

SIMULAČNÍ PODPORA PRO TVORBU ROBUSTNÍCH PLÁNŮ NAsAZENÍ ZDROJŮ V OBSLUŽNÝCH SYSTÉMECH

SIMULATION SUPPORT FOR CONSTRUCTING ROBUST PLANS RELATED TO RESOURCE SCHEDULING WITHIN SERVICE SYSTEMS

Antonín Kavička¹, Valent Klíma²

Anotace: Příspěvek se soustřeďuje na návrh metodiky tvorby robustních plánů pro nasazení zdrojů v obslužných systémech s uplatněním podpory (počítačové) simulace. Úkolem simulace je pro zadaná kritéria prvotně vyprodukovat (i) plán projektu - tj. časové kótování všech obslužných aktivit projektu a (ii) rozvrh zdrojů obsluhy. Takto vytvořený plán projektu, resp. rozvrh zdrojů pak slouží jako podklad pro provedení série experimentů pomocí metody Monte Carlo, jejichž cílem je získání optimálního (nebo spíše dobrého suboptimálního) plánu projektu, resp. rozvrhu zdrojů.

Klíčová slova: simulace, plánování zdrojů, obslužný systém.

Summary: The contribution pays attention to a methodology of constructing robust plans related to resource scheduling within service systems using support of computer simulation. Simulation helps (reflecting defined criteria) with production of an initial (i) plan of project – i.e. time quotation of all service activities and (ii) schedule of service resources. The obtained plan and schedule represent a base for making series of random trials (using Monte Carlo method) with the goal to create optimal (or rather suitable suboptimal) plan of project and schedule of resources.

Key words: simulation, resource scheduling, service system.

ÚVOD

V reálném světě existuje velká třída systémů, které nazýváme obslužné systémy nebo systémy hromadné obsluhy. Obslužný systém přijímá od zákazníků objednávky (zakázky) a provádí obslužné činnosti spojené s objednávkami prostřednictvím množiny obslužných zdrojů (které se nazývají také linky obsluhy). Obslužné činnosti se mohou provádět a obvykle se i provádějí paralelně. Obsluha má hierarchickou strukturu, protože provedení obslužné činnosti může vyvolat objednávky dalších, podřízených služeb. Obslužnými systémy jsou například banky, továrny, nemocnice, opravny, železniční uzly apod. V tomto článku se soustředíme obecně na problematiku plánování procesů v obslužných systémech, přičemž jako ilustrativní příklad obslužného systému budeme používat železniční stanici, resp. železniční uzel.

¹ prof. Ing. Antonín Kavička, Ph.D., Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra softwarových technologií, Nám. Čs. legií 565, CZ-532 10 Pardubice, Tel. +420 466 036 645, E-mail: Antonin.Kavicka@upce.cz

² doc. Mgr. Valent Klíma, CSc., Žilinská univerzita, Fakulta riadenia a informatiky, Katedra dopravných sietí, Univerzitná 8215/1, SK-010 26 Žilina, Tel. +421 41 5134 212, E-mail: Valent.Klima@fri.uniza.sk

1. ŘÍZENÍ, PLÁNOVÁNÍ A ROZVRHOVÁNÍ

Řízení budeme pro účely tohoto příspěvku zjednodušeně chápat jako posloupnost *rozhodnutí*, reagujících na rozpoznávání výskytů problémů. Pod pojmem *problém* budeme opět v širším smyslu chápat výskyt situace, vyžadující reakci řídicího prvku, přičemž rozhodující jsou především relevantní rozhodnutí o tom:

- a) jaká další aktivita (aktivity) se má provést po ukončení aktuálně probíhající aktivity,
- b) který konkrétní obslužný zdroj (zdroje) se má příslušné aktivitě přiřadit.

Pokud posloupnost rozhodnutí typu a) vede ke stanovení návazností prováděných (i paralelně) aktivit, rozhodnutí typu b) vedou k časovému kótování provádění aktivit (vzhledem k dostupnosti zdrojů). Typ přiděleného zdroje totiž určí dobu provádění aktivity a z údajů o tom, kdy nejdříve může být zdroj disponibilní, se zase odvodí nejdříve možný začátek provedení aktivity.

Při operativním řízení reaguje řídicí prvek rozhodnutím až tehdy, když problém rozpoznal. Problém ale rozpozná až tehdy, když už nastal, nebo s relativně krátkým časovým předstihem před jeho výskytem (hovoříme o tzv. *reaktivním přístupu*).

Při řízení podle plánu řídicí prvek předpovídá (předpokládá, předjímá) posloupnost výskytu konkrétních problémů v konkrétních časových okamžicích v rámci nějaké plánovací periody a předem předepíše reakce (rozhodnutí) na každý takový problém (například připraví pevný rozvrh přidělování zdrojů).

V principu je operativní řízení lepší než řízení podle plánu, protože dovoluje bezprostředně reagovat na vzniklé problémy. Silnou stránkou řízení podle plánu však je to, že zaručuje pravidelnost, cykličnost a opakovatelnost, není tak náročné na řídicí prvek, na informační toky apod. Proto je cílem managementů různých typů (provozních) systémů co největší podíl řízení podle plánu. V dalším se proto budeme zabývat právě problémy vytváření plánů.

Plán je posloupnost aktivit (i paralelně prováděných), které vedou k dosažení *cíle* (*goal*). Plán musí respektovat příslušná technologická pravidla i časová omezení (např. nejpozdější možný čas dosažení cíle).

Rozvrh je předpis na přiřazení konkrétních zdrojů jednotlivým aktivitám, přičemž jedním ze zdrojů je i čas.

Uvedený pohled na plánování a rozvrhování zdůrazňuje autonomnost a protichůdnost těchto dvou činností. Při takovém pohledu je snahou plánovače včasné dosažení cíle bez ohledu na spotřebu zdrojů a snahou rozvrháře je minimalizovat spotřebu zdrojů bez ohledu na časové trvání projektu.

Při vytváření provozních plánů komplexních obslužných systémů je vhodnější *kombinovaný přístup* (1), při kterém rozvrháře a plánovače považujeme za spolupracující subjekty. Tento přístup zohledňuje mj. i skutečnost, že někdy mají části rozvrhu charakter plánu. Například při rozvrhování může nástup lokomotivy (jako zdroje) sestávat z posloupnosti aktivit (čerpání pohonných hmot, nástup lokomotivní čety, přesun apod.). Z uvedeného rovněž vyplývá vhodnost použít na zápis plánu a rozvrhu stejné formální (např. grafické) prostředky.

2. SIMULAČNÍ PODPORA PLÁNOVÁNÍ A ROZVRHOVÁNÍ

Principem simulačních nástrojů na podporu tvorby plánů a rozvrhů je vytvoření interaktivního simulačního modelu řízeného systému a potom v součinnosti procedur tohoto simulačního modelu (algoritmy, heuristiky) a uživatelských řešení vytváření suboptimálního rozvrhu a plánu (2,3).

I když není triviální vyvinout nástroje tohoto druhu, v případě, že systém je zcela deterministický (neobsahuje nahodilosti) je tvorba plánů v principu zvládnutelná. V dalších úvahách se budeme zabývat pouze problémy, které jsou důsledkem situace, že některé veličiny účastníci se tvorby plánu jsou náhodné (stochastické). Například v případě železničního uzlu jsou dominantní dvě takové veličiny: čas příjezdu zákazníka (vlaků) do systému a trvání (obslužné) aktivity. V rámci simulačního modelu je čas příjezdu konkrétního vlaku určen na základě informace o pravidelném příjezdu (uvedené v příslušném grafikonu vlakové dopravy) a dále je tento údaj upraven o hodnotu náhodného zpoždění. Výpočet zpoždění provádí generátor pseudonáhodných čísel, který se řídí se příslušným rozdělením pravděpodobnosti s danými parametry. Pro konstrukci uvedeného generátoru lze využít buď statisticky zpracovaná historická data o zpožděních vlaků, nebo doporučení experta. Analogicky lze přistupovat k určení trvání obslužné aktivity. Základem výpočtu je příslušný časový normativ, který je následně zatížen náhodnou odchylkou

Dle výše uvedeného samozřejmě neumíme předvídat okamžik, kdy nastane problematická situace a tedy z principu ani nemůžeme předem naplánovat reakci na ni. Ošetření náhodných jevů tedy nemůže být přímo součástí plánu. Otázka je, zda vůbec můžeme řídit podle plánu, pokud připustíme možnost náhodných jevů. Základní odpověď je, že můžeme (a praxe to potvrzuje), pokud se nám podaří v přijatelné míře vyřešit problémy s tím spojené. Avšak čím je v systému více náhodnosti, tím více je pravděpodobné, že lepším řešením bude operativní řízení.

V provozu železničního uzlu není možné vyloučit výskyt náhodných jevů. Přesto tam, kde je možné dosáhnout dostatečně velkou míru determinovanosti, jsou vytvářeny plány a řízení probíhá podle těchto plánů. Pokud se při provozu vyskytne náhodný jev (s kterým samozřejmě plán nepočítá), musí se ošetřit operativně. K jeho ošetření je nutné najít potřebné zdroje nad rámec plánu.

Existuje více způsobů řešení uvedeného problému, všechny však mají společný důsledek: vytvořený plán má rezervy ve využívání zdrojů (tj. že využití zdrojů je nižší než u plánu bez rezerv). Takový plán označujeme jako *robustní* (vzhledem k náhodným jevům).

Nazvěme pojmem *operativní aktivity* (činnosti) ty aktivity, které je potřeba operativně provést jako odezvu na prvotní náhodný jev. Pokud je v plánu zajištěna dostatečná míra robustnosti, tak v úvahu připadají následující strategie ošetření náhodně se vyskytujících problémů:

- a) V okamžiku rozpoznání náhodného jevu je dostatek zdrojů, aby se mohly ihned provést operativní aktivity. Tedy je k dispozici čas a ostatní potřebné volné zdroje k provedení operativních aktivit, aniž by se musely posouvat plánované okamžiky zahájení dalších navazujících aktivit prováděných pro stejného zákazníka. V tomto případě tedy náhodný jev nezpůsobí selhání plánu.

Příklad: Náhodné prodloužení doby obsluhy vlaku se může ošetřit tak, že obslužná četa pokračuje v prodloužené obsluze, neboť má dostatečnou časovou rezervu do zahájení své další obslužné činnosti (a nemusí čerpat povinnou bezpečnostní pracovní přestávku). Stejně tak vlak má časovou rezervu z hlediska dalších obslužných činností, které na něm musí být provedeny.

- b) Pokud je to technologicky možné, můžeme odložit provedení operativních činností na dobu, kdy je dostatek zdrojů, abychom nezpůsobili selhání plánu. Příklad: Velmi zpožděný vlak pustíme do vjezdové skupiny až po skončení provozu ve špičce.
- c) Pokud není nutné problém způsobený náhodným jevem řešit ihned, můžeme skupinu jevů nějakého (stejného) druhu ošetřit najednou (v dávce) a pro tyto skupiny operativních aktivit můžeme v plánu vyhradit časová okna, kdy je dostatek disponibilních zdrojů. Příklad: Soustředění stlačování odvěsů na směrových kolejích do zvoleného časového intervalu.
- d) Operativní aktivity provedeme ihned a smíříme se s tím, že to vyvolá selhání plánu v rámci nějakého (přijatelně krátkého) časového intervalu. Po tomto intervalu realizovaného operativního řízení se plán (díky své robustnosti) může "zotavit".
- e) Operativní aktivity provedeme ihned a ve zbylém čase plánovací periody přejdeme na operativní řízení.
- f) Operativní činnosti provedeme ihned a zrekonstruujeme zbytek plánu až do konce plánovací periody.

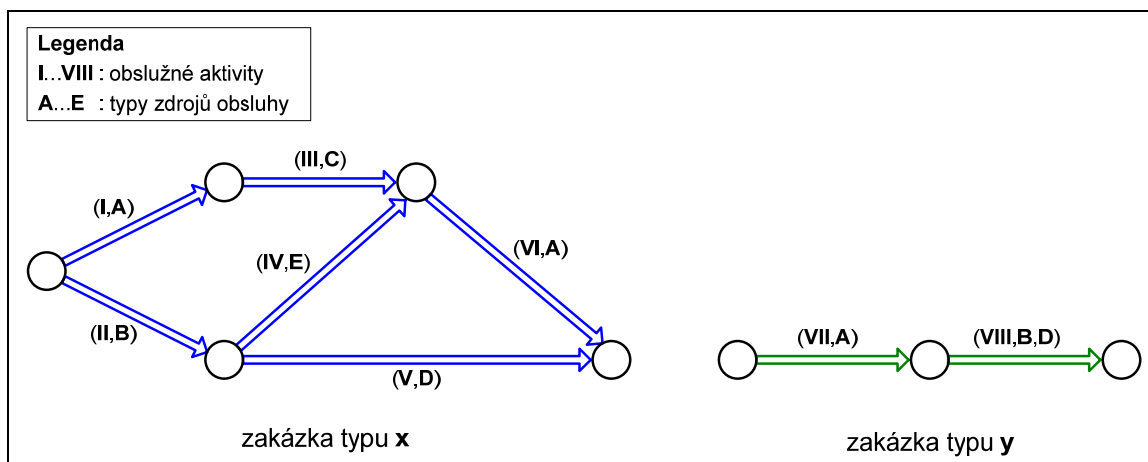
3. REPREZENTACE PLÁNU

V prostředí, ve kterém se převážně realizuje řízení podle plánu, přicházejí do obslužného systému z jeho okolí *zakázky* (*task*), které vygeneruje nějaký subjekt-zákazník. Každá zakázka je charakterizována jistými pravidly (technologickým postupem) na její provedení (obsahu), která vytvoří buď zákazník, nebo obslužný systém. Nazýváme ho *plánem zakázky* a je v něm uvedeno, jaké obslužné aktivity se mají provést, za jakých podmínek, v jakém pořadí a které aktivity mohou probíhat paralelně. Kromě toho se v plánech zakázky může navíc určit, kdy nejdříve a kdy nejpozději může být obsluha zahájena resp. ukončena. Plán zakázky však obvykle nepředepisuje, jaké počty zdrojů budou k provedení jednotlivých aktivit použity. Z toho vyplývá, že plánu zakázky nemohou být známy ani doby provádění činností a tedy ani celková doba obsluhy. Pro grafickou reprezentaci plánu zakázky lze použít formalismus síťových grafů (obr. 1).

Množinu plánů zakázek přicházejících do obslužného systému během plánovacího intervalu nazveme *cíl* (*goal*). Úkolem obslužného systému je splnit cíl s použitím (pokud možno) optimálního rozvrhu přidělování zdrojů pro zadaná kritéria.

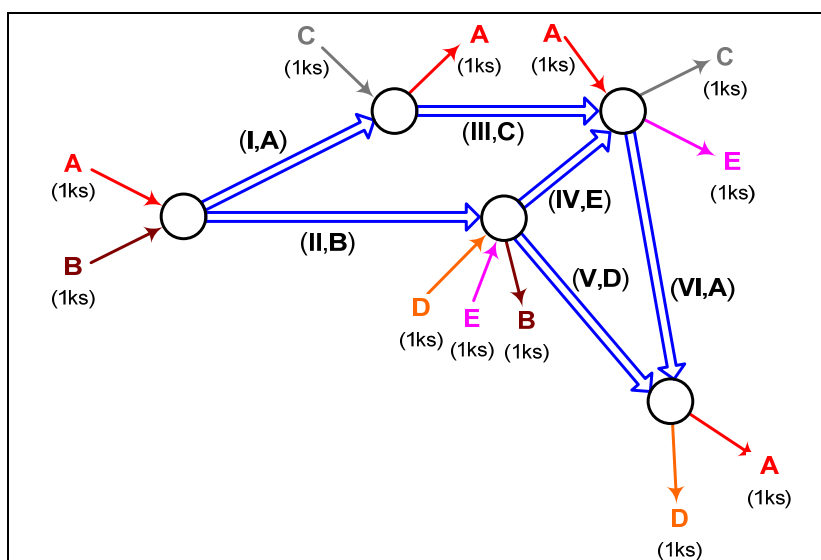
Obslužný systém disponuje množinou obslužných zdrojů různých typů (profesí) nasaditelných na jednotlivé činnosti. Pro každou aktivitu musí obslužný systém určit, jaké počty zdrojů jednotlivých typů hodlá jednotlivým aktivitám přidělit. Pokud je takových

možností víc, je třeba jednu z nich vybrat. Zdroje tedy střídavě nejprve nastupují k obsluze posloupností aktivit a pak z nich odstupují.



Zdroj: Autoři

Obr. 1 – Plány zakázek

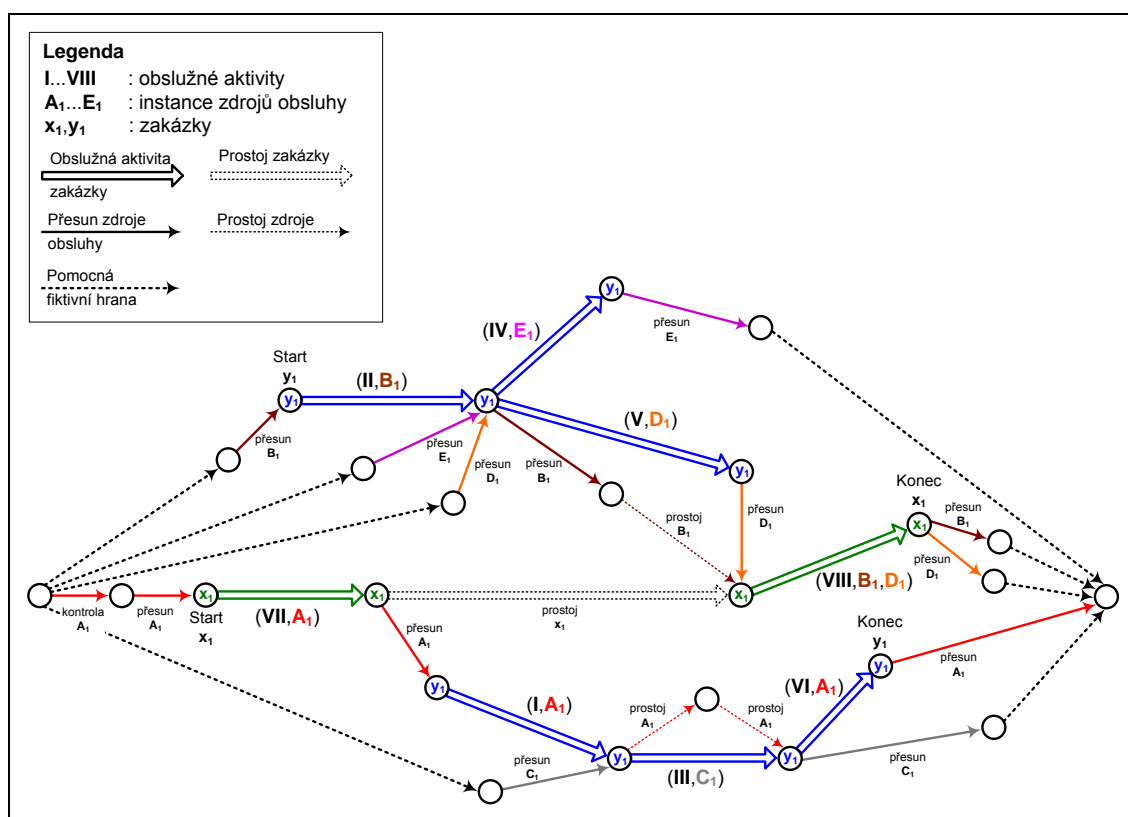


Zdroj: Autoři

Obr. 2 – Práce (job)

Představme si nyní jednu celou zakázku (zakázka typu x na obrázku 1), jejíž plán je vyjádřen síťovým grafem obohaceným o specifikace (ve formě šipek) nástupů a odstupů zdrojů stejného typu včetně jejich počtů (obr.2). Z pohledu obslužného systému toto budeme nazývat jako tzv. *práci (job)*. Pro každou práci (job) je známo, jaké bude trvání jednotlivých činností, protože to závisí jen na třídě a množství nasazených zdrojů, ne na jejich instancích (které jsou zatím neznámé). Délky hran by zde už mohly odpovídat časovým trváním aktivit.

Hrany (aktivity) v práci však navazují těsně na sebe, protože vyjadřují nejdříve možné začátky z hlediska návazností činností, ale ne z hlediska disponibility zdrojů (tento problém se zatím neřešil).



Zdroj: Autoři

Obr. 3 - Plán projektu ve formě síťového grafu

Aby byl obslužný systém schopen provádět obsluhu, musí být nejprve vytvořen rozvrh zdrojů, tj. pro každý zdroj je nutné určit: posloupnost obsluhy na jednotlivých aktivitách, přesuny (pokud je zdroj mobilní) atd. Obslužný systém však sdílí zdroje pro všechny prováděné zakázky, tedy pro celý cíl. Rozvrh tedy může být realizován pouze s ohledem na celou množinu zakázek se známými (nejdříve možnými) okamžiky zahájení (pro celý cíl). Pokud sadu prací nazveme projekt, je úkolem rozvrháře vytvořit rozvrh zdrojů pro celý projekt, čili vytvořit rozvrh projektu. Množinu prací spojených jedním rozvrhem projektu nazveme plán projektu.

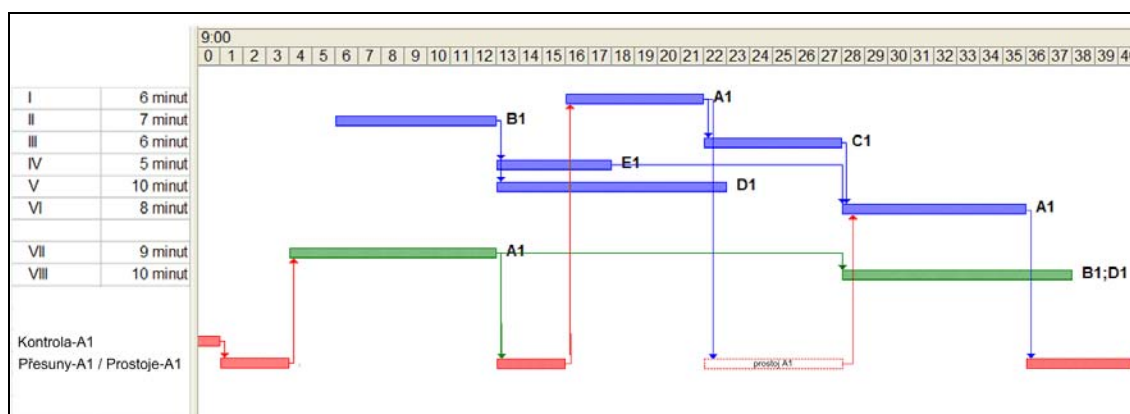
Situaci si pak můžeme představit tak, jak je vyobrazena na obrázku 3. Barevně je vyznačen rozvrh konkrétních přidělených zdrojů (instancí tříd zdrojů). Barevné šipky z obrázku 2 jsou nahrazeny hranami síťového grafu. Pokud není zdroj k dispozici, může to oddálit nejdříve možný začátek činnosti, proto vznikají prostoje zakázek. Pokud je zdroj nasazen, ale nejsou splněny podmínky pro zahájení s ním spojené aktivity, nastává prostož zdroje. Rozvrhy jednotlivých zdrojů spojují množinu jinak disjunkčních prací (jobů) do jednoho síťového grafu, který je reprezentací plánu projektu.

Plán projektu se tedy dá vyjádřit strukturou síťový graf. Z toho, že plán lze reprezentovat grafem (tj. neprocedurální / deklarativní formou) vyplývá, že v principu je pro podporu vytváření plánů možné:

- vytvořit editor pro interaktivní práci s plánem,
- v editoru vytvořit či modifikovat plán,
- kontrolovat korektnost plánu (z hlediska technologických, resp. technických pravidel),

- vytvořit interpret, který spustí provedení plánu bez simulace (provedení plánu může být například spojené s prováděním animací příslušných činností obsažených v plánu apod.),
- bez simulace prověřovat důsledky změn jako např. zpoždění zahájení obsluhy, prodloužení délky trvání činnosti apod.,
- vyhodnocovat vlastnosti plánu (kritické cesty, prostoje atd.).

Reprezentace plánu podle obrázku 3 obsahuje sice časové údaje o začátcích i trvání aktivit, ale v implicitní formě. Alternativou může být reprezentace znázorněna na obrázku 4, v níž je použit formalismus Ganttových diagramů. Kromě standardních aktuálních trvání aktivit s uvedením nasazených zdrojů je pro ilustraci znázorněn i "životní cyklus" zdroje A1 - všimněme si, že před prvotním nasazením zdroje A1 na aktivitu VII je pro tento zdroj uplatněný jednoduchý liniový technologický postup/plán, který zahrnuje dvojici aktivit: automatizovaná kontrola technického stavu zdroje, přesun k zakázce.



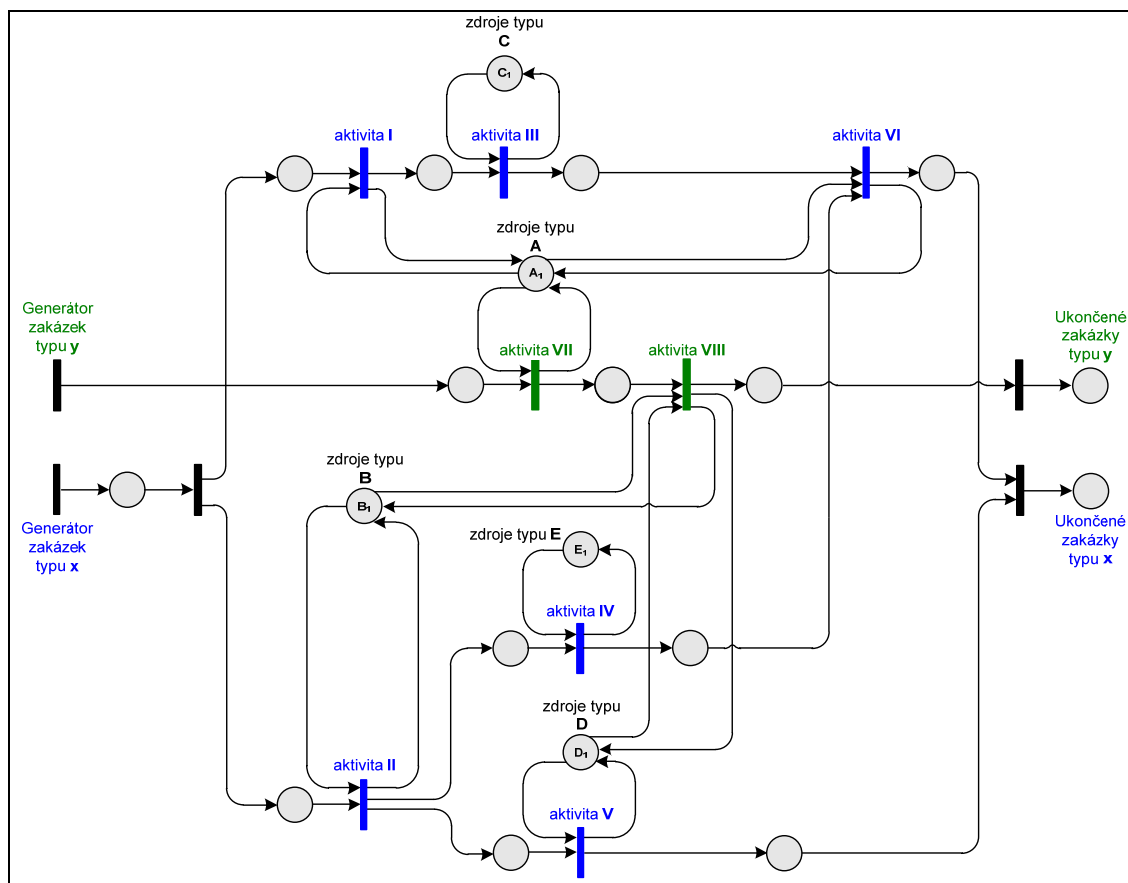
Zdroj: Autoři

Obr. 4 - Plán projektu ve formě Ganttova diagramu

4. KONSTRUKCE ROBUSTNÍHO PLÁNU

Definujeme míru robustnosti plánu jako pravděpodobnost, že plán bude proveditelný pro vybranou realizaci náhodných veličin - parametrů modelu. Neproveditelný plán je takový, že existuje alespoň jedna aktivita (související buď se zakázkou, nebo s rozvrhem zdrojů), která nemá splněny podmínky pro její zahájení v čase určeném plánem (tj. buď neskončily předchozí aktivity, nebo není k dispozici zdroj).

V případě, že všechny parametry modelu jsou deterministické, je míra robustnosti plánu vždy rovná jedné. Předpokládejme však, že některé parametry obslužného systému jsou náhodné veličiny. V takových podmínkách žádný plán nemůže mít míru robustnosti jedna, a proto budou naše další úvahy vedeny snahou sestavit plán s přijatelnou mírou robustnosti (blízkou jedné).



Zdroj: Autoři

Obr. 5 - Simulační model formalizovaný pomocí Petriho sítě

Při deterministických parametrech lze optimální (suboptimální) plán projektu v principu sestavit:

- a) analyticky uplatněním algoritmů nebo heuristik z oblasti teorie rozvrhů,
- b) ručně pomocí editoru (experimentálně),
- c) interaktivně s uplatněním kooperace man-machine (člověk-stroj), čili kombinací přístupů a) a b).

V dalším budeme uvažovat přístup c), protože pro tak složitý kombinatorický úkol je tento přístup nejnadhjnější. Konkrétněji, budeme předpokládat existenci simulačního modelu provozu zkoumaného systému, přičemž během běhu tohoto modelu se kontinuálně vytváří plán (s případným uplatněním interaktivního man-machine přístupu) pro jednu pevnou instanci parametrů (autoři pro tyto účely využívají vlastní simulační model provozu železničního uzlu v rámci softwarového produktu Villon (4,5,6)). Jelikož tento postup bude základem navrhovaných řešení pro případ stochastických parametrů, nazvěme ho *deterministický plánovací běh*. Zmíněný simulační model může být například zjednodušeně realizován ve formě časované (barvené) Petriho sítě (obr.5).

Naznačme nyní možné metodické přístupy k tvorbě plánu v případě stochastických parametrů. Předpokládejme, že v projektu jsou pouze dva typy veličin, které jsou náhodné.

První je vektor náhodných veličin "začátek práce" $\mathbf{J} = (J_1, \dots, J_m)$, kde m je počet prací a druhou je vektor náhodných veličin "doba trvání aktivity" $\mathbf{C} = (C_1, \dots, C_n)$, kde n je počet všech aktivit.

Úkolem je sestavit plán, který by byl robustní se zvolenou mírou robustnosti α (např. $\alpha = 0.9$), což znamená, že pro náhodnou realizaci (\mathbf{j}, \mathbf{c}) náhodných proměnných (\mathbf{J}, \mathbf{C}) je plán s pravděpodobností α proveditelný.

Jednou z možností by mohlo být využití postupu založeného na metodě Monte Carlo, při kterém bychom realizovali sérii deterministických plánovacích běhů pro náhodně generované instance (\mathbf{j}, \mathbf{c}) . Bohužel, v případě komplexních systémů (např. železničních uzlů) vede změna \mathbf{j} a \mathbf{c} typicky k vypracování úplně jiného plánu, což nám znemožní následné statistické vyhodnocení běhů. Naznačme proto následující alternativní postup.

V praxi se pro řízení jistých typů systémů (a tedy intuitivně i pro plánování) používají dané deterministické "normované" časy $(\mathbf{j}^N, \mathbf{c}^N)$. Jsou to takové realizace náhodných proměnných (\mathbf{J}, \mathbf{C}) , o kterých praktici usoudili, že se vyskytnou s největší pravděpodobností. Samozřejmě, že pokud sestavíme plán s použitím $(\mathbf{j}^N, \mathbf{c}^N)$ a pokoušíme se ho prověřit pomocí náhodné realizace (\mathbf{j}, \mathbf{c}) , bude plán s velkou pravděpodobností neproveditelný. Tento plán bychom však mohli použít jako počáteční řešení pro další modifikaci na robustnější plán.

Vytvoříme tedy v simulačním prostředí pomocí deterministického plánovacího běhu počáteční plán s použitím hodnot $\mathbf{j}_{rj} = (j_{rj_1}^N + r_{j_1}, \dots, j_{rj_m}^N + r_{j_m})$ a $\mathbf{c}_{rc} = (c_{rc_1}^N + r_{c_1}, \dots, c_{rc_n}^N + r_{c_n})$ kde \mathbf{r}_{jp} ($p=1..m$) jsou deterministicky zvolené výchylky (rezervy) počátků provádění prací (jobů) a \mathbf{r}_{cq} ($q=1..n$) deterministické prodloužení trvání činností. Takto získáme plán, který je pravděpodobně až příliš robustní, a proto se ho pokusíme v dalším kroku dále formovat směrem ke snížení robustnosti. Je nutné si totiž uvědomit, že čím je plán robustnější, tím nižší je využití obslužných zdrojů.

Na další formování počátečního plánu bychom mohli aplikovat analyzátor plánu, pomocí kterého se na tomto plánu provede série pokusů metodou Monte Carlo (bez simulace v pravém slova smyslu). Každý pokus představuje vygenerování instancí náhodných proměnných \mathbf{J}_{rj} a \mathbf{C}_{rc} . Dále se prověřuje proveditelnost posuzovaného plánu pro realizaci provozu určeného zmíněnými vygenerovanými charakteristikami. Posuzování plánu není spojeno s jeho rekonstrukcí, ani modifikací, ale pouze s jeho analýzou zejména z hlediska jeho proveditelnosti při daných $(\mathbf{j}_{rj}, \mathbf{c}_{rc})$. Pokud například pro daný pokus nějaká aktivita neskončí před plánovaným začátkem navazující aktivity, tak se informace o této skutečnosti zaznamená, přičemž všechny informace o těchto selháních plánu jsou finálně statisticky zpracovány. Při dostatečném počtu pokusů získáme jako výsledek míru robustnosti tohoto plánu a také můžeme získat mnoho užitečných informací o skutečném využití rezerv a podobně. Na základě těchto informací snížíme některé hodnoty \mathbf{r}_{jp} ($p \in \{1..m\}$) a \mathbf{r}_{cq} ($q \in \{1..n\}$) a zopakujeme analýzu plánu pro tyto hodnoty. Snížení hodnot může navrhnout člověk, nebo automaticky analyzátor, anebo oba společně. Tento proces bude ukončen, když se míra robustnosti přiblíží ke zvolené hodnotě α .

Samozřejmě, možný alternativní přístup je takový, že vytvoříme počáteční plán s nulovou robustností a ten pak formujeme na plán s vyšší robustností.

V případě robustních plánů by asi bylo rozumné zmírnit definici proveditelnosti plánu. Může se totiž stát, že nějaká aktivita sice nemůže včas začít (porucha plánu), ale posunutí

začátku aktivity (a případně dalších následujících aktivit) způsobí, že po nějakém čase rezervy "pohltnou" tuto poruchu a plán se sám zotaví. Zde se může ještě např. respektovat podmínka, že nemůže dojít k posunu ukončení zakázky za zvolenou časovou hranici (např. zabezpečení nejpozději akceptovatelného odjezdu vlaku z uzlu). Takový plán by mohl být považován za prakticky proveditelný, protože asi může být akceptovatelný i v reálném provozu. Uvedené úvahy úzce souvisí s úvahami ohledně řešení problémů selhání plánu začleněním operativních aktivit. Dopracování a konkretizace těchto úvah by vedlo k obohacení funkcí analyzátoru plánu.

Analyzátor plánu by měl pracovat v interaktivním grafickém prostředí nejlépe založeném na reprezentaci plánu (obr.4).

Popsaný postup je obecný. V praxi jsou možná pravděpodobnější speciálnější případy (které by měl systém zohledňovat), ve kterých například zákazník nechce prověřovat:

- prodloužení trvání činností, pouze zpoždění začátků prací (např. způsobené v osobních stanicích zpožděními vlaků na příjezdu),
- zpoždění začátků všech, ale pouze zvolených prací apod.

Po skončení naznačeného postupu se nám původní rezervy r_{jp} ($p \in \{1..m\}$) a rc_q ($q \in \{1..n\}$) změnily (zmenšily), avšak původní počáteční plán se nezměnil. Jelikož je možné, že pro takto změněné rezervy by se mohl najít lepší plán než použitý výchozí plán, je možné zopakovat první fázi, čili *deterministický plánovací běh* pro sestavení nového výchozího plánu při těchto aktualizovaných rezervách a zopakovat proces analýzy plánu.

5. ZÁVĚR

Prezentované metodiky podpory plánování procesů v obslužných systémech představují progresivní přístupy, které jsou založeny na aplikacích technologií z oblasti informatiky, v tomto případě zejména na aplikaci experimentální výzkumné metody (počítačové) simulace. V současnosti se stále častěji ukazuje, že simulace představuje významnou metodu, jejíž nasazení umožňuje řešení mnoha problémů, které byly v minulosti téměř neřešitelné z důvodu přílišné složitosti a nízké flexibility exaktních a heuristických metod. Zkoumaná problematika plánování procesů v obslužných systémech je tedy jedním z dalších příkladů prokazujících vhodnost nasazení simulace v plánování.

Příspěvek vznikl za podpory výzk. záměru MSM 0021627505 Teorie dopravních systémů.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) BARTÁK, R.: Mixing Planning and Scheduling to Model Complex Process Environments, in Proceedings of PACLP 2000, pp.329-332, Manchester, UK, August 2000

- (2) DRAKE,G.,R., SMITH,J.,S., PETERS,B., A.: Simulation as a Planning and Scheduling Tool for Flexible Manufacturing Systems. Proceedings of the 27th Winter simulation conference 1995, Arlington, Virginia, United States , pp: 805 - 812
- (3) MUSSELMAN,K., O'REILLY,J., DUKET,S.: The Role of Simulation in Advanced Planning and Scheduling. In: Proceedings of the 34`th Winter Simulation Conference 2002, San Diego, California, United States, Vol. 2, pp. 1825-1830
- (4) KAVIČKA, A., KLIMA,V.: Agentová architektura simulačních modelů železničních uzlů, Sborník příspěvků z mezinárodní konference “Informační technologie v dopravě – INFOTRANS 2005”, Univerzita Pardubice, Pardubice, 2005, str.115-133
- (5) KAVIČKA,A.,KLIMA,V.: ABAsim : Agent-Based Architecture of Simulation Models, In: Simulation Almanac 2005, Czech and Slovak Simulation Society, Prague, 2005, pp.63-72
- (6) KLIMA,V., KAVIČKA, A.: Simulation support for railway infrastructure design and planning processes, In: Proceedings of COMPRAIL 2000 conference in Bologna – Italy, Wessex Institute of Technology - Computational Mechanics Publications, Southampton-UK, September 2000, pp.447-456
- (7) KLIMA,V., KAVIČKA, A.: Simulačná podpora plánovania procesov v železničných uzloch, Sborník příspěvků z konference Dopravní systémy 2005, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, Pardubice, 2005, pp. 277-288, ISBN 80–7194–805–5