MSUS

- modelovanie
- simulácia
- udalostných
- systémov

Marček Stanislav *Daniela Chudá*

S T U
F E I
SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Fakulta elektrotechniky a informatiky
SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology

MSUS hodnotenie

uim.fei.stuba.sk/predmet/i-msus/

Hodnotenie ()

t	… test prednáška	<0;20>bodov	
p	… prezentácia/referát	<0;20>bodov	
ot	… opravný test	<0; 10>bodov	min. 20b
pb	… prednášky	<0;..) bodov	
sk	… skúška	<0; 60>bodov	min. 56b

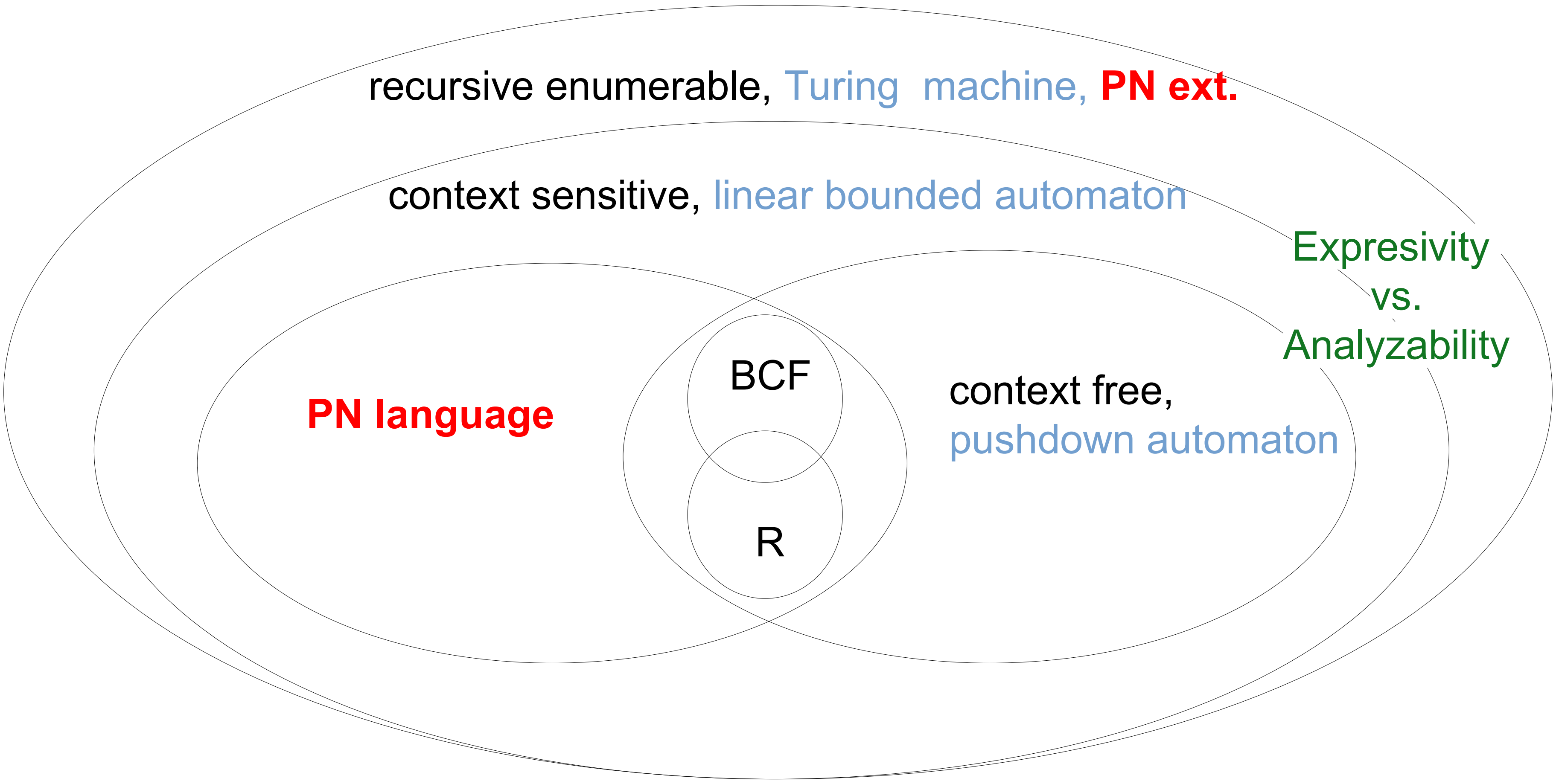
Skúška z otázok/látky na cvičení a prednáškach.

Sémantika

(Ne)Sekvenčná sémantika v Petriho sieťach

- sekvencia spustení
- kroková sekvencia
- procesy
- výrazy
- čiastočné usporiadanie nálepok (multimnožiny prechodov)

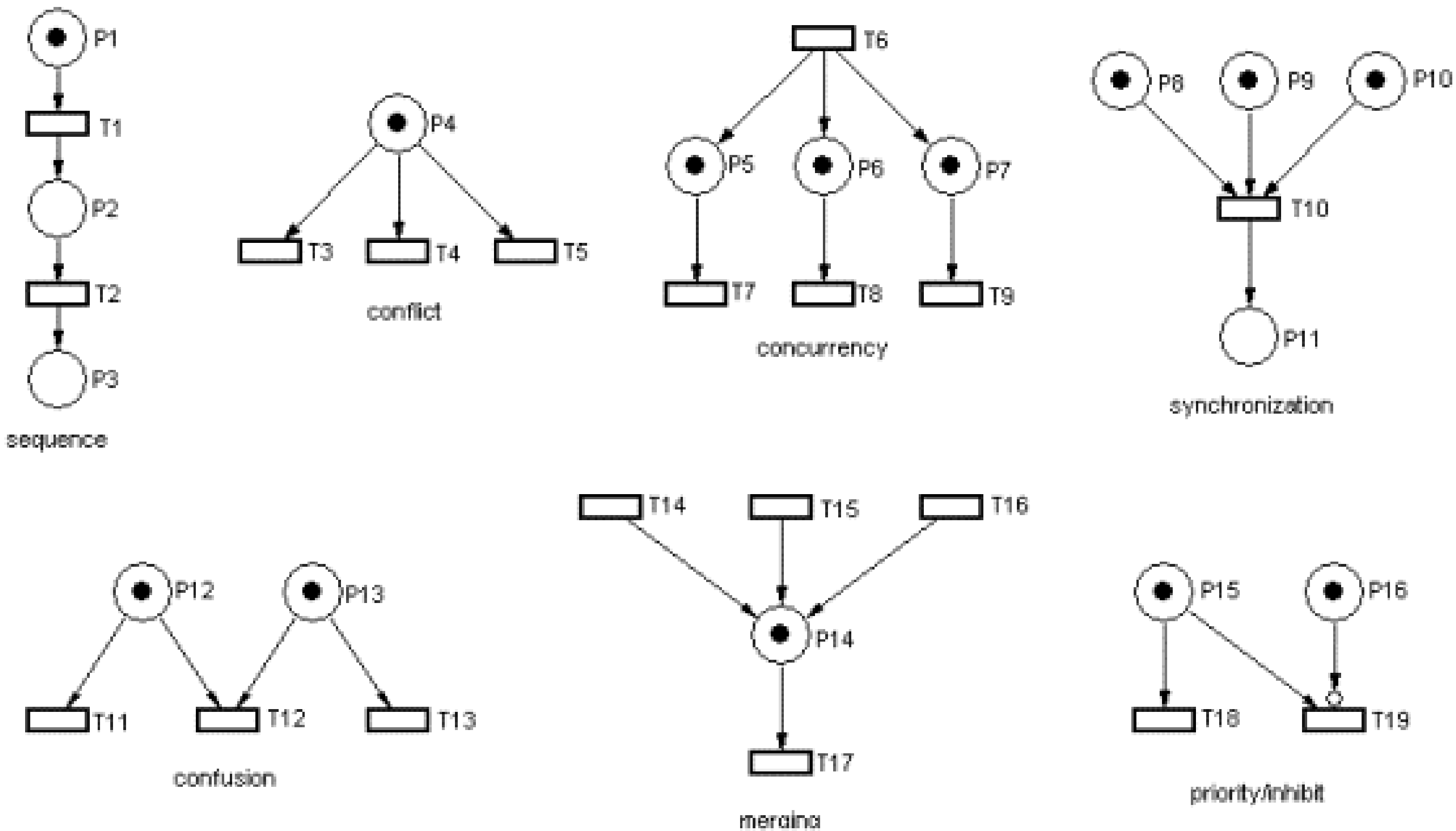
Chomsky hierarhy - expressivity



R- regular language, finite state automaton;
BCF – Bounded Context-free language
Peterson, J.L. - Petri Net theory and the modeling of Systems, Prentice-Hall, 1981
FSA < R < linear gramar < context free < context sensitive < recur. enu.

PN vzťahy medzi prechodmi

Elementárne štruktúry



STU FEI

MURATA, Tadao. Petri nets: Properties, analysis and applications. Proceedings of the IEEE, 1989, 77.4: 541-580.

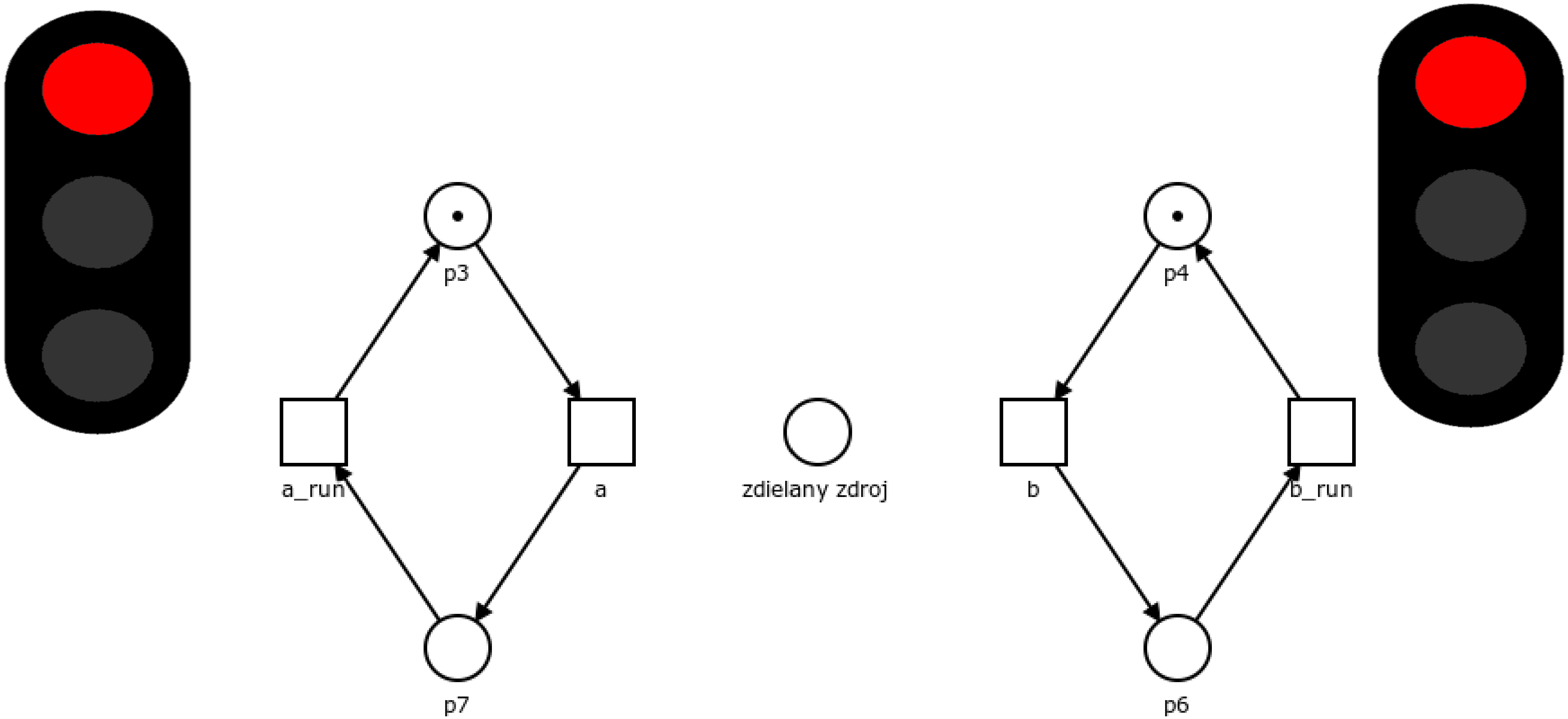
Sémantika

(Ne)Sekvenčná sémantika v Petriho sieťach

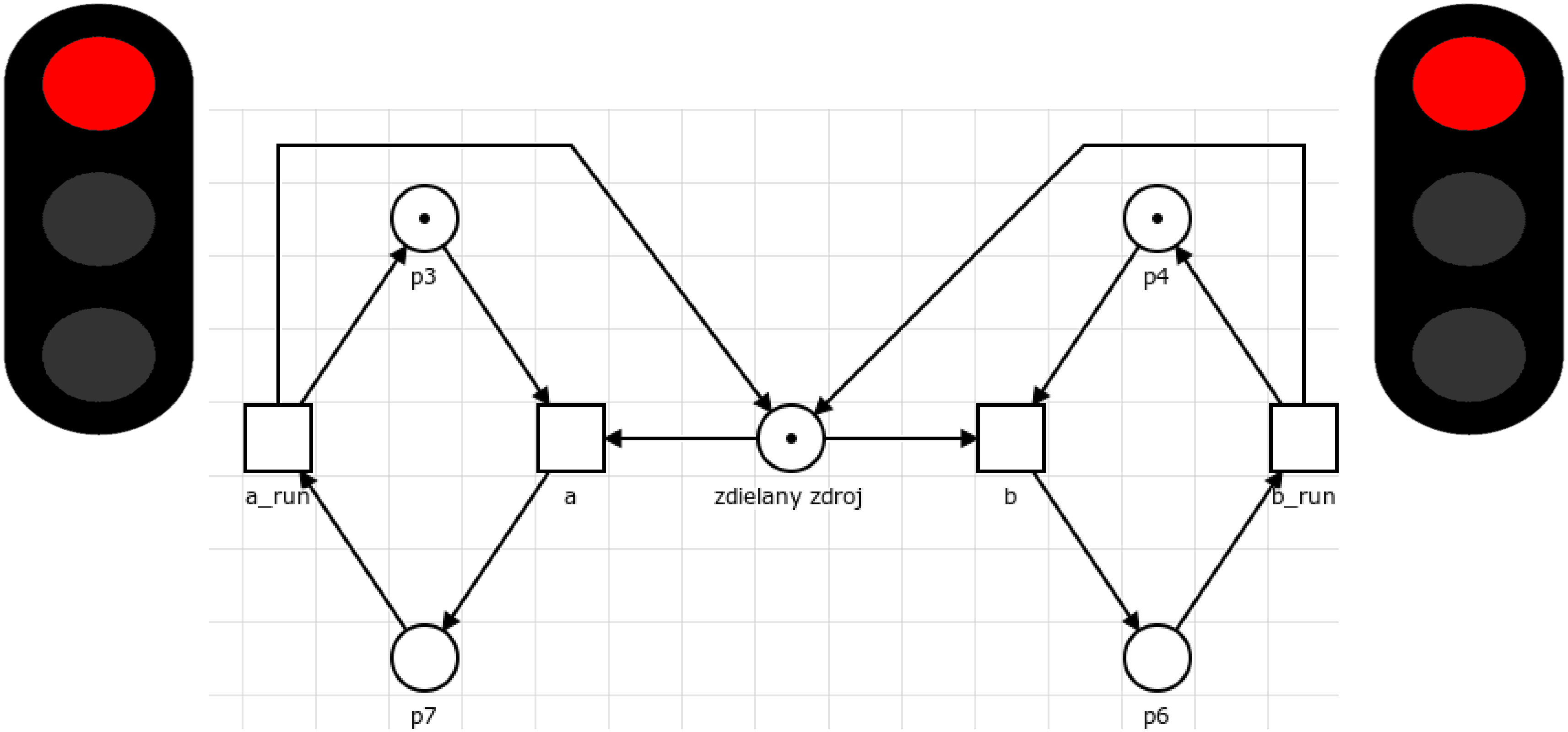
- sekvencia spustení
- kroková sekvencia
- procesy
- výrazy
- čiastočné usporiadanie nálepok (multimnožiny prechodov)

STU FEI

Vzájomné vylúčenie



Vzájomné vylúčenie



Vlastnosti

Boundedness – Ohraničenosť -> k-ohraničenosť -> safe
Reachability – Dosiahnuteľnosť
Liveness – Živosť -> Deadlock-free -> Livelock; Non-termination
Reversibility – Home state – Repetitive

Promptness –
Persistence –
Regularity and context-freeness –
Semilinearity –

Conflict free –
Free choise –
Fairness –
Consistent –
Equivalences: Značkovania, Trace and language, Bisimulation

Definície Petriho sieti

$P=\{p_1, \dots ,p_n\}$

$T=\{t_1, \dots , t_m\}$

$P \cap T = \varnothing, P \cup T \neq \varnothing$

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$

$W: F \rightarrow (Z+)$

$M_0: P \rightarrow (Z / Z-)$

$P=\{p_1, \dots ,p_n\}$

$T=\{t_1, \dots , t_m\}$

$P \cap T = \varnothing, P \cup T \neq \varnothing$

$I: (P \times T) \rightarrow (N \cup \{0\})$

$O: (T \times P) \rightarrow (N \cup \{0\})$

$M_0: P \rightarrow (N \cup \{0\})$

Spustiteľnosť

Spustiteľnosť

$I(p_I, t) \leq m(p_I)$ && $m(p_O) + O(p_O,t) \leq k(p_O)$

k je kapacita … maximálne ohraničenie značiek v mieste

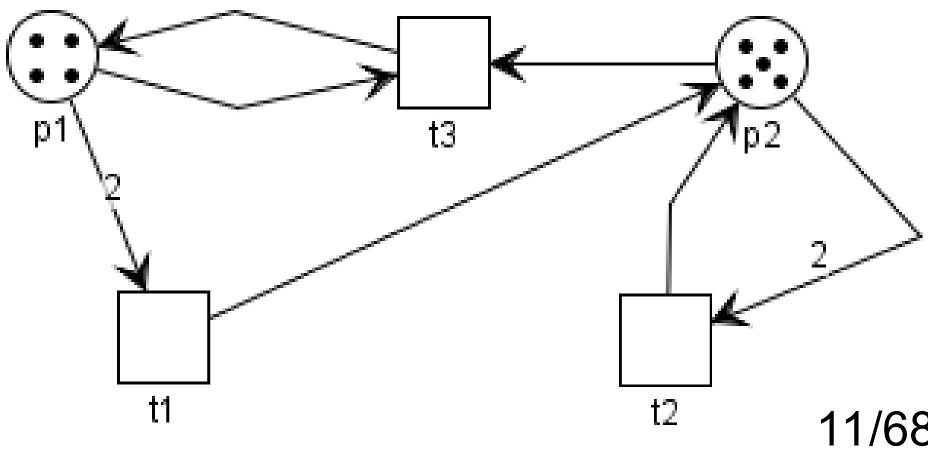
pre-set … •t , p $\subseteq$ P: $\exists$w(p,t) ……………•t3:{p1,p2}

post-set ... t•, p $\subseteq$ P: $\exists$w(t,p) ……………t3•:{p1}

$\forall p \in \bullet t : w(p_I,t) \leq m(p_I)$

&&

$\forall p \in t\bullet : m(p_O) + w(t, p_O) \leq k(p_O)$



Dosiahnuteľnosť

- definícia **dosiahnuteľnosti** je cez reflexívny a tranzitívny uzáver

Reflexia f(a)=a

Tranzitivita f(a,b), f(b,c) → f(a,c),f(b,b), f(c,c)

$$\mathbf{I.X^T \leq m^T}$$

$$\mathbf{m^T{}_x = m^T + C.X^T}$$

Živosť

Prechod **t** z T je:

- L1: $\exists$ spust. sekv. z $\mathbf{m_0}$, že **t** je spustiteľné
- L2: $\exists$ sekvencie z $\mathbf{m_0}$, že **t** je k-krát spust.
- L3: $\exists$ sekvencie z $\mathbf{m_0}$, že **t** je ∞-krát spust.
- L4: $\forall$ m dosiah. z $\mathbf{m_0}$ je **t** spust. v sekvencii

- L0 ak $\nexists$ sekvencia, aby **t** sa spustil

STU FEI

T-invariant

$$C.X^T=0$$ //maticové operácie

Cyklus v PS … $\exists\ x_i$ vo vektore X kladná a ostatné x_j sú nezáporné

Reverzibilnosť PS … cyklus v kt. sa dokážem dostať do stavu m_0

Obmedzenia!!

štrukturálna vlastnosť PS !!

Hľadanie X?

… Integer Linear Programing …

P-invariant

$Y.C=0$ //maticové operácie

$\sum I(p) \times i(p) = \sum O(p) \times i(p)$

Štrukturálna ohraničenosť … ováhovaná suma značiek v miestach sa nemení

Obmedzenia!!!

Hľadanie Y?

$\forall$ y_i *vo vektore Y sú kladné*

$\exists$ y_i *vo vektore Y kladná a ostatné sú nezáporné*

… Integer Linear Programing …

Dosiahnuteľnosť

- Prázdny list značkovaní m
- Prázdny list hrán t
- vlož značkovanie m_0
  - Pokiaľ máme značkovanie skúmaj:
    - Spustiteľnosť prechodov t_x a výpočítaj m_x
    - Ak sa m_x nenacháza v liste zaraď ho
    - Ak existuje predchodca m, taký m_x>m→ neohranič.
    - Vlož hranu t_x z m do m_x, pre danú cestu
  - Označ ako preskúmané

Dosiahnuteľnosť

PS delíme na ohraničené a neohraničené.

Konečnú množinu stavov → zostaviť stavový graf

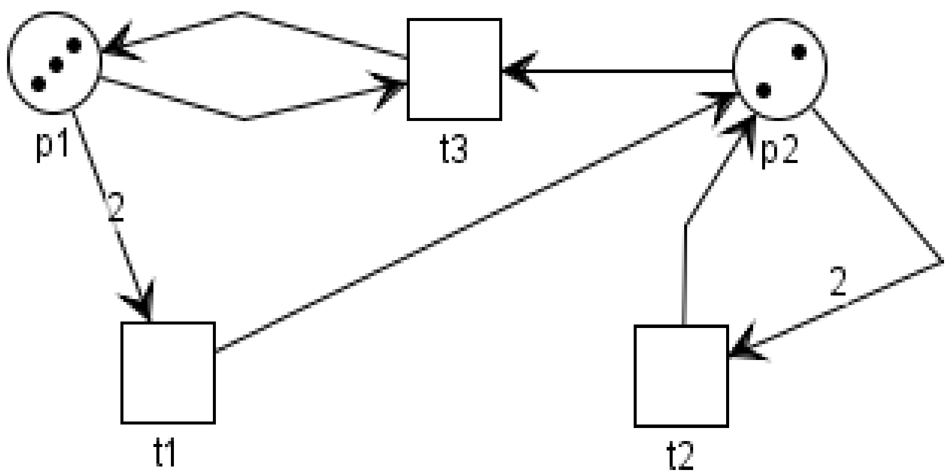
$$m: P \rightarrow (N \cup \{0\}) \quad , \quad n: P \rightarrow (N \cup \{0\})$$

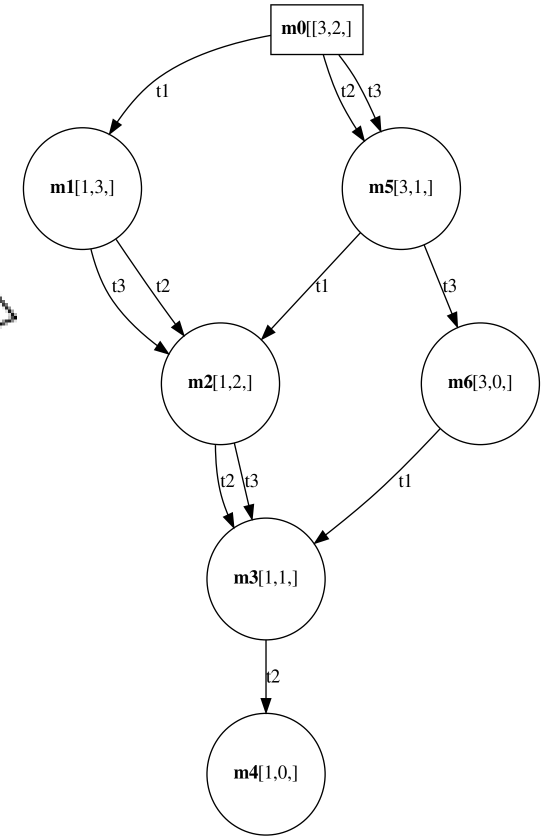
$$\mathbf{m<n \Leftrightarrow \forall p\in P: m_p \leq n_p \wedge \exists p\in P: m_p<n_p}$$

DFS, BFS (majme vrcholy a hrany)

K-, safe, štrukturálna ohraničenosť.

Kroková sémantika



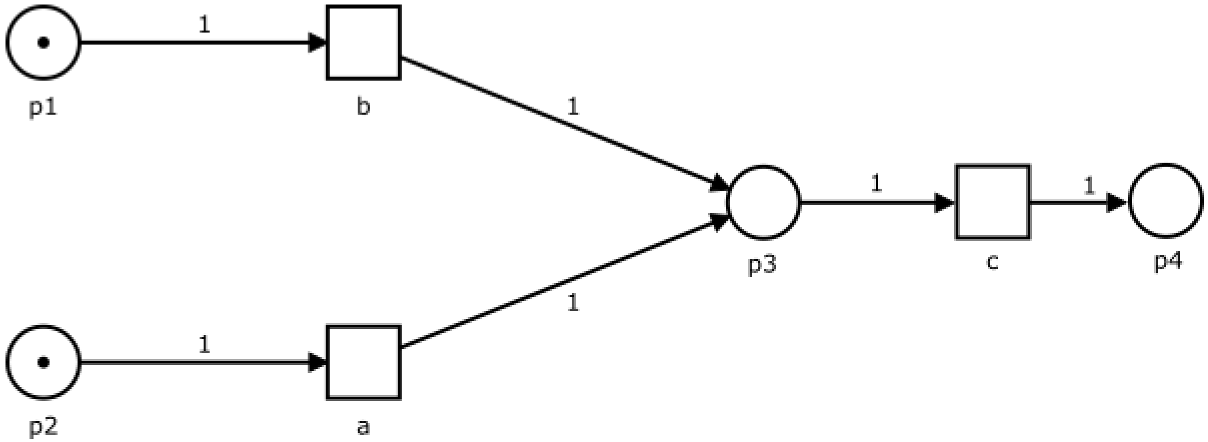


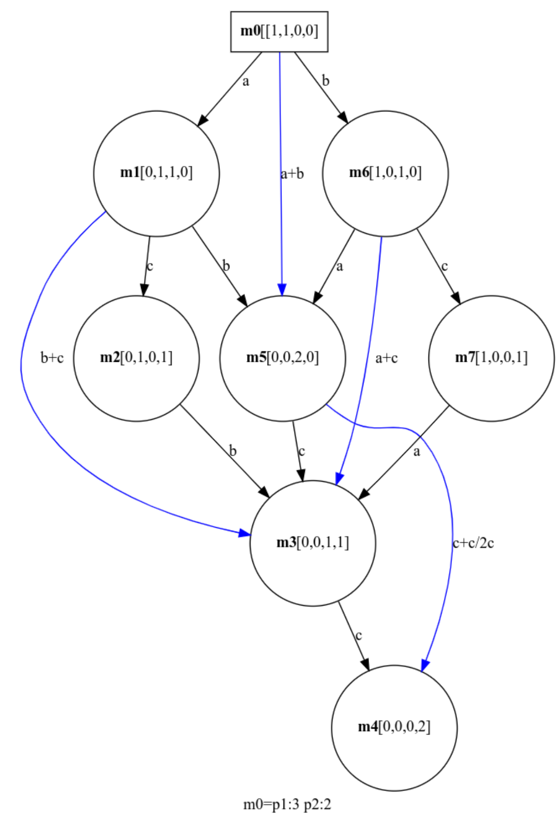
m0=p1:3 p2:2

Je možné aj iné pozorovateľné správanie?

STU FEI

Kroková sémantika

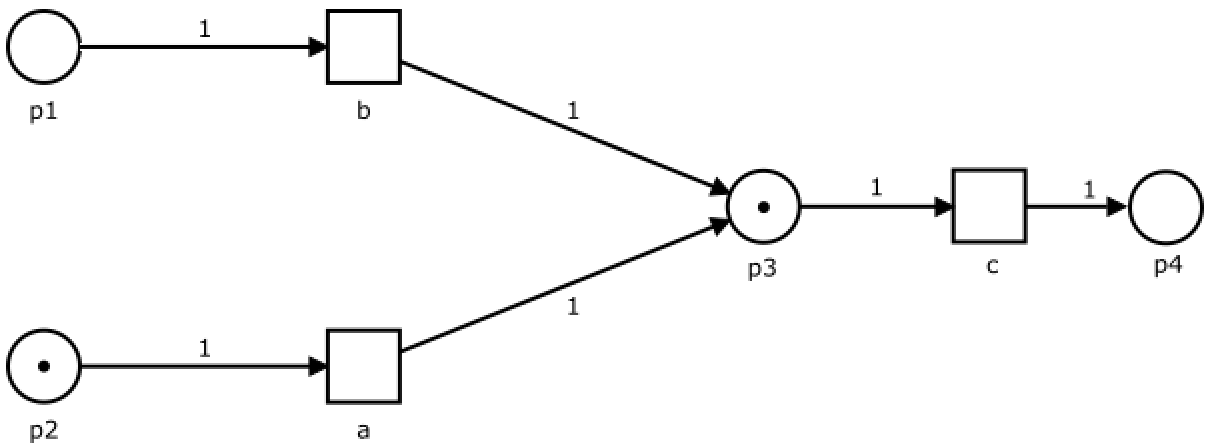


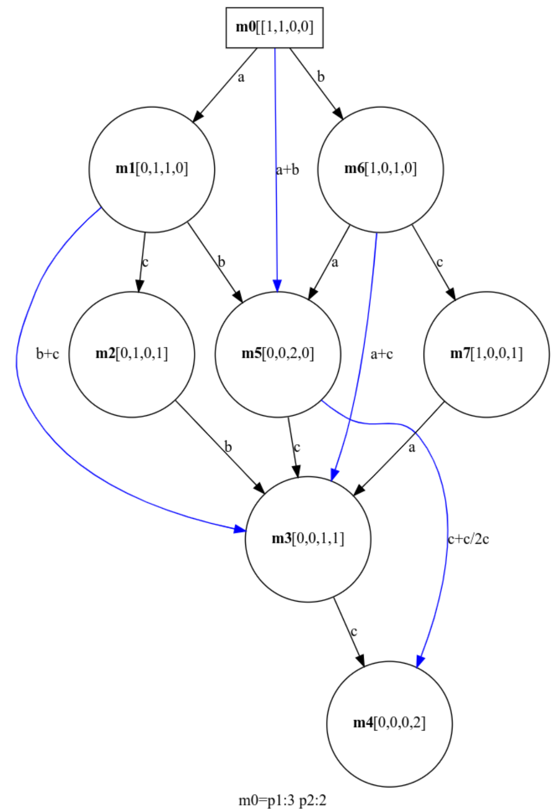


prepisovacie pravidlá:
- kauzalita ;
- paralelizmus/nezávislosť +

sekvencia:

Kroková sémantika

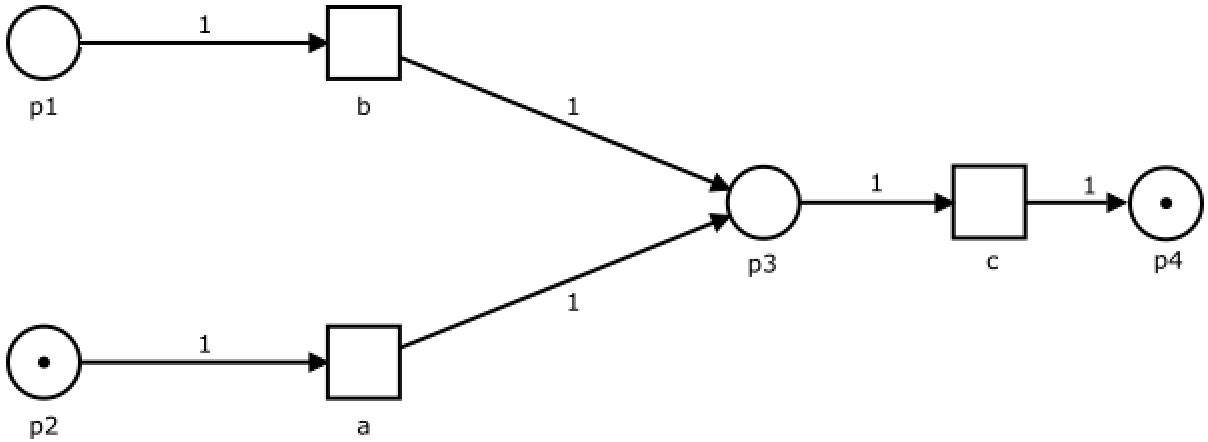


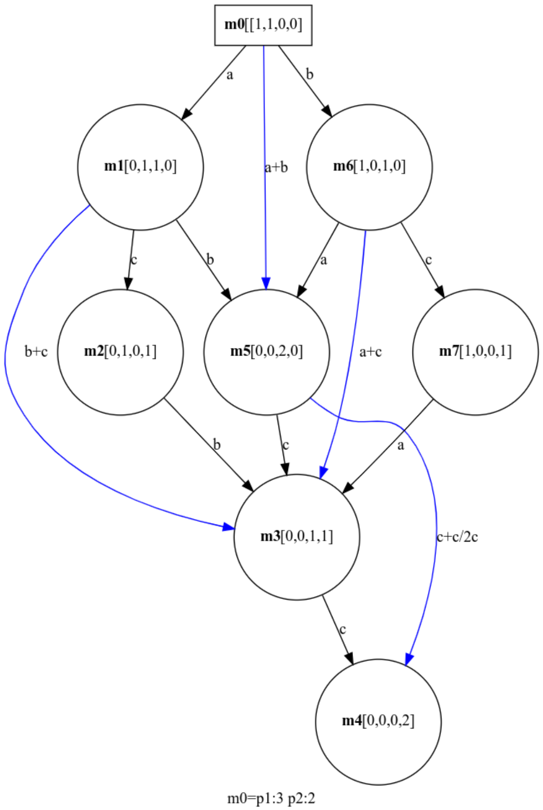


prepisovacie pravidlá:
- kauzalita ;
- paralelizmus/nezávislosť +

sekvencia:
b

Kroková sémantika

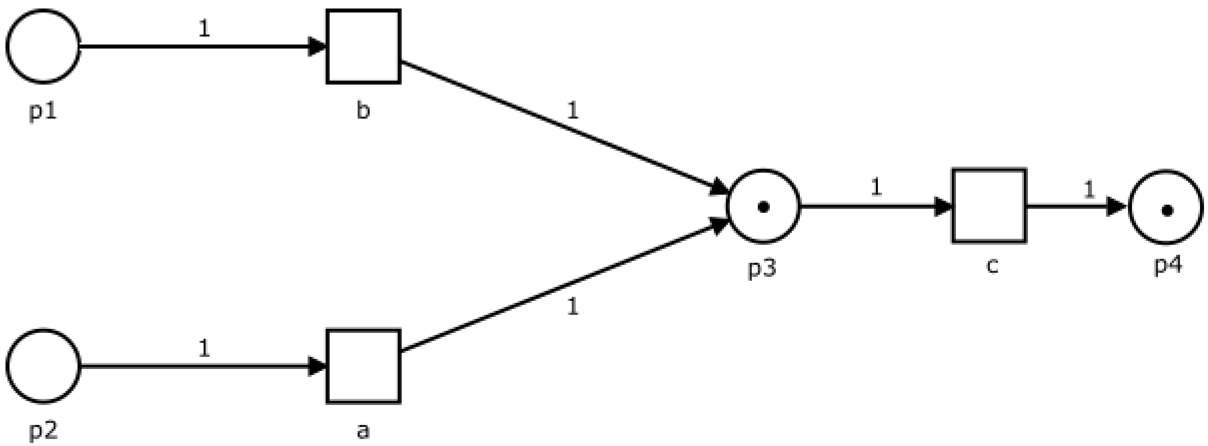


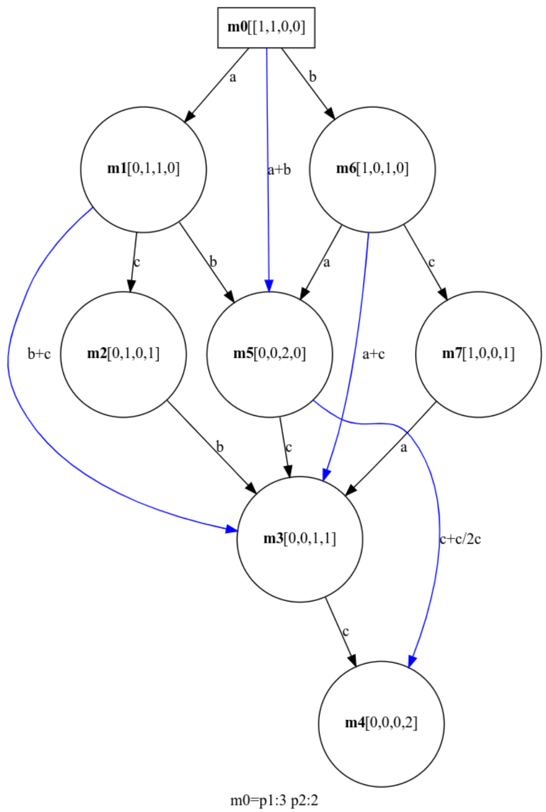


prepisovacie pravidlá:
- kauzalita ;
- paralelizmus/nezávislosť +

sekvencia:
b;c

Kroková sémantika

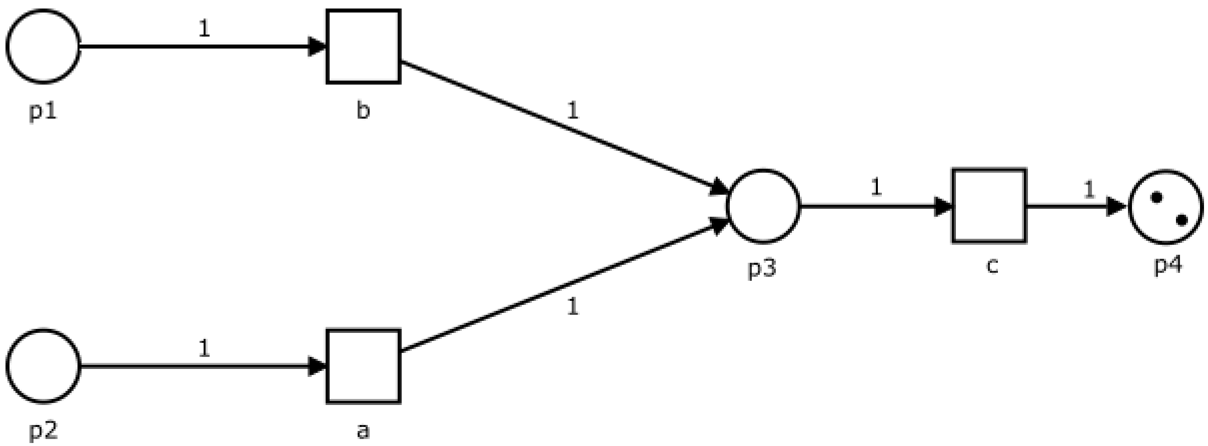




prepisovacie pravidlá:
- kauzalita ;
- paralelizmus/nezávislosť +

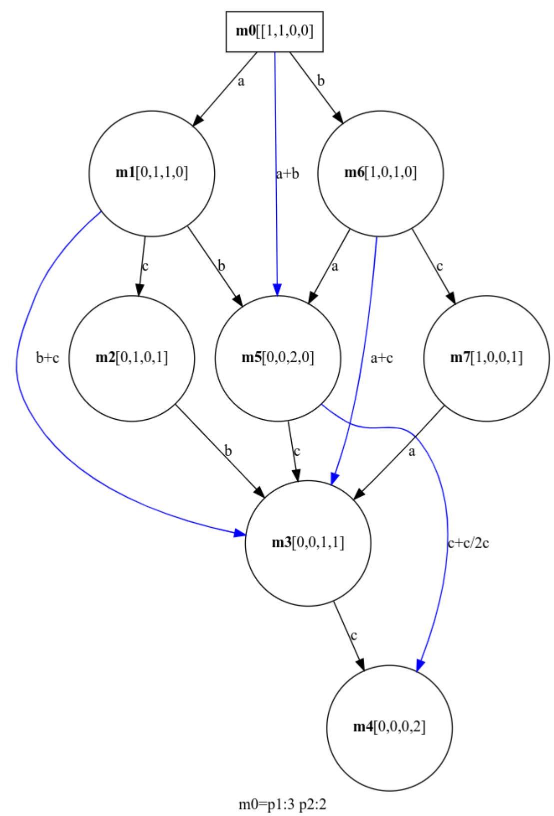
sekvencia:
b;c;a

Kroková sémantika

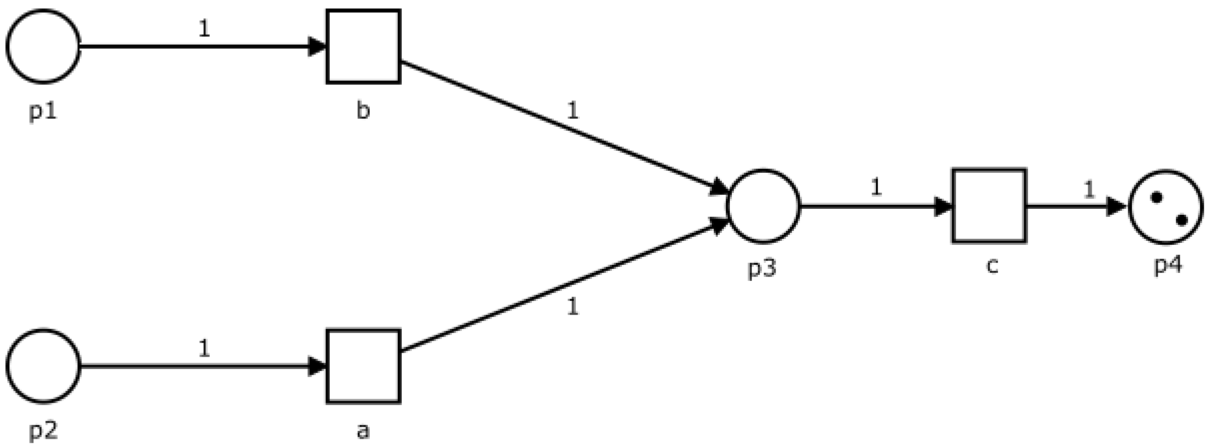


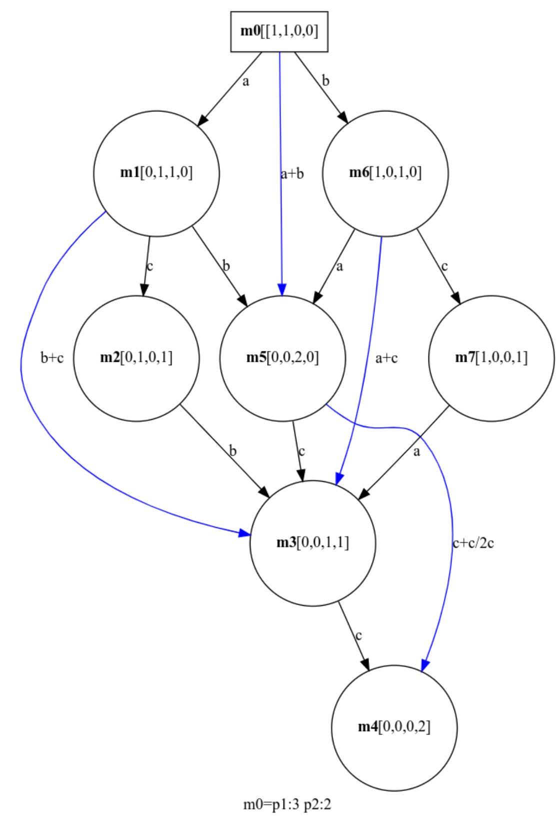
prepisovacie pravidlá:
- kauzalita ;
- paralelizmus/nezávislosť +

sekvencia:
b;c;a;c



Kroková sémantika





prepisovacie pravidlá:
- kauzalita ;
- paralelizmus/nezávislosť +

možnosti sekvencii:

b;c;a;c

b;a;c;c

a;c;b;c

a;b;c;c

a+b;c;c

a;b+c;c

b;a+c;c

a+b;c+c

a;b;c+c

Kroková sémantika

Krok je multimnožina prechodov k: T → N (N sú nezáporné celé čísla)

Krok k je spustiteľný v značkovani m práve vtedy keď:

$\forall p \in P, \quad \sum [\, I(p,t) \,.\, k(t) \,] \leq m(p)$.

Jeho spustenie v m_x vedie do značkovania m_y takého:

. $\forall p \in P, \quad m_y(p) = m_x(p) + \sum [\, C(p,t) \,.\, k(t) \,]$

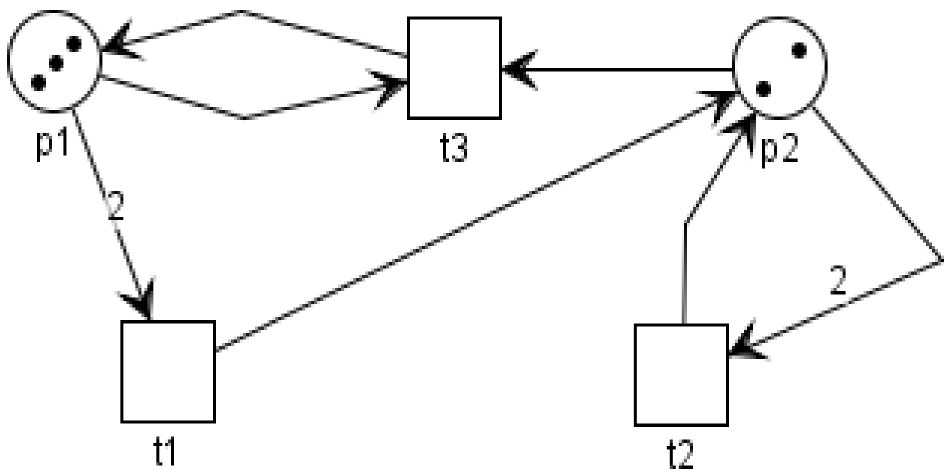
$$\mathrm{m}_x^T \geq I \cdot X^T$$

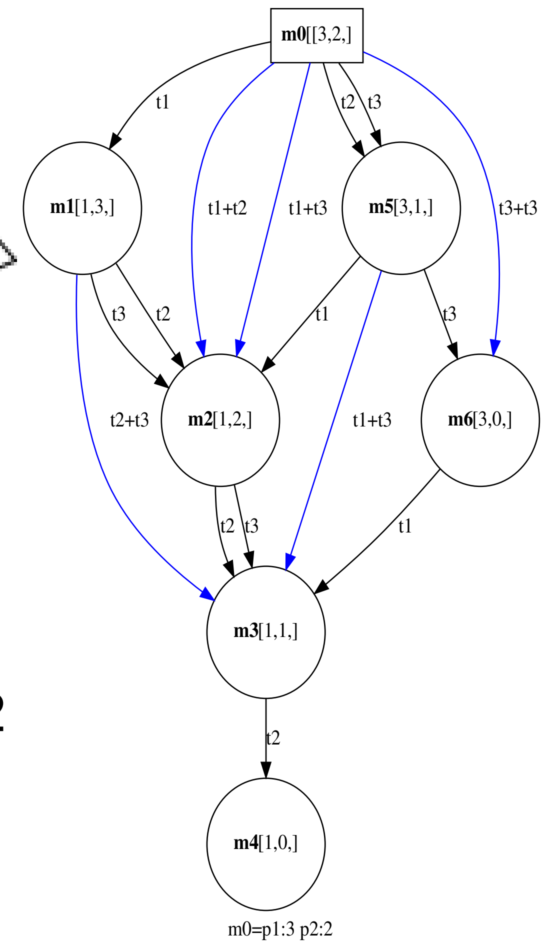
$$\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$\mathrm{m}_y^T = m_x^T + C \cdot X^T$$

$$\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -2 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Kroková sémantika

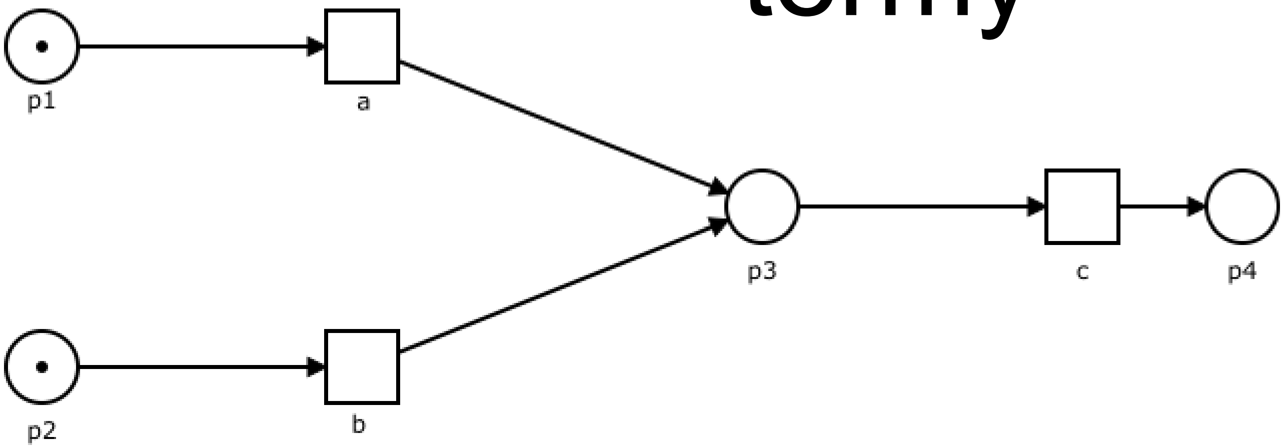


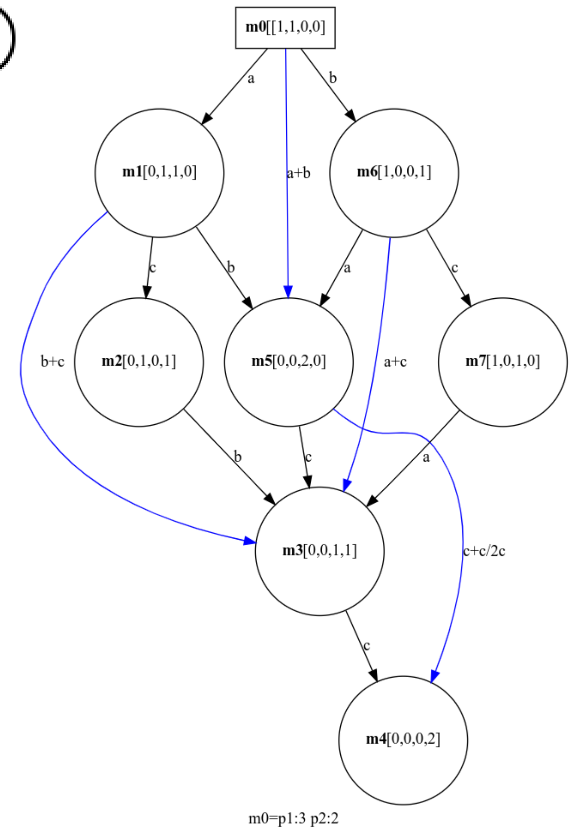


možné sekvencie/scénare:

t1;t2;t2;t2	t2;t1;t2;t2	t3;t1;t2;t2	t2;t3;t1;t2
t1;t2;t3;t2	t2;t1;t3;t2	t3;t1;t3;t2	t3;t3;t1;t2
t1;t3;t2;t2	t2;t1+t3;t2	t3;t1+t3;t2	t3+t3;t2;t2
t1;t3;t3;t2			
t1;t2+t3;t2	t1+t2;t2;t2	t1+t3;t2;t2	
	t1+t2;t3;t2	t1+t3;t3;t2	

Algebraické procesné výrazy – termy





prepisovacie pravidlá:

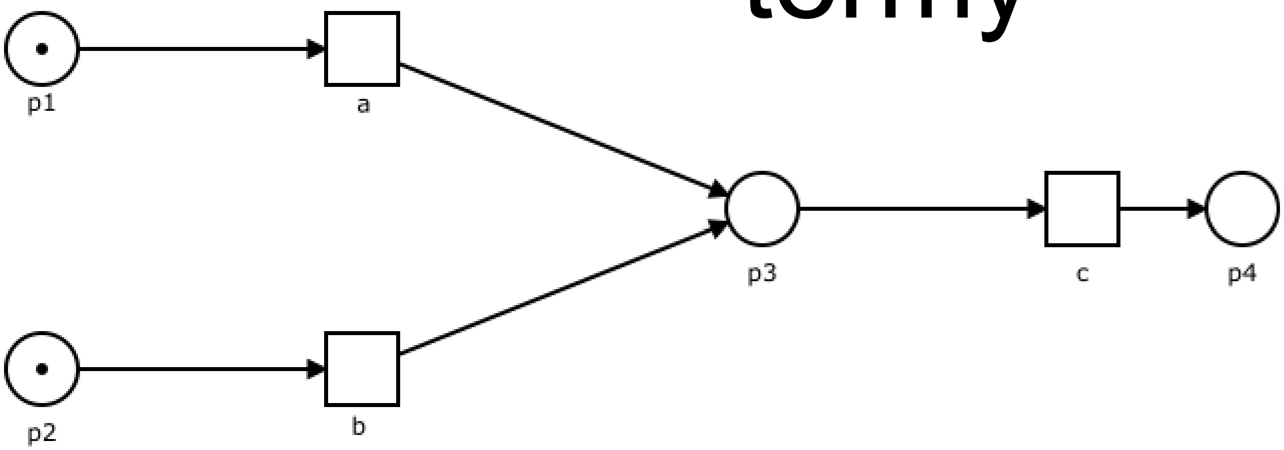
- kauzalita ; sekvenčná kompozícia
- paralelizmus/nezávislosť || paralelná kompozícia

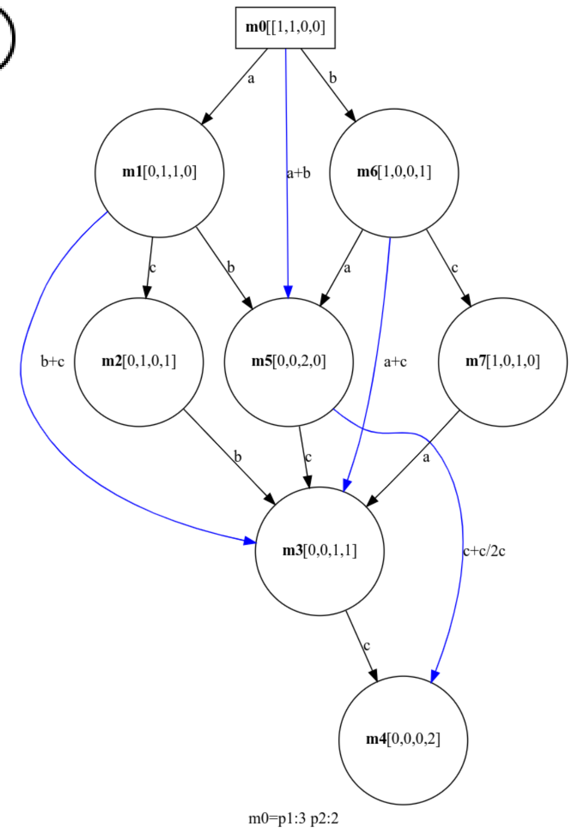
(●t) – t – > (t●) … [m: m – > m] ∈ P

$$\begin{array}{ccc} \bullet t & \qquad & \mathrm{m} \\ \Big\downarrow{\scriptstyle \mathrm{t}} & & \Big\downarrow{\scriptstyle \mathrm{m}} \\ t\bullet & & \mathrm{m} \end{array}$$

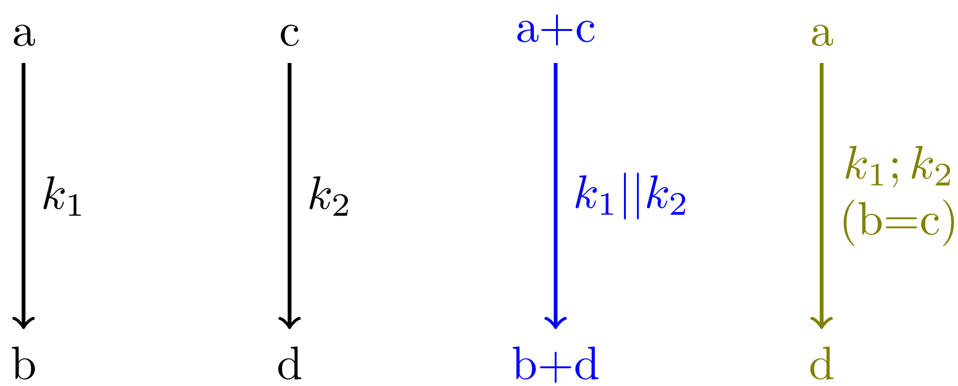
STU FEI

Algebraické procesné výrazy – termy



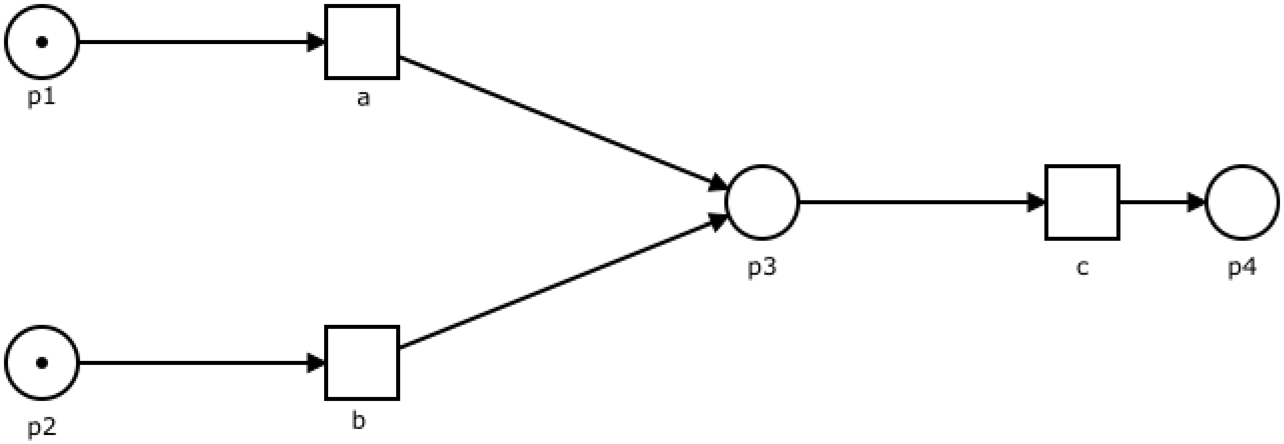


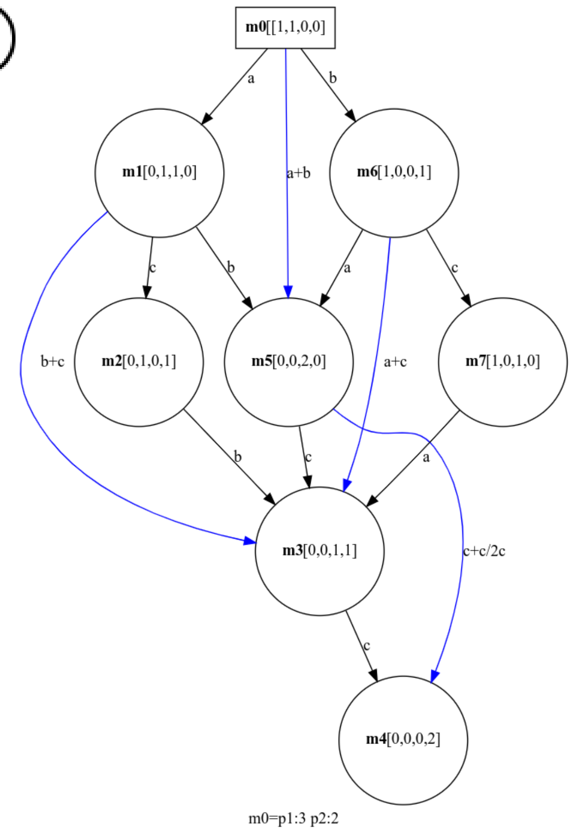
sériovo-paralelná kompozícia:



STU FEI

Algebraické výrazy – termy





elementárne výrazy:

$$p1 \xrightarrow{a} p3 \qquad p2 \xrightarrow{b} p3 \qquad p3 \xrightarrow{c} p4 \qquad p1 \xrightarrow{p1} p1 \qquad p2 \xrightarrow{p2} p2 \qquad p3 \xrightarrow{p3} p3 \qquad p4 \xrightarrow{p4} p4$$

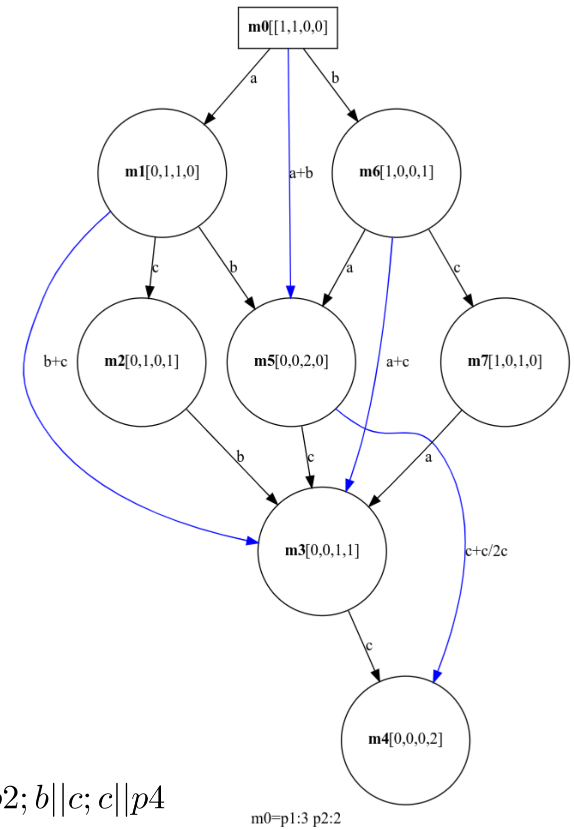
Algebraické výrazy – termy

elementárne výrazy:

$$p1 \xrightarrow{a} p3 \qquad p2 \xrightarrow{b} p3 \qquad p3 \xrightarrow{c} p4 \qquad p1 \xrightarrow{p1} p1 \qquad p2 \xrightarrow{p2} p2 \qquad p3 \xrightarrow{p3} p3 \qquad p4 \xrightarrow{p4} p4$$

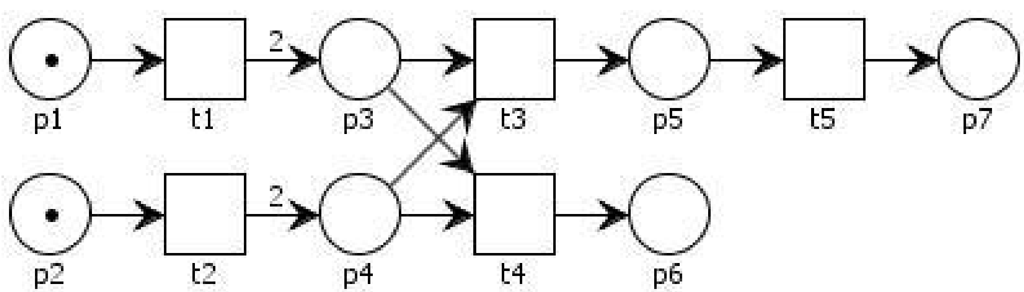
$$p1+p2 \xrightarrow{a||b} 2p3 \qquad 2p3 \xrightarrow{c||c} 2p4 \qquad p1+p2 \xrightarrow{a||b;\, c||c} 2p4$$

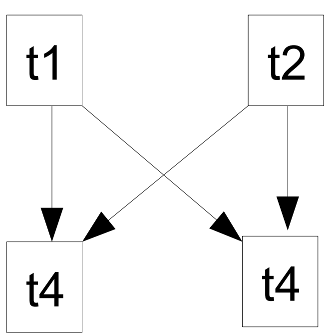
$$p1+p2 \xrightarrow{a||p2} p2+p3 \qquad p2+p3 \xrightarrow{b||c} p3+p4 \qquad p1+p2 \xrightarrow{a||p2;\, b||c} p3+p4 \qquad p1+p2 \xrightarrow{a||p2;\, b||c;\, c||p4} 2p4$$

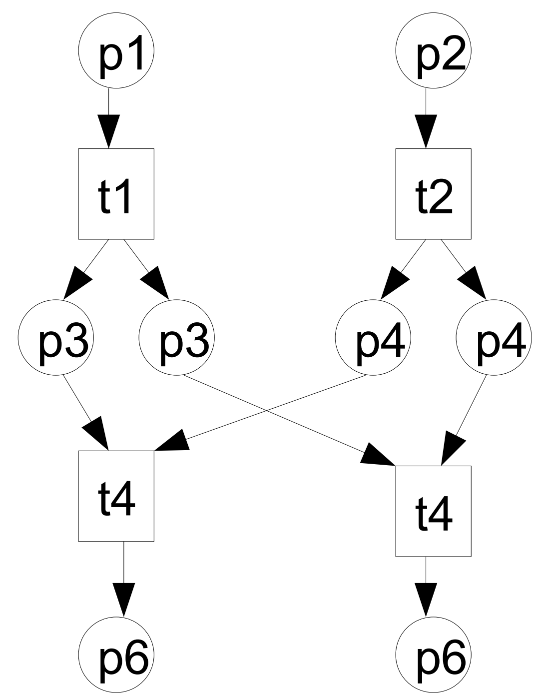


Procesy

Určite či je proces/beh spustiteľný v PS.



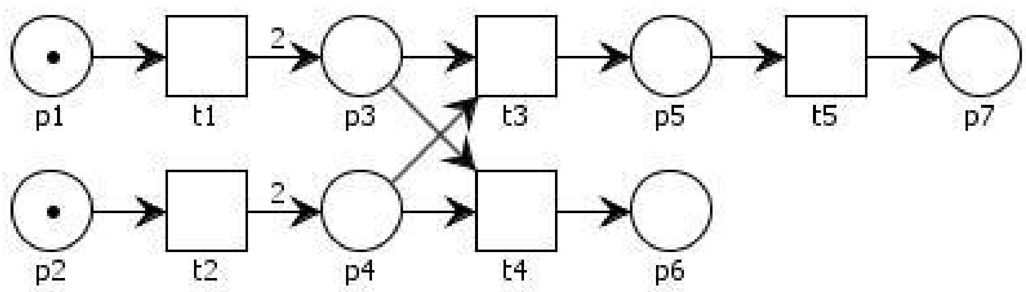


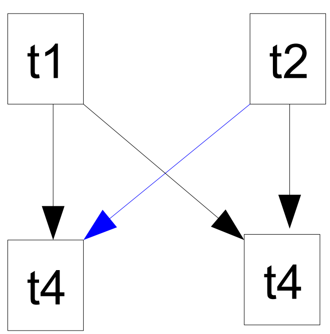


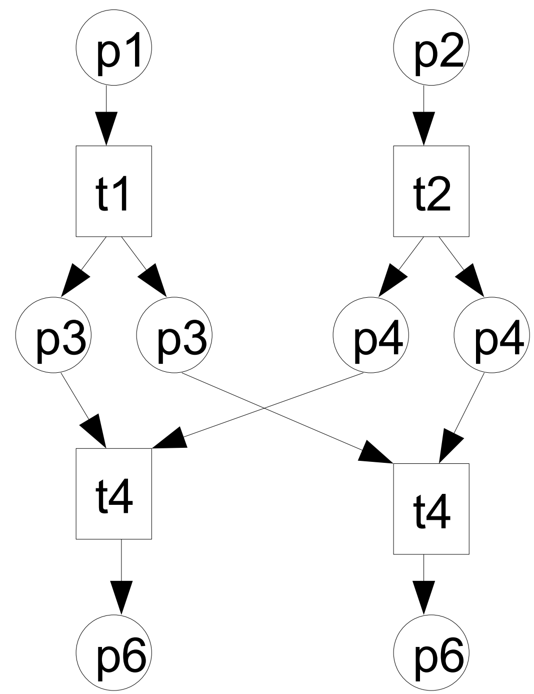
Procesy

Určite či je proces/beh spustiteľný v PS.

N-free LPO → beh + miesta = proces







DAG / LPO

Čiastočné usporiadanie je dvojica (V, →), kde

V je množina vrcholov/**udalostí**,

→ je **binárna relácia** na V (→ je podmnožina V x V, t.j. podmnožina množiny všetkých usporiadaných dvojíc prvkov z V, skutočnosť, že dvojica (v,v‘) je v relácii → graficky znázorňujeme ako v → v‘),

pričom relácia → je **ireflexívna** ($\forall v \in V$: $(v,v) \notin \rightarrow$)

a **tranzitívna** ($x,y,z \in V$: $x \rightarrow y \wedge y \rightarrow z \Rightarrow x \rightarrow z$). Čiastočné usporiadanie spolu s funkciou, ktorá každému prvku z V priradí nejaký prvok z množiny T budeme nazývať **označené čiastočné usporiadanie**. **Rezom** v čiastočnom usporiadaní sa nazýva taká podmnožina $X_s \subseteq V$, že

. $\forall x,y \in X_s$: $((x,y) \notin \rightarrow) \wedge ((y,x) \notin \rightarrow)$,

$\forall v \in V : v \notin X_s$, $(v,x) \in \rightarrow \wedge (x,v) \in \rightarrow$

Minulosť rezu X_s (označované ako X_m) X_m:$\{v \in V \mid (\exists x \in X_s: v \rightarrow x)\}$

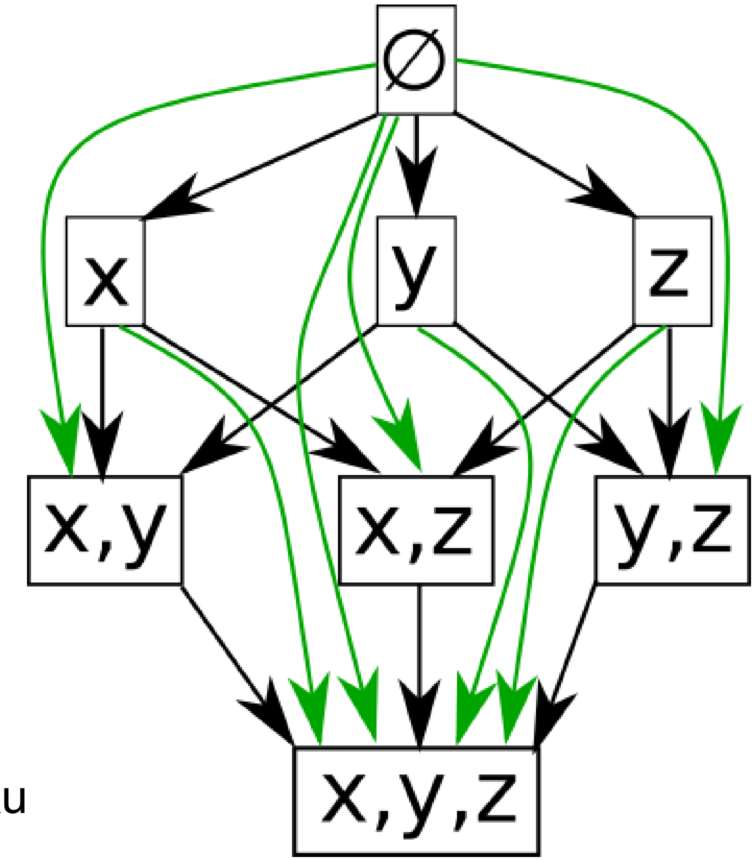
STU FEI

DAG / LPO

Smerový **a**cyklický **g**raf.

Označené **Č**iastočné **U**sporiadanie.**(V, →)**

Tranzitívna, ireflexívna.

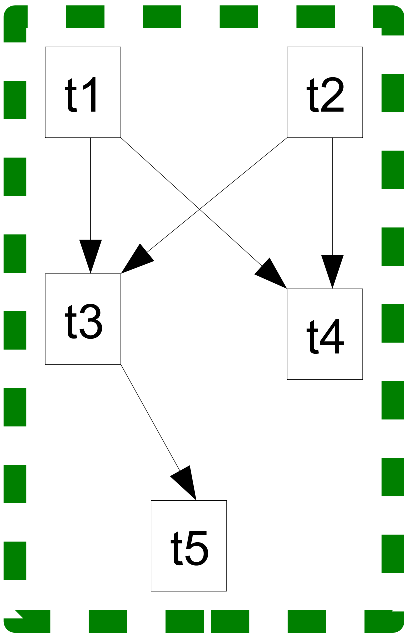


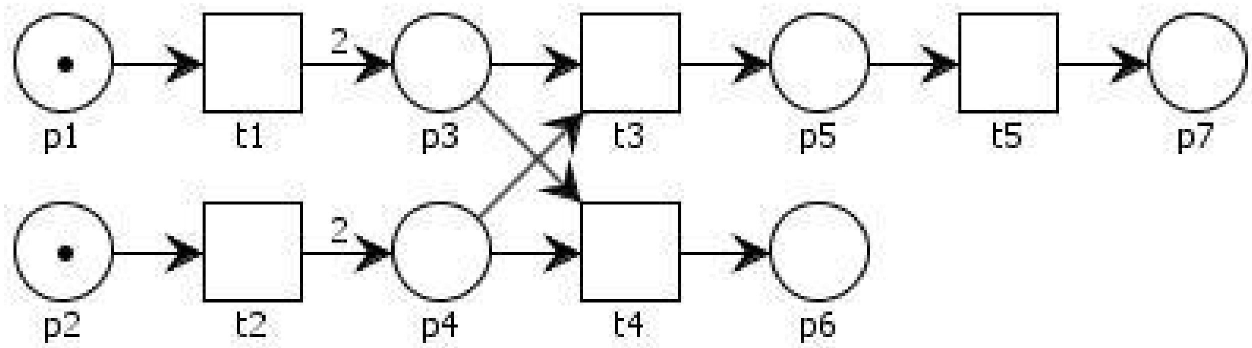
maximálny paralelizmus, probl. maximálneho toku

DAG / LPO

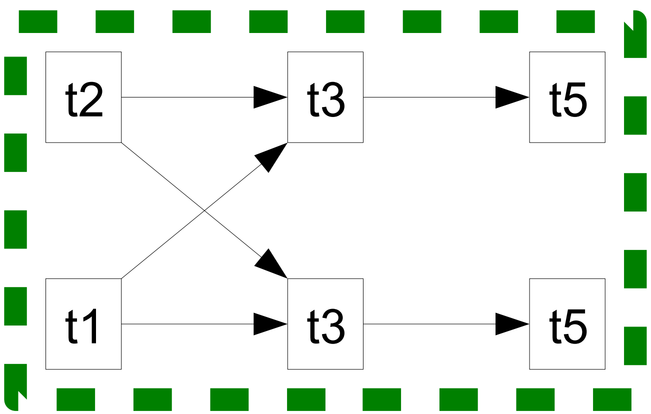
Určite či je LPO spustiteľné v PS.

LPO1





LPO2



LPO2 rezy

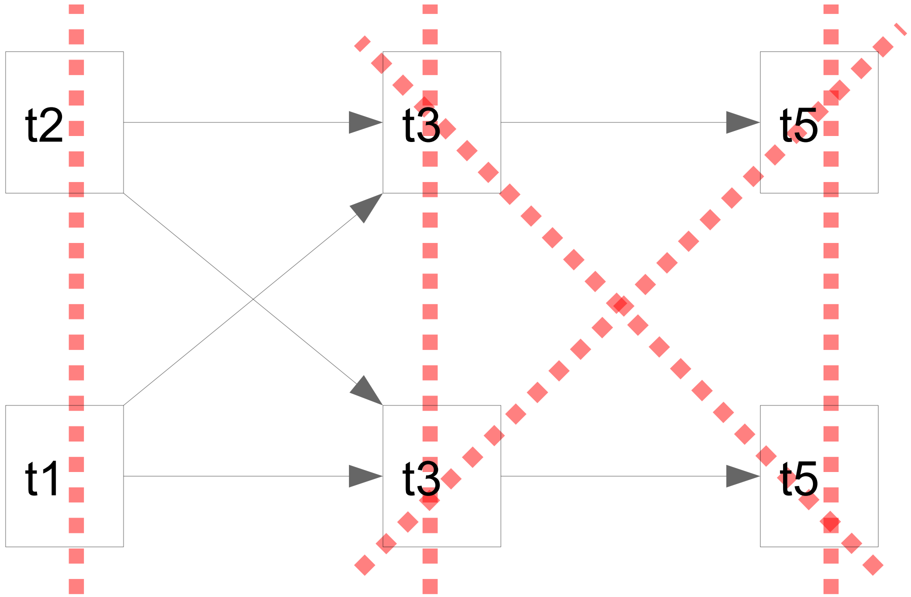
podľa definície rezu:

(t1+t2)

(t3+t3)

(t3+t5)*

(t5+t5)



ďalšie možné, redundantné kontroly:

t1, t2, t3*, t5*   ---- **nie rezy**

LPO2 rezy

Minulosť rezu X_s,(t1+t2):

X_m={}

Minulosť rezu (t3+t3):

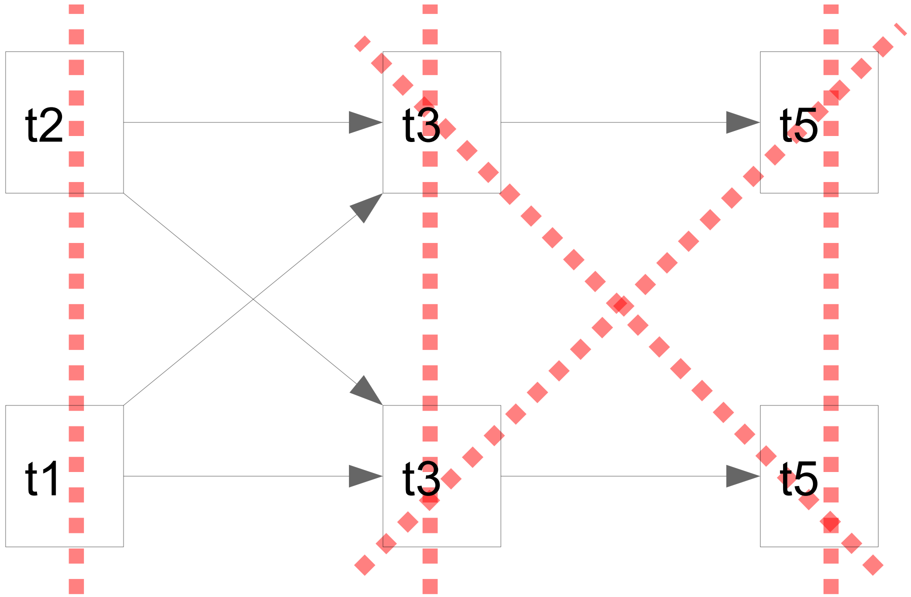
X_m={t1,t2}

Minulosť rezu (t3+t5):

X_m={t1,t2,t3}

Minulosť rezu (t5+t5):

X_m={t1,t2,t3,t3}



STU FEI

spustiteľnosť LPO

Minulosť rezu X_s,(t1+t2):

X_m={}

Minulosť rezu (t3+t3):

X_m={t1,t2}

Minulosť rezu (t3+t5):

X_m={t1,t2,t3}

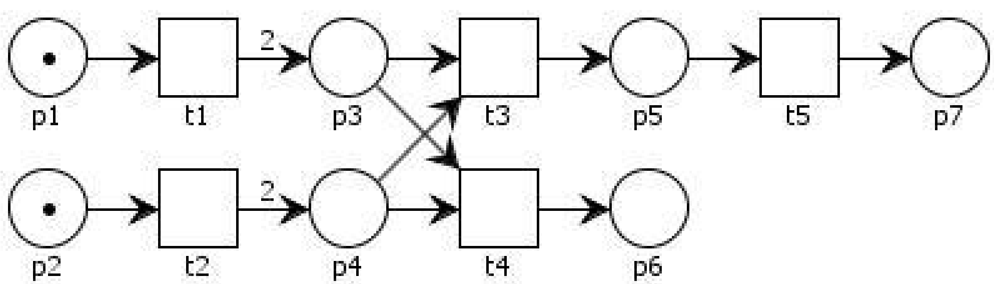
Minulosť rezu (t5+t5):

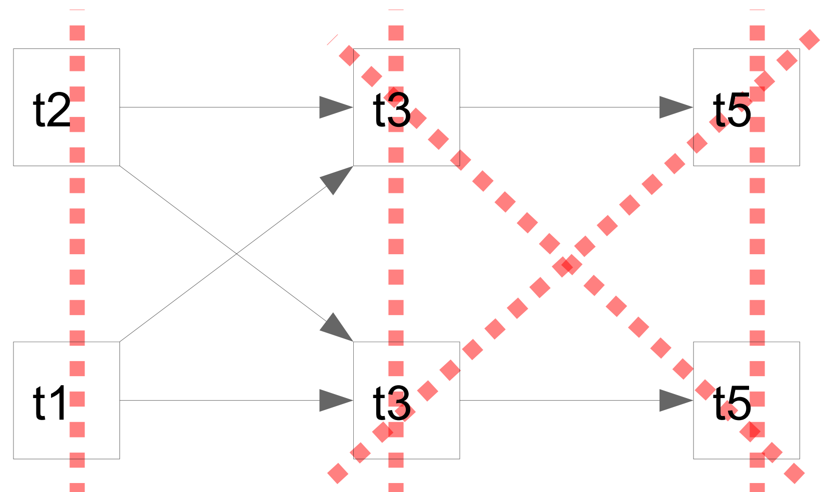
X_m={t1,t2,t3,t3}

$$
\begin{array}{ccccccc}
m_0^T(p)+ & C(p,t) & \cdot X_m^T(t)\geq & I(p,t) & \cdot\ X_s^T(t)
\end{array}
$$

$$
\begin{pmatrix}1\\1\\0\\0\\0\\0\\0\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}-1&0&0&0&0\\0&-1&0&0&0\\2&0&-1&-1&0\\0&2&-1&-1&0\\0&0&1&0&-1\\0&0&0&1&0\\0&0&0&0&1\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}1\\1\\0\\0\\0\end{pmatrix}\geq\begin{pmatrix}1&0&0&0&0\\0&1&0&0&0\\0&0&1&1&0\\0&0&1&1&0\\0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}0\\0\\2\\0\\0\end{pmatrix}
$$

$$
m_{dosiahnute}=(0,0,2,2,0,0,0)\geq\ (0,0,2,2,0,0,0)=m_{nutne}
$$





spustiteľnosť LPO

rezy:

(1-2)

(3)

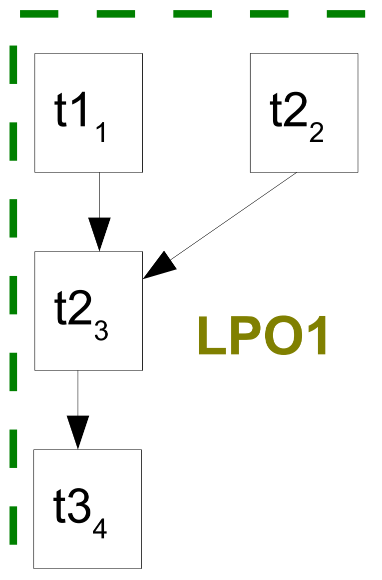
(4)

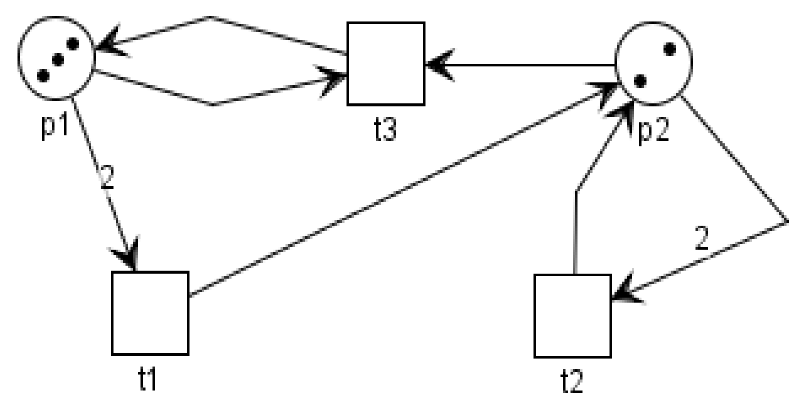
$$m_0^T(p) + C(p,t) \cdot X_m^T(t) \geq I(p,t) \cdot X_s^T(t)$$

$$\begin{pmatrix}3\\2\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}-2 & 0 & 0\\ 1 & -1 & -1\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}1\\2\\0\end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix}2 & 0 & 1\\ 0 & 2 & 1\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}0\\0\\1\end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix}3\\2\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}-2\\-1\end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}$$

$$m_{dosiahnute} = (1,1) \geq (1,1) = m_{nutne}$$

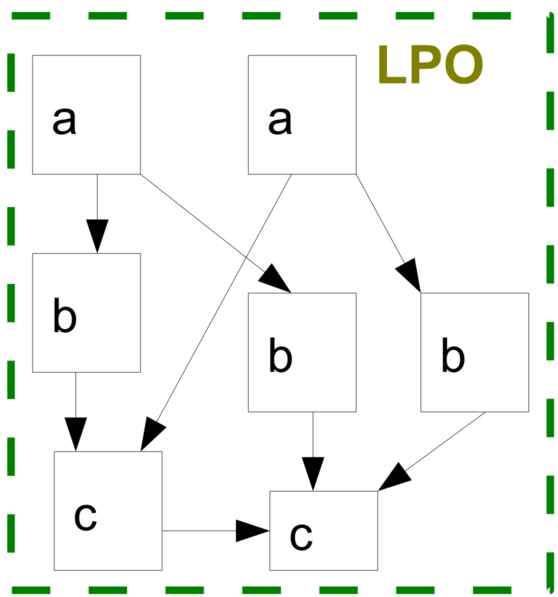


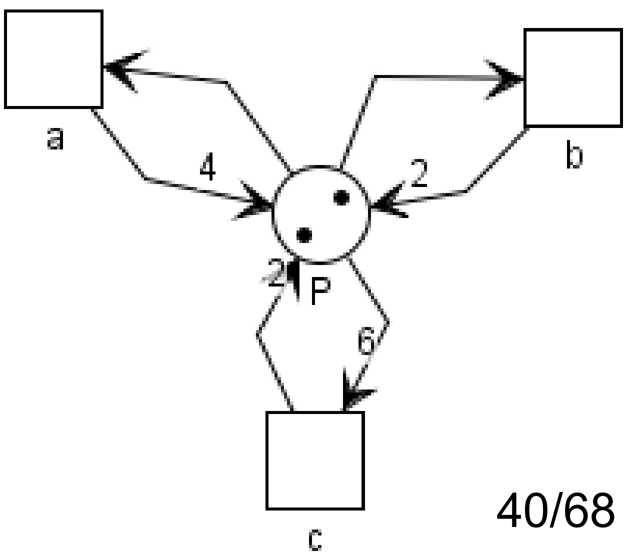


spustiteľnosť LPO

rez:

minulosť rezu:





spustiteľnosť LPO

rezy:

(a_1+a_2)

(a_1+b_3)

$(a_2+b_1+b_2)$

$(b+b+b)$

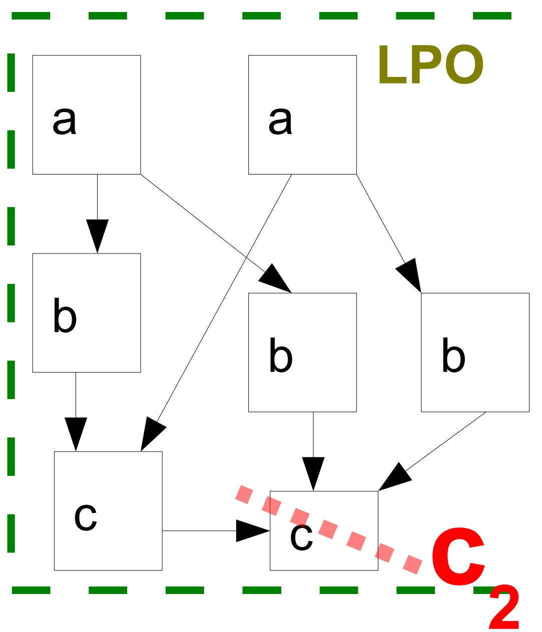
$(b_2+b_3+c_1)$

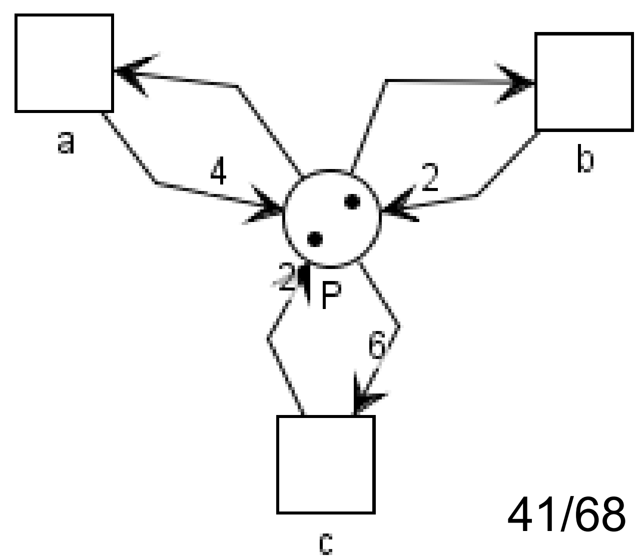
postačujúce??

$$m_0^T + C \cdot X_m^T \geq I \cdot X_s^T$$

$$(2) + \begin{pmatrix}3 & 1 & -4\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}2\\1\\0\end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix}1 & 1 & 6\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}0\\2\\1\end{pmatrix}$$

$$m_{dosiahnute} = (9) \geq (8) = m_{nutne}$$





spustiteľnosť LPO

rezy:

(a_1+a_2)

(a_1+b_3)

$(a_2+b_1+b_2)$

$(b+b+b)$

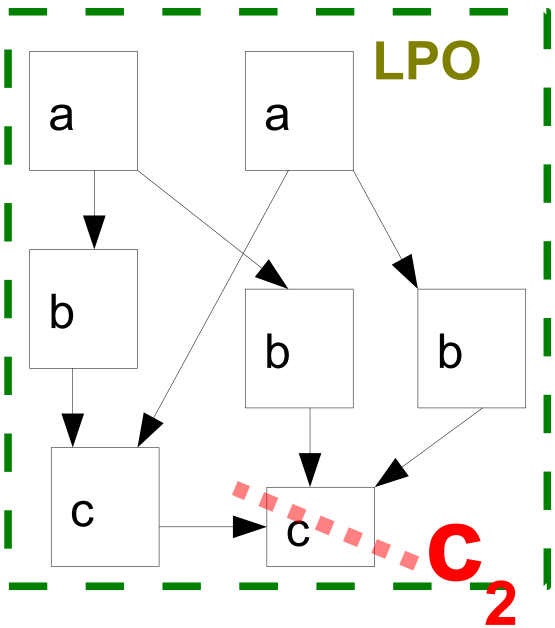
$(b_2+b_3+c_1)$

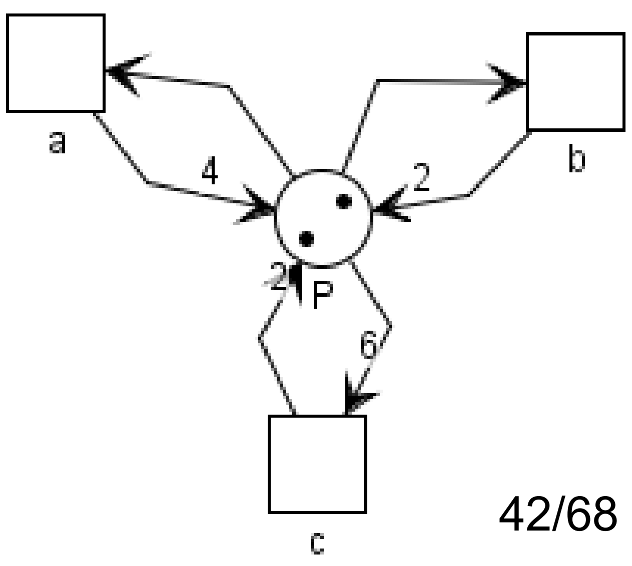
$\mathbf{c_2}$

$$m_0^T + C \cdot X_m^T \geq I \cdot X_s^T$$

$$(2) + \begin{pmatrix}3 & 1 & -4\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}2\\3\\1\end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix}1 & 1 & 6\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}0\\0\\1\end{pmatrix}$$

$$m_{dosiahnute} = (7) \geq (6) = m_{nutne}$$

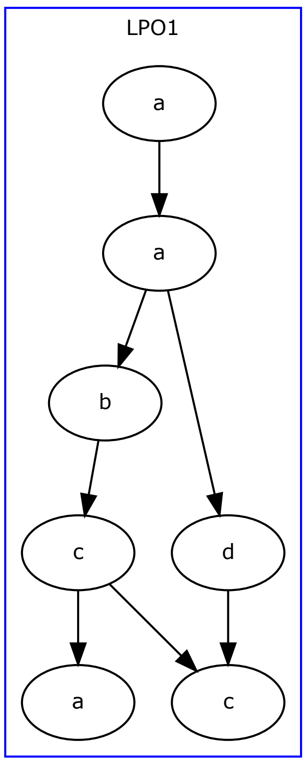


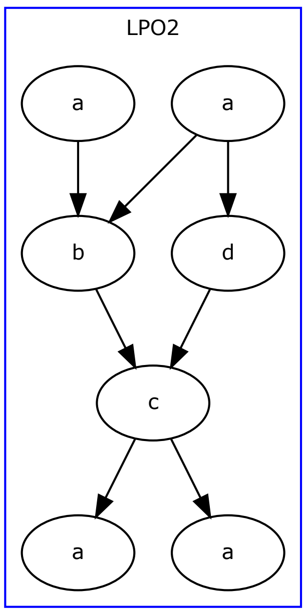


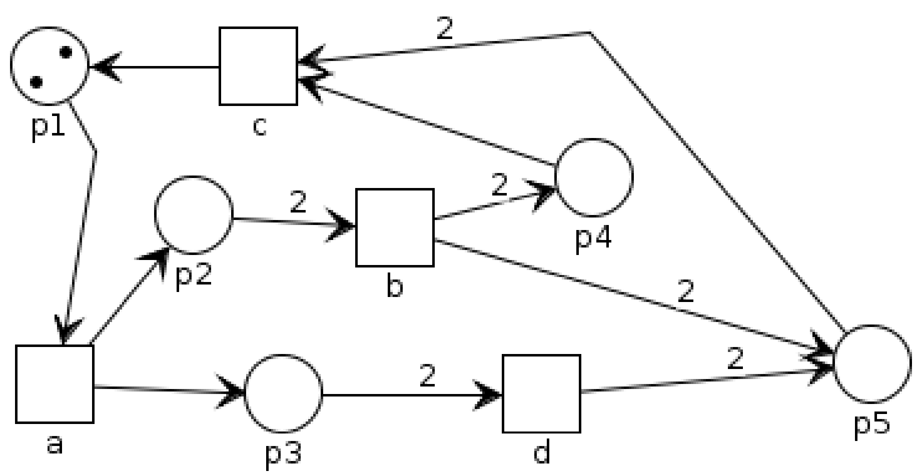
spustiteľnosť LPO

úloha (test 2017):

Pre PS a čiastočné usporiadania (LPO1 LPO2) zistite spustiteľnosť jednotlivých LPO. *Ak je LPO spustiteľné vypíšte jeho rezy, ak nie zapíšte ten, pre ktorý nie je spustiteľné.*



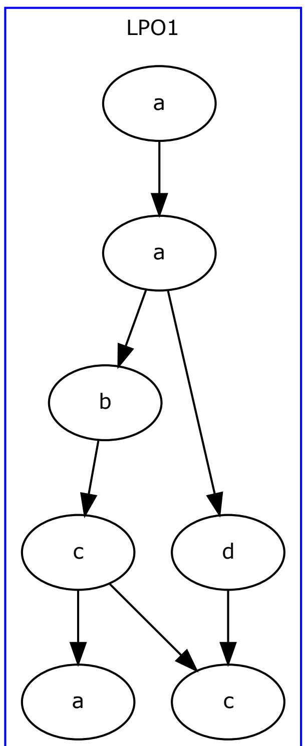


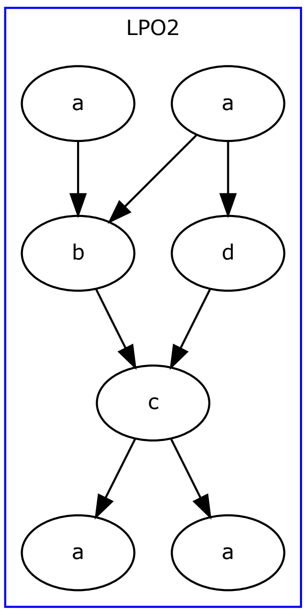


spustiteľnosť LPO

úloha (test 2017):

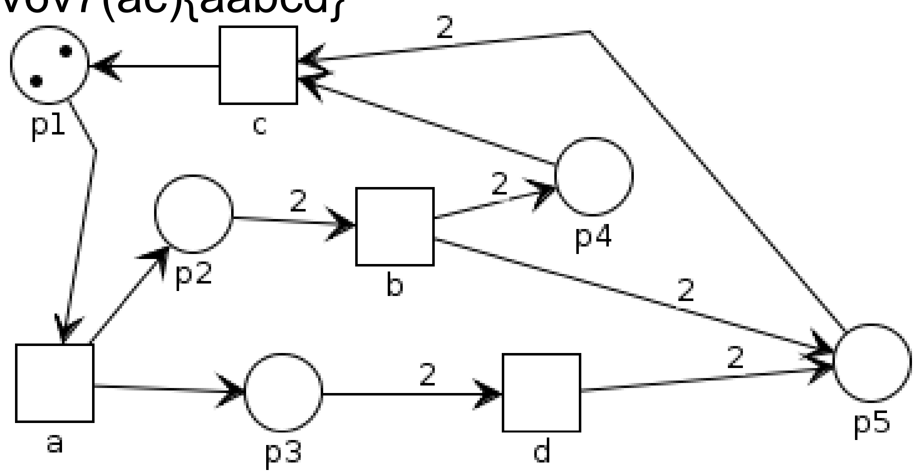
Pre PS a čiastočné usporiadania (LPO1 LPO2) zistite spustiteľnosť jednotlivých LPO. *Ak je LPO spustiteľné vypíšte jeho rezy, ak nie zapíšte ten, pre ktorý nie je spustiteľné.*





LPO1:
v1(a){};
v2(a){a};
v3v5(bd){aa};
v4v5(cd){aab};
v5v6(ad){aabc};
v6v7(ac){aabcd}

LPO2:
v1v2(aa){};
v1v4(ad){a};
v3v4(bd){aa};
v5(c){aabd};
v6v7(aa){aabcd}



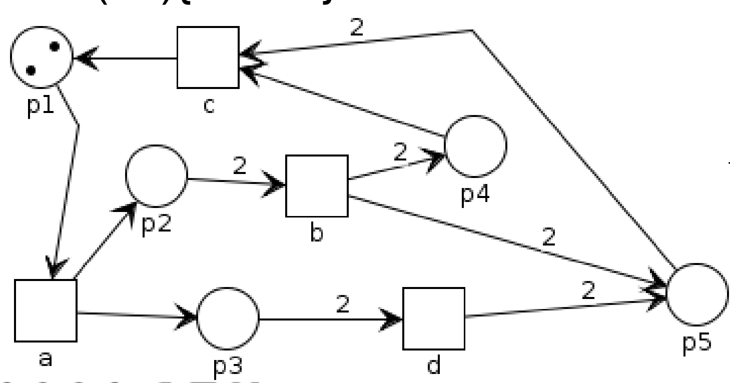
spustiteľnosť LPO

úloha (test 2017):

Pre PS a čiastočné usporiadania (LPO1 LPO2) zistite spustiteľnosť jednotlivých LPO. *Ak je LPO spustiteľné vypíšte jeho rezy, ak nie zapíšte ten, pre ktorý nie je spustiteľné.*

LPO1:
v1(a){};
v2(a){a};
v3v5(bd){aa};
v4v5(cd){aab};
v5v6(ad){aabc};
v6v7(ac){aabcd}

LPO2:
v1v2(aa){};
v1v4(ad){a};
v3v4(bd){aa};
v5(c){aabd};
v6v7(aa){aabcd}



$$m_0^T(p) + \quad C(p,t) \quad \cdot X_m^T(t) \geq \quad I(p,t) \quad \cdot \quad X_s^T(t)$$

$$\begin{pmatrix}2\\0\\0\\0\\0\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}-1 & 0 & 1 & 0\\ 1 & -2 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & -2\\ 0 & 2 & -1 & 0\\ 0 & 2 & -2 & 2\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}0\\0\\0\\0\end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 2 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 2\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 2 & 0\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\end{pmatrix}$$

$X_m = (0,0,0,0) : (2,0,0,0,0) \geq (1,0,0,0,0) : X_s = (1,0,0,0)$
$X_m = (1,0,0,0) : (1,1,1,0,0) \geq (1,0,0,0,0) : X_s = (1,0,0,0)$
$X_m = (2,0,0,0) : (0,2,2,0,0) \geq (0,2,2,0,0) : X_s = (0,1,0,1)$
$X_m = (2,1,0,0) : (0,0,2,2,2) \geq (0,0,2,1,2) : X_s = (0,0,1,1)$
$X_m = (2,1,1,0) : (1,0,2,1,0) \geq (1,0,2,0,0) : X_s = (1,0,0,1)$
$X_m = (2,1,1,1) : (1,0,0,1,2) \geq (1,0,0,1,2) : X_s = (1,0,1,0)$

$X_m = (0,0,0,0) : (2,0,0,0,0) \geq (2,0,0,0,0) : X_s = (2,0,0,0)$
$X_m = (1,0,0,0) : (1,1,1,0,0) \geq (1,0,2,0,0) : X_s = (1,0,0,1)$
$X_m = (2,0,0,0) : (0,2,2,0,0) \geq (0,2,2,0,0) : X_s = (0,1,0,1)$
$X_m = (2,0,1,1) : (1,2,0,-1,0) \geq (0,0,0,1,2) : X_s = (0,0,1,0)$
$X_m = (2,1,1,1) : (1,0,0,1,2) \geq (2,0,0,0,0) : X_s = (2,0,0,0)$

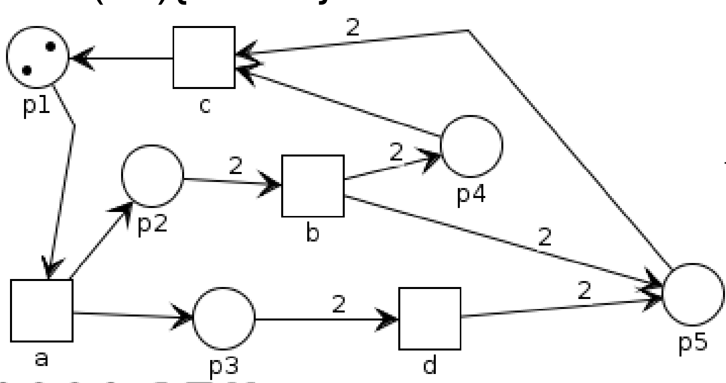
spustiteľnosť LPO

úloha (test 2017):

Pre PS a čiastočné usporiadania (LPO1 LPO2) zistite spustiteľnosť jednotlivých LPO. *Ak je LPO spustiteľné vypíšte jeho rezy, ak nie zapíšte ten, pre ktorý nie je spustiteľné.*

LPO1:
v1(a){};
v2(a){a};
v3v5(bd){aa};
v4v5(cd){aab};
v5v6(ad){aabc};
v6v7(ac){aabcd}

LPO2:
v1v2(aa){};
v1v4(ad){a};
v3v4(bd){aa};
v5(c){aabd};
v6v7(aa){aabcd}



$$\begin{array}{ccccc} m_0^T(p)+ & C(p,t) & \cdot X_m^T(t)\geq & I(p,t) & \cdot \quad X_s^T(t) \\ \begin{pmatrix}2\\0\\0\\0\\0\end{pmatrix} + & \begin{pmatrix}-1 & 0 & 1 & 0\\ 1 & -2 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & -2\\ 0 & 2 & -1 & 0\\ 0 & 2 & -2 & 2\end{pmatrix} & \cdot \begin{pmatrix}0\\0\\0\\0\end{pmatrix} \geq & \begin{pmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 2 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 2\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 2 & 0\end{pmatrix} & \cdot \begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\end{pmatrix} \end{array}$$

$$\begin{aligned}
X_m &= (0,0,0,0) : (2,0,0,0,0) \geq (1,0,0,0,0) : X_s = (1,0,0,0)\\
X_m &= (1,0,0,0) : (1,1,1,0,0) \geq (1,0,0,0,0) : X_s = (1,0,0,0)\\
X_m &= (2,0,0,0) : (0,2,2,0,0) \geq (0,2,2,0,0) : X_s = (0,1,0,1)\\
X_m &= (2,1,0,0) : (0,0,2,2,2) \geq (0,0,2,1,2) : X_s = (0,0,1,1)\\
X_m &= (2,1,1,0) : (1,0,2,1,0) \geq (1,0,2,0,0) : X_s = (1,0,0,1)\\
X_m &= (2,1,1,1) : (1,0,0,1,2) \geq (1,0,0,1,2) : X_s = (1,0,1,0)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_m &= (0,0,0,0) : (2,0,0,0,0) \geq (2,0,0,0,0) : X_s = (2,0,0,0)\\
X_m &= (1,0,0,0) : (1,1,1,0,0) \geq (1,0,2,0,0) : X_s = (1,0,0,1)\\
X_m &= (2,0,0,0) : (0,2,2,0,0) \geq (0,2,2,0,0) : X_s = (0,1,0,1)\\
X_m &= (2,0,1,1) : (1,2,0,-1,0) \geq (0,0,0,1,2) : X_s = (0,0,1,0)\\
X_m &= (2,1,1,1) : (1,0,0,1,2) \geq (2,0,0,0,0) : X_s = (2,0,0,0)
\end{aligned}$$

STU FEI

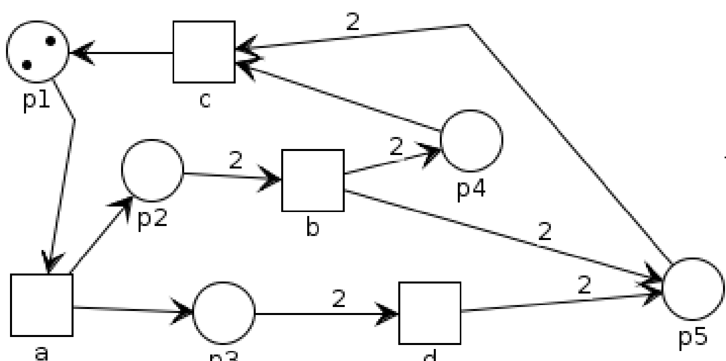
spustiteľnosť LPO

úloha (test 2017):

Pre PS a čiastočné usporiadania (LPO1 LPO2) zistite spustiteľnosť jednotlivých LPO. *Ak je LPO spustiteľné vypíšte jeho rezy, ak nie zapíšte ten, pre ktorý nie je spustiteľné.*

LPO1:
v1(a){};
v2(a){a};
v3v5(bd){aa};
v4v5(cd){aab};
v5v6(ad){aabc};
v6v7(ac){aabcd}

LPO2:
v1v2(aa){};
v1v4(ad){a};
v3v4(bd){aa};
v5(c){aabd};
v6v7(aa){aabcd}



$$m_0^T(p) + C(p,t) \cdot X_m^T(t) \geq I(p,t) \cdot X_s^T(t)$$

$$\begin{pmatrix}2\\0\\0\\0\\0\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}-1 & 0 & 1 & 0\\ 1 & -2 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & -2\\ 0 & 2 & -1 & 0\\ 0 & 2 & -2 & 2\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}0\\0\\0\\0\end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 2 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 2\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 2 & 0\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\end{pmatrix}$$

$$X_m = (0,0,0,0) : (2,0,0,0,0) \geq (1,0,0,0,0) : X_s = (1,0,0,0)$$
$$X_m = (1,0,0,0) : (1,1,1,0,0) \geq (1,0,0,0,0) : X_s = (1,0,0,0)$$
$$X_m = (2,0,0,0) : (0,2,2,0,0) \geq (0,2,2,0,0) : X_s = (0,1,0,1)$$
$$X_m = (2,1,0,0) : (0,0,2,2,2) \geq (0,0,2,1,2) : X_s = (0,0,1,1)$$
$$X_m = (2,1,1,0) : (1,0,2,1,0) \geq (1,0,2,0,0) : X_s = (1,0,0,1)$$
$$X_m = (2,1,1,1) : (1,0,0,1,2) \geq (1,0,0,1,2) : X_s = (1,0,1,0)$$

$$X_m = (0,0,0,0) : (2,0,0,0,0) \geq (2,0,0,0,0) : X_s = (2,0,0,0)$$
$$X_m = (1,0,0,0) : (1,1,1,0,0) \geq (1,0,2,0,0) : X_s = (1,0,0,1)$$
$$X_m = (2,0,0,0) : (0,2,2,0,0) \geq (0,2,2,0,0) : X_s = (0,1,0,1)$$
$$X_m = (2,0,1,1) : (1,2,0,-1,0) \geq (0,0,0,1,2) : X_s = (0,0,1,0)$$
$$X_m = (2,1,1,1) : (1,0,0,1,2) \geq (2,0,0,0,0) : X_s = (2,0,0,0)$$

STU FEI

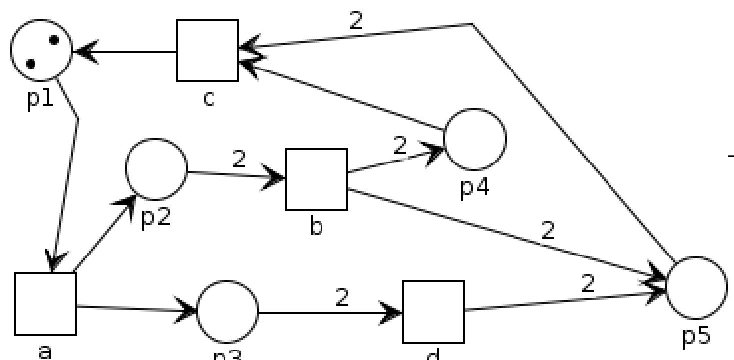
spustiteľnosť LPO

úloha (test 2017):

Pre PS a čiastočné usporiadania (LPO1 LPO2) zistite spustiteľnosť jednotlivých LPO. *Ak je LPO spustiteľné vypíšte jeho rezy, ak nie zapíšte ten, pre ktorý nie je spustiteľné.*

LPO1:
v1(a){};
v2(a){a};
v3v5(bd){aa};
v4v5(cd){aab};
v5v6(ad){aabc};
v6v7(ac){aabcd}

LPO2:
v1v2(aa){};
v1v4(ad){a};
v3v4(bd){aa};
v5(c){aabd};
v6v7(aa){aabcd}



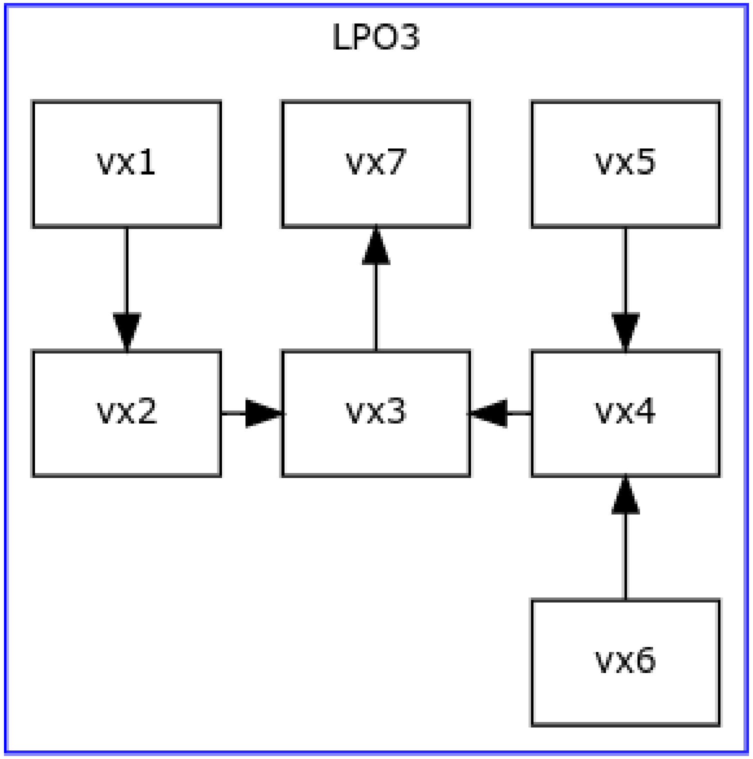
$$m_0^T(p) + C(p,t) \cdot X_m^T(t) \geq I(p,t) \cdot X_s^T(t)$$

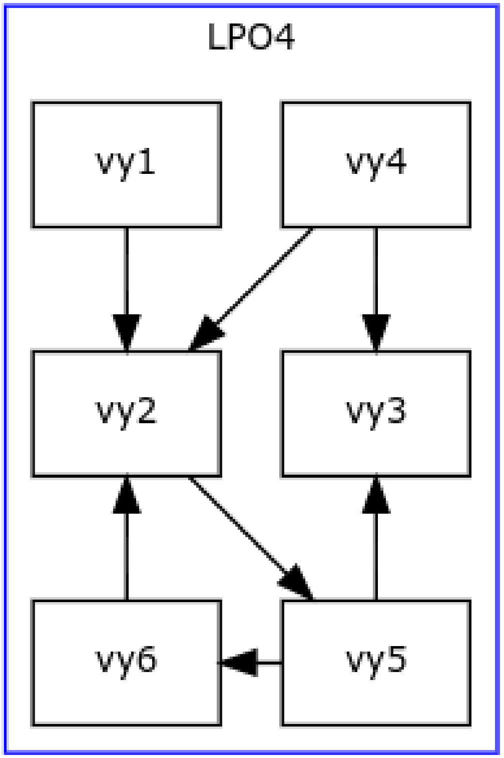
$$\begin{pmatrix}2\\0\\0\\0\\0\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}-1 & 0 & 1 & 0\\ 1 & -2 & 0 & 0\\ 1 & 0 & 0 & -2\\ 0 & 2 & -1 & 0\\ 0 & 2 & -2 & 2\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}0\\0\\0\\0\end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 2 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 2\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 2 & 0\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{r}
X_m = (0,0,0,0) : (2,0,0,0,0) \geq \ (1,0,0,0,0) : X_s = (1,0,0,0)\\
X_m = (1,0,0,0) : (1,1,1,0,0) \geq \ (1,0,0,0,0) : X_s = (1,0,0,0)\\
X_m = (2,0,0,0) : (0,2,2,0,0) \geq \ (0,2,2,0,0) : X_s = (0,1,0,1)\\
X_m = (2,1,0,0) : (0,0,2,2,2) \geq \ (0,0,2,1,2) : X_s = (0,0,1,1)\\
X_m = (2,1,1,0) : (1,0,2,1,0) \geq \ (1,0,2,0,0) : X_s = (1,0,0,1)\\
X_m = (2,1,1,1) : (1,0,0,1,2) \geq \ (1,0,0,1,2) : X_s = (1,0,1,0)\\
\hline
X_m = (0,0,0,0) : (2,0,0,0,0) \geq \ (2,0,0,0,0) : X_s = (2,0,0,0)\\
X_m = (1,0,0,0) : (1,1,1,0,0) \geq \ (1,0,2,0,0) : X_s = (1,0,0,1)\\
X_m = (2,0,0,0) : (0,2,2,0,0) \geq \ (0,2,2,0,0) : X_s = (0,1,0,1)\\
X_m = (2,0,1,1) : (1,2,0,-1,0) \geq \ (0,0,0,1,2) : X_s = (0,0,1,0)\\
X_m = (2,1,1,1) : (1,0,0,1,2) \geq \ (2,0,0,0,0) : X_s = (2,0,0,0)
\end{array}$$

spustiteľnosť LPO

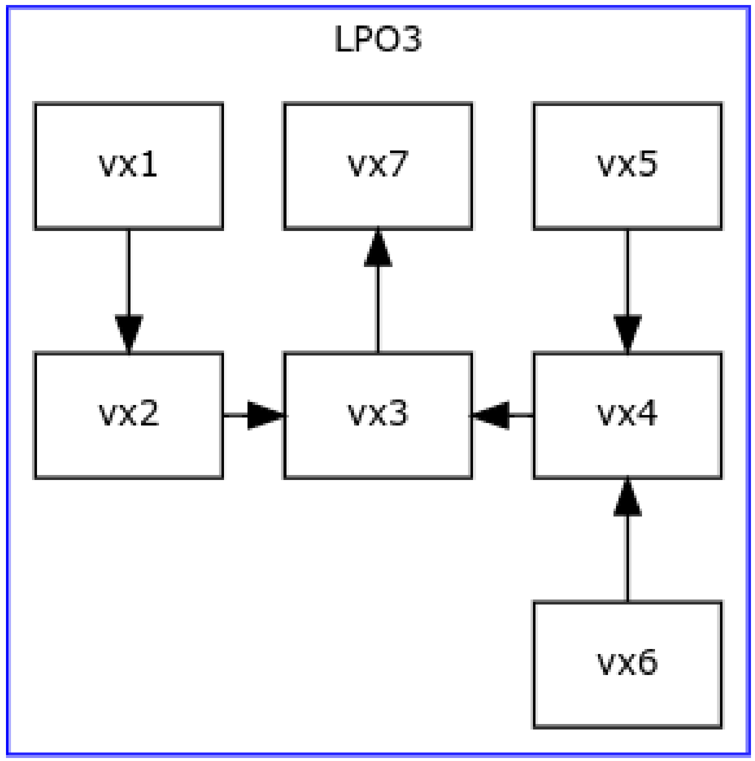
Vypíšte rezy pre čiastočné usporiadania (LPO3 LPO4). Vypíšte pre jednotlivé rezy ich minulosť.

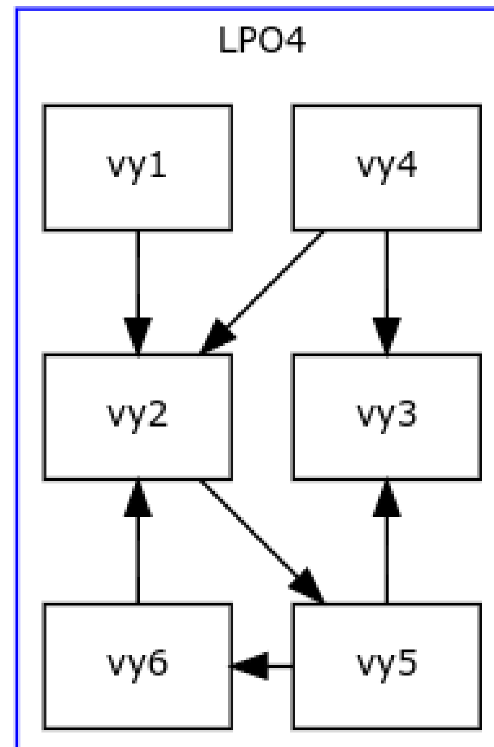




spustiteľnosť LPO

Vypíšte rezy pre čiastočné usporiadania (LPO3 LPO4). Vypíšte pre jednotlivé rezy ich minulosť.





LPO3:

vx1,vx5,vx6{}

vx1,vx4{vx5,vx6}

vx2,vx5,vx6{vx1}

vx2,vx4{vx1,vx5,vx6}

vx3{vx1,vx2,vx4,vx5,vx6}

vx7{vx1,vx2,vx3,vx4,vx5,vx6

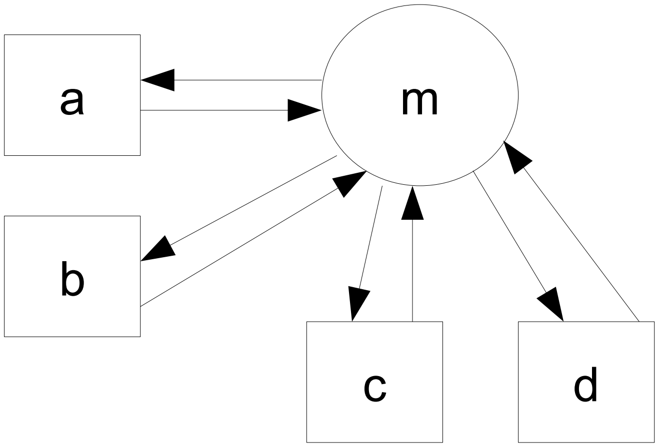
LPO4: nie je DAG

- vy5,vy6,vy2

STU FEI

Synthesis from LPO

- Token Flow regions
- Classical regions



Rozdiely v alg.: počet vygenerovaných miest, rýchlosť

R.Lorenz a G. Juhas, Towards Synthesis of Petri Nets from Scenarios, 2006

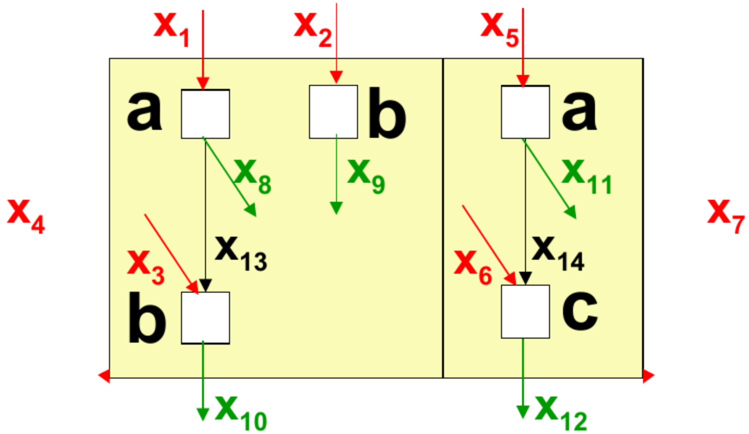
STU FEI

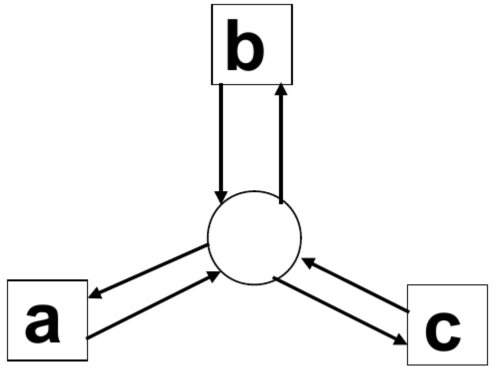
Synthesis from LPO

Špecifikuj distibúciu token flow

$x=(x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6,x_7,x_8,x_9,x_{10},x_{11},x_{12},x_{13},x_{14})$

n-tica nezáporných celých čísel





Značky skonzumované z počiatočného značkovania

Značky vyprodukované spustením prechodu, ktoré boli skonzumované spustením nasledovného prechodu

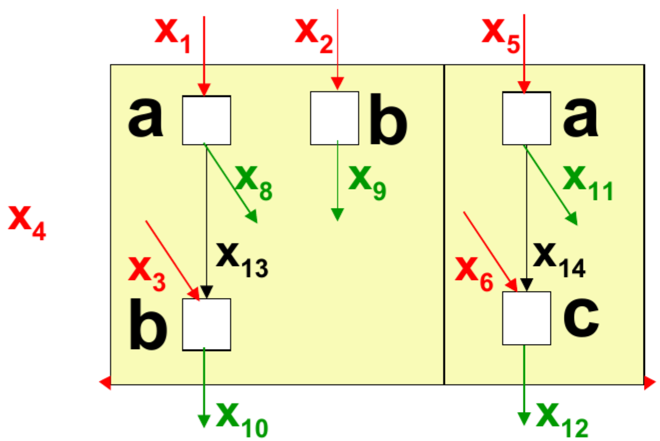
Značky zostávajúce v finálnom značkovaní

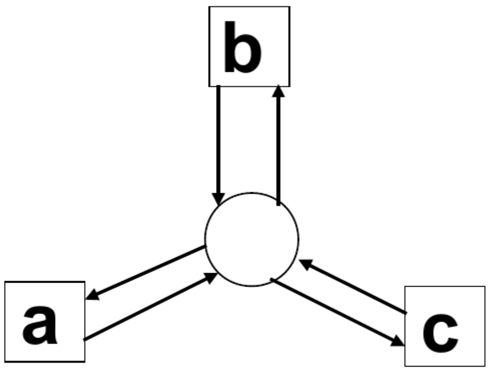
Synthesis from LPO

$$x_1+x_2+x_3+x_4= x_5+x_6+x_7$$

$$x_2= x_3+x_{13}$$

$$x_{11}+x_{14}= x_8+x_{13}$$



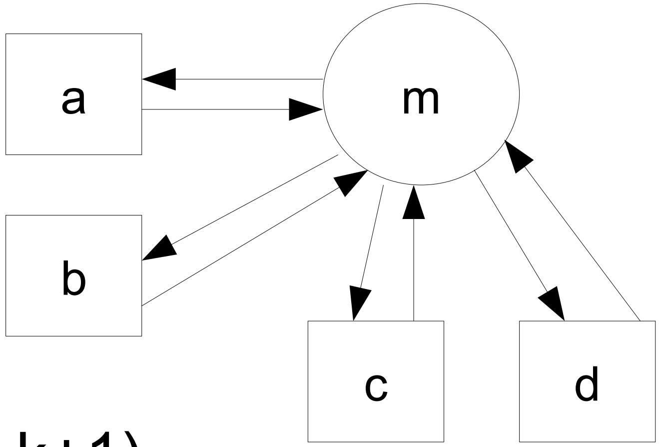


Nezáporné celočíselné riešenia homogénnej sústavy rovníc definujú miesta

Konečný počet prvkov bázy polyhedrálneho kužeľa

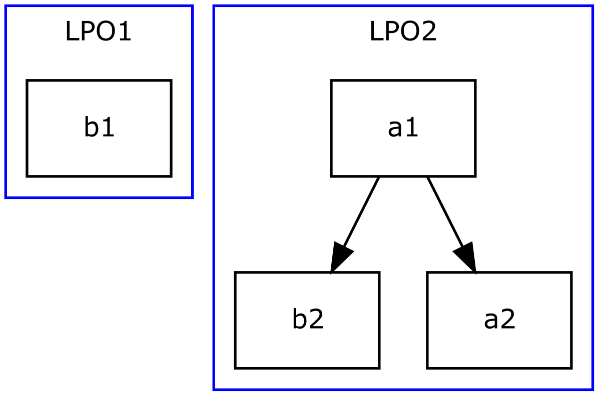
Synthesis from LPO

Špecifikuj tok značiek:



- Pridaj vrchol poč. znač. $\mathbf{v}_0$
- Pridaj vrcholy kon. znač. $\mathbf{v}_{1..i}$
- Špecifikuj tok medzi vrcholmi (2.k+1)
- Vytvor rovnice pre rovnaké značkovania **t**:
  - Konzumované je rovné pre $\forall$**t** (nie pre $\mathbf{v}_{1..i}$)
  - Vyprodukované je rovné pre $\forall$**t** (i pre $\mathbf{v}_0$)

Synthesis from LPO



	v_0v_1	v_0b_1	b_1v_1	v_0v_2	v_0a_1	v_0b_2	v_0a_2	a_1b_2	a_1a_2	a_1v_2	b_2v_2	a_2v_2
inA					1		-1		-1			
outA								1	1	1		-1
inB		1				-1		-1				
outB			1								-1	
init	1	1		-1	-1	-1	-1					
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}

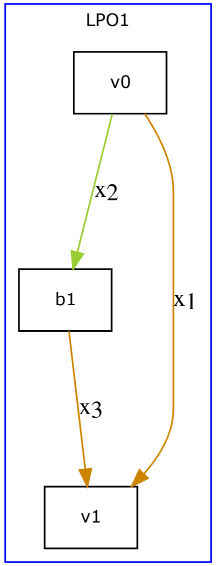
Synthesis from LPO

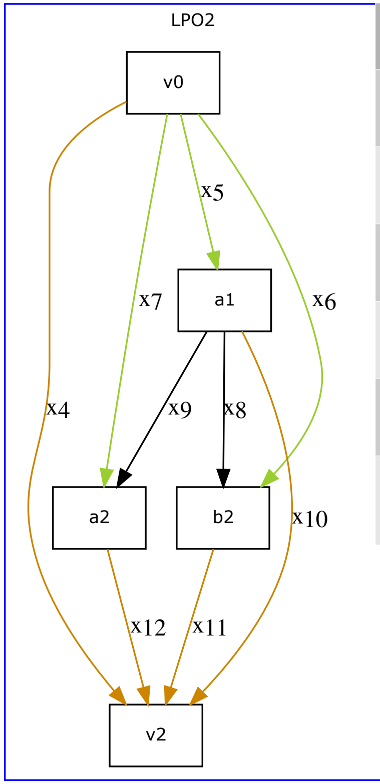
1. Vstupný tok … (konštruktor poč. znač.)
2. Priraď index resp. poradie vrcholom
3. Pre $\forall$ vrcholy pridať vstupný tok a výstupný tok

- scénar neuskut.
- scénar uskut.

Minimalizácia je v polynomionálnom čase?

Synthesis from LPO





	v_0v_1	v_0b_1	b_1v_1	v_0v_2	v_0a_1	v_0b_2	v_0a_2	a_1b_2	a_1a_2	a_1v_2	b_2v_2	a_2v_2
inA					1		-1		-1			
outA								1	1	1		-1
inB		1				-1		-1				
outB			1								-1	
init	1	1		-1	-1	-1	-1					
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}

$$x_5 = x_7+x_9$$
$$x_8+x_9+x_{10} = x_{12}$$

$$x_2 = x_6+x_8$$
$$x_3 = x_{11}$$

$$x_1+x_2 = x_4+x_5+x_6+x_7$$

STU FEI

Synthesis from LPO

Čo (ne)dokážeme vygenerovať ?

Z čoho sa generuje?

Synthesis from LPO

O. Gallo, Aplikovanie Petriho sietí na návrh asynchrónnych číslicových obvodov, 2014

R. Devillers a R. Tredup, Synthesis of Inhibitor-Reset Petri Nets: Algorithmic and Complexity Issues, 2022

R Bergenthum a J Desel a S Mauser, Synthesis of Petri nets from term based representations of infinite partial languages, 2009

R Bergenthum a J Desel a J Kovář, ILP2 Miner–Process Discovery for Partially Ordered Event Logs Using Integer Linear Programming, 2023

W. Wu a spol, Petri Net Controller Synthesis for Discrete Event Systems Using Weighted Inhibitor Arc, 2001

STU
FEI

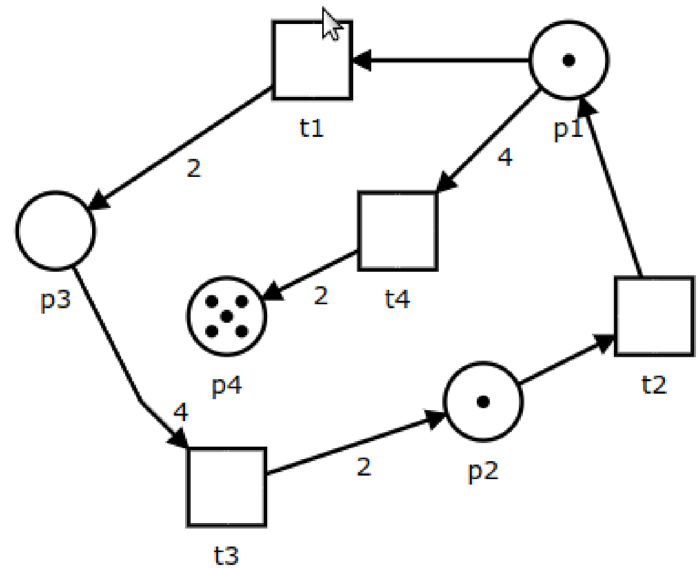
Test

Sémantika PS:
- kroková sémantika (graf krokovej sémantiky)
- algebraické procesné výrazy – termy
- procesy / behy
- **spustiteľnosť LPO (rez, minulosť)**
- syntéza z LPO

31.10.2023

Test

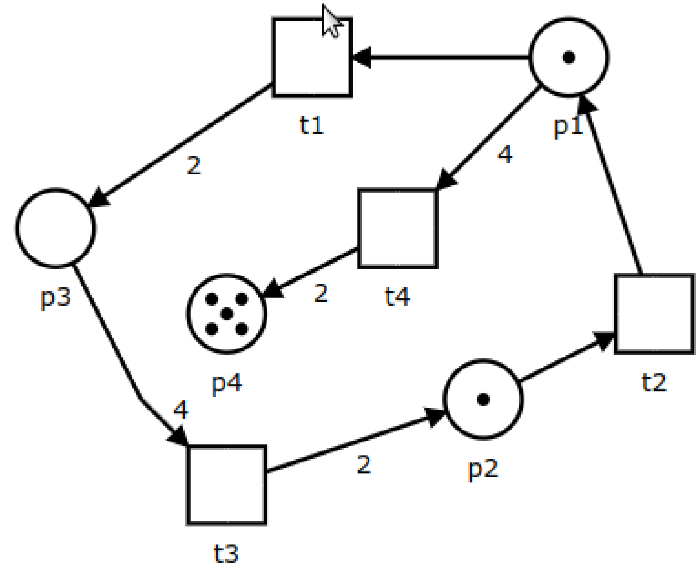
1. Otázka: **Zostrojte SSRG – graf krokovej sémantiky. Koľko vrcholov má?**



A- Táto PS nemá SSRG, pretože je neohraničená.
B- Táto PS má v SSRG nekonečne veľa vrcholov.
C- Táto sieť má 6 vrcholov, pri tomto značkovaní.
D- Táto sieť má 5 vrcholov, akokoľvek veľa značiek by bolo v p4.

Test

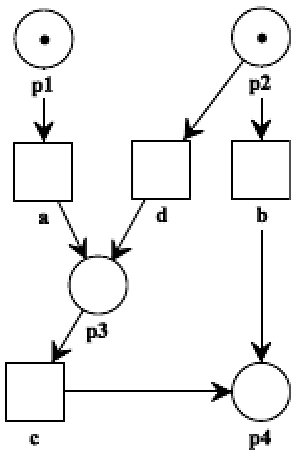
2. Otázka: **Zostrojte SSRG – graf krokovej sémantiky. Koľko vrcholov má?**



A- Táto SSRG je rovnaký ako RG, no má len sekvenčné kroky.
B- Táto PS má len sekvenčné kroky ikeď je neohraničená.
C- V SSRG je 8 hrán medzi vrcholmi.
D- V SSRG je potenciálne nekonečne veľa hrán vyjadrujúcich paralelné/nezávislé spustenie.

Test

3. Otázka: **V petriho sieti a algebraický výraz platí:**

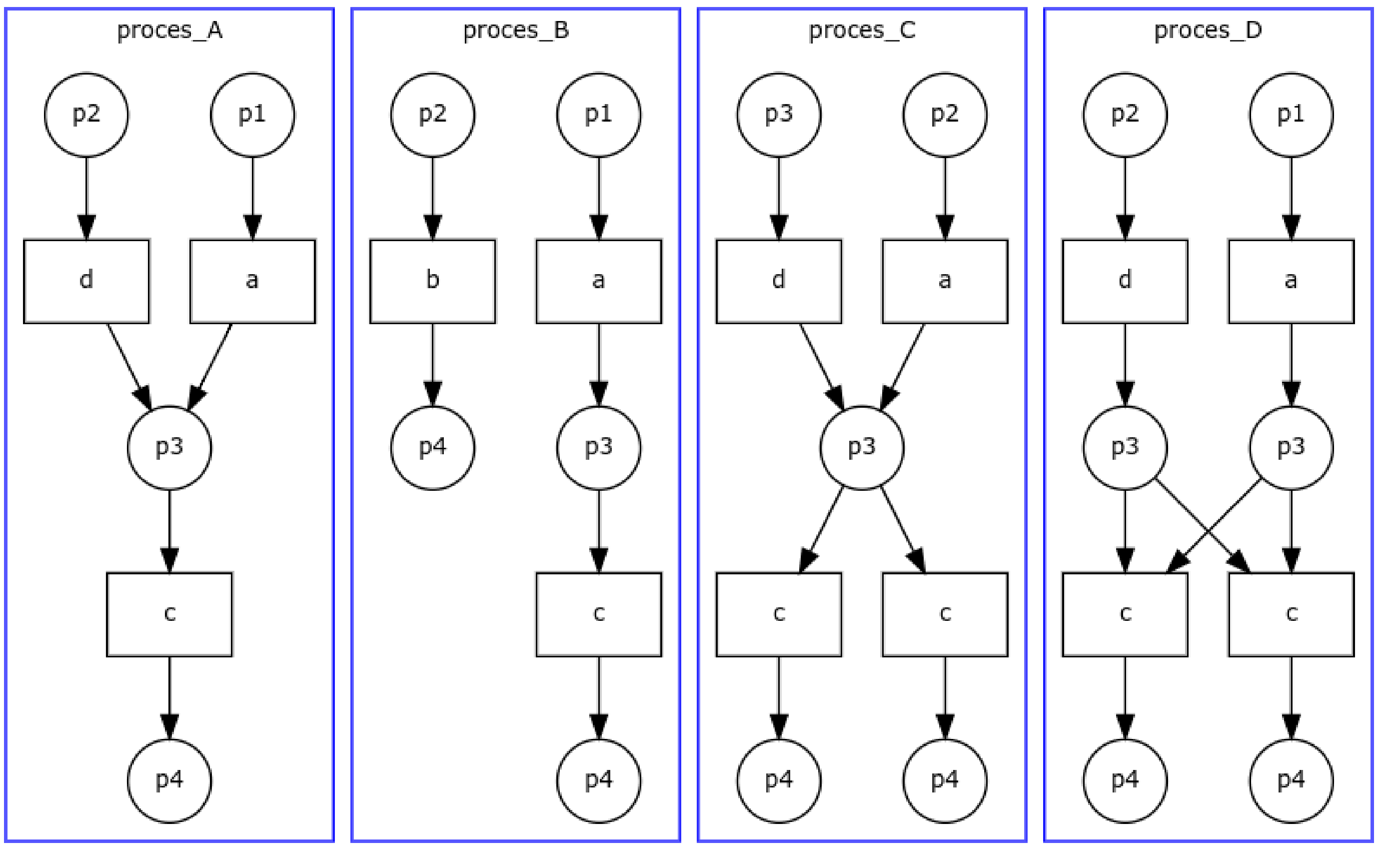


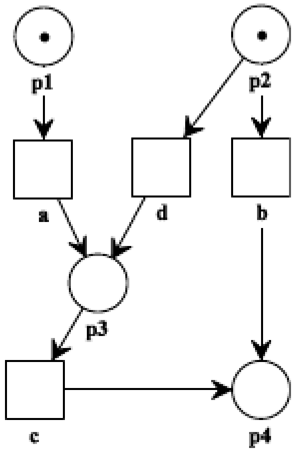
A- Pre túto sieť nevieme vytvoriť výraz.
B- Jedna z možností je (a || d); (c||p2)
C- Jediná možnosť je (a || d);c
D- Pozostáva z 8 elementárnych výrazov

STU FEI

Test

4. Otázka: **Ktorý z nasledovných procesov zodpovedá scénaru v PS:**

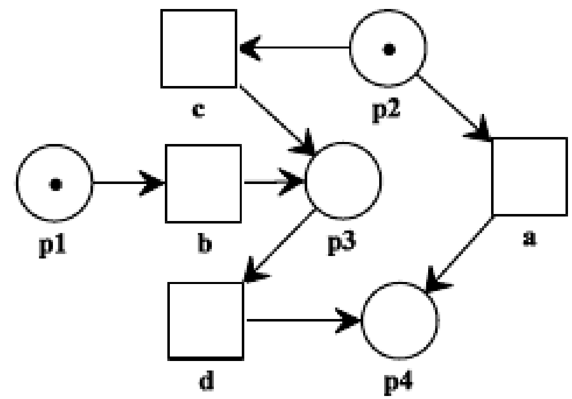




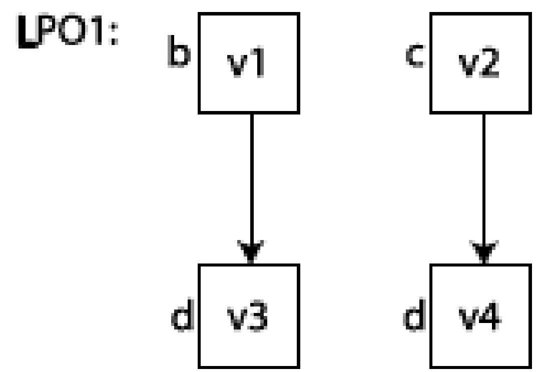
Test

5a. Otázka: Vyšetrite spustiteľnosť nasledovného LPO (čiastočného usporiadania) v petriho sieti:

A- LPO1 má 4 rezy
B- LPO1 má viac ako 4 rezy
C- LPO1 nespĹňa definíciu LPO
D- aspoň jeden z rezov v LPO1 obsahuje len 1 vrchol



5b. Otázka: Vyšetrite spustiteľnosť nasledovného LPO (čiastočného usporiadania) v petriho sieti:

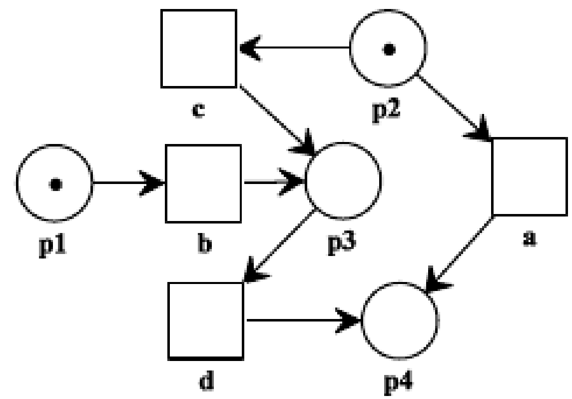


A- aspoň 1 vyšetrovaná minulosť rezu má 3 vrcholy (napr. b,c,d)
B- LPO1 končí s 2 značkami v <u>p4</u>
C- v ani jednej minulosti rezu neobsahuje spustenie prechodu <u>a</u>
D- LPO1 nie je spustiteľné

Test

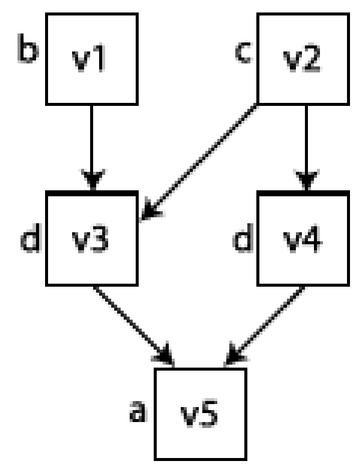
6a. Otázka: Vyšetrite spustiteľnosť nasledovného LPO (čiastočného usporiadania) v petriho sieti:

A- LPO2 má 4 rezy
B- LPO2 má viac ako 4 rezy
C- LPO2 nespĺňa definíciu LPO
D- vrchol v5 je v reze s iným vrcholom



6b. Otázka: Vyšetrite spustiteľnosť nasledovného LPO (čiastočného usporiadania) v petriho sieti:

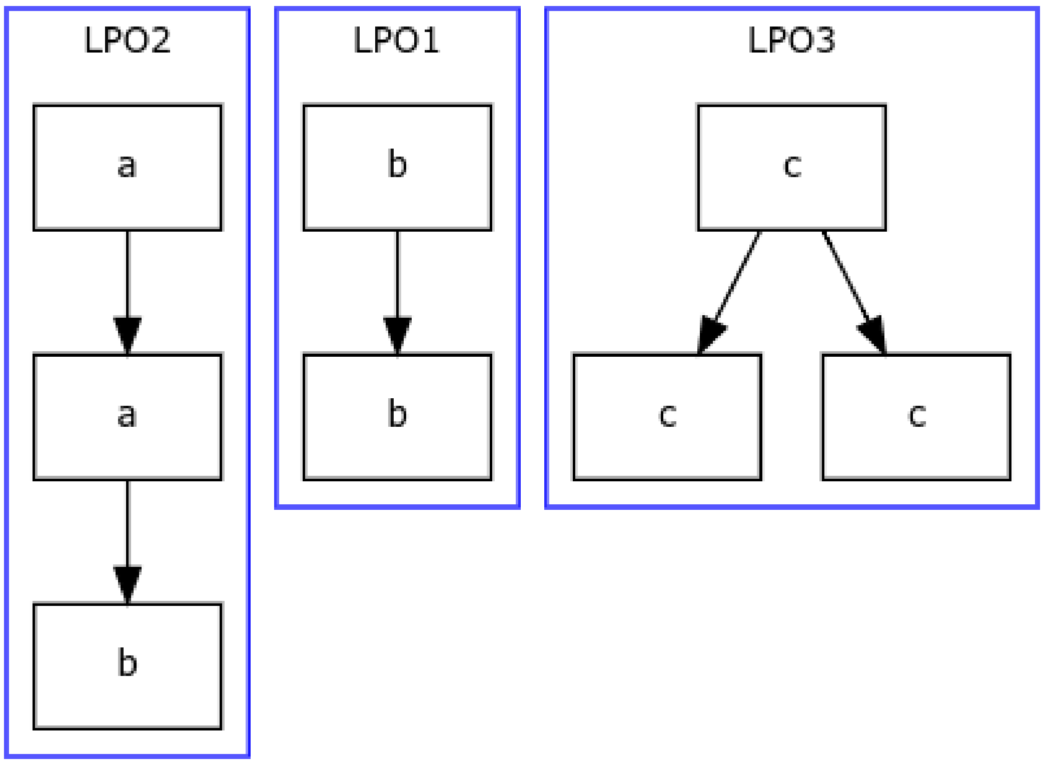
LPO2:



A- aspoň 1 vyšetrovaná minulosť rezu má 3 vrcholy
B- LPO1 končí s 2 značkami v <u>p4</u>
C- nakoľko nespĺňa definíciu LPO netreba vyšetrovať spustiteľnosť
D- LPO1 nie je spustiteľné

Test

7. Otázka: Vytvorte rovnice generujuce petriho siet z nasledovných LPO. O rovniciach bude platiť:



A- nie je možné generovať (ani rovnice)
B- pre prechod <u>c</u> nie je ani jedna rovnica
C- vieme napísať viac ako 10 rovníc
D- rovnosť vstupu a výstupu z prechodu <u>a</u> je rovnaká

Test

8. Otázka: Aký je postup pri syntéze Petriho siete z čiastocného usporiadania?

A- Identifikujte miesta, vytvorte prechody, a potom vytvorte čiastocné usporiadanie.
B- Začnite s čiastocným usporiadaním, doplňte počiatočný vrchol a koncový vrchol. Následne identifikujte hrany z jednotlivých vrcholov pre tvorbu miest . …
C- Začnite s čiastocným usporiadaním, doplňte počiatočný vrchol a koncové vrchol podľa počtu LPO. Následne identifikujte hrany z jednotlivých vrcholov pre tvorbu miest . …
D- Syntéza Petriho siete z čiastocného usporiadania nie je možná.