

嵌入式 ARM 晶片模組心率量測系統之開發

指導教授：謝建興 教授

學 生：劉家瑜

系 別：機械工程學系

摘要

近年來心臟類的疾病死亡率攀升非常快速，而心電圖即為診斷心臟疾病主要的工具之一。現今有許多觀察心電圖的儀器，但是往往擺脫不了離線分析，沒有即時監測功能；或者是擁有即時觀測的功能但卻限制了患者的行動。此系統的開發，就是希望能夠發展出一套能夠即時監控心率狀況、不會阻礙患者行動、擁有強大紀錄功能的一套系統，此系統利用 ARM 晶片(Advanced RISC Machine)作為核心，將資料紀錄於 SD 卡(Secure Digital)，結合 8051 單晶片與 LCD(Liquid Crystal Display)使系統能夠即時觀測心電圖，同時也支援網路傳輸。最後再經由 Datex-Ohmeda S/5 驗證，此系統之計算出之心率與其差異不到 1%。希望未來能夠量測的不只是心臟病，甚至包括是高血壓等身體疾病都能夠即時監控，使醫療系統能夠更加精進。

關鍵詞：心電圖、即時監控心率、ARM 晶片、網路傳輸。

Abstract

Recently, the population of causing death of cardiovascular diseases is increased rapidly. ECG is the one of main tools which can be used to diagnose cardiovascular diseases. Nowadays, there are plenty of devices to measure ECG. However, many devices couldn't get rid of off-line system. Even though they used the real time system the patients' action would be restricted. In order to develop a system which has powerful function including the recording and real time system without restriction is the main purpose of this study. We choose ARM (Advanced RISC Machine) for main microprocessor, write the data in Secure Digital card, then combine of 8051 microchip and LCD panel for real time system. The error of heart rate is less than 1% after testing by Datex-Ohmeda S/5. This result has been shown that this portable system is workable to measure ECG signals.

Keyword: ECG, real time, Advanced RISC Machine, network transmits

一、前言

心臟病長期以來一直是國人的第 3、第 4 大死因。衛生署前一陣子公布國人心血管疾病盛行率，指出 15 歲以上國人，每 19 人中就有 1 人有心臟病，65 歲以上老人，更高達每 5 人中就有 1 人有心臟病。95 年度就有 12283 人死於心臟疾病^[1]。另外，根據世界衛生組織估計，全世界每年有 1650 萬人死於心血管疾病，相當於每天有超過 4 萬 5 千人因此喪命。至於台灣，去年每天有高達 31 人死於心臟病。

對於惱人的心臟病，撇除先天性心臟疾病不說，我們能做的只是積極預防，如：心跳太快、心肌梗塞或心律不整都屬於心臟病的一種，而心電圖即為診斷心臟疾病最主要的工具之一。其中心電圖描繪出心臟搏動相關的電位變化圖，也就是心臟電氣活動的紀錄，由於心電圖各波形之形狀及其間隔皆與心臟之電氣特性有直接的關係，所以醫師能夠藉由心電圖，診斷出急性心肌梗塞，辨認出會造成生命危險的心率不整，看出長期高血壓所造成的慢性傷害，或廣泛的肺栓塞所造成的急性變化，評估病情進展和治療成效^[2]。

在心電圖的分析上，R 波是個非常顯著的特徵，絕大部分的自動 ECG(Electrocardiogram)判讀技術都需要一個高精確度的 R 波偵測演算法。由於每個人彼此存在許多的差異性，要如何發展出一套偵測 R 波的演算法來適應各式不同的心電圖，是一個重要的研究議題^[3-7]。

然而心電圖訊號雖然可以用來監測異常心臟電生理的現象，但如心律不整、心室撲動等，

這些現象並非長期存在，若是利用床邊監測，則限制了病患的行動，無法長期紀錄，有效掌控病患可能之異常心電圖。若是藉由霍特式心電圖記錄器(Holter)執行二十四小時的心電圖紀錄^[8]，雖有助於異常心電圖的發現，但是須透過離線式(off-line)的分析，無法達到即時監測的目的，因此，具有彈性應用，長期紀錄，異常辨認與即時監測分析等特性的心率量測分析系統在臨床上是非常必須的^[9]。

而嵌入式 ARM(Advanced RISC Machine)晶片模組心率量測系統正可以協助心臟病的預防以及病情觀察，利用此系統病人可隨時量測心率，並能即時在 LCD(Liquid Crystal Display)上看到心率波型以及心跳，而數據的儲存是相當重要的動作，所以資料不僅能隨即儲存於 SD 卡(Secure Digital)，也藉由網路將資料傳送到遠端並且儲存，醫生可以在遠端監控接收資料，觀測心電圖，利用網路解決時間以及距離問題，讓醫生可以輕鬆掌握病人病情。

二、系統描述

此心率量測系統(如 Fig.1)使用 ARM7(如 Fig.2)作為主體。ARM 的核心以高性能、體積小、低功率耗損、並與多家知名供應商合作而聞名，廣泛的運用在許多嵌入式系統設計，由於節能的特點，ARM 處理器非常適用於行動通訊領域，符合其主要設計目標為低耗電的特性，利於未來能夠發展出更完整的產品^[10]。

再結合 JTAG(Joint Test Action Group)，也就是用於 ARM 及 MSP430 之除錯器，我們經由

JTAG 去讀取整合在 CPU 上的除錯模組，使用一些除錯工具。它經由 USB 連接至 PC 主機以執行 Windows，可完全整合至 IAR Embedded Workbench 並完全與隨插即用相容^[11]。

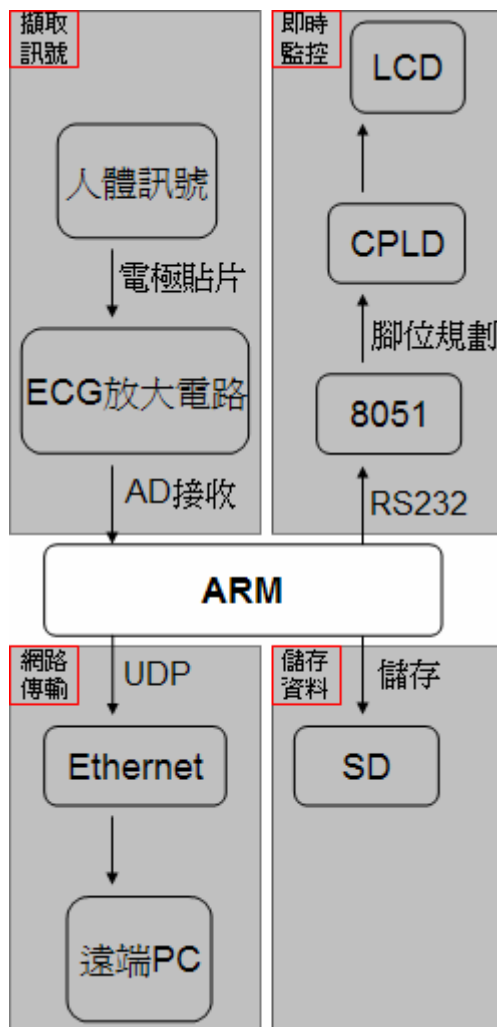


Fig.1 系統架構概略



Fig.2 ARM7 學習板

2.1 硬體介紹

系統大體除了主體，還分為擷取訊號、即

時監控、儲存資料以及網路傳輸四大部分。

(1) 擷取訊號系統：

(I) ARM AD

ARM 內建的 AD 可以將類比的訊號轉換成數位的訊號，可選擇 8BIT 或 10BIT 來表示其解析能力，在這裡我們使用 10 個 BIT，也就是將訊號表示成 $2^{10}=1024$ 個解晰階層。

(II) ECG 放大電路

由於人體心電訊號屬於高噪音背景下的低頻微弱訊號，一般只有 0.05 mV ~ 5mV，心電訊號正常輸出時，其類比訊號平均約為 1mV，只有 mV 量級，需要放大上千倍才能被觀察到，並且人體的內阻比較大，因此 ECG 放大電路其高阻抗、高增益的功能，便為擷取心電訊號的重要關鍵，心電訊號通過專用電極貼片從人體採集到後，送入 ECG 放大電路將類比訊號放大一千倍後，再傳送給 ARM 接收。

(2) 即時監控系統：

(I) ARM RS232

ARM 利用 RS232 將接收到的資料傳送給 8051 單晶片，RS-232 為一種串列通訊介面，目前被廣泛應用於個人電腦上。

(II) 8051 單晶片

8051 單晶片是一種 8 位元的單晶片微電腦的名稱，屬於 MCS-51 單晶片的一種，由英特爾公司於 1981 年製造的 MCS-51 族系單晶片。到現在，有更多的 IC 設計商，如 ATMEL、飛利浦、Winbond 等公司，相繼開發了功能更多、更強大的相容產品^[12]。

(III) CPLD

PLD 依架構及密度分成密度較低的 SPLD(Simple Programmable Logic Device)與密度較高的 CPLD。CPLD 即指一種數位積體電路^[13]，為可程式化邏輯元件^[14-15]。

(IV) 繪圖型 LCD

LCD 模組的基本工作原理為利用控制晶片，根據 LCD 模組上顯示記憶體的內容，不斷的將資料掃描顯示到 LCD 面板上。同時能夠和外部的控制器如 8051 之間溝通。

(3) 網路傳輸系統：

(I) ARM 網路功能

ARM 也支援網路功能，部分以內建 PHY 晶片來控制網路傳輸功能。所謂的 PHY，是做數位和類比訊號的轉換的部分，也就是硬體的部份，負責資料傳送與接收的功能。

(II) UDP 傳輸

UDP 是一個非連線型(Connectionless)的非可靠傳輸協定，它並不會運用確認機制來保證資料是否正確的被接收、不需要重傳遺失的資料、資料的接收可不必按順序進行、也不提供回傳機制來控制資料流的速度，算是不太有保障的傳送方式。但對於某些訊息量較大、時效性大於可靠性的傳輸來說(比方說語音 / 影像)，UDP 的確是個不錯的選擇。

(4) 儲存資料系統：

(I) ARM 儲存功能

ARM 規劃有 SD 卡之插槽，提供 SD 卡之讀取以及寫入，當然也支援 MMC 卡，只要利用程式驅動即可使用，在此系統使用 ChaN 工程師所撰寫在網路上公開的簡易型 FAT 檔案系

統程式庫^[16]來進行驅動。

(II) SD 卡

Secure Digital，縮寫為 SD，中文翻譯為安全數碼卡，是一種快閃記憶卡的標準，它被廣泛地於攜帶型裝置上使用，例如數位相機、PDA 和多媒體播放器等^[17]。

2.2 軟體介紹

此系統之開發利用了許多軟體如：IAR Embedded Workbench 4 Evaluation, Keil μ Vision3, Protel, Borland C++ Builder。其軟體內部的許多設計對於韌體的寫作有相當大的幫助，像是除錯測試就為相當方便的設計。

三、實驗步驟

3.1 擷取心電訊號

由於身體心電訊號極為微弱，所以要利用 ECG 放大電路將訊號放大 1000 倍以方便觀察。首先利用酒精擦拭皮膚後，將 ECG 放大電路電極片之正極、負極分別貼於左右兩側鎖骨下，地線黏至於左側腹部，電源供以正負 6.6 伏之電壓即可驅動，其中訊號線接至 ARM AD port，地線與 ARM 之地連接即可開始進行接收。但注意 ECG 訊號很容易受到電磁波的干擾，所以在使用此 ECG 收集裝置時要盡量遠離手機、PDA...等會發出電磁波的電器產品。

3.2 接收訊號

在操作時，我們先用 ARM 電路圖找出各支腳的位址，利用三用電錶，確定哪支腳為接地，

哪支腳為 3V 等，再找出類比的輸入通道(port C30)。在取樣頻率的設定上，我們利用 ARM 的 TIMER 中斷來進行取樣，取樣頻率最大可到 23.9616 MHz，此系統採用 150Hz 的取樣率即可得到完整波形。ARM AD 的輸入接收電壓範圍在 0V~+3.3V 之間，所以我們在收集到心電訊號之後，利用 ECG 放大電路將訊號放大 1000 倍。

3.3 心率計算

接收到資料後，接下來就是計算即時心率，計算心率有許多方式，因為考慮到即時效率的問題，此系統利用的是簡單的演算法。由於在心電圖中，R 波通常為一個較大較明顯的波形，所以此系統擷取的是 R 波，只要設定一個閾值，一但資料大於閾值就暫時認定為 R 點，而在 R 波之中可能有許多大於閾值的值存在，為了避免在波峰重複取值造成混亂，在這邊利用一個視窗的概念，一但取樣資料大於閾值，便進入視窗內，於視窗內不會判斷取得的資料是否大於閾值，只待取樣點離開波峰後，再開始計算有多少個取樣點，直到遇到下一個 R 點時結算，最後再加回原本視窗所略過的資料點，再乘上取樣頻率(150Hz)，再乘 60 秒，即為每分鐘心跳速率。

3.4 儲存資料

ARM 接收資料後，可直接將資料寫入 SD 卡中，將資料儲存下來做為紀錄，這樣一來不

僅能及時監控，甚至事後也能做離線分析，SD 卡的儲存，對於系統的完整性有很大的幫助。

此系統採用 ChaN 工程師所撰寫在網路上公開的簡易型 FAT 檔案系統程式庫，架構(如 Fig.3)共分為四層最底下為所使用的嵌入式系統的介面，其中介面必要包含提供一個實體的磁碟區和一個計時器，再由磁碟 I/O 程式和磁碟溝通，計時器做 Timeout、檔案系統的日期控制…等，第三層則為 ChaN 的檔案系統程式庫來控制，最後的使用者就可以利用 ChaN 提供的介面函式來做檔案的存取和操作。

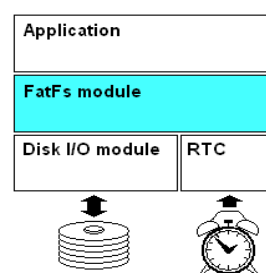


Fig.3 ChaN 的 Tiny-FatFs Module 架構圖

ARM 接收到資料後，利用 ChaN 的簡易型檔案系統可以簡化控制寫入外部記憶卡的控制，將記憶卡的讀取簡單化，首先利用 `disk_initialize` 的函式完成 `initialize` 的動作，再執行 `f_open`，讓指標移動到所對應的檔案的起始位置，讓寫入的記憶體位置管理更為方便，不需自己管理所寫入的磁區為何，若開啓的檔案不存在便會自動建立再開啓，開啓檔案物件指標後可以當作寫入的指標，再用寫入功能函式：`f_write` 可以寫入任意長度的值，且可以連

續執行 `f_write` 達成連續寫入的功能，最後將檔案關閉，執行函式 `f_close` 即可以結束檔案物件指標。而使用 `ChaN FatFs Moudle` 的另一個好處是檔案管理的功能，所寫入的值都可以直接用讀卡機在電腦讀取，可利用 `Ultra Edit` 程式查看記憶卡內的資料以及位置(如 Fig.4)，接下來只要利用簡單的輔助程式即可轉為 `Excel` 檔繪出心電圖^[18]。

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b
00000000h:	0C	0C	0C	0C	0C	0C	0B	0B	0B	0B	0B	0B
00000010h:	0B	0D	0D	0D	10	0F	11	11	10	12	11	12
00000020h:	12	12	10	11	11	11	11	11	11	10	10	10
00000030h:	10	10	10	10	10	0F	10	0E	0F	0E	0D	
00000040h:	0D	0F	0D	0E	0E	0D	0F	0C	0E	0E	0D	0D
00000050h:	0D	0C	0C	0C	0C	0C	0C	0C	0C	0C	0C	0C
00000060h:	08	0B	0B	0A	0C	09	0B	0B	0A	0C	09	0B
00000070h:	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B
00000080h:	0B	0A	10	0C	0E	0D	0B	0D	0A	0C	0C	0A
00000090h:	0A	0F	0B	0B	0C	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B
000000a0h:	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B	0B
000000b0h:	0B	0D	0D	0C	0E	0C	0E	0E	0C	0E	0C	0E
000000c0h:	0F	0E	0D	0F	0A	0E	0F	0F	0F	0F	0F	0F
000000d0h:	0E	0E	0F	0B	0D	0D	0C	0D	0B	0C	0C	0B

Fig.4 利用 Ultra Edit 查看記憶卡

3.5 即時觀測心電圖

由於 ARM 接收到的資料為 0~1023，而 LCD 之規格為 80*160，相對來說資料過於龐大，所以在 ARM 接收到資料後，統一將資料壓縮 13 倍，讓資料介於 0~78 之間。此系統 8051 之核心振盪頻率為 33MHz，鮑率採用 19200，經由 RS232 將資料傳送給 8051，ARM 利用 TX 腳位與 8051 做為連繫，當 8051 偵測到 RX 腳位有資料時，便可以進行接收動作。8051 接收到資料後，再利用 CPLD 與 LCD 連結，藉由 CPLD 使 8051 控制 LCD 的動作簡化，控制 LCD 的動作分為 COMMAND 與 DATA，欲命令 LCD

動作要注意，必須在 LCD 處於不忙碌的狀態，才能命令其動作。而 CPLD 能將這些動作都簡化，因此 8051 透過 CPLD 的協助，在 LCD 上顯示波形以及心跳速率(如 Fig.5)。



Fig.5 LCD 即時螢幕

3.6 發送資料至遠端

ARM 接收到資料後利用網路將資料傳送至遠端，網路方面採用 UDP 傳輸模式，首先利用 DHCP 協定，向 DHCP 伺服器取得一個可使用的 IP 位置，經由 DEBUG RS232 PORT 傳輸至電腦超級終端機，將 IP 顯示至螢幕上，得知自己 IP 位置後，再修正程式內發送端的 IP 以及欲傳送目的端 IP 之後，即發送 ARP 封包到網路上取得目的端 MAC ADDRESS，當順利取得目的端 MAC ADDRESS 後，將欲傳送的資料整理為 UDP 封包格式，傳送至遠端電腦，遠端有利用 Borland C++ Builder 所開發的 UDP 接收程式，可以用來接收 UDP 傳送至電腦的資料，封包內有心電訊號以及計算過後的心跳速率，經過封包拆解，便可獲得波形以及心跳速率，一方面將波形以及心跳速率顯示於接收程式上做為即時觀測，另一方面將接收到的資料存成 TXT 檔至電腦，對事後資料的查閱或做離線分

析都非常有幫助。

3.7 校正系統準確性

爲了校正此系統計算心率之準確度，我們利用一部 Datex-Ohmeda S/5 的生理監視器作爲量測基準，使用心跳模擬器製造心跳，分別使用 Datex-Ohmeda S/5 以及此心率量測系統測量，發現誤差不到百分之一。Datex-Ohmeda S/5 測量出的心跳速率爲 78/min(如 Fig.6)，本系統測量出心跳速率爲 79/min(如 Fig.7)。



Fig.6 Datex-Ohmeda S/5 即時螢幕

接下來再比對 SD 卡儲存的數據與經由網路傳送至遠端所儲存的資料，利用簡易的讀檔輔助程式，將 SD 卡中的資料轉換成 Excel 曲線圖，與經由網路傳送至遠端所儲存的資料之曲線圖做比較。

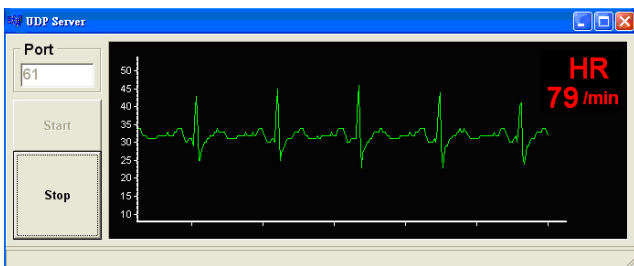


Fig.7 UDP 程式接收模擬器之訊號

經由比較發現 SD 卡所儲存資料多於遠端電腦的資料，推測可能由於 UDP 封包格式傳送較不保險，就算知道封包錯誤也不會要求伺服

端重新傳送，所以造成遺漏資料。而 SD 卡的資料是直接由 ARM 寫入，所以沒有資料的遺漏情形。以下(Fig.8~ Fig.9)皆爲實驗數據，由 Excel 將 SD 卡儲存的資料，以及經由 UDP 傳送至遠端所儲存的資料所畫成的曲線比較圖。由下圖可見，SD 卡之數據多於遠端資料約兩倍。

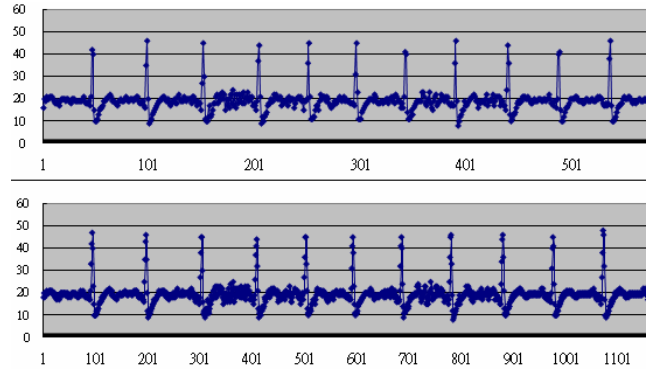


Fig.8 SD 卡(下)與遠端資料(上)比較圖

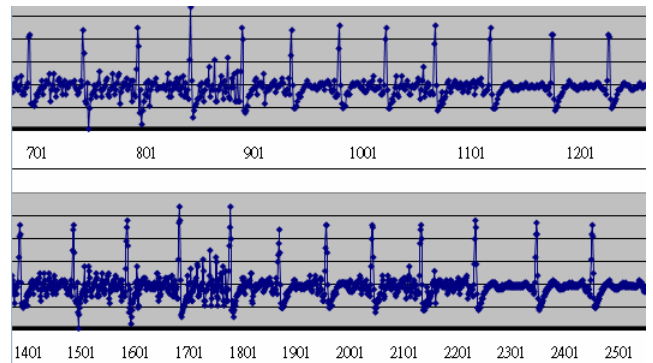


Fig.9 SD 卡(下)與遠端資料(上)比較圖

四、結論

近年來驚人的心臟類疾病死亡率，讓許多醫學研究人員都非常重視心臟病的預防以及治療。現今許多的心臟相關醫療儀器缺乏了機動性以及便利性。此系統的開發，成功的建立了一套強大系統的雛形，目前有即時監測心率狀況、即時紀錄以及支援網路傳輸的功能。而系統準確度的校正，採用 Datex-Ohmeda S/5 做爲

量測基準，經過多次比對，此系統量測出之心率與 Datex-Ohmeda S/5 差異不到 1%。

而目前較大的問題是電源供應問題，由於目前 ARM、LCD、8051 單晶片、ECG 放大電路均需要供電，所以系統電力不持久，目前正在改善。而次要的問題是系統架構尚未精簡化，體積仍稍嫌過大，相信改善過後，對於應用在可攜式的概念上會非常有幫助。希望未來能夠發展出更多種疾病的量測系統，使醫療系統能夠更加精進以及進步。

五、謝誌

專題能夠如期完成，再這裡首先要感謝謝建興教授給我一個難得的機會。還有感謝智慧型系統實驗室裡的所有學長們，感謝鄭凱元、陳裕仁學長熱心的幫忙，感謝黃盛煒學長非常熱心且花時間的教導，感謝羽冠科技公司的研發部門的呂經理暨其他研發人員，在那邊我學習到許多實用的知識，再這次的專題中我學到了許多不同的新事物。

六、參考文獻

- [1] 「衛生統計資訊網 (<http://www.doh.gov.tw/statistic/index.htm>)」,“衛生統計系列(一)95年度死因統計”,表10 歷年死亡原因,2006。
- [2] 「楊正榮」,“以小波轉換為基礎的QRS波偵測方法”,碩士論文,2004。
- [3] P. Jiapu and W. J. Tompkins., ”A Real-Time QRS Detection Algorithm,” *IEEE trans. on bio-medical engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 230-236, March 1985.

- [4] J. Lee, K. Jeong, J. Yoon; M. Lee, ”A Simple Real-Time QRS Detection Algorithm,” *18th Annual Intern. Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Vol. 4, pp. 1396-1398, Nov. 1996.
- [5] Saeid Reza Seydnejad and Richard I. Kitney,” Real-Time Heart Rate Variability Extraction Using The Kaiser Window,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 44, pp. 990-1005, Oct. 1997.
- [6] G. M. Friesen, T. C. Jannett, *et al.*, “A comparison of the noise sensitivity of nine QRS detection algorithms,” *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, Vol. 37, pp. 85- 98, 1990.
- [7] 「林威助」,“生理訊號擷取系統設計與心電圖之前置分析”,交通大學電機與控制工程學系碩士論文,民國90年。
- [8] 「李威廷」,“心律不整的檢查與24小時心電圖”,國立成功大學醫學院附設醫院斗六分院 (<http://d6www.hosp.ncku.edu.tw>),2007。
- [9] 「劉昌賢」,“以數位訊號處理器為基礎的即時心率分析器設計”,長庚大學電機工程研究所,民國90年。
- [10] 「維基百科 (<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E9%A6%96%E9%A1%B5&variant=zh-tw>)」, “ARM 架構”,2007。
- [11] 「維基百科 (<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E9%A6%96%E9%A1%B5&variant=zh-tw>)」, “JTAG”,2007。
- [12] 「維基百科 (<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E9%A6%96%E9%A1%B5&variant=zh-tw>)」, “Intel 8051”,2007。
- [13] 「趙景松」,“數位邏輯設計”,東海高中教學成果發表,2005。
- [14] 「Lattice Semiconductor Corporation (<http://www.Latticesemi.com>)」, “Products CPLD/SPLD”,2007。
- [15] 「彥陽科技(<http://www.pmaster.com.tw/index.htm>)」, “Lattice的可程式邏輯設備(PLD)的應用”,2007。
- [16] 「The Electronic Lives Manufacturing(<http://elm-chan.org/>)」,“FAT File System Module”,2007。
- [17] 「維基百科 (<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E9%A6%96%E9%A1%B5&variant=zh-tw>)」, “Secure Digital”,2007。
- [18] 「黃盛煒」,“ARM-外部記憶卡功能”,智慧型系統研究室,2007。