

HT46R47 應用於網路型多點溫度量測與顯示系統

1. 前言

溫度感應器的應用範圍十分廣闊，從工業、家庭甚至個人，均需要溫度量測功能。本作品使用數類數位溫度偵測 IC -- LM92 量測各測量點之溫度，量測溫度的解析度可達 0.0625°C ，量測數值經由單晶片 HT46R47 以 RS232 介面連結到近端 PC，PC 端的程式將連續紀錄量測值並以曲線顯示於螢幕上。這些量測值除了儲存於資料庫供後續資料處理外，並可由預定設定值啟動遠端監控功能(如室溫調節、火災警報等)。這個溫度感測電路由 PC 序列介面的 RTS 及 DTR 信號端取得電源供應，經 78L05 得到 +5V 電壓，而不需外加電源。整體設計上使用最少零件並且耗電極低。

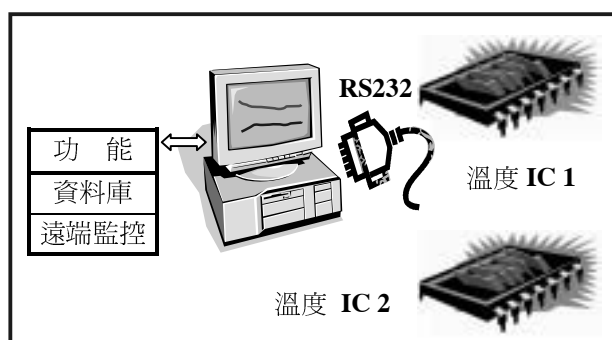


圖 1：系統結構示意圖

2. 系統設計之考量

傳統溫度量測使用類比溫度感應器如熱電耦、熱電晶體或熱敏電阻。熱電耦係將不同金屬連接在一起，當左右兩端點有溫差時即會產生相對的電壓，測量範圍非常寬廣，可從 -200°C 到 1700°C (圖二 A)。另外一種用熱敏電阻構成惠斯登電橋，將溫度變化檢出(圖二 B)。為了在工作範圍內得到良好的精確度與線性度，類比式溫度感應器除了需要搭配複雜的電路，並且還需進行精確的較準工作，當其需與微處理器連接時間問題就更為複雜。若連接介面為數位時，則中間需搭配 10 位元以上的 AD 轉換器，需要多數的線號線連結；若直接以類比信號連接，則傳輸線上的信號干擾(如雜訊、衰減等)就需謹慎處理，以上兩種方式均不利於長距離的連接。因此在大量使用溫度感應器的場合時，將會使得系統成本昂貴，也不利於系統之維護。本製作採用美國國家半導體(National Semiconductor Corporation NS)公司的 LM92 數位溫度感應器[3]，以簡單的數位信號與微處理器連結，如此除了可大幅降低系統費用、便於維護、增加系統穩定性、容易架構成溫度監測網路外，同時也有可以任意加減偵測點之便利。

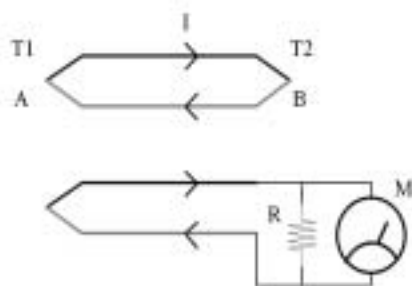


圖 2A：熱電耦溫度檢測器

兩不同金屬線相連接，當 AB 兩端點溫度不同時即產生電流。

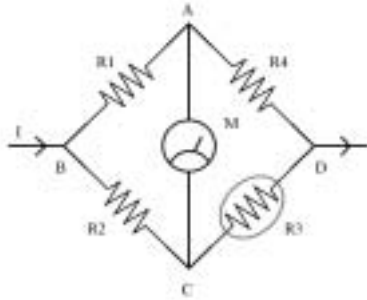


圖 2B：惠斯登電橋溫度檢測器

R3 為熱敏電阻，其阻抗隨周圍溫度改變。
當 $R1 \times R4 = R2 \times R3$ 時，A 與 C 兩點的電位相等。

3. 系統結構與電路

本製作以 HT46R47 微處理機微核心，以 I2C 匯流排與多數個 LM92 溫度感測器連接，感測溫度資料透過 RS232 傳送到近端 PC，此 PC 在經由網路與遠端 PC 連結，各部分功能將分別敘述於後。

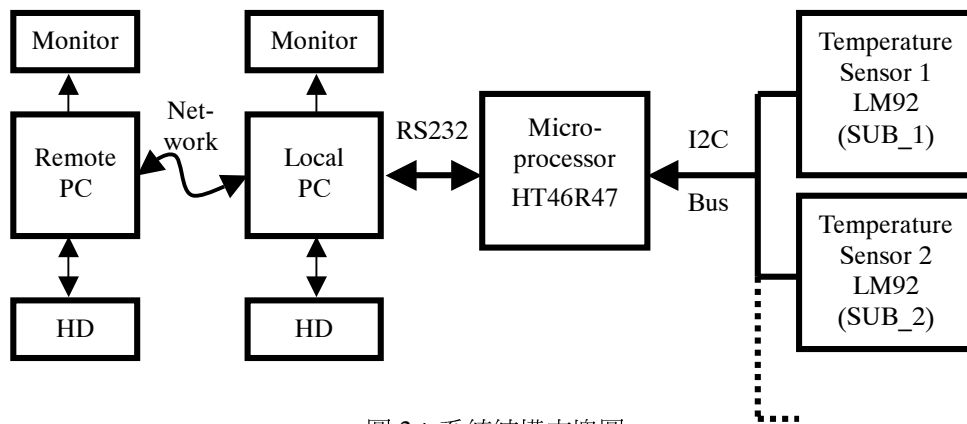


圖 3：系統結構方塊圖

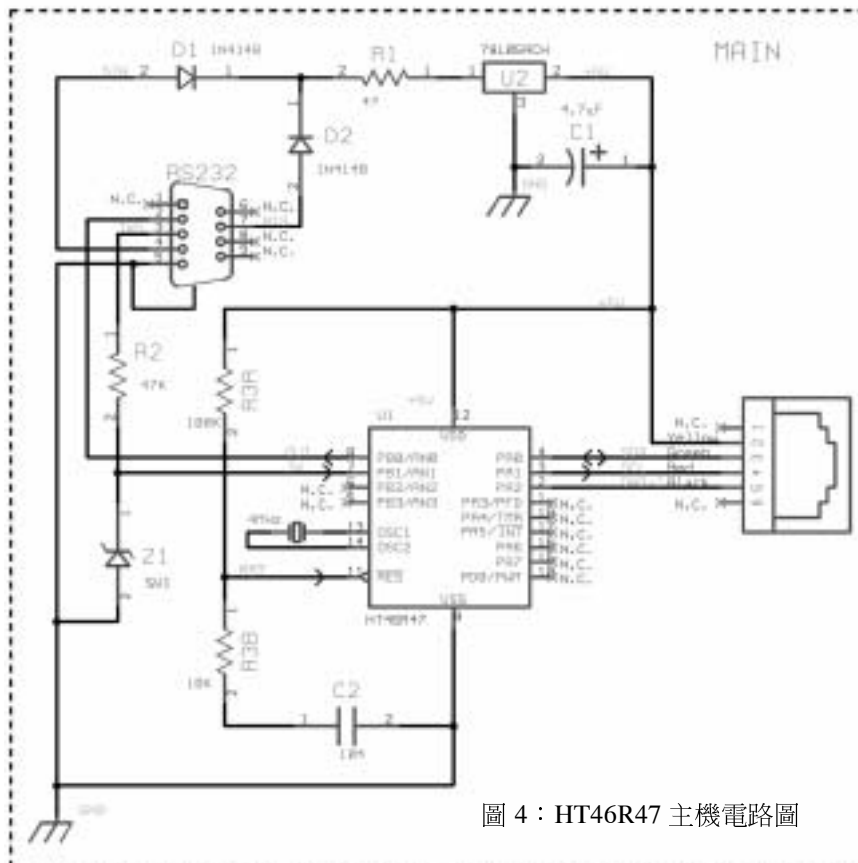


圖 4：HT46R47 主機電路圖

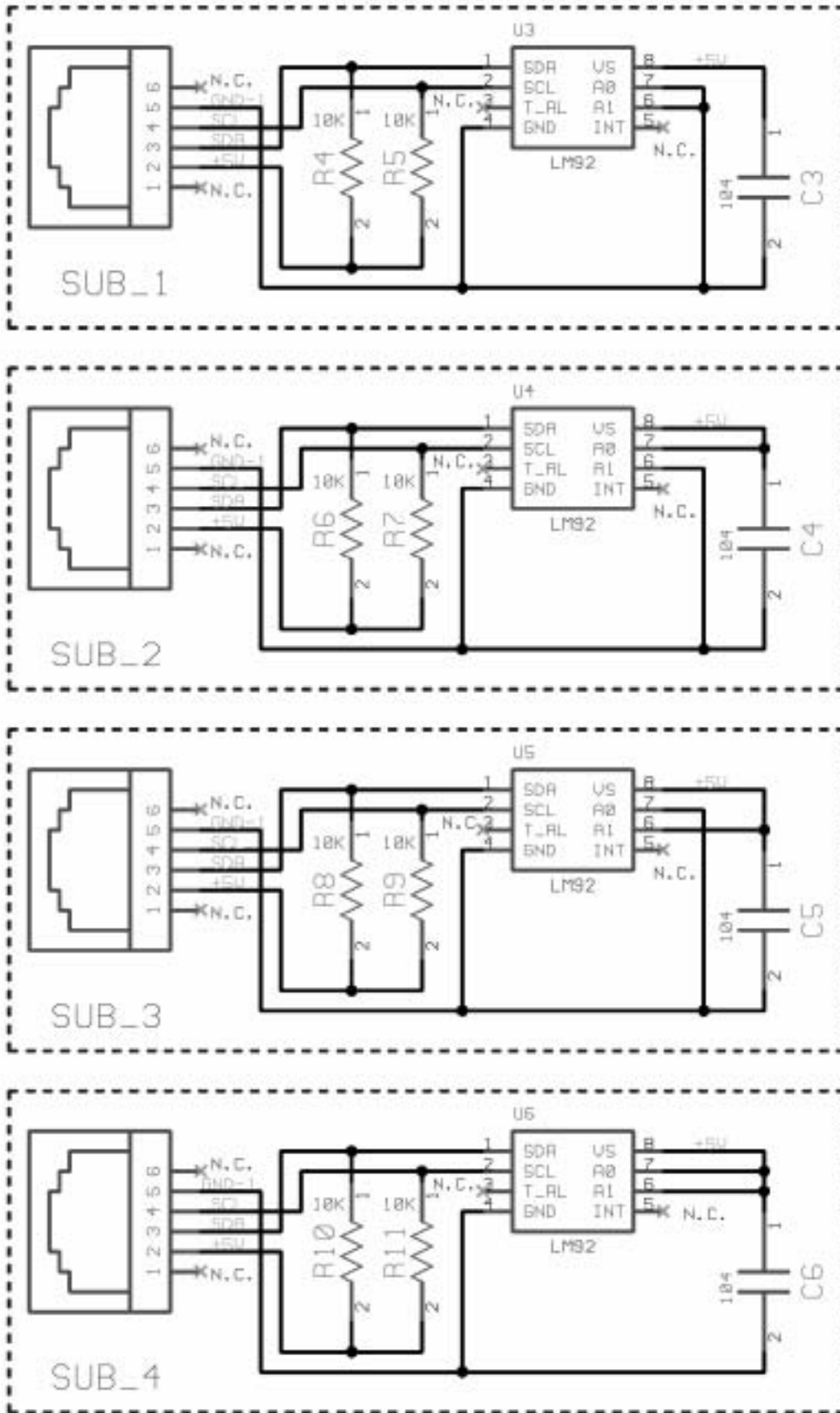


圖 5：LM92 感測器電路圖 (A0、A1 接腳用於設定為 IC 之地址)

4. 溫度感測 IC LM92

LM92 是一顆 8 針腳封裝的 IC，工作於 2.7V 至 5.5V 電源，溫度量測範圍為 -25°C 至 $+150^{\circ}\text{C}$ ，其精準度可達 $\pm 0.33^{\circ}\text{C}$ 與 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的線性度。溫度值以有號的 12 位元表示，故最小解析度為 0.0625°C 。它使用 I2C 串列介面讀取數位溫度，或進行內部窗型比較器的溫度臨界值之設定，可產生溫度過高之警告。IC 上的兩支腳(A0, A1)用於指定此感測器的位址，因此在同一 I2C 匯流排上可安裝四個感測器。值得一提的是它內部的 I2C 介面有 Timeout 的設計，即倘若在 300ms 內未有 SCL 或 SDA 之活動，則自動將 I2C 匯流排釋放，以防止錯誤的壟斷匯流排。

LM92 的主要應用於加熱、空調、醫療、測試儀器、汽車、電腦等系統上。圖六為其內部方塊圖：

於本製作中僅使用此 IC 之溫度量測功能(即不使用 T_CRIT_A 及 INT 兩支接腳)，溫度警報設定等功能則交由單晶片處理。

LM92 內部有四個資料暫存器，由指標暫存器的 P2~P0 間接定址，電源啟動後指標預先指向溫度紀錄暫存器。在本製作中，因只需讀取此暫存器之資料，所以可簡化程式之製作(即指標暫存器的內容不需變更)。溫度暫存器的資料格式如下圖，資料為有號的 12 位元，但傳送時需讀取完整的 16 位元，單晶片讀取後再右移 3 個位元，存入兩個 Bytes 的記憶體。LM92 內部的溫度轉換時間需 500 ~ 1000ms，故讀取時應不小於此時間間隔。

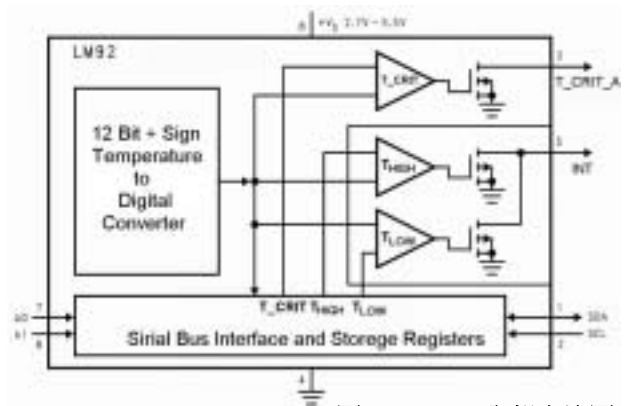


圖 6：LM92 內部方塊圖

Temperature	Digital Output	
	Binary	Hex
+130 °C	0 1000 0 010 0000	08 20h
+125 °C	0 0111 1101 0000	07 D0h
+80 °C	0 0101 1010 0000	05 90h
+64 °C	0 0100 0000 0000	04 00h
+25 °C	0 0001 1001 0000	01 90h
+10 °C	0 0000 1010 0000	00 A0h
+2 °C	0 0000 0010 0000	00 20h
+0.0625 °C	0 0000 0000 0001	00 01h
0 °C	00 0000 0000	00 00h
-0.0625 °C	1 1111 1111 1111	1F FFh
-25 °C	1 1110 0111 0000	1E 70h

表 2：13 位元的溫度表示

P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	P0
0	0	0	0	0	Register Select		

P2	P1	P0	Register
0	0	0	Temperature (Read only) (Power-up default)
0	0	1	Configuration (Read/Write)
0	1	0	T _{HYST} (Read/Write)
0	1	1	T _{CRIT} (Read/Write)
1	0	0	T _{LOW} (Read/Write)
1	0	1	T _{HIGH} (Read/Write)
1	1	1	Manufacturer's ID

表 1：LM92 內部暫存器指標

表 3：16 位元的溫度暫存器

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Sign	MSB	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	CRIT	HIGH	LOW
													Status Bits		

D0-D2: Status Bits
D3-D15: Temperature Data. One LSB = 0.0625°C. Two's complement format.

下為 LM92 於 I2C 匯流排上與單晶片間之通訊方式：

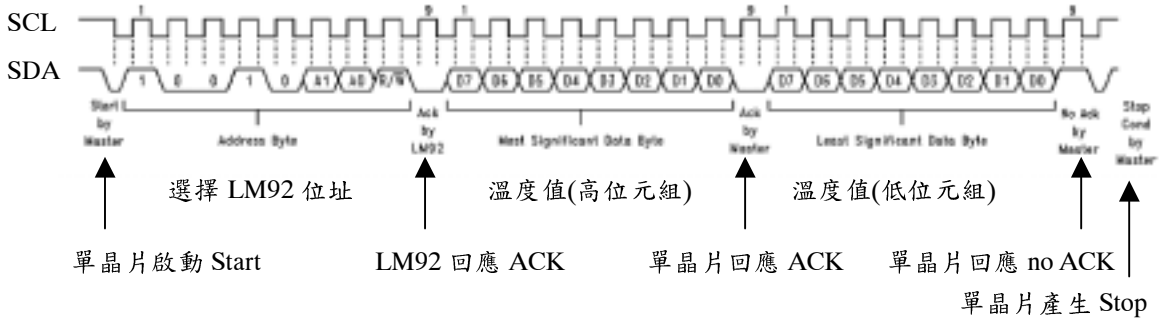
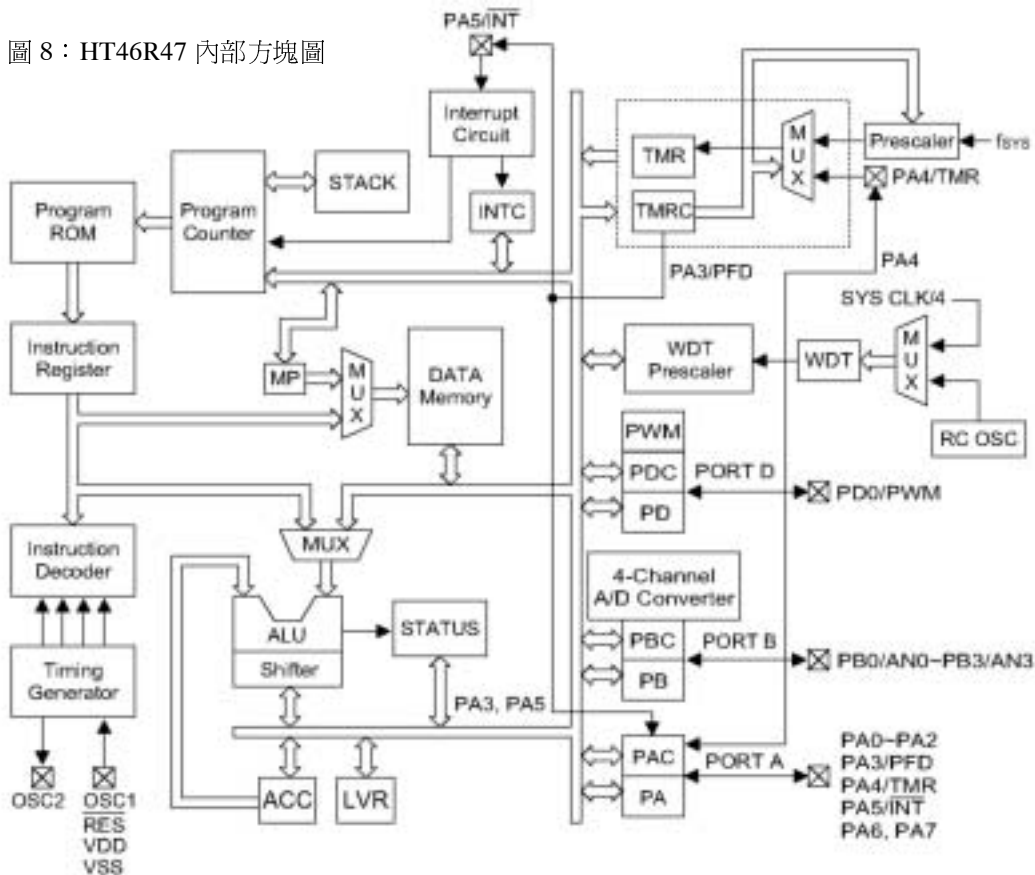


圖 7：LM92 在 I2C BUS 上的通訊協定

5. 單晶片 HT46R47 簡介

本系統採用群盛公司(Holtek)的 HT46R47 單晶片為處理核心，這是一顆八位元低耗電多功能的處理器，內含 4 頻道 9 位元解析度的 A/D 轉換器、一個(6+2)位元的 PWM 輸出端及一個可用於聲音產生器的 PFD 輸出(以上特殊功能於本製作中均未使用)。IC 工作電壓於 2.2V 至 5.5V，工作頻率為 400K ~ 8MHz，在 8MHz/5V 工作時耗電約在 3~5mA，省電模式時可降至 1 μ A/3V。內部有 2048 words 的程式空間、64 Bytes 的資料記憶體，在 18 支腳的 IC 封裝時，有 13 支雙向的輸出入腳。內部中斷來源有 A/D 轉換、結束中斷及 Timer/Event 中斷，外部硬體中斷與 PA5 共用，因此在處理與時序有關之程式時就需花些功夫規劃。此 IC 之特點除了省電外，於 8MHz 工作頻率時指令週期為 0.5 μ S。圖八為其內部方塊圖：

圖 8：HT46R47 內部方塊圖



6. RS232 電路與程式流程

單晶片主機無外加的電源供應，其所需電力取自 RS232 信號，因此於系統啟動時，首先由 PC 送出 RTS 及 DTR 信號經 D1、D2、R1、穩壓 IC U2 及 C1 取得+5V 之電源供應，供應單晶片使用，HT46R47 在 Power ON 之後開始進行各項初始值設定，並等待 PC 之指令。各量測點溫度資料亦經由此 RS232 傳輸，但 HT46R47 無內含串列埠硬體電路，因此 RS232 的信號傳輸需以軟體來執行。在本製作中傳輸速度固定設定為 9600 Baud，資料格式為 8 位元、1 停止位元及無檢查位元。程式流程如下，當 PC 需由單晶片下載溫度資料時，首先送出一個位元組的"下載"指令告知單晶片開始傳送，串列資料由單晶片 PB1 接收，最後當檢查到停止位元時，由 PB0 回傳溫度資料。指令下載與資料回傳不會同時存在，因此，單晶片可以以半雙工的模式進行串列傳輸。

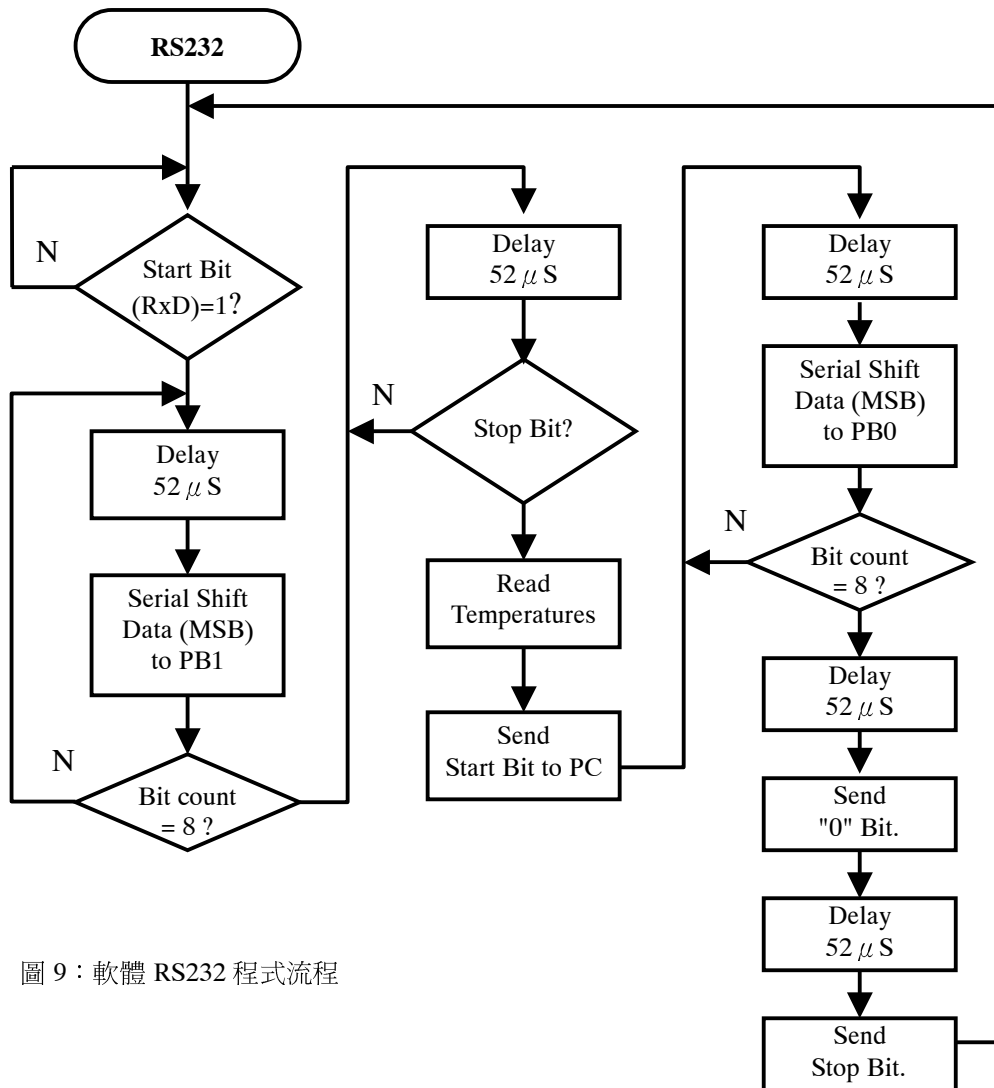


圖 9：軟體 RS232 程式流程

7. I2C 匯流排

本專題所用到的 I2C 通訊模式是一種串列通訊模式。I2C 的本意是 Inter-Integrated Circuit，意思是「介於積體電路元件間之電路」，簡寫為 I2C、IIC，這串列通訊標準主要是用在各電路元件間的串列通訊之用，最早是由飛利浦 (Philips) 公司所發表的，至今已有相當多使用 I2C 模式的元件可供選擇。在 I2C 所組成的匯流排上，所有想要相互通訊的元件，只要連接到此匯流排，有一個自己專屬的 (ID) 就可以了。基本上的工作原理是由 I2C

匯流排上的主控元件先發出接收端專屬的位址信號，表示了主控元件是要跟那一個從屬元件通訊，接下來主控元件才送出資料信號給這個從屬元件。

在I2C匯流排中，送出信號到I2C上的元件稱之為傳送者(Transmitter)，接收I2C匯流排信號的稱之為接收者(Receiver)，而在匯流排中控制信號的發送，也就是控制時脈的元件稱之為主控元件 (Master Device)，其他稱之為從屬元件 (Slave Device)。在I2C規格下，主控元件可能是傳送者，也有可能是接收者，對從屬元件來說也是一樣，主控元件何時扮演傳送者或接受者的角色，就要看通訊的內容而定。通常一個系統中在同一個時間內，只有一個主控元件，其餘的都是從屬元件，而這個主控元件也並非固定不變的，每一元件也可以是主控元件，在I2C的規格中，事實上是會有多個主控元件出現的狀況，也就是Multi-Master的情形，此時必須以訊號間的順序來決定誰可以取得主控權。

I2C最大的特色在於僅使用兩支接腳來完成多點對多點的串列通訊，這兩支接腳一支是通訊時脈接腳SCL，另一支則為資料信號傳送接腳SDA。這兩支接腳上的信號搭配構成了I2C的通訊協定。

SCL的時脈速度決定了串列傳輸的速度，在I2C的標準模式下，最大傳輸速度為100kbps，而在改良過的快速模式下可以達到400kbps。

I2C Bus結構有以下的優點：

- 資料傳送的協定可以用軟體規劃，具有高度的彈性。不論從系統中移去或加入元件都不會影響原系統的其他各元件功能。
- 由於是兩線式 Bus 結構，系統的除錯、維修可十分簡易。

8. I2C 通訊協定

I2C 匯流排上所傳輸的資料信號格式，由於僅使用一支時脈信號接腳 SCL 和一支資料接腳 SDA，因此資料必須搭配時脈的變化來傳輸。而不管是位址或是資料信號，都必須用一定的格式來傳送，這個格式就是所謂的通訊協定。不論要傳送的訊號是位址或是資料，這一串位元信號都是以一個起始狀態 (Start Condition) 開始，而以一個終止狀態 (Stop Condition) 為結束的。至於這兩個狀態間則包括了傳送的位址或資料位元、讀寫位元 (R/W Bit) 以及確認位元 (Acknowledge Bit, ACK Bit)。

除了起始狀態和終止狀態之外，只有在 SCL 接腳信號為高準位時，SDA 接腳上的信號才是有效的。換句話說，要改變 SDA 上的信號準位，必須在 SCL 為低準位時改變，而在 SCL

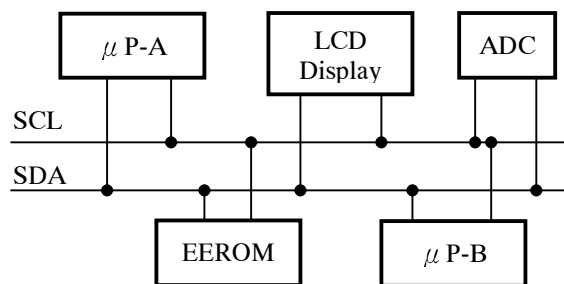


圖 10：I2C BUS 上之元件連結

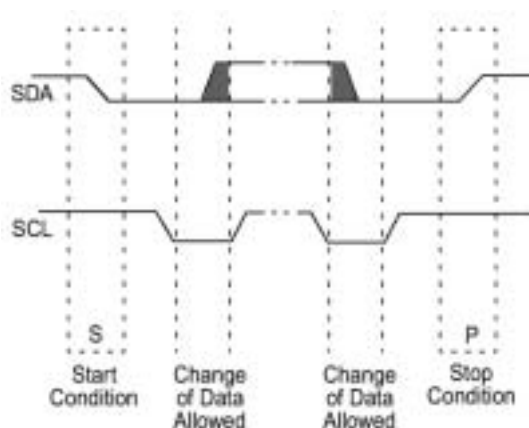


圖 11：I2C BUS 起始與停止條件；
資料位元信號

變為高準位之前，SDA 的信號必須保持穩定。這是 SCL 接腳和 SDA 接腳相互搭配的最基本原則。至於起始狀態和終止狀態，則是要 SCL 為高準位時，在 SDA 接腳上發生轉態的變化，以起始狀態來說是從高準位變為低準位時，在 SDA 接腳上信號的下降邊緣，以終止狀態來說，則是從低準位變為高準位，也就是 SDA 接腳上信號的上升邊緣。

從起始狀態和終止狀態的定義也可以說明為何 SDA 上的資料僅能在 SCL 為低準位時改變，因為在 SCL 為高準位的狀態下，SDA 上的變化都會被當作是起始狀態或是終止狀態。在信號的傳輸過程中，這個起始狀態和終止狀態都是由主控元件所產生，一旦產生了起始狀態後，I2C 匯流排就進入了忙碌狀態（Busy State），一直到終止狀態出現後才結束。

在整個 I2C 串列通訊的流程圖裡，首先要傳送的是位址的資訊，也就是主控元件要和那一個從屬元件來通訊。位址的傳送有一定的格式，由於在 I2C 串列通訊裡容許 7 位元與 10 位元兩種位址寬度，因為位址格式也有兩種。對 7 位元的位址來說，由一個起始位元開始接著 7 位元的位址，然後是一個讀寫位元（R/W Bit），最後是確認位元（ACK Bit）。就 10 位元的位址來說，因為資料的包封是以位元組為單位，因此必須以兩次的傳送來成，其格式較為複雜。

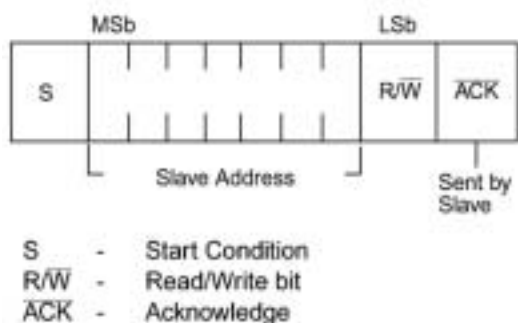


圖 12：7 位元地址資料格式

開始狀態（start）、位址（address）、讀/寫（read/write）、資料（data）、確認（acknowledge）和停止狀態（stop）等信號的詳細動作說明如下。

I2C Bus 信號變化的一個原則是 SDA 若要變化，只有在 SCL 為低電位時才允許。而 SCL 在高電位時，其同時對應 SDA 的狀態（高電位或低電位）就是其傳送的位元（1 或 0）。但是開始與結束狀態則為例外，設計者必須用程式來達成。

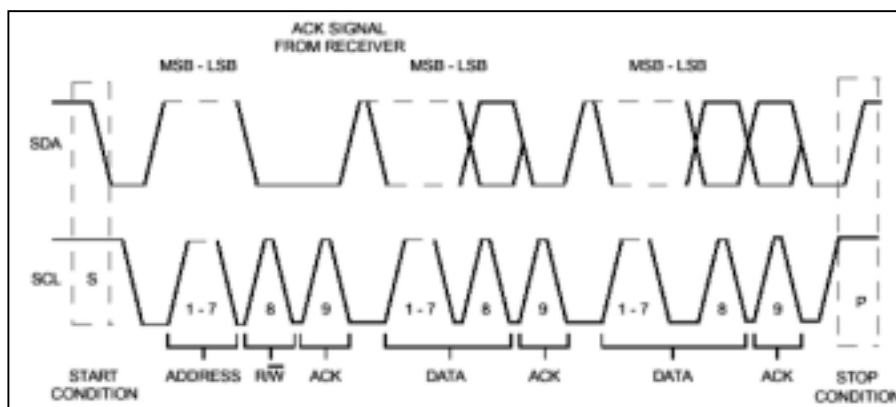


圖 13：I2C 信號傳輸格式

1. 開始狀態（Start）

主控端必須送出「開始」信號才能取得匯流排的控制權。當 I2C 沒有動作時，SCL 和 SDA 都是保持在高電位。Master 先在 SDA 送出低電位，經一小段時間後，再將 SCL 變成低電位，這就是「開始狀態」。

2 位址（Address）

每一個送到 Bus 上的資料都必須是 8 Bit。以標準模式為例，位址具有 7 個 Bit。Master 先將 MSB 傳送到 Bus 上，再依次傳送 7 個代表接收端位址的位元。最後一個是 LSB，也就是 R/W。

3. 讀寫 (Read/Write)

緊接位址的是讀/寫位元，它只佔一個位元。高電位時是讀取，低電位時是寫入。

4. 確認 (Acknowledge)

Master 傳送第一個位元組後會將 SDA 釋放成高電位，Slave 端如果正確接收到位址和讀/寫後，會將 SDA 拉至低電位向 Master 表示已經收到資料。若 Slave 端未能正確的接收到位址和讀/寫，則 Slave 不動作，使 SDA 維持在高電位。

5. 資料 (Data) 信號

資料和位址及讀/寫是一樣的，只不過資料可能由 Master 或 Slave 送出，也可能由 Master 或 Slave 接收；而位址及讀/寫只由 Master 送出，Slave 接收。資料的意義隨不同的元件可能有異，例如對 Serial EEPROM 而言可能為記憶體位址或記憶體的內容。

6. 停止狀態 (Stop)

和開始相反的動作就是停止。Master 在完成和 Slave 的傳輸動作後，先將 SCL 釋放至高電位，經一小段時間再將 SDA 釋放至高電位，完成停止的動作。此時 I2C Bus 處於 Free 的狀態。

7. 主機傳送 I2C 資料封包的格式如下，於 I2C 傳輸協定中，資料封包開始傳送之時間或傳送之終止完全由 Master 決定，因此 Slave 在回傳信息時除了以 ACK 信號確認 Master 已接收外並需同時檢查 Master 是否送出 STOP condition 以便停止接收動作。

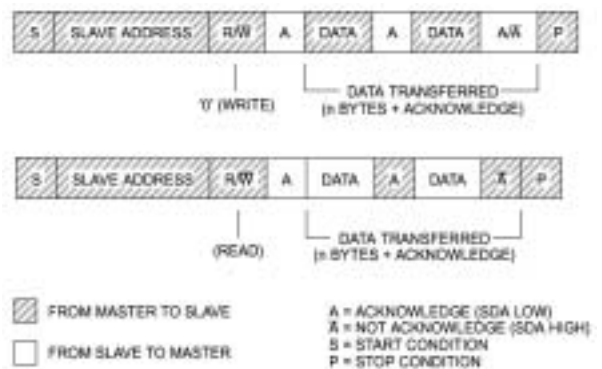


圖 14：I2C 資料封包

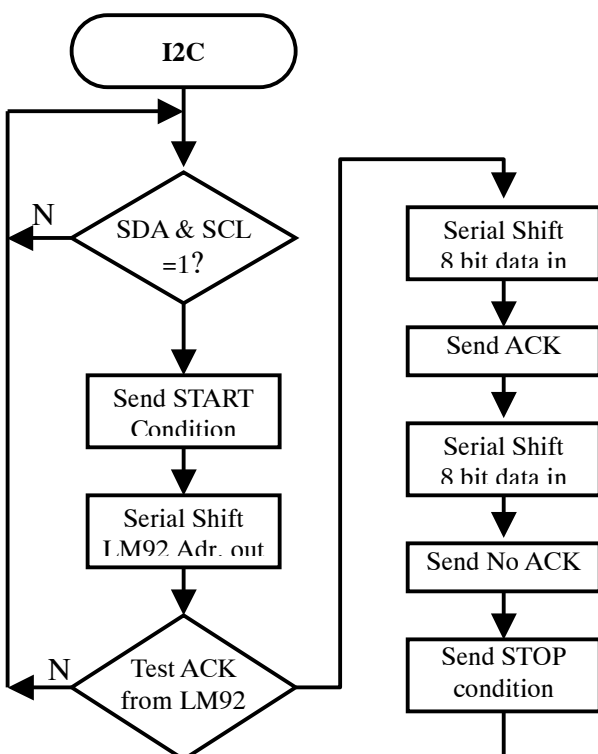
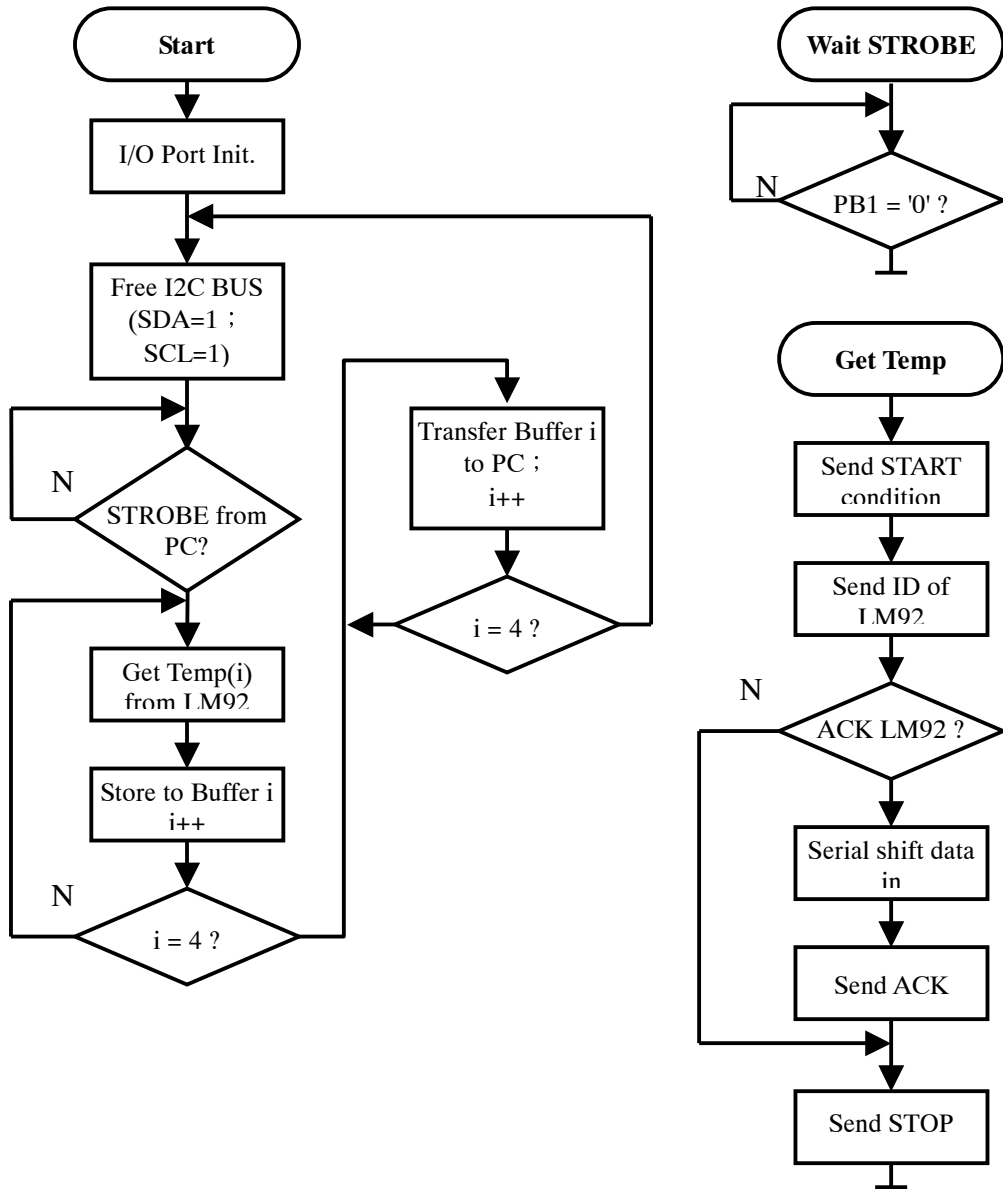


圖 15：單晶片由 LM92 讀取溫度值之程式流程

9. HT46R47 程式流程



10. 近端與遠端網路溫度監看介面

圖 17A 與圖 17B 分別顯示在近端與遠端 PC 螢幕上溫度監看曲線，可個別勾選欲量測之溫度感測器與溫度紀錄之時間間隔。

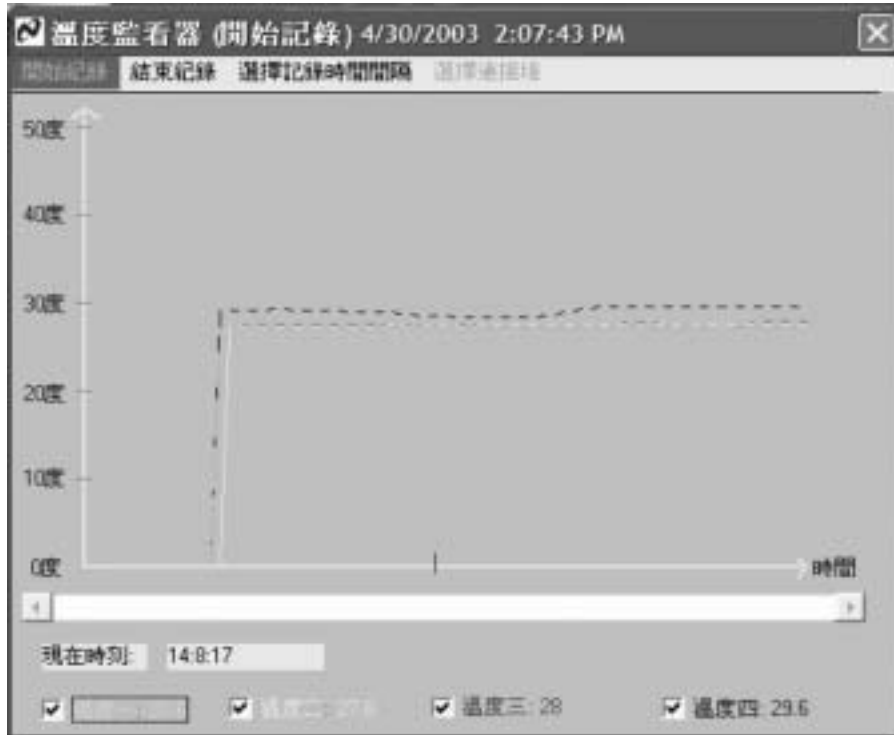


圖 17A：近端溫度量測

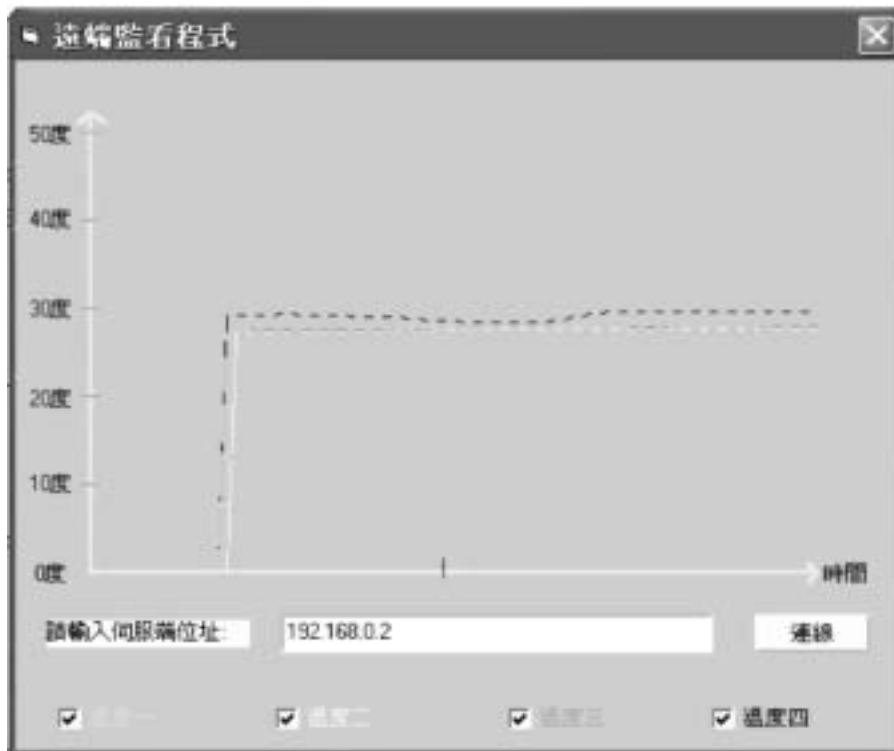


圖 17B：遠端溫度量測

11. 操作方法：

(a) 溫度量測與紀錄

1. 將四個 LM92 溫度感測模組連接至 HT46R47 控制盒之 I2C 匯流排上。
2. 將 9 PIN 的 RS232 (1 對 1 連接)連接至 PC 的序列通訊埠(COM1 或 COM2)。
3. 執行 HT_temp.exe 程式 (OS 為 Win 98，需安裝 VB 軟體程式)。
4. 於選單中點選「選擇 PORT」設定通訊埠為 COM1 或 COM2。
5. 於選單中點選「時間間隔」設定溫度量測的時間間隔。
6. 啟動「開始紀錄」。紅色曲線為溫度量測點 1，藍色曲線為溫度量測點 2。
7. 結束量測以滑鼠點選「結束紀錄」。

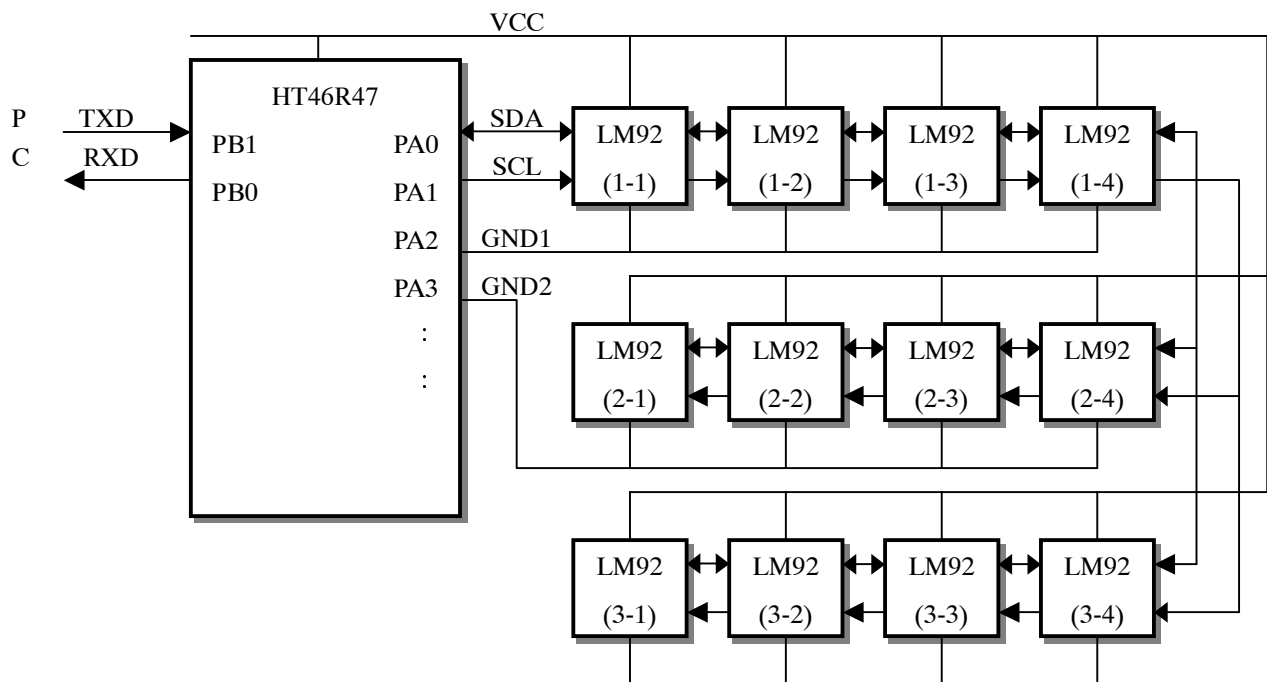
(b) 溫度紀錄搜尋

1. 於選單中點選「開啓舊檔」。檔名為 yy_mm_dd.ht (檔案位置與 HT_temp.exe 同)，同一天的多次啟動/結束紀錄於同一.ht 檔中。
2. 於選單中點選「尋找紀錄」，輸入欲搜尋的時間，再以滑鼠於視窗中按下左鍵，紀錄中的時間與室內外溫度將顯示於視窗下緣。

12. 如何以單顆 HT46R47 連結 36 顆溫度感測 IC

1. LM92 的 SDA、SCL、VCC 接並接在一起(每 4 個 LM92 為一組)，再接到 HT46R47 的兩支 I/O 腳。
2. HT46R47 的兩支 I/O 腳保留給 RS232 通訊用。
3. HT46R47 的其餘 I/O 腳控制每組 LM92 的 GND，每群組的 GND 為"0"時，單晶片讀取該群組溫度資料。
4. 因此 HT46R47 的 I/O 腳可接到 $(13 - 2 - 2) \times 4 = 36$ 個 LM92。

優點: 結構單純、程式單一、未致能的 LM92 群組不消耗電力。



13. 結論

這次製作完成的網路型單晶片溫度量測與顯示系統，在設計上其基本架構十分簡潔，最主要的是採用數位溫度感測元件，並以簡便的 I2C 匯流排做串列資料傳送，經由近端 PC 以網路連結至遠端 PC 而形成網路型溫度感測監控系統。製作過程中除了了解 LM92 數位溫度感測 IC 的工作原理、I2C 匯流排結構與通訊協定外，也碰上許多問題，例如，以軟體實現 RS232 的序列介面時需掌控每個位元的時間控制、及以 VB 完成兩部電腦間的網路傳輸程式等。未來此作品也許在軟硬體方面仍有些可再改良的地方，以達到更佳的设计。

14. 參考資料

- [1] "The I2C-bus specification Version 2.1", Philips Semiconductors, Jan. 2000.
- [2] "HT46R47/HT46C47 8-Bit A/D Type MCU", HOLTEK SEMICONDUCTOR INC., Jan.2003.
- [3] "LM92 : $\pm 0.33^{\circ}\text{C}$ Accurate, 12-Bit + Sign Temperature Sensor and Thermal Window Comparator with Two-Wire Interface", National Semiconductor Corporation, Mar. 2000.