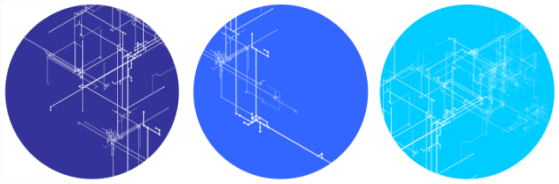
PB153
OPERAČNÍ SYSTÉMY A JEJICH ROZHRANÍ



Synchronizace procesů

08

PARALELNÍ BĚH PROCESŮ

- Synchronizace běhu procesů
  - jeden proces čeká na událost z druhého procesu
- Komunikace mezi procesy
  - komunikace – způsob synchronizace, koordinace různých aktivit
  - může dojít k uváznutí
    - každý proces čeká na zprávu od nějakého jiného procesu
  - může dojít ke stárnutí
    - dva procesy si opakovaně posílají zprávy zatímco třetí proces čeká na zprávu nekonečně dlouho
- Sdílení prostředků
  - procesy používají a modifikují sdílená data
  - operace zápisu musí být vzájemně výlučné
  - operace zápisu musí být vzájemně výlučné s operacemi čtení
    - operace čtení mohou být realizovány souběžně
  - pro zabezpečení integrity dat se používají kritické sekce

NEKONZISTENCE

- Paralelní přístup ke sdíleným údajům může být příčinou nekonzistence dat
- Udržování konzistence dat vyžaduje používání mechanismů, které zajistí patřičné provádění spolupracujících procesů
- Problém komunikace procesů v úloze typu Producent-Konzument přes vyrovnávací paměť s omezenou kapacitou

PRODUCENT-KONZUMENT (1)

- Sdílená data

```
#define BUFFER_SIZE 10
typedef struct {
   . . .
} item;
item buffer[BUFFER_SIZE];
int in = 0;
int out = 0;
int counter = 0;
```

PRODUCENT-KONZUMENT (2)

- Producent

```
item nextProduced;

while (1) {
        while (counter == BUFFER_SIZE)
                ; /* do nothing */
        buffer[in] = nextProduced;
        in = (in + 1) % BUFFER_SIZE;
        counter++;
}
```

PRODUCENT-KONZUMENT (3)

- Konzument

```
item nextConsumed;

while (1) {
        while (counter == 0)
                ; /* do nothing */
        nextConsumed = buffer[out];
        out = (out + 1) % BUFFER_SIZE;
        counter--;
}
```

PRODUCENT-KONZUMENT (4)

- Atomická operace je taková operace, která vždy proběhne bez přerušení
- Následující příkazy musí být atomické
  - **counter++;**
  - **counter--;**
- count++ v assembleru může vypadat
  - **register1 = counter**
  - **register1 = register1 + 1**
  - **counter = register1**
- count-- v assembleru může vypadat
  - **register2 = counter**
  - **register2 = register2 – 1**
  - **counter = register2**

PRODUCENT-KONZUMENT (5)

- Protože takto implementované operace count++ a count-- nejsou atomické, můžeme se dostat do problémů s konzistencí
- Nechť je hodnota **counter** nastavena na 5. Může nastat:
  - producer: **register1 = counter** (*register1 = 5*)
  - producer: **register1 = register1 + 1** (*register1 = 6*)
  - consumer: **register2 = counter** (*register2 = 5*)
  - consumer: **register2 = register2 – 1** (*register2 = 4*)
  - producer: **counter = register1** (*counter = 6*)
  - consumer: **counter = register2** (*counter = 4*)
- Výsledná hodnota proměnné **counter** bude buďto 4 nebo 6, zatímco správný výsledek má být 5.

ANIMACE: PRODUCENT-KONZUMENT (5)

RACE CONDITION

- Race condition (podmínka soupeření):
  - více procesů současně přistupuje ke sdíleným zdrojům a manipulují s nimi
  - konečnou hodnotu zdroje určuje poslední z procesů, který zdroj po manipulaci opustí
- Ochrana procesů před negativními dopady race condition
  - je potřeba procesy synchronizovat

PROBLÉM KRITICKÉ SEKCE

- N procesů soupeří o právo používat jistá sdílená data
- V každém procesu se nachází segment kódu programu nazývaný *kritická sekce*, ve kterém proces přistupuje ke sdíleným zdrojům
- Problém:
  - je potřeba zajistit, že v kritické sekci, sdružené s jistým zdrojem, se bude nacházet nejvýše jeden proces

PODMÍNKY ŘEŠENÍ PROBLÉMU KRITICKÉ SEKCE

- Podmínka vzájemného vyloučení (mutual exclusion), podmínka bezpečnosti, „safety“
  - jestliže proces P1 provádí svoji kritickou sekci, žádný jiný proces nemůže provádět svoji kritickou sekci sdruženou se stejným zdrojem
- Podmínka trvalosti postupu (progress), podmínka živosti, „liveliness“
  - jestliže žádný proces neprovádí svoji sekci sdruženou s jistým zdrojem a existuje alespoň jeden proces, který si přeje vstoupit do kritické sekce sdružené s tímto zdroje, pak výběr procesu, který do takové kritické sekce vstoupí, se nesmí odkládat nekonečně dlouho
- Podmínka konečnosti doby čekání (bounded waiting), podmínka spravedlivosti, „fairness“
  - musí existovat horní mez počtu, kolikrát může být povolen vstup do kritické sekce sdružené s jistým zdrojem jiným procesům než procesu, který vydal žádost o vstup do kritické sekce sdružené s tímto zdrojem, po vydání takové žádosti a před tím, než je takový požadavek uspokojen
  - předpokládáme, že každý proces běží nenulovou rychlostí
  - o relativní rychlosti procesů nic nevíme

POČÁTEČNÍ NÁVRHY ŘEŠENÍ

- Máme pouze 2 procesy, P_0 a P_1
- Generická struktura procesu P_i

do {

entry section

critical section

exit section

reminder section

} **while (1)**;

- Procesy mohou za účelem dosažení synchronizace svých akcí sdílet společné proměnné
- Činné čekání na splnění podmínky v „entry section“ – „busy waiting“

ŘEŠENÍ PROBLÉMU KS

- Softwarová řešení
  - algoritmy, jejichž správnost se nespoléhá na žádné další předpoklady
  - s aktivním čekáním „busy waiting“
- Hardwarová řešení
  - vyžadují speciální instrukce procesoru
  - s aktivním čekáním
- Řešení zprostředkované operačním systémem
  - potřebné funkce a datové struktury poskytuje OS
  - s pasivním čekáním
  - podpora v programovacím systému/jazyku
    - semafory, monitory, zasílání zpráv

ALGORITMUS 1

- Sdílené proměnné
  - **int turn**;
    počátečně **turn = 0**
  - **turn = i** $\Rightarrow$ P_i může vstoupit do KS
- Proces P_i

```
do {
        while (turn != i) ;
                critical section
        turn = j;
                reminder section
} while (1);
```

- Splňuje vzájemné vyloučení, ale ne trvalost postupu

ALGORITMUS 2

- Sdílené proměnné
  - **boolean flag[2];**
    počátečně **flag [0] = flag [1] = false.**
  - **flag [i] = true** $\Rightarrow$ P_i může vstoupit do své KS
- Process P_i

```
do {
        flag[i] := true;
        while (flag[j]) ;
critical section
        flag [i] = false;
                remainder section
} while (1);
```

- Splňuje vzájemné vyloučení, ale ne trvalost postupu

ALGORITMUS 3 (PETERSONŮV)

- Kombinuje sdílené proměnné algoritmů 1 a 2
- Proces P_i

```
do {

        flag [i]:= true;
        turn = j;
        while (flag [j] and turn == j) ;

                critical section

        flag [i] = false;

                remainder section

} while (1);
```

- Jsou splněny všechny tři podmínky správnosti řešení problému kritické sekce

SYNCHRONIZAČNÍ HARDWARE

- Speciální instrukce strojového jazyka
  - test_and_set, exchange / swap, …
- Stále zachována idea používání „busy waiting“
- Test_and_set
  - testování a modifikace hodnoty proměnné – atomicky

```
boolean TestAndSet (boolean &target) {
        boolean rv = target;
        target = true;
        return rv;
}
```

- Swap
  - Atomická výměna dvou proměnných

```
Void Swap (boolean &ra, boolean &rb] {
        boolean temp = a;
        a = b;
        b = temp;
}
```

VYUŽITÍ TESTANDSET

- Sdílená data (inicializováno na false):

  boolean lock:

- Proces Pi

```
do {
        while (TestAndSet(lock)) ;
              critical section
        lock = false;
              remainder section
    }
```

VYUŽITÍ SWAP

- Sdílená data (inicializováno na false):

  boolean lock;

  boolean waiting[n];

- Proces Pi

```
do {
        key = true;
        while (key == true)
                Swap(lock,key);
            critical section
        lock = false;
            remainder section
    }
```

SITUACE BEZ PODPORY OS

- Nedostatek softwarového řešení
  - procesy, které žádají o vstup do svých KS to dělají metodou „busy waiting“
    - po nezanedbatelnou dobu spotřebovávají čas procesoru
- Speciální instrukce
  - výhody
    - vhodné i pro multiprocesory (na rozdíl od prostého maskování/povolení přerušení)
  - nevýhody
    - opět „busy waiting“
    - možnost stárnutí – náhodnost řešení konfliktu
    - možnost uváznutí v prioritním prostředí (proces v KS nedostává čas CPU)

SEMAFORY

- Synchronizační nástroj, který lze implementovat i bez „busy waiting“
  - proces je (operačním systémem) „uspán“ a „probuzen“
  - tj. řešení na úrovni OS
- Definice

  Semaphore S : integer
- Lze ho zpřístupnit pouze pomocí dvou atomických operací

wait (S):

while S ≤ 0 do no-op;

S --;

signal(S):

S ++;

KRITICKÁ SEKCE

- Sdílená data:

  semaphore mutex; // počátečně mutex = 1

- Proces P_i:

```
do {
        wait(mutex);
                critical section
        signal(mutex);
                remainder section
 } while (1);
```

SYNCHRONIZACE SEMAFOREM

- Má se provést akce B v P_j pouze po té, co se provede akce A v P_i
- Použije se semafor flag inicializovaný na 0
- Program:

P_i	P_j
⋮	⋮
A	*wait*(*flag*)
signal(*flag*)	*B*

UVÁZNUTÍ A STÁRNUTÍ

- Uváznutí
  - dva nebo více procesů neomezeně dlouho čekají na událost, kterou může generovat pouze jeden z čekajících procesů
  - Nechť S a Q jsou dva semafory inicializované na 1

P_0	P_1
wait(*S*);	*wait*(*Q*);
wait(*Q*);	*wait*(*S*);
⋮	⋮
signal(*S*);	*signal*(*Q*);
signal(*Q*)	*signal*(*S*);

- Stárnutí
  - neomezené blokování, proces nemusí být odstraněný z fonty na semafor nikdy (předbíhání vyššími prioritami, …)

DVA TYPY SEMAFORŮ

- Obecný semafor S
  - celočíselná hodnota z neomezovaného intervalu
- Binární semafor
  - celočíselná hodnota z intervalu <0,1>
- Implementovatelnost
  - binární semafor lze snadněji implementovat
  - obecný semafor lze implementovat semaforem binárním

PROBLÉMY SE SEMAFORY

- Semafory jsou mocný nástroj pro dosažení vzájemného vyloučení a koordinaci procesů
- Operace wait(S) a signal (S) jsou prováděny více procesy a jejich účinek nemusí být vždy explicitně zřejmý
  - semafor s explicitním ovládáním wait/signal je nástroj nízké úrovně
- Chybné použití semaforu v jednom procesu hroutí souhru všech spolupracujících procesů
- Patologické případy použití semaforů:

wait(x)	wait(x)
KS	KS
wait(x)	signal(y)

KRITICKÉ OBLASTI

- Konstrukt programovacího jazyka vysoké úrovně
- Sdílená proměnná v typu T, je deklarována jako:

  v: shared T
- Proměnná v je dostupná pouze v příkazu

  region v when B do S

  kde B je booleovský výraz
- Po dobu, po kterou se provádí příkaz S, je proměnná v pro jiné procesy nedostupná
- Oblasti referující stejnou sídlenou proměnnou se v čase vzájemně vylučují

KRITICKÉ OBLASTI (2)

- Když se proces pokusí provést příkaz region, vyhodnotí se Booleovský výraz B
- Je-li B pravdivý, příkaz S se provede
- Je-li B nepravdivý, provedení příkazu S se oddálí do doby až bude B pravdivý a v oblasti (region) spojené s V se nenachází žádný proces

MONITORY

- Synchronizační nástroj vysoké úrovně
- Umožňuje bezpečné sdílení abstraktního datového typu souběžnými procesy
- Provádění P_1, P_2, … se implicitně vzájemně vylučují

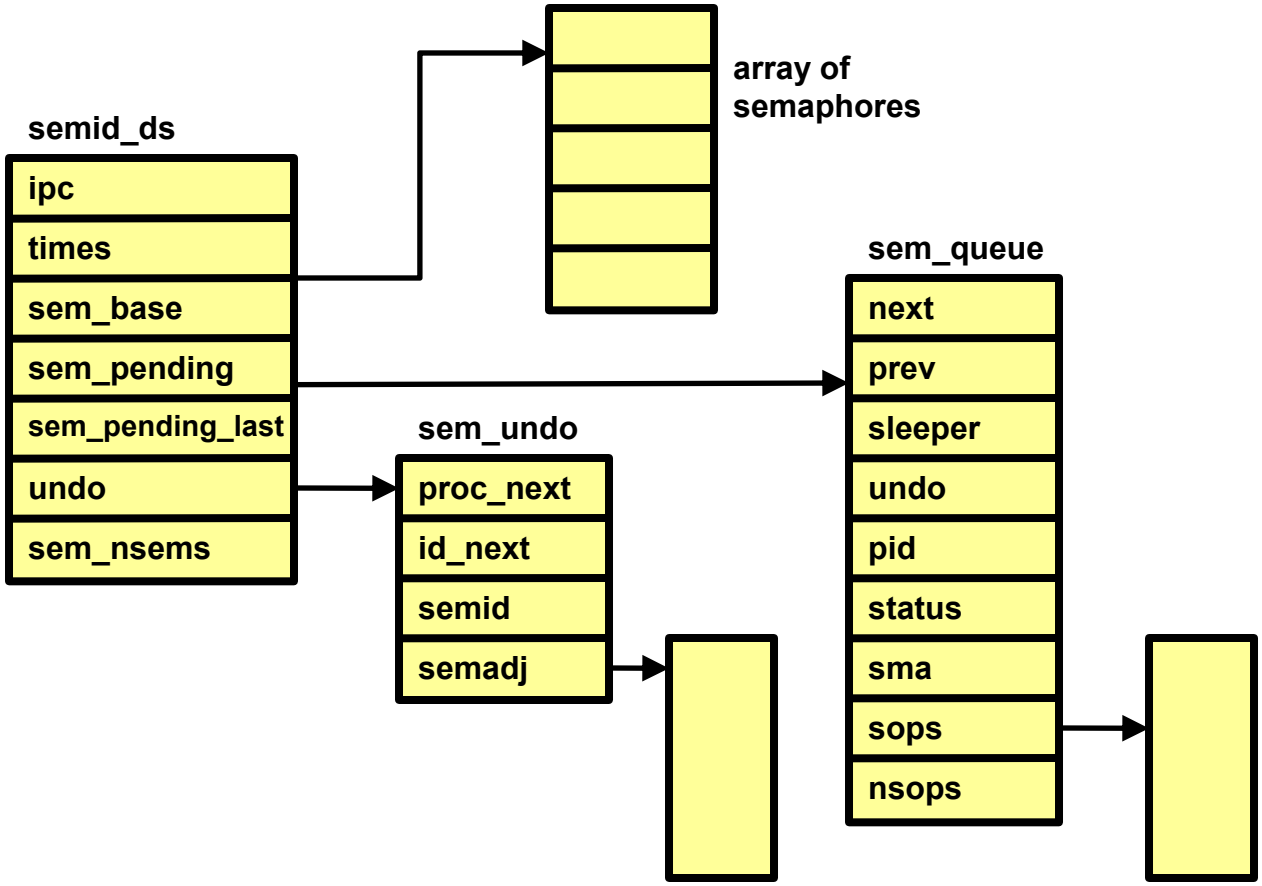
```
monitor monitor-name
{
  shared variable declarations
  procedure body P1 (…) {
  . . .
  }
  procedure body P2 (…) {
  . . .
  }
  procedure body Pn (…) {
   . . .
  }
  {
  initialization code
  }
}
```

PŘÍKLAD: LINUX (1)

- IPC (InterProcess Communication)
  - signály (asynchronní události)
  - roury (ls|pr|lpr)
  - zprávy (messages)
  - semafory (semaphores)
  - sdílená paměť (shared memory)

PŘÍKLAD: LINUX (2)

- Semafory podle SYS V IPC, volání jádra
  - semget
  - semctl
  - semop



PŘÍKLAD: WIN32 (1)

IPC Mechanism	Win2000	WinNT	Win9x	Win32s(1)	Win16(2)	MS-DOS(2)	POSIX	OS/2
DDE	YES	YES	YES	YES	YES	NO	NO	NO
OLE 1.0	YES	YES	YES	YES	YES	NO	NO	NO
OLE 2.0	YES	YES	YES	YES	YES	NO	NO	NO
NetBIOS	YES	YES	YES	YES	YES	YES	NO	YES
Named pipes	YES	YES	YES(3)	YES(3)	YES(3)	YES(3)	YES(4)	YES
Windows sockets	YES(5)	YES(5)	YES	YES	YES(5)	NO	NO(6)	NO
Mailslots	YES	YES	YES	YES(3)	NO	NO	NO	YES
Semaphores	YES	YES	YES	NO	NO	NO	YES	YES
RPC	YES	YES	YES(7)	YES(8)	YES	YES	NO	NO
Mem-Mapped File	YES	YES	YES	YES	NO	NO	NO	NO
WM_COPYDATA	YES	YES	YES	YES(9)	YES	NO	NO	NO

PŘÍKLAD: WIN32 (2)

- Semafory (obecné semafory), volání jádra
  - CreateSemaphore
  - OpenSemaphore
  - ReleaseSemaphore
  - Wait
    - SignalObjectAndWait
    - WaitForSingleObject
    - WaitForSingleObjectEx
    - WaitForMultipleObjects
    - WaitForMultipleObjectsEx
    - MsgWaitForMultipleObjects
    - MsgWaitForMultipleObjectsEx

Výukovou pomůcku zpracovalo

Servisní středisko pro e-learning na MU

CZ.1.07/2.2.00/28.0041
Centrum interaktivních a multimediálních studijních opor pro inovaci výuky a efektivní učení

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ