

網頁伺服器負載平衡架構效能之比較

Performance Comparison of Web Server Load Balancing Frameworks

¹ 陳信宏 ² 陳建伯 ³ 包蒼龍

¹ Hsin-Hung Chen ² Jian-Bo Chen ³ Tsang-Long Pao

¹ 銘傳大學資訊網路處

¹ Information Network Division,

Ming Chuan University

² 銘傳大學電腦與通訊工程學系

² Department of Information and Telecommunications Engineering,

Ming Chuan University

³ 大同大學資訊工程學系

³ Department of Computer Science and Information Engineering,

Tatung University

摘要

網路服務提供者，如搜尋引擎、入口網站、購物網站甚至校園選課系統、數位學習系統，最常面臨的是短時間內大量的用戶端連線造成前端伺服器或後端儲存資料的資料庫無法負荷。對於系統管理者的挑戰，是如何使網路服務能夠快速回應、系統保持穩定，甚至於系統可以彈性擴充、具有容錯性等。目前解決大量連線問題方式大都是以負載平衡架構來處理。雖然目前有許多開放原始碼可以用來架設負載平衡架構，但並非適用於各種網路服務，而且通常還會有一些不足和限制。本研究將針對線上數位學習系統在不同的負載平衡架構之效能進行評估。所探討的負載平衡架構包括開放原始碼的 HAProxy、L4-L7 負載平衡設備以及 HTTP Redirect 等架構。希望藉由三種架構的效能比較，評估線上數位學習系統使用何種架構來服務較為適合。

關鍵字：負載平衡、網頁伺服器

Abstract

The most common problem faced by the Internet web service provider is to resolve the congestion problem caused by the large number of on-line users at a very short time interval. For a system administrator, the most often encountered problem is how to make web server respond quickly and provide better quality of services for the users. The load balancing architecture has been proposed and used to overcome this issue. Although there are many open

source solutions that can be used to build a load balancing architecture, these solutions may not be suitable to various Internet services, and may have a number of deficiencies and limitations. In this thesis, we will evaluate the existing structure of the load balancing architecture, including the open source HAProxy, Layer 4-Layer 7 load balancing equipment, and HTTP redirect structure, to see how they perform in the e-learning system. By comparing the results of these three frameworks, we can conclude that the HTTP redirect is best for the e-learning system.

Keywords: load balance, web server

1. 前言

隨著寬頻網路的布建密集與成熟化，寬頻網路已成為國家的基礎建設。在此環境下，更多形形色色網路應用便會於網路上頻繁的交流，導致單一伺服器已無法負擔快速成長的網路交通。因此，多伺服器負載平衡架構已成為目前網路架構主流。負載平衡架構是一種經常用來解決單一伺服器負載過重的方法。一些知名的網站，像是微軟(www.microsoft.com)或是 Google(www.google.com) 等，為了能夠提供用戶端最佳的服務，通常都會採用負載平衡的技術來減少用戶端的回應時間或是降低伺服器的負擔。然而，伺服器負載平衡的技術有很多種，要如何選擇一種適合自己環境的架構，到目前為止，仍然是一項極大的挑戰。

本文主要的測試目標，是希望能夠找到一種較佳的伺服器負載平衡架構，可應用於學校的線上教學平台上。我們測試的線上教學系統是開放原始碼的 Moodle(modular object-oriented dynamic learning environment)教學平台 [8]，所測試的網頁是經由後端資料庫所查詢出來的資訊，如此才能夠真正測試出線上教學平台的效能。但是又不希望整體負載平衡系統的瓶頸是發生在資料庫伺服器上，因此資料庫使用硬體效能較高的伺服器，以避免這樣的問題發生。

在負載平衡架構的選擇上，我們採用了三種方式來做比較。第一種是用 Layer7 負載平衡設備的架構，以 Nortel 的 Alteon 負載平衡設備 [5][9][10]來進行負載平衡。第二種是用開放原始碼的 HAProxy (High-Availability Proxy) [7]來進行負載平衡。第三種是用 HTTP Redirector [1][2] [10]的方法來進行負載平衡。經由大量的用戶端連線，分別比較平均回應時間，以便能決定出哪一種架構是最適合應用在線上教學系統上。

本文的架構說明如下。第二節為相關的研究，包括 Layer7 Switch、HAProxy 以及 HTTP Redirector。第三節為系統架構以及實驗的方法。第四節為實驗環境以及實驗結果。第五節為結論。

2. 相關研究

本節將針對本文中所提到的三種負載平衡架構，分別描述其運作原理、方法、以及其優缺點。

2.1. Layer 4-Layer 7 Switch

本研究測試 L4-L7 交換器為 Nortel 網路公司所生產的 Alteon 2424E 系列負載平衡器。L4 和 L7 負載平衡設備分別位於開放式系統互聯模型的 L4 傳輸層和 L7 應用層。L4 主要功能為檢視 TCP 或 UDP 表頭內的埠號以做為資料的交換或重導。L7 則處理 URL，由於其功能比 L4 繁複的多，因此處理速度比 L4 慢。L7 負載平衡設備也具備 L4 負載平衡功能，因此市場將其統稱為 L4 - L7 伺服器負載平衡設備或是訊務管理設備。此類型設備不僅可檢視 L4 相關資訊以便將訊務作適當導向，並可進一步分析封包及讀取應用程式資料。

L4-L7 負載平衡設備架構如圖 1，首先用戶端與負載平衡設備完成三項交握程序，用戶端開始傳送 HTTP 請求，負載平衡設備收到 HTTP 請求，開始分析 HTTP 請求，並依據表頭以及 URL 相關資訊轉送至後端伺服器。後端伺服器收到 HTTP 請求之後傳送 HTTP 回應至負載平衡設備。負載平衡設備收到此 HTTP 回應重新調整 sequence numbers 並轉發回用戶端。

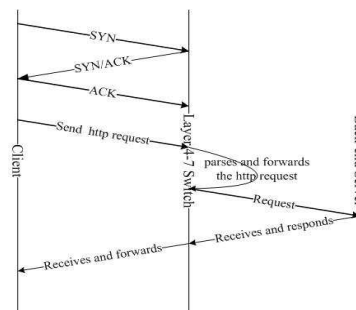


圖 1 Layer 4-Layer 7 負載平衡設備架構圖

2.2. HAProxy

HAProxy 為一自由、免費、開放原始碼的軟體。是一種高效能的 Load Balance/Reverse Proxy，具有多種平衡演算法，以及具有強大狀態檢查功能，能確保用戶端所送出的 request 導向至正常服務的伺服器。其運作方式同於 L4-L7 負載平衡設備。HAProxy 是一個基於 TCP/HTTP 負載平衡軟體。特性即安全、易於架設、功能強大(支援 cookie track、header rewrite 等等)，此外系統提供簡顯易懂的系統監控以及統計報表畫面，管理者可清晰了解目前系統整體服務以及運行狀況。

2.3. HTTP Redirector

HTTP redirector 主要是將用戶端的請求透過撰寫的演算法至資料庫選出適當可服務的伺服器，再將用戶端請求轉送至可服務的伺服器處理。當網頁伺服器接收到一個 HTTP 請求，會回覆一個 HTTP 回應，為了處理一個請求網頁伺服器可以回覆一個動態、靜態頁面或圖片或者進行頁面的轉向，負責將所有 HTTP 請求轉向給後端可服務的伺服器處理。用戶端發送請求至 HTTP redirector 伺服器。Redirector 透過 HTTP redirect 方法使瀏覽器連接到一個新指定的 URL，這一個回應中會指出狀態代碼 302（表示目的地已經改變）以及新的 URL。瀏覽器從伺服器收到該回應，包含新的目的地，用戶端瀏覽器對新目的地伺服器再一次發出 HTTP 請求。使用此方式的優點在於建置快速簡易，具高可用性、高延展性；而其主要缺點在於用戶端端總共花費到兩次與伺服器的通訊時間：第一次是對原始頁面的請求，得到一個 HTTP 302 狀態回應，第二次才是對轉向的新 IP 位址發送 HTTP 請求，因此第一次連線需花費較多的時間。

3. 相關研究

3.1. 系統架構

本研究的環境建置採用負載平衡技術建置高效能的網頁服務系統[3][4][6]，以此概念設計的網頁服務系統可具有伺服器負載平衡的特性，且有效縮短伺服器回應時間。當用戶端對此架構的網頁服務系統提出存取網頁的要求時，系統會依採用的負載平衡技術，將用戶端提出的網頁請求有效分散到後端可服務的伺服器處理。藉由負載平衡的架構，使得網頁服務系統可以有效縮短系統回應時間、進而提升整體系統的效能。本研究旨在提出在相同架構下依據不同的分配器所訂定的效能測試規劃，而評量效能的標準是透過伺服器平均回應時間、每秒最大連線數及伺服器的負載(如 CPU 使用率、系統負載等)。最後，為了測試實際連線情形，本研究將部分網頁伺服器分別置放於不同城市，透過與 ISP 的介接，再分別測試 HTTP redirector 架構以及 HAProxy 架構，檢驗結果是否與區域網路內測試結果相同。

我們針對前面所提的三種負載平衡來做架構比較。經由大量的用戶端連線，分別比較伺服器平均回應時間、每秒最大連線數及伺服器的負載，以便能判定出哪一種架構是最適合應用在線上教學系統上。

3.2. 實驗方法

由於需要經過多次的實驗才能測量出系統之效能，因此必須要有一套良好的測試流程，以能夠使實驗快速且正確地進行。因此，一開始先依環境建立章節設定架設後端伺服器、log 伺服器、資料庫伺服器以及各種分配器。其次，架設 20 台用戶端電腦，並安裝 FreeBSD7.0 作業系統以及所需要執行的 php 程式以及測試網站伺服器所需的 thread 測試程式。透過主機上的 crontab 設定，除了 NTP 校時外，定時去檔案伺服器主機下載更新 crontab 以及設定時間執行發送請求數的程式。用戶端電腦使用 wget 程式下載新的

crontab、client.php，每隔 10 分鐘下載一次新的 crontab，如此修改實驗程式、程式執行時間或用戶端電腦關機，可全部經由修改 crontab 即可。

實驗一開始先將需要給用戶端下載的資料(crontab、client.php)儲存於一檔案伺服器。每十分鐘用戶端會執行校時動作，以確保所要求的指令能同時執行。爾後每十分鐘進行下載動作，以確保所需執行動作為最新指令。crontab 設定用戶端每 1、31 分時，同時對分配器執行請求讀取網頁命令。每次實驗時間約 3~8 分鐘，當指令執行完成後間隔數分鐘，將後端伺服器以及用戶端電腦重新開機，以確保每次 back-end server 以及用戶端電腦的資源、效能皆相同。最後，檢查 Log 伺服器資料是否如實紀錄。

4. 實驗環境及實驗結果

4.1. 實驗環境

在本文實驗中，所使用的硬體設備包括後端伺服器、資料庫、L4-L7 switch、HAProxy、HTTP Redirector、以及用戶端，其詳細規格及數量如表 1 所示。所安裝所使用的軟體包括後端伺服器、資料庫、HAProxy、HTTP redirector 以及用戶端，其詳細規格如表 2 所示。

表 1 硬體設備規格表

設備名稱	CPU	記憶體	數量
用戶端電腦	Core2 Duo 1.86GHz	1G	20
Log 伺服器	Xeon 3.2GHz *2	16G	1
HAProxy	Core2 Duo 1.86GHz	2G	1
HTTP redirector	Core2 Duo 1.86GHz	2G	1
L4-L7 switch	Nortel Alteon 2424E		1
後端伺服器	Intel Pentium 3.0GHz	1G	4
資料庫伺服器	Xeon 3.2GHz *2	16G	1

表 2 軟體設備規格表

設備名稱	作業系統	PHP	Web Server	Database	負載平衡軟體
後端伺服器	FreeBSD7	PHP5	Apache 2.2	—	—
資料庫伺服器	FreeBSD7	PHP5	Apache 2.2	MySQL5.1	—
HAProxy	FreeBSD7	PHP5	—	—	HAProxy1.3.15
HTTP redirector	FreeBSD7	PHP5	Apache 2.2	MySQL5.1	—
用戶端電腦	FreeBSD7	PHP5	Apache 2.2	—	—

4.2. 實驗結果

系統從規劃、建置至測試完成取得數據，所涉及的範圍相當廣泛，包含系統分析、系統的功能分析、系統架構分析以及系統實作測試完成。對於用戶端而言，希望系統所能提供的服務能夠快速回應，不會因同時上線人數增加，導致系統反應變慢。本文將針對回應時間、系統負載以及 CPU 使用狀況來分別討論測試三種架構效能。

平均回應時間

本文所定義的平均回應時間，為一段時間內用戶端電腦同時送出的 HTTP 請求數於後端伺服器中處理完成的時間平均。實驗中用戶端電腦同時持續發送 HTTP 請求一段時間，X 軸表示每秒接受的 HTTP 請求數，Y 軸表示平均處理一個 HTTP 請求時間，2W 表示使用 2 台 web 伺服器。從圖 2 得知一台 web 伺服器可同時承受 350 至 400 連線數，當每秒連線數達 350 連線數左右，web 伺服器無法即時回應使得平均回應時間飆高。從兩台 web 的結果分析，兩台 web 伺服器可同時承受的連線服務約 600 至 650 左右時間開始往上飆高，此外 HTTP redirector 方式能夠使得平均回應較快速。

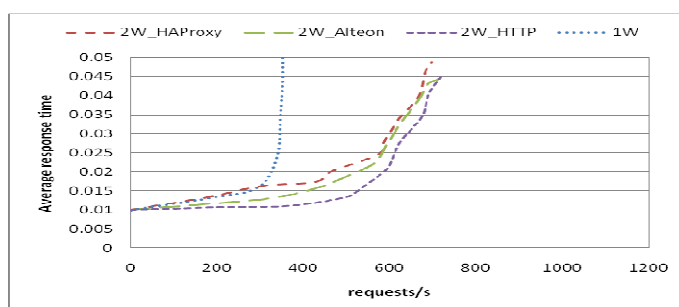


圖 2 兩台web伺服器的每秒平均回應時間

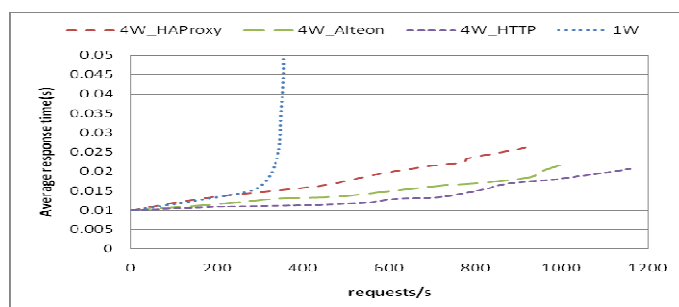


圖 3 四台web伺服器的每秒平均回應時間

圖 3 為四台 web 伺服器的每秒平均回應時間圖，圖中可觀察出 HTTP redirector 方式平均回應時間較快速。由兩台、四台的每秒平均回應時間得知，HTTP redirector 方式皆呈現較快速的回應。對於用戶端電腦而言，HTTP redirector 方式只有第一次需等待兩次 HTTP 回應時間，爾後的 HTTP 請求接直接由 web 伺服器直接回應。L4-L7 交換器及 HAProxy

的方式，用戶端電腦的 HTTP 請求及後端伺服器的 HTTP 回應皆須經由中間分配器，其次為了使用戶端電腦的 HTTP 請求皆由同一台後端伺服器服務，因此中間分配器必須解析 URL 檢查是否有加入特定的 cookie 字串，如果是第一次連線則加入特定 cookie，如果已包含則判斷分配哪一台後端伺服器。為了使用戶端與其一開始所連上之伺服器持續保持連線，分配器上的解析以及加入的動作使得轉送的速度稍微慢一點。因此 HTTP redirector 方式的速度會較快。

系統負載

本研究所定義的系統負載為一段時間內用戶端電腦同時送出的 HTTP 請求數於後端伺服器中所發生的系統負載，由系統負載可以參照當平均回應時間等待較長時間時，後端伺服器的系統負載情形。一般定義 $\text{load average}/\text{CPU} < 3$ 此時系統負載是輕的， $\text{load average}/\text{CPU} > 5$ 此時系統負載是過重的。如圖 4 為四台伺服器負載比較。

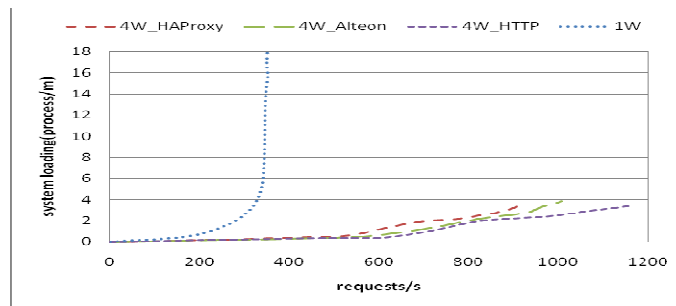


圖 4 四台伺服器的系統負載比較圖

CPU 使用率

由上述分析得知系統負載與每秒平均回應時間的正向關係，接下來將分析系統的 CPU 的使用比較。同樣地，CPU 率使用為一段時間內用戶端電腦同時送出的 HTTP 請求數於後端伺服器中所發生的 CPU 的使用率比較。由圖 5 可知當系統的每秒平均回應時間逐漸增長以及系統負載逐漸攀高時，相對伺服器的 CPU 的使用率也逐漸攀高。相同地，HTTP redirector 的方式 CPU 的使用率同樣低於其他兩種方式。

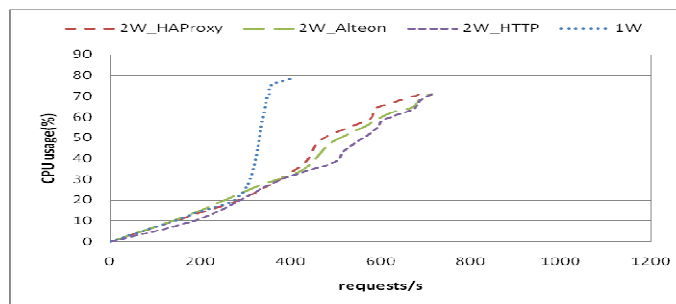


圖 5 兩台伺服器的 CPU 使用情況比較圖

5. 結論

由於網路應用的快速發展，單一伺服器無法負荷用戶端連線快速增加的需求，造成系統的服務品質降低，如伺服器回應時間過久，甚至系統因負載過重而導致服務中斷，將使得用戶對網站的服務失去使用的興趣，尤其在用戶較多的尖峰時間，假使情況沒有改善或是徹底解決，將使網站功能大打折扣。

目前已經有許多負載平衡架構可以解決網頁流量過大的問題，在本研究探討了負載平衡伺服器架構及演算法。市面上有相當多高效能伺服器可供選擇，唯價格是很重要考量因素之一。其次，開放原始碼套件可以用來架設所需的負載平衡系統，唯需要具相當經驗管理者來依據實際需求建置管理。本研究使用 L4-L7 交換器以及開放原始碼的 HAProxy 與 HTTP redirector 來實作負載平衡機制並比較其效能。根據實驗的結果，HTTP redirector 的方式提供了網頁伺服器較佳的服務效能。除此之外，對於管理者而言，HTTP redirector 的方式於架設管理與維護方面相對簡易許多，為較經濟且節省成本的方法，因此非常適合應用於線上教學平台上。

6. 參考文獻

- [1] 包蒼龍、池至欽、陳建伯、李明龍，「突波式需求之網頁伺服器負載平衡架構」，TANET 2004，pp. 280-285, 2004 年 10 月。
- [2] 吳宜興，動態網頁伺服器彈性負載平衡架構之研究，大同大學資訊工程研究所碩士論文，2005。
- [3] 林盈達、吳明蔚、魏煥雲、黃俊穎、蔡昌憲、張智晴、梁元彪、蔡良恆，「網路安全閘道器產品評比-功能面與效能面」，網路通訊 130 期，2002 年 5 月。
- [4] 陳建宏，伺服器叢集系統的允入控制與負載平衡機制，國立中山大學電機工程研究所碩士論文，2003。
- [5] 楊家雄，高效能之動態網頁負載平衡演算法，國立台灣大學電機工程研究所碩士論文，2001。
- [6] 謝隆斌，「基礎於 Squid 之透通式校園網路快取系統建置實例」，第三屆離島資訊技術與應用研討會，2003 年 6 月。
- [7] HAProxy - The Reliable, High Performance TCP / HTTP Load Balancer, - <http://HAProxy.1wt.eu/>
- [8] Moodle-A Free Open Source Course Management System for Online Learning, -<http://moodle.org/>
- [9] Netel Networks, Alteon Link Optimizer Application Guide, Release 1.0, 2002.
- [10] Netel Networks, -<http://www.nortelnetworks.com>.