

具成本優勢嵌入式數位類比影音編解碼系統之研製

莊國煒

中華大學資訊工程學系研究生
e-mail: e09702012@chu.edu.tw

張欽智

中華大學資訊工程學系助理教授
e-mail: changc@chu.edu.tw

摘要

目前市面上的監控影音儲存系統大多採用個人電腦架構，個人電腦相對價格較高，因此採用嵌入式系統並針對這些特殊應用設計專屬的硬體，才是讓這類產品具成本優勢。再者，傳統的影像相關系統使用 MJPEG 當作主要影像格式，MJPEG 格式壓縮效率不夠高，採用 H.264 壓縮效率高，在同樣的容量中能儲存更多的影像資料，且影像品質也比較好。但是 H.264 所需要的運算量相當大，若不是使用硬體晶片，就需要高階的處理器與之配合。

為了解決上述兩項傳統監控影音儲存系統所面臨的問題，本論文提出一套以嵌入式為基礎的數位錄影(Digital Video Recorder, DVR)設備，系統使用了市面上常見的 USB 做為儲存裝置的介面，系統除了提供數位影像的儲存，也提供數位聲音的儲存，此外還採用了 H.264 硬體編碼器，提升影像品質及壓縮效率，以利網路傳輸影音檔案；儲存的影像格式為 H.264，儲存的聲音格式為 ADPCM (Adaptive Differential Pulse-code Modulation)。

關鍵詞：影像壓縮、H.264、Linux、DVR、嵌入式系統。

Abstract

Currently, most surveillance systems are PC-based but the cost of a PC would discourage a customer to purchase them. Hence, it would be reasonable to develop an embedded system especially for surveillance purpose. Furthermore, in most current image processing systems MJPEG is de factor image format although the compression rate of MJPEG might be just good enough for these applications. But for surveillance systems H.264 would be a better choice because it has a higher compression rate and better image quality and makes it possible to store more in the less storage space. But

H.264 needs more powerful processing in computing. If the specific hardware is not adopted to accommodate H.264, the higher end processor will be required.

In order to solve the two problems mentioned above an embedded digital video recorder (DVR) is devised. In addition, Linux is ported to the system. USB is used as an interface for storage devices and both video and audio storage are supported. H.264 Codec (Coder-decoder) hardware is adopted for the image of better quality and higher compression rate to be delivered over the networks. While the video is stored in the H.264 format, the audio is stored in ADPCM (Adaptive Differential Pulse-code Modulation) format.

Keywords: Video compression, H.264, Linux, DVR, Embedded System.

1. 緒論

全球民眾隨著生活水準所得提高，加上安全意識成熟，人們更加注重居家安全與生活品質，各國為了安全因素紛紛設置監控系統，相關系統被廣泛的應用在公共空間中，人們也意識到門戶安全的重要性，但這些監控系統卻不適合由個人或是家庭使用，最主要的原因便是造價昂貴，即使是較為基本的監控系統，其基於個人電腦的架構，價格上就已經無法再進一步的壓低，因此採用嵌入式的架構，並針對監控或是影像方面的應用做最佳化，將不必要的元件剔除，才是讓相關系統深入生活的解決之道。

為了提升嵌入式 DVR (Digital Video Recorder)的競爭力，現在嵌入式 DVR 產品的比拚，已不局限於圖像編碼的壓縮率、清晰度等基本的視訊特性上，更關注於嵌入式 DVR 作為一個系統所能提供的服務，因此而帶來了各式各樣且非常新穎的需求，這種需求也只有具有靈活特性和廣大資源的 Linux[1]平台才能完成，但 Linux 的核心版本發行與 Linux 核心

對嵌入式處理器支援程度的發展是不同步的，因此，需要對特定的處理器體系結構選擇合適的核心，如 ARM9、PowerPC、x86/SOC。

傳統的影像相關系統皆使用 MJPEG[2]當作主要影像格式，不過 MJPEG 格式壓縮效率不夠高，而新一代的視訊壓縮標準 H.264[3] 壓縮效率高，但是 H.264 所需要的運算量相當大，若沒有硬體 H.264 的輔助，就需要高階的處理器與之配合，採用 H.264 技術後立即明顯的好處就是在同樣的容量中能儲存更多的影像資料，壓縮效率高以利網路傳輸檔案，並且影像品質也比較好。

2. 相關研究

2.1 嵌入式硬體設計

到底設計電路是在做些什麼事？分成四個步驟：

第一步是繪製電路圖，也就是根據所要製作產品的目標與規格，盡可能使用最普及的零件，最單純的電路，以達到目的。而電路圖繪製完成後，再經過不斷地討論、分析與修改，讓電路圖接近完美。在這個階段中，就是使用像 OrCAD[4] Capture 的工具來幫助我們設計與編修電路圖。

第二步是進行電路模擬，也就是利用像 OrCAD PSpice 的電路模擬工具，對第一個階段所繪製的電路圖，進行數位及類比模擬，驗證電路的功能及各項反應，以判斷該電路的可行性。如果模擬結果不符合原定的規格，或有些不理想的話，再利用 OrCAD Capture 修改電路圖。

第三步是進行電路板佈局，也就是利用像 OrCAD Layout 的電路板佈局工具，把第一個階段所繪製的電路圖，進行電路板佈局。

最後階段則是進行電路板打件與驗證。

2.2 嵌入式軟(韌)體設計

韌體(Firmware)其實也是一種軟體，只不過我們特別將「用來驅動硬體工作的軟體」稱為「韌體」，也就是我們一般俗稱的「驅動程式(Driver)」。

當我們在電腦中執行軟體的時候，常常需要驅動一些週邊設備來工作，例如：印表機列印文件、顯示器顯示影像、音響播放音樂等，不論使用什麼軟體來執行工作，最後都需要韌體才能達成驅動週邊設備的目的，因此不論任何軟體在電腦中執行，都需要韌體的協助。由於韌體也是一種軟體，因此它的撰寫方

式與軟體相同，可以使用「低階語言(組合語言)」或「高階語言(C語言)」來撰寫。

舉例如圖 1 中所示，共分為三層，最底層為 Hardware 層，韌體部分由 OS 層開始，提供了許多服務與驅動程式，主要是為了提供一致的程式介面給最上層的 Application 層。

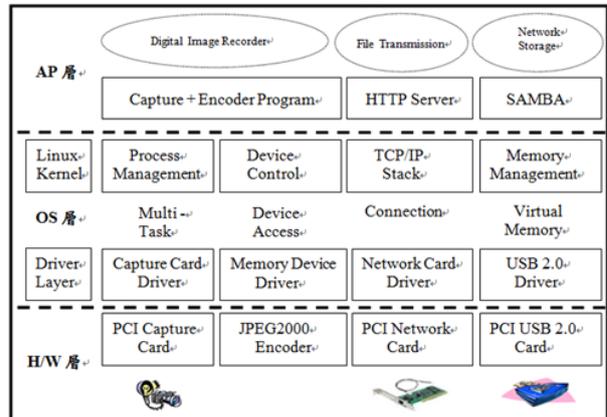


圖 1 系統硬體、韌體、軟體架構

2.3 H.264 視訊壓縮標準

視訊由一組連續影像序列組成，在時間(temporal)與空間(spatial)上有著高度的相關性，因此視訊編碼的主要精神即是利用其高度相關性去除在時間與空間上之冗餘，以達到視訊壓縮之目的。

網際網路日趨普及的現今使多媒體影音得以透過網路無遠弗屆地傳播，然而在有限傳輸頻寬的限制下，如何適當地壓縮資料以使終端使用者仍能享受到高品質的畫面實是一大難題。為解決這個困境，各種視訊壓縮標準紛紛誕生，其中最受矚目的新一代視訊壓縮標準 H.264，比以往的視訊壓縮標準諸如 MPEG-2、H.263 及 MPEG-4 等有著更卓越的壓縮表現，因此近來許多影像編碼技術工作者皆競相投入此領域的開發。

2.4 IP Camera

IP Camera[5]網路攝影機的出現約在 1998 年，因網路技術逐漸成熟而衍生出的創新產品，利用先進的多媒體視訊、影像壓縮技術，並結合網際網路無遠弗屆的優勢，使用者不論身處何地，透過網際網路及標準的瀏覽器隨時即可觀看架設於遠端的網路攝影機所傳來即時數位高畫質影像。

網路攝影機從經濟實用，針對個人家庭用途的入門機種，到眾多監控據點，專業安防用途的高階機種，一應俱全，並提供消費者多元

化的加值服務及客制化的不同需求。網路攝影機除可符合安全監控產業所需要之遠端監控需求，讓使用者在黃金時間作有效的應對，發揮真正的安防功能外，更可廣泛應用於遠端教學、遠端醫療、視訊會議、工業控制等不同產業上，滿足多樣化的基本需求，進而擁有一個安全便捷的生活環境。

3. 系統設計

3.1 系統設計

設計嵌入式系統的流程圖，如圖 2 所示，首先第一步是訂定研究主題，本論文的研究主題就是 DVR，第二步是設計產品的硬體，還有硬體的完成。

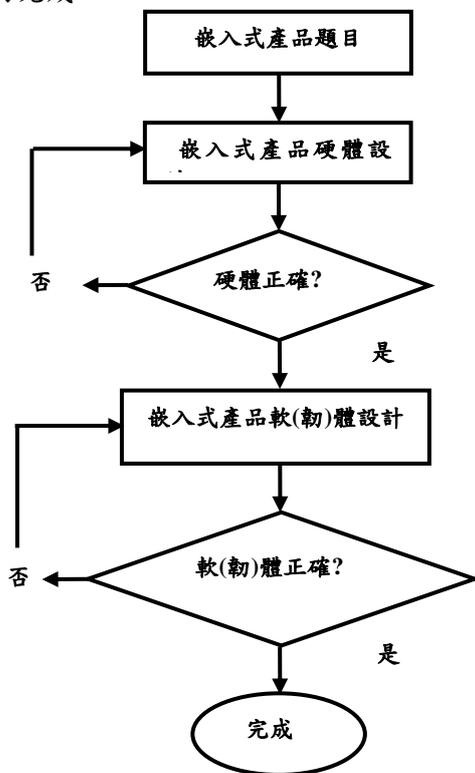


圖 2 嵌入式系統設計流程圖

3.2 嵌入式硬體設計

首先使用 OrCAD Capture 的工具來幫助我們設計與編修電路圖如圖 3 所示。

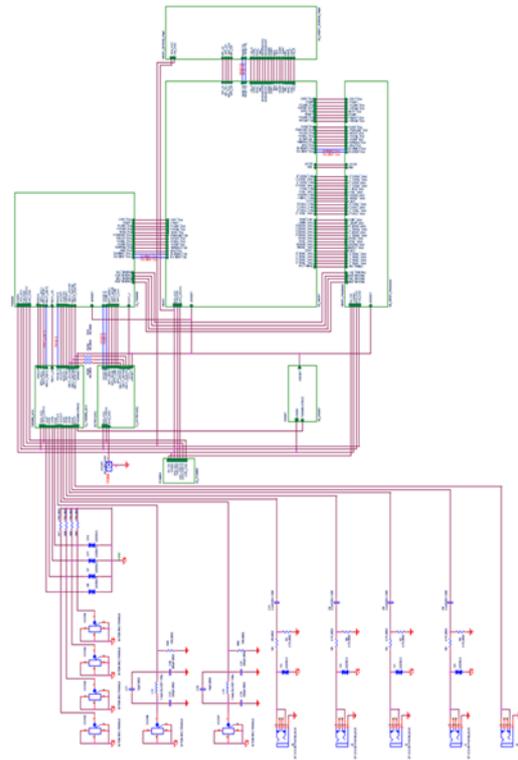


圖 3 電路圖

最後則是進行電路板打件與驗證，如圖 4 所示。



圖 4 硬體完成品

3.3 系統功能

在本研究中，我們需要整合各方面的技術資源，如圖 5 所示，在硬體方面我們使用 Techwell 公司的 TW2866[6] 晶片負責 4-Channel Video Decoders[7]、Audio Codec、Video Encoder 的工作，也就是說：TW2866 晶片負責將類比影音訊號做類比轉數位(ADC)的工作，跟將數位影音資料做數位轉類比(DAC)的工作；還有 TW2809[8] 晶片負責 H.264 Audio 與 Video Codec 的工作，也就是說：TW2809 晶片負責將數位影音資料做 H.264[9] 壓縮/解壓縮的工作；接著我們使用金麗科技公司的

HB301[10]晶片，負責處理器的功能，處理器的規格為 x86/SOC/32-bit/clock-200MHz。在網路方面我們使用九暘電子公司的 IP101A 晶片負責 10/100 Fast Ethernet Transceiver 的工作，至於儲存檔案方面我們使用 NEC 公司的 uPD720102GC 晶片負責 PCI 轉 USB 介面的 HOST CONTROLLER 工作。

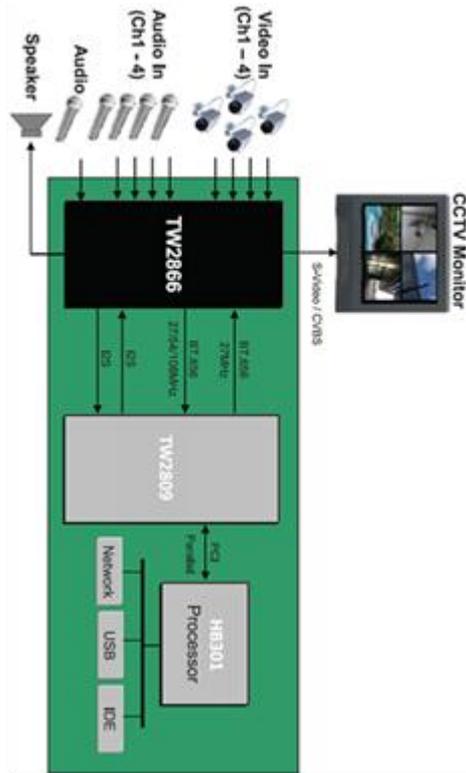


圖5 系統功能

3.4 嵌入式硬體設計

由於本論文所使用的處理器是金麗科技公司的HB301晶片，所以我們必需先到金麗科技公司的官方網站¹下載BSP(Board Support Package)，接著在PC上的Linux打# tar jxvf AutoBuildBSP.tar.bz2 的指令將BSP進行解壓縮的動作，然後打#./AutoBuildBSP.sh hb301的指令將BSP安裝至PC上的Linux，如圖6所示，BSP中包含了交叉編譯器、系統啟動載入程式、工具程式、作業系統核心、檔案系統、驅動程式等等；所以在BSP檔案中的target資料夾中就有了系統啟動載入程式(BootLoader)、作業系統核心(Kernel)、檔案系統(FileSystem)了，如圖7所示。

¹ftp://ftp.rdc.com.tw/pub/Linux/AutoBuildBSP.tar.bz2



圖6 執行安裝BSP

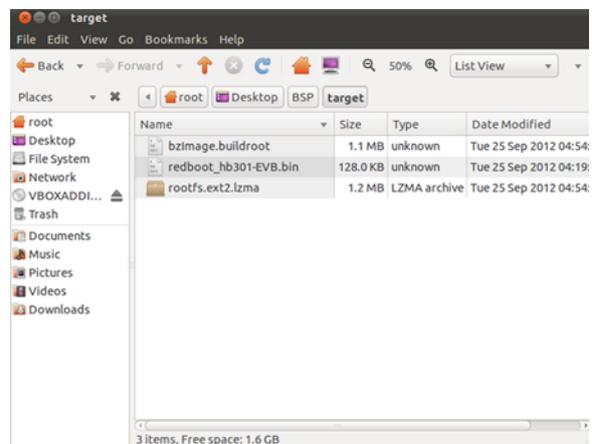


圖7 BootLoader、Kernel、FileSystem

將target資料夾中的BootLoader檔案，透過金麗科技公司所提供的燒錄軟體工具如圖8所示，將Boot Loader檔案燒錄至嵌入式硬體的ROM中。

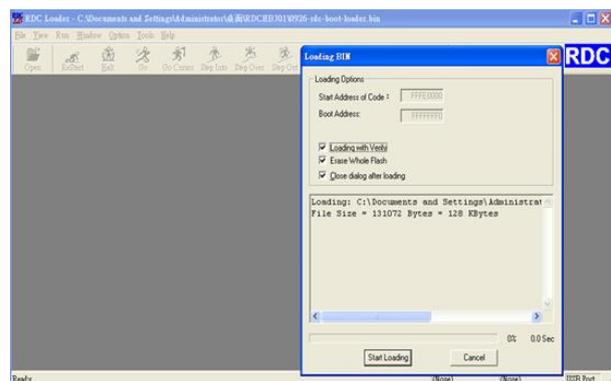


圖8 Boot Loader燒錄工具

然後再將target資料夾中的Kernel檔案，透過對Boot Loader命令列打load -r -v -h 192.168.11.1 -m tftp -b 0x400000 bzImage.buildroot指令，將Kernel下載至嵌入式硬體的RAM中，如圖9所示。

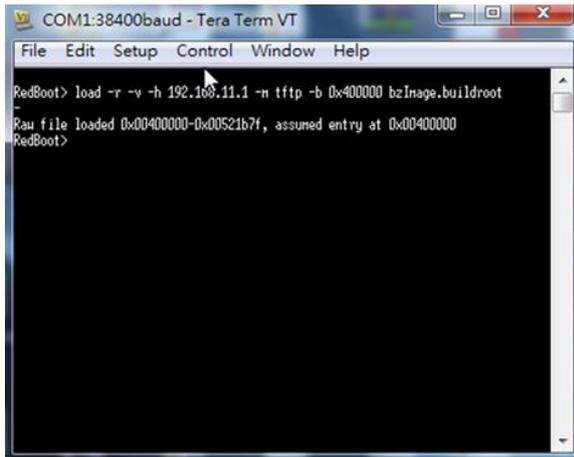


圖9 Kernel下載成功畫面

最後再將target資料夾中的FileSystem檔案，透過對Boot Loader命令列打load -r -v -h 192.168.11.1 -m tftp -b 0x3a00000 rootfs.ext2.lzma指令，將FileSystem載至嵌入式硬體的RAM中，如圖10所示。

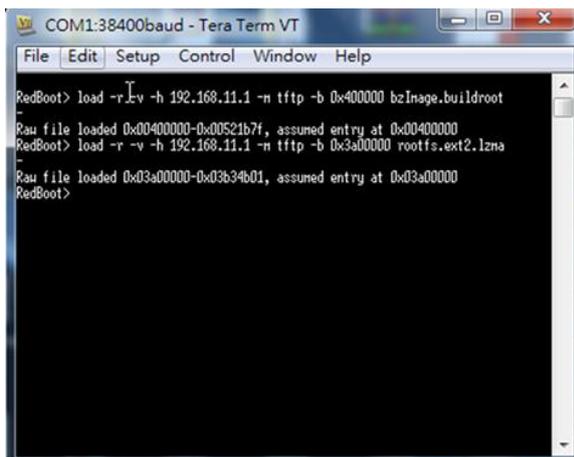


圖10 File System下載成功畫面

這樣就完成一個具有Linux作業系統的嵌入式系統了，但是如果需要具有影音壓縮功能的話，就必須要將TW2866晶片與TW2809晶片的驅動程式放入Embedded Linux中，然後透過交叉編譯器重新編譯後，再將編譯過後的Kernel下載至嵌入式系統的RAM或燒錄至嵌入式系統的ROM中，這樣嵌入式系統再透過執行應用程式就可以使用影音壓縮功能了，將在第4節系統範例實作中說明。

4. 系統範例實作

4.1 數位錄影音檔案

首先將TW2866晶片的驅動程式(tw2866drv)與TW2809晶片的驅動程式(tw2809drv)放入Linux-3.0.4中的路徑，如圖11所示，接著執行透過交叉編譯器重新編譯Kernel，再將編譯過後的Kernel下載至嵌入式硬體的RAM，接著透過執行應用程式將數位影音檔案存放至USB的流程如圖12所示，圖中分為三個階段，第一階段使用應用程式與ADC驅動程式驅動底層的晶片(TW2866)擷取影像與聲音進行ADC，第二階段使用壓縮驅動程式驅動晶片(TW2809)將影像壓縮成H.264的格式與將聲音壓縮成ADPCM格式，最後階段使用USB驅動程式驅動底層的USB儲存裝置，將影像與聲音儲存至USB儲存裝置中，達成數位錄影音的功能。

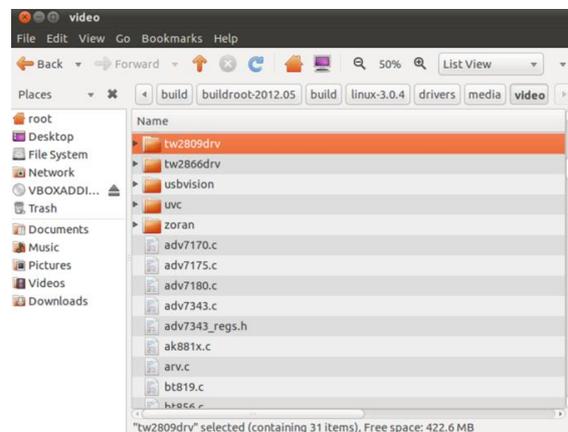


圖11 TW2866與TW2809晶片驅動程式路徑

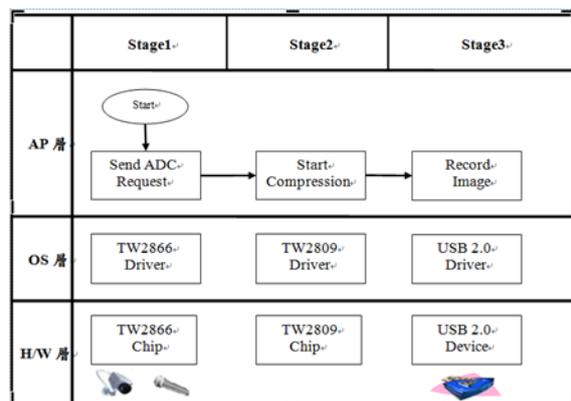


圖12 數位錄影音檔案流程

4.2 類比影音回放

執行Playback(回放)影音的流程如圖13所示，圖中分為三個階段，第一階段使用應用程式與USB驅動程式驅動底層的USB儲存裝置，將USB儲存裝置中的影音資料送至晶片(TW2809)，第二階段使用解壓縮驅動程式驅動

晶片(TW2809)將影像解壓縮成 BT.656 的格式與將聲音壓解縮成 I2S 格式，最後階段使用 DAC 驅動程式驅動底層的晶片(TW2866)將數位影音資料進行 DAC，然後將類比訊號透過顯示器顯示影像與透過喇叭播放聲音，達到類比影音回放的功能。

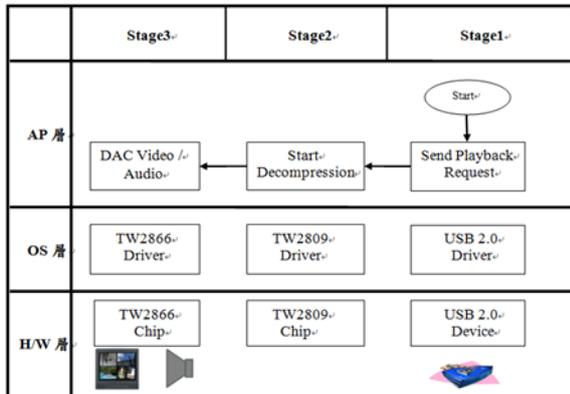


圖13 類比影音回放流程

4.3 影音檔案透過網路傳輸

先將 Linux Host PC 安裝 Linux NFS 如圖 14 所示，並且新增一個 share 的目錄夾如圖 15 所示，接著在 Embedded Linux 利用 mkdir(新增資料夾)指令，新增一個 share 的目錄夾，接著打 mount -o nolock 192.168.1.107:/root/share -t nfs /lib/share 的指令，其中 192.168.1.107 為 Host PC 的 IP，然後再利用 cp(拷貝)指令將 video.h264 影像檔案跟 audio.adpcm 語音檔案，複製到 Linux Embedded 的/lib/share 資料夾中，如圖 16 所示，這樣就可以透過網路將影音檔案傳輸到 Linux Host PC 了，如圖 17 所示。

```

root@tom-VirtualBox:~# sudo apt-get install nfs-kernel-server nfs-common portmap
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following extra packages will be installed:
  libgssglue1 libnfsidmap2 librpcsecgss3
The following NEW packages will be installed:
  libgssglue1 libnfsidmap2 librpcsecgss3 nfs-common nfs-kernel-server portmap
0 upgraded, 6 newly installed, 0 to remove and 379 not upgraded.
Need to get 514kB of archives.
After this operation, 1,589kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue [Y/n]? y
WARNING: The following packages cannot be authenticated!
  libgssglue1 libnfsidmap2 librpcsecgss3 portmap nfs-common nfs-kernel-server
Install these packages without verification [y/N]? y
Get:1 http://tw.archive.ubuntu.com/ubuntu/maverick/main libgssglue1 1.386-0.1-4
Get:2 http://tw.archive.ubuntu.com/ubuntu/maverick/main libnfsidmap2 1.386-0.23
Get:3 http://tw.archive.ubuntu.com/ubuntu/maverick/main librpcsecgss3 1.386-0.19
Get:4 http://tw.archive.ubuntu.com/ubuntu/maverick-updates/main portmap 1.386-6
Get:5 http://tw.archive.ubuntu.com/ubuntu/maverick-updates/main nfs-common 1.386
Get:6 http://tw.archive.ubuntu.com/ubuntu/maverick-updates/main nfs-kernel-server
  514kB in 7s (64.7kB/s)
Preconfiguring packages ...
Selecting previously deselected package libgssglue1.

```

圖14 安裝NFS

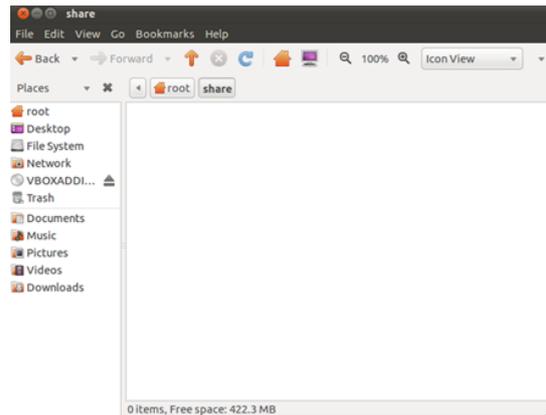


圖15 Host PC新增share資料夾

```

COM1:115200baud - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
libcrypt.so.1          libstdc++.so.6.0.10
libdl-2.0.so          libthread_db-1.0.so
libdl.so.2            libutil-2.0.so.1
libgcc_s.so.1         libutil.so.1
libgconv.so.1         lost+found
libn-2.0.so           nfs_mount.sh
libn.so.6             playback
libnssapp.so          record
libnss-2.0.so         record-tpm
libnss1.so.1          record-original
libnss_compat-2.0.so record-tpm
libnss_compat.so.2   recordvideo_00_00.h264
libnss_dns-2.0.so    wE
libnss_files-2.0.so  video_00_00_704x480.h264
libnss_files.so.2    video_00_00_704x480.h264.txt
# mkdir share
# mount -o nolock 192.168.1.107:/root/share -t nfs /lib/share
# cd record
# ls
audio.adpcm  video.h264
# cp video.h264 /lib/share/
# cp audio.adpcm /lib/share/

```

圖16 新增share資料夾並且將影音檔案放入

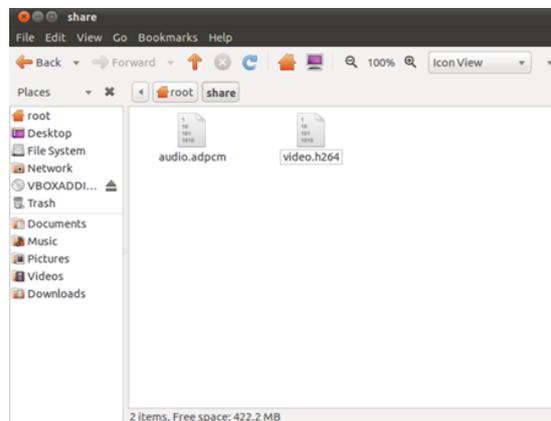


圖17 成功透過網路傳輸影音檔案

4.4 整體系統架構比較

在硬體方面：在表 1 中說明本論文所提出的 Embedded System 架構與傳統 PC System 架構的特點整理，由表 1 中得知 Embedded System 架構的硬體成本，不到傳統 PC System 架構的一半，所以在成本上本論文所提出的 Embedded System 架構比較具有競爭力。

在軟體方面：本論文所提出的嵌入式系統是運行在 Linux 平台上，穩定性比較高，而且取是免費的，所以在成本上也比較具有競爭

力，在表 2 中說明 Windows 作業系統與 Linux 作業系統的特點整理。

綜合整體系統架構比較後：得知本論文所提出的 Embedded System 架構擁有跟傳統 PC System 架構一樣的功能性，但是在成本上卻不到傳統 PC System 架構的一半，因此可以證明本論文所提出的 Embedded System 架構比較具有競爭力。

表 1 PC 與 Embedded System 的硬體比較

	Personal Computer	Embedded System
CPU	Pentium	Pentium / Strong ARM / PPC / x86 SOC
RAM	128M or above	8M~64M
Storage	HD(~GB)	Flash(2M~16M)
Ethernet	NIC	Built-in
Console	VGA	Serial
Purpose	General	Specific
Stability	Fair	Good
Cost	High(~US \$300)	Low(~US \$120)

表 2 作業系統比較

	Windows 7/8	Linux
Installation	Less effort	More effort
Driver Support	Good	Fair
Stability	Fair	Good
Cost	~US \$50	Free

5. 結論與未來展望

在本論文中提出在嵌入式為基礎的監控系統中高效能的數位錄影系統，其最主要目的是建構出一套以不降低功能性，但是價格相對低廉，並且具有前瞻性的一套監控系統，由於 HB301 處理器具有支援 Fast Back-to-Back Transactions 的機制，因此不會降低功能性。所以本論文另一目標就是在未來以同樣的設計方法，設計出具有異曲同工之妙的行車紀錄器，因此以嵌入式為基礎的監控系統，儼然具有未來的市場性。

在後續的發展上，由於 IP Camera 為一種可產生數位化視訊流，並將視訊流透過有線或無線網路進行傳輸的攝影機，因此不管在多遠的地方，只要有網路，都可以進行遠端監控及錄影對安全系統而言，鋪設電纜的工程為安

裝傳統類比攝影機時最主要的成本。若大部分的設備均已佈有網路線時，使用 IP camera 將可節省大量安裝佈線的成本。IP camera 並可讓使用者從遙遠的異地觀看現場的即時畫面，真正達到遠端監控。所以本文採取 H.264 壓縮方式的嵌入式系統非常適合在有限頻寬的網路中串流傳輸影像，因此未來我們將基於 DVR 的數位錄影系統，繼續開發增加軟體使其具有 IP Camera 的功能。

參考文獻

- [1] Christopher Hallinan/林昭宏譯，Embedded Linux 開發實務徹底研究，旗標，民國96年
- [2] 王其稜，多通道JPEG 錄影器於系統晶片之實現，國立成功大學電機工程學系碩士論文，民國93年
- [3] 許鶴瀚，H.264、H.263、MPEG-2 到H.264 畫面內及畫面間轉換編碼整合研究，國立中央大學通訊工程學系碩士論文，民國98年
- [4] 黃宏仁，OrCAD Capture 10.X線路圖設計，台科大出版社，民國98年
- [5] D. P. Torres, Evelio M. García Fernández, Eduardo P. Ribeiro, Vitalio Alfonso Reguera, C. de Oliveira: On the impact of adaptive RED in IP networks transporting H.264/MPEG-4 AVC video streams. Computers & Electrical Engineering (CEE) 38(1):128-139, 2012.
- [6] Intersil Americas Inc. (2009), TW2866, <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/fn77/fn7747.pdf>
- [7] Eri Prasetyo, Hamzah Afandi, Nurul Huda, Dominique Ginhac, Michel Paindavoine, A 8 bits Pipeline Analog to Digital Converter Design for High Speed Camera Application, CoRR abs/0808.0374, 2008.
- [8] Intersil Americas Inc. (2011), TW2809, <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/fn78/fn7875.pdf>
- [9] Kwee-Li Cheng, Naofumi Uchihara, Hiroyuki Kasai, Simple drift error-resilient H.264/AVC encoder for fast video transcoding using DCT coefficients. Computers & Mathematics with Applications (CMA) 64(5):1420-1430, 2012.
- [10] RDC Inc. (2007), HB301, http://www.indevices.com.br/downloads/HB301_preliminary_datasheet.pdf