

以虛擬技術提升校園資訊系統的效能

呂建德¹ 葉俊雄² 王永鐘³ 李盛安⁴

¹ 國立台北科技大學電機工程系與開南大學資訊科技中心, ctlu@ntut.edu.tw

² 開南大學資訊管理系與資訊科技中心, 通訊作者, cyeh@mail.knu.edu.tw

³ 國立台北科技大學電機工程系與計算機與網路中心, ycwang@ntut.edu.tw

⁴ 開南大學資訊管理系與資訊科技中心, shengan@mail.knu.edu.tw

摘要

校園資訊系統是學校運作不可缺少的基本設施，它提升學校運作的效率、正確性、生產力及創新性。但校園資訊系統常有「爆量」(burst)的困擾，解決爆量問題和增強效能的方法之一為負載平衡技術。現代的系統基本上都採用虛擬技術，而電腦則採用多核心(multicore)的處理器。本論文探討如何善用多核心的計算資源和虛擬技術以提升校務系統的效能。本研究利用虛擬技術建立多台選課系統虛擬機，採用分散式壓力測試的架構，測試在眾多使用者同時選課時系統效能的表現。我們証實 1) 一台具有較多虛擬核心數量的虛擬機其效能較佳、處理速度較快、且錯誤率較低。2) 一系統使用越多虛擬機，其服務品質與效能越佳、錯誤率越低、且完成的使用者需求越多。3) 越多實體電腦同時運作可大幅提升系統的效能。

關鍵詞：負載平衡、虛擬化技術、校務系統、效能測試、多核心處理器

Abstract

The campus information technology (IT) system is an essential part of infrastructure for schools. It makes the operations of school more efficient, accurate, productive and innovative. But it encounters the burst issue. Load balancing is one approach to alleviate burst problem. Virtualization technology is widely used recently for IT services. Also most computer chips possess multicore nowadays. This paper is to study how to utilize virtualization technology and multicore computing power to increase the performance of the IT system. We build virtual machines (VMs) for, say, the class-selection system. Then we use distributed stress test to measure the performance of the system by supplying large amount of requests to it. From the experiments we perform, we have the following outcomes: 1) A VM with more virtual cores can process the user requests faster, and has lower error rate. 2) A system using more VMs has better performance and lower error rate and completes more user requests. 3) Running more physical computers can greatly increase the performance of the system.

Keywords: Load balancing, virtualization, campus IT system, performance evaluation, multicore

1. 前言

近三十年來，資訊科技的快速進步，使其如同水電一樣成為人類生活的必需品，深深地融入人類的生活中。校園資訊系統亦是學校運作不可缺少的基礎設施，它提升學校運作的方便性、效率、正確性、生產力、擴展性及創新性。然而，如何提供一可靠、穩定、快速、安全、多元、便利的資訊系統是一大挑戰。據報導，大學生最詬病的校園生活十件事情中，第二名為「選課系統常塞車，甚至還要用手動方式加簽」[1]，選課系統常常在很短的時段內(如選課開放後的二十分鐘內)有大量的連結(connection)需求，而在其他時間，連結需求不大。此類「爆量」(burst)問題對資料(或電算)中心是一大挑戰。

解決校務系統的爆量問題的方法之一為負載平衡(load balancing LB)技術，LB的目的是適當的分攤每一台服务器的負載量，致使系統能快速回應每一需求，因而可提升系統的效能。目前已有很多不同的工作分配演算法可達到負載平衡的目的[2、3、4]。

現代的系統，尤其是雲端系統，基本上都採用虛擬技術。現代虛擬技術將虛擬化由應用層往下推至作業系統(OS)層，使得應用軟體可將其本身連同其所需的作業系統和其配件軟體包在一個虛擬機(virtual machine)內，因而本來需在不同實體電腦上工作的應用軟體(可能在不同的作業系統上執行)可以在同一台實體電腦上共同工作，這樣可造成實體電腦的簡縮(consolidation)，也可使系統管理的複雜度減少很多，並給應用軟體的安裝建置很多便利性，應用軟體可在任一實體電腦上工作，只要他們都安裝相同的虛擬平台上。這些特性提升了系統的可移性(portability)及可靠性(reliability)，也降低總體經費，並可增強負載平衡的功效與系統的效能(performance)，這使得現代虛擬技術被受廣泛的使用。目前虛擬技術較有名的有Xen、VMWare、Microsoft Hyper-V和KVM。

現代的電腦都採用多核心(multicore)的處理器。本論文將探討如何善用多核心的計算資源和虛擬技術來提升校園資訊系統的效能，諸如實體電腦數量、虛擬機數量與其虛擬核心(core)數量對系統效能的影響為何等問題，依此結果可以協助系統設計者了解如何使用虛擬技術助益雲端系統的運作。本篇的論文架構如下：第二節將介紹相

關研究；第三節為研究方法和測試環境的概述；第四節為測試結果與效能評估；第五節結論與未來展望。

2. 相關研究

設計及建置資訊系統須考慮成本、功能、效能、電能消耗等要素。效能的增強是工程師提供優質資訊服務的主要目標之一，也是學者研究的重要議題之一。提升系統效能的方法包括平行計算、分散式系統和負載平衡等技術。

負載平衡方法可分為靜態型和動態型[2、3]，靜態型 LB 是工作分派至某一台電腦後，就在此台電腦執行此工作至完成。而動態型 LB 是工作分派至某一台電腦後，仍可依此台電腦的負載狀況而移至別台電腦執行其工作。LB 可運作在同質性環境或異質性環境，也可應用在一般性目的(即執行不同的應用軟體)或特定目的(即只執行單一應用軟體)。

Banawan 等人[3]與 Braun 等人[4] 比較各種 LB 方法的效能。Sit 等人[2]提出系統效能之量測指標，並同時採用靜態型及動態型的負載平衡方法以達到提升系統之效能。Wang 等人[5]提出三階層的雲端系統的負載平衡方法，他們考量可用的 CPU 容量、記憶體容量和網路頻寬，並採用 min-min 技術分派工作。以上的研究都未使用虛擬技術。呂泓縉等人[6]探討應用軟體在實體機、虛擬機在同一台實體機上、以及虛擬機在不同實體機上執行時的效能比較，他們也考慮處理器內之核心數對效能的影響，此可做為資料中心在佈建負載平衡功能時之參考。

3. 測試系統之設計

本論文之測試情境是以單一應用系統同時服務諸多獨立使用者時，採用負載平衡技術將總體負載分散到多台同質性虛擬機執行，以量測系統的回應時間。而前端負責工作(或需求)分配的負載平衡器(load balancer)則採用商業產品，商業負載平衡器都會提供多種負載平衡的方法。又我們所用之應用軟體為學校實際使用的選課系統(含資料庫)，而非模擬的軟體。

根據以往經驗，選課系統於即時加退選第一天，同時上線選課的學生人數最多，此時系統負擔最大，經觀察，學生大量登入選課系統為即時加退選開放時間初期的 20 分鐘。

模擬負載時可設定是否要加入使用者的思考時間[7]，思考時間為使用者停下來觀看頁面資訊或填寫資料，再點選另一個頁面的時間，加入思考時間會更精確的模擬使用者行為，但若是測試網頁伺服器的吞吐量，則可設定不加入思考時間，此時網頁伺服器將一直處於忙碌狀態。

圖 1 為模擬學生選課樣本示意圖。測試樣本為每一學生皆選一門課，選課過程中有模擬學生點

選頁面的思考時間，完成選課後登出系統。

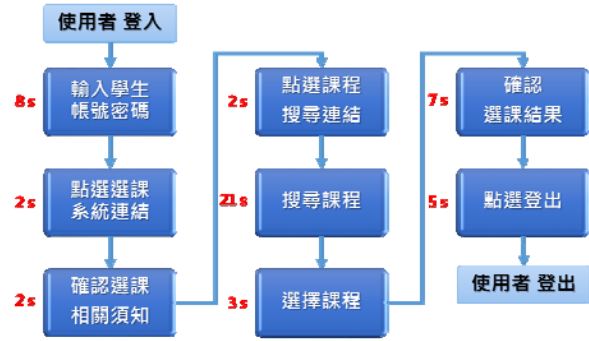


圖 1 學生選課示意圖

簡要的選課系統架構圖如圖 2 所示。本研究利用學校現有系統架構為主，藉由虛擬技術改變選課系統數量與其虛擬核心數量，量測出符合學校選課需求的理想配置。

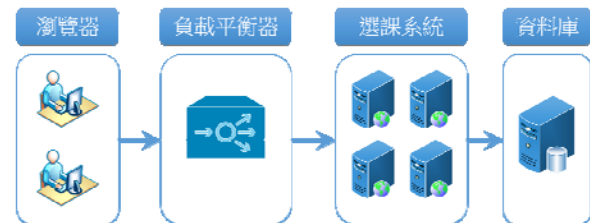


圖 2 選課系統階層圖

本論文的測試系統架構如圖 3 所示，測試平台和資料庫系統各安裝在一台實體伺服器上，而選課系統可能使用一台或多台實體伺服器。實體伺服器則利用 Microsoft Hyper-V3.0 虛擬技術建立所需之虛擬機。

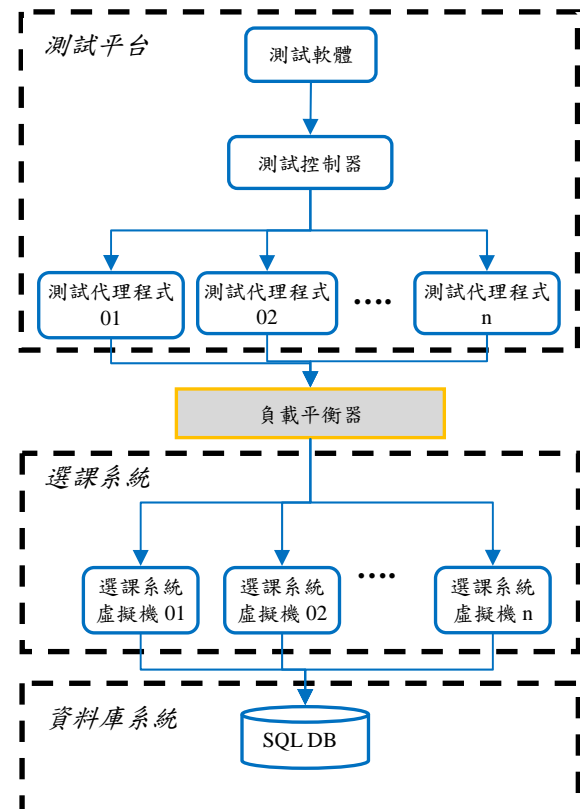


圖 3 測試系統架構

實體伺服器使用型號為 B200 M3 的 Cisco UCS 機箱刀鋒型伺服器，其規格如表 1 所示。

表 1 伺服器規格

規格項目	內容
處理器名稱	Intel Xeon E5-2640
處理器頻率	2.5GHz
實體處理器數量	2
邏輯處理器數量	12 核心
記憶體大小	96GB
網路卡	10Gbps

負載平衡器為 A10 AX2500，其規格如表 2 所示，其提供輪替法(round-robin)、權重輪替法、最少連線數法(least-connection)與權重最少連線數法等等靜態負載平衡演算法，本論文使用的負載平衡演算法為最少連線數。

表 2 負載平衡器規格

規格項目	內容
處理器名稱	Intel Xeon 2.27GHz
記憶體大小	6GB
網路介面	8 x 1 Gb Copper
應用層吞吐量	10Gbps
Layer 4 同時連線數	每秒 30 萬個
Layer 7 同時連線數	每秒 195,000 個

本論文的測試平台利用虛擬技術建立多台虛擬機，採用分散式壓力測試架構，測試樣本由測試軟體發送給測試控制器，再由測試控制器分派給測試代理程式處理，測試代理程式模擬多個使用者選課行為。測試平台規格為 4 核心的虛擬處理器、4,096 MByte 的記憶體、10Gbps 的網路卡、Windows Server 2008 R2 的作業系統。

Visual Studio 2010 Load Test 具有分散式壓力測試功能，能模擬多個使用者同時拜訪同一個網站。Visual Studio 2010 Load Test 的分散式壓力測試架構必須搭配測試控制器(Load Test Controller)與測試代理程式(Load Test Agent)，測試代理程式負責產生模擬多個使用者，測試控制器負責協調測試代理程式，並收集測試結果。

選課系統之虛擬機規格如表 3 所示，依測試樣本不同調整虛擬處理器的虛擬核心數量，其餘規格皆相同。

表 3 選課系統之虛擬機規格

規格項目	內容
作業系統	Windows Server 2008 R2
虛擬處理器	1、2、3、4、6、12 核心
記憶體大小	4096MB
網路卡	10Gbps

資料庫管理系統(DBMS)採用微軟 SQL Server 2008 R2，其虛擬機之規格為 12 核心的虛擬處理器、40,960 MByte 的記憶體、10Gbps 的網路卡。該實體伺服器只執行一個 SQL Server 虛擬機。

4. 測試結果與討論

壓力測試樣本採固定維持 20 分鐘，增加同時上線人數，測試學生選課完成時間與 20 分鐘內可完成多少筆選課紀錄。為了更貼近真實情況，測試樣本為一位學生選一門課程所需流程並加上思考時間，思考時間分佈於選課流程各步驟，如圖 1 所示，總時間為 50 秒。

每個實驗組皆使用相同測試樣本，測試樣本為固定 20 分鐘內，模擬不同數量的學生，每一種學生數量測試 3 次，完成時間為這 3 次所量測得到的數值，取 3 個標準差 99.7% 樣本數的平均值，完成選課人數也是取 3 個標準差 99.7% 樣本數的平均值。實驗中壓力測試模擬同時上線人數為 10 人、50 人和以 100 人為單位遞增至壓力測試的目標人數。壓力測試的過程中，當選課系統產生 HTTP 5xx Server Error Code 的狀態碼[8]，即列入錯誤，錯誤率為錯誤次數/總測試次數的百分比。

為了取得選課系統效能最佳點，實驗中取消每門課的選課人數限制，讓每位學生都選得到課，不會因為人數限制而被選課系統拒絕。

4.1 虛擬機的虛擬核心數量與系統效能的關係

本實驗區分 6 個實驗組如表 4 所示，藉由模擬學生選課樣本執行壓力測試，探討虛擬機的虛擬核心數量與系統效能的關係。

表 4 選課系統配置

組別	虛擬機數量	虛擬機之虛擬核心數量	總核心數量
第一組	1	1 核心	1 核心
第二組	1	2 核心	2 核心
第三組	1	3 核心	3 核心
第四組	1	4 核心	4 核心
第五組	1	6 核心	6 核心
第六組	1	12 核心	12 核心

由於一個選課系統所能承受的選課人數有限，本實驗量測同時上線的目標人數最多為 900 人。由圖 4 得知，於固定 20 分鐘內，當同時上線人數增加至超過各組能處理的人數時，平均每人完成時間皆隨之增加。第六組的平均完成時間的增加幅度比較緩慢，由此可得，使用單一虛擬機時，增加虛擬核心數量(但不超過上限)有助於系統處理的速度。對每個實驗組而言，同時上線的人數不超過 100 人時，其完成選課時間的延遲不多，

這表示各實驗組皆可容納同時線上人數 100 人。隨著同時上線人數的增加，各實驗組的處理能力就會不同。以同時上線人數 400 人為例，扣除思考時間後，第一組平均每人選課處理時間為 96.34 秒，第六組平均每人選課處理時間為 9.12 秒，第一組的平均每人選課處理時間為第六組的 10.56 倍。

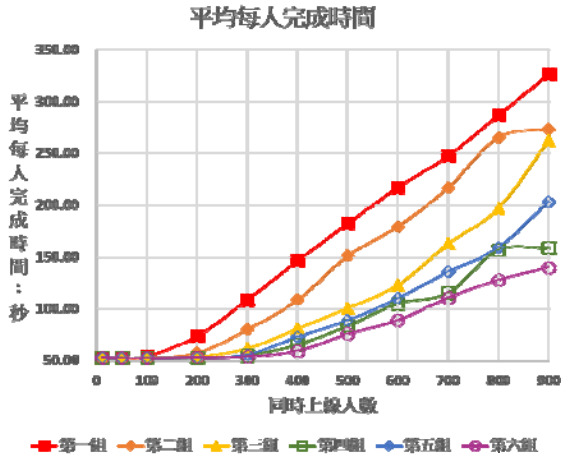


圖 4 平均每人完成時間

於圖 5 發現第六組其能處理的同時上線人數最多，同一實驗組中到達其同時上線人數瓶頸後，能處理的選課人次就會慢慢遞減，無法隨著同時上線人數的增加而增加處理選課人次，例如第六組實驗中發現完成最大選課人數是當同時上線人數 400 人時，平均完成選課人次為 7562 人次，當同時上線人數為 500 人時，其完成選課人次平均為 7309 人次，之後隨著同時上線人數的增加能處理的選課人次就遞減，依此實驗數據發現第六組處理效率最佳點為同時上線人數 400 人。

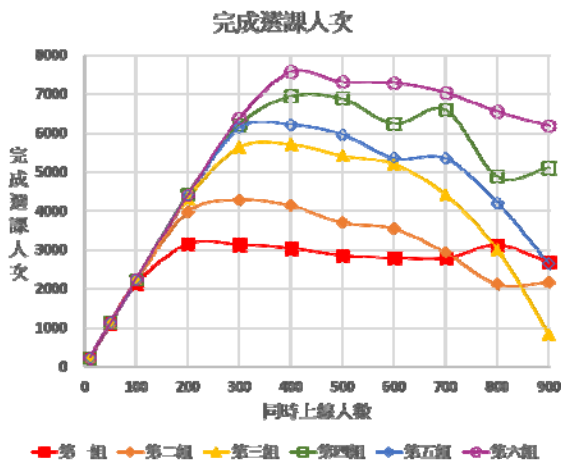


圖 5 完成選課人次

於圖 6 發現第一組和第六組於同時上線人數不超過 900 人時，其錯誤率在 10% 以下，於此時，第三組的錯誤率為 73.22%。

由本實驗得到，虛擬核心數量最多的第六組效率最佳點為同時上線人數 400 人，平均完成選課 7562 人次，平均每人完成時間 59.12 秒，扣除思考

時間，選課系統的平均處理時間大約為 9 秒。虛擬核心數量最少的第一組效率最佳點為同時上線人數 200 人，平均完成選課 3140 人次，平均每人完成時間 73.73 秒，扣除思考時間，選課系統的平均處理時間大約為 23 秒。因此，以單一選課系統比較，虛擬核心數量越多其系統效能越佳。

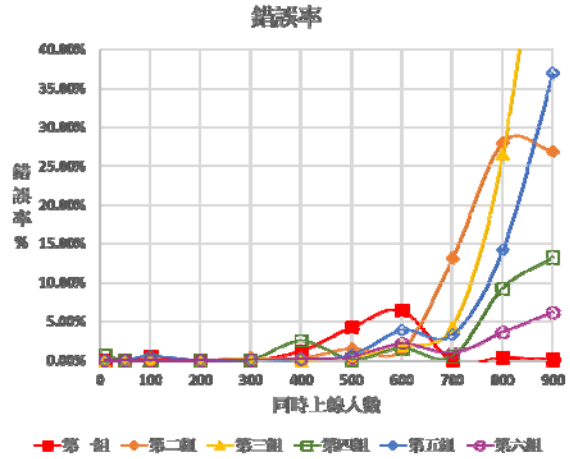


圖 6 錯誤率

4.2 虛擬機數量與系統效能的關係

由於虛擬技術採用處理器資源共用池概念，本實驗所使用的實體伺服器擁有 12 核心邏輯處理器，本實驗分 6 組為之，如表 5 所示，藉由改變選課系統虛擬機數量與其虛擬核心數量，探討於不超過實體邏輯處理器數量時虛擬機數量與系統效能的關係。

表 5 選課系統配置

組別	虛擬機數量	虛擬機之虛擬核心數量	總核心數量
第一組	1	12 核心	12 核心
第二組	2	6 核心	12 核心
第三組	3	4 核心	12 核心
第四組	4	3 核心	12 核心
第五組	6	2 核心	12 核心
第六組	12	1 核心	12 核心

由圖 7 得知，第六組的平均完成時間的增加幅度比較緩慢，而且，系統處理速度隨虛擬機數量增加而加快。

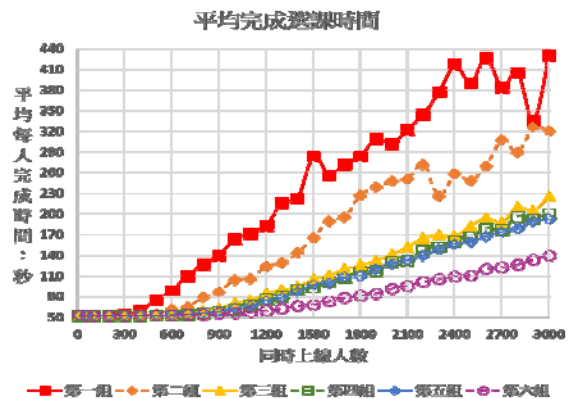


圖 7 平均每人完成時間

由圖 8 得到，第六組表現最佳，同時上線 1500 人時，平均完成 25,334 選課人次，當同時上線人數超過 1500 人，其完成選課人數並不像其他各實驗組呈現崩潰急速下降的趨勢。

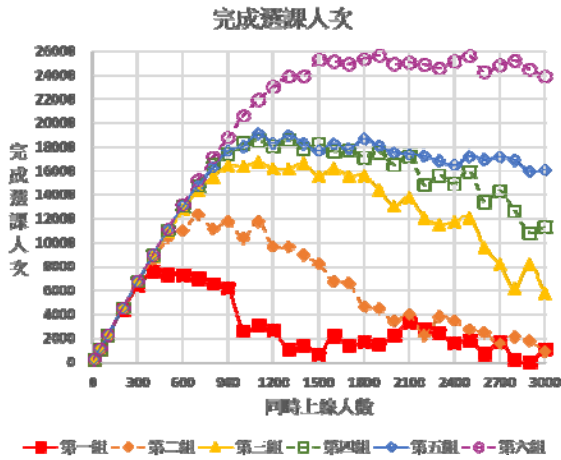


圖 8 完成選課人數

由圖 9 得到，於同時上線人數 3000 人時，第六組錯誤率表現最佳，其錯誤率最高為 0.49%，第五組錯誤率表現次佳，其錯誤率最高值為 3.59%。

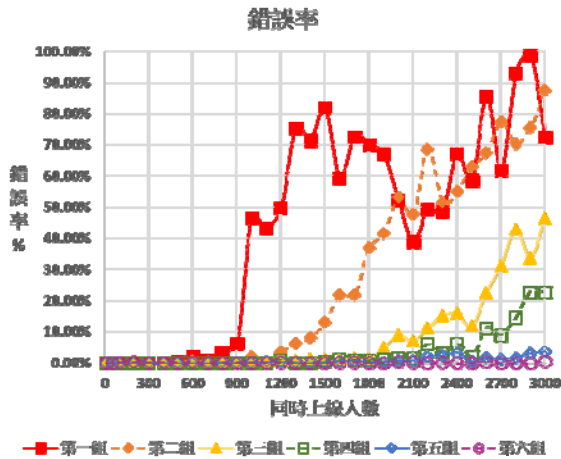


圖 9 錯誤率

由本實驗可知增加虛擬機數量比增加單一虛擬機的虛擬核心數量對系統的效能更有幫助。虛擬機數量最少的第一組瓶頸點為同時上線 900 人時，若超過瓶頸點，其錯誤率急速增加，完成選課人次也急速減少。虛擬機數量最多的第六組效率最佳點為同時上線 1500 人時，可完成 25,334 人次的選課，平均每人完成時間為 68.47 秒，若扣除思考時間，系統處理時間平均每人約為 18.47 秒。

4.3 多台實體伺服器與系統效能的關係

本實驗使用一台及二台實體伺服器，每台實體伺服器都配置十二台選課系統虛擬機，每台虛擬機都給予一個虛擬核心，此系統配置如表 6 所

示，探討增加實體伺服器對於系統效能的關係，並將壓力測試的目標人數提升到同時上線 6000 人。

表 6 選課系統配置

組別	實體伺服器數量	每台伺服器的虛擬機的數量	總虛擬機的數量
第一組	1 台	12	12
第二組	2 台	12	24

以圖 10 中同時上線人數 6000 人為例，若扣除思考時間，第二組平均每人選課處理時間為 90.96 秒，第一組平均每人選課處理時間為 218.73 秒，第一組的平均每人選課處理時間為第二組的 2.4 倍。

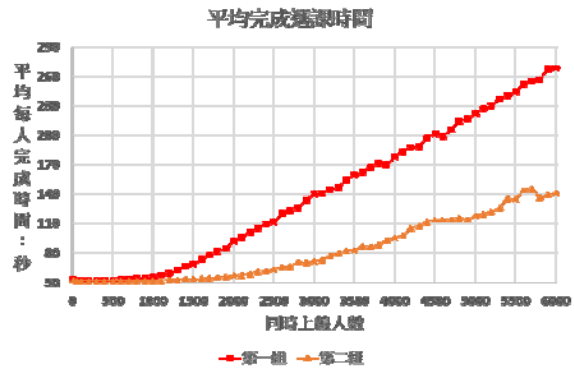


圖 10 平均每人完成時間

圖 11 顯示第一組的效能最佳點為同時上線 1500 人，此時系統平均完成 25,334 個選課人次，第二組的效能最佳點為同時上線 3100 人，此時系統平均完成 48,840 選課人次。第二組的效能最佳點所能容納的人數為第一組的 2.06 倍，第二組效能最佳點的平均完成選課人數為第一組的 1.93 倍。



圖 11 完成選課人數

圖 12 中，兩組於同時上線人數不超過 6000 人時，其錯誤率都在 1% 以下，表現符合要求。

由本實驗得知在未達網路與資料庫伺服器效能瓶頸時，第二組與第一組比較的結果顯示增加一台實體伺服器其效能有倍增效果。藉由此實驗結果，學校可依照其學生的人數設計出選課時需要幾個實體伺服器與虛擬機數量才能滿足學生選課

的需求。

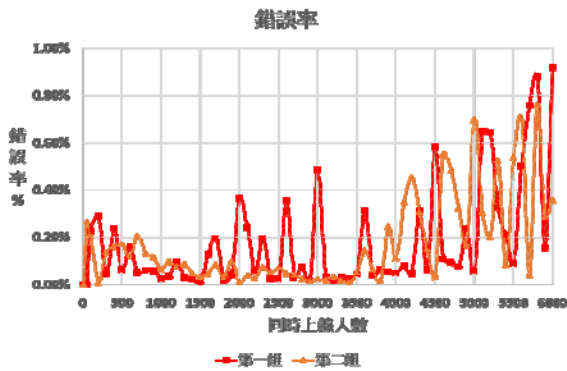


圖 12 錯誤率

5. 結論與未來展望

本研究利用虛擬技術模擬大量選課人數對系統做壓力測試，探討實體電腦數量、虛擬機數量與其虛擬核心數量對系統效能的影響。我們得到下列結果；1)一台具有較多虛擬核心數量的虛擬機其效能較佳，但效能的增強有限。2)使用 n 台虛擬機的系統之效能比使用一台具有 n 個虛擬核心數量的虛擬機更佳，而效能的增強更高。3)使用兩台實體機的系統之效能比使用一台實體機增加一倍，同時，在處理效率最佳點時，同時上線人數亦增加一倍。在此三個實驗中，效能的增加比例以第三種情境最好，其次為第二種情境。

本實驗方法亦提供學校資料中心一種設計負載平衡機制之虛擬機配置的方法，學校可依據其現有的環境(如實體電腦數量及其處理器之核心數量)，以及選課需求(如學生人數和開課數量)，以虛擬技術設計高效能的負載平衡系統，於選課期間達到符合學校的要求與學生的期望。此方法亦可應用至其他高需求的軟體服務系統。

近十年來，雲端計算及虛擬技術為資訊技術之重要研究題材和使用實例。由上述的結果，我們認為一個雲端服務系統欲使用負載平衡及虛擬技術，以增強其系統之效能時，可使用多台實體機，而每台實體機可執行 n 台單一虛擬核心之虛擬機，在此， n 是實體機能達到最佳效能可跑的虛擬機數量。本研究可做為工程師在設計和建置合適效能之雲端服務系統(如線上交易處理系統)的參考。

未來本實驗可延伸至研究實體機之容量(capacity)對虛擬機數量的影響，如一台 6 核心之實體機，其可跑之最佳虛擬機數量為何，實體機之容量參數包括計算核心數量、記憶體之容量、輸入/輸出(I/O)之頻寬等因素。此外，可思考虛擬機動態啟動的設計，使得系統能自動化動態擴張與縮減，達到節能減碳的效果。

參考文獻

- [1] 遠見雜誌, 大學生最詬病校園生活哪 10 件事, http://www.gvm.com.tw/Boardcontent_19692.html
- [2] Hau Yee Sit, Kei Shiu Ho, Robert W. Luk, Lai Kuen Ho, "An Adaptive Clustering Approach to Dynamic Load Balancing," Proceedings of the 7th International Symposium on Parallel Architecture, algorithms and Networks (ISPAN'04), 2004, pp. 415-420.
- [3] Sayed Banawan, Nidal M. Zeidat, "A Comparative Study of Load Sharing in Heterogeneous Multicomputer System," Proceedings of the 25th Annual Simulation Symposium, April 1992, pp. 22-31.
- [4] Tracy D. Braun, Howard Jay Siegel, Noah Beck, Ladislau L. Boloni, Muthucumar Maheswaran, Albert I. Reuther, James P. Roberts, Mitchell D. Theys, Bin Yao, Debra Hensgen, Richard F. Freund, "A Comparison of Eleven Static Heuristics for Mapping a Class of Independent Tasks onto Heterogeneous Distributed Computing Systems," Journal of Parallel and Distributed Computing, vol. 61, Issue 6, June 2001, pp. 810 - 837.
- [5] Shu-Ching Wang, Kuo-Qin Yan, Wen-Pin Liao, Shun-Sheng Wang, "Towards a Load Balancing in a Three-level cloud Computing Network," 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010, pp.108-113.
- [6] 呂泓縉、賴仲哲、石旻諺、李昱宏、呂承義、葉俊雄(通信作者)、李盛安(通信作者), "虛擬化網頁伺服器負載平衡效能分析", #F-417-1, Session F1, TANET2012 臺灣網際網路研討會, 銘傳大學, 龜山鄉, 桃園縣, Oct. 23, 2012 - Oct. 25, 2012.
- [7] Editing Think Times to Simulate Web Site Human Interaction Delays in Load Tests Scenarios, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd997697.aspx>
- [8] List of HTTP status codes, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_HTTP_status_codes#5xx_Server_Error