

設計

- 核心架構

1. 主程序綁到第1顆CPU(`sched_setaffinity()`)，先讀進所有測資，並根據各排程sort子程序的資料，然後儲存至shared memory(`#include<sys/ipc.h> & #include<sys/shm.h>`)。
2. 主程序根據測資，在達到ready time時依序fork()子程序，並根據各個排程決定是否讓該子程序執行。(使用一個變數 `turn` 代表，由於該變數存在shared memory，故所有程序都能存取。)
3. 子程序誕生後馬上把自己綁到第2顆CPU，並根據 `turn` 變數決定是否讓自己 `pause()`，即執行或沉睡。
4. 主程序fork()完所有子程序後，會進入wait()等待它們結束。
5. 根據各個排程，主程序和子程序之間會以signal的方式溝通，控制各個子程序的喚醒與沉睡。

- Signals

1. `SIGUSR1`：當子程序 `exit()` / `pause()` 時，通知主程序。
2. `SIGUSR2`：主程序喚醒子程序。
3. `SIGUSR3` (自定義，取代 `SIGXFSZ`)：子程序preempt其它子程序。



- 排程

- 以下所有排程的第1.點都是從「主程序判斷達到ready time時」開始，描述各子程序的運作。
- 所有子程序的資訊都存在shard memory，供主程序排程。

(1) FIFO



1. 主程序會判斷當前是否有其它子程序正在執行，若有則 `turn=0` (阻止新子程序執行)，否則 `turn=1`。
2. 子程序執行結束後，會送 `SIGUSR1` 給主程序，通知主程序喚醒下一個子程序，並讓自己 `pause()`。
3. 主程序根據FIFO性質，送 `SIGUSR2` 喚醒下一個子程序。(若沒有子程序在ready queue則不做任何事。)



(2) RR

1. 主程序會判斷當前是否有其它子程序正在執行，若有則 `turn=0` (阻止新子程序執行)，否則 `turn=1`。
2. 子程序執行結束後或執行完一個time quantum後，會送 `SIGUSR1` 給主程序，通知主程序喚醒下一個子程序，並讓自己 `pause()`。
3. 主程序根據RR性質，送 `SIGUSR2` 喚醒下一個子程序(有可能又喚醒原本的程序)。(若沒有子程序在ready queue則不做任何事。)

(3) SJF

1. 主程序會判斷當前是否有其它子程序正在執行，若有則 $turn=0$ (阻止新子程序執行)，否則 $turn=1$ 。
2. 子程序執行結束後，會送 SIGUSR1 給主程序，通知主程序喚醒下一個子程序，並讓自己 pause()。
3. 主程序根據SJF性質，送 SIGUSR2 喚醒下一個子程序。(若沒有子程序在ready queue則不做任何事。)

(4) PSJF

1. 主程序會判斷當前是否有其它子程序的remain time小於等於新子程序的execution time，若有則 $turn=0$ (阻止新子程序執行)，否則 $turn=1$ 。
2. 若 $turn=1$ ，則新子程序會送 SIGUSR3 給當前正在執行的子程序，通知其 pause()。
3. 子程序執行結束後，會送 SIGUSR1 給主程序，通知主程序喚醒下一個子程序，並讓自己 pause()。
4. 主程序根據PSJF性質，送 SIGUSR2 喚醒下一個子程序。(若沒有子程序在ready queue則不做任何事。)

核心版本

- 5.3.0-46-generic (by `uname -r`)(無需編譯kernel)
- 使用 `clock_gettime()` 的 `CLOCK_REALTIME` 得到ns精度的時間。
- 使用 `sudo` 權限將資訊寫到 `/dev/kmsg`。

比較

- 以 `TIME_MEASUREMENT_dmesg.txt` 之平均執行時間為基準計算理論unit time。(約為 0.00146秒)
- 每個比較表格將第一個執行之子程序的開始時間對齊至0。
- 每個比較表格以子程序執行結束之時間排序。
- 所有時間四捨五入到小數點後第5位。
- 所有理論時間與實際時間的差距中，差距最大者約相差 3.21697%，最小者約相差 0.00959%。(所有表格下方有略為討論。)
(公式為: $(| \text{Practical running} - \text{Theo. running} | / \text{Theo. running}) \times 100\%$)

1. FIFO_1

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|-------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|-------------------|
| P1 | 0.000000 | 0.730050 | 0.730050 | 0.000000 | 0.730120 | 0.730120 |
| P2 | 0.730050 | 1.460100 | 0.730050 | 0.734320 | 1.463620 | 0.729300 |
| P3 | 1.460100 | 2.190150 | 0.730050 | 1.464510 | 2.196070 | 0.731560 |
| P4 | 2.190150 | 2.920200 | 0.730050 | 2.204590 | 2.949860 | 0.745270 |
| P5 | 2.920200 | 3.650250 | 0.730050 | 2.950270 | 3.703750 | 0.753480 |

2. FIFO_2

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|-------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|-------------------|
| P1 | 0.000000 | 116.80785 | 116.80785 | 0.000000 | 117.75058 | 117.75058 |
| P2 | 116.80785 | 124.10834 | 7.300490 | 117.7526 | 125.05848 | 7.305880 |
| P3 | 124.10834 | 125.56844 | 1.460100 | 125.06014 | 126.52065 | 1.460510 |
| P4 | 125.56844 | 127.02854 | 1.460100 | 126.5246 | 127.99181 | 1.467210 |

3. FIFO_3

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|-------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|-------------------|
| P1 | 0.000000 | 11.68078 | 11.68078 | 0.000000 | 11.68527 | 11.68527 |
| P2 | 11.68078 | 18.98128 | 7.300500 | 11.68866 | 18.98080 | 7.292140 |
| P3 | 18.98128 | 23.36157 | 4.380290 | 19.02237 | 23.39975 | 4.377380 |
| P4 | 23.36157 | 24.82167 | 1.460100 | 23.40368 | 24.86741 | 1.463730 |
| P5 | 24.82167 | 26.28177 | 1.460100 | 24.87167 | 26.33362 | 1.461950 |
| P6 | 26.28177 | 27.74186 | 1.460090 | 26.35167 | 27.81030 | 1.458630 |
| P7 | 27.74186 | 33.58226 | 5.840400 | 27.82767 | 33.67165 | 5.843980 |

4. FIFO_4

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|-------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|-------------------|
| P1 | 0.000000 | 2.920200 | 2.920200 | 0.000000 | 2.922610 | 2.922610 |
| P2 | 2.920200 | 3.650250 | 0.730050 | 2.922860 | 3.651590 | 0.728730 |
| P3 | 3.650250 | 3.942260 | 0.292010 | 3.654110 | 3.947070 | 0.292960 |
| P4 | 3.942260 | 4.672310 | 0.730050 | 3.951730 | 4.682740 | 0.731010 |

5. FIFO_5

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P1 | 0.000000 | 11.68078 | 11.68078 | 0.000000 | 11.66932 | 11.66932 |
| P2 | 11.68078 | 18.98128 | 7.300500 | 11.67157 | 18.96054 | 7.288970 |
| P3 | 18.98128 | 23.36157 | 4.380290 | 18.96530 | 23.33913 | 4.373830 |
| P4 | 23.36157 | 24.82167 | 1.460100 | 23.35193 | 24.81067 | 1.458740 |
| P5 | 24.82167 | 26.28177 | 1.460100 | 24.82990 | 26.28921 | 1.459310 |
| P6 | 26.28177 | 27.74186 | 1.460090 | 26.29022 | 27.74771 | 1.457490 |
| P7 | 27.74186 | 33.58226 | 5.840400 | 27.74794 | 33.58123 | 5.833290 |

6. PSJF_1

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P4 | 4.380290 | 8.760590 | 4.380300 | 4.431330 | 8.808460 | 4.377130 |
| P3 | 2.920200 | 14.60098 | 11.68078 | 2.960000 | 14.61713 | 11.65713 |
| P2 | 1.460100 | 23.36157 | 21.90147 | 1.480000 | 23.35443 | 21.87443 |
| P1 | 0.000000 | 36.50245 | 36.50245 | 0.000000 | 36.46323 | 36.46323 |

7. PSJF_2

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P2 | 1.460100 | 2.920200 | 1.460100 | 1.475940 | 2.933840 | 1.457900 |
| P1 | 0.000000 | 5.840390 | 5.840390 | 0.000000 | 5.854410 | 5.854410 |
| P4 | 7.300490 | 10.22069 | 2.920200 | 7.375930 | 10.32071 | 2.944780 |
| P5 | 10.22069 | 11.68078 | 1.460090 | 10.32137 | 11.78374 | 1.462370 |
| P3 | 5.840390 | 16.06108 | 10.22069 | 5.855960 | 16.11223 | 10.25627 |

8. PSJF_3

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P2 | 0.730050 | 1.460100 | 0.730050 | 0.739920 | 1.470570 | 0.730650 |
| P3 | 1.460100 | 2.190150 | 0.730050 | 1.507110 | 2.236540 | 0.729430 |
| P4 | 2.190150 | 2.920200 | 0.730050 | 2.257880 | 2.988880 | 0.731000 |
| P1 | 0.000000 | 5.110340 | 5.110340 | 0.000000 | 5.174690 | 5.174690 |

9. PSJF_4

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P3 | 0.146010 | 1.606110 | 1.460100 | 0.145890 | 1.607720 | 1.461830 |
| P2 | 0.000000 | 4.380290 | 4.380290 | 0.000000 | 4.393650 | 4.393650 |
| P4 | 4.380290 | 10.22069 | 5.840400 | 4.395090 | 10.22554 | 5.830450 |
| P1 | 10.22069 | 20.44137 | 10.22068 | 10.22985 | 20.42824 | 10.19839 |

10. PSJF_5

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P1 | -0.00000 | 0.146010 | 0.146010 | 0.000000 | 0.145080 | 0.145080 |
| P3 | 0.146010 | 0.438030 | 0.292020 | 0.145370 | 0.436880 | 0.291510 |
| P2 | 0.438030 | 6.278420 | 5.840390 | 0.440050 | 6.284380 | 5.844330 |
| P4 | 6.278420 | 12.11881 | 5.840390 | 6.284820 | 12.11154 | 5.826720 |
| P5 | 12.11881 | 22.33950 | 10.22069 | 12.11593 | 22.31269 | 10.19676 |

11. RR_1

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P1 | 0.000000 | 0.730050 | 0.730050 | 0.000000 | 0.732630 | 0.732630 |
| P2 | 0.730050 | 1.460100 | 0.730050 | 0.737380 | 1.472470 | 0.735090 |
| P3 | 1.460100 | 2.190150 | 0.730050 | 1.476570 | 2.210470 | 0.733900 |
| P4 | 2.190150 | 2.920200 | 0.730050 | 2.215620 | 2.948940 | 0.733320 |
| P5 | 2.920200 | 3.650250 | 0.730050 | 2.949530 | 3.682380 | 0.732850 |

12. RR_2

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P1 | -0.00000 | 10.95073 | 10.95073 | 0.000000 | 11.11976 | 11.11976 |
| P2 | 0.730050 | 13.14088 | 12.41083 | 0.775920 | 13.32370 | 12.54778 |

13. RR_3

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P3 | 4.380290 | 24.82167 | 20.44138 | 4.483930 | 25.08231 | 20.59838 |
| P1 | -0.00000 | 27.74186 | 27.74186 | 0.000000 | 28.02050 | 28.02050 |
| P2 | 2.190140 | 28.47191 | 26.28177 | 2.215930 | 28.75443 | 26.53850 |
| P6 | 8.760590 | 39.42265 | 30.66206 | 8.931330 | 39.74941 | 30.81808 |
| P5 | 8.030540 | 42.34284 | 34.31230 | 8.191930 | 42.68477 | 34.49284 |
| P4 | 7.300490 | 43.80294 | 36.50245 | 7.455930 | 44.15484 | 36.69891 |

14. RR_4

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P4 | 2.190150 | 8.030540 | 5.840390 | 2.212700 | 8.146910 | 5.934210 |
| P5 | 2.920200 | 8.760590 | 5.840390 | 2.947960 | 8.879590 | 5.931630 |
| P6 | 3.650250 | 9.490640 | 5.840390 | 3.688570 | 9.618430 | 5.929860 |
| P3 | 1.460100 | 21.17142 | 19.71132 | 1.475960 | 21.37874 | 19.90278 |
| P7 | 4.380290 | 26.28177 | 21.90148 | 4.423960 | 26.53533 | 22.11137 |
| P2 | 0.730050 | 29.20196 | 28.47191 | 0.735960 | 29.47180 | 28.73584 |
| P1 | 0.000000 | 33.58226 | 33.58226 | 0.000000 | 33.88296 | 33.88296 |

15. RR_5

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P4 | 2.190150 | 8.030540 | 5.840390 | 2.263910 | 8.154930 | 5.891020 |
| P5 | 2.920200 | 8.760590 | 5.840390 | 2.999910 | 8.892510 | 5.892600 |
| P6 | 3.650250 | 9.490640 | 5.840390 | 3.736160 | 9.638840 | 5.902680 |
| P3 | 1.460100 | 21.17142 | 19.71132 | 1.523910 | 21.45325 | 19.92934 |
| P7 | 4.380290 | 26.28177 | 21.90148 | 4.475740 | 26.60283 | 22.12709 |
| P2 | 0.730050 | 29.20196 | 28.47191 | 0.783910 | 29.57100 | 28.78709 |
| P1 | 0.000000 | 33.58226 | 33.58226 | 0.000000 | 34.00638 | 34.00638 |

16. SJF_1

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P2 | 0.000000 | 2.920200 | 2.920200 | 0.000000 | 2.937000 | 2.937000 |
| P3 | 2.920200 | 4.380290 | 1.460090 | 2.940430 | 4.413760 | 1.473330 |
| P4 | 4.380290 | 10.22069 | 5.840400 | 4.416340 | 10.26047 | 5.844130 |
| P1 | 10.22069 | 20.44137 | 10.22068 | 10.26489 | 20.48353 | 10.21864 |

17. SJF_2

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P1 | -0.00000 | 0.146010 | 0.146010 | 0.000000 | 0.146630 | 0.146630 |
| P3 | 0.146010 | 0.438030 | 0.292020 | 0.172980 | 0.465040 | 0.292060 |
| P2 | 0.438030 | 6.278420 | 5.840390 | 0.475300 | 6.309460 | 5.834160 |
| P4 | 6.278420 | 12.11881 | 5.840390 | 6.312800 | 12.14284 | 5.830040 |
| P5 | 12.11881 | 22.33950 | 10.22069 | 12.14490 | 22.35548 | 10.21058 |

18. SJF_3

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|----------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| P1 | -0.00000 | 4.380290 | 4.380290 | 0.000000 | 4.370470 | 4.370470 |
| P4 | 4.380290 | 4.394900 | 0.014610 | 4.371240 | 4.386320 | 0.015080 |
| P5 | 4.394900 | 4.409500 | 0.014600 | 4.388520 | 4.403440 | 0.014920 |
| P6 | 4.409500 | 10.24989 | 5.840390 | 4.407920 | 10.24313 | 5.835210 |
| P7 | 10.24989 | 16.09028 | 5.840390 | 10.25116 | 16.08708 | 5.835920 |
| P2 | 16.09028 | 23.39077 | 7.300490 | 16.09052 | 23.37705 | 7.286530 |
| P3 | 23.39077 | 33.61146 | 10.22069 | 23.38562 | 33.59515 | 10.20953 |
| P8 | 33.61146 | 46.75234 | 13.14088 | 33.59575 | 46.70818 | 13.11243 |

19. SJF_4

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|-------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|-------------------|
| P1 | 0.000000 | 4.380290 | 4.380290 | 0.000000 | 4.384950 | 4.384950 |
| P2 | 4.380290 | 5.840390 | 1.460100 | 4.399480 | 5.855470 | 1.455990 |
| P3 | 5.840390 | 11.68078 | 5.840390 | 5.867200 | 11.71078 | 5.843580 |
| P5 | 11.68078 | 13.14088 | 1.460100 | 11.71339 | 13.17501 | 1.461620 |
| P4 | 13.14088 | 16.06108 | 2.920200 | 13.17863 | 16.09774 | 2.919110 |

20. SJF_5

| Name | Theo. start | Theo. end | Theo. running | Practical start | Practical end | Practical running |
|------|-------------|-----------|---------------|-----------------|---------------|-------------------|
| P1 | 0.000000 | 2.920200 | 2.920200 | 0.000000 | 2.922500 | 2.922500 |
| P2 | 2.920200 | 3.650250 | 0.730050 | 2.922780 | 3.655950 | 0.733170 |
| P3 | 3.650250 | 4.380290 | 0.730040 | 3.659450 | 4.387800 | 0.728350 |
| P4 | 4.380290 | 5.110340 | 0.730050 | 4.389290 | 5.120530 | 0.731240 |

- 討論

在理論時間的估計算法下：每個unit的時間都是固定的，且一個程序結束後可以立即執行下一個程序，context switch也可以瞬間完成。

但實際執行時，我的作法是以signal模擬context switch等切換程序的功能，而這些都需要時間，就會造成誤差。

（即使不以signal模擬，真實情況下的context switch也一樣需要時間。）

另外，我們也無法保證CPU每次執行unit的時間在取到奈秒精度後仍然相同，而執行多個unit勢必也會使誤差擴大。

舉例說明：FIFO_2.txt 的 80000 units 在實際與理論時間的差距便來到0.95秒。

然而，若我們以百分比的衡量方式來看，該筆測資的誤差僅為 0.80708%，由此可見本模擬方法的準確度。

（如上所述，最大誤差為 3.21697%，也並未超過5%。）