

藍芽智慧型火災警報通報系統之SoC設計

林振漢、余建政、方軍、駱麗

摘要

本文提出一個以嵌入式藍芽技術為基礎的智慧型火災警報通報系統。系統核心採用系統晶片SoC(System on Chip)設計技術。透過對藍芽協定和智慧感測器功能要求的分析，探討嵌入式藍芽協定應用在火災警報感測系統，SoC設計的基本結構功能、組成與要求。根據分析結果，設計一套具實用性，火災警報感測系統的SoC電路結構。此一SoC電路，不僅避免信號傳輸所需的網路，並且具有高整合性和極佳可靠性的特點，此外，還可以大幅地降低系統製作成本。

關鍵字：藍芽，基頻，感測器，SoC。

Design of a Fire Alarm Smart transducer SoC Based on Blue-tooth Technology

Chien-Han Lin¹, Chien-Cheng Yu¹, Jun Fang², Luo Li²

Abstract

In this paper, we present the basic architecture and function requirement of embedded Blue-tooth technology in SoC used for fire alarm smart transducer system. According to the requirements analysis of smart transducer and Blue-tooth protocol stack, we design a set of the SoC circuit structure for the fire alarm sensor system. The SoC circuit has high compact and the highly reliable characteristic. In addition, it may avoid the requirement of the signal network and largely reduce the system cost.

Key Words: Blue-tooth, Base band, Transducer, SoC

一、引言

近年來隨著電子技術與網路通訊技術的快速發展，各種先進的災害預警和報警技術不斷出現。尤其是SoC (System on a Chip) 技術和EDA (Electronic Design Automation)技術的進步，應用在安全、高效率與可靠的災害報警，已經具有相當實用性。

考量實現火災警報通報系統在訊號快速與正確的傳遞需求，往往需要建置相應的訊號網路，用來向有關人員通報警示信號，或控制相應的滅火設備。這種方式的最大問題是系統的可靠性與網路可靠性。並且需要比較複雜的連接技術。爲了克服這種問題，本文提出了一個以嵌入式藍芽技術爲基礎的火災警報系統。系統的核心採用SoC技術設計，不僅避免了信號傳輸網路，並且具有高整合度和高可靠性的特點，將可大幅地降低系統成本。

藍芽技術是一種無線資料與數位通信的開放性規範。它以低成本/近距離無線連接爲基礎，爲固定與移動設備建立一個完整的通信方式和技術。藍芽技術的實質是建立通用無線介面及其控制軟體的標準，使行動通信與電腦網路之間能緊密連接，由此，爲不同廠家生爲的攜帶型設備提供了近距離(10m~100m)範圍內的互操作通道。

隨著電子技術的發展，在工業控制系統和許多民生家電的應用領域，控制器和感測器已經朝智慧化方向發展。在一般的

感測器或測試儀錶中大量使用微控制器(Microcontroller)技術。因此，許多控制系統或感測器系統已經採用數位化傳輸。如果在數位化的控制系統和感測器中嵌入藍芽技術，則可以實現系統資料和控制命令的無線傳輸，這對於在許多微電腦控制應用領域都具有相當的重要性。

本文將透過對藍芽協定結構(Bluetooth Protocol Stack)的討論，提出一個嵌入式SoC裝置結構。這個嵌入式SoC裝置是一個具有藍芽通信功能的SoC裝置。同時，SoC中的CPU還對用戶端開放，用戶端可以使用這種結構的SoC裝置實現智慧感測器或控制器單元。

二、藍芽核心的電路結構

藍芽技術的底層核心模組主要是由射頻(RF)單元電路、基頻層(Base Band)電路和鏈結管理層(LMP, Link Manger Protocol)電路組成：

- (1)RF射頻單元：RF單元電路爲藍芽技術提供通信的實體層，也叫做藍芽收發器。通過2.4GHz的微波，實現資料流程的雜訊過濾和傳輸。藍芽協定提供有關藍芽收發器的各項技術指標。
- (2)基頻層電路：基頻層提供基頻數位信號處理硬體，其功能是提供鏈結控制，因此也叫做基頻及鏈結控制層電路。透過基頻層電路，可以建立藍芽通信網路中的實體鏈結，從而形成微微網(Piconet)。基頻層中有兩種實體鏈結，

一種是負責資料傳輸的ACL (Asynchronous Connection-Less) 連線方式另一種是SCO (Synchronous Connection-Oriented) 的連線方式。此外，基頻層還可為語音和資料分組提供不同水平的前向糾錯(FEC)或迴圈冗餘度校驗(CRC)處理，並可對資料進行加密。同時，基頻層電路還為不同類型的資料(包括傳輸資訊資料、鏈結管理和控制資訊)，提供特定的通道。

- (3) 鏈結管理層(LMP)電路：鏈結管理層電路功能是提供鏈結管理通信協定。鏈結管理協定用來對鏈結進行設置和控制，並負責建立和撤銷各藍芽設備間的連接、功率控制以及認證和加密，同時還控制藍芽設備的工作狀態(保持Hold、休眠Park、呼吸Sniff和活動Active)。鏈結管理層的主要功能有軟體完成，而鏈結管理電路則提供是運行於藍芽設備的處理器中的軟體，而鏈結管理器之間的通信協定則稱鏈結管理協定(LMP)。

藍芽技術整體框架區分為硬體模組以及上層軟體協定兩部分，並以HCI (Host Controller Interface) 為界。HCI提供Bluetooth與Host間的介面控制，為一種與硬體無關的標準控制命令。

藍芽技術標準中，選擇USB、UART或是RS232作為硬體模組與主機間的介面。當藍芽模組以USB、UART或RS232中的任何一個介面與主機連接時，HCI介面上層的通信協定由主機負責處理，HCI

介面下層的通信協定則由模組內的基頻層晶片與RF晶片負責。根據藍芽標準，藍芽系統的基本組成包括天線、收發器、基頻控制器。由此可知，在天線、RF收發器和基頻控制器的支援下，藍芽系統的組成可以十分靈活，即可實現多種不同的實現方案。

嵌入式藍芽系統是將RF和基頻部分整合在一塊晶片上，單晶片藍芽硬體模組結構圖如圖1所示。在嵌入式藍芽裝置中，硬體結構可分為鏈結管理器、鏈結控制器與RF模組3部分，負責處理LMP層、基頻層與RF層的協定。鏈結管理器內包含中央處理器(CPU)、記憶體等元件。鏈結管理器與基頻層晶片合稱為鏈結控制器。RF模組內含RF射頻發射元件。與主機相連接的介面位於鏈結控制器上。

在嵌入式方案中，藍芽協定的上層軟體協定也全部固化在晶片中，晶片通過USB或UART介面與應用系統相連接。由於晶片內嵌入CPU，所以嵌入式藍芽系統實際上是一個智慧型終端，適合於任何具有CPU裝置的系統。例如智慧感測器中，只要增加一個單晶片藍芽裝置，就可以組成一以藍芽為通信方式的感測器。

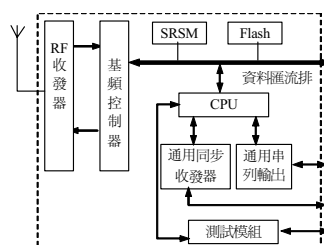


圖1：藍芽硬體模組結構圖

由圖 1 可知，它由中央處理器 (CPU)、無線收發器 (RF)、基頻控制器 (BB)、快閃記憶體 (Flash 程式記憶體)、通用非同步收發器 UAST (Universal Asynchronous Receiver Transmitter)、通用串列介面 USB (Universal Serial Bus) 及藍芽測試模組所組成。其中藍芽基頻控制器是藍芽硬體模組的關鍵模組，其主要功能是在微處理器控制下，實現藍芽基頻部分的所有適時處理功能，包括負責對接收的位元流進行符號定時提取和恢復；CRC 校驗與前向改錯碼 (FEC) 處理，加密和解密處理等，且能提供從基頻控制器到其他晶片的介面等。CPU 一般採用 RISC 結構的嵌入式微處理器，如 ARM7TDMI 微處理器，才能滿足對藍芽核心協定的高速處理和大量資料位元流的處理。Flash 記憶體用於存放基頻和鏈結管理層中的所有協定軟體，SRAM 作為 CPU 的運行空間，在工作時把 Flash 中的軟體調入 SRAM 中處理。射頻收發器負責接收或發送高頻的通信訊號。UART 和 USB 介面提供到 HCI 的主機控制器介面傳輸層的物理連接，是上層協定與藍芽硬體模組進行通信的通道。藍芽測試模組主要提供無線層和基頻層的認證和一致性規範，同時還管理產品的生產和售後的測試，為可選用模組。

在本系統中，由於用於火災警報的資料量和信息量不大，因此可以有效地降低對 CPU 處理速度和記憶體容量的要求。

三、嵌入藍芽協定的 SoC 設計

根據上述討論的藍芽協定硬體結構，可以看出，如果使用 SoC 結構設計藍芽協定，則可以實現嵌入藍芽通信模組，達到同時向用戶端開放內部 CPU 的目的。

在設計嵌入藍芽協定的 SoC 結構時，需要考慮如下問題：

- (1) 資料處理能力與速度。資料處理能力主要取決於兩方面，一個是資料緩存記憶體的規模，另一個是對資料處理演算法支援的程度。同時，資料處理速度也是一種重要的問題。資料處理速度不僅與系統時鐘頻率有關，還與 CPU 和內部匯流排的結構直接相關。
- (2) 通信操作與系統運行的關係。在嵌入了藍芽通信棧的 SoC 中，通信是系統的一個功能，SoC 還需要實現系統的其他功能。由於 CPU 串列結構的特點，當系統需要同時啓用通信功能和其他重要功能時（例如實施系統的資料獲取操作等），就需要使用適當的方法進行協調。實際上這也就是嵌入式藍芽 SoC 裝置的系統即時性問題。
- (3) 裝置的功率損耗。功率損耗是 SoC 設計中的一個重要問題。除了採用相應的技術實現最低功率損耗問題外，必須通過系統結構設計降低系統的功率損耗。對於對功率損耗有特殊要求的系統，低功耗設計更是必不可少的內容。

歸納上述這三個要求可知，在嵌入式

藍芽SoC中，如果資料處理量比較大，則需要考慮資料處理的速度問題。用戶端系統CPU屬於串列工作方式，因此，在大資料量的通信過程中，如何完成系統的其他功能，是SoC結構設計的一個重要方面。例如使用藍芽技術傳輸圖形時，其中的通信系統必須保持連續工作狀態，同時，還需要SoC中設計大量的FLASH記憶體。由於傳輸圖形必須進行壓縮和解壓縮，所以，在保持通信連續和圖形的壓縮/解壓縮這兩種不同的操作中，就必須進行充分協調，採用硬體並行處理的技術。這種情況下，CPU就僅僅是一個操作控制裝置，用來啟動或終止某個操作。由此可知，應當針對不同類型的應用場合設計相應的SoC結構。

對於智慧感測器，其基本功能如下：

- (1)信號轉換。這一部分電路的作用是把相應的物理量轉換為電壓信號，然後對其進行放大和濾波處理，處理的結果作為資料獲取電路的輸入信號。
- (2)資料獲取。資料獲取電路的功能是把信號轉換電路輸出的類比信號轉換為數位信號（資料序列），然後把數位信號輸出給CPU，以便進行相應的處理。
- (3)資料處理。智慧感測器中的資料處理的功能一般並不統一。一般情況下需要數位元濾波即可。有些智慧感測器還需要對信號進行其他處理，例如信號幅度的判別、信號特徵的提取、顯示處理等。總之，根據不同的應用領域，資料處理

的要求不盡相同。

- (4)資料傳輸。在控制系統中，智慧感測器採集並整理好的資料，需要傳輸給系統的核心控制器或其他控制單元。由於控制系統的特點，資料傳輸一般需要經過一段空間距離，因此，需要使用專門的電路和方式實現資料傳輸，例如對資料進行編碼處理後，利用電流環或RS232等方式傳輸。在現有控制系統中，絕大多數情況下都採用有線傳輸方式實現感測器與控制系統的連接。

對於智慧感測器來說，傳輸資料量一般並不是很大（例如壓力、溫度等感測器），因此，滿足智慧感測器需要的嵌入式藍芽SoC裝置中，並不需要很大的存儲容量，但必須考慮藍芽協定實現所必需的程式存儲空間。同時，為了保證控制系統安全可靠，還需要考慮使用用戶端協定替代藍芽技術所定義的處理協定。

由以上分析可以得出結論：

- (1)智慧感測器的資料傳輸量比較小，並且不需要進行壓縮或編碼處理，可以設置在1K位元組以下。
- (2)為了保證控制系統的安全可靠性，需要把上層處理協定變為用戶端層協定，由用戶端自行編寫。

為了設計滿足智慧感測器的嵌入式藍芽SoC結構，本文對藍芽協定進行了簡化處理，只使用藍芽協定中的核心協定和替代電纜協定。SoC中的藍芽協定由軟體和硬體兩部分組成。核心協定中的基頻協定

由硬體實現，而鏈結管理和其他部分則使用軟體實現。所有有關協定的軟體存放在ROM中，用戶端使用通信棧時可直接調用。需要指出的是，通信棧的設計為一個整體，因此調用時也必須整體調用。換句話說就是把通信棧看成是一個完整的副程式模組加以調用。

根據上述結論，本文提出了一個具有開放使用用戶端協定的嵌入式藍芽SoC模組結構，如圖2所示。

圖2中RF收發器、基頻控制器和藍芽協定ROM共同組成藍芽協定棧。藍芽協定棧(blue-tooth protocol stack)在CPU的控制下完成通信任務。本文設計的簡化嵌入式藍芽協定棧結構如圖3所示，其中用戶端應用協定由用戶端自行設計，以確保通信的安全性和可靠性。

RF收發器	基頻控制器	用戶端程式記憶體	資料記憶體
藍芽協定ROM	CPU	開放匯流排模組	串列埠 測試模組

圖2 用於智慧感測器的嵌入式藍芽SoC模組結構



圖3 簡化的藍芽協定棧

考慮到感測器的資料傳輸特徵，本文對藍芽協定棧中的LMP進行了相應的簡化。在智慧感測器的應用中，通信鏈結一般比較簡單，因此，LMP不需要對鏈結進行複雜的處理。本文設計中，LMP的主要功能由軟體完成。當需要使用藍芽通信發送資料或接收資料時，用戶端程式只需調用LMP軟體模組即可。LMP協定有兩部分組成：

- (1) 軟體部份，通過CPU對鏈結進行設置和控制，實現藍芽設備連接、功率控制以及認證和加密，同時還控制藍芽設備控制器電路。
- (2) 硬體部份，LMP控制器電路在LMP軟體的操作下，控制藍芽設備的工作狀態（保持Hold、休眠Park、呼吸Sniff和活動Active）。

圖2中的CPU通過開放匯流排模組向用戶端開放，用戶端程式保存在用戶端程式記憶體中。資料記憶體採用Flash存儲電路，用來保存藍芽通信中的發送和接收資料。同時，也作為感測器資料獲取系統的資料記憶體。資料記憶體的使用分配由用戶端決定，感測器的設計者可通過用戶端程式對資料記憶體進行分塊控制使用，通過用戶端程式設置相應的發送或接收資料存儲深度和起始位址，以及資料獲取系統的資料存儲深度。

圖2中開放匯流排模組提供了一個向用戶端開放的匯流排，使用戶端可以充分利用CPU、記憶體的資源。此外，圖2中

的通用通信介面和測試電路向用戶端提供局部連接和測試輸入輸出通道。

從以上模組設計的結果可以看出，這種結構的智慧傳感器具有完整的藍芽通信功能，同時還為用戶端提供了很大的應用處理靈活性。例如LMP中的認證和加密方法與演算法完全由用戶端自行決定，從而提供了用戶端系統的安全性和可靠性。另外，由於通用串列通信介面和測試電路的存在，為用戶端系統提供了硬體測試的硬體支援。

根據圖2和上述分析，可以得到用於智慧感測器的嵌入式藍芽SoC裝置的電路結構，如圖4所示。通信棧模組調用操作流圖如圖5所示。

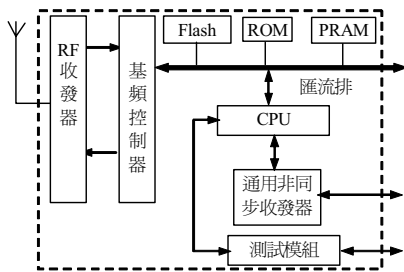


圖4用於智慧感測器的嵌入式藍芽SoC電路結構

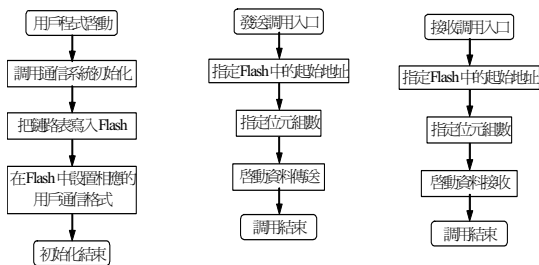


圖5 嵌入式藍芽通信棧的調用方法

四、火災警報系統設計

根據以上對基於嵌入式藍芽通信棧的智慧感測器結構分析，考慮到列車火災警報的基本要求，火災警報系統的基本結構如圖6所示。

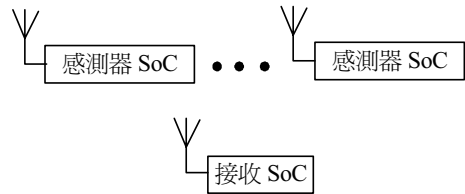


圖6：智慧型火災警報系統

圖6中感測器SoC實際上就是一個SoC晶片與紫外感測器和煙霧感測器組成的電路，可以安放在車廂中相應的位置上。當感測器SoC感知到火光或超標煙霧時，立即通過藍芽通信系統向接收SoC發出資訊。接收SoC可以由乘務人員攜帶，當接收的相關的報警信號後，接收SoC設備將會顯示報警器的位置，並給出相應的提示。

感測器SoC和接收SoC的結構分別如圖7和圖8所示。從圖中可以看出，這兩個SoC的結構基本相同，所不同的是，感測器SoC中用A/D轉換電路替代了非同步串列收發器電路，而接收SoC的外部連接相應的顯示電路。

為了簡化電路，考慮火災警報SoC的應用特點，感測器SoC和中沒有提供串列介面。對於感測器SoC的測試可以通過接收SoC發出測試命令實現。當感測器SoC接收到測試命令後，通過測試模組對電路

進行測試，並通過聲光電路指示電路是否工作正常。

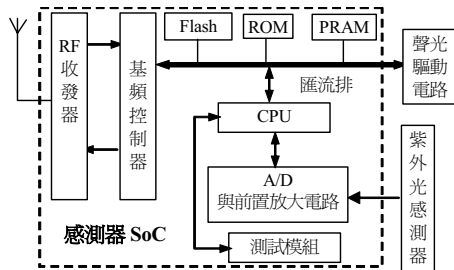


圖7：感測器SoC結構

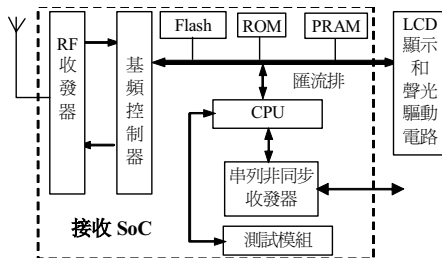


圖8：接收SoC結構

如果進步考慮使用中的方便，還可以設計具有對講功能的接收SoC。

為了實現火災警報系統的SoC，圖5所使得操作流程可以採用8位元CPU控制下的硬體流水線實現。這樣就大大地減少了對CPU性能的要求。本文選擇80C51的CPU核心設計火災警報系統中的感測器SoC和接收SoC。

從上述可以看出，如果使用RF收發電路、感測器以及顯示和聲光電路使用現有的專用積體電路裝置，則SoC部分可以用CPLD或FPGA實現。同時，由於嵌入了藍芽技術，使得網路訊息傳遞十分容易，為方便快捷地建立火災警報系統提供十分便利的條件。

五、結論

把藍芽協定棧嵌入到智慧感測器SoC中，將為控制系統提供十分靈活的無線通信方式。同時，通過採用相應的安全措施，可以提高系統的安全性和可靠性。

為了滿足智慧感測器的應用，嵌入式藍芽SoC中，CPU、記憶體以及相應的匯流排和外部電路應向用戶端開放。對於用戶端而言，只要設計相應的感測器前置電路，即可形成具有藍芽通信功能的智慧感測器。由於藍芽通信協定的操作功能已經保存在ROM中，所以用戶端只需要調用相應的軟體程式即可完成藍芽通信。同時，這種SoC中的藍芽協定棧中有關認證和加密的部分向用戶端開放，具體的認證、加密方法和演算法可由用戶端自行定義。

本文透過對藍芽協定棧和智慧感測器工作特徵的分析，設計了智慧感測器中嵌入藍芽協定棧的SoC結構。在感測器SoC技術基礎之上，設計了性能優越的火災警報系統。採用CPLD技術，還可以實現藍芽協定的硬體實現。

參考文獻

- [1]李永定，資策會網路及通訊實驗室，
<http://www.iii.org.tw/ncl/document/bluetooth.html>
- [2]朱剛，談振輝，周賢偉. 藍芽技術原理與協定. 北京：北方交通大學出版社，

- 清華大學出版社，2002
- [3]嚴紫建，劉元安. 藍芽技術. 北京：北京郵電大學出版社，2001
- [4]禹帆. 藍芽技術. 北京：清華大學出版社，2002
- [5]Specification of the Bluetooth System. December 1st 1999
- [6]Wah-Chun Chan, Jiann-Liang Chen, Po-Tsang Lin, Ka-Chin Yen Mobile Networks and Publications, Volume 8 Issue 6 December 2003
- [7]Martin Leopold, Mads Bondo Dydensborg, Philippe Bonnet, Proceedings of the first international conference on Embedded networked sensor systems, November 2003
-