



# Modelování a simulace 1

## 7. lekce - Algoritmizace diskrétních simulačních modelů

**Michal Janošek**

Department of Informatics and Computers

Faculty of Science

University of Ostrava

Ostrava, Czech Republic

[michal.janosek@osu.cz](mailto:michal.janosek@osu.cz)

November 6, 2017



<http://www.mfe.govt.nz/publications/rma/everyday/designations/images/process.gif>

# Algoritmizace diskrétních simulačních modelů

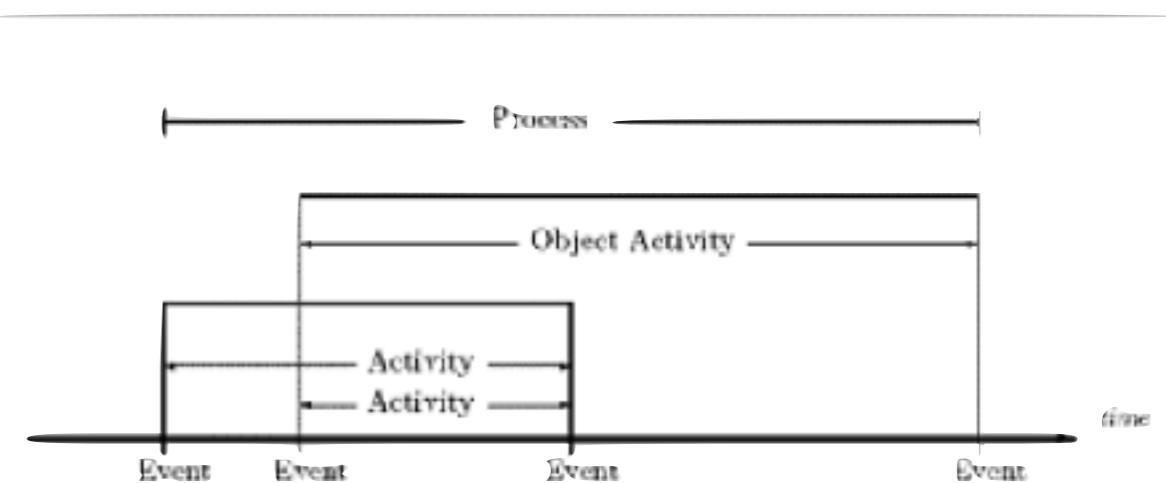
- Procesy a jejich vnější stavy
- Přechody mezi vnějšími stavy procesů
- Vnitřní stavy procesů
- Kalendáře událostí a jeho implementace
- Plánování událostí

# Diskrétní simulační modely

- všechny stavové proměnné nabývají pouze diskrétních hodnot, v průběhu času se mění skokem
- Charakteristické rysy:
  - proměnný počet prvků systému (požadavků)
  - reprezentace front pomocí spojových seznamů
  - vysoký stupeň paralelnosti výpočtu
  - velké nároky na řízení programu (kvůli paralelnosti)
  - vysoké nároky na paměť (velký počet prvků - požadavků)

# Řízení diskrétního simulačního modelu

- Event
  - změna stavu objektu
  - sekvence událostí, mezi událostmi nenastává žádná změna (rychlejší)
  - v komerčních SW se používá tzv. 3-fázový přístup (čas, nepodmíněné, podmíněné)
- Activity (typická pro spojité sim. modely)
  - stav objektu na určitém intervalu
  - čas je rozdělen do malých celků (pravidelných i nepravidelných)
- Process
  - posloupnost po sobě následujících stavů objektu
  - každé činnosti odpovídá samostatný proces
  - simulace pomocí vláken



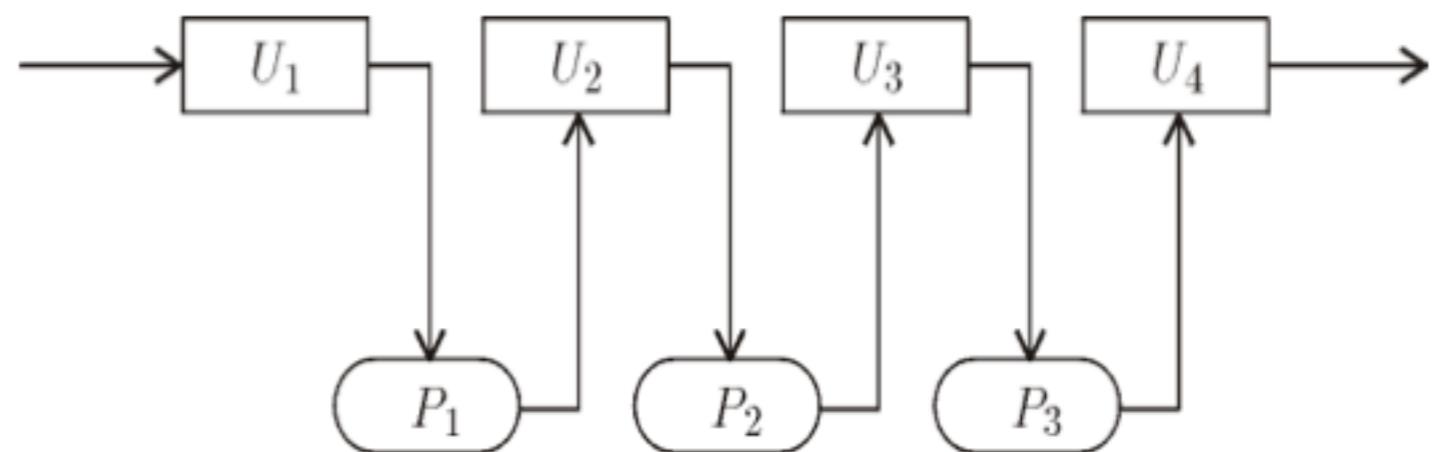
# Procesy

- diskrétní systémy v praxi
  - průmysl, společnost, komunikace
    - vícerozměrné
    - rozměr měnící se v čase
  - diskrétní simulace - konečný počet okamžiků v nichž nastávají změny veličin (události)
    - elementární a okamžité
    - nositeli událostí jsou objekty
    - každá konkrétní posloupnost událostí je výsledkem složité interakce objektů
    - události vážeme do složitejších celků - procesů



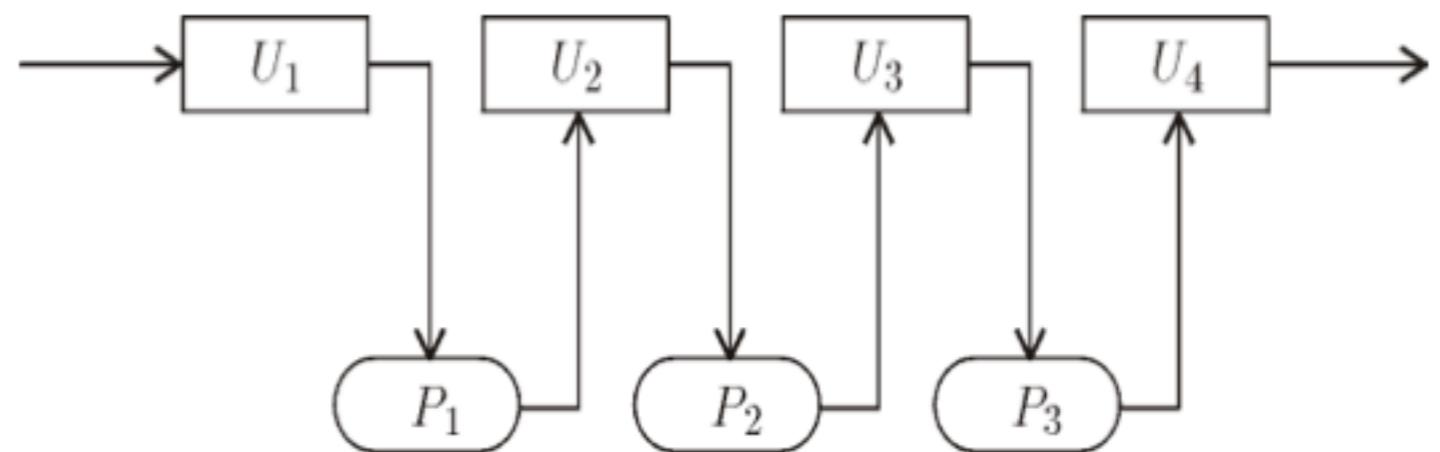
# Proces

- posloupnost logicky na sebe navazujících událostí
- neprovádí se celý najednou (v jediném časovém okamžiku)
- v určitém časovém okažiku se realizuje pouze část procesu
  - odpovídá právě **jediné** události
- části procesu (události) jsou od sebe odděleny tzv. plánovacími příkazy
  - potlačení (přestane se provádět, začne se provádět jiný)
  - aktivace (začíná od místa, kde byl naposledy přerušen)



# Proces

- je-li proces **aktivován** v jistém časovém okamžiku
  - při této hodnotě simulárního času
  - provede se jen část uvažovaného procesu
  - a to událost nacházející se za posledním realizovaným potlačením procesu (nezačíná se od začátku)
- **potlačení** procesu - obecně spojeno s předáním výpočtu jiného procesu
  - modelování simultálně probíhajících procesů pomocí sekvenčně prováděných instrukcí na jednoprocесорovém počítači



# Vnější stavy procesů

- aktivní (active)
- ukončený (terminated)
- připravený (suspendovaný/suspended)
- pasivní (passive)
- proces se vždy nachází v jednom z uvedených stavů

# Vnější stavy procesů - aktivní

- Proces je v **aktivním** stavu,
- je-li právě prováděn,
- tj. je-li právě realizován výpočet odpovídající některé jeho události.
- V aktivním stavu může být v daném okamžiku výpočtu nejvýše jeden proces.

# Vnější stavy procesů - ukončený

- Proces se nachází ve stavu **ukončeném**,
- je-li je ukončena jeho operační část.
- Jestliže tato operační část obsahuje příkazy skoků,
  - pak nemusí být zcela vyčerpána posloupnost událostí,
  - z nichž se uvažovaný proces skládá.
- Takový proces již nemůže být ani
  - aktivován,
  - ani naplánován k provádění.

# Vnější stavy procesů - připravený

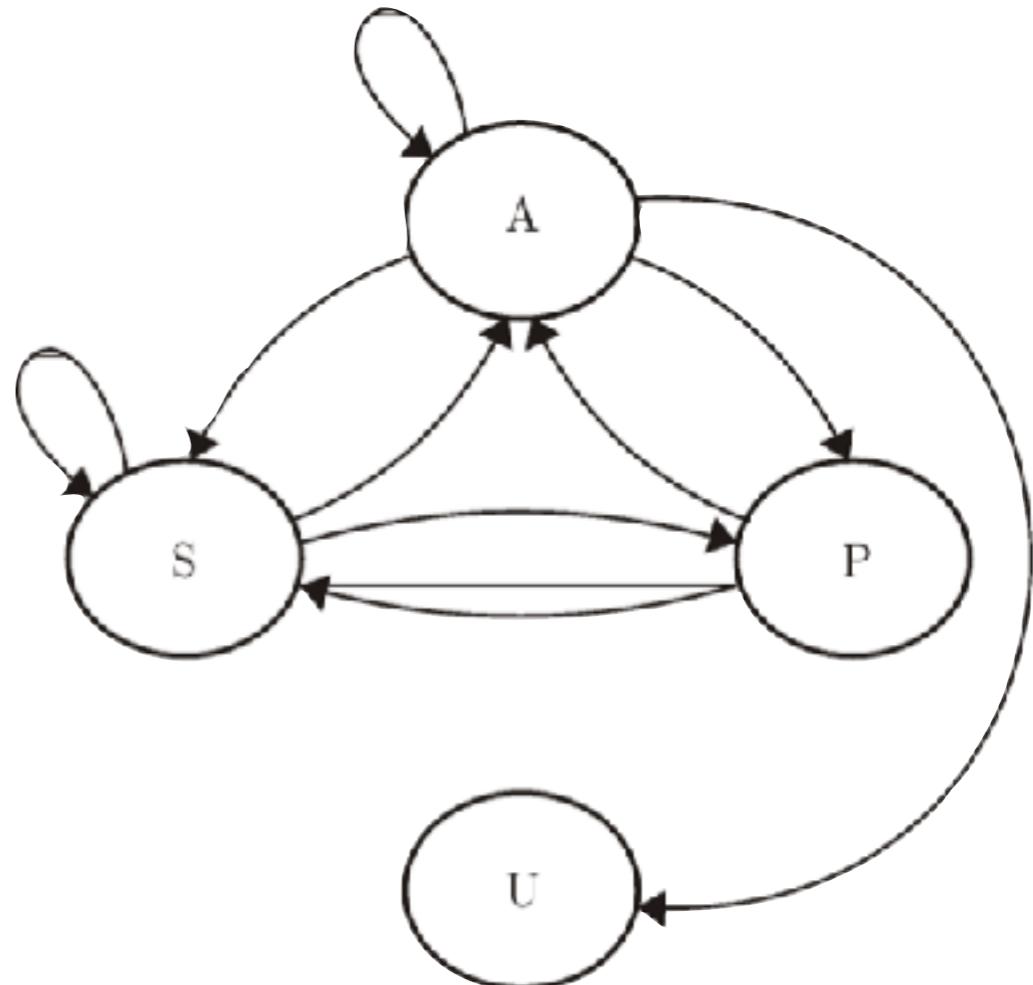
- Proces v **suspendovaném** stavu
  - není sice aktivní,
  - ale je naplánován k provádění v nějakém konkrétním okamžiku simulárního času.
- Pokud nebude jeho naplánování zrušeno jinými procesy
- nebo simulační pokus neskončí,
- dojde k jeho vyvolání.

# Vnější stavy procesů - pasivní

- V **pasivním** stavu je takový proces,
  - který není ukončen,
  - ale není také momentálně naplánován k provedení.
- K jeho vyvolání může dojít tehdy,
- bude-li naplánován prostřednictvím nějakého jiného procesu.

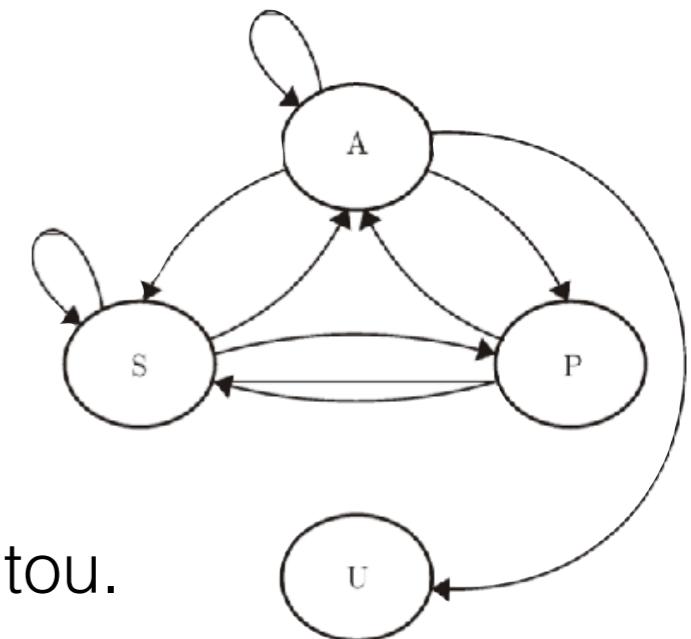
# Přechody mezi vnějšími stavy procesů

- A - aktivní
- S - suspednovaný
- P - pasivní
- U - ukončený



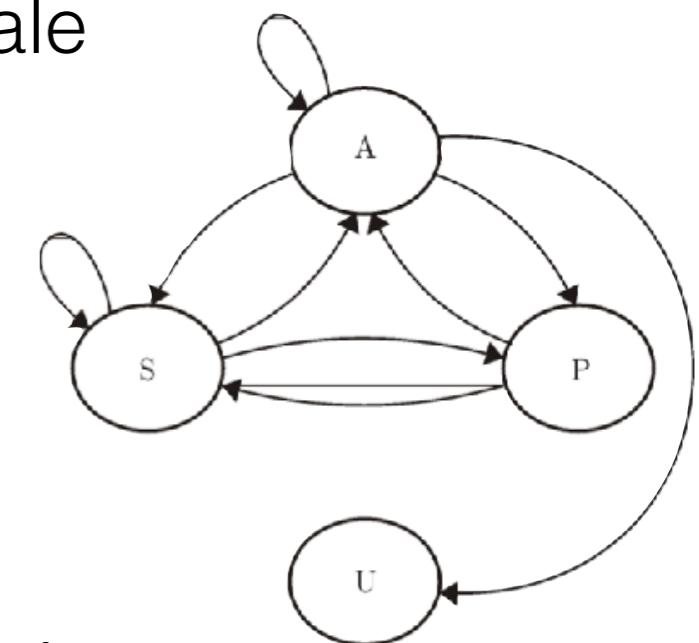
## Změna stavu: aktivní → suspendovaný

- K této změně dochází tehdy,
- je- li potlačeno provádění právě aktivního procesu
- a pokračování tohoto procesu je naplánováno až po uplynutí jisté doby.
- Jiný proces je naplánován k provedení
  - v simulárním čase menším,
  - než je čas pokračování dosud aktivního procesu,
  - nebo ve stejném simulárním čase, ale s vyšší prioritou.
- Aktivní proces přímo vyvolá provádění procesu jiného.



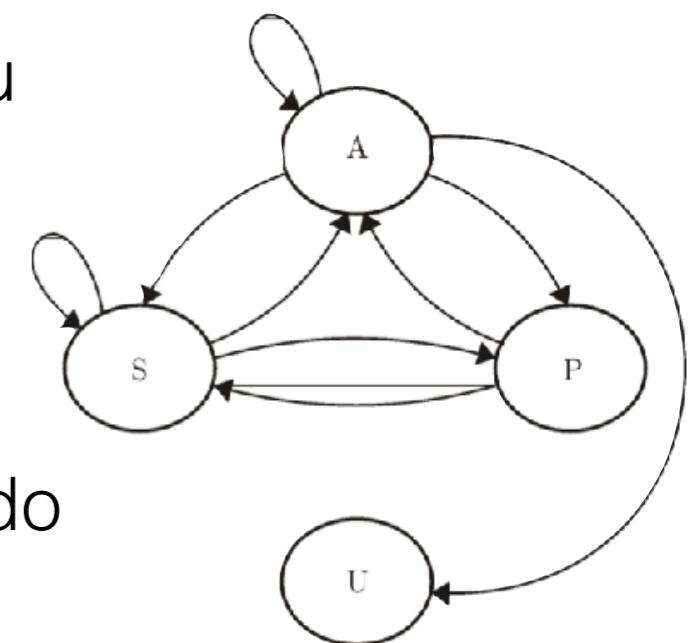
## Změna stavu: aktivní → aktivní

- Žádný jiný proces není naplánován
  - s hodnotou simulárního času menší, než je hodnota, při níž má právě aktívny proces pokračovat,
  - nebo se stejnou hodnotou simulárního času, ale vyšší priorotou než právě aktívny proces.
- Pak dojde pouze
  - ke změně hodnoty simulárního času a
  - dosud aktívny proces zůstává v aktívnm stavu i nadále.



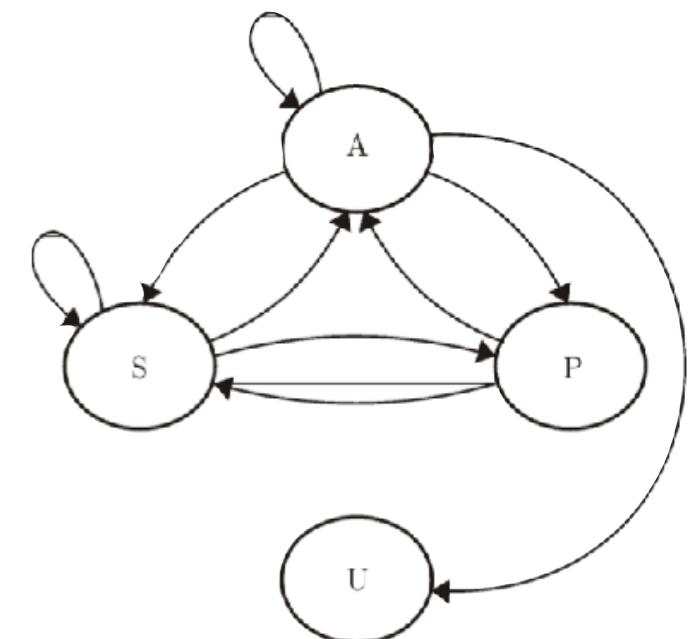
## Změna stavu: aktivní → pasivní

- Potlačení právě aktivního procesu, přičemž
  - jeho pokračování není ještě explicitně naplánováno.
- Dosud aktivní proces setrvává v pasivním stavu,
  - dokud jej nějaký jiný proces nepřevede do stavu suspendovaného nebo přímo aktivního.
- Podobně jako v předcházejících případech se
  - po potlačení dosud aktivního procesu převede do aktivního stavu ten proces,
  - jenž je naplánován k provedení nejdříve.



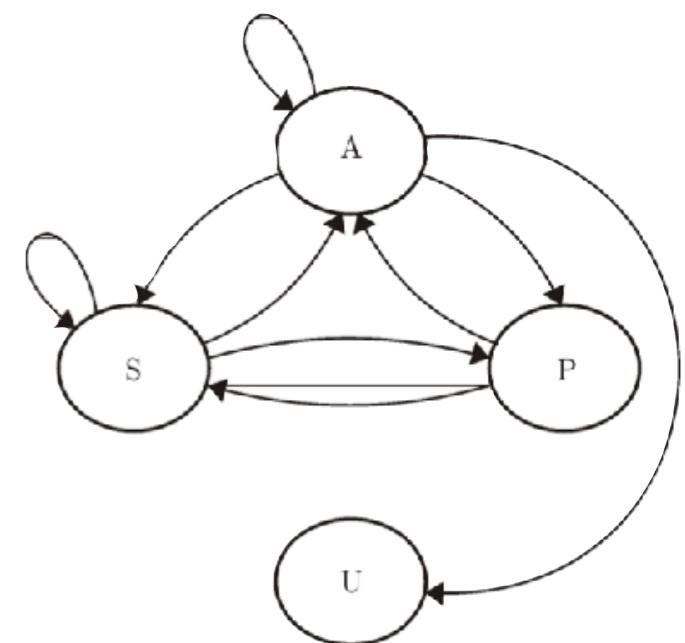
## Změna stavu: aktivní → ukončený

- Vyčerpání operační části uvažovaného procesu.
- Ukončí se provádění tohoto procesu a
  - řízení výpočtu se předá procesu, který je naplánován k provedení nejdříve.
- Při ukončení operační části nějakého význačného procesu
  - může dojít k ukončení celého simulačního experimentu.



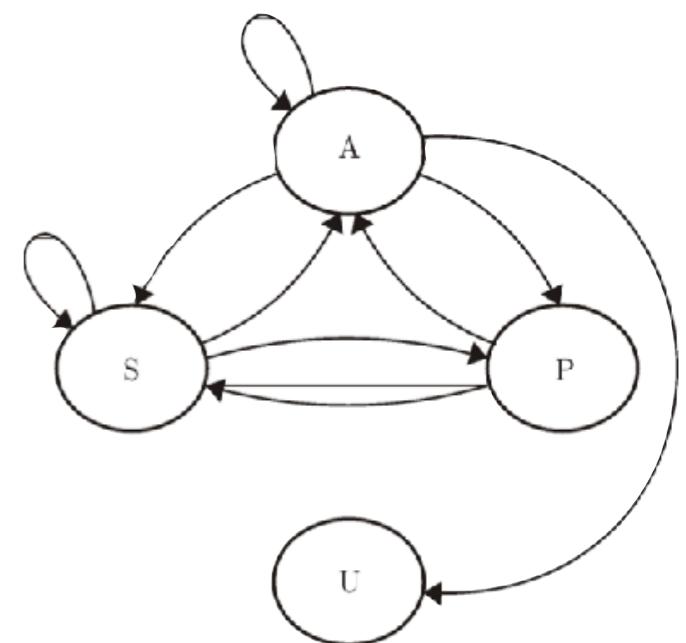
## Změna stavu: suspendovaný → aktivní

- nepřímo
  - při potlačení jiného procesu, který byl dosud aktivní;
- přímo
  - zrušíme existující naplánování nějakého procesu a
  - naplánujeme jej znova s časem rovným momentální hodnotě simulárního času.
  - Přitom nově aktivní proces se provádí při stejné hodnotě simulárního času jako dosud aktivní proces.
  - Dosud aktivní proces je až druhý v pořadí, právě za nově aktivovaným procesem.



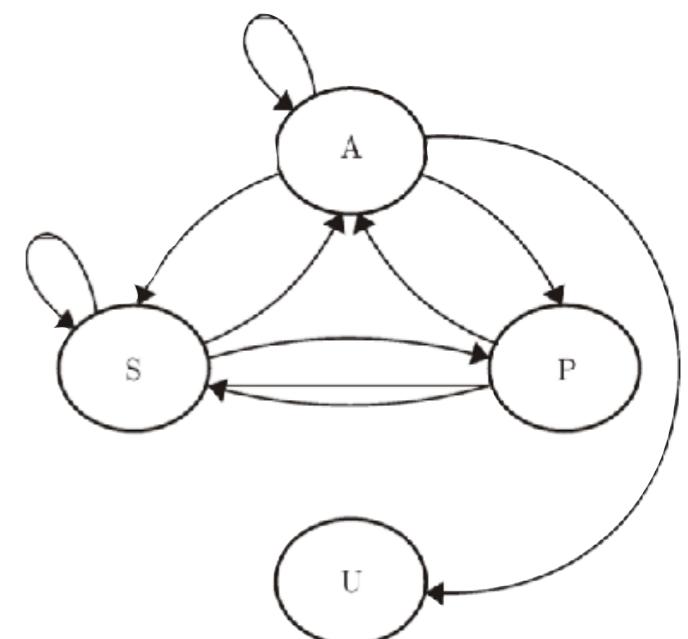
Změna stavu:  
suspendovaný → pasivní

- K této změně dojde jednoduše
  - při zrušení již existujícího plánu uvažovaného procesu.



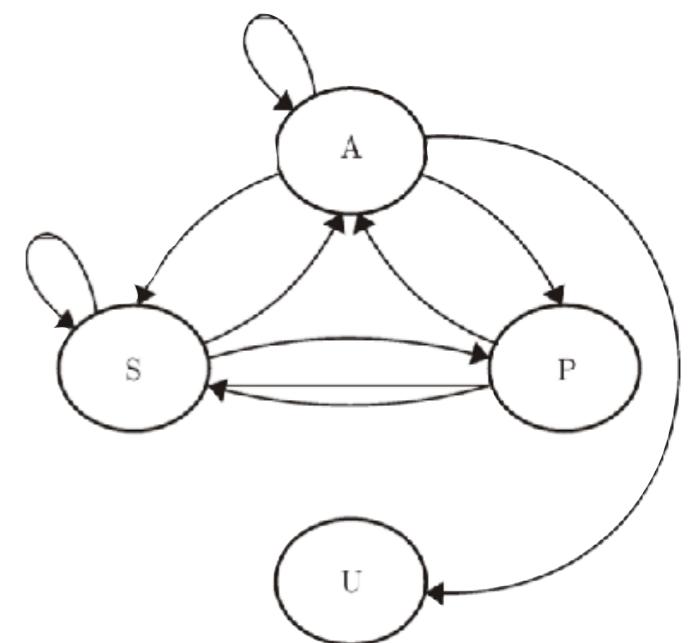
## Změna stavu: suspendovaný → suspendovaný

- Proces zůstává i nadále v suspendovaném stavu.
- Změní se pouze hodnota simulárního času,
  - v němž je naplánována aktivace uvažovaného procesu.



## Změna stavu: pasivní → suspendovaný

- Tato změna nastane,
  - když naplánujeme budoucí aktivaci momentálně nenaplánovaného procesu.



# Vnitřní stavy procesů

- zmíněný složitý systém řízení simulačních výpočtů
  - potlačování aktivních procesů
  - aktivace procesů
  - zjednoduší jiné části simulačního programu
- To se týká zejména vnitřních stavů procesů.
- **Reaktivací bod** (jedna z charakteristik):
  - místo v operační části procesu,
  - v němž je výpočet uvažovaného exempláře procesu přerušen a
  - od něhož bude výpočet pokračovat při následující aktivaci tohoto exempláře.

# Kalendář událostí



- simulační kalendář (např. v jazyku SIMULA sequencing set)
- řídicí struktura simulačního programu, která zahrnuje
  - především programové prostředky pro plánování událostí.
- Posloupnost událostí v simulačním modelu není přirozeně dána předem.
  - Základním úkolem simulačního programu tuto posloupnost vytvářet a průběžně aktualizovat.
  - Kalendář událostí musí plnění tohoto úkolu zajišťovat.
- Simulační jazyky již obsahují prostředky pro plánování událostí.

# Kalendář událostí - funkce

- zajišťuje časové plánování událostí
1. zjistit, zda je daná událost (elementární část nějakého procesu) naplánována či nikoliv, a v případě, že naplánována skutečně je, zjistit hodnotu jejího aktivačního času;
  2. vybrat proces s minimální hodnotou aktivačního času a pokud je takových procesů se stejnou hodnotou aktivačního času více, vybrat ten, který má nejvyšší prioritu;
  3. naplánovat momentálně nenaplánovanou událost (proces);
  4. zrušit plán momentálně naplánované události (procesu).

# Kalendář událostí - implementace

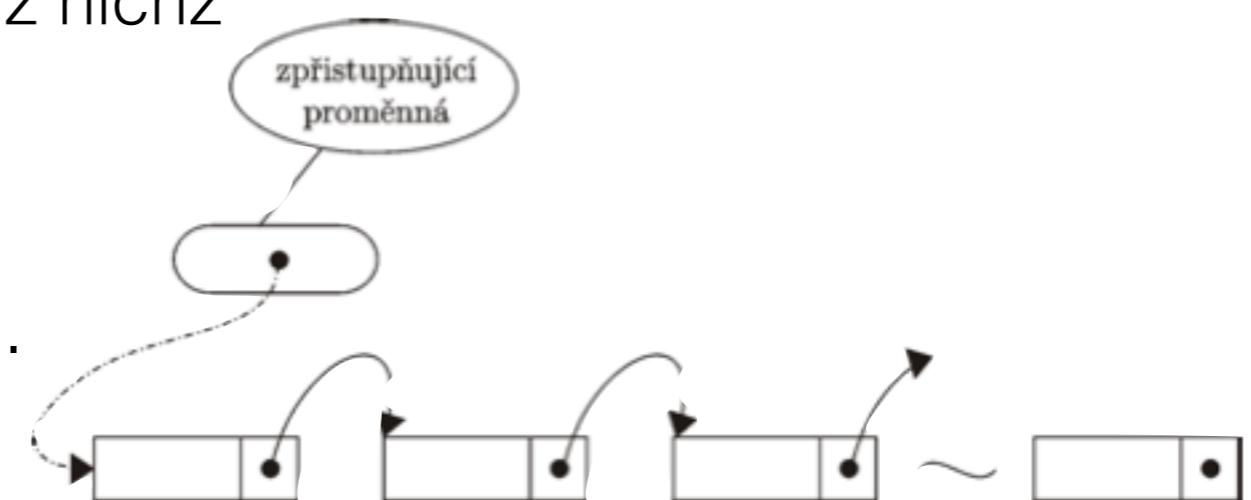
- řada implementací datové struktury
  - charakter řešení simulační úlohy
- implementace se liší
  - výpočetní složitostí
  - efektivitou provádění základních funkcí

# Kalendář událostí - implementace

- Požadavkům na kalendář událostí vyhovuje libovolná struktura, která dovoluje:
- lineární uspořádání množiny právě všech událostí simulačního programu podle jejich
  - aktivačních časů a
  - stanovených priorit (existuje-li více událostí se stejným aktivačním časem),
- prohledávání této množiny podle
  - číselného klíče (aktivačního času události)
  - s přihlédnutím ke stanoveným prioritám.
- Kalendář událostí je v podstatě uspořádaný seznam, jehož prvky obsahují informace o
  - aktivačním čase dané události a
  - její příslušnosti nějakému procesu.

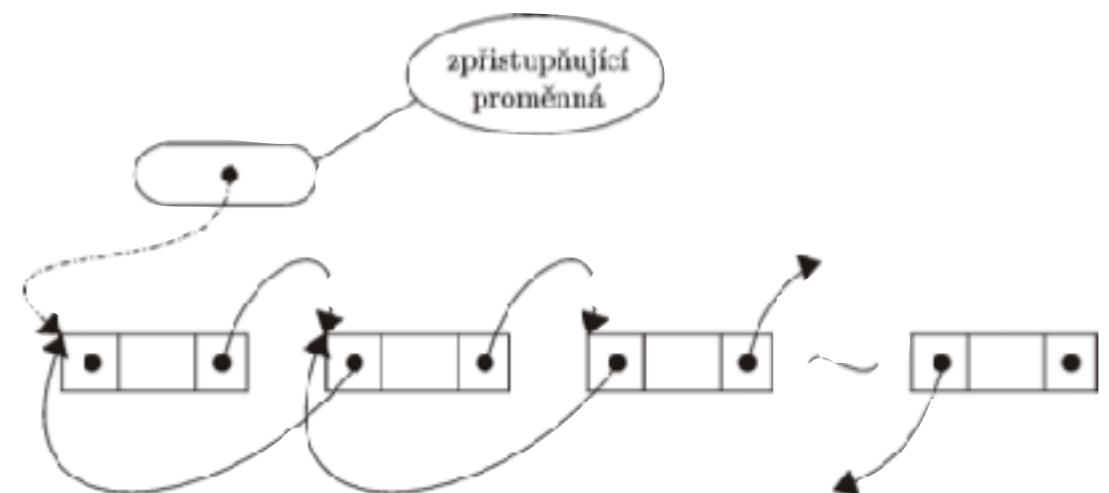
# Kalendář událostí - jednosměrný spojový seznam

- zpravidla zpřístupněny jedinou referenční proměnnou, která ukazuje na první prvek seznamu.
- Každý prvek pak odkazuje na svého následníka.
- Vhodné ke konstrukci zásobníku pracujícího v režimu LIFO.
- Pro modelování fronty pracující v režimu FIFO lze také použít jednosměrného spojového seznamu, ovšem zpřístupněného
  - dvěma referenčními proměnnými, z nichž
  - jedna ukazuje na první a
  - druhá na poslední prvek seznamu.



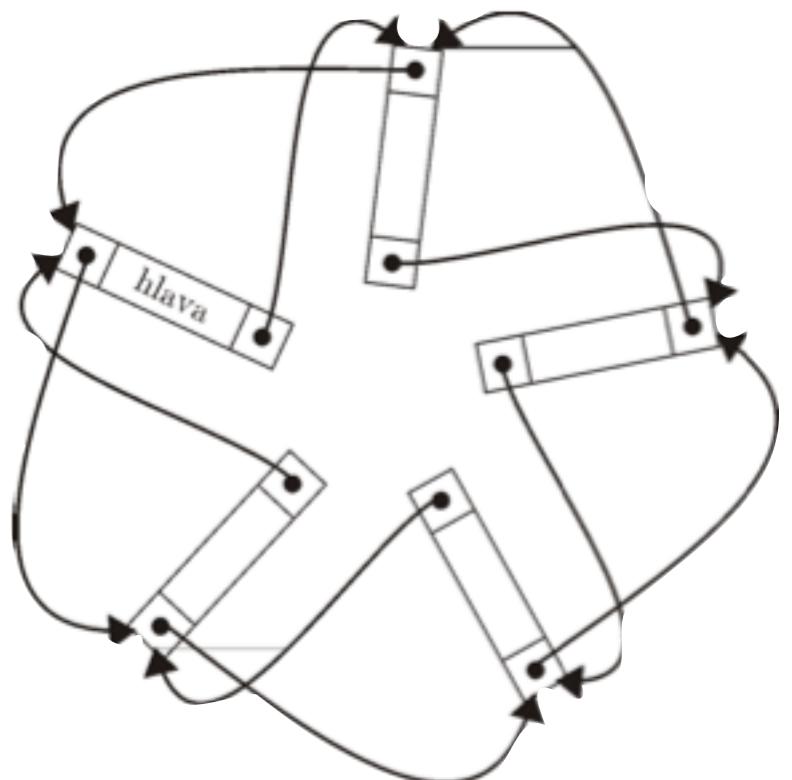
# Kalendář událostí - dvousměrný spojový seznam

- Potřeba zařazovat prvky doprostřed seznamu (nejen na jeho začátek nebo konec) nebo vyřazovat prvky z prostředka seznamu,
- Jednosměrné spojové seznamy značně neefektivní, protože je třeba seznam pracně prohledávat.
- V takovém případě se doporučuje pracovat s dvousměrným spojovým seznamem.
- Takové seznamy mohou být zpřístupněny
  - jednou či dvěma referenčními proměnnými.
- Každý prvek seznamu (s výjimkou prvního a posledního) odkazuje nejen na
  - svého následníka, ale také na
  - svého bezprostředního předchůdce.



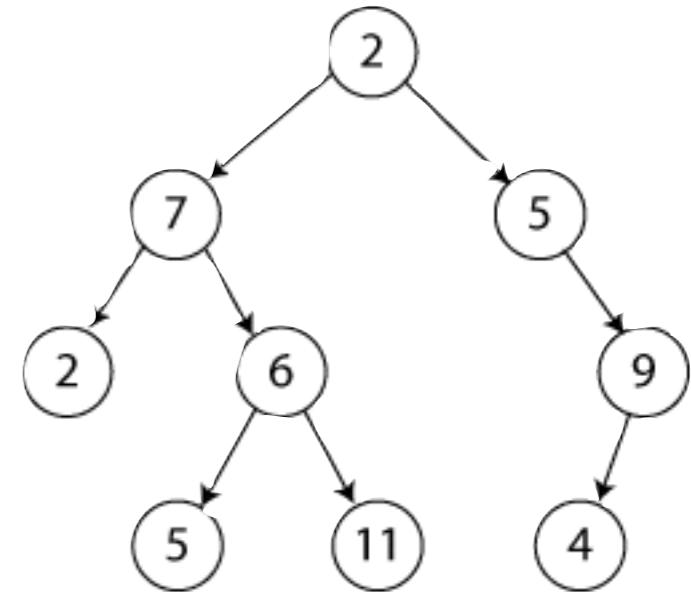
# Kalendář událostí - kruhový spojový seznam

- Problémy spojené se
  - zařazováním prvního prvku, resp. s
  - vypouštěním posledního prvku, se
- elegantně vyřeší tím, že se do seznamu
  - vloží speciální prvek, který se mezi prvky seznamu nepočítá a
  - který se nikdy nevyřazuje.
- Takový prvek se nazývá hlava seznamu (head).
- Následníkem tohoto speciálního prvku je
  - první prvek seznamu, jeho
  - předchůdcem prvek poslední.



# Hierarchický kalendář událostí

- vždy hledáme událost, která má být aktivována jako první
- nepotřebujeme znát, která bude druhá, třetí atd.
- **hierarchický** kalendář událostí
  - rozklad množiny všech událostí simulačního programu do neprázdných disjunktních podmnožin
  - třízení událostí dle prototypu události, struktury simulačního modelu
  - např. pro různé části simulačního modelu vytvoříme samostatné kalendáře
- výhoda: menší rozsah, efektivnější práce
- v každém kroku výpočtu porovnáváme jen hodnoty aktivačních časů prvních položek těchto kalendářů
- reprezentace: binární strom



# Plánování událostí

- plánování je vázáno na splnění nějaké podmínky
  - dosažení hodnoty simulárního času
  - dosažení určitého stavu modelovaného systému
  - určité konfigurace plánů jednotlivých událostí
- **časové plánování** (dosažení hodnot sim. času)
- **podmínkové plánování** (splnění podmínek stavu, konfigurace)

# Kalendář událostí - další funkce pro podmínkové plánování

1. určit, zda je daná událost naplánována či nikoliv a jakým způsobem je naplánována (časově nebo splněním nějaké jiné podmínky), a v případě, že je skutečně naplánována, specifikovat její aktivační čas, resp. tuto jinou podmínu;
2. vybrat takovou událost z podmínkově plánovaných událostí, jejíž podmínka je splněna (taková událost nemusí existovat);
3. vybrat takovou událost z časově plánovaných událostí, jejíž časový plán aktivace je minimální; existuje-li takových událostí více, vybrat tu s nejvyšší prioritou;
4. naplánovat momentálně nenaplánovanou událost a určit konkrétní čas její realizace, resp. podmínu její realizace;
5. zrušit plán momentálně naplánované události.

# Komponenty diskrétní simulace

- Stav (proměnné systému)
- Hodiny (simulační čas)
- Seznam událostí (kalendář událostí)
- Generátor pseudonáhodných čísel
- Statistika (záznam průběhu experimentu)
- Ukončovací podmínky (čas, události, hodnota proměnné)

# Použité obrázky

- <http://www.mfe.govt.nz/publications/rma/everyday/designations/images/process.gif>
- <http://www.shortcal.com/calendar.png>
- [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Binary tree \(oriented digraph\).png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Binary_tree_(oriented_digraph).png)
- Introduction to Discrete Event Simulation, Mike Albrecht, 2010