in. obecność pojazdów, ich rodzaj, tworzenie się w danym momencie kolejki przed sygnalizacją świetlną oraz natężenie ruchu. Wszystkie dane mogą być przesyłane w bieżącym czasie do centrum monitorowania [1], [10].

- Pętle indukcyjne

Rozwiązanie to jest najczęściej stosowane przy budowaniu sygnalizacji świetlnej, jednak ma jedno negatywne oddziaływanie. W znacznym stopniu wpływa na jakość

infrastruktury, a w przypadku montażu na już istniejącej drodze zmusza do ingerencji w powierzchnię jezdni. Pętle indukcyjne sprawdzają się głównie wtedy, gdy jeden z pasów pozostaje pusty, wtedy nadawany jest dla niego sygnał czerwony, co pozwala na wydłużenie sygnału zielonego dla innych kierunków. Dzięki temu można zwiększyć swobodę ruchu, nie blokując innych kierunków. Mechanizm skrzyżowania polega na obecności przed skrzyżowaniem przewodów, które działają jak cewka. Gdy na asfalt najedzie samochód, zostanie zakłócone pole elektromagnetyczne czujnika, co zostanie zarejestrowane przez sterownik świateł [2], [9].

Kryteria wyboru rodzaju zastosowanej sygnalizacji

W dalszej części artykułu przedstawiono uproszczoną wersję systemu do wideodetekcji, który został wykorzystany w badaniach ruchu na skrzyżowaniu prezentowanych w artykule. Ten rodzaj sygnalizacji wybrano ze względu na specyfikę skrzyżowania, które zostało wzięte pod uwagę. Na ul. Mogińskiej czas trwania cyklu dla pieszych jest niewystarczający, co powoduje w wielu przypadkach przechodzenie na czerwonym świetle. Na skrzyżowaniu zastosowana jest sygnalizacja stałoczasowa, z tego względu nie jest brana pod uwagę bieżąca sytuacja na skrzyżowaniu lub wlocie. Wprowadzenie na skrzyżowaniu wideodetekcji pozwoliłoby na dłuższy czas wyświetlania fazy dla pieszych, natomiast przy wykryciu pojazdu lub tramwaju przez kamerę, faza zielona przekazywana by była dla zbliżających się pojazdów. Dodatkowo, gdy pojazd poruszałby się za szybko, kamera, która wykryje jego prędkość nie zmieni światła, ponieważ spowodowałoby to zaburzenie dynamiki ruchu oraz wywołałoby sytuację niebezpieczną.

Spośród wielu dostępnych dzisiaj technik w dziedzinie przetwarzania obrazu, dotyczących wykrywania i śledzenia obiektu, w propozycji systemu detekcyjnego wykorzystano wytrenowaną wcześniej maszynę wektorów nośnych (ang. *supportedvectormachine*), wraz z histogramami orientacji (ang. *histograms of orientedgradients*). Zdecydowano się nie korzystać z najbardziej efektywnych rozwiązań, jakimi są aktualnie sieci neuronowe, ze względu na wymagane zasoby sprzętowe, takie jak pamięć oraz szybkość pracy procesora. Plany wykorzystania oprogramowania w systemie wbudowanym zmuszają do zastosowania innych technik, które pozwolą urządzeniu z ograniczonymi zasobami poradzić sobie z zadaniem.

Obecna sytuacja na ulicy Mogilskiej

W celu określenia jakości danego skrzyżowania, na potrzeby analizy przeprowadzono pomiary natężenia ruchu przepływającego przez dany przekrój wlotu, na którym jest przeprowadzane badanie. Lokalizacja opisywanego wlotu przedstawiona została na rysunku 1. Pomiary przeprowadzono w dzień roboczy, licząc natężenie ruchu w obie strony w interwale 15-minutowym, w godzinach 14–16. Oprócz liczenia natężenia ruchu pojazdów, zliczono również liczbę pieszych przechodzących przez przejście prawidłowo oraz na czerwonym świetle.

Badany wlot jest umiejscowiony na ul. Mogilskiej, oddalony jest o 232 metry od Ronda Mogilskiego. Badane przejście oraz sygnalizacja świetlna są umiejscowione w pobliżu wielu punktów usługowych, sklepów spożywczych, a także zabudowy wysokiej. Powoduje to wzmożony ruch pieszy, który oddziałuje na badane skrzyżowanie. Ruch pojazdów jest tam stale wzmożony, ponieważ z jednej strony samochody zjeżdżają z Ronda Mogilskiego, natomiast z drugiej ze skrzyżowania ulicy Meissnera z ulicą Jana Pawła II.

Widok wlotu na skrzyżowanie przedstawiono na fotografii 1. Widać na nim dwa kierunki, na których występuje droga dwupasmowa. Piesi, przechodząc przez pasy, mogą zatrzymać się na małej wysepce, która jest w pobliżu torów kolejowych, więc nie zapewnia to wystarczającego bezpieczeństwa dla pieszych.

Pomiary na ulicy Mogilskiej (w kierunku Ronda Mogilskiego)

Na wykresie (rys. 2) przedstawiono liczbę pojazdów z podziałem na rodzaj pojazdów, które przejechały w poszczególnych interwałach.

Jak widać na wykresie, najwięcej pojazdów to samochody osobowe. W sumie przez dwie godziny badania przez wlot skrzyżowania przejechało 961 samochodów osobowych. Oprócz tego zliczono również 6 autobusów, 13 samochodów ciężarowych oraz 42 samochody dostawcze.

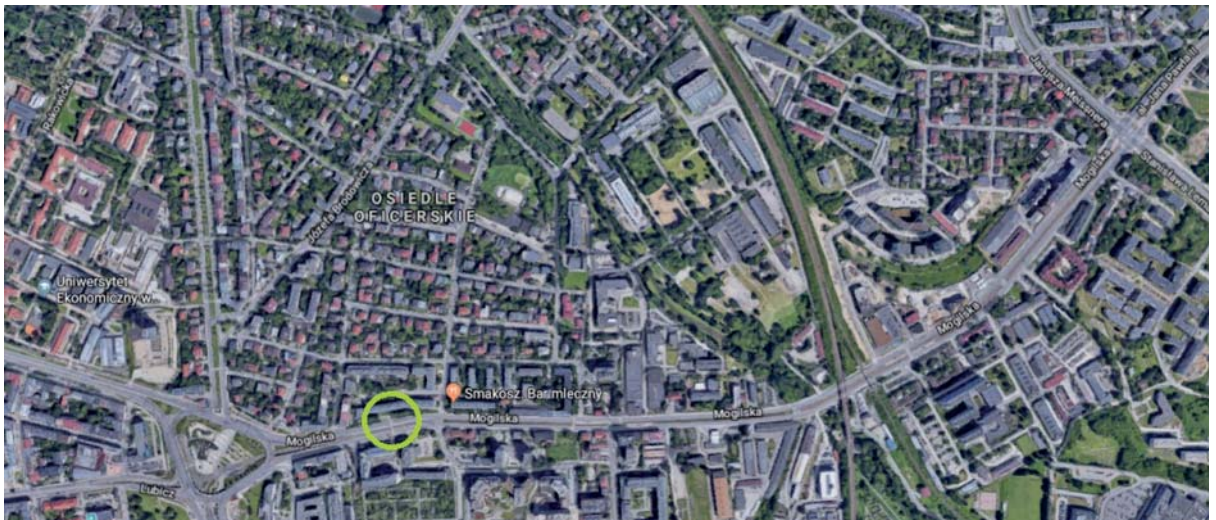
Na rysunku 3 przedstawiono wykres, na którym zamieszczono sumę wszystkich pojazdów przejeżdżających przez dany wlot.

Na podstawie danych zamieszczonych na wykresie można zaobserwować, ile pojazdów przejechało przez wlot skrzyżowania. W sumie w ciągu dwóch godzin przejechało 1022 pojazdów. Najwięcej w ciągu 15 minut przejechało ich 156 pojazdów, a najmniej 104. Średnio w ciągu 15 minut przejechało 128 pojazdów.

Na rysunku 4 przedstawiono liczbę pieszych, którzy w czasie pomiarów przechodzili przez przejście, znajdujące się przy badanej sygnalizacji.

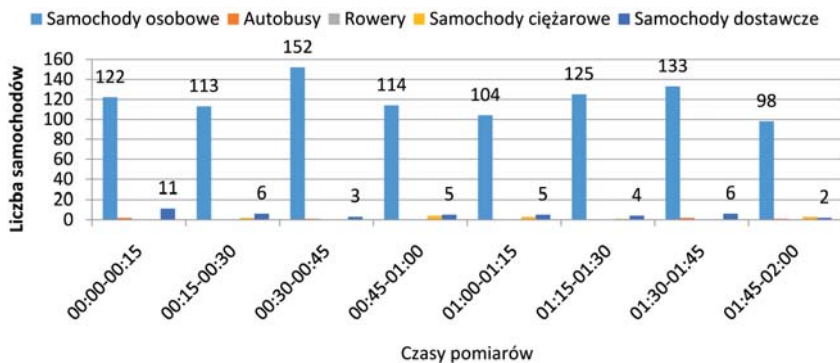
Z danych zamieszczonych na wykresie można zaobserwować, że w ciągu 15 minut z przejścia mogą korzystać nawet 24 osoby. Przy tak dużej liczbie pieszych zielona faza powinna pojawiać się częściej, niż dotychczas. Wywołanie

Rys. 1.
Lokalizacja
badanego
wlotu na ul.
Mogilskiej [3]

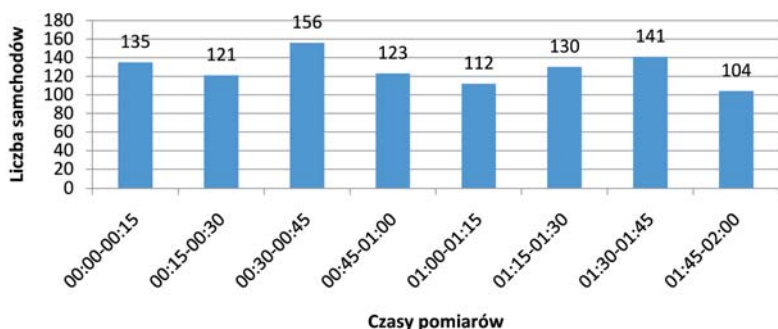


Fot. 1. Widok
badanego
wlotu na ul.
Mogilskiej [4]

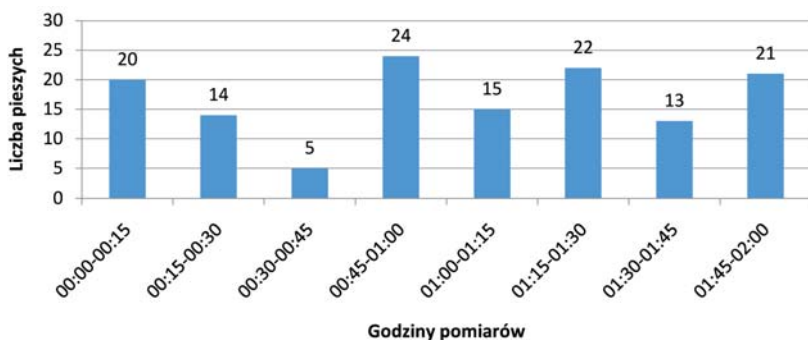




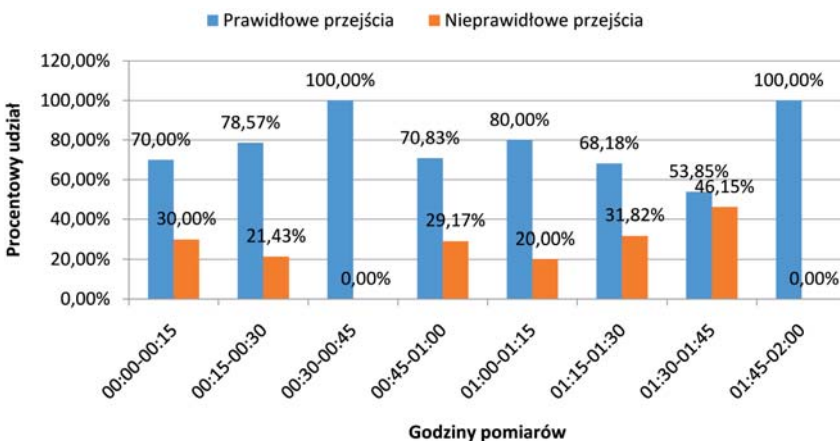
Rys. 2. Liczba pojazdów z podziałem rodzajowym przejeżdżających przez skrzyżowanie na ul. Mogińskiej w kierunku Ronda Mogińskiego



Rys. 3. Suma pojazdów przejeżdżających przez badany wlot na ul. Mogińskiej w kierunku Ronda Mogińskiego



Rys. 4. Liczba pieszych przechodzących przez badane skrzyżowanie na ul. Mogińskiej w kierunku Ronda Mogińskiego



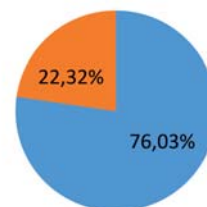
Rys. 5. Procent pieszych przechodzących prawidłowo oraz na czerwonym świetle na ul. Mogińskiej w kierunku Ronda Mogińskiego

fazy poprzez przycisk znajdujący się przed przejściem nie jest wystarczające przy takich warunkach, więc część pieszych przechodzi nielegalnie, powodując niebezpieczeństwo na skrzyżowaniu.

Na rysunku nr 5 przedstawiono procentowy udział pieszych przechodzących prawidłowo oraz na czerwonym świetle.

Z danych prezentowanych na wykresie wyraźnie widać, że prawie w każdym interwale (6 z 8) część osób przechodziła na czerwonym świetle. Najwięcej to aż 46,15% w ciągu 15 minut. Aby uśrednić i przedstawić wynik z całego badania poniżej zaprezentowano wykres kołowy, który obrazuje średni procentowy udział pieszych przechodzących w prawidłowy sposób, jak i na czerwonym świetle.

■ % osób przechodzących na zielonym świetle
 ■ % osób przechodzących na czerwonym świetle



Rys. 6. Procentowy podział pieszych przechodzących prawidłowo oraz na czerwonym świetle na ul. Mogińskiej w kierunku Ronda Mogińskiego

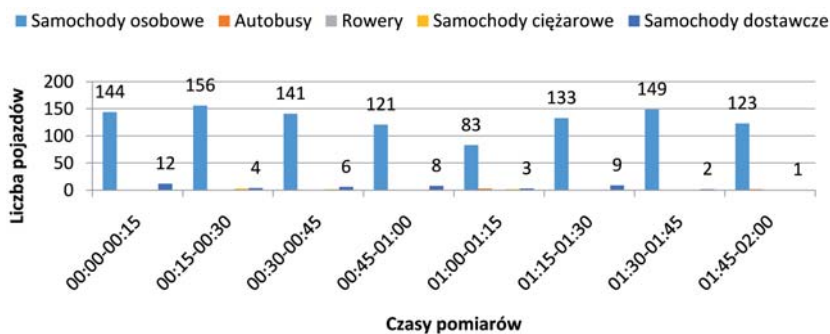
22,32% badanych osób przechodziło przez przejście w nieodpowiedni sposób, co niejednokrotnie powodowało niebezpieczeństwo na drodze. Często osoby oczekiwały na zielone światło ponad 3 minuty. Jest to spowodowane złą sygnalizacją, dlatego to skrzyżowanie wzięto pod uwagę, proponując system detekcji.

Pomiary na ulicy Mogińskiej (w kierunku skrzyżowania ulicy Meissnera z ulicą Jana Pawła II)

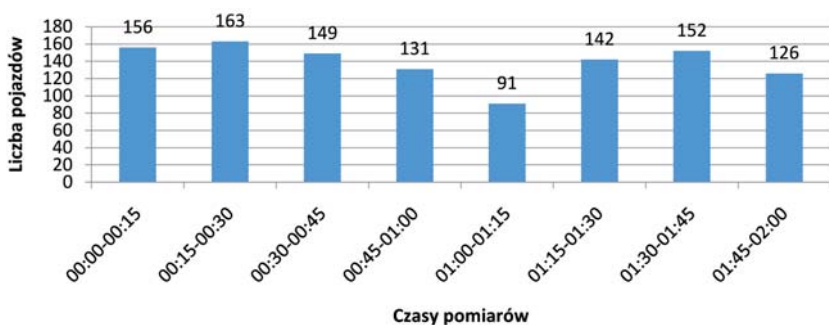
Na rysunku nr 7 przedstawiono liczbę pojazdów z podziałem na rodzaj pojazdów, które przejechały w poszczególnych interwałach.

Na podstawie danych zamieszczonych na wykresie można stwierdzić, że najwięcej pojazdów to samochody osobowe. W sumie przez dwie godziny badania przez wlot skrzyżowania przejechało 1050 samochodów osobowych. Oprócz tego zliczono również 6 autobusów, 9 samochodów ciężarowych oraz 45 samochodów dostawczych.

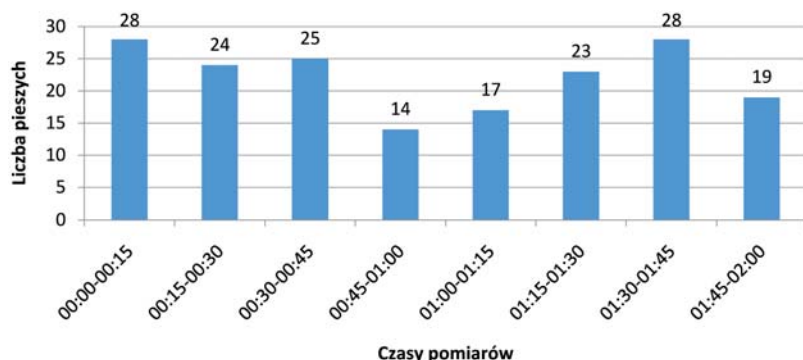
Na kolejnym wykresie (rys. 8) przedstawiono wykres, gdzie widać sumę wszystkich pojazdów przejeżdżających przez dany wlot.



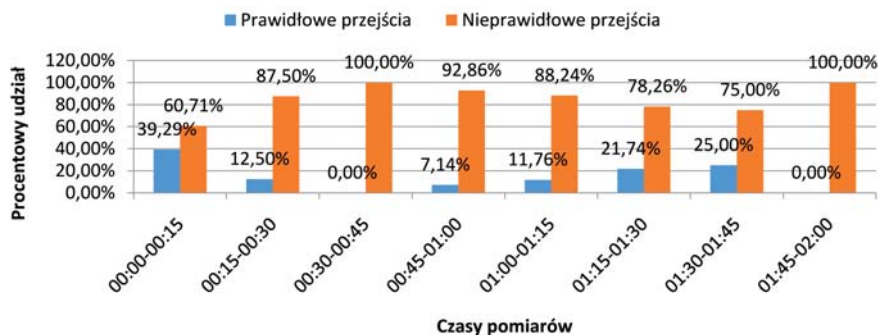
Rys. 7. Liczba pojazdów z podziałem rodzajowym przejeżdżających przez skrzyżowanie na ul. Mogiłskiej w kierunku skrzyżowania ulicy Meissnera z ulicą Jana Pawła II



Rys. 8. Suma pojazdów przejeżdżających przez badany wlot na ul. Mogiłskiej w kierunku skrzyżowania ulicy Meissnera z ulicą Jana Pawła II



Rys. 9. Liczba pieszych przechodzących przez badane skrzyżowanie na ul. Mogiłskiej w kierunku skrzyżowania ulicy Meissnera z ulicą Jana Pawła II



Rys. 10. Procent pieszych przechodzących prawidłowo oraz na czerwonym świetle na ul. Mogiłskiej w kierunku skrzyżowania ulicy Meissnera z ulicą Jana Pawła II

Z danych zamieszczonych na wykresie można zaobserwować, ile pojazdów przejechało przez wlot skrzyżowania. W sumie w ciągu dwóch godzin przejechało 1110 pojazdów. Najwięcej w ciągu 15 minut przejechało 163 pojazdy, a najmniej 91. Średnio w ciągu 15 minut przejechało 139 pojazdów.

Liczbę pieszych, którzy w czasie pomiarów przechodzili przez przejście zamieszczono na rysunku nr 9.

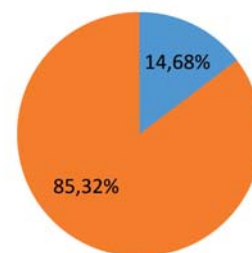
Z danych zamieszczonych na wykresie wiadać, że w ciągu 15 minut z przejścia może korzystać nawet 28 osób. Tak duża liczba pieszych powoduje, że zielona faza powinna pojawiać się częściej, niż dotychczas. Wywołanie fazy poprzez przycisk znajdujący się przed przejściem nie jest wystarczające w takich warunkach, więc część pieszych przechodzi nielegalnie, powodując niebezpieczeństwo na skrzyżowaniu.

Procentowo udział pieszych przechodzących prawidłowo oraz nieprawidłowo – na czerwonym świetle zaprezentowano na rysunku 10.

Na podstawie danych zamieszczonych na wykresie można stwierdzić, że prawie w każdym interwale (6 z 8) część osób przechodziło na czerwonym świetle. Najwięcej to aż 46,15% w ciągu 15 minut. W celu prezentacji wyników z całego badania uśrednione wyniki przedstawiono na wykresie kołowym, który obrazuje średni procentowy udział pieszych przechodzących w prawidłowy sposób oraz na czerwonym świetle (rys. 11).

14,68% badanych osób przechodziło przez przejście w nieodpowiedni sposób, co często powodowało niebezpieczeństwo na drodze. Często na zielone światło oczekiwano ponad 3 minuty. Zachowanie systemu świetlnego powoduje, że duża część pieszych łamie przepisy, co udowadniają powyższe pomiary.

■ % osób przechodzących na czerwonym świetle
■ % osób przechodzących na zielonym świetle



Rys. 11. Wykres kołowy przedstawiający procentowy podział pieszych przechodzących prawidłowo oraz na czerwonym świetle na ul. Mogiłskiej w kierunku skrzyżowania ulicy Meissnera z ulicą Jana Pawła II

Działanie Systemu Detekcji

System detekcyjny, żeby rozwiązać problem, został przystosowany do wykrywania jedynie pojazdów dwuśladowych. Ignoruje on przechodniów, rowerzystów oraz motocyklistów – jednak można przygotować odpowiednie dane, które po podaniu do systemu pozwolą na rozszerzenie możliwości detekcyjnych.

W celu poprawnego wyszkolenia maszyny wektorów nośnych wykorzystano ponad 500 zdjęć reprezentujących samochody z różnych ujęć, stanowiące dane o wadze pozytywnej oraz ponad 600 zdjęć reprezentujących obszary z wagą negatywną, gdzie detekcja nie jest porządna. Każde zdjęcie zostało przekształcone w zbiór histogramów orientacyjnych. Szkolenie detektora odbywa się poprzez podanie mu serii histogramów orientacyjnych z przypisanymi wagami – pozytywnymi lub negatywnymi.

Wyszkolony detektor po sprawdzeniu testem składającym się z podobnych serii zdjęć wykazuje 96% skuteczności, co daje podstawę do wykorzystania w systemie. Ewentualne

negatywne braki w detekcji koryguje częstotliwość pomiaru oraz część odpowiedzialna za śledzenie. Jednakże sposób wykonania zdjęć ogranicza sposób umiejscowienia kamery, która dla pełnej sprawności systemu musi znajdować się ponad poziomem pasa drogowego.

Całość kodu odpowiedzialna za detekcję i śledzenie została napisana w języku c++ z wykorzystaniem bibliotek standardowych wraz z bibliotekami na licencji *opensource* do przetwarzania obrazów *OpenCV*.

Do detekcji obiektu wykorzystano wbudowany algorytm bazujący na wspomnianej wyżej maszynie wektorów nośnych. Śledzenie obiektu przeprowadzono za pomocą obszarów o zwiększonym prawdopodobieństwie detekcji.

Algorytm działania wyposaża każdy pas ruchu w wirtualne bramki. Po pozytywnej detekcji obiektu, bramka automatycznie zaczyna podążać za obiektem zbierając pomiar o aktualnej prędkości i kierunku ruchu.

W trakcie kiedy bramka śledzi jeden pojazd, na jej miejscu startowym zostaje stworzona następna, która pozwoli śledzić następnego obiekt. Projekt jest w fazie rozwojowej, więc technika śledzenia może ulec zmianie, gdyż

aktualna wersja do efektywnej detekcji zakłada zapewnienie kamery zystego pola widzenia na drogę [5], [6], [7]. Ze względu na perspektywę ujęcia, został użyty tylko jeden tor z bramką śledzącą.

Podsumowanie

Ze względu na dużą niedokładność poprzedniego podejścia, aktualnie metoda jest zmieniona. Do śledzenia pojazdów wykorzystywana teraz jest różnica między dwoma klatkami – aktualną oraz poprzednią – takie podejście zwane jest ruchem optycznym (ang. *opticalflow*). Pozwala odszukać ruchome elementy oraz po uśrednieniu punktów pomiarowych śledzić obiekty.

Aktualnie metoda generuje duże ilości szumu w stosunku do poprawnych wykryć. Szum jest rozumiany poprzez wielokrotne zaznaczanie lub obrysowanie tego samego obiektu, przez co jeden pojazd może być interpretowany jako wiele. W obecnym stadium projektu można pozbyć się szumu poprzez wykorzystanie algorytmów detekcyjnych, które pozostały niezmienione w stosunku do poprzedniego rozwiązania.

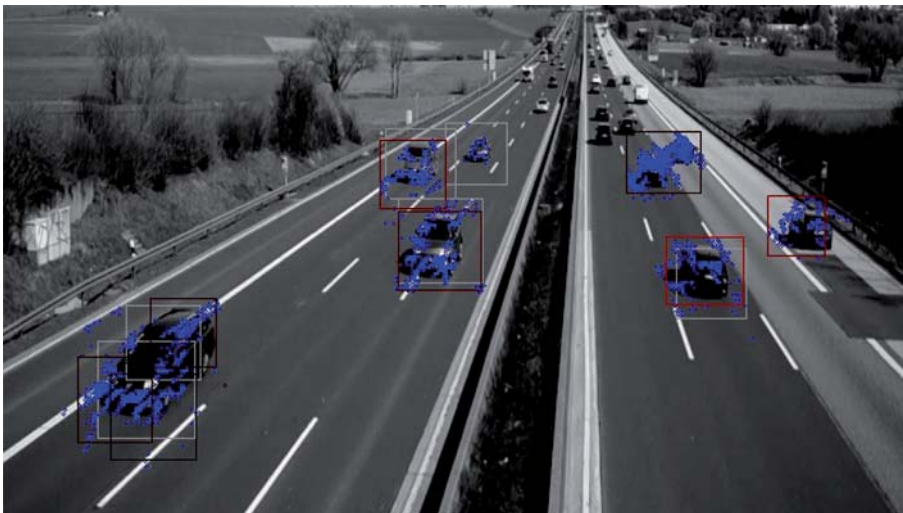
Dzięki wykorzystaniu ruchu optycznego, można stworzyć prosty system śledzący obiekty, który nie będzie zużywał tyle mocy obliczeniowej, co profesjonalne algorytmy śledzące, wykorzystujące sieci neuronowe lub inne metody uczenia maszynowego. Stwarza



Fot. 2. Bramki oczekujące na wykrycie pojazdu



Fot. 3. Bramki po wykryciu pojazdu



Fot. 4. Przykład zastosowania wykorzystywanej metody

to szansę instalacji oprogramowania, na urządzeniu o ograniczonych zasobach.

Powyżej jest prezentowane zdjęcie z przykładowej drogi, wykorzystujące aktualną metodę.

Ciemne, czarne lub czerwone obramowania stanowią efekt wykrycia obiektu poprzez metodę wykorzystującą ruch optyczny. Białe obramowania to wykryte pojazdy poprzez maszynę wektorów nośnych. Niebieskie kropki oznaczają miejsca, w których wykryto ruch optyczny, to dzięki nim możliwe jest śledzenie obiektu. Z kompletnym materiałem przedstawiającym działanie systemu można zapoznać się w [11].

Bibliografia

- [1] MSR TRAFFIC, http://www.msrttraffic.com.pl/detektory_wideodetekcja.html, (data dostępu 02.03.2018 r.).
- [2] JEDNOŚLAD, <http://www.jednoslad.pl/skrzyzowania-z-petla-indukcyjna/>, (data dostępu 03.03.2018 r.).
- [3] GOOGLE MAPS, <https://www.google.pl/maps/@50.0686251,19.9712035,1338m/data=!3m1!1e3>, (data dostępu 05.03.2018 r.).
- [4] STREET VIEW, <https://www.google.pl/maps/@50.0665392,19.9641111,3a,75y,241.51h,83.19t/data=!3m6!1e1!3m4!1sGg9r0qwSSoNLsV4fQ3uQeg!2e0!7i13312!8i6656>, (data dostępu 05.03.2018 r.).
- [5] LEARNOPENCV, <https://www.learnopencv.com/>, (data dostępu 08.03.2018 r.).
- [6] DOKUMENTACJA OPENCV, <https://docs.opencv.org/3.4.1/>, (data dostępu 08.03.2018 r.).
- [7] CHATBOTSLIFE.COM, <https://chatbotslife.com/vehicle-detection-and-tracking-using-computer-vision-baea4df65906>, (data dostępu 05.04.2018 r.).
- [8] EDROGA.PL, <https://edroga.pl/drogi-i-mosty/wideodetekcja-i-monitoring-wizyjny-2506238>, (data dostępu 05.04.2018 r.).
- [9] CZASOPISMOLOGISTYKA.PL, <https://www.czasopismologistyka.pl/artykuly-naukowe/send/298-artykuly-na-plycie-cd-1/3869-artykul>, (data dostępu 05.04.2018 r.).
- [10] CZASOPISMOLOGISTYKA.PL, <https://www.czasopismologistyka.pl/artykuly-naukowe/send/333-artykuly-na-plycie-cd-1/7772-klos-metoda-okreslania>
- [11] youtube.com, https://www.youtube.com/watch?v=fX_5Osciokg&feature=youtu.be

Z serwisu GDDKiA

Po S8 bezpieczniej i płynniej z Warszawy do Białegostoku

Możemy już korzystać z ponad 16-kilometrowego odcinka S8 od węzła Poręba do obwodnicy Ostrowi Mazowieckiej. To pierwszy i zarazem przedostatni fragment o nawierzchni z betonu cementowego na trasie między Warszawą a Białegostok. W drugiej połowie października ma być gotowy ostatni odcinek: Wyszków – węzeł Poręba. To pozwoli podłączyć Białystok z siecią dróg szybkiego ruchu w Polsce i Europie.

Udostępniony kierowcom odcinek od węzła Poręba do obwodnicy Ostrowi Mazowieckiej jest kolejnym (po fragmencie Ostrów Mazowiecka – granica województwa) – z mazowieckich odcinków S8, z którego kierowcy mogą korzystać – na zasadzie tymczasowej organizacji ruchu z ograniczeniem prędkości do 100 km/h. Wynika to z trwających prac wykończeniowych. Po udostępnieniu kierowcom drogi głównej można będzie też dokończyć prace przy moście budowanym w ciągu drogi serwisowej, po której dotychczas odbywał się cały ruch Warszawa – Białystok. Bez ograniczeń kierowcy pojedą najprawdopodobniej przed końcem bieżącego roku.

Ponad 16-kilometrowy odcinek od węzła Poręba do obwodnicy Ostrowi Mazowieckiej realizuje konsorcjum firm PORR i UNIBEP.

Umowę z wykonawcą podpisano 17 lutego 2016 r. Nowo oddana dwujezdniowa trasa, oprócz odcinka omijającego miejscowość Dybki, biegnie po starym śladzie DK8. Koszt realizacji to ok. 405 mln zł. Odcinek ten ma dofinansowanie ze środków unijnych (POIS 2014–2020), które obejmuje 3 odcinki S8 od Wyszkowa do granicy województwa i wynosi 779,7 mln zł.

W ciągu trasy budowano dwa węzły drogowe: Dybki i Nagoszewo, kładkę dla pieszych, 4 mosty, 3 wiadukty oraz 1 wiadukt nad drogą ekspresową i 16 przejść dla zwierząt (w tym 2 górne). Nowy odcinek łączy się z istniejącą obwodnicą Ostrowi Mazowieckiej i razem z nią stanowi już przeszło 110-kilometrową dwujezdniową drogę ekspresową S8 do Białegostoku.

W budowie jest jeszcze fragment od obwodnicy Wyszkowa do węzła Poręba. Ten ma zostać udostępniony kierowcom w drugiej połowie października, co pozwoli na domknięcie połączenia S8 Warszawa – Białystok.

17-09-2018