

Major Ing. Josef S t r e l e c, CSc.,
plukovník RNDr. V r a t i s l a v D a t e l, CSc.

Modelování sítí služebních kariér

Jednou z rozhodujících systémových změn v oblasti personální služby AČR (Armáda České republiky), v podmínkách její reorganizace a restrukturalizace, je postupný přechod na řízení průběhu služby vojáků z povolání a v další službě podle sítí služebních kariér. Úspěšnost této systémové změny je podmíněna zvýšenými nároky na shromažďování a vyhodnocování informací o personálním zabezpečení, na jejich aktuálnost, obsah i kvalitu.

* * *

Systém řízení průběhu služby podle sítí služebních kariér je specifický podsystém, navazující na tabulky počtů a na datovou základnu o osobách. Vymezuje možný pohyb vojáků z povolání a v další službě po funkčních místech v závislosti na hodnocení, odbornosti, vzdělání a praxi ve funkcích. Půjde o poměrně složité programové řešení, přičemž v první fázi je nezbytné problém vyřešit teoreticky, a to co se týče jak celkové filozofie, tak i implementačních prostředků. Nezbytná je také tvorba zákonných norem celého procesu. Řízení průběhu služby podle sítí služebních kariér, vzhledem k velikosti datové základny a složitosti problému, není bez počítačové podpory možné.

Pro řízení průběhu služby podle sítí služebních kariér je navrhována aplikace teorie Petriho sítí. Jsou definovány dvě různé modifikace těchto sítí, **modifikovaná Petriho síť** (MPS) a o **globální Petriho síť** (GPS). Modifikovaná Petriho síť umožňuje implementaci jednotlivých sítí služebních kariér, a to jak jejich definici, tak i řízení průběhu služby. Protože jsou možné přechody mezi jednotlivými sítěmi služebních kariér, byla nad MPS definována globální Petriho síť, která umožňuje modelovat přechody mezi jednotlivými sítěmi služebních kariér reprezentovanými jednou MPS.

MODIFIKOVANÁ PETRIHO SÍŤ

V této části článku je uvedeno problémově-orientované rozšíření teorie Petriho sítí - **modifikovaná Petriho síť**. Tato síť je vhodným formálním prostředkem pro popis, modelování, řízení a počítačovou implementaci modelů sítí služebních kariér. MPS je určena pro modelování a simulace spojené s jednou sítí služebních kariér.

■ Definice MPS

Modifikovaná Petriho síť **MPS** je bichromatický orientovaný graf určený devíticí:

$$\text{MPS} = (\mathbf{C}, \mathbf{P}, \mathbf{P}_0, \mathbf{T}, \mathbf{D}, \mathbf{M}_{si}, \tau_p, \text{PrP}, \text{PrT}),$$

kde:

- $\mathbf{C} = \{c_1, c_2, \dots, c_M\}$ je konečná množina typů značek. $\mathbf{C}$ je množina osobních čísel vojáků AČR, c_m je osobní číslo m -tého vojáka ($m \in \langle 1, M \rangle$). To např. znamená, že pro daný aktuální čas počet prvků množiny $\mathbf{C}$ představuje aktuální počet vojáků z povolání a v další službě zařazených do dané sítě služební kariéry (tj. počet vojáků je M),
- $\mathbf{P} = \{p_1, p_2, \dots, p_K\}$ je konečná množina vrcholů nazývaných místa, které jsou reprezentovány kroužky. Místo p_i ($i \in \langle 1, K \rangle$) modeluje funkční zařazení, jeho identifikace (číslování) je dána číslem dané funkce,
- $\mathbf{P}_0 = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ je konečná množina míst, která jsou pro danou síť služební kariéry nástupní funkční místa. Platí $\mathbf{P}_0 \subset \mathbf{P}$,
- $\mathbf{T} = \{t_1, t_2, \dots, t_L\}$ je konečná množina vrcholů nazývaných přechody, které jsou reprezentovány čárkami. Reprezentují přechod z jednoho funkčního místa do druhého. $\mathbf{P} \cap \mathbf{T} = \emptyset$,
- $\mathbf{D}: \mathbf{T} \times \mathbf{P} \rightarrow \{-1, 1, 0\}$ je incidenční funkce. Význam přiřazení je následující:
 - * $\mathbf{D}(t_j, p_i) = 1$, když existuje hrana mezi přechodem t_j a místem p_i , p_i jsou výstupními místy přechodu t_j ,
 - * $\mathbf{D}(t_j, p_i) = -1$, když existuje hrana mezi místem p_i a přechodem t_j , p_i jsou vstupními místy přechodu t_j ,
 - * $\mathbf{D}(t_j, p_i) = 0$ v ostatních případech,
 kde $j \in \langle 1, L \rangle$ a $i \in \langle 1, K \rangle$. $\mathbf{D}$ reprezentuje kauzální relaci následnosti jednotlivých funkčních míst (nesmí existovat přechod vojáka z daného funkčního místa na stejné = self loop free),
- $\mathbf{M}_{si} = (\mathbf{V}_1, \mathbf{V}_2, \dots, \mathbf{V}_K)$ je vektor označení, kde $\mathbf{V}_i \subset \mathbf{C}$. $\mathbf{M}_{si}$ je vektor konečných množin vojáků z povolání $\mathbf{V}_i$ ($i \in \langle 1, K \rangle$), kteří jsou ustanoveni na funkční místo modelované místem p_i v daném časovém okamžiku τ_{si} . Počty prvků jednotlivých množin jsou různé, vzájemné průniky jsou prázdné. Dimenze $\mathbf{M}_{si}$ je K . m -tý voják je graficky reprezentován značkou (tečkou), její identifikace je dána osobním (rodným) číslem c_m . Na jednom funkčním místě (v jednom místě p_i) může být několik vojáků (žádný, jeden, několik). Speciálně jsou definovány podmínky přechodu na nástupní funkční místo modelované množinou $\mathbf{P}_0$. Pro $\tau = 0$ nechť $\mathbf{M}_0$ reprezentuje počáteční rozmístění vojáků na funkčních místech dané sítě služební kariéry,
- $\tau_p: \mathbf{P} \rightarrow \mathbf{R}_0$ je vektor času, kde $\mathbf{R}_0$ je množina nezáporných racionálních čísel. Hodnota $\tau_p(p_i)$ vyjadřuje minimální nutnou dobu setrvání vojáka na funkčním místě modelovaném místem p_i , kde $i \in \langle 1, K \rangle$,
- $\text{PrP} = (\mathbf{pP}_1, \mathbf{pP}_2, \dots, \mathbf{pP}_K)$ je vektor konečných množin predikátů, které jsou spojeny s místem p_i . Predikát je zobrazením množiny tvrzení o osobě c_m do množiny

- {TRUE, FALSE}. Tj. pP_i reprezentuje množinu podmínek spojených s ustanovením na funkční místo modelované p_i , kde $i \in \langle 1, K \rangle$. Prvky vektoru PrP jsou množiny predikátů $pP_i = \{poP_{i,1}, poP_{i,2}, \dots, poP_{i,Q}\}$. Prvky množiny pP_i jsou predikáty (podmínky) $poP_{i,k}$ ($i \in \langle 1, K \rangle$ a $k \in \langle 1, Q \rangle$), jejichž uskutečnění (TRUE) determinuje ustanovení na dané funkční místo. Každé místo p_i má svoji množinu predikátů pP_i . k -tý predikát i -té množiny predikátů (tj. množiny predikátů místa p_i) je označován $poP_{i,k}$. $poP_{i,k}$ je funkcí c_m , kde $m \in \langle 1, M \rangle$. Tzn., že pravdivostní hodnotu podmínek ustanovení je nutno testovat pro konkrétního vojáka c_m . S každým místem p_i může být spojeno libovolné množství predikátů. Tyto predikáty představují obecné podmínky pro dosažení daného funkčního místa,
- $PrT = (pT_1, pT_2, \dots, pT_L)$ je vektor konečných množin predikátů, které jsou spojeny s přechodem tj. Predikát je zobrazením množiny tvrzení o osobě c_m do množiny {TRUE, FALSE}. Prvky vektoru PrT jsou množiny predikátů $pT_j = \{poT_{j,1}, poT_{j,2}, \dots, poT_{j,S}\}$. Prvky množiny pT_j jsou predikáty (podmínky) $poT_{j,k}$ ($j \in \langle 1, L \rangle$ a $k \in \langle 1, S \rangle$), jejichž uskutečnění (TRUE) determinuje přechod z jednoho funkčního místa na druhé (tj. přechod mezi funkčními místy, jejichž model p_i , resp. p_h , je vstupním, resp. výstupním, místem přechodu t_j , tj. $D(t_j, p_i) = -1$ a zároveň $D(t_j, p_h) = 1$). Každý přechod t_j má svoji množinu predikátů pT_j . k -tý predikát j -té množiny predikátů (tj. množiny predikátů přechodu t_j) je označován $poT_{j,k}$. $poT_{j,k}$ je funkcí c_m , kde $m \in \langle 1, M \rangle$. Tzn., že pravdivostní hodnotu podmínek přechodu mezi funkčními místy je nutno testovat pro každého vojáka c_m . S každým přechodem t_j může být spojeno libovolné množství predikátů. Tyto predikáty představují specifické podmínky konkrétního přechodu z jednoho funkčního místa na druhé.

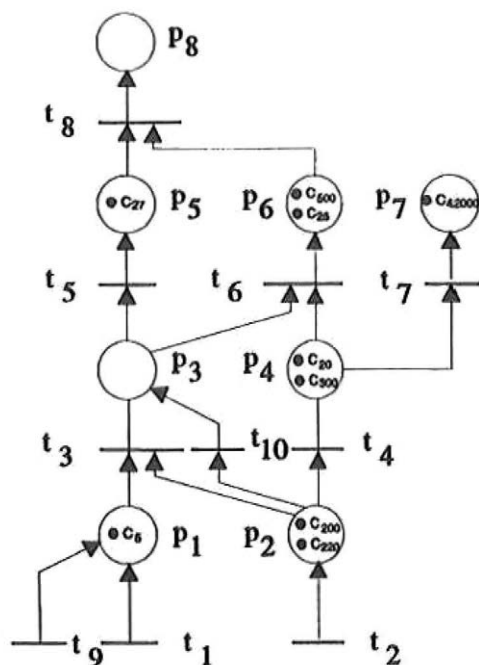
Predikáty v množinách pP_i a pT_j ($i \in \langle 1, K \rangle$ a $j \in \langle 1, L \rangle$) jsou obecné predikáty, jejichž pravdivostní hodnota je funkcí konkrétní značky c_m , tj. konkrétního vojáka.

Jedna MPS modeluje jednu síť služebních kariér, např. síť služební kariéry daného druhu vojska. Množina značek C dané MPS je podmnožinou množiny osobních čísel všech vojáků AČR, tj. počet vojáků umístěných v jedné síti služební kariéry je podmnožinou všech vojáků AČR.

Na obr. 1 je uveden příklad modelu sítě služební kariéry prostřednictvím MPS. Síť je představována osmi funkčními místy, přičemž místa p_1 a p_2 modelují nástupní funkční místa. Pro zjednodušení obr. 1 nejsou uvedeny množiny predikátů pro všechny přechody a místa. Množiny predikátů pT_9 , pT_1 , pT_2 , pP_1 a pP_2 reprezentují podmínky pro umístění vojáka do nástupního funkčního místa.

Služební postup vojáků po jednotlivých funkčních místech je modelován tokem značek v MPS (obr. 1). Okamžitý stav obsazenosti funkčních míst vojáky v čase τ_{si} je charakterizován označením M_{si} tj. rozmístěním značek v místech; umístění značky c_m v místě p_i znamená přechod vojáka c_m na funkční místo modelované místem p_i .

Existence přechodů t_9 a t_1 znamená, že pro umístění značky do místa p_1 je možno aplikovat dvě rozdílné množiny predikátů. Umístění značky do místa p_1 (nástup vojáka c_m do nástupního funkčního místa p_1) je determinováno dvěma různými množinami predikátů pT_9 a pT_1 , to znamená, že existují dvě různé cesty do místa



Obr. 1 Modifikovaná Petriho síť

$$C = \{c_5, c_{20}, c_{25}, c_{27}, c_{200}, c_{220}, c_{300}, c_{500}, c_{42000}\}$$

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8\}$$

$$P_0 = \{p_1, p_2\}$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}\}$$

$$D(t, p) = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 & t_7 & t_8 & t_9 & t_{10} \\ p_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_3 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_4 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_5 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_6 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_7 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_8 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

$$M_{si} = \{\{c_5\}, \{c_{200}, c_{220}\}, \{\emptyset\}, \{c_{20}, c_{300}\}, \{c_{27}\}, \{c_{25}, c_{500}\}, \{c_{42000}\}, \{\emptyset\}\}$$

$$PrP = \{pP_1, pP_2, pP_3, pP_4, pP_5, pP_6, pP_7, pP_8\}$$

$$pP_1 = \{poP_{1,1}, poP_{1,2}, poP_{1,3}, poP_{1,4}\}$$

$$pP_2 = \{poP_{2,1}, poP_{2,2}\}$$

$$pP_3 = \{poP_{3,1}, poP_{3,2}, poP_{3,3}\}$$

$$pP_4 = \{poP_{4,1}, poP_{4,2}, poP_{4,3}, poP_{4,4}\}$$

:

$$PrT = \{pT_1, pT_2, pT_3, pT_4, pT_5, pT_6, pT_7, pT_8, pT_9, pT_{10}\}$$

$$pT_1 = \{poT_{1,1}, poT_{1,2}, poT_{1,3}\}$$

$$pT_2 = \{poT_{2,1}\}$$

:

p_1 . Obdobná situace je znázorněna na obr. 1 pro přechod z místa p_2 do místa p_3 (přes t_3 nebo přes přechod t_{10}). Naopak, přechod značky z místa p_1 do místa p_3 nebo z místa p_2 do místa p_4 je determinován pouze jednou sadou predikátů a to pT_3 resp. pT_4 . Podmínky v množině pT_3 je možno aplikovat jak pro přechod značky z místa p_1 do místa p_3 , tak i pro přechod značky z místa p_2 do místa p_3 .

Pro možnost sledování doby setrvání vojáka na jednom funkčním místě zavedme simulační čas τ_{si} a vektor T_{poc} : $PxC \rightarrow \tau_{si}$, kde $T_{poc}(p_i, c_m)$ ($i \in \{1, K\}$ a $m \in \{1, M\}$) bude reprezentovat časový okamžik ustanovení vojáka c_m do funkce modelované místem p_i . Hodnota vektoru označení M_{si} a vektor realizovatelnosti X (viz níže) jsou funkcemi simulačního času τ_{si} .

Přechod t_j je v čase τ_{si} realizovatelný pro značku c_m umístěnou v místě p_i (tj. voják c_m na funkčním místě daném p_i může přejít přes přechod t_j), jestliže místo p_i je vstupním místem přechodu t_j (podmínka P_1), uplynula doba minimálního setrvání na funkčním místě (podmínka P_2) a jsou splněny odpovídající predikáty z množiny pT_j a množiny pP_h (podmínky P_3 a P_4), kde pP_h je množina predikátů výstupního místa p_h přechodu t_j (podmínka P_5). Formálně vyjádřeno, přechod t_j je pro značku

c_m v čase t_{si} realizovatelný, jestliže $\chi(t_j, \tau_{si}, c_m)$ (1) nabývá hodnotu TRUE, tj. když platí:

$$\chi(t_j, \tau_{si}, c_m) = \prod_{k=1}^5 (P_k) \quad (1)$$

kde:

$$P_1 = \{ D(t_j, p_i) = -1 \} \quad (2)$$

$$P_2 = \{ [\tau_{si} - T_{poc}(p_i, c_m)] \geq \tau_p(p_i) \} \quad (3)$$

$$P_3 = \prod_{n=1}^S \rho o T_{j,n}(c_m) \quad (4)$$

$$P_4 = \prod_{n=1}^Q \rho o P_{h,n}(c_m) \quad (5)$$

$$P_5 = \{ D(t_j, p_h) = 1 \} \quad (6)$$

Nové hodnoty vektoru označení M_{si+1} je dosaženo z M_{si} souběžnou realizací realizovatelných přechodů. Realizovatelnost přechodu je dána podmínkou (1). Realizace přechodu t_j v čase τ_{si} znamená přemístění značky c_m z množiny V_i , $V_i \in M_{si}$ do množiny V_h , $V_h \in M_{si+1}$ (tj. přechod značky z místa p_i do místa p_h přes přechod t_j).

■ Generování množiny dosažitelnosti

Množina dosažitelnosti je množina, která bude obsahovat všechny vektory označení dosažitelné v dané MPS z počátečního vektoru označení M_0 . Grafickou reprezentací množiny dosažitelnosti je strom dosažitelnosti. Jednotlivé prvky stromu dosažitelnosti jsou dány trojicí SD (M_k, T_k, τ_k), kde:

- M_k ... nový dosažený vektor označení,
- T_k ... množina přechodů, jejichž realizací vznikl vektor označení M_k ,
- τ_k ... časový okamžik vzniku označení M_k .

Nové vektory označení jsou generovány na základě testování podmínky (1) pro jednotlivé značky rozmístěné v dané MPS. Je umožněna současná realizace všech přechodů, které jsou z daného označení realizovatelné, tj. v jednom τ_{si} . Algoritmus generování stromu dosažitelnosti vychází z výše uvedených podmínek. Algoritmus dále musí vyšetřit všechny možné kombinace realizací přechodů, jejichž realizace je v konfliktu (tj. odchod značky z místa determinuje realizaci dvou a více přechodů, tj. voják c_m splňuje podmínky přechodu přes více než jeden přechod - variantní postup). V důsledku konfliktu jsou generovány všechny možné kombinace dosažitelných vektorů označení, z nichž každé představuje počátek nové větve stromu dosažitelnosti.

Pro generování stromu dosažitelnosti je definován pomocný vektor, tzv. vektor realizovatelnosti X . Vektor realizovatelnosti $X = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}$ je L -rozměrný vektor

množin x_j ($j \in \{1, L\}$), které obsahují takové značky c_m , pro které je v daném čase τ_{si} splněna podmínka realizovatelnosti (1) přechodu t_j . Je-li množina x_j prázdná, znamená to, že přechod t_j není z daného vektoru označení M_{si} realizovatelný (tj. žádná značka neprojde přes přechod t_j). Je-li množina x_j jednoprvková, znamená to, že právě pro jednu značku je přechod t_j realizovatelný. Je-li množina x_j dvou a víceprvková, znamená to, že přechod t_j je realizovatelný pro dva a více značek. Vektor realizovatelnosti je vždy vytvořen pro daný čas t_{si} a daný vektor označení M_{si} . Značka c_m je umístěna do té množiny x_j , když je splněna podmínka (1) pro realizovatelnost přechodu t_j . Je-li značka c_m ve víc jak v jedné množině x_j , znamená to, že došlo ke konfliktní situaci (viz výše).

Postup při sestavení množiny dosažitelnosti je následující:

1. Necht' výchozím prvkem množiny dosažitelnosti (výchozím vrcholem stromu dosažitelnosti) je počáteční vektor označení M_0 , položíme $t_{si} = 0$.
2. Nastavení pořadového čísla testovaného označení ($TO = 0$) a pořadového čísla generovaného označení ($GO = 1$).
3. Inkrementace t_{si} , výpočet vektoru realizovatelnosti z označení M_{TO} na základě podmínky (1).
4. Test ukončení generování stromu dosažitelnosti. Je-li splněna podmínka

$$\bigcup_{j=1}^L x_j = \emptyset, \quad (7)$$

tzn, že není realizovatelný ani jeden přechod, a zároveň pro všechny $i=1,2,\dots,K$ a $m=1,2,\dots,M$ platí vztah

$$[\tau_{si} - T_{poc}(p_i, c_m)] < T_p(p_i), \quad (8)$$

tj., že žádný voják nečeká na časovou podmínku setrvání na funkčním místě, a zároveň $TO=GO$, tedy nevzniklo žádné nové označení (vzhledem k předcházejícím řešením konfliktních situací), je proces generování stromu dosažitelnosti zastaven. V případě, že není žádný přechod realizovatelný, ale aspoň jeden voják nesplnil časovou podmínku setrvání na funkčním místě, pokračuje postup bodem 3. Jestliže není žádný přechod realizovatelný a žádný voják nečeká na časovou podmínku setrvání na funkčním místě, ale $GO=TO$, pokračuje postup bodem 11. V ostatních případech pokračuje postup bodem 5.

5. Na základě podmínky (1) je vypočten vektor realizovatelnosti X a z něho nový vektor označení M^* , přičemž je umožněna paralelní realizace několika přechodů.
6. Pro daný vektor označení M^* se testuje, které z přechodů jsou při jeho dosažení v konfliktu. Jestliže nedošlo k žádnému konfliktu, pokračuje postup bodem 10, v opačném případě bodem 7.
7. V případě konfliktní realizace přechodů je nutno zjistit čísla přechodů v konfliktu a vytvořit z nich všechny možné kombinace. Každá z těchto kombinací společně s nekonfliktními přechody bude vytvářet množinu možných vektorů realizovatelnosti.

8. Vyber prvek X z množiny možných vektorů realizovatelnosti, na jeho základě vypočti nový vektor označení M' . Jestliže se nový vektor označení M' shoduje s některým z vektorů označení M^+ , který už je prvkem množiny dosažitelnosti, vznikne nová hrana orientovaná z vrcholu s vektorem označení M_{TO} do vrcholu s vektorem označení M^+ . V opačném případě je vektor označení M^+ zařazen jako nový vektor označení M_{GO} do stromu dosažitelnosti a vznikne nová hrana orientovaná z vrcholu s vektorem označení M_{TO} do vrcholu s vektorem označení M_{GO} . Zároveň dojde k inkrementaci indexu GO , $GO=GO+1$.
9. V případě, že není množina možných vektorů realizovatelnosti prázdná, pokračuje postup bodem 8, v opačném případě pokračuje postup bodem 11.
10. Jestliže se vektor označení M^+ shoduje s některým vektorem označení M^+ , který už je prvkem množiny dosažitelnosti, vznikne nová hrana orientovaná z vrcholu s vektorem označení M_{TO} do vrcholu s vektorem označení M^+ . V opačném případě je vektor označení M^+ zařazen do stromu dosažitelnosti jako nový vektor označení M_{GO} a vznikne nová hrana orientovaná z vrcholu s vektorem označení M_{TO} do vrcholu s vektorem označení M_{GO} . Zároveň dojde k inkrementaci indexu GO , $GO=GO+1$.
11. Inkrementace indexu TO , $TO=TO+1$. Postup pokračuje bodem 3.

■ Analýza množiny dosažitelnosti

Prvky množiny dosažitelnosti (tj. dosažené vektory označení) představují možná rozmístění vojáků na funkčních místech v daném čase. Pro daný časový okamžik lze získat všechna možná rozmístění vojáků v dané síti služební kariéry. Kromě obdobných šetření lze navíc automaticky analyzovat i některé jiné vlastnosti stromu dosažitelnosti.

Analýza živosti

MPS je živá tehdy a jen tehdy, když pro libovolný vektor označení M_k z SD a pro libovolný přechod t_j z T existuje posloupnost realizací, která začíná v M_k a realizuje přechod t_j . Živost sítě zaručuje, že nedojde k zablokování systému, tzn., že vždy existuje možnost přesunu vojáků na funkčních místech. MPS je živá právě tehdy a jen tehdy, když z každého vrcholu stromu dosažitelnosti existuje výstupní hrana. Přechod t_j z T byl realizovaný, je-li prvkem množiny T_k aspoň jednoho prvku z SD (M_k, T_k, τ_k). Algoritmus analýzy živosti je následující:

```

begin
    if byly realizovány všechny přechody  $t_j$  z T then
        if všechny vrcholy stromu dosažitelnosti mají výstupní hranu
            then síť je živá
        else síť není živá
    end

```

Analýza omezenosti

MPS je omezená, když existuje přirozené číslo λ takové, že pro všechny M_k z SD a pro všechny p_i z P platí:

$$M_k(p_i) \leq \lambda \quad (9)$$

kde λ je kladné celé číslo a $M_k(p_i)$ je velikost množiny V_i .

To znamená, že v žádném místě není v žádném označení víc než λ značek. Z přijaté koncepce MPS, kdy místo p_i modeluje funkční místo a značka c_m vojáka vyplývá, že lze definovat celková globální omezení na počet vojáků umístěných na některých funkčních místech v dané síti služebních kariér. Algoritmus analýzy omezenosti MPS je následující (KP je počet vrcholů stromu dosažitelnosti a $M_k(p_i)$ je velikost množiny V_i):

```

begin cyklus zpracování vrcholů stromu dosažitelnosti
  for k=1 to KP do
    begin cyklus zpracování míst P
      for i=1 to K do
        if počet značek  $M_k(p_i)$  v místě  $p_i$  je  $M_k(p_i) \leq \lambda$ , kde  $M_k(p_i) \geq 0$  a
            $\lambda > 0$  jsou celá čísla
        then síť je omezená, tzn., že pro všechny  $M_k$  z SD
           platí  $M_k(p_i) \leq \lambda$  pro všechny  $p_i$  z P
        else síť není omezená
      end
    end
  end
end

```

Analýza konzervativnosti

MPS je konzervativní, když všechny vektory označení M_k z SD obsahují konstantní počet značek, tj. pro všechny M_k z SD platí ($M_k(p_i)$ je velikost množiny V_i):

$$\sum_{i=1}^K M_k(p_i) = \text{konst.} \quad (10)$$

Konzervativnost zabezpečuje neměnný počet značek v síti, tj. počtu vojáků v dané síti služební kariéry.

Algoritmus analýzy konzervativnosti je následující:

```

begin cyklus na zpracování vrcholů stromu dosažitelnosti
  for k=1 to KP do
    begin cyklus na zpracování míst P
      if součet značek ve všech místech každého prvku stromu
         dosažitelnosti je konstantní
      then síť je konzervativní
      else síť není konzervativní
    end
  end
end

```


Analyza regulárnosti

MPS je regulární tehdy a jen tehdy, když pro všechna M_k z SD existuje posloupnost realizací taková, že pro libovolné M_k přejde systém do M_0 (tj. systém se vrací do původního stavu).

Algoritmus analýzy regulárnosti MPS je následující:

```
begin
  if graf stromu dosažitelnosti je silně souvislý
  then MPS je regulární
  else MPS není regulární
end
```

Na analýzu silné souvislosti grafu stromu dosažitelnosti je možno použít např. Tarjanův algoritmus.

Analyza kritické cesty

Časové ohodnocení stromu dosažitelnosti vyplývá z času setrvání v jednotlivých funkčních místech, který je uveden ve vektoru τ_p . Nalezení kritické cesty v grafových strukturách je popsáno v literatuře. Při uvedených postupech se nejčastěji používá maticové reprezentace grafů. Při návrhu algoritmu nalezení minimální (maximální) cesty je výhodnější reprezentace ve tvaru seznamů. Seznam pozůstává ze třech částí - první obsahuje seznam všech uzlů stromu dosažitelnosti S_1 , druhá seznam všech jejich následníků S_2 , a třetí seznam příslušných přechodů t_j . Na analýzu kritických cest v grafu stromu dosažitelnosti je možno použít např. Dantzingův algoritmus. Minimální a maximální cesta představuje nejrychlejší a nejdelší služební kariéru.

GLOBÁLNÍ PETRIHO SÍŤ

Vzhledem ke složitosti procesů při pohybech vojáků z povolání v sítích služebních kariér, není možné vystačit s izolovanými sítěmi služebních kariér modelovaných MPS daného druhu vojska. Globální Petriho síť (GPS) je vhodným formálním prostředkem pro popis, modelování, řízení a počítačovou implementaci vzájemného propojení modelů služebních kariér v MPS.

GPS je zobecněním definované MPS. Místo p_i GPS je představováno celou sítí MPS. Mezi jednotlivými místy jsou definovány globální přechody t_j . Globální přechody t_j modelují možné přechody mezi jednotlivými sítěmi služebních kariér. GPS znázorňuje **obr. 2**.

Přesná definice GPS přesahuje rozsah tohoto článku.

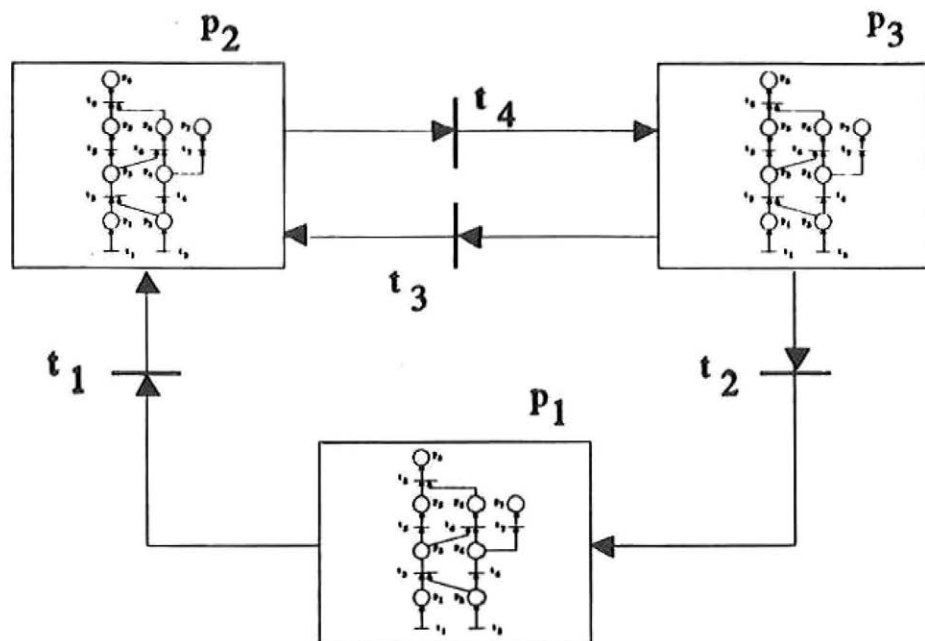
* * *

Definice sítí služebních kariér je v kompetencích náčelníků druhů vojsk a služeb. Úlohou těchto pracovníků je definovat popisy funkčních míst (množinu P), stanovit přechody mezi funkčními místy (incidenční matice D) a určit podmínky spojené s ustanovením do konkrétních funkcí, resp. spojené s přechodem mezi konkrétními dvojicemi funkcí.

Použití MPS je možno spatřovat ve třech základních oblastech:

- ① MPS je možno použít jako **formální prostředek pro definici** modelů služebních kariér. Tuto úlohu musejí řešit druhy vojsk a služeb. K vyřešení této úlohy je nevyhnutné zavést jednotnou metodiku již od počátku.
- ② MPS může sloužit jako základní nástroj pro implementaci modelů služebních kariér v počítači.
- ③ MPS a GPS jsou teoretickým základem počítačové implementace řízení průběhu služby podle modelů služebních kariér.

Užití uvedených nástrojů otevírají další možnosti. Je např. možné prostřednictvím MPS a GPS modelovat, a tak částečně predikovat stav rozmístění vojáků z povolání a v další službě na funkčních místech nebo na definované podmnožině funkčních míst. Systém je schopen zodpovědět otázky typu: „Kteří uchazeči jsou vhodní pro dané volné funkční místo?“ nebo „Co musí voják X. Y. splňovat, aby mohl zastávat dané funkční místo?“ či „Jaké možnosti kariér má voják X. Z.“



Obr. 2 Příklad globální Petriho sítě

Systém lze také použít jako podporu pro rozhodování (expertní systém) při rozmísťování, přemísťování, vyhledávání místa, resp. redukci počtů.

Literatura:

- **Diaz, M.:** Modelling and Analysis of Communication and Cooperation Protocols Using Petri Nets. Computer Networks, 1982, No. 6, pp. 419-441.
- **Kubátová, H.:** Ověřování vlastností diskrétních systémů pomocí analýzy Petriho sítí. Automatizace, 1984, roč. 27, č. 3, s. 60-64.
- **Peterson, J. L.:** Petri Net Theory and Modelling of Systems. Prentice Hall, Inc., 1981, 260 p.
- **Olej, V. - Strelec, J. - Chmúrny, J.:** Analysis of Deterministic, Stochastic and Fuzzy Discrete Systems by Generalized Petri Net. In. Proceedings of International Fuzzy Engineering Symposium, Yokohama 1991, Vol. 1, pp. 230-238.
- **Strelec, J. - Olej, V. - Chmúrny, J.:** Generalized Deterministic, Discrete Stochastic and Fuzzy Petri Nets. Bulletin for Studies and Exchanges on Fuzziness and its Application BUSEFAL, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 36, 1990, No. 44, pp. 22-26.
- **Strelec, J. - Mokriš, I.:** Modelování propojovacích polí multiprocesorových systémů. Slaboproudý obzor, 52, 1991, č. 1, s. 22-26.
- **Strelec, J. - Mokriš, I.:** Metody návrhu řídicích systémů s transputery. Automatizace, 34, 1991, č. 2, s. 45-49.