

Sposoby detekcji pojazdów transportu zbiorowego i ich funkcjonalność¹

JAN ALEKSANDROWICZ

mgr inż., Politechnika Krakowska,
Wydział Inżynierii Lądowej, 31-155
Kraków, ul. Warszawska 24, e-mail:
jaleksandrowicz@pk.edu.pl

MACIEJ PIWOWARCZYK

mgr inż., Politechnika Krakowska,
Wydział Inżynierii Lądowej, 31-155
Kraków, ul. Warszawska 24, e-mail:
mpiwowarczyk@pk.edu.pl

Streszczenie: Artykuł porusza tematykę detekcji pojazdów transportu zbiorowego w obrębie skrzyżowań z sygnalizacją świetlną. W artykule zostały przedstawione sposoby wykrywania pojazdów transportu zbiorowego, ich funkcjonalności i przydatność w nowoczesnych systemach sterowania ruchem. W artykule zostały przedstawione m.in. takie rozwiązania jak: detekcja indukcyjna, detekcja radiowa, wideodetekcja czy detekcja na podstawie lokalizacji GPS. Dodatkowo zaproponowano możliwość wykorzystania techniki RFID w detekcji pojazdów transportu zbiorowego.

Słowa kluczowe: transport zbiorowy, priorytet w ruchu, detekcja pojazdów

Wprowadzenie

Obecnie w Polsce udział transportu samochodowego w miastach gwałtownie rośnie, przez co zwiększa się też ryzyko wystąpienia kongestii w ruchu. Aby zapewnić możliwość uprzywilejowania pojazdów transportu zbiorowego na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną, należy stosować system oparty na różnych sposobach detekcji pojazdów. Wśród najczęściej stosowanych rozwiązań warto wymienić detekcję indukcyjną, wideodetekcję oraz detekcję radiową. Każdy ze sposobów detekcji pojazdów ma swoje funkcjonalności, w tym mocne i słabe strony. Obecnie najważniejszymi wymaganiami stawianymi systemom detekcji pojazdów jest prostota wdrożenia, niska cena, odpowiednio wczesna detekcja pojazdu, niezawodność i trwałość elementów systemu i możliwość pomiaru wielu zmiennych.

Detekcja indukcyjna

Detekcja indukcyjna to najpopularniejsza metoda detekcji pojazdów wśród obecnie stosowanych w Polsce. Poprzez zbieranie informacji na temat obecności pojazdów nad pętlą indukcyjną możliwe jest wyznaczenie liczby pojazdów przejeżdżających nad detektorem. Wadą tego rozwiązania jest problem z ustalaniem struktury rodzajowej pojazdów przejeżdżających przez badany przekrój drogi. Dodatkowo pętla indukcyjna nie zapewnia stuprocentowej dokładności pomiaru. [3]

Detekcja pojazdów przy wykorzystaniu pętli indukcyjnych opiera się na zmianie wartości indukcyjności prostokątnej pętli, powodowanej przez pojazd (masę metalu w pojeździe). Podczas przejeżdżania pojazdu lub w przypadku zatrzymania pojazdu nad pętlą indukcyjną dochodzi

do zakłócenia pola magnetycznego, które następnie przekształcane jest na binarny sygnał cyfrowy, zapisywany w bazie danych systemu. [3]

Pętla indukcyjna powinna umieszczać się około 2–5 cm pod powierzchnią jezdni. Jednakże, jeżeli w jezdnię wbudowane jest torowisko tramwajowe, pętla indukcyjna powinna być montowana w oddaleniu co najmniej 30 cm od torów tramwajowych. [3]

Pętla indukcyjna są stosowane w obrębie jezdni dla samochodów (fot. 1), jak i w obrębie torowisk tramwajowych (także tych wydzielonych poza jezdnię). Najczęściej pętla indukcyjna w obrębie wydzielonych torowisk tramwajowych można spotkać jako płyty betonowe umieszczone pomiędzy szynami (jak na fot. 2).

Stosowanie pętli indukcyjnych do detekcji pojazdów transportu zbiorowego ma sens wyłącznie w przypadku wydzielonych torowisk tramwajowych lub wydzielonych pasów



Fot. 1. Pętla indukcyjna zlokalizowana w jezdni
Źródło: archiwum autorów



Fot. 2. Pętla indukcyjna na wydzielonym torowisku tramwajowym
Źródło: <http://www.transportszynowy.pl/sygetplad.jpg>

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2016. Wkład autorów w publikację: J. Aleksandrowicz 50%, M. Piwowarczyk 50%.

autobusowych i autobusowo-tramwajowych. W każdym innym przypadku pętle indukcyjne będą traktowały pojazd transportu zbiorowego tak, jak każdy inny wykryty pojazd. Za pomocą układu pętli indukcyjnych (jak na fot. 3) możliwe jest nie tylko zbieranie informacji na temat obecności pojazdu, ale także jego prędkości i kierunku jazdy (w przypadku torowisk tramwajowych jednotorowych). Pętle indukcyjne są często wykorzystywane jako rezerwowy system detekcji dla pojazdów transportu zbiorowego (na wypadek awarii podstawowego systemu). [3]

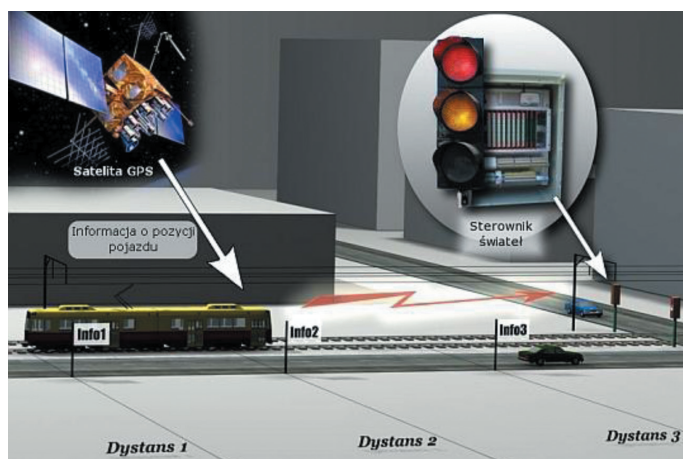


Fot. 3. Układ pętli indukcyjnych na wydzielonym torowisku tramwajowym
Źródło: http://tramwaje.gdanskie.info/data/media/181/pozna_grunwaldzka_jeleniogrska_ptle_indukcyjne.JPG

Detekcja radiowa

Detekcja radiowa pojazdów transportu zbiorowego najczęściej wykorzystywana jest w przypadku tramwajów. Zapewnia ona znacznie większe możliwości niż pętle indukcyjne. Umożliwia przesyłanie wielu informacji z pojazdu zarówno do dyspozytorni ruchu, jak i lokalnych sterowników sygnalizacji świetlnej. Dodatkowo dzięki temu sposobowi detekcji możliwe jest wykrycie nadjeżdżającego pojazdu transportu zbiorowego w gronie innych pojazdów (np. w przypadku autobusów poruszających się po jezdniach bez wydzielonych pasów dla autobusów). Detekcja radiowa zapewnia także możliwość wczesnego wykrycia pojazdu zbliżającego się do sygnalizacji świetlnej bez potrzeby tworzenia dodatkowej infrastruktury w obrębie jezdni lub torowiska (tak jak ma to miejsce w przypadku detekcji indukcyjnej).

W detekcji radiowej pojazd zbliżający się do sygnalizacji świetlnej wysyła jeden lub więcej meldunków o zbliżaniu się do skrzyżowania. Dzięki temu sterowniki sygnalizacji świetlnej mogą odpowiednio dopasować plan sygnalizacyjny tak, aby pojazd mógł bez zatrzymania przejechać przez skrzyżowanie. W zależności od potrzeb użytkownika drogą radiową mogą być wysyłane także inne informacje z pojazdu m.in. jak aktualna prędkość pojazdu, napelnienie lub numer taborowy. Schemat funkcjonowania detekcji radiowej pojazdów transportu zbiorowego został przedstawiony na rysunku 1. [2]



Rys. 1. Schemat detekcji radiowej pojazdów transportu zbiorowego
Źródło: źródło: <http://www.infotron.com.pl/images/pl/prior.jpg>

Największą wadą detekcji radiowej pojazdów transportu zbiorowego jest przymus wyposażenia pojazdów w odpowiednie urządzenia (autokomputery i anteny radiowe). Wiąże się to z kosztami wdrażania systemu nie tylko po stronie zarządcy infrastruktury, ale także przewoźników. Detekcja radiowa tramwajów stosowana jest obecnie m.in. w Krakowie czy Wrocławiu. [2,3]

Detekcja GPS

Nadawanie priorytetów w sygnalizacji świetlnej dla pojazdów transportu zbiorowego na podstawie lokalnych detektorów nie umożliwia zarządzania całym systemem. Zarówno pętle indukcyjne (informujące wyłącznie o przejeździe jakiegoś pojazdu), jak i detekcja radiowa nie umożliwiają dokładnego zlokalizowania każdego pojazdu w sieci. Tę możliwość zapewnia system lokalizacji satelitarnej GPS. System ten umożliwia dyspozytorni ruchu zlokalizowanie każdego pojazdu w sieci, określenie jego parametrów ruchowych, odchylenia czasu jazdy od czasu rozkładowego oraz identyfikację lokalnych zatorów w sieci. [2]

Detekcja na podstawie systemu GPS umożliwia przyznawanie priorytetów w sygnalizacji świetlnej dla pojazdów transportu zbiorowego oraz odpowiednie ich nadawanie w celu zmniejszania czasu opóźnień lub niwelowaniu nadspieszzeń. Możliwe jest to m.in. poprzez wyznaczenie odpowiedniej sekwencji nadawania sygnałów uprawniających na przejazd w obrębie węzłów komunikacyjnych m.in. w celu uniknięcia sytuacji, gdy przed pojazd opóźniony wjedzie pojazd nadspieszony (generujący dodatkowe straty czasu dla pojazdu opóźnionego).

Detekcja GPS nie jest jednak idealnym rozwiązaniem, ponieważ na skutek braku sygnału z pojazdu (np. podczas przejazdu tunelem tramwajowym) dyspozytornia traci wszelkie informacje o lokalizacji pojazdu. Stąd warto zauważyć, że detekcja z wykorzystaniem lokalizacji GPS powinna być stosowana jako dodatkowy system, zapewniający prostsze zarządzanie priorytetami dla pojazdów transportu zbiorowego w obrębie węzłów komunikacyjnych, czy system wspierający zarządzanie i nadzór nad taborom w sieci.

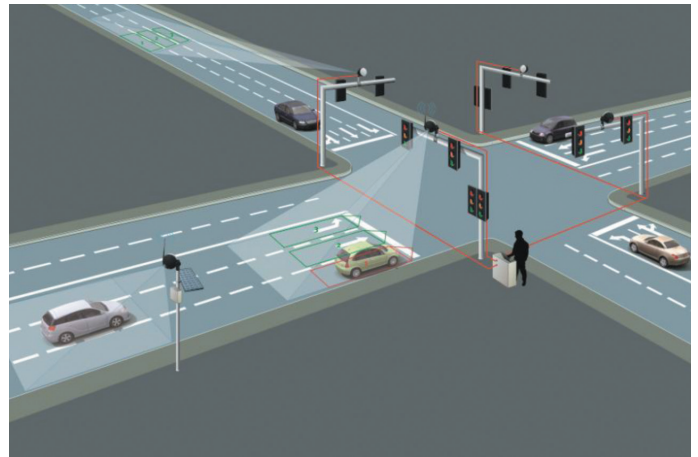
Detekcja wideo

Zastosowanie wideodetekcji umożliwia zbieranie bardzo wielu danych na temat ruchu pojazdów. Możliwe jest nie tylko zbieranie informacji na temat przejazdu pojazdów czy ich prędkości, ale także o strukturze rodzajowej ruchu. Wdrażanie detektorów wideo nie wymusza kosztów u przewoźników (detekcja radiowa, detekcja GPS) oraz nie jest metodą inwazyjną (detekcja indukcyjna). W przeciwieństwie do pozostałych metod umożliwia w czasie rzeczywistym weryfikację danych przez operatora systemu, dzięki czemu możliwe jest szybkie wykrycie usterki w pracy systemu. [1]

Wideodetekcja opiera się na interpretacji obrazów z kamer zlokalizowanych w sieci ulicznej (najczęściej w obrębie skrzyżowań) przez specjalistyczne programy informatyczne. Programy te w zależności od użytych w nich algorytmów zapewniają różne rodzaje detekcji m.in. poprzez wyznaczanie wirtualnych pól pomiarowych (jak na rysunku 2) możliwe jest określanie wielkości pojazdu, czasu przebywania pojazdu w jednym miejscu (np. ile autobus stoi na przystanku), kierunku ruchu, a także możliwe jest wykrywanie pojazdów uprzywilejowanych. [5] W przypadku innych sposobów interpretacji obrazów z kamer możliwa jest detekcja wszystkich użytkowników ruchu, odczytywanie tablic rejestracyjnych czy śledzenie pojazdu w sieci. Dzięki stosowaniu zaawansowanych narzędzi informatycznych możliwe jest uzyskiwanie dużej liczby informacji z detektorów, które są bardziej precyzyjne niż w przypadku innych rodzajów detekcji.[1] Na rysunku 3 został przedstawiony schemat funkcjonowania podstawowego systemu wideodetekcji.



Rys. 2. Wideodetekcja z wykorzystaniem wirtualnych pól pomiarowych
Źródło: http://www.fujitsu.com/cn/en/Images/figer-4_tcm144-1598334.jpg



Rys. 3. Schemat funkcjonowania wideodetekcji

Źródło: http://www.aldridgetrafficcontrollers.com.au/Images/UserUploadedImages/112/Technical_drawing_Grey.jpg

Wideodetekcja w przypadku pojazdów transportu zbiorowego umożliwia rozpoznawanie poszczególnych pojazdów (m.in. poprzez rozpoznawanie tablic rejestracyjnych lub numerów taborowych), dzięki czemu możliwe jest w czasie rzeczywistym sprawdzenie punktualności przyjazdu pojazdu. W przypadku przystanków zlokalizowanych na wlotach skrzyżowań wideodetekcja może być wykorzystana do mierzenia czasu wymiany pasażerskiej, dzięki czemu możliwe jest skrócenie czasu oczekiwania przez pojazd na sygnał uprawniający do przejazdu przez skrzyżowanie.

Dzięki postępowi technologicznemu skuteczność wideodetekcji nie jest obecnie ściśle związana z możliwościami sprzętowymi kamer na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną. Należy jednak unikać lokalizowania kamer w miejscach, gdzie będą narażone na duże drgania lub obraz będzie częściowo zasłonięty przez różne obiekty. Ważne jest także stosowanie odpowiednich przesłon umożliwiających minimalizację wpływu jasnych źródeł światła na wyniki analizy.

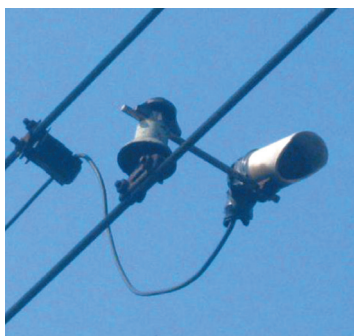
Detekcja za pomocą promieniowania optycznego

Detektory promieniowania optycznego mogą opierać swoje działanie o promieniowanie widzialne lub podczerwone. Detektory składają się z nadajnika i odbiornika fali, przy czym możliwe jest, aby nadajnik i odbiornik mógł być umieszczony w jednym urządzeniu. Za pomocą detektorów promieniowania optycznego możliwe jest zbieranie informacji o obecności pojazdu, liczbie przejeżdżających pojazdów, długości pojazdów i obecności pieszych. Detektory tego typu zapewniają większą dokładność pomiaru niż w przypadku detekcji indukcyjnej. [3]

Wadami detektorów promieniowania optycznego są trudności z odróżnianiem typu i kierunku ruchu (w przypadku układu detektorów ten problem nie występuje), wrażliwość na zewnętrzne źródła promieniowania optycznego. Kolejnymi wadami są trwałość detektorów i częsta potrzeba konserwacji urządzeń, jednakże dzięki zastosowaniu technologii LED nowoczesne detektory są bardziej trwałe od swoich poprzedników. [3]



Fot. 4. Nadajnik detektora promieniowania podczerwonego
Źródło: <http://www.transportszynowy.pl/nadajnikd.jpg>



Fot. 5. Czujnik promieniowania podczerwonego
Źródło: <http://www.transportszynowy.pl/czujnik-podcd.jpg>

Obecnie detekcja oparta na promieniowaniu podczerwonym wykorzystywana jest w takich miastach jak Kraków, Szczecin czy Wrocław w sterownikach zwrotnic i przy wzbudzaniu sygnalizacji świetlnej. Przykłady nadajnika i czujnika w detekcji opartej na promieniowaniu podczerwonym zostały przedstawione na fot. 4 i 5.

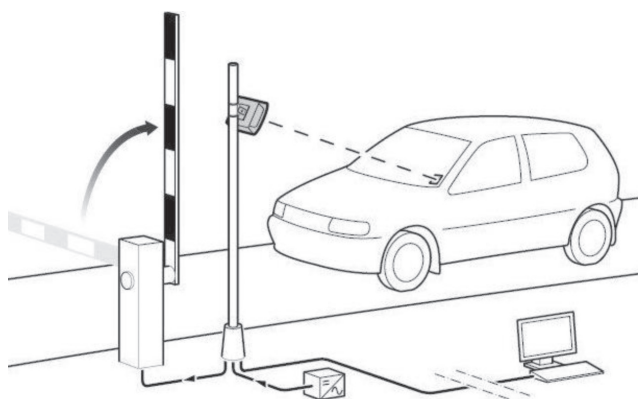
Detekcja za pomocą znaczników RFID

Detekcja za pomocą znaczników RFID (z ang. *radio-frequency identification*) stosowana jest obecnie głównie w logistyce, jednakże możliwości tej technologii mogłyby zostać wykorzystane także w detekcji pojazdów transportu zbiorowego. Aby detekcja była możliwa, każdy pojazd musiałby zostać wyposażony w jeden lub więcej znaczników (aktywnych lub pasywnych) oraz w obrębie skrzyżowań z sygnalizacją świetlną musiałby zostać zamontowane czytniki RFID z antenami.

Zastosowanie technologii RFID w detekcji pojazdów transportu zbiorowego ma pewne zalety. Najważniejszą jest cena, koszt odpowiednich znaczników pasywnych to kilkadziesiąt groszy (znaczniki aktywne są kilkanaście razy droższe jednakże działają na znacznie większym zasięgu). Dodatkowo pojedyncze czytniki są w stanie odbierać sygnał od wielu znaczników naraz, dzięki czemu nie ma potrzeby dla każdego wlotu (w przypadku skrzyżowań) montowania oddzielnych czytników. Obecnie dostępne technologie znaczników i czytników RFID zapewniają nie tylko dobrą odporność na zakłócenia, ale także coraz większy zasięg czytników.

W przypadku transportu zbiorowego technologia RFID mogłaby zostać wykorzystana nie tylko do detekcji pojazdów na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną, ale także m.in. na przystankach i końcówkach linii. Tego typu rozwiązanie dałoby możliwość zbierania wielu potrzebnych danych, takich jak m.in. czas obsługi pasażerów na przystankach, rzeczywisty czas postoju pojazdów na końcówkach linii, czas przejazdu między poszczególnymi przystankami czy dokładne informacje na temat kolejowania się pojazdów na ciągach komunikacyjnych.

Technologia RFID wykorzystywana obecnie w transporcie miejskim stosowana jest głównie do weryfikacji użytkowników wjeżdżających do stref ograniczonego ruchu. Sposób i przykład działania technologii RFID w transporcie został przedstawiony na rys. 4 i fot. 6.



Rys. 4. Sposób działania technologii RFID w transporcie
Źródło: http://www.ide.com.pl/grafika/tag_auto_big.jpg



Fot. 6. Przykład działania technologii RFID w transporcie
Źródło: <http://www.kathrein.pl/down/RFID/news-img/parking%20rfid%201.jpg>

Podsumowanie

Odpowiednia detekcja pojazdów transportu zbiorowego umożliwia efektywniejsze wykorzystanie systemów sterowania ruchem (w tym podsystemów odpowiedzialnych za przyznawanie priorytetu). Dodatkowo dobry wybór sposobu detekcji pojazdów daje możliwość zbierania dużej liczby informacji na temat ruchu pojazdów. Wśród obecnie stosowanych sposobów detekcji nie ma jednak takiego, który mógłby samodzielnie zapewniać prawie stuprocentową dokładność i niezawodność. W celu odpowiedniej detekcji pojazdów transportu zbiorowego powinno się stosować kilka sposobów detekcji jednocześnie, co mimo większych kosztów wdrażania takiego systemu mogłoby zapewnić maksymalną niezawodność i dokładność. Warto także zauważyć, że wszystkie z opisywanych w artykule sposobów detekcji są rozwijane i unowocześniane, przez co zyskują nowe funkcjonalności.

Literatura

1. Adamski A., *Inteligentne Systemy Transportowe: sterowanie, nadzór i zarządzanie*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2003.
2. Gryga Ł., Wojtaszek M., Firlejczyk G., *Obszarowy system sterowania ruchem i nadawanie priorytetu dla transportu zbiorowego w Krakowie*, „Transport Miejski i regionalny”, 2013, nr 6.
3. Leśko M., Guzik J., *Sterowanie Ruchem drogowym, sygnalizacja świetlna i detektory ruchu pojazdów*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
4. Molecki A., *Kształtowanie priorytetu tramwajowego w procesie wdrażania ITS we Wrocławiu*, „Przegląd Komunikacyjny”, 2015, nr 5.
5. Piecha J., *Systemy informatyczne transportu – badania, inżynieria, kształcenie*, „ITS Przegląd”, luty 2009.