[HW3] Parallel Programming

102062111 林致民

Design

Static & Dynamic 之間最大的差異是，前者會固定負責data的某個區段，後者則是讓空閒的thread/process去做還沒有完成的工作。接下來以下三種不同平行方法都會根據這規則去實作。

1. MPI
    - Static：以下pseudocode是我切割資料的方式

      ```
      int numPerTask = width / (size);  // 切割width
      if (rank == size - 1)             // 如果是最後一個rank
         numPerTask += width % (size); // 把沒切完的width分給那個rank
      ```

      切完資料後，各自的rank把 $numPerTask \times height$個點的結果算出來，之後把所有的結果送回 `Rank0` ，讓Rank0把算好的結果印出來。

    - Dynamic：切割資料的方式跟Static一樣，從width開始分配。假設有兩個以上的Rank，採用 Master Slave 的方式，讓 `Rank 0` 負責分配工作給其他的Rank。分配的方法如下：

        1. Slave 向 Master 發一個要資料的request
        2. `Rank 0` 開始做Round Robin，如果發現當前有其他的Slave正在向Master提交運算工作，而且還有沒有分配出去的資料（width number)， `Rank 0` 會把當前沒做的運算資料分配給Request。反之，如果都已經做完了，Master會傳一個非法值（ -1) 給Slave
        3. 假設Slave拿到的是合法的Width number，就會開始計算，計算完回到 `(1)` 。如果拿到的是非法的Width Number，那麼就把計算結果回傳給Master，並且結束這個slave的執行緒。

2. OpenMP
    - Static : OpenMP會幫我們把資料依照thread的數量，平均分配給這些thread

```
#pragma omp parallel num_threads(threads) private(i, j)
{
    #pragma omp for schedule(static)
    for(i=0; i<width; i++) {
        for(j=0; j<height; j++) {
            ............
            ............
        }
    }
    ........
    ........
}
```

使用OpenMP提供的 `for schedule` 來幫助我們實作static version

- Dynamic : 以下是OpenMP使用Dynamic scheduling的方法，假設某個thread當前有空閒的話，他會去做當前還有做的任務

```
#pragma omp parallel num_threads(threads) private(i, j)
{
    #pragma omp for schedule(dynamic, 1)
    for(i=0; i<width; i++) {
        for(j=0; j<height; j++) {
            ............
        }
    }
    ........
}
```

3. Hybrid

- Static：MPI+OpenMP static混和版本，把width平均分配給其他的rank，然後再把height平分給rank create出來的thread，以下是pseudocode：

```
int numPerTask = width / (size);  // 切割width
if (rank == size - 1)             // 如果是最後一個rank
   numPerTask += width % (size); // 把沒切完的width分給那個rank

int beginPos = rank * numPerTask;   // 當前rank的起點（資料切割後的起點）
for(int i = beginPos; i < beginPos + numPerTask; i++) {
    #pragma omp parallel num_threads(threads) private(j)
    {
        #pragma omp for schedule(static)    // OpenMP Static schedule
        for(j=0; j<height; j++) {
            ....
        }
    }
    ...
}
```

- Dynamic：MPI+OpenMP Dynamic 混和版本，只要從Master接收到合法的width number，再對Height做Dynamic scheduling，以下是pseudocode：

```
i = WAIT_AND_RECEIVE_FROM_MASTER();  // receive task from Master
while (i != -1) {   // If i is valid ...
    int j;
    #pragma omp parallel num_threads(threads) private(j)
    {
        #pragma omp for schdule(dynamic, 1) // Shared memory dynamic s
        for (j = 0; j < height; ++j) {
            ...
        }
    }
    i = WAIT_AND_RECEIVE_FROM_MASTER();
}
```

在這次的實驗，發現到單純把資料切的平均，對於執行時間的減少沒有太大的幫助，底下有更切確的分析。這次有些資料區間需要大量的運算，如果把資料平均分配，勢必有些thread/rank需要做比較久，Dynamic則是當有空閒時，就會去搶工作，這樣就可以把一些比較複雜的運算平分掉了。

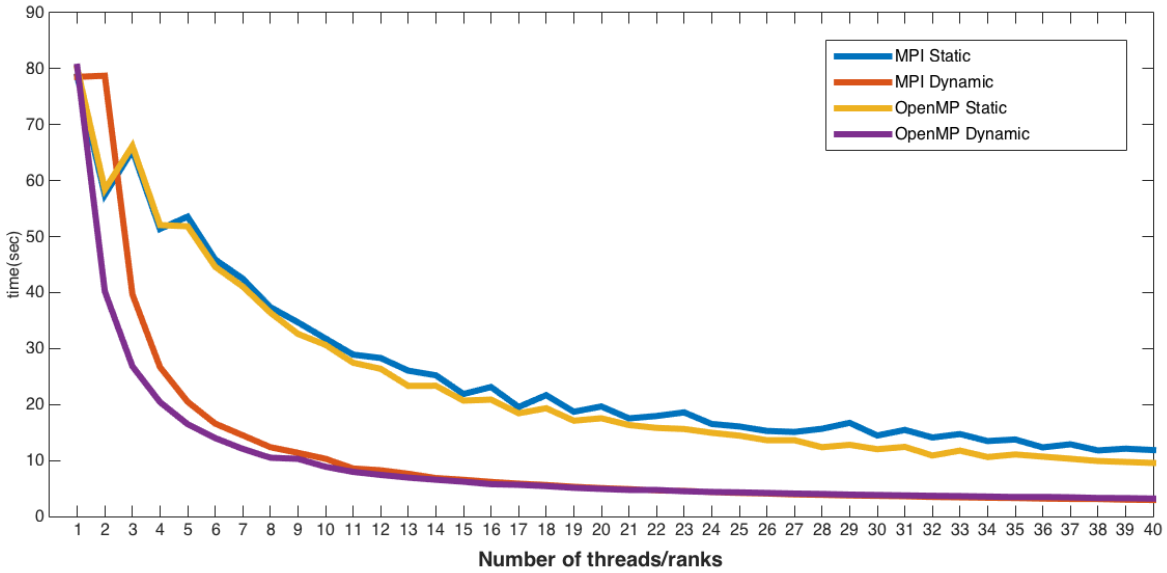
Performance analysis

Strong scalability

這個實驗是用自己的機器跑得，規格如下：

```
CPU : Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2648L v2 @ 1.90GHz x 2
      10 cores 20 threads) x 2 = (20 cores 40 threads
Memory : 128 GB
Storage : 500 GB
Operating System : Ubuntu 12.04 LTS, Linux 3.11.0-26-generic
Compiler : gcc-4.8
MPI : openmpi-1.5
```

固定 N = 3000 的條件下，只變動thread(rank)個數，觀察執行時間的變化，{MPI, OpenMP} x {static, dynamic}：



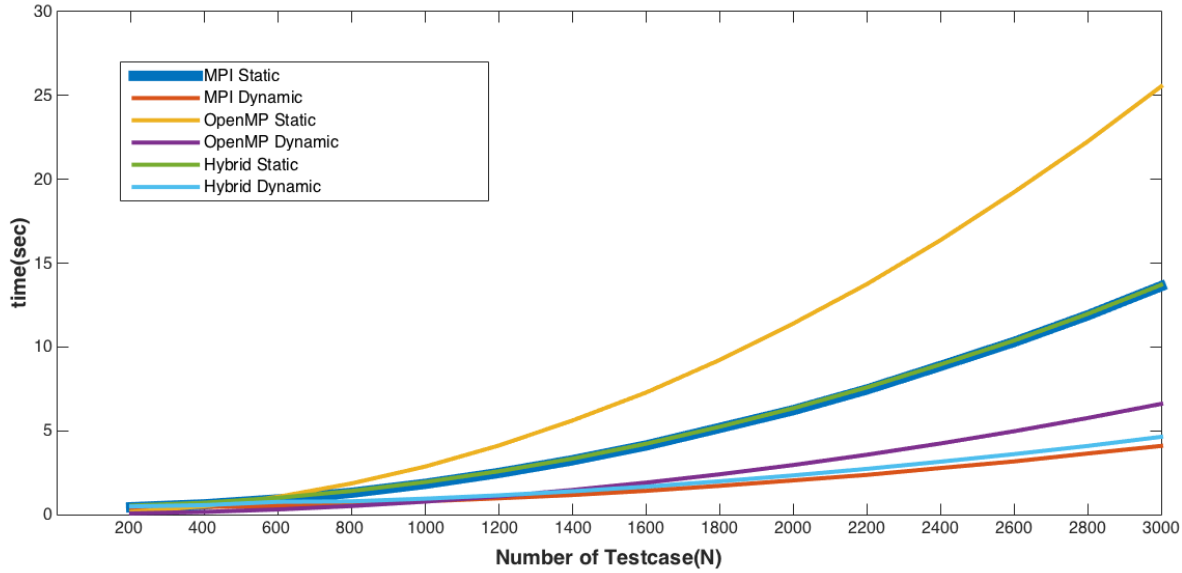
普遍 Static 跑起來比Dynamic還慢的原因，我猜測是因為testcase的某個區段需要大量的運算時間，如果只是固定切割，那麼可能會有某個rank/thread需要做比較多的是情，這樣一來就算其他thread/rank早就做完了，還是在等這個rank/thread做完，導致整個程式的執行時間卡在那裡。不過還有發現到一個神奇的點，MPI or OpenMP的 `Static version` 在thread/rank > 13之後，會發現到「偶數 ---> 奇數個 rank/size」的執行時間會增加，猜測是剛好偶數被分配到的運算量比較多，執行時間就相對的久。

Weak Scalability

這個實驗是固定thread * rank的數目，觀察當Problem size(N)增加的時候，執行時間的變化是如何。由於演算法的複雜度是$O(N^2)$，就算經過平行化，預期結果應該是稍微凹向上，差在幅度的問題。

以下是實驗設定，把 $process \times threads\_per\_process$ 固定在12 ：

- MPI：process = 12, 1 threads per process
- OpenMP：process = 1, 12 threads per process
- Hybrid : {node = 3}, {process = 2, 2 threads per process}

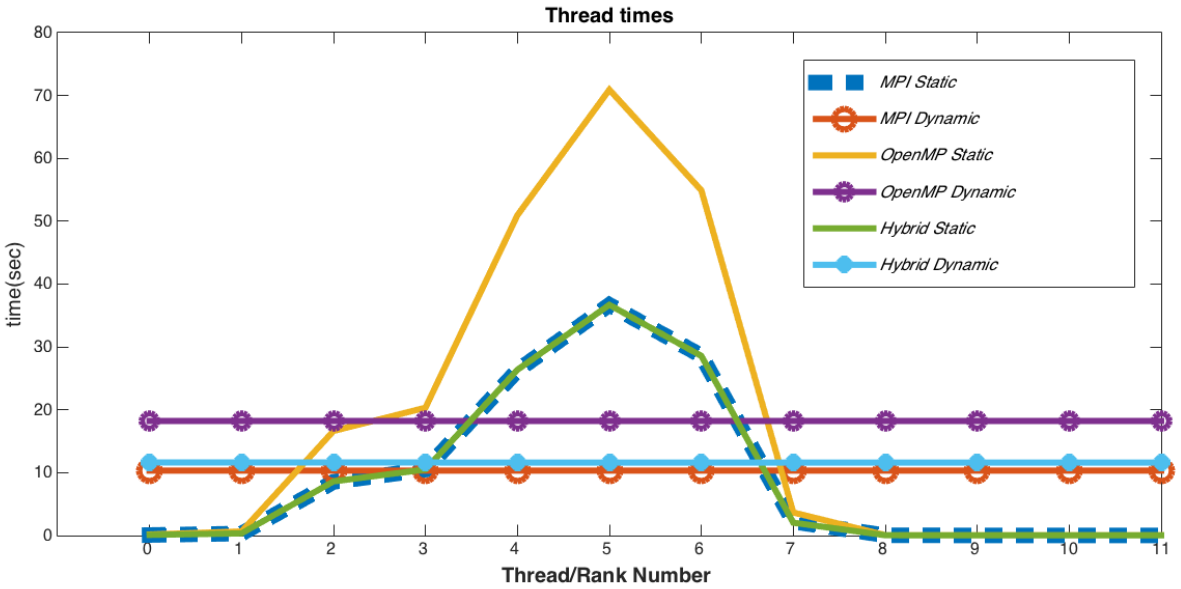


跑出來的結果跟預期的一樣，圖形大多數都是凹向上。比較意外的是，當N比較大（大約大於1000）的時候，OpenMP Static 增加的幅度比MPI static還快，MPI Dynamic runtime 也比 OpenMP Dynamic 還少。原本預期在N比較大的時候，OpenMP Dynamic 應該要比 MPI Dynamic 還來的快。由於process數量比少，很難分辨出Hybrid與MPI效能上的差異。

Load Balance

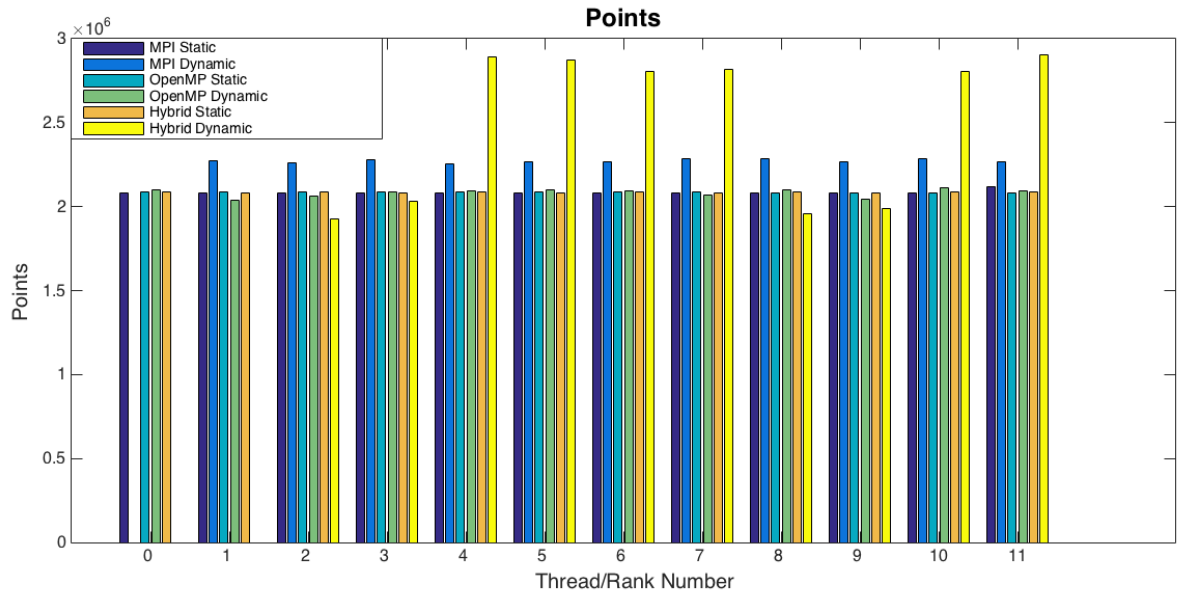
Load Balance 的實驗我是以 $N = 5000$、$Process\_number \times Thread\_numbers = 12$

每個Process/Thread執行的時間：



如果是以我static版本的分配方式來看，當thread = 5的時候，花的時間是最多的。由於我切資料室按照順序平均分配，圖形中間那個區間或許需要更多的運算支援去計算結果。由於process數量小，Hybrid和MPI其實差不了多少，甚至圖形重疊在一起，從原始資料來看，他們的秒數只有差了0.1秒。

每個Process分配到的點數目



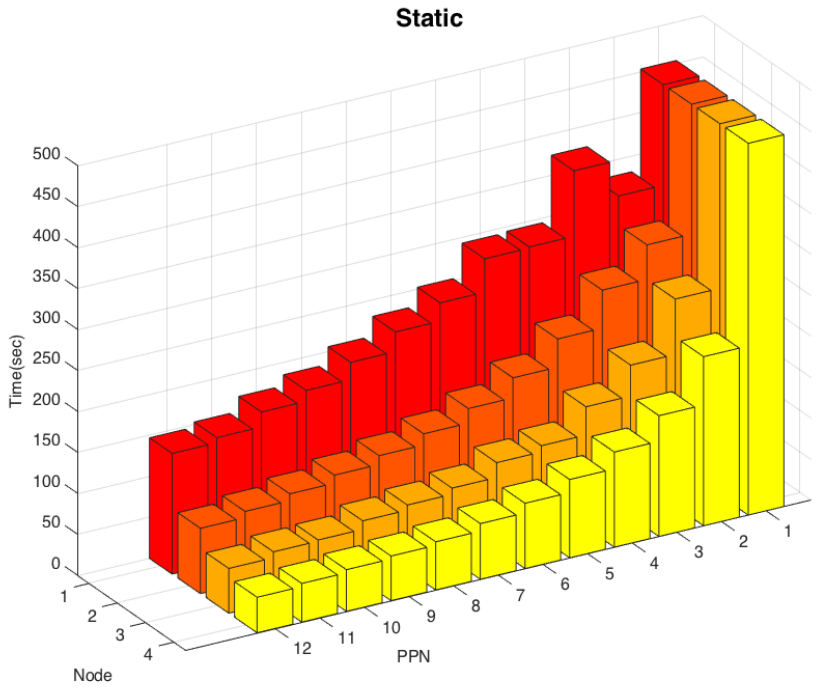
由於我Hybrid Dynamic的實作方式採用Master/Slave，會發現到 0, 1其實沒有分配到點。然後除了Hybrid Dynamic 的變動比較劇烈以外，MPI Dynamic & OpenMP Dynamic 雖然有小幅度變動，但還是沒有差很多。如果單純看資料的平均程度，從圖表來看其實很均勻。當然Static的版本就比較沒有什麼變化，畢竟就直接平均分配。

Best Distribution

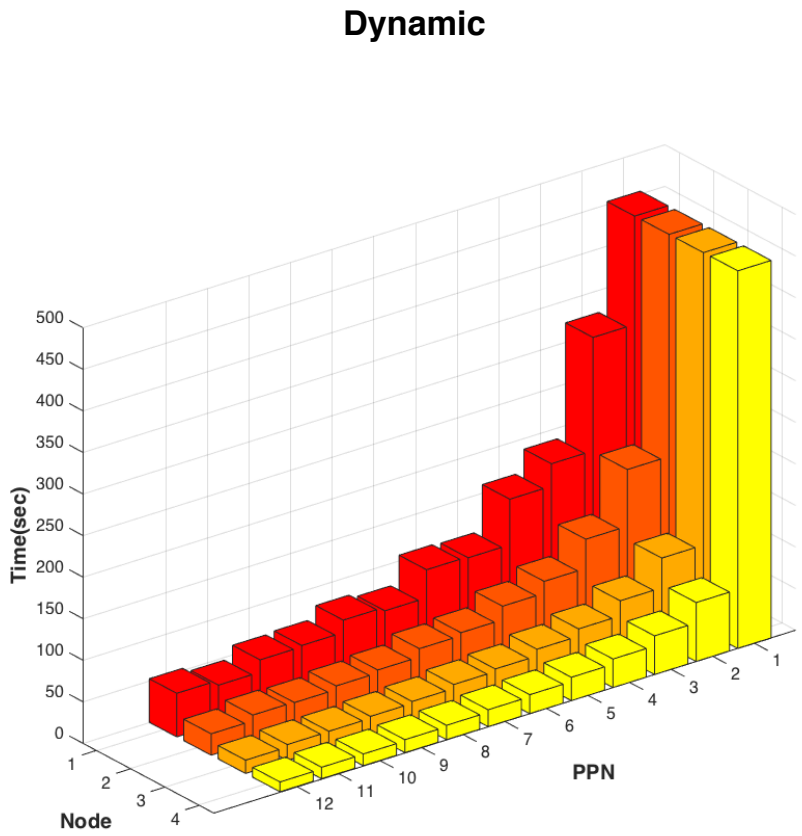
Betweeen Node & PPN

這個實驗把所有可用的node/ppn/thread 全部跑一遍，假設我有多個thread的實驗可跑，e.g. `node = 4, ppn = 12` ，這時候thread可以為[1, 2, 3, 4, 6, 12]，那麼就針對這幾個實驗數據作「幾何平均」，把實驗數據歸納給node/ppn。以下是以N = 10000(width x height = 10000 x 10000)圖表：

Hybrid Static



Hybrid Dynamic



兩種不同的版本常態上都是process 數目越多，執行時間就越短。Static在之前的實驗上發現他的運算資源分配不是很平衡，因此大量增加process能降低執行時間的空間有限。從Dynamic的實驗結果來看，ppn從1~4

降低的幅度非常的大，這可以拿來驗證，當我的load balance越平均的話，他越能有效降低值的時間。

Dynamic版本，用最大的運算資源 node = 4, ppn = 12 可以把執行時間壓到11秒左右，一個process需要450秒左右，增快了40倍左右。而Static版本從450秒降到44秒，跟Dynamic相比只有增快10倍左右。

Conclusion

這次的實驗有趣的地方在於，可以從不同的實作方式觀察到load balance對效能的影響，如果資料是可以被高度平行化的，那麼不一定一開始就要把資料切好再做，只要有空就去把工作搶過來也不是不可以。

這次作業的困難點在於，要實作一個MPI Dynamic的版本，一開始不太知道要怎麼動態的去搶資源，去網路上查了一下，發現有不同動態分配資源的方式，於是就先行採用一種架構。不過我這次的做法有個缺點是，其中一個process就不會幫忙做運算，就只有分配工作，這樣倒是有點浪費運算資源。不過比起Static，他的確能夠有效降低運算量，雖然看起來美好，還是有可以改善的空間。