
Hw3 : Pork Zongzi maker!

A homework of making a parallel production line

Due date: 6/27(Sun.) 23:59 am (好孩子請勿遲交、抄襲，本作業不接受補交)

*目的:

在這個作業中，我們將從上一個處理多程序(Process)訊息溝通的問題，變成一個多執行緒(Thread)資料交換與同步問題。同時，我們將進一步擴展為多步驟的 Consumer-Producer 產線問題，老師預期你會需要第四章執行緒、第 6 ~ 8 章行程同步、死結管理等概念來實做整個作業。在這個作業中你會學會以下幾件事：

1. PThread 的基本使用、執行緒間資料共享、解決資料共用時的問題
2. Mutex 以及(Counting) Semaphore 的使用與設計 (亦可使用 Monitor)
3. 如何管理各種佇列、排隊的問題、預防 Deadlock 系統卡住

故事從一個豬肉粽子加工廠開始，我們將請你撰寫一個豬肉粽子加工廠模擬器，透過平行的方式將豬肉原塊經過切割(CUTTER)和打包製作粽子(包粽機 PACKER)兩個步驟來完成。過程中平均每 50~100ms 會送上一塊從倉儲拿出來的豬肉原塊到切割工廠，為確保豬肉新鮮，切割工廠備有N個備料格 (slot, 預設為 5 個)，擺放在備料格上的豬肉將以先到先處理(FCFS)的排隊方式送進切割工廠，並在切割工廠中待上 100~300ms，並再完成之後送進粽子工廠進行 500~1000ms 的加工。切割完成後，豬肉會先放回備料台等待進入工廠 (會標示為已切割)，排隊等待工廠有空再送入，這部分依然是先切完的會先送粽子工廠(FCFS)。

這中間如果遇到切割工廠與包粽機同時都沒有豬肉需要處理的狀況，經過一段等待時間後 (10ms~100ms) 切割工廠和粽子工廠就會「一起」進入檢討模式(under reviewing)，若是個別沒有工作的情況下則會各別進入維護模式(under maintenance)。豬肉經過兩階段的工作就會完成加工並且離開工廠。(剛啟動時若沒有豬肉也會進入檢討)

此外，若是 N 個備料格都滿了，而且切割工廠也正在運作 (第 N+1 個豬肉)，那麼新來的豬肉就必須放進冷凍庫(Freezer)花費 300~500ms 排隊，若是時間結束仍沒有空位，那麼就必須再回到冷凍庫等候。每次豬肉被處理完之後就會放回備料格，萬一 N+1 個豬肉都處理完畢，那麼最後一個完成的豬肉直接放在切割場中等待製作粽子 (此時切割場會進入維護模式)。系統預設輸入 M 塊豬肉原塊，程式執行時將允許使用者輸入 M 與 N

本作業的要求就是請你寫出一個豬肉工廠模擬器，模擬時，要輸出豬肉以及各個工廠的狀態（於狀態改變同時輸出時間、所要執行的工作以及工作時間長度），例如有新的豬肉進來以及變成粽子離開、工廠處理豬肉、工廠進入維護模式、工廠們一起進行檢討等等。時間是由 0ms 開始，平均每 50~100ms 會送上一塊豬肉原塊，起始時工廠們預設在維護模式。在維護模式或檢討模式中，有任何豬肉進來則會盡快動工

程式執行參數範例：

`./hw3.out 15 5`

以上表示有 15 塊豬肉，切割工廠共有 5 個備料台(每個切割工廠還可以存放一個)所有豬肉完全打包成粽子，模擬結束。

*注意事項：

1. 本作業僅限 C/C++，並使用 Pthread API。測試平台則跟前面的作業都相同。（無法編譯執行均不給分）實作必須以 pthread API 來建構 multithreaded 環境，並使用其中的 mutex 或 semaphore 機制形成 critical section 來設計同步與資源分享。不使用此機制者，作業 0 分。每個工廠跟豬肉分別用一個 thread 來模擬（冷凍庫可以不需要），但你可以開其他 thread 協同工作。
2. 請務必仔細閱讀我的輸出，並且跟著印出對應項目（像是工廠正在處理哪一塊豬肉原塊、處理多少時間等務必印出，否則無法批改）
3. 在程式中請使用亂數來產生每一個工作所需的時間，請在程式開始時運用亂數函式 `srand(N)` 來設定亂數序列起始點，N 可以寫死在程式碼或是由使用者輸入，並用 `rand()` 來取得亂數。以 10ms 為單位，如：150, 170, 50, 30ms ...
範例：如果是取 100~180 的亂數，建議用 `((rand()%9)+10)*10` 取得。
4. 在程式中，ms(millisecons)為時間控制基礎單位，建議使用 `usleep()` 函式來完成。以下為參考寫法：

```
void wait(int millisecond) {  
    usleep(millisecond*1000); //<unistd.h> convert to millisecond  
}
```

但你也可以用某個你自定義的時間戳記，只要印出來是對的。

5. 由於使用 PThread，本作業將會需要在編譯時連結 pthread 函式庫，範例如下：

```
g++ XXX.cpp -lpthread -o XXX.out
```

(你原裝的 ubuntu 可能未包含 pthread 需自行安裝，有需要使用 c++11 的請自行加上參數並在文件註明)

*批改重點

1. 訊息是否正常印出，不會拼湊在一起（印製訊息可以想像成是一種不可搶先的資源）
2. 是否能正確處理完所有豬肉，所有豬肉亦正確經過全部流程。不能有豬肉中途消失、被重複處理的情況。每一塊豬肉都經過三個步驟（放上備料台 > 進切割工廠+離開 > 進包粽機工廠+完成印出 Complete）
3. 各方面處理、等待過程都會在有限時間內完成，不會無止盡的等待發生系統整個死結的情況。常見錯誤：豬肉尚未處理完但程式提前結束、豬肉處理完但程式沒有結束、豬肉處理中結果系統不再輸出訊息。。。
4. 工廠是否按時間表辦事，豬肉處理、冷凍等時間是否正確

*BONUS：

1. 可以設置一個以上的切割場以及粽子製作工廠（+10pts），透過追加程式執行參數讓使用者可以設置工廠數量，輸入範例如右：`./hw3.out 15 5 3 2`，表示 15 塊豬肉、5 個格子、三個豬肉切割工廠+兩個包粽機。（預設為兩種工廠各一個）
*這時候 你輸出的工廠需要有編號，比方說原本是 CUTTER 就要變成 CUTTER#1
2. 在冷凍庫的總時間長度可以設置上限，超過上限則自動離開冷凍庫，並在備料台旁邊排隊。也就是說，在備料台有空位後可以優先使用。（+10pts）
3. 豬肉可以設置在超過一定時間後必須拋棄離開，請新增一個豬肉壞掉事件。（+10pts）

*作業繳交：

1. （95%）程式碼（單一檔案）：請繳交你可編譯的程式碼，不需要附上任何編譯好的檔案。程式碼請用以下形式命名：`s1234567_OShw3.cpp`（結尾可是.c 或.cpp）
1. （10%）報告：`s1234567_OShw3.pdf`，報告需要說明你完成的功能（列表），如何編譯你的程式，整個程式是如何運作（設計技巧以及如何運用 Pthread/ mutex/ semaphore 機制）以及如果有 BONUS 功能 請詳細說明使用方法跟提供一些測試範例（過程與截圖），可以投影片或是報告方式呈現。

*參考資料

*圖文並茂的簡介：<https://computing.llnl.gov/tutorials/pthreads/>

*多個範例程式：<http://www.yolinux.com/TUTORIALS/LinuxTutorialPosixThreads.html>

*其他中文的參考資料：<http://dragonspring.pixnet.net/blog/post/32963482>

*你也可以在系統中直接查詢完整文件，比方說鍵入：`man pthread_mutex_lock`

Output 範例 (./hw3.out 10 5) // 請仔細閱讀 (螢光筆文字為註解)

在實做細節上每個人都會有一些自由度，所以每個人答案自然不會完全一樣

000ms -- PACKER: ms -- PACKER: under reviewing together...under maintenance.

(上為錯誤示範，輸出打架了，請盡量減少但此項不扣分，打架時通常會多空一行)

0ms -- CUTTER: under maintenance.

10ms -- PACKER: under maintenance.

顯示工廠們維護中 (這邊 PACKERu,也可能會直接進入 under reviewing)

20ms -- CUTTER: under reviewing together...

其中一個工廠再次進入維護模式時，發現兩個工廠都在休息，所以就一起進入檢討模式

30ms -- PACKER: under reviewing together...

40ms -- CUTTER: under reviewing together...

(工廠在維護或是一同檢討順序不定，檢討模式中的工廠名稱決定是由誰發起的)

...

50ms -- Pork#1: waiting in the slot

顯示第一號豬肉進入備料區，後續所有料號唯一遞增序列，編號需唯一

50ms -- PACKER: under reviewing together...

60ms -- Pork#1: enters the CUTTER

顯示第一號豬肉進入切割場 (座位釋放)

60ms -- PACKER: under maintenance.

60ms -- CUTTER: cutting... cutting... Pork#1 -- 150ms

第一號豬肉切割中，150ms 為預計處理時間

70ms -- PACKER: under maintenance.

...

130ms -- PACKER: under maintenance.

130ms -- Pork#2: waiting in the slot

140ms -- PACKER: under maintenance.

...

210ms -- PACKER: under maintenance.

210ms -- Pork#1: leaves CUTTER (complete 1st stage)

第一號豬肉切割好了，可以見到目前的時間標記是 $60+150\text{ms} = 210\text{ms}$

210ms -- Pork#2: enters the CUTTER

210ms -- CUTTER: cutting... cutting... Pork#2 -- 200ms

220ms -- PACKER: under maintenance.

220ms -- Pork#1: waiting in the slot (cutted)

顯示第一號豬肉切割完成回到備料區，標示為切割好了
第一塊豬肉離開後，第二塊豬肉接著處理

230ms -- Pork#3: waiting in the slot

230ms -- Pork#1: enters to the factory (PACKER)

第一塊豬肉進入粽子工廠 (會空出座位)

230ms -- PACKER: processing & Packing the Pork#1 --990ms

310ms -- Pork#4: waiting in the slot

380ms -- Pork#5: waiting in the slot

410ms -- Pork#2: leaves CUTTER (complete 1st stage)

410ms -- Pork#3: enters the CUTTER

410ms -- CUTTER: cutting... cutting... Pork#3 -- 140ms

410ms -- Pork#2: waiting in the slot (cutted)

450ms -- Pork#6: waiting in the slot

540ms -- Pork#7: waiting in the slot

第三號豬肉還在切，2, 4~7 號在備料台等(2 號是等著送進裝粽子)

550ms -- Pork#3: leaves CUTTER (complete 1st stage)

550ms -- Pork#4: enters the CUTTER

550ms -- CUTTER: cutting... cutting... Pork#4 -- 120ms

560ms -- Pork#3: waiting in the slot (cutted)

610ms -- Pork#8 has been sent to the Freezer - 480ms

660ms -- Pork#9 has been sent to the Freezer - 310ms

第四號豬肉還在切，2, 3, 5~7 號在備料台等(2,3 號是等著送進裝粽子)

因此沒座位了，8 與 9 送進冷凍庫

680ms -- Pork#4: leaves CUTTER (complete 1st stage)

680ms -- Pork#5: enters the CUTTER

680ms -- CUTTER: cutting... cutting... Pork#5 -- 290ms

690ms -- Pork#4: waiting in the slot (cutted)

770ms -- Pork#10 has been sent to the Freezer - 360ms

970ms -- Pork#5: leaves CUTTER (complete 1st stage)

970ms -- Pork#6: enters the CUTTER

970ms -- CUTTER: cutting... cutting... Pork#6 -- 280ms

970ms -- Pork#5: waiting in the slot (cutted)
980ms -- Pork#9 has been sent to the Freezer - 390ms
1090ms -- Pork#8 has been sent to the Freezer - 340ms
1130ms -- Pork#10 has been sent to the Freezer - 400ms

1230ms -- Pork#1: leaves PACKER (Complete)

1230ms -- Pork#2: enters to the factory (PACKER)

第二號豬肉進入粽子工廠

1230ms -- PACKER: processing & Packing the Pork#2 --570ms

1250ms -- Pork#6: leaves CUTTER (complete 1st stage)

1250ms -- Pork#7: enters the CUTTER

1250ms -- CUTTER: cutting... cutting... Pork#7 -- 160ms

1260ms -- Pork#6: waiting in the slot (cutted)

1370ms -- Pork#9: waiting in the slot

因為第二號豬肉進入粽子工廠，所以空出一個位置，九號可以進來等了

1410ms -- Pork#7: leaves CUTTER (complete 1st stage)

1410ms -- Pork#9: enters the CUTTER

1410ms -- CUTTER: cutting... cutting... Pork#9 -- 290ms

1420ms -- Pork#7: waiting in the slot (cutted)

1430ms -- Pork#8 has been sent to the Freezer - 480ms

1530ms -- Pork#10 has been sent to the Freezer - 430ms

1710ms -- Pork#9: leaves CUTTER (complete 1st stage)

1710ms -- CUTTER: under maintenance

此範例中為了簡化輸出，每十秒叫起 under maintenance 一次，實際上為隨機

1710ms -- Pork#9: waiting in the slot (cutted)

1720ms -- CUTTER: under maintenance

...

1790ms -- CUTTER: under maintenance

1800ms -- Pork#2: leaves PACKER (Complete)

第二號豬肉粽子打包完成

1800ms -- Pork#3: enters to the factory (PACKER)

1800ms -- PACKER: processing & Packing the Pork#3 --860ms

1800ms -- CUTTER: under maintenance

...

1910ms -- CUTTER: under maintenance
1910ms -- Pork#8 has been sent to the Freezer - 450ms
1920ms -- CUTTER: under maintenance
...
1960ms -- CUTTER: under maintenance
1970ms -- Pork#10 has been sent to the Freezer - 460ms
1970ms -- CUTTER: under maintenance
...
2360ms -- CUTTER: under maintenance
2360ms -- Pork#8 has been sent to the Freezer - 320ms
2370ms -- CUTTER: under maintenance
...
2430ms -- CUTTER: under maintenance
2430ms -- Pork#10 has been sent to the Freezer - 490ms
2440ms -- CUTTER: under maintenance
...
2660ms -- CUTTER: under maintenance
2660ms -- Pork#3: leaves PACKER (Complete)
2660ms -- Pork#4: enters to the factory (PACKER)
2660ms -- PACKER: processing & Packing the Pork#4 --570ms
2670ms -- CUTTER: under maintenance
2680ms -- CUTTER: under maintenance
2680ms -- Pork#8: waiting in the slot
2700ms -- Pork#8: enters the CUTTER
2700ms -- CUTTER: cutting... cutting... Pork#8 -- 230ms
2920ms -- Pork#10: waiting in the slot
2930ms -- Pork#8: leaves CUTTER (complete 1st stage)
2930ms -- Pork#10: enters the CUTTER
2930ms -- CUTTER: cutting... cutting... Pork#10 -- 290ms
2930ms -- Pork#8: waiting in the slot (cutted)
3220ms -- Pork#10: leaves CUTTER (complete 1st stage)
3230ms -- Pork#10: waiting in the slot (cutted)
第十號豬肉完成切割・切割工廠離線 (之後不會再有維護訊息)

剩下就是豬肉等著依序送進粽子工廠

3240ms -- Pork#4: leaves PACKER (Complete)

3240ms -- Pork#5: enters to the factory (PACKER)

3240ms -- PACKER: processing & Packing the Pork#5 --570ms

3810ms -- Pork#5: leaves PACKER (Complete)

3810ms -- Pork#6: enters to the factory (PACKER)

3810ms -- PACKER: processing & Packing the Pork#6 --550ms

4360ms -- Pork#6: leaves PACKER (Complete)

4360ms -- Pork#7: enters to the factory (PACKER)

4360ms -- PACKER: processing & Packing the Pork#7 --840ms

5210ms -- Pork#7: leaves PACKER (Complete)

5210ms -- Pork#9: enters to the factory (PACKER)

5210ms -- PACKER: processing & Packing the Pork#9 --930ms

6140ms -- Pork#9: leaves PACKER (Complete)

6140ms -- Pork#8: enters to the factory (PACKER)

根據前述順序，本次 8 號會比 9 號晚一步送進粽子工廠，

只要豬肉有送去冰，順序就可能改變

6140ms -- PACKER: processing & Packing the Pork#8 --520ms

6660ms -- Pork#8: leaves PACKER (Complete)

6660ms -- Pork#10: enters to the factory (PACKER)

6660ms -- PACKER: processing & Packing the Pork#10 --660ms

7320ms -- Pork#10: leaves PACKER (Complete)

7320ms -- PACKER: under reviewing together...

工作完成！程式正常結束