

Video Compression HW 3—Motion Estimation & Compensation

多工所 313553024 蘇柏叡

Github Link: https://github.com/rmd926/NYCU_VC/tree/main/Lab3

1. Introduction

本次作業實作區塊式運動估計與運動補償(Motion Estimation & Compensation)，以驗證Full research、Three Step Research兩種不同搜尋策略在畫質與計算量上的權衡。實作上採用固定 8×8 區塊、整數像素位移與SAD(Sum of Absolute Differences)作為匹配代價，並且以one_gray.png為參考幀、two_gray.png作為當前幀，對每個區塊尋找最佳位移向量，並以參考幀中對應區塊進行補償，重建目前幀後計算誤差。

2. Full research vs Three Step Research

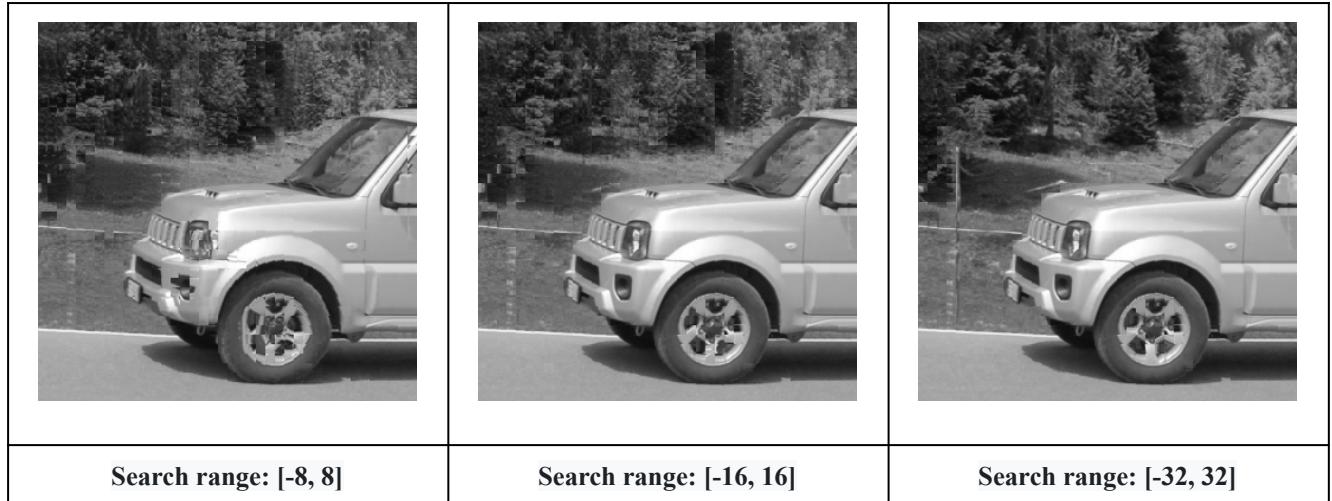
Full Search的核心概念為窮舉最佳解，並且對於每個目前幀的區塊，於參考幀的搜尋視窗內逐點評估所有可能的位移，計算每個候選區塊與目前區塊的匹配代價，取最小者為最終的運動向量。由於評估點的數量與搜尋半徑成平方關係，雖能提供最接近全域最優的匹配結果，但其計算量極為龐大。

相較之下，Three-Step Search採用逐步收斂的策略提升效率。演算法從較大的初始步長出發，在中心與其上下左右及四個對角共九個位置計算代價，選出當前最佳點後將步長減半，再以新中心重複相同的九點搜尋，直到步長縮小至1為止。透過此機制，Three-Step Search將每個區塊的評估次數由Full Search的平方等級，壓低到與步長層數(約為搜尋範圍的對數)成正比的數量，因而在運算時間上具明顯優勢。然而，這種貪婪式的局部收斂也意味著在出現複雜運動、遮擋或紋理模糊時，可能落入局部極值而使重建品質略遜於Full Search。

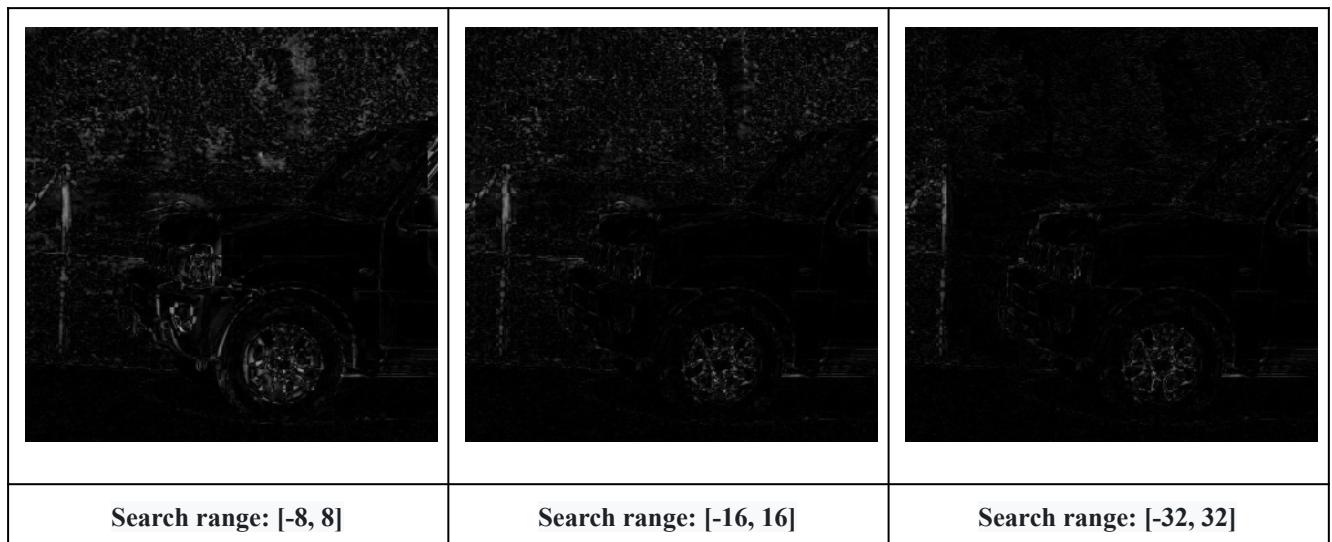
3. Experiment Results

3.1 Full Search Block Matching

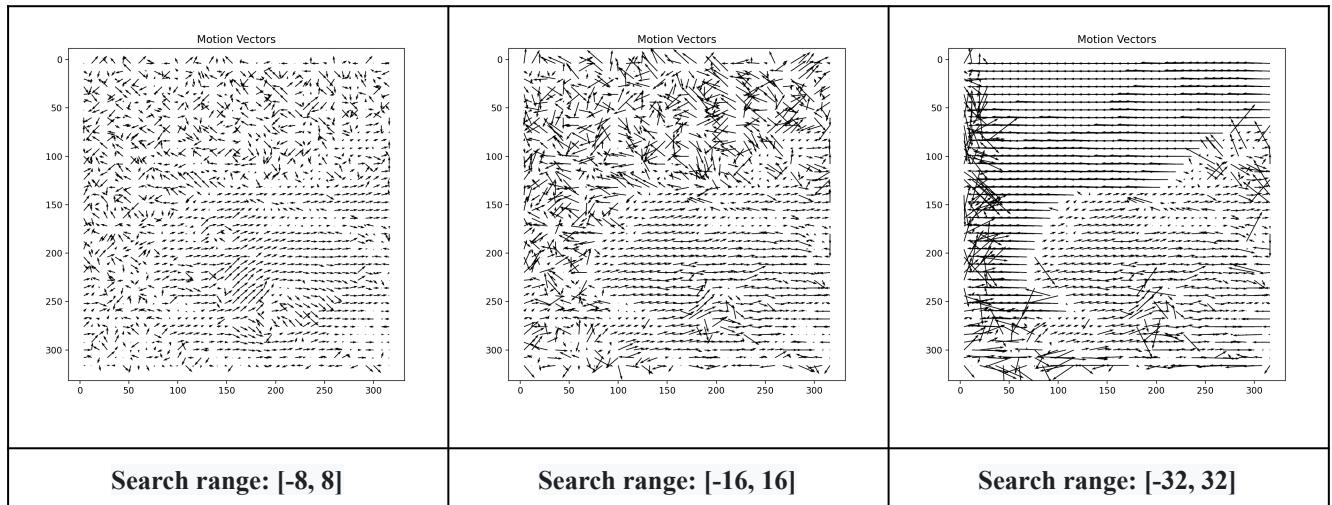
(1) Reconstructed Frame:



(2) Residual Frame:

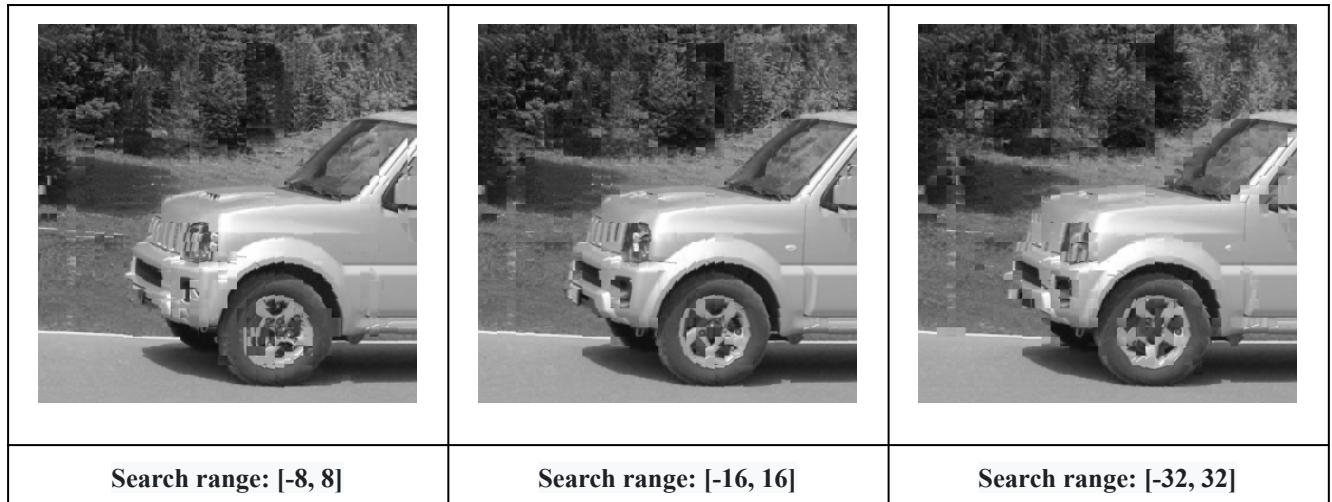


(3) Motion Vector:

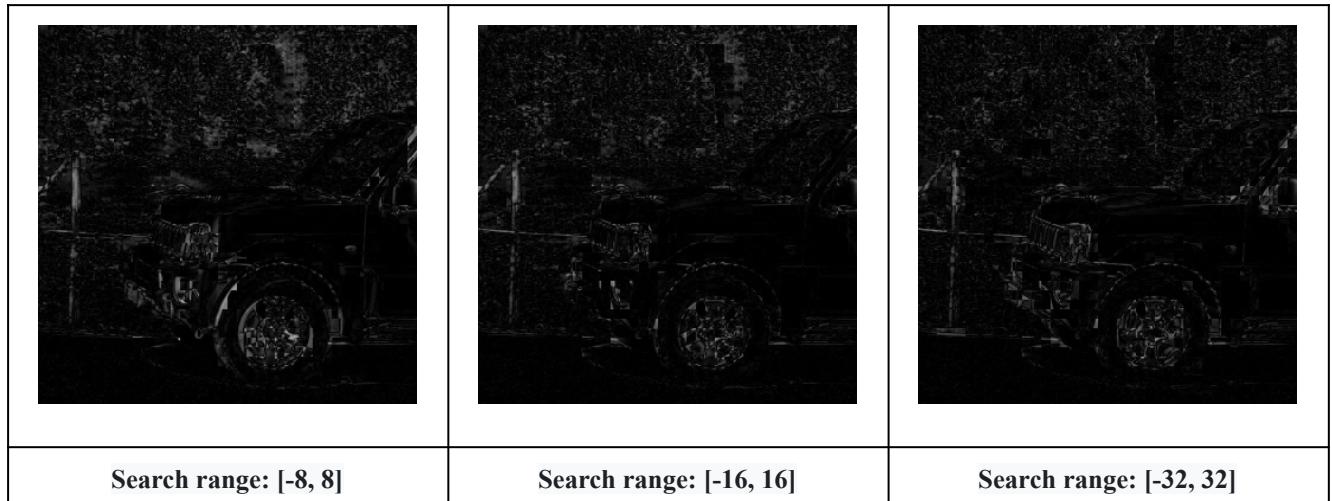


3.2 Three Step Search Block Matching

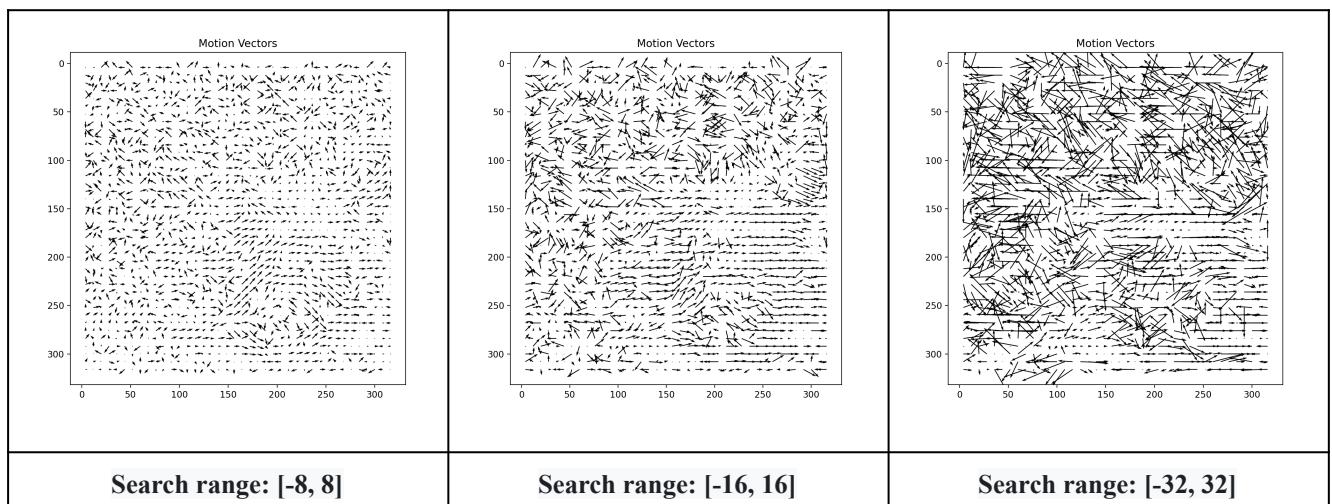
(1) Reconstructed Frame:



(2) Residual Frame:



(3) Motion Vector:



3.3 Comparison of Full Search and Three Step Search

(1) PSNR

	Search range: [-8, 8]	Search range: [-16, 16]	Search range: [-32, 32]
Full Search	22.811 dB	25.412 dB	29.019 dB
Three Step Search	21.494 dB	23.361 dB	23.730 dB

(2) Run Time

	Search range: [-8, 8]	Search range: [-16, 16]	Search range: [-32, 32]
Full Search	1.955 s	7.031 s	25.760 s
Three Step Search	0.189 s	0.240 s	0.288 s

(3) Execution result screenshots

```
PS C:\Users\user\Desktop\Video Compression\Lab3> & C:/Users/u:
Start motion estimation and compensation comparison ...
=====
Search Range: ±8
    Full      : PSNR = 22.811 dB, Time = 1.955 s
    ThreeStep: PSNR = 21.494 dB, Time = 0.189 s
=====
Search Range: ±16
    Full      : PSNR = 25.412 dB, Time = 7.031 s
    ThreeStep: PSNR = 23.361 dB, Time = 0.240 s
=====
Search Range: ±32
    Full      : PSNR = 29.019 dB, Time = 25.760 s
    ThreeStep: PSNR = 23.730 dB, Time = 0.288 s
=====
```

4. Conclusion

實驗結果表明，無論搜尋範圍為 ± 8 、 ± 16 或 ± 32 ，Full Search 的重建品質皆優於Three-Step Search。隨著搜尋範圍擴大，兩種演算法重建影像與PSNR指標整體呈現提升趨勢，其中Full Search的改善幅度更為明顯，亦呼應其在理論上可視為各搜尋範圍下的品質上限。至於執行效率方面，Three-Step Search即使在較大的搜尋範圍下仍維持相對極低的執行時間；相對地，Full Search的運算時間會隨搜尋範圍成平方級成長而大幅增加。最後，我們以整體表現進行總結，Full Search提供最佳重建品質但計算量方面較為龐大，Three-Step Search則是以較高效率換取輕微的品質折衷，較適用於即時或算力受限的情境。

5. Supplementary

(1) Command Line: python main.py

(2) Output Files:

(a) output/reconstructed: 放置重建後輸出的影像

(b) output/residual: 放置殘差圖

(c) output/motion_vector: 放置motion_vector圖