

Rozdział 1

Wstęp

Wraz ze wzrostem dostępności samochodów dla dużej ilości ludzi, wzrosło zatłoczenie na drogach. Problem ten dotyka kierowców w wielu miastach na całym świecie, a przez bezpośrednie i pośrednie skutki negatywnie wpływa także całą społeczność zamieszkującą dane miejsce w zakresie jakości życia oraz obniża sprawność transportu niezbędnego m. in. dla rozwoju handlu. Odpowiedni model ruchu drogowego pozwala na analizę zjawisk zachodzących w świecie bez konieczności bezpośredniej ich obserwacji oraz takich, których obserwacja mogłaby narażać na szczególne trudności.

Zagadnienie badania ruchu drogowego było poruszane za pomocą różnorodnych podejść. Przykładem może być zastosowanie automatu komórkowego [6] w celu zbadania przepływu pojazdów na drodze, jako lepszego pod względem obliczeniowym narzędzia niż podejścia wykorzystującego dynamikę płynów [10].

Sytuacja korka jest przykładem systemu złożonego. Modelowanie agentowe (agent-based modelling) i symulacja z wykorzystaniem tego modelu jest dobrze znanym podejściem [6], które opiera się o interakcję wielu autonomicznych w swoich decyzjach agentów między sobą i środowiskiem, w jakim są osadzeni [3]. Interakcje te, pomimo że zachodzą w mikroskali, składają się na efekty obserwowalne w skali makro.

Zjawiska w skali mikro rozpatrywane są w kontekście takich aspektów jak szybkości czasu reakcji kierowców czy odległości samochodów od siebie i odpowiadają za dynamikę pojazdów. Za dynamikę całego ruchu odpowiadają m. in. przyspieszenia poszczególnych pojazdów, szybkość zmiany sygnalizacji świetlnej, natężenie ruchu. Symulacja oparta na tych parametrach może służyć do długofalowego planowania i prognozowania ruchu drogowego [8].

Makroskopowe modele mogą być wykonane z zastosowaniem dynamiki cieczy [8] [10], opisując ruch drogowy poprzez natężenie (gęstość) ruchu, przepływ lub średnią szybkość jako funkcje położenia i czasu opisane odpowiednimi równaniami różniczkowymi.

Mikroskopowe modele opisują ruch pojedynczego pojazdu - jego przyspieszenia i spowolnienia, oraz odpowiedzi i reakcje każdego kierowcy na środowisko w jakim są osadzeni. Są w szczególności przydatne w celu opisanego ruchu drogowego, na który składają się zróżnicowani agenci. Jednak aby dostatecznie dobrze oddać rzeczywisty system, należy odpowiednio wyrazić powiązania między skalą mikro a makro.

Każdy kierowca samochodu jako osobna jednostka może zostać zamodelowany jako inteligentny agent [6]. Zachowanie takiego agenta bazuje na informacjach z otaczającego środowiska jakie otrzymuje i indywidualnej wiedzy oraz kryteriach, które mogą być różne dla różnych agentów. Zachowanie agenta, a konkretyzując – styl jego jazdy, może zostać scharakteryzowane przez szereg parametrów m. in. czas reakcji, optymalną szybkość, optymalny dystans między pojazdami, przewidywanie etc. [8] Agent ma możliwość wpływu na otaczające go środowisko.

Agenci powinni przestrzegać pewnych reguł na podobieństwo kierowców, tj. powinni ze sobą współpracować, aby unikać konfliktów, a także powinni być gotowi do poświęcenia własnych celów, aby unikać wypadków [6]. Współpraca przebiega poprzez interakcję z pobliskimi agentami i jest wymagana głównie przy symulacji zmian pasów ruchu.

Analiza zachowań kierowców na drodze pozwala zdefiniować pewne standardy zachowań, którymi powinni kierować się agenci symulujący jazdę w mieście [5]:

- jazda w pasie ruchu, zwalnianie przed zakrętem, przyspieszanie aż do osiągnięcia preferowanej prędkości określonej przez inne parametry,

- poprawne zachowanie przy skrzyżowaniach/zmianie kierunku ruchów - zmniejszenie prędkości, zastosowanie zasad pierwszeństwa, zakomunikowanie swoich zamiarów innym agentom
- rozpoznawanie sygnalizacji świetlnej - zatrzymanie przed światłem czerwonym, zwalnianie przed żółtym światłem w miarę możliwości i zgodnie z preferowanym tempem hamowania
- ruch za innym pojazdem - zapewnienie bezkolizyjności pojazdów na tym samym pasie w zależności od parametru preferowanego dystansu i chwilowej szybkości
- zmiana pasów i wyprzedzanie - zmiana pasów jezdni na jezdniach dwupasmowych/wielopasmowych/ze zjazdem [7], wyprzedzanie pojazdów poruszających się z mniejszą szybkością w zależności od miejsca na drodze,
- inne zasady - nieprzekraczanie prędkości, trzymanie się prawego pasa jezdni.

Nie tylko agenci symulujący samochody muszą spełniać reguły zachowań. Tak samo nie tylko symulacja zachowań ludzi na drodze może być przedmiotem badań. Sygnalizacja świetlna i jej wpływ na ruch samochodowy, a w szczególności jej optymalizacja jest istotnym czynnikiem ruchu drogowego. Kombinacja długości czasu świecenia się danego sygnału i faz światła koreluje ze średnią pojemnością dróg przy skrzyżowaniu oraz średnią długością czasu oczekiwania na zmianę światła umożliwiającą przejazd, a w konsekwencji na wielkość kolejki aut przy poszczególnych odnogach skrzyżowania.

1.1 Wstęp [1]

Artykuł opisuje symulacje drogi z autami różnych rozmiarów. Droga reprezentowana jako matryca o komórkach rozmiarów 100mm ("cells of convenient size - 100 mm square in this case"). Symulacja zaimplementowana jest w C++. Podejście do tematu czysto indyjskie zważając na brak rozpatrywania jako takich pasów jezdni.

1.2 Algorytm

- Vehicle Generation - pojazdy generowane losowopod względem wartości prędkości, rozmiaru i odległości od poprzedzającego samochodu. Generator liczb losowych ("several random number streams, which are generated by specifying separate seed values").
- Vehicle Placement - auta ustawiane po kolei od początku. jeśli auto zostanie umieszczone w odległości mniejszej od minimalnej bezpiecznej odległości to zostanie mu zmieniona wartość prędkości na wartość auta poprzedzającego i ustawiany jest na nowo, już we właściwej odległości. Jeśli tak się nie stanie to w zostanie zapisany do backloga i umieszczony w następnym interwale poprzedzając nowo wygenerowane pojazdy.
- Vehicle Movement - program generuje odświeżany obraz stale rozszerzanej drogi. Jest też opisane uwzględnienie w modelu możliwości wymijania przy zachowaniu odpowiednich parametrów (safe space, distance, velocity)

1.3 Przykłady implementacji i realizacji

Przykładem zastosowania modelowania agentowego jest TRASS – framework napisany w Javie [9]. Realizuje trzy warstwy symulacji – fizyczną, techniczną i psychiczną. Fizyczna – opisuje relację agenta z otoczeniem, m. in.: kształt, receptory, parametry ruchu. Techniczna – opisuje akcje, które może podjąć agent, aby wpłynąć na otoczenie za pomocą modyfikacji swoich parametrów fizycznych. Psychiczna – opisuje, jak agent ma używać tych akcji, żeby osiągnąć pożądane zachowanie lub predefiniowany cel. TRASS sam w sobie dostarcza implementację jedynie fizycznej warstwy, więc autorzy artykułu musieli sami dobudować dwie pozostałe, które nazwali kolejno: robotyczną i AI, ze względu na zastosowane przez nich technologie.

Warstwa fizyczna musi być zsynchronizowana z otoczeniem, które stanowią inni agenci, bodźce i topologia. Topologia jest zbudowana z prostych kształtów, symbolizujących pojedynczy obiekt (prostokąt z przejściem dla pieszych, koło z drzewem). Warstwa fizyczna modelu składa się z 5 elementów:

1. Kształt agenta – zastąpiony przez zlepek kół o różnych średnicach, reprezentujących razem obrys obiektu. Koła zostały zastosowane w celu usprawnienia obliczeń np. odległości między agentami.
2. Sensory – są zastąpione przez wycinki kół reprezentujące pole widzenia (czy też innego zmysłu).
3. Obszar komunikacji agenta — również przedstawiony jako pole oddziaływania – na przykład dla agenta światła drogowych będzie to bardzo wydłużony wycinek koła, skierowany w stronę, w którą świecą.
4. Punkt odniesienia – do określania położenia.
5. Parametry ruchu – prędkość i kierunek (dla bardziej zaawansowanych symulacji powinno zostać uwzględnione przyspieszenie i inne współczynniki).

Kluczowym elementem warstwy robotycznej jest maszyna stanów. Koncept użytej maszyny stanów jest oparty na trzech trybach ludzkiego działania:

1. czynności automatyczne – na przykład kręcenie kierownicą przy zakręcie,
2. podstawowe czynności – wykonywane intuicyjnie, na przykład trzymanie się środka pasa,
3. złożone czynności – składające się z ciągu prostszych, w pełni świadome akcje, jak zmiana pasa.

Działanie maszyny stanów przedstawia Rysunek 1.1 ([9]). W każdej warstwie określone są funkcje stanu, które przyjmują obecny stan i odczyt sensorów, a następnie przekształcają go na zaktualizowany stan. Funkcji wywoływana jest albo (okresowo) po upływie określonego czasu (dotyczy to funkcji na najniższym – najbliższym warstwie fizycznej poziomie), albo przez wygenerowanie zdarzenia w warstwie, w której określona jest dana funkcja.

Warstwa AI odpowiada za podejmowanie decyzji. Odbyna się to na dwóch poziomach. W skali makro agenty polegają na zmiennej x , przyjmującej wartości $[-1; 1]$, danej wzorem:

$$x = \frac{|P_a| - |P_b|}{|P_a| + |P_b|}$$

Gdzie P_a to ilość agentów, które do tej pory wybrały opcję a , a P_b to ilość agentów, które do tej pory wybrały opcję b . Z tego wynika, że -1 oznacza, że wszyscy agenci do tej pory wybrali b , a 1 , że wszyscy wybrali a .

W skali mikro podejmowana jest decyzja o zmianie stanu lub jej braku na podstawie porównania zmiennej μ z wartością losową z przedziału $[0; 1]$, gdzie

$$\mu = \nu \exp |\pi + \kappa x|$$

ν to współczynnik skłonności do zmian, π to skłonność ku jednej z opcji (w zależności od znaku), a κ to współczynnik wpływu zmiennej x na zmianę.

Dodatkowo wykorzystane zostały mechanizmy uczenia maszynowego. W artykule została zaproponowana prosta sytuacja – dwa obszary poruszania

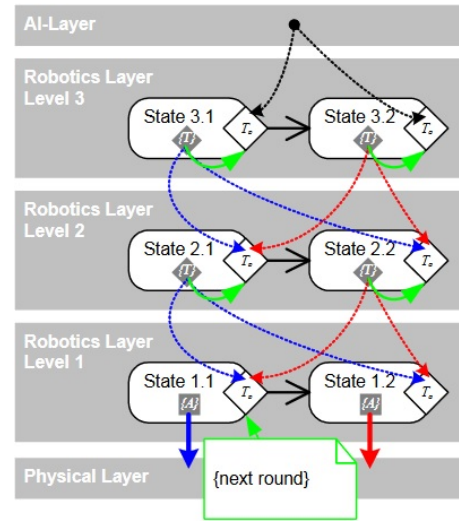


Figure 2: Levels of the robotic layer. T_θ is the abbreviation for “transition template”, $\{T\}$ and $\{A\}$ indicate sets of transitions and actions, respectively.

Rysunek 1.1: Schemat z artykułu „A trass-based agent model for traffic simulation.” (Ulf Lotzman, Michael Moehring) przedstawiający działanie maszyny stanów i relacje pomiędzy poszczególnymi warstwami ([9]).

się pieszych rozdzielone ulicą, podzieloną na 3 strefy, z których jedna zawiera przejście dla pieszych.

Występują trzy rodzaje agentów: piesi, samochody (składające się z agenta pojazdu i agenta kierowcy) oraz „nadzorca” (supervisor). Na początku symulacji auta mają unikać zderzeń z innymi autami, a piesi losowo obierać sobie cele, do których się kierują, nie zważając na inne agenty. Supervisor nakłada kary (w skali od 0-1): duże dla samochodu za potrącenie pieszego na przejściu, średnie dla pieszego i samochodu za potrącenie pieszego poza przejściem, małe dla samochodu za niezwalnianie przed przejściem, w okolicy którego znajdują się piesi. Kary te wpływają na wartości współczynników w równaniu decyzyjnym i w ten sposób system uczy się, czego agentom robić nie wolno.

Przy tworzeniu własnej implementacji należy wziąć pod uwagę następujące aspekty [3]:

- Symulacja samochodów. Samochód musi posiadać: wymiary, prędkość, przyspieszenie/opóźnienie, maksymalną prędkość, maksymalne przyspieszenie/opóźnienie, położenie i zwrot.
- Symulacja kierowców. Kierowcy mają określone cele makro: przejechanie trasy, składające się z celów mikro: zmiana pasa, skręcanie, wyprzedzanie. Mogą być też bardziej personalizowalni – posiadać cechy takie jak agresywność, pewność siebie, doświadczenie.
- Modelowanie środowiska. Przy pominięciu pieszych, model nie musi składać się z obszarów, tylko połączeń (jest grafem), rozdzielanych przez skrzyżowania, czy różnego typu ograniczenia, posiadających cechy jak długość, ilość pasów, du-/sim-plex, ograniczenie prędkości.

Powyższe elementy mogą zostać rozwiązane w następujący sposób [3]

- Śledzenie drogi – poprzez monitorowanie odległości od krawędzi pasa oraz dostosowanie prędkości do zakrętów (prędkość na zakręcie wyliczana jest na podstawie ostrości zakrętu, ale w ogólnym przypadku to droga ma przypisaną prędkość z jaką pojazd powinien się poruszać).
- Skrzyżowania – w tym modelu, dojeżdżając do skrzyżowania, agent redukuje prędkość i losowo wybiera kierunek dalszej jazdy.
- Światła – pominięty został aspekt strefy oddziaływania świateł, agent po prostu widzi czerwone lub żółte – hamuje, widzi zielone – jedzie dalej. Nie są one osobnym agentem lecz warunkiem.
- Śledzenie pojazdów - samochody dążą do zrównania prędkości z autem przed nimi i do nieprzekraczania zadanego minimalnego odstępu, w sytuacjach, gdy prędkość nie jest stała muszą też przy ustalaniu minimalnego odstępu uwzględnić drogę hamowania.

W naszej pracy wykorzystane zostanie modelowanie agentowe w celu zasymulowania wpływu sygnalizacji świetlnej na ruch samochodowy.

Rozdział 2

Wersja alpha

Wybór technologii, w jakiej realizujemy projekt padł na język C# z wykorzystaniem środowiska Unity. Pracę nad wersją alpha rozpoczęliśmy przez analizę wymagań stawianych przez modelowanie samochodów jako agentów [6], a następnie zaprojektowanie środowiska symulacji oraz podstawowych cech agentów na podstawie wniosków z literatury oraz własnych koncepcji. Rozważaliśmy dwie możliwości - model z implementacją obiektowego paradygmatu programowania oraz 3-warstwowy model rozbudowanej maszyny stanów [9].

Docelowo symulacja powinna umożliwić przeprowadzenie badań nad wpływem takich czynników jak czas reakcji, indywidualne parametry jazdy (przyspieszenie ruszania i hamowania) na zmianę przepustowości skrzyżowania względem idealnego scenariusza bez wymienionych czynników.

2.1 Założenia modelu i symulacji

Parametry jakimi docelowo mają być określone agenci określiliśmy na podstawie wymienionych wcześniej standardów zachowań na drodze [5] i są następujące:

- sensory odczytujące sygnały i analizujące otoczenie agenta,
- komunikaty generowane przez sensory, a następnie wysyłane i odbierane przez agentów,
- reakcja agenta na otrzymane sygnały (w szczególności otrzymane od sygnalizacji świetlnej [3]),
- fizyczne parametry ruchu (szybkość chwilowa, szybkość maksymalna, przyspieszenie/spowolnienie) [3]
- trasa (czy byłaby obrana raz na podstawie wyliczeń lub wskaźnika pseudolosowego, czy też modyfikowana w trakcie przez odpowiednio napisany algorytm),
- decyzje, które rozdzielić należy na trzy kategorie - indywidualne i częściowo uogólnione,
- wskaźniki indywidualizacji charakteru jazdy (maksymalne przyspieszenia i opóźnienia, maksymalna szybkość, minimalne odległości) [8], które mogłyby być dla uproszczenia pominięte [7].

Dodatkowo rozważaliśmy problem generowania agentów w symulacji - czy ich instancje powinny istnieć od początku symulacji czy być tworzone wraz z jej trwaniem. Zaprojektowanie optymalnego rozwiązania (w szczególności jeśli chodzi o maksymalną liczbę agentów czy dobór ich ilości w danym momencie symulacji) jest jednym z kluczowych zagadnień dla obciążenia pamięci przez symulację.

Środowisko zamodelowane zostało jako płaszczyzna z wydzielonymi specjalnymi obszarami, od których agenci mogą otrzymywać komunikaty [9]. Rozważaliśmy również zaimplementowanie grafu ulic [3], który umożliwiłby wyznaczenie takich wskaźników jak np. przepustowość poszczególnych dróg oraz stosunkowo łatwą modyfikację istniejącej sieci dróg poprzez modyfikację grafu.

Naszkicowaliśmy również zarys funkcjonalności interfejsu graficznego użytkownika. Przede wszystkim powinien umożliwiać użytkownikowi wgląd w symulację, która symbolicznie odwzorowywałaby rzeczywistość. W tym celu zaprojektowane zostało modelowanie skrzyżowanie dwóch prostokątnych dróg z sygnalizacją

światłą. Poruszające się pojazdy mają różne kolory, aby dodać wrażenie większego realizmu i ułatwić śledzenie ruchu konkretnego pojazdu. Docelowo w interfejsie graficznym powinny pojawić się również statystyki symulacji i/lub możliwość zmiany parametrów symulacji takich jak np. natężenie ruchu. Opcjonalną funkcjonalnością byłoby umożliwienie użytkownikowi zbudowania i przetestowania trasy według własnego zamysłu, jednak zaimplementowanie jej może być na tyle utrudnione na skutek wyboru reprezentacji środowiska, że zrezygnujemy z niej na rzecz innych rozwiązań. Alternatywnym rozwiązaniem jest udostępnienie użytkownikowi gotowego zestawu wbudowanych tras do porównania różnych architektur drogowych.

Rozdział 3

Symulacja

strefy symulacji jak w [9] wybór trasy i światła [3] ”psychologiczne uwarunkowania kierowców mają znikomy wpływ na zachowanie ich na drodze” [7]

Bibliografia

- [1] V. Thamizh Arasan and G. Dhivya. Simulation of highly heterogeneous traffic flow characteristics.
- [2] T. S. Babicheva and D. S. Babichev. Numerical methods for modeling of traffic flows at research and optimization of traffic on the signal-controlled road intersections. 2015.
- [3] Karima Benhamza, Salah Ellagoune, Hamid Seridi, and Herman Akdag. Agent-based modeling for traffic simulation. 2014.
- [4] Guangjiao Chen, Fankun MEng, Guolong Fu, Mingyang Deng, and Ling Li. A cell automation traffic flow model for mixed traffic. 2013.
- [5] Patrick Ehlert and Leon J. M. Rothkrantz. Microscopic traffic simulation with reactive driving agents. 2001.
- [6] Hideki Fujii, Shinobu Yoshimura, and Kazuya Seki. Multi-agent based traffic simulation at merging section using coordinative behavior model. *Tech Science Press*, 2010.
- [7] Jing Gao, Lili Dai, and Xu Gan. Traffic flow and safety analysis. 2018.
- [8] Arne Kesting, Martin Treiber, and Dirk Helbing. Agents for traffic simulation, 2008.
- [9] Ulf Lotzman and Michael Möhring. A trass-based agent model for traffic simulation.
- [10] Kai Nagel and Michael Schreckenberg. A cellular automaton model for freeawy traffic. 1992.
- [11] Guilherme Soares, Jose Macedo, Zafeiris Kokkinogenis, and Rosaldo J. F. Rosetti. An integrated framework for multi-agent traffic simulation using sumo and jade. 2010.
- [12] Hong Zheng, Young-Jun Son, Yi-Chang Chiu, Larry Head, Yiheng Feng, Hui Xi, Sojung Kim, and Mark Hickman. A primer for agent-based simulation and modeling in transportation applications. Technical report, University of Arizona, 11 2013.