

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

嵌入式網路通訊裝置評比技術與工具之研發--總計畫(1/2) 期中進度報告(精簡版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 98-2220-E-009-045-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：國立交通大學資訊工程學系(所)

計畫主持人：林盈達
共同主持人：曾建超、曹孝櫟、張立平

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99年07月01日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

嵌入式網路通訊裝置評比技術與工具之研發--總計畫(1/2)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 98-2220-E-009-045

執行期間： 2009年8月1日至 2010年7月31日

計畫主持人：林盈達

共同主持人：

計畫參與人員：甘東杰、吳金龍、陳一璋、江易達、陳李睿、丁冠中、尤云千、施宗筆、杜之雄、黃承威、蘇益特、張安順、林明俊、李宗鴻、游家明、郭晉廷、黃莉君、黃偉杰、黃義勛

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學

中華民國 99年 5月 30日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫名稱：嵌入式網路通訊裝置評比技術與工具之研發--總計畫(1/2)

計畫編號：NSC 98-2220-E-009-045

執行期限：2009年8月1日至2010年7月31日

主持人：林盈達 國立交通大學資訊工程系(所)

[1] 摘要

嵌入式系統由於在價格以及體積等具有競爭力的條件下，逐步成為許多廠商致力於開發各種建構在嵌入式系統平台上的網路通訊裝置，但是在眾多的裝置上卻沒有可用來評比各項嵌入式系統網路裝置的好方法，因此本計畫的目的便是希望建構一個量測評比嵌入式系統網路通訊裝置的平台，除了能依據效能協助選擇適當的嵌入式網路通訊裝置，亦能協助開發者於開發時測試該裝置的效能以及改進的方向，藉此達到在效能以及規格上取得平衡，發揮嵌入式系統的優勢以及最大的效能。

本測試系統包含四個子計畫，針對嵌入式系統網路通訊裝置最令人關切的四項評比項目：系統應用效能、耗電量分析、核心與網路協定行為分析及儲存系統效能等進行效能測試評比工具開發，總計畫亦開發供此四子計畫利用之共通測試平台(Common Test Platform)，做為子計畫測試時所需要使用的網路相關測試平台，以及所要測試的背景網路流量，以總計畫所提供的背景流量，做為四項子計畫的測試基底，觀察在該流量之下，對待測裝置的效能影響及評比，整合嵌入式系統應用效能評比、處理器指令集耗電量測分析、系統核心事件分析和通訊行為分析及儲存媒體效能分析等技術及工具，達成對嵌入式網路通訊裝置進行完整效能的測試及評比，除了能幫助產品開發者進行效能改進及選擇適合使用的元件平台，亦可做為學術上進行相關研究時有實際上產品的數據供做先進技術的研發，並將此系統原始碼公開，提供開放原始碼社群使用及研究。

關鍵詞： 嵌入式系統、網路通訊裝置、耗電量、系統核心事件、儲存媒體、開放原始碼

[2] 緣由與目的

近年來嵌入式系統被大量的應用在各種不同的產品上，使用者可以很輕易地透過各種網路進行資料存取，不論是有線網路或是無線網路Wi-Fi, GSM, WiMAX等網路介面技術，到目前為止並沒有一個夠好的方法可以針對各項嵌入式系統網路裝置及元件進行評比，因此如何挑選適當的元件並幫助產品開發者測試該裝置的穩定度及效能，將成為未來開發嵌入式系統網路通訊裝置的重要議題。

本計畫是三年期計畫的第二年，目的在於提供一系列完整的測試工具與測試方法，其中包括黑箱(Black Box)、灰箱(Gray Box)與白箱(White Box)測試、應用效能測試、耗電測試、分析與診斷機制、元件效能測試(例如：儲存裝置)，將其應用在目前主流的嵌入式網路通訊裝置，為其建造「嵌入式網路通訊裝置測試軟體發展中心(Embedded Benchmarking Lab, EBL)」來協助廠商及使用者評比嵌入式網路通訊裝置，亦可做為日後學術相關研究時有實際的產品數據提供參考。

有鑑於此，本計畫的目標即對於當前嵌入式網路通訊裝置所面臨到的問題，進行相關的研究及討論，配合相關的技術和理論，研發各項技術以及測試評比平台，為達到此目的，本計畫共將開發包含總計畫及四個子計畫共四項相關測試工具進行嵌入式系統評比，分別如下所述：

- ✓ 嵌入式系統共通測試平台(Embedded Common Test Platform, CTP 1.1.0)
- ✓ 嵌入式系統應用效能評比測試(Design and Implementation of Benchmarking Tools and Methods for User-Experience Performance, EUE 1.2.0)
- ✓ 嵌入式系統耗電分析評比測試(Design

and Development of Power Consumption Analysis and Benchmarking Tools for Embedded Network and Communication Devices, EPC 1.3.0)

- ✓ 嵌入式核心與網路協定行為效能評比技術與工具(Design and Development for Kernels and Protocols Analysis and Benchmarking Tools for Embedded Networking and Communication Devices, KPT 1.4.0)
- ✓ 嵌入式儲存裝置評比測試(Design and Implementation of Benchmarking Tools and Methods for Storage Systems, ESB 1.5.0)

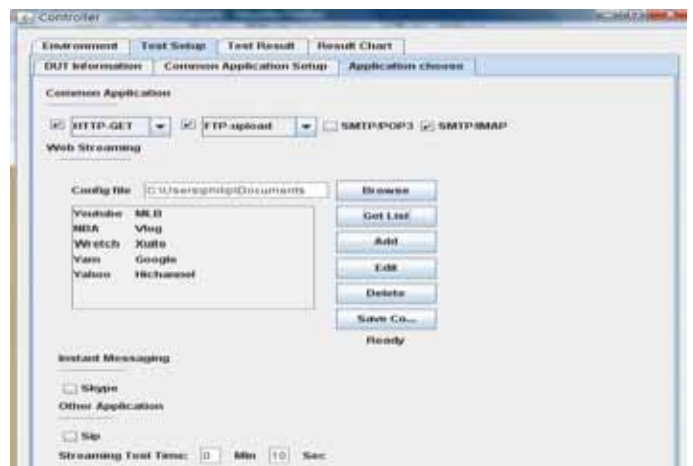
[3] 研究內容

為了達到嵌入式網路通訊裝置在測試上的「垂直整合」，本計畫針對當前嵌入式網路通訊裝置所面臨的問題進行研究，並配合相關技術和理論建置嵌入式網路通訊裝置測試中心：方法與工具之實驗、開發與推廣 (Benchmarking Lab for embedded networking and communication devices: Experiment, Development, and Deployment of methodologies and tools, SYS)，總計畫本身包含開發一個子系統為嵌入式系統共通測試平台[CTP 1.1.0]，另外尚有其它四個子系統分別為：嵌入式系統應用效能評比測試[EUE 1.2.0]、嵌入式系統耗電分析評比測試[EPC 1.3.0]、嵌入式核心與通訊行為效能評比測試[KPT 1.4.0]及嵌入式儲存裝置評比測試[ESB 1.5.0]，而各系統與總計畫間之介面及互動關係如圖一所示。

本計畫在整個軟體開發過程除了依照CMMI所規定之規格撰寫系統需求文件、系統設計文件與系統整合測試文件，並完成設計與開發各子系統，各子系統之研究內容及如下所示：

■ 嵌入式系統共通測試平台(Embedded Common Test Platform, CTP 1.1.0)

為了測試嵌入式網路通訊裝置所需要的有線及無線網路的應用層流量，總計畫開發應用層測試工具(App-Test Tool)針對不同的網路服務，提供各種需要進行測試的應用層流量來對待測裝置以自動化的方式進行流量測試，目前可以設定的流量種類(如圖二所示)有一般常用協定的應用層流量：超文件傳輸協定(Hypertext transmission protocol, HTTP)、檔案傳輸協定(File Transfer Protocol, FTP)、簡單信件傳輸協定(Simple Mail Transfer Protocol, SMTP)、郵局通訊協定(Post Office Protocol 3)，串流(Streaming)流量或者是即時訊息(Instant Message, IM)流量，進行各種應用層流量測試。



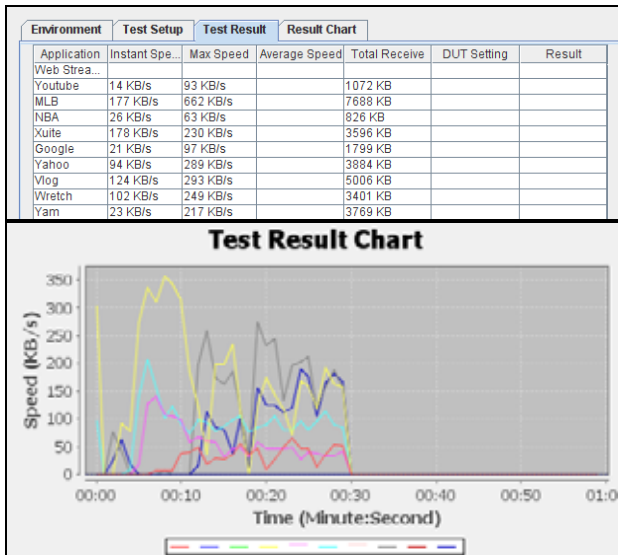
圖二 設定需要產生的應用層流量及參數

計畫關係圖



圖一 計畫關係圖

應用層測試工具在執行的過程中也能夠得知所有應用層的吞吐量(throughput)，從圖三可以看出所有流量上下傳的最高速度及平均速度，讓測試工程師可以觀察待測裝置的吞吐量變化，最後應用層測試工具會根據這些吞吐量的變化將其繪製成測試結果曲線圖用來做進一步的分析。



圖三 測試過程的 throughput 變化及測試結果曲線圖

透過總計畫開發的應用層測試工具就可以提供一個共通測試平台做為四項子計畫的測試基底，觀察在該流量之下，對待測裝置的效能影響及評比。

■ SSLTC (SSL VPN Tunnel Capacity)

SSLTC 為子計畫一所開發的測試工具，用戶端可以利用 VPN 方式連線，進行私密安全連線，以防止資料在網路上進行傳輸時，遭到駭客竊取，但是加密連線必須使用大量的運算，以及過濾，使得該類型的網路安全產品可容納的 VPN 容量無法達到實際需求，考量在大部份的情況下，利用 VPN 進行連線時，許多的連線都是在進行網頁瀏覽，因此並非需要在 Client 和 Server 端之間保持建立連線的狀況態，也可由此減輕 VPN 網通裝置的負擔，利用 SSL VPN 的方式進行資料的流通，以 Linux 為 SSL VPN 的 client，產生同時多條的 SSL VPN tunnels (Full Tunnel Mode)與 users 來連上 SSL VPN server，可用來自動化測試 tunnel capacity、user capacity、stability。

本系統的軟體架構主要是由幾項元件所構成: Traffic Generator– SSL VPN Tunnel, Traffic Generator – Background Traffic, Controller，以下說明各個元件所扮演的角色以及如何進行測試與蒐集數據：

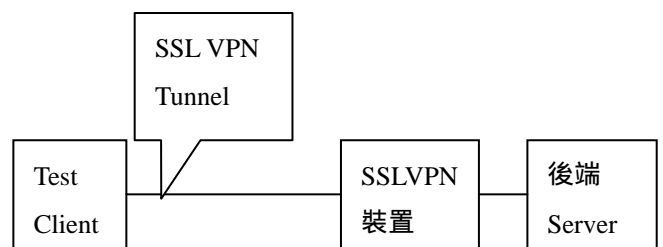
Traffic Generator – SSL VPN Tunnel：使

用一台 PC 製造出同時上千條的 SSL VPN tunnels。

Traffic Generator – Background Traffic：除了建立 SSL VPN tunnel 外，也可產生網路流量導入 SSL VPN tunnel 中，如 HTTP、FTP.. 等等。

Controller：會使用一台 PC 作為 controller，controller 的功能一是用來 trigger traffic generators，二是用來抓取 DUT 上的 information 來判斷該次測試的結果是 Pass or Fail。

SSLTC 之系統架構如下所示：



SSLTC 針對特定的 SSL (Secure Socket Layer) 虛擬私有網路 (Virtual Private Network, VPN) 的裝置，根據其連線的規範開發連線程式，透過個人電腦的方式模擬出多個 SSL VPN 的客戶端(Client)和 SSL VPN 裝置進行連線(如圖四所示)，測試不同的 SSL VPN 裝置最多可建立的通道(Tunnel)數量，並提供吞吐量測試來進行單一通道及合併所有通通之吞吐量測試，再透過總計畫的應用層測試工具將產生不同的應用層背景流量，將其導入至 SSL VPN 通道中，就可以評比不同的 SSL VPN 裝置在導入不同的應用層流量至 SSL 通道時，傳輸狀態的穩定度以及吞吐量效能。

SSL VPN						
Current SSL VPN Connection						
#	User	Access	Login Address	Connected Time	Inbound (Bytes)	Outbound (Bytes)
1	vpn3	Network-Extension	192.168.1.235	00:00:27	160	250
2	vpn4	Network-Extension	192.168.1.235	00:00:21	160	250
3	vpn5	Network-Extension	192.168.1.235	00:00:15	160	250
4	vpn6	Network-Extension	192.168.1.235	00:00:09	160	250
5	vpn7	Network-Extension	192.168.1.235	00:00:03	160	250

圖四 模擬多個 client 來測試 SSL VPN 裝置

■ IVQT (Integrated Voice Quality Test)

IVQT(Integrated Voice Quality Test)為子計畫一所開發的語音測試工具，由於市面上有許多語音功能的產品都整合至嵌入式網路裝置中，因此本工具主要目的是提供一個語音測試的環境，以虛擬定位(Virtual Position)的技術來模擬嵌入式網路通訊裝置在移動式的行為，再以自動化的方式進行語音撥接的測試，最後透過總計畫提供背景流量的測試平台就可以用來觀查及分析嵌入式裝置在各種不同的網路情境下的語音通訊品質。IVQT系統的軟硬體架構主要是由幾項元件所構成：

NIST-Net Controller：需能支援使用

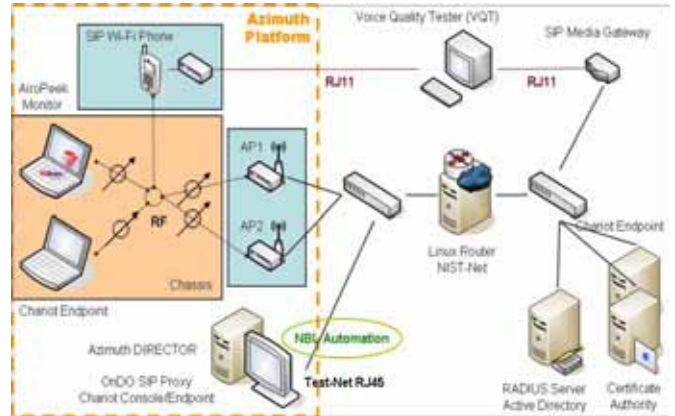
NIST-Net 控制對於網路環境的影響，如在收話端與受話端之間 Traffic 受環境影響的控制，封包延遲或 Loss 等條件，用以測試在該環境下對於語音通話品質的影響。

Background Traffic Generator：需能支援在不同型態的Background Traffic之下，擷取語音相關的封包進行語音品質測試，Background Traffic可以為HTTP,FTP, or P2P etc.，藉以觀察在不同的traffic以及不同的loading之下對Voice Quality的影響。

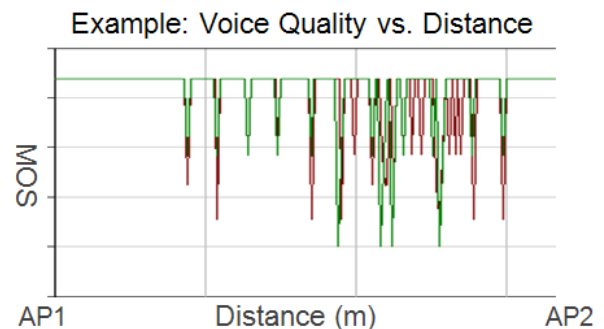
Azimuth Platform(For Wireless Only)：利用 Azimuth 平台進行 RF Attenuator 控制，可以擬似對於 WiFi Phone 的移動模式，藉以測試在移動狀態中的 WiFi Phone 對於 Voice Quality 的影響，藉由本測試可以分析關於 WiFi Phone 與 AP 在移動態狀下的適應性，由本測試可以進一步進行在移動中需進行 Roaming 時，WiFi Phone 對於 Roaming 機制的調適，選擇以何機制和時機進行 Roaming 的動作，以及在 Roaming 的同時對於語音品質的影響為何。

Integrated Controller：上面的測試都是只有針對單一的情況進行測試，但是這樣的測試無法進行多次的重複使用，每次進行測試時都要重新再設定不同的環境和不同的條件及劇本，做一次測試要花費許多的時間進行其它工具的設定，再者在動態設定的情況

下，會造成各工具之間 Timing 的非同步，造成測試不精確，因此本項目支援的目的是要做到在測試時可以利用單一視窗介面，進行對 WiFi Phone, NIST-Net 和 Azimuth 同步的控制以及批次處理。其系統架構如下所示：



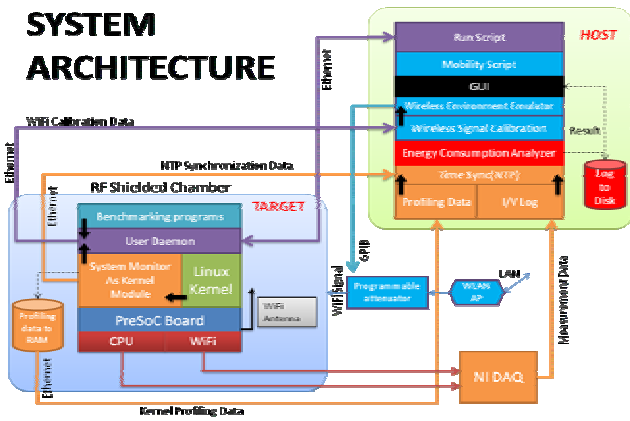
圖五為一嵌入式網路式裝置從無線網路基地台AP1行進至AP2時，在進行交遞(Handover)時的語音品質狀況，從圖中可以看出該裝置距離AP1越遠時語音品質會不斷的下降，行進至AP1及AP2的中間位置時語音訊號會不斷飄移，其語音品質也會是最差的狀況，藉由虛擬定位的技術即可對不同支援語音功能的嵌入式網路通訊裝置進行交遞測試的評比。



圖五 Handover的語音品質狀況

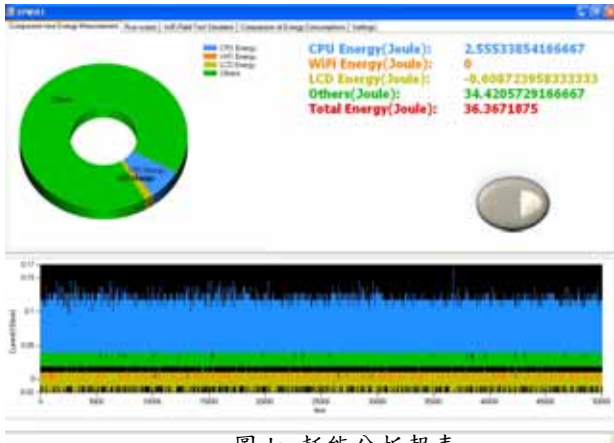
■ 耗電測試分析評比工具

Power Memo 為子計畫二所開發用來量測嵌入式裝置為的耗電工具，主要的設計目的是提供一個系統負載度低且能夠有效精準剖析系統耗電資訊的工具，並且可同時搭配無線網路的測試環境，在動態測試中觀查移動中的裝置耗電量。下方是 PowerMemo 的系統架構圖：



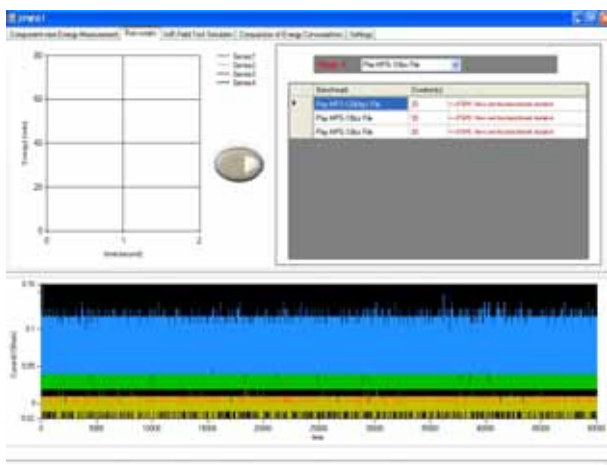
圖六 PowerMemo系統架構圖

主要區分成Host端及Target端 兩個部分，在Host端有開發一個量測工具，主要目的同時記錄系統上各裝置的耗電狀況，並著重在耗電分析，希望以可讀性佳的圖表來呈現的耗電結果，不但能同時量測各 components的耗能狀況，並對耗能分析產生報表與圓餅圖，如圖七所示。



圖七 耗能分析報表

在Target端的部分又可分為兩部分，第一部分是開發Benchmark 程式進行自動化測試。主要是建立 communication-intensive benchmark，像是 streaming MP3, streaming video (可在 Host 端自行定義要在 target 上執行的 benchmark 腳本，如圖八所示)。

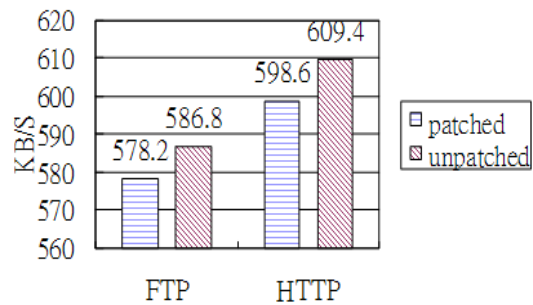


圖八 建立Benchmark腳本

第二部分是Control Daemon的開發，主要是提供 host 控制 target 的管道，可以由 host 任意執行或停止 benchmark，由 host 掌控在 target 所有的 benchmarks 藉此達到大量自動化量測的目標。

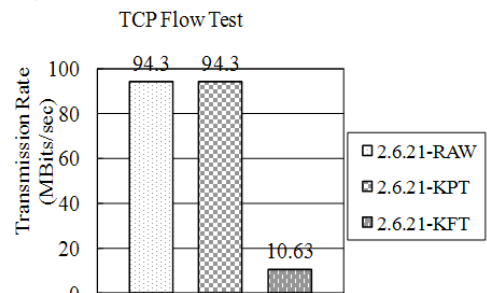
■ 核心與網路協定行為評比技術與工具 (Kernel Profiling Tool, KPT)

核心與網路協定行為評比技術與工具(KPT)為子計畫三所開發的工具，目的是用來追蹤嵌入式網路通訊裝置的網路應用程式在執行時，封包所經的核心函式、觸發的核心事件以及網路封包都能被記錄，並進一步分析出嵌入式系統的整體網路行為。由於核心系統可能受到追蹤與量測技術的干擾，因此KPT利用暫存機制與背景移轉機制，減少追蹤與量測技術對核心系統的影響。由圖八的超文件傳輸(HTTP)及檔案傳輸(FTP)測試可以看出對於加入核心分析功能的核心系統及沒有加入核心分析的核心系統，其網路效能差距約為 1.3%與 1.7%，由此得知本工具對核心系統的影響很小。



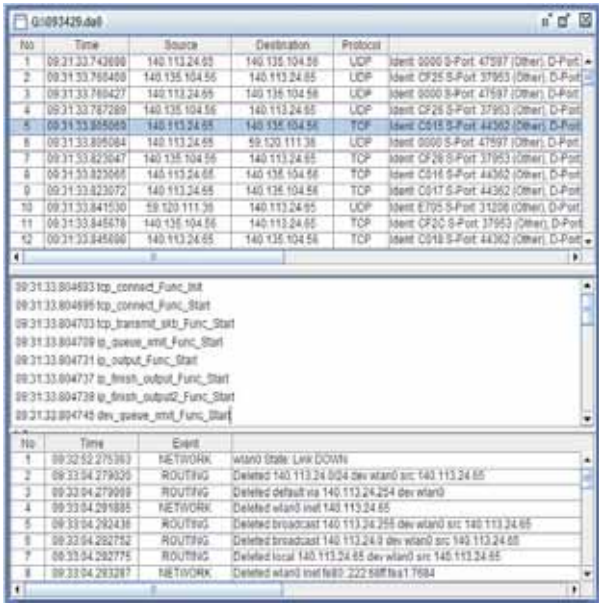
圖九 核心系統之傳輸速率比較

再從另一個測試角度來看，將此 KPT 與其他的核心系統追蹤工具 (在此列舉 Kernel Function Trace, KFT) 以及未經修改的 kernel，來比較 TCP 的傳輸速率，圖十的結果可得知本工具對於核心系統行為並無顯著的影響。



圖十 核心系統之傳輸速率比較

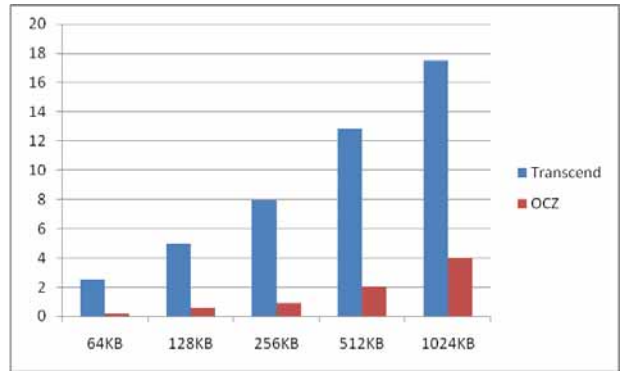
圖十一為 KPT 實際測試的視覺化結果，透過核心事件擷取與自動核心函式追蹤的補釘嵌入技術就能夠取得網路封包在核心系統內的網路協定行為與核心函式互動的資訊，讓使用者可以探討待測裝置的核心事件發生的原因與時機，了解網路封包於核心系統內的網路協定堆疊之運作流程，並追蹤與量測一個網路封包從啟動到處理完畢，其間所經過的延遲與反應時間。



圖十一 KPT 實際測試的視覺化結果

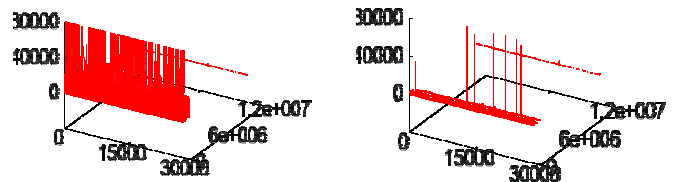
■ 嵌入式儲存裝置測試系統 (Embedded Storage Benchmark System, ESBS)

子計畫四提供嵌入式儲存裝置測試系統(ESBS)，主要是針對快閃記憶體(Flash Memory)為基礎之儲存系統，設計與實作出完整之效能評比程序、工具以及技術。目前已完成計畫中固態硬碟儲存裝置(Solid state disk, SSD)的效能評比與分析，透過收集各種Workload並針對固態硬碟的特徵進行分析，將相似特徵的集成評比套件(Benchmark Suite)，並且歸納這些特徵對固態硬碟管理議題造成的影響。相較於一般的硬碟測試工具，ESBS更能夠明確的分析固態硬碟細部的效能。圖十二為IOMeter工具測試結果 (X軸為傳輸長度，Y軸為MB/sec)，其顯示Transcend的固態硬碟儲存裝置遠比OCZ來得好。



圖十二 IOMeter隨機寫入測試

但若用ESBS測試則更可以清楚看到就細部的管理機制，以圖十三的垃圾回收管理機制(Garbage Collection, GC)為例 (X軸為發出要求順序，Y軸為存取位址，Z軸為回應時間)，OCZ的GC管理機制是優於Transcend的，造成整體效能有極大落差的主要原因在於硬體條件的不同，Transcend是採用單層式儲存 (Single Level Cell, SLC)的技術，而OCZ是用多層式儲存 (Multi Level Cell, MLC)的技術，因此如果是硬體條件在相似的狀況下，ESBS效能評比測試工具比IOMeter更能適當的選擇出符合特定用途所需要的最佳管理機制儲存裝置。



(a) Transcend

(b) OCZ Vertex SATA2

TS16GSSD25S-S

圖十三 ESBS GC管理機制測試

[4] 研究成果與討論

總計畫已建立出測試平台並能夠導入網路流量進行測試，各子計畫也已陸續完成各工具的開發。未來的一年除了持續將各子計畫的開發工具加強其完整整合和總計畫提供的測試平台進行結合，並且也會陸續對產品在耗電、時間及 SSD 的成效增加測試案例來對嵌入式網路通訊裝置進行評比，透過這一系列從黑箱到白箱的垂直整合測試

方法來幫助開發商選擇適當的元件，最後再對整合後的嵌入式裝置進行效能的評比，讓研發工程師能夠進行問題追蹤及產品改善，發揮嵌入式通訊裝置最大的優勢以滿足市場及消費者的需求。

[5] 參考文獻

- [1] "Using the NCTUns 2.0 Network Simulator and Emulator to Facilitate Network Researches", S.Y. Wang - Proc. 2nd International Conference on Testbeds and Research, 2006.
- [2] "Harpoon: a flow-level traffic generator for router and network tests", J. Sommers, H. Kim, P. Barford - ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 2004.
- [3] A. Tirumala, F. Qin, J. Dugan, J. Ferguson, and K. Gibbs. Iperf 1.7.0 -- the TCP/UDP bandwidth measurement tool. <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf>, 2004.
- [4] Paul Barford , Mark Crovella, Generating representative Web workloads for network and server performance evaluation, Proceedings of the 1998 ACM SIGMETRICS joint international conference on Measurement and modeling of computer systems, p.151-160, June 22-26, 1998, Madison, Wisconsin, United States.
- [5] Charles R. Simpson, Jr. , Dheeraj Reddy , George F. Riley, Empirical Models of TCP and UDP End-User Network Traffic from NETI@home Data Analysis, Proceedings of the 20th Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation, p.166-174, May 24-26, 2006.
- [6] Jelena Mirkovic , Brett Wilson , Alefiya Hussain , Sonia Fahmy , Peter Reiher , Roshan Thomas , Stephen Schwab, Automating DDoS experimentation, Proceedings of the DETER Community Workshop on Cyber Security Experimentation and Test on DETER Community Workshop on Cyber Security Experimentation and Test 2007, p.4-4, August 06-07, 2007, Boston, MA.
- [7] J. Sommers, P. Barford, Self-configuring network traffic generation, Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet, 2004.
- [8] CoralReef: Passive network traffic monitoring and statistics collection. <http://www.caida.org/tools/measurement/coralreef>. Accessed August 2004.
- [9] Jing Cong , Bernd E. Wolfinger, A unified load generator based on formal load specification and load transformation, Proceedings of the 1st international conference on Performance evaluation methodolgies and tools, October 11-13, 2006, Pisa, Italy
- [10] Joel Sommers , Vinod Yegneswaran , Paul Barford, A framework for malicious workload generation, Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement, October 25-27, 2004, Taormina, Sicily, Italy
- [11] Michele C. Weigle , Prashanth Adurthi , Félix Hernández-Campos , Kevin Jeffay , F. Donelson Smith, Tmix: a tool for generating realistic TCP application workloads in ns-2, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, v.36 n.3, July 2006
- [12] Endace measurement systems. <http://www.endace.com/>. Accessed August 2004.
- [13] SSFnet network simulator. <http://www.ssfnet.org>. Accessed August 2004.
- [14] UCB/LBNL/VINT Network Simulator - ns (version 2). <http://www.isi.edu/nsnam/ns>. Accessed

- August 2004.
- [15] Kashi Venkatesh Vishwanath , Amin Vahdat, Realistic and responsive network traffic generation, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, v.36 n.4, October 2006
- [16] Network Emulation Testbed.
<http://www.emulab.net>.
- [17] Spirent, <http://www.spirentcom.com/>.
- [18] IXIA, <http://www.ixiacom.com/>
- [19] Network Benchmarking Lab,
<http://www.nbl.org.tw/>.
- [20] Toshihiro Kobayashi and Tetsuo Yamabe , “Linux DSP Gateway Specification , ” v3.3.1 , Nokia Corporation , 2006.
- [21] “OMAP5912 Applications Processor Data Manual , ” Texas Instruments , March 2004.
- [22] “DSP/BIOS LINK , USER GUIDE” Texas Instruments , March 2007.
- [23] “A. Sinha and A.Chandrakasan , “JouleTrack – A Web Based Tool for Software Energy Profiling , ” Proc. 38th Design Automation Conference , “June 2001
- [24] ”Energy Estimator/Analyzer for Embedded Dual Core Processor” , Chun-Hao Hsu , 2006” Measuring System Performance on the TMS320DM644x Platform” Texas Instruments , March 2007.
- [25] Chuanxiong Guo and Shaoren Zheng , “Analysis and Evaluation of the TCP/IP Protocol Stack of Linux”, International Conference on Communication Technology Proceedings, vol 1, pp. 444 –453, Aug. 2000.
- [26] Wikipedia – “GNU”, Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/GNU>
- [27] Ying-Dar Lin, and Ping-Tsai Tsai, “Trace debugging”, Available from: http://speed.cis.nctu.edu.tw/~ydlin/miscpub/remote_debug.pdf
- [29] Peter Jay Salzman, Michael Burian, and Ori Pomerantz, “The Linux Kernel Module Programming Guide”, Dec. 2005.
- [30] Bryan Henderson, “Linux Loadable Kernel Module HOWTO”, Available from: <http://www.tldp.org/HOWTO/Module-HOWTO/>
- [31] Jongmoo Choi, “Kernel aware module verification for robust reconfigurable operating system”, Journal of Information Science and Engineering, Vol. 23 No. 5, pp. 1339-1347, Sep. 2007.
- [32] Moore, R. J., “Dynamic probes and generalized kernel hooks interface for Linux”, Proceedings of the fourth annual Linux showcase and conference. Atlanta, GA, USA, pp. 139-145, 2000.
- [33] Nicolas Lorient and Jean-Marc Menaud Generalized, “Dynamic Probes for the Linux Kernel and Applications with Arachne”, In Proc. of the 2007 IADIS Conference on Applied Computing, Feb. 2007.
- [34] R. Krishnakumar, “Kernel Korner: Kprobes - a Kernel Debugger”, Linux Journal, Jun. 2006.
- [35] Jeong-Won Kim, Young-Uhg Lho, Young-Ju Kim et al, “A memory copy reduction scheme for networked multimedia service in Linux kernel”, Lecture Notes in Computer Science, 2002, 2510: 188–195.
- [36] 曹敏峰, " Linux 網路通訊協定堆疊之高效率動態的指令嵌入平台之設計與實作 ", 交大資工所碩士論文, 2008.
- [37] G. Irlam, “Unix File Size Survey,” 1993.
- [38] <http://www.gordoni.com/ufs93.html>

- [39] A. Inoue and D. Wong, "NAND Flash Applications Design Guide", April, 2003.
- [40] Li-Pin Chang and Tei-Wei Kuo, "Efficient Management for Large-Scale Flash-Memory Storage Systems with Resource Conservation," ACM Transactions on Storage, Volume 1, Issue 4, 2005.
- [42] Intel Corporation, "Understanding the Flash Translation Layer (FTL) Specification".
- [43] SFFDC Forum, "*SmartMediaTM* Specification", 1999.
- [44] Compact Flash Association, "*Compact FlashTM* 1.4 Specification," 1998.
- [45] Linux MTD project and M-System, "NAND Flash Memory Translation Layer (NFTL)."
- [46] Nitesh Goyal and Rabi N Mahapatra "Energy Characterization of CRAMFS for Embedded Systems", Proceedings of International Workshop on Software Support for Portable Storage (IWSSPS), March 2005.
- [47] Siddharth Choudhuri, Rabi Mahapatra, "Energy Characterization of Filesystems for Diskless Embedded Systems", Design Automation Conference (DAC), June 2004.
- [48] Aleph One Company, "[Yet Another Flash Filing System \(YAFFS\)](#) ""
- [49] L. P. Chang and T. W. Kuo, "An Adaptive Striping Architecture for Flash Memory Storage Systems of Embedded Systems," 8th IEEE RTAS, September 2002, pp. 187-196
- [50] Han-joon Kim and S. Lee, "A New Flash Memory Management for Flash Storage System.", In Proceedings of the 23rd Annual International Computer Software and Applications Conference, pages 284–289, 1999.
- [51] Ousterhout, J., Da Costa, H., Harrison, D., Kunze, J., Kupfer, M., and Thompson, J., A Trace- Driven Analysis of the UNIX 4.2 BSD File System, Proceedings of the Tenth Symposium on Operating Systems Principles, Orcas Island WA, December 1985, pp. 15-24.
- [52] Atsuo Kawaguchi et al., "A Flash-Memory Based File System", in USENIX Technical Conference, 1995
- [53] Linux MTD Project, "Journaling Flash File System (JFFS), Journaling Flash File System 2 (JFFS2), and Journaling Flash File System 2 (JFFS3)."
- [54] Bray, T, "The Bonnie home page.",
- [55] <http://www.textuality.com/bonnie>, 1996.
- [56] Katcher, J., "PostMark: A New Filesystem Benchmark. Tech. Rep. TR3022, Network Appliance.", www.netapp.com/techlibrary/3022.html, 1997
- [59] William D. Norcott., Don Capps, "Iozone Filesystem Benchmark", http://www.iozone.org/docs/IOzone_msword_98.pdf
- [61] N. Joukov, A. Traeger, CP Wright, Zadok,
- [62] "Benchmarking File System Benchmarks",
- [63] ETechnical Report FSL-05-04b, CS department Stony Brook University, 2005.
- [64] John H. Howard, Michael L. Kazar, Sherri G. Menees, David A. Nichols, M. Satyanarayanan, Robert N. Sidebotham, and Michael J. West., "Scale and performance in a distributed file system.", ACM Transactions on Computer Systems, 6(1):51–81, February 1988.
- [65] AIM Technology, "AIM Multiuser Benchmark - Suite VII Version 1.1. ",
- [66] <http://sourceforge.net/projects/aimbench>, 2001
- [67] Nathan Edel, Deepa Tuteja, Ethan L. Miller, and Scott A. Brandt, "MRAMFS: A Compressing File System for Non-Volatile RAM" ,IEEE/ACM

- International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS 2004)
- [68] R. Bryant, R. Forester, and J. Hawkes. "Filesystem Performance and Scalability in Linux 2.4.17." , In FREENIX '02, Monterey, CA, June 2002.
- [69] Sun, "File System Performance: The Solaris OS, UFS, Linux ext3, and ReiserFS", White paper August 2004.
- [70] http://sun.com/software/whitepapers/solaris10/fs_performance.pdf
- [71] R. Bryant, R. Forester, and J. Hawkes. "Filesystem Performance and Scalability in Linux 2.4.17." , In FREENIX '02, Monterey, CA, June 2002.
- [72] Iometer Project. "Iometer" , OPEN SOURCE DEVELOPMENT LAB. 2004. www.iometer.org/.
- [73] A. Kawaguchi, S. Nishioka, and H. Motoda, "A Flash Memory based File System," Proceedings of the USENIX Technical Conference, 1995.
- [74] F. Douglass, R. Caceres, F. Kaashoek, K. Li, B. Marsh, and J.A. Tauber, "Storage Alternatives for Mobile Computers," Proceedings of the USENIX Operating System Design and Implementation, 1994.
- [75] Veritest. "NetBench." , www.veritest.com/benchmarks/netbench/ , 2002
- [76] A. Tridgell, "dbench-3.03 README." <http://samba.org/ftp/tridge/dbench/README>, 1999.
- [77] Rosenblum M, Ousterhout J. "The Design and Implementation of a Log-Structured File System.", Proceedings of the 13th ACM Symposium on Operating Systems Principles, October 1991.
- [78] Mazieres, D. et al. , "Separating Key Management from File System Security", 17th ACM Symp. On Operating Systems Principles. (1999).
- [79] M. Kaminsky et al, "Decentralized User Authentication in a Global File System", 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles, 2003.
- [80] An-I Wang, Peter L. Reiher, Gerald J. Popek, Geoffrey H. Kuenning, "Conquest: Better Performance Through a Disk/Persistent-RAM Hybrid File System.", USENIX Annual Technical Conference, General Track 2002: 15-28
- [81] Schmuck, F. and Haskin, R., "GPFS: A Shared-Disk File System for Large Computing Clusters", Proceedings of the Conference on File and Storage Technologies (FAST'02), 2002