

Agentovo orientovaná simulácia dopravných uzlov

Doc. Ing. Antonín Kavička, PhD.

*Dopravní fakulta Jana Pernera
Univerzita Pardubice*

Doc. Mgr. Valent Klima, CSc.

Ing. Norbert Adamko

*Fakulta riadenia a informatiky
Žilinská univerzita*

Úvod

V reálnom svete existuje veľká trieda systémov, ktoré nazývame obslužné systémy alebo systémy hromadnej obsluhy. Obslužný systém prijíma od zákazníkov objednávky (zákazky) a vykonáva obslužné činnosti spojené s objednávkami prostredníctvom množiny obslužných zdrojov (ktoré sa nazývajú aj linky obsluhy). Obslužné činnosti sa môžu vykonávať a zvyčajne sa i vykonávajú paralelne. Obsluha má hierarchickú štruktúru, pretože vykonanie obslužnej činnosti môže vyvolať objednávky ďalších, podriadených služieb. Obslužnými systémami sú napr. banky, továrne, nemocnice, opravovne, železničné stanice a pod.

Jednou z dôležitých obslužných činností je premiestnenie. Premiestňovanie prvkov je natoľko zložitá obslužná činnosť, že sa jej realizáciou zaoberajú špeciálne obslužné systémy nazývané dopravné systémy. V dopravnom systéme sú prvotnými a dominantnými objednávkami objednávky na premiestnenie (napr. systém pošty, železničnej dopravy, kuriérskej služby a pod.).

Na technickú realizáciu premiestnenia sú okrem dopravných ciest zvyčajne potrebné aj značne drahé pohyblivé zdroje, akými sú napr. železničné rušne, autobusy a pod. Z dôvodu minimalizovania týchto zdrojov sa prvky obvykle nepremiestňujú po jednom, ale po skupinách, hromadne, v tzv. dopravnom komplete. Preto je napríklad vo vlaku viac vozňov, vo vozni viac vrecí s listovými zásielkami a vo vreci viac listových zásielok. Ak ale z určitého miesta vznikne do určitého miesta určenia existuje za nejakú dobu objednávka na premiestnenie iba malého počtu prvkov, môže byť výhodné nevytvárať pre tieto dve miesta zvláštny dopravný komplet, ale premiestňovať prvky viacerými kompletmi s “prestupmi” tak, ako to poznáme z cestovania vlakom na väčšie vzdialenosti. **Dopravné terminály** sú také miesta v dopravnom systéme, v ktorých sa okrem iného vykonáva “prestupovanie” prvkov z jedného kompletu na druhý. Proces zoskupovania prvkov do vhodných kompletov vzhľadom na cieľ premiestnenia sa nazýva tiež procesom triedenia prvkov.

Medzi najznámejšie typy dopravných terminálov patria:

- **Železničné zriaďovacie stanice**, v ktorých sa okrem iného vykonáva triedenie nákladných vozňov do kompletov (nákladných vlakov) pre jednotlivé destinácie.
- **Terminály osobnej dopravy**, v ktorých cestujúci prestupujú z jedného dopravného prostriedku na druhý a ktoré majú často multimodálny charakter, čiže stretáva sa v nich niekoľko typov dopravy (železničná, autobusová, letecká a pod.).
- **Kontejnerové terminály**, ktoré majú podobne ako terminály osobnej dopravy multimodálny charakter (typicky sa v nich stretáva železničná, cestná a vodná doprava), ale ich funkciou je triedenie (prekládka) kontejnerov.

Okrem terminálov existujú v dopravnom systéme aj iné miesta, ktorých hlavnou funkciou nie je triedenie prvkov, ale sú významné z hľadiska iných funkcií obsluhy dopravných prvkov. Sú to:

- **Železničné vlečky**, ktoré sú často kombináciou železničnej a cestnej dopravy, a teda obsahujú infraštruktúru, obslužné zdroje a obsluhované prvky oboch typov. V ťažkom priemysle bývajú koľajiská mimoriadne rozsiahle a môžu obsahovať aj samostatnú zriaďovaciu časť. Pre operácie sú charakteristické komplikované manipulácie a presuny, ale tiež obslužné operácie, najmä nakládka a vykládka.
- **Špecializované železničné logistické centrá** slúžia zvyčajne železničným spoločnostiam na údržbu, opravu, čistenie a inú obsluhu vozidiel ako aj pre kompletizáciu súprav (železničné depá).
- **Kombinované centrá**, ktoré z hľadiska riešenia problémov infraštruktúry potrebujeme chápať ako integráciu viacerých typov centier. Príkladom môže byť potreba integrovať do jedného celku osobnú i nákladnú železničnú stanicu ako aj príslušné depo.

V uvedených obslužných centrách nemusí byť prvotným a dominantným typom obsluhy premiestňovanie ani triedenie. Postupnosť obslužných operácií typu nakládka, vykládka, oprava a podobne vyvolávajú však natoľko zložité premiestňovacie procesy, že ich svojou technologickou zložitou môžeme zaradiť do jednej skupiny obslužných centier spolu s dopravnými terminálmi. V tejto publikácii budeme pre dopravné terminály i pre ďalšie už uvedené centrá dopravnej obsluhy používať zovšeobecnený spoločný názov **dopravné uzly** s vedomím, že to nemusí byť v úplnom súlade s normami a zvyklosťami v jednotlivých typoch dopravy.

Dopravné uzly so svojím drahým a zložitým technickým vybavením a komplikovanými technologickými procesmi patria k najzložitejším a najkomplex-

nejším obslužným systémom. Musia byť navrhované a riadené tak, aby bol zabezpečený potrebný výkon a kvalita obslužných procesov pri minimálnych nákladoch na obslužné zdroje. To sa môže dosiahnuť rozličnými spôsobmi, napr. úpravou infraštruktúry, použitím alternatívnych typov zdrojov, zlepšením rozvrhu práce zdrojov, zlepšením technologických postupov, modifikáciou rozhodovacích stratégií alebo úplnou prestavbou (reengineering) uzla. To isté, samozrejme, platí aj pre proces navrhovania nového uzla.

Otázkou je, čo môže manažment dopravného uzla urobiť pre to, aby jeho rozhodnutia boli čo najviac objektívne a aby zabránil chybným rozhodnutiam s možnými ďalekosiahlymi ekonomickými dopadmi.

Vzhľadom na zmienenú vysokú komplexnosť takýchto systémov je aplikácia exaktných matematických metód značne ohraničená. Klasické expertné štúdie bez použitia objektivizujúcich nástrojov zase nedávajú manažmentu do rúk dostatočne objektívne argumenty a to môže spôsobovať obavy z rozhodnutia alebo dokonca nechť k realizácii akýchkoľvek racionalizačných opatrení.

Dobрым východiskom z tejto situácie môže byť použitie podporného softvérového interaktívneho nástroja obsahujúceho tiež prvky exaktného riešenia jednoduchších čiastkových problémov. Výsledky, ktoré takýto nástroj ponúka musia byť natoľko zrozumiteľné a dôveryhodné, že ich manažment prijme ako argumentačnú bázu pre svoje rozhodnutia.

Azda najúčinnnejším nástrojom riešenia problémov dopravných uzlov vyhovujúcim týmto požiadavkám je **simulačný model** dopravného uzla. Princípom techniky simulácie je náhrada existujúceho alebo projektovaného dopravného uzla dynamickým počítačovým modelom tohoto uzla, ktorý dostatočne verne reprodukuje a animuje procesy reálneho systému. Táto metóda umožňuje experimentátorovi preveriť na počítači (simulovať) sériu odlišných prevádzkových variantov uzla a potom v praxi odporučiť realizáciu takých opatrení, ktorých preverenie v simulačnom modeli viedlo k prevádzke uzla na požadovanej kvalitatívnej i kvantitatívnej úrovni.

Použitie uvedeného simulačného modelu dopravného uzla môže byť spojené s plánovaním v rôznych časových horizontoch, pričom:

- **strategické** (dlhodobé) plánovanie môže využívať simuláciu, ktorá skúma napríklad rozsiahlu rekonštrukciu uzla a jej dôsledky na budúcu prevádzku, zmenu sieťovej technológie (spojenú s rušením vybraných uzlov a významným zvýšením intenzít prúdov vlakov prichádzajúcich do skúmaného uzla), prevádzku novoprojektovaného uzla a pod.,
- **taktické** (strednodobé) plánovanie sa môže opierať napríklad o výsledky simulácie prevádzky uzla pri uplatňovaní rôznych variantov dopravných plánov, o simuláciu prevádzky v rôznych fázach údržby uzla atď.,

- pre potreby **operatívneho** (krátkodobého) plánovania/riadenia je možné využívať simulačný model dopravného uzla ako trénažér, na ktorom riadiaci pracovníci môžu trénovať zvládnutie riadenia uzla v náročných prevádzkových podmienkach, pričom takto nadobudnuté skúsenosti môžu potom uplatniť v reálnej prevádzke (na podporu operatívneho riadenia dopravného uzla je možné používať aj tzv. on-line/real-time typy simulačných modelov, ktorých koncepcia však presahuje rámec tejto publikácie).

Z technického hľadiska je vytvorenie a použitie simulačného modelu ľubovoľného dynamického systému obmedzené iba výkonnosťou počítača. V prípade simulácie systémov s vysokým stupňom komplexnosti vstupujú však do hry aj iné druhy obmedzení:

- metodické a mentálne zvládnutie modelu v celej jeho komplexnosti,
- zvládnutie manažmentu zmien vytvoreného produktu – simulačného modelu, ktoré si vyžaduje čo najvyšší stupeň flexibility modelu.

Pre zvládnutie uvedených obmedzení sa vyvíjajú vysokomodulárne a flexibilné architektúry, ktoré sú v poslednom čase založené hlavne na paradigme autonómnych softvérových agentov.

Predmetom tejto monografie je metodika vytvárania prakticky použiteľných simulačných modelov zložitých obslužných systémov, hlavne však modelov dopravných uzlov ako systémov s dominantnou alebo prevažujúcou funkciou premiestňovania dopravných prvkov. Výklad je založený na pôvodnej agentovo orientovanej architektúre ABAsim overenej na reálnych projektoch, pričom je priebežne ilustrovaný prípadovou štúdiou simulačného modelu zriaďovacej stanice. Zriaďovacia stanica bola vybraná zámerne ako jeden z najzložitejších dopravných uzlov. Popri progresívnej agentovej architektúre sa publikácia venuje i ďalším moderným technikám (napr. Petriho siete) podporujúcim tvorbu flexibilných a dostatočne univerzálnych simulačných modelov.

V tomto texte sa teda na relatívne podrobnej úrovni zaoberáme dvoma na prvý pohľad značne vzdialenými disciplínami. Prvou, kľúčovou disciplínou je oblasť informačných technológií, menovite technológií tvorby a využitia simulačných modelov komplexných obslužných systémov. Druhou disciplínou je oblasť dopravných technológií, konkrétne technológií zriaďovacích staníc. Aj keď je takéto spojenie možno trochu nezvyčajné, je v tomto prípade zámerné. Ak má byť totiž simulačný model takého komplexného obslužného systému, akým je dopravný uzol, úspešne aplikovaný, musia v priebehu celého projektu úzko spolupracovať odborníci na informačné technológie a odborníci na železničné technológie. Najväčšiu nádej na úspech má tento interdisciplinárny tím vtedy, keď návrhár simulačného softvéru

dôverne spozná technologické procesy (a tým aj potreby) simulovaného reálneho systému a naopak, dopravný technolog dostatočne hlboko porozumie metódam (a tým aj možnostiam) simulačných techník.

Publikácia je určená hlavne odborníkom a študentom z oblasti aplikovanej informatiky pre štúdium problémov použitia simulačných modelov v jednej dôležitej aplikačnej oblasti ale aj odborníkom a študentom v oblasti prevádzky železničnej dopravy pre štúdium simulačných techník racionalizácie prevádzky dopravných uzlov.

V prvej kapitole je vysvetlená štruktúra a technologické (obslužné) procesy zriaďovacej stanice ako objektu skúmania prípadovej štúdie.

V druhej kapitole sú popísané základné pojmy a techniky simulácie, ktoré sú bohato ilustrované na prípade obslužného systému zriaďovacej stanice.

Ďalšie dve kapitoly sú venované architektúre simulačného modelu inšpirovanej paradigmou reaktívnych agentov a technikám výstavby modelu v rámci tejto architektúry.

Piata kapitola sa podrobne zaoberá deklarativným zápisom rozhodovacích algoritmov pomocou Petriho sietí, ktoré sú významným nástrojom na budovanie flexibilných simulačných modelov obslužných systémov hlavne v prípade, že sú mimoriadne komplexné. Táto kapitola je určená najmä pre čitateľov, ktorí sú alebo chcú byť aktívnymi tvorcami simulačného softvéru. Pre čitateľa zameraného viac na technologické procesy nie je nutné podrobné štúdium tejto kapitoly.

V šiestej kapitole sa získané poznatky aplikujú na výstavbu a použitie simulačného modelu zriaďovacej stanice. Tým sa táto kapitola (spolu s priebežnými metodickými návodmi v predchádzajúcich kapitolách) stáva obzvlášť komplexnou prípadovou štúdiou.

Posledná kapitola sa venuje problematike implementácie simulačných modelov v architektúre ABASim. Zriaďovacia stanica, ktorá poslúžila na vysvetlenie metodiky návrhu simulačného modelu je príliš zložitým systémom na vysvetlenie implementačných súvislostí. Preto sú v tejto kapitole na jednoduchom príklade simulačného modelu opravovne lokomotív demonštrované základné postupy nielen pre analýzu a návrh ale i pre implementáciu agentovo orientovaného simulačného modelu. Súčasťou textu kapitoly sú zdrojové kódy simulačného modelu opravovne lokomotív.