Operacijski sistemi

Sinhronizacija procesov

Jurij Mihelič, FRI, Uni LJ

Vsebina

- Ključavnica
- Problem proizvajalci-porabniki
- Pogojna spremenljivka
- Problem bralci pisalci
- Bralno-pisalna ključavnica
- Semafor
- Monitor

Ključavnica

mutual exclusion

- Ključavnica (lock, mutex)
  - mehanizem **zaklepanja**
    - dve stanji: odklenjeno in zaklenjeno
    - niti, ki zaklene ključavnico, si jo lasti (jo drži)
      - dvojno zaklepanje (ista nit) ni definirano (napaka, ignoriranje, smrtni objem)
    - le ena nit si lahko sočasno lasti ključavnico
    - nit, ki zaklene ključavnico, jo lahko tudi odklene
      - odklepanje ključavnice, ki jo drži druga nit, ni definirano
  - uporaba
    - vzajemno izključevanje na kritičnih odsekih

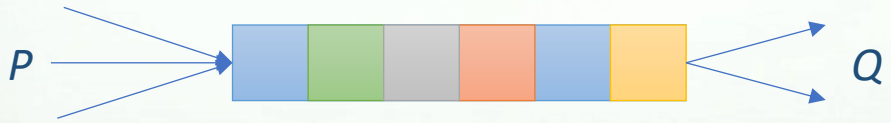
Ključavnica

- Uporaba
  - operacija: zakleni (lock, acquire)
    - če je ključavnica odklenjena, potem jo zaklene
    - sicer čaka na odklenjeno ključavnico
  - operacija: odkleni (unlock, release)
    - odklene zaklenjeno (ista nit) ključavnico

```
pthread_mutex_t m = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

pthread_mutex_lock(&m);
// kritični odsek
pthread_mutex_unlock(&m);
```

Problem proizvajalci-porabniki

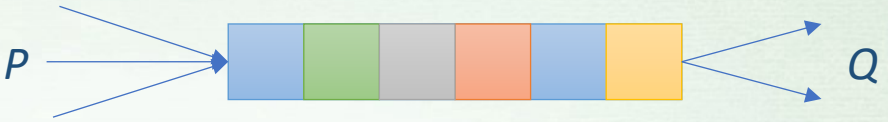
- Proizvajalci-porabniki
  - dana sta dva ali več sočasnih procesov
  - dve vrsti procesov
    - proizvajalec *P* proizvaja podatke
    - porabnik *Q* porablja podatke
  - komunikacija poteka preko *souporabe* vrste
    - pojav **tveganega stanja** pri sočasnem dostopu do vrste
    - omejena ali neomejena kapaciteta vrste



Kako razrešiti tvegano stanje?

Problem proizvajalci-porabniki

- Rešitev z zaklepanjem




```
pthread_mutex_t m = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
queue_t q = ...;
```

proizvajalec P

```
data = produce_data()
pthread_mutex_lock(&m)
q.enqueue(data)
pthread_mutex_unlock(&m)
```

porabnik Q

```
while true do
    if not queue.empty then
        pthread_mutex_lock(&m)
        q.dequeue(data)
        pthread_mutex_unlock(&m)
        consume_data(data)
    else nothing
done
```

Problem proizvajalci-porabniki

- Se da bolje?

proizvajalec P

```
data = produce_data()
pthread_mutex_lock(&m)
q.enqueue(data)
pthread_mutex_unlock(&m)
```

porabnik Q

```
while true do
    if not queue.empty then
        pthread_mutex_lock(&m)
        q.dequeue(data)
        pthread_mutex_unlock(&m)
        consume_data(data)
    else nothing
done
```

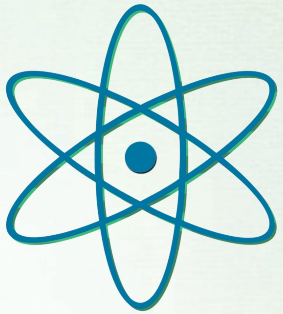
Moti nas neprestano preverjanje ***pogoja****: ali je vrsta neprazna.*

Pogojna spremenljivka

- Pogojna spremenljivka (condition variable)
  - mehanizem **obveščanja**
    - opazovani pogoj je potrebno eksplicitno preverjati
      - lahko gre za več pogojev
    - množica čakajočih niti
      - niti, ki čakajo na izpolnjenost pogoja
    - nit, ki obvesti čakajoče niti o izpolnjenosti pogoja
      - vsaj ena čakajoča nit se zbudi in nadaljuje izvajanje
    - se uporablja skupaj s ključavnico
  - uporaba
    - optimizacija uporabe procesorja

Pogojna spremenljivka

- Uporaba
  - operacija: čakaj (wait)
    - sprosti pripadajočo ključavnico
    - trenutna nit se postavi v čakalno množico
    - blokira trenutno nit (preklop na drugo pripravljeno nit)
    - ko se nit spet zbudi, ponovno pridobi ključavnico
  - operacija: obvesti (signal, notify)
    - zbudi eno nit iz čakalne množice
    - namen: obvestilo o izpolnjenem pogoju
  - operacija: obvestiVse (broadcast, notifyAll)
    - zbudi vse niti iz čakalne množice
    - namen: kadar je izpolnjenih več pogojev



Pogojna spremenljivka

```
pthread_mutex_t m = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
```

```
void* make(void *arg) {
        // izpolni pogoj
        ...
        pthread_mutex_lock(&m);
        update shared state
        if (POGOJ)
                pthread_cond_signal(&c)
        pthread_mutex_unlock(&m);
}
```

```
void* watch(void *arg) {
        pthread_mutex_lock(&m);
        while (not POGOJ)
                pthread_cond_wait(&c, &m)
        pthread_mutex_unlock(&m);
        // obdelava po izpolnitvi pogoja
        ...
}
```

Problem proizvajalci-porabniki

- Rešitev z zaklepanjem in pogojno spremenljivko

```
pthread_mutex_t m = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t c = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
queue_t q = ...;
```

proizvajalec P

```
data = produce_data()
pthread_mutex_lock(&m)
q.enqueue(data)
pthread_cond_signal(c)
pthread_mutex_unlock(&m)
```

porabnik Q

```
while true do
    pthread_mutex_lock(&m)
    while q.empty() do
        pthread_cond_wait(m, c)
    q.dequeue(data)
    pthread_mutex_unlock(&m)
    consume_data(data)
done
```

Problem proizvajalci-porabniki

- Omejena kapaciteta vrste
  - Kaj naj naredi proizvajalec, če je vrsta polna?
  - Kdo bo zbudil spečega proizvajalca?
  - Koliko pogojnih spremenljivk potrebujemo?
  - Katero obveščanje (signal, broadcast) uporabimo?

Problem bralci-pisalci

- Bralci-pisalci
  - več procesov sočasno dostopa do podatkov
  - bralci le berejo, pisalci podatke tudi spreminjajo

# bralcev	# pisalcev	možne težave	komentar
>0	0	ne	sočasno branje ni težava
0	1	ne	le en pisalec ni težava
0	>1	da	sočasno pisanje je težava
>0	>0	da	sočasno branje in pisanje je težava

Problem bralci-pisalci

- Rešitev z osnovnim zaklepanjem
  - branje obdamo s ključavnico
  - pisanje obdamo s ključavnico
- Slabost
  - onemogočimo sočasno branje več bralcev

Se da bolje?

Problem bralci-pisalci

```
pthread_mutex_t m = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
pthread_cond_t r = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
pthread_cond_t w = PTHREAD_COND_INITIALIZER;
volatile int counter = 0;
```

bralec

```
pthread_mutex_lock(&m)
        while counter == -1 do
                wait(m, r)
        counter++
pthread_mutex_unlock(&m)
// branje podatkov
pthread_mutex_lock(&m)
        counter--
        if counter == 0 then
                signal(w)
pthread_mutex_unlock(&m)
```

pisalec

```
pthread_mutex_lock(&m)
        while counter != 0 do
                wait(m, w)
        counter = -1
pthread_mutex_unlock(&m)
// pisanje podatkov
pthread_mutex_lock(&m)
        counter = 0
        broadcast(r)
        signal(w)
pthread_mutex_unlock(&m)
```

Bralno-pisalna ključavnica

- **Izključujoče** zaklepanje (exclusive, write lock)
  - le ena nit jo lahko sočasno zaklene
    - poljubna dodatna zaklepanja so zavrnjena
  - onemogoča souporabo vira drugim nitim
  - uporaba: pisanje, ne da bi komu pokvarili branje
- **Deljeno** zaklepanje (shared, read lock)
  - več niti jo lahko sočasno "deljeno" zaklene
    - več deljenih ključavnic, izključujoče ključavnice so zavrnjene
  - onemogoča souporabo izključujoče ključavnice
  - uporaba: enovito/celovito branje

Bralno-pisalna ključavnica

```
pthread_rwlock_t lock = PTHREAD_RWLOCK_INITIALIZER;
```

```
// bralni odsek
pthread_rwlock_rdlock(lock);
        // enovitno branje
pthread_rwlock_unlock(lock);
```

```
// pisalni odsek
pthread_rwlock_wrlock(lock);
        // pisanje
pthread_rwlock_unlock(lock);
```

Bralno-pisalna ključavnica

- Vrste zaklepanja
  - **svetovalna ključavnica** (advisory lock)
    - neodvisnost operacije od ključavnice
    - dejansko branje/pisanje je se ne ozira na stanje ključavnic
    - programer mora sam poskrbeti za ustrezno uporabo ključavnic pri bralno/pisalnih odsekih programa
  - **obvezna ključavnica** (mandatory lock)
    - odvisnost operacije od ključavnice
    - OS poskrbi, da branje/pisanje upošteva stanje ključavic

Bralno-pisalna ključavnica

- Izvedba v POSIX ipd.
  - zaklepanje je vezano na inode
    - ni vezano na ime datoteke ali datotečni deskripto
  - vsak proces si lahko lasti eno ali več ključavnic
  - ključavnice se ne dedujejo: `fork`()
  - sistemski klic `int flock`(*fd*, *tip*)
    - *fd*: LOCK_SH (shared), LOCK_EX (exclusive), LOCK_UN (unlock), LOCK_NB (non-blocking)
  - ukaz: `flock -n` fd
  - ukaz: `lockfile`

Semafor

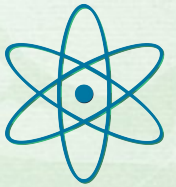
- Izzivi
  - zahtevna uporaba ključavnic in pogojnih spremenljivk
    - vrstni red operacij, izpustitev operacije ipd.
  - potrebujemo tako ključavnice kot pogojne spremenljivke
- Rešitev
  - mehanizmi, ki združujejo delovanje
  - semafor
  - monitor

Semafor

- Semafor
  - združuje
    - števec, ključavnico in pogojno spremenljivko
  - **pozitivna** vrednost števca (vključno z 0)
    - predstavlja odprt semafor
    - prost prehod procesa v KO
  - **negativna** vrednost števca
    - predstavlja zaprt semafor
    - prehod v KO ni možen
    - proces čaka na odprtje semaforja

Semafor

- Uporaba semaforja
  - operacija **wait** (tudi *test*, *down*, *proberen*, *P*)
    - dekrementira števec
    - če je semafor zaprt, potem gre poces v čakalno vrsto semaforja
  - operacija **signal** (tudi *increment*, *up*, *verhogen*, *V*)
    - inkrementira števec
    - zbudi morebitni čakajoči proces iz semaforjeve vrste
  - Kako zagotoviti atomičnost obeh operacij?
    - strojni ukazi, kratko vrteče čakanje
    - en procesor, onemogočanje prekinitev

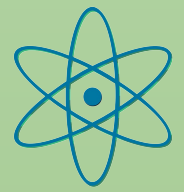


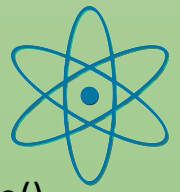
Semafor

Izvedba in uporaba

```
// priprava
sem: Semaphore
init(sem, 1)
…

// zaklepanje
wait(sem)
// kritični odsek
signal(sem)
…
```

```
struct Semaphore is
        count: Int
        queue: Queue

fun init(sem, value) is
        sem.value = value
        sem.queue = []

atomic fun wait(sem) is
        sem.count -= 1
        if sem.count < 0 then
                queue.enqueue(this process)
                make_waiting(this process)

atomic fun signal(sem) is
        sem.count += 1
        if sem.count <= 0 then
                process = queue.dequeue()
                make_ready(this process)
```





Semafor

- Semafor – POSIX API

```
// tip semafor
sem_t sem;

// inicializacija semaforja
sem_init(sem_t *sem, int pshared, int count)

// operacija wait
sem_wait(sem_t *sem);

// opearcija signal
sem_post(sem_t *sem);
```

način souporabe

začetna vrednost

Semafor

- Dvojiški semafor

```
// inicializacija semaforja
sem_init(sem_t *sem, int pshared, 1)
```

- Števni semafor

```
// inicializacija semaforja
sem_init(sem_t *sem, int pshared, N)
```

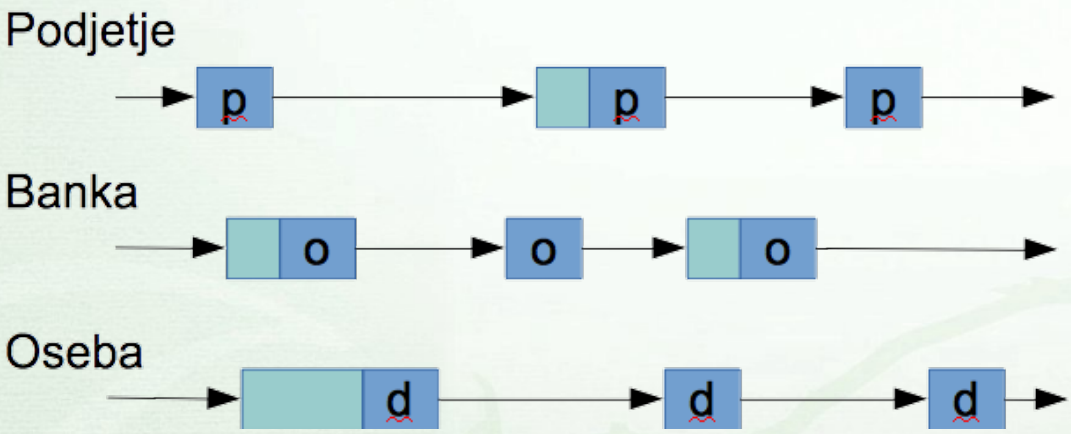
Monitor

- Monitor
  - Hoare, 1974; Brinch Hansen, 1975
  - višje nivojski konstrukt
    - podpora s strani programskega jezika
    - npr. JVM: Java, …, .NET: C#, …
    - vstop in izstop v kritični odsek generira prevajalnik
  - **vsebnik**
    - eksplicitno specificira souporabljeni vir
    - vsebuje lokalne spremenljivke in funkcije
    - naenkrat se znotraj monitorja lahko izvaja le ena funkcija, četudi je več procesov
    - medsebojno izključevanje izvajanja funkcij

Monitor

- Primer

```
monitor BancniRacun is
    stanje: Int

sync fun poloziDenar(polog) is
    stanje += polog

sync fun dvigniDenar(dvig) is
    stanje -= dvig

sync fun obresti(p) is
    stanje *= (1 + p / 100)
```



Monitor

- … in Java
  - vsak object lahko uporabimo kot monitor

```
class BancniRacun {
        int stanje;

        synchronized void poloziDenar(int polog) { stanje += polog; }

        synchronized void dvigniDenar(int dvig) { stanje -= dvig; }

        synchronized void obresti(p) { stanje *= (1 + p / 100); }

        void ostaleFunkcije() {}
}
```

Monitor

- … in Java
  - synchronized funkcije in bloki

```
synchronized void f() {
        …
}


f() {
        synchronized (this) {
                …
        }
}
```

Ostali mehanizmi

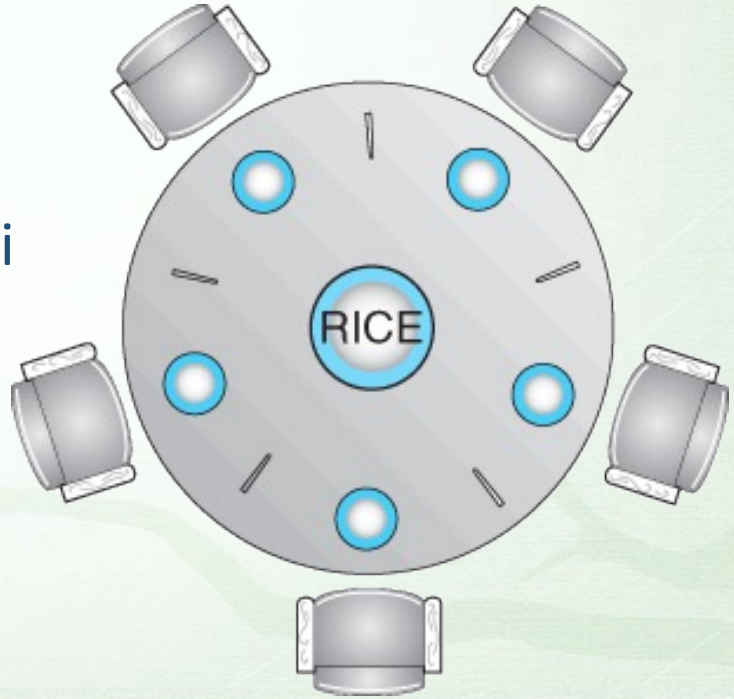
- Ostali mehanizmi
  - pregrada (barrier)
    - ideja delovanja je obratna od semaforjev
    - semafor dopušča vstop *N* procesom, pregrada za vstop zahteva *N* procesov
  - serializers
    - definicija prioritet
  - path expressions
    - regularni izrazi za definicijo usklajenega obnašanja
  - wait-free sync
    - optimistično, read-copy-update ključavnica

Proizvajalci-porabniki

- Rešitve: **proizvajalec porabnik**
  - sinhrona sporočila
    - če sta send in receive operaciji sinhroni, potem je problem avtomatsko razrešen
  - s semaforji
    - 3 semaforji: medsebojno izključevanje, sporočanje prazne vrste, sporočanje neprazne vrste
  - monitorji
    - 3 monitorji: podobno semaforjem

Lačni filozofi

- Problem: **lačni filozofi**
  - kitajski filozofi sedijo za okroglo mizo
    - vsak ima krožnik in eno palčko na vsaki strani krožnika
    - vsaka palčka predstavlja deljeni vir (s strani dveh filozofov)
    - ko ni lačen, filozof razmišlja in odloži obe palčki
    - filozof je, le če ima obe palčki
  - izzivi
    - smrtni objem
    - stradanje



Lačni filozofi

- Rešitve: **lačni filozofi**
  - centralna avtoriteta, ki odreja prehranjevanje
  - filozof lahko vzame samo obe palčki hkrati
  - asimetrična rešitev
    - lihi filozofi
      - najprej vzamejo levo palčko, nato desno
    - sodi filozofi
      - pa najprej desno, nato levo
  - itd.