

# 可與PC經藍芽連結或離線運作的單車運動資訊系統

林高遠

國立臺灣師範大學機電科技學系研究生  
60132057A@ntnu.edu.tw

陳美勇

國立臺灣師範大學機電科技學系副教授  
cmym@ntnu.edu.tw

## 摘要

本系統以 8 位元單晶片為核心，結合藍芽傳輸、C#視窗介面程式，完成一套多功能的單車碼表。不同於過去傳統的獨立單車碼表，只是速率、里程、溫度等資訊的記錄器；本系統在室外可如一般單車碼表獨立運作；亦可在室內的固定式訓練台上，作為與 PC 藍芽連線的狀態紀錄器。此一資料開放的平台上，突破傳統碼表將資料鎖死在特定機器內的限制，有助於教練或選手對訓練紀錄做長期的保存與分析。另外，在韌體的設計上，又針對既有的演算法改良，達到 1.更小的計速誤差 2.使 LCD 模組可對抗間歇性的雨水和震動之目的。

**關鍵詞：**單車碼表、運動歷程、LCM當機

## 1. 前言

近年來崛起的單車運動，使得每逢假日就可在街頭上見到市民三五成群的騎單車出遊。休閒運動除了可以從生理與社會面帶來滿足感外，心理層次的滿足感更是持續參與健身運動的動機。

根據運動心理學[1]，健身運動中若有競爭的機會、良好的運動設備，都能增加參與健身運動的動機。然而，對生活繁忙的現代人來說，或許時間上難以配合參與和他人競爭的健身運動，因此就少了些參與健身活動的動機。但是，透過運動表現量化儀器，我們可以自己和自己競爭—和昨天的自己競爭。單車設計的未來，將由基本性能需求逐漸發展為移動以外的附加需求[2]。

因此，計步器、慢跑碼表或單車碼表等，近年來成為繼高科技運動鞋後，運動用品市場上的新寵兒。除了傳統的運動用品品牌有開發、販售並陳列於運動用品架上以外，就連車用電子大廠 Garmin(如圖 1)與醫療器材品牌 Omron(如圖 2)等，都持續推出可攜式的人體運動表現量化儀器[3]。

雖然臺灣自譽為自行車出口大國，但根據台灣區自行車輸出業同業公會的統計資料[4]，在「腳踏車用電器與照明設備」這個項目，不論是出口數量或出口金額上，都遠遠不及成車或車架等金屬機構零件為主的商品。顯見臺灣雖然有龐大的自行車與 3C 產業，但是卻各據山頭，未能充分結合創造更多產值。

國人自製的單車碼表，如捷安特(GAINT)與

美利達(MERIDA)等單車大廠所推出的款式，雖然外型和品質皆屬世界一流，但仔細探究其功能，仍脫離不了傳統單車碼表的侷限；尤其是如早期的傳統手機般，毫無彈性的嵌入式系統，就只是封閉運作，每一個碼表就像是一個牢籠，將所記錄的運動歷程囚禁在其中，就連相同型號的碼表之間都無法轉移，更不用奢求能將紀錄如智慧型手機般同步到 PC 或雲端伺服器上。倘若該碼表日後遺失或因故障記憶重置，辛苦累計的運動歷程將付諸流水，對使用者心理造成相當程度的挫折。

自行車機械工業乃我國傳統產業在世界上的驕傲項目之一，若以更先進的電子技術提高自行車的附加價值，從更人性化的角度改良現有機器，將可使我國傳統產業再升級。



圖 1 Garmin 運動手表



圖 2 Omron 計步器

## 2. 相關文獻與商品探討

無線生理訊號擷取的應用，在醫療復健相關領域的研究中，已經廣泛被實作出來，並且有臺灣本土公司成功商品化[5]。

過去有孫證禮[6]實作出能測量生理訊號並以電腦作健康管理的單車用嵌入式系統，同樣與本文考慮到可以將運動資訊轉存至 PC 作更彈性的運用，但並未以無線連結將資料傳出，而是以 USB 隨身碟做為傳輸媒介，時效性和便利性都遠不如本文的研究成果；以及吳炯男[7]與 Chang 等人[8]以穿戴式裝置實現無線即時生理訊號測量，Host 端為需要隨身攜帶的 PDA，後者更應用在單車騎士身上，但並未擷取機械資訊。

可惜的是，上述已經實現的各種作品都是站在運動員主觀的角度設計，「無線」只是一種使運動員手腳不受電氣線路拘束的手段，作為紀錄器的 Host 端為智慧型手機或 PDA，功能就僅止於紀錄，細節瀏覽與資料分析都需要等運動結束後才能進行，而且無法以單一裝置同時擷取機械與生理訊號。

本研究嘗試將無線傳輸的目的，提升到「資

訊立即共享」的層次，站在運動教練與單車研發人員的角度，提供即時、視覺化，並同時呈現機械與生理訊號的單車運動資訊系統。

### 3. 研究方法與實驗步驟

本系統以 8 位元單晶片 MG87FE6051 為核心，擷取第一線的運動資訊，搭配 PC 使用 Visual Studio 2010 C# 撰寫接收單車運動訊號的程式。

實驗初期，先暫時將所有電子電路插在麵包板上，經過反覆測試、修改，確認可行之後，再自行佈線、焊接於一塊空電路板上[9]。(如圖 3)

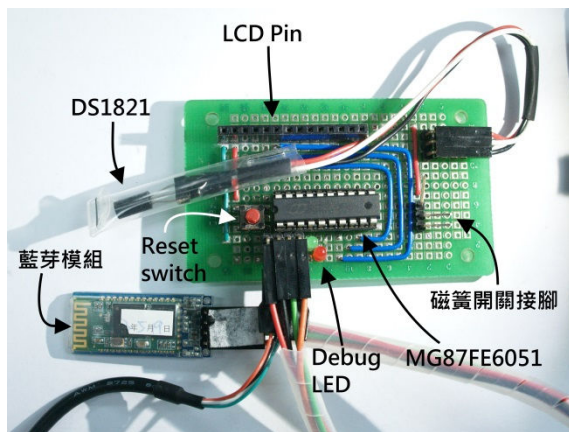


圖 3 焊接完成的主機板

#### 3.1 單晶片 MG87FE6051 介紹

MG87FE6051 為一 8051 核心的增強型單晶片，由國內的 IC 設計公司一筆泉(MEGAWIN)所推出，不論接腳或指令集都完全向下相容於廣泛使用的 AT89C4051，與之相比強化了幾點功能：

1. 內建 RC 震盪器，頻率可高至 48MHz；AT89C4051 系統頻率最高只到 24MHz。
2. 承 1.，故不需外接石英晶體，比 AT89C4051 多出 2 支接腳可作為 GPIO(General Purpose I/O)用。
3. 內建一組硬體 PWM 產生器。
4. 程式記憶體由最多 4kByte 增大至 6kByte，且具備 IAP(In-Application-Programmer)功能，使程式記憶體(ROM)可如同 EEPROM 般使用。

#### 3.2 單晶片周邊電路設置

##### 3.2.1 速度感測機構

首先，最重要的就是速度感測機構部分，在前輪幅條上固定一顆強力磁鐵(如圖 4)，並在相同半徑位置的前叉上固定一顆磁簧開關(如圖 5)。當

強力磁鐵掃過磁簧開關，磁簧開關就會輸出一個低電位脈波(如圖 6)，此脈波將觸發單晶片的外部中斷 EX0(如圖 8 與圖 9)。

為了防水防泥沙考量，前叉上的磁簧開關引出焊接好的訊號線後，用透明熱縮套管和熱熔膠密封封裝。

##### 3.2.2 行車資訊輸出裝置

輸出裝置採用 20\*4 個字元的背光 LCD 模組(如圖 7)，常態運轉下顯示的資訊如下：

- 速率
- 累積里程
- 溫度
- 車主姓名與連絡電話交替顯示

另外，LCD 的 LED 背光板為整個系統中最耗電的部分，故另外設計一個手動開關，可讓騎士自由開關 LED 背光



圖 4 前輪幅條上的強力磁鐵

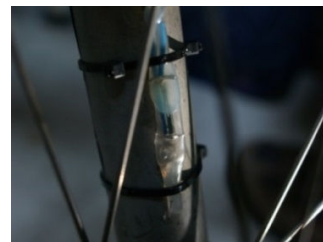


圖 5 前叉上以熱熔膠封裝過的磁簧開關

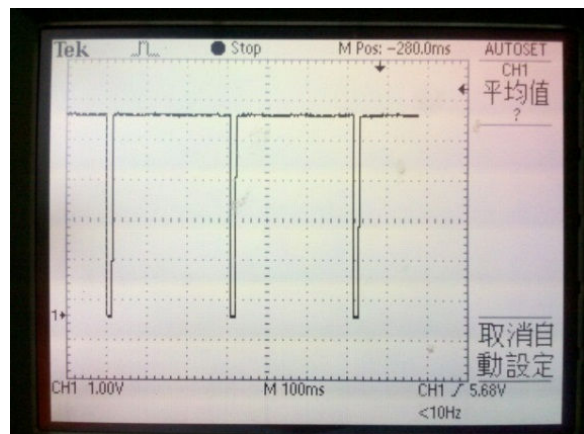


圖 6 前叉磁簧開關於時速 24km/hr 時的輸出訊號 (已用 RC 電路消除彈跳)

### 3.2.3 數位式單線雙向溫度感測器

溫度感測部分，由於本系統採用的 MG87FE6051 並未內建 ADC 或溫度計，因此採用 DS1821 (如圖 3)，DS1821 為內建 ADC 的溫度感測 IC，由 Dallas 半導體公司所推出，並採用該公司獨家的 1-Wire 通訊協定，只需要一條線就可以做 8 位元的半雙工(half-duplex)串列通訊[10]，此通訊協定多用在低速的 sensor 與 MCU 傳輸上。

為了防水防泥沙考量，同樣用透明熱縮套管封裝；但未比照磁簧開關以熱熔膠填裝，是為了使部分空氣流通，讓溫度 sensor 能快速反應環境溫度。

若是作為訓練用途時，可將 DS1821 固定在騎士皮膚上，達到監控體溫功能。

### 3.2.4 藍芽非同步串列通訊界面

本系統採用 Cambridge Silicon Radio 公司的 BC417 藍芽通訊晶片模組(如圖 3)。將該模組的 Rx 和 Tx 端，與 MG87FE6051 的 Tx 和 Rx 端相接後，只要單晶片啟動時完成所有 UART(非同步串列通訊)相關初始化設定，整個單晶片系統即可回應來自 PC 端藍芽收發器的訊號。

## 3.3 單晶片動作流程

### 3.3.1 系統初始化

除了對 IO、Timer、UART 等單晶片內部周邊初始化之外，也對 LCD、數位溫度 IC 等外部周邊電路初始化。最後，於 LCD 顯示車主姓名與聯絡資訊等開機畫面(如圖 7)。

### 3.3.2 快速計算行車速率

本系統以磁簧開關配合磁鐵掃描，算出前輪每周旋轉的時間，並根據此時間得以計算出該圈的行車速率，以本系統採用的 26 吋(直徑)輪框為例：

$$= \frac{\text{前輪轉一周距離}}{\text{前輪轉一周時間}}$$

$$= \frac{26\text{in} \times 2.54 \frac{\text{cm}}{\text{in}} \times \pi \times 0.01 \frac{\text{m}}{\text{cm}} \times 0.001 \frac{\text{km}}{\text{m}}}{\text{mSec} \times 1000 \times \frac{\text{hr}}{3600\text{sec}}}$$

$$= \frac{7468.948}{\text{mSec}} (\text{km/hr}) \quad (1)$$

(此處的 "mSec" 是強調以 1/1000 秒為計時單位)

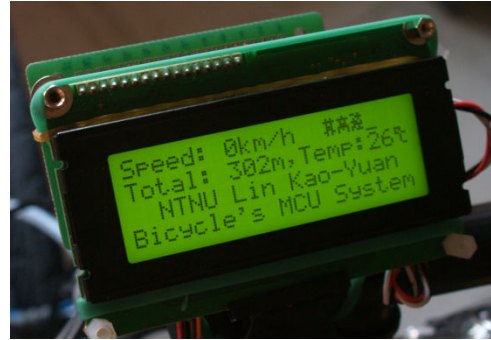


圖 7 顯示行車資訊的實際畫面

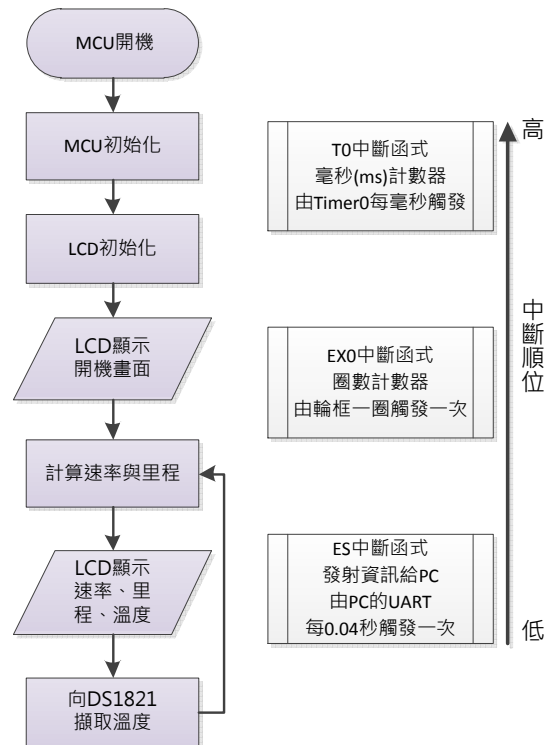


圖 8 單晶片動作流程圖

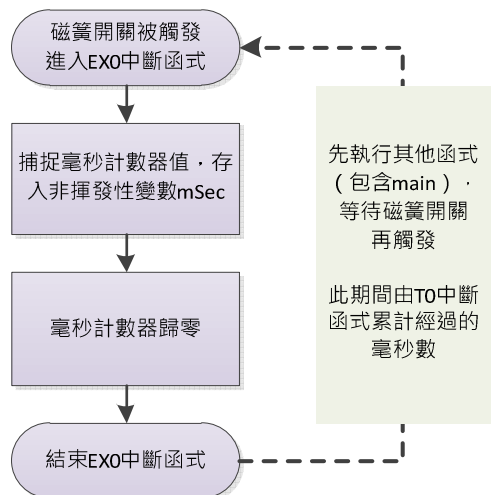


圖 9 EX0 中斷函式動作流程圖

為了減少韌體(firmware)的時間複雜度(Time Complexity)，事先算出式 1 的分子常數，並四捨五入為 7469。使得 MCU 只需多耗費一個 16bit 的程式記憶體(ROM)儲存”7469”這個定值(const)整數，就能節省寶貴的資料記憶體(RAM)與堆疊(Stack)，並加快運算速度[11]。

若磁鐵掃過磁簧開關的時間為  $t(n)$ ，上一次掃過的時間為  $t(n-1)$ ，則前輪轉一周的時間  $mSec = t(n) - t(n-1)$ ，由 EX0 中斷函式負責捕捉(如圖 8 與圖 9)。

### 3.3.3 與 PC 間透過藍芽無線通訊

本研究經過 UART 傳送給 PC 的 ASCII 字串封包格式，是模仿 GPS 所採用的 NMEA(National Marine Electronics Association)0183 通訊協定規劃 [12] [13]，以「句子」的樣式傳輸資料，並以 '\$' 字元作為封包開頭，不同資料項目之間以 ',' 字元隔開，格式如下：

\$BicycleMCU,<速率>,<里程>,<溫度>,<CR><LF>

另外，PC 端搜尋到 BC417 藍芽通訊晶片模組並配對成功後，PC 就會新增一個周邊裝置，是以藍芽模擬的 COM Port。設計圖型介面程式時，對此 COM Port 操作，就可使 MCU 和 PC 作無線通訊。

## 3.4 困難與問題解決

### 3.4.1 解決「掃描時間黑洞」問題

本系統以前輪輻條上的磁鐵，掃描磁簧開關產生的脈波，作為觸發計時中斷函式「停止/清除/開始」的訊號。但是磁鐵本身散發出的磁力線場，投射在輪框的二維平面上佔據相當的面積，該面積佔據的弧度會造成輪框計時上的「時間黑洞」(如圖 10)，此「時間黑洞」的範圍是磁簧開關與磁鐵旋積(convolution)所得序列的不為 0 處。「時間黑洞」使系統取得的每圈旋轉時間，比實際上更短，導致高估行車速度，淪為車類運動社群所嘲諷的「快樂表」。

另外，時間黑洞亦造成另外一個問題，若駐車時磁鐵剛好在「時間黑洞」的弧度範圍內，LCD 畫面會被凍結，無法更新溫度與車主宣告資訊。

仔細探討時間黑洞的成因，是由於外部中斷源 EX0 採用低位準觸發(Level trigger)，使 MCU 的執行緒在磁簧開關短路期間(如圖 11，低電位部分)，都被卡死在 EX0 中斷函式中，跳不出來。由於「溫度偵測」與「LCD 畫面更新」都在 main 函式中，順位當然低於任何中斷函式，因此這兩者在「時間黑洞」所佔據的弧度內自然無法執行。

為了解決上述問題，本研究嘗試將 EX0 外部中斷函式的觸發方法，由位準觸發(Level trigger)改為負邊緣觸發(Edge trigger)。

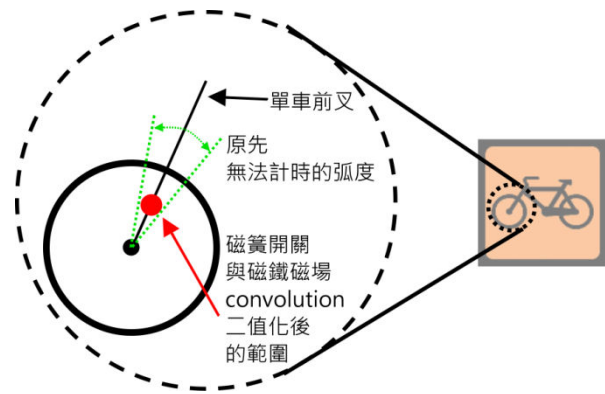


圖 10 弧度時間黑洞示意圖

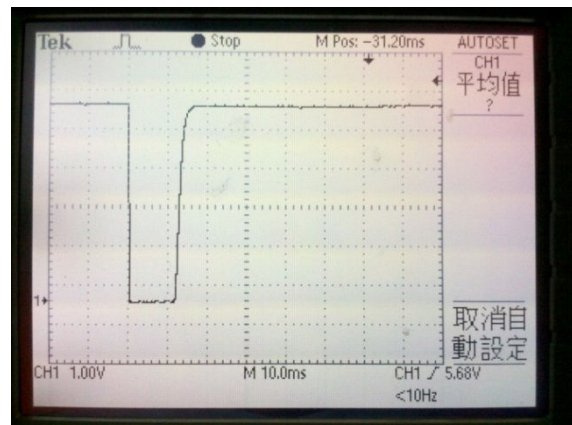


圖 11 將圖 6 的訊號，時間刻度放大 10 倍

由於理論上方脈波的邊緣不具任何寬度，當然也就不會佔去任何時間(這裡的「時間」投射到輪框上就是「弧度」);在本研究以 m sec 為計時單位的前提下，方脈波的實際負邊緣寬度極小(如圖 11)，可直接視為 0。

換算成輪框上的「時間黑洞弧度」，此弧度的範圍由原先「磁簧開關與磁鐵旋積(convolution)所得序列的不為 0 處」，變成該序列的微分取正值。使原先的「時間黑洞」弧度，在週期性序列上縮小到只佔一個脈衝(Impulse)的寬度而已。

經過實驗證實，採用負邊緣觸發(Edge trigger)確實可以消除「時間黑洞」現象，不但達成更準確的計速，也使前輪輪框在任何角度駐車時都可以更新溫度與 LCD 畫面。

### 3.4.2 以程式碼對抗震動和雨水

單車是一種戶外運動，行進間難免遭受震動和雨水侵襲，車上的電子設備也不例外。雖然部分供戶外運動用的消費性電子產品，都在外殼機構上了下防水的功夫，但沒有任何的保護措施可以萬無一失。

近兩年來，台北市大量沿街露天設置的公共自行車系統-YouBike 自動服務機，每到雨天時

就有部分機台當機[14][15]，LCD 畫面花成一片，雨過天晴後仍不能自動恢復正常。本研究嘗試在單車資訊系統上改善這種現象。

電子電路的震動有可能會導致某些電子接點斷路；雨水則使部分電子接點短路。然而，不論震動或雨水，加諸於系統的時間都是相當短暫，但 LCD 卻只要瞬間的斷路\短路就有很高的機率造成永久性失靈，使畫面亂碼或無法顯示任何資訊，且 MCU 陷入無限迴圈之中。

若要恢復正常必須將系統重置，導致尚未儲存的運動資訊遺失。倘若產品有這種缺陷，會給使用該系統的騎士造成相當的心理挫折。

仔細探究其原因，是由於以下幾個 LCD 中的關鍵時序不正常：

1. 以軟體方法由 MCU 給 LCD 之 Enable 腳位負緣訊號，使 LCD 開始讀取(進入忙碌狀態)，並由 MCU 給 LCD 之 BF(Busy Flag)腳設為 1(被動表示忙碌狀態)
2. MCU 以輪詢(polling)迴圈等待 LCD 將 BF 腳自動設回 0(主動表示動作完畢，結束忙碌狀態)

上述兩個過程，為每次對 LCD 寫入指令或資料必經過程。若 LCD 遭受非預期的斷路\短路，可能使 LCD 之 BF(Busy Flag)腳被 MCU 設為 1，卻沒有給 LCD 之 Enable 腳位負緣訊號，造成 LCD 之 BF 腳位不會自動設為 0，就算排除非預期的斷路\短路後，只要 MCU 下一次對 BF 腳位輪詢時，就會陷入無限迴圈中。簡言之，就是：

- LCD 之 Enable 腳位等待 MCU 給予負緣訊號
- MCU 又等待 LCD 將 BF 腳位自動設為 0

這種兩個(或以上)的運算單元同時都在等待對方回應，陷入僵持不下的情況，就稱為「死結」(Deadlock)。

為了避免震動和雨水這類短暫干擾，導致系統發生不重置就不可解的死結，本研究嘗試改進程式流程，在每一次進入可能發生死結的輪詢迴圈之前，再度初始化 LCD，強迫 LCD 提早釋出系統資源，免於系統發生死結的命運。

## 4. 實驗結果

### 4.1 PC 通訊功能

由於國內的自行車產業是由捷安特(GAINT)與美利達(MERIDA)兩大單車廠所寡占[16]，故本研究以前述廠牌中最高價的款式做為比較對象。

根據本研究實作出來的結果，本研究的碼表不但具備各大廠牌的主要功能，更實作出捷安特與美利達所沒有的 PC 連線功能(如表 1)與動態同步更新的圖形介面(如圖 12)，該圖形介面是 PC 透

過藍芽介面，與單車上的微電腦進行即時無線傳輸，將單車的運動學訊息與騎士的生理狀態，同步更新到 PC 上。

表 1 各廠牌頂級單車碼表與本研究系統比較

各廠牌 最高價款/ 主要功能	MERIDA PRO	GAINT AXACT PRO+	本研究 建構之系統
即時速率	V	V	V
即時溫度	V	V	V
里程	V	V	V
PC 連線	無	無	V

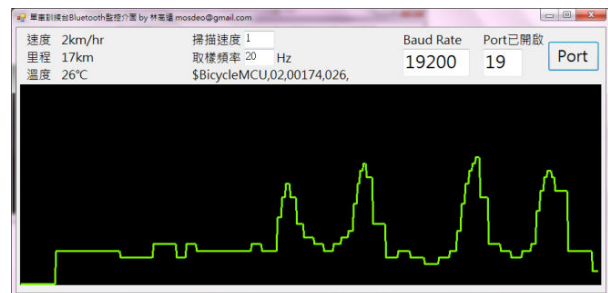


圖 12 以 C#設計的單車資訊系統圖形介面

上圖中的波形，是單車的「速率-時間」圖，為何呈現鋸齒狀？本研究最早認為可能是中斷時序安排不當，但仔細觀測訊號後，發現是由於取樣頻率正比於輪框轉速，若行駛速率很慢，速率值也要很久才更新一次。

受限於無線傳輸，本系統於 PC 端最高的取樣頻率為 25Hz，根據 Nyquist 取樣定理，在最佳的情況下，最多只能取樣到 12.5rps 的輪框轉速。若以本研究使用的 26 吋直徑輪框，12.5rps 下速率已經達到 93km/hr！若以日常的速度騎乘單車，更新頻率不到 5Hz。因此，鋸齒狀波形只是忠實呈現原本的訊號。

### 4.2 LCD 死結改善

經過實驗證實，改進後的程式流程，確實可以對抗無數次的 LCD 斷路\短路，只要震動和雨水等干擾消失，系統立刻恢復正常，無須重置，可保護運動資訊變數，使其免於受迫性揮發。

## 5. 結論

本系統從最初在實習版上的原型，歷經一年，平均每一個工作天 8 公里的單車通勤測試，不時發現實地使用上的缺陷，並加以改良。

在與 PC 連線使用上，也能夠以最快 25Hz 的速度向 PC 更新單車運動資訊。

另外，根據本人長期測試，發現本系統除了能夠及時反映騎乘速率、當下溫度、計算里程，在通勤過程也以「與自己競爭的機會」、「良好的運動設備」提供更好的單車通勤體驗，強化以騎單車取代搭公車通勤的動機。

## 6. 未來工作

當代的單車碼表功能繁多，除了表1所提到的功能外，還有心率、轉速、坡度、最大速率等，唯獨與電腦的即時連線、資料同步視覺化呈現並保存等功能，都是國內單車廠商欠缺的部分，因此本論文並不將所有功能實作出來，僅針對市場上較稀少，且可能提高單車設備產值的部分研究並實現。

希望未來能將研究成果推廣給國內製造、設計運動器材的廠商參考，協助改進既有的運動表現紀錄器，促進國內產業升級、甚至是異業結盟，也給世界各地的運動愛好者更多選擇。



圖 13 實際裝設於單車上的情形

## 參考文獻

- [1] 簡曜輝等譯，**競技與健身運動心理學**，台灣運動心理學會，2006。
- [2] 楊凱程，**以行為觀察探討自行車使用者生活型態、行為與思考**，國立臺北科技大學創新設計研究所碩士論文，2010。
- [3] 相子元、何金山、石又，**感測科技於運動健康科學之應用**，體育學報，2012。
- [4] 台灣區自行車輸出業同業公會網站 <http://www.tbea.org.tw>，歷年進出口統計資料。
- [5] 博晶醫電。 <http://www.bomdic.com/>
- [6] 孫證禮，**建構具備健康記錄管理與模組化之自行車表**，崑山科技大學光電工程研究所碩士論文，2010。
- [7] 吳炯男，**可攜式無線生理訊號量測系統之實現**，南台科技大學電機工程系碩士論文，2004。
- [8] Chang- Ming Yang, Chih-Chung Wu, Chun-Mei Chou, Ching-Wen Yang, **Textile-based Monitoring System for Biker**, Information Technology and Applications in Biomedicine, 2009。
- [9] 林高遠，**建立以動態影像追蹤人臉之二維視覺伺服控制系統**，國立臺灣師範大學機電科技學系 2012 學生專題製作成果報告彙編，2012。
- [10] 詹東功，**微電腦控制:USB to COM Port 監控實務**，全華，2012。
- [11] 林伸茂，**8051 單晶片徹底研究-經驗篇**，旗標，2002。
- [12] Jeff Stefan, **Navigating with GPS**, The Magazine for Computer Applications, 2000。
- [13] Shiping Lou, Jianping Xing, Gang Chen, Dejing Zhang, Changqing Li, **The Design of Vehicle GPS Terminal Based on S3C44B0X**, International Conference on Embedded Software and Systems Symposia, 2008。
- [14] 劉榮 (2013, 5 月 20 日)。 **下雨就「秀逗」 YouBike 服務機「穿雨衣」**，自由時報，都會版
- [15] 張立勳 (2013, 6 月 15 日)。 **YouBike 服務機加蓋，不再穿雨衣**，中國時報，地方版
- [16] 莊雅雯，**台灣自行車產業動態研究**，國立宜蘭大學應用經濟學系碩士論文，2010。