

Simulace silniční infrastruktury s využitím distribuovaných celulárních automatů v multi-agentovém systému

Pavel Děrgel¹ a Petr Fuks

Traffic simulation using distributed cellular automata in the Multi-agent system

This article is aimed at the description of traffic simulation architecture based on a multi-agent system and cellular automata. This approach allows a better understanding of complexity of the real traffic and to build advanced dynamic navigation systems, which will be able to predict the traffic situation and to use an information based on current statistical data. In the future, such navigation systems will help us to prevent congestions and other problems, which are caused by increasing traffic intensity.

Key words: traffic simulation, multi-agent system, cellular automata

Úvod

V současné době stále více narůstá intenzita silničního provozu v důsledku zvýšené motorizace a růstu populace. Dopravní zácpy (kongesce) jsou obrovským problémem na celém světě. Kongesce snižují efektivitu dopravní infrastruktury, zvyšují čas potřebný pro cestování, znečištění ovzduší a spotřebu paliva. Moderním trendem dopravní politiky je budování technologií, které by dokázaly tuto situaci zlepšit.

Dopravní simulace nám umožňuje nejen studovat a analyzovat složité chování reálné dopravy, ale i předvídat budoucí situace na základě aktuálního stavu nebo statistických dat. Předvídání dopravních problémů by v budoucnu mohlo vést k budování dynamických navigačních systémů, které umožní řídit dopravu takovým způsobem, aby se minimalizoval počet kongescí, dopravních nehod a jiných problémů na silnicích.

Dynamické navigační systémy umožní řidičům vozidel přizpůsobovat trasu a styl jízdy tak, aby bylo dosaženo požadovaného cíle v co nejkratším čase a s minimálními provozními náklady. Tento přístup by mohl do budoucna ušetřit nemalé prostředky, které jsou zbytečně vyplýtvány během snížené plynulosti provozu během kongescí.

Současné navigační systémy sice mohou řidiči ušetřit čas nalezením nejkratší nebo nejrychlejší cesty k cíli, neumožňují však sledovat aktuální intenzitu provozu na silnicích a dynamicky se adaptovat na aktuální situaci, popřípadě předvídat možnou situaci v blízké budoucnosti.

Dopravní simulace

Dopravní simulátory se používají k mnoha různým účelům. Nejčastější využití nacházíme v dopravních analýzách, testování automatických řídicích mechanismů automobilů nebo ve studiu lidského chování během řízení (Ehlert, 2001).

Analýza dopravní situace

Při budování silniční infrastruktury je nejdůležitější správné plánování s ohledem na budoucí provoz. Dodatečné fyzické změny jsou obvykle extrémně finančně i časově náročné a mnohdy velmi obtížně proveditelné. Počítačové simulace silničního provozu mohou velmi výrazně usnadnit rozhodování při plánování nových komunikací. Umožňují nám vyhodnocovat hypotetické situace, které se nedají sledovat v reálném světě. Výsledky analýzy jsou přímo závislé na použitém modelu. Čím přesnější model máme, tím přesněji jsme schopni budoucí situaci analyzovat a tím lépe můžeme plánovat.

Většina dopravních simulátorů využívá tzv. **makro-simulace**, které vycházejí s matematických modelů popisujících chování a pohyb všech vozidel. Tyto modely jsou nedokonalé v tom, že většinou nerozlišují typy vozidel. Některé pokročilé modely umožňují sice pracovat s různými typy vozidel (osobní, nákladní, autobusy), ale pracují se všemi těmito typy naprosto shodně. Není možné například rozlišovat jednotlivé typy a individuální konstrukční parametry vozidel, rozdílný styl jízdy různých řidičů apod.

V reálném světě existuje mnoho různých typů vozidel, které jsou řízeny různými lidmi. Každý automobil má trochu jiné konstrukční parametry, má určitou maximální rychlost, zrychlení, brzdovou dráhu atd. Stejně tak každý řidič se za volantem chová trochu jinak. Někdo preferuje pomalý, klidný typ jízdy,

¹ Ing. Pavel Děrgel a Ing. Petr Fuks, Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, Česká Republika
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 11. 4. 2007)

někdo zase jezdí rychle a agresivně. Tyto malé odlišnosti v konstrukčních parametrech vozu a chování řidičů mohou velmi výrazně ovlivnit celkový tok a plynulost dopravy.

Pokud bychom potřebovali simulovat dopravu opravdu reálně a brali bychom v úvahu všechny výše zmíněné detaily, museli bychom využít tzv. **mikro-simulaci**, která poskytuje mnohem realističtější výsledky než makro-simulace (Ehlert, 2001).

Testování nových algoritmů

Další použití dopravních simulátorů můžeme najít při testování algoritmů bezpečnostních mechanismů pro "inteligentní" vozidla. Simulace umožní automobil umístit do potenciálně nebezpečných situací a sledovat reakce bezpečnostních zařízení (Sukthankar, 1995), které by z pochopitelných důvodů nebylo možné testovat při reálném provozu.

Takových simulátorů existuje jen velmi málo, ale jeden z dobrých příkladů je simulátor navržený pro testování řídicích algoritmů na dálnicích (SHIVA (Sukthankar, 1995)).

Studium lidského chování

Některé dopravní simulátory jsou určeny pro studium chování řidičů během řízení vozidla. Obvykle mají velkou obrazovku, na které probíhá vizualizace simulace. Obsahují samozřejmě stejné řídicí prvky jako běžný automobil (volant, pedály atd.). Jsou sledovány reakce řidiče na nečekané situace apod. Příkladem takového simulátoru je třeba COV driving simulator (university of Groningen).

Využití multi-agentových systémů

Multi-agentové systémy (MAS) poskytují vhodné a přirozené prostředí pro mikro-simulaci dopravní infrastruktury. MAS se skládá z autonomních agentů, které existují v určitém prostředí, komunikují s ostatními agenty pomocí nějakého komunikačního jazyka (Ferber, 1999).

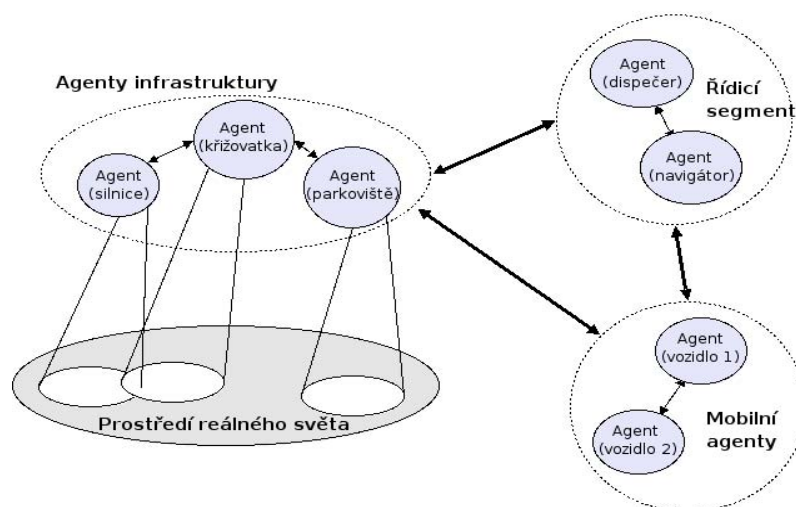
MAS se vyznačují především tím, že neexistuje žádné centrální řízení systému. Jednotlivé agenty jsou autonomní, mají určité své cíle a záměry a podnikají kroky vedoucí k dosažení těchto cílů. Agenty mohou mezi sebou komunikovat a vzájemně spolupracovat.

Silniční doprava se vyznačuje značně komplexním a složitým chováním. Objevuje se zde velké množství participujících objektů (automobily, chodci, semaforey, dopravní značky atd.). Všechny tyto objekty ovlivňují celkové chování infrastruktury, některé z nich vykazují určitou inteligenci. Flexibilita a nezávislost agentů je ideální pro modelování různých typů automobilů a různých stylů řízení v mikro-simulaci.

Jednou ze základních vlastností agentů je inteligence. Agenty mohou disponovat bází znalostí a mohou pro své rozhodování využívat metody umělé inteligence. Pomocí agentů je tedy možné modelovat i velmi složité a komplexní chování, které se značně blíží realitě.

Základní architektura systému

Aplikace se skládá ze tří základních segmentů (obr. 1):

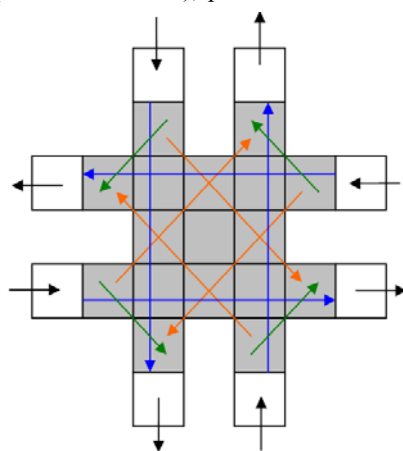


Obr. 1. Základní architektura simulačního prostředí.

Fig. 1. Basic simulation of the environment architecture.

1. **Mobilní agenti** - tyto agenti budou modelovat vozidla, která se účastní silničního provozu. Pohyb vozidel bude probíhat v rámci virtuálního prostředí tvořeného agenty infrastruktury. V budoucnu se tyto agenti mohou stát součástí mobilního dopravního prostředku (například auta) a budou mít přístup k informacím o vozidle (aktuální rychlost, poloha atd.). Agenty budou moci komunikovat se zbytkem systému a přinášet řidiči navigační údaje a další potřebné informace.
2. **Řídicí segment** - bude složen z agentů, které budou přímo interagovat s uživatelským rozhraním a umožní uživateli sestavit a předat informace ostatním agentům systému a také tyto agenti sledovat, popřípadě jim zadávat úkoly apod.
3. **Agenty infrastruktury** - tyto agenti budou reprezentovat určité elementární části reálného světa, které budou vykazovat určité chování nebo inteligenci a se kterými bude možno komunikovat a vyměňovat si vzájemně informace. Tyto agenti budou poskytovat virtuální prostředí pro pohyb mobilních agentů, které bude odpovídat určité omezené oblasti (např. městu, kraji atd.).

Prostředí reálného světa (tzn. prostředí, ve kterém se pohybují situované agenty) je **nepřístupné**, **nedeterministické**, **dynamické** a **spojité**. Agenty nikdy nemohou mít kompletní představu o všech informacích o prostředí (nepřístupnost), výsledky jejich akcí jsou nepředvídatelné a mohou selhat (nedeterminismus), prostředí se může v čase měnit i bez působení agentů (dynamičnost) a reálné prostředí



má samozřejmě nekonečný počet stavů, ve kterých se může nacházet (spojitost). Asi není třeba zdůrazňovat, že modelování takového prostředí je extrémně složité. Pro potřeby modelování je proto nutné reálné prostředí zjednodušit. Nadále tedy budeme uvažovat prostředí, které je diskretní, přístupné, deterministické a dynamické. Na obrázku 2 je vidět model křižovatky v diskretním prostředí.

Obr. 2. Model křižovatky v diskretním prostředí.
Fig. 2. Discrete crossroad model.

Simulace prostředí pomocí celulárních automatů

Prostředí v němž se mobilní agenti vyskytují musí mít pevně stanoveny zákonitosti podobně jako je tomu u fyzikálních zákonů reálného světa. Na základě těchto virtuálních zákonů se pak realizují veškerá prostorová chování mobilních agentů a také probíhá vyhodnocování případných prostorových kolizí. Pro realizaci takto definovaného prostředí se jeví výhodné využití celulárních automatů.

Celulární automat (CA) je matematická idealizace fyzikálního systému, ve kterém prostor a čas jsou diskretní a fyzikální kvanta nabývají konečného počtu diskretních hodnot. Celulární automat se skládá z pole obecně s nekonečným rozsahem, jehož jednotlivé buňky nabývají diskretních hodnot. Stav celulárního automatu je kompletně specifikovaný hodnotami proměnných každé buňky. Celulární automat se vyvíjí v krocích, hodnota proměnné v dané buňce je ovlivněna hodnotami proměnných jeho okolí z předchozího časového kroku. Okolí je typicky bráno z buňky samotné a přímo přilehlých buněk. Hodnoty v každé buňce jsou souběžně aktualizovány na základě hodnot jeho okolí a množiny definovaných „lokálních“ pravidel v daném časovém kroku (Wolfram, 2002)

Celulární automaty samotné jsou již několik let úspěšně aplikovány v simulacích dopravního provozu. Nejznámějším modelem v této oblasti je Nagel-Schreckenbergův model. V tomto modelu je jeden časový krok simulace rozložena na dvě fáze. V první fázi se na základě vzdálenosti aut od sebe určí zda automobil zrychlí nebo zpomalí. Stanovení rychlosti zde vychází z tzv. bezpečné vzdálenosti, tedy počtu buněk CA které jsou mezi dvěma automobily. V druhé fázi se pak provede posun všech automobilů v CA na základě stanové rychlosti. Aby se tento model více přiblížil skutečnosti, je vždy s určitou pravděpodobností automobil přibrzděn (Nagel, 1992; Schreckenberg, 1992). Toto náhodné zpomalení zastupuje všechny události, které nutí řidiče zpomalit jako například přednost chodci na přechodu, překážky na cestě, omezení rychlosti atd. Nagel-Schreckenbergův model je dnes rozšířen o simulaci pohyb na víceproude komunikaci a křižovatkách. Takto navržené CA lze pak využít jako prostředí pro mobilních agenty.

Hybridní model MAS a CA

Náš návrh simulátoru dopravy je založen na kombinaci výše zmíněných technologií MAS a CA. Jak již bylo zmíněno celý systém se skládá z mobilních agentů a agentů infrastruktury. Každý agent infrastruktury má v sobě uložený celulární automat, který reprezentuje určitou část reálného světa a realizuje prostorové chování mobilních agentů jež jsou k němu registrovány. Mobilní agenty plní úkoly, jako například dojet co nejrychleji z počátečního místa do cíle. K plnění tohoto úkolu získávají informace o svém okolí z celulárních automatů. Tyto jim podávají informace o průběhu komunikace a okolních účastnících provozu. Na základě informací získaných z prostředí se mobilní agenty rozhodují o dalším směru a rychlosti pohybu. Své rozhodnutí pak každý mobilní agent sdělí příslušnému agentu infrastruktury a ten zapíše tyto informace do svého celulárního automatu. Jakmile všechny mobilní agenty sdělí své rozhodnutí, celulární automaty vykonají pohyb a uloží výsledky do příslušných buněk. Tento postup se opakuje v daném počtu časových kroků.

Možnosti využití

Silniční infrastruktura, která by byla vytvořena pomocí agentů může vykazovat velmi inteligentní chování. Agenty infrastruktury se mohou učit, analyzovat aktuální dopravní situaci. Zde je výčet několika scénářů, které je možné pomocí agentů infrastruktury implementovat (Děrgel, 2006):

- **Detekce kongescí** - v jakémkoliv úseku silniční infrastruktury a libovolném časovém okamžiku je možné zjistit aktuální dopravní situaci. Každý agent reprezentující silniční úsek nebo křižovatku má informace o mobilních agentech nacházejících se v daném úseku, o jejich rychlosti, poloze, záměrech atd. Tyto informace lze vyhodnocovat a zpracovávat. Je možné například detekovat nebo předpovídat kongesci a následně je eliminovat.
- **Reakce na kolize** - v případě, že agent infrastruktury detekuje kolizi, může příslušný úsek označit jako neprůjezdný (popřípadě částečně průjezdný) a ostatní mobilní agenty budou automaticky přesměrovány na jinou trasu. Součástí chování při reakci na kolizi může být rovněž automatické přivolání policie nebo záchranné služby.
- **Inteligentní navigace** - s využitím analytických schopností agentů infrastruktury je možné navigovat mobilní agenty nejen po nejkratší nebo nejrychlejší cestě, ale je možné brát v potaz i aktuální dopravní vytížení jednotlivých úseků silnice. Je potom možné odklánět dopravu po méně vytížených úsecích, a tím zaručit plynulejší a rychlejší průjezd. V úvahu je možné samozřejmě brát veškeré informace, které jsou agentům dostupné (stav vozovky, doba potřebná k průjezdu úsekem atd.).
- **Spolupráce s řídicími prvky** - plynulost provozu ve městech je asi nejvíce ovlivněna semaforey. Při čekání na semaforech musí auto stát. To stojí pohonně hmoty a samozřejmě čas řidiče. Pokud by byly semaforey více inteligentní a přizpůsobovaly se aktuální situaci, mohly by být ročně ušetřeny nemalé prostředky. Inteligentní semaforey nemusí znamenat jen sofistikované algoritmy na řízení světelných, ale také možnost komunikovat s mobilními agenty a předávat jim informace o tom, jakým způsobem mají projíždět určitou oblastí, aby byl jejich čekací čas na semaforech co nejkratší.
- **Koordinace mobilních agentů** - při pohybu automobilů po cestách nastává velké množství potenciálně nebezpečných situací (předjíždění, náhlé brzdění atd.). Mobilní agenty se mohou navzájem o těchto akcích s předstihem informovat (pokud jsou plánované), a tím zabránit případné kolizi. Například předjíždějící auto může o svých záměrech informovat předjížděné. Předjížděné auto na situaci zareaguje tak, že nebude měnit svou rychlost ani směr jízdy, popřípadě mírně zpomalí apod.

Závěr

Cílem předloženého článku bylo představit možnosti využití Multi-agentových systémů v kombinaci s distribuovanými celulárními automaty k tvorbě simulace dopravní infrastruktury na úrovni mikro-simulace. Přínos této technologie lze spatřovat především v možnosti budování dopravních simulací, které se velmi blíží reálnému světu.

Tento přístup nám umožňuje modelovat individuální vlastnosti jednotlivých vozidel, jejich konstrukčních parametrů, různá chování řidičů atd. Díky tomu je možné dosáhnout vysoké přesnosti a realističnosti simulace. Výsledky těchto simulací lze v praxi použít pro dynamickou navigaci vozidel, které budou brát v úvahu aktuální dopravní situaci, popřípadě budou schopné předvídat potenciální problémy blízké budoucnosti.

*Tento příspěvek vznikl v rámci řešení grantu
Logika a umělá inteligence pro multi-agentové
systémy. Tento výzkum je podporován programem
„Informační společnost“ akademie věd České
republiky, projekt číslo IET101940420.*

Seznam použité literatury

- Patrick, A., Ehlert, M.: Intelligent Driving Agents, 2001.
Sukthankar, R., Pomerleau, D.: ThorpeSimulated Highways for Intelligent Vehicle Algorithms, 1995.
COV driving simulator, 2000.
Ferber, J.: Multi-agent systems: An introduction to Distributed Artificial Intelligence, 1999.
Wolfram MathWorld, Internetová encyklopedie matematiky, 2002.
Nagel, K., Schreckenberg, M.: A cellular automaton model for freeway traffic, 1992.
Děrgel, P.: Prostorové multi-agentové systémy, DDP, 2006.