

Inteligentny system zarządzania miejscami parkingowymi

Radosław Klimek

AGH University of Science and Technology,
Katedra Informatyki Stosowanej,
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland
rklimek@agh.edu.pl

Abstract. Celem projektu jest analiza i przygotowanie założeń inteligentnego systemu zarządzania miejscami parkingowymi na dużym pojedynczym parkingu lub dużym obszarze miejskim z wieloma parkingami lub miejscami postojowymi. System ma działać w sposób ciągły, proaktywny, możliwie w niewielkim stopniu angażujący mieszkańców/użytkowników, cechując się na bieżąco realizowaną analizą kontekstu. Podpowiedzi dla użytkowników mają być realizowane na podstawie ich zwyczajów z przeszłości, a także ogólnej analizy sytuacji wynikającej z bieżącego natężenia ruchu.

1 Wprowadzenie

Problem miejsc parkingowych jest permanentnym i często przywoływanym zagadnieniem w przypadku miast inteligentnych, tzw. "smart cities". Sam problem może być rozwiązywany na poziomie pojedynczych parkingów, jak również całych miast, w obrębie których poszukiwane są miejsca parkingowe, bądź jako osobne miejsca place parkingowe jak i wyznaczone ciągi miejsc do parkowania wzdłuż ulic.

Celem projektu jest analiza i przygotowanie założeń inteligentnego systemu zarządzania miejscami parkingowymi działającego w sposób ciągły, możliwie w niewielkim stopniu angażujący mieszkańców/użytkowników, cechując się na bieżąco realizowaną analizą kontekstu oraz pro-aktywnością – podpowiedzi dla użytkowników mają być realizowane na podstawie ich dotychczasowych zarejestrowanych zwyczajów oraz ogólnej analizy sytuacji wynikającej z bieżącego natężenia ruchu.

Istnieją rozwiązania, dobrym i znaczącym tego przykładem jest miasto Barcelona, gdzie wprowadzenie takich systemów pozwoliło zwiększyć efektywność zachowań miejskich oraz podziało stymulując na dochody miasta i dodatkowe miejsca pracy, pozwalając na śledzenie stanu miejsc parkingowych na różnych obszarach, jednakże rozwiązania te wymagają sporej aktywności, zaangażowania oraz interakcji, ze strony potencjalnego użytkownika. Ponadto, istniejące systemy nie budują wiedzy o przeszłych zachowaniach, która to wiedza byłaby pomocna w ocenie bieżącej sytuacji przy podpowiedzi najlepszego, preferowanego zachowania i aktywności.

Warto zwrócić uwagę na rozwiązania dostarczane przez firmy

- <http://www.streetline.com/>
- <http://www.navigantresearch.com/research/smart-parking-systems>

Rozwiązania dotyczą nowoczesnych parkingów, przy czym wymagana jest aktywność po stronie klienta polegająca na śledzeniu stanu wolnych miejsc i parkingów, przeglądania stanu zapelnienia, cen i dostępności. Testuje się nowe rozwiązania poprzez montaż dodatkowego oprzyrządowania i środków komunikacji, ale generalnie we wszystkich systemach niezbędna jest duża aktywność po stronie kierowcy. Planuje się uwzględnić różne czynniki społecznie i biznesowe, ale zasadniczo zakłada się sporą aktywność po stronie kierowcy jako jednego z najważniejszych aktorów systemu. Podejścia takie są odmiennie od proponowanych w niniejszym opracowaniu, gdzie udział kierowcy jest minimalizowany poprzez obserwację jego zachowań z przeszłości i predykcję zachowań przyszłych.

Podstawy stosowanego warsztatu stanowią metody analizy i modelowania systemów informatycznych, a także formalne aspekty opisu systemów (logika temporalna, teoria grafów).

Podstawowym efektem bieżącego działania są:

- specyfikacja systemu, opis funkcjonalny, identyfikacja wszystkich aktorów systemu (urządzenia, użytkownicy, komponenty oprogramowania),
- szczegółowe przypadki użycia działania systemu, wraz z ich scenariuszami,
- formalny opis systemu z wykorzystaniem narzędzi logiki formalnej/temporalnej oraz środowiska grafowego weryfikujące formalną wykonalność systemu przy realistycznych założeniach,
- prototypowe systemy wnioskujące do wspomagania decyzji w wyborze postępowania i poszukiwania miejsc parkingowych.

Celem opracowania są zarówno duże parkingi, ale także obszary miejskie traktowane jako kolekcja miejsc parkingowych, czy to w postaci pojedynczych parkingów jak wyodrębnionych miejsc wzdłuż ulic. Istniejące systemy wymagają znacznej aktywności po stronie kierowców, obejmującej zarówno interakcję z systemem jak i uiszczania opłat parkingowych. Proponowany system będzie prezentował odmienne podejście poprzez inteligentne i świadome kontekstu działanie, nie wymagające od użytkownika danych wejściowych, jednocześnie gwarantujące swobodne poruszanie się po mieście.

2 Przykładowe przypadki użycia – scenariusze

Poniżej zaprezentowane są przykładowe scenariusze dla przypadków użycia systemu. Celem jest zaprezentowanie możliwości i zasad działania systemu. Scenariusze obejmują zarówno sytuacje wjazdu na konkretny parking (tab. 1), jak i poruszania się po mieście z zamiarem zaparkowania na którymś dogodnym, wskazanym parkingu miasta (tab. 2 i 3). W obrębie pojedynczego parkingu również może nastąpić kierowanie użytkownika zgodnie z jego preferencjami, tak

Nazwa przypadku użycia UC1: "Wjazd na pojedynczy parking"
Prewarunek: wszystko działa poprawnie
Scenariusz: <ol style="list-style-type: none"> 1. Samochód wjeżdża na parking; 2. Następuje identyfikacja samochodu; 3. Przeszukiwanie bazy wiedzy pod kątem przeszłych zachowań; 4. Wybór miejsca do parkowania na podstawie dotychczasowych preferencji i aktualnie wolnych miejsc; 5. Wskazanie miejsca do parkowania nowo-wjeżdżającemu kierowcy;
Postwarunek: przekazanie informacji o wolnych miejscach na podstawie indywidualnych preferencji

Table 1. Wjazd na pojedynczy, wyodrębniony parking

Nazwa przypadku użycia UC2: "W drodze do pracy – pierwsza podróż samochodem"
Prewarunek: wszystko działa poprawnie, samochód uprzednio nie rejestrowany w systemie
Scenariusz: <ol style="list-style-type: none"> 1. Samochód wyrusza rano w dzień powszedni o typowej porze; 2. Samochód jest identyfikowany w jednym z punktów/bram w punktach dojazdowych; 3. Dane identyfikacyjne są przekazywane do systemu – pierwszy przejazd samochodem, inicjowane danych; 4. Inicjowanie informacji w systemie odnośnie danego samochodu.
Postwarunek: Zarejestrowanie samochodu w systemie.

Table 2. Pierwsza podróż samochodem – przejazd przez miasto

Nazwa przypadku użycia UC3: "W drodze do pracy – zwykła podróż samochodem"
Prewarunek: wszystko działa poprawnie, samochód uprzednio rejestrowany w systemie
Scenariusz: <ol style="list-style-type: none"> 1. Samochód wyrusza rano w dzień powszedni o typowej porze; 2. Samochód jest identyfikowany w jednym z punktów/bram w punktach dojazdowych; 3. Dane identyfikacyjne są przekazywane do systemu i analizowane pod kątem przyzwyczajeń kierowcy (zachowania z przeszłości); 4. Przygotowywana jest informacja wynikająca analizy preferencji o wolnych parkingach; 5. Informacja o dogodnym parkingu jest dostarczana kierowcy poprzez wyświetlenie jej na mijanej tablicy lub wysyłanie na urządzenie osobiste (telefon).
Postwarunek: Wskazanie dogodnego parkingu.

Table 3. Zwykła/kolejna podróż samochodem – przejazd przez miasto

jak ogólnie jest to pokazane na opisywanych scenariuszach, a co może stanowić swego rodzaju przejście od scenariuszy ogólnych do szczegółowych.

Przedstawione scenariusze nie wyczerpują wszystkich możliwości i wariantów, ale stanowią dobry przykład potencjalnych możliwości działania całego systemu.

3 Architektura systemu dla obszaru miejskiego

Na rysunku 1 została pokazana przykładowa architektura systemu dla całego obszaru miejskiego, tj. zasadniczo bez pojedynczych, zwartych parkingów. Z ar-

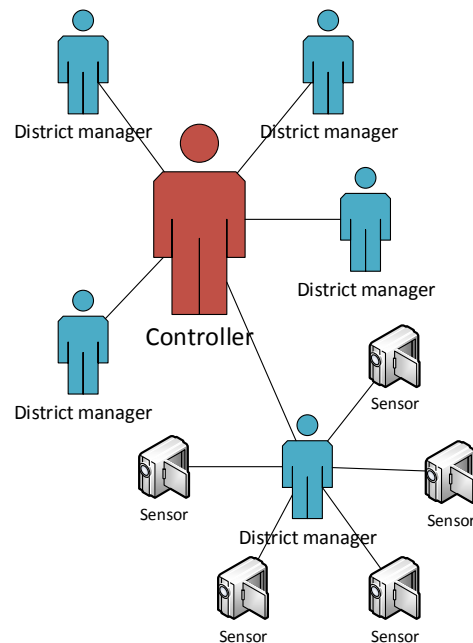


Fig. 1. Fragment architektury systemu (przejazd przez miasto)

chitekturą systemu związany jest proponowany system agentowy, jego architektura i rozmieszczenie. Agenci zostali zgrupowani hierarchicznie:

Controller – najwyższy poziom, zasadniczym celem agenta jest zarządzanie systemem, przechowywanie stanu zapelnienia parkingów, koordynacja całości.

District manager – poziom pośredni związany z wykonywaniem obliczeń, wyznaczaniem trasy, wskazywaniem miejsc parkingowych, dane pobierane są z sensorów, komunikacja z innymi agentami odbywa się za pośrednictwem agenta wyższego poziomu.

Sensor – najniższy poziom operujący bezpośrednio na ulicy lub miejscach parkingowych, zadaniem agenta jest rozpoznawanie samochodu (kierowcy), kontrola miejsca parkingowego, wszystkie zebrane informacje przekazywane są do agenta wyższego poziomu.

Hierarchia agentów wynika z rozplanowania obliczeń. Duży nacisk jest położony na obliczenia na poziomie środkowym, co wynika ze spodziewanego w tym obszarze dużego zaangażowania obliczeń będącego pochodną dużego ruchu miejskiego. Agenci środkowego poziomu, w powiązaniu z agentami sensorów, poprzez przypisanie większej lub mniejszej ich liczby w zależności od spodziewanego ruchu, co wydaje się optymalne, nosi także znamiona analogii do sieci telefonii komórkowej, pozwalając na minimalizację połączeń między agentami. Agent wyższego poziomu będzie w stanie obsłużyć większy obszar miejski. Centralny punkt będzie także w stanie obsłużyć diagnostykę całej sieci.

Agenci średniego poziomu (District manager) komunikują się poprzez agenta najwyższego poziomu. Komunikacja może obejmować informacje o bieżącym ruchu, która jest kolejkowana w poszczególnych obszarach. Wysyłane wiadomości mogą obejmować następujące elementy:

- typu/rodzaj wiadomości;
- treść wiadomości;
- referencji do nadawcy;
- inne, opcjonalne elementy.

4 Technologie uzupełniające/dodatkowe

Proponowany system zostanie uzupełniony o inne technologie związane z dostępnymi narzędziami lokalizacyjnymi. Dobrym przykładem jest np. projekt OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org/>). Projekt ten w zamierzeniu darmowy dostarcza mapy dowolnych miejsc wraz z dostępną infrastrukturą.

Proponowana w pracy reprezentacja jest wzorowana na podejściu grafowym, spotykanym w zastosowaniach informatycznych. Węzeł grafu reprezentuje np. skrzyżowanie lub załamania drogi – każdy punkt łączący na mapie dwa lub więcej odcinków drogi. Parametrami węzła są jego współrzędne geograficzne. Krawędzią grafu jest każdy prosty odcinek drogi w jednym kierunku (odcinek drogi dwukierunkowej będzie dwoma krawędziami o przeciwnych zwrotach). Reprezentacja zawierała następujące informacje:

- przypisany agent klasy Sensor,
- miejsca parkingowe znajdujące się przy odcinku drogi (pobocze, parking przy drodze),
- parametry jakości odcinka drogi (ilość pasów, jakość nawierzchni),
- nazwę ulicy, której odcinkiem jest krawędź,
- długość odcinka drogi.

Dla każdej krawędzi wyznacza się wartość funkcji jakości celem dla proponowanych miejsc parkingowych.

Grafem z atrybutami nazywamy strukturę $G = \langle V, E, A, \{V_a\}, f \rangle$ gdzie:

- V – zbiór wierzchołków grafu skierowanego,
- E – zbiór krawędzi grafu skierowanego,
- A – zbiór atrybutów,
- V_a – zbiór wartości atrybutu $a \in A$,
- $f : A \times E \rightarrow V_a$ – funkcja zwracająca wartość atrybutu dla danej krawędzi.

Obszar miasta jest reprezentowany przez graf z atrybutami. Zakładamy, że graf jest spójny. Zbiór atrybutów może zawierać dowolne cechy (nazwę, liczbę pasów, miejsca parkingowe itd.). Zbiór atrybutów przypisany jest do każdej krawędzi i dla każdej jest taki sam.

5 Wybrane aspekty działania systemu

Podstawowe źródła danych dla systemu zarządzania użytkownikami:

- urządzenia GPS i kamery – podstawowe czynności identyfikujące,
- kamery miejskie – stan ulic i parkingów oraz ich wypełnienie,
- stacje meteo – warunki na drogach oraz zwyczaje kierowców.

Kryteria wyboru miejsc parkingowych:

- odległość do parkingu,
- wypełnienie drogi na przewidywanej trasie do parkingu,
- jakość drogi na trasie do parkingu (ilość pasów, stan nawierzchni),
- zdarzenia wyjątkowe/okolicznościowe i wypadki na trasie do parkingu,
- zajętość parkingu.

Wyznaczanie trasy związane jest minimalizacją kosztów. Minimalizacja może być prowadzona w oparciu o algorytm genetyczny bądź sieć neuronową. Kryterium jakości wynika z wielokryterialnej funkcji wielu argumentów:

- sumaryczna odległość,
- jakość planowanych dróg,
- szacowane obciążenie,
- cele innych kierowców (przewidywanie korków w najbliższym czasie),
- bieżąca sytuacja na drogach,
- odległość miejsca parkingowego od celu.

6 Wspomaganie parkowania w pojedynczej przestrzeni

Osobnym zagadnieniem jest wspomaganie parkowania na pojedynczym parkingu (pojedyncza zwarta przestrzeń) korzystając z wiedzy o dotychczasowych preferencjach, zbudowanych na podstawie dotychczasowego zachowania i wyborów z przeszłości.

Na rysunku 2 została pokazana przykładowa przestrzeń parkingowa, pojedynczy parking, na który wjeżdżają osoby uprawnione. Wybór takiego parkingu może nastąpić jako efekt działania systemu którego architektura została pokazana

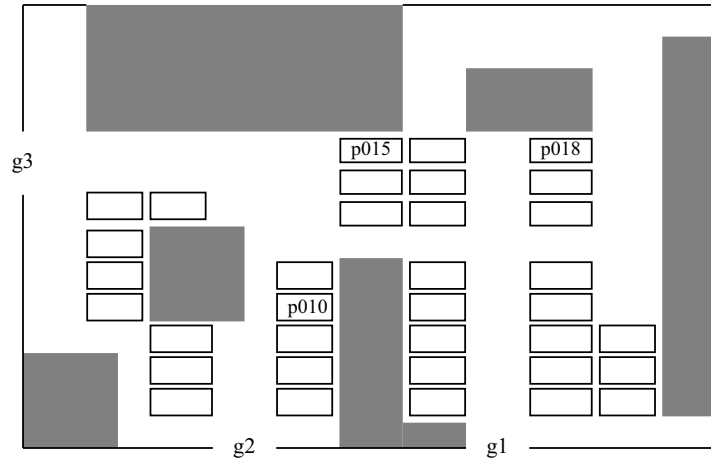


Fig. 2. Przykładowy pojedynczy parking

na rysunku 1. Celem systemu związanego z konkretnym parkingiem jest udzielanie odpowiedzi kierowcom odnośnie preferowanych miejsc parkingowych. Preferencje wynikają z obserwacji zachowań poszczególnych kierowców w przeszłości, a dokładnie miejsc gdzie samochód poprzednio najczęściej parkował.

Celem systemu jest zarówno budowanie w locie modelu preferencji, jak i wskazanie preferowanych miejsc parkingowych przy bieżącym wjeździe. Na rysunku 3 została pokazana hierarchia agentów operujących na rzecz danego parkingu. Sam parking od strony formalnej jest opisany jako struktura grafowa. Do

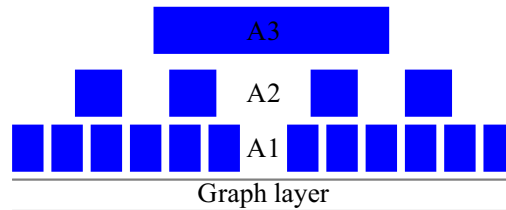


Fig. 3. Hierarchia agentów systemu dla pojedynczego parkingu

modelowania preferencji wykorzystywana jest logika temporalna. Wnioskowanie odbywa się z wykorzystaniem metody tablic semantycznych, a przykład takiego wnioskowania został pokazany na rysunku 4. Metoda tablic semantycznych, gwarantująca niezawodne wnioskowanie na gruncie logiki formalnej, polega – w pewnym uproszczeniu – na dekompozycji zbioru formuł, aż do uzyskania

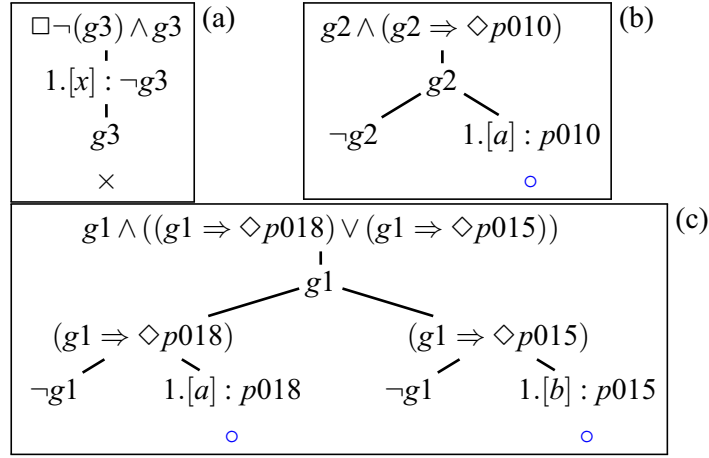


Fig. 4. Przykłady wnioskowania dla pojedynczego parkingu – wskazanie preferowanego miejsca postojowego (gałęzie otwarte \circ)

postaci elementarnych. Gałęzie otwarte i zamknięte są kluczowe dla wskania miejsc preferowanych przez danego kierowcę do parkowania.

- A3** – agenci decyzyjni, którzy permanentnie istnieją w systemie, a których zadaniem jest wypracowanie decyzji o preferencjach w wyborze miejsc parkowania. Wybór zostaje dokonany na podstawie wiedzy przygotowanej przez agentów A2.
- A2** – agenci obserwatorzy, których zadaniem jest podążanie za wjeżdżającymi na parking obiektami, oraz budowanie specyfikacji logicznej dla poszczególnych obiektów, taka specyfikacja stanowi wiedzę o agencie. Wiedza jest budowana w oparciu o elementarne fakty dostarczone przez agentów A1.
- A1** – agenci węzłów, którzy istnieją permanentnie w węzłach i regaują na podstawowe zdarzenia. Zdarzenia te są efektem działania sensorów, także gromadzenia danych biometrycznych, a dotyczących obiektów wjeżdżających na parking.

7 Wybrane prace symulacyjne

W ramach niniejszego opracowania zostały wykonane prace symulacyjne związane miejscami do parkowania w wydzielonych obszarach wzdłuż ulic. Na rysunku 5 została pokazana konsola programu symulacyjnego. Natomiast na rysunku 6 przykładowy zrzut z ekranu w trakcie symulacji.

Możliwe jest testowanie wielu scenariuszy zachowania. Możliwe jest także przeglądanie logów systemowych. Dla każdego kierowcy można przygotować zestaw parametrów określających jego zachowanie. Zestaw kierowców może zostać wygenerowany losowo, tak jak inne parametry związane z ruchem ulicznym, korkami,


```

3440: DistrictManager is processing message: AGENT_REQUEST
3440: Driver 2 has been assigned new suggested destination Ogródniczek [160].
3440: Driver 4 has changed current street to Aleja Adama Mickiewicza (suggested: Aleja Adama Mickiewicza [257])
3440: Street Aleja Adama Mickiewicza [256] has now 8/8 parking spots.
3440: Sensor of street 'Street 256, Aleja Adama Mickiewicza, 137.35049003693814, 0 driver(s)' is performing action
3440: Street Aleja Adama Mickiewicza [257] has now 10/10 parking spots.
3440: Sensor of street 'Street 257, Aleja Adama Mickiewicza, 10.588551795602752, 1 driver(s)' is performing action
3465: DistrictManager is processing message: DRIVERS
3465: DistrictManager is processing message: DRIVERS
3465: Controller is processing message: AGENT_REQUEST
3465: Driver 2 has changed current street to Władysława Reymonta (suggested: Ogródniczek [160])
3465: Street Władysława Reymonta [419] has now 3/3 parking spots.
3465: Sensor of street 'Street 419, Władysława Reymonta, 104.76495938440264, 0 driver(s)' is performing action
3465: Street Władysława Reymonta [138] has now 5/5 parking spots.
3465: Sensor of street 'Street 138, Władysława Reymonta, 2.598941549954116, 1 driver(s)' is performing action
3465: DistrictManager is processing message: DRIVERS
3465: DistrictManager is processing message: DRIVERS
3465: Controller is processing message: AGENT_REQUEST
3465: DistrictManager is processing message: AGENT_REQUEST
3465: Driver 2 has been assigned new suggested destination Spokojna [115].
3465: DistrictManager is processing message: DRIVERS (suggested: Ogródniczek [160])

```

Fig. 5. Przykładowa konsola programu symulacyjnego

itd. Każda ulica może zostać zdefiniowana w odmienny sposób poprzez przygotowanie innych parametrów, np. liczba pasów drogowych. Symulacja jest związana z OpenStreetMap. Dwie najważniejsze funkcje to:

1. wyznaczanie celów kierowcy,
2. wyszukiwanie miejsc parkingowych na podstawie domniemanego celu.

Funkcję obliczane są przez agentów drugiego poziomu. Agenci District Manager na bieżąco aktualizują sugestie podlegającym im kierowcom.

System pozwala na uruchamianie symulacji i obserwację na żywo efektów działania. Sterowanie symulacją odbywa się za pomocą przycisków kontrolnych. Główny obszar stanowi mapa scenariusza, z poruszającymi się po niej kierowcami. Grubość linii ulicy mówi o ilości kierowców na niej się znajdujących. Dostępna jest pełna lista wydarzeń w symulacji i inteligentnym sterowaniu parkingami, pogrupowana według poszczególnych kierowców.

8 Podsumowanie

Została zaprezentowana koncepcja systemu zarządzania parkingami. Potencjalnymi zainteresowanymi rozwiązaniem mogą być firmy informatyczne chcące realizować odpowiednie oprogramowanie, a także odbiorcy takiego oprogramowania (właściciele i zarządcy parkingów, jednostki samorządu terytorialnego). Naturalnymi odbiorcami mogą być także wszystkie jednostki samorządu terytorialnego zarządzające parkingami i miejscami do parkowania i dążące do optymalizacji jego wykorzystania i zwiększenia dochodów z miejsc parkingowych.

Podobne rozwiązania są opracowywane w kilku miastach, jednakże w istniejącego stanu wiedzy nie są one pro-aktywne, mniej uwzględniające kontekst. Natomiast dobrym przykładem partnera w Krakowie może być Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu (ZIKIT), i osoby w nim odpowiedzialne za nowe projekty, którego misją jest zarządzanie zasobami infrastruktury Krakowa,

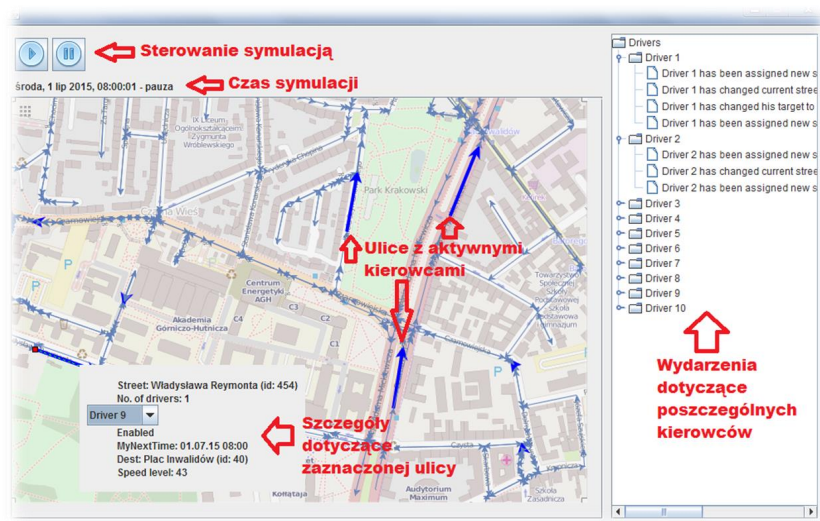


Fig. 6. Przykład symulacji – poszukiwanie miejsca do parkowania wzdłuż wydzielonych miejsc na ulicach

a więc także miejscami parkingowymi i parkingami. Innym przykładem może być rodzima Akademia Górniczo-Hutnicza, która dysponuje zbiorem kilku parkingów, a wprowadzenie odpowiedniego systemu mogłoby zwiększyć optymalność jego wykorzystania.

Bibliografia

- [1] M. K. Boulos, N. Al-Shorbaji. *On the Internet of Things, smart cities and the WHO Healthy Cities.*
- [2] R. Klimek, L. Kotulski. *Proposal of multiagent-based smart environment for the IoT.*
- [3] J. Czajkowski, J. Kośmider. *Inteligentny parking.*