

# System testowania i walidacji modeli do sterowania ruchem pojazdów

Marcin Hubacz, Andrzej Paszkiewicz, Bartosz Pawłowicz, Mateusz Salach,  
Bartosz Trybus, Konrad Żak

Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono prototypowy model do testowania różnych koncepcji i scenariuszy monitorowania i zarządzania ruchem pojazdów z wykorzystaniem koncepcji RFID oraz Internetu Rzeczy. Wskazano na wyzwania związane z identyfikacją ruchomych obiektów oraz potrzebę stosowania wydajnych protokołów komunikacyjnych w środowiskach wielodostępowych. Przedstawiono badania związane z zastosowaniem automatycznej identyfikacji pojazdów (AVI) do zarządzania ruchem i kontrolą dostępu w czasie rzeczywistym, podkreślając korzyści płynące ze stosowania technologii RFID w tworzeniu w pełni zautomatyzowanych systemów zarządzania dostępem. Rozproszony system testowy pozwala na walidację prototypów i algorytmów związanych z procesami i strukturami do zarządzania ruchem. Model uwzględnia wykorzystanie rozwiązań chmurowych, w szczególności Azure IoT Hub do zbierania i monitorowania danych o ruchu pojazdów. Elastyczność proponowanej architektury testowej pozwala na sprawdzanie różnych konfiguracji sprzętu i oprogramowania w zróżnicowanych scenariuszach użytkowania, co prowadzi do szybszego rozwoju i wdrażania proponowanych rozwiązań.

**Słowa kluczowe:** zarządzanie ruchem, identyfikacja pojazdów, RFID, IoT

## 1. Wprowadzenie

Zarządzanie ruchem w mieście jest dużym wyzwaniem zarówno z perspektywy technologicznej, jak i logistycznej. Polega na kształtowaniu przepływu pojazdów w taki sposób, aby ruch przebiegał płynnie w ramach określonych parametrów i ograniczeń. Sterowanie ruchem w czasie rzeczywistym powinno być dynamicznie kształtowane w oparciu o zmieniające się warunki otoczenia, takie jak nieoczekiwane zdarzenia i planowane roboty drogowe. System sterowania ruchem powinien kompleksowo uwzględniać specyfikę całego miasta, w tym strefy ograniczonego ruchu zarezerwowane dla konkretnych pojazdów, zajętość miejsc parkingowych oraz zdarzenia społeczno-gospodarcze. Nowoczesne systemy sterowania ruchem powinny nie tylko uwzględniać wzorce ruchu, ale także aktywnie nimi zarządzać, aby ograniczać emisję gazów cieplarnianych, promować korzystanie z transportu publicznego, ograniczać dostęp niektórych pojazdów

do wybranych obszarów miejskich oraz ułatwiać przejazd pojazdów uprzywilejowanych.

Kluczowe dla takich systemów jest zapewnienie mechanizmów identyfikacji pojazdów w procesach zarządzania ruchem. W tym celu można wykorzystać systemy identyfikacji wizyjnej, jednak ich skuteczność jest silnie uzależniona od warunków atmosferycznych (deszcz, śnieg, mgła itp.). Jedną z technik, którą można zastosować są systemy identyfikacji oparte na identyfikatorach RFID (ang. *Radio Frequency IDentification*). Ich działanie polega na użyciu fal radiowych, które umożliwiają przesyłanie danych. Systemy te są wykorzystywane w różnych aplikacjach, jak Internet Rzeczy (IoT) [2], Fast Moving Consumer Goods (FMGC) [3], systemy bezpieczeństwa, a nawet w muzeach poprawiając wrażenia ze zwiedzania wystaw [4].

Technika RFID, jako system identyfikacji zbliżeniowej, może być użyta do zarządzania ruchem pojazdów. Przykładem są systemy zarządzania transportem publicznym [5], transportem towarowym i zarządzania ruchem [6, 7], monitorowanie ruchu [8] oraz pobór opłat drogowych [9, 10].

Wykorzystanie znaczników RFID w procesie dynamicznego zarządzania ruchem miejskim wiąże się z koniecznością identyfikacji dużej liczby poruszających się pojazdów. Intensywne badania prowadzą do ciągłej ewolucji istniejących standardów komunikacji. Pojawiają się nowe technologie, szczególnie w przypadku systemów RFID, które pracują na częstotliwościach HF i UHF [9]. Wyniki badań i nowe standardy pozwalają na skuteczną identyfikację pojedynczych pojazdów, nawet w dużych skupiskach.

### Autor korespondujący:

Marcin Hubacz, m.hubacz@prz.edu.pl

### Artykuł recenzowany

nadesłany 24.09.2024 r., przyjęty do druku 13.01.2025 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Int.

Ważnym elementem systemu zarządzania ruchem są algorytmy sterowania. Podczas ich opracowywania konieczne jest testowanie w warunkach zbliżonych do rzeczywistych scenariuszy. W tym celu skonstruowano system do testowania i weryfikacji prototypów modeli i algorytmów dedykowanych do nadzoru nad procesami i strukturami IoE (ang. *Internet of Everything*), w tym rozwiązań do zarządzania ruchem. System ten umożliwi efektywne testowanie nowych algorytmów i rozwiązań z zakresu dynamicznej identyfikacji pojazdów i zarządzania ruchem na terenach miejskich i przemysłowych.

## 2. Dynamiczny system lokalizacji pojazdów wykorzystujący RFID

Rosnąca liczba dróg lokalnych, połączeń międzymiastowych i autostrad, wraz ze wzrostem natężenia ruchu, wymusza kompleksowe podejście do zarządzania ruchem samochodowym przez administratorów obszarów miejskich. Podejmując decyzje dotyczące kontroli przejazdu pojazdów na danej trasie, należy wziąć pod uwagę kilka czynników, takich jak typy pojazdów, strefy ograniczonego ruchu, pora dnia oraz prognoza natężenia ruchu skorelowana z potrzebami grup społecznych. Coraz częściej w centrach miast wyznaczane są specjalne strefy wyłącznie dla pojazdów elektrycznych i hybrydowych. Takie warunki wymagają wdrożenia mechanizmów automatycznej identyfikacji pojazdów, monitorujących i kontrolujących dostęp do tych stref. Rozwiązania tego typu należą do kategorii systemów automatycznej identyfikacji pojazdów (AVI) [1], które zajmują się monitorowaniem ich lokalizacji w czasie rzeczywistym.

W prowadzonych badaniach systemy RFID zostały wskazane jako rozwiązanie umożliwiające zarządzanie i monitorowanie ruchu, szczególnie w środowisku miejskim oraz identyfikację pojazdów i przekazywanie informacji do systemów automatyki w pojazdach. W tym celu pojazdy powinny

być wyposażone w identyfikatory RFID. Znaczniki te mogą być montowane np. na przedniej szybie pojazdu zarówno na etapie produkcji, jak i w pojazdach już eksploatowanych. Systemy instalowane na etapie produkcji mogą dostarczyć szereg dodatkowych informacji serwisowych, pozwalających na właściwy dobór części zamiennych, identyfikację poziomów emisji do atmosfery czy zaplanowanie przeglądów serwisowych. Znakowanie pojazdów może być użyte w ograniczaniu stref ruchu, planowaniu przepływu i systemach parkingowych.

Na rys. 1 przedstawiono wybrane sposoby instalacji anten odczytująco-zapisujących RFID (RWD) w zależności od ograniczeń i wymagań. Anteny mogą być montowane na belkach montażowych nad drogą (rys. 1a), na masztach wzdłuż drogi (rys. 1b) lub bezpośrednio w nawierzchni drogi (rys. 1c). Należy zauważyć, że zagęszczenie instalacji antenowych zależy od przepustowości transmisji danych poszczególnych odcinków dróg. W lokalizacji (rys. 1d) każda antena RWD obsługuje jeden pas ruchu i identyfikuje pojazdy w obrębie swojej wiązki drogowej, dlatego w takich systemach często stosuje się anteny kierunkowe. Możliwe jest również zmniejszenie liczby anten przez wprowadzenie wielu procesów AVI, gdzie zasięg anten obejmuje wiele pasów ruchu (rys. 1e).

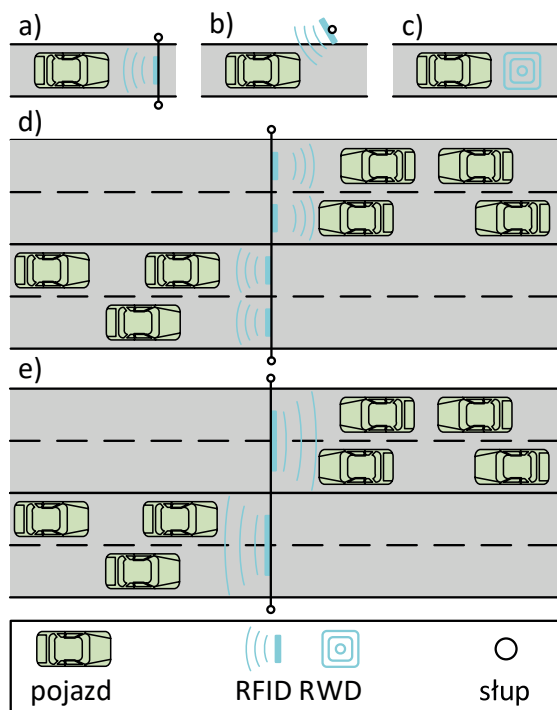
Komercyjne systemy identyfikacji RFID działają zgodnie z przepisami prawnymi i standardami branżowymi. Przykładami takich wymagań są ISO 14443 [16], ISO 15693 [17], ISO 18000 [18]. Szczególnie interesująca z punktu widzenia identyfikacji pojazdów, jest norma ISO 18000 część 63.

## 3. Architektura modelu badawczego

W trakcie prac nad algorytmami sterowania ruchem pojazdów przyjęto dwa założenia. Do przeprowadzenia badań niezbędne jest stworzenie modelu badawczego, który pozwoli na symulację różnych układów ulic, systemów sterowania (np. sygnalizacji świetlnej) oraz przepływu ruchu. Model powinien uwzględniać różne możliwości wdrażania systemów RFID. Takie podejście ułatwi testowanie różnych algorytmów sterowania i weryfikację działania systemu w warunkach laboratoryjnych, ale zbliżonych do realistycznych. Drugie założenie dotyczy lokalizacji algorytmów przetwarzania i sterowania danymi. Zdecydowano, że zostaną one wdrożone w chmurze obliczeniowej. Projektowany model musi umożliwiać dwukierunkową komunikację z komponentami oprogramowania znajdującymi się w środowisku chmurowym.

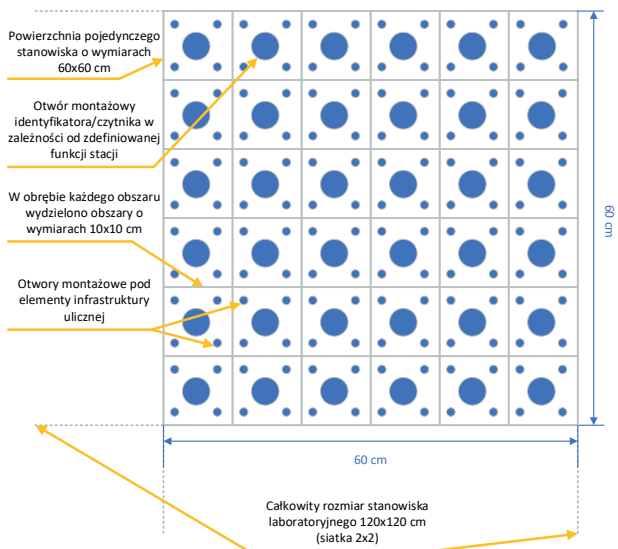
Opracowano model symulacji ruchu w obszarach zurbanizowanych z możliwością realizacji zmiennych scenariuszy drogowych z użyciem RFID. Model laboratoryjny składa się z modułów o wymiarach 60 cm × 60 cm, które można ze sobą łączyć (rys. 2). Model pozwala na testowanie i aktywację w dwóch trybach. Pierwszym jest scenariusz, w którym czytniki RFID działają na poziomie infrastruktury miejskiej, kontrolowanej przez mikrokomputer jednopłytkowy SBC. Platforma obliczeniowa komunikuje się z czytnikami RFID przez multiplexer 16:1 za pomocą protokołu SPI (rys. 3). Po wykryciu znacznika RFID w obszarze roboczym czytnika wysyła sygnał przerwania do multiplexera (rys. 3a).

Po prawidłowym skonfigurowaniu multiplexera następuje komunikacja między czytnikiem RFID a SBC (rys. 3b). Czytnik RFID przesyła UID identyfikatora oraz informacje o pojeździe zapisane w jego pamięci (rys. 3c). Dane są przesyłane do chmury obliczeniowej, gdzie są przetwarzane w czasie rzeczywistym. Na podstawie informacji otrzymanych z chmury, jednostka SBC steruje infrastrukturą techniczną, np. oświetleniem ulicznym.



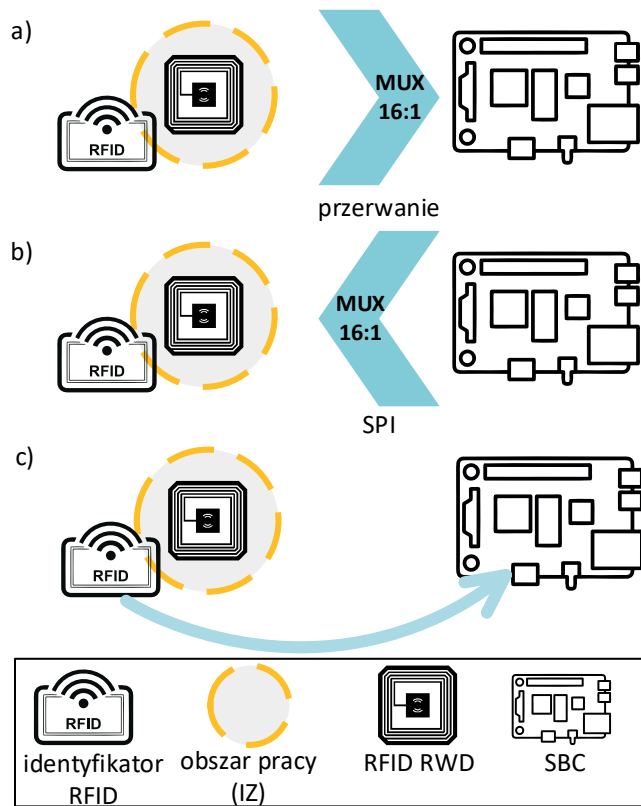
Rys. 1. Przykłady lokalizacji anten RFID do pomiaru ruchu pojazdów na infrastrukturze drogowej

Fig. 1. Examples of RFID antenna locations for measuring vehicle traffic in road infrastructure



Rys. 2. Schemat budowy modułowej platformy testowej  
Fig. 2. Construction diagram of a modular test platform

Drugi tryb polega na zbieraniu danych za pomocą czytników RFID zintegrowanych z pojazdem mobilnym, odczytujących dane z identyfikatorów umieszczonych w infrastrukturze drogowej. Pasywne znaczniki mogą dostarczać systemom pokładowym pojazdu informacje o warunkach drogowych, temperaturze powietrza i nawierzchni drogi, lokalizacji i nie tylko. Informacje o lokalizacji pojazdu są też dostępne w miejscach ograniczonego zasięgu GPS, takich jak tunele, parkingi podziemne czy obiekty przemysłowe.



Rys. 3. Etapy pobierania informacji z identyfikatorów RFID do systemu z wykorzystaniem SBC  
Fig. 3. Steps of downloading information from RFID identifiers to the system using SBC

## 4. Architektura systemu zarządzania ruchem

Zdecydowano, że architektura systemu sterowania i zarządzania ruchem będzie oparta na chmurze obliczeniowej komunikującej się z urządzeniami sterującymi ruchem, pojazdami i infrastrukturą drogową. Chmura obliczeniowa zapewnia usługi obliczeniowe, np. serwery, sieci, bazy danych i oprogramowanie. Rozwiązanie to umożliwi szybką rekonfigurację, dzięki dużej elastyczności i skali dostępnych zasobów.

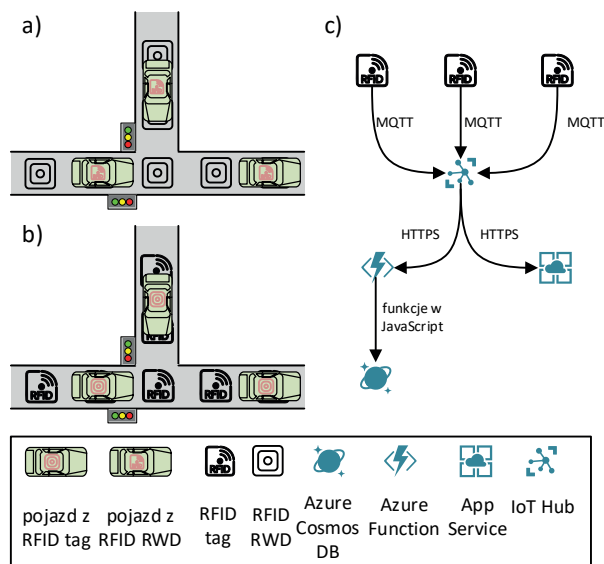
Istotnym elementem architektury omawianego prototypu są usługi platformy chmurowej Microsoft Azure, które obejmują:

- Azure Cosmos DB – system nierelacyjnej bazy danych NoSQL,
- Azure Function – mechanizm uruchamiania funkcji niestandardowych,
- Azure IoT Hub – integrator rozwiązań Internetu Rzeczy,
- AppService – środowisko uruchomieniowe aplikacji.

Rozważane są dwa rozwiązania dotyczące architektury systemu zarządzania ruchem. W pierwszym przypadku (rys. 4a) zakłada się, że w pojazdach zainstalowany jest komputer pokładowy z czytnikiem RFID. Identyfikatory RFID są rozmieszczone w nawierzchni drogi, a pojazdy odczytują ich zawartość podczas ruchu. W drugim podejściu (rys. 4b), identyfikatory RFID umieszczane są w pojazdach i skanowane przez urządzenia znajdujące się w infrastrukturze drogowej. Chmura obliczeniowa komunikuje się z komputerami pokładowymi w pojazdach i systemami sterowania sygnalizacją świetlną.

Do przetwarzania danych służy usługa Azure IoT Hub, stanowiąca centrum całego systemu (rys. 4c). Przesyła komunikaty między aplikacją IoT a podłączonymi urządzeniami. Komunikacja z IoT Hub jest dwukierunkowa. Komunikaty umożliwiają sterowanie sygnalizacją świetlną.

Dane odebrane za pośrednictwem IoT Hub są przekazywane do usługi Azure Cosmos DB z wykorzystaniem Azure Functions. W proponowanej infrastrukturze usługa



Rys. 4. Architektura systemu; a) czytniki w jezdni, identyfikatory w pojazdach, b) czytniki w pojazdach, identyfikatory w jezdni, c) komunikacja z usługami chmurowymi  
Fig. 4. System architecture a) readers in the road, identifiers in vehicles, b) readers in vehicles, identifiers in the road, c) communication with cloud services

ta służy do przechowywania danych telemetrycznych związanych z pozycjami pojazdów, ich liczbą, stanem sygnalizacji świetlnej itp.

Usługa Azure AppService jest pomostem między IoT Hub a interfejsem użytkownika, umożliwiając odbieranie i wyświetlanie danych w czasie rzeczywistym na ekranie przeglądarki. Aplikacja składa się z modułów środowiska Node.js, z których każdy służy określonej roli, tj.:

- generowanie tokenów sygnatury dostępu współdzielonego (SAS) w celu zapewnienia bezpiecznego dostępu do zasobów IoT Hub,
- interakcja z IoT Hub za pośrednictwem funkcji asynchronicznych do odczytywania komunikatów z IoT Hub (np. identyfikatora pojazdu),
- utrzymywanie połączenia WebSocket między aplikacją serwera a przeglądarką klienta.

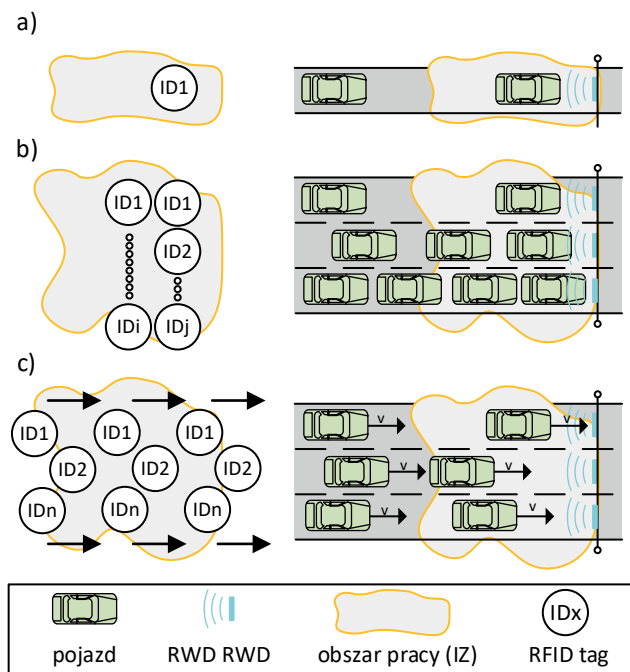
Moduły te stanowią szkielet aplikacji, umożliwiając pobieranie, przetwarzanie i wyświetlanie danych o położeniu pojazdu.

### 5. Zastosowania opracowanego modelu

Prototyp laboratoryjny może być wykorzystany do symulacji różnych scenariuszy związanych z monitorowaniem i zarządzaniem ruchem w mieście.

W najprostszym przypadku (rys. 5a), w obszarze identyfikacji znajduje się tylko jeden pojazd. Ten scenariusz jest najmniej złożony, ponieważ projektanci systemu nie muszą implementować mechanizmów obsługi kolizji sygnałów ani algorytmów różnicowania pojazdów. Ponadto pojedyncza metoda identyfikacji charakteryzuje się najniższym zużyciem energii. Zastosowanie tego scenariusza w rzeczywistych warunkach drogowych jest mało prawdopodobne.

Rzeczywiste warunki na drodze wymagają identyfikowania wielu pojazdów jednocześnie (rys. 5b). W tym trybie wymagane są wyspecjalizowane algorytmy obsługujące potencjalne kolizje komunikacyjne wielu identyfikatorów RFID znajdujących się w obszarze poprawnej pracy IZ (ang. *Interrogation Zone*).



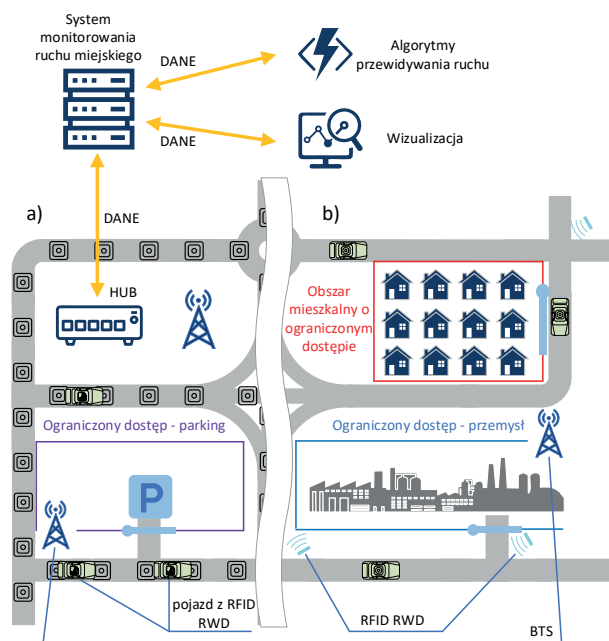
Rys. 5. Tryby identyfikacji RFID: a) pojedyncza identyfikacja; b) wielokrotna identyfikacja; c) identyfikacja dynamiczna  
 Fig. 5. RFID identification modes: a) single identification; b) multiple identification; c) dynamic identification

Dodatkowym warunkiem utrudniającym identyfikację jest ruch pojazdów podczas komunikacji (rys. 5c). Identyfikacja dynamiczna wydaje się być najbardziej odpowiednia dla aplikacji AVI. Jej skuteczność zależy od prędkości i liczby jednocześnie znajdujących się pojazdów w IZ. Cały czas system musi rozpoznawać nowe pojazdy wjeżdżające do strefy identyfikacji.

Jednym ze scenariuszy, w którym można wykorzystać system AVI, jest kontrola dostępu do wyznaczonych stref lub ulic (rys. 6). System nadzoru umożliwia pojazdom elektrycznym dostęp do obszarów, w których ruch samochodów z silnikami spalinowymi jest ograniczony. Dotyczy to również miejsc parkingowych, na których znajdują się ładowarki elektryczne. Pojazdy wyposażone w zasilanie LPG mogą nie zostać wpuszczone do stref wysokiego zagrożenia pożarowego lub parkingów podziemnych. Zastosowanie systemów AVI może obejmować również zastosowania przemysłowe, gdzie logistyka dostaw towarów w obrębie określonej strefy może być nadzorowana i kontrolowana przez system RFID. Wjazd nieupoważnionych pojazdów na wyznaczony obszar będzie ograniczony.

Wykorzystanie systemów RFID pozwala na budowanie w pełni zautomatyzowanych systemów zarządzania dostępem. Gdy pojazd zbliża się do bramki (rys. 6b, strona prawa), czytnik RFID wykrywa identyfikator w samochodzie i analizuje otrzymane informacje (numer rejestracyjny, nazwa firmy, typ pojazdu i inne). Zebrane informacje są następnie przekazywane do systemu zarządzania [14]. Po zweryfikowaniu uprawnień dostępu dla konkretnej strefy, system automatycznie decyduje, czy otworzyć bramę, czy wyświetlić komunikat informujący o braku autoryzacji do wejścia.

Alternatywnym podejściem jest instalacja identyfikatorów w infrastrukturze drogowej (rys. 6a, strona lewa). Tutaj poruszający się pojazd jest wyposażony w czytnik RFID. Pojazd poruszający się po drodze odczytuje kolejne identyfikatory RFID umieszczone na elementach infrastruktury drogowej. Następnie komputer pokładowy pojazdu przesyła zebrane dane do systemu zarządzania ruchem. Na podstawie tych informacji można obliczyć średnie obciążenie ruchem



Rys. 6. Miejska infrastruktura drogowa; a) z transponderami RFID umieszczonymi w nawierzchni drogi; b) z transponderami w pojazdach  
 Fig. 6. Urban road infrastructure: a) with RFID transponders placed in the road surface; b) with transponders in vehicles



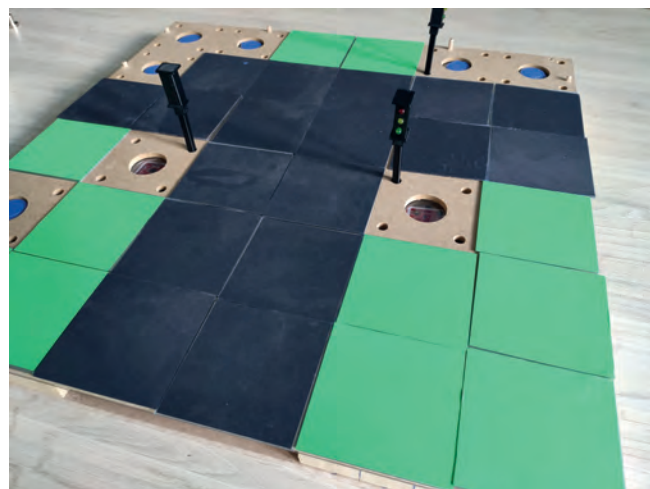
na określonych odcinkach dróg i prędkości pojazdów. Uzyskane dane mogą być wykorzystane do zarządzania ruchem w czasie rzeczywistym. W czasie zwiększonego ruchu na danym odcinku drogi, pojazdy mogą zostać przekierowane na alternatywne trasy. Podobne działania można podjąć w przypadku zdarzeń losowych, takich jak wypadki drogowe.

## 6. Badania efektywności algorytmów sterowania ruchem

Korzystając ze zbudowanej makiety (rys. 7) przeprowadzono eksperymenty, których celem była ocena wpływu zastosowania techniki RFID na poprawę efektywności algorytmu sterowania sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniu. Wykorzystano tu dane pochodzące z identyfikatorów RFID pojazdów.

Przeprowadzono pomiary czasu oczekiwania pojazdów na skrzyżowaniu przyjmując cztery scenariusze natężenia ruchu tj.:

- niskie natężenie ruchu,
- średnie natężenie ruchu,
- wysokie natężenie ruchu,
- zator drogowy.



Rys. 7. Makieta inteligentnego stanowiska pomiarowego  
Fig. 7. Mock-up of a smart measurement station

Wyniki badań podano w tabeli 1.

Stosując przytoczone cztery scenariusze przeprowadzono serię badań oceny efektywności dwóch algorytmów:

- algorytm sekwencyjny,
- algorytm wykorzystujący informacje o liczbie pojazdów z wbudowanych identyfikatorów RFID.

Tab. 1. Wyniki porównania efektywności zastosowanych algorytmów w zależności od natężenia ruchu drogowego

Tab. 1. Results of the comparison of the efficiency of the algorithms used depending on the traffic intensity

Scenariusz	Algorytm sekwencyjny [s]	Algorytm RFID [s]	Różnica [s]
Niskie natężenie	3,53	2,71	0,82
Średnie natężenie	2,18	1,7	0,48
Wysokie natężenie	2,63	2,91	-0,28
Zator drogowy	3,14	2,97	0,17

Pierwsza seria dotyczyła sterowania ruchem za pomocą algorytmu sekwencyjnego, który polega na przełączaniu światła na poszczególnych skrzyżowaniach w zadeklarowanej, stałej jednostce czasu. Liczba pojazdów nie wpływa na działanie algorytmu, który będzie wykonywany nawet w przypadku, gdy pojazdów nie będzie na danej części skrzyżowania.

Druga seria uwzględniała zastosowanie techniki RFID do zliczania liczby pojazdów. W tym przypadku zastosowano zmodyfikowany algorytm Alana J. Millera [15]. Algorytm umożliwia podejmowanie decyzji o przełączeniu sygnalizacji świetlnej do kolejnej fazy w regularnych odstępach czasu  $T$ , np. co 1 s. Wynikiem działania algorytmu jest decyzja, czy przełączenie powinno nastąpić natychmiast, czy można je odroczyć o czas  $T$ . W tym celu obliczane są zyski i straty czasowe wynikające z różnych chwil podjęcia decyzji, przesuwając przełączenie o  $k \times T$  sekund. Decyzja zależy od liczby pojazdów czekających na skrzyżowaniu. Celem jest neutralizacja obciążenia skrzyżowania przez:

- przepuszczenie większej liczby pojazdów (jeśli są) na danym odcinku,
- przełączenie algorytmu na kolejne światła w przypadku braków pojazdów.

Zastosowanie techniki RFID do identyfikacji pojazdów i ustalania ich liczby na skrzyżowaniu pozwala znacząco skrócić czas oczekiwania we wszystkich scenariuszach, poza przypadkiem wysokiego natężenia ruchu. Ten ostatni wynik można wytłumaczyć narzutem czasowym koniecznym do identyfikacji dużej liczby pojazdów w jednostce czasu. Jednocześnie wskazuje to kierunki przyszłych badań dotyczących modelowania i implementacji tego typu systemów. Kolejne badania będą nastawione nie tylko na doskonalenie algorytmów sterowania, ale również skrócenie czasu identyfikacji puli obiektów o dużej liczebności.

## 7. Podsumowanie

W ramach prowadzonych prac badawczych wdrożony został system do testowania i weryfikacji prototypów, modeli i algorytmów dedykowanych do nadzoru procesów i struktur reprezentatywnych dla zarządzania ruchem pojazdów. System ten pozwala na szybkie i łatwe testowanie nowych algorytmów i rozwiązań z zakresu dynamicznej identyfikacji pojazdów i zarządzania ruchem w systemach miejskich i przemysłowych. Zaprezentowana wysoka elastyczność funkcjonalna opracowanej i wykonanej architektury umożliwia testowanie różnych konfiguracji sprzętu i oprogramowania w różnych scenariuszach użytkowania.

## Bibliografia

1. *Ustundag The Value of RFID. Benefits vs. Costs*, 1st ed., Springer, London, UK, 2013.
2. Greengard S., *The Internet of Things*, MIT Press, 2021.
3. Tseng C. W., Huang C. H., *Toward a consistent expression of things on EPCglobal architecture framework*, 2014 International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering, Sapporo, Japan, 2014, 1619–1623, DOI: 10.1109/InfoSEEE.2014.6946195.
4. Alrafaei M.N., Bushager A., *Smart city mobility: Investigation of RFID adoption within transportation management*, Smart Cities Symposium 2018, Bahrain, 2018, DOI: 10.1049/cp.2018.1403.
5. Yatao Z., Jiangfeng W., Sijie C., Zhijun G., Haitao H., *Multi-tag Information Interactive Communication Model based on Precise Position Detection in Vehicle-Infra-*

- structure Collaboration Environment*, 2020 IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), Beijing, China, 2020, 326–330, DOI: 10.1109/ICITE50838.2020.9231342.
6. Zhang X., Li H. X., Chung H. S. H., *Setup-Independent Sensing Architecture With Multiple UHF RFID Sensor Tags*, “IEEE Internet of Things Journal”, Vol. 9, No. 2, 2022, 1243–1251, DOI: 10.1109/JIOT.2021.3079448.
  7. Hidalgo E., Muñoz F., Guerrero de Mier A., Carvajal R.G., Martín-Clemente R., *Wireless inventory of traffic signs based on passive RFID technology*, IECON 2013 – 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Vienna, Austria, 2013, 5467–5471, DOI: 10.1109/IECON.2013.6700026.
  8. Adarsh A., Arjun C., Koushik S., Krishnan M., Purushothaman V S., Nair A.K., *Integrated Real-time Vehicle Speed Control System using RFID and GPS*, 2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), Coimbatore, India, 2020, 194–200, DOI: 10.1109/ICIRCA48905.2020.9182925.
  9. Dobkin D.M., *The RF in RFID: UHF RFID in Practice*, 2nd ed., Newnes, Oxford, UK, 2012.
  10. Pawłowicz B., Salach M., Trybus B., *Infrastructure of RFID-Based Smart City Traffic Control System: Progress in Automation*, “Robotics and Measurement Techniques”, Springer International Publishing, Cham, Switzerland, Vol. 920, 2019, DOI: 10.1007/978-3-030-13273-6\_19.
  11. Wong S.F., Mak H.C., Ku C.H., Ho W.I., *Developing advanced traffic violation detection system with RFID technology for smart city*, 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore, 2017, 334–338, DOI: 10.1109/IEEM.2017.8289907.
  12. Chowdhury P., Bala P., Add D., Giri, S. Chaudhuri A. R., *RFID and Android based smart ticketing and destination announcement system*, 2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Jaipur, India, 2016, 2587–2591, DOI: 10.1109/ICACCI.2016.7732447.
  13. Hassan M.A., Javed R., Farhatulla, Granelli F., Gen X., Rizwan M., Ali S. H., Junaid H., Ullah S., *Intelligent Transportation Systems in Smart City: A Systematic Survey*, 2023 International Conference on Robotics and Automation in Industry (ICRAI), Peshawar, Pakistan, 2023, DOI: 10.1109/ICRAI57502.2023.10089543.
  14. Chen R., Huang X., Zhou Y., Hui Y., Cheng N., *UHF-RFID-Based Real-Time Vehicle Localization in GPS-Less Environments*, “IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems”, Vol. 23, No. 7, 2022, 9286–9293, DOI: 10.1109/TITS.2021.3085824.
  15. Vincent R.A., Peirce J.R., ‘*MOVA*’: *Traffic Responsive, Self-Optimising Signal Control for Isolated Intersections*, TRRL Research Report RR 1. Transport and Road Research Laboratory, Wokingham, Berkshire, United Kingdom, 1988.

## Inne źródła

16. ISO/IEC 14443-3:2016, Identification cards – Contactless integrated circuit cards – Proximity cards
17. ISO/IEC 15693, Identification cards – Contactless integrated circuit cards – Vicinity cards
18. ISO 18000-6 – RFID for item management; Air interface; Part 6: Parameters for Air Interface Communications at 860 to 960 MHz, 2006.

# A System for Testing and Verifying Prototypes of Models for Vehicle Traffic Control

**Abstract:** The paper presents an overview of a prototype model for testing various concepts and scenarios related to monitoring and managing traffic in urban and industrial environments using RFID and the Internet of Things (IoT) concepts. The challenges posed by identification of moving objects and the need for efficient communication protocols in multi-access environments are indicated. The use of Automatic vehicle identification (AVI) for access control and real-time traffic management is also explored, emphasizing the benefits of RFID technology in creating fully automated access management systems. The presented distributed testing system allows for validating prototypes and algorithms related to processes and structures for traffic management. The model considers the use of cloud solutions, in particular the Azure IoT Hub to collect and control vehicle traffic data. The flexibility of the proposed architecture allows for testing different hardware and software configurations in various usage scenarios, leading to faster development and deployment.

**Keywords:** traffic management, vehicle identification, RFID

### mgr inż. Marcin Hubacz

m.hubacz@prz.edu.pl  
ORCID: 0000-0002-2748-11454

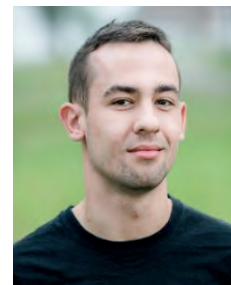
W 2019 r. ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej – kierunku Automatyka i Robotyka oraz Informatyka. Obecnie Asystent w Katedrze Informatyki i Automatyki Politechniki Rzeszowskiej. Jego główne zainteresowania dotyczą robotyki, elektroniki, systemów wbudowanych oraz druku 3D.



### mgr inż. Mateusz Salach

m.salach@prz.edu.pl  
ORCID: 0000-0002-9199-3460

Asystent w Zakładzie Systemów Złożonych Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Zajmuje się rozwiązaniami i badaniami z zakresu Internetu Rzeczy, VR oraz Smart City.



### dr inż. Bartosz Trybus

btrybus@kia.prz.edu.pl  
ORCID: 0000-0002-4588-3973

Adiunkt w Katedrze Informatyki i Automatyki Politechniki Rzeszowskiej. Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH w Krakowie. Doktorat z informatyki uzyskał w 2004 r. Jego główne badania dotyczą systemów czasu rzeczywistego i środowisk wykonawczych oprogramowania sterującego.



### dr inż. Bartosz Pawłowicz

barpaw@prz.edu.pl  
ORCID: 0000-0001-9469-2754

Adiunkt w Katedrze Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Doktorat w dyscyplinie telekomunikacja uzyskał na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH w Krakowie w 2012 r. Jego główne badania dotyczą systemów identyfikacji bezstykowej RFID i ich zastosowań.



### dr inż. Andrzej Paszkiewicz

andrzejp@prz.edu.pl  
ORCID: 0000-0001-7573-3856

Adiunkt w Zakładzie Systemów Złożonych Politechniki Rzeszowskiej. Stopień doktora nauk technicznych w zakresie informatyki uzyskał w 2009 r. na Politechnice Łódzkiej. Autor około 100 publikacji w krajowych i międzynarodowych czasopiśmie naukowych i materiałach konferencyjnych. Organizował warsztaty i konferencje z zakresu sieci komputerowych, inżynierii oprogramowania oraz Przemysłu 4.0. Jego zainteresowania badawcze skupiają się na procesach zachodzących w strukturach sieciowych, VR/AR, a także na rozwoju technologii dla przemysłu.



### Konrad Żak

160818@stud.prz.edu.pl  
ORCID: 0000-0002-8131-5789

Student kierunku Informatyka na Politechnice Rzeszowskiej. Interesuje się cyberbezpieczeństwem, rozwiązaniami z zakresu IoT oraz rozwiązaniami chmurowymi.

