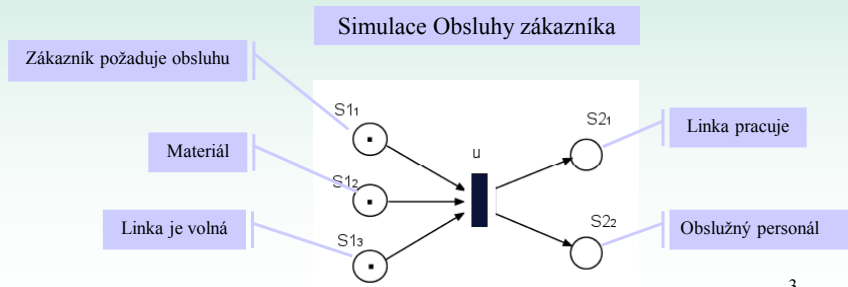


Modelování Petriho sítěmi

- Grafický popis a analýza systémů, ve kterých se vyskytují synchronizační, komunikační a zdroje sdílející procesy. Popis
- Paralelních jevů a konfliktních závislostí
 - Jednoduchost
 - Přehlednost
 - Modelování dynamiky procesů
- Existuje celá řada typů Petriho sítí
 - C/E (Condition/Event) Petriho sítě,
 - P/T (Place/Transitions) Petriho sítě,
 - P/T Petriho sítě s inhibičními hranami,
 - P/T Petriho sítě s prioritami,
 - TPN Časované (Timed) Petriho sítě,
 - CPN Barevné (Coloured, barvené) Petriho sítě,
 - HPN Hierarchické (Hierarchical) Petriho sítě,
 - OOPN Objektové (Object Oriented) Petriho sítě.

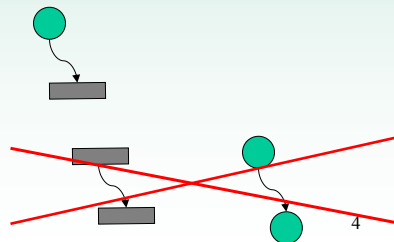
Základní pojmy

- **Places** (místa)
obsahují stavovou informaci ve formě značek (token)
- **Transitions** (přechody)
vyjadřují možné změny stavů
(vzory možných událostí)
- **Arcs** (orientované hrany)
určují logické vazby

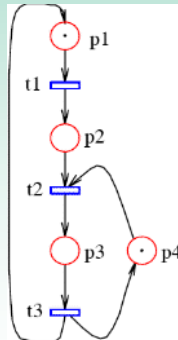


Grafický popis Petriho sítí je orientovaným bipartitním multigrafem

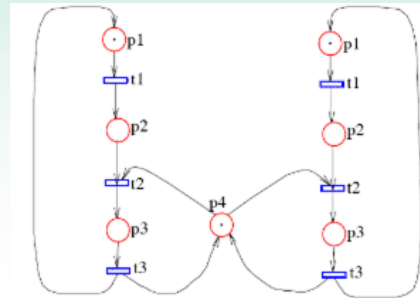
- Orientovaná hrana může spojit:
 - místo s přechodem
 - přechod s místem
- Orientovanou hranou nemůžeme spojit
 - místo s místem
 - přechod s přechodem



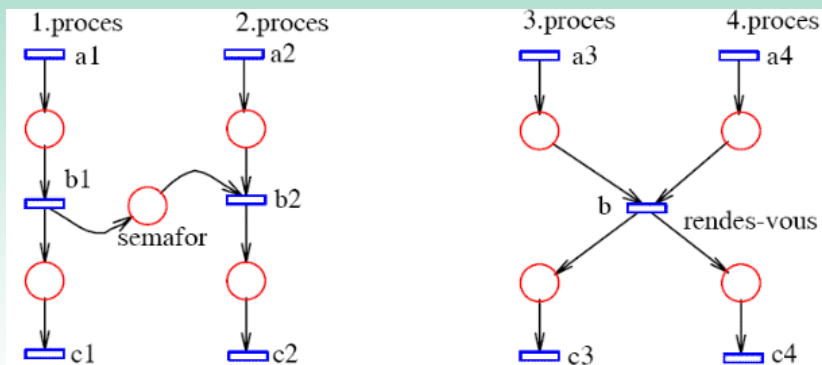
Př: Cyklický proces, který čas od času využívá nějaký zdroj



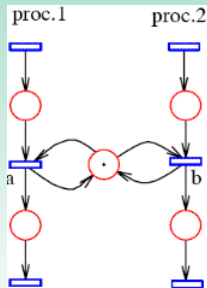
- **p1**: proces činný bez potřeby zdroje
- **p2**: proces čeká na přidělení zdroje
- **p3**: proces využívá zdroj
- **p4**: zdroj není využíván
- **t1**: vznik požadavku na zdroj
- **t2**: počátek využívání zdroje
- **t3**: ukončení využívání zdroje



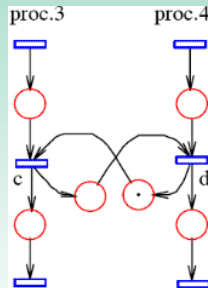
Synchronizace paralelních procesů



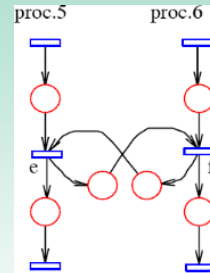
Synchronizace paralelních procesů



Kritická sekce



Střídání událostí

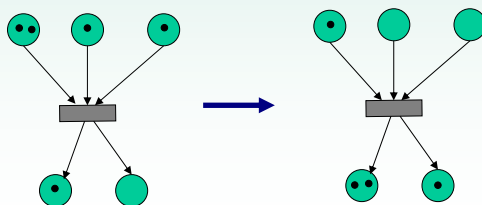


Triviální deadlock

7

Pravidla pro uskutečnění přechodu

- Přítomnost značky v místě indikuje, že daný aspekt stavu je momentálně aktuální, resp. podmínka je splněna.
- Každý přechod má vstupní a výstupní místa – tím je určeno, které aspekty podmiňují výskyt události a jaké skutečnosti jsou výskytem této události ovlivněny.
- Označme $z(p)$ počet značek v místě p .
- Přechod může být uskutečněn, jsou-li splněny všechny vstupní podmínky, tj. $z(p_i) > 0$ pro všechna vstupní místa p_i daného přechodu.
- Uskutečnění přechodu:
u všech vstupních míst uберeme jednu značku ($z'(p_i) = z(p_i) - 1$)
a u všech výstupních míst přidáme jednu značku ($z'(p_j) = z(p_j) + 1$)



8

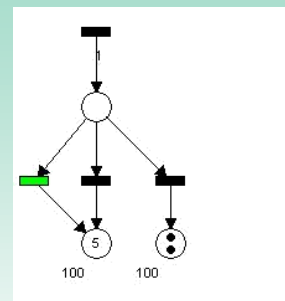
Ohodnocení hran a přechodů

- Místo p je určeno kapacitou $c(p)$ maximálního počtu značek. Přechod může být uskutečněn jen pokud (současně se splněním vstupních podmínek) není překročena kapacita výstupních podmínek.
- Počty odebíraných (umístěných) značek jsou specifikovány váhou hran. Přechod je uskutečněn jen pokud jsou vstupní hrany nasyceny, tj. pokud není počet značek ve vstupních místech daného přechodu menší než váhy příslušných hran.

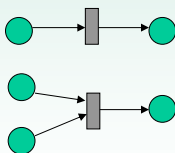


Konfliktní přechody

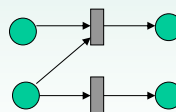
- Dva současně proveditelné přechody jsou konfliktní, když provedení jednoho způsobí, že druhý přestane být proveditelný.
- Konfliktní přechody modelují soupeření o zdroje a vzájemnou vylučnost dvou událostí.
- Nezávislé přechody modelují asynchronnost a paralelismus.



Nezávislé přechody



Konfliktní přechody



Definice PT sítí

- PT síť je uspořádaná pětice $PN=(P, T, I, I^+, z_0)$
 - $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ je konečná neprázdná množina míst
 - $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ je konečná neprázdná množina přechodů
 - množiny P, T jsou disjunktní
 - I, I^+ jsou incidenční funkce $P \times T \rightarrow \mathbb{N}_0$
 - $z^0 : P \rightarrow \mathbb{N}_0$ je počáteční ohodnocení $z^0 = (z^0(p_1), z^0(p_2), \dots)$
- Pokud je $I^-(p, t) > 0$, vede orientovaná hrana z místa p do přechodu t . Počet odebraných žetonů v místě p uskutečněním přechodu t je roven $I^-(p, t)$.
- Pokud je $I^+(p, t) > 0$, vede orientovaná hrana z přechodu t do místa p . Počet přidanych žetonů v místě p uskutečněním přechodu t je roven $I^+(p, t)$.
- Označme aktuální ohodnocení celé sítě vektorem $z^{(i)} = (z^{(i)}(p_1), z^{(i)}(p_2), \dots)$
- Přechod t nazýváme **aktivní** (uskutečnitelný) v daném ohodnocení $z^{(i)}$, jestliže

$$\forall p \in P; z^{(i)}(p) \geq I^-(p, t)$$
- Ohodnocení $z^{(j)}$ nazýváme dosažitelné z ohodnocení $z^{(i)}$, jestliže existuje posloupnost uskutečněných přechodů, které převádí $z^{(i)}$ do $z^{(j)}$. (ozn. $z^{(i)} \rightarrow z^{(j)}$)

11

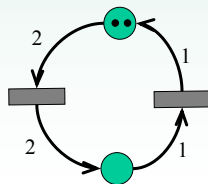
Struktura a vlastnosti Petriho sítí

- Petriho síť nazýváme **bezpečnou**, jestliže pro každé její ohodnocení platí: $z(p) \leq 1$.
- Petriho síť nazveme **ohraničenou**, jestliže $\exists k \in \mathbb{N}_0; \forall z, p; z(p) \leq k$
- Petriho síť nazýváme **konzervativní**, jestliže pro každý její stav platí, že celkový počet značek je konstantní.

$$\forall i; \sum z^{(i)}(p_j) = k$$

- Síť nazýváme **živou**, jestliže jsou živé všechny její přechody, tj., jestliže ke každému ohodnocení z existuje dosažitelné ohodnocení z' , $z \rightarrow z'$, které aktivuje daný přechod.

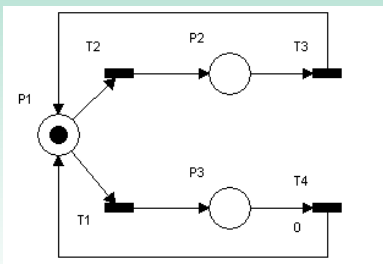
$$\forall z \exists z'; z \rightarrow z'$$



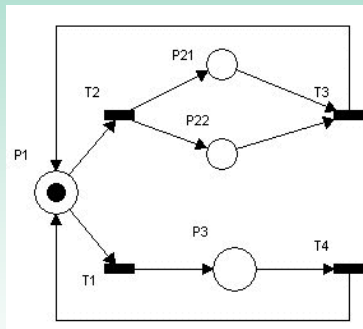
ohraničená, konzervativní síť

12

Konzervativnost sítě



Striktně konzervativní



Konzervativní vzhledem k váhovému vektoru (2, 1, 1, 2).

13

Příklad $z_0 = (3, 0, 5, 4, 0)$, $I^-(p_3, t_3) = I^+(p_3, t_4) = 5$

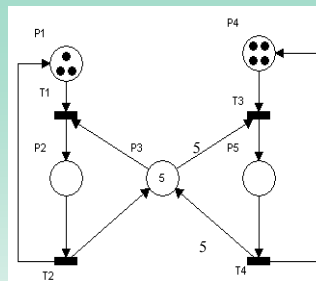
$$C^- = \begin{matrix} & \begin{matrix} T1 & T2 & T3 & T4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}, C^+ = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -5 & 5 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

- Po uskutečnění přechodu T1 přejde počáteční ohodnocení z_0 do stavu

$$z' = z_0 + C \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 4 \\ 4 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- Po odpálení posloupnosti T1, T1, T1, T2 je výsledné ohodnocení

$$z^{(4)} = z_0 + C \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 0 \end{pmatrix}$$



14

Matrice incidence

- Nechť má PN n míst $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ a m přechodů $T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$. Zpětná incidenční matice C^- typu $n \times m$ je definována

$$c_{ij}^- = I^-(p_i, t_j), \forall p_i \in P, t_j \in T$$

- analogicky dopředná incidenční matice C^+

$$c_{ij}^+ = I^+(p_i, t_j), \forall p_i \in P, t_j \in T$$

- Incidenční matice $C = C^+ - C^-$
- Přechod t_i je v daném ohodnocení $z=(z_1, z_2, \dots, z_n)$ aktivní, jestliže $\forall z_j; z_j \geq c_{ji}^-$
- Uskutečněním přechodu t_i přejde ohodnocení z v ohodnocení z' $z' = z + Ce_i$;
- Předpokládejme posloupnost odpálených přechodů t_{i_1}, t_{i_2}, \dots , výpočet dosaženého stavu $z^{(k)}$ je dán dosazením do předcházejícího vzorce

$$z^{(k)} = z + C \sum_{j=1}^k e_{ij}; \quad \sum_{j=1}^k e_{ij} = \Xi \text{ Parikvobraz posloupnosti přechodů}$$

- Nutná podmínka dosažitelnosti: Je-li z' značení dosažitelné ze značení z_0 , potom existuje řešení Ξ rovnice

$$z' = z_0 + C\Xi$$

15

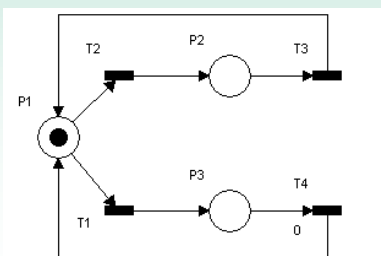
P-invarianty

Nechť C je matice incidence Petriho sítě. Nenulový vektor $i_P \in \mathbb{N}^n$ se nazývá *P-invariant* Petriho sítě, jestliže je řešením homogenní soustavy lineárních rovnic

$$C^T i_P = 0$$

Petriho síť má konzervativní komponentu právě tehdy, existuje-li nenulový P-invariant.

Př: striktně konzervativní síť



$$C = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$i_P = \{k \cdot (1, 1, 1); k \in \mathbb{N}\}$$

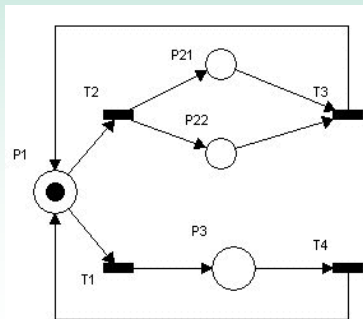
17

P-invarianty konzervativní komponenty

$$C = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$C^T i_P = o$$

$$i_P = \{(u, u-v, v, u); u, v \in N, u > v\}$$

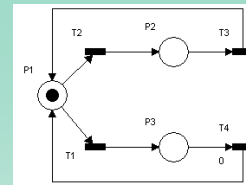


Výhodnější zápis získáme pomocí báзовých vektorů prostoru řešení. Volíme-li např. $u=1, v=0$ dostáváme $i_{P1}=(1,1,0,1)$, podobně volbou $u=2, v=1$ dostáváme $i_{P2}=(2,1,1,2)$, což jsou nejmenší váhové vektory pro konzervativnost sítě.

$$i_P = \{k(1,1,0,1) + l(2,1,1,2); k, l \in N\}$$

18

T-invarianty



Petriho síť nazveme **reverzibilní**, pokud ke každému dosažitelnému značení existuje posloupnost odpálených přechodů, ve které je počáteční značení aktivní

Nechť C je matice incidence Petriho sítě. Nenulový vektor $i_T \in N^n$ se nazývá **T-invariant** Petriho sítě, jestliže je řešením homogenní soustavy lineárních rovnic

$$C i_T = o$$

Pokud je Petriho síť je reverzibilní, pak má nenulový invariant. .

T-invariant je **Parikův obraz** posloupnosti, která přechody reprodukuje, tj. udává kolikrát je třeba provést každý přechod, abychom se vrátili k původnímu značení

19

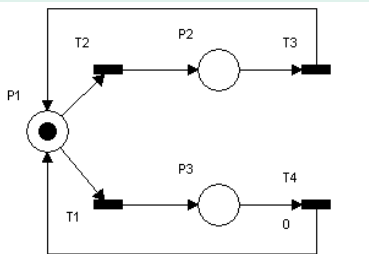
T-invarianty

Př. Reverzibilní sítě

$$C = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$Ci_T = o$$

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$



$$i_T = \{k \cdot (1, 0, 0, 1) + l \cdot (0, 1, 1, 0); k, l \in \mathbb{N}\}$$

20

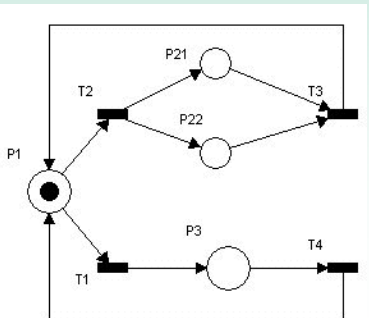
T-invarianty

Př. Reverzibilní sítě

$$C = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$Ci_T = o$$

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

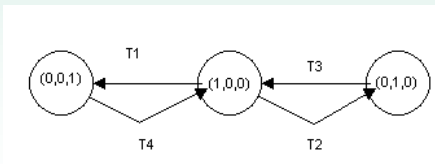
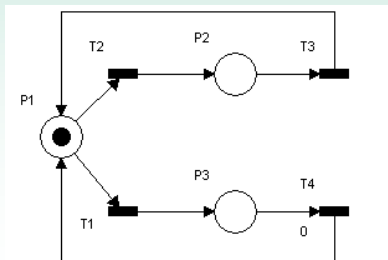


$$i_T = \{k \cdot (1, 0, 0, 1) + l \cdot (0, 1, 1, 0); k, l \in \mathbb{N}\}$$

21

Přechodová funkce

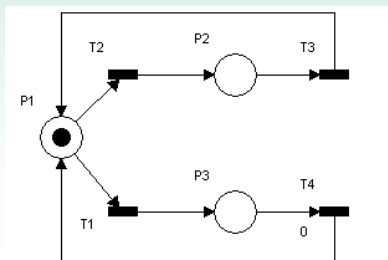
- Stavový prostor – množina dosažitelných značení
- Přechodová funkce
 - funkce definovaná na stavovém prostoru
 - určuje na základě přítomného stavu a aktivního přechodu příští stav sítě
 - zadána buď tabulkou, nebo orientovaným grafem.



22

Matice přechodu

- Stavový prostor – množina dosažitelných značení
- Matice přechodu popisuje markovský proces s diskrétním časem
 - čtvercová matice P , prvek p_{ij} určuje pravděpodobnost, že přechodu ze stavu i do stavu j .
 - určuje na základě aktuálního stavu $a(0)$ rozdělení pravděpodobnosti $a(n)$ po n odpalech



$$P = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$a(0) = (1 \ 0 \ 0)$$

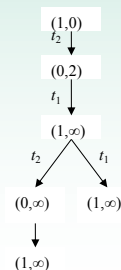
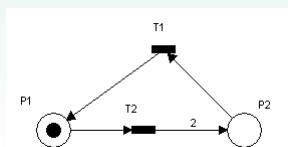
$$a(1) \cdot P = a(0)$$

23

Stavový strom (graf pokrytí)

- Abstrakce přechodové funkce Petriho sítě.
- Orientovaný kořenový strom, jehož kořenem je počáteční značení .
- Jestliže v průběhu konstrukce stromu zjistíme, že jistá složka značení neomezeně roste, pak tuto složku označíme ∞ a nový vektor reprezentuje nekonečnou množinu značení, pro které tato složka nabývá libovolné nezáporné celočíselné hodnoty.

Neomezená Petriho síť



24

Matice přechodu

- Prvky matice jsou tvořeny pravděpodobnostmi přechodu systému z jednoho stavu do druhého

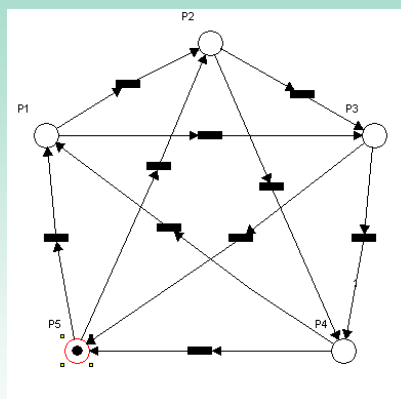
$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$a(1) = a(0)P$$

$$a(2) = a(1)P$$

\vdots

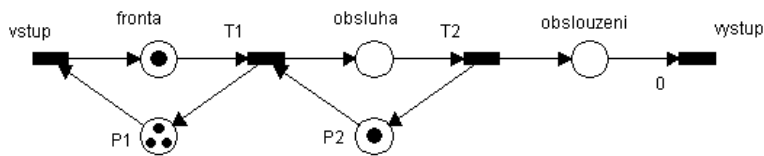
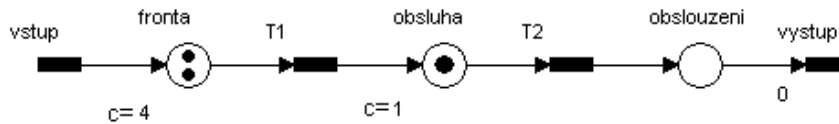
$$a(n+1) = a(n)P$$



HPSim

25

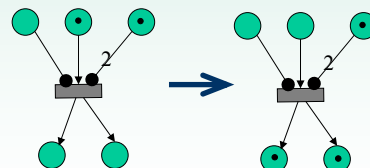
Sít' s omezenou kapacitou míst



26

Inhibitory – negativní testovací hrany

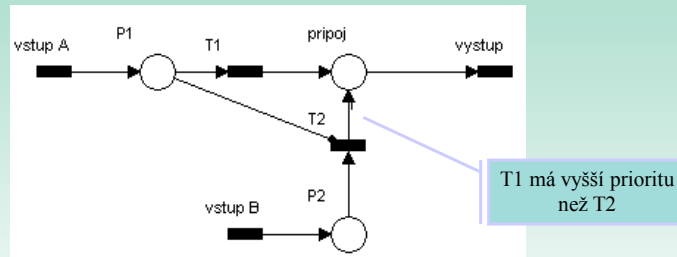
- Rozlišujeme 3 typy hran :
 - normální \longrightarrow
 - inhibitory $\longrightarrow \bullet$
 - tester \dashrightarrow
- Přechod spojený s místem inhibítozem je uskutečněn jen pokud je počet značek v místě **menší** než váha inhibitoru. Počet značek ve vstupním místě se nemění.
- PT (places-transitions) sítě s inhibitory jsou s teoretického hlediska schopny modelovat vše, co je možné vyjádřit algoritmem.
Churgova – Turingova teze: ke každému algoritmu existuje ekvivalentní Turingův stroj



27

Inhibitory, Petriho síť s prioritami

HPSim



- Petriho síť s inhibičními hranami mohou být převedeny na ekvivalentní síť s prioritami.

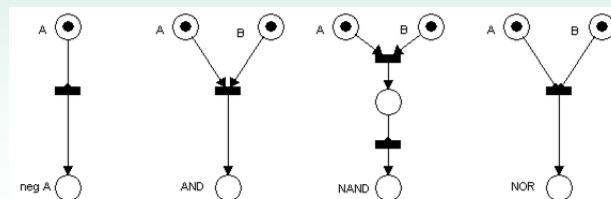
28

Booleovské operace

Př: Úplný systém logických funkcí $\{\text{neg}A, \text{AND}, \text{OR}\}, \{\text{NAND}\}, \{\text{NOR}\}$

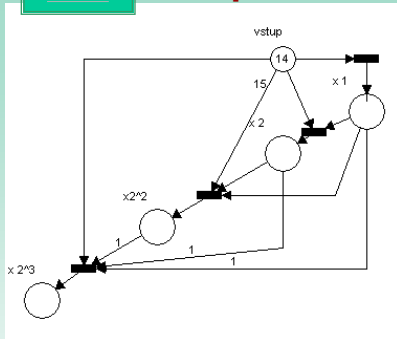
C. E. Shannon (1937) – Každý kombinační obvod lze popsat formulí Booleovy algebry

		neg.A	AND	OR	NAND	NOR
A	B	$\neg A$	$A \wedge B$	$A \vee B$	$\neg(A \wedge B)$	$\neg(A \vee B)$
0	0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	1	1	0	0



29

Př: počítání v dvojkové soustavě



Deterministický algoritmus pro převedení čísla do dvojkové soustavy

Simulation Data generated by HPSim						
Count/ Steps	Time/ ms	vstup	x 1	x 2	x2^2	x 2^3
1	0	13	1	0	0	0
2	0	12	0	1	0	0
3	0	11	1	1	0	0
4	0	10	0	0	1	0
5	0	9	1	0	1	0
6	0	8	0	1	1	0
7	0	7	1	1	1	0
8	0	6	0	0	0	1
9	0	5	1	0	0	1
10	0	4	0	1	0	1
11	0	3	1	1	0	1
12	0	2	0	0	1	1
13	0	1	1	0	1	1
14	0	0	0	1	1	1
15	0	0	0	1	1	1

30

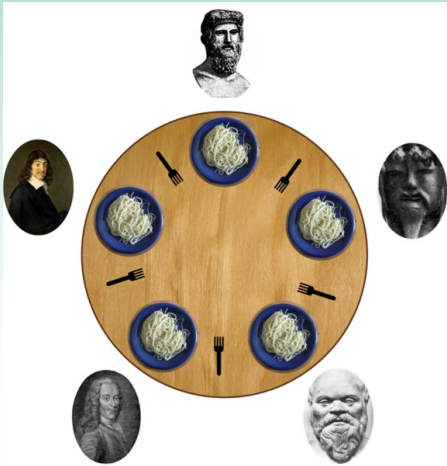
Stochastické časové Petriho sítě (Stochastic Petri Nets)

- Přechody ve SPN představují jednotlivé události(akce).
- typy přechodů:
 - Okamžité
 - se zpožděním (doba zpoždění je náhodná veličina)
- SPN = (P, T, I, I⁺, G, z₀)
 P, T,, I, I⁺, z₀...PT Petriho síť
 G exponenciální funkce přiřazené přechodům

31

Dining Philosophers

Klasický problém multiprocesorové synchronizace



Edsger W. Dijkstra (1930-2002)
5 počítačů žádá přístup k 5
sdíleným periferním zařízením
(1965)

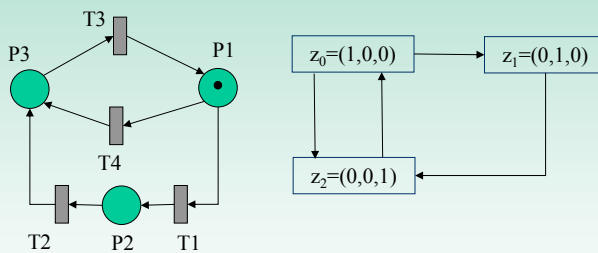
Tony Hoare (*1934)



32

Stavový graf

- Spojitý stochastický proces zdiskretizujeme – postupujeme v diskrétních krocích dt .
- Krok simulace dt zvolíme dostatečně malý (ms) tak, abychom mohli předpokládat, že za interval délky dt nastane nejvýš jedna událost.



Ze stavu z_0 mohou po jednom kroku dt nastat 3 možnosti:

- z_1 (spuštěn přechod T1)
- z_2 (spuštěn přechod T4)
- z_0 (ani pro jeden z přechodů T1, T2)

33

Markovův řetězec stochastické Petriho sítě

- Nechť jsou všechny přechody dány s exponenciálním rozdělením zpoždění. Pak stavový prostor (množina všech možných ohodnocení) z_i tvoří Markovovský řetězec se spojitým časem- CTMC.
- Infinitesimální generátor Q : Intenzita výstupu q_{ij} ze stavu z_i do stavu z_j je součtem intenzit všech přechodů, jejichž odpálením přejde stav z_i do stavu z_j .

- Analýzou Markovova řetězce můžeme vypočítat charakteristiky systému popsaného SPN. - Nechť je π stabilizovaný stav, tj

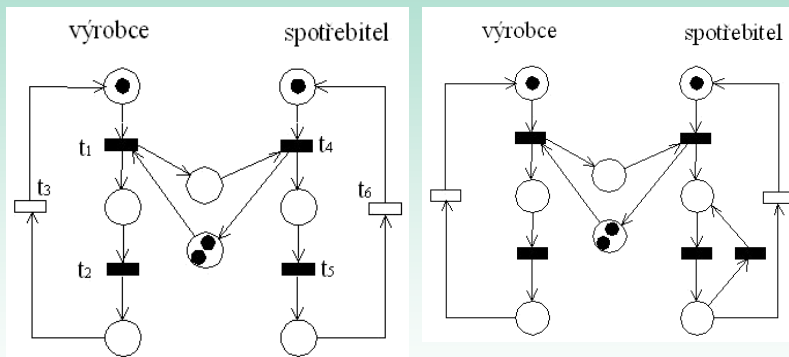
$$\pi Q = 0; \sum_j \pi_j = 1$$

Pak pravděpodobnost, že ohodnocení míst SPN je z dané podmnožiny stavů B ,

$$P[B] = \sum_{z^{(j)} \in B} \pi_j$$

34

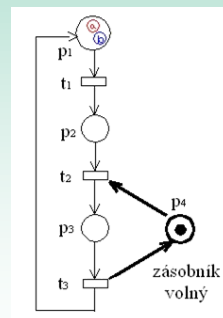
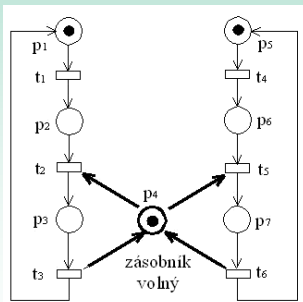
Časová past



35

Barevné Petriho sítě

- Rozlišujeme různé typy žetonů a různé módy odpalů přechodů

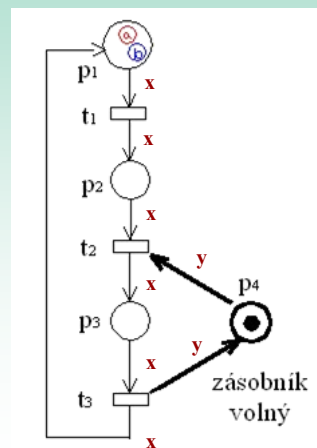


36

Barevné Petriho sítě

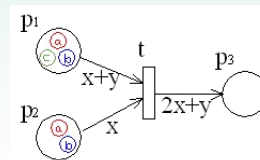
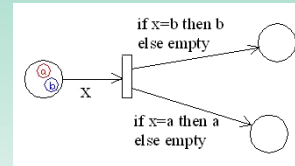
- Podmínkou efektivního zavedení barevných Petriho sítí je, aby se přechody chovaly v různých módech podobně.
- Pro popis odpalu přechodu zavedeme lokální proměnné, incidenční funkce zapisujeme k příslušným hranám

$$C_{a'} = \begin{pmatrix} -a & 0 & a \\ a & -a & 0 \\ 0 & a & -a \\ 0 & -\bullet & \bullet \end{pmatrix}; C_{b'} = \begin{pmatrix} -b & 0 & b \\ b & -b & 0 \\ 0 & b & -b \\ 0 & -\bullet & \bullet \end{pmatrix}$$



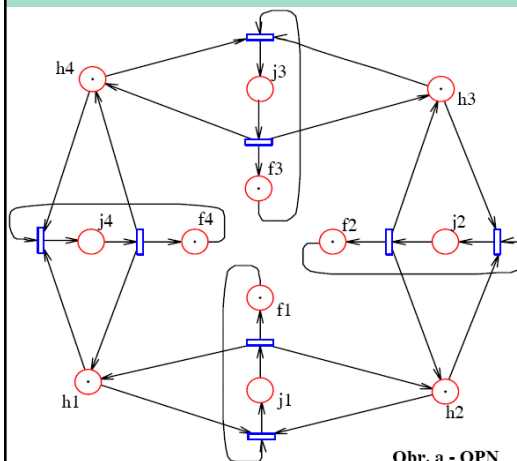
Převod barevné Petriho sítě na P/T síť

- Pro umístění různých barevných typů žetonů vytvoř zvláštní místa. Necht' např. v místě p je možný výskyt barev a, b, c . Pak z jednoho místa p vytvoříme tři místa pa, pb, pc .
- Pro každý mód odpálení přechodu vytvoř zvláštní přechod. Je-li např. možné odpálit přechod t v módu x a y , vytvoříme dva přechody tx, ty .
- Vytvoř nové incidenční funkce tak aby odpovídaly původním módům.
- Nastav počáteční ohodnocení sítě.

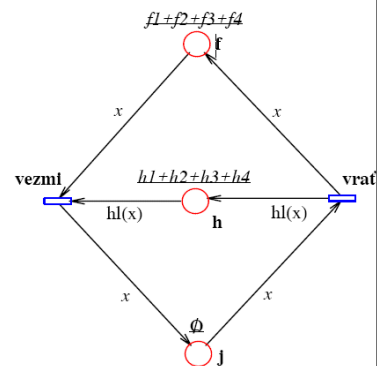


38

Dining philosophers



Obr. a - OPN

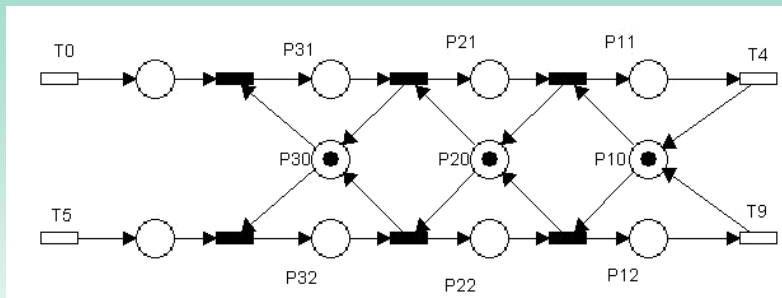


Obr. b - CPN

$$hl(f1) = h1+h2, hl(f2) = h2+h3, hl(f3) = h3+h4, hl(f4) = h4+h1$$

39

Simulace systémů hromadné obsluhy



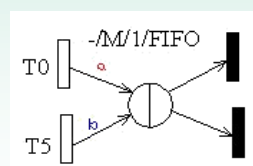
HPSim

- Simulace systému M/M/1/3 FIFO, dva typy zákazníků s různou délkou obsluhy
 - $T0$... vstup zákazníků prvního typu,
 - $T5$...vstup druhého typu.
 - Zákazníci prvního typu se řadí do horní řady $P11$, $P21$, $P31$,
zákazníci druhého typu se řadí do spodní řady $P12$, $P22$, $P32$.

40

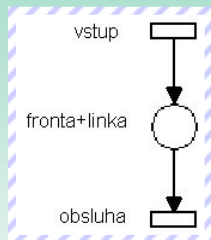
Frontové Petriho sítě

- Barevné GSPN se dvěma typy míst
 - Obyčejná místa
 - Frontová místa (fronta + zásobník obslužených zákazníků).
- Zákazníci (žetony) z fronty nemohou být použity pro odpal následujících přechodů. Nejprve musí proběhnou obsluha podle předepsaného rozdělení délky obsluhy, žeton je přemístěn z frontové části do zásobníku a teprve žetony ze zásobníku mohou být použity pro odpal výstupních přechodů dle zpětných incidenčních funkcí

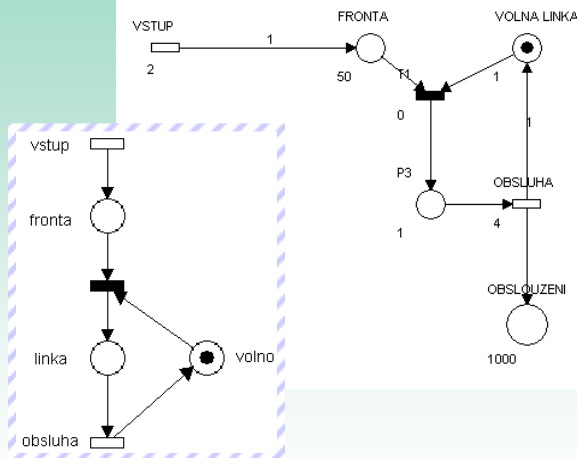


41

Modelování systému M/M/1/∞

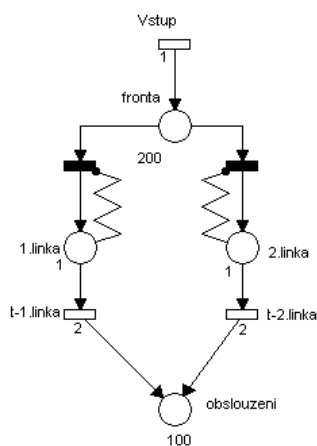


HPSim



42

Systém M/M/2/r

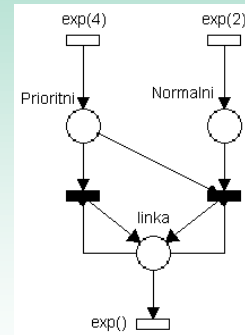
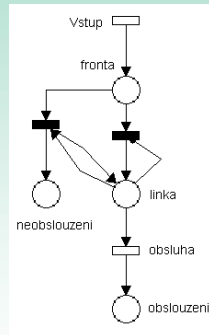


HPSim

Simulation Data generated by HPSim Mar-07-2004 16:58:18

Count/ Step	Time/ ms	fronta	1.linka	2.linka	obslouzeni
1	0	1	0	0	0
2	0	1	0	1	0
3	0	1	1	1	0
4	1	1	1	1	0
5	1	2	1	0	1
6	1	2	0	1	2
7	1	1	1	1	2
8	2	1	1	1	2
9	2	2	1	0	3
10	2	1	1	1	3
11	3	1	1	1	3
12	3	2	1	0	4
13	3	1	0	1	5
14	3	0	1	1	5
15	4	0	1	1	5
16	4	1	0	1	6
17	4	1	1	1	6
18	4	2	1	1	6
19	4	3	1	1	43
20	4	4	1	1	6

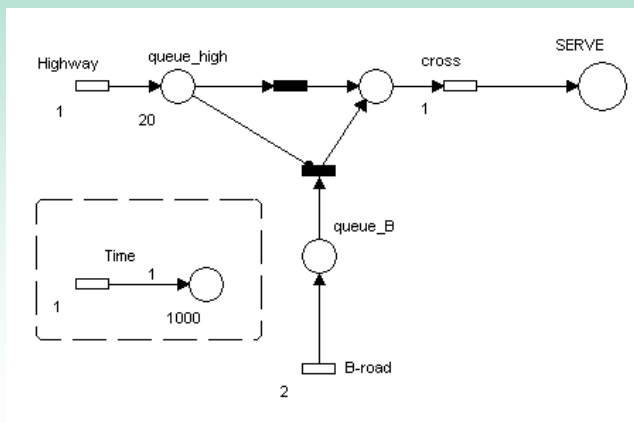
System se ztrátami, System s prioritami



44

Př: průjezd křižovatkou bez SSZ

- Př: Doplňte Petriho síť modelující připojení vedlejší silnice tak, aby byla registrována doba, kdy je překročena kapacita fronty vedlejšího směru.



HPSim

45

Modelování toku vozidel regulovaného SSZ

HPSim

- Modelujte stochastický proces průjezdu vozidel místem se SSZ. Vozidla přijíždějí k SSZ v elementárním toku, fronta je neomezená, signální plán je statický, délka červené i zelené je konstantní.

