

# Prostor v multiagentových systémech modelujících prostorové procesy

Petr Rapant<sup>1</sup>

## *Space in multi-agent systems modelling spatial processes*

*Need for modelling of spatial processes arise in the sphere of geoinformation systems in the last time. Some processes (especially natural ones) can be modeled by means of using external tools, e. g. for modelling of contaminant transport in the environment. But in the case of socio-economic processes suitable tools interconnected with GIS are still in quest of research and development. One of the candidate technologies are so called multi-agent systems. Their theory is developed quite well, but they lack suitable means for dealing with space. This article deals with this problem and proposes solution for the field of a road transport modelling.*

**Key words:** spatial processes, road transport modelling

## Úvod

V poslední době se v oblasti geoinformačních systémů objevuje potřeba modelování různých prostorových procesů. Některé procesy (především přírodní) je možné modelovat pomocí externích nástrojů pro modelování například šíření znečišťujících látek v prostředí (v ovzduší, v podzemních vodách apod.). Tato oblast je již poměrně dobře rozpracovaná, dnes existuje celá řada modelovacích nástrojů propojitelných s geografickými informačními systémy (GIS). V tomto článku se jí proto nebudeme zabývat. Avšak pro modelování především různých socio-ekonomických procesů se vhodné nástroje, propojitelné s GIS, stále ještě hledají. Jenou z diskutovaných možností jsou i tzv. **multiagentové systémy**. Jejich teorie je poměrně dobře rozpracovaná, multiagentové systémy se používají ve velice široké škále aplikací. Jejich slabou stránkou je však práce s prostorem. Tento článek se zabývá návrhem řešení tohoto problému pro jednu oblast socio-ekonomických procesů – pro oblast dopravy, a to konkrétně dopravy sliniční.

V následujících odstavcích je nejprve stručně probrána problematika prostorových procesů a multiagentových systémů, poté jsou analyzovány možné způsoby řešení propojení multiagentových systémů a GIS a nakonec je navrženo řešení práce s prostorem, vycházející z těsné spolupráce multicgntového systému s GIS.

## Prostorový proces

Vedle objektů a jevů můžeme v reálném světě popisovat i **procesy**, které vnášejí do tohoto světa dynamiku, ovlivňují (mění) jeho objekty i jevy a ovlivňují i jiné procesy.

Termín **proces** je na nejobecnější (tedy filozofické) úrovni definován takto [13]:

Proces je přirozený jev vyznačující se postupnými změnami vedoucími ke konkrétnímu výsledku.

Z pohledu geoinformatiky je nezbytné zavést poněkud zúžený výklad [10]:

Proces reálného světa je jakákoliv aktivita nebo posloupnost aktivit (ať už přirozená nebo umělá), ovlivňující objekty a jevy reálného světa, případně i jiné procesy reálného světa.

V případě popisu prostorových procesů se doporučuje používat šest dimenzí, jimž odpovídají otázky typu kdo, co, proč, jak, kdy (v časovém významu), kde. Pro dokreslení je připojen obr. 1.

Z pohledu tohoto článku nás bude zajímat především poslední zmíněná dimenze, tj. „kde“.

Prostorové procesy mohou být [9]:

- přírodní (atmosférické, hydrologické, hydrogeologické, geologické, geomorfologické, biologické, atd.),
- socio-ekonomické (**dopravní**, populační, výrobní, distribuční a služeb, atd.),
- kombinované.

Z prostorového hlediska je můžeme dělit na procesy, vázané na [9]:

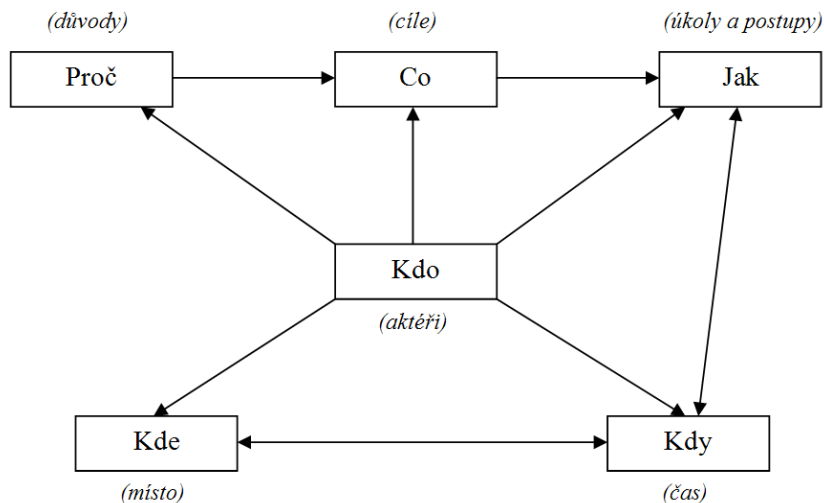
- homogenní nebo prostorově zprůměrované jednotky (subpovodí, okresy, kraje, sčítací jednotky apod.) s procesy popsanými diferenciálními rovnicemi,

<sup>1</sup> doc. Ing. Petr Rapant, CSc., Institut geoinformatiky, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, tel: +420 597 325 470, fax: +420 596 918 589, [petr.rapant@vsb.cz](mailto:petr.rapant@vsb.cz)  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 5. 5. 2007)

- pole/multivariační funkce diskretizované do rastrů, gridů nebo mříží s procesy popsanými diferenciálními rovnicemi nebo celulárními automaty
- sítě,
- body,
- kombinace výše uvedených.

Podle povahy prostorové interakce je můžeme dělit na procesy [9]:

- bez prostorové interakce, které mají pouze na poloze závislé chování,
- s interakcemi na krátké vzdálenosti, s bezprostředním okolím,
- s interakcemi na velké vzdálenosti.



Obr. 1. Konceptuální schéma popisu prostorových procesů (upraveno podle [8]).  
Fig. 1. Conceptual scheme of spatial processes description (adapted by [8]).

V dalším výkladu se zaměříme na socio-ekonomické procesy (konkrétně dopravní procesy), se síťovou prostorovou distribucí a se všemi třemi možnými typy prostorových interakcí.

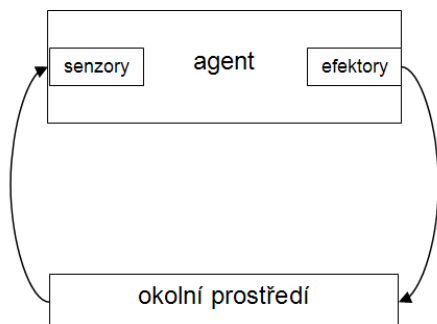
Pro modelování prostorových procesů (zvláště socio-ekonomických) je možné použít již zmíněné multiagentové systémy (ang. Multi-Agent System; MAS). Tyto systémy však mají obvykle jen velice omezené výrazové prostředky pro prostor, prostorové vlastnosti, prostorové vztahy a prostorové interakce. Právě propojení (až integrace) MAS s GIS by mohlo tyto problémy do značné míry vyřešit.

Než se budeme zabývat otázkou prostoru v MAS a možnými způsoby jejího řešení, podívejme se nejprve stručně na problematiku agentů a multiagentových systémů.

### Agent

Pojem agent (angl. agent) se v literatuře objevil poprvé někdy v 60. letech minulého století. V podstatě označoval autonomní systém, schopný vnímání svého okolí, komunikace s ním a také samostatného rozhodování o svých příštích akcích. Od té doby teorie agentů výrazně pokročila, v současné době se mluví spíše o multiagentových systémech, řeší se problémy spolupráce, kooperace, koordinace, negociace, ale i soutěžení (resp. soupeření) velkých skupin agentů, podílejících se na plnění zadaného úkolu. Než se pustíme do víceagentových systémů, podívejme se nejprve na pojem agent jako takový.

Agentem může být cokoliv, co vnímá své (okolní) prostředí prostřednictvím senzorů a působí na toto prostředí prostřednictvím efektorů [11] (obr. 2). Agenty jsou umístěny v určitém prostředí a v jeho rámci jsou schopné autonomních akcí [15]. Autonomie a začlenění do prostředí jsou dvěma klíčovými vlastnostmi agentů [5].



Obr. 2. Konceptuální schéma vzájemné interakce agenta a okolního prostředí [16].  
Fig. 2. Conceptual scheme of interaction between agent and its environment [16].

Jedna z mnoha exaktních definic agenta zní takto [4]:

Agent je fyzická nebo virtuální entita, která:

1. je schopna vykonávat činnosti v prostředí, v němž se nachází,
2. může komunikovat přímo s jinými agenty,
3. je řízena množinou trendů (vyjádřených ve formě individuálních cílů nebo ve formě funkce přežití/uspokojování, kterou se snaží optimalizovat),
4. má své vlastní zdroje,
5. je schopna vnímat své okolní prostředí (i když v omezeném rozsahu),
6. má pouze částečnou reprezentaci tohoto prostředí (a někdy i vůbec žádnou),
7. má své dovednosti a může nabízet i služby,
8. může být schopna samoreprodukce,
9. jejíž chování směřuje k uspokojování svých cílů, s ohledem na jí dostupné zdroje a dovednosti a v závislosti na svých vjemech, své reprezentaci a přijatých komunikacích.

Následující charakteristiky by měly být typické pro agenty vykazující inteligenci [1]:

1. **Autonomie:** aby mohl být agent považován za inteligentní, měl by být schopen fungovat bez jakékoliv přímé intervence zvenčí a měl by mít kontrolu nad svým vlastními akcemi a svými interními stavy.
2. **Sociální schopnost:** agent by měl mít schopnost interakce s jinými agenty nebo dokonce s člověkem. Agenty interagující s jinými agenty vyžadují jistý druh komunikačního jazyka agentů.
3. **Reaktivita:** agent by měl být schopen vnímat své okolí. Co je nejdůležitější, agenty musí být schopné reagovat adekvátně na změny, které se v prostředí projevují.
4. **Proaktivita:** agent by měl mít schopnost nejen reagovat na změny ve svém okolí, nýbrž měl by mít i chování zaměřené na dosažení cíle, které ovlivňuje akce agenta. V jistém slova smyslu má agent zabudovaný účel.

### Multiagentový systém

V nejjednodušším případě modelování reálného světa můžeme pracovat i jen s jediným agentem, popisujícím/modelujícím jediný systém. Nicméně běžnější je situace, kdy reálný svět modelujeme prostřednictvím sady agentů, modelujících různé relativně samostatné podsystémy a také relace a interakce mezi nimi. V takovém případě mluvíme o **multiagentových systémech**.

Teorie multiagentových systémů je poměrně mladou vědní oblastí bez ustálených obecných paradigmat [5]. Je však zřejmé, že multiagentový systém je tvořen sadou agentů, které představují aktivní prvky modelovaného systému, dále sadou objektů, které nevyvíjejí žádné aktivity, nicméně svojí existencí ovlivňují chování agentů, vše existuje v určitém prostředí, které zprostředkovává interakce mezi agenty i objekty a svými vlastnostmi rovněž ovlivňuje chování agentů, resp. je jimi ovlivňováno, dále agenty a objekty vstupují do celé řady vzájemných vztahů (relací) a nakonec i platí, že prostředí svými charakteristickými vlastnostmi vymezuje i možné interakce mezi agenty navzájem, ale také mezi agenty a objekty. Vzhledem k tomu, že se zabýváme modelováním prostorových systémů, je prostředí, v němž agenty a objekty existují, obecně prostorové, tj. každému agentu nebo objektu je možné přiřadit polohu v prostoru, agenty i objekty mohou vstupovat do vzájemných prostorových vztahů, mohou mít prostorové vlastnosti. Vzhledem k tomu, že multiagentové systémy pracují obvykle v diskretních časových krocích, je vhodné považovat i prostor za diskretní. Z tohoto předpokladu a ze skutečnosti, že modelovaná oblast má zpravidla jasné vymezení pak vyplývá, že počet poloh (míst), které mohou agenty zaujímat, je konečný. Z důvodu jednoznačnosti určení polohy se obvykle vyžaduje, aby v jednom místě mohl být situován (umístěn) nejvýše jeden agent.

Za multiagentový lze proto považovat takový systém, který se skládá z následujících komponent [4], [5]:

- **Prostředí  $E$** , jehož jednou z vlastností může být i prostorovost, tj. může se jednat o prostor, který je obecně  $n$ -rozměrný.
- **Množina objektů  $O$** . Tyto objekty jsou situované, tj. v kterémkoliv okamžiku je možné objektu přiřadit polohu v  $E$ . Objekty jsou zpravidla pasivní, mohou být vnímány, vytvářeny, odstraňovány a modifikovány agenty.
- **Množina agentů  $A$** . Agenty jsou podmnožinou objektů ( $A \subseteq O$ ) a jsou schopné vykonávat určité akce – představují aktivní entity systému.
- **Množina polí  $F$** . Agenty mohou šířit do svého okolí prostřednictvím prostředí  $E$  signály v podobě polí a jiná pole mohou naopak vnímat.
- **Množina míst  $L$**  určujících možné polohy objektů (z množiny  $O$ ) v prostoru, tj. v prostředí  $E$ .

- **Množina relací  $R$** , které vzájemně spojují objekty a také agenty.
- **Množina operací  $Op$** , dávajících agentům schopnost vnímat, manipulovat, vytvářet, odstraňovat objekty z  $O$ , a reprezentujících především akce agentů.
- **Množina operátorů  $U$** , reprezentujících aplikace operací z  $Op$  na prostředí a reakci světa na tento pokus o jeho modifikaci. Operátory  $U$  jsou nazývány **zákony univerza**.

Takto lze definovat obecný multiagentový systém, který může být i prostorový.

### Situovaný multiagentový systém

Situovaný multiagentový systém (angl. Multi-Agent Situated System; MASS) umožňuje zavést popis situovaných (tj. mimo jiné lokalizovaných) agentů, tj. agentů citlivých na svoji polohu, na své prostorové vztahy a vlastnosti, které určují různá omezení interakcí agentů (například možnost vzniku interakce jen do určité vzdálenosti od sebe) i schopnosti provádět určité akce a vstupovat do privilegovaných kooperačních vztahů. Situovanost reflektuje polohu a s ní související lokální prostorové vztahy mezi agenty navzájem i mezi agenty a objekty.

Prostřednictvím této situovanosti je situovaný agent umístěn do lokálního kontextu, který je agent schopen vnímat, který má svoji prostorovou dimenzi a v kterém může vykonávat své činnosti [14].

Výsledkem je, že vedle obecných vlastností agentů, popsanych výše, vykazují agenty v MASS ještě další specifické vlastnosti [2]:

- Agenty jsou lokalizované: každý agent je spojen s místem v prostoru MASS a chování agenta je silně ovlivněno jeho polohou v topologické struktuře tohoto prostředí.
- Interakce agenta v MASS jsou prostorově závislé: chování agenta je ovlivněno jinými agenty, a to jednak bezprostředně jejich přítomností (resp. blízkostí) a jednak jimi vysílanými signály, které mohou agenty vnímat i na značné vzdálenosti. Oba typy interakcí jsou silně závislé na struktuře prostoru prostředí (tj. na topologické struktuře míst). Přítomnost agenta je vnímána pouze v jeho bezprostředním okolí (sousedství), zatímco jimi vysílané signály se šíří v závislosti na topologické struktuře prostředí.
- Chování agenta: jak stav agenta, tak i jeho poloha a tím i prostorové vztahy mohou být změněny agentem samotným na základě mechanismu vjem-plánování-akce (angl. perception-deliberation-action). Takže každý agent tvořící MASS po přijetí signálů vyslaných jinými agenty vybere akci, kterou má provést (v závislosti na svém stavu, poloze, prostorových vlastnostech a vztazích a na typu) a provede ji. Výsledkem této akce může být i změna polohy jiného objektu.
- Heterogenita: agenty jsou charakterizované typem, který určuje jejich citlivost na vjemy a jejich schopnosti. MASS je heterogenním systémem agentů, v němž koexistují a interagují agenty s různými vlastnostmi a schopnostmi. Prostředí agentů může být navíc popsáno vícevrstevnou topologickou strukturou, která je tvořena vícenásobnými, heterogenními a vzájemně propojenými topologickými prostory. Výsledkem může být až vícevrstvý situovaný multiagentový systém.

Než se podíváme na akce agenta, musíme si blíže vysvětlit pojem prostředí v MASS a pojem komunikace mezi agenty.

### Prostředí v MASS

Výše jsme si uvedli, že prostředí MASS budeme považovat za prostorové. Některé základní vlastnosti prostoru a to, jak objekty existují a interagují v prostoru, je součástí **zákonů universa** tohoto prostředí. Z nich lze uvést například [5]:

1. **Každý agent je lokalizovaný** (tj. má svoji polohu) na stanoveném místě.
2. **Agent se může v jednom okamžiku nacházet právě na jednom místě.**
3. **Agenty se mohou pohybovat z místa na místo** (tj. jejich pohyb reprezentujeme diskretním způsobem); tyto pohyby musí sledovat určenou trasu a mohou být i jinak omezeny.
4. **Na jednom místě může být nejvýše jeden agent.** V prostoru není možné umístit dva objekty (například dvě auta) na jedno místo (například na jedno parkovací stání).
5. Území jakožto použitelný zdroj je součástí modelu; **využití území (resp. prostoru) budeme uvažovat jednoduchého typu a exkluzivní**, tj. každé místo prostoru smí být využito jen jediným způsobem (tj. dané místo může být pouze silnicí, nebo jen parkovištěm, trávníkem apod.).

Tato pravidla vyjadřují podstatu prostoru a prostorových rozhodování: rozhodnutí o pohybu vyžadují splnění pravidel č. 1, 2 a 3; rozhodnutí o umístění a rozmístění jsou založena navíc na pravidlech č. 4 a 5.

Určité problémy může v některých situacích vyvolávat pravidlo č. 4. Je zřejmé, že pokud naše „místo“ bude reprezentovat například parkoviště o kapacitě 100 stání a nás přitom nezajímá, kde přesně které auto stojí, pak striktní dodržení tohoto pravidla znamená, že parkoviště bude vždy zcela prázdnou. V takovém případě je možné zavést následující modifikaci tohoto pravidla:

- Každé místo má definovanou konečnou kapacitu, která je větší než nula.
- Na jednom místě může být nejvýše tolik agentů, kolik odpovídá kapacitě tohoto místa.

V některých situacích může být tato úprava potřebná. Zvláště v případě vícevrstvého topologického prostoru se tomuto opatření nevyhneme. Na určité úrovni rozlišení je parkoviště jedním místem, o úroveň níže se však rozpadá na jednotlivá stání, reprezentovaná jednotlivými místy. V běžných situacích ale budeme předpokládat platnost původní verze tohoto pravidla.

Jinými slovy, prostředí  $E$  je tvořeno množinou  $L$  míst uspořádaných v síti. Každé místo  $l \in L$  může obsahovat nejvýše jeden agent a je definováno trojicí [2]:

$$\langle a_l, F_l, L_l \rangle$$

kde

$a_l \in A \cup \{\perp\}$  je agent nacházející se v místě  $l$  ( $a_l = \perp$  když se v  $l$  nenachází žádný agent, tj. místo  $l$  je prázdné),

$F_l \subset F$  je množina polí aktivních v místě  $l$  ( $F_l = \emptyset$  když v  $l$  není aktivní žádné pole),

$L_l \subset L$  je množina míst přiléhajících k místu  $l$ .

Při tomto pohledu může být prostředí  $E$  chápáno i jako orientovaný graf míst  $l$ .

### Komunikace mezi agenty v MASS

Agenty spolu mohou komunikovat v zásadě dvěma způsoby:

- přímo prostřednictvím zasilání zpráv,
- nepřímo prostřednictvím šíření polí.

Při **přímé komunikaci prostřednictvím zpráv** může mezi agenty existovat přímé spojení (a v tom případě pro svoji komunikaci nepotřebují prostředí) nebo si tyto zprávy zasilají prostřednictvím prostředí, které pak musí garantovat převzetí zprávy od odesílatele, její doručení adresátovi a případně předání zpět odpovědi.

V případě **komunikace prostřednictvím polí** je tato komunikace neadresná, příjemci informace se vybírají zpravidla na základě vzdálenosti (tedy prostorových kritérií) a na základě jejich citlivosti na dané pole (jinými slovy na základě kritéria, které říká, zda mají o tuto informaci zájem).

Pole působící v MASS mohou být generována agenty MASS, mohou být importována z jiného MASS nebo z vnějšku, tj. v případě otevřeného systému mohou mít zdroj mimo lokální prostor. Každé pole MASS je charakterizováno množinou hodnot, kterých může nabýt v průběhu šíření prostorem. Šíření nastává dle difusní funkce, která popisuje pole a která specifikuje, jak se jeho hodnoty šíří prostorem v závislosti na jeho struktuře. Dále jsou definovány funkce porovnávání pole a skládání pole, které umožňují manipulaci s tímto polem.

Podle povahy interakce s prostředím a svými sousedy se agenty dělí na [7]:

- výhradně komunikující agenty (angl. purely communicating agent),
- výhradně situované agenty (angl. purely situated agent).

Výhradně komunikující agent obvykle nemá žádné vjemy sousedních agentů, nýbrž je s nimi přímo propojen a jen s nimi přímo komunikuje podle daného protokolu (s využitím meziagentové akce react). Z prostorového hlediska ho budeme považovat za nepohyblivého agenta, který nevykonává žádný pohyb, neustále zůstává na stejném místě (a díky tomu může mít vytvořeny pevné vazby s přilehlými agenty).

Výhradně situovaný agent obvykle nekomunikuje přímo prostřednictvím zpráv, nýbrž prostřednictvím polí, která šíří do svého okolí (s využitím meziagentové akce emit). Tyto agenty reagují na sebe navzájem prostřednictvím senzorů a změn, které vyvolávají v prostředí. Z prostorového hlediska je jejich typickou vlastností pohyb z místa na místo, jedná se tedy o pohyblivé agenty.

### Výhradně komunikující MAS

Za určitých okolností mohou MAS vykazovat zvláštní vlastnosti. Například může dojít k situaci, kdy [4]:

$$A = O$$

tj. systém je tvořen výhradně agenty a navíc tyto agenty mohou být navzájem propojené, takže interagují přímo, bez účasti prostředí. V tom případě platí, že

$$E = \emptyset$$

Jinými slovy, tím, že jsou agenty spojeny do stabilní struktury a komunikují přímo, existence prostředí v takovémto MAS pozbývá významu.

V tomto případě relace  $R$  mezi agenty definují síť: každý agent je přímo propojen s jinými (okolními) agenty. Tyto systémy mohou být nazvány **výhradně komunikující MAS**.

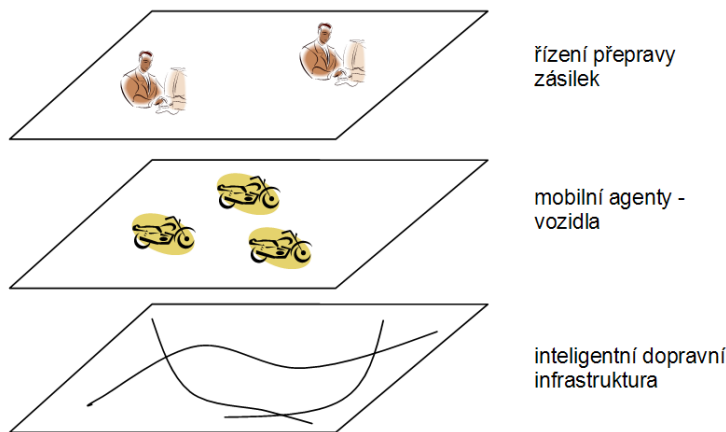
Tím, že zde neexistuje prostředí, neuplatňují se samozřejmě ani žádné zákony univerza, tj.

$$U = \emptyset$$

a rovněž množina míst je prázdná, tj.

$$L = \emptyset$$

Na druhou stranu, jak si ukážeme později, výhradně komunikující MAS může ve vícevrstevném MASS vytvářet potřebné prostředí pro výše ležící vrstvu situovaných agentů.



Obr. 3 Vícevrstvý multiagentový systém pro modelování přepravy zásilek pomocí vozidel pohybujících se autonomě po inteligentní dopravní infrastruktuře.  
Fig. 3 Multi-layer multi-agent system for modelling of goods transport by vehicles moving autonomously all over the intelligent transport infrastructure.

### Vícevrstvý situovaný multiagentový systém

Vícevrstvý situovaný multiagentový systém (angl. Multilayered Multi-Agent Situated System; MMASS) umožňuje explicitní popis prostorové struktury prostředí, v němž systém situovaných agentů působí a v němž dochází k interakcím těchto agentů. Prostedí agentů může být i vícevrstvé (tj. může být tvořeno například mnohem obecnější strategickou vrstvou a podrobnější „terestrickou“ vrstvou), může napodobovat fyzický prostor reálného světa, ale může reprezentovat i svět virtuální. K interakcím dochází, jakmile se dva i více agentů dostane do dynamického prostorového vztahu. Tyto interakce mají vliv na budoucí chování agentů [2]. MMASS může být definován i jako soustava interagujících multiagentových systémů.

V dalším textu budeme uvažovat případ MMASS, kde nejnižší úroveň bude představovat inteligentní dopravní infrastrukturu tvořenou výhradně komunikujícími agenty, nad ní bude vrstva dopravních prostředků tvořená výhradně situovanými agenty a nejvýše bude stát vrstva agentů realizujících byznys procesy nad dopravními prostředky a dopravní infrastrukturou (obr. 3). Ta může být tvořena kombinací komunikujících i situovaných agentů. Prostor bude explicitně reprezentován pouze v rámci dvou nejnižších vrstev s tím, že vrstva dopravní infrastruktury bude současně představovat prostředí a prostor pro vrstvu prostřední.

## Propojení MASS a GIS

Tvorba komplexních modelů, které spojují části implementované v prostředí MASS s částmi implementovanými v prostředí GIS vyvolává celou řadu koncepčních i technických problémů. Pro lepší porozumění této problematice je vhodné si zavést určité systematické členění možných přístupů k jejímu řešení. Jedno z možných členění je navrženo i v [3]:

1. vztahy na základě identity,
2. vztahy kauzální,
3. vztahy časové,
4. vztahy topologické.

Ad 1, Vztahy na základě identity. Definování vztahu identity mezi agentem v MASS a geoprvkem nebo geoprvky v GIS umožňuje, aby GIS mohl ukládat geometrické a tematické vlastnosti geoprvků a aby MASS mohl reprezentovat chování agenta a asociovaného geoprvcu (geoprvků). Díky tomu se mohou:

- a) geoprvky asociované s agenty pohybovat a měnit a
- b) atributy uložené v GIS a asociované s agenty měnit.

Geoprvky asociované s agenty mohou být ukládané v GIS jako polygony, linie i body. Agent může být asociován s jediným geoprvkem (kardinalita 1:1) nebo s více geoprvkem (kardinalita 1:N). V daném modelu mohou existovat i geoprvky, které nejsou asociovány s žádným agentem a naopak. Možným příkladem vztahů na základě identity jsou automobily reprezentované agenty v MASS s definovanými pravidly pohybu, které mohou být mapovány v GIS jako body s atributy. Body se mohou pohybovat, jakmile se pohybují i vozidla a jejich atributy se mohou měnit ve shodě se změnami u vozidel (např. při změně množství paliva v nádrži). Tak jak se model vyvíjí, mohou agenty aktualizovat svoje vlastní polohy, tvary nebo atributy vyžádáním si změn v databázi GIS nebo na displeji. V MASS (tj. bez jakékoliv interakce s geoprvkem v GIS) může chování agenta interagovat (tj. ovlivnit nebo být ovlivněno) s jinými agenty, bez ohledu na to, zda mají asociované geoprvky. Pro některé typy prostorových interakcí může být výhodné využít GIS pro výpočet prostorových vztahů. Pro prezentování vztahů na základě identity je nezbytné softwarové mapování pro identifikaci ID geoprvcu/ů v databázi GIS asociovaných s každým agentem a naopak. MASS musí být schopen poslat zprávu GIS, která požaduje provedení změny v poloze nebo atributech geoprvků, které jsou zobrazeny na displeji nebo uloženy v databázi.

**Ad 2, Vztahy kauzální (příčinné).** V mnoha modelech mají agenty schopnost provádět akce, které ovlivňují geoprvky nebo jejich atributy, a to i za situace, kdy neexistuje žádný vztah na bázi identity mezi agentem a geoprvkem (geoprvky), který je jím ovlivňován (tzv. neagentové geoprvky). Agenty mohou provádět akce, jejichž výsledkem jsou změny polohy nebo atributů geoprvků, nebo mohou provádět akce, které mění hodnoty atributů v nějakém poli (např. v rastru). Aby bylo možné implementovat tento typ vztahu, v němž stav GIS ovlivňuje chování agentů a naopak chování agentů ovlivňuje stav GIS, musí mít agenty k dispozici informace z GIS. To může vyžadovat, aby byly agenty v MASS schopné dotazovat GIS na geoprvky (z nichž některé mohou být asociovány s jinými agenty) s danými polohovými nebo atributovými charakteristikami.

**Ad 3, Vztahy časové.** Protože MASS umožňují mnohem bohatější reprezentaci času a mají lepší mechanismy pro implementaci dynamických procesů a vztahů v různých časových měřítcích a škálách, měla by být jakákoliv koordinace časování událostí mezi MASS a GIS řízena společným časovým rámcem udržovaným MASS. Toto může být implementováno buďto přímým zasláním požadavků, aby GIS prováděl aktualizace v daných časových krocích (specifikovaných MASS) nebo komunikováním časových referencí (kroků) směrem ke GIS dle aktuálních potřeb. Nejjednoduššími případy jsou ty, kdy je dynamika systému plně reprezentována v MASS a GIS je primárně využíván jako databáze a grafický vizualizační nástroj. Tento případ je zvláště užitečný v situaci, kdy jsou všechny dynamické jevy synchronní. Pak mohou být obě komponenty (tj. MASS i GIS) aktualizovány najednou a změny mohou být šířeny k jiným agentům (a na displej) ve stejnou chvíli. Jsou-li aktualizace asynchronní, mohou vzniknout problémy spojené s rychlostí šíření změn v systému.

**Ad 4, Vztahy topologické.** Pohyb geoprvků, způsobený ať už interními procesy s nimi asociovaných agentů nebo procesy jiných agentů, může vyžadovat základní informace o fyzickém světě nebo o prostorových vztazích mezi geoprvkem. Rozhodnutí o tom, zda je konkrétní pohyb žádoucí nebo fyzicky možný, může vyžadovat informace o:

- a) topologických pravidlech specifikovaných pro sadu geoprvků ve vztahu buď k jiným geoprvkům nebo mezi nimi samými nebo,

- b) prostorových asociací mezi geoprvky tak, jak jsou určeny výpočty vzdáleností, nákladů na interakce nebo viditelnosti.

Protože GIS má k dispozici mnohem sofistikovanější reprezentace prostoru, topologie a prostorových vztahů, měla by být identifikace těchto interakcí provedena v GIS. Například pohyb vozidla na určité místo nemusí být možný, protože se tam již nachází například budova nebo jiné vozidlo, případně tam nevede žádná cesta apod.

Je zřejmé, že ne všechny modely využívají všechny výše zmíněné vztahy. V případě našeho modelu budeme brát v úvahu pouze první případ.

### Prostor, možné reprezentace prostoru v GIS

Geografické informační systémy standardně pracují s dvourozměrným prostorem. Ten může být v GIS reprezentován jako:

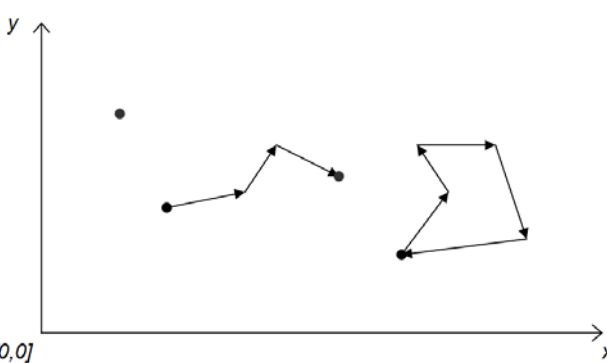
- metrický,
- topologický.

Metrický prostor používáme všude tam, kde potřebujeme znát absolutní polohu vyjádřenou souřadnicemi, tvar, velikost apod. Naproti tomu topologický prostor využíváme především tehdy, když potřebujeme vyjádřit (a analyzovat) vzájemné prostorové vztahy geoprvků. Ty zaznamenáváme pomocí topologického rovinného grafu. Uzly odpovídají bodovým geoprvkům, hrany liniovým geoprvkům a stěny plošným geoprvkům.

V případě metrického prostoru máme k dispozici dva způsoby jeho reprezentace:

- spojitý,
- diskrétní.

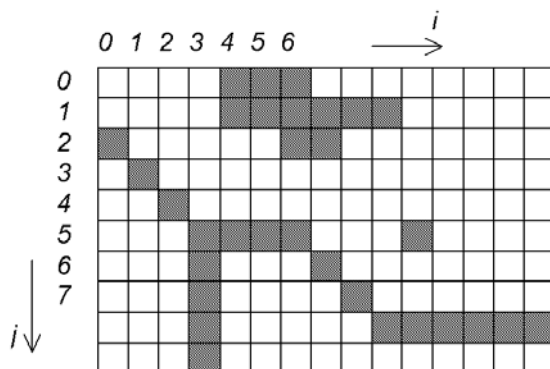
Pro **spojitou reprezentaci metrického prostoru** je typické, že polohy bodů vyjadřujeme v kartézských souřadnicích definovaných na  $R^2$ . Souřadnice se mohou měnit plynule a spojitě v celé zájmové oblasti.



Bodové geoprvky jsou zde reprezentovány body, liniové geoprvky otevřenými posloupnostmi orientovaných úseček (vektorů) a plošné geoprvky uzavřenými posloupnostmi linií, reprezentujícími hranice těchto geoprvků (obr. 4).

Obr. 4. Spojitá reprezentace metrického 2D prostoru.  
Fig. 4. Continuous representation of the metric 2D space.

Pro **diskrétní reprezentaci metrického prostoru** je typické, že polohu bodů vyjadřujeme pomocí indexů (v podstatě se jedná o kartézské souřadnice definované na  $Z^2$ ). Souřadnice se mění nespojitě, skokem. Každý „bod“ prostoru (resp. každá elementární jednotka prostoru) je reprezentován čtvercovou ploškou jednotkové velikosti, pro kterou máme definovaný rozměr v reálném světě (např. 100x100 m) a které říkáme **buňka**. Bodové geoprvky jsou reprezentovány jednotlivými buňkami, liniové geoprvky posloupnostmi buněk (souvisejících alespoň rohy buněk) a plošné geoprvky skupinami buněk (souvisejících zpravidla svými hranami; obr. 5).



Obr. 5. Diskrétní reprezentace metrického 2D prostoru [10].  
Fig. 5. Discrete representation of the metric 2D space [10].



### Návrh koncepce prostoru v MASS

Pokud chceme reprezentovat prostor v prostředí MASS, musíme najít takovou reprezentaci, která vyhoví požadavkům definice MASS na straně jedné a na straně druhé bude kompatibilní s reprezentací prostoru v GIS, tak aby bylo možné udržet prostorovou vazbu mezi MASS a GIS, tj. aby bylo možné vyjádřit polohu agenta resp. jemu odpovídajícího geoprveku v MASS i GIS při zachování konzistence.

Zrekapitulujme si požadavky na reprezentaci prostoru v MASS:

- ""I. ""r prostor je definovaný/reprezentovaný konečnou množinou míst,
- ""II. ""nažďý agent smí obsadit právě jedno místo,
- ""III. ""na jednom místě smí být nejvýše jeden agent.

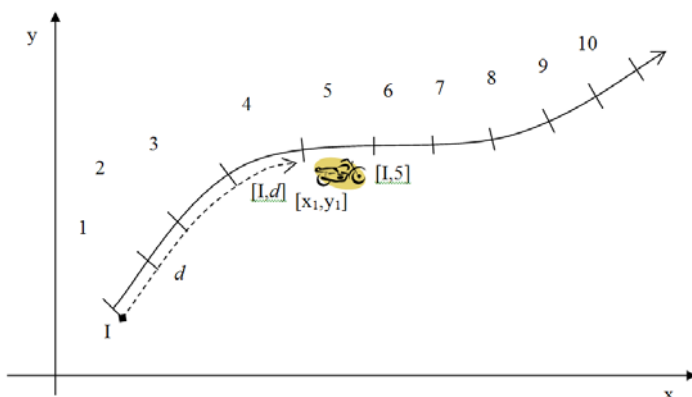
Námi hledaná reprezentace prostoru v MASS musí splňovat bezesbytku všechny tři podmínky (a z toho vyplývá, že reprezentace prostoru musí být diskrétní – viz dále).

Z hlediska vazby na GIS však přibývají ještě další podmínky:

- ""IV. ""nažďé místo v MASS musí být jednoznačně přiřaditelné poloze v metrickém prostoru v GIS,
- ""V. ""nažďé místo v MASS musí být jednoznačně přiřaditelné poloze v topologickém prostoru v GIS,
- ""VI. ""dodový geoprvek z GIS je v prostředí MASS reprezentován jediným místem,
- ""VII. ""liniový geoprvek z GIS je v prostředí MASS reprezentován posloupností bezprostředně sousedících míst,
- ""VIII. ""r lošný geoprvek z GIS je v prostředí MASS reprezentován skupinou bezprostředně sousedících míst.

Při reprezentaci prostoru v MASS nás teoreticky zajímají jen topologické vztahy míst. Jejich rozměry vyjádřené v metrických jednotkách nemusí být zobrazeny implicitně, mohou být zaznamenány explicitně

například v atributech místa nebo mohou být dány konstantou platnou pro celou reprezentovanou oblast.



Obr. 6. Úsek jednosměrné silnice s jedním jízdním pruhem, rozdělený podélně na jednotlivé části, se zavedeným jednorozměrným diskrétním souřadnicovým systémem.  
Fig. 6. Section of an one-way road with one lane, lengthways divided into parts, with one dimensional discrete coordinate system.

### Reprezentace silnice v GIS a MASS

Silnice je v GIS obvykle reprezentována jako liniový geoprvek s definovaným prostorovým průběhem, délkou a počtem jízdních pruhů. V rámci jednoho úseku komunikace budeme předpokládat konstantní počet jízdních pruhů a úsek bude zpravidla vymezen dvěma křižovatkami.

Podívejme se na některé nejjednodušší příklady:

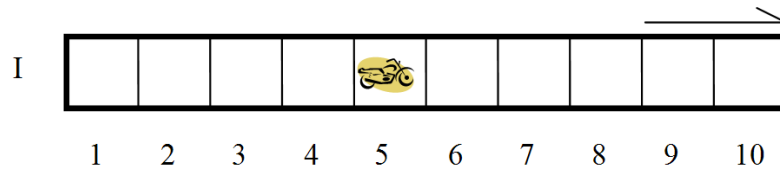
1. úsek jednosměrné komunikace s jedním jízdním pruhem,
2. úsek jednosměrné komunikace s více jízdními pruhy,
3. jednoduchá křižovatka s jedním jízdním pruhem v každém směru,
4. jednoduchá křižovatka s třemi příjezdovými a dvěma odjezdovými jízdními pruhy v každém směru.

Složitější případy budeme uvažovat až později, v dalších fázích vývoje modelu inteligentní dopravní infrastruktury.

**Ad 1, Úsek jednosměrné komunikace s jedním jízdním pruhem.** Tento úsek je v prostředí GIS reprezentován jako jediný liniový geoprvek. Polohu vozidla na úseku komunikace můžeme vyjádřit třemi způsoby (obr. 6):

1. absolutními souřadnicemi v globálním souřadnicovém systému, v němž je definován průběh geoprveku, tj. dvojicí souřadnic  $[x,y]$ ,

2. v relativním lokálním souřadnicovém systému, kdy poloha podél geopravku je vyjádřena vzdáleností měřenou podél geopravku od počátku geopravku  $[I, d]$ .
3. v lokálním diskretním souřadnicovém systému, kdy poloha podél geopravku je vyjádřena dvojicí indexů, počítaných podél a napříč geopravku, a to od jeho počátku (index vyjádřený arabskou číslicí) a zprava doleva ve směru jízdy (index vyjádřený římskou číslicí), tj. např.  $[I, 5]$ .



Obr. 7 Agent reprezentující úsek jednosměrné silnice s jedním jízdním pruhem, rozdělený podélně na jednotlivá místa, se zavedeným jednorozměrným diskretním souřadnicovým systémem. Tento agent reprezentuje (vytváří) část prostředí  $E$  o úroveň výše používaných agentů-vozidel; každé místo smí být obsazeno nejvýše jedním agentem-vozdílem. Mezi bezprostředně zasebou jedoucími vozidly musí být určitý počet volných míst v závislosti na rychlosti jejich pohybu.

Fig. 7 Agent representing section of an one-way road with one lane, lengthways divided into locations, with one dimensional coordinate system. This agent represents part of the environment  $E$  used by agents – cars from higher level; every location can be occupied by at most one agent – care. There should be some free locations between consecutive cars in relation to their speed.

První způsob je z mnoha důvodů problematicky použitelný, proto se v dalším textu zaměříme pouze na druhý a třetí způsob.

Z bodu 2 vyplývá, že například vozidlo jedoucí po komunikaci může plynule měnit svoji polohu, tj. může nabývat teoreticky neomezené množství poloh podél komunikace. Tato skutečnost je však v příkrém rozporu hned s prvním požadavkem na reprezentaci prostoru v MASS, tj. že míst prostoru musí být konečný počet. To znamená, že ani druhý způsob určování polohy podél úseku silnice není vhodný.

Jediné řešení, které zde přichází v úvahu, je proto zavedení diskretního souřadnicového systému, založeného na konečné množině míst rozložených podél úseku silnice, resp i napříč. Zavést ho je možné například tak, že rozdělíme komunikaci podélně na konečný počet částí a každou část v MASS reprezentujeme jediným místem (obr. 7). Otázkou však je, jak velké by měly být tyto části. Vyjdeme nejprve z předpokladu, že po komunikaci se budou pohybovat pouze osobní vozidla. Jejich délka se pohybuje běžně pod hranicí 5 metrů. Abychom tedy byli schopni rozlišit polohy jednotlivých osobních aut, stačí nám rozdělit úsek komunikace na části délky např. 5 m. Každou část úseku komunikace bude v MASS reprezentovat jedno místo. Osobní auta se budou při jízdě po komunikaci postupně přesouvat z místa na místo po pětimetových krocích. Jakmile se v rámci simulace přesune vozidlo z jednoho místa na druhé, není problém sdělit GIS pořadové číslo místa počítané podél úseku komunikace a GIS může vykreslit polohu vozidla na mapě (obr. 7 a 6).

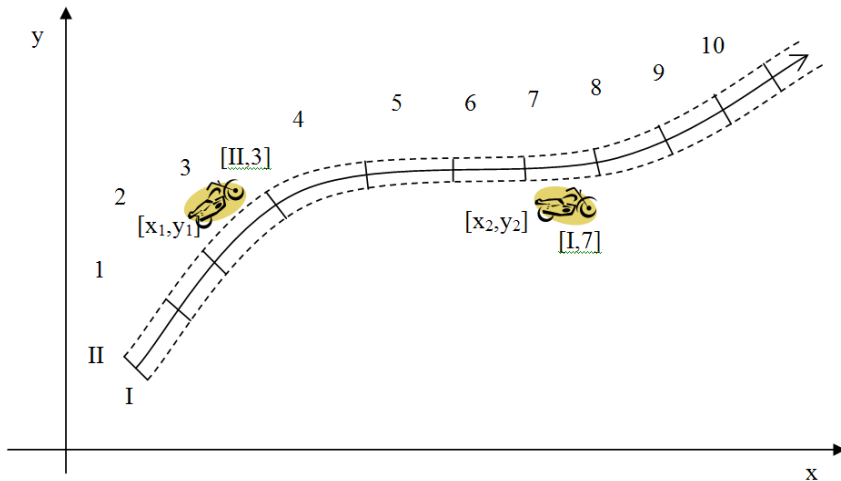
*Důležitá poznámka: v MASS nás bude zajímat prakticky jen topologie míst a agentů. Metrické rozměry, budeme-li je potřebovat, budou zaznamenávány jako atributy míst.*

Osobní auta by tedy byla vyřešena. Problém však nastane, jakmile na úsek vjede rozměrnější auto, například autobus nebo tahač s návěsem. Jejich délka je určitě větší než 5 m a to znamená, že by je reprezentující agenty měly vždy obsazovat najenou několik míst, což je ale v rozporu se zákony univerza. Situaci lze řešit v podstatě dvěma způsoby:

1. dynamickou reprezentací prostoru,
2. použitím nástrojů MASS, jako je vysílání pole, které by hlásilo ostatním agentům nedostupnost patřičného počtu míst.

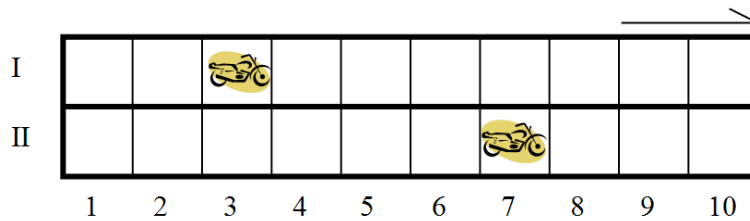
V prvním případě by se nad statickou sítí míst generovala dynamická síť míst, reagující na skutečné rozměry vozidel a dynamicky spojující potřebný počet sousedních míst do místa jediného, kterému by ale v GIS odpovídal patřičný počet částí úseku komunikace. Druhý způsob se však jeví jako vhodnější, a to i z hlediska přepravy např. nadrozměrných nákladů, které mohou vykazovat nadlimitní rozměry nejen v podélném, ale i v příčném směru.

Vedle skutečného rozměru dopravního prostředku je nezbytné vyřešit i problém s minimálními bezpečnými odstupy vozidel v závislosti na rychlosti jejich jízdy. I to by se dalo řešit oběma způsoby, z nichž druhý se i v tomto případě jeví jako vhodnější.



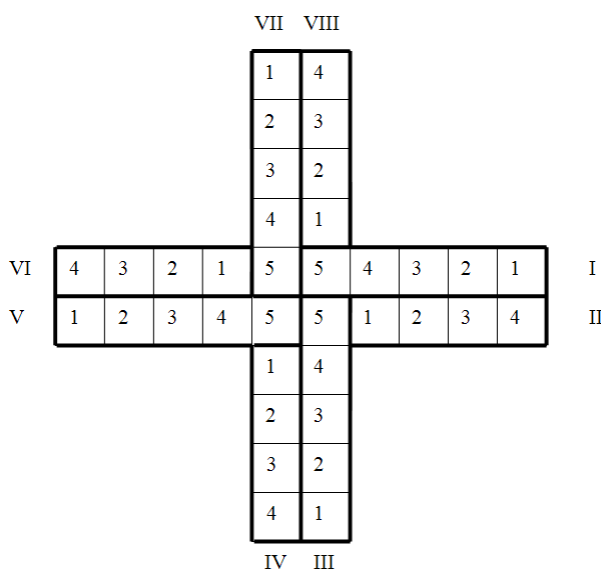
Obr. 8. Úsek jednosměrné silnice se dvěma jízdními pruhy, rozdělenými podélně na jednotlivé části; paralelně s linií reprezentující silnici jsou vedeny dvě pomocné linie (vyznačeny tečkovaně), které se používají pro vykreslování polohy vozidel v jednotlivých jízdních pružích.  
 Fig. 8. Section of an one-way road with two lanes, lengthways divided into parts; parallel to line representing road are scatched in parallel to line representing road. They are used for representation of cars positions in every lane.

**Ad 2, Úsek jednosměrné komunikace s více jízdními pruhy.** V tomto případě je nezbytné zavést indexování nejen podél, ale i napříč komunikace (obr. 8 a 9). Příčný index přitom uvádí číslo jízdního pruhu (římskými číslicemi). Podélný index se počítá podél osy komunikace, což znamená, že ve všech jízdních pružích je podél úseku komunikace definován stejný počet částí. Části na vnější straně zatáčky jsou proto ve skutečnosti (v metrickém prostoru) o něco delší než části nacházející se na vnitřní straně. Vzniklé rozdíly jsou však vzhledem k účelu modelu zanedbatelné. Navíc silnice se klikatí na obě strany, takže jednotlivé odchylky se nakonec do značné míry vyruší.



Obr. 9. Agent reprezentující úsek silnice. Tento agent reprezentuje (vytváří) část prostředí E o úroveň výše používaných agentů-vozidel; každé místo smí být obsazeno nejvýše jedním agentem-vozdílem. Mezi sousedními vozidly v podélném směru musí být určitý počet volných míst v závislosti na rychlosti jejich pohybu.

Fig. 9. Agent representing section of road. This agent represents (creates) part of the environment for agents-cars from higher level; every location can be occupied by at most one agent-car. There should be some number of free locations between two subsequent cars in one lane dependent on the speed of their movement.



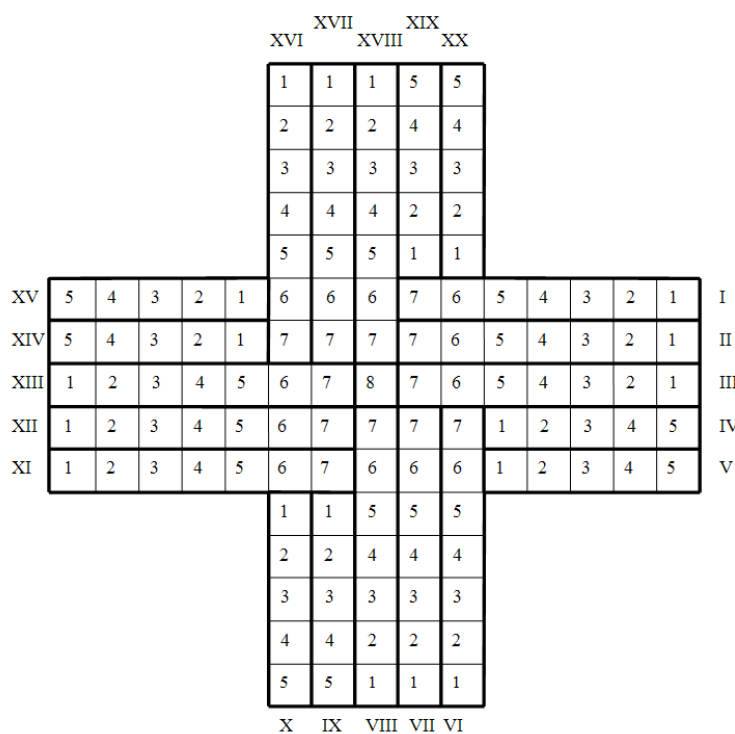
**Ad 3, Jednoduchá křižovatka s jedním jízdním pruhem v každém směru.** Na rozdíl od úseků silnic musíme v případě křižovatek řešit obousměrný provoz. Křižovatku můžeme modelovat například způsobem, ukázaným na obr. 10.

Obr. 10. Agent reprezentující jednoduchou křižovatku.  
 Fig. 10. Agent representing simple crossroad.

Na příjezdovém úseku komunikace ke křižovatce je vhodné definovat několik míst, která budou sloužit k řazení vozidel při dávání přednosti v jízdě. Délka úseku bude odpovídat skutečné délce řazení před

křižovatkou. Naproti tomu na odjezdových úsecích komunikace stačí definovat jen jedno místo, tak aby bylo možné jednoznačně popsat průjezd vozidla křižovatkou při odbočování. Na křižovatce si zavedeme následující systém indexování (obr. 10): Jednotlivé jízdní pruhy očíslováme (viz římské číslice) a podél jízdních pruhů zavedeme číslování míst ve směru jízdy. V případě příjezdových pruhů první místo leží na začátku jízdního pruhu, poslední leží v křižovatce a končí v místě styku s příjezdovým jízdním pruhem přicházejícím zprava. V případě odjezdových pruhů první místo leží bezprostředně za příjezdovým pruhem, na který odjezdový pruh navazuje. Délku odjezdového pruhu je z praktických důvodů vhodné stanovit jako rovnou délce souběžného příjezdového pruhu. Pro průjezd vozidla křižovatkou jsou definovány posloupnosti míst, kterými musí vozidlo projet. Tyto posloupnosti míst jsou využívány i při šíření a vyhodnocování polí (při asynchronní komunikaci mezi agenty-vozidly). Například při přímém průjezdu křižovatkou po příjezdovém jízdním pruhu I je tato posloupnost dána takto: I.1, I.2, I.3, I.4, I.5, VII.5 a VI.1. Při odbočování ve směru III→II: III.1, III.2, III.3, III.4, III.5 a II.1. Toto indexování umožňuje zachytit i některé prostorové vztahy, které bude nezbytné vzít v úvahu při modelování průjezdu vozidla křižovatkou se zohledněním jiných vozidel a se zohledněním definovaných předností v jždě.

**Ad 4, Jednoduchá křižovatka s třemi příjezdovými a dvěma odjezdovými jízdními pruhy.** Tuto situaci máme zachycenou na obr. 11, a to včetně návrhu systému indexace. I zde je průjezd křižovatkou definován posloupností míst, kterými musí vozidlo projet. A platí zde i vše ostatní, řečené v případě jednoduché křižovatky. Jedinou výjimkou je místo nacházející se v samotném středu křižovatky, které znamená vznik určité nejednoznačnosti: teoreticky nepatří k žádnému jízdnímu pruhu (nebo naopak ke čtyřem jízdním pruhům současně). Řešením může být přiřazení tohoto místa prvnímu jízdnímu pruhu,



k němuž může přináležet (v tomto případě jízdnímu pruhu číslo III, se souřadnicí III.8). Na druhou stranu, při vhodném návrhu průjezdů křižovatkou se tímto místem nikdy nebude žádné auto pohybovat, takže i jeho případná samostatná existence není na závadu.

Druhou možností je přiřazení souřadnice XXIII.1. S ohledem na budoucí testování předností v jždě při odbočování se tento způsob jeví jako perspektivnější. Tímto místem by teoreticky nemělo projíždět žádné auto.

Obr. 11. Agent reprezentující víceproudovou křižovatku.  
Fig. 11. Agent representing more complex crossroad.

### MASS reprezentující inteligentní dopravní infrastrukturu

Z výše uvedených stavebních kamenů lze poskládat jednoduchý MASS reprezentující inteligentní dopravní infrastrukturu. Vzhledem k tomu, že poloha jednotlivých prvků inteligentní dopravní infrastruktury v prostoru je prakticky neměnná a stejný závěr se týká i jejich topologie, můžeme v tomto případě vytvořit model na bázi výhradně komunikujících situovaných agentů. Tento model bude v konečném důsledku reprezentovat nejnižší úroveň našeho budoucího vícevrstvého MASS, bude vytvářet prostředí pro pohyblivé agenty-vozidla, představující vyšší úroveň našeho MMASS.

Při sestavování našeho MASS musíme vyřešit jeden problém: mapování jízdních pruhů mezi sousedními úseky silnic, případně mezi úseky silnic a křižovatkami. Toto mapování je potřebné jednak pro jednoznačné určení pohybu agentů-vozidel po dopravní infrastruktuře a jednak pro potřeby šíření polí, generovaných pohyblivými agenty, dopravní infrastruktuřou.

Nejjednodušším řešením tohoto problému je zavedení tabulek, zajišťujících tuto návaznost. Vytváření zcela obecných pravidel asi nebude jednoduché, ale pro nejběžnější situace bude možné tyto tabulky generovat automaticky. Vzhledem k tomu, že se i zde jedná o ryze statické záležitosti, není nezbytné vyvíjet

jakákoliv dynamická řešení. Příklad tabulky, která by mohla řešit napojení agenta z obr. 9 na agenta z obr. 10 je uveden v tab. 1.

Tab. 1. Tabulka zprostředkovávající mapování mezi jízdními pruhy jednotlivých částí dopravní infrastruktury. Z tabulky vyplývá, že jízdní pruh XIII křižovatky nemá svůj protějšek na úseku silnice, je definován jen v rámci řazení před křižovatkou.

Tab. 1. Table describing mapping between lanes of two consequent parts of transport infrastructure. One can see that lane number XIII of crossroad has no predecessor in road section. This lane is defined in crossroad only.

Úsek silnice s dvěma jízdními pruhy	Křižovatka s více jízdními pruhy
Číslo jízdního pruhu	Číslo jízdního pruhu
I	XI
II	XII
--	XIII

## Diskuse

Navržená reprezentace prostoru ve vícevrstevném MASS musí dodržovat určitá pravidla:

1. Počet jízdních pruhů v rámci úseku komunikace musí být konstantní; pokud bychom chtěli toto pravidlo obejít, museli bychom po celé délce úseku definovat maximální počet jízdních pruhů a ve zúžených partiích explicitně zakázat místa ležící „mimo vozovku“.
2. Na styku mezi agenty-úseky vozovek musí být definováno mapování mezi jízdními pruhy.
3. Agenty se smí stýkat (navazovat na sebe) jen v podélném směru.
4. Bude nezbytné definovat celou řadu typů agentů, které budou reprezentovat úseky silnic s různým počtem jízdních pruhů, různé typy křižovatek, mimoúrovňová křížení apod.
5. Pro každý typ agenta bude nezbytné definovat jeho inteligenci.

Opatření navržené jako variantní u prvního pravidla by mohlo řešit i vznik dočasných zúžení komunikací.

Nevýhodou navrhovaného řešení reprezentace prostoru v MASS je, že nebere v úvahu některé metrické vlastnosti modelovaných prvků dopravní infrastruktury, jako je například poloměr oblouku zatáčky, aby bylo možné například zjistit, zda auto při dané rychlosti jízdy neopustí vozovku nebo alespoň jízdní pruh. V zásadě je ale možné tyto údaje ukládat jako atributy míst při generování agentů, reprezentujících jednotlivé prvky dopravní infrastruktury, případně je zjišťovat dle potřeby dotazem do GIS.

Nalezení globální reprezentace prostoru v MASS modelujících inteligentní dopravní infrastrukturu asi není reálné, pokud bychom nešli cestou SWARMu [12] a jiných obdobných systémů, které pracují s dvourozměrným rastrem, reprezentujícím prostor. Hlavní nevýhodou této reprezentace prostoru je nemožnost zachovat metrické vztahy mezi sítí pozemních komunikací reprezentovaných v GIS a MASS, tj. paralelu mezi místy v MASS a jejich rozměry a polohou v GIS. Při generování posloupnosti míst, reprezentujících linii, jsme omezeni právě rastrovou reprezentací prostoru. Místa (buňky rastru) reprezentují úseky silnice různé délky, jejich poloha je vyjádřena nikoliv podélným indexem, nýbrž diskretními souřadnicemi v rovině, a navíc sousední místa se mohou stýkat i jen rohy buněk. Zřejmé jsou i problémy se silnicemi s více jízdními pruhy a s křižovatkami. V praxi by to znamenalo definování rastru s velice malým rozměrem buňky (např. 1x1 m), což by znamenalo velké nároky na paměť i výpočetní výkon počítače. Například oblast Ostravy velikosti cca 20x30 km znamená vytvoření rastru s 600 miliony buněk. Problém je totiž v tom, že rastr musí být definovaný v celé oblasti, tedy i mimo dopravní infrastrukturu (a tyto plochy mají na celkové ploše rastru mnohem větší podíl).

## Závěr

V tomto článku je nejprve stručně probrána problematika multiagentových systémů, a to především s ohledem na ty vlastnosti, které souvisí s prostorem a přímo nebo nepřímo ovlivňují jeho reprezentaci v MASS. Dále jsou v článku stručně nastíněny možné způsoby reprezentace prostoru v GIS. Třetí část článku je věnována rozboru problematiky reprezentace nejjednodušších stavebních prvků silniční sítě v prostředí GIS i v prostředí MASS, tak aby byla zachována korespondence mezi oběma systémy. I přes svoji jednoduchost by navržené řešení mělo umožnit popis a modelování všech prvků inteligentní dopravní infrastruktury. Tento model bude tvořit nejnižší úroveň M-MASS, nad ním bude pracovat prostřední vrstva pohyblivých agentů-vozidel a nejdříve pak strategická vrstva zaměřená na modelování byznys procesů spojených s přepravou nákladů pomocí vozidel po inteligentní dopravní infrastruktuře.

*Poděkování: Tento článek je výsledkem výzkumných aktivit realizovaných v rámci řešení výzkumného úkolu „Logika a umělá inteligence pro multiagentní systémy“ č. T101940420, financovaného v rámci Národního programu orientovaného výzkumu, podprogram Informační společnost, prostřednictvím GA AV ČR.*

#### Literatura – References

- [1] Agent Definition. [http://www.engin.umd.umich.edu/~pslomka/agent\\_definition.htm](http://www.engin.umd.umich.edu/~pslomka/agent_definition.htm). (23. 7. 2004).
- [2] Bandini, S., Manzoni, S., Simone, C.: Dealing with Space in Multi-Agent Systems: a model for Situated MAS. AAMAS'02, Bologna, 2002. Str. 1183-1190.
- [3] Brown, D. G. et al.: Spatial Process and Data Models: Towards Integration of Agent-Based Models and GIS. *Rukopis*. 2004. 41 str.
- [4] Ferber, J.: Multi-Agent Systems. An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison Wesley Longman Ltd., New York, 1999. 509 str.
- [5] Frank, A. U., Bittner, S., Raubal, M.: Spatial and Cognitive Simulation with Multi-agent Systems. *COSIT, Vienna, 2001*.
- [6] Gat, E.: Three-Layer Architectures. In: Kortenkamp, D. et. al. (eds.): Artificial Intelligence and Mobile Robots. *AAAI Press, 1998*.
- [7] Grimshaw, D.: CPS720 Artificial Intelligence Topics with Agents. Definition of Agent. <http://www.ryerson.ca/~dgrimsha/courses/cps720/agentDef.html>. (14. 10. 2004).
- [8] Liou, J.: Object Activity Model Approach to Geoinformation Process. Chungbuk National University, 1999. 12 str.
- [9] Mitášová, H., Mitáš, L.: Unit 130 – Process Modelling and Simulation. NCGIS Core Curriculum in Geographic Information Science. 1998. <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/ul130/ul130html>. (23.7.2004).
- [10] Rapant, P.: Geoinformatika a geoinformační technologie. *VŠB-TU Ostrava, 2004. (rukopis)*.
- [11] Russell, S., Norvig, P.: Artificial Intelligence – A Modern Approach. Prentice Hill International, Inc. 1995.
- [12] SWARM main page. Wikipedia, 2006. [http://www.swarm.org/wiki/Swarm\\_main\\_page](http://www.swarm.org/wiki/Swarm_main_page). (18.10.2006).
- [13] Merriam-Webster Online Dictionary. Merriam-Webster, Inc., 2004. <http://www.merriam-webster.com>. (23.4.2004).
- [14] Weyns, D., Holvoet, T.: Model for Simultaneous Actions in Situated Multi-Agent Systems. In Schillo, M. et al. (eds.): MATES 2003. Springer. Verlag Berlin Heidelberg, 2003. Str. 105-118.
- [15] Wooldridge, M.: Intelligent Agents. In: G. Weiss (ed.), Multiagent systems – A modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. *MIT Press., Cambridge, MA, 1999. Str. 27-77*.
- [16] Wooldridge, M.: An Introduction to MultiAgent Systems. *John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2002. 348 str.*