

DUS

- diskrétné
- udalostné
- systémy

Marček Stanislav

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

DUS hodnotenie

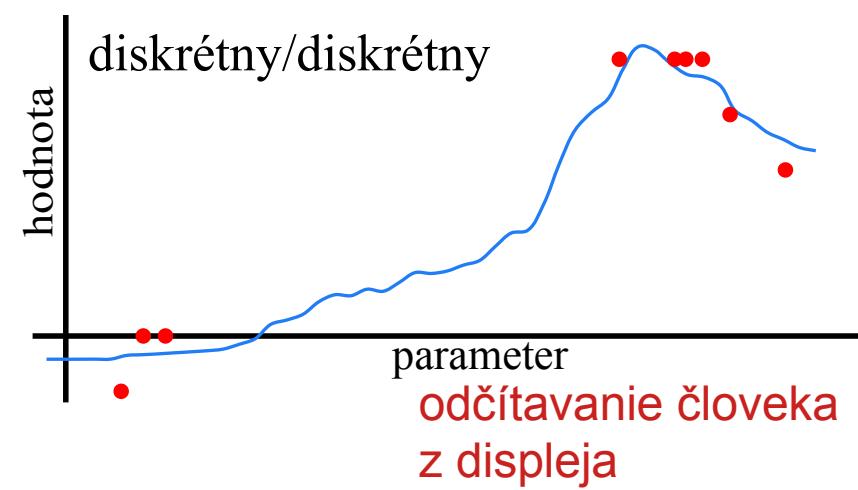
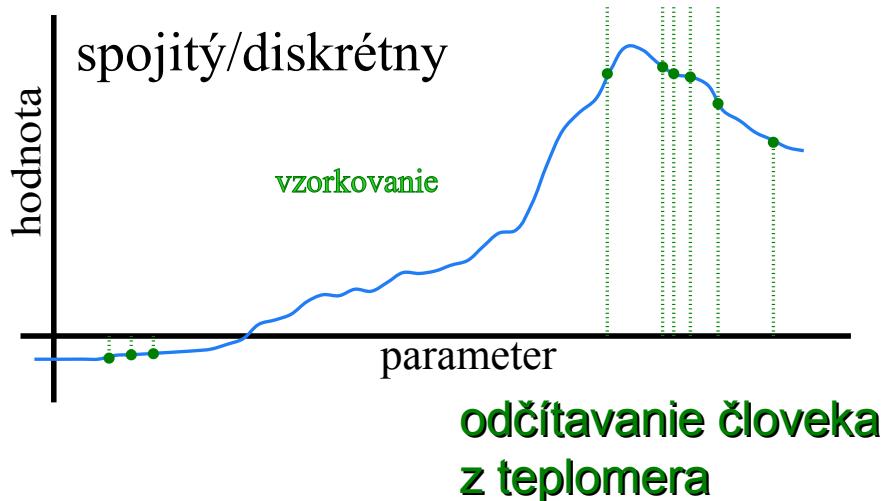
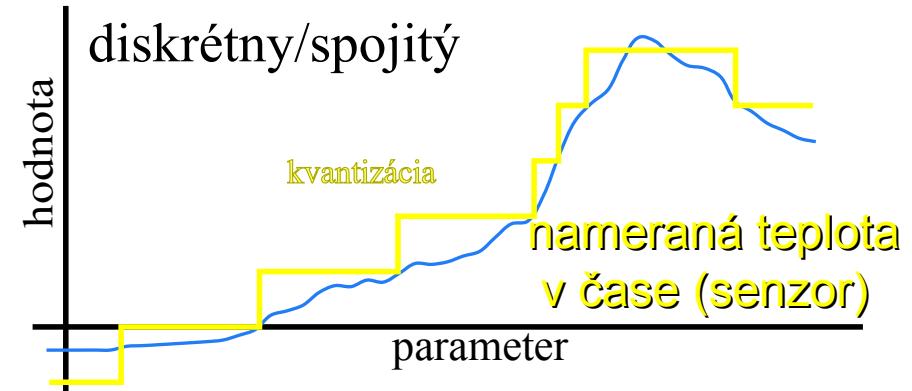
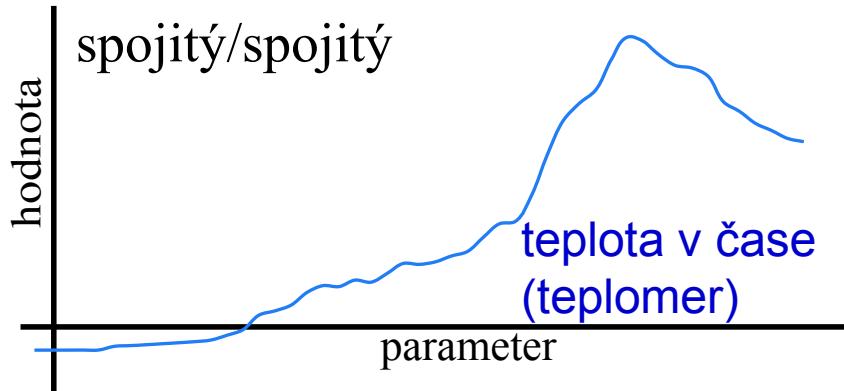
uim.fei.stuba.sk/predmet/b-dus/

Hodnotenie (40-60)

t ... 2 testy (20+20)	<0;40>bodov	
bb ... bonusové body	<0;..) bodov	
ot ... opravný test	<0; 10>bodov	min. 20b
pb ... prednášky	<0;..) bodov	
sk ... skúška	<0; 60>bodov	min. 56b

if (max (min(t+bb+ot,15), t+bb) > 15) examine();
else next_time();

DUS

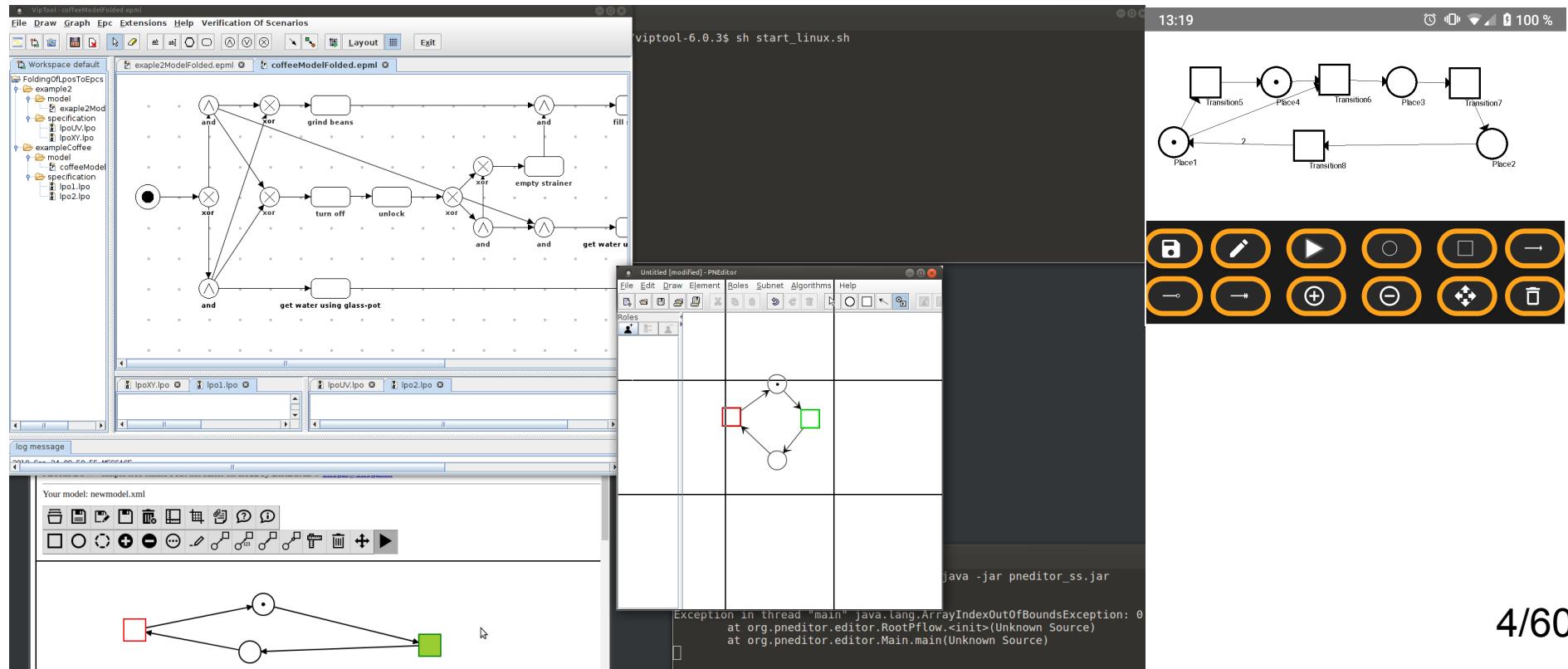


PN tools

uim.fei.stuba.sk/predmet/b-dus/

Databáza PN editorov:

PNEditor , netgrif modeler, PEP tool, Viptool, PetriNetSimulator



PN definitions

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

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

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

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

$$W: F \rightarrow (Z^+)$$

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

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

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

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

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

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

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

Grafová reprezentácia – Bipartitným grafom!

PS vztahy medzi prechodmi

Elementárne štruktúry

Hlavné elementy:

Miesta, Prechody, Značky

Konflikt

Kauzalita

Synchrónnosť

Súbežnosť

Značky reprezentujú dynamickú časť PS.
Modelujú zdroje alebo vykonávajúci sa
program

Zámena (konf. & súb.)

Symetrický

Asymetrický

Vzájomné vylúčenie v
súbežnosti

Sekvencia (sequence)

Rozdelenie (fork)

Synchronizácia (synchronization)

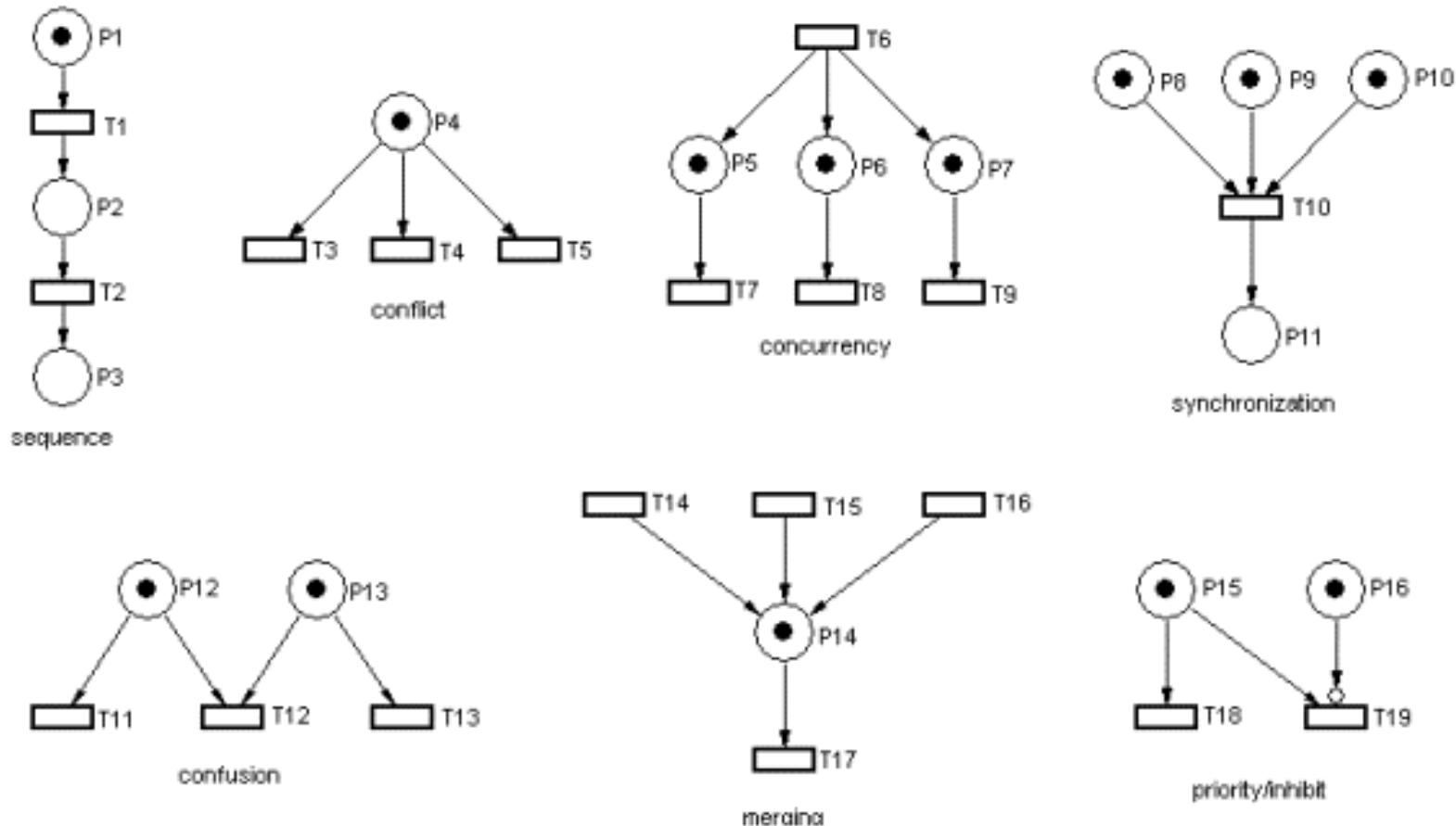
Výber (choose)

Spojenie (merge)

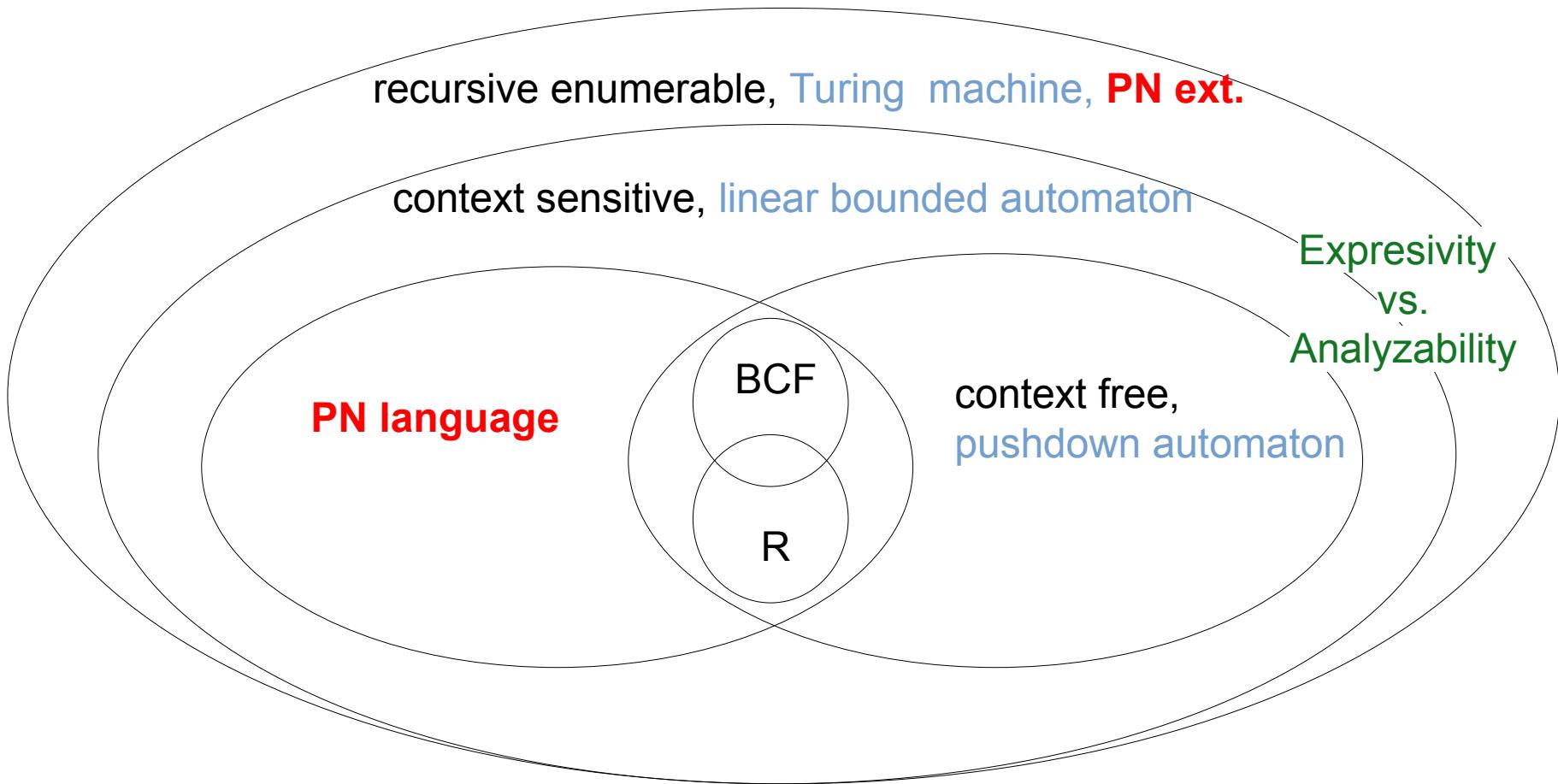
Cyklus

PN vztahy medzi prechodmi

Elementárne štruktúry



Chomsky hierarchy - 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 grammar < context free < context sensitive < recur. enu.

Properties to analyze PN

Boundedness – Ohraničenosť -> k-ohraničenosť -> safe

Reachability – Dosiahnutelnosť

Liveness – Živosť -> Deadlock-free -> Livelock; Non-termination

Reversibility – Home state – Repetitive

Promptness –

Persistence –

Regularity and context-freeness –

Semilinearity –

Conflict free –

Free choice –

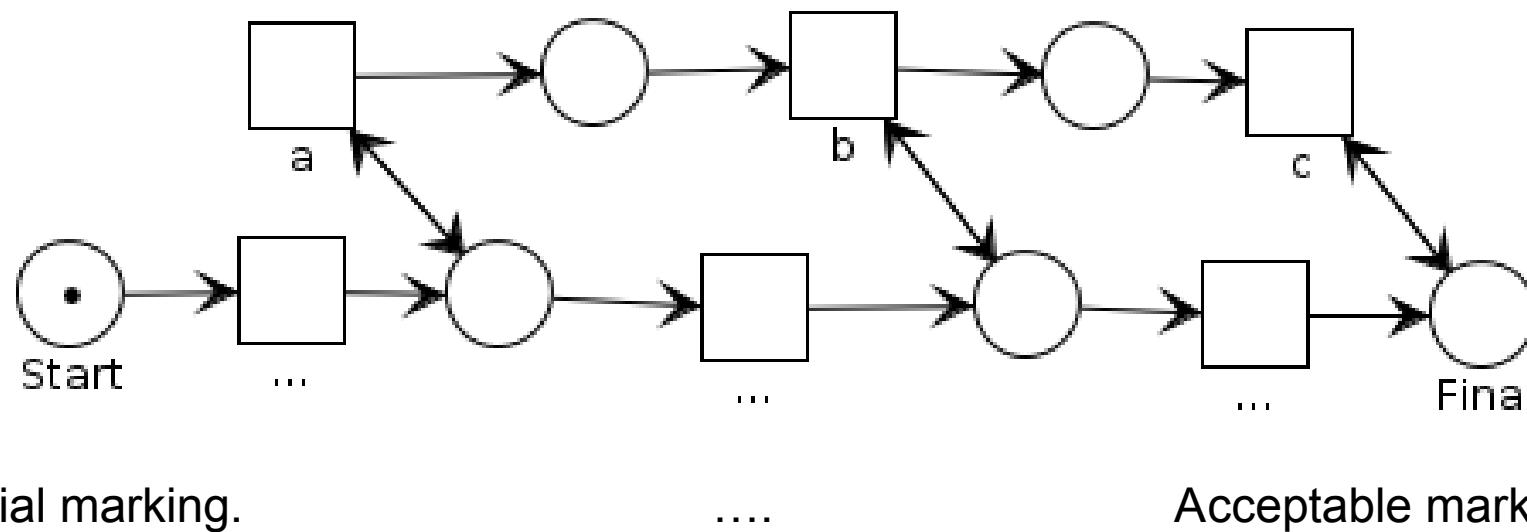
Fairness –

Consistent –

Equivalences: Značkovania, Trace and language, Bisimulation

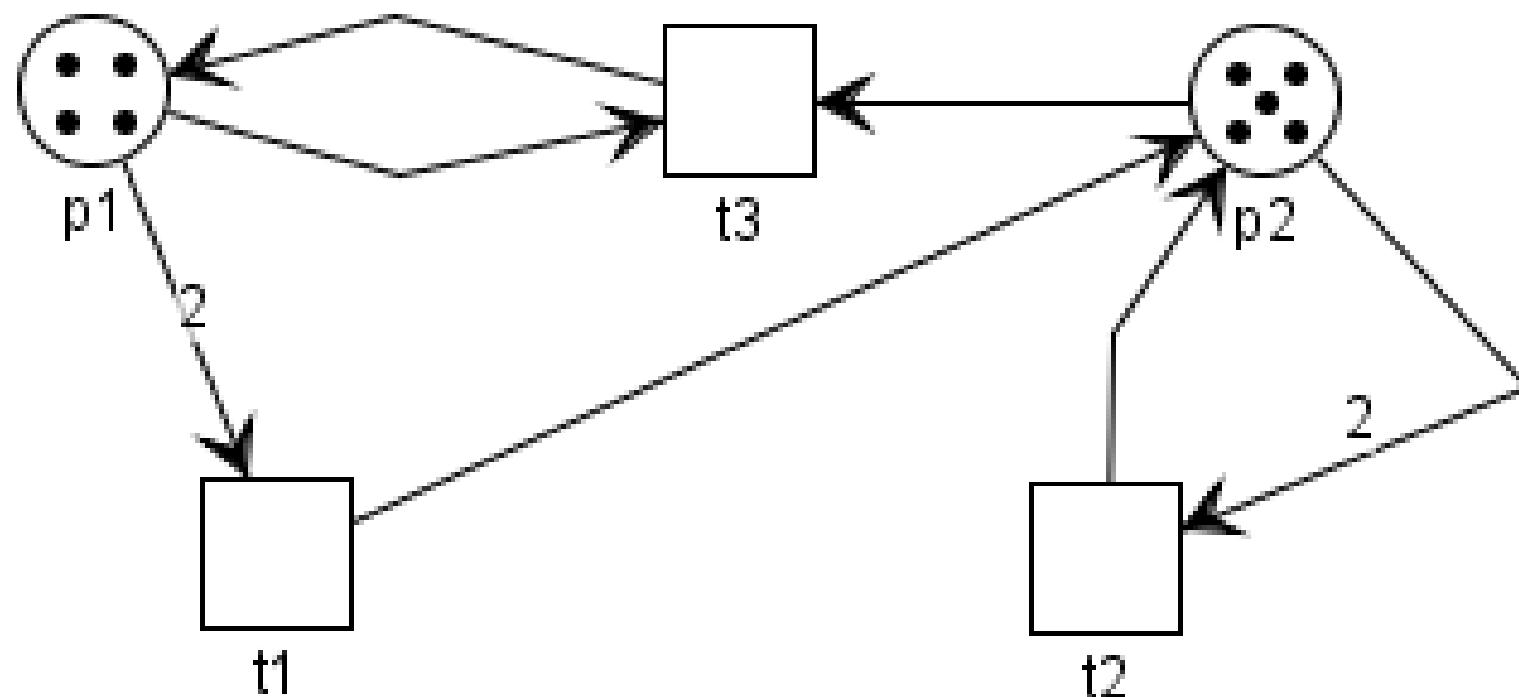
exemple PN

A context-sensitive language $L(M) = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 0\}$ is generated by Petri net.



PN exercise

Zápisť siet' v tvaroch (P, T, F, W, m_0) aj (P, T, I, O, m_0) .



PN file definition

$$\begin{aligned} P &\in \{p_1, p_2\}, \quad T \in \{t_1, t_2, t_3\}, \\ F &\in \{\overrightarrow{p_1t_1}, \overrightarrow{p_1t_3}, \overrightarrow{p_2t_2}, \overrightarrow{p_2t_3}, \overrightarrow{t_1p_2}, \overrightarrow{t_2p_2}, \overrightarrow{t_3p_1}\}, \\ W &: [2, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0], \\ I &: \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad O : \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad m_0 = (4, 5) \end{aligned}$$

n ... počet miest 2
m ... počet prechodov..... 3
m0 ... počiatok značkovanie 4
.. n cisel 5
I ... vstupná matica..... 2
.. PxT ... n riadkov, m stlpcov 0

O ... výstupná matica..... 1
.. TxP ... n riadkov, m stlpcov 0

*.txt (48b)

2
3
4
5
2
0

1
0
2
1
0
0
1
1
1
0

*.pnml (5.1kB)

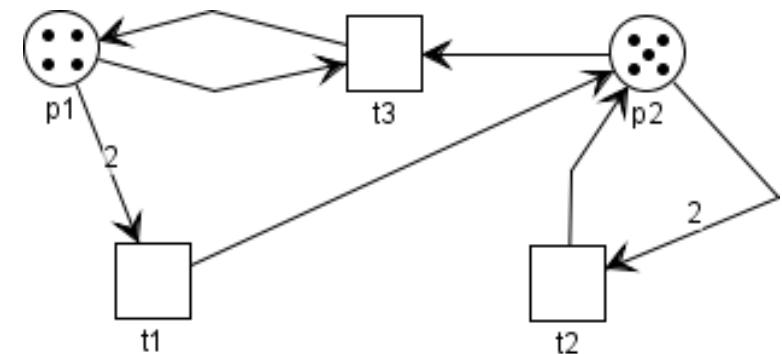
```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?><pnml>
... <net type="VIPSschema.xsd"> ...
<place provider="..." ...><initial marking> </place>
...
<transition provider="..." ...> </transition>
...
<arc provider="..." ...> </arc>
</net> </pnml>
```

*.pflow (2.7kB)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?><document>
... <subnet> ...
<place>
  <id>1</id>
  <x>53</x>
  <y>-282</y>
  <label>p2</label>
  <tokens>2</tokens>
  <isStatic>false</isStatic>
</place>
...
<transition>
  <id>2</id>
  <x>-56</x>
  <y>-282</y>
  <label>t3</label>
</transition>
...
<arc>
  <type>regular</type>
  <sourceld>1</sourceld>
  <destinationId>2</destinationId>
  <multiplicity>1</multiplicity>
</arc>
... </subnet> ... <roles/> </document>
```

PN pre-set, post-set

$$\begin{aligned}
 & \text{IP} \in \{p_1 p p_2, p_2\}, \quad T \in \{t_1 \subset \{t_3\} t_2, t_3\}, \\
 & F \in \{p_1 \overrightarrow{t_1}, p_1 \overrightarrow{t_3}, p_2 \overrightarrow{t_2}, p_2 \overrightarrow{t_3}, \overrightarrow{t_1 p_2}, \overrightarrow{t_2 p_2}, \overrightarrow{t_3 p_1}\}, \\
 & W : [2, p_1 t_1, 1, p_1 t_3, 1, p_2 t_2, p_2 t_3, t_1 p_2, t_2 p_2, t_3 p_1], \\
 & W : \left(\begin{smallmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 1 \end{smallmatrix} \right), 2, 1 O, \left(\begin{smallmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{smallmatrix} \right) \quad m_0 = (4, 5) \\
 & I : \left(\begin{smallmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 1 \end{smallmatrix} \right) \quad O : \left(\begin{smallmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{smallmatrix} \right) \quad m_0 = (4, 5)
 \end{aligned}$$



Vstupná I	t1	t2	t3
p1	2	0	1
p2	0	2	1

Výstupná O	t1	t2	t3
p1	0	0	1
p2	1	1	0

PN – C incidence matrix

$C: PxT \rightarrow Z$ incidenčná matica

$$C = O - I$$

Pre **rýdze** PN je C postačujúca.

$$\forall t : \bullet t \cap t\bullet = \emptyset$$

state machine,

marked graph,

free choice,

eFC, AC ...

Incidenčná O-I	t1	t2	t3
p1	0-2	0-0	1-1
p2	1-0	1-2	0-1

Incidenčná C	t1	t2	t3
p1	-2	0	0
p2	1	-1	-1

Počiat. znač.	p1	p2
m_0	4	5

PN executability

Spustiteľnosť

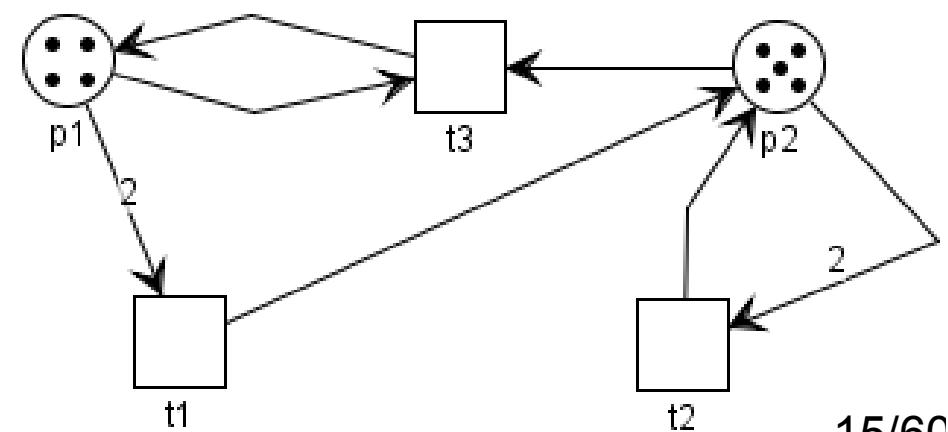
$$l(p_I, t) \leq m(p_I) \quad \& \quad m(p_O) + O(p_O, t) \leq k(p_O)$$

k je kapacita ... maximálne ohraňčenie značiek v mieste
pre-set ... $\bullet t$, $p \subseteq P: \exists w(p, t)$ $\bullet t_3 : \{p_1, p_2\}$
post-set ... $t \bullet$, $p \subseteq P: \exists w(t, p)$ $t_3 \bullet : \{p_1\}$

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

&&

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



PN executability

ak ... $I \cdot X^T \leq m^T$... potom

stavová rovnica, výpočet spustenia

$$m_x(p) = m(p) - I(p,t) + O(p,t)$$

$$m_x^T = m^T + C \cdot X^T$$

$$m^T \geq I \cdot X^T$$

$$\begin{pmatrix} 4 \\ 5 \end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

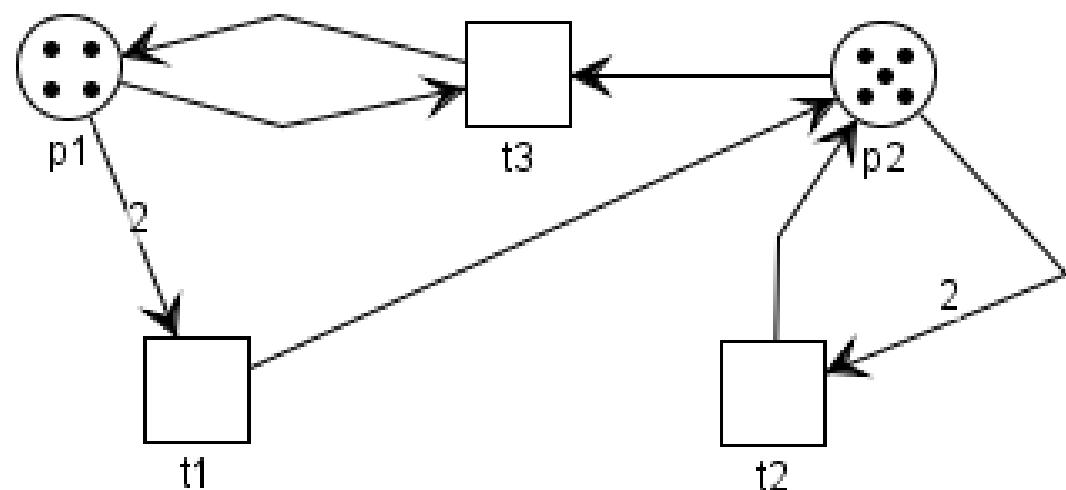
$$\begin{pmatrix} 4 \\ 5 \end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$m_x^T = m^T + C \cdot X^T$$

$$m_x^T = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -2 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$m_x^T = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 6 \end{pmatrix}$$

Spúšťací vektor X :	t1	t2	t3
	1	0	0



PN reachability

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

Reflexia $f(a)=a$

Tranzitivita $f(a,b), f(b,c) \rightarrow f(a,c)$, $f(b,b)$, $f(c,c)$

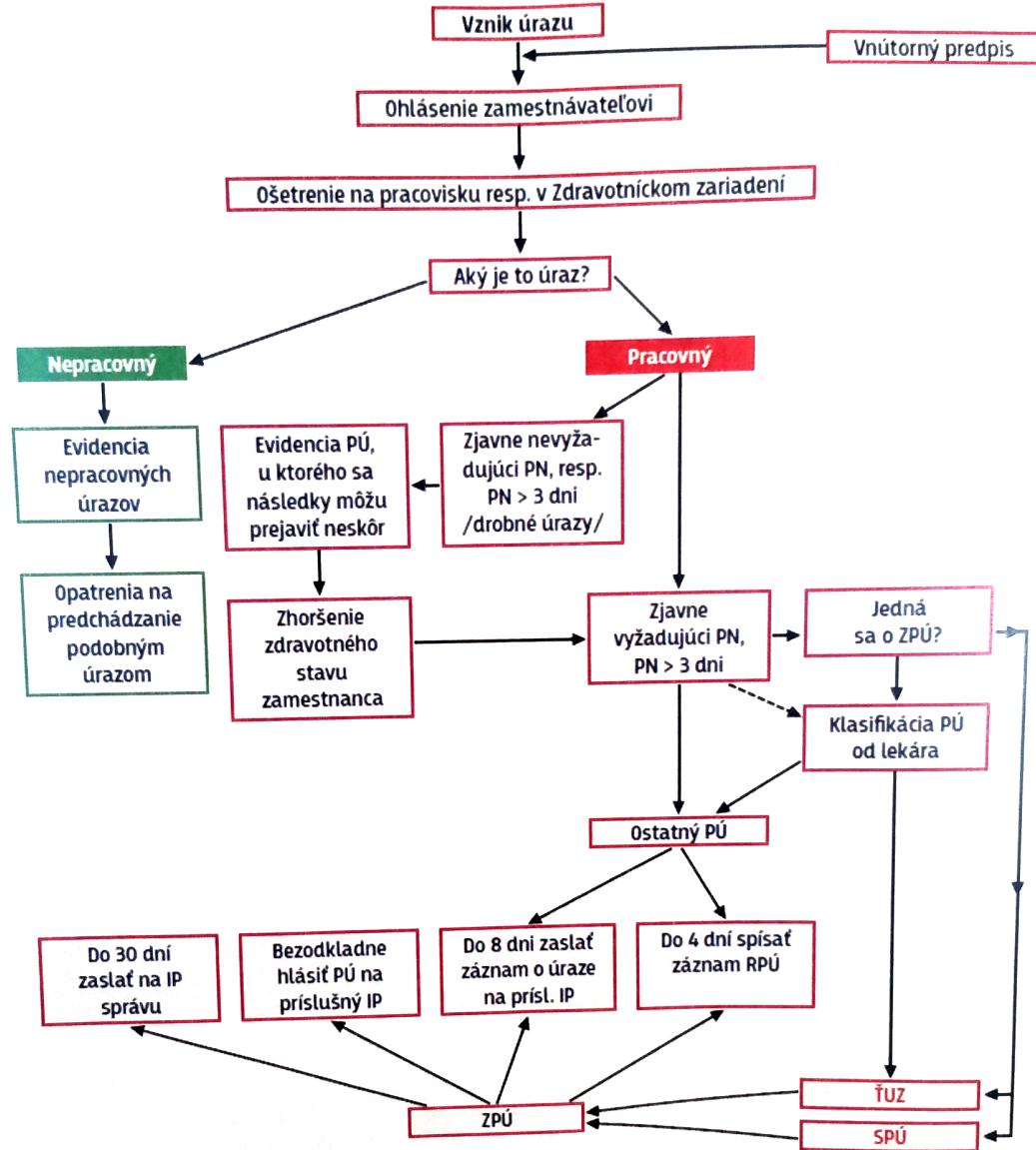
Morfizmus: každá petriho siet' má svoju petriho siet' dosiahnuteľnosti.

PN reachability

Aké stavy má nadobúdať „systém“!

Obsiahli sme všetky? Je ich tam viac?

Sú dosiahnutelné všetky?
Definícia konečných stavov !



ZPU - Závažný pracovný úraz

ČUZ – Čažká ujma na zdraví

SPU – Smrteľný pracovný úraz

IP – Inšpektorát práce

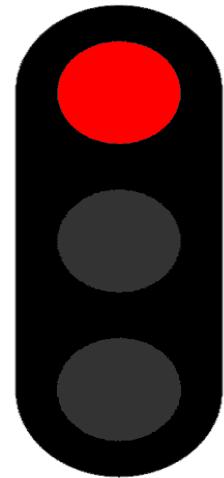
PU – Pracovný úraz

PN reachability

Priklad:

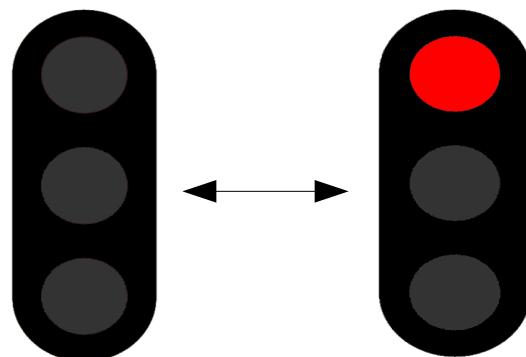
Modelujme semafór.

Každé ráno sa o 5:00 zapne, rozsvieti sa červené svetlo a po 60 sekundách sa pridá aj rozsvietením aj oranžové. Následne po 2 sekundách všetko zhasne a rozsvieti sa iba zelené svetlo. Svietenie trvá 30 sekúnd. Potom zhasne a rozsvieti sa na 2 sekundy iba oranžové, ktoré zhasne po 2 sekundách a na ďalších 60 sekúnd svieti iba červené. A to sa opakuje až do 22:00, kedy sa semafór vypne na noc (prerušované bliká oranžové svetlo).



PN reachability

stav semaforu	povolené udalosti	značkovanie
vypnutý	zap	
státie (zapnutý)	vyp, prip	
pripravený-vol'no	ides	
voľný	pozor	
pripravený-stoj	stoj	



PN reachability

I=

0	0	0	0	0	1
1	0	1	0	1	0
1	0	0	1	0	0
0	0	1	0	1	0
0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0

O=

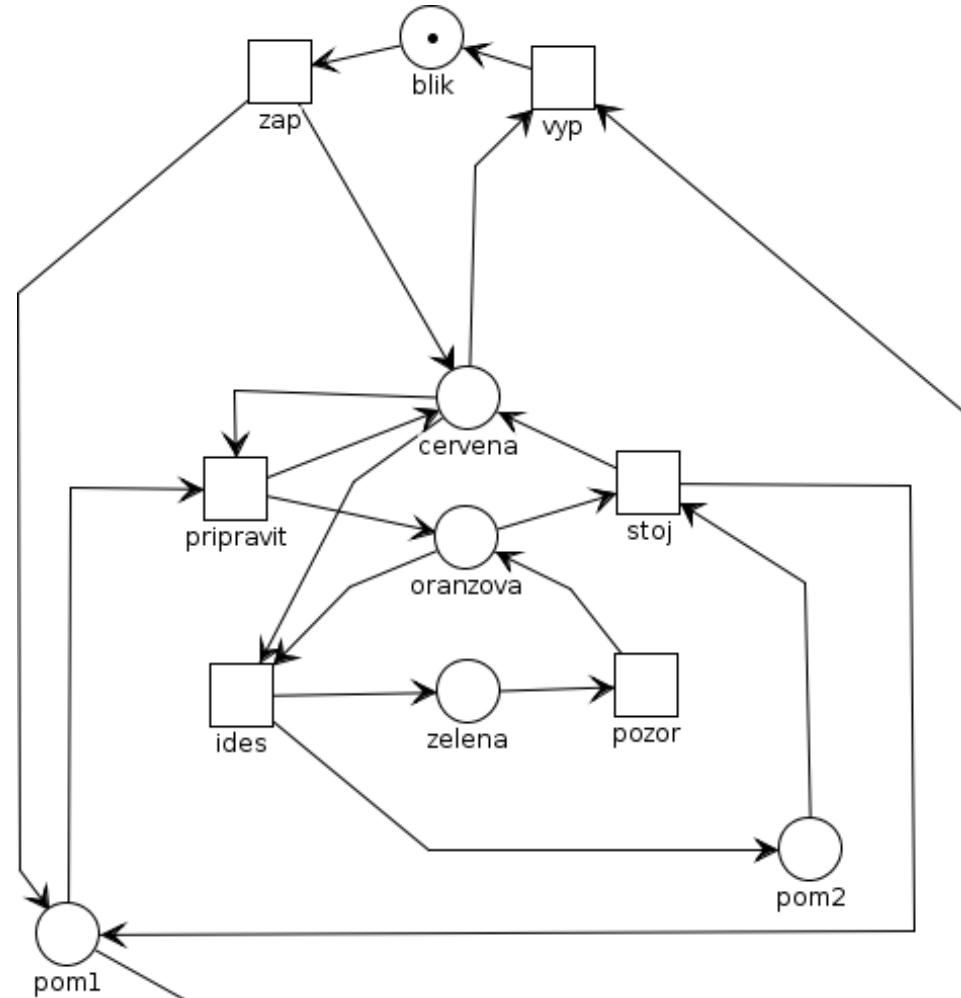
0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	1
0	1	1	0	0	0
0	0	1	1	0	1
1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0

C=

0	0	0	0	1	-1
-1	0	0	1	-1	1
-1	1	1	-1	0	0
0	0	-1	1	-1	1
1	0	0	-1	0	0
1	-1	0	0	0	0

$$I \cdot X^T \leq m^T$$

$$m_x^T = m^T + C \cdot X^T$$



PN reachability

- Prázdny list značkovaní m
- Prázdny list hrán t
- vlož značkovanie m_0
 - Pokial' 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 $m_x > m \rightarrow$ neohranič.
 - Vlož hranu t_x z m do m_x , pre danú cestu
 - Označ ako preskúmané

PN boundedness

PS delíme na ohraničené a neohraničené.

Konečnú množinu stavov → zostaviť stavový graf

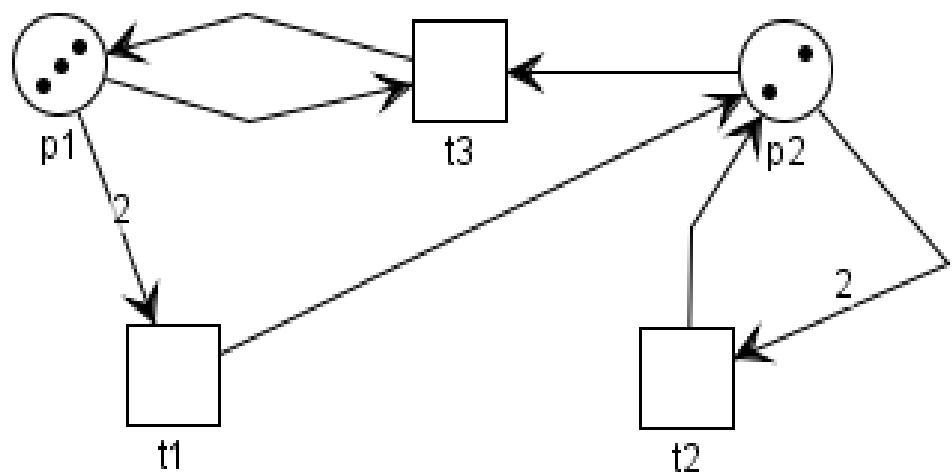
$$m: P \rightarrow (N \cup \{0\}) , \quad n: P \rightarrow (N \cup \{0\})$$

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

DFS, BFS (majme vrcholy a hrany)

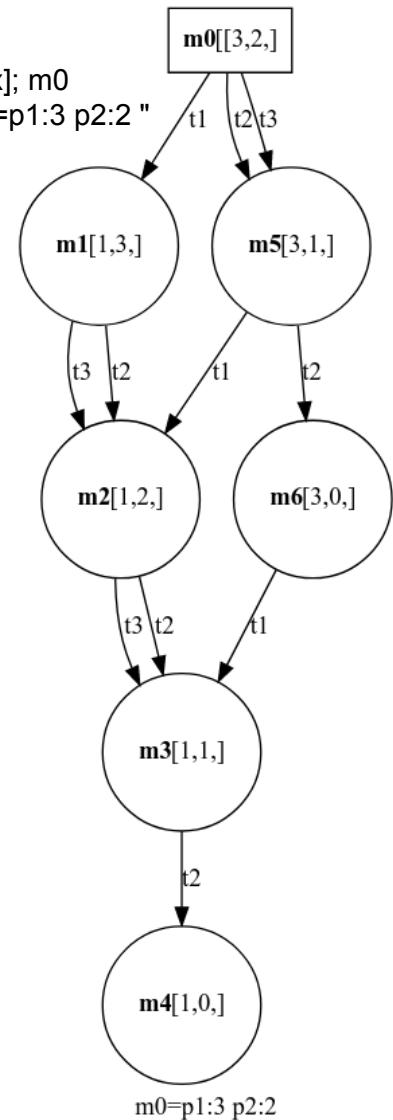
K-, safe, štrukturálna ohraničenosť.

PN reachability graph



```

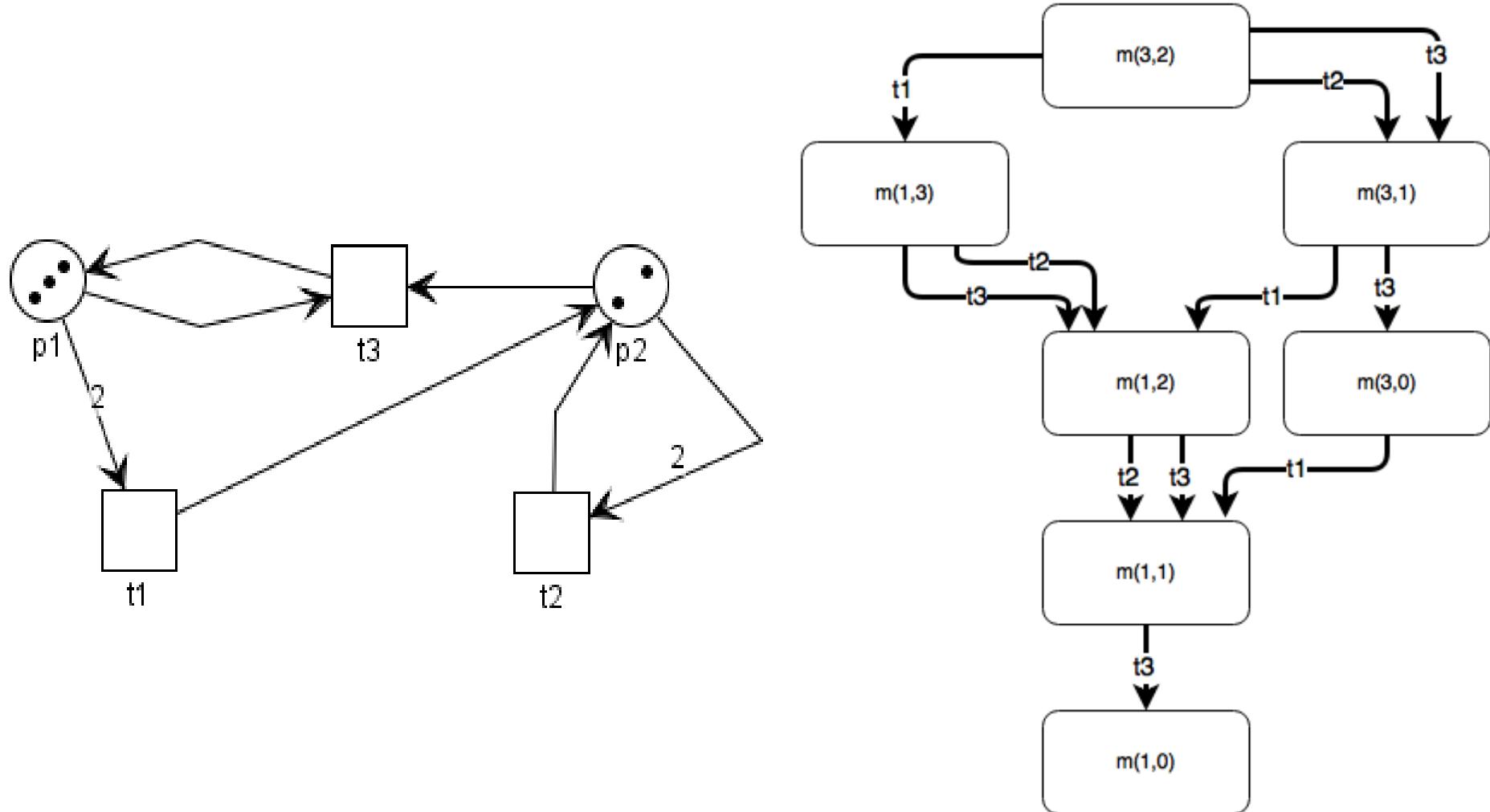
digraph G { node [fixed=true shape=box]; m0
  [label=<<B>m0</B>[[3,2,]]]; label="m0=p1:3 p2:2 "
  node [fixed=false shape=circle]
  m1 [label=<<B>m1</B>[1,3,]]
  m2 [label=<<B>m2</B>[1,2,]]
  m3 [label=<<B>m3</B>[1,1,]]
  m4 [label=<<B>m4</B>[1,0,]]
  m5 [label=<<B>m5</B>[3,1,]]
  m6 [label=<<B>m6</B>[3,0,]]
  m0 -> m1 [label=t1]
  m0 -> m5 [label=t2]
  m0 -> m5 [label=t3]
  m1 -> m2 [label=t3]
  m1 -> m2 [label=t2]
  m2 -> m3 [label=t3]
  m2 -> m3 [label=t2]
  m3 -> m4 [label=t2]
  m5 -> m2 [label=t1]
  m5 -> m6 [label=t2]
  m6 -> m3 [label=t1]
  }
  
```



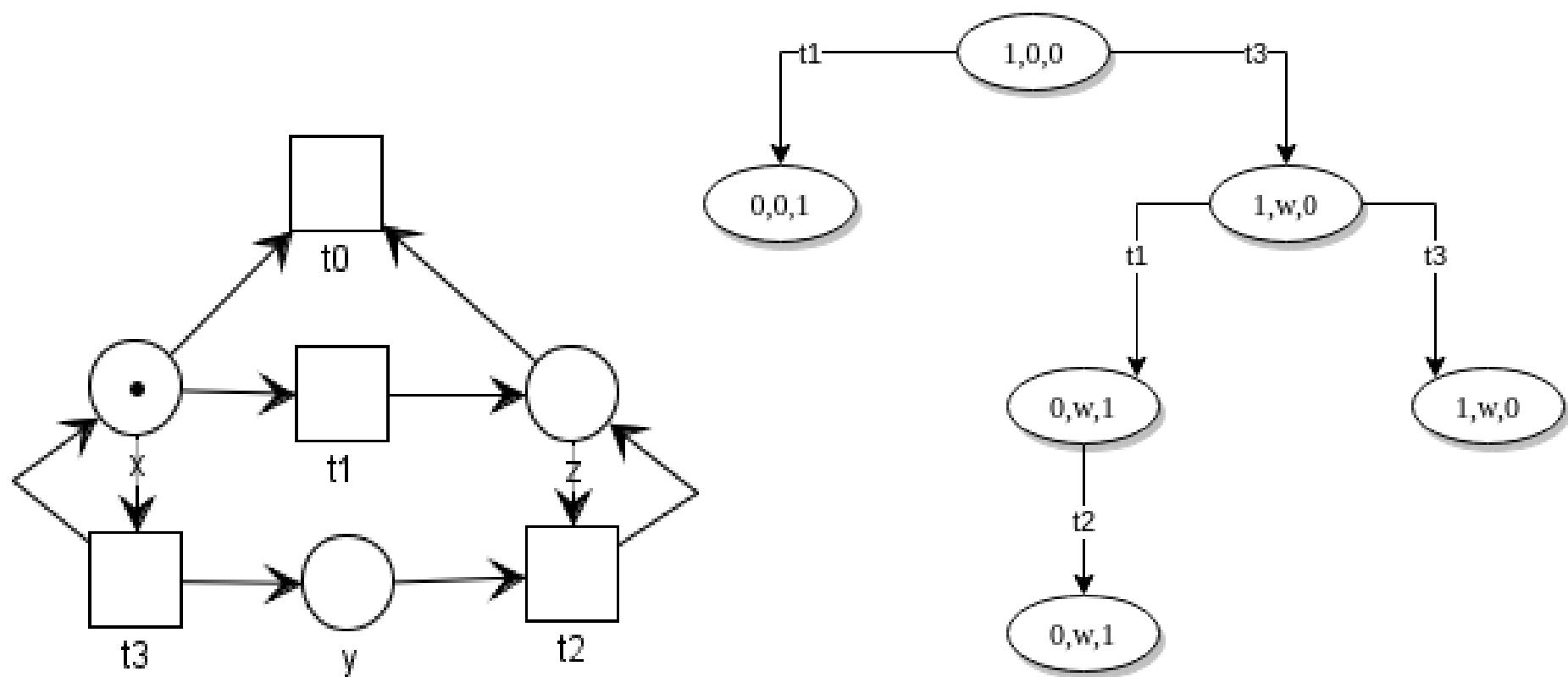
PN coverability

- Prázdny list značkovaní $m \{m_i, \dots\}$
- Prázdny list hrán t
- vlož značkovanie m_0
 - Pokiaľ máme značkovanie v liste m skúmaj:
 - Spustiteľnosť prechodov t_x z listu t a výpočítaj m_x .
 - Ak sa m_x nenacháza v liste m , zaraď ho.
 - Ak existuje predchodca m_x , taký $m_x > m_i$, označ zložku vektora m_x ako ω .
 - Vlož hranu t_x z m do m_x , pre danú cestu
 - Označ ako preskúmané m, t

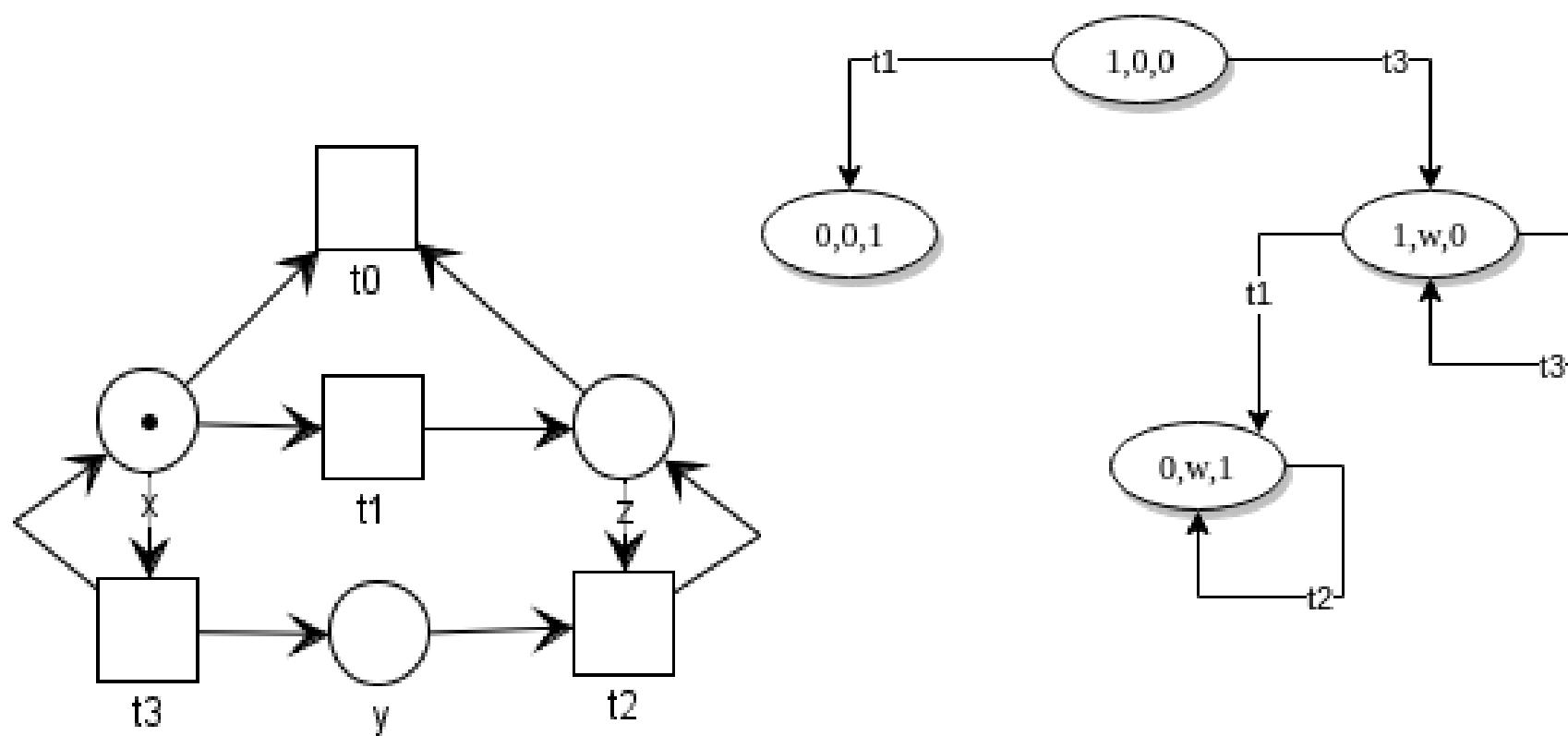
PN coverability graph



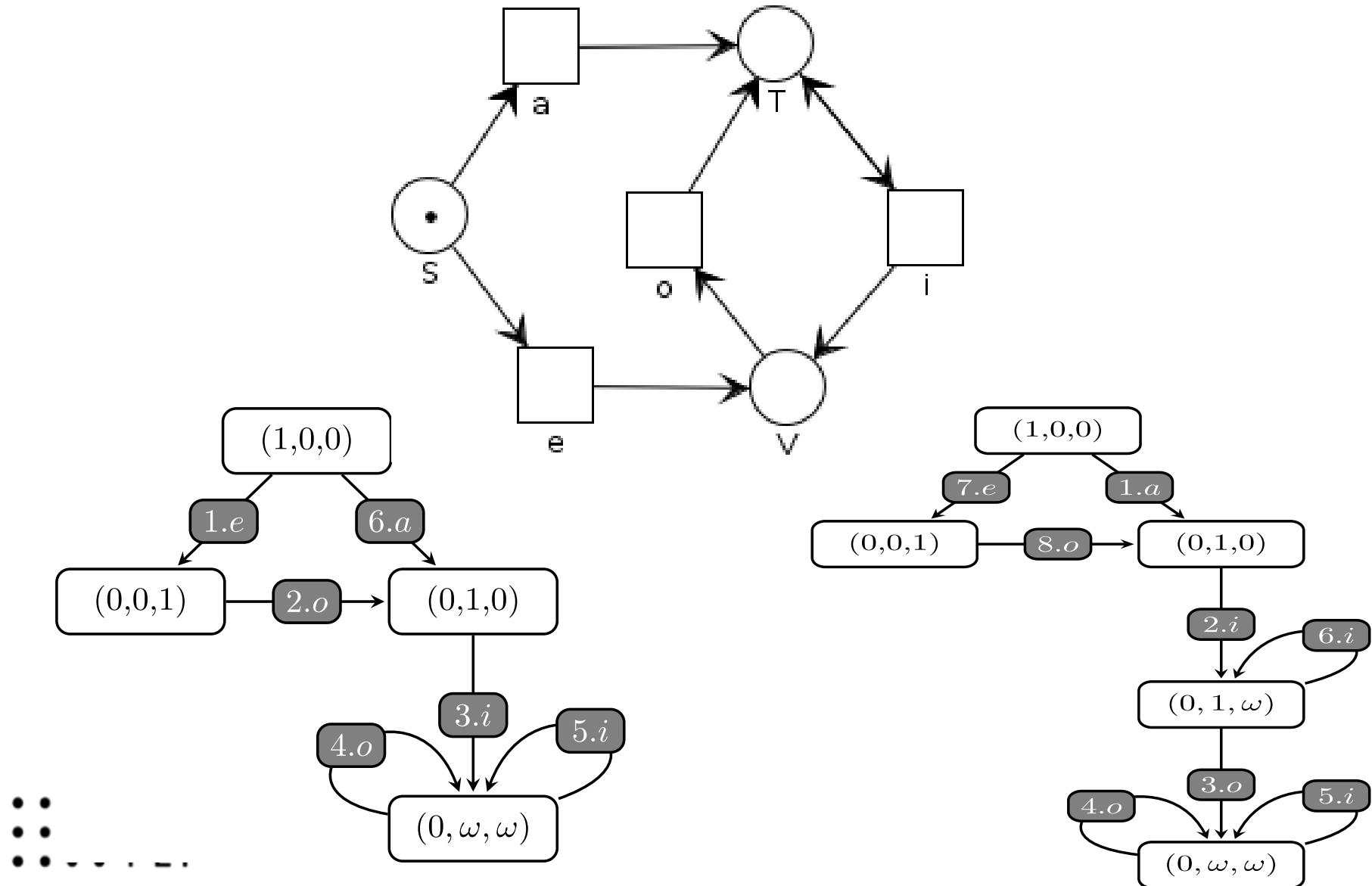
PN coverability tree



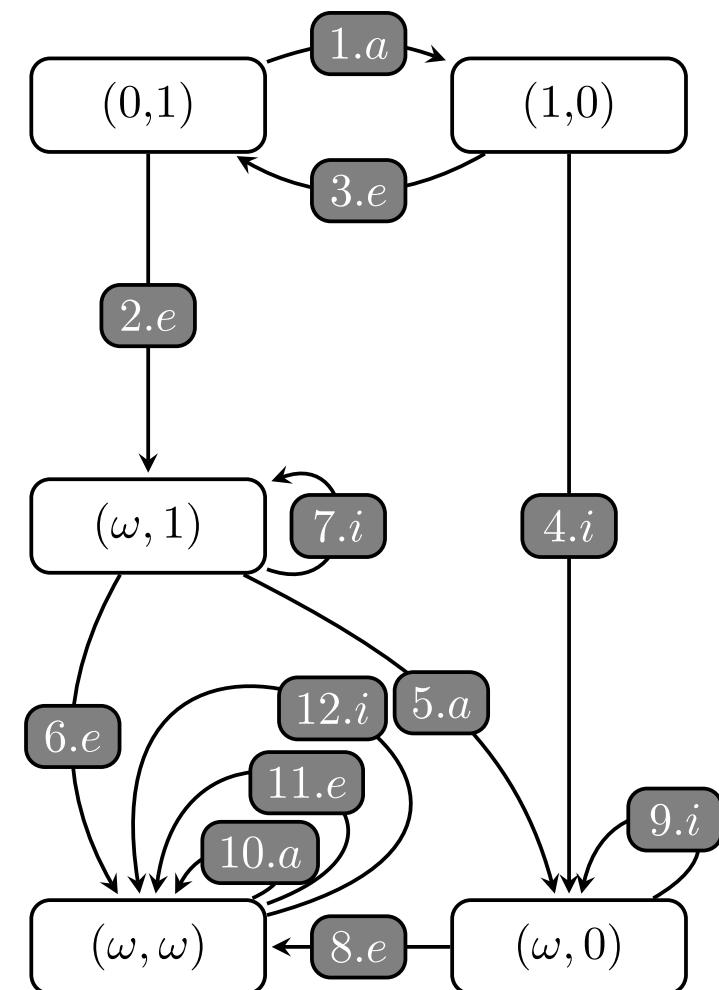
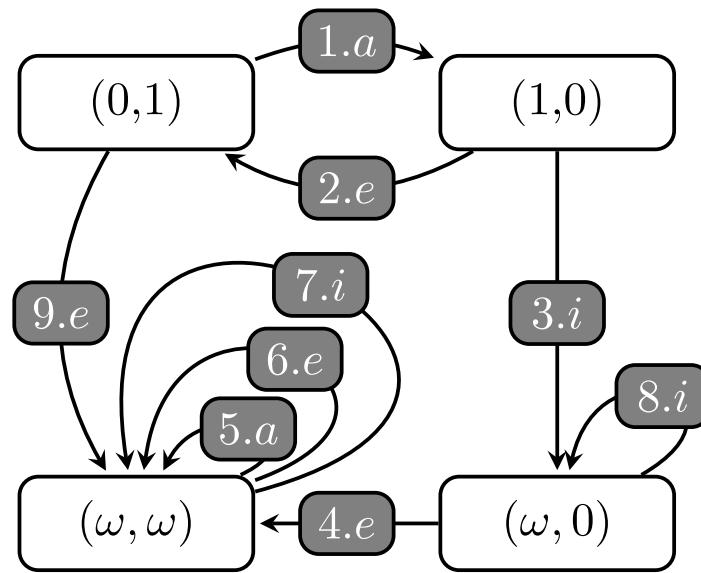
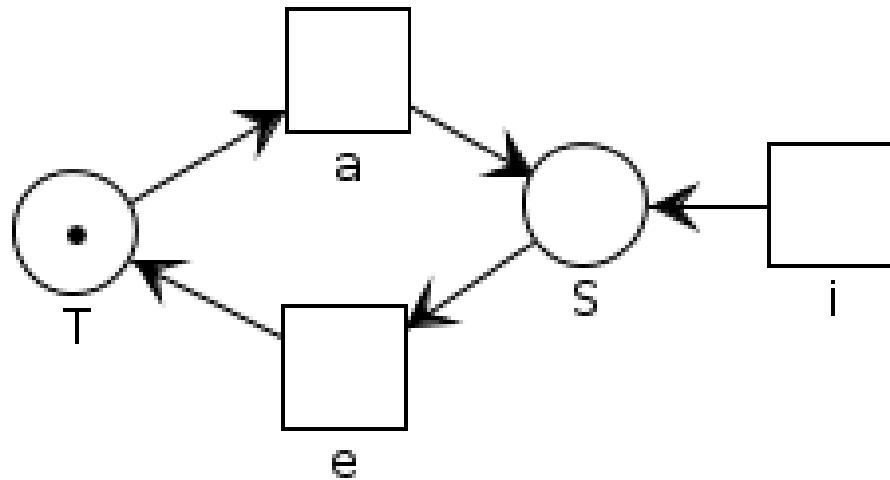
PN coverability graph



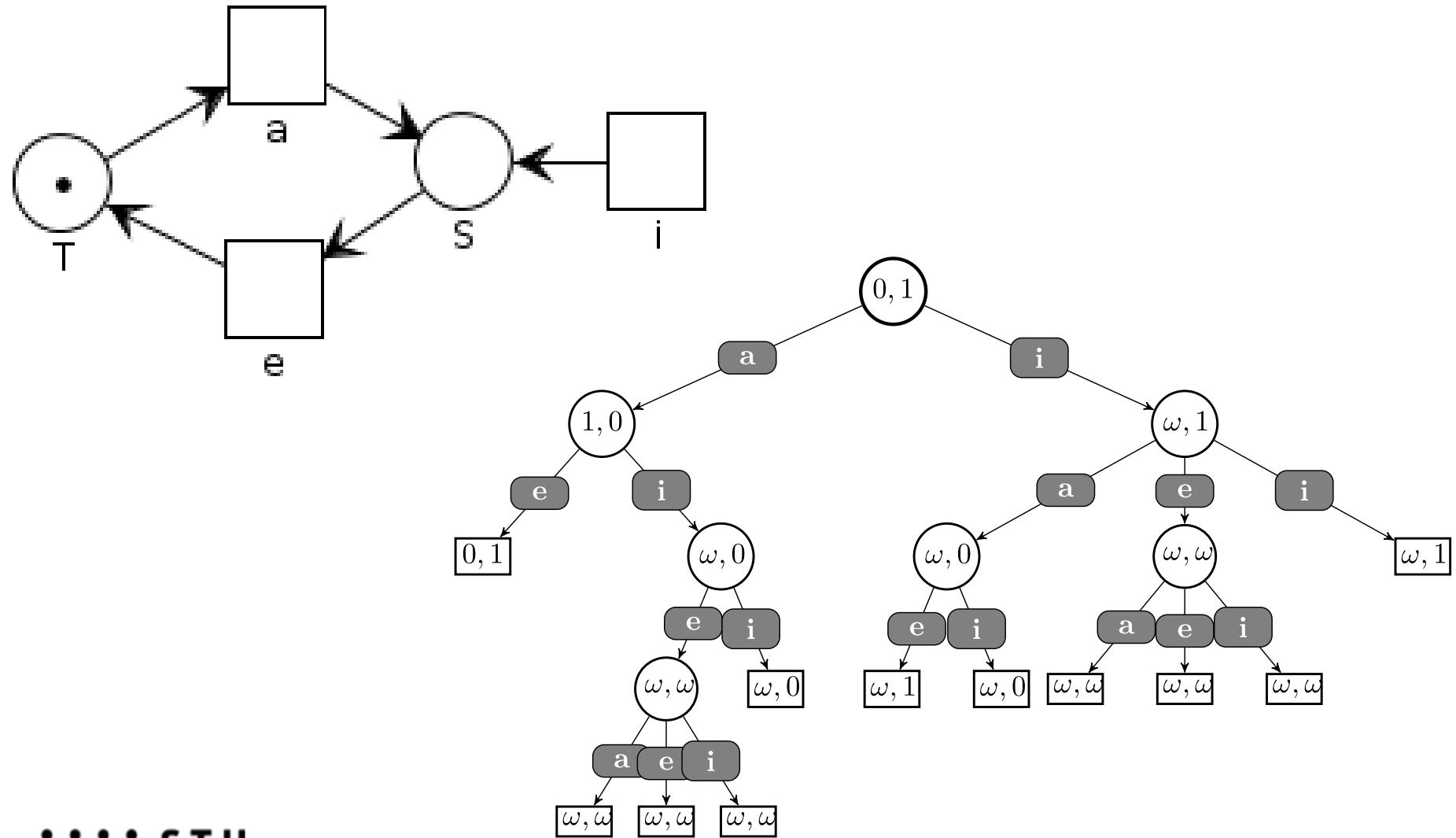
PN coverability graph BFS



PN coverability graph BFS,DFS



PN coverability tree BFS,DFS

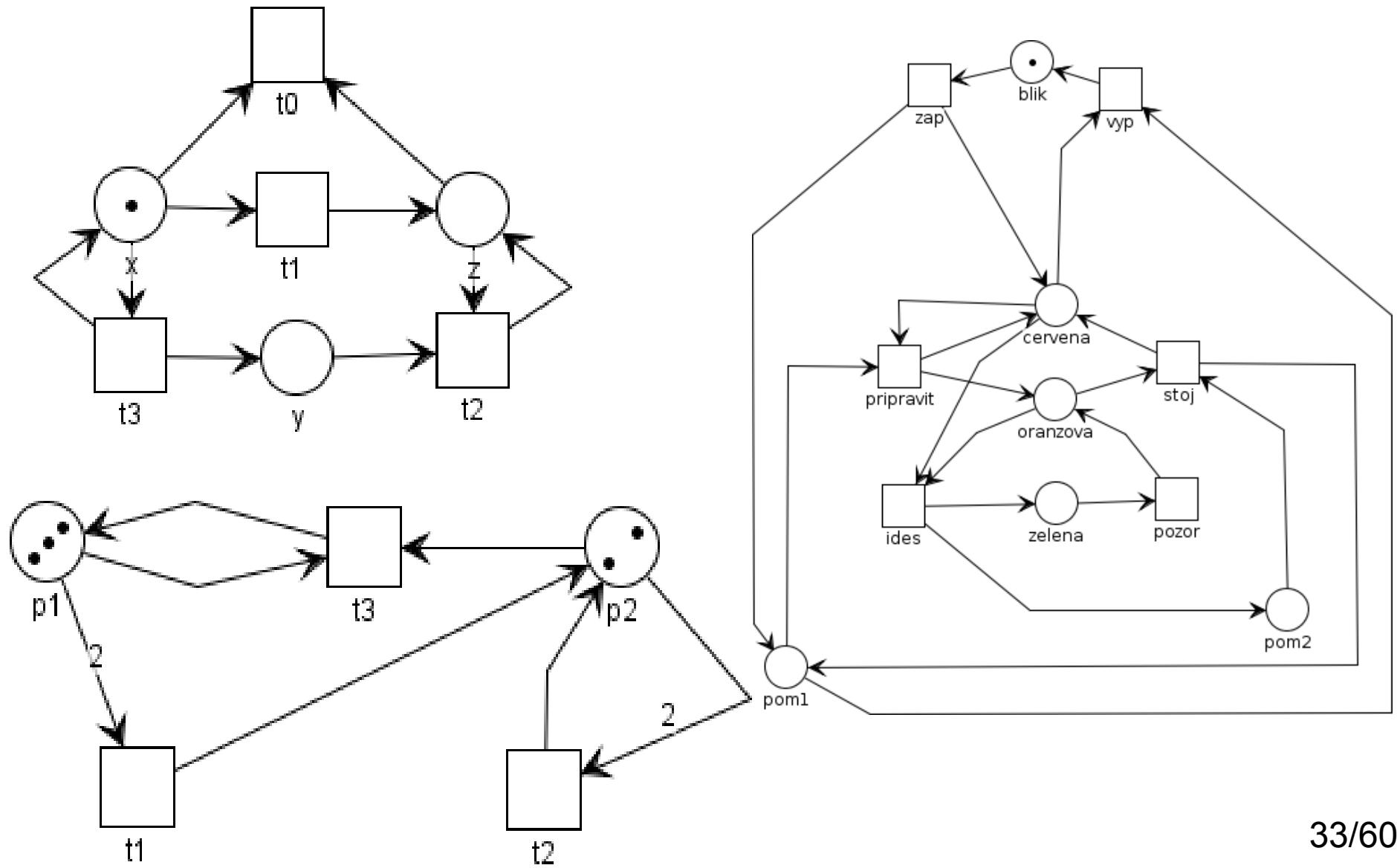


PN liveness

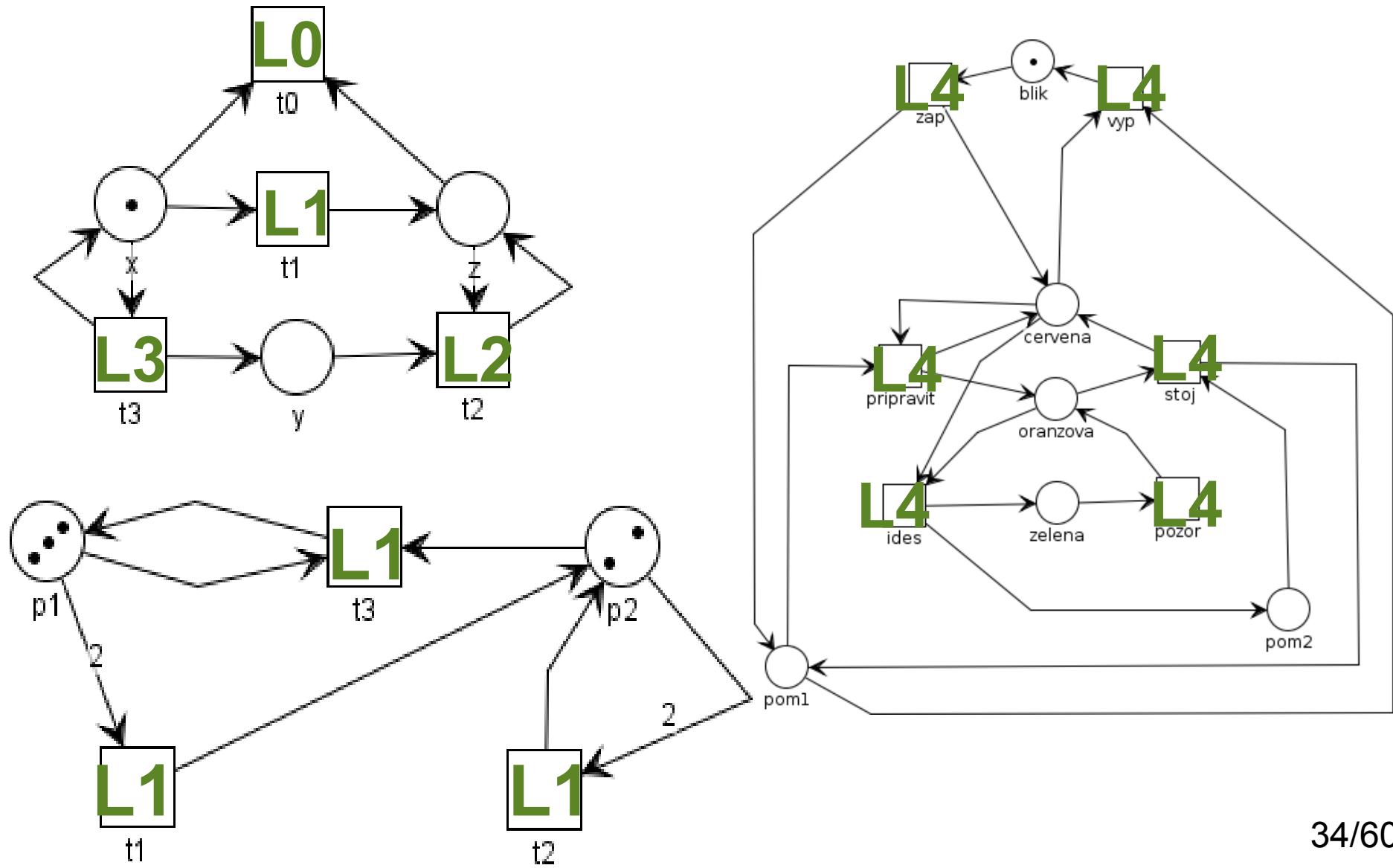
Prechod t z T je:

- L1: \exists spust. sekv. z m_0 , že t je spustiteľné
- L2: \exists sekvencie z m_0 , že t je k -krát spust.
- L3: \exists sekvencie z m_0 , že t je ∞ -krát spust.
- L4: $\forall m$ dosiah. z m_0 je t spust. v sekvencii
- L0 ak \nexists sekvencia, aby t sa spustil

PN liveness



PN liveness



PN T-invariant

$$C \cdot X^T = 0 \quad // \text{maticové operácie}$$

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 Programming ...*

PN P-invariant

$$Y \cdot C = 0 \quad // \text{maticové operácie}$$
$$\sum I(p) \times i(p) = \sum O(p) \times i(p)$$

Štrukturálna ohraničenosť ... ováhovaná suma značiek v miestach sa nemení

Obmedzenia!!!

Hľadanie Y?

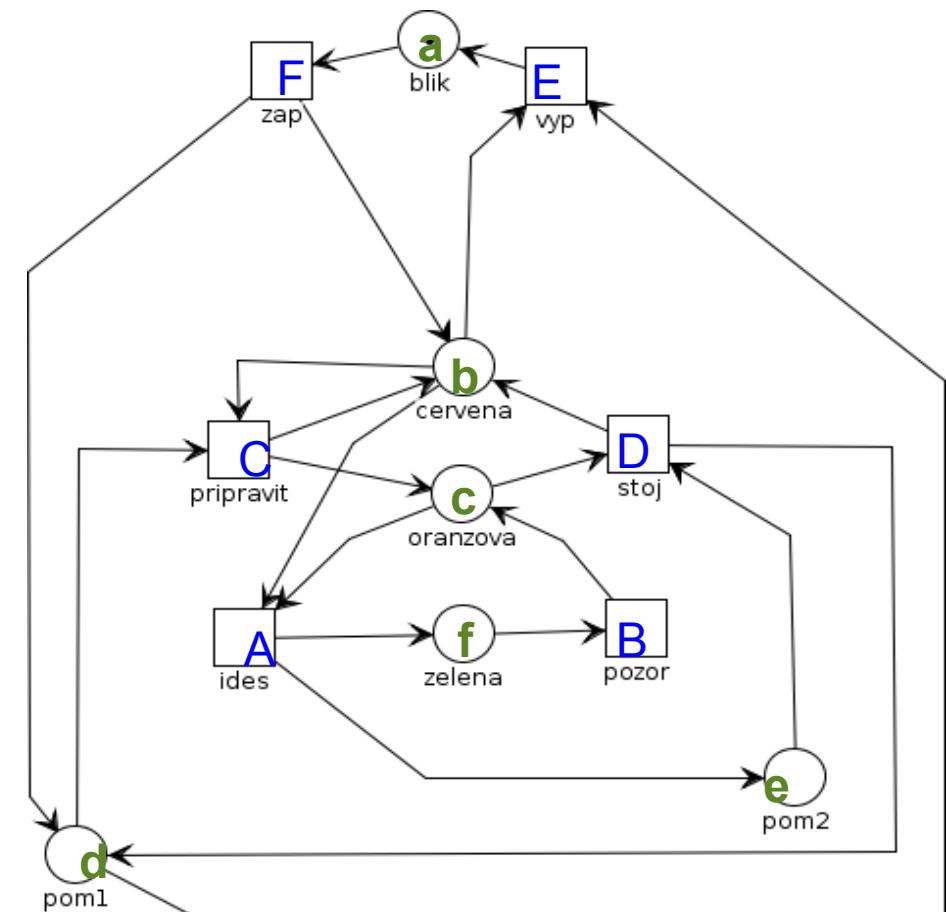
$\forall y_i$ vo vektore Y sú kladné

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

... Integer Linear Programming ...

PN solving linear equation

$Y.C=0$	$n.m$	$C.X=0$												
(a,b,c,d,e,f)														
	<table border="1"> <tr><td>0 0 0 0 1 -1</td><td>A</td></tr> <tr><td>-1 0 0 1 -1 1</td><td>B</td></tr> <tr><td>-1 1 1 -1 0 0</td><td>C</td></tr> <tr><td>0 0 -1 1 -1 1</td><td>D</td></tr> <tr><td>1 0 0 -1 0 0</td><td>E</td></tr> <tr><td>1 -1 0 0 0 0</td><td>F</td></tr> </table>	0 0 0 0 1 -1	A	-1 0 0 1 -1 1	B	-1 1 1 -1 0 0	C	0 0 -1 1 -1 1	D	1 0 0 -1 0 0	E	1 -1 0 0 0 0	F	
0 0 0 0 1 -1	A													
-1 0 0 1 -1 1	B													
-1 1 1 -1 0 0	C													
0 0 -1 1 -1 1	D													
1 0 0 -1 0 0	E													
1 -1 0 0 0 0	F													
$-b-c+e+f=0 \dots$ $c-f=0 \dots c=f$ $c-d=0 \dots c=d=f$ $b-c+d-e=0 \dots b=e$ $a-b-d=0 \dots a=b+d$ $-a+b+d=0 \dots$		$E-F=0 \dots E=F$ $-A+D-E+F=0 \dots$ $-A+B+C-D=0 \dots$ $-C+D-E+F=0 \dots C=D$ $A-D=0 \dots A=D$ $A-B=0 \dots A=B=C=D$												



Program Octave/Matlab

C=	rref(C_0) ... trojuhol. matica
0 0 0 0 1 -1	1 -0 -0 -1 0 0 0
-1 0 0 1 -1 1	0 1 0 -1 0 0 0
-1 1 1 -1 0 0	0 0 1 -1 -0 -0 0
0 0 -1 1 0 0	0 0 0 0 1 -1 0
1 0 0 -1 0 0	0 0 0 0 0 0 0
1 -1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0

stĺpec reprezentuje rovnosť = 0

Počet nezávislých riešení

P-inv ... C'	rref(C'_0)	
0 -1 -1 0 1 1	1 0 0 0 -1 -1 0	I= [...]; O= [...]; C=O-I;
0 0 1 0 0 -1	0 1 0 0 -1 0 0	rref([C,[0;0;0;0;0;0]])
0 0 1 -1 0 0	0 0 1 0 -0 -1 0	rref([C',[0;0;0;0;0;0]])
0 1 -1 1 -1 0	0 0 0 1 0 -1 0	
1 -1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	
-1 1 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0	

Invariants verification

[1,1,1,1,1,1]

(1,0,0,0,0,0)

zap;prip.;ides;
pozor;stoj;vyp

(1,0,0,0,0,0)

[1,1,1,1,0,0]

(1,0,0,0,0,0)

zap

(0,1,0,1,0,0)

prip.;ides;pozor;stoj

(0,1,0,1,0,0)

[0,0,0,0,3,3]

(1,0,0,0,0,0)

zap;vyp

(1,0,0,0,0,0)

zap;vyp;zap;vyp

(1,0,0,0,0,0)

[2,1,1,1,1,1]

(1,0,0,0,0,0)= **2**

zap;prip;ides

(0,0,0,0,1,1)= **2**

pozor;stoj

(0,1,0,1,0,0)= **2**

[2,1,1,1,1,1]

(1,2,3,4,5,6)=**22**

vyp;stoj;pozor

(2,2,3,4,4,5)=**22**

ides;ides;stoj

(2,1,0,5,5,7)=**22**

[3,2,1,1,2,1]

(1,2,3,4,5,6)=**30**

vyp;stoj;pozor

(2,2,3,4,4,5)=**30**

ides;ides;stoj

(2,1,0,5,5,7)=**30**

PN solving linear equation

$C \cdot X = Z$ nenul. nezáp.

Integer linear programming
MILP, Cutting Planes,
MiniZinc to MIP

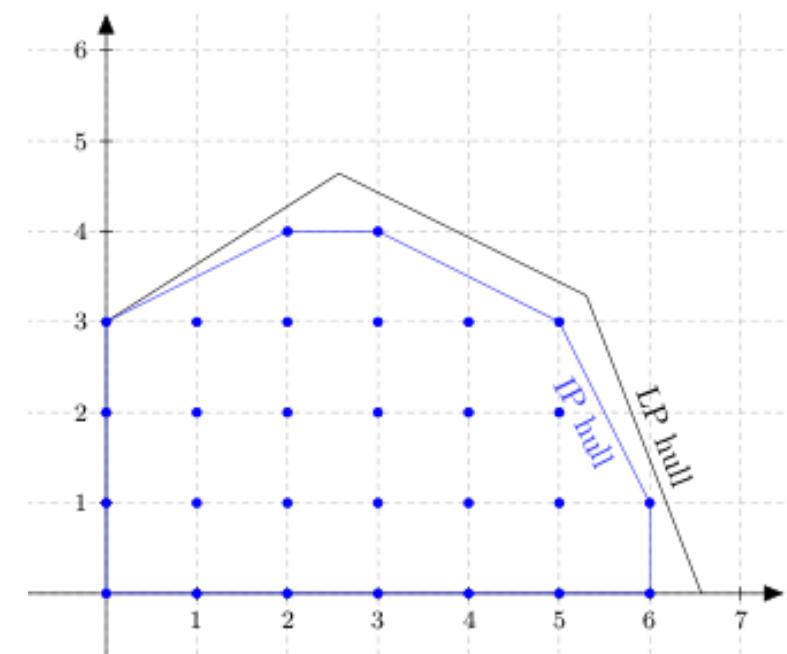
http://jean-pierre.moreau.pagesperso-orange.fr/c_linear.html

<http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/>

<https://www.gnu.org/software/glpk/>

<http://www.sanfoundry.com/java-program-perform-lu-decomposition-matrix/>

<https://www.coursera.org/lecture/solving-algorithms-discrete-optimization/3-3-1-linear-programming-rzHVE>



PN inv. solving

Fourier-Motzkin // Farkas $C \cdot X = 0$

$$\begin{array}{rcc} C = & & J, n: 6 = \\ \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} & & \begin{array}{cccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & & & & & \\ 1 & & & & & \\ 1 & & & & & \\ 1 & & & & & \end{array} \end{array}$$

1, vytvor $C|J_n$ ($n \times m$ | $n \times n$)

2, pre jednotlive stlpce(tran) $1 \leq k \leq m$

- pre riadky ak i, j ($1 \leq i < j \leq n$) maju na pozicii k opacne znamienka spocitaj (**gcd**)

- zapis suctovy riadok (vytvor 0 na k stlpci)

- zmaz nenulove riadky na k -stlpci

3, zmaz prvych m stlpcov

4, pouzitie Gausova eliminacia su bazove vektor??

Fourier-Motzkin

$$(P, T, C, m0) = \{a, b, c, d, e, f\}, \{A, B, C, D, E, F\},$$

$$\left[\begin{array}{cccccc|ccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ \hline \end{array} \right]$$

::::: STU 1,1,0,0,1,0 r.14
 ::::: FEI 1,0,1,1,0,1 r.15
 ::::: FEI 2,1,1,1,1,1 r.16

$$\left(\begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right), (1, 0, 0, 0, 0, 0)$$

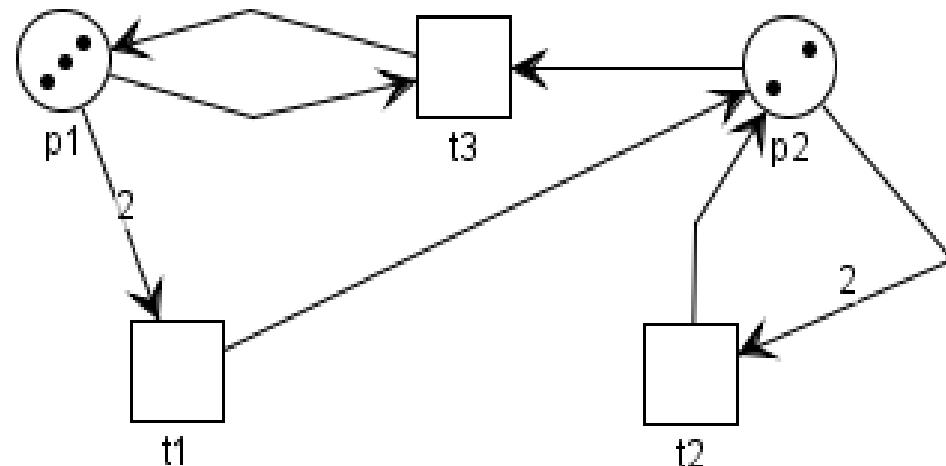
$$\left[\begin{array}{cccccc|cccccc|c} 0 & -1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -2 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \quad | \quad 5,6$$

0,0,0,0,1,1 r.7
 1,1,1,1,0,0 r.11 / 2

Exercice

incidenčná matica C:

-2	0	0
1	-1	-1



$$T^{-1} \dots C \cdot X^T$$

$$-2x_1 + 0x_2 + 0x_3 = 0$$

$$x_1 - x_2 - x_3 = 0$$

$$x_1 = 0$$

$$x_2 = -x_3$$

$$P^{-1} \dots Y \cdot C$$

$$-2y_1 + y_2 = 0$$

$$-y_2 = 0$$

$$-y_2 = 0$$

$$y_1 = 0$$

cyklickost $\Rightarrow T$

$\neg T$ \Rightarrow bez cyklu

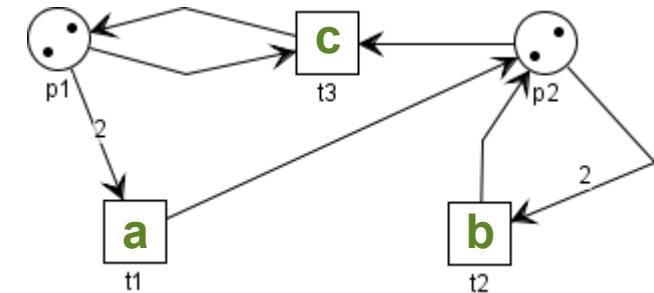
P \Rightarrow ohranicenosť

neohranicenosť $\Rightarrow \neg P$

PN Synthesis from sequence scenarios

Záznamy správania ... scénare
Scénar ... sekvencia udalostí.

Pozorované sekvencie 5-tich scénarov
Napr. :{a;b;b}, {b;a;b}, {b;c;a}, {c;c;a}, {c;a;b}

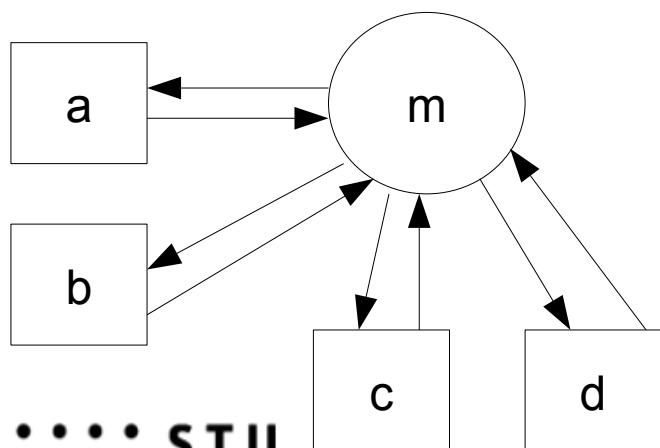


- Metóda konečnej bázy prípustných miest
- **Metóda nesprávnych pokračovaní (WC)**
- Metóda toku značení

WC: Wrong continuations

Sekvencie v scénari

- Gener. nerovníc z pozorovaných scénarov
- Gener. nerovníc zabraňujúce scénare
- Riešenie ...



WC: Wrong continuations

Pozorované scénare: {a;b;d}, {a;c;d}

Sekvencia a;b;d: $m \geq a_z$; $m \geq a_z - a_d + b_z$; $m \geq a_z - a_d + b_z - b_d + d_z$;

Sekvencia a;c;d: $m \geq a_z$; $m \geq a_z - a_d + c_z$; $m \geq a_z - a_d + c_z - c_d + d_z$;

Sekvencie {b},{c},{d}: $m < b_z$; $m < c_z$; $m < d_z$; d'alej

Sekvencie {(a);d},{(a);a}: $m < a_z - a_d + d_z$; $m < 2a_z - a_d$;

Sekvencie {(ab);a},{(ab);b},{(ab);c}, {(ac);a},{(ac);b},{(ac);c}

Sekvencie {(abd);a},{(abd);b},{(abd);c},{(abd);d}, {(acd);a},
{(acd);b},{(acd);c},{(acd);d}

5(6) nerovníc pre RC – 2 p.s.

4 prechody / udalosti, (vytv. komb. horného
ohraničenia)

3+2+6+8=19 rovníc WC nesprávnych pokračovaní.

WC: Wrong continuations

5(6) nerovníc pre RC – 2 p.s.

4 prechody / udalosti, (vytv. komb. horného ohraničenia)

$3+2+6+8=19$ rovníc WC nesprávnych pokračovaní

Ekvivalencia v PN ... napr. Zlučovanie miest

