



Vysoká škola technická a ekonomická
v Českých Budějovicích
Okružní 10, 370 01 České Budějovice

Závěrečná zpráva o řešení Interního grantu za rok 2012

Název interního grantu: *Modelování dopravního systému pomocí multiagentního přístupu*

Katedra: *KPV*

Řešitel:

Příjmení, jméno, tituly: *Jelínek Jiří, Ing. CSc.*

Pracovní zařazení: *akademický pracovník*

Kontakt: e-mail: *10605@mail.vstecb.cz* tel.: *603 490 253*

1. Cíle řešení

Cílem projektu bylo ověření použitelnosti multiagentního a událostmi řízeného přístupu pro modelování dopravního systému a vytvoření modelu vybraného systému využitelného pro simulaci některých jevů a dějů spojených s užíváním a provozováním systému. Výsledný model může být také prezentován a využit v rámci výuky.

2. Materiál a metodika řešení

Nejprve byla zkoumána otázka vhodné volby samotného dopravního systému pro tvorbu modelu, a to zejména z hlediska dostupnosti dat a dalších informací o jejich činnosti a chování. Vzhledem ke kontaktům VŠTE s Dopravním podnikem města České Budějovice (DPMCB) byla přednostně zkoumána možnost modelování linek MHD. Po bližší analýze bylo zjištěno, že DPMCB má k dispozici údaje, na základě kterých bylo možné vytvořit model linky MHD. Také se ukázalo, že DPMCB řeší určité problémy spojené se zpožděním, které vzniká u spojů na této lince. Právě na tuto oblast se zaměřil další postup návrh modelu. Data, která má Dopravní podnik o provozu spojů na linkách, jsou tvořena zejména harmonogramem provozu dané linky (jízdním řádem spojů), který je rozložen do 3 časových pásem, a to pásma špičkového, pásma nočního a pásma sníženého provozu. Pro tyto režimy jsou k dispozici tři různé harmonogramy průjezdu vozidel trasou linky. Pro účely ověření modelu bylo využito pouze harmonogramu pro špičkové období od 6 do 18 hodin. DPMCB má také k dispozici údaje o dosahovaných hodnotách zpoždění, které mají kumulativní charakter (v každé stanici je uvedeno zpoždění vozidla na příjezdu do této zastávky oproti jízdniému řádu).

Pro simulaci byly dostupné také intervalové údaje o obsazenosti spojů v jednotlivých úsecích, ze kterých bohužel není zřejmé, odkud a kam cestující cestovali. Na obsazenost spojů se tedy

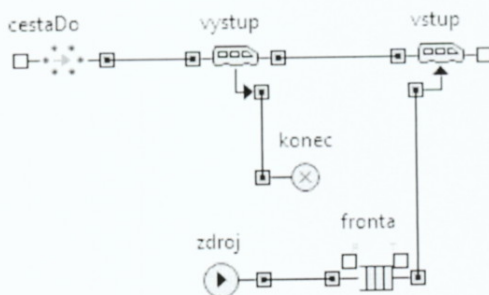
model přímo nezaměřil, nicméně byl vytvořen s možným výhledem tuto oblast zahrnout (v modelu byla užitá pouze cvičná data).

Vytvářený model se soustředil na průjezd spoje trasou dané linky. Smyslem bylo zkoumat hodnoty zpoždění, a to již ne ve formě kumulovaných hodnot, ale hodnot zpoždění spojů na jednotlivých úsecích dané linky (vždy mezi dvěma zastávkami).

Cílem řešení pak bylo zejména ověřit možnosti modelování multiagentním přístupem a pomocí diskretních událostí, a to s pomocí profesionálního modelovacího systému AnyLogic, který byl v rámci projektu zakoupen pro výukové využití pro celou školu včetně domácích počítačů studentů i pedagogů a jehož užití se zdaleka neomezuje jen na oblast dopravy. Druhým cílem bylo pokusit se na základě vytvořeného modelu formulovat některá doporučení a závěry přínosné pro DPMCB.

Způsob řešení

Pro popis modelovaného systému byl nejprve zvolen diagram založený na diskretních událostech, přičemž základním stavebním kamenem byla jedna zastávka na trase. Její model je na obrázku (obr. 1, AnyLogic používá níže uvedený grafický popisný jazyk).

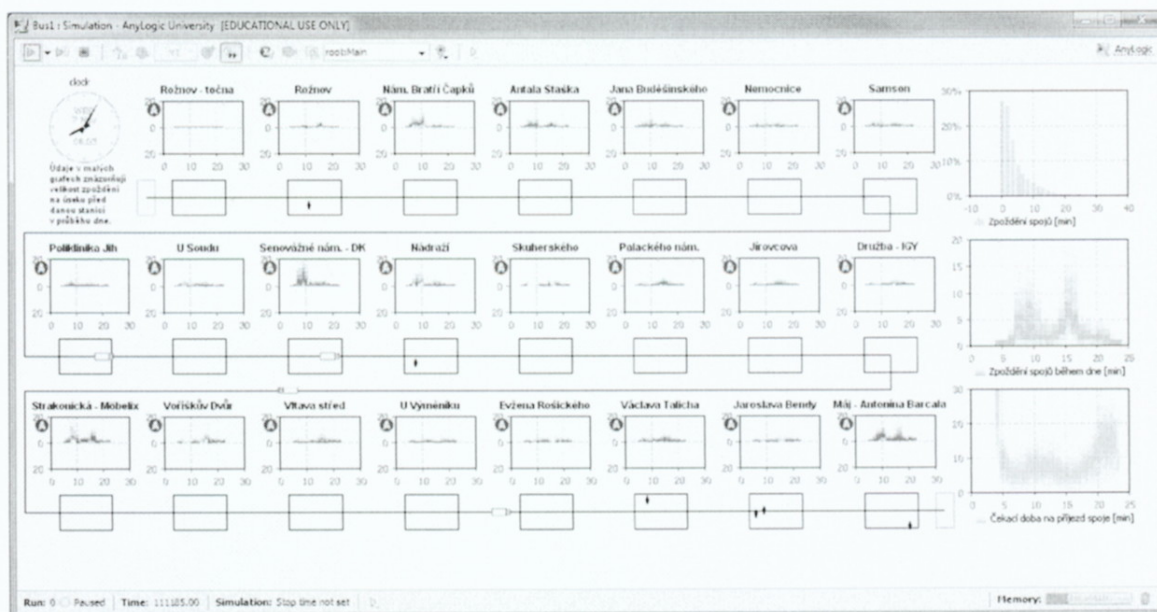


Obrázek 1 - DE model zastávky.

Je vidět, že model (model 1) zahrnuje nejenom zastávku samotnou a činnost spoje v ní, ale rovněž průjezd úseku z předchozí zastávky. Po příjezdu vozidla do zastávky nejprve vystupují cestující, potom dochází k nástupu nových cestujících, přičemž ti jsou generováni zdrojem a řazeni do fronty. Akce vstupu a výstupu cestujících nemají žádné časové trvání a jsou zahrnuty zejména z důvodu komplexnosti a možného budoucího užití modelu. Celý objekt zastávky je monitorován prostřednictvím několika sběrných struktur shromažďujících data pro vytváření výsledných diagramů a výstupů celého modelu. Popsaný model zastávky je opakovaně využit pro popsání modelu celé páteční linky MHD (obr. 2). Do modelu byl zapracován rovněž aktuální jízdní řád spojů na dané lince pro zajištění maximální věrohodnosti získávaných dat.

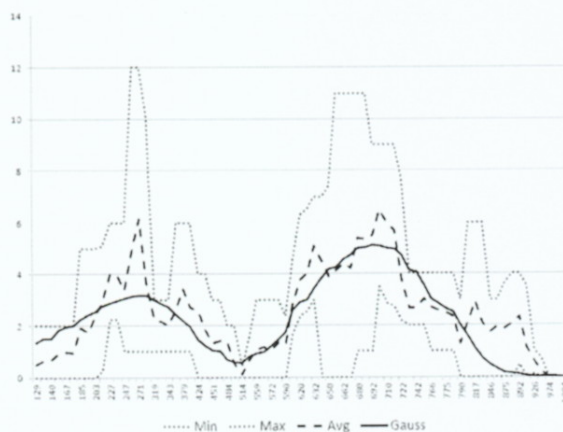
Pro každou zastávku je zde uveden jeden tzv. 2D histogram ukazující souhrnně zpoždění spojů v úseku bezprostředně předcházejícím příjezdu do dané zastávky (toto zpoždění může mít i negativní hodnotu). Pro vyšší názornost je do modelu zapracován rovněž grafický prvek simulující samotné spoje (vozidla) jedoucí po trase zvolené linky.

Jádrum modelu je zejména popis chování spojů na dané lince, který je z větší části vložen do modelu simulujícího zastávku. Křivku zpoždění bylo nutné matematicky modelovat a popsat. V tomto směru byly provedeny experimenty s nastavením parametrů odhadnutého analytického popisu iterativními metodami, pomocí řešitele z programu Excel a také pomocí genetických algoritmů na vlastním nástroji řešitele. Testována byla i možnost užití genetického programování pro stanovení nejen parametrů popisu, ale jeho přímé generování (rovněž na vlastním nástroji řešitele).



Obrázek 2 - Celková struktura modelu (v jednotlivých zastávkách jsou zobrazovány histogramy úsekových zpoždění).

Použití aproximační funkce však vede k nastavení pevných hodnot zpoždění pro daný čas bez vlivu stochastických jevů (např. výkyvů v dopravě). Proto byla pro modelování zpoždění v modelu nakonec použita náhodná proměnná s trojúhelníkovým rozložením hustoty pravděpodobnosti s krajními mezemi v maximu a minimu za daný klouzavý interval (obr. 3) a střední hodnotou danou klouzavým průměrem z hodnot v okně o šíři 30 min.



Obrázek 3 - Příklad průběhu maximálních a minimálních hodnot funkce zpoždění v jednom úseku a její aproximace klouzavým průměrem a dvojitou Gausovou křivkou s odhadnutými parametry.

Na základě výše uvedených kroků byl v druhé fázi projektu vytvořen multiagentní simulační model (model 2), jehož nastavení bylo převzato z ověřeného prvního modelu založeného na diskretních událostech. Tento model je obecněji koncipován a umožňuje další rozšíření i na jiné linky MHD. Jeho názornost podporuje i možnost umístění zastávek zhruba odpovídající geografickému stavu.

3. Výsledky a diskuse

Výstupem projektu jsou, kromě této závěrečné zprávy o jeho realizaci, především vytvořené modely dopravního systému využitelné jak pro jeho další zkoumání a optimalizaci (model 2), tak pro potřeby výuky (především model 1).

Kromě animace ukazující průjezd vozidla trasou zvolené linky jsou k dispozici některé souhrnné údaje. Ty jsou uvedeny v pravé části uživatelského prostředí (obr. 2). Jedná se o diagram zpoždění spojů na konečné stanici dané linky, ze kterého je patrné, že rozložení je gaussovského typu a např. ukazuje, že kromě cca 17% spojů mají všechny zpoždění větší než minutu. Pro nemalé procento spojů hrozí i vyšší zpoždění než 10 minut, což bude negativně ovlivňovat tzv. bezpečnostní přestávky řidičů, které mají mít tuto délku trvání.

Na druhém grafu v pravé části obrázku 2 je zobrazen 2D histogram rozložení zpoždění spojů v průběhu dne (čím sytější barva, tím více výskytů daného zpoždění). Z grafu je jednoznačně vidět, že v průběhu dne nastávají 2 kritické vrcholy funkce zpoždění, a to v rámci ranní špičky od 7 do 11 hodin a potom odpoledne od 14 do 17 hodin. Kritické okamžiky jsou mezi cca 8. a 9. hodinou a mezi 15. a 16. hodinou.

Poslední diagram zobrazený v pravé části obrázku 2 dole je odhad čekací doby na příjezd spoje v rámci celé linky, který je zatím nutné považovat za orientační z důvodu pouze odhadnutého počtu a chování cestujících a vychází z Poissonova rozdělení délky intervalů mezi příchody cestujících na jednotlivých zastávkách. Při daném nastavení je vidět, že ranní i odpolední špičky jsou velmi dobře pokryty (čekání na spoj je relativně krátké), doby se prodlužují teprve v obdobích s nižší frekvencí spojů.

4. Hlavní přínosy řešení:

Předložené modely ukazují, jakým způsobem mohou být využity techniky simulačního modelování pro popis linky MHD, a to zejména z hlediska práce s časovými informacemi týkajícími se této linky (délky přejezdů jednotlivých úseků, míra zpoždění, generování cestujících, atd.). Modely lze dále rozšířit simulací počtu pasažérů na jednotlivých spojích a v zastávkách za předpokladu, že tyto údaje budou empiricky k dispozici, aby bylo možné model správně nastavit. Rozšíření je možné i zpracováním dalších linek MHD. Z řešení projektu vzešla i některá doporučení pro DPMCB týkající se zejména zavedení dalšího harmonogramu průjezdu linky pro špičková období. Výsledky modelování také ukázaly, že přesnější model by vyžadoval detailnější informace z reálného provozu, což může být zohledněno při dalších empirických výzkumech.

Podstatným výstupem modelu je i pořízení SW AnyLogic, který může být dále široce využíván v rámci celé školy.

5. Závěr

Předložený projekt měl za cíl ověřit použití simulačních modelů v oblasti dopravních systémů a zejména jejich tvorbu v nově zakoupeném profesionálním SW AnyLogic. Oba cíle se podařilo splnit a výstupy projektu mohou být užity i v rámci výuky a při tvorbě dalších modelů v odborných oblastech, ve kterých škola působí. Řešitel se v dalších projektech hodlá zaměřit na popularizaci a výzkum v tomto směru. V případě zájmu ze strany DPMCB bude pokračovat i spolupráce na simulacích MHD.

Z řešení projektu vznikl jeden odborný článek, který bude nabídnut odbornému časopisu Communications – Scientific Letters of the University of Žilina (v anglickém jazyce), případně jinému odbornému periodiku v ČR (vytipován titul zařazený v seznamu recenzovaných časopisů).