

# Obligatorisk opgave 2

*Operativsystemer og C*

*Bachelor in Software Development,  
IT-University of Copenhagen*

Jakob Melnyk, jmel@itu.dk  
Frederik Lysgaard, frly@itu.dk  
Jacob Claudius Grooss, jcgr@itu.dk

November 1st, 2012

---

# Contents

<b>1</b>	<b>Forord</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Beskrivelse af implementation</b>	<b>3</b>
2.1	Opgave 1 . . . . .	3
2.2	Opgave 2 . . . . .	5
2.3	Opgave 3 . . . . .	7
2.4	Opgave 4 . . . . .	8
<b>A</b>	<b>Test</b>	<b>9</b>
<b>B</b>	<b>Kode</b>	<b>14</b>

---

# 1 Forord

I denne rapport dokumenterer vi vores valg i forhold til implementationen af opgaverne i Obligatorisk opgave 2.

Kildekode og testdokumentation kan findes i appendix på side 8. Vores git repository kan findes på <https://github.com/esfdk/BOSC/tree/master/oo2>.

---

## 2 Beskrivelse af implementation

### 2.1 Opgave 1

Vi skal optimere en sekvensiel funktion, der udregner summen af kvadratrødder, således at den kører hurtigere på en multicore maskine end den ellers ville have gjort. Dette skal gøres ved hjælp af tråde.

Koden til funktionen kan findes i 'mul\_sum/mulsum.c'. Den er løst baseret på koden fra Operating System Concepts, 8th edition, side 161.

#### 2.1.1 Del 1

- Udregning af hvilke tal hver tråd skal arbejde med.
- Lav tråde med oprettede structs.
- Udregning af sum af kvadratrødder.
- Resultat af alle tråde.

**Arbejde** Før vi opretter vores tråde, udregner vi hvor mange tal hver tråd skal arbejde med. Derefter laver vi en beregning til at finde de laveste og højeste tal. Det gør vi blandet andet ved "double minnum = floor(work \* n) + 1;". Vi bruger floor, da vi kun er interesseret i heltal. Når det er gjort, opretter vi struct og placerer dem i arrays såsom "calc\_result[n].minimum\_number = minnum;" (se linje 44-52).

**Oprettelse af tråde** Når vi har fundet ud af hvilket arbejdet hver tråd skal udføre, opretter vi dem. Hver tråd bliver sat til at køre TaskCode med et struct fra punkt 1 som parameter (se linje 57-60).

**Udregning** Derefter laver vi selve udregningen, hvor vi finder summen af kvadratrødderne. Når en tråd er færdig med sin del, bliver der kaldt pthread\_exit på den, hvilket får den til at terminere (se linje 17-29).

**Beregning af resultat** For at finde det samlede resultat går vi igennem arrayet af structs og tilgår deres sumsqrtd værdi. Alle disse værdier ligger vi sammen og printer dem ud (se linje 71-75).

#### 2.1.2 Del 2

I opgave 1.2 bliver vi bedt om at tjekke vores multitrådet sum-funktion vha. en speedup graf. En speedup graf viser hvor meget hurtigere en funktion bliver, når man lader arbejdet foregå på flere tråde.

$$S_p = \frac{T_1}{T_p}$$

Figure 2.1: Formel til udregning af speedup

Speedup udregnes ved at tage kørselstiden ved 1 tråd og dividere det med kørselstiden med n tråde, som i vores tilfælde er 1, 2, 4, 6 og 8. Det optimale resultat ville være en linær speedup, hvor speedupen er lig antallet af tråde, som funktionen er blevet kørt med.

$$S_p = p$$

Figure 2.2: Ideal speedup

**Valg af maskine til speedupgraf** Til test af vores multitrådet sum-funktion havde vi valget mellem to eller fire processore eller fire processor med hyperthreading. Vi valgte at bruge computeren med fire processor. Det gjorde vi fordi det var medianen og vi mente, det var hvad en standard computer ville have. Dette ville give os nogle mere generelle resultater.

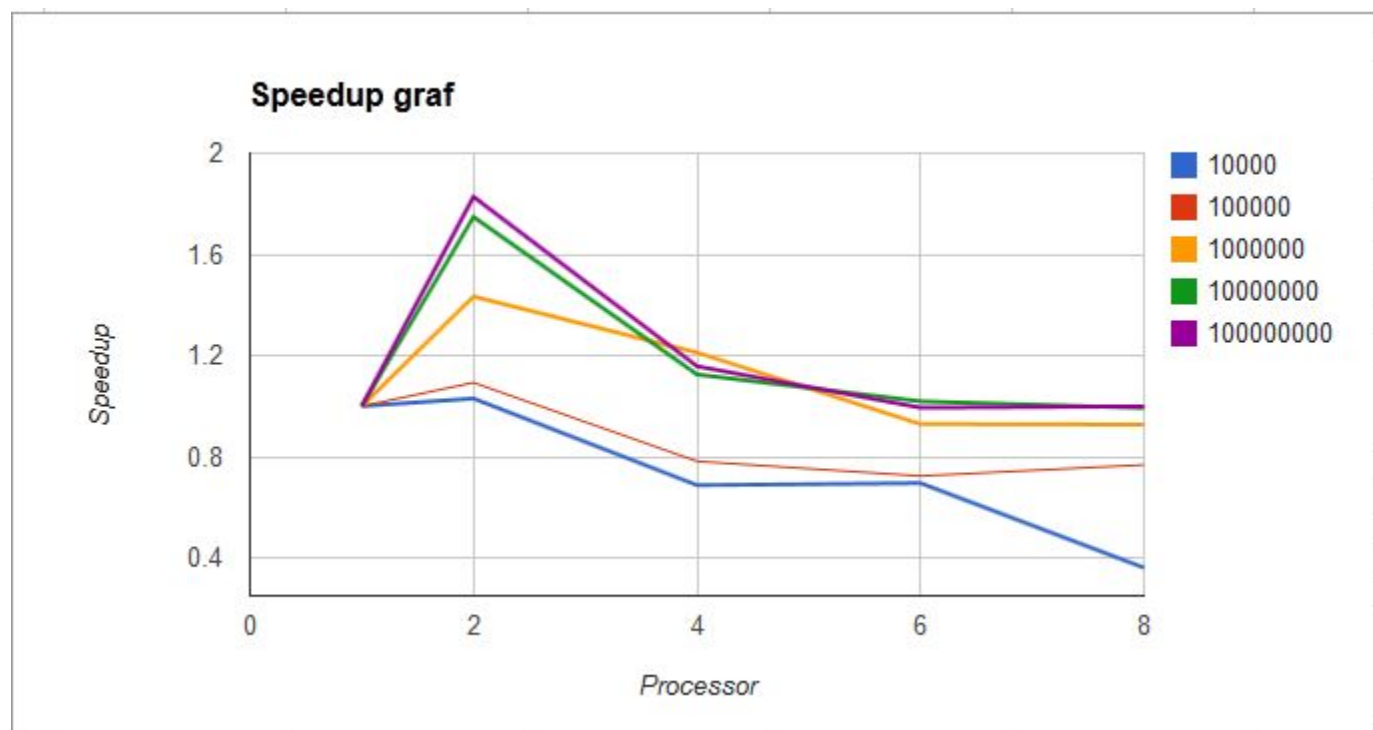


Figure 2.3: Speedup graf for maskine med 4 processors

**Uventet resultat ved kørsel med fire tråde** Som man kan se udfra vores speedup graf, er der næsten en ideal speedup fra en tråd til to tråde. Ved fire tråde bliver den dog kun en smule hurtigere end ved en tråd. Dette resultat synes vi er forvirrende, da det burde være muligt at få en speedup svarende til speeduppen fra en tråd til to tråde. Computeren har trods alt fire reelle processore. Vi har ingen forklaring på hvorfor det er sådan. Vi havde forventet at få problemer ved seks og otte tråde da vi ikke har mulighed for at tildele hver tråd en processor.

Vi har kort testet vores funktion på en laptop med fire processor og hyperthreading, hvor vi havde en normal speedup op til fire tråde. Dette er forståeligt da fire processor med hyperthreading kun 'simulerer' otte processor, og derfor ikke arbejder ligeså optimalt som otte konkrete processore.

### 2.1.3 Tests

For at teste om vores forbedret multitrådet sum-funktion kørte hurtigere med flere tråde, brugte vi en speedupgraf som nævnt i 2.1.2. For at lave en ordenlig speedupgraf lavede vi 10 runs af funktionen ved

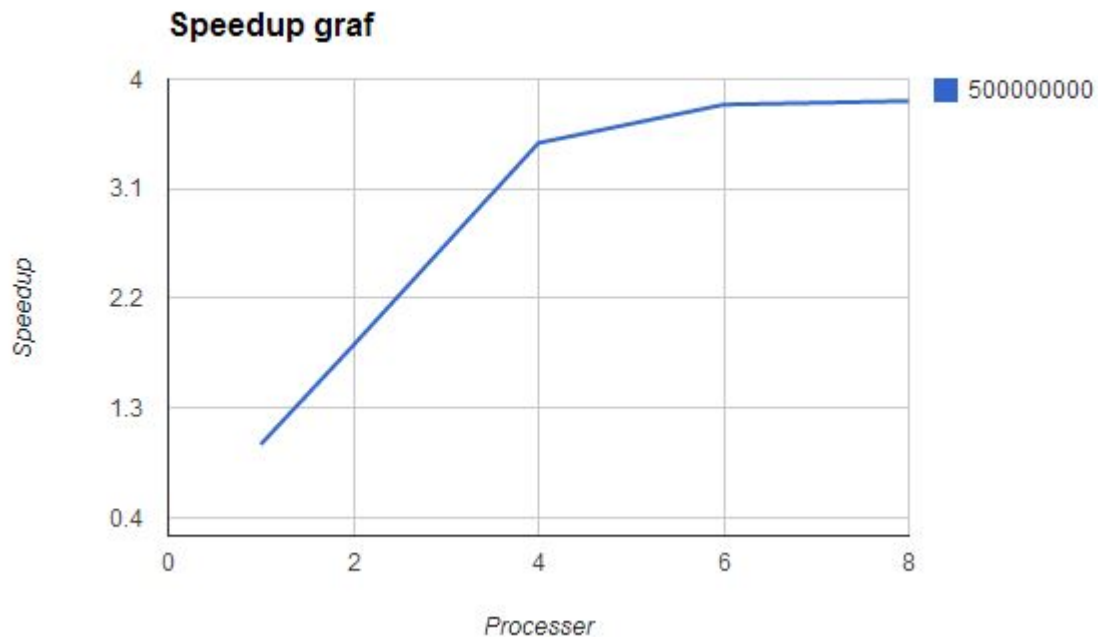


Figure 2.4: Speedup graf for maskine med 4 processors og hyper-threading

1-2-4-6-8 tråde ved input 10.000. Input blev gjort 10 gange højere per iteration op til 100.000.000 samt fra 50.000 og så gjort 10 gange højere op per iteration til 500.000.000. Dette gjorde, at vi havde en stor mængde data til at lave en graf over gennemsnittet af vores timings.

Vores resultater kan findes både i appendix A.1.1 på side 9 og GoogleDocs på [bitly.com/U0EYAK](https://bitly.com/U0EYAK)

## 2.2 Opgave 2

Vores løsning af opgave 2 er beskrevet i 'FIFO/list.c' og 'FIFO/list.h'. Testkoden til listen er beskrevet i 'FIFO/testNoThreads.c' og 'FIFO/tetstThreads.c'. 'list.c', 'list.h' og 'testNoThreads.c' er baseret på kode fra 'opg2' zip-filen fra bloggen<sup>1</sup>.

### 2.2.1 Del 1

Vi har valgt at implementere 'list\_add(List \*l, Node \*n)' på en meget simpel måde (se linje 35 til 41 i list.c). Listens sidste element ('l->last') bliver sat til at pege på den nye node ('l->last->next = n'), hvorefter 'l->last' bliver sat til at være n. På denne måde vil det anden sidste element pege på det nye element, og 'last' peger på det nye element, da det er det sidste i listen.

'\*list\_remove(List \*l)' implementationen kan ses på linje 44 til 60 i list.c filen. I funktionen bliver der lavet en 'Node \*n'. Denne node bliver sat til at være det første element i listen, altså 'l->first->next' da 'first' er root elementet og aldrig skal pilles ved. Rodelementets 'next' bliver sat til at pege på n's 'next', hvilket er det andet element i listen. På denne måde er det første element blevet "fjernet" fra listen. Funktionen

<sup>1</sup><https://blog.itu.dk/BOSC-E2012/files/2012/10/opg2.zip>

tjekker derefter om 'first->next' er null, for hvis den er, skal 'last' pege på først, ligesom da listen lige var blevet lavet. Til slut returneres n.

### 2.2.2 Del 2

Det mest åbenlyse problem er, at flere tråde kan editere listen på samme tid. For eksempel: To tråde tilgør listen på samme tid og finder frem til det sidste element ('last'). Begge tråde prøver at tilføje et element til listen, hvilket betyder at de begge prøver at tilføje et element til 'last' på samme tid. Tråd #1 tilføjer sit element til 'last', hvorefter tråd #2 tilføjer sit element til 'last' (det element som #1 lige har tilføjet sit element til), hvilket ødelægger linket mellem 'last' og tråd #1s element.

En anden udgave af problemet ovenover er, hvis to forskellige tråde vil remove på samme tid. Tråd #1 går ind og læser 'first's 'next' element (da det skal blive first efter removal). Samtidig går tråd #2 ind og kører hele removal, hvorefter #1 prøver at fjerne det element der lige er blevet fjernet. Derved er kun et element blevet fjernet, hvor to elementer burde have været fjernet. Den omvendte situation kan også opstå, hvor to elementer bliver fjernet, men hver tråd tror kun at et element er blevet fjernet.

Alt efter størrelsen af listen kan der også opstå problemet. Hvis listen kun er et element langt og en tråd prøver at add mens en anden prøver at remove, kan der opstå forkerte resultater. Sker de samtidig, kan elementet blive addet (hvilket gør at listen er to elementer lang), på samme tid som det første (og eneste) element bliver removed. Risikoen er, at det nye element bliver appendet på det element der lige er blevet removed, hvorved ingen af elementerne er i listen.

### 2.2.3 Del 3

Vi har brugt mutex låse i list\_add og list\_remove funktionerne. I list\_add er de to linjer logik inde i en mutex lock, da det ikke skal være muligt for flere tråde, at tilføje elementer på samme tid. I list\_remove er alt undtagen return-statementet indkapslet af mutex locks af samme årsag som i list\_add; det skal ikke være muligt at fjerne flere elementer samtidig. At 'return n' ikke er i en lock, gør dog ingen skade. Når funktionen når til 'return', bruger den ikke listen mere, og det kan derfor køres uden at være i en lock. Vi har beskrevet vores test at den flertrådet liste i afsnit 2.2.4.

### 2.2.4 Tests

Vi har lavet to tests til first-in-first-out listen. En test uden brug af tråde for at se om listen overhovedet virker, og en test med tråde, for at sikre at flere tråde kan bruge listen samtidig, uden der opstår problemer. Testen uden brug af tråde findes i testNoThreads.c. I denne test laver vi en liste, tilføjer to elementer til listen, fjerner to elementer fra listen og printer deres værdier for at sikre os, at de er kommet ud i den rigtige rækkefølge.

Testen med tråde findes i testThreads.c og er lidt mere omfattende. Testen tager to parametre: Antallet af tråde der skal laves, og antallet af elementer hver tråd skal håndtere. 'main' funktionen laver et array med det valgte antal tråde, og sætter dem alle samme til at køre '\*TaskCode(void \*argument)' funktionen. Hver tråd får sit eget nummer i arrayet med, for at man nemmere kan holde styr på hvilken tråd der gør hvad. Hver tråd laver det valgte antal elementer (som er strings med formatet ("Thread #%d, element %d", threadNumber, elementNumber)) og adder dem til listen. Derefter fjerner tråden det antal elementer, som den har addet til listen og printer værdien af disse elementer.

Det man kan se med testThreads testen er, at trådene går ind og låser listen når de bruger den. Som oftest vil elementerne være i rækkefølge, så det er alle tråd #1's elementer først, så tråd #2's, osv.

## 2.3 Opgave 3

Vores løsning af opgave 3 er beskrevet i 'prod\_cons/prodCons.c' samt 'prod\_cons/prodCons.h'. 'prod\_cons/List'-mappen indeholder vores list fra opgave 2, som vi også inkluderer i 'FIFO'-mappen.

I denne opgave har vi brugt 'pthread\_mutex\_t' objekter til at undgå problemer hvor flere tråde ændrer samme element på samme tid. 'pthread\_mutex\_t' er objekter, der kan låses/låses op via 'pthread\_mutex\_lock'-funktions kaldet. Hvis en funktion låser en mutex, forhindrer den derved andre funktioner i at køre videre, forudsat at de selv skal bruge mutex'en.

De andre funktioner går i stå indtil mutex'en låses op igen, hvilket sørger for, at critical code kun køres af en tråd ad gangen. Bruger man ikke mutex låse i et flertrådet program, risikerer man at løbe ind i situationer hvor flere tråde har modificeret samme element på samme tid, hvilket kan betyde, at programmet er i ustabil tilstand.

Vi har også brugt 'sem\_t' objekter, også kaldet semaphores. Det er objekter, der indeholder en værdi, og som kan bruges af funktioner til synkronisation mellem tråde. De har to interessante funktioner: 'sem\_wait(sem\_t)' og 'sem\_post(sem\_t)'. 'sem\_wait()' kigger på værdien af semaphoren.

Hvis værdien er mindre eller lig nul, vil den kaldende funktion pause, og vente på værdien bliver højere end nul. Når det sker, vil den kaldende funktion få lov til at køre videre og 'sem\_wait()' reducerer værdien af semaphoren med en. 'sem\_post()' forøger bare værdien af semaphoren med en.

Både 'pthread\_mutex\_t' og 'sem\_t' objekter virker som låse, omend på forskellige måder. 'pthread\_mutex\_t' virker som en ja/nej (deraf navnet mutual exclusion), og vil kun lade en tråd udføre sit arbejde ad gangen. 'sem\_t' lader gerne flere tråde arbejde på samme tid, så længe semaphorens værdi er over nul.

### 2.3.1 Opfyldelse af punkter

**Punkt 1** - Vores implementation gør det muligt at definere antallet af producers, antallet af consumers, størrelsen på bufferen og antallet af produkter der skal produceres. Dette gør vi, ved først at tjekke om der er den rigtige mængde inputs, hvorefter vi konverterer inputs til ints og bruger dem til at initialisere de forskellige variabler. Et eksempel på input kunne være './prodcons 5 1 5 10 20', hvilket ville betyde, at der er 5 producers, 1 consumer, bufferstørrelse på 10 og 20 produkter, der skal produceres. (se linje 36-48).

**Punkt 2** - Punkt 2 opfyldes af koden. Vi har kun en producer-funktion og en consumer-funktion (henholdsvis linje 120 og 160), og consumer/producer tråde laves og sættes til at køre det respektive kode (se linje 84-104).

**Punkt 3** - Både producer-funktionen og consumer-funktionen kalder 'sleepRandom' funktionen hver gang de udfører deres logik (se linje 155 og 188), som sætter tråden til at sove i et tilfældigt antal sekunder (se linje 214-221).

**Punkt 4** - Vi sørger for at tråde ikke udsultes ved at lade tråde sove i et tilfældigt antal sekunder, når de har arbejdet. På denne måde forhindrer vi tråde i at tage alle opgaverne og derved udsulte andre tråde.

**Punkt 5** - Se afsnit A.2.1 i Appendix for output.

**Punkt 6** - Vi opfylder dette krav igennem et tjek i starten af både consumer og producer funktionerne. I starten af producer funktionen, tjekkes der om der stadig skal produceres flere produkter. Hvis der ikke skal, afsluttes producer tråden. Consumeren tjekker, om der er konsumeret lige så mange produkter som skulle produceres. Hvis der er, afsluttes consumer tråden.



## 2.4 Opgave 4

Vores løsning af opgave 4 er beskrevet i 'bankeralgorithm/banker.c' samt i appendix. Den er baseret på den ufuldstændige banker.c fra zip-filen<sup>2</sup> på kursusbloggen.

I forhold til beskrivelsen af Banker's algoritmen i Operating System Concepts, 8th edition, så er m og n byttet om, således at i vores kode er 'm' antallet af processer og 'n' er antallet af resurser.

### 2.4.1 Opfyldelse af punkter

**Punkt 1** - Vi allokerer memory til state dynamisk ved bruge af malloc. Dette gør vi efter at antallet af processer og resurser er blevet læst ind. Vi var nødt til at inkludere et for-loop, da 'max', 'allocation' og 'need' er "arrays of pointers to arrays". (Se linje 226-238).

I slutningen af 'main()' funktionen frigiver det memory, som vi har allocated til state. Vi gør dette i omvendt rækkefølge, da vi er nødt til at tilgå resurse arrays'ne før vi kan frigive processer arrays'ne. (Se linje 311-322).

**Punkt 2** - Vi har implementeret safety algoritmen som beskrevet på side 299 i Operating System Concepts, 8th Edition. Vi initialiserer 'work' og 'finish' som beskrevet. Derefter har vi et while-loop, som kører step 2 og step 3 af algoritmen indtil der er en iteration, hvor der ikke er en process, hvis 'finish' status skifter til true(1). Dette gør vi, fordi det er ligegyldigt, i hvilken rækkefølge processerne bliver færdig i forhold til safe eller unsafe state. (Se linje 95-159).

I hvert kald til 'resource\_request(int i, int \*request)' låser vi 'state\_mutex' således at state ikke tilgås af mere end en process. Herefter udfører vi første step af 'resource-request' algoritmen<sup>3</sup>. Hvis dette step fejler, så crasher vi programmet. Ellers går vi videre til step 2, hvor vi unlocker låsen og return 0, hvis requesten ikke kan opfyldes.

Hvis requesten måske kan opfyldes, laver vi ændringerne til state og kalder vores 'safety\_check()' funktion. Hvis 'safety\_check()' er false, så laver vi rollback på state, releaser lock og returner 0. Ellers unlocker vi låsen, beholder vores ændringer til state og returner 1. (Se linje 32-78).

**Punkt 3** - I 'resource\_release(int i, int \*request)' låser vi 'state\_mutex', så andre tråde ikke kan tilgå state og gør det modsatte af step 3 af 'resource-request' algoritmen. Herefter unlocker vi låsen og funktionen afslutter. (Se linje 81-92).

**Punkt 4** - Efter state er blevet oprettet i 'main(int argc, char\* argv[])', kalder vi 'safety\_check()'. Hvis det returner false, crasher vi, ellers forsætter. (Se linje 286-294).

**Punkt 5** - Da vi locker 'state\_mutex' i 'resource\_request(int i, int \*request)', 'resource\_release(int i, int \*request)', 'generate\_request(int i, int \*request)' og 'generate\_release(int i, int \*request)' er der ikke flere tråde, som kan tilgå state på samme tid. 'safety\_check()' tilgås state, men den bliver kun kaldt inde i en block kode, hvor 'state\_mutex' er låst og i 'main(int argc, char\* argv[])' før trådene bliver oprettet.

### 2.4.2 Tests

Programmet kører og rapporterer, at begge de to eksempel input filer fra zip-filen fra kursusbloggen<sup>4</sup> er safe. Hvis den første linje i 'allocation matrix' (matrix nr. 2 i input filen) ændres fra '1 0 1' til '2 0 1', bliver den unsafe og dette rapporteres også korrekt.

Ellers har vi testet og set, at det ikke lader til, at programmet går i 'deadlock' eller lignende.

<sup>2</sup><https://blog.itu.dk/BOSC-E2012/files/2012/10/banker.zip>

<sup>3</sup>Beskrevet på side 299 i Operating System Concepts, 8th edition.

<sup>4</sup><https://blog.itu.dk/BOSC-E2012/files/2012/10/banker.zip>

---

# A Test

## A.1 Opgave 1

### A.1.1 Opgave 1.2 speedup resultater

Figure A.1: Speedup output for input 10.000

Cores	1	2	4	6	8
1st run	0.003	0.004	0.005	0.006	0.009
2nd run	0.003	0.003	0.005	0.008	0.01
3rd run	0.004	0.003	0.005	0.008	0.008
4th run	0.005	0.003	0.004	0.007	0.01
5th run	0.003	0.003	0.004	0.006	0.11
6th run	0.004	0.004	0.005	0.007	0.009
7th run	0.003	0.003	0.004	0.006	0.008
8th run	0.003	0.004	0.005	0.007	0.008
9th run	0.003	0.003	0.006	0.008	0.011
10th run	0.003	0.003	0.005	0.006	0.008
	0.0034	0.0033	0.0048	0.0069	0.0191

Figure A.2: Speedup output for input 100.000

Cores	1	2	4	6	8
1st run	0.005	0.004	0.007	0.009	0.01
2nd run	0.004	0.005	0.004	0.006	0.01
3rd run	0.005	0.004	0.005	0.007	0.01
4th run	0.004	0.005	0.006	0.007	0.009
5th run	0.004	0.004	0.006	0.008	0.012
6th run	0.004	0.004	0.006	0.008	0.009
7th run	0.004	0.004	0.005	0.01	0.01
8th run	0.007	0.004	0.005	0.007	0.009
9th run	0.005	0.004	0.006	0.007	0.009
10th run	0.005	0.005	0.005	0.007	0.011
	0.0047	0.0043	0.0055	0.0076	0.0099

Figure A.3: Speedup output for input 1.000.000

Cores	1	2	4	6	8
1st run	0.019	0.012	0.011	0.011	0.015
2nd run	0.019	0.017	0.011	0.012	0.015
3rd run	0.022	0.024	0.012	0.011	0.012
4th run	0.019	0.015	0.013	0.013	0.017
5th run	0.019	0.011	0.011	0.012	0.013
6th run	0.022	0.012	0.012	0.011	0.011
7th run	0.022	0.012	0.012	0.016	0.016
8th run	0.022	0.013	0.012	0.011	0.012
9th run	0.022	0.013	0.012	0.014	0.013
10th run	0.019	0.014	0.012	0.016	0.013
	0.0205	0.0143	0.0118	0.0127	0.0137

Figure A.4: Speedup output for input 10.000.000

Cores	1	2	4	6	8
1st run	0.163	0.088	0.087	0.087	0.081
2nd run	0.17	0.11	0.086	0.088	0.089
3rd run	0.175	0.091	0.086	0.086	0.085
4th run	0.173	0.095	0.083	0.082	0.087
5th run	0.17	0.082	0.083	0.082	0.082
6th run	0.164	0.09	0.085	0.084	0.09
7th run	0.169	0.115	0.083	0.083	0.084
8th run	0.166	0.084	0.081	0.082	0.083
9th run	0.166	0.108	0.089	0.084	0.082
10th run	0.166	0.099	0.092	0.081	0.082
	0.1682	0.0962	0.0855	0.0839	0.0845

Figure A.5: Speedup output for input 100.000.000

Cores	1	2	4	6	8
1st run	1.582	0.844	0.763	0.763	0.777
2nd run	1.638	0.847	0.755	0.772	0.755
3rd run	1.599	0.85	0.766	0.782	0.753
4th run	1.584	1.015	0.758	0.765	0.777
5th run	1.604	0.945	0.793	0.764	0.773
6th run	1.617	0.929	0.76	0.779	0.763
7th run	1.681	0.84	0.776	0.762	0.768
8th run	1.626	0.844	0.752	0.763	0.768
9th run	1.612	0.812	0.751	0.768	0.776
10th run	1.621	0.916	0.764	0.765	0.78
	1.6164	0.8842	0.7638	0.7683	0.769

Figure A.6: Speedup output for input 50.000

Cores	1	2	4	6	8
1st run	0.004	0.005	0.005	0.008	0.011
2nd run	0.006	0.004	0.004	0.006	0.009
3rd run	0.005	0.004	0.004	0.01	0.008
4th run	0.004	0.004	0.004	0.009	0.009
5th run	0.006	0.004	0.004	0.006	0.009
6th run	0.004	0.004	0.003	0.007	0.009
7th run	0.004	0.003	0.006	0.008	0.009
8th run	0.004	0.005	0.004	0.006	0.009
9th run	0.004	0.004	0.004	0.007	0.009
10th run	0.004	0.003	0.006	0.008	0.009
	0.0045	0.004	0.0044	0.0075	0.0091

Figure A.7: Speedup output for input 500.000

Cores	1	2	4	6	8
1st run	0.011	0.007	0.008	0.01	0.011
2nd run	0.011	0.007	0.007	0.011	0.01
3rd run	0.012	0.007	0.007	0.01	0.01
4th run	0.012	0.01	0.009	0.008	0.011
5th run	0.012	0.008	0.009	0.008	0.012
6th run	0.01	0.008	0.008	0.008	0.011
7th run	0.011	0.011	0.006	0.008	0.012
8th run	0.011	0.007	0.008	0.011	0.013
9th run	0.011	0.011	0.008	0.009	0.011
10th run	0.011	0.007	0.009	0.01	0.012
	0.0112	0.0083	0.0079	0.0093	0.0113

Figure A.8: Speedup output for input 5.000.000

Cores	1	2	4	6	8
1st run	0.084	0.045	0.042	0.049	0.043
2nd run	0.091	0.043	0.046	0.045	0.044
3rd run	0.089	0.061	0.043	0.049	0.044
4th run	0.087	0.046	0.044	0.046	0.046
5th run	0.091	0.067	0.049	0.041	0.049
6th run	0.089	0.053	0.042	0.048	0.046
7th run	0.088	0.044	0.044	0.044	0.046
8th run	0.084	0.058	0.043	0.043	0.047
9th run	0.089	0.059	0.049	0.055	0.043
10th run	0.085	0.044	0.046	0.043	0.043
	0.0877	0.052	0.0448	0.0463	0.0451

Figure A.9: Speedup output for input 50.000.000

Cores	1	2	4	6	8
1st run	0.843	0.436	0.39	0.391	0.377
2nd run	0.812	0.492	0.387	0.394	0.392
3rd run	0.815	0.454	0.405	0.39	0.392
4th run	0.806	0.408	0.385	0.396	0.403
5th run	0.837	0.424	0.394	0.385	0.384
6th run	0.799	0.414	0.397	0.381	0.398
7th run	0.814	0.429	0.39	0.383	0.387
8th run	0.827	0.441	0.393	0.389	0.381
9th run	0.788	0.431	0.38	0.383	0.393
10th run	0.821	0.417	0.384	0.397	0.392
	0.8162	0.4346	0.3905	0.3889	0.3899

Figure A.10: Speedup output for input 500.000.000

Cores	1	2	4	6	8
1st run	7.99	4.61	3.815	3.884	3.768
2nd run	8.045	4.539	3.801	3.804	3.82
3rd run	7.891	4.322	3.779	3.814	3.746
4th run	8.007	4.077	3.792	3.806	3.792
5th run	8.036	4.347	3.737	3.747	3.743
6th run	7.968	4.223	3.75	3.768	3.797
7th run	8.105	4.17	3.789	3.837	3.766
8th run	7.948	4.249	3.749	3.815	3.746
9th run	7.935	4.19	3.775	3.763	3.792
10th run	7.982	4.233	3.76	3.795	3.747
	7.9907	4.296	3.7747	3.8033	3.7717

## A.2 Opgave 3

### A.2.1 Opgave 3 output

```
./prodcons 5 3 3 10 15
Producer 1 produced ITEM_0. Items in buffer: 1 (out of 10)
Producer 2 produced ITEM_1. Items in buffer: 2 (out of 10)
Consumer 2 consumed ITEM_0. Items in buffer: 1 (out of 10)
Consumer 1 consumed ITEM_1. Items in buffer: 0 (out of 10)
Producer 0 produced ITEM_2. Items in buffer: 1 (out of 10)
Consumer 0 consumed ITEM_2. Items in buffer: 0 (out of 10)
Producer 1 produced ITEM_3. Items in buffer: 1 (out of 10)
Consumer 2 consumed ITEM_3. Items in buffer: 0 (out of 10)
Producer 0 produced ITEM_4. Items in buffer: 1 (out of 10)
Consumer 0 consumed ITEM_4. Items in buffer: 0 (out of 10)
Producer 0 produced ITEM_5. Items in buffer: 1 (out of 10)
Consumer 1 consumed ITEM_5. Items in buffer: 0 (out of 10)
Producer 1 produced ITEM_6. Items in buffer: 1 (out of 10)
Producer 2 produced ITEM_7. Items in buffer: 2 (out of 10)
Producer 0 produced ITEM_8. Items in buffer: 3 (out of 10)
Consumer 2 consumed ITEM_6. Items in buffer: 2 (out of 10)
Consumer 0 consumed ITEM_7. Items in buffer: 1 (out of 10)
Consumer 1 consumed ITEM_8. Items in buffer: 0 (out of 10)
Producer 1 produced ITEM_9. Items in buffer: 1 (out of 10)
Consumer 0 consumed ITEM_9. Items in buffer: 0 (out of 10)
Producer 1 produced ITEM_10. Items in buffer: 1 (out of 10)
Consumer 0 consumed ITEM_10. Items in buffer: 0 (out of 10)
Producer 2 produced ITEM_11. Items in buffer: 1 (out of 10)
Producer 0 produced ITEM_12. Items in buffer: 2 (out of 10)
Consumer 2 consumed ITEM_11. Items in buffer: 1 (out of 10)
Consumer 1 consumed ITEM_12. Items in buffer: 0 (out of 10)
Producer 0 produced ITEM_13. Items in buffer: 1 (out of 10)
Producer 2 produced ITEM_14. Items in buffer: 2 (out of 10)
Consumer 0 consumed ITEM_13. Items in buffer: 1 (out of 10)
Consumer 1 consumed ITEM_14. Items in buffer: 0 (out of 10)
```

---

# B Kode

## B.1 Opgave 1

### B.1.1 Makefile til mulsum

```
1 all: mulsum
2 LIBS= -lpthread -lm
3 CC = gcc
4 mulsum: mulsum.o
5     ${CC} -o $@ mulsum.o ${LIBS}
6 clean:
7     rm -rf *o mulsum
```

### B.1.2 mulsum

```
1 #include <pthread.h>
2 #include <stdio.h>
3 #include <stdlib.h>
4 #include <assert.h>
5 #include <math.h>
6
7 typedef struct calc_struct calc;
8
9 struct calc_struct {
10     double minimum_number;
11     double maximum_number;
12     double sumsqrt;
13 };
14
15 void *TaskCode(void *argument)
16 {
17     // Calculation
18     calc *c = ((calc *) argument);
19     double n;
20     double sum = 0;
21
22     for(n = c->minimum_number; n < (c->maximum_number + 1); ++n)
23     {
24         sum = sum + sqrt(n);
25     }
26
27     c->sumsqrt = sum;
28
29     pthread_exit(0);
30 }
31
```

```
32 int main(int argc, char *argv[])
33 {
34     int number_of_threads = atoi(argv[3]);
35     int input_integer = atoi(argv[2]);
36
37     calc_result[number_of_threads];
38     pthread_t threads[number_of_threads];
39
40     double input_double = (double) input_integer;
41     double work = input_double / (double) number_of_threads;
42
43     int n;
44     for(n = 0; n < number_of_threads; ++n)
45     {
46
47         double minnum = floor(work * n) + 1;
48         double maxnum = floor(work * (n + 1));
49         calc_result[n].minimum_number = minnum;
50         calc_result[n].maximum_number = maxnum;
51         calc_result[n].sumsqrt = 0;
52     }
53
54     int rc, i;
55
56     /* create all threads */
57     for (i=0; i<number_of_threads; ++i) {
58         rc = pthread_create(&threads[i], NULL, TaskCode,
59             (void *) &calc_result[i]);
60         assert(0 == rc);
61     }
62
63     /* wait for all threads to complete */
64     for (i=0; i<number_of_threads; ++i) {
65         rc = pthread_join(threads[i], NULL);
66         assert(0 == rc);
67     }
68
69     double sumtotal = 0;
70     int p;
71
72     for(p = 0; p < number_of_threads; p++)
73     {
74         sumtotal = sumtotal + calc_result[p].sumsqrt;
75     }
76     printf("Total amount: %f \n", sumtotal);
77
78     exit(EXIT_SUCCESS);
79 }
```



## B.2 Opgave 2

### B.2.1 Makefile til FIFO

```

1 all: fifoTestNoThreads fifoTestThreads
2
3 OBJS = list.o
4 LIBS = -lm -lpthread
5
6 fifoTestNoThreads: testNoThreads.o ${OBJS}
7     gcc -o $@ testNoThreads.o ${OBJS} ${LIBS}
8
9 fifoTestThreads: testThreads.o ${OBJS}
10    gcc -o $@ testThreads.o ${OBJS} ${LIBS}
11
12 clean:
13    rm -rf *.o fifo

```

### B.2.2 list.c

```

1  /*****
2      list.c
3
4      Implementation of simple linked list defined in list.h.
5
6      *****/
7
8  #include <stdio.h>
9  #include <stdlib.h>
10 #include <string.h>
11 #include <pthread.h>
12 #include "list.h"
13
14 /* list_new: return a new list structure */
15 List *list_new(void)
16 {
17     List *l;
18
19     l = (List *) malloc(sizeof(List));
20     l->len = 0;
21
22     if (pthread_mutex_init(&l->lock, NULL) != 0)
23     {
24         printf("\n mutex init failed\n");
25     }
26
27     /* insert root element which should never be removed */
28     l->first = l->last = (Node *) malloc(sizeof(Node));
29     l->first->elm = NULL;
30     l->first->next = NULL;
31     return l;

```

```

32 }
33
34 /* list_add: add node n to list l as the last element */
35 void list_add(List *l, Node *n)
36 {
37     pthread_mutex_lock(&l->lock);
38     l->last->next = n;
39     l->last = n;
40     pthread_mutex_unlock(&l->lock);
41 }
42
43 /* list_remove: remove and return the first (non-root) element from list l */
44 Node *list_remove(List *l)
45 {
46     pthread_mutex_lock(&l->lock);
47     Node *n;
48
49     n = l->first->next;
50     l->first->next = n->next;
51
52     if(l->first->next == NULL)
53     {
54         l->last = l->first;
55     }
56
57     pthread_mutex_unlock(&l->lock);
58
59     return n;
60 }
61
62 /* node_new: return a new node structure */
63 Node *node_new(void)
64 {
65     Node *n;
66     n = (Node *) malloc(sizeof(Node));
67     n->elm = NULL;
68     n->next = NULL;
69     n->previous = NULL;
70     return n;
71 }
72
73 /* node_new_str: return a new node structure, where elm points to new copy of s */
74 Node *node_new_str(char *s)
75 {
76     Node *n;
77     n = (Node *) malloc(sizeof(Node));
78     n->elm = (void *) malloc((strlen(s)+1) * sizeof(char));
79     strcpy((char *) n->elm, s);
80     n->next = NULL;
81     n->previous = NULL;
82     return n;

```

83 }

### B.2.3 list.h

```

1  /*****
2      list.h
3
4      Header file with definition of a simple linked list.
5
6      *****/
7
8  #ifndef _LIST_H
9  #define _LIST_H
10
11  /* structures */
12  typedef struct node {
13      void *elm; /* use void type for generality; we cast the element's type
14                  to void type */
15      struct node *next;
16      struct node *previous;
17  } Node;
18
19  typedef struct list {
20      int len;
21      pthread_mutex_t lock;
22      Node *first;
23      Node *last;
24  } List;
25
26  /* functions */
27  List *list_new(void); /* return a new list structure */
28  void list_add(List *l, Node *n); /* add node n to list l as the last element */
29  Node *list_remove(List *l); /* remove and return the first element from list l */
30  Node *node_new(void); /* return a new node structure */
31  Node *node_new_str(char *s); /* return a new node structure, where elm
32                                points to new copy of string s */
33
34  #endif

```

### B.2.4 testNoThreads.c

```

1  /*****
2
3  testNoThreads.c
4
5  Testign that the FIFO list actually works as we want it to.
6
7  *****/
8
9  #include <stdio.h>
10 #include <stdlib.h>

```

```

11 #include <pthread.h>
12 #include "list.h"
13
14 int main(int argc, char* argv[])
15 {
16     // Creates a FIFO list;
17     List *fifo = list_new();
18
19     // Adds two elements to the list.
20     list_add(fifo, node_new_str("s1"));
21     list_add(fifo, node_new_str("s2"));
22
23     // Removes the first element from the list and checks that is it not null
24     Node *n1 = list_remove(fifo);
25     if (n1 == NULL) { printf("Error no elements in list\n"); exit(-1);}
26     // Removes the second element from the list and checks that is it not null
27     Node *n2 = list_remove(fifo);
28     if (n2 == NULL) { printf("Error no elements in list\n"); exit(-1);}
29
30     // Saves the elm of the two nodes as strings.
31     char *n1elm = (char *)n1->elm;
32     char *n2elm = (char *)n2->elm;
33
34     // Prints the two elements.
35     printf("%s\n%s\n", n1elm, n2elm);
36
37     return 0;
38 }

```

### B.2.5 testThreads.c

```

1 #include <assert.h>
2 #include <stdio.h>
3 #include <stdlib.h>
4 #include <pthread.h>
5 #include "list.h"
6
7 List *fifo;
8 int number_of_elements_per_thread;
9
10 // The code for the threads.
11 void *TaskCode(void *argument)
12 {
13     // Converts the parameter to an integer that holds the number
14     // of the thread.
15     int *threadNo = (int *) argument;
16
17     int i;
18     // Adds elements to the list.
19     for (i = 0; i < number_of_elements_per_thread; ++i)
20     {

```

```

21     char x[250];
22     char *s = "Thread";
23     sprintf(x, "%s #%d, element %d", s, *threadNo + 1, i);
24     list_add(fifo, node_new_str(x));
25 }
26
27 // Removes elements from the list.
28 for (i = 0; i < number_of_elements_per_thread; ++i)
29 {
30     Node *node = list_remove(fifo);
31     char *nodeElem = (char *)node->elm;
32     printf("%s\n", nodeElem);
33 }
34     free(argument);
35     pthread_exit(0);
36 }
37
38 // Method for testing that the list works with threads.
39 int main(int argc, char* argv[])
40 {
41     int rc, i;
42     int number_of_threads = atoi(argv[3]);
43     number_of_elements_per_thread = atoi(argv[2]);
44     fifo = list_new();
45     pthread_t threads[number_of_threads];
46
47     // Creates all the threads and makes them do what they are supposed to.
48     for (i=0; i<number_of_threads; ++i)
49     {
50         int *r = malloc(sizeof(int));
51         *r = i;
52         rc = pthread_create(&threads[i], NULL, TaskCode, (void *) r);
53         assert(0 == rc);
54     }
55
56     // Wait for all threads to finish
57     for (i=0; i<number_of_threads; ++i)
58     {
59         rc = pthread_join(threads[i], NULL);
60         assert(0 == rc);
61     }
62
63     return 0;
64 }

```

## B.3 Opgave 3

### B.3.1 Makefile til prodcons

```
1 all: prodcons
2
3 OBJS = List/list.o
4 LIBS = -lrt -lpthread
5
6 prodcons: prodCons.o ${OBJS}
7         gcc -o $@ prodCons.o ${OBJS} ${LIBS}
8
9 clean:
10        rm -rf *.o prodcons
```

### B.3.2 prodcons.c

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <pthread.h>
4 #include <semaphore.h>
5 #include "List/list.h"
6 #include "prodCons.h"
7
8 // List
9 List *itemList; // The product buffer.
10
11 // Locks
12 pthread_mutex_t produce_lock; // Lock for produced_products.
13 pthread_mutex_t consume_lock; // Lock for consumed_products.
14 pthread_mutex_t products_buffer_lock; // Lock for products_in_buffer
15
16 // Semaphores
17 sem_t empty; // Number of empty slots in the buffer.
18 sem_t full; // Number of filled slots in the buffer.
19 sem_t products_remaining; // Number of products still to be produced.
20
21 // Consumer and producer variables
22 int number_of_producers; // Number of product producers.
23 int number_of_consumers; // Number of product consumers.
24
25 // Product variables
26 int total_number_of_products; // Number of products to be produced in total.
27 int produced_products = 0; // Number of produced products.
28 int consumed_products = 0; // Number of consumed products.
29 int products_in_buffer = 0; // Amount of products in the buffer
30
31 // Buffer size
32 int buffer_size;
33
34 int main(int argc, char* argv[])
```

```

35 {
36     if (atoi(argv[1]) != 5)
37     {
38         printf("Wrong number of input arguments! ProdCons needs 5 input
39             arguments.\n");
40         printf("Argument 1: Number of arguments.\nArgument 2: Number
41             of producers.\nArgument 3: Number of consumers.\n");
42         printf("Argument 4: Size of the buffer.\nArgument 5: Total amount
43             of products.\n");
44         exit(EXIT_FAILURE);
45     }
46
47     // Initialise variables from input arguments
48     number_of_producers = atoi(argv[2]);
49     number_of_consumers = atoi(argv[3]);
50     total_number_of_products = atoi(argv[5]);
51     buffer_size = atoi(argv[4]);
52
53     // Initialise semaphores
54     if (sem_init(&empty, 0, buffer_size) != 0)
55     {
56         printf("\n Failed to initialise empty semaphore\n");
57     }
58     if (sem_init(&full, 0, 0) != 0)
59     {
60         printf("\n Failed to initialise full semaphore\n");
61     }
62     if (sem_init(&products_remaining, 0, total_number_of_products) != 0)
63     {
64         printf("\n Failed to initialise total_number_of_products semaphore\n");
65     }
66
67     // Initialise list
68     itemList = list_new();
69
70     // Initialise locks
71     if (pthread_mutex_init(&produce_lock, NULL) != 0)
72     {
73         printf("\n Failed to initialise produce_lock\n");
74     }
75
76     if (pthread_mutex_init(&consume_lock, NULL) != 0)
77     {
78         printf("\n Failed to initialise consumed_lock\n");
79     }
80
81     if (pthread_mutex_init(&products_buffer_lock, NULL) != 0)
82     {
83         printf("\n Failed to initialise products_buffer_lock\n");
84     }
85

```

```

86         // Consumer and producer thread arrays
87         pthread_t consumer_thread_ids[number_of_consumers];
88         pthread_t producer_thread_ids[number_of_producers];
89
90         // Create threads
91         int tn;
92         for (tn = 0; tn < number_of_consumers; tn++){
93             int *cn = malloc(sizeof(int));
94             *cn = tn;
95             if(pthread_create(&consumer_thread_ids[tn], NULL, &consumer, (void*) cn))
96                 {
97                     printf("Failed to create consumer number %d \n", tn);
98                 }
99         }
100        for (tn = 0; tn < number_of_producers; tn++){
101            int *pn = malloc(sizeof(int));
102            *pn = tn;
103            if(pthread_create(&producer_thread_ids[tn], NULL, &producer, (void*) pn))
104                {
105                    printf("Failed to create producer number %d \n", tn);
106                }
107        }
108
109        // Join threads
110        for (tn = 0; tn < number_of_consumers; tn++)
111            {
112                pthread_join(consumer_thread_ids[tn], NULL);
113            }
114        for (tn = 0; tn < number_of_producers; tn++)
115            {
116                pthread_join(producer_thread_ids[tn], NULL);
117            }
118
119        return 0;
120    }
121
122    // Producer code
123    void *producer(void *argument)
124    {
125        int *prodNo = (int *) argument; // Producers identifying number
126        Node *node; // Produced node
127
128        while(1)
129        {
130            // Produce or stop
131            int tw = sem_trywait(&products_remaining);
132            if(tw == -1) // If there are no more products to be produced, end thread.
133                {
134                    pthread_exit(0);
135                }
136            else if(tw == 0) // There are more products be produced.

```



```

137         {
138             node = produceProduct(); // Final product
139         }
140         else
141         {
142             printf("Some error ocured when trying to wait on
143                 products_remaining semaphore");
144         }
145
146         // Add product to buffer
147         sem_wait(&empty); // Wait for room in buffer.
148         list_add(itemList, node); // Add node to list.
149
150         // Increase count of number products in buffer.
151         pthread_mutex_lock(&products_buffer_lock);
152         products_in_buffer++;
153         printf("Producer %d produced %s. Items in buffer: %d (out of %d)
154             \n", *prodNo, node->elm, products_in_buffer, buffer_size);
155         pthread_mutex_unlock(&products_buffer_lock);
156
157         sem_post(&full); // Signal full so buffer space is decreased by 1.
158
159         // Sleep for random time.
160         sleepRandom(10000);
161     }
162 }
163
164 // Consumer code
165 void *consumer(void *argument)
166 {
167     int *consNo = (int *) argument; // Consumers identifying number
168     Node *node; // Consumed node.
169
170     while(1){
171         pthread_mutex_lock(&consume_lock); // Lock consumed_products.
172
173         if(consumed_products == total_number_of_products) // If we
174             have consumed all products, exit thread.
175         {
176             pthread_mutex_unlock(&consume_lock); // Release lock on
177             consumed_products.
178             pthread_exit(0); // Exit thread.
179         }
180
181         sem_wait(&full); // Wait for a product to exist in the buffer.
182         node = list_remove(itemList); // Remove product from buffer.
183
184         // Decrease count of number products in buffer.
185         pthread_mutex_lock(&products_buffer_lock);
186         products_in_buffer--;
187         pthread_mutex_unlock(&products_buffer_lock);

```

```

188
189         consumed_products++; // Increase amount of consumed products
190         pthread_mutex_unlock(&consume_lock); // Unlock consumed_products.
191         sem_post(&empty); // Signal empty so buffer space is increased by 1.
192
193         printf("Consumer %d consumed %s. Items in buffer: %d (out of %d)
194                \n", *consNo, node->elm, products_in_buffer, buffer_size);
195
196         sleepRandom(10000);
197     }
198 }
199
200 // Produces a new node.
201 Node *produceProduct()
202 {
203     Node* node;
204
205     // Lock produced_products
206     pthread_mutex_lock(&produce_lock);
207
208     // Create node
209     char tmp[250];
210     sprintf(tmp, "ITEM%d", produced_products);
211
212     produced_products++; // Increased produced products.
213
214     pthread_mutex_unlock(&produce_lock); // Unlocked produced_products.
215
216     node = node_new_str(tmp); // Initialisation of the new node.
217
218     return node;
219 }
220
221 // Code taken from assignment description v2
222 void sleepRandom(float wait_time_ms)
223 {
224     struct timeval tv;
225     gettimeofday(&tv, NULL);
226     srand(tv.tv_usec);
227     wait_time_ms = ((float)rand())*wait_time_ms / (float)RANDMAX;
228     usleep((int) (wait_time_ms * 1e3f)); // convert from ms to us
229 }

```

### B.3.3 prodcons.h

```

1 // Header
2 void *producer(void*);
3 void *consumer(void*);
4 Node *produceProduct();
5 void sleepRandom(float wait_time_ms);

```

## B.4 Opgave 4

### B.4.1 Makefile til banker

```

1 all: banker
2 LIBS= -lpthread
3 CC = gcc
4 mulsum: banker.o
5     ${CC} -o $@ banker.o ${LIBS}
6 clean:
7     rm -rf *o banker

```

### B.4.2 banker.c

```

1 #include<stdio.h>
2 #include<stdlib.h>
3 #include<sys/time.h>
4 #include<pthread.h>
5 #include<math.h>
6
7 typedef struct state {
8     int *resource;
9     int *available;
10    int **max;
11    int **allocation;
12    int **need;
13 } State;
14
15 // Global variables
16 int m, n;
17 State *s = NULL;
18
19 // Mutex for access to state.
20 pthread_mutex_t state_mutex;
21
22 /* Random sleep function */
23 void Sleep(float wait_time_ms)
24 {
25     // add randomness
26     wait_time_ms = ((float)rand())*wait_time_ms / (float)RAND_MAX;
27     usleep((int) (wait_time_ms * 1e3f)); // convert from ms to us
28 }
29
30 /* Allocate resources in request for process i, only if it
31    results in a safe state and return 1, else return 0 */
32 int resource_request(int i, int *request)
33 {
34     pthread_mutex_lock(&state_mutex);
35     int j;
36     for(j = 0; j < n; j++)
37     {

```

```

38         if(request[j] > s->need[i][j])
39         {
40             fprintf(stderr, "Request higher than Need for process %d!", i);
41             pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
42             exit(0);
43         }
44     }
45
46     for(j = 0; j < n; j++)
47     {
48         if(request[j] > s->available[j])
49         {
50             pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
51             return 0;
52         }
53     }
54
55     for(j = 0; j < n; j++)
56     {
57         s->available[j] = s->available[j] - request[j];
58         s->allocation[i][j] = s->allocation[i][j] + request[j];
59         s->need[i][j] = s->need[i][j] - request[j];
60     }
61
62     if(!safety_check())
63     {
64         for(j = 0; j < n; j++)
65         {
66             s->available[j] = s->available[j] + request[j];
67             s->allocation[i][j] = s->allocation[i][j] - request[j];
68             s->need[i][j] = s->need[i][j] + request[j];
69         }
70         pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
71         return 0;
72     }
73     else
74     {
75         pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
76         return 1;
77     }
78 }
79
80 /* Release the resources in request for process i */
81 void resource_release(int i, int *request)
82 {
83     pthread_mutex_lock(&state_mutex);
84     int j;
85     for(j = 0; j < n; j++)
86     {
87         s->available[j] = s->available[j] + request[j];
88         s->allocation[i][j] = s->allocation[i][j] - request[j];

```

```

89         s->need[i][j] = s->need[i][j] + request[j];
90     }
91     pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
92 }
93
94 // Safety algorithm
95 int safety_check()
96 {
97     // Variables
98     int i, j, lt;
99     int work[n], finish[m];
100
101     // Step 1
102     // Initialise work
103     for(i = 0; i < n; i++)
104     {
105         work[i] = s->available[i];
106     }
107
108     // Initialise finish
109     for(i = 0; i < m; i++)
110     {
111         finish[i] = 0;
112     }
113
114     int tryagain = 1;
115
116     while(tryagain)
117     {
118         tryagain = 0;
119         // Step 2
120         for(i = 0; i < m; i++)
121         {
122             if(finish[i] != 1)
123             {
124                 int j, comparison = 0;
125                 for(j = 0; j < n; j++)
126                 {
127                     if(s->need[i][j] > work[j])
128                     {
129                         comparison = -1;
130                         break;
131                     }
132                 }
133
134                 // Step 3
135                 if(comparison != -1)
136                 {
137                     int k;
138                     for(k = 0; k < n; k++)
139                     {

```

```

140                                     work[k] = work[k] + s->allocation[i][k];
141                                     }
142                                     finish[i] = 1;
143                                     tryagain = 1;
144                                     }
145                                     }
146                                     }
147                                     }
148
149                                     // Step 4
150                                     for(i = 0; i < m; i++)
151                                     {
152                                             if(finish[i] != 1)
153                                             {
154                                                     return 0;
155                                             }
156                                     }
157
158                                     return 1;
159     }
160
161     /* Generate a request vector */
162     void generate_request(int i, int *request)
163     {
164         pthread_mutex_lock(&state_mutex);
165         int j, sum = 0;
166         while (!sum) {
167             for (j = 0; j < n; j++) {
168                 request[j] = round(s->need[i][j] * ((double)rand())/ (double)RAND_MAX);
169                 sum += request[j];
170             }
171         }
172         pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
173         printf("Process %d: Requesting resources.\n", i);
174     }
175
176     /* Generate a release vector */
177     void generate_release(int i, int *request)
178     {
179         pthread_mutex_lock(&state_mutex);
180         int j, sum = 0;
181         while (!sum) {
182             for (j = 0; j < n; j++) {
183                 request[j] = round(s->allocation[i][j] * ((double)rand())/ (double)RAND_MAX);
184                 sum += request[j];
185             }
186         }
187         pthread_mutex_unlock(&state_mutex);
188         printf("Process %d: Releasing resources.\n", i);
189     }
190

```

```

191 /* Threads starts here */
192 void *process_thread(void *param)
193 {
194     /* Process number */
195     int i = (int) (long) param, j;
196     /* Allocate request vector */
197     int *request = malloc(n*sizeof(int));
198     while (1) {
199         /* Generate request */
200         generate_request(i, request);
201         while (!resource_request(i, request)) {
202             /* Wait */
203             Sleep(100);
204         }
205
206         /* Generate release */
207         generate_release(i, request);
208         /* Release resources */
209         resource_release(i, request);
210         /* Wait */
211         Sleep(1000);
212     }
213     free(request);
214 }
215
216 int main(int argc, char* argv[])
217 {
218     /* Get size of current state as input */
219     int i, j;
220     printf("Number of processes: \n");
221     scanf("%d", &m);
222     printf("Number of resources: \n");
223     scanf("%d", &n);
224
225     /* Allocate memory for state */
226     s = malloc(sizeof(State));
227     s->resource = malloc(sizeof(int) * n);
228     s->available = malloc(sizeof(int) * n);
229     s->max = malloc(sizeof(int *) * m);
230     s->allocation = malloc(sizeof(int *) * m);
231     s->need = malloc(sizeof(int *) * m);
232
233     for(i = 0; i < m; i++)
234     {
235         s->max[i] = malloc(sizeof(int) * n);
236         s->allocation[i] = malloc(sizeof(int) * n);
237         s->need[i] = malloc(sizeof(int) * n);
238     }
239
240     /* Get current state as input */
241     printf("Resource vector: \n");

```

```

242     for(i = 0; i < n; i++)
243         scanf("%d", &s->resource[i]);
244     printf("Enter max matrix: \n");
245     for(i = 0; i < m; i++)
246         for(j = 0; j < n; j++)
247             scanf("%d", &s->max[i][j]);
248     printf("Enter allocation matrix:");
249     for(i = 0; i < m; i++)
250         for(j = 0; j < n; j++) {
251             scanf("%d", &s->allocation[i][j]);
252         }
253     printf("\n");
254
255     /* Calculate the need matrix */
256     for(i = 0; i < m; i++)
257         for(j = 0; j < n; j++)
258             s->need[i][j] = s->max[i][j] - s->allocation[i][j];
259
260     /* Calculate the availability vector */
261     for(j = 0; j < n; j++) {
262         int sum = 0;
263         for(i = 0; i < m; i++)
264             sum += s->allocation[i][j];
265         s->available[j] = s->resource[j] - sum;
266     }
267
268     /* Output need matrix and availability vector */
269     printf("Need matrix:\n");
270     for(i = 0; i < n; i++)
271         printf("R%d ", i+1);
272     printf("\n");
273     for(i = 0; i < m; i++) {
274         for(j = 0; j < n; j++)
275             printf("%d ", s->need[i][j]);
276         printf("\n");
277     }
278     printf("Availability vector:\n");
279     for(i = 0; i < n; i++)
280         printf("R%d ", i+1);
281     printf("\n");
282     for(j = 0; j < n; j++)
283         printf("%d ", s->available[j]);
284     printf("\n");
285
286     if(safety_check())
287     {
288         printf("State was safe. \n");
289     }
290     else
291     {
292         fprintf(stderr, "State was not safe.\n");

```



```
293         return 1;
294     }
295
296     /* Seed the random number generator */
297     struct timeval tv;
298     gettimeofday(&tv, NULL);
299     srand(tv.tv_usec);
300
301     /* Create m threads */
302     pthread_t *tid = malloc(m*sizeof(pthread_t));
303     for (i = 0; i < m; i++)
304         pthread_create(&tid[i], NULL, process_thread, (void *) (long) i);
305
306     /* Wait for threads to finish */
307     pthread_exit(0);
308     free(tid);
309
310     /* Free state memory */
311     for (i = 0; i < m; i++) {
312         free(s->max[i]);
313         free(s->allocation[i]);
314         free(s->need[i]);
315     }
316
317     free(s->resource);
318     free(s->available);
319     free(s->max);
320     free(s->allocation);
321     free(s->need);
322     free(s);
323 }
```