TDIU16 – Synkronisering

Ordning och reda

Filip Strömbäck, Klas Arvidsson

LINKÖPING
UNIVERSITY

Planering

Vecka	Fö/Se	Lab
13	Fö: C + Syscall	C[1], halt, exit, console
14	Fö + Se: Semaforen	console, filhantering
15	Fö: Lås, cond (+påsk)	sema, första processen
16	Fö: Låsimplementation	exec, exit
17	Fö: Deadlock	exec, exit, wait
18	-	Synkronisering
19	Se: Deadlock + tenta	Synkronisering, accesskontroll
20	-	Synkronisering, accesskontroll

[1] lämpligt att demonstrera första passet

1 Varför synkronisera?
2 Kritiska sektioner
3 Bounded Buffer
4 Condition variables
5 Parallellism

LINKÖPING UNIVERSITY

Banköverföring

```
struct account {
  int balance;
  char *owner;
};

struct account account[NUM_ACCOUNTS];

bool transfer(int amount, int from, int to);
```

Banköverföring

```
bool transfer(int amount, int from, int to) {
  if (account[from].balance >= amount) {
    account[from].balance -= amount;
    account[ to ].balance += amount;
    return true;
  } else {
    printf("Från-kontot saknar täckning.\n");
    return false;
  }
}
```

Vad händer? När?

I vilken ordning exekeverar instruktionerna?

- Sekventiellt inom en tråd (som vanligt)
- Odefinierat mellan trådar
  - Trådbyte kan ske när som helst
  - Slumpen avgör
  - Kanske exakt samtidigt om flera CPU finns

Det finns områden i koden där trådbyte *kommer att* orsaka fel

$\Rightarrow$ När gemensamma data används

Föreläsning 1

- CPU-register sparas undan vid trådbyte
- $\Rightarrow$ Varje tråd har sin egen uppsättning register
- $\Rightarrow$ Olika `eax` för de båda trådarna
- $\Rightarrow$ Två ”virtuella” CPU:er

Vad händer?

Tråd 1:

```
transfer(10, 1, 2)

if (a[1] >= 10) {


  a[1] -= 10;
  a[2] += 10;
}
```

a[1]: 25

Tråd 2:

```
transfer(20, 1, 2)


if (a[1] >= 20) {
  a[1] -= 20;

  a[2] += 20;
}
```

a[2]: 15

Vad händer?

Tråd 1:

`transfer(10, 1, 2)`

```
if (a[1] >= 10) {


  a[1] -= 10;
  a[2] += 10;
}
```

a[1]: 25→5

Tråd 2:

`transfer(20, 1, 2)`

```

if (a[1] >= 20) {
  a[1] -= 20;

  a[2] += 20;
}
```

a[2]: 15

Vad händer?

Tråd 1:

transfer(10, 1, 2)

```
if (a[1] >= 10) {


  a[1] -= 10;
  a[2] += 10;
}
```

a[1]: 5→ -5

Tråd 2:

transfer(20, 1, 2)

```

if (a[1] >= 20) {
  a[1] -= 20;

  a[2] += 20;
}
```

a[2]: 15

Vad händer?

Tråd 1:

```
a[2] += 10;
```

```
movl a[2], %eax1



addl $10, %eax1
movl %eax1, a[2]
```

Tråd 2:

```
a[2] += 20;
```

```
movl a[2], %eax2
addl $20, %eax2
movl %eax2, a[2]
```

a[1]: -5

a[2]: 15

Vad händer?

Tråd 1:

```
a[2] += 10;
```

```
movl a[2], %eax1



addl $10, %eax1
movl %eax1, a[2]
```

a[1]: -5

Tråd 2:

```
a[2] += 20;
```

```
movl a[2], %eax2
addl $20, %eax2
movl %eax2, a[2]
```

a[2]: 15→25

Vad är rätt?

1. `transfer(10, 1, 2)` först:
   - a[1] = 15
   - a[2] = 25
2. `transfer(20, 1, 2)` först:
   - a[1] = 5
   - a[2] = 35
3. "Samtidigt":
   - a[1] = -5
   - a[2] = 25

Race condition

Typiska tecken på att ett *race condition* finns:

- Resultatet beror på i vilken ordning trådar råkar exekevera och läsa eller skriva till delad data
- Trådarna ”tävlar” om vilket resultat det ska bli
- Systemet blir inte deterministiskt, ett program med *race conditions* kan ge olika resultat vid varje körning trots att indata är desamma

Notera: Race condition $\not\Rightarrow$ fel

1 Varför synkronisera?
2 Kritiska sektioner
3 Bounded Buffer
4 Condition variables
5 Parallellism

LINKÖPING UNIVERSITY

Mål

I många språk gäller:

- Fler än en tråd får inte komma åt samma data samtidigt
  (Undantag: om alla trådar läser)

Alltså:

- Vi måste *synkronisera* åtkomst till delad data

Kritisk sektion

En eller flera kodsektioner där ett *race condition* kan inträffa så att det blir ”fel”.

- En kodsektion där delade resurser (ofta variabler) används
- Kan därmed **inte** exekeveras samtidigt som andra (eller samma) kodsektioner som använder samma variabler

Delade resurser: Exempel

- Globala variabler
- Globala datastrukturer
- Variabler som delas via pekare
- Datastrukturer som delas via pekare
- Hårdvaruresurser (skärm, tangentbord, disk, nätverk, etc.)
  - en mening som skrivs till skärmen får inte avbrytas av en annan
  - ett paket som skall skickas över nätverket får inte blandas med andra paket

Trådsäkra resurser: Exempel

Om en funktion (eller variabel) är trådsäker menar vi att den kan anropas (användas) samtidigt från flera trådar utan minsta risk för synkroniseringsfel eller race conditions.

- Variabler som enbart är åtkomliga från en viss tråd
- Variabler som är lokala för en funktion, inklusive kopierade parametrar
  - Se upp för referens- och pekarparametrar
- Variabler som enbart läses (t.ex. konstanter)

Lösning

- Alla operationer inuti en kritisk ska se tillsammans, som en enhet

$\Rightarrow$ Ingen ska se delresultat av beräkningar inuti den kritiska sektionen

$\Rightarrow$ Allt inuti den kritiska sektionen ser utåt sett som en helhet, som en *atomär operation*

$\Rightarrow$ En kritisk sektion får bli avbruten, men bara av kod utanför den kritiska sektionen (dvs. kod som inte använder samma delade resurser)

Lösning

- Alla operationer inuti en kritisk ska se tillsammans, som en enhet

$\Rightarrow$ Ingen ska se delresultat av beräkningar inuti den kritiska sektionen

$\Rightarrow$ Allt inuti den kritiska sektionen ser utåt sett som en helhet, som en *atomär operation*

$\Rightarrow$ En kritisk sektion får bli avbruten, men bara av kod utanför den kritiska sektionen (dvs. kod som inte använder samma delade resurser)

Lösning: Mutual exclusion - Släpp bara in en tråd åt gången i en kritisk sektion!

Mutual exclusion (SV: Ömsesidigt uteslutande)

Släpp bara in en tråd åt gången i varje kritiska sektion.

Vi behöver följande:

- Endst en tråd åt gången får komma åt den delade resursen (vårt ansvar som programmerare)
- Trådar som vill in i en kritisk sektion måste garanteras tillträde inom en begränsad tid
- Om ingen tråd exekeverar i den kritiska sektionen tillåts omedelbart tillträde
- En tråd får inte exekevera obegränsat länge i en kritisk sektion
- Ska fungera oavsett antal CPU och deras hastighet

Lås

En mekanism som erbjuder mutual exclusion då den används korrekt

- Skyddar en delad resurs eller en *kritisk sektion*
- Alla relaterade kritiska kodsektioner måste använda samma lås
- Liknar en binär semafor initierad till 1 (räknar ”exekeveringsplatser”)

Lås

Har följande operationer:

acquire (lås) : Försök gå in i en kritisk sektion, förbruka resursen (`sema_down`)

release (lås upp) : Gå ut ur en kritisk sektion, ge tillbaka resursen, (`sema_up`)

Till skillnad från en semafor har lås felhantering:

- Kan bara låsas upp av den tråd som låste
- Kan inte låsas igen från den tråd som låste låset

Banköverföring (lösning 1)

```
struct account {
  int balance;
  char *owner;
};

struct account account[NUM_ACCOUNTS];
struct lock account_lock;

bool transfer(int amount, int from, int to);
```

Banköverföring (lösning 1)

```
bool transfer(int amount, int from, int to) {
  lock_acquire(&account_lock);
  if (account[from].balance >= amount) {
    account[from].balance -= amount;
    account[ to ].balance += amount;
    lock_release(&account_lock);
    return true;
  } else {
    lock_release(&account_lock);
    printf("Från-kontot saknar täckning.\n");
    return false;
  }
}
```

Lösning 1

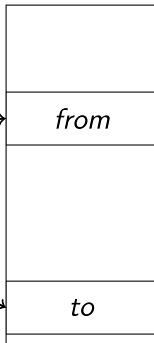
- Ett lås för hela arrayen gör att två olika överföringar mellan fyra olika konton måste vänta på varandra även om de skulle kunna pågå samtidigt!
- Låset tas på ett ställe och släpps på två ställen på olika indenteringsnivå $\Rightarrow$ Otydligt! Vi vill ha en `acquire` för varje `release`.

Kritiska sektioner: Ytterligare analys

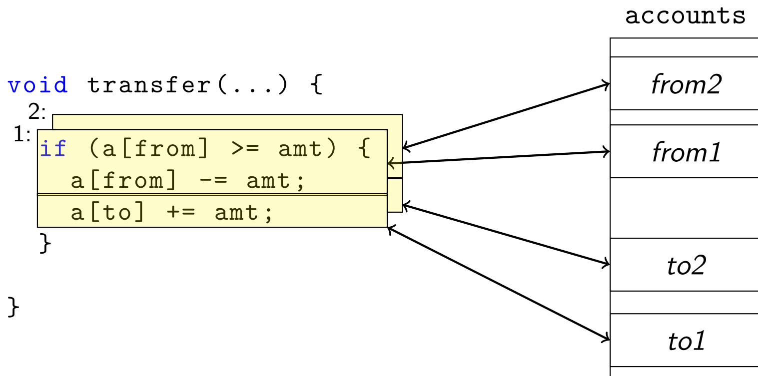
```
void transfer(...) {

  if (a[from] >= amt) {
    a[from] -= amt;
    a[to] += amt;
  }

}
```



Kritiska sektioner: Ytterligare analys



Kritiska sektioner: Ytterligare analys

```
void transfer(...) {
  2:
 1: if (a[from] >= amt) {
      a[from] -= amt;
      a[to] += amt;
    }

}
```

2 transaktioner, 4 kritiska sektioner!
En för varje konto!

Banköverföring (lösning 2)

```
struct account {
  int balance;
  char *owner;
  struct lock lock;
};

struct account account[NUM_ACCOUNTS];

bool transfer(int amount, int from, int to);
```

Banköverföring (lösning 2)

```
bool transfer(int amount, int from, int to) {
  lock_acquire(&account[from].lock);
  bool t = account[from].balance >= amount;
  if (t)
    account[from].balance -= amount;
  lock_release(&account[from].lock);
  lock_acquire(&account[to].lock);
  if (t)
    account[to].balance += amount;
  lock_release(&account[to].lock);
  return t;
}
```

Lösning 2

- Varje konto har ett eget lås. Överföringar kan oftast ske samtidigt
- Låsen tas och släpps på samma indenteringsnivå och varje `acquire` motsvaras av en `release`
- Fler lås $\implies$ mer administration och högre minnesanvändning. Är den ökade parallellismen värt det?

Lösning 2

- Varje konto har ett eget lås. Överföringar kan oftast ske samtidigt
- Låsen tas och släpps på samma indenteringsnivå och varje `acquire` motsvaras av en `release`
- Fler lås $\implies$ mer administration och högre minnesanvändning. Är den ökade parallellismen värt det?
  - Inte alltid lätt att avgöra: **Mät** om du är osäker!
  - Om möjligt: Lägg låset tillsammans med den variabel som synkroniseras
  - I kursen: Fungrerande lösning med högre parallellism ger alltid högre poäng. Motivation till varför det eventuellt inte är värt det ökar poäng ytterligare!

1 Varför synkronisera?
2 Kritiska sektioner
3 Bounded Buffer
4 Condition variables
5 Parallellism

LINKÖPING
UNIVERSITY

Bounded Buffer (igen)

```
typedef unsigned char byte;
const int SIZE = 256;

struct Buffer {
  int buffer[SIZE];
  byte rpos = 0, wpos = 0;
  struct semaphore free = SIZE;
  struct semaphore filled = 0;
};

int  get(struct Buffer *b);
void put(struct Buffer *b, int data);
```

Bounded Buffer (igen)

```
void get(struct Buffer *b) {
  sema_down(&b->filled);
  int r = b->buffer[b->rpos++];
  sema_up(&b->free);
  return r;
}

void put(struct Buffer *b, int data) {
  sema_down(&b->free);
  b->buffer[b->wpos++] = data;
  sema_up(&b->filled);
}
```

Bounded Buffer (synkroniserad)

```
typedef unsigned char byte;
const int SIZE = 256;

struct Buffer {
  int buffer[SIZE];
  byte rpos = 0, wpos = 0;
  struct lock rlock, wlock;
  struct semaphore free = SIZE;
  struct semaphore filled = 0;
};
int  get(struct Buffer *b);
void put(struct Buffer *b, int data);
```

Bounded Buffer (synkroniserad)

```
void get(struct Buffer *b) {
  sema_down(&b->filled);
  lock_acquire(&b->rlock);
  int r = b->buffer[b->rpos++];
  lock_release(&b->rlock);
  sema_up(&b->free);
  return r;
}
```

Bounded Buffer (synkroniserad)

```
void put(struct Buffer *b, int data) {
  sema_down(&b->free);
  lock_acquire(&b->wlock);
  b->buffer[b->wpos++] = data;
  lock_release(&b->wlock);
  sema_up(&b->filled);
}
```

1 Varför synkronisera?
2 Kritiska sektioner
3 Bounded Buffer
4 Condition variables
5 Parallellism

LINKÖPING UNIVERSITY

Condition variable

Väntar på att ett villkor ska bli uppfyllt

Består av tre delar:

1. Villkoret (ex. `b->free != SIZE`)
   (inkluderar en eller flera *delade variabler*)
2. Lås som skyddar de delade variablerna
   (eller: den kritiska sektionen till vilken variablerna hör)
3. Condition variable för att vänta effektivt

$\Longrightarrow$ Är i princip en **väntekö**

Condition variables

Har följande operationer (`c = condition`, `l = lock`):

`cond_init(c)` Initiera

`cond_wait(c, l)` Släpp låset, vänta, ta låset igen

`cond_signal(c, l)` Väck en tråd som väntar

`cond_broadcast(c, l)` Väck alla trådar som väntar

Effektivisera en dålig lösning med condition variables

1. Identifiera den kritiska sektionen och lås den
2. Identifiera busy wait och lägg till `cond_wait`
3. Identifiera tilldelningar som påverkar villkoret och lägg till `cond_signal` eller `cond_broadcast`

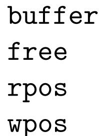
Bounded Buffer, analys av osynkroniserad lösning

```
void get(struct Buffer *b) {
  while (b->free == SIZE)
    ; /* Vänta */
  ++b->free;
  return b->buffer[b->rpos++];
}
void put(struct Buffer *b, int data) {
  while (b->free == 0)
    ; /* Vänta */
  --b->free;
  b->buffer[b->wpos++] = data;
}
```

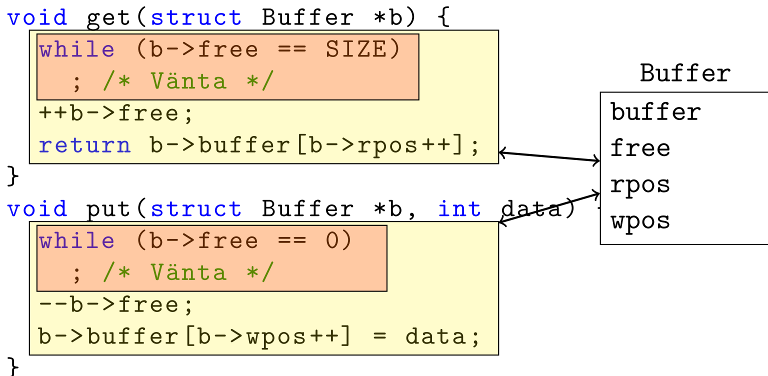
Bounded Buffer, analys av osynkroniserad lösning

```
void get(struct Buffer *b) {
  while (b->free == SIZE)
    ; /* Vänta */
  ++b->free;
  return b->buffer[b->rpos++];
}
void put(struct Buffer *b, int data) {
  while (b->free == 0)
    ; /* Vänta */
  --b->free;
  b->buffer[b->wpos++] = data;
}
```

Buffer



Bounded Buffer, analys av osynkroniserad lösning



Bounded Buffer (steg 1)

```
int get(struct Buffer *b) {
  lock_acquire(&b->lock);
  while (b->free == SIZE)
    ; /* Vänta */

  ++b->free;
  int r = b->buffer[b->rpos++];
  lock_release(&b->lock);
  return r;
}
```

Bounded Buffer (steg 2)

```
int get(struct Buffer *b) {
  lock_acquire(&b->lock);
  while (b->free == SIZE)
    cond_wait(&b->cond, &b->lock);

  ++b->free;
  int r = b->buffer[b->rpos++];
  lock_release(&b->lock);
  return r;
}
```

cond_wait släpper låset ⇒ måste kolla villkoret igen!

Bounded Buffer (steg 3)

```
int get(struct Buffer *b) {
  lock_acquire(&b->lock);
  while (b->free == SIZE)
    cond_wait(&b->cond, &b->lock);

  ++b->free;
  cond_broadcast(&b->cond, &b->lock);

  int r = b->buffer[b->rpos++];
  lock_release(&b->lock);
  return r;
}
```

Bounded Buffer (steg 3)

```
void put(struct Buffer *b, int data) {
  lock_acquire(&b->lock);
  while (b->free == 0)
    cond_wait(&b->cond, &b->lock);

  --b->free;
  cond_broadcast(&b->cond, &b->lock);

  b->buffer[b->wpos++] = data;
  lock_release(&b->lock);
}
```

Bounded Buffer (två villkor)

```
int get(struct Buffer *b) {
  lock_acquire(&b->lock);
  while (b->free == SIZE)
    cond_wait(&b->not_empty, &b->lock);

  ++b->free;
  cond_signal(&b->not_full, &b->lock);

  int r = b->buffer[b->rpos++];
  lock_release(&b->lock);
  return r;
}
```

Bounded Buffer (två villkor)

```
void put(struct Buffer *b, int data) {
  lock_acquire(&b->lock);
  while (b->free == 0)
    cond_wait(&b->not_empty, &b->lock);

  --b->free;
  cond_signal(&b->not_full, &b->lock);

  b->buffer[b->wpos++] = data;
  lock_release(&b->lock);
}
```

1 Varför synkronisera?
2 Kritiska sektioner
3 Bounded Buffer
4 Condition variables
5 Parallellism

LINKÖPING UNIVERSITY

Parallellism

- Målet med flera trådar är att åstadkomma parallellism, så att vi kan använda flera CPU.
- Målet med synkronisering är att åstadkomma sekventiell exekevering där samtidig exekevering skulle orsaka obestämda resultat.

Vad är problemet med resonemanget:

Jag lägger alla looparna inom ett lås för att vara på den säkra sidan!

Vilken är bäst om vi har flera CPU?

Är den sekvensiella lösningen här bäst, eller någon av de två lösningarna på nästa sida om vi har 2 CPU?

```
void sum(int *array, struct lock *lock) {
  for (int i = 0; i < 2_000_000; i++)
    sum += array[i];
}
```

Vilken är bäst om vi har flera CPU?

```
void sum_a(int *array, struct lock *lock) {
  lock_acquire(lock);
  for (int i = 0; i < 1_000_000; i++)
    sum += array[i];
  lock_release(lock);
}
void sum_b(int *array, struct lock *lock) {
  for (int i = 0; i < 1_000_000; i++) {
    lock_acquire(&sum_lock);
    sum += array[i + 1_000_000];
    lock_release(&sum_lock);
  }
}
```

Att fundera på

Din processlista behöver synkroniseras

- Ska du ha ett lås per index i din tabell?
- Ska du ha ett globalt lås för hela listan?
- Vilken variant ger bäst parallellism?
- Vilken variant ger minst overhead (exekeveringstid, minnesanvändning)?

Nästa vecka

Hur implementeras synkroniseringsprimitiverna vi använder?

Filip Strömbäck, Klas Arvidsson

www.liu.se

LINKÖPING UNIVERSITY