

Ewa Szmidt

ewa.szmidt@its.waw.pl

Instytut Transportu Samochodowego

PRZEGLĄD RODZAJÓW INTELIAGENTNYCH SYSTEMÓW PARKINGOWYCH

Niepohamowany rozwój motoryzacji na świecie pociąga za sobą ogromną i stale rosnącą liczbę pojazdów poruszających się po drogach. Równocześnie stale zwiększa się deficyt miejsc, pozwalających na ich zatrzymanie, bez powodowania paraliżu i zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego. Niniejszy przegląd literaturowy zawiera omówienie różnych rodzajów technologii, połączonych w Inteligentne Systemy Parkingowe (ISP), opracowanych w celu rozwiązania problemów parkingowych, zwłaszcza w aglomeracjach.

Inteligentne Systemy Parkingowe, systemy ekspertowe, systemy przekąźnikowe, architektura FIPA, NAPA.

REVIEW OF THE SMART PARKING SYSTEMS TYPES

An unrestrained development of motoring in the world entails a huge and constantly growing number of vehicles on the road. At the same time, the deficit of places, allowing them to stop without causing paralysis and endangering road safety, is constantly increasing. This literature review contains an overview of the different types of technologies, involved in the Intelligent Parking Systems (IPs), developed to solve parking problems, especially in agglomerations.

Intelligent Parking Systems, Expert Systems, FIPA architecture, NAPA

1. Wstęp

Technologiczny rozwój społeczeństw zindustrializowanych ujawnia się na wiele sposobów, między innymi wciąż wzrastającą liczbą pojazdów, poruszających się wszędzie gdzie to możliwe [1]; nie tylko po autostradach i ulicach, lecz również po bitych traktach lub ścieżkach. Pociąga to za sobą konieczność zapewnienia kierowcy możliwości zatrzymania pojazdu. Podstawowy problem polega na tym, aby parkowanie było możliwe nie tylko na obszarze typowych parkingów, lecz również na terenach niezurbanizowanych. Poszukiwanie miejsca parkingowego, zwłaszcza w aglomeracjach, jest procesem zużywającym ogromne ilości czasu. Negatywne skutki procesu poszukiwania parkingu ujawniają się między innymi spadkiem efektywności ekonomicznej pracowników, szkodliwymi interakcjami społecznymi oraz nieplanowanymi a ponoszonymi kosztami [2]. Dostarczać informacji o dostępności miejsc parkingowych mogliby globalni dostawcy usług komórkowych i połączeń internetowych. Niestety nie są oni w stanie dostarczać takich informacji na swoich platformach, dopóki firmy posiadające w ofercie usługi parkingowe z nimi nie współpracują. Należy również pamiętać o tym, że bardzo wiele dużych pojazdów, zwykle dostawczych, nie jest w stanie zmieścić się na standardowym miejscu parkingowym. W takiej sytuacji powstała naturalna potrzeba stworzenia systemu o zasięgu co najmniej krajowym, który mógłby zebrać i przetworzyć wszystkie niezbędne informacje oraz dostarczyć wiedzy na temat aktualnie dostępnych miejsc parkingowych w określonych obszarach. Zważywszy na fakt, że to ludzkie błędy są najczęstszymi przyczynami wypadków [3], wbudowanie w pojazd technologii pozwalających na automatyczne wyszukiwanie miejsca parkingowego, pozwoliłoby uniknąć tych, które są powodowane przez rozproszenie uwagi kierowcy. Technologie te miałyby za zadanie odciążanie kierowcy, zwiększanie płynności ruchu oraz zapewnianie możliwie najwyższej niezawodności i bezpieczeństwa pojazdu [4]. Obecnie stosowane systemy obsługujące miejsca parkingowe, takie jak parkometry miejskie przyjmujące monety czy karty płatnicze, są bardzo nieefektywne, ponieważ wymagają ludzi do ich obsługi, a także do zarządzania parkingiem, który obsługują. Z drugiej strony systemy kontroli parkometrów oraz egzekwowania opłat zapewniają wydajny i skuteczny monitoring parkometrów, a przy okazji monitorują ewentualne akty agresji na terenie parkingu. Skutkuje to najlepszym na ile to możliwe wykorzystaniem przestrzeni parkingowej oraz przekłada się konkretne dochody. Z drugiej strony istniejący system parkingowy jest nieefektywny, ponieważ kierowców nie obowiązują żadne uregulowania dotyczące zajmowanego miejsca, w związku z czym niemożliwe jest efektywne wykorzystanie całej przestrzeni parkingu.

2. Usługa Inteligentnego Parkowania

Usługa Inteligentnego Parkowania, będąca częścią Inteligentnych Systemów Transportowych (ISP), daje szansę powstania nowych ułatwień dotyczących parkowania, ze względu na nowe funkcjonalności, jakie posiada. Usługa ta nie tylko zarządza wewnętrznymi procesami zachodzącymi w przestrzeniach parkingowych, ale jest zaprojektowana w sposób uwzględniający pozostałe aspekty dotyczące ułatwień w parkowaniu.

Inteligentny System Parkowania powinien posiadać następujące cechy:

- system informujący o dostępności miejsca oraz system rezerwacji miejsca powinny świadczyć również zaawansowane usługi nawigacyjne,

- system pobierania opłat parkingowych powinien pobierać opłaty elektronicznie,
- zautomatyzowany system nawigacji powinien asystować w bezpiecznej jeździe,
- nawigacja wewnątrz parkingu powinna zapewniać najlepsze możliwe zarządzanie ruchem na przestrzeni parkingowej,
- system powinien zapewniać efektywną ochronę parkujących pojazdów.

Miejsce parkingowe mogłyby być rezerwowane przez kierowcę poprzez system rezerwacji miejsc parkingowych. System ciągły typu „wjazd/wyjazd”, polegający na automatycznym skanowaniu pojazdów wjeżdżających lub wyjeżdżających z parkingu oraz jednoczesnym pobieraniu opłaty, spowodowałby ułatwienie dla kierowców w postaci uwolnienia ich od czasochłonnego kupowania biletów parkingowych. Zapewniłby też swobodę w wyborze środków płatniczych. Ponadto tego rodzaju systemy powodowałyby zmniejszenie liczby zatorów i usprawnienie ruchu, ponieważ ilość pojazdów zaparkowanych na ulicach zaczęłaby się zmniejszać. Parkingowy system nawigacji posłużyłby do znajdowania wolnego miejsca oraz poprowadzenia kierowcy do niego. To są podstawowe planowane funkcjonalności nowego systemu ISP, w przyszłości możliwe jest rozszerzenie oferty takich systemów o rezerwację miejsc parkingowych on-line czy stosowanie dedykowanych aplikacji pomagających znaleźć miejsce docelowe szybko, łatwo i bezpiecznie.

Współczesny rozwój technologii skutkuje także powstawaniem zaawansowanych systemów informacyjnych w pojazdach. Obecnie są one standardowym wyposażeniem wyłącznie w najnowszych i/lub luksusowych samochodach. Systemy te wykorzystują telefony komórkowe, mapy elektroniczne oraz satelity do nawigacji w czasie rzeczywistym. Najnowszym ulepszeniem w systemach inteligentnego parkowania jest system negocjacji miejsca parkingowego, różniący się znacznie od systemu informacji parkingowej. System negocjacji miejsca parkingowego wykorzystuje połączenie i zintegrowanie miejsc parkingowych w różnych lokalizacjach, co skutkuje inicjowaniem negocjacji, a następnie koordynacją informacji między systemem informacyjnym w pojeździe i na parkingu. System inicjuje proces negocjacji w kwestiach takich jak: opłaty parkingowe, zaliczka na poczet rezerwacji miejsca, wyszukanie najlepszej możliwej drogi od aktualnej pozycji do miejsca parkingowego, a następnie do miejsca przeznaczenia. Skoordynowana praca jest ważnym zadaniem dla korporacji negocjacyjnych. Negocjacje są czymś zbliżonym do biznesu, w którym zarówno sprzedający jak i kupujący decydują o warunkach interesu, aby uzyskać najlepsze możliwe porozumienie dla obu stron. System informacji o parkowaniu wraz z systemem negocjacji miejsca parkingowego położyły fundament pod powstanie Inteligentnego Systemu Parkingowego.

3. Rodzaje Inteligentnych Systemów Parkingowych

Nazwa Inteligentny System Parkingowy określa całą grupę systemów, działających w oparciu o różne technologie. Przydatną dla potrzeb systemów ISP grupę stanowią systemy ekspertowe (ang. expert systems). Są to programy komputerowe, które wykonują złożone zadania o znacznych wymaganiach intelektualnych w sposób zbliżony do rozumowania człowieka, będącego ekspertem w danej dziedzinie.

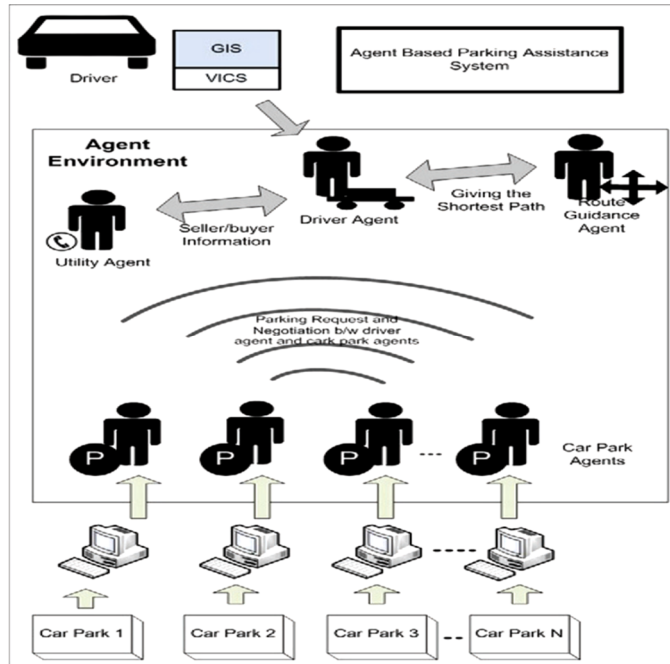
✓ Systemy ekspertowe oraz systemy oparte na agentach

Systemy ekspertowe oraz technologie oparte na agentach (przebieżnikach), mogą rozwiązać problemy związane ze skomplikowanym i bardzo rozbudowanym środowiskiem drogowym. Mogą również stanowić podwaliny automatyzacji systemu negocjacji

i nawigacji parkingowej [5]. Agent posiada korzystne cechy warunkujące jego przydatność w systemach ISP, takie jak: autonomiczność oraz zdolności adaptacyjne, które mogą być wykorzystywane do rozwiązywania problemów o dużej dynamice oraz reagowania na rozmaite interakcje między elementami infrastruktury drogowej [6]. Systemy wieloagentowe koncentrują się przede wszystkim na poszczególnych modułach wykonujących podzadania. Każde podzadanie jest przydzielone suwerennemu autonomicznemu programowi (agentowi). Takie programy często bywają heterogeniczne, ponieważ z natury różnorodność zadań zmusza do tego, aby każdy agent posiadał specyficzne zdolności. Naturalną cechą takich systemów jest ich rozproszenie. Rozproszenie to jest zazwyczaj funkcjonalne; wtedy programy-eksperci mają za zadanie rozwiązać określone problemy w różnych środowiskach programowych. System wieloagentowy jest również jedną z technik modelowania. Jest używany do projektowania systemów z wbudowanymi elementami wykazującymi inteligencję, autonomiczność oraz zdolność interakcji nawzajem ze sobą lub z otaczającym środowiskiem [7]. Agent mobilny może się poruszać pomiędzy węzłami sieciowymi i jest tworzony w sposób dynamiczny, podczas działania określonego programu. Następnie jest wysyłany do systemów przeznaczenia w celu wykonywania różnych zadań, z wykorzystaniem nowoczesnych kodów i algorytmów. Systemy agentów mobilnych powodują również ograniczenie transmisji danych w sieci. Zwiększa to elastyczność systemu, zdolność jego regulacji i trwałość [8].

Niektóre systemy nie zapewniają najlepszych możliwych ułatwień parkingowych, dopóki nie biorą pod uwagę negocjowania i uiszczania opłat parkingowych w sposób automatyczny. W takim wypadku konsumenci tracą możliwość znalezienia miejsca parkingowego najlepiej dopasowanego do ich potrzeb i możliwości. System inteligentnego parkowania i nawigacji, zintegrowany z systemem mobilnych agentów w celu umożliwienia użytkownikom negocjowania opłat zaproponowano w [6]. Wspomniane przekaźniki mobilne mogą być używane do szybkiej, aktywnej i stabilnej negocjacji pomiędzy pojazdami a parkingami. Posiadają one również wbudowany algorytm, wykorzystywany do negocjacji, zbliżony do ludzkiego. Mobilność przekaźników (agentów) pomaga w skróceniu czasu negocjacji oraz zmniejsza ilość danych transmitowanych po sieciach bezprzewodowych.

System wieloagentowy ABIPNGS (ang. Agent-Based Intelligent Parking Negotiation and Guidance System) łączy technologie oparte na agentach mobilnych oraz systemach wieloprzekaźnikowych, wykorzystując zarówno stacjonarne jak i mobilne przekaźniki. Rysunek 1 przedstawia model organizacyjny systemu ABIPNGS.



Rys. 1. System pomocniczy parkowania, oparty na przekaznikach [9].

Fig. 1. Auxiliary parking system, based on agents [9].

Stosowanie agentów w systemach transportowych opisywane jest bardziej szczegółowo w literaturze [10,11]. Wielofazowa technika nawigacji, stosująca dwuwarstwową mapę ruchu, używana jest do wyznaczania tras i miejsc parkingowych [12]. Implementacja tego systemu miała miejsce w rozszerzonej architekturze zgodnie z platformą FIPA (ang. Foundation for Intelligent Physical Agents [13]) dzięki agentom mobilnym i ich komponentom oraz systemom przekazywania wiadomości. System ten wykorzystuje interoperacyjność standardów FIPA i elastyczność mobilnych agentów. Autorzy specyfikacji architektury FIPA postawili sobie za cel stworzenie standardów, które wspierałyby tworzenie aplikacji i systemów agentowych mogących ze sobą współpracować. Specyfikacje owe zawierają język komunikacji między agentami, usługi agentów oraz ontologie do zarządzania agentami. Dzięki wysokiej jakości agentów, łatwości regulacji oraz współdziałaniu, odbiorcy usług mogą automatycznie dokonywać wyszukiwania parkingu, negocjować opłatę za parkowanie, zarezerwować parking czy wybierać optymalną trasę dojazdu do parkingu. Rozproszone inteligentne sterowanie ruchem robotów mobilnych omówiono w [14]. Przedstawia ono również wielofunkcyjny system przekaznikowy o nazwie „inteligentny system dla robotów autonomicznych”. Zajmuje się on modelowaniem, planowaniem i koordynacją funkcji robota mobilnego. System jest zbudowany z jądra, stanowiącego przekaznik kontroli głównej (pierwszy), z przekaznika nawigacyjnego (drugi), zdolnego do nauki w celu bezpiecznego generowania trasy, a także umożliwiającego robotowi działania zgodne z restrykcjami dotyczącymi ochrony środowiska. Do nauki i zachowania poprawnego ruchu robota wykorzystywany jest neutralny algorytm adaptacyjny. Trzeci przekaznik zajmuje się pozycjonowaniem robota oraz aktualizowaniem map. Czwarty przekaznik zajmuje się komunikacją, obsługą i koordynacją zadań. Przekaznik dyskretnego manewrowania i parkowania zajmuje się zadaniami przemieszczania i parkowania. Do nawigacji zewnętrznej poza parkingami, z wykorzystaniem robotów mobilnych, zaadaptowano

system wieloagentowy z kontrolą zdarzeń drogowych [15]. W celu połączenia funkcji informacyjnych i mapowania środowiska [16, 17], proponuje rozproszony system wieloprzekaznikowy.

✓ Systemy oparte na logice rozmytej

Jeśli mamy do czynienia z sytuacją wynikłą z błędu ludzkiego, wówczas niezbędny jest system, który wspomaga swojego operatora w sposób bezpieczny i wydajny [18]. System taki funkcjonuje poprzez detekcję, planowanie ruchu, dostarczanie informacji. Teoria rozmycia sprawdza się w podejściu heurystycznym na wysokim poziomie ekspertowym. Metoda przedstawiona w [4] pozwala pojazdowi na niezależne poruszanie się po różnych rodzajach dróg. Przewiduje ona także specyficzne sposoby poruszania się pojazdu, takie jak: cofanie, parkowanie równoległe oraz zawracanie „na trzy”. W celu uzyskania sprawnie działającego systemu kontroli nad pojazdem, metoda ta wykorzystuje system zdolny do uczenia się, korzystając również z ludzkich umiejętności. Na potrzeby szkoleń i testów, symulator jazdy połączono z rozmytą architekturą neuronową, znaną jako GenSoFNN-Yager (ang. Generic Self Organizing Fuzzy Neural Network), realizującą inferencję Yager [19]. Do replikacji wbudowanej niejednoznaczności dostępnych informacji wybrano rozmyty system sterowania. Wówczas wdrożenie systemu opartego na regułach logiki rozmytej ma miejsce w architekturze sieci neuronowej, a system może uczyć się, zapamiętywać, uogólniać i adaptować się do danych treningowych. Neuronowy system rozmyty ma zdolność rozumowania jak istoty ludzkie. Posiada również wiedzę ekspertową. W celu skrócenia czasu obliczeń, zaprezentowano kontroler logiki rozmytej FLC (ang. Fuzzy Logic Controller) [20], oparty na FPGA (ang. Field-Programmable Gate Array). Kontroler FLC może być stosowany do projektowania automatycznego powrotu pojazdów z trasy na wyznaczone miejsce parkingowe, analogicznie jak robią to zwykle kontrolery FPGA. Zastosowanie logiki rozmytej do kontroli ruchu wstecznego ciężarówek oraz przyczep w dynamicznie zmieniającym się środowisku ruchu drogowego zaprezentowano w [21]. Zastosowanie takiej metody daje możliwość rozszerzenia jej stosowania o warunki, w których np. trasa ciężarówek napotyka przeszkody. W pierwszym rozważanym wariancie założono, że przeszkoda jest stacjonarna, a w drugim, że jest mobilna. Czujniki ultradźwiękowe i 3D mogą być stosowane w celu znalezienia odpowiedniego miejsca parkowania dla ciężarówek, które z uwagi na swoje gabaryty, mogą w tym aspekcie napotykać na olbrzymie przeszkody.

✓ Systemy oparte na czujnikach bezprzewodowych

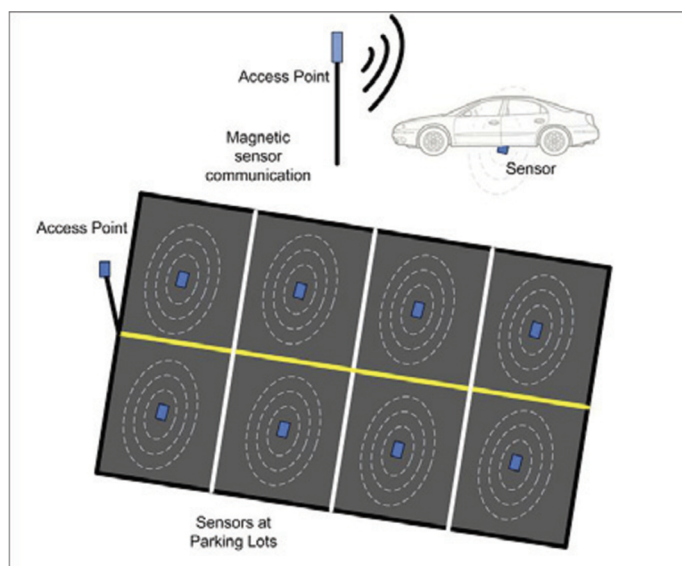
Większa ilość węzłów czujników/przeźników tworzy sieć czujników bezprzewodowych (WSN – Wireless Sensor Network). Organizują się one tworząc sieć *ad hoc* poprzez moduł komunikacji bezprzewodowej, obecny w węzłach. Na każdym węźle umieszczone są różne typy czujników, jednostek obliczeniowych i urządzeń pamięci masowej. Elementy funkcjonalne pozwalają na zainstalowanie czujników w sposób szybki i łatwy w celu gromadzenia, przetwarzania i przekazywania informacji. Takie czujniki mają olbrzymi potencjał od momentu, kiedy instalacja sieci WSN jest rutynowa, a sieci WSN dostarczają danych do pozycjonowania i nadzorowania. Mają one jednak dwie wady. Pierwsza to fakt, że czujniki są kosztowne. Druga, to że czujniki generują ogromne ilości danych, których transmisja przez sieć bezprzewodową wymaga bardzo dużej przepustowości. W literaturze można znaleźć informacje o inteligentnych systemach parkowania opartych na WSN [27]. System czujników bezprzewodowych zainstalowany jest na parkingu. Każde miejsce parkingowe ma węzeł czujników, wykorzystywany do wykrywania i sprawdzania stopnia zapełnienia parkingu. Węzeł służy do monitorowania stanu parkingu, z którego dane są regularnie przesyłane do bazy danych poprzez

zainstalowany czujnik bezprzewodowy. Do wykonywania różnych czynności związanych z zarządzaniem przez warstwę nadrzędną, takich jak znalezienie niezatłoczonego parkingu, realizacja automatycznego systemu płatności, zarządzanie bezpieczeństwem i generowanie raportów o statystyce, dostępna jest baza danych. Węzły sieci WSN są wyposażone w czujniki światła i dźwięku w systemach zarządzania parkami pojazdów. Szeroko pojęta architektura wykorzystywana do wszechstronnego wykrywania sieci, zaproponowana została w Irisnet [22]. Takie rozwiązanie pozwoli użytkownikom na uzyskiwanie informacji o dostępnych miejscach parkingowych wzdłuż trasy przejazdu. Do wykrywania i rozpoznawania samochodów, system ten używa kamer wideo, mikrofonów i detektorów ruchu. Wszystkie dane czujników są najpierw przetwarzane w sieci, a następnie zostaną zamieszczone na odpowiedniej stronie internetowej. Informacje mogą być wówczas pobierane przez użytkownika z Internetu. Jako że dane wygenerowane przez kamery wideo są ogromnej wielkości, duża ilość zasobów, takich jak przepustowość komunikacji, czy energia jest potrzebna do przenoszenia i przetwarzania danych. Na szczęście w sieci bezprzewodowej dostępność wymienionych zasobów ma mniejsze znaczenie. Aplikacje transportowe oparte na sieciach bezprzewodowych przedstawione są w „Traffic Plus Technology” [23] oraz MIT ITS [24,25].

Sensory wykrywające pojazdy instalowane są wzdłuż drogi po obu jej stronach oraz na samej jezdni w celu pobierania żądanych informacji na temat przejeżdżających pojazdów. Takie systemy nie są zaprojektowane do zarządzania parkingami, jednak są efektywne, jeśli chodzi o wykrywanie korków lub określonych sytuacji na drogach. Używane w tych systemach oprogramowanie jest również kosztowne i skomplikowane. Dla dokładnego i precyzyjnego określania pozycji pojazdów na obszarze parkingu stosuje się czujniki magnetyczne i ultradźwiękowe [26]. Zmodyfikowana wersja algorytmu „min-max” jest stosowana do wykrywania pojazdów za pomocą magnetometru. Algorytmy dla czujników ultradźwiękowych również są w użyciu. Istnieją także inne rozwiązania dla aplikacji parkingowych, niż te bazujące na technologiach opartych na różnorodnych czujnikach (magnetometry, kamery itp.). Ponieważ magnetometry są wrażliwe na zjawiska pogodowe, pomiary wykonywane przy ich użyciu są niedokładne, ponadto ciężko jest dokładnie określić ilościowo wpływ warunków pogodowych na wynik pomiaru. Dodatkowo, należy umieścić wspomniane magnetometry jak najbliżej pojazdu, ze względu na to, że mierzy on zmianę natężenia i kierunku pola magnetycznego Ziemi, spowodowanego obecnością pojazdu. Z tego względu takie pomiary są możliwe w pobliżu wjazdu na parking, ale wykluczone na jego wyższych poziomach, również dlatego, że pojazdy rozwijają tam większe prędkości, dodatkowo utrudniając pomiar. Rozwiązania oparte na systemach kamer są z kolei bardzo kosztowne, a ogromna ilość danych przez nie generowana rodzi trudności z transmitowaniem ich przez kanały w sieci bezprzewodowej. Powyższe trudności, jak i poruszające się inne obiekty na terenie parkingu, włączając w to ludzi, wykluczają wykorzystywanie magnetometrów czy kamer, jako jedynych czujników na parkingach. Dlatego systemy nadzorowania ruchu na parkingach [27] używają magnetometrów do wykrywania obecności pojazdów wraz z oszacowaniem ich prędkości w pobliżu skrzyżowań oraz na wjazdach na parking. Takie magnetyczne „podpisy” ułatwiają systemowi klasyfikację i ponowną identyfikację pojazdów.

Projekt i prezentację problemów wdrożeniowych wiarygodnego systemu WSN, używającego czujników magnetycznych, zaproponowano w literaturze [28]. W tym projekcie, czujniki magnetyczne umieszczone na parkingu, przesyłają informacje do punktu dostępowego AP (ang. Access Point) na drogach. System jest w stanie znaleźć niezajęte miejsca w czasie rzeczywistym, a następnie przesłać te informacje

użytkownikowi. Zastosowanie warstwowej architektury dla wdrożenia systemu zarządzania parkami pojazdów przy użyciu czujników magnetycznych DSYS25z [29] opracowanych przez Tyndalla [24], zaproponowano w [30], jako część projektu o nazwie „D-Systems Project” [31]. Naświetlono w nim problemy związane z komunikacją bezprzewodową w środowisku parkingowym, a także przekazano rekomendacje dotyczące dynamicznego oraz odpornego na zakłócenia nawigowania użytkownika do miejsca przeznaczenia, uzyskane na podstawie danych eksperymentalnych. W kategorii wielopoziomowych parkingów, system PMA [32] jest jednym z wiodących systemów nawigacji parkingowej. Kierowca, po przekroczeniu granicy parkingu, jest kierowany na wolne miejsce najkrótszą trasą, generowaną przez nawigację dedykowaną danemu parkingowi.



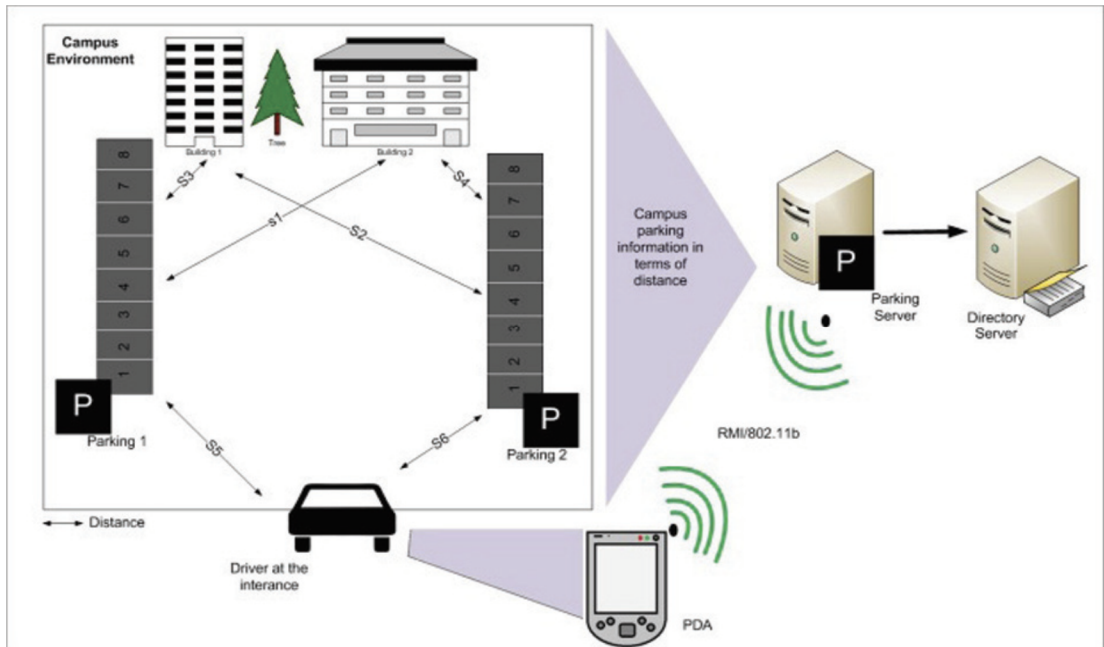
Rys. 2. System WSN oparty na czujnikach magnetycznych [6].
Fig. 2. The WSN system based on magnetic sensors [6].

Duży problem, jakim są dotychczasowe, masywne instalacje obsługujące inteligentne systemy parkingowe, zużywające ogromne ilości energii, rozwiązano dzięki sprytnemu systemowi zarządzania parkingami, bazującemu na sieci czujników zaprezentowanych w [5]. Czujniki stosowane na węzłach są małe, dzięki czemu zużywają mało energii. Wyczuwają zakłócenia w polu magnetycznym Ziemi w celu identyfikacji pojazdu. Same węzły zapadają w stan uśpienia w regularnych odstępach czasu, a następnie włączają się dzięki wewnętrznym mikrokontrolerom. Zbierają informacje związane z parkingiem oraz jego otoczeniem, a następnie komunikują się z resztą czujników. Praca czujników w systemie interwałowym również pomaga zachować tryb oszczędzania energii. Generalny schemat wdrożenia takiego systemu prezentuje rysunek 2.

✓ Systemy oparte na nawigacji GPS

Informacje o lokalizacji oraz dostępności parkingów w pobliżu miejsca przeznaczenia są dostarczane obecnie poprzez zamontowane w pojazdach systemy nawigacji oparte na GPS. Niestety, informacja o aktualnym stanie obłożenia parkingu nie jest dostarczana. Dlatego dotychczasowe systemy nie mogą zagwarantować wolnego miejsca na parkingu, gdy klient do niego dotrze. W literaturze [33] zaproponowano naukowy sposób wykorzystania informacji o przeszłych i teraźniejszych statusach dostępności miejsc na

parkingach. Rozkład Poissona jest stosowany do modelowania dostępności przestrzeni parkingowej. W tym źródle jest również prezentowany inteligentny algorytm, pomagający kierowcy wybrać miejsce do parkowania z największym prawdopodobieństwem dostępności. Cerreo [34] przez rok prowadził studia dotyczące parkowania ulicznego, które koncentrowały się na różnych zagadnieniach, takich jak: zasady, planowanie, zarządzanie czy działania. Praca ta naświetliła kilka typowych dla tego rodzaju miejsc parkingowych kwestii, np. wymiana typu peer-to-peer czy przechowywanie informacji parkingowych. Chon z współpracownikami [35] zaprezentował system wyszukiwania zwany NAPA (ang. Nearest Available Parking lot Application), pokazany na rysunku 3.



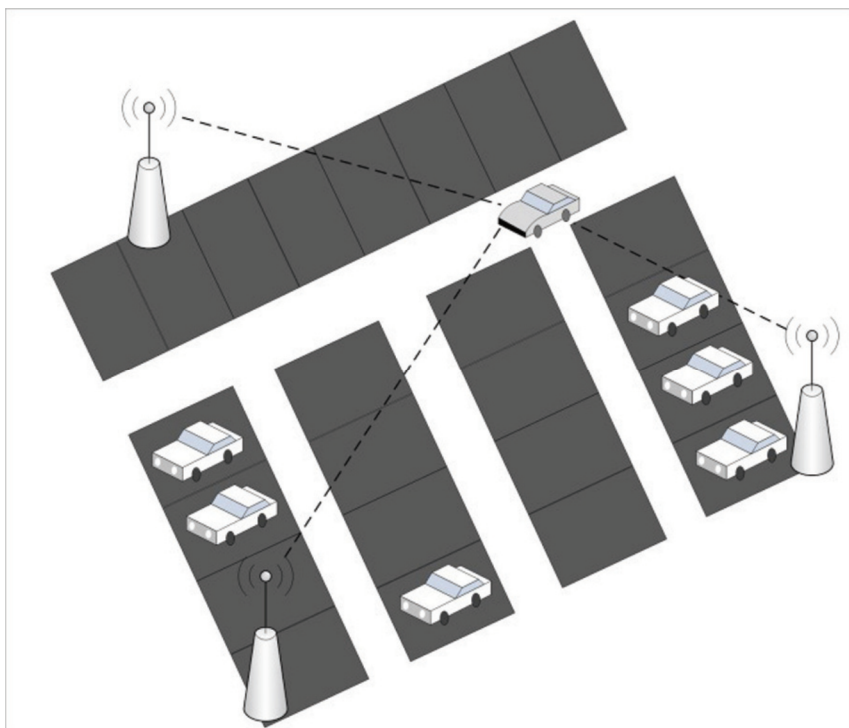
Rys. 3. Architektura NAPA [35].

Fig. 3. NAPA architecture [35].

System ten jest pomocny w wyszukiwaniu parkingów na terenie kampusów lub lotnisk, lecz nie dostarcza informacji na temat dostępności miejsc parkingowych.

✓ Drogowe systemy komunikacyjne

Rongxing z współpracownikami [36] zaproponował nową, inteligentną technikę, bazującą na komunikacji drogowej. Jest ona przeznaczona dla parkingów wielkopowierzchniowych. Zapewnia usługę nawigacyjną w czasie rzeczywistym, inteligentne zabezpieczenia przed kradzieżą oraz łatwość rozpowszechniania informacji parkingowych kierowcom. Schemat ten nosi nazwę SPARK i jego cechą charakterystyczną jest używanie RSU parkingu w celu dokładniejszego obserwowania oraz zarządzania całą infrastrukturą parkingową, przy użyciu technologii VANET. Wdrożenie tego systemu obrazuje rysunek 4.



Rys. 4. Inteligentna technika komunikacji oparta na komunikacji drogowej [36].

Fig. 4. Intelligent communication technology based on road transport [36].

Schemat SPARK ma następujące cechy: zapewnia nawigację na parking w czasie rzeczywistym, oszczędzając paliwo i czas, zapewnia ochronę przeciw kradzieży opartą na technologii VANET. Dzięki temu wszystkie pojazdy znajdujące się na parkingu są chronione przez RSU parkingu. Każdy pojazd próbujący opuścić teren parkingu nielegalnie jest natychmiast zidentyfikowany przez RSU. Ponadto zapewnia wygodny przepływ informacji między wszystkimi pojazdami znajdującymi się w ruchu, a więc potencjalnymi klientami serwisu.

✓ Systemy oparte na wizji

Systemy kontroli parkingów oraz dochodów z nich płynących w dużych miastach, oparte są obecnie na monetach albo żetonach. Taki system wymaga posiadania odliczonej kwoty, co w praktyce jest bardzo uciążliwe, a także zatrudnienia człowieka do monitorowania miejsc parkingowych. Znacznie bardziej skuteczny i wydajny system zaprezentowano w literaturze [37]. Jest on połączony ze scentralizowanym zarządem kontroli ruchu, który zbiera wszystkie opłaty, a także zapewnia przestrzeganie ustalonych zasad na parkingach. Taki system posiada swoje podsystemy, mianowicie podsystem „ad hoc”, podsystem bramek parkingowych, podsystem detekcji pojazdów oraz podsystem czujnika kamery. Każdy pojazd ma unikalny numer VIN (ang. Vehicle Identification Number). W celu przezwyciężenia pojawiających się zazwyczaj w niedoświetlonych strefach parkingowych trudności, będących udziałem istniejących systemów pozycjonowania pojazdów opartych na wizji, zaproponowano [38] metodę bezpłatnego rozpoznawania miejsca parkingowego, opartego o projekcję paska świetlnego. Metoda ta jest wykorzystywana do zbierania informacji w formacie 3D o danym miejscu parkingowym. Do automatycznej nawigacji w czasie wykonywania operacji parkowania, wykorzystuje się pewien rodzaj asystenta kierowcy, znanym jako inteligentny asystent

parkowania. Zawiera on następujące elementy [39]: wyznaczanie pozycji docelowej, wyznaczanie trasy, znajdowanie trasy, aktywna nawigacja, aktywne hamowanie, interfejs człowiek- maszyna (HMI – ang. Human Machine Interface). Informacja 3D o końcowej pozycji pojazdu jest przetwarzana na podstawie wyznaczonej pozycji docelowej. Parkowanie równoległe jest natomiast dokonywane przy użyciu czujników ultradźwiękowych [40] oraz SRR (ang. Short Range Radars) [41]. Techniki oparte na wizji są raczej stosowane przy parkowaniu prostopadłym. Wysoka cena laserów skanujących czyni je mało przydatnymi w masowej produkcji. Niestety, pomimo swojej niskiej ceny, czujniki ultradźwiękowe i SRR nie są wystarczająco efektywne przy wykrywaniu położonych ukośnie miejsc parkingowych. Tylna kamera w pojazdach staje się zatem niezmiernie ważnym komponentem asystenta parkowania, zwłaszcza dla kierowców, obserwujących odbywający się proces parkowania [42]. Do znajdowania wolnych miejsc stosuje się różne metody. Do zbierania informacji 3D o pojazdach znajdujących się w pobliżu, Y. Tanaka stosuje stereoskop dwuoczny [43]. Algorytm wizyjny do wyznaczania wolnego miejsca dzięki rozpoznawaniu oznaczeń miejsc parkingowych opracowali Jung z współpracownikami [44, 45] oraz [46]. Kombinację metod manualnych opartych na HMI oraz systemów wizyjnych, przy użyciu algorytmów rozpoznawania automatycznego zaprezentowano w [47,48]. Systemy wizyjne nienadzorowane, stosowane tylko do wykrywania miejsc, zaprezentowano w [49]. W tym przypadku system zużywa jedynie kilka klatek na sekundę. Dzięki temu dane są łatwe do przetworzenia. Ta metoda ma trzy główne etapy przetwarzania: wstępne przetwarzanie „surowych” obrazów otrzymanych z kamery, zminimalizowanie lub całkowite wycięcie cieni widocznych na zdjęciach, a także wyostrenie obrazu i pozbycie się zniekształceń, utworzenie połączenia pomiędzy kamerami stacjonarnymi a widocznymi dla kamery miejscami parkingowymi. Następnym etapem jest określenie statusu danego miejsca parkingowego. Inteligentną technikę poszukiwawczą, dedykowaną dla dużych powierzchni parkingowych zaproponowano w [50]. Kamery są instalowane na drogach. Tam następuje rozpoznawanie i przechowywanie informacji związanych z wyglądem, takich jak kolor czy tablica rejestracyjna. Taka metoda jest stosowana również na wielkopowierzchniowych otwartych parkingach. W literaturze [51] opisano również nowy system, oparty na przetwarzaniu obrazów, stosowany w celu dostarczania informacji na temat parkingu oraz nawigacji do niego. Ma on zdolność liczenia ilości zaparkowanych samochodów i identyfikacji wolnych miejsc parkingowych. System używa obrazów do identyfikacji pojazdów, uzyskiwanych z kamery zainstalowanej na wjeździe na parking. Następnie zdjęcia te są porównywane ze zdjęciem referencyjnym w bazie danych, w celu potwierdzenia poprawnej identyfikacji pojazdu. Na podstawie uzyskanej zgodności, informacje oraz propozycja nawigacji jest wysyłana do pojazdu.

✓ Inne systemy

System rezerwacji miejsca parkingowego przez Internet zaproponowano w [52]. System wykorzystuje Internet do szybkiego i łatwego odszukania wolnego miejsca parkingowego. Gdyby udało się dołączyć do niego inteligentną kartę, to system może również za jej pomocą dokonywać płatności. [53] rozważał metodę parkowania samochodów autonomicznych w garażach podziemnych. Proponowana metoda podzielona została na następujące elementy: sterowanie ruchem pojazdu od domu do parkingu na podstawie trasy wprowadzonej do systemu przez właściciela, odszukanie wolnego miejsca na obszarze parkingu wraz z czynnościami niezbędnymi do zaparkowania pojazdu oraz mechanizm pozycjonowania pozwalający na uzyskanie idealnej pozycji na wyznaczonym miejscu. Problemy autonomicznego parkowania oraz omijania przeszkód, mogą być

rozwiązane dzięki rosnącej liczbie badań nad mobilnymi robotami samochodopodobnymi CLMR (ang. Carlike Mobile Robot). Każdy kierowca, a zwłaszcza niedoświadczony, powinien móc wygodnie i bezpiecznie zaparkować samochód dzięki autonomicznemu kontrolerowi parkowania. Niestety, nieadekwatnie zaprojektowany kontroler naraża zarówno kierowcę jak i samochód na niebezpieczeństwo. Nowoczesny, wielofunkcyjny kontroler parkowania zaprezentowano w [54]. Jest on w stanie efektywnie zaparkować CLMR w wybranym miejscu w oparciu o dane uzyskane z wbudowanego czujnika, który z kolei ma zdolność do zbierania danych z otoczenia robota.

4. Podsumowanie

Przedyskutowano różnorodne systemy oferujące usługi inteligentnego parkowania. Systemy te mają przeciwdziałać problemom zwykle pojawiającym się przy parkowaniu, z uwagi na brak efektywnego i nowoczesnego systemu parkowania. Zastosowanie takich nowoczesnych technik jak: systemy ekspertowe oparte na czujnikach bezprzewodowych, logice rozmytej, GPS, komunikacji między pojazdami oraz technikach wizyjnych, może pomóc w przezwycięzeniu problemów z parkowaniem. System taki wpływa korzystnie na społeczeństwo pod względem ekonomicznym, socjalnym, zwiększa też bezpieczeństwo. Dotychczasowa praktyka pokazuje, że kierowcy łatwo przyzwyczajają się do istnienia „asystenta” w procesie zaczynającym się od wyszukania wolnego miejsca parkingowego, poprzez poprowadzenie do niego, kończąc na uiszczeniu opłaty. Systemy nawigacyjne znacznie zwiększają prawdopodobieństwo znalezienia wolnego miejsca parkingowego, zmniejszają poziom frustracji kierowców nie znających miasta, powodują skrócenie kolejek pojazdów ustawiających się na wjazdach na parkingi, przyczyniają się do zmniejszenia ogólnej liczby pojazdów poruszających się po ulicach, zwłaszcza w centrum miast. Ponadto obniżają średni czas trwania podróży, zużycie energii, paliwa oraz zanieczyszczenie powietrza. Jeśli dodatkowo system nawigacji jest połączony z systemem rezerwacji miejsca oraz systemem płatniczym, wówczas kierowca może zaplanować oraz zarezerwować miejsce docelowe zanim zacznie podróż. W tabeli 1 przedstawiono najczęściej stosowane technologie w inteligentnych systemach parkingowych i wymieniono ich najistotniejsze cechy.

Tabela 1

Podsumowanie najważniejszych technik używanych w inteligentnych systemach parkingowych [9].

Table 1

Summary of the most important technologies used in the intelligent parking systems [9].

Technologia	Cechy	Oferowane usługi
Oparta na przekaźnikach	Dynamiczna dystrybucja danych, skomplikowane środowiska drogowe	Możliwość negocjowania trasy, nawigacja na parkingu
Oparta na logice rozmytej	Inteligencja i zdolności wzorowane na ludzkich	Inteligentne sposoby parkowania, tj. równoległe i prostopadłe
Oparta na czujnikach bezprzewodowych	Niski koszt wdrożenia oraz niskie zużycie energii	Wykrywanie oraz monitorowanie przestrzeni parkingowej
Oparta na GPS	Informacje w czasie rzeczywistym, nawigacja do punktu przeznaczenia	Dostarczanie informacji o lokalizacji i dostępności parkingu
Oparta na komunikacji między pojazdami	Zaopatrywanie pojazdów w informacje dotyczące parkingów	Ochrona przed kradzieżą, usługa nawigacji parkingowej w czasie rzeczywistym
Oparta na wizji	Sprawdza się dla parkingów wielkopowierzchniowych	Detekcja miejsc zajętych na parkingu, rozpoznawanie miejsca do parkowania, zbieranie opłat parkingowych

Przyszłe prace i badania powinny skupić się na zintegrowaniu różnych technologii, w celu stworzenia systemu najbardziej wydajnego, rzetelnego, bezpiecznego i możliwie mało kosztownego.

LITERATURA:

- [1] L. Wenghong, X.Fanghua, L. Fasheng, "Design of Inner Intelligent Car Parking System", International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering 2008.
- [2] C.C. Li, S.Y. Chou, S.W. Lin, "An agent-based platform for drivers and car parks negotiation", 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, pp. 1038- 1043, 2004.
- [3] E. Szmidt, „Mechanizmy działania Inteligentnych Systemów Transportowych i ich wpływ na Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego”, Transport Samochodowy 4 (2016) 83-102.
- [4] R.J. Oyentaryo, M. Pasquier, "Self-trained automated parking system", Control, Automation, Robotics and Vision Conference, 8th ICARCV, pp. 1005- 1010, 6-9 Dec. 2004.
- [5] S.Y. Chou, S.W. Lin, C.C. Li, "Dynamic Parking Negotiation And Guidance Using An Agent-Based Platform", Expert Systems With Applications, vol. 35, no. 3, pp. 805-817, 2008.
- [6] W. Longfei, C. Hong, L. Yang, "Integrating Mobile Agent with Multi-Agent System for Intelligent Parking Negotiation and Guidance", 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp.1704-1707, 25-27 May 2009.
- [7] R.J.F. Rossetti, R.H. Bordinia, A.L.C Bazanna, S. Bampi, R. Liu, D.V. Vliet, "Using DBI Agents To Improve Modeling In A Computer Scenario", Transportation Research Part C, 10C(5, 6), pp 373–398, 2002 .
- [8] B. Chen, H.C. Harry, J. Palen, "Integrating Mobile Agent Technology With Multi-Agent Systems For Distributed Traffic Detection And management Systems", Transportation Research Part C.
- [9] Faheem, S.A. Mahmud, G.M. Khan, M. Rahman, H. Zafar, „A Survey of Intelligent Car Parking System”, J. of Applied Research and Technology, vol. 11, pp.714-726, October 2013.

-
- [10] J.L. Addler, G. Sathapathy, V. Manikonda, B. Bowles, V.J. Blue, "A Multi-Agent Approach To Cooperative Traffic Management And Route Guidance", *Transportation Research Part B* 39 (4), pp 297–318, 2005.
- [11] F. Balboa, S. Pinsona, "Dynamic Modeling Of A Disturbance In A Multi-Agent System For Traffic Regulation" *Decision Support Systems*, vol.41, no.1, pp 131 – 146, 2005.
- [12] Y. Li, R. Ma, L. Wang, "Intelligent Parking Negotiation Based On Agent Technology", *WASE International Conference on Information Engineering*, pp.265-268, 10-11 July 2009.
- [13] <http://www.fipa.org/>
- [14] A. Khoukhi, "An Intelligent Multi-Agent System For Mobile Robots Navigation And Parking", *IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments (ROSE)*, pp.1-6, 15-16 Oct. 2010.
- [15] H. Zhang, M. Zhou, "Self-Organized Architecture For Outdoor Mobile Robot Navigation", *Journal Of Zhejiang University Science A*. Springer, vol. 6, no.6, pp. 583-590, June 2005.
- [16] R. Abielmona, E.M. Petriu, T.E. Whalen, "Distributed Intelligent Sensor Agent System For Environment Mapping", *Journal Of Ambient Intelligence And Humanized Computing*. Springer, vol.1, no.2, pp.95-110, 2010.
- [17] J. Takahashi, K. Sekiyama, T. Fukuda, "Cooperative Object Tracking With Mobile Robotic Sensor Network." *Distributed Autonomous Robotic Systems*. Springer, Berlin, pp 51–62, 2009.
- [18] K. Kinoshita, S. Yasunobu, "Intelligent Parking Support System For Four-Wheeled Vehicles In Consideration Of Human's Operation Error", *2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 3938- 3943, 10-13 Oct. 2004.
- [19] R.J. Oentaryo, M. Pasquier, C. Quek, "GenSoFNN-Yager: A novel brain-inspired generic self-organizing neuro-fuzzy system realizing Yager inference", *Expert Systems with Applications*, Vol. 35, Issue 4, pp 1825-1840, 2008.
- [20] S. Insop, K. Gowan, J. Nery, H. Han, T. Sheng, H. Li, F. Karray, "Intelligent Parking System Design Using FPGA", *International Conference on Field Programmable Logic and Applications*, pp.1-6, 28-30 Aug. 2006.
- [21] M. Sharafi, A. Zare, S. Nikpoor, "Intelligent Parking Method For Truck In Presence Of Fixed And Moving Obstacles And Trailer In Presence Of Fixed Obstacles: Advanced Fuzzy Logic Technologies In Industrial Applications", *2010 International Conference On Electronics And Information Engineering (ICEIE)*, pp.268-272, 1-3 Aug. 2010.
- [22] Moog Crossbow, <http://www.xbow.com/>.
- [23] Corporative Traffic Logistics, <http://www.corporatetraffic.com/>.
- [24] MIT, <http://web.mit.edu/newsoffice/topic/microsystems-technology-laboratories.html>.
- [25] MIT Media Lab: <http://www.media.mit.edu/>.
- [26] S. Lee, D. Yoon, A. Ghosh, "Intelligent Parking Lot Application Using Wireless Sensor Networks", *2008. CTS 2008. International Symposium on Collaborative Technologies and Systems*, pp.48-57, 19-23 May 2008.
- [27] S.Y. Cheung, S.C. Ergen, P. Varaiya, "Traffic Surveillance With Wireless Magnetic Sensors", *Proceedings of the 12th World Congress On Intelligent Transport Systems*, San Francisco, CA, Nov 2005.
- [28] V.K. Boda, A. Nasipuri, I. Howitt, "Design Considerations for a Wireless Sensor Network for Locating Parking Spaces", *IEEE SoutheastCon*, pp.698- 703, 22-25 March 2007
- [29] B. O'Flynn, S. Bellis, K. Mahmood, M. Morris, G. Duffy, K. Delaney, C. O'Mathuna, "A 3-D Miniaturised Programmable Transceiver", *Microelectronics International*, Emerald Group, vol. 22, no2, pp 8–12, 2005.
- [30] J.P. Benson, T. O'Donovan, P. O'Sullivan, U. Roedig, C. Sreenan, J. Barton, A. Murphy, B. O'Flynn, "Car-Park Management Using wireless Sensor Networks", *Proceedings Of The 31st IEEE Conference On Local Computer Networks*, Tampa, FL, pp 588–595, Nov 2006.
- [31] J. Barton, J. Buckley, B. O'Flynn, S.C. O'Mathuna, J.P. Benson, T. O'Donovan, U. Roedig, C. Sreenan, "The D-Systems Project - Wireless Sensor Networks For Car- Park

-
- Management”, Proceedings Of The 65th IEEE Vehicular Technology Conference, Dublin, Ireland, pp170-173, Apr 2007.
- [32] Siemens, <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/en/urban-mobility/road-solutions/Pages/road-solutions.aspx>
- [33] S. Pullola, P.K. Atrey, A. El Saddik, “Towards An Intelligent GPS-Based Vehicle Navigation System For Finding Street Parking Lots”, IEEE International Conference on Signal Processing And Communications, pp1251-1254, 24-27 Nov, 2007.
- [34] A. L. C. De Cerreo, "The Dynamics Of On-Street Parking In Large Central Cities", Transportation Research Record, New York University Robert F. Wagner Graduate School of Public Service, 2002.
- [35] H. D. Chon, D. Agrawal, And A. E. Abbadi, "NAPA: Nearest Available Parking Lot Application”, 18th International Conference on Data Engineering, pp.496- 497, 2002.
- [36] L. Rongxing, L. Xiaodong, Z. Haojin, S. Xuemin, "An Intelligent Secure And Privacy-Preserving Parking Scheme Through Vehicular Communications”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.59, no.6, pp 2772-2785, July 2010.
- [37] C. C. Min, D. Srinivasan, R.L. Cheu”, Cooperative, Hybrid Agent Architecture For Real-Time Traffic Signal Control”, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, , vol.33, no.5, pp. 597- 607, Sept. 2003.
- [38] G.J. Ho, S.K Dong, J.Y. Pal, K Jaihie, "Light Stripe Projection Based Parking Space Detection For Intelligent Parking Assist System”, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp.962-968, 13-15 June 2007.
- [39] H. G. Jung, C. G. Choi, D. S. Kim, And P. J. Yoon, “System Configuration Of Intelligent Parking Assistant System”, In Proc. 13th World Congr. Intell. Transp. Syst. Services, London, U.K., Oct. 8–12, pp 1–8, 2006.
- [40] T. Tellem, Top Ten High Tech Car Technologies, July, 23 2007. [Online]. Available: <http://www.edmunds.com/car-reviews/top-10/top-10-high-tech-car-safetytechnologies.html>
- [41] M. Furutani, “Obstacle Detection Systems For Vehicle Safety”, Presented at the society of automotive engineering world congr., Detroit, MI, Mar. 8–11, 2004, SAE Paper 2004-21-0057.
- [42] M. Furutani, “Obstacle Detection Systems For Vehicle Safety”, Presented at the society of automotive engineering world congr., Detroit, MI, Mar. 8–11, 2004, SAE Paper 2004-21-0057.
- [43] Y. Tanaka, M. Saiki, M. Katoh, And T. Endo, “Development of Image Recognition for a Parking Assist System”, In Proc. 13th World Congr. Intell. Transp. Syst. Services, pp. 1–7, Oct. 8–12, 2006
- [44] H. G. Jung, D. S. Kim, P. J. Yoon, And J. Kim, “Parking Slot Markings Recognition for Automatic Parking Assist System”, In Proc. IEEE Intell. Veh. Symp., pp. 106–113, Jun. 13–15, 2006.
- [45] H. G. Jung, D. S. Kim, P. J. Yoon, And J. Kim, “Structure Analysis Based Parking Slot Marking Recognition for Semi-Automatic Parking System”, In Structural, Syntactic, And Statistical Pattern Recognition. Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 384–393, Aug. 2006.
- [46] H. G. Jung, D. S. Kim, P. J. Yoon, And J. Kim, “Uniform User Interface for Semi-Automatic Parking Slot Markings Recognition”, IEEE Trans. Veh. Technol., vol.59, no.2, pp 616–626, Feb. 2010.
- [47] T. Moran, J. Meiners, “The Arrival of Problem- Free Parking”, Autom. News Eur., vol.11, no.24, pp. 8, Nov. 2006.
- [48] V. Agarwal, N. V. Murali, And C. Chandramouli, “A Cost-Effective Ultrasonic Sensor-Based Driver- Assistance System for Congested Traffic Conditions”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.10, no.3, pp.486-498, Sept. 2009.
- [49] T. Fabian, "An Algorithm for Parking Lot Occupation Detection”, Computer Information Systems And Industrial Management Applications, pp. 165-170, 26-28 June 2008.

- [50] T.H. Chun, Z. Jie, Y.X. Chen, L.H. Ze, Z. Pei, Z.Q. Hua, "Intelligent Car-Searching System for Large Park", International Conference on Machine Learning And Cybernetics, pp. 3134-3138, 12-15 July 2009.
- [51] S. Banerjee, P. Choudekar, M.K. Muju, "Real Time Car Parking System Using Image Processing", 2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology (ICECT), pp.99-103, 8-10 April 2011.
- [52] K. Inaba, M. Shibui, T. Naganawa, M. Ogiwara, N. Yoshikai, "Intelligent Parking Reservation Service on the Internet", Symposium on Applications and the Internet Workshops, pp.159-164, 2001.
- [53] E. Seignez, A. Lambert, T. Maurin, "Autonomous Parking Carrier for Intelligent Vehicle", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 411- 416, 6-8 June 2005.
- [54] T.H.S Li, Y.Y. Chieh, W.J. Da, H.M. Ying, C.C. Yang, "Multifunctional Intelligent Autonomous Parking Controllers for Carlike Mobile Robots", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.57, no.5, pp. 1687-1700, May 2010.