

# 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 ( $i=0; i < 10000000; i++$ )  $x := x + 1$ ;
  - Thread 2: for ( $i=0; i < 10000000; i++$ )  $x := x - 1$ ;

---

# 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 multiprocessorovom 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 ovčím 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
```

---

# Znovupoužitelná bariéra

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

**Threads:**

```
while(do_loop) {  
  
    // some task  
  
    barrier();  
}
```

# Znovupoužitelná 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);
```

---

# Znovupoužitelná bariéra

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

# Znovupoužitelná 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);
```

---

# Znovupoužitelná bariéra

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

# Znovupoužitelná 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
  - Ošetrovanie 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
```

---

# Znovupoužitelná bariéra

- Vlákna vykonávají práci v cykle

# Znovupoužitelná 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);  
  
// critical point  
  
count := count - 1;  
if (count == 0)  
    cond_broadcast(cond);  
else  
    while (count != 0) cond_wait(cond, mutex);  
mutex_unlock(mutex);
```



---

# FIFO Mutex

- Mutex, Semafor – nie je určené, ktoré vlákna budú po signalizácii 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 žiadna 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);
```

---

# 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:**

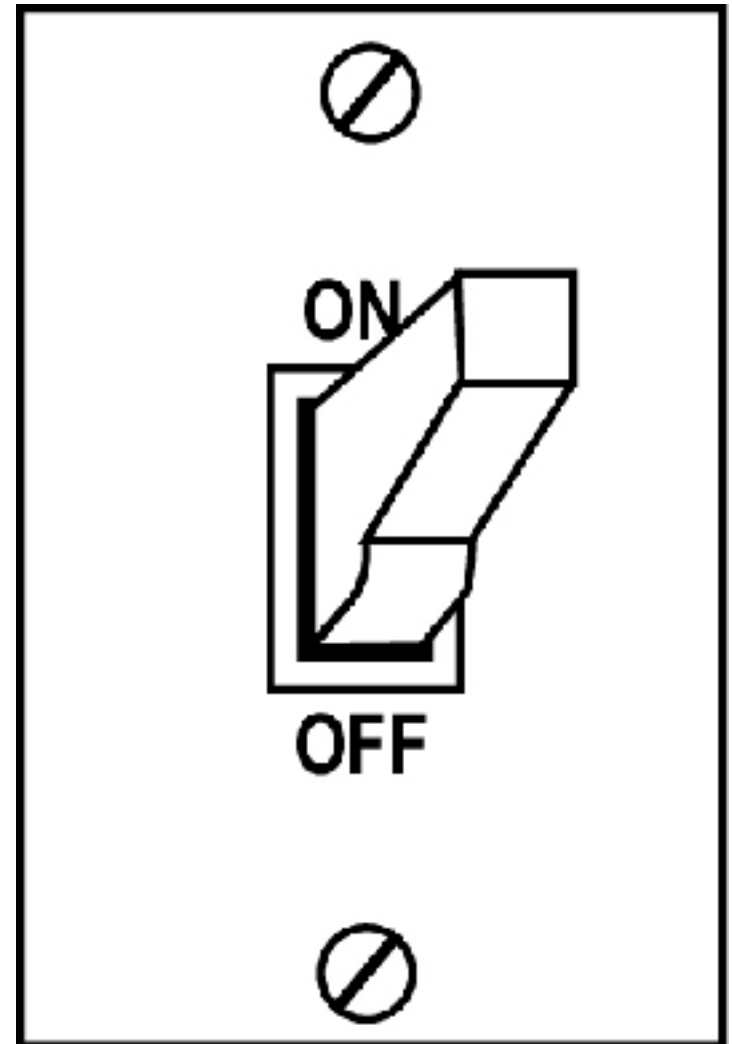
```
sem_wait(&mutex);  
if (count == 0) sem_wait(&room_empty);  
count ++;  
sem_signal(&mutex);  
...  
// reading  
...  
sem_wait(&mutex);  
count --;  
if (count == 0) sem_signal(&room_empty);  
sem_signal(&mutex);
```

## **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
  - ❑ Vyhľadovanie pisateľov
- 2nd Readers – Writers Problem
  - ❑ Writers Preference – uprednostnenie pisateľov
  - ❑ Pisateľ nesmie čakať dlhšie ako je nevyhnutné
  - ❑ Vyhľadovanie 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?
  - ❑ počítat' 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);
```

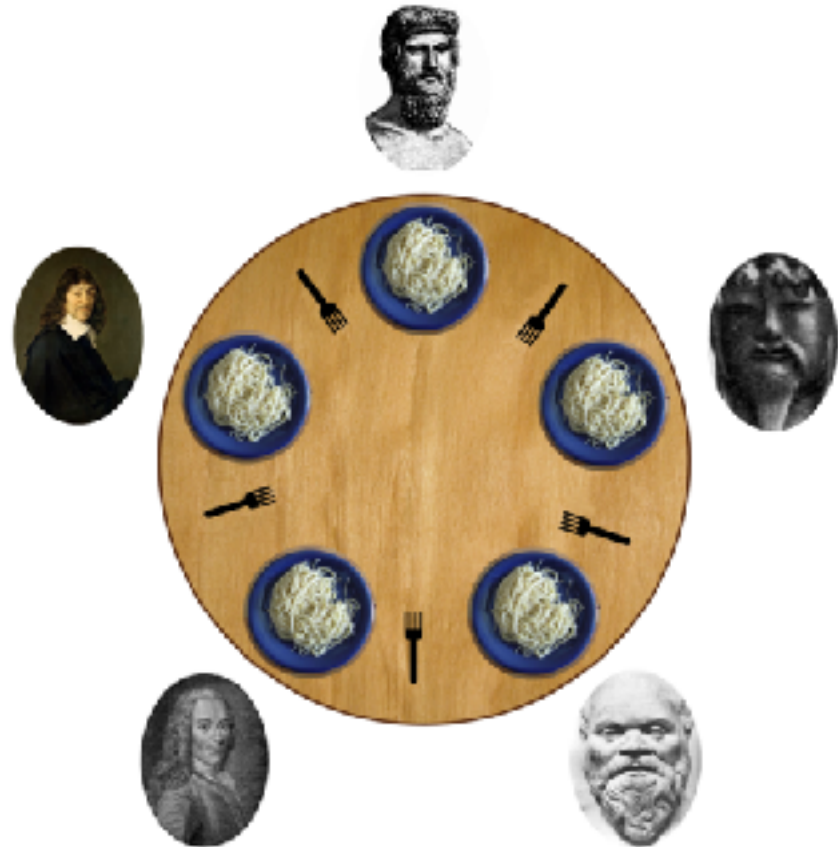
---

# 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 mysliet' – žiaden problém
- Ak chce jesť potrebuje paličku (chopstick) po svojej pravej aj ľavej strane
- Iba jeden filozof môže mať paličku v danej chvíli

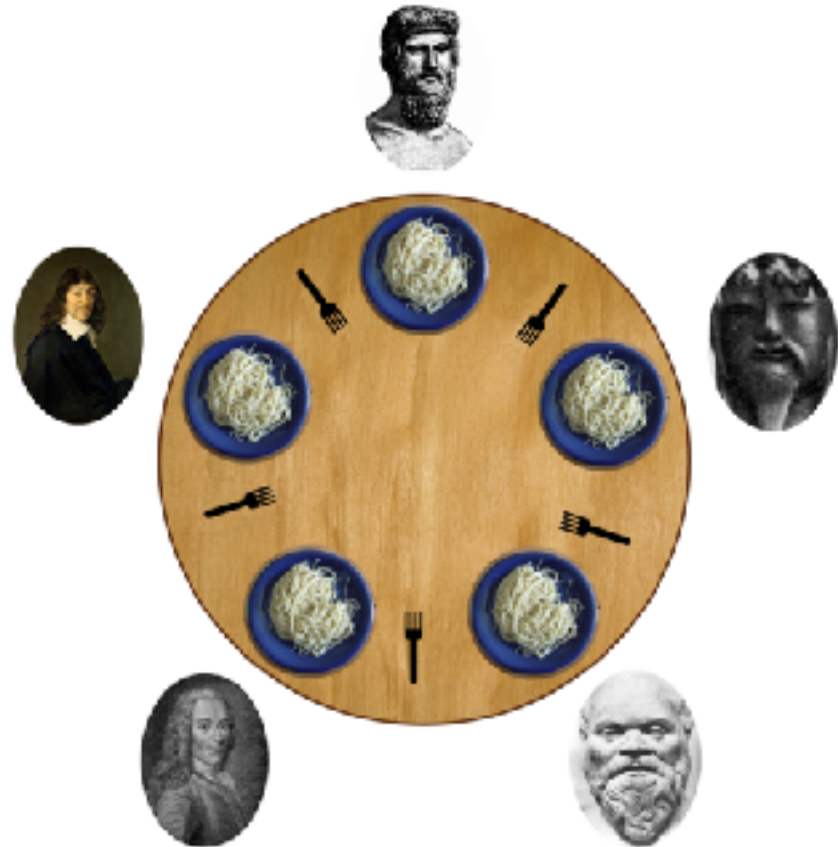
---

# 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`