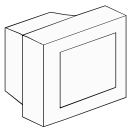
05. Meziprocesová komunikace – doplnění - zprávy, RPC

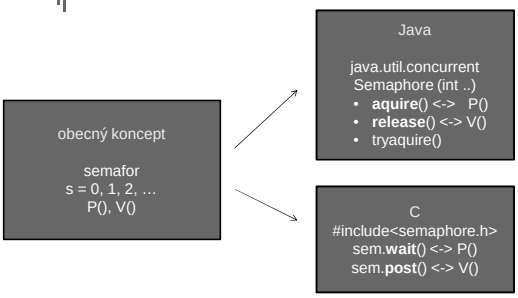
ZOS 2013

Monitory – opakování



- Kolik procesů může být najednou v monitoru?
- Kolik **aktivních** procesů může být najednou v monitoru?
- Co je to podmínková proměnná?
- Čím se liší následující sémantiky volání signal?
  - Hoare
  - Hansen
  - Java
- Musím uvnitř monitoru dávat pozor na současný přístup k proměnným monitoru?

Semafor
obecný koncept, programovací jazyk



Java semafory
(vybrané operace)

dokumentace:
http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/util/concurrent/Semaphore.html

java.util.concurrent.Semaphore

funkce	popis
public Semaphore(int permits)	Vytvoří semafor inicializovaný na hodnotu permits
acquire()	Operace P() nad semaforem
release()	Operace V() nad semaforem
tryAcquire()	Neblokující pokus o P()

C semafory
(Posixové semafory)

```
#include <semaphore.h>
sem_t s;
```

Funkce	popis
sem_init(&s, 0, **1**);	Inicializuje semafor na hodnotu **1** prostřední hodnota říká: 0 – semafor mezi vlákny 1 – semafor mezi procesy
sem_wait(&s);	Operace P() nad semaforem
sem_post(&s);	Operace V() nad semaforem
sem_destroy(&s);	Zrušení semaforu

System V semafory

- pro doplnění
- alokují se, používají, ruší podobně jako sdílená paměť
- semafor je zde pole čítačů (dle alokace)
- semget()
- semctl()
- semop()

C Mutex

funkce	popis
pthread_mutex_t m = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;	Inicializace mutextu Implicitně je odemčený
pthread_mutex_**destroy** (&m)	Zrušení mutexu
pthread_mutex_**lock** (&m)	Pokusí se zamknout mutex. Pokud je mutex již zamčený, je volající vlákno zablokováno.
pthread_mutex_**unlock** (&m)	Odemkne mutex
pthread_mutex_**trylock** (&m)	Pokusí se zamknout mutex. Pokud je mutex již zamčený, vrátí se okamžitě s kódem EBUSY

C Mutex - příklad

```
#include <pthread.h>
pthread_mutex_t  mutex = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
int x;

void inkrementuj() {
  pthread_mutex_lock (&mutex);
       x++;    /* kritická sekce */
  pthread_mutex_unlock (&mutex);
}
```

Ukázky programů

Courseware KIV/ZOS
=> Cvičení
=> Materiály ke cvičení
=> C, Java příklady

Opakování

Kde je uložený PID?
V PCB.

- proces má PID, vlákno má TID
  - proces může mít více vláken
  - každé vlákno PC (CS:IP) – ukazuje, jaká instrukce se má vykonat („program counter“)
- hierarchie procesů
  - proces si udržuje info o rodiči PPID - getppid()
- **proces – jednotkou přidělování prostředků**
- **vlákno – jednotkou plánování**

Opakování

fork() – vytvoří duplicitní kopii aktuálního procesu

exec() – nahradí program v aktuálním procesu jiným programem

wait() – rodič může čekat na dokončení potomka

strace – jaká systémová volání proces volá (!!)

strace ls je.txt neni.txt

- bude nás zajímat program ls
- vidíme volání execve(“/bin/ls”, …)
- vidíme chybový výstup write(2, …)
- vidím stand. výstup write(1, …)

Meziprocesová komunikace

- Předávání zpráv
- Primitiva send, receive
- Mailbox, port
- RPC
- Ekvivalence semaforů, zpráv, …
- Bariéra, problém večeřících filozofů

Meziprocesová komunikace

Procesy mohou komunikovat:

- Přes sdílenou paměť
  (předpoklad: procesy na stejném uzlu)

- Zasíláním zpráv
  (na stejném uzlu i na různých uzlech)

Linux - signály

Signály představují jednu z forem meziprocesové komunikace

- signál – speciální zpráva zaslaná jádrem OS procesu
- iniciátorem signálu může být i proces
- zpráva neobsahuje jinou informaci než číslo signálu
- jsou asynchronní - mohou přijít kdykoliv, ihned jej proces obslouží (přeruší provádění kódu a začne obsluhovat signál)
- Signál je specifikován svým číslem, často se používají symbolická jména (SIGTERM, SIGKILL, …)
- Používají s v Linuxu, nejsou ve Windows v této podobě

Linux - signály

příkaz	popis
ps aux	Informace o procesech
kill -9 1234	Pošle signál č. 9 (KILL) procesu s PID číslem 1234
man kill	Nápověda k signálům
man 7 signal	Nápověda k signálům
kill -l	Vypíše seznam signálů

Linux - signály

man 7 signal

Události generující signály

- Stisk kláves (*CTLR+C* generuje *SIGINT*)
- HW přerušení (dělení nulou)
- Příkaz kill (1), systémové volání kill (2)
- Mohou je generovat uživatelské programy – kill (2)

Reakce na signály

- Standardní zpracování
- Vlastní zpracování naší funkcí
- Ignorování signálu (ale např. SIGKILL, SIGSTOP nelze)

```
#!/bin/bash
obsluha() {
 echo "Koncim..."
 exit 1
}
# pri zachyceni signalu SIGINT se vykona funkce: obsluha
trap obsluha INT

SEC=0
while true ; do
 sleep 1
 SEC=$((SEC+1))
 echo "Jsem PID $$, ziju $SEC"
done
# sem nikdy nedojdeme
exit 0
```

Skript zareaguje na Ctrl+C zavoláním funkce obluha()
Příkaz trap definuje jaká funkce se pro obsluhu daného signálu zavolá

Linux – využití signálu při ukončení práce OS

Vypnutí počítače:
INIT: Sending all processes the TERM signal
INIT: Sending all processes the KILL signal

Proces init pošle všem podřízeným signál TERM
=> tím žádá procesy o ukončení a dává jim čas učinit tak korektně
Po nějaké době pošle signál KILL, který nelze ignorovat a způsobí ukončení procesu.

Přehled vybraných signálů

SIGTERM	Žádost o ukončení procesu
SIGSEGV	Porušení segmentace paměti
SIGABORT	Přerušení procesu
SIGHUP	Odříznutí od terminálu (nohup ignoru.)
SIGKILL	Bezpodmínečné zrušení procesu
SIQQUIT	Ukončení terminálové relace procesu
SIGINT	Přerušení terminálu (CTRL+C)
SIGILL	Neplatná instrukce
SIGCONT	Navrácení z pozastavení procesu
SIGSTOP	Pozastavení procesu (CTRL+Z)
SIGINT	Ukončení procesu na popředí

Manuálové stránky: man 7 signal

Datové roury

- jednosměrná komunikace mezi 2 procesy
- data zapisována do roury jedním procesem lze dalším hned číst
- data čtena přesně v tom pořadí, v jakém byla zapsána

cat /etc/passwd | grep josef | wc -l

Datové roury

systémové volání pipe:

int pipe (int filedes[2])
fides[0] .. odsud čteme
fides[1] .. sem zapisujeme

Problém sdílené paměti

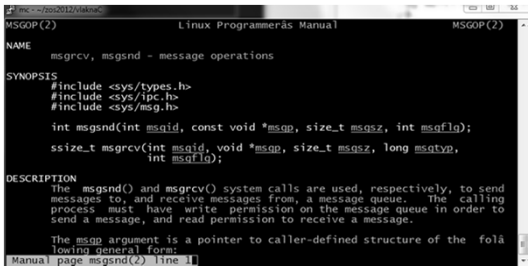
- Vyžaduje umístění objektu ve sdílené paměti
- Někdy není **vhodné**
  - Bezpečnost – globální data přístupná kterémukoliv procesu bez ohledu na semafor
- Někdy není **možné**
  - Procesy běží na různých strojích, komunikují spolu po síti
- Řešení – předávaní zpráv

Předávání zpráv – send, receive

Zavedeme 2 primitiva:
- send (adresát, zpráva) - odeslání zprávy
- receive(odesilatel, zpráva) - příjem zprávy

- Send
  - Zpráva (libovolný datový objekt) bude zaslána adresátovi
- Receive
  - Příjem zprávy od určeného odesilatele
  - Přijatá zpráva se uloží do proměnné (dat.struktury) „zpráva“

Jak Linux?



Vlastnosti

- synchronizace (blokující – neblokující)
- unicast, multicast, broadcast
- přímá komunikace x nepřímá komunikace
- délka fronty zpráv
- pevná vs. proměnná délka zprávy

Primitiva send a receive mohou mít celou řadu rozličných vlastností. V dalších slidech budou postupně rozebrány

Synchronizace

- blokující (synchronní)
- neblokující (asynchronní)
  - čeká send na převzetí zprávy příjemcem?
  - co když při receive není žádná zpráva?
- většinou send neblokující, receive blokující

Send - receive

- blokující send
  - čeká na převzetí správy příjemcem
- **neblokující send**
  - vrací se ihned po odeslání zprávy
  - většina systémů
- **blokující receive**
  - není-li ve frontě žádná zpráva, zablokuje se
  - většina systémů
- neblokující receive
  - není-li zpráva, vrací chybu

Receive s omezeným čekáním

- receive (odesilatel, zprava, t)
  - čeká na příchod zprávy dobu t
  - pokud zpráva nepřijde, vrací se volání s chybou

Další možná varianta

Adresování

- send 1 příjemce nebo skupina?
  - Pošleme jednomu nebo více příjemcům
- receive 1 odesílatel nebo různí?
  - Přijmeme pouze od jednoho odesilatele nebo od kohokoliv

Skupinové a všesměrové adresování

- skupinové adresování (multicast)
  - zprávu pošleme skupině procesů
  - zprávu obdrží každý proces ve skupině
- všesměrové vysílání (broadcast)
  - zprávu posíláme "všem" procesům
  - tj. více nespecifikovaným příjemcům
- pozn.: další varianta - anycast (IPv6)

Poznámky

Většina systémů umožňuje:

- odeslání zprávy skupině procesů
- příjem zprávy od kteréhokoliv procesu

Další otázky

- vlastnosti fronty zpráv
  - kolik jich může obsahovat, je omezená?
- pokus odeslat zprávu a fronta zpráv plná?
  - většinou odesilatel pozastaven
- v jakém pořadí jsou zprávy doručeny?
  - většinou v pořadí FIFO
- jaké je zpoždění mezi odesláním zprávy a možností zprávu přijmout?
- jaké mohou v systému nastat chyby, např. mohou se zprávy ztrácet?

Délka fronty zpráv (buffering)

- nulová délka
  žádná zpráva nemůže čekat
  odesílatel se zablokuje – "randezvous"
- omezená kapacita
  blokování při dosažení kapacity
- neomezená kapacita
  odesilatel se nikdy nezablokuje

Poznámka

- Volbu konkrétního chování primitiv send a receive provádějí návrháři operačního systému
- Některé systémy nabízejí několik alternativních primitiv send a recive s různým chováním

Terminologická poznámka

neblokující send

- v některých systémech send, který se vrací ihned – ještě před odesláním zprávy
- odeslání se provádí paralelně s další činností procesu
- používá se zřídka

Předpoklady pro další text

- send je neblokující, receive blokující
- receive – umožnuje příjem od libovolného adresáta – receive(ANY,zpráva)
- fronta zpráv – dostatečně velká na všechny potřebné zprávy
- zprávy doručeny v pořadí FIFO a neztrácejí se

Producent – konzument pomocí zpráv

- symetrický problém
- producent generuje plné položky
  - pro využití konzumentem
- konzument generuje prázdné položky
  - pro využití producentem

Úlohu producent/konzument jsme řešili s využitím semaforů, monitorů, nyní tedy i zasíláním zpráv

```
cobegin
   while true do            { producent }
   begin
        produkuj záznam;
        receive(konzument, m);
                // čeká na prázdnou položku
        m := záznam;
                // vytvoří zprávu
        send(konzument, m);
                // pošle položku konzumentovi
   end {while}
||
```

Blokující operace

```
for i:=1 to N do            { inicializace }
   send(producent, e);
        // pošleme N prázdných položek
while true do               { konzument }
begin
   receive(producent, m);
        // přijme zprávu obsahující data
   záznam := m;
   send(producent, e);
        // prázdnou položku pošleme zpět
   zpracuj záznam;
end {while}
coend.
```

Blokující operace

Komunikující procesy

procesy nemusejí být na stejném stroji, ale mohou komunikovat po síti

Problém určení adresáta

- dosud – zprávy posíláme procesům
- jak určit adresáta, pojmenovat procesy
- procesy nejsou trvalé entity
  - v systému vznikají a zanikají
- nebo více instancí stejného programu
- řešení – adresujeme frontu zpráv
  - nepřímá komunikace

Chtěli bychom např. poslat zprávu webovému serveru *Apache*, ale při každém spuštění stroje bude mít jiný PID

Neadresujeme proces, ale frontu zpráv

Adresování fronty zpráv

- proces pošle zprávu
  - zpráva se připojí k určené frontě zpráv (vložení zprávy do fronty)
- jiný proces přijme zprávu
  - vyjme zprávu z dané fronty

Mailbox, port

Termíny používané v teorii OS, neplést s pojmem mailbox jak jej běžně znáte

- mailbox
  - fronta zpráv využívaná více odesílateli a příjemci
  - obecné schéma
  - operace receive – drahá, zvláště pokud procesy běží na různých strojích
- port
  - omezená forma mailboxu
  - zprávy může vybírat pouze jeden příjemce

Mailbox, port

Implementace mechanismu zpráv – další problémy

- problémy, které nejsou u semaforů ani monitorů, zvláště při komunikaci po síti
- ztráta zprávy
  - potvrzení o přijetí (acknowledgement)
  - pokud vysílač nedostane potvrzení do nějakého časového okamžiku (timeout), zprávu pošle znovu
- ztráta potvrzení
  - zpráva dojde ok, ztratí se potvrzení
  - číslování zpráv, duplicitní zprávy se ignorují

Problém autentizace

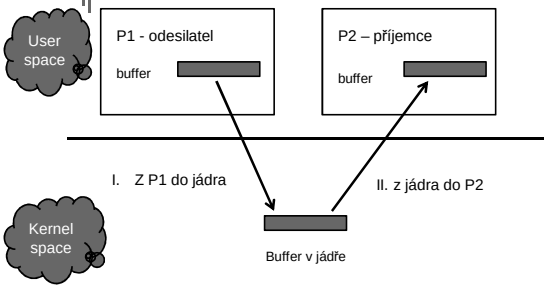
- problém autentizace
  - ověřit, že nekomunikují s podvodníkem
  - zprávy je možné šifrovat
  - klíč známý pouze autorizovaným uživatelům (procesům)
  - zašifrovaná zpráva obsahuje redundanci – umožní detekovat změnu zašifrované zprávy
  - Pozn. Symetrické a asymetrické šifrování, podpisy zpráv

Lokální komunikace (!)

Na stejném stroji – snížení režie na zprávy

- Dvojí kopírování (!)
  - z procesu odesílatele do fronty v jádře
  - z jádra do procesu příjemce
- rendezvous
  - eliminuje frontu zpráv
  - send zavolán dříve než receive – odesílatel zablokován
  - vyvolán send i receive – zprávu zkopírovat z odesílatele přímo do příjemce
  - efektivnější, ale méně obecné (např. jazyk ADA)

Dvojí kopírování (!!!)



Lokální komunikace II.

- využití mechanismu virtuální paměti (!)
  - další možnost, lze využít např. při randevous
  - paměť obsahující zprávu je přemapována
    - z procesu odesílatele
    - do procesu příjemce
  - zpráva se nekopíruje
    - Virtuální paměť umí "čarovat" komu daný kus fyzické paměti namapuje a na jaké adresy

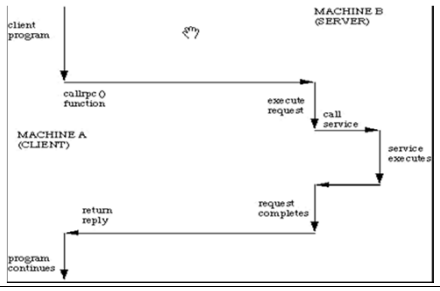
Typické aplikace

- struktura klient – server
  - klient požaduje vykonat práci
  - server práci vykonává
- klienti vyžadují od serveru data nebo provedení operace nad daty
- WWW klient x WWW server (Apache, IIS)
- účetní aplikace x databázový systém (Oracle, MySQL)
- klientský OS x souborový server (AFS)

Volání vzdálených procedur (RPC)

- používání send receive – opět nestrukturované
- Birell a Nelson (1984)
- dovolit procesům (klientům) volat procedury umístěné v jiném procesu (serveru)
- mechanismus RPC (Remote Procedure Call)
- variantou RPC je i volání vzdálených metod (Remote Method Invocation, RMI) v OOP, např. Javě
- snaha aby co nejvíce připomínalo lokální volání

RPC



spojka klienta, serveru

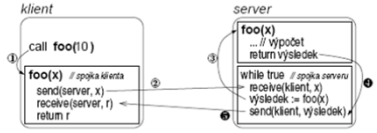
- klientský program sestaven s knihovní funkcí, tzv. spojka klienta (client stub)
  - reprezentuje vzdálenou proceduru v adresním prostoru klienta
  - stejné jméno, počet a typ argumentů jako vzdálená procedura
- program serveru sestaven se spojkou serveru (server stub)
- spojky zakrývají, že volání není lokální

Kroky komunikace

1. Klient zavolá spojku klienta, reprezentující vzdálenou proceduru
2. Spojková procedura argumenty zabalí do zprávy, pošle ji serveru
3. Spojka serveru zprávu přijme, vezme argumenty a zavolá proceduru
4. Procedura se vrátí, návrat. hodnotu pošle spojka serveru zpět klientovi
5. Spojka klienta přijme zprávu obsahující návrat. hodnotu a předá ji volajícímu

Příklad

- volání foo(x: integer): integer



1. Klient volá spojku klienta foo(x) s argumentem x=10.
2. Spojka klienta vytvoří zprávu a pošle jí serveru:
   procedure foo(x: integer):integer;
   begin
   send(server, m); // zpráva obsahuje argument, tj. hodnotu "10"
3. Server přijme zprávu a volá vzdálenou proceduru:
   receive(klient, x); // spojka přijme zprávu, tj. hodnotu "10"
   vysledek = foo(x); // spojka volá fci foo(10)
4. Procedura foo(x) provede výpočet a vrátí výsledek.
5. Spojka serveru výsledek zabalí do zprávy a pošle zpět spojce klienta:
   send(klient, výsledek);
6. Spojka klienta výsledek přijme, vrátí ho volajícímu (jako kdyby ho spočetla sama):
   receive(server, výsledek);
   foo = výsledek;
   return;

RPC – více procedur

- rozlišeny číslem
- spojka klienta ve zprávě předá kromě parametrů i číslo požadované procedury

Na serveru:
while true do begin
receive(klient, m); // zpráva obsahující č. procedury a parametry
if (m.číslo_procedury == 1) then výsledek = foo(m.x);
if (m. číslo_procedury == 2) then výsledek = bar(m.x);
...
send(klient, výsledek); // odešli zpět návratovou hodnotu
end

RPC

dnes nejpoužívanější jazyková konstrukce pro implementaci distribuovaných systémů a programů bez explicitního předávání zpráv

- DCE RPC, Java RMI, CORBA

Programování RPC

- Jazyk IDL (Interface Definition Language)
  - Definujeme rozhraní mezi klientem a serverem (datové typy, procedury)
- Kompilátor jazyka IDL
  - Vygeneruje spojky pro klienta i server
- Server sestavíme se spojkou serveru
- Spojka klienta
  - Podoba knihovny
  - Sestavujeme s ní klientské programy

Problémy RPC

Volání vzdálené procedury přináší problémy, které při lokálním přístupu nejsou

- Parametry předávané odkazem
  - Klient a server – různé adresní prostory
  - Odeslání ukazatele nemá smysl
  - Pro jednoduchý datový typ, záznam, pole – trik
    - Spojka klienta pošle odkazovaná data spojce serveru
    - Spojka serveru vytvoří nový odkaz na data atd.
    - Modifikovaná data pošle zpátky na klienta
    - Spojka klienta přepíše původní data
- Globální proměnné
  - Použití není možné x lokálních procedur

Reprezentace informace

- Společný problém pro předávání zpráv i RPC
- Stroje různé architektury
  - Může se lišit vnitřní reprezentace datových typů
  - Kódování řetězců
    - Udaná délka nebo ukončovací znak
    - Kódování jednotlivých znaků
  - Numerické typy
    - Způsob uložení (little endian, big endian)
    - Velikost (integer 32 nebo 64 bitů)

Problém může představovat komunikace mezi heterogenní mi systémy

Little & big endian

- Chceme uložit: 4a3b2c1d (32bit integer)
- Big endian
  - Nejvýznamnější byte (MSB) na nejnižší adrese
  - Motorola 68000, SPARC, System/370
  - V paměti od nejnižší adresy: 4a, 3b, 2c, 1d
- Little endian
  - Nejméně významný byte (LSB) na nejnižší adrese
  - **Intel x86**, DEC VAX
  - V paměti od nejnižší adresy: 1d, 2c, 3b, 4a

Další varianty endians (jen pro doplnění)

- Bi-endian
  - Lze nastavit (např. mode bit), jaký formát uložení se bude používat
  - Např. IA-64, defaultně little-endian
- Middle-endian
  - Starší formát, jen poznámka
  - Např. 3b, 4a, 1d, 2c

Otestování sw (jen ukázka)

```
#define LITTLE_ENDIAN   0
#define BIG_ENDIAN      1

int machineEndianness() {
    short s = 0x0102;
    char *p = (char *) &s;
    if (p[0] == 0x02)
        return LITTLE_ENDIAN;
    else
        return BIG_ENDIAN; }
```

Řešení portability

- Definovat, jak budou data reprezentována při přenosu mezi počítači – síťový formát
  - Před odesláním do síťového formátu
  - Po přijetí do lokálního formátu
- Problém rozdílné velikosti
  - Nová množina numerických typů, stejná velikost na všech podporovaných architekturách
  - Int32_t – integer 32bitů, <stdint.h>, ISO C99

Síťový formát (jen pro doplnění)

- TCP/IP
  - Network byte order (big endian)
  - Celé číslo – nejvýznamější byte jako první (MSB)
- Konverzní funkce např. <netinet/in.h>
- htonl, htons
- ntohl, ntohs
- ("host to net, net to host, short/long)

Sémantika volání RPC

- lokální volání fce – právě jednou
- vzdálené volání
  - chyba při síťovém přenosu (tam, zpět)
  - chyba při zpracování požadavku na serveru
  - klient neví, která z těchto chyb nastala
  - volající havaruje po odeslání zprávy před získáním výsledku

Sémantika volání RPC

- právě jednou
- alespoň 1x
  - opakované volání po timeoutu
  - dle charakteru operace
- nejvýše 1x
  - klient volání neopakuje
  - při timeoutu – chyba, ošetření výjimek

Idempotentní operace

- operace, kterou lze opakovat se stejným efektem, jaký mělo její první provedení
- pro sémantiku alespoň 1x
- x = x + 10 vs. x = 20
- vypinac (zapni), vypinac (vypni) x vypinac (prepni)

Ekvivalenty uvedených primitiv

- Lze implementovat semafory pomocí zpráv a zprávy pomocí semaforů, …, ?
- Tj. má obojí stejnou vyjadřovací sílu?

Zprávy pomocí semaforů

- Využijeme řešení problému producent-konzument
- send: Vložení zprávy do bufferu
- receive: Vyjmutí zprávy z bufferu

Semafor pomocí zpráv

Semafory pomocí zpráv

- Pomocný synchronizační proces (SynchP)
  - Pro každý semafor udržuje čítač (hodnotu semaforu)
  - A seznam blokovaných procesů
- Operace P a V
  - Jako funkce, které provedou odeslání požadavku
  - Poté čekají na odpověď pomocí receive
- SynchP – v jednom čase jeden požadavek
  - Tím zajištěno vzájemné vyloučení

Semafor pomocí zpráv

- Pokud SynP obdrží požadavek na operaci P
  - a čítač semafor > 0, odpoví ihned
  - Jinak neodpoví – čímž volajícího zablokuje
- Pokud SyncP obdrží požadavek na operaci V
  - A je blokovaný proces
    - Jednomu blokovanému odpoví, čímž ho vzbudí

Stejná vyjadřovací síla

- Lze ukázat, že je možné implementovat
  - Semafory pomocí monitoru
  - Monitory pomocí semaforů
- Všechna dříve uvedená primitiva mají stejnou vyjadřovací sílu
- Platí to i o mutexech? Ano, někdy..

Semafor pomocí mutexů

- Např. Barz (1983)

```
type semaphore = record
                    val: integer;
                    m: mutex;        // pro vzájemné vyloučení
                    d: mutex;        // pro blokování (delay)
                 end;
procedure Initsem(var s: semaphore, count: integer);
begin
   s.val:=count;
   s.m :=ODEM;                 // odemčeno
if count=0 then s.d := ZAM     // zamčeno, někdo musí provést V(s)
   else s.d := ODEM            // odemčeno
end;
```

```
procedure P(var s: semaphore);
begin
   mutex_lock(s.d);  // když s.val=0, čekáme
   mutex_lock(s.m); // kritická sekce –
                    // přístup k s.val
   s.val := s.val - 1;     // vždy bude platit s.val>=0
   if s.val > 0 then
      mutex_unlock(s.d); // další proces do operace P
   mutex_unlock(s.m)     // konec přístupu k val
end;
```

```
procedure V(var s: semaphore);
begin
   mutex_lock(s.m);
   s.val := s.val + 1;
   if s.val = 1 then
        mutex_unlock(s.d)
   mutex_unlock(s.m)
end;
```

Omezení mutexů v některých implementacích

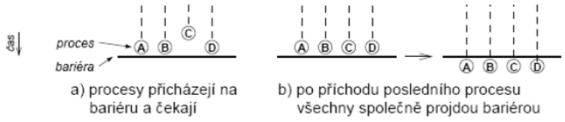
Z důvodů efektivity někdy omezení mutexů:

- Mutex smí odemknout pouze vlákno, které předtím provedlo jeho uzamknutí (POSIX.1)
  - Nelze použít pro implementaci obecných semaforů
  - Potom slabší než výše uvedená primitiva

Bariéry

- Synchronizační mechanismus pro skupiny procesů
- Použití ve vědecko-technických výpočtech
- Aplikace – skládá se z fází
  - Žádný proces nesmí do následující fáze dokud všechny procesy nedokončily fázi předchozí
- Na konci každé fáze – synchronizace na bariéře
  - Volajícího pozastaví
  - Dokud všechny procesy také nezavolají barrier
- Všechny procesy opustí bariéru současně

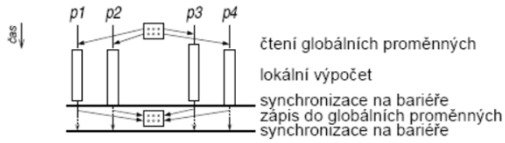
Bariéra



Bariéra – iterační výpočty

- Jednotlivé kroky výpočtu
- Matice X(i+1) z matice X(i)
- Každý proces počítá 1 prvek nové matice
- Synchronizace pomocí bariery

Bariera – iterační výpočty



Klasické problémy IPC

IPC – Interprocess Communication

- Producent- konzument
- Večeřící filozofové
- Čtenáři - písaři
- Spící holič
- Řada dalších úloh

Vždy když někdo vymyslí nový synchronizační mechanismus, otestuje se jeho použitelnost na těchto klasických úlohách

Problém večeřících filozofů

- Dijkstra 1965, dining philosophers
- Model procesů soupeřících o výhradní přístup k omezenému počtu zdrojů
  - Může dojít k zablokování, vyhladovění
- „Test elegance“ nových synchronizačních primitiv

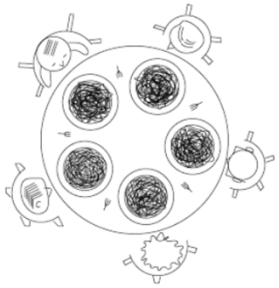
Zablokování a vyhladovění jsou dva rozdílné pojmy, uvidíme dále..

Problém večeřících filozofů

- 5 filozofů sedí kolem kulatého stolu
- Každý filozof má před sebou talíř se špagetami
- Mezi každými dvěma talíři je vidlička
- Filozof potřebuje dvě vidličky, aby mohl jíst

Ukázka:
http://webplaza.pt.lu/~onarat/

Problém večeřících filozofů



Problém večeřících filozofů

- Život filozofa – jí a přemýšlí
  - Tyto fáze se u každého z nich střídají
- Když dostane hlad
  - Pokusí se vzít si dvě vidličky
    - Uspěje – nějakou dobu jí, pak položí vidličky a pokračuje v přemýšlení
- Úkolem
  - Napsat program pro každého filozofa, aby pracoval dle předpokladů a nedošlo k potížím
  - aby se každý najedl

Problém večeřících filozofů

Očíslujeme filozofy: 0 .. 4

Očíslujeme vidličky

filozof 0: levá vidlička 0, pravá 1
filozof 1: levá vidlička 1, pravá 2
…

Procedura zvedni(v)

- Počká, až bude vidlička k dispozici a pak jí zvedne

Kód filozofa - chybný

```
const N = 5;
procedure filosof(i: integer);
begin
    premyslej();
    zvedni (i);
    zvedni ((i+1) mod N);
    jez();
    poloz(i);
    poloz((i+1) mod N)
end;
```

Všichni filozofové běží dle stejného kódu, např. 5 vláken, každé vykonává kód:

filosof(0)
filosof(1)
…
filosof(4)

Problém uvíznutí (deadlock)

Popis chyby:

Všichni filozofové zvednou najednou levou vidličku, žádný z nich už nemůže pokračovat, dojde k deadlocku

Deadlock:

cyklické čekání dvou či více procesů na událost, kterou může vyvolat pouze některý z nich, nikdy k tomu však nedojde

f[0] čeká, až f[1] položí vidličku, f[1] čeká na f[2], 2-3, 3-4, 4-0 = cyklus

Modifikace algoritmu

Filozof zvedne levou vidličku a zjistí, zda je pravá vidlička dostupná.

Pokud není, položí levou, počká nějakou dobu a zkusí znovu.

Stále chybná …

Pokud by filozofové vzali najednou levou vidličku, budou běžet cyklicky (vidí, že pravá není volná, položí..)

Proces není blokovaný (x od deadlock), ale běží bez toho, že by vykonával užitečnou činnost

Analogie – situace „až po vás“ přednost ve dveřích

Vyhladovění (starvation)

proces se nedostane k požadovaným zdrojům

Řešení pomocí monitoru

Když chce i-tý filozof jíst, zavolá funkci chci_jist(i)

Když je najezen, zavolá mam_dost(i)

Ochrana před uvíznutím:

obě vidličky musí zvednout najednou, v kritické sekci, uvnitř monitoru

Řešení je vícero, následující např. nezabrání dvěma konspirujícím filozofům, aby bránili jíst třetímu

```
Monitor vecerici_filozofove;
const N=5;
var
   f : array [0 .. N-1] of integer;  {počet vidliček dostupných filozofovi}
   a : array [0 .. N-1] of integer;  {podmínka vidličky k dispozici}
   i : integer;

procedure chci_jist ( i: integer)
begin
   if f [ i ]  < 2 then a [ i ].wait;
   decrement ( f [ (i-1) mod N] );   { sniž o jedna vidličky levému  }
   decrement ( f [ (i+1) mod N] );   { sniž o jedna vidličky pravému}
end;
```

```
procedure  mam_dost ( i: integer)
begin
   increment( f [ (i-1) mod N] );    { zvětši o jedna vidličky levému  }
   increment ( f [ (i+1) mod N] );   { zvětši o jedna vidličky pravému}

   if   f [ (i-1) mod N] = 2 then      { má levej soused 2 vidličky? }
                  a [ (i-1) mod N] . signal;
   if   f [ (i+1) mod N] = 2 then      { má pravej soused 2 vidličky? }
                  a [ (i+1) mod N] . signal;
end;

begin                          { inicializace monitoru, filozof má 2 vidličky }
   for i:=0 to 4 do
         f[i] := 2
end;
```