

# Monitorowanie ruchu ulicznego z wykorzystaniem chmury obliczeniowej i techniki RFID

Bartosz Pawłowicz, Mateusz Salach, Bartosz Trybus, Konrad Żak  
Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, ul. Wincentego Pola 2, 35-021 Rzeszów

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono architekturę i implementację systemu monitorowania ruchu ulicznego. Zastosowano w nim identyfikatory RFID do rozpoznawania pojazdów, w tym specjalnego znaczenia, jak karetki pogotowia, autobusy miejskie, pojazdy z obniżoną emisją spalin. Dane o ruchu są przesyłane do usługi IoT Hub w chmurze obliczeniowej Azure. Na ich podstawie dokonywana jest analiza sytuacji drogowych i podejmowane decyzje dotyczące sterowania ruchem ulicznym. Informacje sterujące są zwrótnie kierowane do urządzeń sterujących ruchem za pomocą świateł ulicznych, barier, tablic informacyjnych. W artykule opisano sposób komunikacji z chmurą obliczeniową oraz możliwości realizacji algorytmów monitorowania i sterowania ruchem za pomocą IoT Hub.

**Słowa kluczowe:** RFID, smart city, chmura obliczeniowa, identyfikacja pojazdów

## 1. Wprowadzenie

W dobie intensywnego rozwoju sieci dróg i autostrad i zwiększającego się natężenia ruchu drogowego istnieje uzasadniona konieczność monitorowania, a w dalszej perspektywie sterowania tym ruchem [1]. Potrzeby te wynikają m.in. z faktu dynamicznego powstawania wydzielonych obszarów kontrolowanego dostępu, na przykład części miasta udostępnionej jedynie dla pojazdów komunikacji miejskiej lub specjalnych stref dostępnych dla wybranej grupy pojazdów jak pojazdy hybrydowe lub elektryczne.

Celem przedsięwzięć mających na celu realizację procesów automatycznej identyfikacji pojazdów AVI (*Automatic Vehicle Identification*) jest wybór i wdrożenie systemów, które zapewnią nie tylko wiarygodną identyfikację pojazdów i monitorowanie ich lokalizacji w czasie rzeczywistym, lecz również dostarczą współczesnym pojazdom wyposażonym w systemy wspomaganie kierowcy wiarygodnych informacji o otaczającym środowisku [2]. Sformułowane założenia wskazują na możliwość efektywnego wykorzystania techniki RFID w obszarze automatycznej identyfikacji pojazdów i monitorowania ruchu. Elektroniczny identyfikator RFID (*tag*) może być naklejony na szybie pojazdu lub zintegrowany z elementami konstrukcyjnymi pojazdu podczas produkcji. Identyfikatory takie mogą przechowywać informacje

o przywilejach dostępu do określonych stref ruchu bądź miejsc parkingowych, i w razie potrzeby mogą być modyfikowane przez ich przeprogramowanie wraz ze zmianą miejsca i sposobu użytkowania pojazdu.

Realizacja procesu automatycznej identyfikacji pojazdów w obszarze transportu i ruchu drogowego za pomocą systemu bezstykowej identyfikacji umożliwia podłączenie czytników RFID zainstalowanych w określonych punktach infrastruktury drogowej z usługą chmurową pełniącą rolę centrum zarządzania ruchem miejskim z bazą danych o ruchu pojazdów. Zagadnienia te wpisują się w pojęcia inteligentnego miasta (*smart-city*), w którym nowoczesne systemy transportowe odgrywają istotną rolę. Integracja techniki RFID umożliwia również łatwe monitorowanie pojazdów przewożących materiały niebezpieczne, przesyłki specjalnego przeznaczenia, zlokalizowanie kradzionego pojazdu [3], zarządzanie ruchem przez łatwe sprawdzenie natężenia ruchu w obrębie bramek i kierowanie na inne trasy za pomocą konfigurowalnej sygnalizacji świetlnej. Warto dodać o możliwości zastosowania techniki RFID do oznaczania infrastruktury drogowej. W takim scenariuszu czytnik umieszczony w pojeździe otrzymuje za jej pośrednictwem informacje wykorzystywane przez systemy wspomaganie kierowcy.

## 2. Identyfikacja pojazdów za pomocą RFID

System identyfikacji bezstykowej drogą radiową RFID składa się z czytnika i obiektu identyfikowanego wyposażonego w identyfikator. Informacja z czytnika do identyfikatora przesyłana jest przy użyciu zmodulowanej cyfrowo fali nośnej, natomiast informacja z identyfikatorów do czytnika przesyłana jest przy pomocy modulacji fali odbitej od identyfikatora. W tym czasie czytnik wysyła niemodulowaną falę nośną, konieczną m.in. do zasilania identyfikatorów.

### Autor korespondujący:

Mateusz Salach, m.salach@prz.edu.pl

### Artykuł recenzowany

nadesłany 16.11.2020 r., przyjęty do druku 04.02.2021 r.

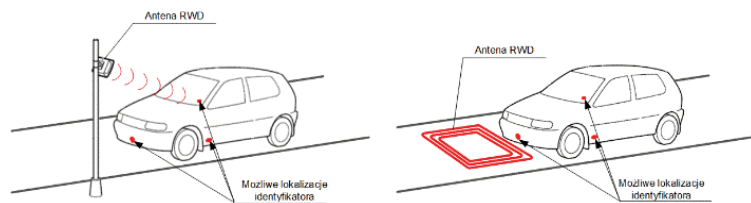


Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

Wyróżnia się trzy tryby pracy systemów RFID. Jeśli w obszarze poprawnej pracy znajduje się tylko jeden obiekt (pojazd) wyposażony w pojedynczy identyfikator, mówimy o identyfikacji pojedynczej. Gdy wiele obiektów poddawanych jest procesowi identyfikacji, nosi ona miano wielokrotnej albo antykolizyjnej. Identyfikacja dynamiczna ma natomiast miejsce wtedy, gdy konieczne jest odczytywanie danych z identyfikatorów umieszczonych na obiektach podczas ich ruchu. Ten tryb pracy systemu różni się od pozostałych ze względu na to, że czas przeznaczony na identyfikację obiektów jest ograniczony, ponieważ obiekty identyfikowane poruszają się i przebywają w obszarze poprawnej pracy przez skończony czas. Na jego funkcjonowanie będą miały wpływ m.in. następujące czynniki: prędkość rozpoznawanych obiektów, ich liczba (może decydować o czasie identyfikacji) i czynniki związane z protokołem komunikacji, warunkujące czas wymiany danych między czytnikiem i identyfikatorami.

Stabilna praca systemu RFID w obszarze procesów AVI uwarunkowana jest utrzymywaniem w określonych granicach parametrów elementowych tych systemów. Precyzyjne określenie zakresu zmian parametrów elektrycznych, polowych i komunikacyjnych charakteryzujących system RFID umożliwia dokładne wyznaczenie jego obszaru poprawnej pracy [4–6] oraz zastosowanie identyfikatorów, które jednocześnie będą umożliwiały identyfikację: statyczną z niewielkich odległości (systemy bliskiego zasięgu) i dynamiczną (pojazdy poruszające się z określoną prędkością), przy zachowanej odległości od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów pomiędzy anteną RWD i identyfikatorem (systemy dalekiego zasięgu).

Identyfikator RFID może zawierać zbiór informacji, które mogą być zapisane w obszarze pamięci dostępnym tylko do odczytu lub też w obszarze dostępnym do odczytu i zapisu. Najczęściej takie identyfikatory są chronione hasłem, co zabezpiecza je przed możliwością modyfikacji danych. W przypadku infrastruktury inteligentnych miast naturalne jest przed wszystkim zastosowanie identyfikatorów zamontowanych w pojazdach pracujących w trybie tylko do odczytu. Identyfikator RFID może być montowany w pojazdach już na etapie produkcji fabrycznej szczególnie, gdy dotyczy to trudno dostępnych miejsc. Może być również umieszczony samodzielnie przez użytkownika pojazdu, na przykład w formie naklejki na przednią szybę (rys. 1).



**Rys. 1. Przykłady montażu elementów systemu RFID do realizacji procesu AVI: a) antena czytnika zainstalowana na maszcie, identyfikator przyklejony na szybie pojazdu, b) antena czytnika zainstalowana pod nawierzchnią drogi, identyfikatory zintegrowane z elementami pojazdu**

Fig. 1. Examples of RFID system components assembly for the AVI process: a) reader antenna installed on the mast, identifier stuck to the windshield, b) reader antenna installed under the road surface, identifiers integrated with the vehicle components

Identyfikatory mogą być programowane podczas produkcji lub przez dystrybutora pojazdów do udostępniania podstawowych danych o pojeździe i jego charakterystyce, w tym informacje takie jak:

- marka pojazdu,
- oznaczenie modelu,
- rodzaj silnika (EV – electric vehicle, GO – gasoline, D – diesel),
- pojemność silnika,
- numer identyfikacyjny VIN.

Identyfikatory mogą być źródłem dodatkowych informacji wykorzystywanych przez system zarządzania ruchem, na przykład:

- pojazd uprzywilejowany,
- pojazd transportu miejskiego,
- użytkowany przez osobę niepełnosprawną,
- pojazd wyposażony w instalację gazową,
- typ ładowarki dla pojazdów EV.

Systemy identyfikacji RFID najczęściej funkcjonują zgodnie z unormowaniami prawnymi takimi jak: ISO14443 – “Proximity integrated circuit card” i ISO15693 – “Identification cards; Contactless integrated circuit(s) cards; Vicinity cards” [7] i z rodziny ISO18000 – “RFID for item management; Air interface” [8]. W szczególności warto wymienić tutaj normę ISO18000-63 [9], ponieważ dotyczy ona rozwiązań mogących znaleźć zastosowanie przy identyfikacji obiektów w systemach zarządzania ruchem [10–12].

### 3. Infrastruktura ruchu miejskiego

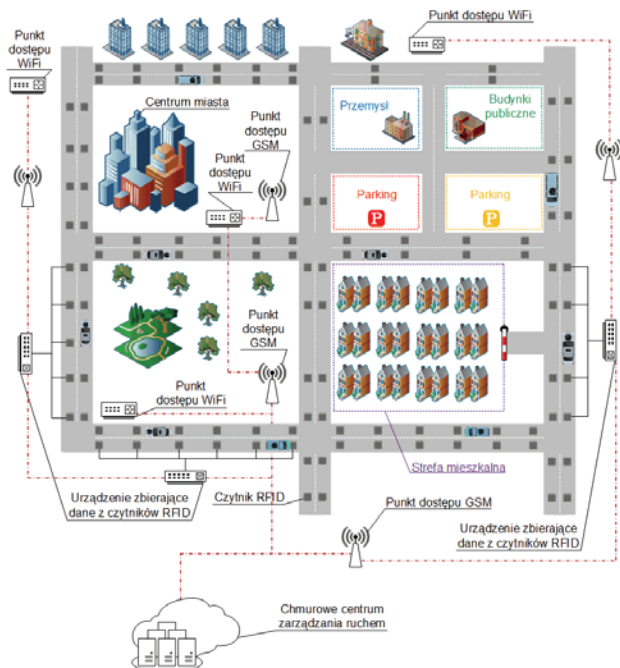
Zależnie od potrzeb i możliwości instalacyjnych, istnieje wiele opcji dotyczących montażu anten układów czytnika RFID w systemie realizującym zadany proces AVI. Anteny układów RWD mogą być umieszczane na masztach, zawieszane nad drogą, a także zamontowane pod nawierzchnią jezdni (rys. 1). Tego typu elastyczność umożliwia wykorzystanie systemów RFID zarówno do nadzoru ruchu i ewidencjonowania pojazdów wjeżdżających lub opuszczających strefy specjalne, jak również do kontroli natężenia ruchu na drogach, a także zarządzania ruchem w celu rozładowania korków i zwiększenia jego płynności.

Rozwiązania przeznaczone do analizy ruchu drogowego stosowane w inteligentnych miastach opierają się często na monitoringu obłożenia pojazdami na skrzyżowaniach lub tuż przed nimi. Jednym z popularniejszych rozwiązań jest przetwarzanie obrazu uzyskiwanego za pomocą kamer [13–16]. Dedykowane algorytmy rozpoznają pojazdy i na bazie danych z nich pozyskiwanych system może:

- przełączyć światła drogowe, gdy kamera wykryje odpowiednią liczbę pojazdów na pasie,
- wydłużyć bądź skrócić czas działania światła czerwonego lub zielonego,
- udostępnić przejazd pojazdowi uprzywilejowanemu,
- przesłać informacje odnośnie określonego alertu.

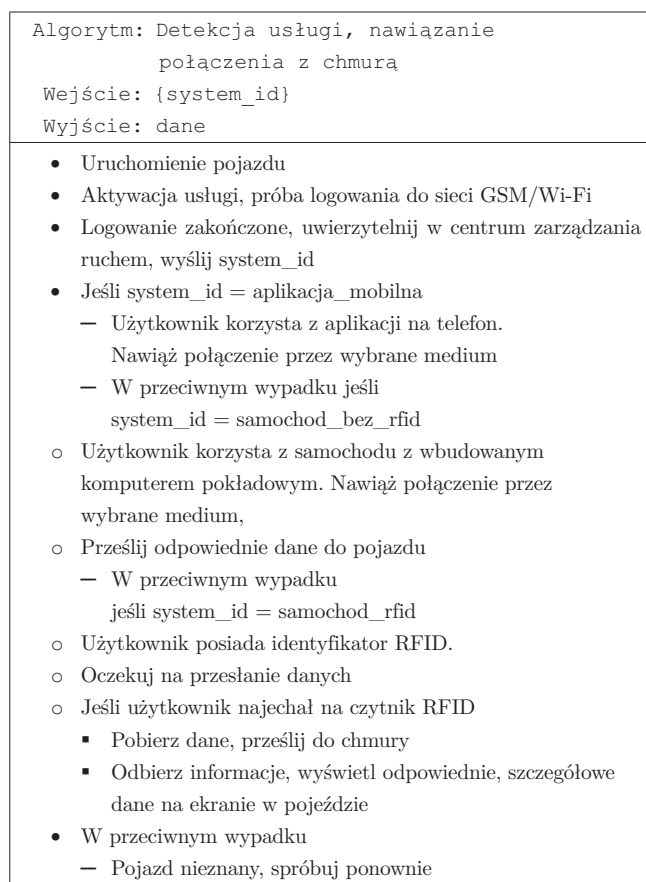
Rozwiązanie oparte na obrazie z kamer może nie zawsze funkcjonować poprawnie i może zawieść w trudnych warunkach atmosferycznych czy ograniczonej widoczności. W przypadku silnych opadów atmosferycznych obraz pozyskany z kamery może być nieostry lub elementy identyfikacyjne (tablice rejestracyjne, oznaczenia wizualne pojazdu) mogą być przypadkowo zakryte. W takich sytuacjach algorytm przetwarzania obrazu może nie uwzględnić pewnej puli pojazdów. W proponowanym rozwiązaniu zintegrowano elementy, które funkcjonują niezależnie od panujących warunków atmosferycznych. Zapewniają również redundancję w postaci uwzględniania sygnału pobranego z innego źródła niż kamery, tj. identyfikatora RFID.

Przykład infrastruktury miejskiej wykorzystującej identyfikację RFID pokazano na rys. 2. Widać na nim czytniki RFID umieszczone pod powierzchnią ulic, bramki dostępu do wydzielonych obszarów, system komunikacyjny oraz centrum monitorowania ruchu [17]. Biorąc pod uwagę specyfikę produkcji motoryzacyjnej oraz liczne typy pojazdów poruszających się po drogach, w tym pojazdy starsze, w inteligentnej infrastrukturze miejskiej powinny być dostępne hybrydowe rozwiązania, w których pojazdy nieposiadające wymaganych fabrycznych pakietów systemów łączności mogą być w nie łatwo wyposażone. Przykładowo, komunikacja z systemem zarządzania ruchem



Rys. 2. Infrastruktura miejska z identyfikacją RFID  
Fig. 2. Urban infrastructure with RFID identification

miejskim może być prowadzona poprzez aplikację mobilną instalowaną w telefonie kierowcy oraz łączność WiFi [18, 19]. Informacje zwrotne z systemu mogą być wyświetlane na ekranach komputerów pokładowych lub ekranie telefonu po wcześniejszej identyfikacji w systemie, co przedstawia algorytm na rys. 3.



Rys. 3. Algorytm identyfikacji rozwiązania wykorzystanego do połączenia z centrum zarządzania ruchem

Fig. 3. Service detection algorithm for connection with traffic management system

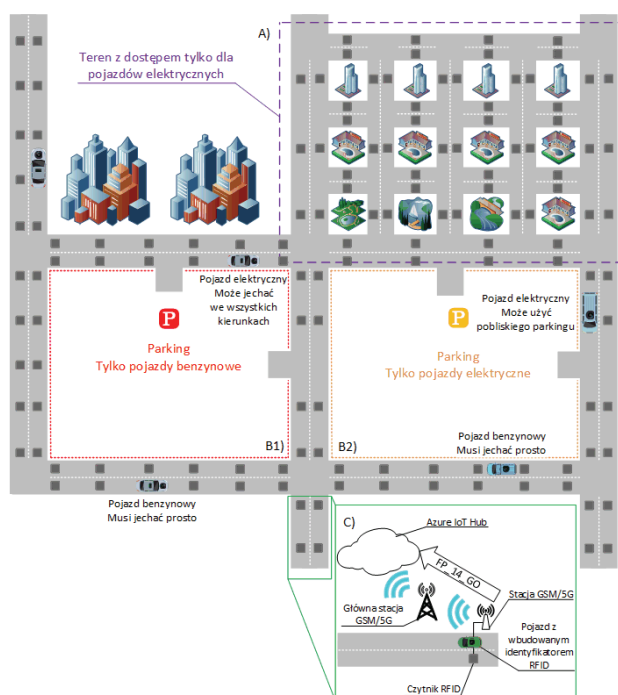
## 4. Zarządzanie ruchem w wydzielonych strefach

Posiadając informacje odnośnie pojazdu pozyskane m.in. z identyfikatora RFID przez komputer pokładowy lub aplikację mobilną, można sterować ruchem drogowym w zakresie dostępu do wydzielonych stref szczególnie, jeśli dane pozyskane z kamer mogą być niedostępne lub niewystarczające do określenia uprawnień pojazdu.

Coraz więcej miast wprowadza tak zwane strefy ograniczonego dostępu. Głównym czynnikiem motywującym wprowadzanie takich stref jest dbałość o środowisko i powietrze. Warunkiem umożliwiającym wjazd do takiej strefy jest posiadanie (lub nieposiadanie) silnika określonego typu. Jednym z przykładów jest Berlin, do którego centrum nie mogą wjechać pojazdy z silnikiem diesla. Do niektórych krytych parkingów nie można wjechać pojazdem z instalacją gazową. Pojawiają się również obszary niedostępne dla innych pojazdów niż elektryczne. Strefą ograniczonego dostępu mogą być objęte określone obszary miasta (centrum) oraz obszary należące do firm czy miejsca publiczne.

Rysunek 4 prezentuje przykładowy fragment miasta z infrastrukturą uliczną używaną do symulacji oraz wykorzystaną do budowy stanowiska testowego opisanego dalej. Podzielono ją na cztery obszary. U góry po lewej symbolicznie przedstawiono pozostałą część miasta. Obszar A to strefa ograniczonego dostępu, wypoczynkowy, naturalny, do którego można wjechać tylko pojazdami elektrycznymi. Obszary B1 i B2 to parkingi przeznaczone odpowiednio dla pojazdów benzynowych i elektrycznych. Obszar C na rysunku przedstawia rozwiązania komunikacyjne.

W dotychczasowych rozwiązaniach na wjazdach do strefy A stały znak z zakazem wjazdu z odpowiednią informacją. Mimo wszystko kierowca mógłby nie zauważyć lub zignorować ten znak i samodzielnie dostać się do strefy posiadając samochód z innym niż elektryczny typem silnika. Wraz z wykorzystaniem komunikacji bezprzewodowej i identyfikacji RFID system monitorowania ruchem drogowym może zostać poinformowany, jakiego typu pojazd porusza się w danej strefie, przekazać odpowiedni komunikat dla kierowcy lub ewentualnie zaalarmować służby porządkowe. W przypadku pojazdu uprzywilejowanego taki alarm nie będzie zgłaszany.



Rys. 4. Infrastruktura miejska z wydzielonymi strefami ruchu  
Fig. 4. Urban infrastructure with separate traffic zones

Dla pojazdów danego typu może być wyznaczona odpowiednia strefa parkingowa (rys. 4 B1 i B2). W przypadku pojazdów benzynowych będzie to obszar B1, jednak pojazdy elektryczne mają specjalnie wyznaczone miejsca parkingowe związane przede wszystkim z dostępem do stacji ładowania pojazdów. W takim przypadku dla pojazdów elektrycznych może być przeznaczony inny obszar (B2), na przykład budynek lub wydzielone piętro na parkingu z możliwością wjazdu do strefy EV. Pojazdy z silnikiem benzynowym będą miały swój parking (B1) w pewnej odległości od stref czy centrów miast zachęcając użytkowników do korzystania z transportu publicznego, bądź rowerów czy hulajnóg. Dzięki komunikacji z centralnym systemem zarządzania ruchem pojazdy mogą nawet rezerwować miejsca parkingowe podczas wyjazdu z domu [20, 21]. Co więcej, informacje zawarte w identyfikatorze RFID mogą posłużyć do wyznaczenia odpowiedniego dla pojazdu elektrycznego miejsca parkingowego z kompatybilną ładowarką.

## 5. Sterowanie ruchem pojazdów

Pojazd w czasie jazdy najeżdża na czytniki RFID instalowane w infrastrukturze drogowej, które odczytują informacje zapisane w jego identyfikatorze i przesyłają dalej (rys. 4C). Jest to ustalona informacja zgodna z odpowiednio opracowanymi normami. Dla przykładu FP\_14\_GO oznacza pojazd Fiat Punto z silnikiem o pojemności 1,4 l oraz typem silnika określonym jako benzyna. Dane odczytane z identyfikatora przesyłane są do punktu dostępowego, na przykład wieży sieci GSM. Następnie dane są przesyłane do wieży głównej, a dalej do chmury obliczeniowej, która w omawianym rozwiązaniu oparta jest o usługę Azure IoT Hub. Rysunek 5 przedstawia uproszczony algorytm odczytujący dane z identyfikatora RFID i przesyłający je do chmury.

System monitorowania ruchu drogowego analizuje pozyskane dane i wytycza trasę dla kierowcy biorąc pod uwagę, jaki jest

```

Algorytm: Odczyt danych z identyfikatora RFID
Wejście: {UID, Dane pojazdu,
Weryfikator identyfikatora}
Wyjście: Azure
    
```

- Czekaj na identyfikator RFID
- Jeżeli wykryto identyfikator w obszarze poprawnej pracy czytnika
  - Pobierz *Weryfikator identyfikatora*
  - Zweryfikuj zgodność:
    - Jeżeli *Weryfikator identyfikatora* = True
      - o Pobierz UID, Dane pojazdu
      - o Dodaj do ramki informacje lokalizacyjne czytnika RFID
      - o Prześlij dane do Azure IoT Hub
    - W przeciwnym wypadku
      - o Zignoruj dane
  - Koniec warunku
- Skocz do *Czekaj na identyfikator RFID*

Rys. 5. Algorytm odczytu danych z identyfikatora RFID  
Fig. 5. Algorithm for reading data from the RFID tag

```

Algorytm: AktualizujTrasę(Trasa)
Wejście: TypSilnika, PojemnośćSilnika,
        PołożenieA (Start), PołożenieB (końcowe)
Wyjście: Trasa
    
```

- Pobierz *Położenie A, Położenie B*
- Wyznacz podstawową trasę
- Pobierz dane:
  - ObciążenieRuchu, TopografiaTerenu, StrefyZamknięte*
- Modyfikuj *Trasa*
  - Uwzględnij *TypSilnika* i *StrefyZamknięte*
  - Uwzględnij *PojemnośćSilnika* i *TopografiaTerenu*
  - Uwzględnij *ObciążenieRuchu*
  - Zaktualizuj *Trasa*
- Zwróć *Trasa*

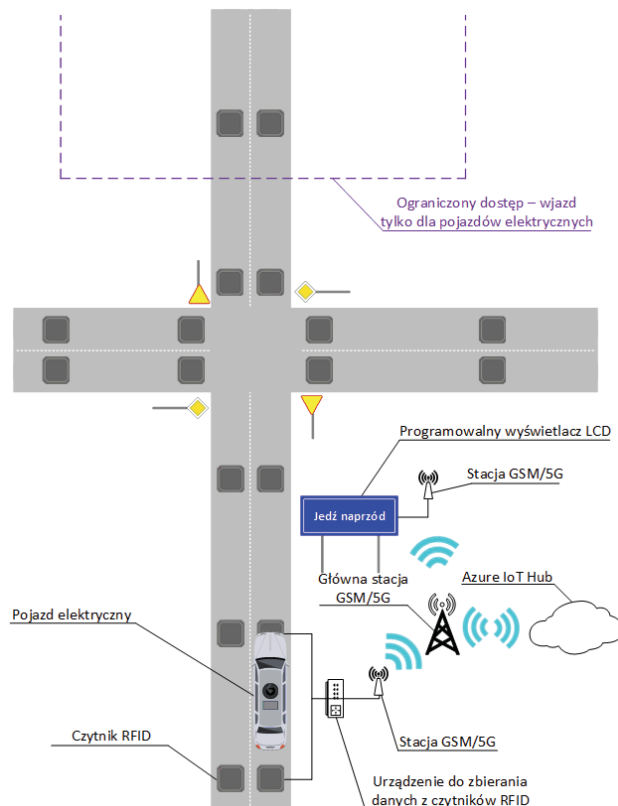
Rys. 7. Algorytm wyznaczania trasy  
Fig. 7. Route mapping algorithm

```

Algorytm: Analiza danych w chmurze Azure
Wejście: {Azure, UID, TypSilnika,
PojemnośćSilnika}
Wyjście: Trasa
    
```

- Czekaj na dane z czytników RFID
- Jeżeli *Azure* = True
  - Pobierz z Azure IoT Hub dane:
    - UID, Dane pojazdu, Lokalizację czytnika RFID
  - Porównaj UID z bazą danych
  - Jeżeli UID występuje w bazie danych (pojazd przesłał wcześniej dane do chmury)
    - o Sprawdź czy pojazd o UID porusza się wyznaczoną trasą (*Trasa* = True)
      - *Kontynuuj()*
    - o Jeżeli pojazd zjechał z wyznaczonej trasy (*Trasa* = False)
      - *Trasa* = *AktualizujTrasę(Trasa)*
      - *PrześlijTrasęDoPojazdu(Trasa)*
  - o Koniec warunku
  - o Wyciągnij informacje z pozyskanych nowych danych Azure
  - o Sprawdź *TypSilnika, PojemnośćSilnika*
  - o *Wyznacz Trasa()*
  - o *PrześlijTrasęDoPojazdu(Trasa)*
  - Zakończ warunek
- Skocz do *Czekaj na dane z czytników RFID*

Rys. 6. Algorytm analizy danych w chmurze  
Fig. 6. Data analysis algorithm in the cloud



Rys. 8. Dynamicznie zmieniane znaki drogowe dla pojazdów na drodze  
Fig. 8. Dynamically alter road signs for vehicles on the road

typ silnika oraz jakie ma orientacyjne spalanie. Bazując na tych danych system może wybrać najbardziej optymalną trasę w zależności od preferencji użytkownika lub narzuconych przez infrastrukturę miasta. Algorytmy uruchamiające analizę danych w chmurze oraz aktualizujące trasę pojazdu przedstawiono na rys. 6 i 7.

Do sterowania ruchem pojazdów można wykorzystać dynamicznie modyfikowane znaki drogowe [22]. Mogą nimi być tablice informacyjne, na których system może wyświetlać informacje o ruchu. Urządzenia takie są sprzężone z chmurowym centrum zarządzania i monitoringu ruchu drogowego (rys. 8). W omawianym rozwiązaniu informacje te mogą być indywidualnie kierowane do zbliżającego się pojazdu, na tyle wcześniej, aby kierowca był w stanie je odczytać. W przypadku karetki pogotowia zmierzającej do wypadku, ekran może zawierać informacje w postaci: *PL\_RZ 12345, skręć w prawo*. Informacje na ekranie są spójne z informacjami przesłanymi do komputera pokładowego pojazdu czy aplikacji mobilnej.

## 6. Komunikacja z Azure IoT Hub

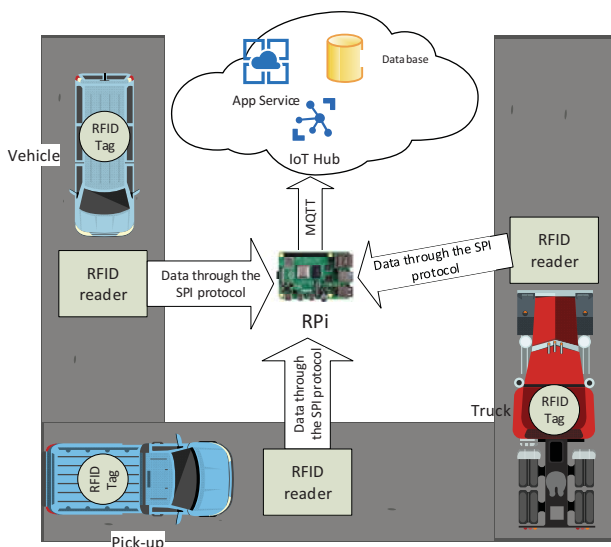
Omawiane rozwiązanie oparte jest o komunikację między czytnikami RFID, pojazdami i chmurą obliczeniową. W prototypie zdecydowano się na użycie środowiska chmurowego Microsoft Azure IoT Hub dedykowanego do obsługi urządzeń tzw. Internetu rzeczy (*Internet of Things*). Służy do monitorowania i kontroli zasobów urządzeń IoT, a dodatkowo zabezpiecza systemy operacyjne takich urządzeń oraz zasoby sprzętowe przed niewłaściwym użyciem. Chronione są także przesyłane dane

oraz procesy ich analizy. IoT Hub składa się z trzech zasadniczych składników:

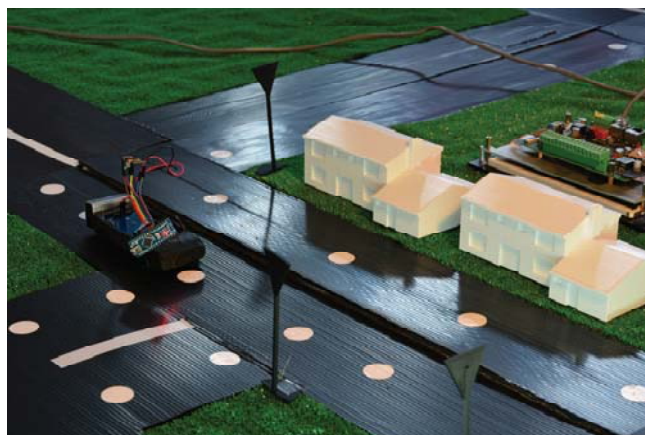
- obiekty fizyczne – podłączone do chmury w sposób trwały lub sporadycznie wysyłają do niej dane,
- informacje zbierane – analizowane i przekształcane na wiedzę przetwarzaną następnie przez ludzi lub sztuczną inteligencję,
- akcje – użytkownicy wykorzystują wyniki analiz i informacje do realizacji odpowiednich działań.

Rysunek 9 przedstawia schemat infrastruktury wykorzystanej w laboratoryjnym stanowisku do komunikacji między usługami chmurowymi a pozostałymi komponentami systemu. Poruszające się pojazdy mają zamontowane identyfikatory RFID z podstawowymi informacjami o pojeździe (w tym czy pojazd jest uprzywilejowany). Czytniki RFID umieszczone pod powierzchnią drogi odczytują te dane i wysyłają do jednego z urządzeń Raspberry Pi (RPI), pełniących rolę przekazników danych i sterujących infrastrukturą drogową. Urządzenia te wykonują algorytm pokazany na rys. 4 zaimplementowany w języku Python. Komunikacja między RPi a czytnikami odbywa się według standardu SPI.

Odczytane dane pojazdu są następnie przesyłane do usługi IoT Hub za pośrednictwem protokołu MQTT. IoT Hub pozwala na dwukierunkową komunikację z urządzeniami, dzięki czemu można nie tylko odbierać dane, ale również wysłać polecenia do podłączonych urządzeń. Każde z podłączonych urządzeń posiada własne uwierzytelnianie, które pozwala zachować poufność wysyłanych komunikatów. Dodatkowo IoT Hub pozwala na automatyzację dodawania urządzeń, dzięki czemu kolejne rozszerzanie infrastruktury wymaga niewielkich zabiegów. W celu nawiązania połączenia między urządzeniem a IoT Hub należy użyć tzw. łańcucha połączenia (*connection string*), który zawiera informacje potrzebne do poprawnego połączenia z usługą. Ciąg ten zawiera



Rys. 9. Architektura komunikacyjna proponowanego rozwiązania  
Fig. 9. Communication architecture of the proposed solution



Rys. 10. Fragment stanowiska laboratoryjnego  
Fig. 10. Part of the laboratory stand

```
Successfully created the EventHubConsumerClient from IoT Hub event hub-compatible connection string.
The partition ids are: [ '0', '1' ]
Broadcasting data {"IotData":{"UID":584191614875,"Text":[67,97,114,32,35,48,52,54]},
"MessageDate":"2020-11-11T12:32:28.353Z","DeviceId":"Raspberry1"}
Broadcasting data {"IotData":{"UID":584188664907,"Text":[67,97,114,32,35,48,52,54]},
"MessageDate":"2020-11-11T12:34:22.087Z","DeviceId":"Raspberry1"}
Broadcasting data {"IotData":{"UID":584191614875,"Text":[67,97,114,32,35,48,52,54]},
"MessageDate":"2020-11-11T12:34:23.870Z","DeviceId":"Raspberry1"}
Broadcasting data {"IotData":{"UID":584188664907,"Text":[65,109,98,117,108,97,110,99,101,32,35,50]},
"MessageDate":"2020-11-11T13:30:15.509Z","DeviceId":"Raspberry1"}
Broadcasting data {"IotData":{"UID":584188205891,"Text":[80,111,108,105,99,101,32,67,97,114,32,35,52]},
"MessageDate":"2020-11-11T13:31:02.026Z","DeviceId":"Raspberry1"}
Broadcasting data {"IotData":{"UID":38094466081,"Text":[67,97,114,32,35,52,53,52]},
"MessageDate":"2020-11-11T13:33:59.565Z","DeviceId":"Raspberry1"}
Broadcasting data {"IotData":{"UID":34842222280,"Text":[67,97,114,32,35,48,57,49]},
"MessageDate":"2020-11-11T13:34:45.865Z","DeviceId":"Raspberry1"}
```

Rys. 11. Dziennik przesłań danych do Azure IoT Hub  
Fig. 11. Log of data transfers to Azure IoT Hub

nazwę hosta usługi, nazwę urządzenia oraz udostępniony klucz dostępu. Określa on zasady regulujące uprawnienia, w jakie urządzenie jest wyposażone.

Komunikacja z chmurą była testowana z użyciem stanowiska laboratoryjnego imitującego infrastrukturę ruchu ulicznego, którego część przedstawiono na rys. 10. Przemieszczający się pojazd ma zamontowany identyfikator RFID, a białe punkty na drodze oznaczają miejsca jego odczytu. Przykładowy zapis danych wysyłanych przez urządzenie RPi do chmury w formacie JSON przedstawiono na rys. 11.

Na rysunku 9 zamieszczono również dwie inne usługi chmurowe wykorzystane w prototypowym rozwiązaniu. Pierwsza z nich *AppService*, jest odpowiedzialna za aplikację monitorującą i sterującą. Odpowiada ona m.in. za realizację algorytmów z rys. 6 i 7 i została zaimplementowana w *Node.js*. Druga usługa to nierelacyjna baza danych *CosmosDB* służąca do składowania informacji o ruchu pojazdów.

## 7. Podsumowanie

Przedstawiona w artykule infrastruktura integruje technikę RFID z chmurą obliczeniową w celu sprawnego i pewnego zarządzania ruchem miejskim. Szczególny nacisk położono na uwzględnienie tych zmian, które w ostatnim czasie miasta wprowadzają w zakresie dostępu do wydzielonych obszarów zależnego od cech pojazdu. Testy z użyciem prototypu laboratoryjnego potwierdziły, że takie połączenie łączy korzyści związane z procesami identyfikacji pojazdów realizowanymi dzięki RFID z możliwościami, jakie daje chmura obliczeniowa w zakresie przetwarzania i składowania danych oraz wykonywania złożonych algorytmów. Wydaje się, że taka integracja technologii pozwala rozszerzyć współczesne rozwiązania komunikacyjne w pojazdach, znane pod pojęciem *connected car*.

## Podziękowanie

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019–2022 nr projektu 027/RID/2018/19 kwota finansowania 11 999 900 zł”

## Bibliografia

- Goudar R.H., Megha H.N., *Next generation intelligent traffic management system and analysis for smart cities*, 2017 International Conference on Smart Technologies for Smart Nation (SmartTechCon), Bangalore, 2017, 999–1003, DOI: 10.1109/SmartTechCon.2017.8358521.
- Ksiksi A., Al Shehhi S., Ramzan R., *Intelligent Traffic Alert System for Smart Cities*, 2015 IEEE International Conference on Smart City/SocialCom/SustainCom (SmartCity), Chengdu, 2015, 165–169, DOI: 10.1109/SmartCity.2015.65.
- Sundar R., Hebbar S., Golla V., *Implementing Intelligent Traffic Control System for Congestion Control, Ambulance Clearance, and Stolen Vehicle Detection*, “IEEE Sensors Journal”, Vol. 15, No. 2, 2015, 1109–1113, DOI: 10.1109/JSEN.2014.2360288.
- Ukkonen L., Sydanheimo L., Kivikoski M., *Read Range Performance Comparison of Compact Reader Antennas for a Handheld UHF RFID Reader*, “IEEE Communications Magazine”, Vol. 45, No. 4, 2007, 24–31, DOI: 10.1109/MCOM.2007.348674.
- Jankowski-Mihulowicz P., Węglarski M., *Definition, Characteristics and Determining Parameters of Antennas in Terms of Synthesizing the Interrogation Zone in RFID Systems*, Radio Frequency Identification, Crepaldi P.C., Pimenta T.C. (Ed.), Chapter 5, 65–119, INTECH, 29 November 2017, DOI: 10.5772/intechopen.71378.
- Jankowski-Mihulowicz P., Węglarski M., *Factors affecting the synthesis of autonomous sensors with RFID interface*, “Sensors”, Vol. 19, No. 20, 4392, 2019, DOI: 10.3390/s19204392.
- ISO/IEC 14443-3:2016, Identification cards – Contactless integrated circuit cards – Proximity cards.
- ISO/IEC 15693, Identification cards – Contactless integrated circuit cards – Vicinity cards.
- ISO/IEC 18000-6:2013 Information technology – Radio frequency identification for item management – Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz General.
- Pawłowicz B., Trybus B., Salach M., Jankowski-Mihulowicz P., *Dynamic RFID Identification in Urban Traffic Management Systems*, “Sensors”, Vol. 20, No. 15, 2020, DOI: 10.3390/s20154225.
- Prinsloo J., Malekian R., *Accurate Vehicle Location System Using RFID, an Internet of Things Approach*, “Sensors”, Vol. 16, No. 6, 2016, DOI: 10.3390/s16060825.
- Wang J., Ni D., Li K., *RFID-Based Vehicle Positioning and Its Applications in Connected Vehicles*, “Sensors”, Vol. 14, No. 3, 2014, 4225–4238, DOI: 10.3390/s140304225.
- Mandal V., Mussah A.R., Jin P., Adu-Gyamfi Y., *Artificial Intelligence-Enabled Traffic Monitoring System*, “Sustainability”, Vol. 12, No. 21, 2020; DOI: 10.3390/su12219177.
- Zhao S., Wang C., Wei P., Zhao Q., *Research on the Deep Recognition of Urban Road Vehicle Flow Based on Deep Learning*, “Sustainability”, Vol. 12, No. 7.
- Pillai U.K.K., Valles D., *Vehicle Type and Color Classification and Detection for Amber and Silver Alert Emergencies Using Machine Learning*, 2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), 1–5, Vancouver, BC, Canada, 2020, DOI: 10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216368.
- Razavi M., Hamidkhani M., Sadeghi R., *Smart Traffic Light Scheduling in Smart City Using Image and Video Processing*, 2019 3rd International Conference on Internet of Things and Applications (IoT), Isfahan, Iran, 2019, 1–4, DOI: 10.1109/IICITA.2019.8808836.
- Bagula A., Castelli L., Zennaro M., *On the Design of Smart Parking Networks in the Smart Cities: An Optimal Sensor Placement Model*, “Sensors”, Vol. 15, No. 7, 2015, 15443–15467, DOI: 10.3390/s150715443.
- Elmrini A., Amrani A.G., *Wireless Sensors Network for Traffic Surveillance and Management in Smart Cities*, 2018 IEEE 5th International Congress on Information Science and Technology (CiSt), Marrakech, 2018, 562–566, DOI: 10.1109/CIST.2018.8596636.
- Naik D.R., Das L.B., Bindya T.S., *Wireless Sensor networks with Zigbee and WiFi for Environment Monitoring, Traffic Management and Vehicle Monitoring in Smart Cities*, 2018 IEEE 3rd International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS), Kathmandu, 2018, 46–50, DOI: 10.1109/CCCS.2018.8586819.
- Kazi S., Nuzhat S., Nashrah A., Rameeza Q., *Smart Parking System to Reduce Traffic Congestion*, 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET), Mumbai, 2018, 1–4, DOI: 10.1109/ICSCET.2018.8537367.
- Melnyk P., Djahel S., Nait-Abdesselam F., *Towards a Smart Parking Management System for Smart Cities*, 2019 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), Casablanca, Morocco, 2019, 542–546, DOI: 10.1109/ISC246665.2019.9071740.
- García Oya J.R., Martín Clemente R., Hidalgo Fort E., González Carvajal R., Muñoz Chavero F., *Passive RFID-Based Inventory of Traffic Signs on Roads and Urban Environments*, “Sensors”, Vol. 18, No. 7, 2018, DOI: 10.3390/s18072385.

# Traffic Monitoring Using Cloud Computing and RFID Technology

**Abstract:** The article presents the architecture and implementation of a street traffic monitoring system. It uses RFID identifiers to recognize vehicles, including special meaning, such as ambulances, city buses, vehicles with reduced exhaust gas emissions. Traffic data is sent to the IoT Hub service in the Azure cloud. On their basis, road situations are analyzed and decisions are made regarding traffic control. Control information is fed back to traffic control devices by means of street lights, barriers, information boards. The article describes the method of communication with the computing cloud and the possibilities of implementing traffic monitoring and control algorithms using IoT Hub.

**Keywords:** RFID, smart city, cloud computing, vehicle identification

## 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.



## 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.



## 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.

