

GPU-based Approaches for Speeding up the Spherical Harmonic Transform on Reduced Gaussian Grid in CWAGEPS Model

Ting-An Chen, Lu-Hung Chen, Jen-Her Chen, Pang-Yen Liu, and Chun-Hao Teng

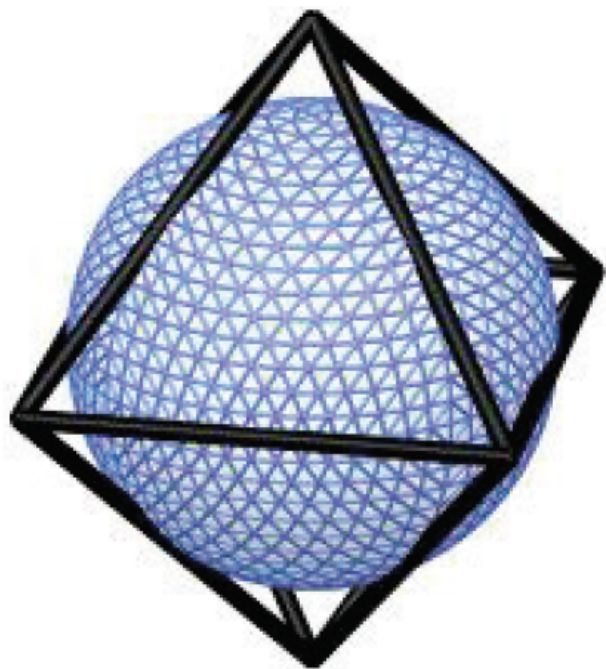
GPU 加速氣象預報模式運算

現況

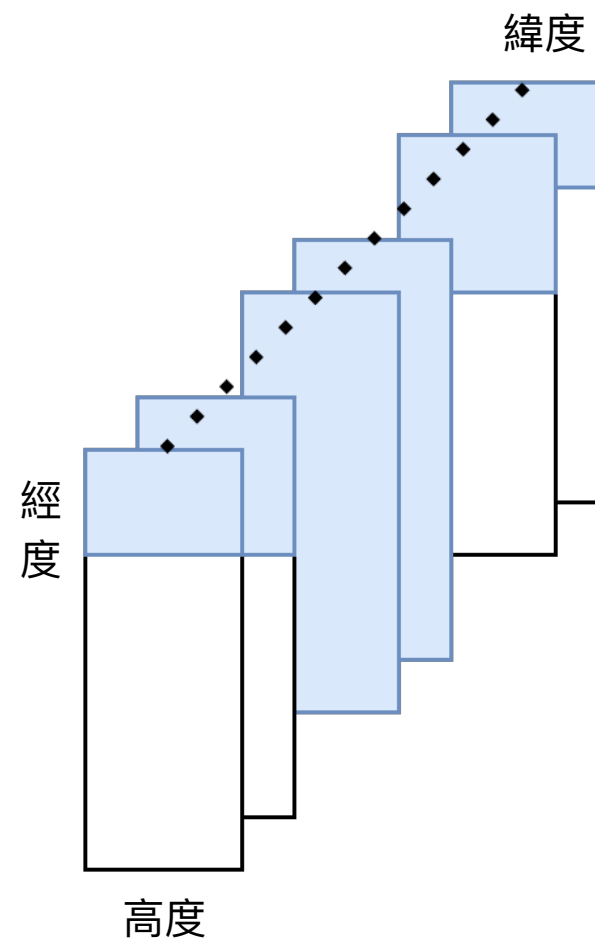
- 氣象模式 GPU 化
 - IFS
 - FV3
 - MPAS
- CWA 模式 GPU 化
- 挑戰
 - 程式調整是需要的。
 - 甚至需要調整資料結構。

遞減高斯網格上波譜變換計算

遞減高斯網格：最南北兩端格點數最少，往赤道靠近格點逐漸增加。



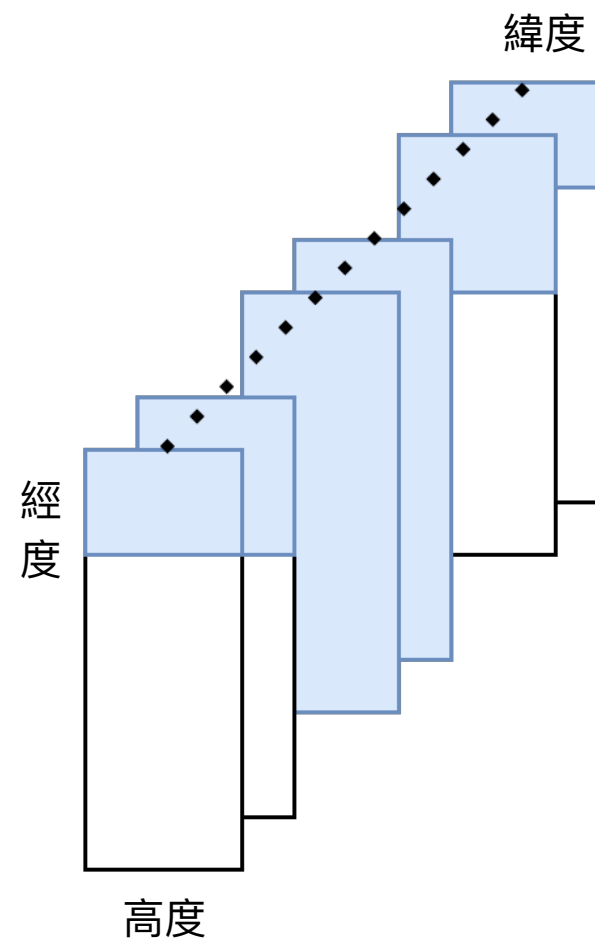
Conception of Octahedral Gaussian reduced grid
(Malardel et al. 2016)



遞減高斯網格上波譜變換計算

遞減高斯網格：最南北兩端格點數最少，往赤道靠近格點逐漸增加。

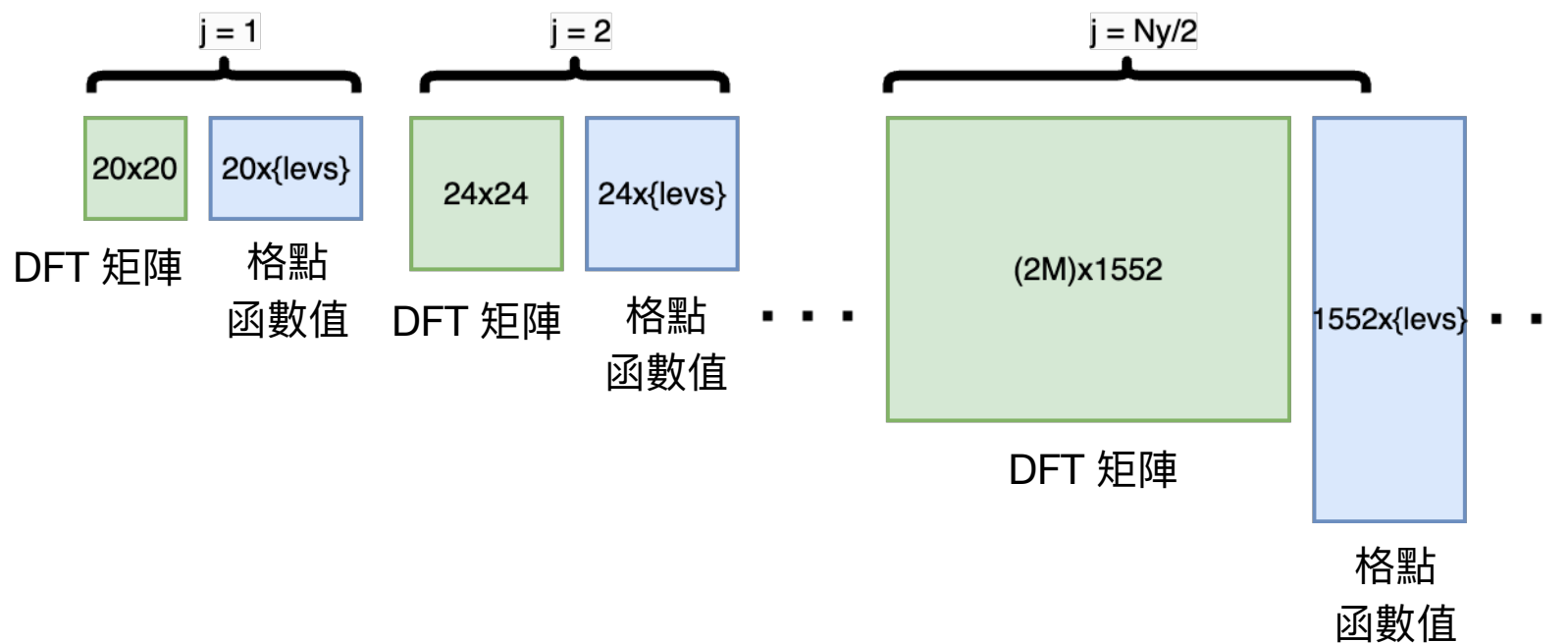
- 不同格點數需用不同的快速傅立葉變換(FFT)的參數進行計算。
- 產生有大量的 GPU 核心啟動器 (kernel launch)
- 靠近極區因格點數少，GPU 使用率低。



離散傅立葉變換(DFT)計算 - 方法 1

統一計算矩陣大小

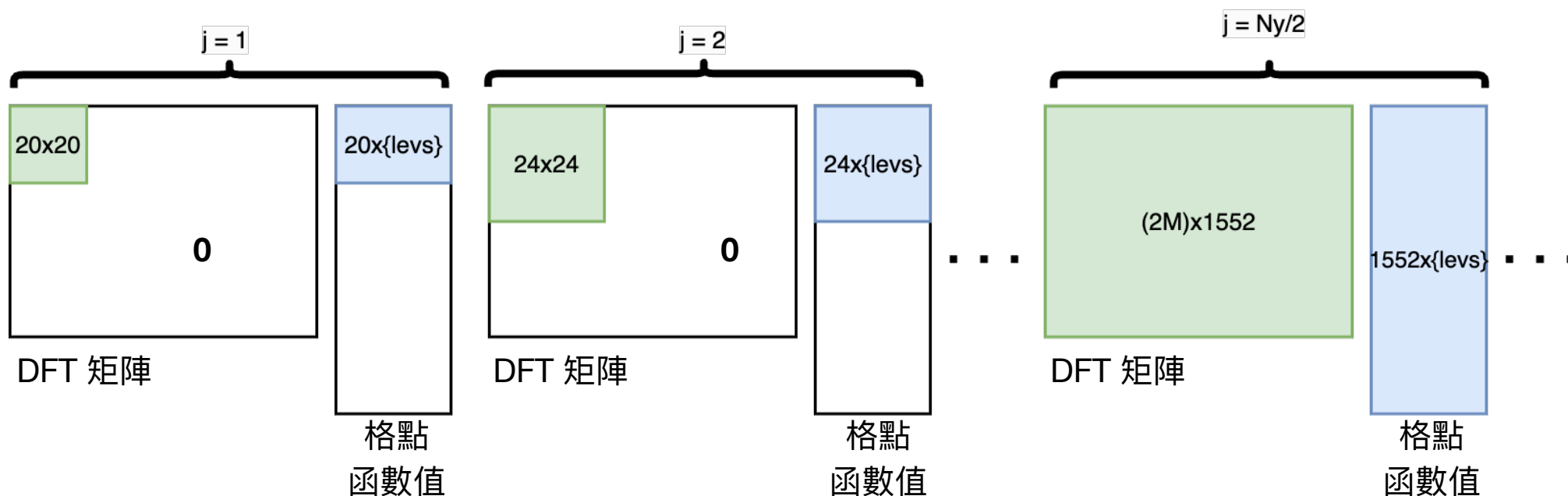
- 以補零的方式統一離散傅立葉變換矩陣的大小。
- CUDA API 中的 `cuDgemmStridedBatched` => 單一指令。



離散傅立葉變換(DFT)計算 - 方法 1

統一計算矩陣大小

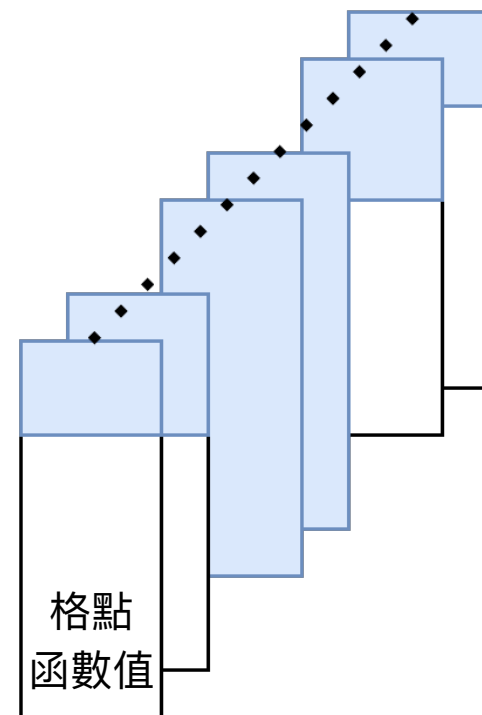
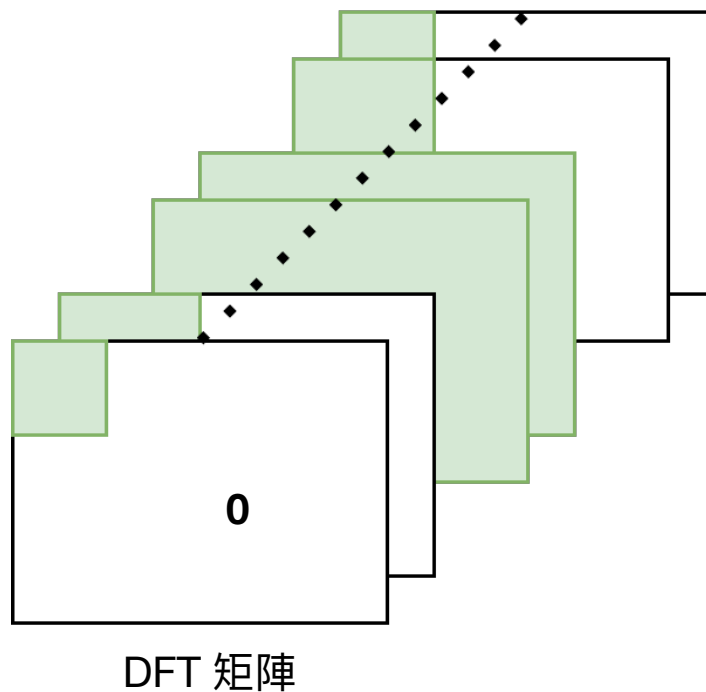
- 以補零的方式統一離散傅立葉變換矩陣的大小。
- CUDA API 中的 `cuDgemmStridedBatched` => 單一指令。



離散傅立葉變換(DFT)計算 - 方法 1

統一計算矩陣大小

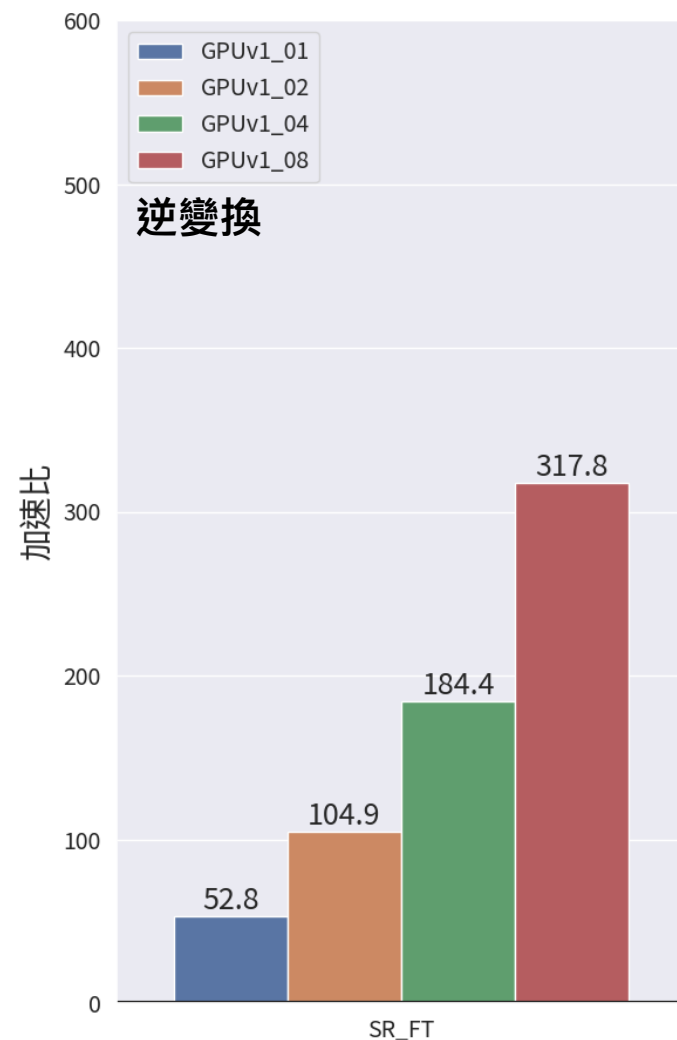
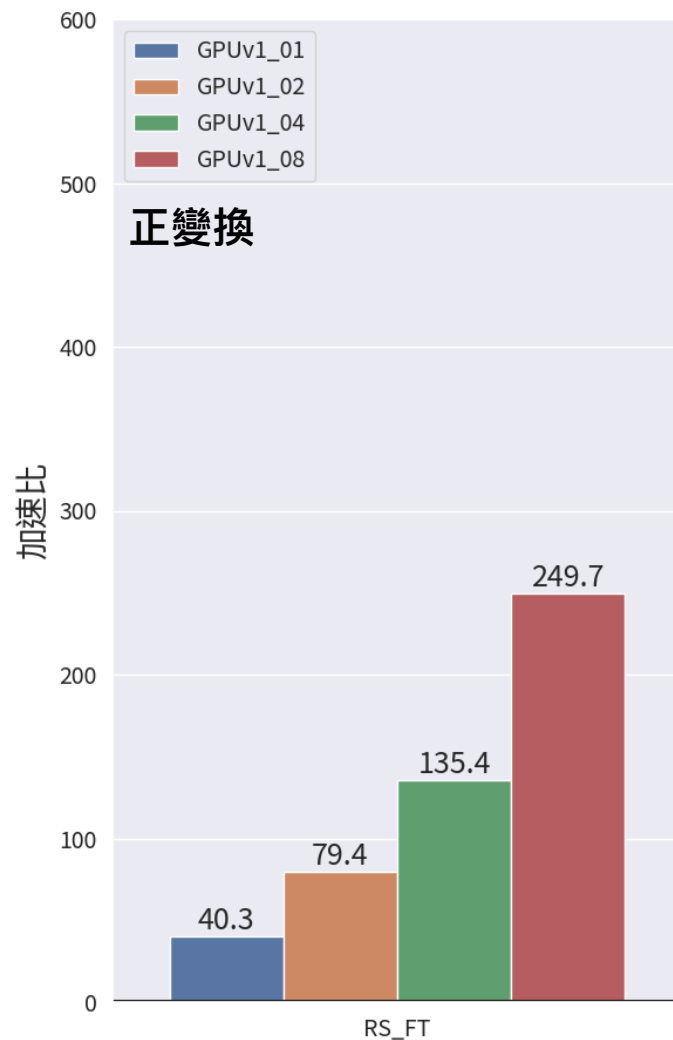
- 以補零的方式統一離散傅立葉變換矩陣的大小。
- CUDA API 中的 `cuDgemmStridedBatched` => 單一指令。
- 優點：簡易。
- 缺點：多了許多無效計算。



加速成果

傅立葉變換

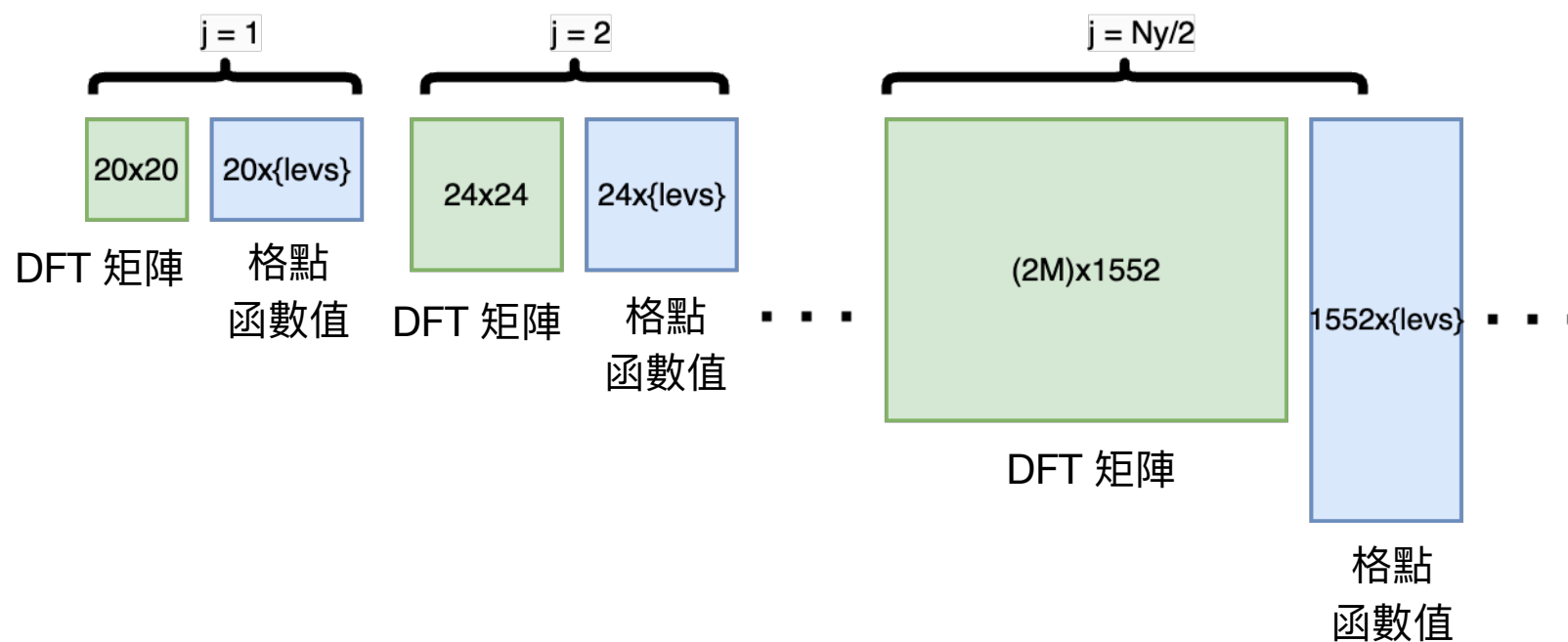
- 測試環境
 - CWAGEPS
TCo383L72(~25km)
 - GPU: NVIDIA A100
 - 基準線：單核 CPU
(Intel Xeon Gold 6326)
執行 GEPS 未修改之傅
立葉變換副程式



離散傅立葉變換(DFT)計算 - 方法 2

Multi-Stream + CUDA Graph

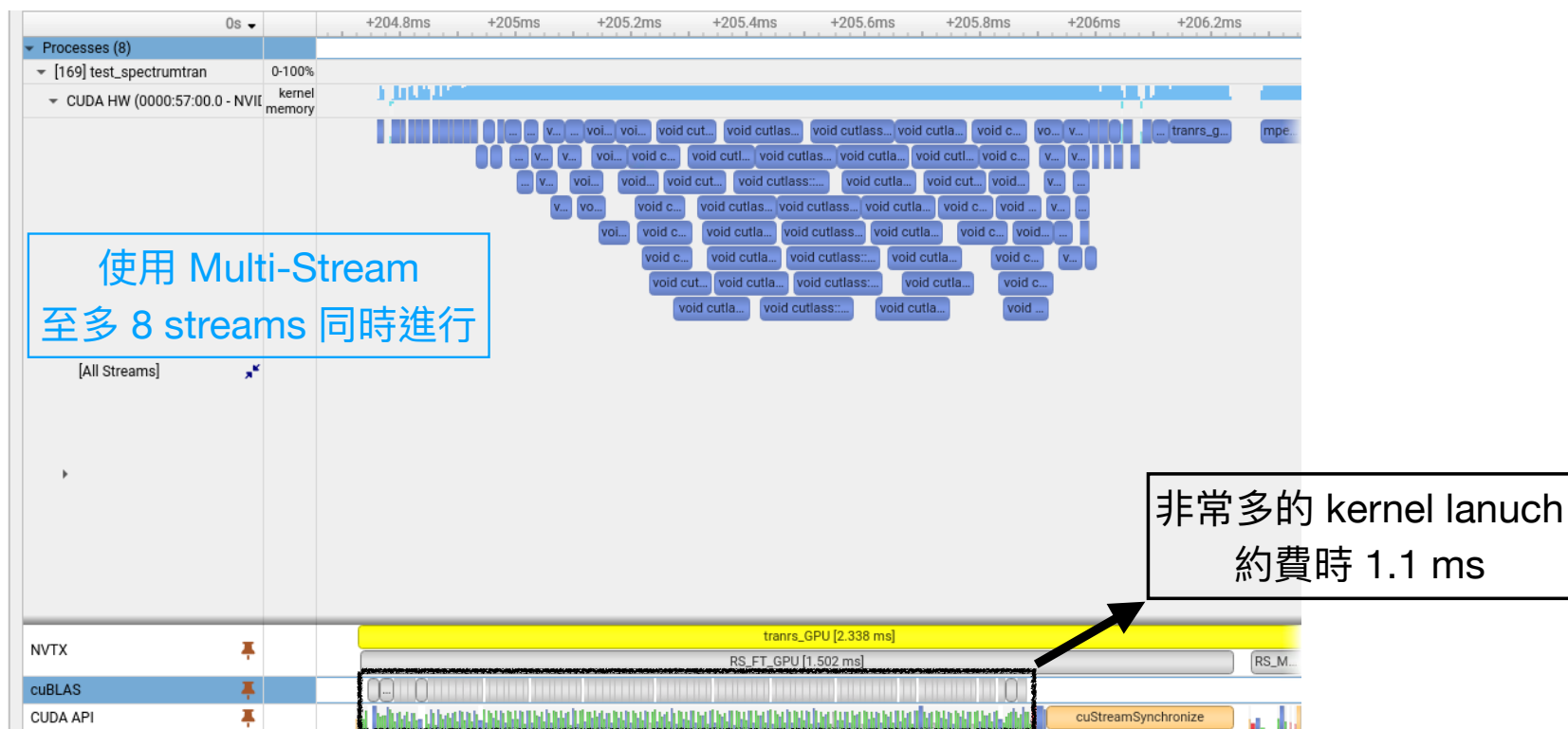
- 對每個緯度圈使用 cublasDgemm 進行 DFT 計算，且用不同的 CUDA stream



離散傅立葉變換(DFT)計算 - 方法 2

Multi-Stream + CUDA Graph

- 對每個緯度圈使用 cublasDgemm 進行 DFT 計算，且用不同的 CUDA stream

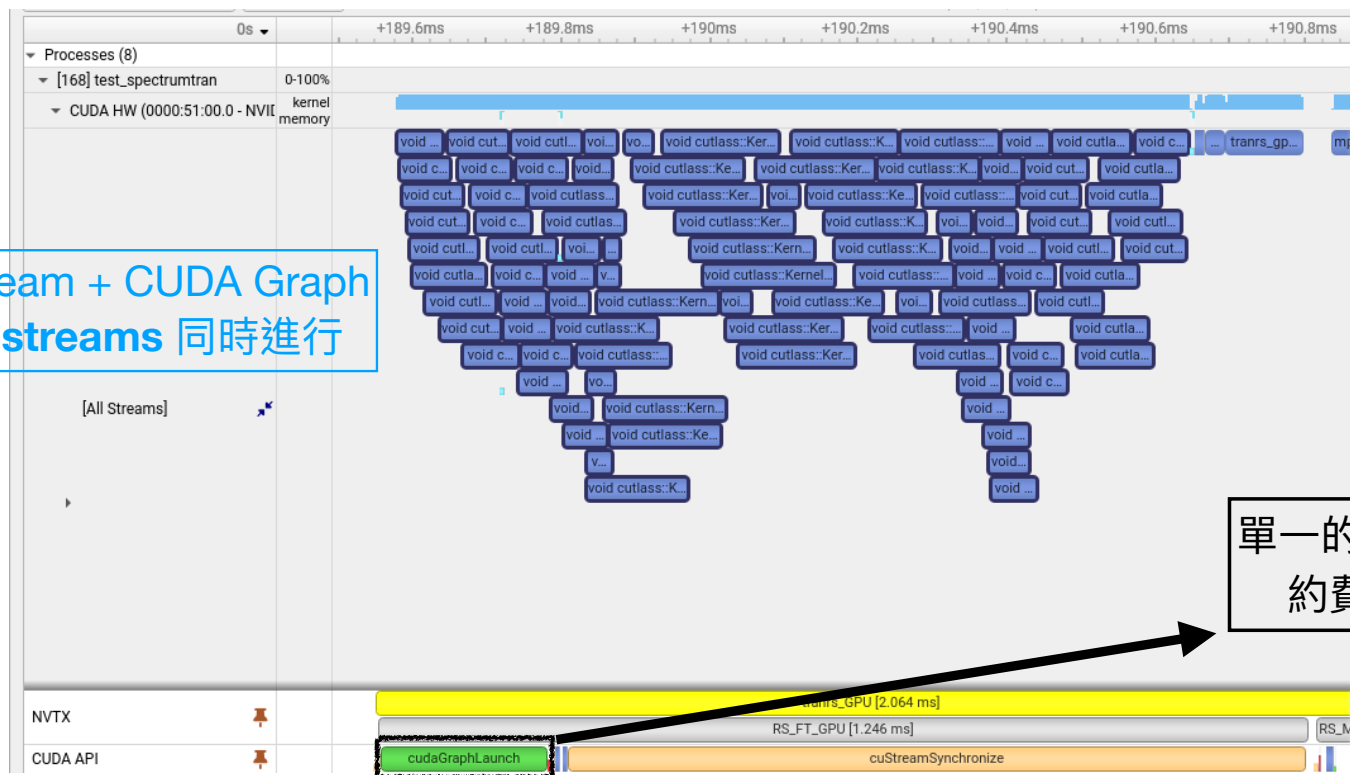


離散傅立葉變換(DFT)計算 - 方法 2

Multi-Stream + CUDA Graph

- 對每個緯度圈使用 cublasDgemm 進行 DFT 計算，且用不同的 CUDA stream。
- 使用 CUDA Graph 讓數個 CUDA streams (DFT) 最大程度的同時進行計算。

Multi-Stream + CUDA Graph
至多 14 streams 同時進行



單一的 kernel launch
約費時 0.22 ms

離散傅立葉變換(DFT)計算 - 方法 2

Multi-Stream + CUDA Graph

- 對每個緯度圈使用 cublasDgemm 進行 DFT 計算，且用不同的 CUDA stream。
- 使用 CUDA Graph 讓數個 CUDA streams (DFT) 最大程度的同時進行計算。
- 優點：
 - 若每組計算所需要的資源不大，可有效率地同時進行數個 GPU kernel 的計算。
 - 較少的 kernel launch 的時間。
- 缺點：
 - 程式撰寫有一定的限制，如 CUDA Graph 計算之變數記憶體位置需要固定。

加速成果

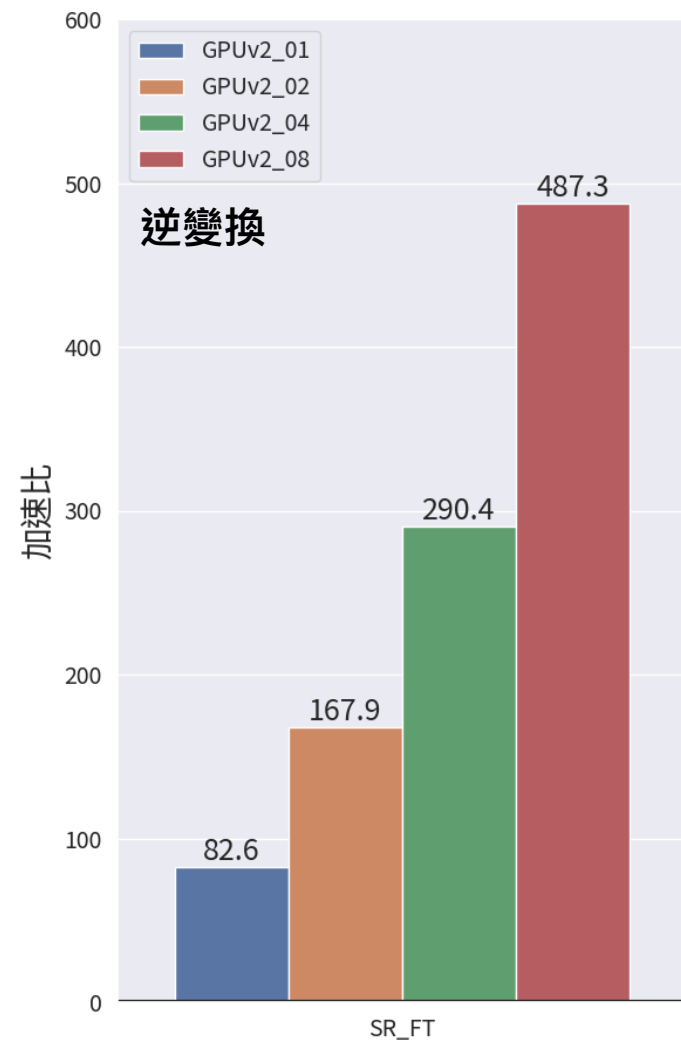
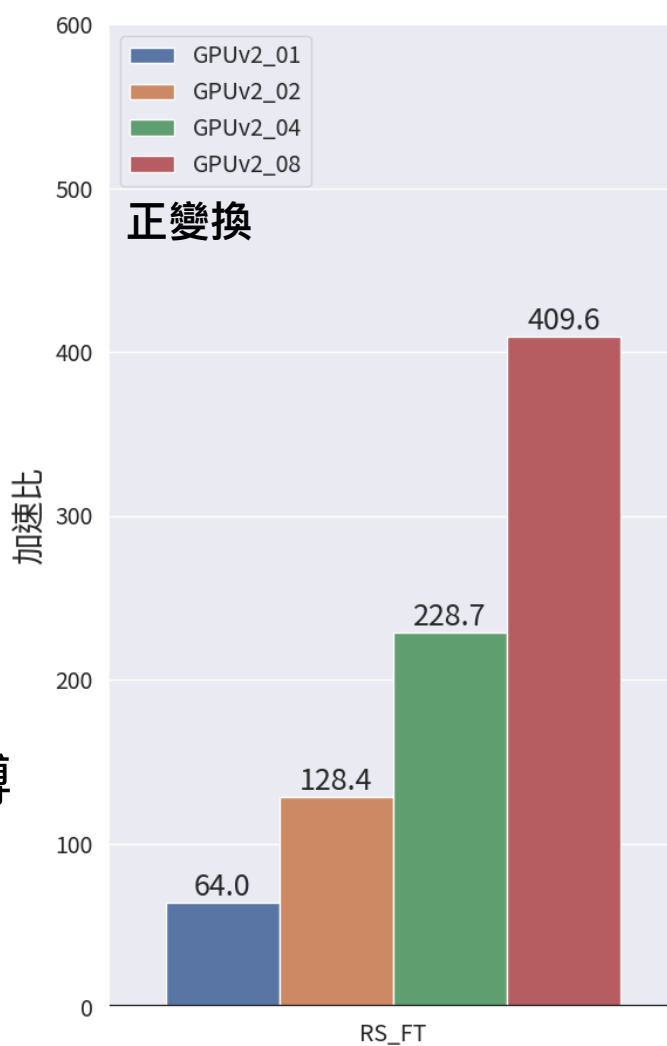
傅立葉變換

- 測試環境

- CWAGEPS
TCo383L72(~25km)

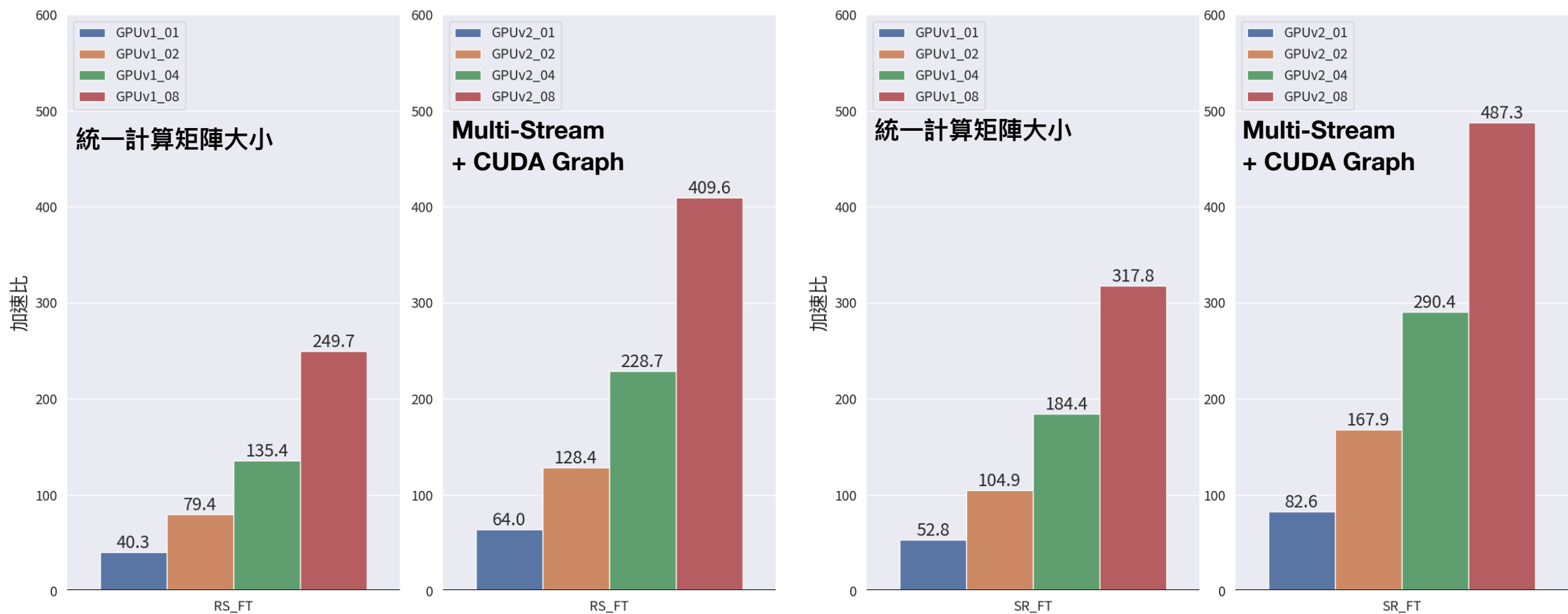
- GPU: NVIDIA A100

- 基準線：單核 CPU
(Intel Xeon Gold 6326)
執行 GEPS 未修改之傅
立葉變換副程式



兩個版本的比較

傅立葉變換



未來研究方向

- 嘗試支援不同矩陣大小計算的 cuDgemmGroupedBatched
 - cuDgemmGroupedBatched：整合不同矩陣大小計算。
 - Multi-Stream + CUDA Graph：整合不同 GPU kernel 計算。
- DFT 的奇偶性
- 優化 CWAGESP 其他計算

謝謝聆聽