Paralelné programovanie

doc. Ing. Michal Čerňanský, PhD.
FIIT STU Bratislava

Synchronizácia

- Model vlákien – zdieľaná pamäť
- Komunikácia - viaceré výhody
  - Jednoduchosť – žiadne špec. API
  - Rýchlosť
- Vlákna – nedeterministické plánovanie
  - Problémy

Synchronizácia

- Thread 1: x := 1;
- Thread 2: x := 2;

- x:=0;
- Thread 1: x := x+1;
- Thread 2: x := x+1;

- x:=0;
- Thread 1: for (i=0;i<1000000;i++) x := x+1;
- Thread 2: for (i=0;i<1000000;i++) x := x-1;

Synchronizácia

- Synchronizácia
  - Úlohy vykonať v stanovenom poradí
  - Úlohy nevykonať súčasne

  - Kontrola prístupu do pamäte
  - Vstupno-výstupné operácie

Vzájomné vylučovanie

- Zabezpečiť, aby sa úlohy A a B nevykonávali „súčasne“
- Mutex (Pthreads):

Init:

```
mutex_init(mutex);
```

Thread A:

```
mutex_lock(mutex);
...
// critical section A
...
mutex_unlock(mutex);
```

Thread B:

```
mutex_lock(mutex);
...
// critical section B
...
mutex_unlock(mutex);
```

Vzájomné vylučovanie

- Semafóry:

Init:

```
sem_init(mutex, 1);
```

Thread A:

```
sem_wait(mutex);
...
// critical section
...
sem_signal(mutex);
```

Thread B:

```
sem_wait(mutex);
...
// critical section
...
sem_signal(mutex);
```

Zabezpečenie poradia vykonávania - signalizácia

- Semafóry:

Init:

```
sem_init(sem,0);
```

Thread A:

```
…
sem_wait (sem);
…
// do some work A
…
```

Thread B:

```
…
// do some work B
…
sem_signal(sem);
…
```

Zabezpečenie poradia vykonávania - signalizácia

- Pthreads:

Init:

```
mutex_init(mutex);
cond_init(cond);
```

Thread A:

```
…
mutex_wait(mutex);
cond_wait(cond, mutex);
mutex_unlock(mutex);
…
// do some work A
…
```

Thread B:

```
…
// do some work B
…
cond_signal(cond);
…
```

Vzájomné vylučovanie

- Ak B signalizuje skôr ako A - uviaznutie

Init:

```
mutex_init(mutex);
cond_init(cond);
work_B_done = FALSE;
```

Thread A:

```
…
mutex_wait(mutex);
if (! work_B_done)
   cond_wait(cond, mutex);
mutex_unlock(mutex);
…
// do some work A
…
```

Thread B:

```
…
// do some work B
…
mutex_wait(mutex);
work_B_done = TRUE;
cond_signal(cond);
mutex_unlock(mutex);
…
```

Vzájomné vylučovanie

- if (! work_B_done) cond_wait(cond, mutex); - nestačí if
- while (! work_B_done) cond_wait(cond, mutex); - správna konštrukcia

- "Spurious Wakeups" – „falošné prebudenie“
  - cond_wait(cond,mutex) môže skončiť aj keď podmienená premenná nebola signalizovaná
  - Dôsledok náročnosti implementácie v multiprocesorovom poč. systéme
- Správny štýl programovania
  - Po obdržaní mutexu môže byť už podmienka neplatná

Zabezpečenie poradia vykonávania - signalizácia

- Správne riešenie:

Init:

```
mutex_init(mutex);
cond_init(cond);
work_B_done = FALSE;
```

Thread A:

```
…
mutex_lock(mutex);
while (! work_B_done)
   cond_wait(cond, mutex);
mutex_unlock(mutex);
…
// do some work A
…
```

Thread B:

```
…
// do some work B
…
mutex_lock(mutex);
work_B_done = TRUE;
cond_signal(cond);
mutex_unlock(mutex);
…
```

Synchronizačné primitívy

- Základné synchronizačné konštrukcie
- Je možné vybudovať zložitejšie konštrukcie

- Vzájomné vylučovanie + signalizácia
  - Mutexy + podmienené premenné
  - Semafóry

Multiplex (Downey)

- Iba stanovený počet úloh v „kritickej oblasti“
- Semafóry:

Init:

```
sem_init(sem, N);
```

Thread A:

```
sem_wait(sem);
...
// critical section A
...
sem_signal(sem);
```

Thread B:

```
sem_wait(sem);
...
// critical section B
...
sem_signal(sem);
```

Thread C:

```
sem_wait(sem);
...
// critical section C
...
sem_signal(sem);
```

Multiplex

- Pthreads:

Init:

```
mutex_init(mutex)
cond_init(cond)
count := N;
```

Thread A :

```
mutex_lock(mutex)
if count == 0 then
   cond_wait(cond, mutex)
count = count – 1
…
// critical section A
…
count = count + 1
if count == 1 then
   cond_signal(cond)
mutex_unlock()
```

Thread B :

```
mutex_lock(mutex)
if count == 0 then
   cond_wait(cond, mutex)
count = count – 1
…
// critical section B
…
count = count + 1
if count == 1 then
   cond_signal(cond)
mutex_unlock()
```

Thread C :

```
mutex_lock(mutex)
if count == 0 then
   cond_wait(cond, mutex)
count = count – 1
…
// critical section C
…
count = count + 1
if count == 1 then
   cond_signal(cond)
mutex_unlock()
```

Multiplex

- Iba jedno vlákno pristupuje do „kritickej sekcie“
- Potreba uvoľňovať mutex
- Falošné zobudenia – použiť „while“ cyklus

- Nestačí volať cond_sigal iba keď count==0, viaceré vlákna pri odchode zo sekcie musia signalizovať

Multiplex (správne riešenie)

multiplex_init(multiplex,N)

```
mutex_init(mutex)
cond_init(cond)
count := N;
```

multiplex_lock(multiplex) :

```
mutex_lock(mutex);
while (count == 0)
    cond_wait(cond, mutex);
count = count – 1;
mutex_unlock(mutex);
```

multiplex_unlock(multiplex) :

```
mutex_lock(mutex);
count = count + 1;
cond_signal(cond);
mutex_unlock()
```

Bariéra

- Bod stretnutia
- Kritický bod

- Žiadne vlákno neprejde cez kritický bod skôr ako všetky vlákna nedosiahnu bod stretnutia

Bariéra

Init:

```
sem_init(mutex, 1);
sem_init(barrier, 0);
count := 0;
n;
```

Thread:

```
sem_wait(mutex);
count := count + 1;
sem_signal(mutex);

if (count == n) sem_signal(barrier);

sem_wait(barrier);

// critical point
```

Bariéra

- Iba jedno vlákno prejde cez bariéru, ostatné uviaznú
- Vždy?

Bariéra

Init:

```
sem_init(mutex, 1);
sem_init(barrier, 0);
count := 0;
n;
```

Thread:

```
sem_wait(mutex);
count := count + 1;
sem_signal(mutex);

if (count == n) sem_signal(barrier);

sem_wait(barrier);
sem_signal(barrier);

// critical point
```

Bariéra

- Problém odstránený
- Bariéra funkčná
- Prístup k premennej „count“ mimo kritickej oblasti

Bariéra

Init:

```
sem_init(mutex, 1);
sem_init(barrier, 0);
count := 0;
n;
```

Thread:

```
sem_wait(mutex);
count := count + 1;

if (count == n) sem_signal(barrier);

sem_wait(barrier);
sem_signal(barrier);
sem_signal(mutex);

// critical point
```

Bariéra

- Chyba – uviaznutie
- Častá chyba – Čakanie na semafór + uzamknutý mutex

Bariéra (správne riešenie)

Init:

```
sem_init(mutex, 1);
sem_init(barrier, 0);
count := 0;
n;
```

Thread:

```
sem_wait(mutex);
count := count + 1;

if (count == n) sem_signal(barrier);
sem_signal(mutex);

sem_wait(barrier);
sem_signal(barrier);

// critical point
```

Turniket

- Vzor „Turniket“ (Turnstile)
  - Turniket je zařízení, které funguje jako brána, kterou může v jednu chvíli projít pouze jeden člověk. Turnikety byly původně používány jako jiný druh ohrady, který měl dovolit průchod lidem, ale zabránit ovcím a jiným zvířatům ohradu opustit. Dnes se používají zejména usměrnění pohybu lidí. (Zdroj: wikipedia)

Turniket

Init:

sem_init(turnstile,1)

Threads:

sem_wait(turnstile)
sem_signal(turnstile)

Control thread:

sem_wait(turnstile) - vypnutie turniketu
sem_signal(turnstile) - zapnutie turniketu

Znovupoužiteľná bariéra

- Bariéra - správne riešenie ale chceme znovupoužiteľnú bariéru
- Vlákna vykonávajú prácu v cykle

Threads:

```
while(do_loop) {

    // some task

    barrier();
}
```

Znovupoužiteľná bariéra

Init:

```
sem_init(mutex, 1);
sem_init(turnstile, 0);
count := 0;
n;
```

Thread:

```
sem_wait(mutex);
count := count + 1;
sem_signal(mutex);

if (count == n) sem_signal(turnstile);

sem_wait(turnstile);
sem_signal(turnstile);

// critical point

sem_wait(mutex);
count := count - 1;
sem_signal(mutex);

if (count == 0) sem_wait(turnstile);
```

Znovupoužiteľná bariéra

- Možné viacnásobné signalizovanie semafóra „turnstile“
- Všetky vlákna môžu teoreticky signalizovať semafór „turnstile“

Znovupoužiteľná bariéra

Init:

```
sem_init(mutex, 1);
sem_init(turnstile,0);
count := 0;
n;
```

Thread:

```
sem_wait(mutex);
count := count + 1;
if (count == n) sem_signal(turnstile);
sem_signal(mutex);

sem_wait(turnstile);
sem_signal(turnstile);

// critical point

sem_wait(mutex);
count := count - 1;
if (count == 0) sem_wait(turnstile);
sem_signal(mutex);
```

Znovupoužiteľná bariéra

- Vlákno po prechode cez bariéru, vykoná prácu a znovu môže prejsť cez bariéru

Znovupoužiteľná bariéra (správne riešenie)

```
Init:
   sem_init(mutex, 1);
   sem_init(turnstile1, 0);
   sem_init(turnstile2, 1);
   count := 0;
   n;

Thread:
   sem_wait(mutex);
   count := count + 1;
   if (count == n) {
      sem_signal(turnstile1);
      sem_wait(turnstile2);
   }
   sem_signal(mutex);

   sem_wait(turnstile1);
   sem_signal(turnstile1);
```

```
// critical point

sem_wait(mutex);
count := count - 1;
if (count == 0) {
   sem_signal(turnstile2);
   sem_wait(turnstile1);
}
sem_signal(mutex);

sem_wait(turnstile2)
sem_signal(turnstile2)
```

Bariéra

- Riešenie s použitím Pthreads prostriedkov
- Mutex
- Podmienené premenné

Bariéra

```
Init:
   mutex_init(mutex);
   cond_init(cond);
   count := 0;
   n;

Thread:
   mutex_lock(mutex);
   count := count + 1;
   mutex_unlock(mutex);

   if (count == n) {
      cond_signal(cond);
   }

   cond_wait(cond, mutex);
   mutex_unlock(mutex);

   // critical point
```

Bariéra

- Iba jedno vlákno je prebudené a prejde bariérou
- Nesprávna práca s podmienenou premennou
- Ošetrenie prístupu k premennej „count“

Bariéra

Init:

```
mutex_init(mutex);
cond_init(cond);
count := 0;
n;
```

Thread:

```
mutex_lock(mutex);
count := count + 1;
mutex_unlock(mutex);

if (count == n)
    cond_broadcast(cond);

cond_wait(cond, mutex);
mutex_unlock(mutex);


// critical point
```

Thread:

```
mutex_lock(mutex);
count := count + 1;
mutex_unlock(mutex);

if (count == n)
    cond_signal(cond);

cond_wait(cond, mutex);
cond_signal(cond);
mutex_unlock(mutex);

// critical point
```

Bariéra

- Signály sa nezachovávajú pre nasledujúce použitie
- Uviaznutie
- Nesprávna práca s podmienenou premennou
- Ošetrenie prístupu k premennej „count“

Bariéra (správne riešenie)

```
Init:
    mutex_init(mutex);
    cond_init(cond);
    count := 0;
    n;

Thread:
    mutex_lock(mutex);
    count := count + 1;

    if (count == n)
        cond_broadcast(cond);
    else
        while (count != n)
            cond_wait(cond, mutex);


    mutex_unlock(mutex);

    // critical point
```

Znovupoužiteľná bariéra

- Vlákna vykonávajú prácu v cykle

Znovupoužiteľná bariéra (správne riešenie)

```
Init:
    mutex_init(mutex);
    cond_init(cond);
    count := 0;
    in_barrier := FALSE;
    n;

Thread:
    mutex_lock(mutex);
    count := count + 1;
    if (count == n) {
       in_barrier := TRUE;
       cond_broadcast(cond);
    }
    else
        while (!in_barrier) cond_wait(cond, mutex);

    count := count - 1;
    if (count == 0) {
       in_barrier := FALSE;
       cond_broadcast(cond);
    }
    else
        while (in_barrier) cond_wait(cond, mutex);
    mutex_unlock(mutex);

    // critical point
```

FIFO Mutex

- Mutex, Semafór – nie je určené, ktoré vlákna budú po signalizácií prebudené
- Implementácia FIFO dát. štruktúry - frontu
- Prebúdzanie vlákna na čele frontu

FIFO Mutex (správne riešenie)

Init:

```
sem_init(mutex, 1);
fifo_init(fifo);
```

Thread_init:

```
sem_init(mysem,0);
```

Thread:

```
fifomutex_lock()
    sem_wait(mutex);
    if (fifo_isempty())  {
        fifo_add(mysem);
        sem_signal(mutex);
    }
    else {
        fifo_add(mysem);
        sem_signal(mutex);
        sem_wait(mysem);
    }
```

```
fifomutex_unlock()
    sem_wait(mutex);
    fifo_remove();
    if (!fifo_isempty())  {
        sem = fifo_top();
        sem_signal(sem);
    }
    sem_signal(mutex);
```

FIFO Mutex

Init:

```
mutex_init(mutex);
fifo_init(fifo);
for (i=0; i<n; i++) cond_init(cond[i]);
```

Thread_init:

```
tid
```

Thread:

```
fifomutex_lock()
    mutex_lock(mutex);
    if (!fifo_isempty()) {
        fifo_add(cond[tid]);
        while (fifo_top() !=cond[tid])
            cond_wait(cond[tid], mutex);
        fifo_remove();
    }
```

```
fifomutex_unlock()
    if (!fifo_isempty())
        cond_signal(fifo_top());
    mutex_unlock(mutex);
```

FIFO Mutex

- Iba jedno vlákno sa dostane za mutex
- Vo fronte ziadna hodnota

FIFO Mutex (správne riešenie)

Init:

```
mutex_init(mutex);
fifo_init(fifo);
for (i=0; i<n; i++) cond_init(cond[i]);
```

Thread_init:

```
tid
```

Thread:

```
fifomutex_lock()
    mutex_lock(mutex);
    fifo_add(cond[tid]);
    while (fifo_top() != cond[tid])
        cond_wait(cond[tid], mutex);
    mutex_unlock(mutex);
```

```
fifomutex_unlock()
    mutex_lock(mutex);
    fifo_remove();
    if (!fifo_isempty())
        cond_signal(fifo_top());
    mutex_unlock(mutex);
```

Producers - Consumers

- Producenti a konzumenti

- Producenti vytvárajú položky a umiestňujú ich do dátových štruktúr
- Konzumenti vyberajú položky z dátových štruktúr a spracovávajú ich

Producers - Consumers

- Synchronizačné obmedzenia
- Dátová štruktúra – bufer – je počas zapisovania alebo čítania položky v nekonzistentnom stave
- Keď v dát. štruktúre nie je žiadna položka, prípadný konzument začne čakať

Producers - Consumers

Init:

```
sem_init(mutex, 1);
sem_init(items, 0);
fifo_init(buffer);
```

Thread Producer:

```
item = produce_item();

sem_wait(mutex);
buffer_add(item);
sem_signal(items);
sem_signal (mutex);
```

Thread Consumer:

```
sem_wait(items);
sem_wait(mutex);
item = fifo_remove();
sem_signal(mutex);

process_item(item);
```

Producers - Consumers

- Drobné zlepšenie v Producer vláknach
- Consumer je okamžite zablokovaný na semafóre „mutex“ ak Producer signalizuje cez semafór „items“
- Zobúdzanie a uspávanie vlákien – drahé operácie

Producers - Consumers (správne riešenie)

Init:

```
sem_init(mutex,1);
sem_init(items,0);
fifo_init(buffer);
```

Thread Producer:

```
item = produce_item();

sem_wait(mutex);
buffer_add(item);
sem_signal (mutex);
sem_signal(items);
```

Thread Consumer:

```
sem_wait(items);
sem_wait(mutex);
item = fifo_remove ();
sem_signal(mutex);

process_item(item);
```

Producers - Consumers (správne riešenie)

Init:

```
mutex_init(mutex);
cond_init(cond);
fifo_init(buffer);
```

Thread Producer:

```
item = produce_item();

mutex_lock(mutex);
fifo_addItem(buffer, item);
cond_signal(cond);
mutex_unlock(mutex);
```

Thread Consumer:

```
mutex_lock(mutex);
while (fifo_isEmpty(buffer) {
    cond_wait(cond, mutex);
}
item = fifo_removeItem(buffer)
mutex_unlock(mutex);

process_item(item);
```

Producers - Consumers, veľkosť buffer-a obmedzená (správne riešenie)

Init:

```
mutex_init(mutex);
cond_init(cond_full);
cond_init(cond_empty);
fifo_init(buffer);
```

Thread Producer:

```
item = produce_item();

mutex_lock(mutex);
while (fifo_isFull(buffer) {
    cond_wait(cond_full, mutex);
}
fifo_addItem(buffer, item);
cond_signal(cond_empty);
mutex_unlock(mutex);
```

Thread Consumer:

```
mutex_lock(mutex);
while (fifo_isEmpty(buffer) {
    cond_wait(cond_empty, mutex);
}

item = fifo_removeItem(buffer)
cond_signal(cond_full);
mutex_unlock(mutex);

process_item(item);
```

Readers- Writers

- Čitatelia – pisatelia
- Čitatelia čítajú z „kritickej oblasti“
- Pisatelia zapisujú do kritickej oblasti
- Viacerí čitatelia môžu súbežne čítať
- Iba jeden pisateľ môže zapisovať (nikto iný nemôže ani čítať ani zapisovať)

Readers- Writers

Init:

```
sem_init(mutex,0);
sem_init(room_empty,1);
count = 0;
```

Thread Reader:

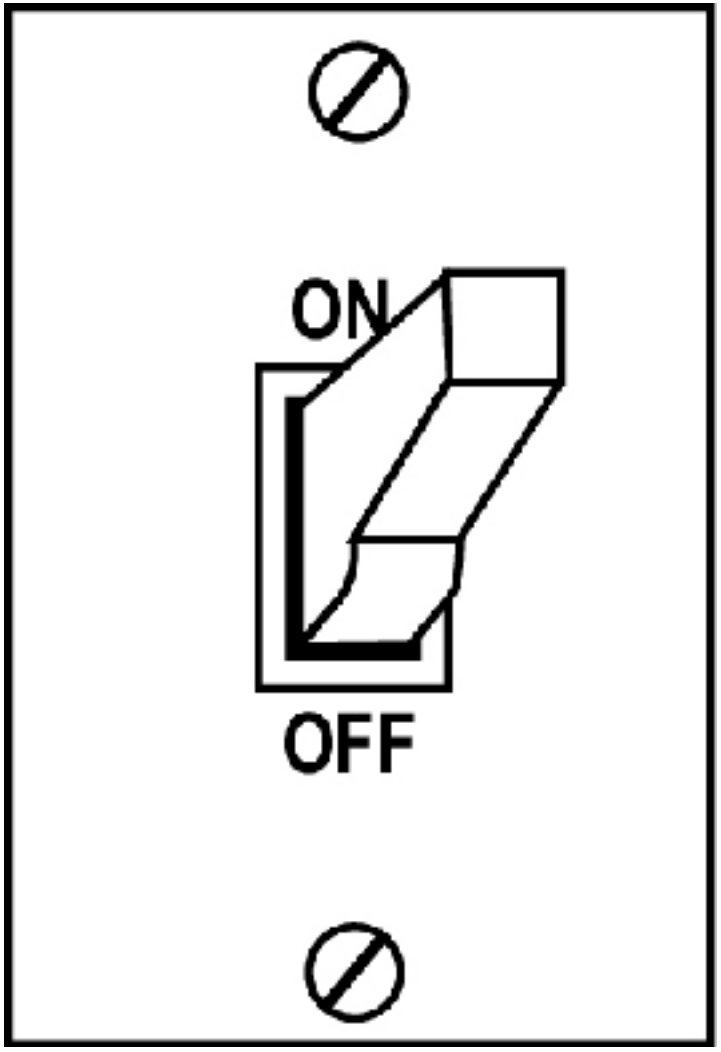
```
sem_wait(mutex);
if (count == 0) sem_wait(room_empty);
count ++;
sem_signal(mutex);
…
// reading
…
sem_wait(mutex);
count --;
if (count == 0) sem_signal(room_empty);
sem_signal(mutex);
```

Thread Writer:

```
sem_wait(room_empty);
…
// writing
…
sem_signal(room_empty);
```

Vypínač

- Vzor „Vypínač“ (Lightswitch)
  - Vypínač svetla v miestnosti, prvý človek, ktorý vojde do miestnosti ho zapne a posledný človek, ktorý vychádza z miestnosti ho vypne.



Vypínač

Init:

```
sem_init(mutex,1) ;
counter :=0;
```

Threads:

```
lightswitch_lock(sem)
    sem_wait(mutex)
    if (counter == 0) sem_wait(sem)
    counter ++;
    sem_signal(mutex)

lightswitch_unlock(sem)
    sem_wait(mutex)
    counter --;
    if (counter == 0) sem_signal(sem)
    sem_signal(mutex)
```

Readers- Writers (správne riešenie, readers preference)

Init:

```
sem_init(room_empty,1);
lightswitch_init(lswitch);
```

Thread Reader:

```
lightswitch_lock(lswitch,room_empty)
…
// reading
…
lightswitch_unlock(lswitch,room_empty)
```

Thread Writer:

```
sem_wait(room_empty);
…
// writing
…
sem_signal(room_empty);
```

Readers- Writers

- Pisatelia čakajú, pokiaľ je v oblasti nejaký čitateľ
- Čitatelia môžu spôsobiť, že pisatelia sa nedostanú do „kritickej oblasti“
- Vyhladovanie - Starvation

Readers- Writers

Init:

```
sem_init(room_empty,1);
lightswitch_init(lswitch);
sem_init(turnstile,1);
```

Thread Reader:

```
sem_wait(turnstile);
sem_signal(turnstile);

lightswitch_lock(lswitch,room_empty)
…
// reading
…
lightswitch_unlock(lswitch,room_empty)
```

Thread Writer:

```
sem_wait(turnstile);
…
// writing
…
sem_signal(turnstile);
```

Readers- Writers

- Zapisovateľ vypne turniket aby čitatelia nemohli vstúpiť do „kritickej oblasti“
- Nepočká, kým všetci čitatelia odídu

Readers- Writers (správne riešenie, rovnováha)

Init:

```
sem_init(room_empty,1);
lightswitch_init(lswitch);
sem_init(turnstile,1);
```

Thread Reader:

```
sem_wait(turnstile);
sem_signal(turnstile);

lightswitch_lock(lswitch, room_empty)
…
// reading
…
lightswitch_unlock(lswitch,room_empty)
```

Thread Writer:

```
sem_wait(turnstile);
sem_wait(room_empty);
…
// writing
…
sem_signal(room_empty);
sem_signal(turnstile);
```

Readers- Writers

- 1st Readers – Writers Problem
  - Readers Preference – uprednostnenie čitateľov
  - Viacerí čitatelia môžu čítať
  - Vyhladovanie pisateľov
- 2nd Readers – Writers Problem
  - Writers Preference – uprednostnenie pisateľov
  - Pisateľ nesmie čakať dlhšie ako je nevyhnutné
  - Vyhladovanie čitateľov
- 3rd Readers – Writers Problem - rovnováha

Readers- Writers (správne riešenie, writers preference)

Init:

```
sem_init(hall_empty,1);
lightswitch_init(hall_lswitch);

sem_init(room_empty,1);
lightswitch_init(room_lswitch);
```

Thread Reader:

```
sem_wait(hall_empty);
lightswitch_lock(room_lswitch, room_empty);
sem_signal(hall_empty);
…
// reading
…
sem_wait(hall_empty);
lightswitch_unlock(room_lswitch, room_empty);
sem_signal(hall_empty);
```

Thread Writer:

```
lightswitch_lock(hall_lswitch, hall_empty);
sem_wait(room_empty);
…
…
// writing
…
…
sem_signal(room_empty);
lightswitch_unlock(hall_lswitch, hall_empty);
```

Readers- Writers (správne riešenie)

Pthreads – Readers Preference

Init:

```
mutex_init(mutex);
cond_init(cond);
count =0;
```

Thread Reader:

```
mutex_lock(mutex);
count ++;
mutex_unlock(mutex);
…
// reading
…
mutex_lock(mutex);
count --;
if (count == 0) cond_broadcast(cond);
mutex_unlock(mutex);
```

Thread Writer:

```
mutex_lock(mutex);
while (count != 0) cond_wait(cond, mutex);
…
// writing
…
mutex_unlock(mutex);
```

Readers- Writers

Pthreads – Writers Preference

Init:

```
mutex_init(mutex);
cond_init(r_cond); count =0;
cond_init(w_cond); is_writer = FALSE;
```

Thread Reader:

```
mutex_lock(mutex);
while (is_writer) cond_wait(w_cond, mutex);
count ++;
mutex_unlock(mutex);
…
// reading
…
mutex_lock(mutex);
count --;
if (count == 0) cond_signal(r_cond);
mutex_unlock(mutex);
```

Thread Writer:

```
mutex_lock(mutex);
while (count != 0) cond_wait(r_cond, mutex);
is_writer = TRUE;
mutex_unlock(mutex);
…
// writing
…
mutex_lock(mutex);
is_writer = FALSE;
cond_signal(w_cond);
mutex_unlock(mutex);
```

Readers- Writers

- Uprednostnenie pisateľov – pisateľ, skôr ako začne čakať musí „upovedomiť“ čitateľov
  - is_writer = TRUE pred while() cond_wait
- Posledný pisateľ odchádza – ktorý je posledný?
  - počítať si pisateľov
- Ochrana oblasti pred viacerými pisateľmi
  - Ochrana mutexom
- Zobúdzanie všetkých čakajúcich
  - cond_broadcast namiesto cond_signal

Readers- Writers (správne riešenie)

Pthreads – Writers Preference

Init:

```
mutex_init(mutex); mutex_init(w_mutex);
cond_init(r_cond); r_count = 0;
cond_init(w_cond); w_count = 0;
```

Thread Reader:

```
mutex_lock(mutex);
while (w_count!=0) cond_wait(w_cond, mutex);
r_count ++;
mutex_unlock(mutex);

...
// reading
...

mutex_lock(mutex);
r_count --;
if (w_count == 0) cond_broadcast(r_cond);
mutex_unlock(mutex);
```

Thread Writer:

```
mutex_lock(mutex);
w_count ++;
while (r_count != 0) cond_wait(r_cond, mutex);
mutex_unlock(mutex);

mutex_lock(w_mutex);
// writing
mutex_unlock(w_mutex);

mutex_lock(mutex);
w_count --;
cond_broadcast(w_cond);
mutex_unlock(mutex);
```

Readers- Writers

- Symetrické riešenia?

Thread Reader:

A – pôvodné riešenie

```
mutex_lock(mutex);
while (w_count!=0) cond_wait(w_cond, mutex);
r_count ++;
mutex_unlock(mutex);
```

B – r_count pred while

```
mutex_lock(mutex);
r_count ++;
while (w_count!=0) cond_wait(w_cond, mutex);
mutex_unlock(mutex);
```

C – w_count za while

```
mutex_lock(mutex);
while (w_count!=0) cond_wait(w_cond, mutex);
r_count ++;
mutex_unlock(mutex);
```

Thread Writer:

```
mutex_lock(mutex);
w_count ++;
while (r_count != 0) cond_wait(r_cond, mutex);
mutex_unlock(mutex);
```

```
mutex_lock(mutex);
w_count ++;
while (r_count != 0) cond_wait(r_cond, mutex);
mutex_unlock(mutex);
```

```
mutex_lock(mutex);
while (r_count != 0) cond_wait(r_cond, mutex);
w_count ++;
mutex_unlock(mutex);
```

Readers- Writers

- Riešenia preferencie

Thread Reader:

A – writers preference

```
mutex_lock(mutex);
while (w_count!=0) cond_wait(w_cond, mutex);
r_count ++;
mutex_unlock(mutex);
```

C – no starving

```
mutex_lock(mutex);
while (w_count!=0) cond_wait(w_cond, mutex);
r_count ++;
mutex_unlock(mutex);
```

D – readers preference

```
mutex_lock(mutex);
r_count ++;
while (w_count!=0) cond_wait(w_cond, mutex);
mutex_unlock(mutex);
```

Thread Writer:

```
mutex_lock(mutex);
w_count ++;
while (r_count != 0) cond_wait(r_cond, mutex);
mutex_unlock(mutex);
```

```
mutex_lock(mutex);
while (r_count != 0) cond_wait(r_cond, mutex);
w_count ++;
mutex_unlock(mutex);
```

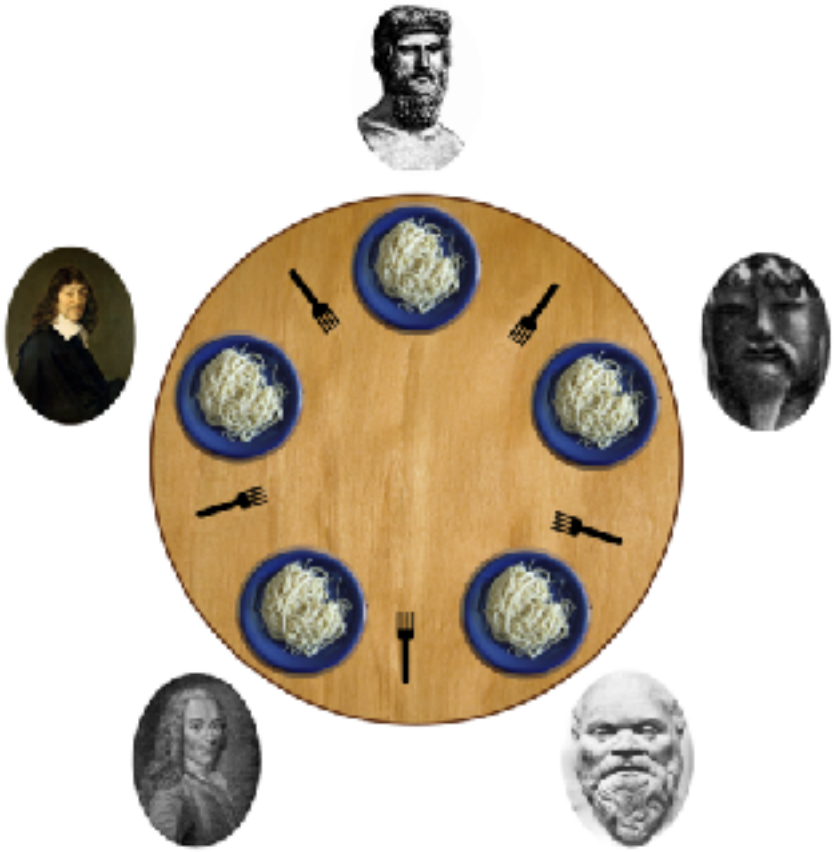
```
mutex_lock(mutex);
while (r_count != 0) cond_wait(r_cond, mutex);
w_count ++;
mutex_unlock(mutex);
```

Synchronizácia

- Súťaženie - Race Hazard, Race Condition
- Uviaznutie – Deadlock
- Vyhladovanie – Starvation

Dining Philosophers

```
while (true) {
    think();
    eat();
}
```



Dining Philosophers

- Filozof striedavo myslí a je
- Ak chce myslieť – žiaden problém
- Ak chce jesť potrebuje paličku (chopstick) po svojej pravej aj ľavej strane
- Iba jeden filozof môže mať paličku v danej chvíli

Dining Philosophers

- Nesmie nastať uviaznutie
- Nesmie nastať vyhladovanie
- Čas čakania na jedenie (koniec myslenia a začiatok jedenia) – čas blokovania nech je minimálny
- Spravodlivý prístup k jedlu

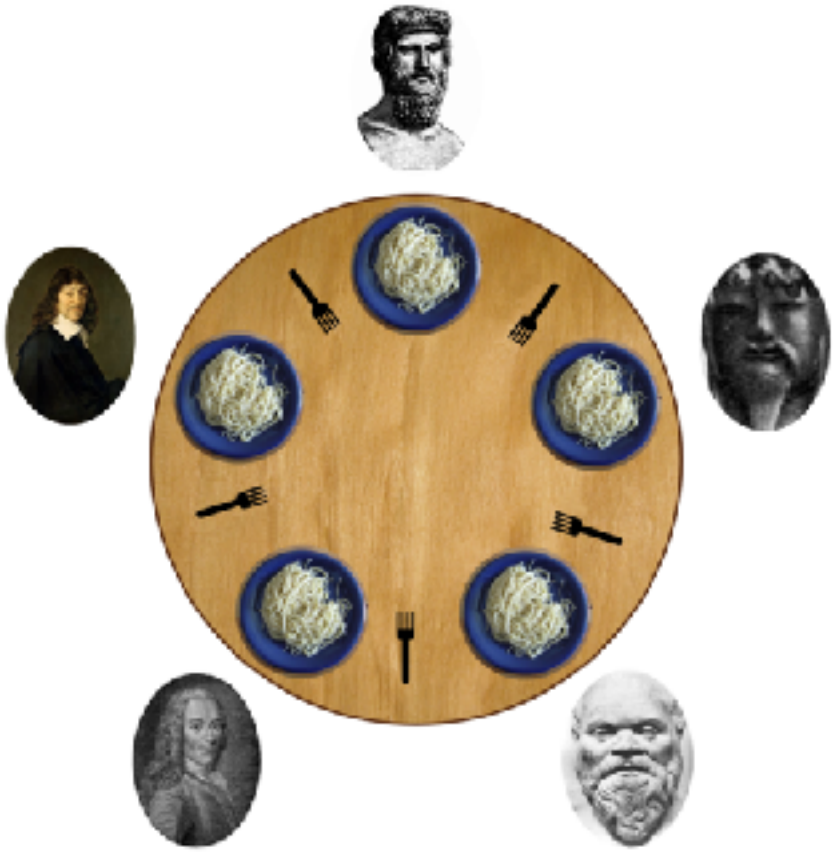
Dining Philosophers

```
while (true) {

    think();

    get_forks();
    eat();
    put_forks();

}
```



Dining Philosophers

Init:

```
for (i=0;i<5;i++) sem_init(forks[i],1);
```

Thread Philosopher Init:

```
tid
left = tid
right = (tid+1) % 5
```

Thread Philosopher:

```
get_forks()
   sem_wait(forks[right]);
   sem_wait(forks[left]);

put_forks()
   sem_signal(forks[right]);
   sem_signal(forks[left]);
```

Dining Philosophers

- Jedna palička pre jedného filozofa – OK
- Môže nastať uviaznutie

Dining Philosophers

- Blokovanie celého stola
- Dlhý čas čakania na jedenie

Dining Philosophers

Init:

```
sem_init(table,1);
```

Thread Philosopher Init:

Thread Philosopher:

```
get_forks()
   sem_wait(table);

put_forks()
   sem_signal(table);
```

Dining Philosophers

- Narušenie symetrie – jeden filozof ľavák
- Sused ľaváka – najlepšie šance získať paličku – nespravodlivé riešenie

Dining Philosophers

Init:

```
for (i=0; i<5; i++) sem_init(forks[i],1);
```

Thread Philosopher Init:

```
tid
left = tid
right = (tid+1) % 5
```

Thread Philosopher:

```
get_forks()
   sem_wait(forks[right]);
   sem_wait(forks[left]);

put_forks()
   sem_signal(forks[right]);
   sem_signal(forks[left]);
```

Thread s tid=0 Philosopher Leftie:

```
get_forks()
   sem_wait(forks[left]);
   sem_wait(forks[right]);

put_forks()
   sem_signal(forks[left]);
   sem_signal(forks[right]);
```

Dining Philosophers

- Ak povolíme iba 4 filozofov, aby sa snažili získať paličky, uviaznutie nenastane
- Obsluha („Footman“) obsluhuje iba 4 filozofov

Dining Philosophers

Init:

```
sem_init(footman,4);
for (i=0; i<5; i++) sem_init(forks[i],1);
```

Thread Philosopher Init:

```
tid
left = tid
right = (tid+1) % 5
```

Thread Philosopher:

```
get_forks()
   sem_wait(footman);
   sem_wait(forks[right]);
   sem_wait(forks[left]);

put_forks()
   sem_signal(forks[right]);
   sem_signal(forks[left]);
   sem_signal(footman);
```

Zdroje

- Allen B. Downey. The Little Book of Semaphores
- Linux Man Pages. sem_overview