Konkurentno programiranje

UDŽBENIK, STRANICE 11-50

Konkurentno programiranje

- Svojstva konkurentnih programa:
  - Mešanje izvršavanja raznih niti i obrađivača prekida naziva se **preplitanje** (**interleaving**).
  - Preplitanje niti i obrada prekida imaju **slučajan karakter** jer unapred nije poznato kada će se desiti **prekid** i **preključivanje**.
  - **Stohastično** izvršavanje konkurentnih programa može da menja rezultate izvršavanja od slučaja do slučaja, što može dovesti do pojave **štetnog preplitanja**.

Primeri štetnog preplitanja

UDŽBENIK, STRANICE 11-16

Primeri štetnog preplitanja

- Primeri štetnog preplitanja su mogući i u OS (sistemski pozivi su niti i mogu se preplitati sa obrađivačima prekida).
- Rukovanje pozicijom kursora je dobar primer štetnog preplitanja.

Rukovanje pozicijom kursora

```
class Position {
        int x, y;
public:
        Position();
        void set(int new_x,
             int new_y);
        void get(int* current_x,
             int* current_y);
};

Position::Position()
{
        x = 0;
        y = 0;
}

void
Position::set(int new_x, int new_y)
{
        x = new_x;
        y = new_y;
}
```

```
void
Position::get(int* current_x,
int* current_y)
{
        *current_x = x;
        *current_y = y;
}

Position position;
```

Rukovanje pozicijom kursora

- Neka operacija **`position.set()`** bude na raspolaganju samo **obrađivaču prekida** koji u okviru operativnog sistema registruje izmene pozicije kursora.
- Neka operacija **`position.get()`** bude na raspolaganju procesima iz **korisničkog** sloja.
- Tada je moguće da u toku izvršavanja operacije **`position.get()`** proces bude prekinut radi obrade prekida, koja poziva operaciju **`position.set()`**.
- Ako se to desi **nakon** izvršavanja **prvog** iskaza dodele iz tela operacije **`position.get()`** a **pre** izvršavanja **drugog** iskaza dodele iz njenog tela, tada će rezultat izvršavanja ove operacije biti **pogrešan**.

Rukovanje slobodnim baferima

```
struct List_member {
	List_member* next;
	char buffer[512];
};

class List {
	List_member* first;
public:
	List() : first(0) {};
	void link(List_member* member);
	List_member* unlink();
};

void
List::link(List_member* member)
{
	member->next=first;
	first=member;
}
```

```
List_member*
List::unlink()
{
	List_member* unlinked;
	unlinked=first;
	if(first != 0)
		first=first->next;
	return unlinked;
}

List list;
```

Rukovanje slobodnim baferima

- Neka su operacije **`list.link()`** i **`list.unlink()`** na raspolaganju samo modulu za rukovanje datotekama i neka se pozivaju iz operacija ovog modula.
- Tada je moguće da izvršavanje operacije **`list.unlink()`** bude pokrenuto u toku aktivnosti niti nekog procesa u modulu za rukovanje datotekama.
- Kao rezultat izvršavanja ove operacije na **steku** pomenute niti nastane primerak njene **lokalne** promenljive **unlinked**.
- Izvršavanje iskaza:
- **`unlinked = first`**
- smešta u ovaj primerak lokalne promenljive **adresu prvog slobodnog bafera** iz liste bafera, jasno, kada takav bafer postoji.

Rukovanje slobodnim baferima

- Neka, nakon izvršavanja prethodnog iskaza, pod uticajem obrade prekida dođe do preključivanja procesora na nit drugog procesa. Tada, u toku aktivnosti niti ovog procesa, može doći do pokretanja **još jednog** izvršavanja operacije **`list.unlink()`**.
- Tako na **steku i ove druge niti** nastaje njen primerak lokalne promenljive **`unlinked`**.
- Posledica ovakvog sleda događaja je da posmatrana **dva procesa** koriste **isti bafer**. To neminovno dovodi do **fatalnog** ishoda.
- Prema tome, **preplitanje** dva izvršavanja operacije **`list.unlink()`**, je **štetno**. Isto važi i za preplitanje izvršavanja operacija **`list.link()`** i **`list.unlink()`** kao i **`list.link()`** i **`list.link()`**

Rukovanje komunikacionim baferom

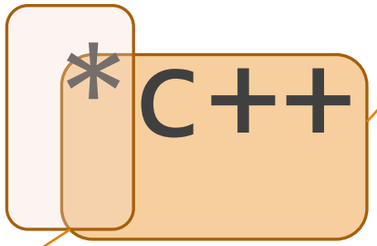
- Štetna međusobna preplitanja niti su moguća i za niti koje pripadaju **istom procesu**.
- Ovakva saradnja se može ostvariti tako što jedna od niti **šalje** podatke drugoj niti.
- Takva razmena podataka između niti se obično obavlja posredstvom **komunikacionog bafera**.
- Nit koja puni ovaj bafer podacima ima ulogu **proizvođača** (podataka), a nit koja prazni ovaj bafer ima ulogu **potrošača** (podataka).
- U pojednostavljenom slučaju, rukovanje komunikacionim baferom obuhvata punjenje: **`put()`** celog bafera, kao i pražnjenje: **`get()`** celog bafera.

Rukovanje komunikacionim baferom

```
const unsigned int
BUFFER_SIZE = 512;

class Buffer {
	char content[BUFFER_SIZE];
public:
Buffer() {};
	void put(char* c);
	void get(char* c);
};

void
Buffer::put(char* c)
{
	unsigned int i;
	for(i = 0; i < BUFFER_SIZE;
	 i++)
		content[i] = *c++;
}
```

```
void
Buffer::get(char* c)
{
	unsigned int i;
	for(i = 0; i < BUFFER_SIZE; i++)
		*c++ = content[i];
}

Buffer buffer;
```

C haiku



Po redosledu izvršavanja, ovo ide prvo, ali ono što ono radi jeste vrati vrednost, a tek posle vraćanja vrednost poveća pošto je postfix operator.

Ovo se dakle primenjuje na *ne* povećanu vrednost i vrati šta je na adresi na koju je pokazivao C na početku

C se uvećava tek posle očitavanja vrednosti.

Rukovanje komunikacionim baferom

- Operaciju **`buffer.put()`** poziva nit proizvođač.
- Operaciju **`buffer.get()`** poziva nit potrošač.
- U ovoj situaciji moguće je, da se desi **prekid sata** za vreme aktivnosti proizvođača u operaciji **`buffer.put()`**.
- Ako operacija **`buffer.get()`** bude pozvana u toku aktivnosti potrošača, tada postoji mogućnost da potrošač preuzme sadržaj delimično popunjenog bafera.

Sprečavanje štetnih preplitanja

UDŽBENIK STRANICE 16-18

Međusobna isključivost

- Promenljive kojima pristupaju više niti ili niti i obrađivači prekida istovremeno (**`position`**, **`list`** i **`buffer`**) se nazivaju **deljene promenljive,** a klase koje opisuju te promenljive **deljene klase**.
- Deljene klase su pravljene pod pretostavkom da se rukovanja deljenim promenljivim obavljaju **sekvencijalno** odnosno strogo **jedna za drugom**.
- **Štetna preplitanja** negiraju pomenutu pretpostavku jer dopuštaju da novo izvršavanje neke operacije deljene promenljive započne **pre nego što se završilo** već započeto izvršavanje neke od operacija te promenljive.
- Problem štetnih preplitanja ne postoji ako se obezbedi **međusobna isključivost** (**mutual exclusion**) izvršavanja operacija deljenih promenljvih.

Kritične sekcije i sinhronizacija

- **Tela operacija** deljenih klasa ili delovi ovih tela, čije izvršavanje je **kritično** za konzistentnost deljenih promenljvih, se nazivaju **kritične sekcije**.
- Međusobna isključivost kritičnih sekcija se ostvaruje **sinhronizacijom** pristupa.
- Pored obične sinhronizacije postoji i **uslovna sinhronizacija**.

Atomski regioni

- U primeru rukovanja pozicijom kursora, štetna preplitanja nastupaju kao posledica **obrade prekida**.
- **Atomski regioni** omogućavaju **neprekidnost** izvršavanja unutar kritičnih sekcija deljene promenljive.
- Onemogućenje prekida odlaže obradu novih prekida i usporava reakciju procesora, pa atomski regioni treba da budu **što kraći**.

Propusnice i isključivi regioni

- **Propusnice** su drugi način ostvarenja međusobne isključivosti kritičnih sekcija.
- Propusnica može biti **slobodna** ili **zauzeta**.
- Samo jedna nit od svih niti koje se takmiče za propusnicu dobija istu i ulazi u kritičnu sekciju, dok sve ostale niti zaustavljaju svoju aktivnost i prelaze u stanje “**čeka**”.
- Kada nit koja napušta kritičnu sekciju oslobodi propusnicu (vrati), neka sledeća nit dobija propusnicu i prelazi iz stanja “**čeka**” u stanje “**spremna**”.
- Nit, koja tada **dobije propusnicu**, odmah prelazi iz stanja "**čeka**" u stanje "**spremna**", ali u kritičnu sekciju ulazi tek kada postane **aktivna** (odnosno, kada se **procesor preključi na nju**).

Propusnice i isključivi regioni

- Rukovanje **propusnicom** deljene promenljive je, takođe, **ugroženo štetnim preplitanjima**.
- Zbog toga se **konzistentnost** propusnica mora zaštititi.
- Za to se obično koriste **atomski regioni**, jer su rukovanja propusnicama **kratkotrajna**.
- Po načinu ostvarenja međusobne isključivosti, **atomski regioni** se **razlikuju** od onih kritičnih sekcija koje međusobnu isključivost ostvaruju korišćenjem **propusnica**.
- Zato ove druge sekcije treba drugačije nazvati, na primer, **isključivi regioni**.

Propusnice i isključivi regioni

- Interesantno je uočiti da **preključivanja** u isključivim regionima **omogućuju pojavu štetnih preplitanja**, ali i **omogućuju njihovo sprečavanje**.
- Tako, ako nit, čiju aktivnost je omogućilo **preključivanje**, pokuša da uđe u isključivi region deljene promenljive sa **zauzetom propusnicom**, tada opet **preključivanje** dovodi do **zaustavljanja aktivnosti** ove niti.
- Prema tome, **prvo preključivanje** je stvorilo uslove za **pojavu štetnog preplitanja**, a **drugo preključivanje** je sprečilo tu pojavu.

Poželjne osobine konkurentnih programa

- Poželjne osobine konkurentnih programa uvode:
  - Tvrdnju **isključivanja nepoželjnog** (**safety property**).
  - Tvrdnju **uključivanja poželjnog** (**liveness property**).
  - Primer tvrdnje **isključivanja nepoželjnog** je tvrdnja da se u izvršavanjima konkurentnog programa **ne javlja nekonzistentnost date deljene promenljive**.
  - Primer tvrdnje **uključivanja poželjnog** je tvrdnja da se u toku izvršavanja konkurentnog programa **dese svi zatraženi ulasci u dati isključivi region**.

Poželjne osobine konkurentnih programa

- Za konkurentni program se može reći da ima neku od poželjnih osobina samo ako se dokaže (na neformalan ili formalan način) da važi tvrdnja kojoj pomenuta osobina odgovara.
- Ovakvo rezonovanje o ispravnosti konkurentnog programa je neophodno, jer slučajna priroda preplitanja može da bude uzrok nedeterminističkog (nepredvidivog) izvršavanja konkurentnog programa.

Poželjne osobine konkurentnih programa

- U takvoj situaciji, **ponovljena izvršavanja** konkurentnog programa, u toku kojih se obrađuju isti podaci, **ne moraju da imaju isti ishod**.
- Zbog toga, provera ispravnosti konkurentnog programa ne može da se zasniva samo na pokazivanju da **pojedina izvršavanja konkurentnog programa** imaju ispravan rezultat, jer tačan rezultat, dobijen u jednom ili više izvršavanja, **ne isključuje mogućnost postojanja izvršavanja** koja za iste ulazne podatke daju netačan rezultat.

Programski jezici za konkurentno programiranje

- Konkurentno programiranje se razlikuje od sekvencijalnog po rukovanju **nitima** i **deljenim promenljivama**.
- Konkurentni programski jezik može nastati kao rezultat pravljenja potpuno novog programskog jezika ili kao rezultat proširenja postojećeg sekvencijalnog programskog jezika **konkurentnim iskazima**.
- **Konkurentna biblioteka** omogućuje da se za konkurentno programiranje koristi već postojeći, poznat programski jezik.

Uvod u konkurentnu biblioteku koja implementira deo međunarodnog standarda C++11

- Međunarodni standard **C++11** predviđa rukovanje **nitima** i **deljenim promenljivama**.
- **CppTss** (C plus plus Thread subset) izlaže **podskup** načina za rukovanje nitima i deljenim promenljivama koje predviđa C++11.
- Za označavanje pomenutog **podskupa** u ovoj knjizi se koristi skraćnica **CppTss** (**C plus plus Thread subset**)

Klasa thread

```
void thread_example()
{
     double pi;
     cout << "ZADAJ VREDNOST BROJA PI" << endl;
     cin >> pi;
     cout << endl << "PI = " << pi << endl;
}

int main()
{
     thread example(thread_example);
     example.join();
   //example.detach();
}
```

Pojava štetnog preplitanja kod kreiranja više niti

```
int main()
{
    thread example1(thread_example);
    thread example2(thread_example);
    example1.join();
    example2.join();
}
```

Sprečavanje štetnog preplitanja kod kreiranja više niti (mutex)

```
mutex terminal;

void thread_example()
{
        double pi;
        terminal.lock();
        cout << "ZADAJ VREDNOST BROJA PI" << endl;
        cin >> pi;
        cout << endl << "PI = " << pi << endl;
        terminal.unlock();
}

void thread_example()
{
        double pi;
        unique_lock<mutex> lock(terminal);
        cout << "ZADAJ VREDNOST BROJA PI" << endl;
        cin >> pi;
        cout << endl << "PI = " << pi << endl;
}
```

Sprečavanje štetnog preplitanja kod kreiranja više niti (unique_lock)

```
mutex terminal;

void thread_example()
{
	double pi;
	unique_lock<mutex> lock(terminal);
	cout << "ZADAJ VREDNOST BROJA PI" << endl;
	cin >> pi;
	cout << endl << "PI = " << pi << endl;
}
```

Uslovna sinhronizacija

- Ulazak u isključivi region nije moguć ako je **propusnica zauzeta** ili ako se ustanovi da traženi **uslov nije ispunjen**.
- Kada druga nit **ispuni uslov** ona **objavljuje ispunjenje traženog uslova** i omogućuje nastavak aktivnosti prve niti.
- Za ovakvu sinhronizaciju koristi se klasa **condition_variable**, koja nudi operacije **wait()**, **notify_one()** i **notify_all()**.
- Nakon aktiviranja niti koja je očekivala ispunjenje nekog uslova potrebno je da nit **ponovo proveri** da li taj uslov važi, jer je moguće **lažno buđenje** niti .

Sprečavanje štetnih preplitanja prilikom rukovanja slobodnim baferima (neblokirajuća verzija)

```
struct List_member {
        List_member* next;
        char buffer[512];
};

class List {
        mutex mx;
        List_member* first;
public:
        List() : first(0) {};
        void link(List_member* member);
        List_member* unlink();
};

void
List::link(List_member* member)
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        member->next=first;
        first=member;
}
```

```
List_member*
List::unlink()
{
        List_member* unlinked;
        {
                unique_lock<mutex> lock(mx);
                unlinked=first;
                if(first != 0)
                        first=first->next;
        }
        return unlinked;
}
```

Sprečavanje štetnih preplitanja prilikom rukovanja slobodnim baferima (blokirajuća verzija)

```
struct List_member {
        List_member* next;
        char buffer[512];
};

class List {
        mutex mx;
        List_member* first;
        condition_variable nonempty;
public:
        List() : first(0) {};
        void link(List_member* member);
        List_member* unlink();
};

void
List::link(List_member* member)
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        member->next=first;
        first=member;
        nonempty.notify_one();
}
```

```
List_member*
List::unlink()
{
        List_member* unlinked;
        {
                unique_lock<mutex> lock(mx);
                while (first == 0)
                        nonempty.wait(lock);
                unlinked=first;
                first=first->next;
        }
        return unlinked;
}
```

Sprečavanje štetnih preplitanja prilikom rukovanja komunikacionim baferom

```
const unsigned int
BUFFER_SIZE = 512;

enum Buffer_states
{EMPTY, FULL};

class Buffer {
        mutex mx
        char content[BUFFER_SIZE];
        Buffer_states state;
        condition_variable full;
        condition_variable empty;
public:
        Buffer() {state = EMPTY;};
        void put(char* c);
        void get(char* c);
};
```

```
void Buffer::put(char* c)
{
        unsigned int i;
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        while (state == FULL)
                empty.wait(lock);
        for(i = 0; i < BUFFER_SIZE; i++)
                content[i] = *c++;
        state = FULL;
        full.notify_one();
}

void Buffer::get(char* c)
{
        unsigned int i;
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        while (state == EMPTY)
                full.wait(lock);
        for(i = 0; i < BUFFER_SIZE; i++)
                *c++ = content[i];
        state = EMPTY;
        empty.notify_one();
}
```

Komunikacioni kanal kapaciteta jedne poruke

- Saradnja niti **proizvođača** i niti **potrošača**, u toku koje prva od njih prosleđuje rezultate svoje aktivnosti drugoj niti, može da se prikaže kao **razmena poruka**.
- U toku ove razmene **proizvođač** odlaže poruku u poseban **pregradak** iz koga tu poruku preuzima **potrošač**.
- Takvu razmenu poruka podržava templejt klasa **`Message_box`**

Komunikacioni kanal kapaciteta jedne poruke

```
template<class MESSAGE>
class Message_box {
        mutex mx;
        enum Message_box_states
        { EMPTY, FULL };
        MESSAGE content;
        Message_box_states state;
        condition_variable full;
        condition_variable empty;
public:
        Message_box() : state(EMPTY) {};
        void send(const MESSAGE* message);
        MESSAGE receive();
};
```

```
template<class MESSAGE>
void
Message_box<MESSAGE>::
send(const MESSAGE* message)
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        while(state == FULL)
                empty.wait(lock);
        content = *message;
        state = FULL;
        full.notify_one();
}

template<class MESSAGE>
MESSAGE
Message_box<MESSAGE>::receive()
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        while(state == EMPTY)
                full.wait(lock);
        state = EMPTY;
        empty.notify_one();
        return content;
}
```

Komunikacioni kanal kapaciteta jedne poruke

- Templejt klasa **`Message_box`** omogućuje uspostavljanje komunikacionog kanala između niti pošiljaoca i niti primaoca.
- Njene operacije **`send()`** i **`receive()`** omogućuju **asinhronu** razmenu poruka jer se pošiljalac i primalac **ne sreću** prilikom razmene poruka (aktivnost pošiljaoca se **zaustavlja pri slanju** poruka samo kada je komunikacioni kanal **pun**, dok se aktivnost primaoca **zaustavlja pri prijemu** poruka samo kada je ovaj kanal **prazan**).
- Ako se kapacitet komunikacionog kanala poveća na **dve** ili **više poruka**, tada svakom prijemu mogu da prethode **dva** ili **više slanja**.

Komunikacioni kanal kapaciteta jedne poruke

- S druge strane, uz zadržavanje kapaciteta komunikacionog kanala na **jednoj poruci**, razmena poruka postaje **sinhrona**, ako se uvek **zaustavlja** aktivnost niti koja prva započne razmenu poruka.
- Aktivnost ove niti ostaje zaustavljena dok i druga nit ne započne razmenu poruka (dok se pošiljalac i primalac ne **sretnu**).
- Pri tome se podrazumeva da pošiljalac **nastavlja** svoju aktivnost tek kada primalac **preuzme poruku**.
- Prethodno dozvoljava da se u komunikacionom kanalu ne čuva poruka, nego njena **adresa**.
- To doprinosi **brzini** sinhrone razmene poruka, jer primalac može **direktno** preuzeti poruku od pošiljaoca.

Komunikacioni kanal kapaciteta jedne poruke

- Time se **izbegava potreba** da se poruka **prepisuje** u **komunikacioni kanal**, što je neizbežno kod **asinhrone** razmene poruke.
- Iako na ovaj način primalac pristupa **lokalnoj promenljivoj pošiljaoca**, u kojoj se nalazi poruka, to ne predstavlja problem dok god mehanizam sinhrone razmene poruka osigurava **međusobnu isključivost pristupanja pomenutoj lokalnoj promenljivoj**.
- Pošto **sinhrona razmena** poruka zahteva da se pošiljalac i primalac poruke **sretnu**, ona se naziva i **randevu** (**rendezvous**).

Primer simulacije

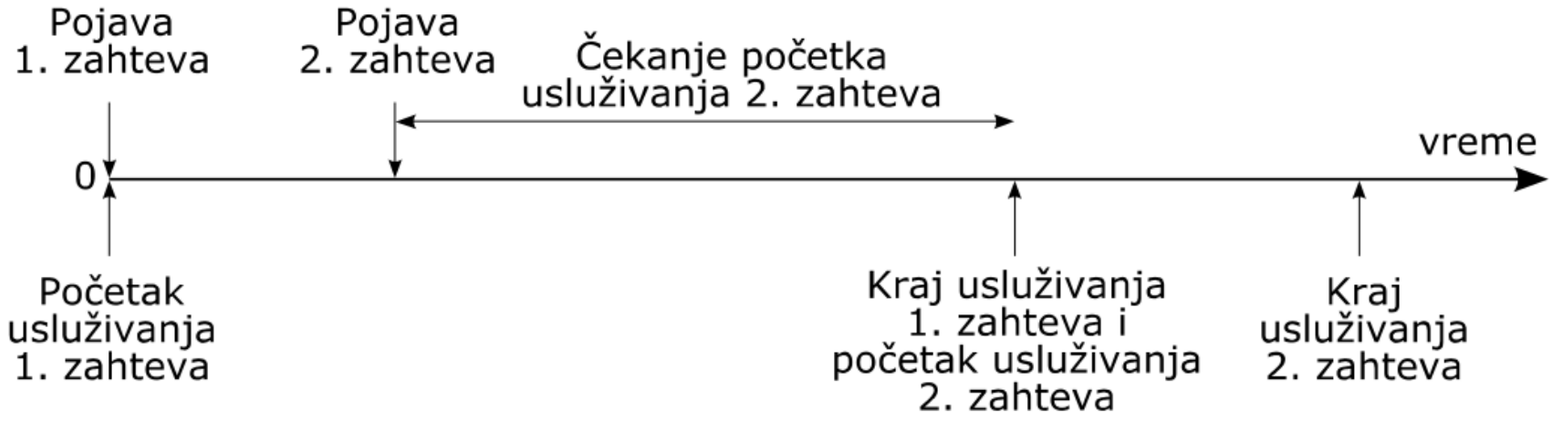
- Primer sistema, za koje su razvijeni uspešni simulacioni modeli, predstavljaju sistemi čiji elementi se nalaze u odnosu **korisnika** i **uslužioca**.
- Kod ovakvih sistema, korisnik upućuje uslužiocu zahteve za **uslugom**, pri čemu su **razmaci** između pojava susednih zahteva za uslugom, kao i **dužine** njihovog usluživanja, **slučajne** veličine.

Primer simulacije

- Ovakvi simulacioni modeli omogućuju, određivanje **srednjeg vremena čekanja početka usluživanja** pojedinih zahteva, ako su poznate:

  – raspodela **verovatnoća razmaka** između pojava susednih zahteva

  – raspodela **verovatnoća dužina** njihovog usluživanja



Primer simulacije

- **Srednje vreme čekanja** početka usluživanja pojedinih zahteva se dobije kada se **ukupnim brojem zahteva podeli suma vremena koja su protekla između pojava pojedinih zahteva i početaka njihovog usluživanja**.
- **Komunikacioni kanal** između proizvođača i potrošača uspostavlja deljena promenljiva **box**.
- Kroz ovaj kanal se mogu slati poruke koje se sastoje od **jednog celog broja** (**int**).
- U implementiranom primeru simulacionog modela se **ne koriste slučajni brojevi**, radi jednostavnosti.

Primer simulacije

```
#include<thread>
#include<iostream>
#include"box.hh"

using namespace std;
using namespace chrono;
using namespace this_thread;

Message_box<int> Box;

const int TERMINATION = -1;
const int USER_INTERVAL = 1;
const int SERVER_INTERVAL = 2;
```

```
void thread_user()
{
        int request_time = 0;
        int time_limit = 3;
        cout << endl << "USER-SERVER
                        SIMULATION" << endl;

        while(request_time < time_limit)      {
                box.send(&request_time);
                request_time += USER_INTERVAL;
        }
        box.send(&TERMINATION);
}
```

Primer simulacije

```
void
thread_server()
{
        int service_end_time = 0;
        int new_request_time;
        int request_count = 0;
        int mean_waiting_time = 0;

        while((new_request_time = box.receive()) != TERMINATION) {
                request_count++;
                if(new_request_time < service_end_time)
                        mean_waiting_time += service_end_time -      new_request_time;
                else
                        service_end_time = new_request_time;
                service_end_time += SERVER_INTERVAL;
        }
        mean_waiting_time /= request_count;
        cout << endl << "mean waiting time = " << mean_waiting_time << '\n';
}
```

Primer simulacije

```
int
main()
{
    thread user(thread_user);
    thread server(thread_server);
    user.join();
    server.join();
}
```

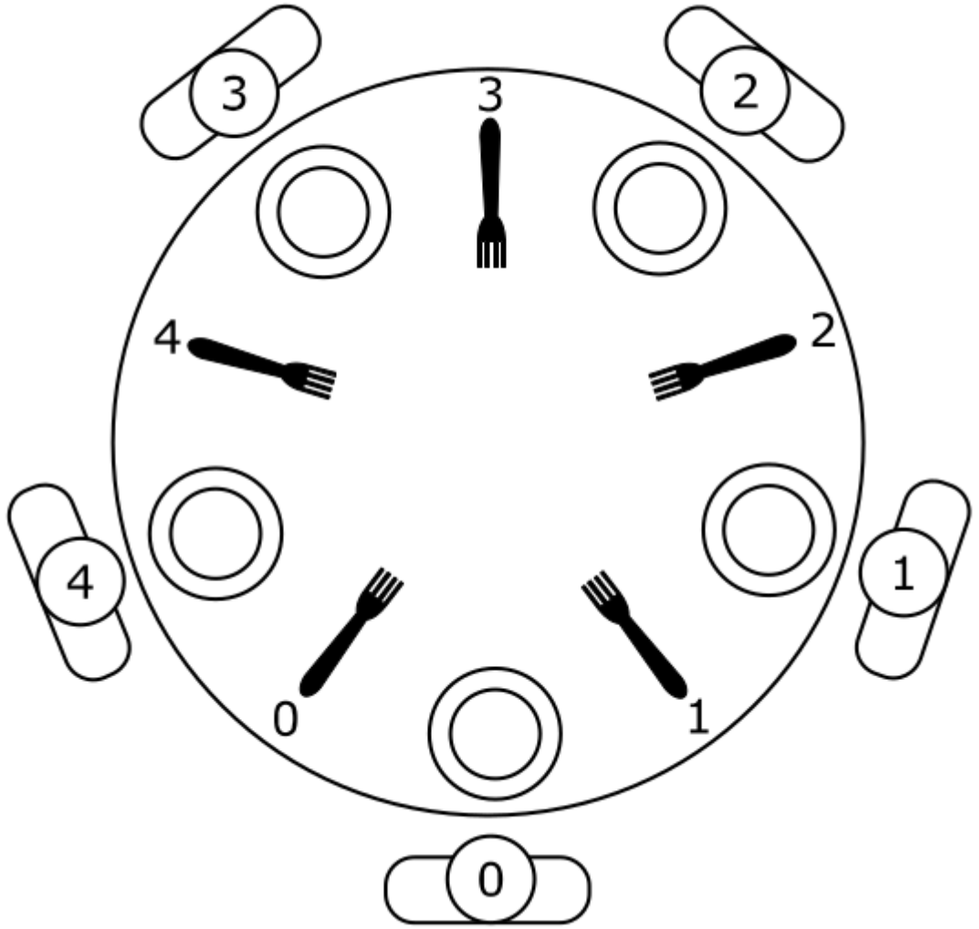
Uspavljivanje niti

- Uspavljivanje niti omogućuje funkcija **sleep_for()**.
- Njen parametar dopušta zadavanje **broja milisekundi** koji određuje najkraći period odlaganja aktivnosti niti pozivaoca funkcije **sleep_for()**.
- Poziv funkcije **sleep_for()** sa argumentom **većim od nula** dovodi do **uspavljivanja niti pozivaoca** i do **aktiviranja najprioritetnije spremne niti**.

Problem pet filozofa

- Zauzimanje **više primeraka resursa iste vrste**, neophodnih za aktivnost svake niti iz neke grupe niti, predstavlja tipičan problem konkurentnog programiranja.
- On se, u literaturi, ilustruje primerom problema **pet filozofa** (**dining philosophers**).
- Svaki od njih provodi život razmišljajući u svojoj sobi i jedući u zajedničkoj trpezariji.
- U njoj se nalazi **pet stolica** oko okruglog stola sa **pet tanjira** i **pet viljuški između njih**.

Problem pet filozofa



Problem pet filozofa

- Pošto se, po želji filozofa, u trpezariji služe uvek špagete, svakom filozofu su za jelo potrebne **dve viljuške**.
- Ako svi filozofi **istovremeno** ogladne, uđu u trpezariju, sednu na svoje mesto za stolom i uzmu viljušku **levo od sebe**, tada nastupa **mrtva petlja** (**deadlock**), s kobnim ishodom po život filozofa.

Problem pet filozofa

- Ponašanje svakog filozofa opisuje funkcija **thread_philosopher()**.
- Razmišljanje filozofa se predstavlja kao **odlaganje aktivnosti niti** koja reprezentuje filozofa.
- Trajanje ovog odlaganja određuje konstanta **THINKING_PERIOD**.
- Na sličan način se predstavlja jedenje filozofa.
- Trajanje obroka filozofa određuje konstanta **EATING_PERIOD**.

Problem pet filozofa

- Uzimanje viljuške pre jela i njeno vraćanje posle jela, opisuju operacije **take_fork()** i **release_fork()** klase **Dining_table**.
- Svaki filozof uzima viljuške **jednu po jednu** samo ako su one slobodne.
- U suprotnom, filozof čeka da svaka viljuška postane **raspoloživa**.
- Prilikom vraćanja viljušaka filozof oslobađa viljuške **jednu po jednu** i omogući nastavak aktivnosti svojih suseda.

Problem pet filozofa

- Operacije **take_fork()** i **release_fork()** klase **Dining_table**, dopuštaju pojavu **mrtve petlje**.
- Da bi se ona sigurno desila uvedena su **odlaganja aktivnosti niti**, koja reprezentuje filozofa, u trajanju koje određuje konstanta **MEANTIME**.

Problem pet filozofa

- Polje **fork_available** deljene klase **Dining_table** omogućuje očekivanje ispunjenja uslova da je viljuška raspoloživa, kao i objavljivanje ispunjenosti ovog uslova.
- Klasa **Dining_table** sadrži i polja **philosopher_state** i **fork_state**.
- Prvo od njih izražava stanja filozofa (**THINKING**, **WAITING_LEFT_FORK**, **HOLDING_ONE_FORK**, **WAITING_RIGHT_FORK**, **EATING**), a drugo stanja viljuški (**FREE**, **BUSY**).

Problem pet filozofa

- Operacija **show()** klase **Dining_table** omogućuje **prikazivanje svake promene** stanja filozofa.
- Za svakog filozofa se u zagradama navode njegova **numerička oznaka** i **njegovo stanje**.
- Funkcija **mod5()** podržava modulo aritmetiku.
- U funkciji **main()** se kreiraju niti filozofi, a zatim se sačeka kraj njihove aktivnosti.
- Svaka od ovih niti preuzme svoj **identitet** (**Dining_table::take_identity()**): 0, 1, 2, 3 i 4 koji omogućuje razlikovanje filozofa.

Problem pet filozofa

```
#include<thread>
#include<iostream>

using namespace std;
using namespace chrono;
using namespace this_thread;

int mod5(int a)
{
        return (a > 4 ? 0 : a);
}

enum Philosopher_state {THINKING = 'T',
                                    WAITING_LEFT_FORK = 'L',
                                    HOLDING_ONE_FORK = 'O',
                                    WAITING_RIGHT_FORK = 'R',
                                    EATING = 'E'};

enum Fork_state {FREE, BUSY};
```

Problem pet filozofa

```
class Dining_table {
        mutex mx;
        int philosopher_identity;
        Philosopher_state philosopher_state[5];
        Fork_state fork_state[5];
        condition_variable fork_available[5];
        void show();
public:
        Dining_table();
        int take_identity();
        void take_fork(int fork, int philosopher,
                        Philosopher_state waiting_state,
                        Philosopher_state next_state);
        void release_fork(int fork, int philosopher,
                        Philosopher_state next_state);
};
```

Problem pet filozofa

```
Dining_table::Dining_table()
{
        philosopher_identity=0;
        for(int i = 0; i < 5; i++) {
                philosopher_state[i] = THINKING;
                fork_state[i] = FREE;
        }
}

void Dining_table::show()
{
        for(int i = 0; i < 5; i++) {
                cout << '(' << (char)(i+'0') << ':'
                        << (char)philosopher_state[i] << ") ";
        }
        cout << endl;
}

int Dining_table::take_identity()
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        return philosopher_identity++;
}
```

Problem pet filozofa

```
void Dining_table::take_fork(int fork, int philosopher,
                                                    Philosopher_state waiting_state,
                                                    Philosopher_state next_state)
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        if(fork_state[fork] == BUSY) {
                philosopher_state[philosopher] = waiting_state;
                show();
                do {fork_available[fork].wait(lock);}while(fork_state[fork] == BUSY);
        }
        fork_state[fork] = BUSY;
        philosopher_state[philosopher] = next_state;
        show();
}

void Dining_table::release_fork(int fork, int philosopher,
                                Philosopher_state next_state)
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        fork_state[fork] = FREE;
        philosopher_state[philosopher] = next_state;
        show();
        fork_available[fork].notify_one();
}
```

Problem pet filozofa

```
Dining_table dining_table;

const milliseconds THINKING_PERIOD(10);
const milliseconds MEANTIME(5);
const milliseconds EATING_PERIOD(10);

void
thread_philosopher()
{
        int philosopher = dining_table.take_identity();
        int fork = philosopher;
        for(;;) {
                sleep_for(THINKING_PERIOD);
                dining_table.take_fork(fork, philosopher,
                                WAITING_LEFT_FORK, HOLDING_ONE_FORK);
                sleep_for(MEANTIME);
                dining_table.take_fork(mod5(fork+1), philosopher,
                                WAITING_RIGHT_FORK, EATING);
                sleep_for(EATING_PERIOD);
                dining_table.release_fork(fork, philosopher, HOLDING_ONE_FORK);
                sleep_for(MEANTIME);
                dining_table.release_fork(mod5(fork+1), philosopher, THINKING);
        }
}
```

Problem pet filozofa

```
int main()
{
	cout << endl << "DINING PHILOSOPHERS" << endl;
	thread philosopher0(thread_philosopher);
	thread philosopher1(thread_philosopher);
	thread philosopher2(thread_philosopher);
	thread philosopher3(thread_philosopher);
	thread philosopher4(thread_philosopher);
	philosopher0.join();
	philosopher1.join();
	philosopher2.join();
	philosopher3.join();
	philosopher4.join();
}
```

Problem pet filozofa

- Prikaz izmenjenih stanja filozofa:

```
(0:T) (1:T) (2:O) (3:T) (4:T)
(0:O) (1:T) (2:O) (3:T) (4:T)
(0:O) (1:T) (2:O) (3:O) (4:T)
(0:O) (1:O) (2:O) (3:O) (4:T)
(0:O) (1:O) (2:O) (3:O) (4:O)
(0:O) (1:O) (2:R) (3:O) (4:O)
(0:R) (1:O) (2:R) (3:O) (4:O)
(0:R) (1:O) (2:R) (3:R) (4:O)
(0:R) (1:R) (2:R) (3:R) (4:O)
(0:R) (1:R) (2:R) (3:R) (4:R)
```

Problem čitanja i pisanja

- Problem **čitanja** i **pisanja** (**readers**-**writers** problem) se može objasniti na primeru kao što je rukovanje bankovnim računima.
- Bankovni računi pripadaju komitentima banke i sadrže ukupan iznos novčanih sredstava svakog od komitenata.
- U najjednostavnijem slučaju, rukovanje bankovnim računima se svodi: na prenos sredstava (s jednog računa na drugi) i na proveru (stanja svih) računa.

Problem čitanja i pisanja

- Prenos sredstava obuhvata četiri koraka:

1) Čitanje stanja računa s koga se prenose sredstva

2) Pisanje novog stanja na ovaj račun. Novo stanje se dobije **umanjivanjem** pročitanog stanja za prenošeni iznos

3) Čitanje stanja računa na koji se prenose sredstva.

4)Pisanje novog stanja na račun na koji se prenose sredstva. Novo stanje se dobije **uvećavanjem** pročitanog stanja za prenošeni iznos

Problem čitanja i pisanja

- Uz pretpostavku da su prenosi sredstava mogući samo između posmatranih bankovnih računa, ukupna suma njihovih stanja je **nepromenljiva**.
- Prema tome, provera računa se svodi na čitanja, jedno za drugim, stanja svih računa, radi njihovog **sumiranja**.
- Ispravnost prenosa sredstava zavisi od **očuvanja konzistentnosti** stanja svih računa, za šta je neophodna **međusobna isključivost** raznih prenosa sredstava. U suprotnom, moguće su razne greške.

Problem čitanja i pisanja

- Iz prethodne analize sledi:

1) Da je za ispravnost prenosa bitno da **prenosi** budu **međusobno isključivi.**

2) Da je za ispravnost provera bitno da **provere** i **prenosi** budu **međusobno isključivi**.

- Pošto prenosi sadrže **pisanja**, a provere samo **čitanja**, sledi da operacije sa **pisanjem** moraju biti **međusobno isključive**, kao što moraju biti međusobno **isključive operacije** sa **pisanjem** i operacije sa **čitanjem**.
- Za operacije koje sadrže **samo čitanja** međusobna isključivost **nije potrebna**.

Problem čitanja i pisanja

```
#include<thread>
#include<iostream>

using namespace std;
using namespace chrono;
using namespace this_thread;

const unsigned ACCOUNTS_NUMBER = 10;
const int INITIAL_AMOUNT = 100;

class Bank {
        mutex mx;
        int accounts[ACCOUNTS_NUMBER];
        short readers_number;
        short writers_number;
        short readers_delayed_number;
        short writers_delayed_number;
        condition_variable readers_q;
        condition_variable writers_q;
```

Problem čitanja i pisanja

```
        void show();
        void reader_begin();
        void reader_end();
        void writer_begin();
        void writer_end();
public:
        Bank();
        void audit();
        void transaction(unsigned source, unsigned destination);
};

Bank::Bank()
{
        for(unsigned i = 0; i < ACCOUNTS_NUMBER; i++)
                accounts[i] = INITIAL_AMOUNT;
        readers_number = 0;
        writers_number = 0;
        readers_delayed_number = 0;
        writers_delayed_number = 0;
}
```

Problem čitanja i pisanja

```
void
Bank::show()
{
        cout << "RN: " << readers_number << " RDN: "
          << readers_delayed_number << " WN: "
          << writers_number << " WDN: "
          << writers_delayed_number << endl;
}

void Bank::reader_begin()
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        if((writers_number > 0) || (writers_delayed_number > 0){
                readers_delayed_number++;
                show();
                do { readers_q.wait(lock); }
                while((writers_number > 0) ||
                          (writers_delayed_number > 0));
        }
```

Problem čitanja i pisanja

```
        readers_number++;
        show();
        if(readers_delayed_number > 0){
                readers_delayed_number--;
                show();
                readers_q.notify_one();
        }
}

void Bank::reader_end()
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        readers_number--;
        show();
        if((readers_number == 0) &&
           (writers_delayed_number > 0)){
                writers_delayed_number--;
                show();
                writers_q.notify_one();
        }
}
```

Problem čitanja i pisanja

```
void Bank::writer_begin()
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        if((readers_number > 0) || (writers_number > 0)){
                writers_delayed_number++;
                show();
                do { writers_q.wait(lock); }
                while((readers_number > 0) || (writers_number > 0));
        }
        writers_number++;
        show();
}
```

Problem čitanja i pisanja

```
void Bank::writer_end()
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        writers_number--;
        show();
        if(writers_delayed_number > 0){
                writers_delayed_number--;
                show();
                writers_q.notify_one();
        } else if(readers_delayed_number > 0) {
                readers_delayed_number--;
                show();
                readers_q.notify_one();
        }
}
```

Problem čitanja i pisanja

```
const milliseconds WRITING_PERIOD(1);

void Bank::transaction(unsigned source,
                       unsigned destination)
{
        int amount;
        writer_begin();
        sleep_for(WRITING_PERIOD);
        amount = accounts[source];
        accounts[source] -= amount;
        accounts[destination] += amount;
        writer_end();
}

Bank bank;

void thread_reader()
{
        bank.audit();
}
```

Problem čitanja i pisanja

```
const milliseconds READING_PERIOD(1);

void Bank::audit()
{
        int sum = 0;
        reader_begin();
        sleep_for(READING_PERIOD);
        for(unsigned i = 0; i < ACCOUNTS_NUMBER; i++)
                sum += accounts[i];
        reader_end();
        if(sum != ACCOUNTS_NUMBER*INITIAL_AMOUNT) {
                unique_lock<mutex> lock(mx);
                cout << " audit error " << endl;
        }
}
```

Problem čitanja i pisanja

```
const milliseconds WRITING_PERIOD(1);

void Bank::transaction(unsigned source,
                       unsigned destination)
{
        int amount;
        writer_begin();
        sleep_for(WRITING_PERIOD);
        amount = accounts[source];
        accounts[source] -= amount;
        accounts[destination] += amount;
        writer_end();
}

Bank bank;

void thread_reader()
{
        bank.audit();
}
```

Problem čitanja i pisanja

```
void thread_writer0to1()
{
        bank.transaction(0, 1);
}

void thread_writer1to0()
{
        bank.transaction(1, 0);
}

int main()
{
        cout << endl << "READERS AND WRITERS" << endl;
        thread reader0(thread_reader);
        thread reader1(thread_reader);
        thread writer0(thread_writer0to1);
        thread reader2(thread_reader);
        thread writer1(thread_writer1to0);
        reader0.join();
        reader1.join();
        writer0.join();
        reader2.join();
        writer1.join();
}
```

Problem čitanja i pisanja

```
READERS AND WRITERS
RN: 1  RDN: 0  WN: 0  WDN: 0
RN: 2  RDN: 0  WN: 0  WDN: 0
RN: 2  RDN: 0  WN: 0  WDN: 1
RN: 2  RDN: 1  WN: 0  WDN: 1
RN: 2  RDN: 1  WN: 0  WDN: 2
RN: 1  RDN: 1  WN: 0  WDN: 2
RN: 0  RDN: 1  WN: 0  WDN: 2
RN: 0  RDN: 1  WN: 0  WDN: 1
RN: 0  RDN: 1  WN: 1  WDN: 1
RN: 0  RDN: 1  WN: 0  WDN: 1
RN: 0  RDN: 1  WN: 0  WDN: 0
RN: 0  RDN: 1  WN: 1  WDN: 0
RN: 0  RDN: 1  WN: 0  WDN: 0
RN: 0  RDN: 0  WN: 0  WDN: 0
RN: 1  RDN: 0  WN: 0  WDN: 0
RN: 0  RDN: 0  WN: 0  WDN: 0
```

- Prethodno rešenje problema čitanja i pisanja nije dobro, ako je važno da **čitanja imaju prednost u odnosu na pisanja**, odnosno, da provere računa imaju prednost u odnosu na prenose sredstava.

Rizici konkurentnog programiranja

- **Opisivanje obrada podataka** je **jedini cilj sekvencijalnog**, a **osnovni cilj** konkurentnog programiranja.
- **Bolje iskorišćenje računara** i njegovo čvršće sprezanje sa okolinom su dodatni ciljevi konkurentnog programiranja, po kojima se ono i razlikuje od sekvencijalnog programiranja.
- Od suštinske važnosti je da ostvarenje **dodatnih ciljeva** ne ugrozi ostvarenje **osnovnog cilja**, jer je on **neprikosnoven**, pošto je konkurentni program upotrebljiv jedino ako iza svakog od njegovih izvršavanja ostaju samo **ispravno obrađeni podaci**.

Rizici konkurentnog programiranja

- Tipične poželjne osobine sekvencijalnog, a to znači i konkurentnog programa obuhvataju tvrdnje uključivanja poželjnog, kao što je tvrdnja da nakon izvršavanja programa **ostaju ispravno obrađeni podaci**, i tvrdnje isključivanja nepoželjnog, kao što je tvrdnja da program **ne sadrži beskonačne petlje.**
- Tipične **dodatne** poželjne osobine konkurentnog programa obuhvataju tvrdnje **uključivanja poželjnog**, kao što je tvrdnja da su, u toku izvršavanja programa, **deljene promenljive stalno konzistentne**, i tvrdnje **isključivanja nepoželjnog**, kao što je tvrdnja da u toku izvršavanja programa ne dolazi do **trajnog zaustavljanja aktivnosti niti**.

Rizici konkurentnog programiranja

- Ispravnu obradu podataka ugrožava narušavanje konzistentnosti deljenih promenljivih u toku izvršavanja konkurentnog programa.
- Do narušavanja konzistentnosti deljenih promenljivih dolazi, ako **na kraju isključivog regiona** deljena promenljiva nije u **konzistentnom stanju** ili ako se operacija **`wait()`** pozove pre nego je deljena promenljiva dovedena u konzistentno stanje:

```
{
        unique_lock<mutex> lock(mx);
        //< exclusive region 1 >
        some_condition.wait(lock);
        //< exclusive region 2 >
}
```

Rizici konkurentnog programiranja

- Upotrebljivost konkurentnih programa ugrožava i pojava **međuzavisnosti niti**, poznata pod nazivom **mrtva petlja**.
- Ona dovodi do trajnog zaustavljanja aktivnosti niti, a to ima za posledicu da izvršavanje konkurentnog programa **nema kraja**.
- Konkurentni program, u toku čijeg izvršavanja je moguća pojava **mrtve petlje**, **nije upotrebljiv**, jer pojedina od njegovih izvršavanja, koja nemaju kraja, ne dovode do uspešne obrade podataka.
- Do **mrtve petlje** može da dođe, na primer, ako se iz **jedne deljene klase pozivaju operacije druge deljene klase**, pod uslovom da je bar jedna od pozivanih operacija **blokirajuća**.

Rizici konkurentnog programiranja

```
class Activity {
        mutex mx_activity;
        condition_variable activity_permission;
public:
        void stop();
        void start();
};

void Activity::stop()
{
        unique_lock<mutex> lock(mx_activity);
        activity_permission.wait(lock);
}

void Activity::start()
{
        unique_lock<mutex> lock(mx_activity);
        activity_permission.notify_one();
}
```

Rizici konkurentnog programiranja

```
class Manager {
        mutex mx_manager;
        Activity activity;
public:
        void disable_activity();
        void enable_activity();
};

void Manager::disable_activity()
{
        unique_lock<mutex> lock(mx_manager);
        activity.stop();
}

void Manager::enable_activity()
{
        unique_lock<mutex> lock(mx_manager);
        activity.start();
}

Manager manager;
```

Rizici konkurentnog programiranja

- Mrtve petlje, koje ilustruje prethodni primer, se mogu sprečiti, ako se blokirajuća operacija **ne poziva iz isključivog regiona**.
- Nenamerno izazivanje konačnog, ali nepredvidivo dugog zaustavljanja aktivnosti niti u toku isključivog regiona može da ima negativne posledice na izvršavanje programa.
- To se, na primer, desi, kada se iz isključivog regiona pozivaju potencijalno blokirajuće operacije, poput funkcije `sleep_for()`.
- Globalne **const** promenljive, koje služe za smeštanje podataka, raspoloživih **svim nitima**, **ne spadaju u deljene promenljive**.