

**PIOTR RENKIEL**

mgr inż. – doktorant Politechniki Gdańskiej, Afiliacja: Transprojekt Gdański Sp. z o.o.  
80-227 Gdańsk, ul. Do Studzienki 9/4, tel. +48 507 444 114,  
e-mail: piotrenk@o2.pl

# Przegląd możliwości zastosowania systemu wieloagentowego w transporcie<sup>1</sup>

**Streszczenie.** Inteligentne systemy rozproszone są coraz szerzej stosowane w różnorodnych dziedzinach nauki. Przykładem najprostszego systemu rozproszonego jest organizacja ludzka, która poprzez szereg cech takich jak kooperacja, negocjacja oraz koordynacja jest w stanie wspólnie rozwiązywać rozmaite problemy. System złożony z komunikujących się oraz współpracujących ze sobą agentów jest w stanie osiągnąć zadany im wcześniej cel. Sytuacje, które wymagają rozwiązania problemów o charakterze rozproszonym lub złożonym obliczeniowo, takie jak wyszukiwanie informacji w sieci, zarządzanie sieciami, symulacje rynku, wspomaganie zarządzania w przedsiębiorstwie czy kontrola ruchu lotniczego, ukazują szerokie pasmo możliwości stosowania systemów wieloagentowych. Systemy oparte na agentach mogą znaleźć swoje zastosowanie również w transporcie. Projektowanie systemów sterowania i zarządzania ruchem, modelowanie ruchu oraz planowanie systemów transportowych z użyciem systemów multiagentowych pokazuje możliwości dalszego rozwoju transportu jako inteligentnej dziedziny. W artykule przedstawiono sposób działania systemu wieloagentowego oraz możliwości jego wdrożenia w dziedzinę transportu. Opisano rodzaje agentów, które można zastosować w systemach wieloagentowych oraz przykłady symulacji z ich użyciem. Przedstawiono następujące przykłady: model symulacji ruchu we francuskim mieście La Rochelle; budowa modelu sieci aglomeracji poznańskiej z wykorzystaniem go do symulacji wieloagentowej w środowisku MATSim oraz symulacja systemu zarządzania ruchem na skrzyżowaniach w symulatorze opracowanym przez naukowców z Melbourne. Artykuł kończy krótkie podsumowanie opisujące korzyści płynące z zastosowania systemów multiagentowych i ich przyszłości w dziedzinie ITS.

**Słowa kluczowe:** system wieloagentowy, inteligentne systemy transportu, agent socjalny, MATSim

## Wprowadzenie

Organizacje ludzkie są bardzo dobrym przykładem inteligentnych systemów rozproszonych. Z najprostszych organizacji ludzkich można w łatwy sposób przejść wiele sposobów rozwiązań różnorodnych problemów, jak na przykład problem rozproszonego decydowania, hierarchicznej kontroli. Kooperacja, negocjacja, koordynacja za pomocą komunikatów to podstawowe ludzkie cechy, które muszą posiadać grupy i organizacje agentów, aby efektywnie funkcjonować. Systemy wieloagentowe poprzez złożoną budowę oraz różnorodność architektury agentów wymagają zastosowania określonych metodyk projektowych. Pomimo rozwoju koncepcji systemów wieloagentowych wciąż nie zdefiniowano głównego standardu projektowania. Zastosowanie systemów opartych na agentach znalazło uzasadnienie w wielu dziedzinach naukowych, w których trzeba rozwiązywać problemy o charakterze rozproszonym lub złożonym obliczeniowo. Systemy wieloagentowe wykorzystuje się w sektorze informatycznym – wyszukiwanie

informacji w sieci, zarządzanie sieciami; w sektorze ekonomicznym – symulacje rynku, wspomaganie zarządzania w przedsiębiorstwie; w transporcie – kontrola ruchu lotniczego. Kolejnym obszarem badań z dziedziny transportu, który rozwija się poprzez systemy multiagentowe, są inteligentne systemy transportu związane z inżynierią ruchu drogowego [1][2][3].

Obserwowany rozwój motoryzacji w Polsce powoduje zwiększanie podróży odbywanych samochodami przy jednoczesnym spadku udziału transportu zbiorowego. Zjawisko to jest zauważalne w szczególności w dużych aglomeracjach miejskich, gdzie transport zbiorowy jest dobrze rozwinięty. Rosnąca tendencja posiadania wielu samochodów w jednym gospodarstwie domowym nie została pohamowana znacznymi wzrostami cen paliw. Wynikiem pojawiania się coraz większej liczby pojazdów osobowych na drogach jest przeciążanie układu drogowego. Zwiększona liczba podróży, opóźnienia, zwiększona liczba kolejek na skrzyżowaniach, zatłoczenia, zużycie paliwa to tylko niektóre nieudogodnienia jakie odczuwają kierowcy. Większość użytkowników dróg nie zwraca uwagi na aspekty związane z ekologią, takie jak zwiększona emisja hałasu oraz emisja spalin.

W miastach, zwłaszcza dużych, nie ma możliwości stworzenia układu drogowego umożliwiającego swobodny ruch na całej sieci drogowej (popyt przewyższa podaż). Wobec braku praktycznych możliwości nadążania z rozbudową sieci ulicznej w miastach za rozwojem motoryzacji należy szukać innych rozwiązań w celu zredukowania tworzących się zatłoczeń i przeciążeń sieci. W wyniku połączenia sektora technologii informacyjnych oraz dziedziny inżynierii ruchu powstały Inteligentne Systemy Transportowe (ITS). Ogromny postęp technologiczny pozwolił na implementację technologii informacyjnych w dziedzinę inżynierii drogowej. Zaprojektowano systemy sterowania i zarządzania ruchem w miastach, które mają na celu odciążenie przesyconych sieci drogowych oraz poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego. Na większości skrzyżowań w sieciach miejskich zainstalowane są sygnalizacje świetlne. Optymalizacja cyklu sygnalizacji świetlnej, która ma istotny wpływ na poziom zagęszczenia ruchu nie tylko na badanym skrzyżowaniu, ale również na sąsiednich (koordynacja cykli sygnalizacji), jest jednym z rozwiązań prowadzących do wyeliminowania przeciążeń sieci oraz redukcji zatłoczeń. Sytuacje, które wymagają rozwiązania problemów o charakterze rozproszonym lub złożonym obliczeniowo, takie jak sterowanie i zarządzanie siecią lub kontrola ruchu, ukazują szerokie pasmo możliwości stosowania systemów

<sup>1</sup> © Transport Miejski i Regionalny, 2014.

agentowych. Architektura systemów agentowych jest różnorodna i dostosowana do środowiska (sieci), w którym ma działać. System agentowy może być zbudowany z jednego lub wielu agentów.

## Agent

Podstawową jednostką systemów agentowych jest agent. Z braku standardów nie sformułowano jego jednolitej definicji. Agent jest jednostką działającą w pewnym środowisku, zdolną do komunikacji, monitorowania swojego otoczenia oraz podejmowania autonomicznych decyzji w celu określenia zamierzonych wyników, określonych na etapie projektowania lub działania. W systemie można rozróżnić dwa rodzaje agentów:

- sztucznych agentów (*artificial agents*),
- użytkowników agentów (*human agents*).

Agent powinien charakteryzować się następującymi cechami:

- autonomicznością, czyli podejmowaniem samodzielnych decyzji;
- komunikatywnością, czyli umiejętnością komunikacji z innymi agentami oraz użytkownikiem;
- percepcją, czyli zdolnością do postrzegania i reagowania na zmiany środowiska.

Dodatkową cechą, którą również powinien charakteryzować się agent, jest mobilność. Moulin i Chaib Draa wyszczególnili trzy klasy programów agentowych [3]:

- agenci reakcyjni (*reactive agents*),
- agenci intencjonalni (*intentional agents*),
- agenci socjalni (*social agents*).

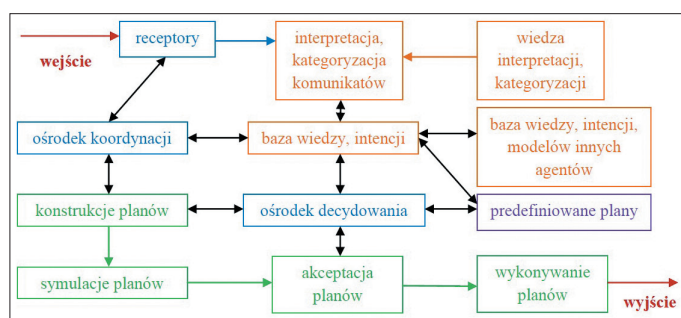
*Agenci reakcyjni* należą do grupy prostszych agentów reagujących na zmiany w otaczającym ich środowisku oraz na komunikaty nadsyłane przez innych agentów. Programy tego rodzaju nie potrafią przewidywać przyszłości, raczej stosują się ściśle do swoich reguł i na ich podstawie generują swoje stereotypowe plany, rozszerzają bazę wiedzy i wysyłają komunikaty do otoczenia.

*Agenci intencjonalni* należą do grupy inteligentnych programów zdolnych do wytwarzania nowych planów i ich wykonywania, jak również mogą sami być uważani za systemy planowania. Takie programy są zdolne do stawiania sobie własnych celów, tworzenia nowych planów, dostrzegania konfliktów pomiędzy nimi, wykonywania bądź wstrzymywania ich w razie potrzeby. W systemach wieloagentowych *agenci intencjonalni* współdziałają między sobą drodze wymiany komunikatów, celów, nabytej wiedzy i akcji.

*Agenci socjalni* stoją na najwyższym poziomie inteligencji wśród wszystkich typów programów. Ich sposób rozumowania jest najbardziej zbliżony do sposobu rozumowania owieka. *Agenci socjalni* posiadają oprócz zdolności tworzenia nowych planów także umiejętność brania pod uwagę zachowań innych agentów. Mają zatem zdolność do otrzymywania danych od sąsiednich agentów na temat ich pla-

nów, celów, intencji itd. To wszystko daje im możliwość respektowania otoczenia i generowania mniejszej liczby konfliktów.

Każdy program agentowy składa się z poszczególnych modułów przetwarzających sukcesywnie informacje z wejścia, kierując je do innych modułów, w których dochodzi do analizy możliwych planów, a następnie wykonywania ich. Do bardziej skomplikowanych rodzajów agentów zalicza się *agenta socjalnego*, który różni się od innych agentów przede wszystkim większą złożonością wynikającą ze zdolności do liczenia się z intencjami innych programów. Schemat działania agenta socjalnego przedstawiono na rysunku nr 1.



Rys. 1. Schemat działania agenta socjalnego  
Źródło: [3]

Filozofia systemów wieloagentowych opiera się na organizacjach lub grupach inteligentnych programów (agentów), które mają za zadanie wspólnie rozwiązywać problemy. Programy (agenci) tworzące grupę mają możliwość kooperacji, negocjacji oraz koordynacji za pomocą wymiany komunikatów między sobą. Zaproponowano trzy warunki będące podstawą owocnej współpracy między programami:

- pokrycie – każda część problemu musi być przydzielona chociaż jednemu agentowi,
- współpraca – programy (agenci) powinni ze sobą współpracować,
- zdolność do racjonalizmu – agent powinien racjonalnie wykorzystywać dojścia do zasobów oraz współpracę z innymi agentami.

Kooperacja, negocjacja, koordynacja za pomocą komunikatów pomiędzy sobą to podstawowe ludzkie cechy, które muszą posiadać grupy i organizacje agentów. Koordynacja polega na wspólnej alokacji zasobów oraz na wymianie wspólnych wyników. Rozważono trzy fundamentalne procesy koordynacji:

- wzajemne przystosowanie,
- bezpośrednia kontrola,
- standaryzacja.

Kooperacja polega na pełnej współpracy. Każdy agent jest zdolny do całkowitego rozwiązania lokalnego problemu. Pomimo to, że działa samodzielnie, jednoczesne rozwiązanie globalnego problemu odbywa się dzięki współpracy wszystkich programów. Nie każdy agent posiada

specyficzną wiedzę do rozwiązywania problemu z każdej dziedziny. Istotną cechą agentów są negocjacje będące fundamentem stosunków międzyludzkich. Służą do poprawy współpracy i efektywnego rozwiązywania problemów. Negocjacja jest to proces poprawy porozumienia się polegający na zredukowaniu wszelkich nieporozumień oraz niepewności. W systemach rozproszonej sztucznej inteligencji negocjacja służy do koordynacji grup agentów. Wyszczególnia się kilka protokołów negocjacji:

- protokół kontraktu (*contract-net protocol*),
- protokół centralnego zadania (*task centralization*),
- model rekursywnych negocjacji (*recursive negotiation model*).

Zauważono, że pewien rodzaj informacji rozchodzącej się w środowisku agentów może doprowadzać do spójności. Informacja posiadająca pewną wagę może być zgodna z rozwiązaniami pewnych grup agentów. Informacja, która jest mniej istotna, może doprowadzić agenta do skupienia się na mniej istotnych sprawach z globalnego punktu widzenia. Gdy dana informacja jest kompletna, liczba przychodzących częściowych komunikatów zostaje poddana redukcji, dzięki czemu agent jest lepiej zorientowany w danej sprawie. Poprzez narzucenie określonych rozumowań pewnej grupie programów agentowych interesujących się konkretnym celem można osiągnąć większą koordynację. Wynikiem tego są możliwości planowania zadań dla poszczególnych grup lub pojedynczych agentów. Wyróżnia się dwa sposoby planowania:

- scentralizowane planowanie wieloagentowe (*centralized multiagent planning*),
- rozproszone planowanie wieloagentowe (*distributed multiagent planning*).

Aby być zdolnym do wzajemnej koordynacji, negocjacji oraz innych rodzajów współpracy programy – agenci muszą komunikować się między sobą. Wymiana informacji może odbywać się bezpośrednio za pomocą wymiany komunikatów lub pośrednio przez modyfikację środowiska, w którym dane programy agentowe działają. W systemach wieloagentowych rozróżnia się dwa rodzaje komunikacji:

- wymiana bezpośrednia,
- wymiana za pomocą tablicy (*blackboard*).

Komunikacja zarówno w stosunkach międzyludzkich, jak i w grupach agentowych nie będzie jasna i zrozumiała jeżeli osoby bądź jednostki uczestniczące w wymianie informacji nie będą posługiwały się wspólnym językiem. Język naturalny jest doskonałym przykładem protokołu komunikacyjnego wysokiego poziomu dla środowiska wieloagentowego. Proste dialogi są w stanie doskonale opisać wewnętrzne stany takie jak intencje, przypuszczenia bądź wiedzę. Najbardziej przybliżonymi programami sztucznej inteligencji do posługiwania się językiem ludzkim są agenci społeczni (*social agents*). Tego typu agenci są zdolni do przekazywania swoich zamiarów, intencji oraz innych stanów wewnętrznych.

Rozproszony system wieloagentowy składa się nie tylko ze sztucznych agentów, ale także z agentów – użytkowników. Istnieje problem dostosowania interakcji pomiędzy użytkownikiem i maszyną w taki sposób, aby system został efektywnie wykorzystany przez jego użytkowników [3].

### System wieloagentowy

System wieloagentowy (*multi-agent system*) jest to system złożony z komunikujących się i współpracujących ze sobą agentów, realizujących wspólne cele. Systemy Multi-Agent są jednym z obszarów badania rozproszonej sztucznej inteligencji (*distributed artificial intelligence – DAI*) [3].

System koncentruje się przede wszystkim na poszczególnych modułach wykonujących powierzone im podzadania. Każde z nich przydzielone jest suwerennemu, autonomicznemu programowi – agentowi. Programy tego typu często bywają heterogeniczne, ponieważ różnorodność zadań zmusza do tego, aby każdy agent posiadał specyficzne zdolności. Cechą naturalną takich systemów jest rozproszenie. Rozproszenie może być przestrzenne, jak w przypadku specjalnych grup robotów, które mają za zadanie wychwycenie informacji wysyłanych przez czujniki umiejscowione w określonych miejscach. Rozproszenia mogą być funkcjonalnie, wtedy programy – eksperci mają za zadanie rozwiązać określone problemy w różnych środowiskach programowych.

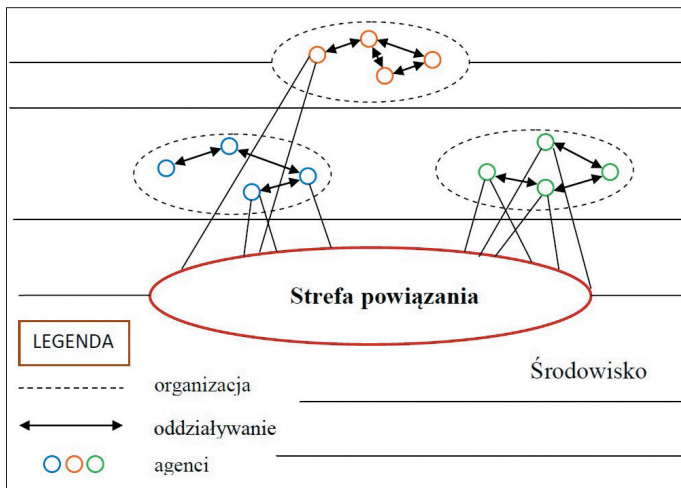
System wieloagentowy charakteryzuje się szybszym rozwiązywaniem problemów osiąganym przez ich rozproszenie oraz poprzez wymianę mniejszej liczby informacji ze względu na transmisję wyłącznie istotnych komunikatów pomiędzy poszczególnymi agentami. W systemach centralistycznych dane dostarczane są masowo do specjalnego programu dokonującego obliczeń, co stanowi znaczne obciążenie obliczeniowe. Kolejną charakterystyczną cechą systemu jest umiejętność dynamicznego dostosowywania się agentów z różnymi zdolnościami do poszczególnych typów problemów oraz większa niezawodność. Jest ona wynikiem ich rozproszenia oraz możliwości uczenia się jednych agentów na błędach popełnionych przez pozostałych.

Rozproszona sztuczna inteligencja stanowi szerokie pole do badań. Istnieją dwie główne perspektywy spojrzenia na DAI:

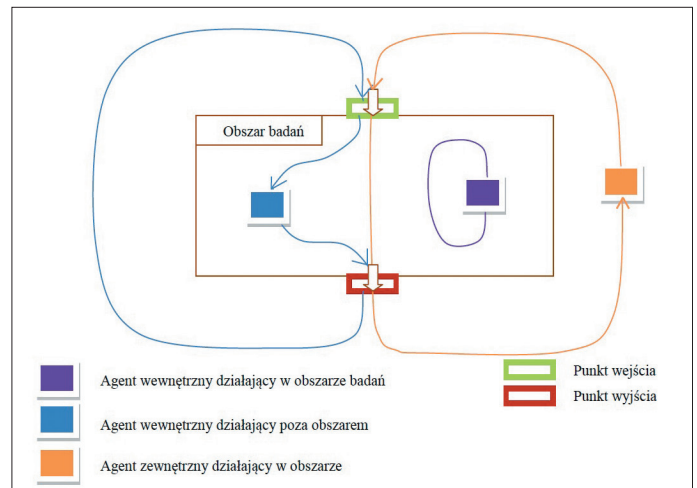
- agent – jednostka w multi-agent system (rodzaje agentów, struktura wiedzy, zdolności rozumowania, zdolności przystosowania i uczenia się, architektura),
- grupa – organizacja zrzeszająca pewną liczbę agentów (koordynacja, kooperacja, negocjacje, planowanie, komunikacja, organizacja i struktura, grupy).

Czasami wyszczególnia się tzw. superagenta, składającego się nawet z kilku sztucznych agentów, który staje się reprezentantem całej grupy.

Praktycznym przykładem systemu obliczeniowego jest rozproszony system wieloagentowy JaMAS (Java Multiagent System). System ten jest próbą użycia systemu wieloagentowego w języku programowania Java. Został on specjalnie zaimplementowany dla sieci z protokołem TCP/IP. System



Rys. 2. Struktura systemu wieloagentowego i strefy powiązań między organizacjami agentów



Rys. 3. Schemat poruszania się 3 rodzajów agentów  
Źródło:[4]

odzwierciedla tylko najważniejsze właściwości bardzo skomplikowanego teoretycznego modelu rozproszonego systemu wieloagentowego. System JaMAS został zaprojektowany oraz uproszczony do najważniejszych cech systemu wieloagentowego. System posiada przede wszystkim [3]:

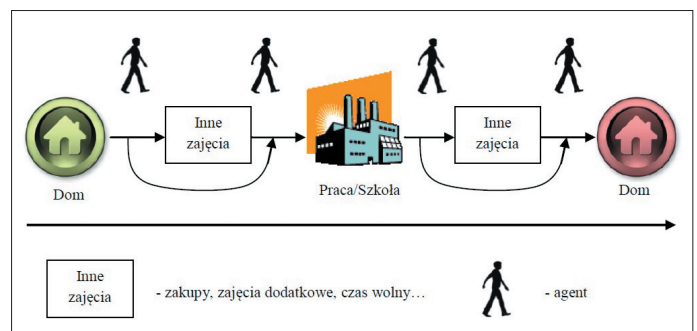
- wieloplatformowość,
- migrację kodu,
- wymianę informacji pomiędzy agentami,
- koordynację systemu.

### Przykłady zastosowania systemów wieloagentowych w transporcie

#### Modelowanie i symulacja ruchu

Zastosowanie systemów wieloagentowych w inżynierii drogowej to kolejny etap rozwoju Inteligentnych Systemów Transportowych. Systemy Multi-Agent znajdują zastosowanie przy modelowaniu i symulacjach ruchu. Systemy symulacyjne służą do wykonywania analiz oraz przewidywania potencjalnych konsekwencji zaplanowanej polityki transportowej na dowolnym obszarze (mikrosymulacja – sieć skrzyżowań, dzielnica miasta, miasto; makrosymulacja – województwo, kraj). Dzięki odpowiednim informacjom gromadzonych na bieżąco ze środowiska przez agentów symulacja staje się dokładniejsza, a jej wyniki bardziej efektywne i wiarygodne. Odpowiednio zaprojektowana architektura systemu i przydzielenie zadań agentom daje możliwość przeprowadzenia symulacji i analiz opartych o różne scenariusze. Agentami mogą być zarówno pojedyncze jednostki, jak i grupy pieszych, kierowców, pojazdów. Agent dąży do osiągnięcia ustalonego celu, zbierając informacje ze środowiska, w którym się porusza. Na podstawie odpowiednio zaimplementowanych algorytmów, wiedzy oraz zbieranych na bieżąco danych ze środowiska agenci są w stanie podejmować autonomiczne decyzje prowadzące do osiągnięcia ustalonego celu [2].

We francuskiej miejscowości La Rochelle zaprojektowano wieloagentowy system w oparciu o cztery aplikacje: UCHISIM, TRANSIMS, MobiSim oraz MIRO. Każda aplikacja gromadziła określone dane potrzebne do stworzenia późniejszego systemu Multi-Agent, który miałby testo-



Rys. 4. Dzienna trasa agenta (dom-praca/szkoła-dom)  
Źródło:[4]

wać różne rozwiązania (scenariusze) projektowe w mieście. Agentą zdefiniowano jako indywidualną osobę, która przemieszcza się z domu do pracy bądź szkoły oraz jego drogę powrotną. Nie brano pod uwagę, jakim rodzajem transportu się poruszali agenci, ważne było jedynie – z jaką średnią prędkością. Rozróżniono trzy rodzaje agentów:

- agent wewnętrzny, który mieszka i pracuje w tym samym obszarze badań;
- agent wewnętrzny, która mieszka w obszarze badań, ale działa poza obszarem;
- agent zewnętrzny, który mieszka poza obszarem badań, ale działa w obszarze.

Na podstawie danych gromadzonych przez agentów i naturę zachowań jednostek można zaprojektować symulację, wdrażając różne scenariusze. System z La Rochelle nie ukazuje efektów swojego działania, ale definiuje pierwszy krok obrazujący założenia do zaprojektowania systemu pomocnego przy symulacjach do modelowania ruchu i planowania systemów transportowych [4].

W Poznaniu w 2012 r. [5] przedstawiono zastosowanie map OpenStreetMap (OSM) w budowie sieci aglomeracji poznańskiej dla symulacji MATSim. Naukowcy z Politechniki Poznańskiej przedstawili procedurę tworzenia modelu sieci drogowej z wykorzystaniem danych GIS OpenStreetMap oraz wstępne wyniki symulacji ruchu dla aglomeracji poznańskiej w systemie MATSim. Stworzyli



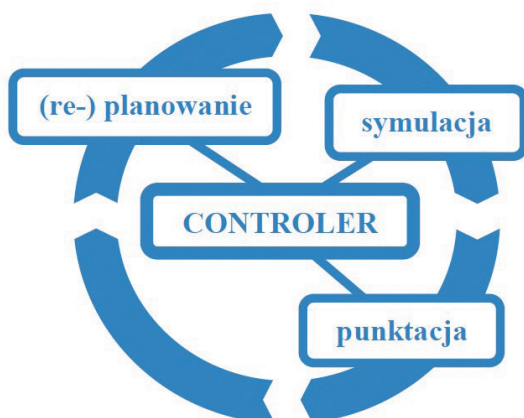
model aglomeracji poznańskiej, przedstawili proces jego tworzenia oraz wykorzystanie do symulacji wieloagentowej w środowisku MATSim. Za pomocą kilku aplikacji wprowadzono dane z OSM do systemu MATSim i zasympulowano 4 modele sieci. Do odwzorowania popytu na transport wykorzystano dane na temat podróży w modelu aglomeracji poznańskiej otrzymanym z Urzędu Miasta Poznania. Symulacja przepływu ruchu drogowego została oparta na teorii kolejek. Kolejki zamodelowane są jako FIFO (First In, First Out), opisane parametrami: długość i liczba pasów, prędkość w ruchu swobodnym oraz przepustowość. Podczas symulacji agenci poruszali się po sieci, respektując jej ograniczenia, wykonując jednocześnie zaplanowane aktywności. Badacze udowodnili, że zbyt ogólna i mało szczegółowa sieć może być niewystarczająca do przeprowadzenia wiarygodnych badań symulacyjnych.

System MATSim został opracowany przez grupę naukowców z Politechniki Berlińskiej prowadzoną przez profesora dra Kai Nagel, grupę z Szwajcarskiego Federalnego Instytutu Technologii w Zurychu kierowaną przez profesora dra Kay W. Axhausen oraz szwajcarską firmę Senozon założoną przez byłych doktorów i badaczy. Dodatkowo współpracują z nimi badacze z innych grup, między innymi z Toronto, Pretorii, Karlsruhe, Julich oraz Singapuru. MATSim jest projektem typu *open source*, czyli każdy zainteresowany może dołączyć do badań i przedstawić swoje propozycje ulepszenia systemu [5][6][7][8].

MATSim jest to system wieloagentowej mikrostymulacji transportu, w tym przepływu ruchu drogowego, oparty na modelach aktywności syntetycznych mieszkańców zwanych agentami. MATSim polega na iteracyjnym wykonywaniu trzech podstawowych kroków:

- planowanie (tworzenie nowych bądź modyfikacja istniejących planów),
- symulacja (wykonanie planów),
- ocena (ewaluacja planów).

Dzięki iteracyjnemu powtarzaniu symulacji agenci uczą się i na podstawie zdobytych doświadczeń próbują poprawić swoje plany [5].



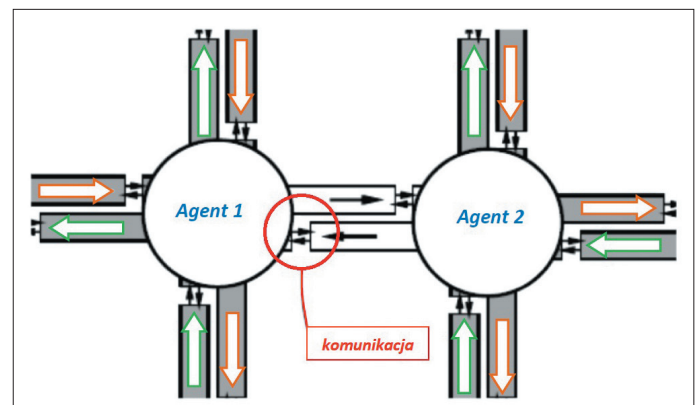
Rys. 5. Fazy działania systemu MATSim  
Źródło:[5]

### Zarządzanie i sterowanie ruchem

Systemy Multi-Agent można również zaimplementować do stworzenia systemu zarządzania i sterowania ruchem. Jedną z pierwszych prób zastosowania systemów międzyagentowych do stworzenia systemu zarządzania ruchem podjęli naukowcy z Wydziału Nauk Informatycznych Uniwersytetu w Melbourne. Posłużyli się systemem dMARS (Distributed Multiagent Reasoning System) opracowanym przez naukowców z australijskiego Instytutu Sztucznej Inteligencji (Australian Artificial Intelligence Institute). System miał na celu usprawnienie płynności ruchu w sieci drogowej [9].

System składał się z dwóch podsystemów: symulatora, który miał za zadanie symulowanie ruchu na sieci ulic i skrzyżowań, oraz z kontrolera, którego zadaniem było obserwowanie ruchu i podejmowanie decyzji o wyświetlanych programach sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniach. Stworzono symulację modelu ruchu na badanym obszarze, biorąc pod uwagę takie czynniki jak: przepustowość, natężenie ruchu ze względu na porę dnia, prędkości pojazdów oraz ich przyspieszenie. Modelowanie skrzyżowań obejmowało następujące cechy: kierunki z pierwszeństwem przejazdu, przepustowość wlotów, prędkość pojazdów ze względu na gęstość ruchu. Symulator uwzględniał również występujące na skrzyżowaniach sygnalizacje świetlne oraz programy sygnalizacji. Do zamodelowania ruchu wykorzystano rzeczywisty obszar sieci drogowej Melbourne oraz dane o ruchu z Victorian Road Traffic Authority (RTA).

System zaprojektowany przez australijskich inżynierów składał się z dwóch grup agentów. Pierwsza grupa miała reprezentować poszczególne odcinki sieci dróg, a druga określone skrzyżowania. Agenci byli odpowiedzialni za otrzymywanie informacji z detektorów, a także za komunikowanie się z agentami będącymi geograficznymi sąsiadami. Wprowadzane dane do systemu (gromadzone z detektorów lub przekazywane z symulatora) to liczba pojazdów, które znajdowały się w danych punktach systemu. Każdy agent otrzymywał zestaw informacji, na podstawie których był zdolny do podjęcia samodzielnych decyzji dotyczących sterowania ruchem drogowym w obrębie swojego odcinka.



Rys. 6. Komunikacja agentów między sąsiednimi skrzyżowaniami  
Źródło:[9]

Główną ideą systemu było określenie i rozwinięcie zestawu reguł dla każdego rodzaju agenta poprzez różnorodne eksperymentowanie systemu, co prowadziło do wcześniej ustalonego, pożądanego efektu globalnego. Za efekt globalny można uznać zmniejszenie kolejek na skrzyżowaniach, czasów opóźnień podróżujących oraz zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza [5].

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono zasady działania agenta jako jednostki systemu wieloagentowego i możliwości zastosowania takiego systemu w transporcie. Opisane przykłady modelowania i symulacji ruchu oraz zarządzania i sterowania ruchem pokazują, w jakim kierunku należy zmierzać w projektowaniu inteligentnych systemów transportowych. Systemy multiagentowe różnią się danymi wejściowymi oraz celami, które mają osiągać swoimi działaniami [1][2].

Zastosowanie systemów multiagentowych do modelowania i symulacji ruchu może mieć ogromny wpływ na przyszłe planowanie polityki transportowej na badanych obszarach. Dokładna symulacja oparta na rzeczywistych danych będzie ułatwiała podejmowanie decyzji odnośnie przyjęcia odpowiednich strategii rozwoju systemu planowania ruchem. Możliwość szybkiego sprawdzania różnych scenariuszy za pomocą systemu złożonego z uczących się i przekazujących między sobą wiedzę agentów znacznie podniesie jakość oraz poprawność przy planowaniu i prognozowaniu ruchu. Przykład symulacji sieci aglomeracji poznańskiej pokazuje, że wyniki są zależne od szczegółowości modelu oraz dokładności charakterystyki sieci. Ponadto przykład pokazuje, że dla każdego systemu należy projektować odrębne algorytmy, ponieważ cele do osiągnięcia na danej sieci mogą być inne [2].

Brak możliwości rozbudowy sieci miejskich przy obserwowanym ogólnoswiatowym problemie zatłoczeń w dużych miastach otwiera możliwości dla projektowania inteligentnych systemów zarządzania i sterowania ruchem. Australijski przykład systemu zarządzania i sterowania ruchem na skrzyżowaniach z sygnalizacją z zastosowaniem systemu wieloagentowego ukazuje jak należy określić zestaw reguł dla każdego agenta, aby system był efektywny. Odpowiedni algorytm z określonymi z góry celami prowadzi do osiągnięcia globalnego, zadanego wcześniej celu. Agenci znajdujący się pomiędzy skrzyżowaniami przekazują informacje o napływającym ruchu do nadrzędnych agentów operujących skrzyżowaniami. Przy ustaleniu odpowiednich zasad i reguł oraz wymiany komunikatów pomiędzy agentami można sprawniej przeprowadzić ruch przed całym obszarem sieci drogowej. Dodatkowo możliwości agentów do uczenia się i przekazywania wiedzy innym powodują szybsze reagowanie na podobne zaistniałe sytuacje w innych obszarach miasta.

Doświadczenia z dotychczas przeprowadzonych prób projektowania oraz symulacji pokazują, że w krótkim okresie czasu w Polsce nie tylko systemy sterowania i zarządzania ruchem, ale również systemy wieloagentowe będą niezbędne do zaimplementowania na sieciach dużych

aglomeracji miejskich. System wieloagentowy charakteryzuje się szybszym rozwiązywaniem problemów osiąganym przez ich rozproszenie oraz poprzez wymianę mniejszej liczby informacji ze względu na transmisję wyłącznie istotnych komunikatów pomiędzy poszczególnymi agentami. W systemach centralistycznych dane dostarczane są masowo do specjalnego programu dokonującego obliczeń, co stanowi znaczne obciążenie obliczeniowe. Kolejną charakterystyczną cechą systemu jest umiejętność dynamicznego dostosowywania się agentów z różnymi zdolnościami do poszczególnych typów problemów oraz większa niezawodność. Jest ona wynikiem ich rozproszenia oraz możliwości uczenia się jednych agentów na błędach popełnionych przez pozostałych. Zautomatyzowanie systemu i pozwolenie na podejmowanie decyzji agentom (komputerom), a nie pozostawianie ich operatorowi (człowiekowi) przy bardzo intensywnie i nagle zmieniających się potokach ruchu w obszarach miejskich może być receptą na zatłoczenie się i zanieczyszczanie miast. Tworzenie modeli sieci transportowych w miastach za pomocą systemu wieloagentowego jest przyszłością inteligentnych systemów transportowych. W Polsce podjęto już pierwszą próbę stworzenia modelu sieci aglomeracji poznańskiej z zastosowaniem systemu wieloagentowego MATSim. Rozwijanie tego rodzaju systemów oraz próby późniejszego wprowadzenia ich do symulowania ruchu w świecie rzeczywistym jest przyszłością inżynierii ruchu drogowego.

## Literatura

1. Wooldridge M., *An introduction to Multiagent Systems*, Department of Computer Science, University of Liverpool, 2002.
2. Bazzan A., Klügl F., *Multi-Agent Systems for Traffic and Transportation Engineering*, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil; Örebro University, Sweden.
3. Jąkała M., Michno M., *Budowa systemów wieloagentowych w: Techniki wnioskowania z użyciem rozproszonej inteligencji*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2004.
4. Nguyen Q.T., Bouju A., Estraillier P., *Multi-agent architecture with space-time components for the simulation of urban transportation systems*, L3I laboratory – University of La Rochelle 2012.
5. Piątkowski B., Maciejewski M., *Zastosowanie map OSM w budowie modelu sieci aglomeracji poznańskiej dla symulacji MATSim*, Politechnika Poznańska, 2012.
6. Gao, W., Balmer M., Miller E.J., *Comparisons between MATSim and EMME/2 on the Greater Toronto and Hamilton Area Network* Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, No. 2197, 2010.
7. Çetin, N., Nagel K., *Parallel queue model approach to traffic micro-simulations* – referat wygłoszony na 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2003.
8. Bekhor S., Dobler C., Axhausen K.W., *Integration of Activity-Based with Agent-Based Models: an Example from the Tel Aviv Model and MATSim*, referat wygłoszony na 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2011.
9. Gabrić T., Howden N., Norling E., Tidhar G., Sonenberg L., *Multi-agent Design of a Traffic-Flow Control System – Technical Report 94/24*, Department of Computer Science, The University of Melbourne, 1994.