

## 1. 開發環境

Windows11, Anaconda Python 3.8(需安裝程式裡面含有的 package 才能正常的執行)

## 2. 實作方法和流程

**FIFO**:檢查有無 Page Fault 有 Page fault 的時候檢查 page frame 是否滿了，如果滿了，把先進 page frame 的 page 移出，在加入新的 page，如果沒滿就直接加入 page，沒有 Page fault 的話就什麼事都不用更動。

**LRU**: 檢查有無 Page Fault，有 Page fault 的時候檢查 page frame 是否滿了，如果滿了，把最早進 page frame 的 page 移出，在加入新的 page，如果沒滿就直接加入 page，沒有 Page fault 的話，刪除 Page frame 裡相同的 page，再加入 Page，等於重新給予時間標記。

**LFU used LRU**:每個 page frame 都會有一個 Counter，假如有 Page Fault 會找出 Counter 值最小的 Page frame，移除掉再加入新的，假如沒有 Page Fault 的話，會移除掉在 Page frame 裡相同的 Page，然後再重新加入，更新 Counter table 裡，每一個 Page 的時間標記，會對新來的 Page 的 Counter 值+1，而這邊用的 LRU 的方法，是不會因為產生 Page Fault 而歸零 Page 的 Counter 值。

**MFU-FIFO**:基本上和 FIFO 是差不多的，檢查有無 Page Fault 有 Page fault 的時候檢查 page frame 是否滿了，如果滿了，把先進 page frame 的 page 移出，在加入新的 page，如果沒滿就直接加入 page，沒有 Page fault 的話就什麼事都不用更動。

**MFU-LRU**: 每個 page frame 都會有一個 Counter，假如有 Page Fault 會找出 Counter 值最大的 Page frame，移除掉再加入新的，假如沒有 Page Fault 的話，會移除掉在 Page frame 裡相同的 Page，然後再重新加入，更新 Counter table 裡，每一個 Page 的時間標記，會對新來的 Page 的 Counter 值+1，而這邊用的 MFU-LRU 的方法，是會因為產生 Page Fault 而歸零 swap out Page 的 Counter 值。

### 3. 不同方法的比較

Page Fault 次數 Page Replace 次數

MFU-FIFO vs FIFO :

```
-----Most Frequently Used Page Replacement -----
1      1      F
2      21     F
3      321    F
4      432    F
1      143    F
2      214    F
5      521    F
1      521
2      521
3      352    F
4      435    F
5      435
Page Fault = 9  Page Replaces = 6  Page Frames = 3
```

```
-----FIFO-----
1      1      F
2      21     F
3      321    F
4      432    F
1      143    F
2      214    F
5      521    F
1      521
2      521
3      352    F
4      435    F
5      435
Page Fault = 9  Page Replaces = 6  Page Frames = 3
```

因為做法和想法上圍繞著 FIFO，FIFO 的順序和 MFU 的基本上就等於 Counter 的功能了，結果是一樣的。

Page Fault 次數 Page Replace 次數，會因 Page Frame 的大小改變，如果 Page frame 夠大能減少次數過多的問題，不過還是要考慮 Belady's Anomaly。

## LRU vs FIFO :

```
-----LRU-----
1      1      F
2      21     F
3      321    F
4      432    F
1      143    F
2      214    F
5      521    F
1      152
2      215
3      321    F
4      432    F
5      543    F
Page Fault = 10  Page Replaces = 7  Page Frames = 3
```

```
-----FIFO-----
1      1      F
2      21     F
3      321    F
4      432    F
1      143    F
2      214    F
5      521    F
1      521
2      521
3      352    F
4      435    F
5      435
Page Fault = 9  Page Replaces = 6  Page Frames = 3
```

這兩個差別跟 MFU-FIFO vs MFU-LRU 的概念是差不多的，這兩者在刪除相同 page 上些許不同，FIFO 是不動作，LRU 是刪除給予新的 Counter，同上。

## MFU-FIFO vs MFU-LRU:

```
-----Most Frequently Used Page Replacement -----
1      1      F
2      21     F
3      321    F
4      432    F
1      143    F
2      214    F
5      521    F
1      521
2      521
3      352    F
4      435    F
5      435
Page Fault = 9  Page Replaces = 6  Page Frames = 3
```

```
-----Most Frequently Used LRU Page Replacement-----
1      1      F
2      21     F
3      321    F
4      432    F
1      143    F
2      214    F
5      521    F
1      152
2      215
3      325    F
4      435    F
5      543
Page Fault = 9  Page Replaces = 6  Page Frames = 3
```

LRU 版本會改變 page frame 裡的順序，而 FIFO 版本的不會，就照輸入的順序，差別在於說沒有 Page Fault 時，優先度能夠提升，在有限的大小裡面，常被使用到的不太會被 swap out 出去，減少了 Page Fault 和 Page Replace 的發生，而

FIFO 維持不變，只能依照輸入順序，並沒有在 Page Frame 把比較少用的 swap out，提升其他常用的優先度，所以 Page frame 和 Page replace 較高。

#### 4. 結果與討論

畢雷笛反例(Belady's Anomaly)

在比較 Page frame : 3 vs Page frame : 4

-----FIFO-----			-----FIFO-----		
1	1	F	1	1	F
2	21	F	2	21	F
3	321	F	3	321	F
4	432	F	4	4321	F
1	143	F	1	4321	
2	214	F	2	4321	
5	521	F	5	5432	F
1	521		1	1543	F
2	521		2	2154	F
3	352	F	3	3215	F
4	435	F	4	4321	F
5	435		5	5432	F
Page Fault = 9 Page Replaces = 6 Page Frames = 3			Page Fault = 10 Page Replaces = 6 Page Frames = 4		

  

-----Most Frequently Used Page Replacement -----			-----Most Frequently Used Page Replacement -----		
1	1	F	1	1	F
2	21	F	2	21	F
3	321	F	3	321	F
4	432	F	4	4321	F
1	143	F	1	4321	
2	214	F	2	4321	
5	521	F	5	5432	F
1	521		1	1543	F
2	521		2	2154	F
3	352	F	3	3215	F
4	435	F	4	4321	F
5	435		5	5432	F
Page Fault = 9 Page Replaces = 6 Page Frames = 3			Page Fault = 10 Page Replaces = 6 Page Frames = 4		

會因為輸入順序的關係，還有 Page Frame 當時裡面 Page 的狀態，來決定 Page Fault 或是 Page replace 的數值，依這個例子 FIFO、MFU-FIFO 來看，Page Frame 不一定比較大就能減少 Page Fault 的錯誤發生。

LRU 比較 Page frame : 3 vs Page frame : 4

-----LRU-----			-----LRU-----		
1	1	F	1	1	F
2	21	F	2	21	F
3	321	F	3	321	F
4	432	F	4	4321	F
1	143	F	1	1432	
2	214	F	2	2143	
5	521	F	5	5214	F
1	152		1	1524	
2	215		2	2154	
3	321	F	3	3215	F
4	432	F	4	4321	F
5	543	F	5	5432	F
Page Fault = 10   Page Replaces = 7   Page Frames = 3			Page Fault = 8   Page Replaces = 4   Page Frames = 4		

-----Most Frequently Used LRU Page Replacement-----			-----Most Frequently Used LRU Page Replacement-----		
1	1	F	1	1	F
2	21	F	2	21	F
3	321	F	3	321	F
4	432	F	4	4321	F
1	143	F	1	1432	
2	214	F	2	2143	
5	521	F	5	5243	F
1	152		1	1543	F
2	215		2	2154	F
3	325	F	3	3215	F
4	435	F	4	4321	F
5	543		5	5432	F
Page Fault = 9   Page Replaces = 6   Page Frames = 3			Page Fault = 10   Page Replaces = 6   Page Frames = 4		

LRU 在增加 Page Frames 大小起了作用，減少了 2 個 Page Fault 和 3 個 Page Replaces。

但 MFU-LRU 卻不減反增，可以減少前面的 Page fault 但造成後面的 Page Fault 變多。