IT University of Copenhagen

Operativsystemer og C

BOSC

Obligatorisk Opgave 2

Author:
Omar Khan (omsh@itu.dk)
Mads Ljungberg (malj@itu.dk)

October 23, 2015

Contents

1 Introduktion

Formålet med denn rapport er at give indsigt i brugen af tråde i et operativsystem, ved brug af pthread, mutex og semaphore. I rapporten gennemgås teorien bag disse værktøjer og hvordan de implementeres i programmer for at opnå arbejde gennem flere tråde i et system. Kildekoden for programmerne er vedlagt som Appendix A.

2 Teori

2.1 Pthreads

Pthread er et standardiseret trådbibliotek som bruges til at oprette tråde. Dette gør at man kan køre funktioner parrallelt, samle resultater fra barne tråde til forældretråden, og destruere tråde som blev skabt når man er færdig med at bruge dem.

2.2 Mutex

Mutex bruges når man har kritiske sektioner i sin kode og vil synkronisere sine processertråde. Hvis flere tråde bruger en værdi i den kritiske section, og ændre på den parrallelt, vides det ikke hvornår trådene ændre på værdien. Dette kan skabe problemer og giver forkerte læsninger også kaldet dirty reads.

Ved brug af mutex kan man låse disse sektioner af, så andre processer/tråde ikke kan tilgå sektionen, når processen med låsen er færdig i sektionen vil mutex frigive låsen og lade andre processer/tråde tilgå den kritiske sektion.

2.3 Semaphores

Semaphores er en anden variation til at låse kritiske sektioner af med. De følger et andet princip med, at de har en variabel med sig som betegner hvor mange pladser der er til processer/tråde kan køre simultant med hinanden. Når alle pladser er i brug vil semaphoren blokerer adgangen til sectionen, og først give adgang når der er plads igen.

Semaphorens metoder,`sem_wait()` og `sem_post()`, har en virkning på den variabel som semaphoren har med sig. `sem_wait()` vil sænke variablen med 1 – reducere antallet a ledige pladser, og post vil hæve variablen med 1 – øge antallet af ledige pladser. Når variablen når 0 vil wait vente på et post.

2.3.1 Pthread condition vs semaphores

Hvor semaphores blokerer kritiske sektioner vil pthread condition blokere på værdier den har brug fra et andet sted. Hvis man har 2 tråde, hvor tråd A gør brug af en global variable x som tråd B ændrer, kan man i tråd A vente på at B har ændret præcis denne variabel x.

Forskellen mellem pthread condition og semaphore er, at pthread condition blokerer på værdier fremfor sektioner, og derved kun blokerer når det er højst nødvendigt.

2.4 Concurenxy Control

Når man har noget data som mange skal bruge på samme tid, hvordan opnås dette uden at ændringerne der bliver foretaget ikke ender med at være forkerte, når andre skal bruge dem?

Dette er grundlaget for concurrency control, at sikre at samtidige ændringer håndteres korrekt og efter hensigten. I concurency control har man transaktioner med processer som udfører nogle handlinger der generelt betegnes som læse- og skrivehandlinger. Hvis man har to transaktioner som begge har adgang til ressource x, så kan en handling se sådan ud:

- $read(x), write(x, value)$

Hvis begge nu skulle lave en $write(x, 34)$ og $write(x, 1000)$, hvilken skulle så være den der får lov til at ændre den variabel?

Besvarelsen af det spørgsmål afgør om hvorvidt den næste process der laver en $read(x)$ ender med et resultat der er brugbart eller ej. For at undgå dette skal man sørge for at ens transaktioner er seriel ækvivalens. Dette kan gøres på mange forskellige måder. En af dem er som mutex, hvor man låser den sektion der er data sensitiv af, indtil man er sikker på at ændringerne har taget efekt. Dette gør at man ikke får dirty reads. Det er dog ikke nok til at kalde det en seriel ækvivalent transaktion. For at de kan være det så kræver det, at dataen ser ud som den ville hvis en transaktion havde kørt den isoleret.

2.5 Bankers Algorithm

Banker's algoritme er en resource alokerings algoritme som bruges til hovedsageligt til at undgå deadlock situationer.

Algoritmen benytter matriser til at allokere ressoourcer til processer og holder styr på hvor mange ressourcer af typen R, en process har fået. Den benytter to vektorer, *available* med længen m som angiver den maksimale mængde ressourcer

af en given type R der er tilgængelig, og *resource* der angiver de maksimalt tilgængelige ressourcer af en type R.

I algoritmen er der 3 matriser i alt, med størrelsen $n \times m$, hvor n er antallet af processer og m er antallet af ressourse typer R. $max[n \times m]$ er en matrise som holder styr på hvor mange resourser R en process kan modtage. $need[n \times m]$ er en matrise som angiver algoritmen, hvor mange resourcer en given process mangler for de specifikke typer R. $allocated[n \times m]$ er en matrise som håndtere allokeringen af ressourcer på processerne på et givent tidspunkt.

Safe state og unsafe state er to stadier som er kernen i denne algoritme. Det er dette der afgør om der er nok resourcer til en proces kan udføre sit arbejde og afslutte, uden at de andre processer kommer til at deadlock. En safe state er når en process kan få alle ressourcer den har brug for samtidig med at der er nok til at en anden process kan få ressourcer.

Hvis man antager at der er 5 resourcer af typen B og der er tre processer 1, 2, 3. Proces 1 kommer med en forespørgsel om at få 3B ressourcer. For at tilfredse dette behov så vil Banker's algoritme tjekke safe states, ved at se om den kan allokere de ressourcer. Hvis ja, kigger den på tilstanden efter resourcen er blevet tildelt og ser om der er en proces der stadig kan få tilfredsstillet sit behov for rescourcer, dette gentages så den kan se at alle processer stadig kan køre.

Med denne metode undgås deadlocks fordi der på intet tidspunkt er processer der venter på rescourcer som de aldrig kan få, mindst en process kan altid få nok rescourcer til at afslutte. Denne algoritme har dog nogle downsides som er ret markante. En af dem er, at man er nød til at vide på forhand hvilke og hvor mange ressourcer en process maksimum skal bruge, hvilket er et sjældent scenarie. Udover dette så at antage, at en proces skal frigive alle sine resourcer når den terminere er i sig selv et vigtigt for algoritmen, men da man ikke kan sige levetiden på en given proces, kan man måske vente flere minutter, timer eller dage på, at de ressourcer tilbage. Dette er ikke praktisk for et realistisk system. I vores verden i dag, er det ikke logisk at have et statisk antal processor, da verden er begyndt at bruge mange flere tråde som bliver oprettet og lukket igen og igen i løbet af et programs levetid.

3 Implementation

I dette afsnit er der beskrevet de tanker vi har gjort os omkring vores implementation af de fire opgaver. Bemærk at der ikke bliver beskrevet meget om testing, da det er i afsnittet Testing.

3.1 Sum(Sqrt)

Vi tager udgangspunkt i bogens implementation af et sum program, der benytter en tråd til at beregne summen fra 0 til et givent tal. Programmet er ret simpel siden den kun benytter en tråd, men det viser hvordan en tråd starter med `pthread` til at udføre en given funktion. Vores program er anderledes idet det skal benytte flere tråde, hvilket betyder at arbejdet skal opdeles.Desuden skal summen være af kvadratrod.

$$\sum_{i=0}^{N} \sqrt{i}$$

Programmet skal tage imod to typer af input tallet der skal summeres op til og et tal der angiver hvor mange tråde der skal køres. Ud fra en antagelse vi godt må gøre os, at resultatet af N/t er et heltal, hvor t er antallet af tråde. Med denne antagelse kan vi ligeligt opdele arbejdet mellem trådene.

Vi har lavet en `struct` til at give som argument, da `pthread_create(pthread_t *tid, pthread_attr_t *attr, void *method, void *param)` kun tager et parameter og vi har behov for at give to parametre, `n` og `sqrtsum`. Summen er dog det eneste tal der ændres på, mens `n`, N/t, bliver sat før nogen tråde starter og derfor kunne man i retrospekt godt have ladet være med at lave en `struct`.

Programmet bruger desuden en `mutex`, som den låser når der skal lægges til `sqrtsum`. Dette sikre os, at flere tråde ikke opdatere summen samtidig.

3.1.1 Programtid

Til at se program tiden har vi gjort brug af `<sys/time.h>` og dermed benytte de to `struct`, `timezone` og `timeval`, til at beregne tiden.

Vi har så kørt programmet med $N = 100000000$ og $t = 1, 4, 8, 16$. Derudover har vi kørt programmet i flere kerner, ved at bruge `parallel`, som skulle være hurtigere.

```
ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode$ ./sqrtsum
   100000000 1
sqrtsum = 666666671666.567017
Total time(ms): 1690

```

```
ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode$ ./sqrtsum
    100000000 4
sqrtsum = 666666671666.513916
Total time(ms): 751

ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode$ ./sqrtsum
    100000000 8
sqrtsum = 666666671666.464111
Total time(ms): 731

ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode$ ./sqrtsum
    100000000 16
sqrtsum = 666666671666.476440
Total time(ms): 727

ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode$ parallel
    ./sqrtsum ::: 100000000 ::: 1
sqrtsum = 666666671666.567017
Total time(ms): 1685

ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode$ parallel
    ./sqrtsum ::: 100000000 ::: 4
sqrtsum = 666666671666.513916
Total time(ms): 716

ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode$ parallel
    ./sqrtsum ::: 100000000 ::: 8
sqrtsum = 666666671666.463989
Total time(ms): 716

ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode$ parallel
    ./sqrtsum ::: 100000000 ::: 16
sqrtsum = 666666671666.476562
Total time(ms): 716
```

Der er en klar forskel mellem at bruge èn tråd eller flere tråde, men man kan ikke sige, at flere tråde giver et hurtigere program. Det kommer an på opgaven trådene har og i det her tilfælde er det at beregne kvadratrods summen, hvor belastningen afhænger af størrelsen på N. Den værdi der blev testet med viser at der ikke er den store forskel ved at bruge 4 eller 16 tråde, men det kunne der være hvis tallet nu var 10 gange større.

Når programmet bliver kørt med `parallel` er der ikke den store forskel når man benytter en tråd, hvilket er meningen. Når der tilgengæld benyttes flere tråde er den hurtigere, som antaget, men der er ingen forskel mellem at bruge 4 eller 16 tråde, hvilket er lidt overraskende. Vi har ingen konkret forklaring på dette

tilfælde, men antager, at det skyldes operationens simplicitet.

3.2 Linked List

Linked list er en datastruktur der er bestående af noder med to værdier, deres element værdi(kunne f.eks. være en `string`, `int` osv.) og den næste node i listen. Selve listen kender til sin første og sidste node samt sin længde. Når listen er tom, dvs. længden er nul, er der kun en node i den og det er `first` som peger på `NULL` som den næste node i listen. `first` kendes som root og kan/må ikke fjernes. Listen som vi skal implementere er en FIFO(first-in-first-out), hvilket betyder at når vi tilføjer en node ryger den bagerst i kæden og bliver til den sidste node. Omvendt når vi fjerner en node skal den første ikke root node fjernes.

Vi er allerede blevet givet strukturen af noden og listen, samt funktioner til at oprette lister og noder. Opgaven er at implementere tilføj og fjern funktioner til listen.

3.2.1 Tilføj og Fjern

Når man tilføjer en node skal man tage højde for om det er den første node efter root eller ej. Hvis dette er tilfældet, vil længden være 0 og dvs. at noden der tilføjes skal sættes som at være lig den root's næste node. Desuden er dette ikke blot den første node i listen, men også sidste node i listen så det skal den også sættes til.

```
if(l->len == 0)
{
    l->first->next = n;
    l->last = n;
}
```

Hvis det ikke er tilfældet er noden der skal tilføjes den nye sidste node i listen, så vi skal opdatere den sidste node.

```
else
{
    l->last->next = n;
    l->last = n;
}
```

Til sidst skal længden incrementes med 1.

Når vi skal fjerne en node skal vi opdatere root's næste node, da det nu skal være den næste nodes næste node. Desuden skal der tjekkes for om listen ikke er tom.

```
1 if(l->len > 0)
  {
3     n = l->first->next;
      l->first->next = n->next;
5     l->len -= 1;
  }
```

3.2.2 Problemer med flere tråde

Hvis flere tråde skal tilføje eller fjerne noder i listen kan der opstå problemer med integriteten af den data der er i listen. Listen behøver ikke nogen bestemt rækkefølge så vi kan godt tilføje noder tilfældigt, men hvis der bliver lavet et kald til tilføj via en tråd, så vil man gerne have at den node kommer ind i listen. Desuden hvis man lige har læst længden af listen, som ikke er tom, og man fjerner en node, er der ikke garanti for at listen ikke er tom på det tidspunkt denne tråd får lov til at udføre sin handling. Det resulterer i at du får en `NULL` node, og det kan i værste fald give en runtime error hvis programmet der kaldte på fjern afhang kraftigt af noden.

3.2.3 Mutex og Linked List

En god måde at sikre at flere tråde kan arbejde på listen samtidig er ved at lave et låse system med en nøgle, hvilket mutex er. Det betyder at når nøglen er fri kan man godt foretage operationer i listen, og hvis den ikke er så venter du indtil den bliver det.

Det man så skal overveje er hvor man skal sætte sine låse, er det brugeren af programmet der skal gøre det i sin tråd funktion? Det kunne godt lade sig gøre, men er ikke særlig hensigtsmæssig, som i forhold til hvis listen selv kunne håndtere dette. Det betyder så, at listen skal have en nøgle. Vi har tilføjet mutex i listens `struct` i `list.h`, da dette gør at man er sikret at en liste har en speciel lås.

Forrige sektion afklarede at det kun var nødvendigt at tilføje en låsemekanisme når man tilføjer eller fjerner noder, idet det er de kristiske sektioner i listen. Dette har vi gjort ved brug af `pthread_mutex_lock(l->mtx)` og `pthread_mutex_unlock(l->mtx)`.

3.3 Producer-Consumer problemet

Producer-Consumer problemet er et velkendt problem, hvor producenter producerer varer, som consumers konsumerer. Problemet ligger i at stoppe consumers med at konsumerer vare når der ikke er flere varer og ligeledes at stoppe producenter med at producerer varer når lageret er fyldt. Dette kan gøres ved brug

af semaphores, da den netop har den funktionalitet der efterspørges i form af funktionerne `sem_wait()` og `sem_post()`. I programmet har vi implementeret en `struct PC`, der indeholder vores linked list, der fungerer som lager, og tre semaphores, `full` til at indikerer at der er vare i lageret, `empty` en til at indikerer at der er plads i lageret og `mutex` en der agerer som en mutex.

Programmet skal tage følgende fire input:

- Antallet af producers, `PRODUCERS`
- Antallet af consumers, `CONSUMERS`
- Størrelsen på lageret, `BUFFSIZE`
- Antallet af vare der skal produceres i alt, `PRODUCTS_IN_TOTAL`

Vi initialiserer vores semaphores således at `full` sættes til 0 og `empty` sættes til lagerets størrelse.

```
sem_init(&prodcons.full, 0, 0);
sem_init(&prodcons.empty, 0, BUFFSIZE);
sem_init(&prodcons.mutex, 0, 1);
```

Dette gøres grundet logikken i `sem_wait()` der formindsker værdien og `sem_post()` der forhøjer værdien. Dermed sætter vi producers til at holde øje med `empty` og sende et signal til `full` med post, og omvendt med consumers.

```
void *producer(void *param)
{
    .
    sem_wait(&empty);
    .
    sem_post(&full);
    .
}

void *consumer(void *param)
{
    .
    sem_wait(&full);
    .
    sem_post(&empty);
    .
}
```

For at holde styr på hvor mange produkter der produceres og konsumeres har vi to counters `p` og `c`, der bliver tjekket op med produkter i alt i deres respektive funktioners while løkker. Mutex semaphoren anvendes til at opdatere counters.

3.4 Banker's Algoritme

Til vores implementation af Banker's algoritme er vi blevet tildelt en fil med den grundliggende implementation af algoritmens struktur. I den givet implementation er der en `struct State` som består af de elementer Banker's algoritme kræver forklaret i Teori afsnittet. Det første der manglede at blive implementeret i filen var allokeringen af hukommelse til `State`. Til dette anvender vi `malloc()` og `sizeof()` funktionerne. Med disse funktioner kan vi beregne det antal bytes i hukommelsen vi kommer til at anvende. Der hvor dette kan være problematisk er når der skal allokeres hukommelse til arrays og 2D-arrays. I et array skal man huske at allokere hukommelse i forhold til dens længde, så derfor ganges dette med `sizeof()` af typen. For 2D-arrays kræver det to skridt, hvor i det første skridt tildeles hukommelse af det andet array og i det andet skridt ved brug af en loop allokeres hukommelse til det første array.

```
s = (State *)malloc(sizeof(State));
s->resource = (int *)malloc(sizeof(int) * n);
s->available = (int *)malloc(sizeof(int) * n);
s->max = (int **)malloc(sizeof(int *) * n);
s->allocation = (int **)malloc(sizeof(int *) * n);
s->need = (int **)malloc(sizeof(int *) * n);

for(i = 0; i < m; i++)
{
    s->max[i] = (int *)malloc(sizeof(int) * m);
    s->allocation[i] = (int *)malloc(sizeof(int) * m);
    s->need[i] = (int *)malloc(sizeof(int) * m);
}
```

Det næste handlede om at tjekke om programmet var i en safe state eller en unsafe state. For at gøre dette lavede vi en metode `checksafety()`, der kopiere det kritiske indhold af staten og simulerer eksekvering af alle processerne. Hvis dette lykkedes er vi i en safe state, ellers er vi ikke og skal stoppe programmet.

Når dette er gjort laver programmet nogle forespørgsler på ressurser, som vi håndterer i `resource_request()`. I denne metode har vi fulgt teorien, med hensyn til at tjekke forespørgslen er inden for `need`, hvilket er et ekstra tjek eftersom når forespørgslen er beregnet ud fra `need` i `generate_request()`, men i tilfælde af at en bruger indtaster en forespørgsel er dette tjek godt at have. Derudover ser vi på om `available` ikke bliver overskredet af forespørgslen. Dette tjek er muligvis ikke nødvendigt, da en mulig simulation kan frigive nok ressourser på et andet tidspunkt. Til sidst hvis alt er gået godt, tildeler vi ressurserne, men vælger lave en kopi af de nuværende `available`, `need` og `allocation`. Dette gøres fordi vi efter tildelingen anvender `checksafety()` til at finde ud af om det er i orden, hvis ikke går vi tilbage til de tidligere værdier.

Til sidst implementeret vi funktionen `resource_release()`, der skal frigive ressurser fra en proces. Ligesom en bank tager vi imod det og opdatere

`available`, `need` og `allocation`.

4 Testing

4.1 Sum(Sqrt)

For at teste dette program har vi udregnet nogle små sum af sqrt's som vi har tjekket op mod det endelige resultat.

```
./sqrtsum 4 2
sqrtsum = 6.146264

./sqrtsum 6 3
sqrtsum = 10.831822
```

Da disse har vist sig at være korrekte har vi antaget at beregningen er korrekt. Desuden har vi haft `printf` statements til at se hvor meget enkelte tråde har lagt til summen, men disse er fjernet nu da vi ved at den arbejder med flere tråde uden problemer. Det er dog værd at bemærke, at de sidste få decimaltal er varierernde i forhold til antallet af tråde man benytter, hvilket giver mening idet desto flere opdelinger af tråde desto mindre præcist bliver beregningen når der lægges til.

Da vi har gjort os antagelsen for input er to tal og de kan divideres til et heltal, har vi ikke gjort meget ud af, at tjekke om brugeren giver det rigtige input.

4.2 Linked List

For at teste om vores implementation af `list.c`'s tilføj og fjern funktioner virkede brugte vi den `main.c` fil der blev givet. Den samme fil er nu blevet til testprogrammet for at tjekke om listen kan håndtere flere tråde.

Programmet tager to inputs. Antallet af noder man vil sætte ind i listen og antallet man vil fjerne. Dette giver os muligheden for at tjekke flere scenarier. Vi har testet fire scenarier:

- Tilføj uden at fjerne
- Fjern uden at tilføje
- Tilføj 20 og Fjern 30
- Tilføj 25 og Fjern 10

```
ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode/list$ ./fifo 4 0
Success! List is correct. Diff:4 Length:4
```

```
ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode/list$ ./fifo 0 10
Success! List is correct. Diff:-10 Length:0

ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode/list$ ./fifo 20 30
Success! List is correct. Diff:-10 Length:0

ok@ok:~/Dokumenter/BOSC/Assignment 2/Sourcecode/list$ ./fifo 25 10
Success! List is correct. Diff:15 Length:15
```

Igen som i den tidligere opgave med summen, har vi haft `printf` statements til at angive produkter der kommer ind og ud, men efter vi fik bekræftet at dette lykkedes i forhold til de tre scenarier, fjernede vi dem og lavede en mere ren succes og fejl besked. Scenarierne viser differencen mellem tilføj og fjern og hvad listens længde er til sidst. Rækkefølgen af elementerne er tilfældig da vi ikke har lavet nogen restriktion for det.

4.3 Producer-Consumer

Dette program er testet på baggrund af sine counters. Hvis de begge er lig `PRODUCTS_IN_TOTAL`, betyder det at alle produkter er produceret og konsumeret. Derudover printer den alle produkter der bliver produceret og konsumeret ligesom i opgavebeskrivelsen. Under testing fandt vi dog ud af at der i visse tilfælde, efter det sidste produkt er konsumeret, sidder programmet fast. Dette antager vi skyldes en af semaphorerne har fejlet eller at en af trådene gik tabt og derfor venter programmet.

```
./prodcons 20 20 10 300
.
.
10. Consumed Item 298: P298. Items in buffer 2 (out of 10)
8. Consumed Item 299: P299. Items in buffer 1 (out of 10)
4. Consumed Item 300: P300. Items in buffer 0 (out of 10)
Success! All products produced and consumed.
```

Ved testning af dette program blev vi overrasket over, at man ikke får nogen warnings fra compileren hvis man benytter `wait()` med en semaphore, da vi havde overset at vi på det tidspunkt ikke brugte `sem_wait()` og derfor fik en buffer der blev større end tilladt.

4.4 Banker's Algoritme

Banker's algoritme er testet med de to inputfiler der er blevet givet. Ved input.txt ender vi i en uendelig lykke, da `generate_request()` ikke laver brugbare ressurser, andet end 0 0 0. Den stopper tilgengæld input2.txt filen efter den er blevet tjekket via `checksafety()`.

Vi kan ikke se om programmet virker korrekt, andet end at vi kan delvis bekræfte `checksafety()` funktionen da den stopper input2.txt filen.

5 Reflektion

I dette afsnit ser vi retrospekt på programmerne vi har implementeret og hvad vi kan bruge i fremtiden.

Ved at lave alle disse opgaver er vi blevet klogere på hvordan tråde arbejder i et operativ system, samt hvor og hvornår det er relevant at benytte semaphore eller mutexes.

I opgaven med sum valgte vi at gøre brug af en struct til et forholdsvis simpelt program, hvilket som nævnt under Testing, kunne være undgået, da der kun er en variabel der bliver ændret. Hvis det havde været tilfældet at n var anderledes for bestemte processer ville det give mening at beholde structen.

Med hensyn til implementeringen af linked list, brugte vi meget tid og fik mange interessante variationer af en thread safe liste. En af vores lister kaldet `mlist.c`(ikke med i sourcecode), kom vi frem til en løsning som helt selv stod for at holde styr på threads og brugeren skulle kun kalde `list_add()` og `list_remove()` på samme måde som i opgave 2.1. Denne løsning viste sig at være interessant, men meget komplekst og ud fra hvad vi kan forstå af det hele så vides det ikke om den er 100% safe. I sidste ende gik vi dog tilbage til at ændre i `list.c`, da det var mere overskueligt. I fremtiden bør vi nok holde os til de simple løsninger så der kan spares tid når man møder de svære opgaver.

Producer-Consumer opgaven var en god opgave til at lære brugen af semaphores, men grundet en overset `wait()`, der ikke var `sem_wait()` røg der et par timer i debugging.

Fra Banker's algoritme opgave tager vi det med os at forstå den udleveret kode og teorien fuldstændig før vi går i gang med at implementere det, da det var grunden til tiden løb fra os.

6 Konklusion

Efter implementeringen af opgaverne fra opgavebeskrivelsen har vi implementeret fire programmer der giver os indblik i koncepterne omkring pthread, mutex og semaphores. Afprøvelserne af disse programmer har vist den ønskede funktionalitet og at de passer i forhold til teorien. Banker's algoritme programmet er der stadig tvivl omkring, da den er i en uendelig løkke grundet en metode. Med undtagelse af Banker's algoritme kan vi konkludere at programmerne virker som beskrevet i opgavebeskrivelsen.

7 Appendix A - Sourcecode

sqrtsum.c

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <sys/time.h>

typedef struct
{
  int n;
  double sum;
} SQRTSUM;

// globally shared struct
SQRTSUM sqrtsum;

// PThread mutex variable
pthread_mutex_t mutex_sqrtsum;

// structs to determine time
struct timeval tp1, tp2;
struct timezone tpz1, tpz2;

// threads call this function
void *runner(void *param);

/* Takes 2 arguments, a number N for the summation limit and t as
   in number of threads */
int main(int argc, char *argv[])
{
  gettimeofday(&tp1, &tpz1);

  if (atoi(argv[1]) < 0)
  {
    fprintf(stderr, "%d must be over >= 0\n", atoi(argv[1]));
    return -1;
  }

  int i, NUM_THREADS = atoi(argv[2]);
  // the thread id array
  pthread_t tid[NUM_THREADS];
  // set of thread attributes
  pthread_attr_t attr;
  // assumption: argv[1] % NUM_THREADS = 0
```

```
42    int n = atoi(argv[1])/NUM_THREADS;
      sqrtsum.n = n;
44
      pthread_mutex_init(&mutex_sqrtsum, NULL);
46
      // get the default attributes
48    pthread_attr_init(&attr);
      // set the attribute as joinable, so the threads can join with
         the main thread
50    pthread_attr_setdetachstate(&attr, PTHREAD_CREATE_JOINABLE);

52    // create the threads
      for (i = 0; i < NUM_THREADS; i++)
54    {
        pthread_create(&tid[i], &attr, runner, (void *)i);
56    }

58    // destroy attribute
      pthread_attr_destroy(&attr);
60
      // wait for the thread to exit
62    for (i=0; i < NUM_THREADS; i++)
      {
64      pthread_join(tid[i],NULL);
      }
66    printf("sqrtsum = %f\n", sqrtsum.sum);

68    // destroy mutex
      pthread_mutex_destroy(&mutex_sqrtsum);
70
      gettimeofday(&tp2, &tpz2);
72
      // calculate program time
74    int time = (tp2.tv_sec - tp1.tv_sec) * 1000 + (tp2.tv_usec -
         tp1.tv_usec) / 1000;
      printf("Total time(ms): %d\n", time);
76    time;
      return 0;
78  }

80  /* Threads will use this function */
    void *runner(void *param)
82  {
      int i, n, start, tid, upper;
84
      // local sum variable
```

```
86    double lsqrtsum = 0.0;
      // short summation limit
88    n = sqrtsum.n;
      // thread id
90    tid = (int *)param;
      // start value for loop
92    start = n * tid + 1;
      // upper value for loop
94    upper = start + n;

96    for (i = start; i < upper ; i++)
      {
98      lsqrtsum += sqrt(i);
      }
100
      //printf("Thread %d: Local sqrtsum: %f\n", tid, lsqrtsum);
102
      // lock mutex
104   pthread_mutex_lock(&mutex_sqrtsum);
      // update global struct variable
106   sqrtsum.sum += lsqrtsum;
      // unlock mutex
108   pthread_mutex_unlock(&mutex_sqrtsum);
      // exit pthread
110   pthread_exit(0);
}
```

list/list.c

```
/*****************************************************************************
   list.c

   Implementation of simple linked list defined in list.h.

*****************************************************************************/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <pthread.h>
#include "list.h"

/* list_new: return a new list structure */
List *list_new(void)
{
  List *l;

  l = (List *) malloc(sizeof(List));
  l->len = 0;

  /* insert root element which should never be removed */
  l->first = l->last = (Node *) malloc(sizeof(Node));
  l->first->elm = NULL;
  l->first->next = NULL;
  l->mtx = (pthread_mutex_t *) malloc(sizeof(pthread_mutex_t));
  pthread_mutex_init(l->mtx, NULL);
  return l;
}

/* list_add: add node n to list l as the last element */
void list_add(List *l, Node *n)
{
  // lock mutex in list
  pthread_mutex_lock(l->mtx);
  // check if it's the root
  if(l->len == 0)
  {
    l->first->next = n;
    l->last = n;
  }
  else
  {
    l->last->next = n;
```

```
45      l->last = n;
    }
47  l->len += 1;
    // unlock mutex in list
49  pthread_mutex_unlock(l->mtx);
}
51
/* list_remove: remove and return the first (non-root) element
     from list l */
53 Node *list_remove(List *l)
{
55  Node *n;
    // lock mutex in list
57  pthread_mutex_lock(l->mtx);
    // check if there are (non-root) nodes
59  if(l->len > 0)
    {
61    n = l->first->next;
      l->first->next = n->next;
63    l->len -= 1;
    }
65  // unlock mutex in list
    pthread_mutex_unlock(l->mtx);
67  return n;
}
69
/* node_new: return a new node structure */
71 Node *node_new(void)
{
73  Node *n;
    n = (Node *) malloc(sizeof(Node));
75  n->elm = NULL;
    n->next = NULL;
77  return n;
}
79
/* node_new_str: return a new node structure, where elm points to
     new copy of s */
81 Node *node_new_str(char *s)
{
83  Node *n;
    n = (Node *) malloc(sizeof(Node));
85  n->elm = (void *) malloc((strlen(s)+1) * sizeof(char));
    strcpy((char *) n->elm, s);
87  n->next = NULL;
    return n;
```

```
89 }
```

list/list.h

```
/*****************************************************************************
   list.h

   Header file with definition of a simple linked list.

*****************************************************************************/

#ifndef _LIST_H
#define _LIST_H

/* structures */
typedef struct node {
  void *elm; /* use void type for generality; we cast the
     element's type to void type */
  struct node *next;
} Node;

typedef struct list {
  int len;
  Node *first;
  Node *last;
  pthread_mutex_t *mtx;
} List;

/* functions */
List *list_new(void);            /* return a new list structure */
void list_add(List *l, Node *n); /* add node n to list l as the
   last element */
Node *list_remove(List *l);      /* remove and return the first
   element from list l*/
Node *node_new(void);            /* return a new node structure */
Node *node_new_str(char *s);     /* return a new node structure,
   where elm points to new copy of string s */

#endif
```

list/main.c

```
/*****************************************************************************
   main.c

   Implementation of a simple FIFO buffer as a linked list defined
      in list.h.

*****************************************************************************/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pthread.h>
#include <sys/time.h>
#include "list.h"

/* mutex */
pthread_mutex_t mtx;

/* global variable */
List *fifo;

/* thread functions */
void *thread_add(void *param);
void *thread_remove(void *param);

int main(int argc, char* argv[])
{
  int i;
  int ADDS = atoi(argv[1]);
  int REMOVES = atoi(argv[2]);

  // Add threads
  pthread_t aid[ADDS];
  // Remove threads
  pthread_t rid[REMOVES];
  pthread_attr_t attr;

  // create list
  fifo = list_new();

  // Initialize and set state for attribute
  pthread_attr_init(&attr);
  pthread_attr_setdetachstate(&attr, PTHREAD_CREATE_JOINABLE);

  // create the add threads
```

```
  for(i = 0; i < ADDS; i++)
  {
    pthread_create(&aid[i], &attr, thread_add, (void *)i);
  }

  for(i = 0; i < ADDS; i++)
  {
    pthread_join(aid[i], NULL);
  }

  // create the remove threads
  for(i = 0; i < REMOVES; i++)
  {
    pthread_create(&rid[i], &attr, thread_remove, NULL);
  }

  // destroy attributes
  pthread_attr_destroy(&attr);

  for(i = 0; i < REMOVES; i++)
  {
    pthread_join(rid[i], NULL);
  }

  // check credibility of the list
  int diff = ADDS - REMOVES;
  if((diff <= 0) && (fifo->len == 0))
  {
    printf("Success! List is correct. Diff:%d Length:%d\n", diff,
       fifo->len);
  }
  else if((diff > 0) && (fifo->len == diff))
  {
    printf("Success! List is correct. Diff:%d Length:%d\n", diff,
       fifo->len);
  }
  else
  {
    printf("List is flawed. Diff:%d Length:%d\n", diff, fifo->len);
  }

  return 0;
}

/* Adds a node to the list */
void *thread_add(void *param)
```

```
{
89   int id = (int *)param;

91   char str[10];
     sprintf(str, "P%d", id);
93   Node *n = node_new_str(str);
     list_add(fifo, n);
95 }

97 /* Removes node from the list */
   void *thread_remove(void *param)
99 {
     Node *n = (Node *) malloc(sizeof(Node));
101  n = list_remove(fifo);
   }
```

list/prodcons.c

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <semaphore.h>
#include <sys/time.h>
#include "list.h"

typedef struct pc {
  List *l;
  sem_t full;
  sem_t empty;
  sem_t mutex;
} PC;

// product and consume counters
int p;
int c;

PC prodcons;

// arguments
int PRODUCERS;
int CONSUMERS;
int BUFFSIZE;
int PRODUCTS_IN_TOTAL;

// functions
void *producer(void *param);
void *consumer(void *param);
void Sleep(float wait_time_ms);

/* Producer-Consumer program */
int main(int argc, char *argv[])
{
  if(argc != 5)
  {
    printf("Not a valid amount of arguments. Arguments: PRODUCERS
        CONSUMERS BUFFERSIZE TOTAL_PRODUCTS\n");
  }

  // seed random number sequence
  struct timeval tv;
  gettimeofday(&tv, NULL);
```

```
44  srand(tv.tv_usec);

46  // set arguments
    PRODUCERS = atoi(argv[1]);
48  CONSUMERS = atoi(argv[2]);
    BUFFSIZE = atoi(argv[3]);
50  PRODUCTS_IN_TOTAL = atoi(argv[4]);

52  int i;
    pthread_attr_t attr;
54
    // Initialize semaphores
56  sem_init(&prodcons.full, 0, 0);
    sem_init(&prodcons.empty, 0, BUFFSIZE);
58  sem_init(&prodcons.mutex, 0, 1);

60  p = 0;
    c = 0;
62
    // create list
64  prodcons.l = list_new();

66  // producer id's
    pthread_t pid[PRODUCERS];
68
    // consumer id's
70  pthread_t cid[CONSUMERS];

72  // Initialize thread attributes
    pthread_attr_init(&attr);
74  pthread_attr_setdetachstate(&attr, PTHREAD_CREATE_JOINABLE);

76  // create the producers
    for(i = 0; i < PRODUCERS; i++)
78  {
      pthread_create(&pid[i], &attr, producer, (void *)i);
80  }

82  // create the consumers
    for(i = 0; i < CONSUMERS; i++)
84  {
      pthread_create(&cid[i], &attr, consumer, (void *)i);
86  }

88  // destroy attribute
    pthread_attr_destroy(&attr);
```

```
90
   // wait for the producer threads
92 for(i = 0; i < PRODUCERS; i++)
   {
94   pthread_join(pid[i], NULL);
   }
96
   // wait for the consumer threads
98 for(i = 0; i < CONSUMERS; i++)
   {
100  pthread_join(cid[i], NULL);
   }
102
   // destroy semaphores
104 sem_destroy(&prodcons.empty);
   sem_destroy(&prodcons.full);
106 sem_destroy(&prodcons.mutex);

108 // check if it all worked
   if(c == p)
110 {
     printf("Success! All products produced and consumed.\n");
112 }
   else
114 {
     printf("All products not consumed/produced.\n");
116 }

118 return 0;
}
120
/* Producer thread function */
122 void *producer(void *param)
{
124 int id = (int *)param;
   Node *n;
126
   while(p < PRODUCTS_IN_TOTAL)
128 {
     // wait till empty is decremented
130  sem_wait(&prodcons.empty);
     // wait for mutex
132  sem_wait(&prodcons.mutex);
     // produce product
134  char str[10];
     sprintf(str, "P%d", (p+1));
```

```
136     n = node_new_str(str);
        list_add(prodcons.l, n);
138     p += 1;
        // release the mutex
140     sem_post(&prodcons.mutex);
        // notify waiting consumer threads that a space is filled
142     sem_post(&prodcons.full);
        printf("%d. Produced Item %d: %s. Items in buffer %d (out of
           %d)\n", id, p, (char *)n->elm, prodcons.l->len, BUFFSIZE);
144     fflush(stdout);
        Sleep(2000);
146   }
  }
148
  /* Consumer thread function */
150 void *consumer(void *param)
  {
152   int id = (int *)param;
      Node *n;
154
      while(c < PRODUCTS_IN_TOTAL)
156   {
        // wait till full is incremented
158     sem_wait(&prodcons.full);
        // wait for mutex
160     sem_wait(&prodcons.mutex);
        // consume
162     n = list_remove(prodcons.l);
        c += 1;
164     // release the mutex
        sem_post(&prodcons.mutex);
166     // notify waiting producer threads that a space is free
        sem_post(&prodcons.empty);
168     printf("%d. Consumed Item %d: %s. Items in buffer %d (out of
           %d)\n", id, c, (char *)n->elm, prodcons.l->len, BUFFSIZE);
        fflush(stdout);
170     Sleep(2000);
      }
172 }

174 /* Random sleep function */
  void Sleep(float wait_time_ms)
176 {
      wait_time_ms = ((float)rand()) * wait_time_ms / (float)RAND_MAX;
178   usleep((int) (wait_time_ms * 1e3f));
  }
```

banker/banker.c

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include <sys/time.h>
#include <pthread.h>

typedef struct state {
  int *resource;
  int *available;
  int **max;
  int **allocation;
  int **need;
} State;

// Global variables
int m, n;
State *s;

// Mutex for access to state.
pthread_mutex_t state_mutex;

void printstate();

/* Random sleep function */
void Sleep(float wait_time_ms)
{
  // add randomness
  wait_time_ms = ((float)rand())*wait_time_ms / (float)RAND_MAX;
  usleep((int) (wait_time_ms * 1e3f)); // convert from ms to us
}

/* Allocate resources in request for process i, only if it
   results in a safe state and return 1, else return 0 */
int resource_request(int i, int *request)
{
  int j, res = 1, avail;
  pthread_mutex_lock(&state_mutex);
  for(j = 0; j < n; j++)
  {
    if((s->max[i][j] - s->allocation[i][j]) < request[j])
    {
      // need is less than request
      printf("Unsafe! Maximum(%d) - Curr.Allocated(%d) <
          Request(%d)\n", s->max[i][j], s->allocation[i][j],
          request[j]);
```

```
43        res = 0;
          pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
45        return res;
        }
47
        avail = s->resource[j] - (s->allocation[i][j] + request[i]);
49      if(avail > s->available[j])
        {
51        // not enough available resources
          printf("Unsafe! Request(%d) > Available(%d)\n", request[j],
              s->available[j]);
53        res = 0;
          pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
55        return res;
        }
57    }

59    if(res == 1)
      {
61      // request granted for now
        int safe = 0;
63      int alloc[n], available[n], need[n];
        for(j = 0; j < n; j++)
65      {
          // copy current values
67        alloc[j] = s->allocation[i][j];
          available[j] = s->available[j];
69        need[j] = s->need[i][j];
          // assign new values
71        s->allocation[i][j] += request[j];
          s->need[i][j] = s->max[i][j] - s->allocation[i][j];
73        available[j] = s->resource[j] - s->allocation[i][j];
        }
75      // simulate to check safety of processes
        if((checksafety()) == 1)
77      {
          printf("Resources allocated safely!\n");
79        printstate();
          pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
81        return 1;
        }
83      else
        {
85        printf("Resources allocated unsafely! Reverting
              allocation...\n");
          for(j = 0; j < n; j++)
```

```
87        {
            s->allocation[i][j] = alloc[j];
89          s->available[j] = available[j];
            s->need[i][j] = need[j];
91        }
          printstate();
93        pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
          return 0;
95      }
    }
97  }

99  /* Release the resources in request for process i */
    void resource_release(int i, int *request)
101 {
      int j, k, availablesum = 0;
103   pthread_mutex_lock(&state_mutex);
      for(j = 0; j < n; j++)
105   {
        // recalculate allocation and need
107     if((s->allocation[i][j] = s->allocation[i][j] - request[j]) <
           0)
        {
109       s->allocation[i][j] = 0;
        }
111     if((s->need[i][j] = s->max[i][j] - s->allocation[i][j]) < 0)
        {
113       s->need[i][j] = 0;
        }
115     // recalculate available
        for(k = 0; k < m; k++)
117     {
          availablesum += s->allocation[k][j];
119     }
        s->available[j] = s->resource[j] - availablesum;
121   }
      printstate();
123   pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
    }
125
    /* Generate a request vector */
127 void generate_request(int i, int *request)
    {
129   int j, sum = 1;
      while (!sum)
131   {
```

```
    for (j = 0;j < n; j++)
    {
      request[j] = s->need[i][j] * ((double)rand())/
         (double)RAND_MAX;
        sum += request[j];
    }
  }
  printf("\nProcess %d: Requesting resources.\n",i);
}

/* Generate a release vector */
void generate_release(int i, int *request)
{
  int j, sum = 1;
  while (!sum)
  {
    for (j = 0;j < n; j++)
    {
      request[j] = s->allocation[i][j] * ((double)rand())/
         (double)RAND_MAX;
      sum += request[j];
    }
  }
  printf("Process %d: Releasing resources.\n",i);
}

/* Threads starts here */
void *process_thread(void *param)
{
  /* Process number */
  int i = (int) (long) param, j;
  /* Allocate request vector */
  int *request = malloc(n * sizeof(int));
  while (1)
  {
    /* Generate request */
    generate_request(i, request);
    while (!resource_request(i, request))
    {
      /* Wait */
      Sleep(100);
    }
    /* Generate release */
    generate_release(i, request);
    /* Release resources */
    resource_release(i, request);
```

```
    /* Wait */
177     Sleep(1000);
  }
179   free(request);
}
181
/* simulates the current states to check the safety of all
   processes */
183 int checksafety()
{
185   int c = m, executing[m], i, j, issafe, avail[n], alloc[m][n],
      need[m][n], availablesum, needs = 1;
  // copy variables
187   for(j = 0; j < n; j++)
  {
189     availablesum = 0;
      for(i = 0; i < m; i++)
191     {
        executing[i] = 1;
193       need[i][j] = s->max[i][j] - s->allocation[i][j];
        alloc[i][j] = s->allocation[i][j];
195       availablesum += alloc[i][j];
      }
197     avail[j] = s->resource[j] - availablesum;
  }
199
  // run simulation
201   for (i = 0; i < m; i++)
  {
203     issafe = 0;
        if (executing[i])
205     {
            for (j = 0; j < n; j++)
207       {
          // check if need exceeds available
209               if (need[i][j] > avail[j])
          {
211                   needs = 0;
                      break;
213       }
        }
215           if (needs)
        {
217       // simulate execution
                executing[i] = 0;
219             c -= 1;
```

```
221         // it can execute so it's safe
                issafe = 1;
223
                for (j = 0; j < n; j++) {
225                 avail[j] += alloc[i][j];
                }
227
                break;
229         }
        }
231   }
  // check safety
233   if (!issafe)
  {
235       printf("Unsafe state found.\n");
        return 0;
237   }
  else
239 {
    printf("Everything is good!\n");
241   return 1;
  }
243 }

245 void printstate()
{
247   int i, j;
  printf("Availability vector:\n");
249   for(i = 0; i < n; i++)
  {
251   printf("R%d ", i+1);
  }
253   printf("\n");

255   for(j = 0; j < n; j++)
  {
257   printf("%d  ",s->available[j]);
  }
259   printf("\n");
}
261
int main(int argc, char* argv[])
263 {
  /* Get size of current state as input */
265   int i, j;
```

```
  printf("Number of processes: ");
267 scanf("%d", &m);
  printf("Number of resources: ");
269 scanf("%d", &n);

271 printf("\nP:%d R:%d\n", m, n);

273 /* Allocate memory for state */
  s = (State *)malloc(sizeof(State));
275 s->resource = (int *)malloc(sizeof(int) * n);
  s->available = (int *)malloc(sizeof(int) * n);
277 s->max = (int **)malloc(sizeof(int *) * n);
  s->allocation = (int **)malloc(sizeof(int *) * n);
279 s->need = (int **)malloc(sizeof(int *) * n);

281 for(i = 0; i < m; i++)
  {
283   s->max[i] = (int *)malloc(sizeof(int) * m);
    s->allocation[i] = (int *)malloc(sizeof(int) * m);
285   s->need[i] = (int *)malloc(sizeof(int) * m);
  }
287
  /* Get current state as input */
289 printf("Resource vector: ");
  for(i = 0; i < n; i++)
291 {
    scanf("%d", &s->resource[i]);
293 }

295 printf("Enter max matrix: ");
  for(i = 0;i < m; i++)
297 {
    for(j = 0;j < n; j++)
299   {
      scanf("%d", &s->max[i][j]);
301   }
  }
303
  printf("Enter allocation matrix: ");
305 for(i = 0; i < m; i++)
  {
307   for(j = 0; j < n; j++)
    {
309     scanf("%d", &s->allocation[i][j]);
    }
311 }
```

```
313   printf("\n");
      /* Calcuate the need matrix */
315   for(i = 0; i < m; i++)
      {
317     for(j = 0; j < n; j++)
        {
319       s->need[i][j] = s->max[i][j] - s->allocation[i][j];
        }
321   }

323   /* Calcuate the availability vector */
      for(j = 0; j < n; j++)
325   {
        int sum = 0;
327     for(i = 0; i < m; i++)
        {
329       sum += s->allocation[i][j];
        }
331     s->available[j] = s->resource[j] - sum;
      }
333
      /* Output need matrix and availability vector */
335   printf("Need matrix:\n");
      for(i = 0; i < n; i++)
337   {
        printf("R%d ", i+1);
339   }
      printf("\n");
341
      for(i = 0; i < m; i++)
343   {
        for(j = 0; j < n; j++)
345     {
          printf("%d  ",s->need[i][j]);
347     }
        printf("\n");
349   }
      printf("\n");
351
      printf("Availability vector:\n");
353   for(i = 0; i < n; i++)
      {
355     printf("R%d ", i+1);
      }
357   printf("\n");
```

```
359   for(j = 0; j < n; j++)
      {
361     printf("%d  ",s->available[j]);
      }
363   printf("\n");

365   /* If initial state is unsafe then terminate with error */
      int r = checksafety();
367   if(r != 1)
      {
369     exit(1);
      }
371
      /* Seed the random number generator */
373   struct timeval tv;
      gettimeofday(&tv, NULL);
375   srand(tv.tv_usec);

377   /* Create m threads */
      pthread_t *tid = malloc(m*sizeof(pthread_t));
379   for (i = 0; i < m; i++)
      {
381     pthread_create(&tid[i], NULL, process_thread, (void *) (long)
          i);
      }
383
      /* Wait for threads to finish */
385   pthread_exit(0);
      free(tid);
387
      /* Free state memory */
389   free(s->resource);
      free(s->available);
391   for(i = 0; i < m; i++)
      {
393     free(s->max[i]);
        free(s->allocation[i]);
395     free(s->need[i]);
      }
397   free(s->max);
      free(s->allocation);
399   free(s->need);
      free(s);
401
}
```

Makefile

```
all: sqrtsum
  cd list; make
  cd banker; make

LIBS = -pthread

sqrtsum: sqrtsum.o
  gcc -o $@ ${LIBS} sqrtsum.o -lm
```

list/Makefile

```
all: fifo prodcons

FIFO = list.o main.o
PROCON = prodcons.o list.o
LIBS = -pthread

fifo: main.o ${FIFO}
  gcc -o $@ ${LIBS} ${FIFO}

prodcons: prodcons.o ${PROCON}
  gcc -o $@ ${LIBS} ${PROCON}

clean:
  rm -rf *o fifo prodcons
```

banker/makefile

```
all: banker

LIBS = -pthread

banker: banker.o
  gcc -o $@ ${LIBS} banker.o

clean:
  rm -rf *o banker
```