

**SPECIFIKACE A ANALÝZA PODTŘÍDY BARVENÉ
PETRIHO SÍTĚ PRO APLIKACE V RÁMCI SIMULAČNÍCH
MODELŮ DOPRAVNÍCH SYSTÉMŮ
SPECIFICATION AND ANALYSIS RELATED TO
A SUBCLASS OF COLOURED PETRI NET APPLIED WITHIN
SIMULATION MODELS REFLECTING TRANSPORTATION
SYSTEMS**

Antonín Kavička¹, Michal Žarnay²

Anotace: V posledním období byla završena další etapa výzkumu a vývoje původní podtřídy nehierarchické barvené Petriho sítě označované jako ABA-CPN, která je navržena pro aplikace v rámci agentově orientovaných simulačních modelů dopravních systémů. Zmíněný typ sítě je určen zejména k popisu logiky chování agentů, kteří jsou specializováni na řízení odlišných částí simulačních modelů odrážejících provoz dopravních a logistických systémů. ABA-CPN zapouzdřená v rámci jistého agenta představuje acyklickou, strukturálně ohraničenou, ireverzibilní a neživou Petriho síť, jež využívá specifická přípustná počáteční značení odpovídající situaci přijetí zprávy od jiného agenta. Stavový prostor ABA-CPN obsahuje alespoň jedno mrtvé značení, do něhož dospěje evoluce dané sítě po zpracování agentovy vstupní zprávy a potenciálním odeslání všech příslušných zpráv dalším agentům. Každá instance ABA-CPN je nejdříve analyzována prostředky nástroje CPN Tools a následně v rámci původního interpreta tohoto typu sítě.

Klíčová slova: Barvená Petriho síť, agentově orientovaná simulace, dopravní systémy

Summary: Specification and analysis related to an original subclass of non-hierarchical coloured Petri net (denoted as ABA-CPN) were recently completed. The mentioned ABA-CPN is currently utilized namely for the description of control layer involved within agent-based simulation models reflecting the operation of transportation and logistic systems. ABA-CPN represents structurally bounded, not reversible and not live Petri net using specific admissible initial markings corresponding to receipts of communication messages. Occurrence graph of a correct ABA-CPN disposes at least of one dead marking representing admissible end state reached after processing of initial marking. Each instance of ABA-CPN is analyzed within CPN Tools software and subsequently within original ABA-CPN-interpreter.

Key words: Coloured Petri net, agent-based simulation, transportation systems

¹ doc. 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 Ing. Michal Žarnay, Ph.D., Žilinská univerzita, Fakulta riadenia a informatiky, Katedra dopravných sietí, Univerzitná 8215/1, SK-010 26 Žilina, tel.: +421 41 5134 224, e-mail: Michal.Zarnay@fri.uniza.sk

1. ÚVOD

V poslední dekádě bylo dosaženo významného pokroku na poli mikroskopické simulace dopravních a logistických systémů [1, 2]. Příslušné simulační modely uplatňující původní agentově orientovanou architekturu ABAsim (Agent-Based Architecture of simulation models [1]) byly úspěšně aplikovány v řadě simulačních studií zkoumajících provoz v dopravních a logistických systémech (příklad zaměření studií je uveden v rámci [4]). Zmíněná architektura využívá dekompozici simulačního modelu na individuální agenty, kteří mezi sebou vzájemně komunikují (pomocí zasílání zpráv) a soustřeďují se na plnění odlišných úkolů. Každý z agentů se skládá z interních komponentů, logiku jejichž chování je možné popisovat buď imperativně (vytvářením programových rutin ve zdrojovém kódu) nebo deklarativně (např. s uplatněním formalismu Petriho sítě). Deklarativní popis je v průběhu simulačního výpočtu interpretován prostřednictvím příslušné systémové rutiny, která je součástí jádra simulačního programu.

Doposud byla v rámci ABAsim architektury využívána podtřída place/transition Petriho sítě (nazývaná jako ABA-graph [3]) zejména pro popis logiky řídicích komponentů (tzv. manažerů) jednotlivých agentů. Zmíněný typ Petriho sítě lze nahradit původní podtřídou nehierarchické barvené Petriho sítě (označované jako ABA-CPN), která přináší flexibilnější a intuitivnější přístup při definování logiky uvedených komponentů (např. z pohledu vytváření podmínkových větvení apod.).

2. SPECIFIKACE PODTŘÍDY BARVENÉ PETRIHO SÍTĚ

Barvená Petriho síť (Coloured Petri net - CPN) popisující logiku vybraného komponentu agenta může být vytvářena v prostředí specifického softwarového nástroje, který poskytuje analýzu tohoto typu sítě. Analyzovaná síť je následně zpřístupněna (prostřednictvím příslušného datového souboru) simulačnímu jádru, přičemž příslušný interpret postupně provádí evoluci sítě v průběhu simulačního výpočtu.

Pro potřeby simulačních modelů založených na ABAsim architektuře byly modelovací možnosti nehierarchických barvených Petriho sítí účelně omezeny, přičemž na tomto základě byl navržena původní podtřída barvené Petriho sítě nazývaná jako ABA-CPN.

Následující definice vychází ze standardní definice barvené Petriho sítě uváděné v [5]. Z důvodu komplexnosti je definice rozdělena do čtyř částí, které jsou proloženy vysvětlujícími komentáři a ilustračním příkladem malé sítě zobrazené na obrázku 1.

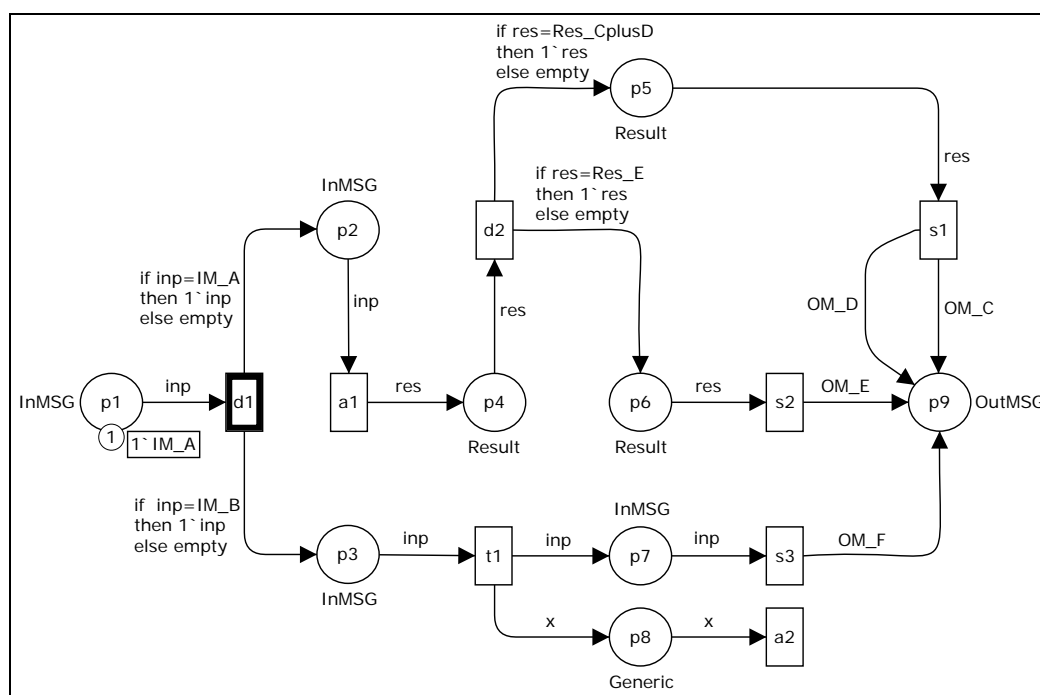
Definice 1:

ABA-CPN představuje podtřídu $CPN = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, I)$, která vyhovuje následujícím podmínkám:

- (i) Σ je konečná množina neprázdných typů nazývaných *množiny barev*.
- (ii) Konečná *množina míst* $P = \{p_{in}\} \cup \{p_{out}\} \cup P_s$, kde p_{in} je *vstupní místo*, p_{out} *výstupní místo* and P_s se skládá z *interních míst*, přičemž tři uvedené množiny jsou vzájemně disjunktní.

- (iii) Konečná množina přechodů $T = T_D \cup T_A \cup T_S \cup T_B$, $T \neq \emptyset$, kde elementy T_D jsou označovány jako rozhodovací přechody, elementy T_A jako asistenční přechody, elementy T_S jako odesílací přechody a elementy T_B jako standardní přechody; všechny čtyři uvedené množiny jsou vzájemně disjunktní a $T \cap P = \emptyset$.
- (iv) A představuje konečnou množinu hran, pro které platí: $P \cap A = T \cap A = \emptyset$.
- (v) N je vrcholová funkce definovaná z A do $(P \times T) \cup (T \times P)$.
- (vi) C představuje funkci barev definovanou z P do Σ .

(ii) Množina míst je rozdělena do podmnožin z důvodu lepší rozlišitelnosti specifických typů míst. Výskyt značky ve vstupním místě p_{in} odpovídá přijetí vstupní zprávy agenta, značka ve výstupním místě p_{out} odráží připravenost výstupní zprávy agenta k odeslání příslušnému jinému agentovi. V ilustrační síti na obrázku 1 platí: vstupní místo $p_{in} = p_1$, výstupní místo $p_{out} = p_9$ a interní místa soustřeďuje $P_S = \{p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8\}$.



Zdroj: Autoři

Obr. 1 – Ilustrační síť k definici ABA-CPN (zpracováno v nástroji CPN Tools)

(iii) Množina přechodů je složena ze čtyř podmnožin. *Rozhodovací přechody* (zahrnuté v T_D) představují body podmínkového větvení (přechody d_1 a d_2 na obrázku 1), *asistenční přechody* (obsažené v T_A) odrážejí interní výkonné komponenty/asistenty agentů (a_1 , a_2), *odesílací přechody* (prvky množiny T_S) modelují zaslání zpráv jiným komponentům, resp. agentům (s_1 , s_2 , s_3). *Standardní přechody* (uchovávané v T_B) nejsou spojeny s žádnou specifickou interpretací vzhledem k používané architektuře simulačního modelu (příkladem standardního přechodu je t_1).

(i) + (vi) Ilustrační síť disponuje následujícími čtyřmi množinami barev $\Sigma = \{InMSG, Result, Generic, OutMSG\}$. Příklady funkcí barev jsou: $C(p_1) = InMSG$ a $C(p_6) = Result$.

Množina $InMSG$ sestává ze dvou prvků (barev) IM_A a IM_B , množina $OutMSG$ obsahuje čtyři elementy: OM_C , OM_D , OM_E a OM_F . Množina barev $Result$ disponuje dvěma prvky Res_CplusD a Res_E a konečně množina $Generic$ zahrnuje pouze jeden prvek e .

Definice 1 - pokračování:

- (vii) E je funkce hranových výrazů definovaná z A do množiny hranových výrazů (specifikované v [5]).
- (viii) Hrany disponují následujícími specifikacemi:
- Neexistuje dvojice hran $a_1, a_2, a_1 \neq a_2$ pro kterou $p(a_1) = p(a_2) \wedge t(a_1) = t(a_2) \wedge ((N(a_1) \in T \times P \wedge N(a_2) \in P \times T)$, kde $p(a)$ představuje místo a a $t(a)$ reprezentuje přechod z $N(a)$,
 - Každá hrana $a \in A$ náleží do jedné z následujících kategorií:
 - Jestliže $t(a) \in T_D \wedge N(a) \in T \times P$, pak je a nazývána jako *rozhodovací hrana* a příslušný hranový výraz $E(a)$ obsahuje podmínku pro variantní větvení.
 - Pro všechna $t(a) \notin T_D$ a všechna $t(a) \in T_D : N(a) \in P \times T$, představuje a jednu z následujících možností: *konstantní hrana*, je-li $E(a)$ složeno pouze z jedné konstanty, nebo *elementární proměnná hrana*, jestliže $E(a)$ obsahuje pouze jednu proměnnou.

(viii) První specifikace nepřipouští konstrukci vlastních cyklů, ABA-CPN tedy reprezentuje *čistou síť*. Druhá specifikace představuje přípustné konstrukce hranových výrazů, které jsou rozděleny do dvou kategorií. Hranové výrazy příslušející hranám vycházejícím z rozhodovacích přechodů (*rozhodovací hrany*) představují podmínkové výrazy. V rámci ilustrační sítě se jedná o hrany (d_1, p_2) , (d_1, p_3) , (d_2, p_5) and (d_2, p_6) . Hrany, jejichž počátek je v jiných vrcholech než rozhodovacích přechodech, disponují hranovými výrazy obsahujícími buď pouze jednu konstantu (*konstantní hrany*) nebo jednu proměnnou (*elementární proměnné hrany*). Na demonstračním obrázku jsou následující *elementární proměnné hrany* (p_1, d_1) , (p_2, a_1) , (a_1, p_4) , (p_4, d_2) , (p_5, s_1) , (p_6, s_2) , (p_3, t_1) , (t_1, p_7) , (p_7, s_3) , (t_1, p_8) , (p_8, a_2) . Všechny zbývající hrany jsou klasifikovány jako *hrany konstantní*.

Definice 1 - pokračování:

- (ix) G představuje *funkci strážní podmínky* definovanou z T do množiny výrazů strážních podmínek (specifikované v [5]). Pro ABA-CPN platí: $\forall t \in T: G(t) = \emptyset$, tj. přechody nedisponují strážními podmínkami.
- (x) Prvky z množin P a T disponují následujícími přídavnými vlastnostmi:
- $(\forall t \in T: \neg \exists a \in A: N(a) = (t, p_{in})) \wedge (\exists_1 a \in A: N(a) = (p_{in}, t), t \in T)$,
 - $(\exists a \in A: N(a) = (t, p_{out}), t \in T) \wedge (\forall t \in T: \neg \exists a \in A: N(a) = (p_{out}, t))$,
 - $\forall p \in P_S: (\exists a \in A: N(a) = (t, p), t \in T) \wedge (\exists_1 a \in A: N(a) = (p, t), t \in T)$,
 - $\forall t \in T_B: \exists a \in A: N(a) = (p, t), p \in P$,
 - $\forall t \in T \setminus T_B: \exists_1 a \in A: N(a) = (p, t), p \in P$,
 - $\forall t \in T_D \cup T_S: \exists a \in A: N(a) = (t, p), p \in P$,

- g) $\exists_1 t \in T_D: \exists_1 a \in A: N(a) = (p_{in}, t)$, kde t je označován jako *vstupní přechod*,
 h) $t \in T: (\exists a \in A: N(a) = (t, p_{out})) \vee (\neg \exists a \in A: N(a) = (t, p), p \in P)$ je nazýván jako *výstupní přechod*,
 i) $t \in T: (\neg \exists a \in A: N(a) = (p_{in}, t)) \wedge (\neg \exists a \in A: N(a) = (t, p_{out})) \wedge (\exists a \in A: N(a) = (t, p), p \in P)$ je označován jako *interní přechod*.

V části (x) se vlastnosti a), b) a c) týkají vrcholů-míst: do *vstupního místa* nejsou zaústěny žádné hrany a právě jedna hrana z něj vychází (místo p_1 v ilustrační síti); *výstupní místo* je incidentní pouze s hranami do něj zaústěnými (místo p_9); všechna ostatní místa jsou incidentní s alespoň jednou vstupní hranou a právě jednou výstupní hranou.

Vlastnosti d) až i) charakterizují přechody. Všechny přechody jsou incidentní alespoň s jednou vstupní hranou. Do *rozhodovacích, asistenčních a odesílacích* přechodů je zaústěna právě jedna hrana, *standardní přechody* mohou být incidentní s více vstupními hranami. Alespoň jednou výstupní hranou musí disponovat *rozhodovací a odesílací* přechody (např. d_1, d_2, s_1, s_2 a s_3 na demonstračním obrázku), což nemusí platit pro ostatní typy přechodů (např. z přechodu a_2 nevychází žádná hrana). *Vstupní přechod* je právě jeden a jako jediný ze všech přechodů leží ve výstupním vrcholovém okolí *vstupního místa* (přechod d_1 do něhož vede hrana ze vstupního místa p_1). *Výstupní přechody* jsou buď spojeny hranou s *výstupním místem* nebo mají prázdné výstupní vrcholové okolí (přechody s_1, s_2, s_3 a a_2). Všechny ostatní přechody jsou nazývány jako *interní* (přechody d_2, a_1 a t_1).

Definice 1 - pokračování:

- (xi) Petriho síť vybudovaná z prvků množin P, T a A reprezentuje *acyklickou síťovou strukturu*.
 (xii) I je *inicializační funkce* definovaná z P do *množiny uzavřených výrazů* (zmiňené výrazy specifikují multimnožiny barev a jsou blíže popsány v [5]).
 (xiii) *Množina přípustných inicializačních značení* $M_0 \subset I(P)$ je definována následovně: $M_0 = \{^j M_0 \mid j=1,2, \dots, |C(p_{in})|\}$, kde $^j M_0$ označuje j -té inicializační značení, pro které platí: $\forall p \in P: |^j M_0(p)| = 1$, jestliže $p = p_{in}$ a $|^j M_0(p)| = 0$, jestliže $p \neq p_{in}$; pro $i \neq j$ platí: $^i M_0(p) \neq ^j M_0(p)$.

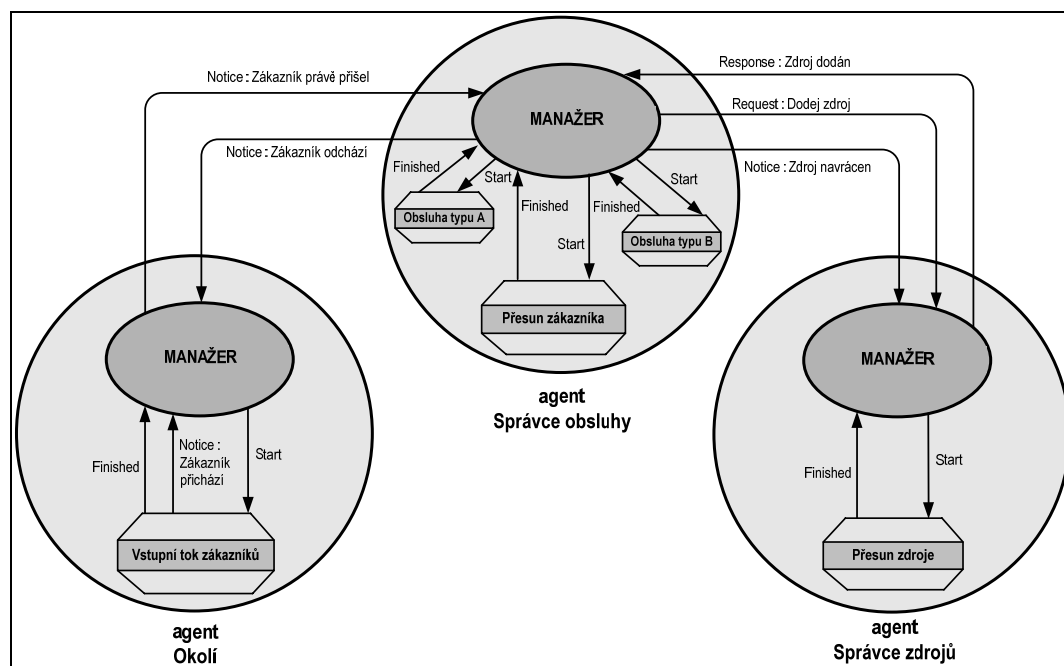
(xiii) Značky odlišných barev odrážejí v rámci ABA-CPN odlišně vyplněné formuláře zpráv, které jsou v rámci ABAsim architektury využívány pro komunikační účely. Přípustné inicializační značení ABA-CPN připouští výskyt právě jedné značky v rámci celé sítě umístěné ve vstupním místě p_{in} ; žádné z dalších míst sítě nedisponuje žádnou značkou. Tento stav odráží situaci, kdy vstupní zpráva (příslušného komponentu agenta) čeká ve vstupním místě na své zpracování, přičemž daná síť aktuálně žádné jiné zprávy nezpracovává. ABA-CPN je navržena pro separátní zpracování všech typů příslušných vstupních zpráv (reprezentovaných značkami z množiny barev vstupního místa $C(p_{in})$), proto množina přípustných inicializačních značení M_0 obsahuje tolik značení, kolik je druhů vstupních zpráv (tj. $|C(p_{in})| - ^j M_0$ označuje j -té inicializační značení. Na ilustračním obrázku je zobrazeno

jedno přípustné inicializační značení: vstupní místo p_1 obsahuje jednu značku barvy IM_A , zatímco ostatní místa jsou prázdná. Tento stav reprezentuje situaci přijetí zprávy IM_A (*Input Message A*) příslušným komponentem agenta, který ji dále zpracuje.

Pro volby identifikátorů jednotlivých proměnných, resp. konstant používaných v rámci hranových výrazů byly navrženy jisté konvence, které umožňují ovlivňovat ze strany návrháře ABA-CPN management instancí zpráv/značek, které se v rámci sítě vyskytují. Tato problematika již přesahuje rámec tohoto příspěvku, přičemž její popis je obsažen v [7].

3. PŘÍKLAD APLIKACE ABA-CPN

Ilustrace aplikace ABA-CPN je zaměřena na popis jednoho řídicího komponentu simulačního modelu odrážejícího zjednodušený obslužný systém (obr. 2). Tento simulační model využívá agentově orientovanou ABAsim architekturu, přičemž zmíněný řídicí komponent-manažer je zapouzdřen v rámci agenta *Správce zdrojů*.

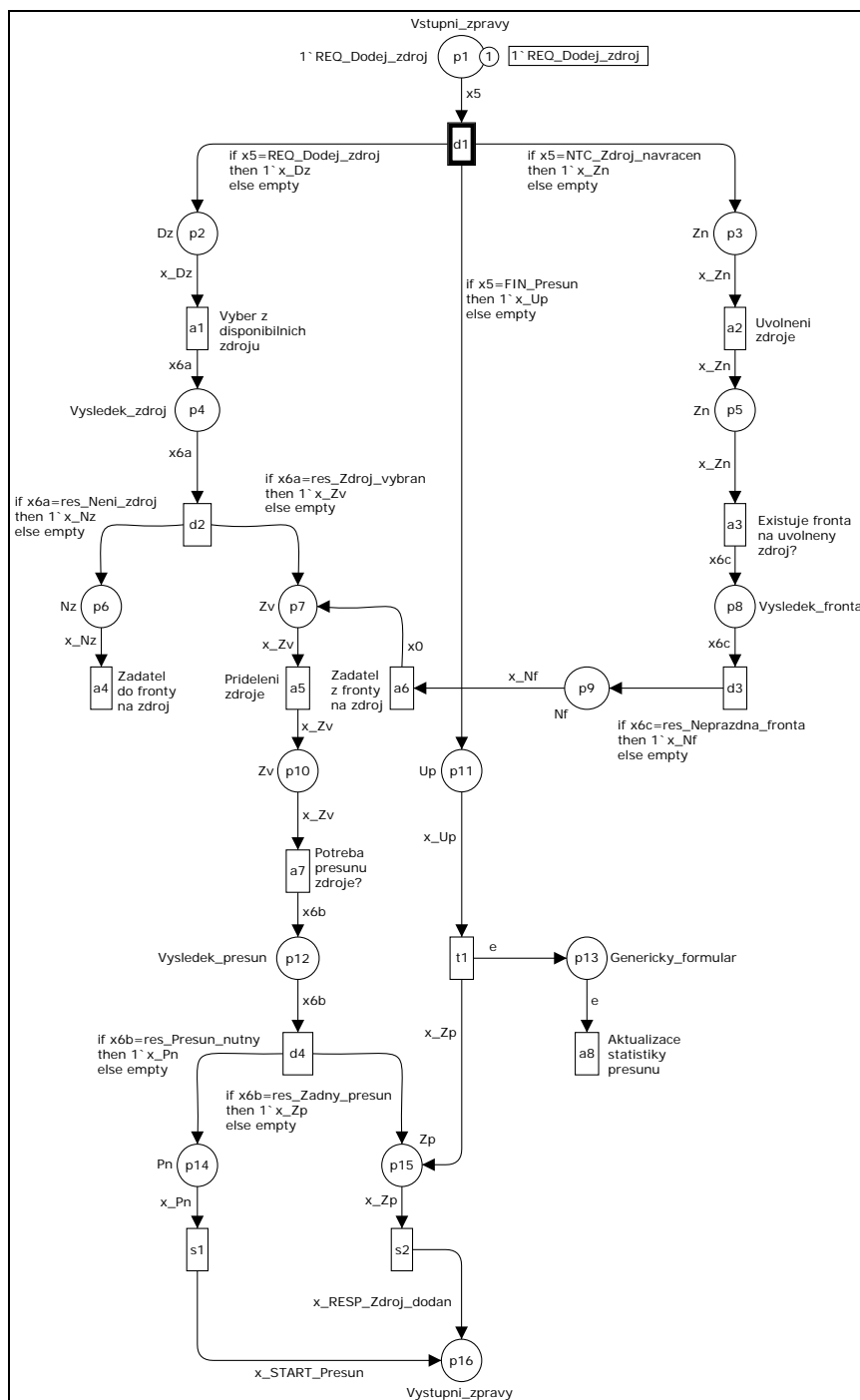


Zdroj: Autoři

Obr. 2 – Zjednodušená struktura simulačního modelu obslužného systému

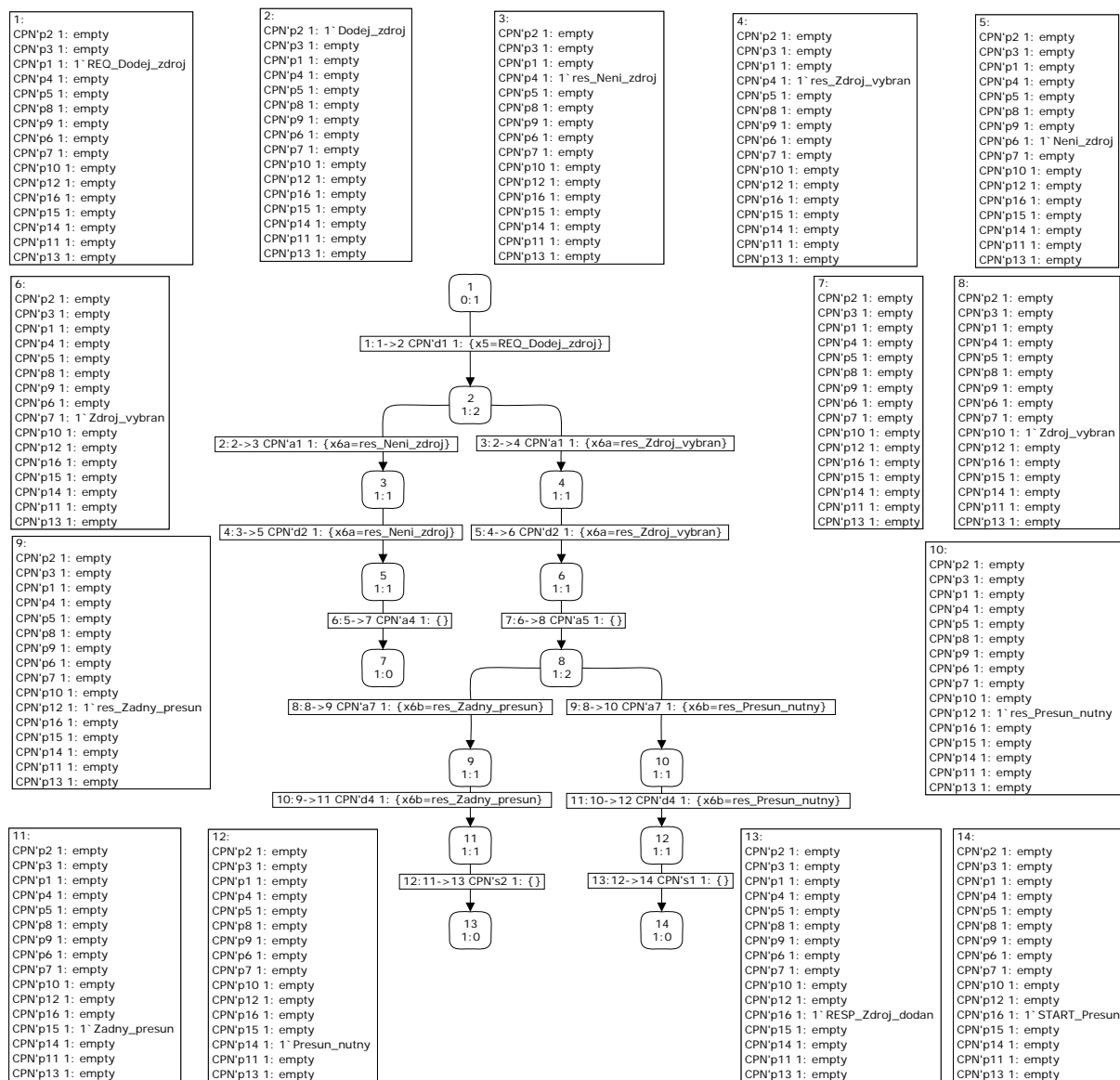
Zákazníci obslužného systému do něj vstupují z jeho okolí, přičemž jsou následně obsluhováni dvěma typy obslužných procesů, po jejichž ukončení opouštějí systém. První druh obsluhy (*Obsluha typu A*) je prováděn stabilním zdrojem obsluhy (tj. zákazník se k němu musí sám přemístit prostřednictvím procesu *Přesun zákazníka*). Naproti tomu druhý obslužný proces (*Obsluha typu B*) využívá mobilní obslužný zdroj, který se přemístí k zákazníkovi v rámci procesu *Přesun zdroje*. Simulační model se skládá ze tří agentů: agenta *Okolí*, agenta *Správce obsluhy* a agenta *Správce zdrojů*. První z agentů je zodpovědný za spojení mezi zkoumaným systémem a okolím (zpracovává příchody a odchody jednotlivých

Declarations	
<pre> colset Vstupni_zpravy = with REQ_Dodej_zdroj NTC_Zdroj_navracen FIN_Presun; colset Vystupni_zpravy = with RESP_Zdroj_dodan START_Presun; colset Vysledek_zdroj = with res_Zdroj_vybran res_Neni_zdroj; colset Vysledek_presun = with res_Presun_nutny res_Zadny_presun; colset Vysledek_fronta = with res_Prazdna_fronta res_Neprazdna_fronta; colset Genericky_formular = with e; colset Zn = with Zdroj_navracen; colset Up = with Ukoncen_presun; colset Dz = with Dodej_zdroj; colset Pn = with Presun_nutny; colset Zp = with Zadny_presun; colset Nf = with Neprazdna_fronta; colset Zv = with Zdroj_vybran; colset Nz = with Neni_zdroj; </pre>	<pre> var x5 : Vstupni_zpravy; var x6a : Vysledek_zdroj; var x6b : Vysledek_presun; var x6c : Vysledek_fronta; val x_Dz = Dodej_zdroj; val x_Up = Ukoncen_presun; val x0 = Zdroj_vybran; val x_Zv = Zdroj_vybran; val x_Nz = Neni_zdroj; val x_Pn = Presun_nutny; val x_Zp = Zadny_presun; val x_Nf = Neprazdna_fronta; val x_RESP_Zdroj_dodan = RESP_Zdroj_dodan; val x_START_Presun = START_Presun; </pre>



Zdroj: Autoři

Obr. 3 – Barvená Petriho síť popisující logiku manažera agenta Správce zdrojů



Zdroj: Autoři

Obr. 4 – Stavový graf pro inicializační značení 1M_0 (zpracováno v nástroji CPN Tools)

zákazníků), druhý spravuje všechny souběžně prováděné obslužné procesy a třetí agent se zaměřuje na přidělování, resp. uvolňování obslužných zdrojů a jejich přemísťování. Na obrázku 2 jsou znázorněny jak meziagentové, tak vnitroagentové komunikační vazby založené na paradigmatu zasílání zpráv.

Síť ABA-CPN popisující logiku manažera agenta *Správce zdrojů* je znázorněna na obrázku 3 (zpracování síť je provedeno v nástroji CPN Tools [6]). Zmíněná ilustrační Petriho síť disponuje následujícími vlastnostmi:

- Množina míst $P = \{p_i \mid i=1, \dots, 16\}$, kde $p_{in} = p_1$, $p_{out} = p_{16}$, $P_S = \{p_i \mid i=2, \dots, 15\}$.
- Množina přechodů $T = T_D \cup T_A \cup T_S \cup T_B$, kde $T_D = \{d_i \mid i=1, \dots, 4\}$, $T_A = \{a_i \mid i=1, \dots, 8\}$, $T_S = \{s_i \mid i=1, 2\}$ a $T_B = \{t_1\}$; vstupní přechod reprezentuje d_1 a výstupními přechody jsou s_1, s_2, a_4, a_8 .

- Množina přípustných inicializačních značení $M_0 = \{^1M_0, ^2M_0, ^3M_0\}$ zohledňuje tři odlišné druhy vstupních zpráv, které mohou být adresovány agentovi *Správci zdrojů*:

$$^1M_0(p_1) = \{REQ_Dodej_zdroj\} \text{ a } ^1M_0(p_j) = \emptyset, j = 2, \dots, 16;$$

$$^2M_0(p_1) = \{NTC_Zdroj_navracen\} \text{ a } ^2M_0(p_j) = \emptyset, j = 2, \dots, 16;$$

$$^3M_0(p_1) = \{FIN_Presun\} \text{ a } ^3M_0(p_j) = \emptyset, j = 2, \dots, 16.$$

Stavový graf ilustrační ABA-CPN sítě pro inicializační značení 1M_0 je znázorněn na obrázku 4 (s využitím softwaru *CPN Tools*). Zde je prezentováno zpracování vstupní zprávy *REQ_Dodej_zdroj*, které může být alternativně zakončeno ve třech rozdílných terminálních stavech. Tyto odpovídají buď odeslání jedné výstupní zprávy (uzly 13 a 14 stavového grafu) anebo uložení požadavku na přidělení zdroje do fronty a vyprázdnění sítě (uzel 7). Výstupní zprávou může být buď *START_Presun* (uzel 14) nebo *RESP_Zdroj_dodan* (uzel 13).

4. ANALÝZA ABA-CPN

Původní podtřída barvené Petriho sítě ABA-CPN byla navržena zejména pro potřeby formalizace řídicích a komunikačních činností agentů v ABAsim architektuře simulačních modelů. Navzdory této skutečnosti nabízí ABA-CPN obecnější formalizační přístup, který je potenciálně využitelný i v rámci jiných platforem.

ABA-CPN představuje barvenou Petriho síť, která je *strukturálně ohraničená, není reverzibilní a není živá*. Tyto vlastnosti vyplývají z její *acykličnosti* (bod (xi) v definici 1) a ze skutečnosti, že nejsou povoleny tzv. *zdrojové přechody* (body (x) d) a e) v definici 1).

Stavový prostor ABA-CPN obsahuje alespoň jedno *mrtvé značení*, jehož výskyt může mít dvě příčiny. První příčinou je existence výstupního místa p_{out} , které nedisponuje žádnou výstupní hranou (bod (x) b) v definici 1). V tomto případě je mrtvé značení charakterizováno výskytem značek pouze v rámci výstupního místa p_{out} , přičemž všechna ostatní místa sítě jsou prázdná. Zmíněné značky ve výstupním místě představují zprávy, které aktuální komponent-odesílatel pošle příslušnému komponentu-adresátovi. Druhou příčinu představují přechody, jejichž provedením jsou odebrány všechny značky z jejich vstupních míst a zároveň nejsou přidány žádné značky do míst výstupních (buď z důvodu prázdnosti příslušných výstupních vrcholových okolí anebo na základě vyhodnocení podmínkových výrazů na výstupních hranách). To může potenciálně vést ke vzniku mrtvého značení, které je charakterizováno zcela prázdnou sítí (tj. v žádném z míst sítě se nenachází žádná značka). Prázdnot sítě je způsobena spotřebou všech značek (v rámci uvedených typů přechodů), přičemž není potřebná další komunikace s ostatními komponenty (resp. agenty) simulačního modelu. Výše uvedená mrtvá značení reprezentují přípustné koncové stavy evoluce sítě, které jsou důsledkem zpracování příslušné vstupní zprávy (přijetí dané vstupní zprávy odpovídá příslušnému inicializačnímu značení sítě - bod (xiii) v definici 1).

Pokud jde o živost jednotlivých přechodů, pouze jeden přechod se vyskytuje ve všech možných evolučních sekvencích sítě. Zmíněným přechodem je vstupní přechod $t \in T_D$. Je-li síť navržena korektně, neobsahuje žádný přechod, který je mrtvým přechodem ve všech sekvencích sítě (pro všechna přípustná počáteční značení). Analýza živosti sítě představuje

důležitý přínos, jelikož její aplikací je kontrolována korektnost konstrukce konkrétní instance ABA-CPN. Obsahuje-li stavový graf mrtvá značení, která nepředstavují přípustné stavy, je tím indikována chyba v konstrukci sestavené sítě.

5. ZÁVĚR

Aplikace původní podtřídy barvené Petriho sítě – ABA-CPN vytváří předpoklady k dalšímu zkvalitnění rychlého a flexibilního prototypování simulačních modelů dopravních systémů a jejich verifikace. V současné době je pro potřeby tvorby a verifikace ABA-CPN sítí využívána kombinace dvou softwarových produktů. Prvním z nich je nástroj *CPN Tools* vyvíjený univerzitou v Aarhusu, v jehož rámci jsou příslušné Petriho sítě konstruovány a je prováděna první fáze analýzy. Druhým nástrojem je původní prototyp interpretu ABA-CPN, v jehož prostředí se provádí druhá fáze analýzy sítě a realizace její interpretace. Perspektivním úkolem pro další vývoj je vytvoření nového nástroje disponujícího integrovaným prostředím umožňujícím realizovat všechny fáze vývoje, verifikace a evoluce ABA-CPN sítí.

Příspěvek vznikl za podpory Institucionálního výzkumu MSM 0021627505 „Teorie dopravních systémů“ Univerzity Pardubice.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KAVIČKA, A., KLIMA, V., ADAMKO, N. Simulations of transportation logistic systems utilizing agent-based architecture, *International Journal of Simulation Modelling*, DAAAM International, Vienna, 1 (2007) 13-24.
- [2] ADAMKO, N., KAVIČKA, A., KLIMA, V. Agent based simulation of transportation logistic systems, *DAAAM International Scientific Book 2007*, Chapter 36, B. Katalinic (Ed.), DAAAM International, Vienna (2007) 407- 422.
- [3] KAVIČKA, A. Petri net with decision transitions applied within ABAsim architecture of simulation models. In *MOSIS'03 – Proceedings of the 37th conference Modelling and simulation of systems*, MARQ, Ostrava (2006) 373-380.
- [4] KAVIČKA, A., KLIMA, V., ADAMKO, N. Analysis and optimization of railway nodes using simulation techniques, In *COMPRAIL 2006 – Proceedings of 10th Computer system design and operation in the railway and other transit system*, WIT-Press, Southampton (2006) 663-672.
- [5] JENSEN, K. *Coloured Petri nets – basic concepts*. Springer Verlag, Berlin (1997)
- [6] CPN Tools home page. [online]. [cited on 29 February 2008] Available at: <<http://www.daimi.au.dk/CPNTools/>>.
- [7] KAVIČKA, A., ŽARNAY, M. Application of coloured Petri net for agent control and communication in the ABAsim architecture. In *Proceeding of 9th workshop and tutorial on practical use of coloured Petri nets and the CPN Tools*. K. Jensen (Ed.), University of Aarhus, Aarhus-Denmark (2008) 47-62.

Recenzent: Mgr. Ing. Lubomír Sadloň, PhD.

Žilinská univerzita, FRI, Katedra softvérových technologií