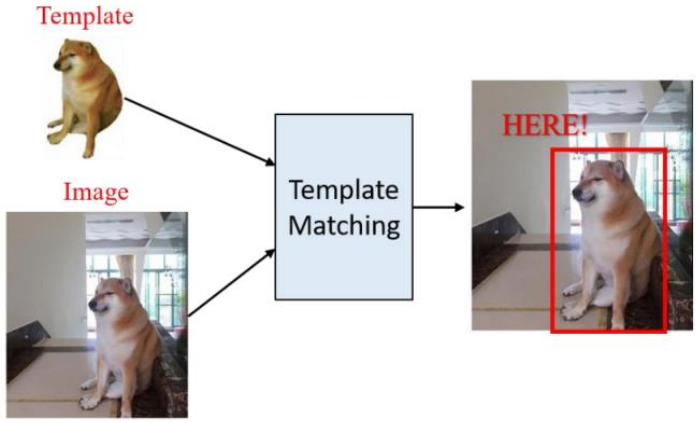
Computer Architecture Final Project

312510239 王則惟　　312510144 張理為

題目

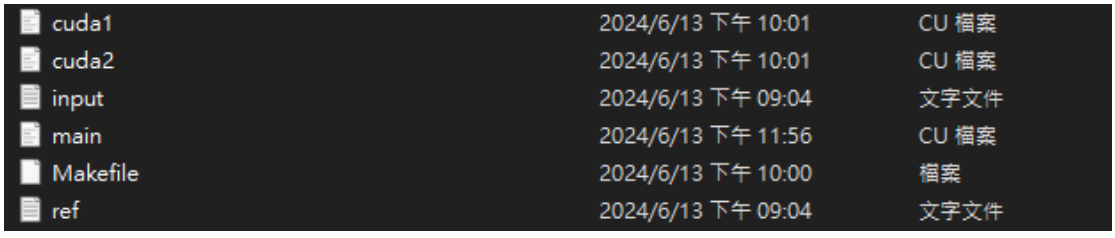
這次的期末專題，我們參考 ICLAB 的題目，題目是 Template Matching with Image Processing，Template Matching 可以被視為一種非常基本的物體檢測形式。它是一種高層次的機器視覺技術，能夠識別圖像中與預定模板匹配的部分，這意味著我們可以使用包含我們想要檢測的物體的“模板”來檢測輸入圖像中的物體。例如，計算圖像相似度以找到匹配部分的方法有很多種，比如 Sum of Square Differences、Cross Correlation、Cross Coefficient 等等。而這次的題目，我們分別使用 8 種 operation，包括 Cross correlation、Max pooling、Right-Diagonal Flip 、Left-Diagonal Flip、Vertical flip、Horizontal flip、Zoom-in、Shortcut + Brightness Adjustment，並利用 8 個 thread 及 16 個 thread 來做平行化的處理。



環境

本次 project 的環境是使用助教的 PPT 所提供的 virtual box，並匯入 Linux 虛擬機檔案來執行程式。

檔案說明



本次的 project 包含了 6 個檔案，其中 main.cu 會先透過吃檔案的方式讀取 input.txt 以及 ref.txt 來計算每一個 operation 的結果，並且呼叫 cuda1.cu 以及 cuda2.cu 中的 function，然後驗證 CPU 計算的結果與 GPU 計算的結果是否相同，而 cuda1.cu

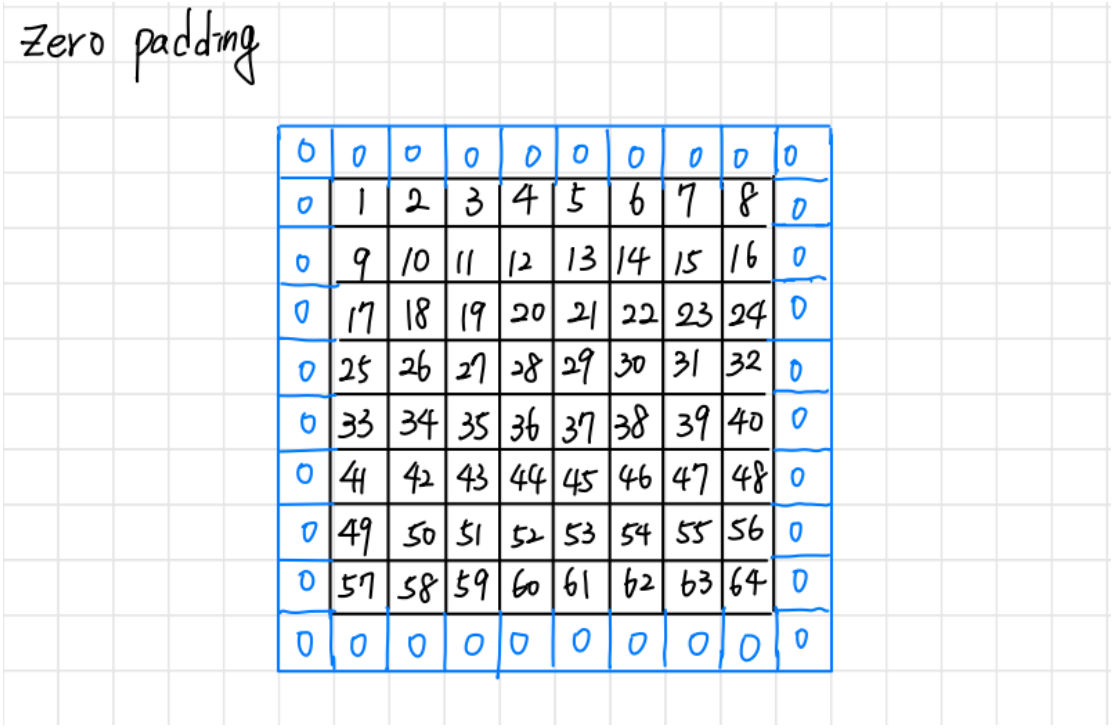
及 cuda2.cu 分別代表的是 thread 有 8 個或 16 個，最後再透過 Makefile 來 compile，且執行程式時，最後會產生一個 output.txt 檔案，內容會是矩陣經過每種 operation 後的結果會是如何。

演算法內容

- **Operation 1 - Cross Correlation**

Cross correlation 是透過先將 image 做各種 padding，再對 ref image 做 convolution，而這次的題目我們分別使用了三種 padding 的方式，包含 zero padding、edge padding，wrap padding，我們利用這三種 padding 的方式，將 8x8 的矩陣 padding 成一個 10x10 的矩陣，最後再透過對一個 3x3 的 ref image 做 convolution 得到我們想要的結果。

1. Zero Padding



2. Edge Padding

edge padding

1	1	2	3	4	5	6	7	8	8
1	1	2	3	4	5	6	7	8	8
9	9	10	11	12	13	14	15	16	16
17	17	18	19	20	21	22	23	24	24
25	25	26	27	28	29	30	31	32	32
33	33	34	35	36	37	38	39	40	40
41	41	42	43	44	45	46	47	48	48
49	49	50	51	52	53	54	55	56	56
57	57	58	59	60	61	62	63	64	64
57	57	58	59	60	61	62	63	64	64

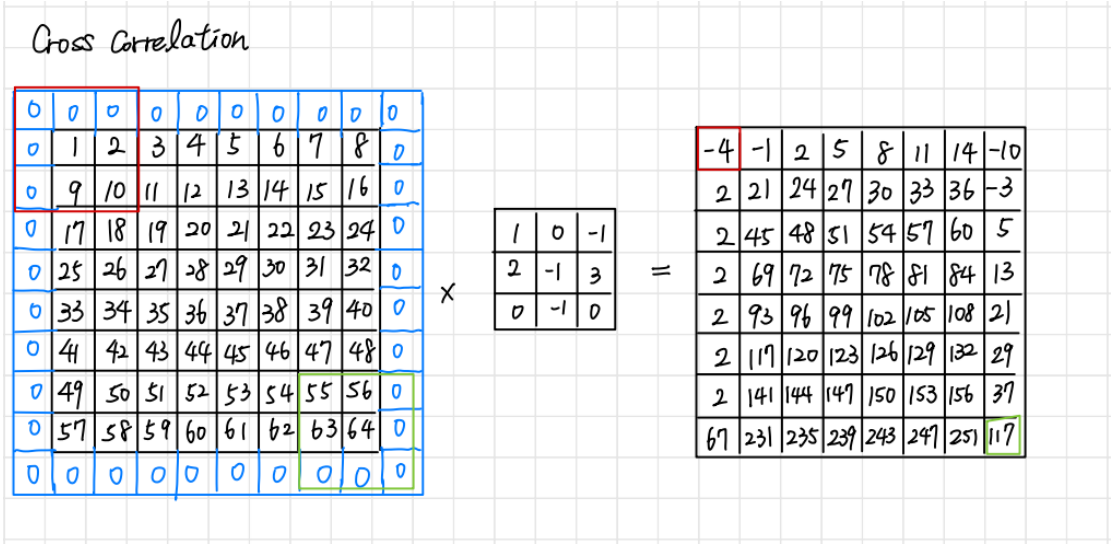
3. Wrap Padding

Wrap padding

64	57	58	59	60	61	62	63	64	57
8	1	2	3	4	5	6	7	8	1
16	9	10	11	12	13	14	15	16	9
24	17	18	19	20	21	22	23	24	17
32	25	26	27	28	29	30	31	32	25
40	33	34	35	36	37	38	39	40	33
48	41	42	43	44	45	46	47	48	41
55	49	50	51	52	53	54	55	56	49
63	57	58	59	60	61	62	63	64	56
8	1	2	3	4	5	6	7	8	1

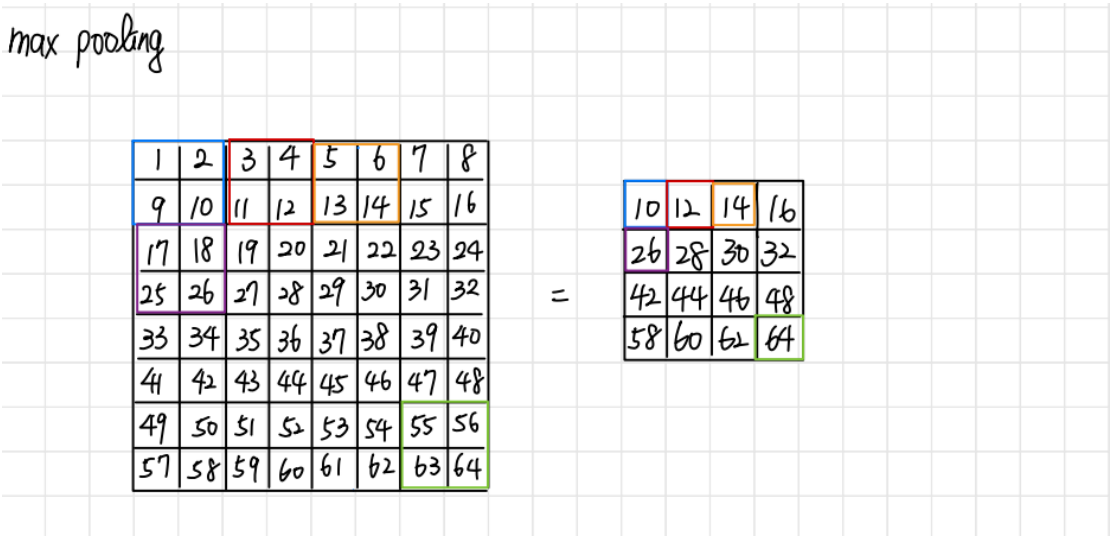
* Top row：使用原圖的 last row
Bottom row：使用原圖的 first row
Left Col：使用原圖的 right col
right Col：使用原圖的 left col
Corner：
左上角：使用原圖的右下角
右上角：使用原圖的左下角
左下角：使用原圖的右上角
右下角：使用原圖的左上角

4. Cross Correlation



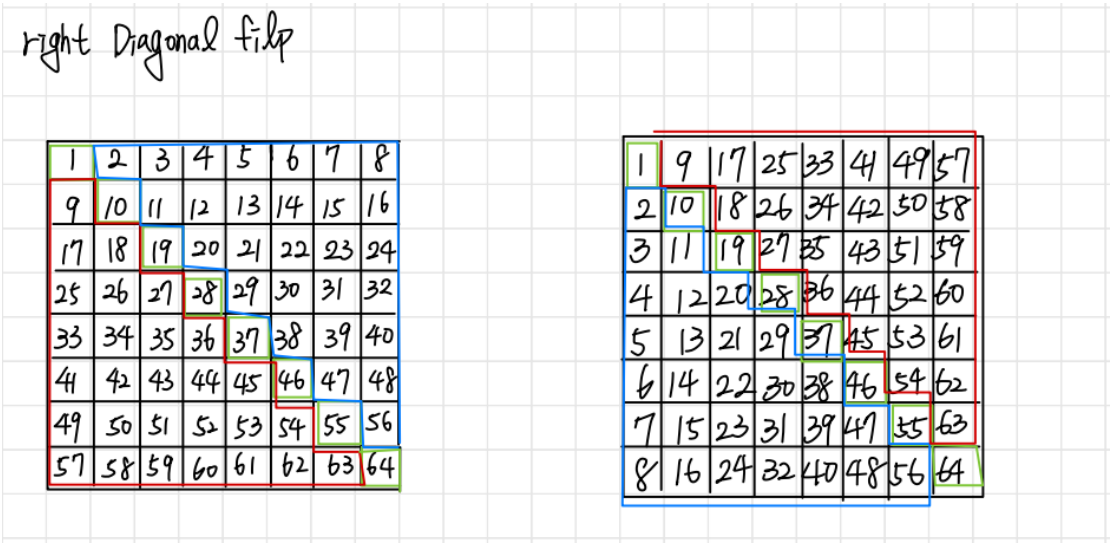
- **Operation 2 - Max Pooling**

Max Pooling 是卷積神經網絡 CNN 中的一種下采樣（或降維）技術，用於減少特徵圖的尺寸，同時保留最重要的特徵。最大池化通常應用於卷積層之後的特徵圖，以減少計算量並防止過擬合。而這次題目我們對一個 8x8 的 image 做 max pooling，結果會是一個 4x4 的矩陣，如下圖所示，我們會將矩陣四個一組，並取最大值來填入。



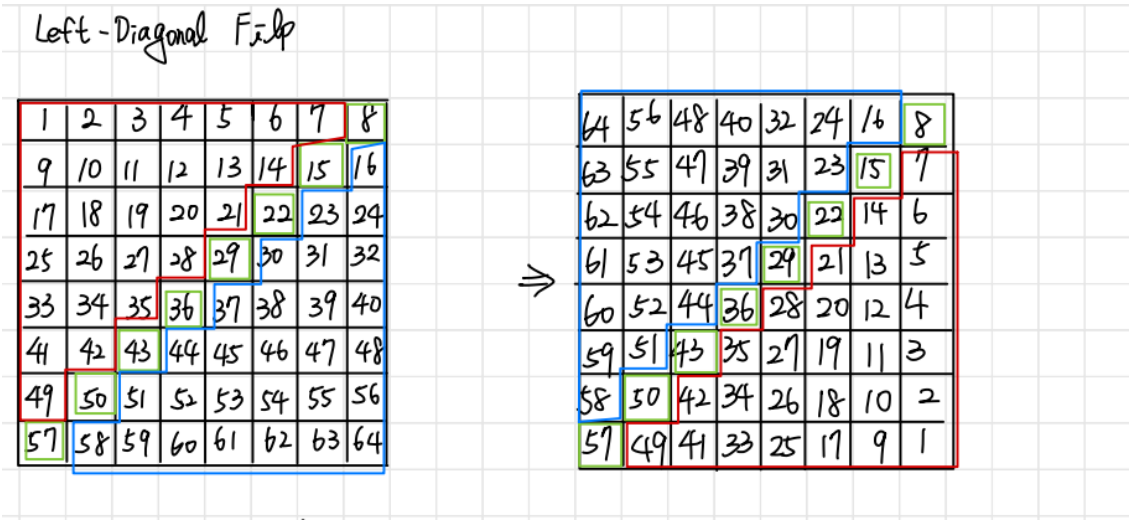
- **Operation 3 – Right Diagonal Flip**

右對角線翻轉(Right Diagonal Flip)，也稱為對角線對稱翻轉，是一種圖像變換操作。這種翻轉沿著圖像的主要對角線（從左上角到右下角）進行，使得圖像中的每個像素點 (i,j) 翻轉到 (j,i) 的位置。



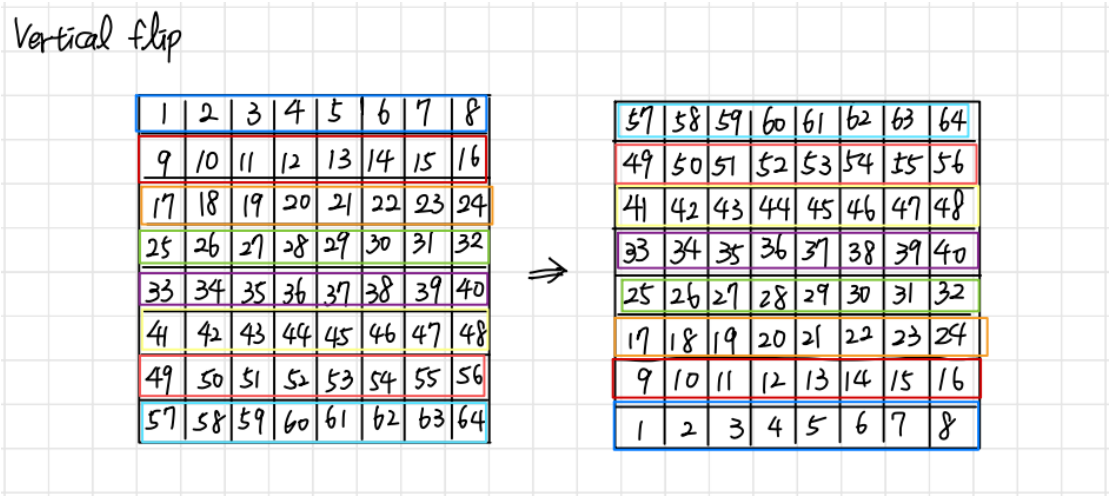
- **Operation 4 – Left Diagonal flip**

左對角線翻轉（Left Diagonal Flip），也稱為反對角線翻轉，是一種圖像變換操作。這種翻轉沿著圖像的次要對角線（從左下角到右上角）進行，使得圖像中的每個像素點 (i,j) 翻轉到 (n−1−j,n−1−i) 的位置，其中 n 是矩陣的維度。



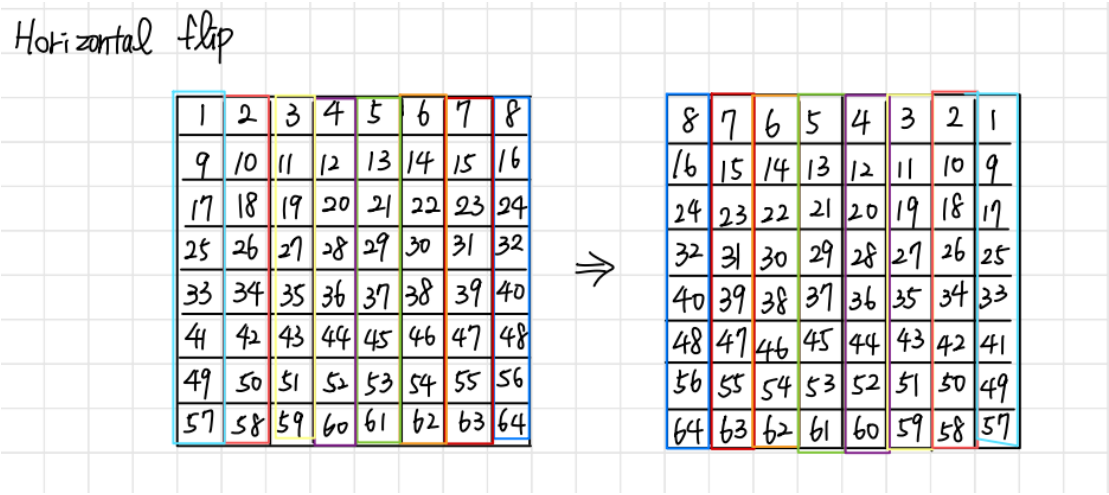
- **Operation 5 - Vertical Flip**

垂直翻轉（Vertical Flip）是圖像處理中的一種基本變換操作。這種操作將圖像沿垂直軸（從上到下）進行翻轉，使得圖像中的每個像素點 (i,j) 翻轉到 (n−1−i,j) 的位置，其中 n 是圖像的高度。



- **Operation 6 – Horizontal Flip**

水平翻轉（Horizontal Flip）是圖像處理中的一種基本變換操作。這種操作將圖像沿水平軸（從左到右）進行翻轉，使得圖像中的每個像素點 (i,j) 翻轉到 (i,n−1−j) 的位置，其中 n 是圖像的寬度。



- **Operation 7 – Zoom in**

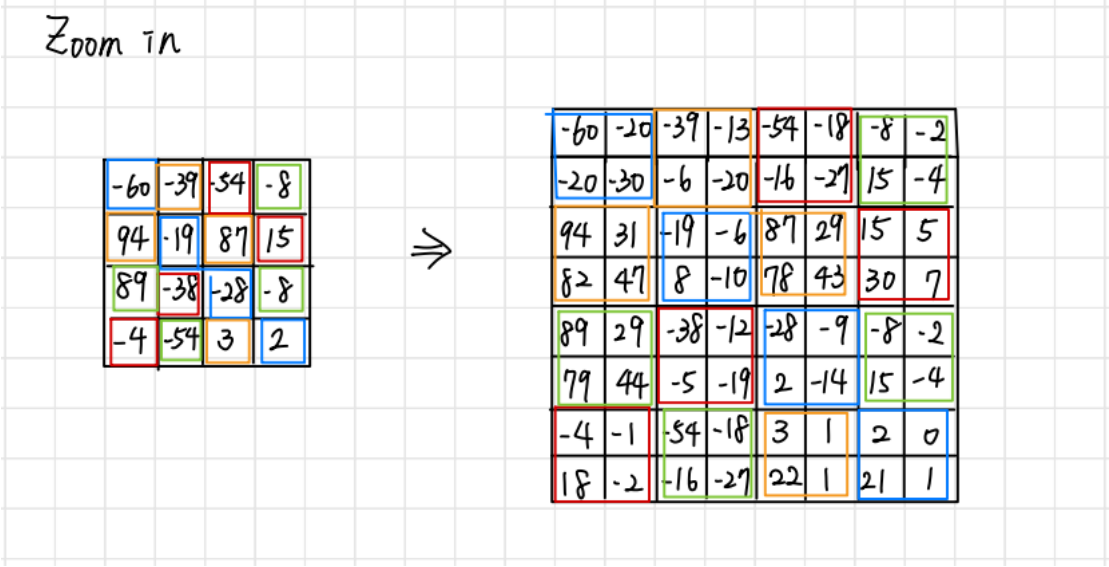
縮放（Zoom In）是圖像處理中的一種操作，用於放大圖像的一部分，使其顯示得更清晰和詳細。放大圖像通常涉及插值技術，以在圖像被放大後生成新的像素值。而本題使用的是一種基於 linear equation 的放大操作，該操作會將圖像放大為原來的兩倍，並且每個原始像素會對應放大圖像的左上角像素。給定 alpha 為 0.5，adjust 為 20，並遵循以下規則：

$$\mathbf{Image}'(\mathbf{x}', \mathbf{y}' + \mathbf{1}) = \mathbf{Image}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \div \mathbf{3}$$

$$\mathbf{Image}'(\mathbf{x}' + \mathbf{1}, \mathbf{y}') = (\mathbf{Image}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \times \mathbf{2}) \div \mathbf{3} + \mathbf{adjust}$$

$$\mathbf{Image}'(\mathbf{x}' + \mathbf{1}, \mathbf{y}' + \mathbf{1}) = \mathbf{alpha} \times \mathbf{Image}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$$

這些規則將用於從原始圖像生成新的放大圖像。而本題的原始圖像大小為 8x8，因此經過 zoom-in 後的結果圖像將會是原始圖像的兩倍大小，即為 16x16，下圖的原始圖像以 8x8 為例。



- **Operation 8 – Shortcut & Brightness Adjustment**

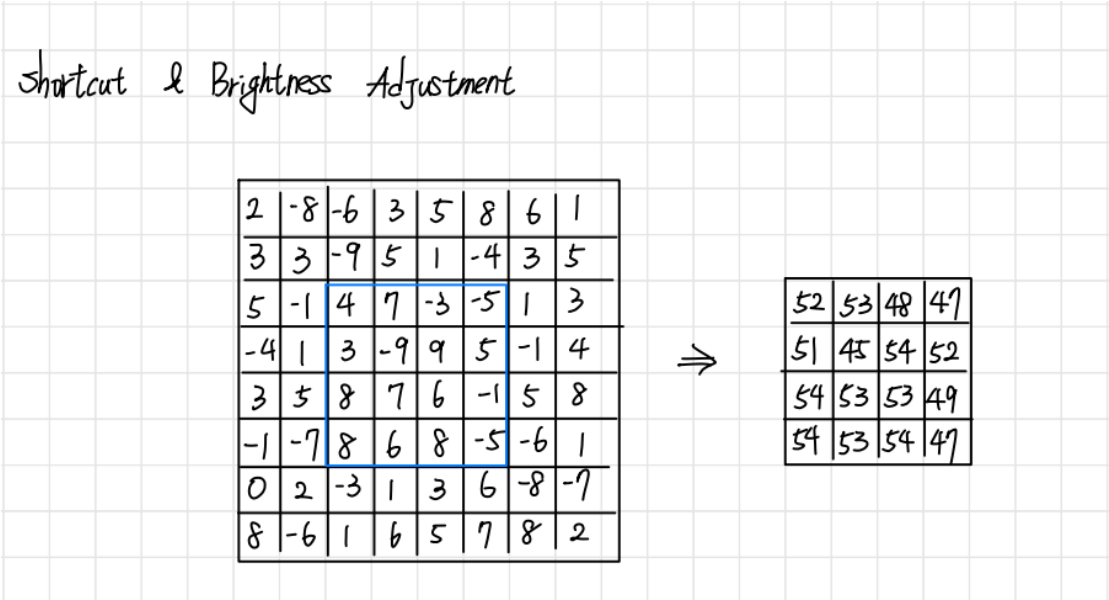
Shortcut & Brightness Adjustment 為一種經典的圖像處理操作，其中選擇圖像的中心並進行亮度調整。具體操作包括使用線性函數調整圖像亮度，並根據圖像大小進行縮放。具體內容如下：

1. **亮度調整公式**：
   - 使用線性函數來調整圖像的亮度：

$$\mathbf{Image}'(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \mathbf{alpha} \times \mathbf{Image}(\mathbf{x},\mathbf{y}) + \mathbf{bias}$$

   - 其中，alpha 設為 0.5，bias 設為 50。
2. **縮放規則**：
   - 如果圖像的形狀為 8x8 或 16x16，則進行縮小操作，將圖像大小減半。
   - 如果圖像的形狀為 4x4，則不進行縮放，保持原來大小，但依然進行亮度調整。

因本題所使用的 image 為 8x8，因此縮放效果如下圖所示



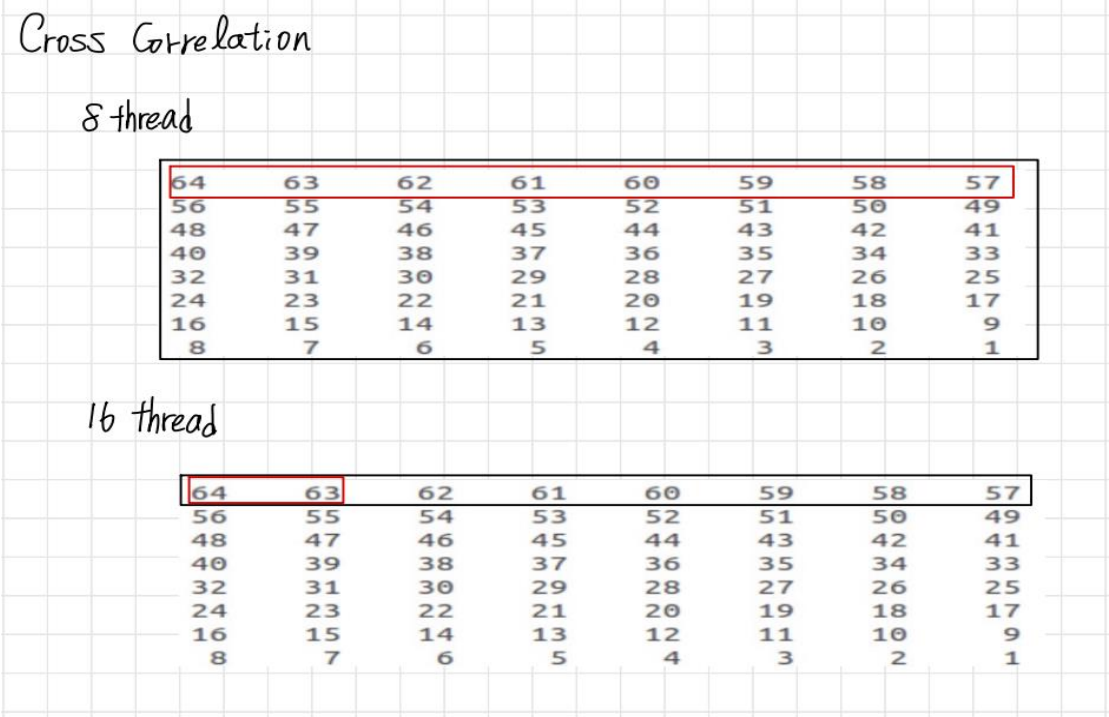
切割方式

本次 project 分別使用 8 個 thread 及 16 個 thread 來做平行化的處理，下方的圖為本次 project 的切割方式，其中紅色框框表示一個 thread 的運算範圍，黑色框框代表一個 block 的範圍。

1. **Cross Correlation**

   8 個 thread 的 thread_num=8，block_num=1。

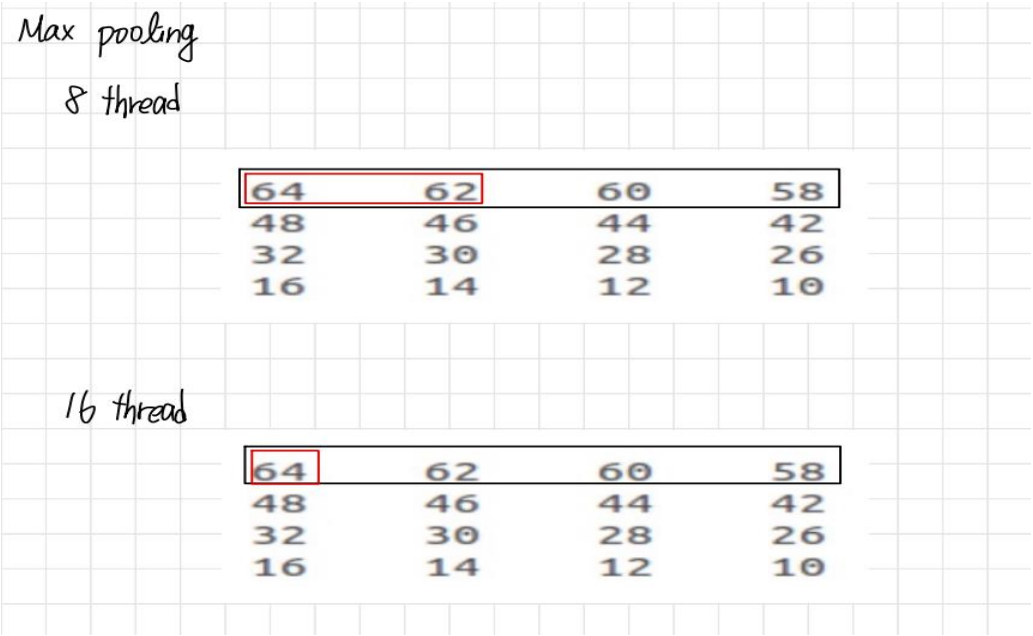
   16 個 thread 的 thread_num=2，block_num=8。



2. **Max Pooling**

   8 個 thread 的 thread_num=2，block_num=4。

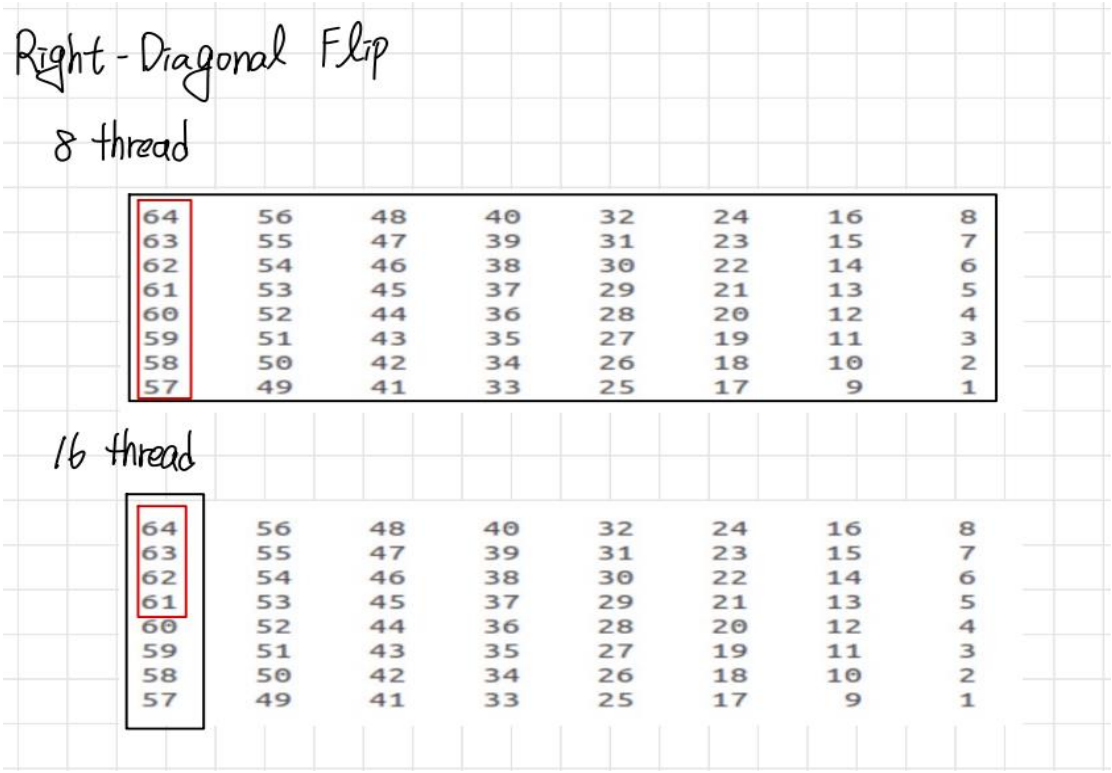
   16 個 thread 的 thread_num=4，block_num=4。



3. **Right Diagonal Flip**

8 個 thread 的 thread_num=8，block_num=1。

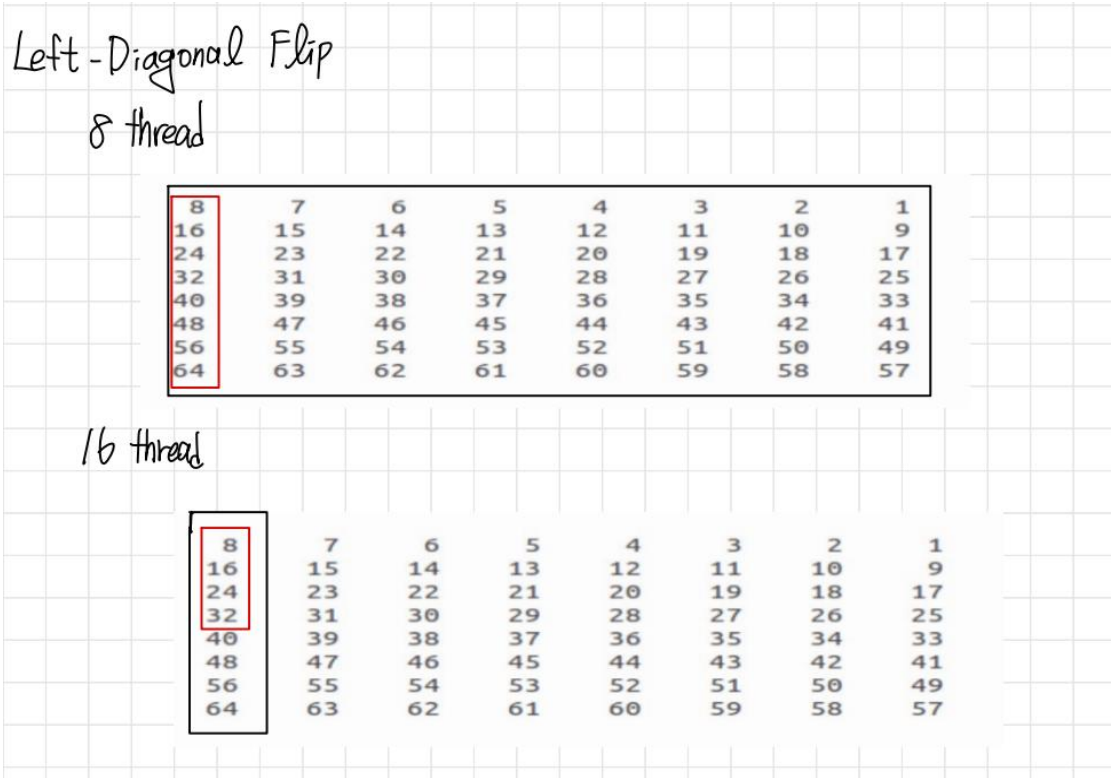
16 個 thread 的 thread_num=2，block_num=8。



4. **Left Diagonal Flip**

8 個 thread 的 thread_num=8，block_num=1。

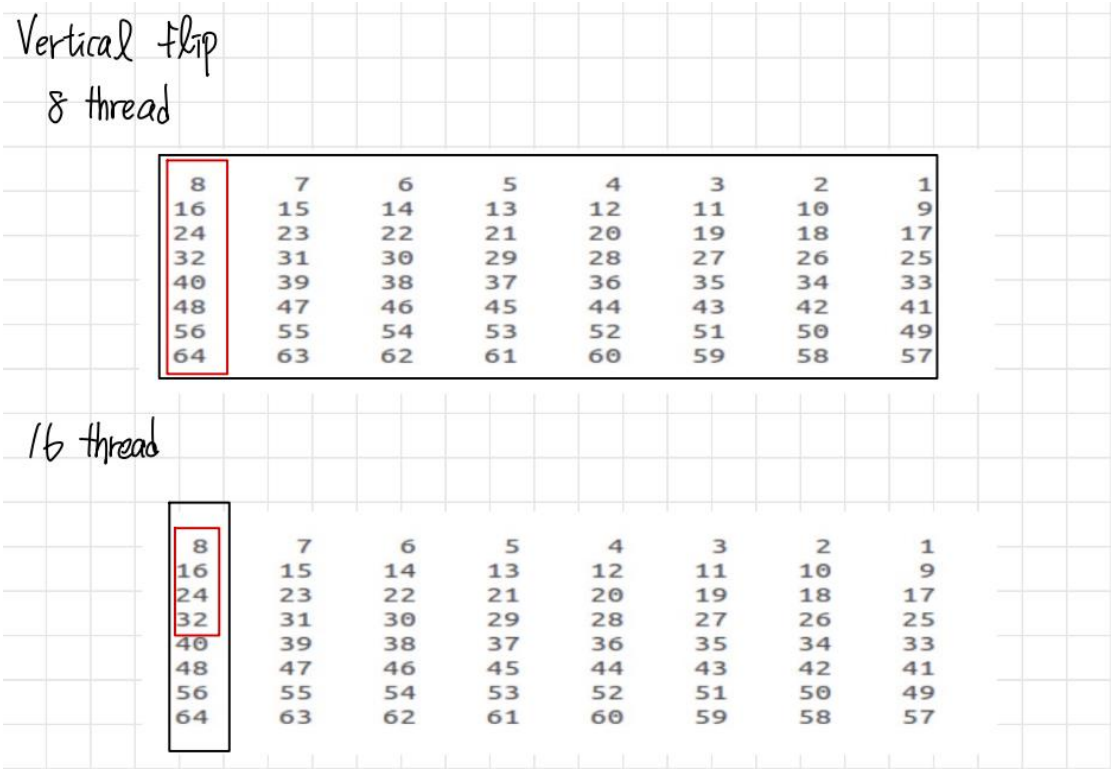
16 個 thread 的 thread_num=2，block_num=8。



5. Vertical Flip

8 個 thread 的 thread_num=8，block_num=1。

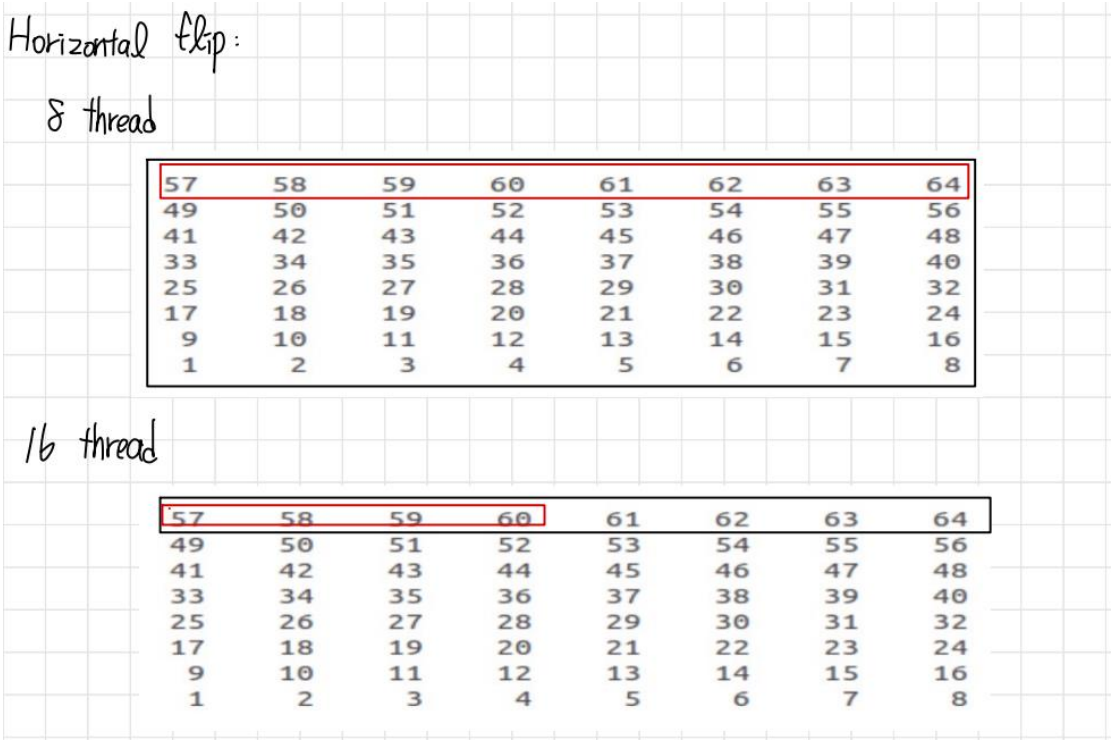
16 個 thread 的 thread_num=2，block_num=8。



6. Horizontal Flip

8 個 thread 的 thread_num=8，block_num=1。

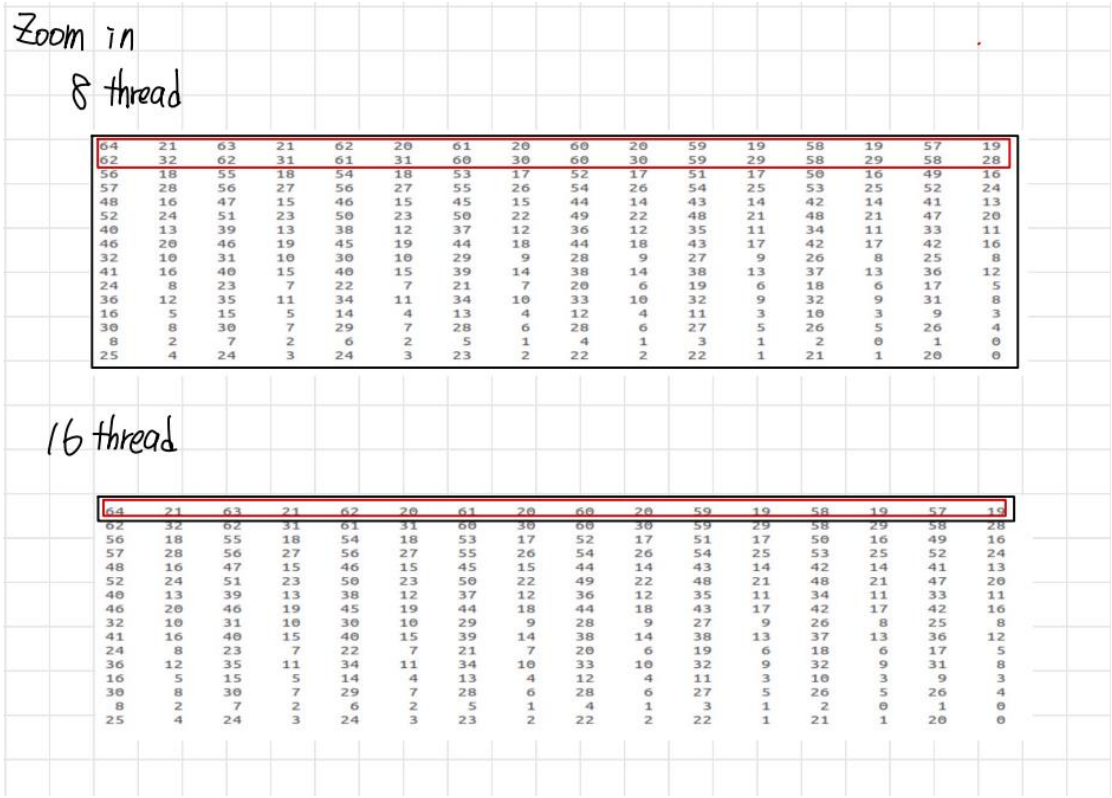
16 個 thread 的 thread_num=2，block_num=8。



7. Zoom in

8 個 thread 的 thread_num=8，block_num=1。

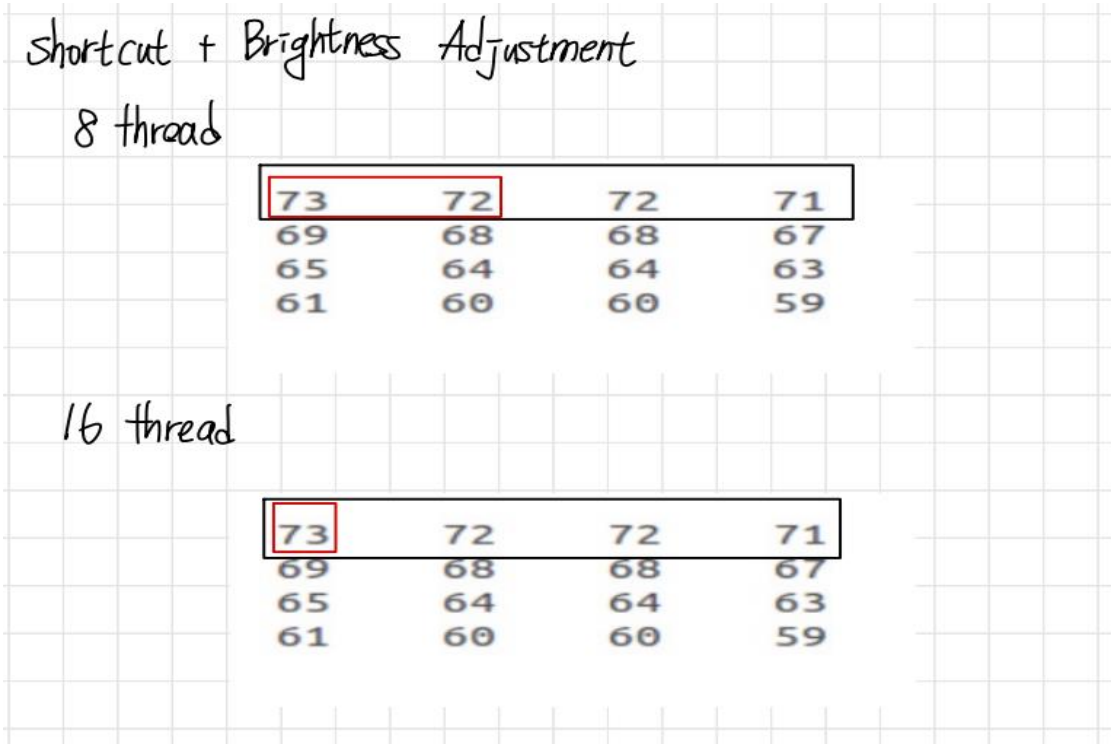
16 個 thread 的 thread_num=1，block_num=16。



8. Shortcut & Brightness Adjustment

8 個 thread 的 thread_num=2，block_num=4。

16 個 thread 的 thread_num=4，block_num=4。



模擬結果

```
Operation 1 - Cross Correlation
CPU Execution time = 0.026011 ms .
Thread number = 8 , Execution time =  73.44 ms .
Thread number = 16 , Execution time =  0.76 ms .
Operation 2 - Max Pooling
CPU Execution time = 0.001270 ms .
Thread number = 8 , Execution time =  0.48 ms .
Thread number = 16 , Execution time =  0.35 ms .
Operation 3 - Right Diagonal Flip
CPU Execution time = 0.004228 ms .
Thread number = 8 , Execution time =  0.37 ms .
Thread number = 16 , Execution time =  0.73 ms .
Operation 4 - Left Diagonal Flip
CPU Execution time = 0.001424 ms .
Thread number = 8 , Execution time =  0.37 ms .
Thread number = 16 , Execution time =  0.62 ms .
Operation 5 - Vertical Flip
CPU Execution time = 0.001216 ms .
Thread number = 8 , Execution time =  0.31 ms .
Thread number = 16 , Execution time =  1.47 ms .
Operation 6 - Horizontal Flip
CPU Execution time = 0.194840 ms .
Thread number = 8 , Execution time =  0.44 ms .
Thread number = 16 , Execution time =  0.60 ms .
Operation 7 - Zoom in
CPU Execution time = 0.014297 ms .
Thread number = 8 , Execution time =  1.23 ms .
Thread number = 16 , Execution time =  1.06 ms .
Operation 8 - Shortcut & Brightness Adjustment
CPU Execution time = 0.001411 ms .
Thread number = 8 , Execution time =  0.51 ms .
Thread number = 16 , Execution time =  0.30 ms .
```

	Op1	Op2	Op3	Op4	Op5	Op6	Op7	Op8
8	73.44ms	0.48ms	0.37ms	0.37ms	0.31ms	0.44ms	1.23ms	0.51ms
16	0.76ms	0.35ms	0.73ms	0.62ms	1.47ms	0.6ms	1.06ms	0.3ms

由上面表格我們可以看到，當我們使用 thread_num=8 時，他在做一些較複雜的運算時的 runtime 明顯的比 thread_num=16 時大很多，不過再做一些對角化或是一些 flip 的時候，兩者的 rumtime 卻無明顯差別，甚至 thread_num=16 時還比 thread_num=8 時大，我們認為這是因為這幾個 operation 因為沒有做甚麼複雜的運算，只是單純的移動 image 的內容，因此這些 operation 用來做平行化的處理無法得到我們預期的效果，不過當我們運算量變大時，例如 cross correlation 中要實作 convolution，很明顯的我們的平行化處理就很成功，在 max pooling 時，因為要四個比大小，因此 thread_num=16 時也較佳，而在 zoom in 以及 brightness adjustment，因為要根據一些 linear equation 來計算結果，因此當 thread_num 變大時也有得到相應的好處。

結論

根據上述的實驗結果，我們可以得出以下結論：

- **平行化處理的有效性**：在進行較為複雜的運算時，增加執行緒數目可以顯著提高計算效率。例如，在 cross correlation 中實作卷積運算時，使用 16 個執行緒的運行時間顯著少於使用 8 個執行緒，這表明平行化處理在這些計算密集型操作中能夠充分發揮其優勢。
- **簡單操作的平行化限制**：對於一些簡單的圖像操作（如對角化和翻轉），平行化處理的優勢並不明顯，甚至在某些情況下，使用更多的執行緒反而會增加運行時間。這是因為這些操作主要涉及數據移動，並不涉及大量的計算，平行化處理在這些場景下無法顯著減少運行時間，反而可能因為多執行緒管理和調度的開銷而增加總運行時間。
- **適用場景的不同**：平行化處理在需要大量計算的場景中，也能夠取得不錯的效果。這些操作涉及基於線性方程的計算，增加執行緒數目能夠有效分攤計算負荷，從而縮短運行時間。

總結來說，平行化處理在計算密集型操作中能夠顯著提高運行效率，但在僅涉及簡單數據移動的操作中，其效果有限。選擇適當的執行緒數目應根據具體操作的計算特性來決定，以平衡平行化處理的優勢與執行緒管理的開銷。

分工

312510239 王則惟	312510144 張理為
cuda1.cu cuda2.cu 書面報告	main.cu Makefile 書面報告