

基于 IEEE 802.15.4c TinyOS 平台的移植研究

刘爽, 吴蒙

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要: TinyOS 拥有组件化编程、事件驱动机制、有效的能量资源管理等特点, 在无线传感器网络操作系统当中颇受关注。然而, 自 IEEE 802.15.4c 制定以来, TinyOS 还未有工作在其标准下的节点平台。因此, 文中在分析 TinyOS 硬件抽象架构的基础上, 设计以 MSP430F5419A 和 AT86RF212 为硬件架构、以移植 TinyOS 为软件架构的节点平台, 并针对 802.15.4c 研究协议栈嵌入平台的关键步骤。通过基于 CTP 协议的多跳组网数据传输实验, 结果表明, 该平台可以稳定地工作在 TinyOS 操作系统中, 并在低功耗、远距离、抗干扰方面, 性能较为出色。

关键词: 无线传感器网络; TinyOS; 802.15.4c; MSP430; AT86RF212

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)11-0114-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.11.029

Research on Porting TinyOS Platform Based on IEEE 802.15.4c

LIU Shuang, WU Meng

(College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: TinyOS, which has a component-based programming method, event-driven mechanism, efficient energy resource management and any other features, is so popular in wireless sensor network operating system. However, since IEEE 802.15.4c has been set, there is no TinyOS platform working in this standard. Therefore, based on analyzing hardware abstraction architecture of TinyOS, design a node platform via choosing MSP430F5419A and AT86RF212 as its hardware architecture and porting TinyOS as its software architecture, then research the key steps about embedding 802.14.5c protocol stack into TinyOS. Through multi-hop networking data transmission experiment based on CTP protocol, the result shows that this platform which can be stabilized in TinyOS, has excellent performances at ultra-low-power, long-distance communication and anti-interference capability.

Key words: wireless sensor network; TinyOS; 802.15.4c; MSP430; AT86RF212

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由大量具有特定功能的传感器节点部署在监测区域的一种感知技术^[1-3]。一个传感器节点往往配有微型控制器和无线传输系统,并具有微小、廉价、资源有限等特点^[4],这就要求工作在网络节点上的操作系统能在有限的资源上运行,并尽可能地降低功耗以及系统资源的消耗。

TinyOS 是由美国加州大学伯克利分校开发的一种专门应用于无线传感器网络的开源嵌入式操作系

统。目前可用在中国区域的 TinyOS 节点平台主要是工作在 2.4 GHz 频段下,有着传输距离有限、穿透能力不佳、抗干扰能力差、功耗较高等缺点。自 2009 年 IEEE 组织通过 802.15.4c 标准,为中国 WPAN 技术开辟 779 MHz ~ 787 MHz 的专用频段,而 TinyOS 还没有支持专门工作在此技术标准的节点平台。

文中首先设计了可以工作在此技术标准上的节点硬件系统,包含了 TI 公司的微控制器 MSP430F5419A 以及 Atmel 公司的射频芯片 AT86RF212;接着分析了 TinyOS 的硬件抽象架构,进而介绍了移植 TinyOS 到

收稿日期: 2013-12-31

修回日期: 2014-04-08

网络出版时间: 2014-09-11

基金项目: 国家“973”重点基础研究发展计划项目(2011CB302900);江苏省高校自然科学基金研究重点项目(10KJA510035);南京市科技发展计划重大项目(201103003)

作者简介: 刘爽(1988-),男,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为无线通信与信号处理技术;吴蒙,教授,研究方向为无线通信与信号处理技术、无线网络安全与通信系统的信息安全。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140911.1009.046.html>

该节点硬件平台的具体流程;紧接着便描述了射频工作的调制解调方式,以及平台底层与 TinyOS 802. 15. 4 协议栈相关联的关键步骤;最后,对节点进行了通信性能的测试。

1 系统硬件环境

无线传感器网络的节点平台一般包含有微控制芯片、射频芯片以及应用相关的信息采集模块^[5],部署各个方位的节点将采集到的信息汇聚到中心基站节点,该节点往往具有与外部网络信息交换的能力,因而又叫做网关节点。文中以网关节点的设计为例,并代表了其他的节点在硬件设计中的关键点。图 1 为节点平台芯片关键引脚的连接示意图。

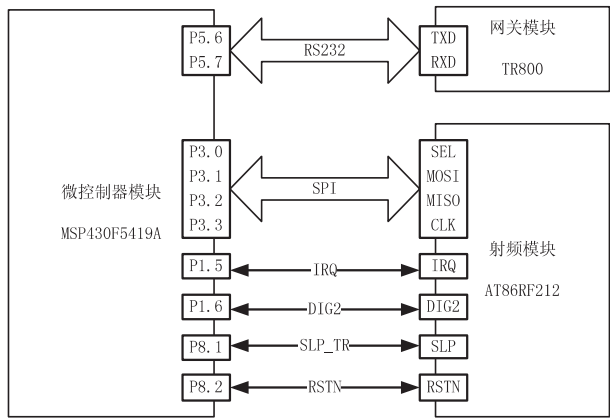


图 1 关键引脚的连接示意图

1.1 主控芯片

在节点硬件平台上,选用 TI 公司的 MSP430F5419A 作为主控芯片。该控制芯片有多种工作模式,满足超低功耗的要求,CPU 唤醒时间极短,特别适合经常睡眠的工作场合。作为 16 位处理器,该芯片有着高达 25 MHz 的时钟频率,并配置 32 位硬件乘法器,可快速处理较为复杂的数据信息^[6]。片上资源也非常丰富,多达 4 个 USCI 串行口、丰富而灵活的定时器资源以及 12 bit 的数模转换模块,可以应对大部分的感知场合。

1.2 射频芯片

在节点射频部分,则选用 Atmel 公司的 AT86RF212。该芯片可工作在中国 WPAN 频段 779 至 787 MHz,数据传输速率为 250 kbit/s 的 O-QPSK 调制制式,符合 IEEE 802. 15. 4c 标准^[7]。发射功率大,接收灵敏度高,芯片尺寸小,电路简单。同时,由于该芯片工作在 1.8 V ~ 3.6 V,与主控芯片相匹配,保证了电源系统的一致性,简化了电路设计,并允许系统有较长的使用寿命。

1.3 网关模块

在网关节点上,节点平台还须配有网关模块,并通

过主控芯片的 UART 接口与其相连,保证网关节点可以将监测区域内的信息远程发送到场外监测系统,并接收场外监测系统的指示。在该平台中,网关模块采用新加坡 IWOW 公司生产的 TR800,功能丰富,支持短信、彩信和 GPRS 上网等功能,对于无线传感器网络复杂的监测环境提供了多样的任务模式。

2 TinyOS 系统的移植

2.1 TinyOS 移植技术的分析

TinyOS 采用特有的、基于组件编程思想的 NesC 语言,其中包括配件、模块、接口等概念^[8-10]。每个组件由一个配件进行描述,通过装配连接,将所使用到的组件组和模块相互连接,并引出对外接口^[11]。

同时,TinyOS 提出了具有 3 层结构的硬件抽象架构 (Hardware Abstraction Architecture, HAA),每一层的组件都有着明确的职责,并依赖下层提供的接口,这使得 TinyOS 的可移植性及平台适用性大大增强^[12-14]。图 2 为 TinyOS 硬件抽象架构。

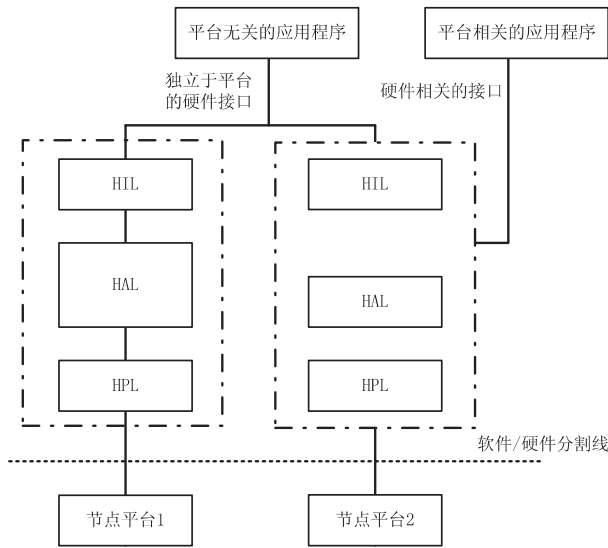


图 2 TinyOS 硬件抽象架构

最底层为硬件表示层 (HPL),将与硬件直接相关的寄存器或 I/O 映射以及中断信号响应等操作进行屏蔽,提供可读性更强的硬件接口,用以表示硬件可以提供的功能;中间一层为硬件适配层 (HAL),它依赖 HPL 提供的原始接口,为平台提供更有用的硬件抽象接口,并允许该层组件对系统资源进行仲裁和控制;最上一层为硬件接口层 (HIL),它使用 HAL 所提供的平台相关的硬件接口,建立起可跨平台的独立接口,从而隐藏了硬件之间的差异,简化应用程序在不同平台上的开发。

2.2 TinyOS 片上系统的搭建

文中搭建了一个名为 atim 的 TinyOS 节点平台,主控芯片为 MP430F5419A,射频芯片为 AT86RF212。

具体步骤如下：

首先，在目录/tos/chips/msp430/下，需要提供驱动 MSP430 片上资源的组件代码。其中包括定义芯片寄存器资源的 msp430hardware.h 头文件、提供电源管理 MCUSleepC.nc 组件这两个必要组件，以及 Flash、Timer、USCI、DMA 等相关驱动代码。

其次，在/tos/platforms/atim/目录下，需要定义整个 atim 系统平台。具体必要文件或组件见表 1。

表 1 定义 atim 平台的文件和组件

名称	内容
.platform	定义 TinyOS 在编译链接过程中所使用组件的目录以及编译规则
platform.h	平台的头文件，内容可以为空
hardware.h	定义硬件资源连接情况，诸如引脚、USCI 等
PlatformC.nc	提供 Init 接口，将平台初始化工作同 RealMain 组件连接起来
PlatformP.nc	定义平台初始化时的相关操作
PlatformLedsC	实现 Led 指示灯的操作

最后，需要在/support/make/msp 目录下提供 MSP430 处理器的规则文件 msp.rules，而在/support/make/目录下提供 make 过程中的平台定义及 make 规则的 atim.target 文件。atim.target 文件设置了 PLAT-
FORM 变量值、平台处理器的规则文件及基于 makefile 语法的编译规则说明。内容如下：

```
#- *-Makefile- *- vim:syntax=make
PLATFORM=atim
MSP_MCU=msp430f5419a
$(call TOSMake_include_platform,msp)
atim:$(BUILD_DEPS)
@;
```

2.3 射频驱动的实现

TinyOS 提供了一个通用的射频 HIL 组件库 rfxlink，存放在/tos/lib/rfxlink 中，以及网络组件库 net，存放在/tos/lib/net 中，开发者仅需要提供少量的射频方案底层 HAL 组件，就可以完成整个 TinyOS 射频驱动的设计。表 2 为 TinyOS 射频驱动所需要的相关组件。其中，HplRF212C、RadioConfig.h 存放在/tos/platform/atim/rf212/目录中，ActiveMessageC 存放在/tos/platform/atim/目录中，其余组件应存放在/tos/chips/rf212/目录中。

2.4 移植 802.15.4c 组件库

IEEE 802.15.4c 标准规定无线电频段为 779 ~ 787 MHz，一共 4 个信道，调制方式分为 Q-OPSK 和 MPSK 两种，码片速率为 1 000 kchip/s，比特率为 250 kb/s，符号速率为 62.5 ksymbol/s，采用 16 相正交符号。而射频芯片 AT86RF212 支持多种频段和多种调

制方式，在 TinyOS 启动过程中，主控制器通过 SPI 接口对此射频芯片的寄存器 RF212_CC_CTRL_0、RF212_CC_CTRL_1 等进行修改，即可以实现 Q-OPSK 的调制方式，并符合 802.15.4c 的标准。

表 2 TinyOS 射频驱动相关组件

组件	作用
RF212ActiveMessageC	提供射频收发控制接口，屏蔽底层细节
RF212DriverLayerC	提供 RF212DriverLayerP 所需要的底层接口，完成驱动控制，并对外提供易用的射频控制接口
RF212DriverLayerP	通过 SPI 总线接口、Gpio 接口等构建射频部分完整的驱动方案代码
RF212RadioC	TinyOS 与射频底层相连的关键组件，完成 TinyOS 库到射频驱动的所有连接操作
RF212RadioP	配置 TinyOS 库函数所需的应用参数
HplRF212C	向 RF212DriverLayerC 提供射频所需要的所有硬件接口，并提供 Alarm<TRadio，uint16_t>和 LocalTime<TRadio>接口，供 rfxlink 库使用
RadioConfig.h	包含对射频驱动的配置，以及 TRadio 的定义
ActiveMessageC	与相应的 RF212ActiveMessageC 直接连接，提供消息控制的所有接口

在 MAC 层上，802.15.4c 与 802.14.5 一致，TinyOS 则本身就提供对 802.15.4 协议 MAC 层的支持，相关组件库存放在/tos/lib/mac/tkn154 中，并对外部提供协议栈模块 TKN154BeaconEnabledP 和 TKN154NonBeaconEnabledP，分别适用于网络中有信标和无信标的情形。同时，开发者需要提供协议底层依赖的接口，相关组件存放在/tos/chips/rf212_tkn154/中，最终将提供 RF212TKN154C 的协议驱动组件，方便与协议栈进行连接操作。开发者还需要在/tos/platform/atim/mac/目录中描述 802.15.4 所需要的定时器组件、消息数据结构等，并在 Ieee802154BeaconEnabledC 和 Ieee802154NonBeaconEnabledC 组件中，将协议栈模块同协议驱动组件连接起来。最后，在该目录下添加 Makefile.include 文件，描述协议所包含的组件位置。

相关描述如下：

```
ifdef TKN154_PIERCEBOARD
  CFLAGS += -I $(TOSDIR)/platforms/atim/mac/tkn154/timer/pierceboard
endif
CFLAGS += -I $(TOSDIR)/platforms/atim/mac/tkn154\
-I $(TOSDIR)/platforms/atim/mac/tkn154/timer\
-I $(TOSDIR)/chips/rf212_tkn154
```

3 编译测试

为了测试平台移植后的通信性能,编写一个基于 CTP 协议的多跳数据传输样例程序,在编译结束后,/apps/CTPSample/build/目录下会生成 app. c 和 main. ihex 等文件。app. c 是整个程序翻译成 C 语言后的代码文件,main. ihex 则是可被烧录到 MSP430 的 HEX 文件。

如图 3 所示,样例可以顺利进行编译。

```
/opt/tinyos-2.1.2/tos/lib/net -I/opt/tinyos-2.1.2/tos/lib/net/le -
I/opt/tinyos-2.1.2/tos/lib/net/ctp -DIDENT_APPNAME="CTPSampleAppC"
-DIDENT_USERNAME="\root\" -DIDENT_HOSTNAME="\ubuntu\" -
DIDENT_USERHASH=0xa3473ba6L -DIDENT_TIMESTAMP=0x531 842ccl -
DIDENT_UIDHASH=0xd3d8f675L CTPSampleAppC.nc -lm
/opt/tinyos-2.1.2/tos/chips/rf212/RF212DriverLayerP.nc: In function
'RF212DriverLayerP__resetRadio':
/opt/tinyos-2.1.2/tos/chips/rf212/RF212DriverLayerP.nc:251:30:
warning: comparison between 'enum __nesc_unnamed4259' and 'enum
rf212_trx_data_modes'
/opt/tinyos-2.1.2/tos/chips/rf212/RF212DriverLayerP.nc: In
function 'RF212DriverLayerP__initRadio':
/opt/tinyos-2.1.2/tos/chips/rf212/RF212DriverLayerP.nc:289:30:
warning: comparison between 'enum __nesc_unnamed4259' and 'enum
rf212_trx_data_modes'
compiled CTPSampleAppC to build/atim/main.exe
script:
18060 bytes in ROM
1861 bytes in RAM
msp430-size:
text      data      bss      dec      hex      filename
18144      44        1817    20005    42f7
      build/atim/main.exe
generating listing: build/atim/main.lst
generating symbol table: build/atim/main.sym
msp430-objcopy -output-target=ihex build/atim/main.exe
build/atim/main.ihex
writing TOS image
root@ubuntu:/opt/tinyos-2.1.2/apps/CTPSample#
```

图 3 编译结果

经过实地测试,该节点平台 TinyOS 操作系统可以稳定地运行在该节点平台中,同时可以实现多跳数据的传递。该节点在开阔环境下,单跳最大传输距离在 1 000 m 左右,在普通环境下也可以保证 400 ~ 500 m 的通信距离,抗干扰能力突出,能够穿透三堵墙,同时功耗很低,可以应对多种多样的监测环境。

4 结束语

无线传感器网络拥有十分广泛的应用前景,正引导下一代信息处理方式的变革。文中针对 802. 15. 4c 标准,设计一种以 MSP430F5419A 和 AT86RF212 为硬件平台的无线传感器网络,并分析了节点移植 TinyOS 操作系统的关键步骤。相比于其他平台,该平台在功耗、通信距离、抗干扰方面性能较为出色,可为后续的无线传感器网络在大面积、稀疏监测的环境下,提供良

好的实验平台。

参考文献:

[1] 程 龙,杨 波.无线传感器网络操作系统 TinyOS 的移植[J]. 计算机科学,2011,38(B10):323-325.

[2] 何伟贤,刘建明,彭智勇,等. TinyOS 跨平台移植方法研究与实现[J]. 微计算机信息,2012(9):356-358.

[3] 冀宇鑫,杨 冬,秦雅娟,等. 基于 WSNs 平台的 Contiki 通用移植方法研究[J]. 计算机技术与发展,2012,22(11):134-137.

[4] Verma N,Shoeb A,Bohorquez J,et al. A micro-power EEG acquisition SoC with integrated feature extraction processor for a chronic seizure detection system[J]. IEEE Journal of Solid-state Circuits,2010,45(4):804-816.

[5] Burns A,Green B R,McGrath M J,et al. SHIMMER™ - a wireless sensor platform for noninvasive biomedical research[J]. IEEE Sensors Journal,2010,10(9):1527-1534.

[6] TI. MSP430x5xx and MSP430x6xx family users guide (Rev. K)[DB/OL]. [2013-12-03]. <http://www.ti.com/cn/lit/pdf/slau208m>. pdf.

[7] Atmel. Data sheet (Rev. C):AT86RF212[DB/OL]. [2013-12-03]. [http://www.atmel.com/zh/cn/Images/doc8168](http://www.atmel.com/zh/cn/Images/doc8168.pdf). pdf.

[8] 潘 皓,董齐芬,张贵军,等.无线传感器网络操作系统 TinyOS[M]. 北京:清华大学出版社,2011.

[9] 周 俊.基于 TinyOS 系统的 IEEE 802. 15. 4MAC 协议的实现及关键技术研究[D]. 南京:南京邮电大学,2011.

[10] 李 波,袁 霞. STM32 和 CC2520 的 TinyOS 移植与驱动分析[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2012,12(11):35-38.


[11] 李 罗,杨永明,徐 志,等. 基于 TinyOS 2. x 的无线传感器网络通信程序开发[J]. 传感器与微系统,2010,29(7):87-89.

[12] Dalton A R,Wahba S K,Dandamudi S,et al. Visualizing the runtime behavior of embedded network systems; a toolkit for TinyOS[J]. Science of Computer Programming,2009,74(7):446-469.

[13] Li Jiakai,Gursel S. TOSSIM simulation of wireless sensor network serving as hardware platform for Hopfield neural net configured for max independent set[J]. Procedia Computer Science,2011(6):408-412.

[14] Castellani A P,Casari P,Zorzi M. TinyNET-a tiny network framework for TinyOS:description,implementation, and experimentation[C]//Proc of international conference on wireless communications and mobile computing. [s. l.]:[s. n.],2010:101-114.

基于IEEE 802.15.4c TinyOS平台的移植研究

作者: [刘爽](#), [吴蒙](#), [LIU Shuang](#), [WU Meng](#)
作者单位: [南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2014(11)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201411029.aspx