

LOKALIZACE POLOHY KOLEJOVÝCH VOZIDEL V RÁMCI MODELU ŽELEZNIČNÍ SÍTĚ S VYUŽITÍM AGENTOVĚ ORIENTOVANÉ SIMULACE

LOCALIZATION THE POSITION OF ROLLING STOCK WITHIN THE MODEL OF RAILWAY NETWORK BY USING AGENT-BASED SIMULATION

Jan Fikejz¹, Emil Řezanina²

Anotace: Tento článek se zabývá návrhem agentově orientovaného simulačního modelu pomocí architektury ABAsim a jeho následném využitím v rámci simulace lokalizace kolejových vozidel v modelu železniční sítě. Hlavní pozornost je věnována popisu simulačního modelu a všech zúčastněných agentů. Chování jednotlivých agentů modelu je popsáno pomocí diskrétně událostního jazyka, barvených Petriho sítí.

Klíčová slova: modely železniční sítě, pozice kolejového vozidla, simulace provozu, agentově orientovaná simulace

Summary: This article deals with a design of agent-based simulation model using ABAsim architecture and its subsequent utilization in simulation of rolling stock localization within railway network model. The main attention is focused on description of simulation model and all agents involved. The behavior of individual agents is described by means of discrete event language, Coloured Petri Nets.

Key words: Railway infrastructure models, train positioning, railway traffic simulation. Agent-base simulation

ÚVOD

Lokalizace kolejových vozidel je stále diskutovaným tématem, dotýkajícím se řady subjektů. Problém lokalizace kolejových vozidel bychom mohli rozdělit do dvou hlavních oblastí zájmu. Lokalizace pro potřebu (i) zabezpečovací techniky a lokalizace pro potřebu (ii) informačních a telematických systémů. V prvním případě je kladen velký důraz na spolehlivost a bezpečnost, avšak tyto systémy bývají často spjaty s vyššími náklady na realizaci, jelikož mnohdy vyžadují doplnění železniční infrastruktury o další komunikační či identifikační prvky/zařízení.

V druhém případě lze akceptovat určitou mírou nepřesnosti či nespolehlivosti, což na druhou stranu často přináší výrazně levnější realizaci těchto řešení. V dnešní době se pak

¹ Ing. Jan Fikejz, Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra softwarových technologií., Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 466 037 002, Fax: +420 466 036 792,
E-mail: Jan.Fikejz@upce.cz

² Ing. Emil Řezanina, Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra informačních technologií., Studentská 95, 532 10 Pardubice, Tel.: +420 466 037 130, Fax: +420 466 036 792,
E-mail: Emil.Rezanina@upce.cz

nejčastěji lokalizace kolejových vozidel spojuje s využitím satelitního navigačního systému GNSS (Global Navigation Satellite System). Tento systém lze například využít pro řešení lokalizace kolejových vozidel, zejména v rámci jednokolejných regionálních tratí České republiky, které oproti hlavním koridorům nedisponují tak vysokou mírou technické vybavenosti.

Využití systému GNSS pro lokalizaci kolejových vozidel (KV) je vhodné zejména v rámci jednokolejných regionálních tratí, které nedisponují moderními systémy typu ETCS (6)(10). Na regionálních tratích často můžeme jen evidovat, že vlak odjel/přijel z/do stanice, avšak na širé trati je lokalizace kolejového vozidla bez doplnění infrastruktury identifikačními elementy výrazně složitější. Jak již bylo dříve uvedeno, lokalizace pomocí GNSS je zatížena vždy chybou pramenící z charakteru satelitní navigace. Přesto lze tento typ lokalizace s výhodou využívat, například v rámci doplňkové podpory dispečerského řízení či v různých informačních systémech pracující s polohou KV. Jedním ze základních způsobů lokalizace kolejového vozidla je možnost využití komunikačních terminálů se systémem GNSS, kterými jsou vybraná KV osazena (4). V České republice jsou současné době vybraná KV osazena komunikačními terminály:

- Telerail TLR-ZJ (výrobce Unicontrols, a.s.),
- Radiostanice VS67 (výrobce T-CZ, a.s.).

Tyto dálkově konfigurovatelné komunikační terminály periodicky odesílají definované zprávy, jejichž součástí je i informace o poloze KV. Datové zprávy se pomocí UDP protokolu následně přenáší do řídicího centra. K přenosu dat je primárně využívána přenosová síť GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railway) a v případě její nedostupnosti se data přenáší pomocí klasické sítě GSM

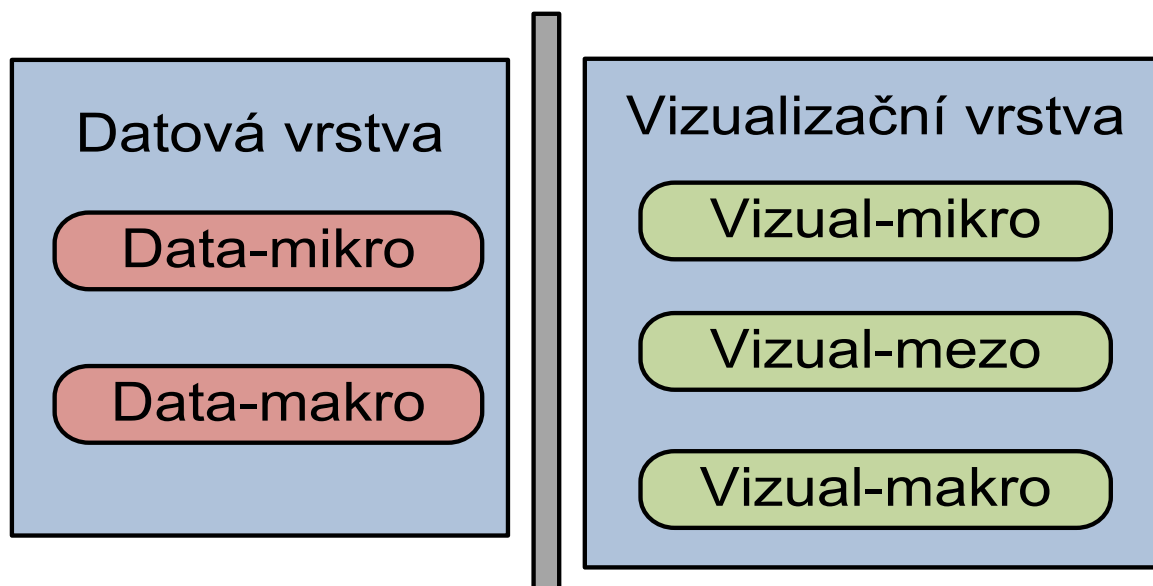
1. MODEL ŽELEZNIČNÍ SÍTĚ

Jedním z klíčových problémů v oblasti lokalizace KV je, jak identifikovat polohu kolejového vozidla vzhledem k infrastruktuře železniční sítě (5). Experimentálně bylo zjištěno, že pro návrh modelu železniční sítě lze vyjít z dat popisujících staničení (hektometrovníků), kde každé staničení, mimo jiné, disponuje i koordinátou GPS. Tato data nepopisují přesně kompletní infrastrukturu železniční sítě (především ve stanicích), nicméně pro návrh modelu železniční sítě lze tato data využít (2). Dále na základě analýzy poskytnutých dat ze SŽDC-TUDC bylo vyhodnoceno, že pro návrh reprezentace železniční sítě postačují čtyři následující tabulky dat:

- tabulka hektometrovníků,
- tabulka supertras,
- tabulka železničních stanic a
- tabulka definičních nadúseků.

přičemž klíčovým pojítkem mezi jednotlivými tabulkami je vždy TUDU (traťový definiční úsek).

Pomocí navržených algoritmů (3) bylo možné sestavit model infrastruktury železniční sítě (ŽS) odrážející datovou strukturu neorientovaný graf a to ve dvou datových vrstvách (mikro a makro vrstva) a třech vizualizačních vrstvách (mikro/mezo/makro vrstvy). Výsledek navrhnutého modelu železniční sítě je uveden na obrázku 1.



Zdroj: Autoři

Obr. 1 - Model infrastruktury železniční sítě

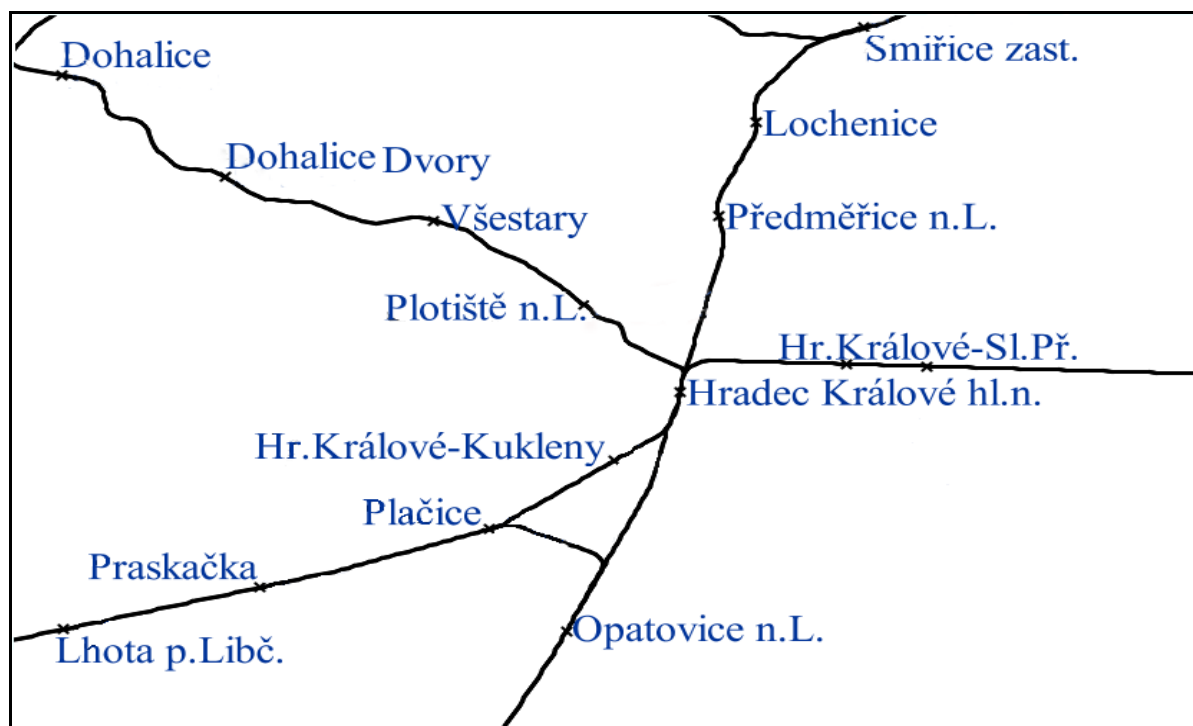
Datová struktura neorientovaný graf byla implementována jako tabulka-tabulka přímo v databázi ORACLE s nadstavbou Spatial (9). Pro práci s prostorovými daty databáze ORACLE definuje speciální objektový datový typ *SDO_GEOMETRY*, který umožňuje uchovávat řadu prostorových informací a geometrických typů, jako jsou například různé body, oblouky, liniové řetězce či polygony.

Pro vizualizaci navrženého modelu infrastruktury železniční sítě byl použit vizualizační nástroj MapViewer (11) vyvinutý v jazyce Java. MapViewer je J2EE služba pro vykreslování mapových podkladů vycházející z prostorových dat (například objektový datový typ *SDO_GEOMETRY*) spravovaných pomocí ORACLE Spatial. Pomocí této technologie lze zakládat škálovatelné mapové vrstvy s různou podrobností zobrazovaných informací (5). Ilustrativní zobrazení segmentu modelu ŽS na úrovni mezovrstvy je zobrazena na obrázku 2.

Nad prostorovými objekty databáze ORACLE s nadstavbou Spatial (11) lze využít různé operátory a funkce. Jedním z nich je operátor *SDO_NN* (Near Neighbor), který umožňuje vyhledání nejbližší geometrie (tzv. souseda), v našem případě nejbližší vrchol, respektive hranu neorientovaného grafu. Pokud tedy disponujeme GPS informací o aktuální pozici KV, lze uplatnit tento operátor pro nalezení nejbližšího vrcholu/hrany a následně tak například provést vizualizaci polohy do mapového podkladu, vybudovaného pomocí technologie MapViewer. Mimo lokalizace KV lze však získat i celou řadu dalších informací, které se k poloze KV a infrastrukturu železniční sítě úzce vztahují. Zejména jde o:

- TUDU na němž se KV nachází,
- kilometrickou pozici dle staničení,

- výskyt vlaku v obvodu stanice,
- směr pohybu kolejového vozidla pomocí azimutu (z/do které stanice se pohybuje),
- vzdálenost do nejbližší stanice,
- název a číslo trati dle občanského jízdního řádu (OJŘ),
- relevantnost aktuální GPS pozice.



Zdroj: Autoři

Obr. 2 - Zobrazení mezo vrstvy modelu železniční sítě

2. ARCHITEKTURA ABASIM

Architektura ABAsim (Agent-Based Architecture of simulation models) je agentově orientovaná simulační architektura vyvinutá na Fakultě řízení a informatiky Žilinské univerzity v Žilině, která slouží k tvorbě flexibilních simulačních modelů složitých obslužných systémů a zároveň je plně využitelná také pro modelování komplexních adaptivních systémů, které není možné zařadit mezi obslužné systémy. ABAsim je tedy možné považovat za plnohodnotnou agentově-orientovanou architekturu pro modelování složitých systémů (1).

ABAsim architektura se skládá z autonomních agentů. Paradigma agentů pochází z oblasti umělé inteligence a agenta můžeme podle toho chápat jako zapouzdřený počítačový systém, který je vložen do nějakého okolí, ve kterém pružně a autonomně vykonává svoji činnost za účelem plnění určitého cíle. Hlavní vlastnosti agenta jsou:

- *autonomnost* – agent dokáže pracovat samostatně bez vnějších intervencí, zcela řídit svoje výkony a kontrolovat svůj vnitřní stav,
- *společenské chování* – schopnost komunikace s jinými agenty (resp. s člověkem) pomocí *komunikačního* mechanismu/jazyka,

- *reaktivnost* – dovednost pružného reagování na podněty z okolí agenta a
- *iniciativnost* – agent je schopen cíleného chování vyvíjením vlastní iniciativy (podpora schopností učení se).

Velkou výhodou agentově orientované architektury je vysoký stupeň decentralizace a poměrně vysoká míra životaschopnosti jednotlivých agentů, což vyplývá z jejich autonomnosti. Agenti se jeví jako dobří kandidáti na realizaci autonomních řídicích jednotek pro tvorbu komplexních simulačních modelů (8).

V architektuře ABAsim rozlišujeme dva typy agentů tzv. řídicí agenty a dynamické agenty. Jednotliví agenti se v zásadě neliší, odlišnosti spočívají hlavně v následujících věcech:

- způsobu jejich organizaci – pevné versus dynamické vazby,
- časové existenci – permanentnost versus dočasnost a
- typy prvků, které obvykle modelují – logické versus fyzické prvky (1).

Schopnosti agenta jsou rozděleny do několika skupin a každá takováto schopnost je implementována jako samostatný interní komponent. Díky tomu lze implementovat vícero alternativních verzí jedné komponenty, ze kterých si uživatel vybere jednu vhodnou pro sestavení scénáře simulačního experimentu.

V architektuře ABAsim je agent složený z několika skupin interních komponentů, které zabezpečují vykování základních funkcí agenta. Základním komunikačním mechanismem v ABAsim architektuře je zasílání zpráv. Zprávy se využívají na zabezpečení vzájemné komunikace mezi agenty a také na komunikaci v rámci agenta. Každá zpráva obsahuje základní atributy: *Adresát*, *Odesílatel*, *Čas doručení*, *Kód zprávy*, *Typ zprávy*, *Výsledek* a *Parametry*, který je používán pro definování seznamu dodatečných atributů podle potřeby uživatele.

Atribut *Typ zprávy* slouží ke zjednodušení návrhu komunikace v rámci simulačního modelu. Různé typy zpráv jsou reprezentací subordinačních a komunikačních vazeb mezi agenty navzájem případně mezi komponenty agenta (8).

3. BARVENÉ PETRIHO SÍŤ

Barvené Petriho síť (Colored Petri Nets, CPN) je grafický jazyk pro konstruování modelů souběžných systémů a analyzování jejich vlastností. CPN kombinuje

- kapacity Petriho sítí, které definují základní grafickou notaci základních primitiv pro modelování souběžnost, komunikaci a synchronizaci,
- s CPN ML programovacím jazykem poskytujícím primitiva pro definování datových typů, pro popisování manipulace s daty a pro vytváření kompaktních a parametrovatelných modelů.

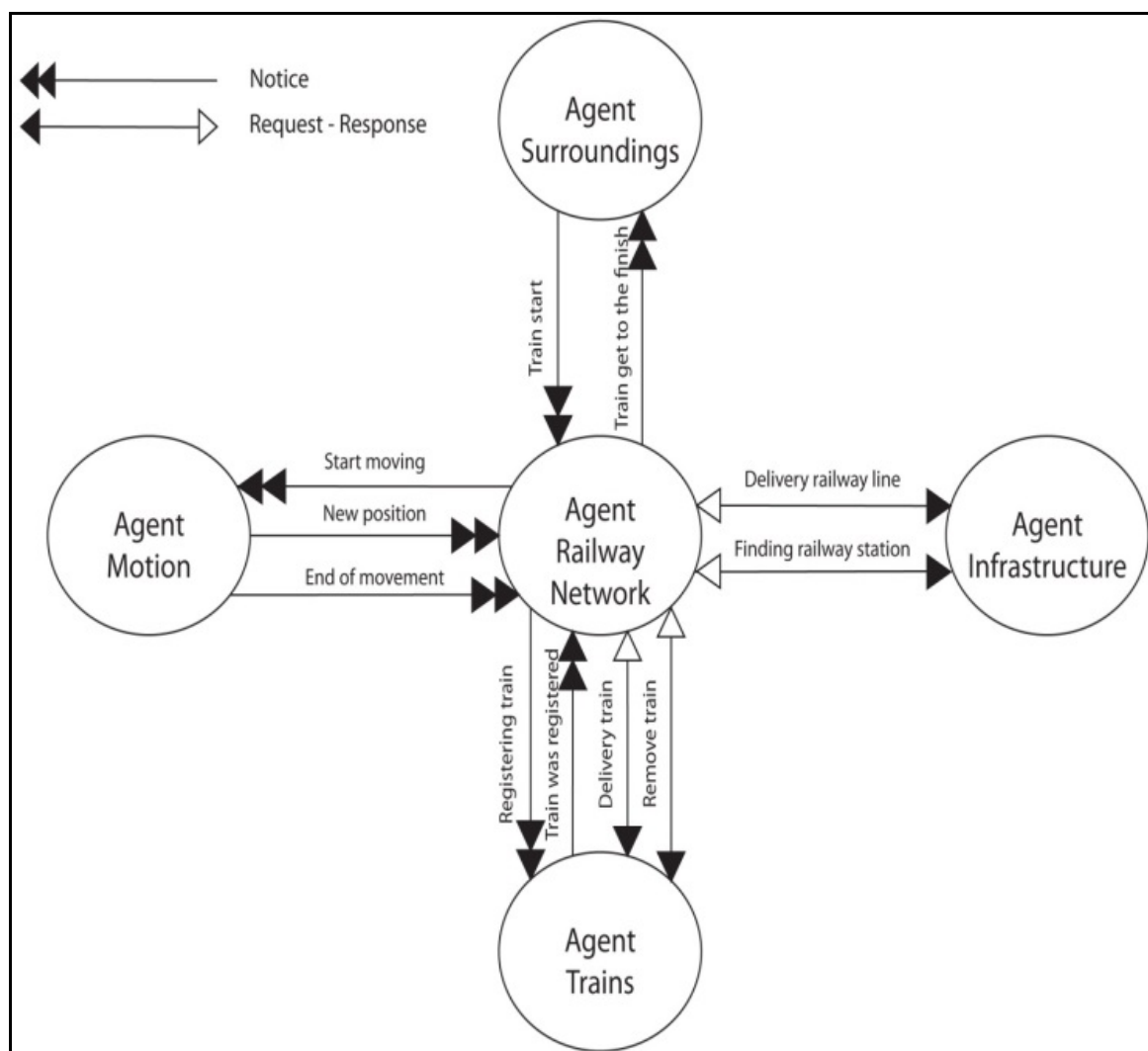
Základní prvky CPN modelů jsou místa, přechody a orientované hrany, které byly doplněny o inskripci. CPN model jsou vykonavatelný a jsou používány k modelování a specifikaci chování souběžných systémů. CPN model systému je jak stavově tak událostně orientovaný. Je popsán stavy systému a událostmi (přechody), který mohou způsobit, že

system změni stav. Prováděním simulace CPN modelu je možné prozkoumat rozdílné scénáře a prozkoumat chování systému (7).

Praktická aplikace modelování a validace je závislá na počítačových nástrojích podporující konstruování a manipulaci s modely. CPN Tools je nástroj, který slouží k editování, simulaci, analýze stavů a provádění analýz CPN modelů.

4. NÁVRH SIMULAČNÍHO MODELU

Simulační model reprezentuje obslužný systém operující nad modelem železniční sítě. Zachycuje změnu polohy KV/vlaku na trati, rozhodnutí o přidělení železniční trati a železniční stanice vlaku. Na obrázku 3 je znázorněna koncepce simulačního modelu, který se skládá z pěti řídicích agentů.



Zdroj: Autoři

Obr. 3 - Simulační model

Jednotliví agenti se skládají z komponentů, které umožňují danému agentu vykonávat autonomní činnost za účelem splnění vybraného cíle. Hlavní řídicí komponent každého agenta

je manažer, který zpracovává příchozí zprávy od manažerů jiných agentů. Obrázek 1 dále zachycuje komunikaci mezi jednotlivými agenty. Kromě meziagentové komunikace manažerů zajišťují komunikaci mezi manažerem a ostatními komponenty agenta tzv. asistenti.

4.1 Agent okolí

Agent okolí reprezentuje okolí systému. Jeho hlavní činností je detekovat započetí pohybu KV v železniční síti. O této události následně informuje agenta železniční síť pomocí zprávy. Dále agent okolí zpracovává KV, které dokončilo svůj pohyb v rámci železniční sítě.

4.2 Agent železniční síť

Agent železniční sítě slouží ke zpracování změny polohy KV a provádění operací, které jsou s touto událostí spojené (lokalizace KV na železniční síti (ŽS), identifikace trati a stanice).

Agent železniční sítě spolupracuje se všemi ostatními agenty. Pokud obdrží zprávu o započetí pohybu vlaku, tak o tom informuje agenta vlaků o novém vlaku a agenta pohybu o započetí sledování nového pohybu KV v železniční síti.

Při obdržení zprávy, která se týká nové pozice KV, informuje postupně o tom agenta vlaků o doručení příslušného KV a agenta infrastruktury o doručení železniční tratě a pokusu vyhledání železniční stanic pro danou polohu.

Agent odpovídá také za zpracování zprávy týkající se ukončení pohybu KV na železniční síti, která mu dojde od agenta pohybu. Agent železniční sítě na to reaguje zasláním zprávy agentu vlaků o odebrání VK a zaslání agentu okolí.

4.3 Agent pohybu

Agent pohybu reprezentuje agenta, který registruje sledování změn polohy KV, přijímá nové informace o poloze KV a zabezpečuje signalizaci ukončení jízdy KV.

4.4 Agent vlaků

Agent vlaků slouží k evidenci všech aktivních KV v kompetenci segmentu železniční sítě. Agent teda zodpovídá za registraci nových KV, jejich vyhledávání a odebírání ze železniční sítě.

4.5 Agent infrastruktury

Agent infrastruktury reprezentuje systém, který má za úkol identifikaci a správu železničních tratí a stanic evidovaných v databázi. Železniční tratě identifikuje pomocí zaslanych GPS souřadnic a železniční tratě pomocí TUDU.

5. SIMULACE PROVOZU

Jak již bylo dříve uvedeno, vybraná hnací vozidla jsou osazena komunikačními terminály vysílajícími data, jejichž součástí jsou i aktuální GPS souřadnice kolejového vozidla. Pokud je vozidlo v pohybu, pak tento komunikační terminál zašle informace s údaji o poloze každých 30 vteřin. Příklad vzorku zaznamenaných dat je uveden v tabulce 1. Simulaci provozu kolejových vozidel můžeme rozdělit na dvě části. Simulace na základně:

- reálných historických dat (emulace provozu),

- generovaných dat.

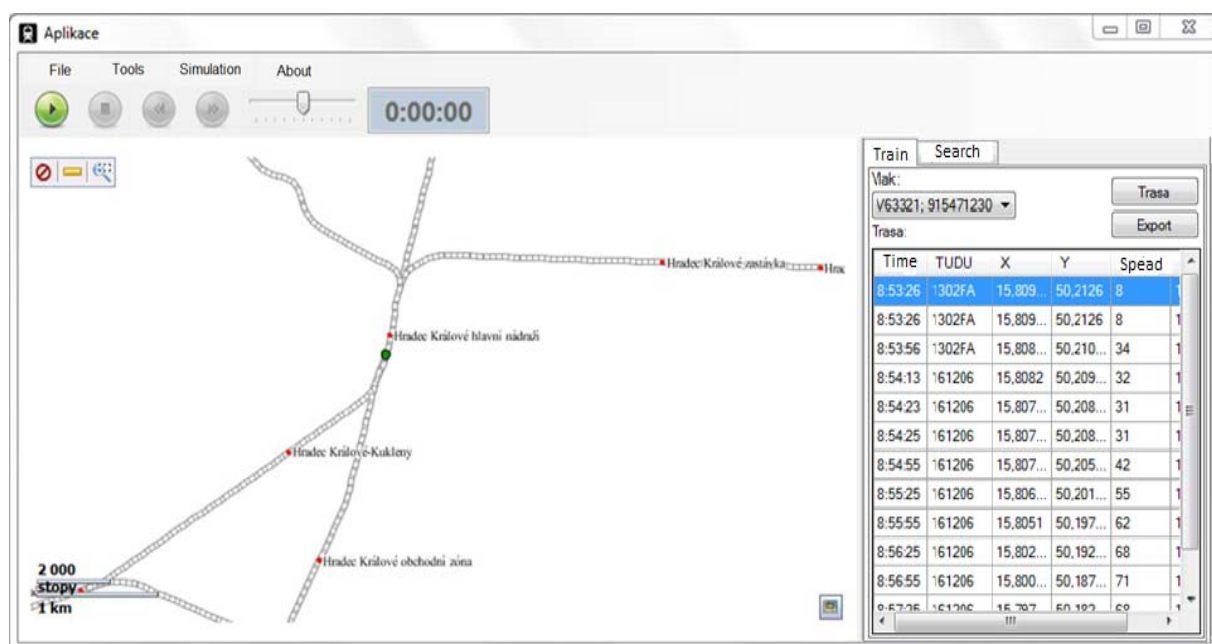
Tab. 1 - Záznamy poloh kolejových vozidel

Train number	Latitude	Longitude	Speed	Azimuth	Train vehicle identifier	Time
48701	50.02274	15.33554	78	57	91547123022	14.02.11 04:34:25
48701	50.02654	15.34246	80	43	91547123022	14.02.11 04:34:55
48701	50.03077	15.34873	68	43	91547123022	14.02.11 04:35:25
48701	50.03495	15.35505	61	45	91547123022	14.02.11 04:35:55

Zdroj: Autoři

Simulace na základě generovaných dat, umožňuje simulovat různé nestandardní situace. Lze tak například simulovat pohyb kolejových vozidel, která se na jednokolejné trati bez kolejového rozvětvení pohybují proti sobě.

Navržený agentově orientovaný simulační model byl následně implementován do demonstračního nástroje *InfraRail*, určeného pro doplňkovou podporu dispečerského řízení. Nový simulační model tak nahradil původní jádro diskrétní simulace, využívající standardní kalendář událostí, které se v simulaci vykonávaly podle jejich časového razítka. Aplikace *InfraRail* v rámci doplňkové podpory dispečerského řízení mimo jiné umožňuje simulovat provoz kolejových vozidel na železniční síti včetně její lokalizace. Pro každé KV je tedy neustále dostupná informace o jeho poloze vzhledem k infrastruktuře železniční sítě. Spuštěná simulace je znázorněna na obrázku 8.



Zdroj: Autoři

Obr. 4 - Simulace provozu

ZÁVĚR

Tento článek se zabývá návrhem agentově orientovaného simulačního modelu pomocí architektury ABAsim a jeho následné využití v rámci simulace provozu kolejových vozidel na modelu železniční sítě. V úvodní části je pozornost věnována stručnému popisu v oblasti lokalizace kolejových vozidel. Je představen navržený dvouvrstvý datový model železniční sítě, který je reprezentován datovou strukturou typu neorientovaný graf.

V další části se článek zabývá návrhem a popisem agentově orientovaného simulačního modelu vybudovaného s využitím architektury ABAsim. Navržený simulační model byl následně pro potřeby lokalizace kolejových vozidel v rámci modelu železniční sítě, implementován do demonstrační aplikace pro doplňkovou podporu dispečerského řízení.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory projektu “SGFEI04/2013 Modely infrastruktury a provozu pozemních dopravních a obslužných systémů“ (financovaný Univerzitou Pardubice)

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) Adamko, N. *Agentovo orientovaná simulácia zložitých obslužných systémov*. [netištěná habilitační práce] Žilina, Fakulta riadenia a informatiky Žilinské univerzity, Katedra dopravných sietí 2013.
- (2) Fikejz, J. Lokalizace polohy kolejových vozidel v rámci modelu železniční sítě s využitím technologie ORACLE Network Data Model. *Perner's Contacts* [online]. 2012,

- roč. 7, III, s. 33-49 [cit. 2013-02-28]. ISSN 1801-674x. Dostupné z WWW: http://pnerscontacts.upce.cz/27_2012/Fikejz.pdf
- (3) Fikejz, J., Kavička, A. Modelling and simulation of train positioning within the railway network. In: KLUMPP, Matthias. *ESM'2012. The European simulation and modelling conference*. Ostende: EUROSIS - ETI, 2012a, s. 366 -376. ISBN 978-9077381-73-1.
- (4) Fikejz, J., Kavička, A. Rolling Stock Localization Within the Model of Railway Infrastructure. In: *Proceedings of Third International Conference on Computer Modelling and Simulation*, Brno, CZ, FIT VUT, 2012b, s. 80-85, ISBN 978-80-214-4576-5
- (5) Fikejz, J.; Kavička, A. Utilisation of computer simulation for testing additional support for dispatching rail traffic. *ESM'2011: European Simulation and Modelling Conference 2011*. Belgium : Reproduct NV, 2011. p. 225-231. ISBN 978-90-77381-66-3.
- (6) Chudaček, V., Lochman, L. Vlakový zabezpečovací systém ERTMS/ETCS in *Vědeckotechnický sborník ČD*, č. 5/1998
- (7) Jensen, K., Kristensen, L., M., *Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems*. Dordrecht: Springer, c2009, xi, 384 s. ISBN 978-3-642-00283-0.
- (8) Kavička, A., Klima, V. A Adamko, N. 2005. *Agentovo orientovaná simulácia dopravných uzlov*. 1. Vyd. Žilina: Žilinská univerzita. ISBN 80-8070-477-5.
- (9) Kothuri, R., Godfrind, A., and Beinat, E., *Pro Oracle Spatial for Oracle database 11g*. New York, NY: Distributed to the book trade worldwide by Springer-Verlag New York, c2007, xxxiv, 787 p. ISBN 15-905-9899-7.
- (10) Lieskovský, A., Myslivec, I., Špaek, P. ETCS a AVV - bezpečně a hospodárně. *Moderní technologie a diagnostika v železniční telekomunikační a zabezpečovací technice*, České Budějovice, 2007
- (11) Murray, Ch. *ORACLE® Spatial User's Guide and Reference 10g Release 1 (10.1)* [online]. Redwood City: ORACLE Corporation, December 2003 [cit. 2011-04-10]. Dostupné z WWW: <http://www.stanford.edu/dept/itss/docs/ORACLE/10g/appdev.101/b10826.pdf>