

高效能計算機系統之比較分析研究

A Study of the Comparison and Analysis of High Performance Computing Systems

王一琳

國立彰化師範大學電子計算機中心

彰化縣彰化市進德路一號

celily@cc.ncue.edu.tw

I-Lin Wang

Computer Center, National Changhua University

of Education

1, Jinn Der Road, Paisha Village, Changhua 500

Taiwan R.O.C.

摘要

高效能計算對人類智慧的無限延伸和開創貢獻厥偉，如果沒有使用高效能計算電腦，則人類文明的諸多挑戰將很難實現。高效能計算電腦主要有超級電腦及工作站兩類，各有不同的適用範圍。本論文旨從科學與工程計算的視野及高效能計算的需求與效益觀點，從待解問題的複雜度，實際執行情形等加以探討，以釐清工作站與超級電腦的適用範圍，並對不同的高效能計算機系統加以比較分析。最後則分別以 LINPACK 矩陣運算程式，標準訊息傳輸介面程式及全球預測模式、針對屬工作站級的 HP SPP2000、Sun E5500 及 SGI Origin 2000 及屬超級電腦級的 Fujitsu VPP5000 及 VPP300E 做實機測試，驗證執行績效，訊息傳輸頻寬及應用程式的表現，結果發現對亟需高準確度與高時效性的高工作複雜度問題，仍以採用向量系統為宜，此乃因其優異之訊息傳輸頻寬，高效率之編譯及執行環境，以及在處理大量資料運算時之高績效表現。

關鍵詞：向量處理器，巨量平行處理器，信息

傳輸，全球預報模式

ABSTRACT

Based on the viewpoints of the demand and efficiency of high performance computation in science and engineering fields, we study the classification and the architecture of high performance computing systems. The purpose is to clearly classify the application areas for workstations and supercomputers respectively, based on the complexity of the problems to be solved, the performance, and the usability. We also compare and analyze variant high performance computing systems.

To verify the performance and observe the behavior of the data transmission bandwidth and the execution of parallel programs, we run LINPACK, MPI, and so forth on high performance workstations, such as HP SPP2000, SUN E5500, and SGI Origin 2000, and also on Fujitsu VPP5000 and VPP300E supercomputers, respectively. The experimental results show that the vector systems, such as Fujitsu VPP5000 and VPP300E, are suitable for those applications which are complex, time critical high accuracy required.

key words: Vector processor, Massively parallel processor, Message passing, Global forecasting system

一、前言

高效能計算環境對人類智慧的無限延伸

和開創貢獻厥偉；在人類文明的進展中，舉凡汽車、造船、航太、電機、電子、機械等領域之結構設計、碰撞、反應、風洞實驗等模擬所需之大量運算及化學、製藥、生化科技領域之原分子串接組合情況分析及生命基因分析等等所需之大量運算，高效能計算機系統均留下燦爛的一頁。而在大氣模擬分析預測及核子試爆方面，高效能計算機系統更扮演了不可或缺的角色。例如，以氣象預報而言，由於超級電腦的使用，減少真正執行預報模式的時間，致使蒐集觀測資料的時間增長，網格間距與預報時距縮小，預報範圍擴大，且模式內採用更複雜的物理機制，預測準確率因而增高，時效因而增長。而就核武測試模擬而言，依「先進戰略運算計畫」(ASCI)設計的連結 512 台電腦，每秒執行 12 兆 3000 億次運算 (12.3 teraflops) 的超級電腦「ASCI White」於 2000 年 6 月問世後，吾人才能模擬完整的 3D 核武測試面像。故如無高效能計算機系統，則許多提高人類文明的挑戰將無法在合理時間內被克服。

近年來，隨著資訊科技的進展與資訊化社會的來臨，各式線上資料已呈爆炸性成長，舉凡信用卡交易、銷售點條碼、宇宙天文探測，風險分析等均須擷取與儲存龐大的資料，並使用資料挖掘(data mining)及資料庫知識探索(Knowledge Discovery in Databases, KDD)的技術，在時限內瞭解資料的型式並加以預測[8]，故高效能計算機系統所扮演的角色益形重要。再者，文明進步後，科學與工程應用問題之複雜度及時間迫切性也大幅成長，而且常常一個問題解決後，又面臨一個更新更大的問題，端賴使用高性能計算機系統求解，方得為功。

為釐清超級電腦，高效能伺服器之差異，本文從待解問題的複雜度、實際執行情形等加以探討，期能對高效能計算機系統有完整透徹的了解，並提供決策參考。

本研究所使用工作站為 HP SPP2000、Sun

E5500 及 SGI Origin 2000；至於超級電腦則為 Fujitsu VPP5000 及 VPP300E。

利用網路系統連接個人電腦所形成的叢集系統(PC cluster)則不在本研究範圍之列，因為在目前，雖然超級電腦價格高，市場狹小，部分學者倡導以 PC cluster 加以取代，但仍受到軟、硬體限制，速度仍不夠快，除非有所突破，否則短時間內尚難取代超級電腦。

二、科學與工程計算之視野

大型的科學問題解法包含三種相關的範圍：理論、試驗與計算。在圖 1 中描述了試驗型(empirical)，理論型(theoretical)及計算型(computational)三種方法間互相依賴的關係。理論科學家為電腦工程師的數值解法建立數學的模式，而數值的結果就可能產生新的理論。實驗科學家為計算科學提供了資料，然後把很難在實驗室中完成的處理過程，定出一個模擬方式。可見，計算型做法並非忽略實驗(experimentation)，反而是引導實驗，使組織能將精力集中於有價值的實驗而不去做無成果的嘗試。同樣的，對理論型的方法而言，計算型做法以數值分析的方式來解決不可解的問題，並將整個科學與工程的複雜問題帶進可解的領域。

因此，從科學與工程計算的觀點來看，之所以會有超級電腦及工作站等高效能計算機的問世，主要是大型主機雖然在一般用途上功能十分強大，但對科學與工程上的特殊應用，卻無法勝任，如前所述，當模擬某一複雜物理現象時，需有極高精確度的大量計算，這些計算很多是靠試驗而非理論得來，但由於試驗本身的複雜度太高，無法掌握明確方向，須多方嘗試錯誤(Try and error)，如果每一個可能的試驗，其所需的計算耗時太久，則大型主機無法在有限的時間內找到答案，因此有超級電

腦的發展[1]。

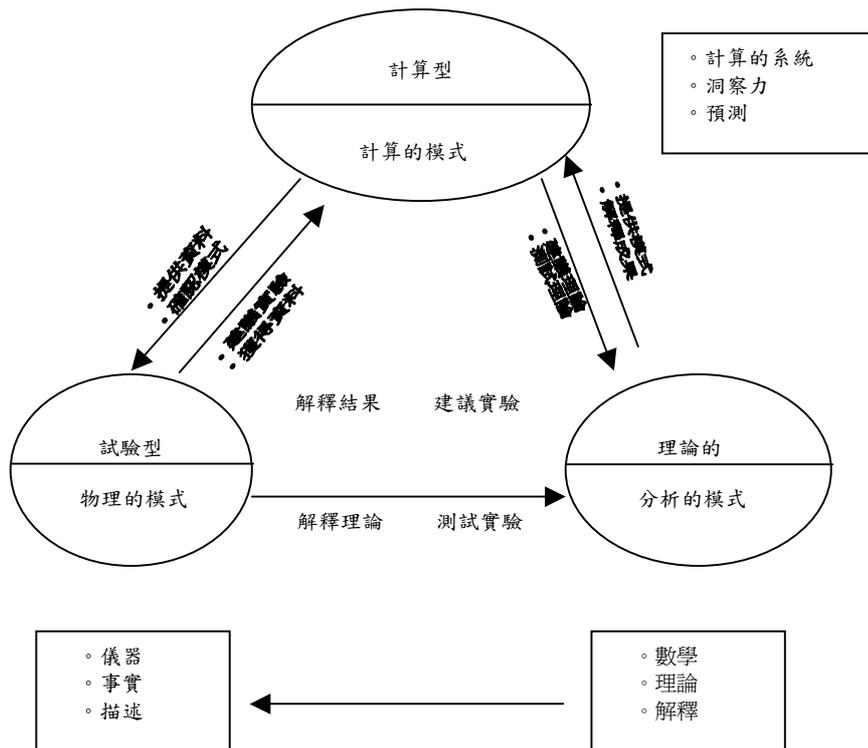


圖 1 科學與工程計算的視野

同樣的，因超大型積體電路(VLSI) 技術的進步，一九八〇年代後出現工作站，供少數人使用，後因 CPU 速度愈來愈快，在某些應用方面開始取代大型主機，後演變為多重處理單元、對稱性多重處理器系統，終於形成今日工作站幾乎完全取代大型主機的局。

而近年來，在科學與工程計算視野卻有如下觀點[5]：

1. 吾人所須作的僅止於將一些便宜的處理器以網路連接在一起，則我們就擁有一部超級電腦。 (“All we have to do is network together a bunch of inexpensive processors, and we'll have a supercomputer”).
2. 吾人僅須獲得一些能力非常好的工作站及網路，並將它們連結在一起，則吾人將擁有一部超級電腦。 (“We'll just take a few of these very capable workstations and network them

together and we'll have a supercomputer”).

他們所持的理由，主要有：

1. 巨量平行處理器(Massively Parallel Processors ,MPP)通常使用低效能處理器及網路互連，且缺乏軟體或軟體執行拙劣，可用性低，故除很少例子外，難以實現其宣稱效能。
2. 單獨的工作站，單位成本很低。
3. 工作站處理器的效能增加速率超越 MPP 及傳統超級電腦
4. 在許多公司內大量建置的工作站，在白天可利用週期竊取(cycle stealing)的技術從事分散式計算，而在下班後則可全部供作分散式計算。

前述觀點，雖有某些展示加以證明，但作為計算生產的例行方法卻是不實際的，首先系統的執行效率被網路頻寬所限制，其次，同步

速度慢，耗費多，因此其效能提昇率仍被 Amdahl's Law[4] 所限制；再者，網路頻寬的耗盡使網路飽和，阻塞其他的使用；最後，必須發展使用者的系統及應用軟體。

由此可見，工作站可以取代超級電腦的爭論，通常是基於一些偏差的效能比較，而未實際考量在處理需大量運算、儲存及輸出入的複雜問題時，工作站與超級電腦間的執行效能有很大的落差。另一方面，在採購決策上，偶而也會充斥如下錯誤觀點：「一個機構可將所有電腦預算花費在工作站上，得到與購買超級電腦同樣甚或超過的總計算能量。」這是邏輯上有瑕疵的比較，因為解決無數個簡單問題並不能和解決少數複雜問題提供同樣的資訊；解決一系列一維問題也無法產生從二維問題所得到的資訊；解決一系列二維問題絕不會產生由三維問題所獲得的資訊；解決一系列靜態問題也不會產生從與時間有關問題所得到的資訊。也就是說，工作站及超級電腦在現代高效能計算環境各有其價值，吾人如僅在價格的基礎上混淆它們的角色，則犯了管理上的錯誤。

任何從事尖端(leading edge)科技的技術機構，臆想可在工作站上進行大多數甚或所有的計算，在本世紀將無法有效的面對競爭，因為它們無法了解技術問題複雜性及時間急迫性(time criticality)的成長，這也是高效能計算的核心價值所在，它提供工具與技術使科學家與工程師在強烈國際競爭的新世紀得以管理快速成長的複雜性及時間急迫性，這也才是科學與工程計算的正確視野。

三、高效能計算的需求與效益

從兩個角度可闡釋吾人需要高效能計算機的基本理由，其一，對解決非常複雜問題的科學家與工程師可在最少的時間內得到解答，其二，對關心成本與效益的管理者，則是使組織得到最大利益。在科學與工程計

算高執行速率的需求可以用簡單的維度分析(dimensional Analysis)加以描述：

執行速率〔運算數/秒〕＝

複雜度〔運算數/問題〕

解決時間〔秒/問題〕

為了更清楚的剖析計算複雜度的本質，我們可將每一問題的總運算數（或複雜度）C 表示成四個可解釋變數，G、T、V、A 的乘積（即 $C = G \cdot T \cdot V \cdot A$ ），在此

G：每一問題在幾何空間（或相空間）的點數

T：在空間網格中每點的時間階數

V：每點每時階所計算之變數量

A：每一變數所需的運算數

例如，假設某二維與時間有關的問題，其考慮的空間點數範圍為 100X100 個點，對每個空間執行 4000 個時階計算，每一時階計算 100 個變數，又每一變數需要 30 個運算，則由上述公式可算出此問題的總複雜度為 $[100 \times 100] \times [4000] \times [100] \times [30] = 1.2 \times 10^{11}$ 個運算。

以科學與工程的固有其本質而言，可解問題的複雜度持續成長，例如：與有 450 萬個零件的波音 747 相比較，萊特兄弟的飛機是一個簡單的裝置，在 1910 至 1920 間設計一架飛機需 1 萬個小時左右，但在 1970 年代則需 14 萬個小時，至 2000 年則為百萬小時以上，這些都是設計複雜度成長的指示。此外，從高效能計算機上執行之計算複雜度持續成長可看出真實世界複雜度的成長。

因此當非常複雜的問題必須適時解決，或需求時間急迫性的解決方案或兩者均是的情況下，就需高效能的計算，茲以圖 2 示之如下：在網路環境下，三種形式電腦系統的能力都向上提昇（向上且向右），如箭頭所示。新

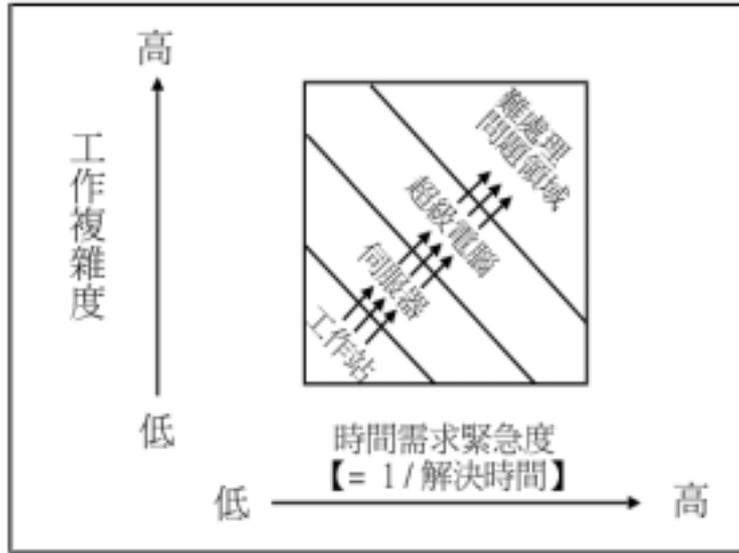


圖 2 在網路環境下，不同種類電腦的工作複雜度與時間需求緊急度對照圖

的工作站移進舊的伺服器領域，新的伺服器移入舊的超級電腦領域，而新的超級電腦則移入舊的難處理問題領域。工作站有能力處理低複雜度及低時間需求緊急度的問題，伺服器有能力處理中度複雜度，中度時間需求緊急度的問題，超級電腦則有能力解決高複雜度及高時間緊急度的問題，而目前仍有一些高複雜度及高時間緊急度或兩者均是的問題領域，無法以電腦適時解決。因此，如果我們嘗試以工作站或伺服器解決所有問題，則意表在圖 2 中，難處理問題的領域將大幅的向原點移動。如此一來，將會有絕對與相對的不利情況，前者是某些使用超級電腦可解決的問題，在工作站上將變為難以處理；後者則是彼此間競爭的機構，使用超級電腦者在某時段可產生最佳的設

計，而僅使用工作站的機構則僅能得到次佳的設計。

四、實機測試

(一)實機測試之實施

本研究為了探討各類系統處理單元之執行績效、超級電腦通用之向量處理器與高性能伺服器通用之精簡指令集處理器執行效率之優、缺點、分散式記憶體與共享記憶體架構下訊息傳輸頻寬之差別，特進行實機測試。實機測試所使用平台規格如表 1 所示，其中，VPP 5000，VPP300E(雖為超級電腦，但也可以視為一種 cluster 類型)為向量處理器，而 HP SPP2000、Sun E5500 及 SGI Origin 2000 為採用精簡指令集的工作站 [6][9]。

表 1 實機測試使用平台規格

Vendor	Fujitsu	Fujitsu	Sun	HP	SGI
Model	VPP5000	VPP300E	E5500	SPP2000	Origin 2000
System Architecture	Distributed Memory System	Distributed Memory System	Symmetric Multiprocessor	Symmetric Multiprocessor	Symmetric Multiprocessor
PE model			UltraSparc/336	PA-RISC 8000/180	MIPS

					R10000/195
# of PE	15	16	4	4	2
PE type	Vector	Vector	Scalar RISC	Scalar RISC	Scalar RISC
bit	64(S)/64(V)	32(S)/64(V)	32	32	32
PE speed			672MFLOPS	720MFLOPS	390MFLOPS
Scalar Unit	1.2GFLOPS	460MFLOPS			
Vector Unit	9.6GFLOPS	2.4GFLOPS			
L1 Cache	128KB	64KB	32KB	1.5MB	64KB
L2 Cache	2MB	-	4MB	-	1MB
Local Memory	8GB	2GB	-	-	-
Total Memory	120GB	32GB	4GB	1GB	512MB

1. 執行績效測試

本項測試是在測試受測系統處理單元之運算執行績效。同時也可以針對由精簡指令集處理器所構成的系統，以及由向量處理器所構成的向量平行處理系統二者間的實際執行績效進行比較。

本項測試是以 Jack J. Dongarra 之 LINPACK[7]矩陣乘法運算程式進行測試，測試分為兩部分，第一部分為 100 X 100 矩陣運算，第二部分為 1000 X 1000 矩陣運算，此兩部分測試程式除資料量大小不同外，餘均相同。本項測試進行時均以 64 位元之浮點運算為主，並以編譯程式最佳化選項進行編譯，同時程式原始碼未進行任何修改。

2. 訊息傳輸頻寬測試

本項測試僅針對分散式系統（VPP5000 及 VPP300E）及共享記憶體系統之 HP SPP2000 進行測量及比較。

在本項測試中，係利用標準訊息傳輸介面(Message Passing Interface, MPI)程式，逐一傳送 0、8、16、32、64、128、256、512、1024、2048、4096、8192、10000、100000、1000000、10000000、以及 100000000 位元組

等訊息，並測量單一方向訊息傳輸所需時間。

3. 應用程式測試

本項測試主要在測試 VPP5000 系統之單一程式平行化執行效率及加速效率。本項測試是以全球預報模式的 T79(Global Forecasting System, GFS T79)為測試程式，該模式係波譜模式，即將全球區分為 79 個波譜，而在垂直層方面，則劃分為十八層，預報時間為 168 小時，而在網格空間內，計有 240x120x18 個網格點。模式在執行時，會先在網格空間內進行計算，然後利用 FFT(Fast Fourier Transform)轉換，以及 Legendre 轉換，將網格空間轉換到波譜空間，並在波譜空間進行運算，隨後再從波譜空間，以 Legendre 逆轉換及 FFT 逆轉換回網格空間[3][2]。

由於該模式運算空間在網格空間和波譜空間內轉換頻繁，而二個空間內資料分佈方式及可平行化方式均有不同，因此在執行時，必須透過訊息傳輸介面交換資料進行預報。

本項測試進行時均以 64 位元之浮點運算為主，所有浮點資料及運算均採用 64 位元格式來執行，並以編譯程式最佳化選項進行編譯。在測試時，是從一個處理單元為基礎開始

進行測試，並紀錄執行時間，以作為比較之依據，隨後即以一個處理單元為單位依序增加處理器數目，並紀錄執行時間，直到系統所有處理單元(即 15 個處理單元)均同時執行為止。經由此測試可以觀察當問題空間不變時，增加處理單元所得到的加速效果。

(二) 測試結果說明

1. 執行績效測試

測試結果如圖 3 及圖 4 所示，圖 3 係受測系統之執行速率，單位是 MFLOPS，即每秒可執行百萬浮點運算值。每一系統均有三項數值，第一個數值為執行 100x100 矩陣運算的執行速率，第二個數值為執行 1000x1000 矩陣運算的執行速率，第三個數值為該系統執行速率的理論值。此三數值所成直線斜率愈低愈好，代表該系統之實際執行速率接近理論值。但是由於硬體技術的進步，100x100 矩陣運算的執行速率已無法真正代表實際執行速率，因此目前大多以執行 1000x1000 矩陣運算的執行速率來代表該系統之實際績效。

圖 4 則是以效率來觀察受測系統，所謂效率值是由矩陣運算執行速率和理論執行速率所求得之比值，每一受測系統均有二項數值，分別為執行 100x100 和 1000x1000 矩陣運算之效率值。該二項值愈接近 100%，則表示該系

統之實際執行速率可以愈接近理論值。

2. 訊息傳輸頻寬測試

測試結果見圖 5，圖上每一條線代表一受測系統，而線上之每一點即為相對訊息資料傳輸時所測得之傳輸頻寬。每一點之值愈高愈佳，代表該系統之傳輸頻寬愈高。當傳輸訊息超過 32 位元組以上時，分散式系統的超級電腦 (VPP5000) 傳輸頻寬即明顯優於共享記憶體系統的工作站 (HP SPP2000); 而當傳輸資料達到 256 位元組時，則頻寬更達到共享記憶體系統中記憶體頻寬之二倍以上。

3. 應用程式測試

測試結果知圖 6、圖 7 及圖 8 所示，圖 6 為模式 168 小時預報執行時間圖，圖 7 則為其加速值，而圖 8 則為執行效率圖。由於受測環境中，除 VPP5000 系統外，其餘系統或由於記憶體不足以執行本項測試，或是處理單元數目過少，測試結果無法比較，因此僅在 VPP5000 系統上進行測試。

執行時間圖代表不同數目的處理單元執行應用程式所使用的總時間，X 軸為處理單元數目，Y 軸為執行時間，該值愈低愈好，

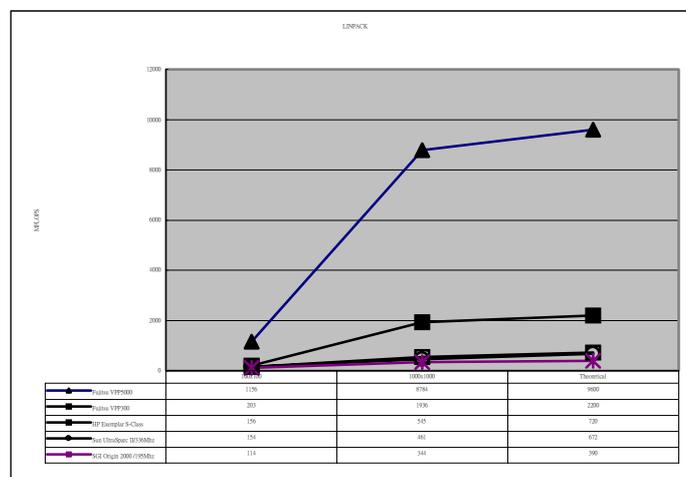


圖 3 LINPACK 執行速率測試圖

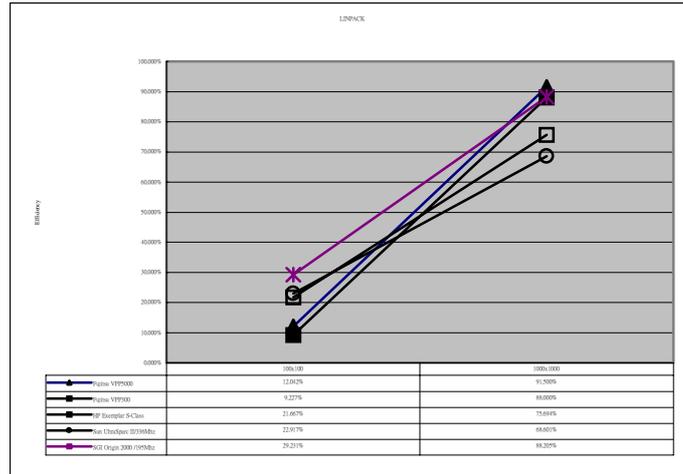


圖 4 LINPACK 效率測試圖

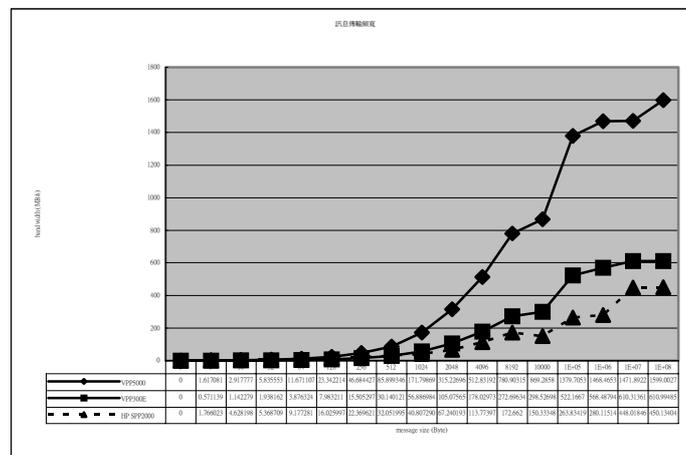


圖 5 訊息傳輸頻寬測試

代表執行速度愈快。該線之理論值應形成斜率為-1之直線，但在資料量不變的情況下，則受到 Amdahl's Law 的限制，除非程式本身可以百分之百平行化，否則該線即形成一緩和的曲線。

加速值圖則為不同數目的處理單元執行應用程式的加速效應。X 軸為處理單元數目，Y 軸為加速值，是由 $S = (\text{單一處理單元執行所需時間}) / (\text{多處理單元執行時間})$ 所求得，若 S 除以處理單元數目之值愈接近 1，代表愈接近理論加速值。該線斜率愈接近 1 愈好，即表示愈接近理論加速值之 45 度直線，代表該系統具有線性加速值，即每增加

一個處理單元參與計算，即能增加一個處理單元的運算績效。

執行效率圖則表示不同處理單元在執行平行處理時之平行效率，X 軸為處理單元數目，Y 軸為加速效率，是由 $E = \text{加速值} / \text{處理單元數目}$ 求得，若 E 之值愈接近 1，代表加速效率愈好，所產生的線愈接近 1.00 的直線愈好，代表每增加一個處理單元即可以得到一個處理單元的效率，但是在固定資料量的問題中，此值受到 Amdahl's Law 的規範。所形成的線應為自 1.00 點逐漸向下形成直線，斜度愈低愈好，代表該系統之效率降低的程度緩和。

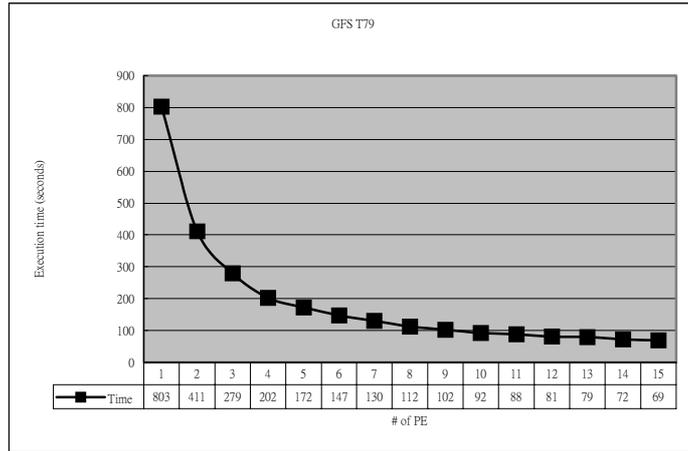


圖 6 全球數值天氣預報模式 168 小時預報執行時間圖

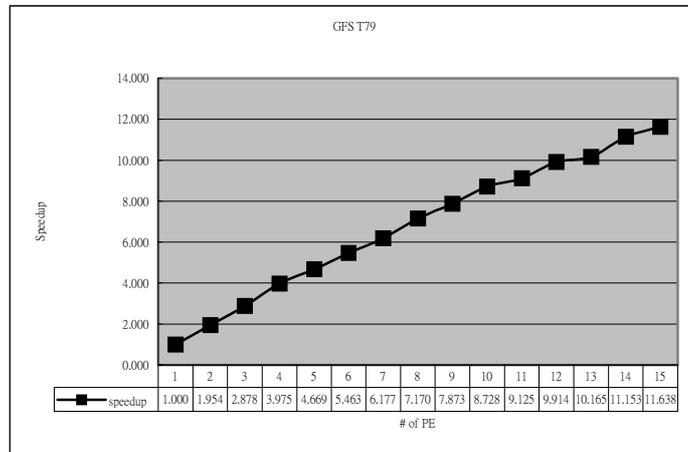


圖 7 全球數值天氣預報模式 168 小時預報執行加速值

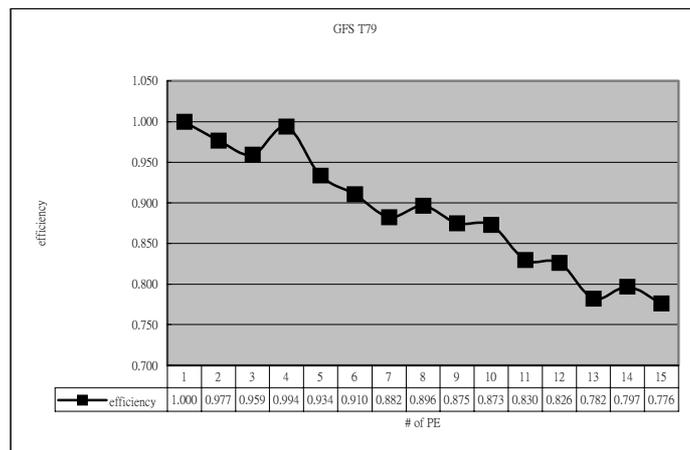


圖 8 全球數值天氣預報模式 168 小時預報執行效率圖

五、測試結果討論

(一) 向量處理器和精簡指令集微處理器之比較

觀察圖 3 LINPACK 執行速率可以發現，由於向量處理系統各項功能單元間的負載平衡，記憶體頻寬較高，以及向量運算執行效率較高，因此以執行速率而言，二項測試之結果均以向量系統（VPP5000 和 VPP300E）為佳。

而由圖 4 LINPACK 測試程式執行結果所求得之系統執行效率圖可以看出，在執行 100 X 100 程式時，向量處理系統（VPP5000 和 VPP300E）之執行效率明顯低於精簡指令集系統，而在執行 1000 X 1000 程式集時，則結果相反，此乃受資料量大小的影響所致。LINPACK 測試程式使用之資料量依 100 X 100 或 1000 X 1000 而有不同，在 100 X 100 矩陣運算中總資料量所需記憶體空間約為 640KB，而在 1000 X 1000 矩陣運算中總資料量所需記憶體空間則約 8MB。

由於精簡指令集系統之快取記憶體約為 2MB，因此在進行 100 X 100 矩陣運算測試時，指令部分和資料均能暫存於快取記憶體中，因此執行時不須進行記憶體存取，同時又能以最快速度進行運算，因此在執行效率上較向量處理系統為高。但在執行 1000 X 1000 矩陣運算測試時，由於總資料量所需記憶體空間為 8MB，遠超過快取記憶體容量，因此便會因快取記憶體存取失敗、記憶體和快取記憶體間資料移動以及記憶體存取等增加額外時間，同時處理器亦必須中斷以控制資料的存取動作，無法以最佳速率執行，因此在第二項測試所達成的效率較低。

相對於精簡指令集系統之快取記憶體結構，向量處理系統則主要是以向量處理單元負責大量資料之運算，並以向量暫存器取代快取記憶體，同時記憶體和向量暫存器間

資料的傳輸具有非常高的頻寬，因此在大量資料流動時，可以很快速的在記憶體、向量暫存器、和運算管線間移動資料。而為使系統效率提昇，則向量暫存器和運算管線之間資料流量必須保持不中斷。在圖 4 LINPACK 100 X 100 矩陣運算測試部分，由於資料量小，向量長度不足，因此在執行期間，未能有效發揮向量運算和管線運算的優勢，故在執行效率上的表現反不如精簡指令集系統。但當測試程式改成 1000 X 1000 矩陣運算時，則由於資料量增大，向量長度增長，向量暫存器和運算管線間資料流量增大，因此可以使運算管線保持在運算狀態，致使系統執行績效接近最高績效值，而有較佳的表現。

由本項測試結果可以知道，當所要處理或運算之資料量大時，則向量處理系統以其記憶體和向量暫存器間高速資料傳輸頻寬、向量資料處理運算管線之高速運算、以及負載平衡設計等因素，可以獲得較佳的績效。

(二) 訊息傳輸頻寬之比較

在本項測試中，VPP 系統（VPP5000 及 VPP300E）二者在系統結構上相同，為分散式處理系統，一個節點僅由單一處理單元構成，各節點之記憶體均為各節點之區域記憶體，系統中並沒有共享記憶體存在，節點間的資料交換均以訊息傳輸來達成，至於節點間的連結，則是採用交換網路作為內部互連網路架構。而在節點間網路傳輸頻寬部分，VPP5000 單向傳輸速率為 1600MBPS（Mega-Byte-Per-Second），而 VPP300E 單向傳輸速率則是 615MBPS，約為 VPP5000 系統的二點五分之一。而 HP SPP2000 系統則為共享記憶體架構的多重處理器系統，在依據測試結果資料所繪出之圖 5 首先可以看出，當傳輸訊息超過 32 位元組以上時，分散式系統中的 VPP5000 系統，傳輸頻寬即明顯優於共享記憶體系統中的 HP SPP2000 系統；而當傳輸資料達到 256 位元組

時，則分散式系統中的 VPP5000 系統傳輸頻寬更高達共享記憶體系統中的 HP SPP2000 系統傳輸頻寬之二倍以上。因此在執行標準訊息傳輸介面程式上，分散式系統擁有較佳之傳輸效率，不因其為分散式記憶體系統而降低資料傳輸頻寬。

其次，雖然 VPP5000 及 VPP300E 二系統均為分散式系統，但是隨著訊息交換傳輸長度的增加，則二者傳輸速率也隨著比例增加，但當所傳輸訊息超過 256 位元組時，則 VPP5000 傳輸速率成長的比例即明顯優於 VPP300E 系統。

(三)應用程式執行結果分析

由全球預報模式 T79 的執行結果圖(圖 6、圖 7、圖 8)中可以得知，在 VPP5000 系統上，如果問題的資料量及運算量不變，則當單一程式由一個處理單元依次逐漸增加進行平行處理時，則整個系統的執行績效仍呈一接近線性的程度增加，在執行時間上亦呈比例減少。以本應用程式之執行效率而言，在處理單元數目少時，其執行績效效率可達百分之九十五以上，甚至接近理論加速值。而整體績效平均維持百分之八十左右，由此可以發現 VPP5000 系統具有相當良好的可擴展性(Scalability)，此乃因：

1. 高速的內部交換網路。
2. 具有高效率的向量處理單元。
3. 平衡的系統架構。

由於 VPP5000 系統的整體架構並未單獨偏重某一特定方面，而是著重在達成系統整體性的最高績效，因此在執行實際的應用程式時，具有相當高的績效及加速值。

六、結論與建議

由本研究探討及實機測試獲得如下結論：

1. 釐清工作站與超級電腦的特性與應用領域

工作站係以提供純量計算為主，可以執行小型或不具時效性需求的應用程式，由於具有圖形輸出入顯示介面，亦適合作為模擬系統之圖形輸出入應用，以及電腦輔助設計等方面的應用，或作為大型系統的前端處理設備，以進行原始資料的先期處理或產品的後續處理。另一方面由於工作站較個人電腦穩定且具有較高的頻寬，亦常用來作為網路控管設備和服務提供主機之用。

反之，超級電腦主要目標是提供使用者一個高速且穩定的系統環境，以滿足亟需大量運算且迫切具時效性(例如：天氣預報)或無法實際進行(例如：核子試驗)的模擬分析等領域的應用。

由於人類知識領域的有限性，對於自然界的事物及因果關係的瞭解，常常借助大量的嘗試錯誤方式，以獲得正確的概念。而嘗試錯誤通常需要大量的計算，如果使用一般的電腦，如工作站，來執行此類模擬分析工作，則可能需要數天乃至數月的時間才能獲得一個結果；至於需要大量模擬的情況，則可能需要數十年，甚至數百年的時間才能得到一個接近事實的結論，故此種研究方式在工作站並不可行，而超級電腦則可真正解決此等研究的瓶頸。

由本研究可知，短期間內吾人無法僅將一些工作站以網路連接在一起來獲得真正的超級電腦。

2. 欲處理資料量大時，超級電腦績效遠較工作站為佳

由 LINPACK 矩陣運算測試結果發現，當所欲處理之資料量大時，(LINPACK 1000*1000)超級電腦所用的向量處理系統以其記憶體和向量暫存器間高速資料傳輸頻寬、向量資料處理運算管線之高速運算，以及負載平衡設計等技術，可較工作站使用之精簡指令集微處理器獲得較佳的執行績效。

3. 執行標準訊息傳輸介面程式，分散式系統的超級電腦傳輸效率明顯優於共享記憶體系統的工作站

由 MPI 程式測試結果可知，當傳輸訊息超過 32 位元組以上時，分散式系統的超級電腦 (VPP5000) 傳輸頻寬即明顯優於共享記憶體系統的工作站 (HP SPP2000)；而當傳輸資料達到 256 位元組時，則頻寬更高達共享記憶體系統中頻寬之二倍以上。因此在執行標準訊息傳輸介面程式上，分散式系統擁有較佳之傳輸效率，不因其為分散式記憶體系統而降低資料傳輸頻寬。

4. VPP5000 系統具有良好的可擴展性

由全球預報模式 T79 的執行結果得知，在 VPP5000 系統上，如果問題的資料量及運算量不變，則當單一程式由一個處理單元依次逐漸增加進行平行處理時，整體系統的執行績效仍呈一接近線性的程度增加，在執行時間上亦呈比例減少。以本應用程式之執行效率而言，在處理單元數目少時，其執行績效效率可達百分之九十五以上，甚至接近理論加速值，而整體系統績效平均維持百分之八十左右，由此可發現 VPP5000 系統具有相當良好的可擴展性。而其所以如此主要是因

- (1) 高速的內部交換網路。
- (2) 具有高效率的向量處理單元。
- (3) 平衡的系統架構。

由於 VPP5000 系統的整體架構並未特別或單獨偏重某一特定方面，而是著重在達成系統整體性的最高績效，因此在執行實際應用程式時，具有相當高績效及加速值。

誌 謝

本文得以完成首先要感謝指導教授何英治博士的悉心與耐心的指導。

此外，承蒙台灣富士通公司高效能計算機業務處湯處長先體、立法院資訊處陳處長

熙揚、中國文化大學資訊科學系蔡主任敦仁及交通部中央氣象局資訊中心葉副主任天降惠賜寶貴資料並提供建議謹致最誠摯謝意。

參考文獻

- [1] 查理斯·默里著，譚天譯，超級電腦幕後英雄，遠流出版社，台北，民國八十八年。
- [2] Chi-Sann Liou ,et al., "The Second-Generation Global Forecast System at The Central Weather Bureau in Taiwan", Weather and Forecasting ,Vol.12,No.3,part2, American Meteorological Society ,September 1997.
- [3] Jan-ming Chen , et al., "Climate Characteristics of the CWB Global Forecast System : Hydrological Processes and Atmospheric Circulation" ,Terrestrial ,Atmospheric and Oceanic Sciences TAO,Vol.10,No.4, pp.737-762,December 1999.
- [4] John M. Levsque ,Joel W. Williamson , A Guidebook to FORTRAN on Supercomputers ,Academic Press,Inc.,1989.
- [5] Karen Allen, "Will Workstation Clusters Replace Supercomputers?" ,PP.1-12 , December 21,1994.
- [6] HP web site: <http://www.hp.com/>
- [7] <http://www.net.netlib.org/benchmark>
- [8] Sara Reese Hedberg , "Parallelism Speeds data mining" ,IEEE Parallel & Distributed Technology , pp .3-5 , Winter 1995.
- [9] Sun web site: <http://www.sun.com/>