

Design and Implementation of a 6LoWPAN Sensor Node*

WANG Xiaonan^{1,2*}, GAO Demin²

(1. School of Computer Science & Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu Jiangsu 215500, China;
2. School of Computer Science & Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: This paper proposes a design scheme on a 6LoWPAN sensor node and the scheme expounds the hardware and software design of a 6LoWPAN sensor node. In a small-scale experimental platform the performance parameters of a 6LoWPAN sensor node, including packet reception rate, average delay time and average consuming-energy are analyzed. The experimental data demonstrate that the 6LoWPAN sensor node can perform the connection with an IPv6 node very well and can ensure the continuity of the communication.

Key words: sensor network; sensor node; adaption layer; protocol

EEACC: 6150P

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2010.10.027

6LoWPAN 传感器节点的设计与实现*

王晓喃^{1,2*}, 高德民²

(1. 常熟理工学院计算机科学与工程学院, 江苏 常熟 215500;
2. 南京理工大学计算机科学与技术学院, 南京 210094)

摘要:提出了一种基于 6LoWPAN 的传感器节点设计方案,此方案对节点中的硬件与软件设计进行了详细论述与讨论。在小型实验平台上对本节点的数据包接收率、平均延迟时间以及平均消耗能量等性能参数进行了比较分析。实验数据表明,本节点能很好地实现与 IPv6 节点的互联并保证其连续性。

关键词:传感器网络;传感器节点;适配层;协议

中图分类号: TP393.02

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2010)10-1501-04

当无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)与 IPv6 网络进行全 IP 通信时,传感器节点必须实现 IPv6 协议。但是在资源有限的传感器节点上实现 IPv6 协议,需要对 IPv6 协议进行合理精简裁剪(如报文压缩、适当裁减协议功能等)以适合传感器节点的使用。

因此,本文提出了一种 6LoWPAN 传感器节点设计方案,此方案讨论了传感器节点的硬件与软件设计,实现了传感器节点与 IPv6 节点的全 IP 通信。

1 6LoWPAN 传感器节点

1.1 概述

传感器节点与 IPv6 节点实现全 IP 互联时,它必须实现 IPv6 协议。但是在硬件资源受限的传感器节点上无法实现完整的 IPv6 网络协议,因此必须

对 IPv6 协议栈进行裁减。此外,本系统中的传感器网络采用 6LoWPAN 体系结构,链路层采用 IEEE802.15.4 帧格式,因此,传感器节点需要完成以下两个任务:(1)实现精简的 IPv6 网络协议;(2)实现 IPv6 数据报文在 IEEE802.15.4 帧的传输。

1.2 硬件设计

传感器节点采用 ATmega128L 处理器作为 MCU (Micro Controller Unit),采用 CC2420 为射频芯片。CC2420 通过 4 线 SPI 总线(SI, SO, SCLK, CSn)设置芯片的工作模式,并实现读/写缓存数据及状态寄存器等操作,通过控制 FIFO 和 FIFOP 管脚接口状态设置发射/接收缓存器,同时为 IEEE802.15.4 数据帧格式提供了硬件支持,发送或接收的数据帧被送入 RAM 中的 128 byte 缓存区进行相应的帧封装和帧拆除操作,即硬件自动产生和去除同步帧,以及

当 MODEMCTRL0. AUTOCRC 控制位置位时, 帧校验序列自动产生 2 byte, 并由硬件自动插入帧中。ATmega128L 需要 CC2420 发送数据时, 首先通过写 TXFIFO 寄存器把需要发送的数据包按字节依次写入到发送缓存区 TXFIFO 中, 依次为数据帧的帧长度[1 byte]、帧控制字段[2B]、序列号[1B]、PAN 标识符[2B]、目标地址[2B]、源地址[2B]、有效载荷[(帧长度 - (2 + 1 + 2 + 2 + 2))]和帧校验序列[2B], 然后选通寄存器 STXON 或 STXONCCA, 等待信道空闲时从无线信道发送。当 CC2420 接收到数据包时, 把接收到的数据存入到接收缓存区 RXFIFO, 同时改变 FIFOP 引脚的状态, 处理器通过 FIFOP 的引脚中断读 RXFIFO 寄存器依次读取整个数据包。

多个传感器节点组成传感器网络, 其拓扑图如图 1 所示, 传感器节点通过 ATmega128L 处理器处理信息, 多个传感器节点之间通过射频芯片 CC2420 进行通信。

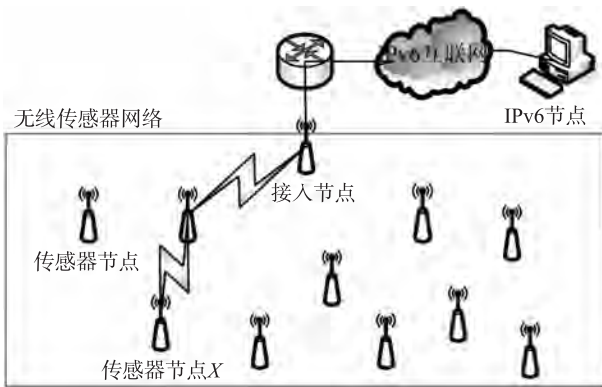


图 1 传感器网络拓扑图

1.3 软件设计

6LoWPAN 传感器节点的软件结构框架如图 2 所示。

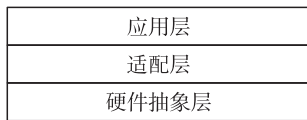


图 2 软件结构框架

其中, 硬件抽象层实现在硬件层面的数据发送和接收功能; 适配层实现 IPv6 数据包分片以及分片重组功能; 应用层实现精简 IPv6 网络协议功能。

1.3.1 硬件抽象层的设计

本系统中, 硬件抽象层的功能为: ①从无线接口接收 IEEE802.15.4 数据帧, 并将帧实体提交给适配层处理; ②从适配层接收帧实体, 并用 IEEE802.15.4 帧头对帧实体进行封装, 通过无线接口发送出去。

1.3.2 适配层的设计

由于 IPv6 数据包支持的最小值(1 280 byte)大于 IEEE802.15.4 帧所能包含的字节数(127 byte), 因此, 在传感器网络中传输一个完整的 IPv6 数据包时必须对其进行分片处理。IPv6 将分片重组信息放在扩展头部, 而在 6LoWPAN 中的 IPv6 头部包含扩展头部势必带来不小的开销, 因此本方案将 IPv6 分片信息放在适配层。本方案中, 适配层头部包括两种格式: 不分片适配层头部(如表 1 所示)与分片适配层头部, 其中, 分片适配层头部又分为第一分片适配层头部(如表 2 所示)与后续适配层头部(如表 3 所示)。

表 1 不分片适配层头部格式

5 bit	1bi	8 bit
11 000	Pro_Type	Length

表 2 第一分片适配层头部格式

5 bit	1 bit	1bit	17 bit	8 bit
11 100	LF(0)	Pro_Type	Identification	Length

表 3 后续适配层头部格式

5 bit	1 bit	1bit	13bit	1 byte	8 bit
11 100	LF(1)	Pro_Type	Identification	F_Offset	Length

格式的前 5 个比特值为 11 000, 标识不分片适配层头部的开始; Pro_Type 指出此适配层负载中 IPv6 头部是否为压缩类型, 0 表示未压缩的 IPv6 头部, 1 表示压缩头部; Length 为适配层负载部分的长度, 即 IPv6 数据包的长度。

格式的前 5 个比特值为 11 000, 标识分片适配层头部的开始; LF 为 1 比特的链路分片(Link Fragment), 0 表示第一分片, 1 表示后续分片; Identification 唯一标识一个被分片的 IPv6 数据包, 该值在 IPv6 数据包的每个分片中的值都相同。

F_Offset 为分片相对于第一分片的偏移量。

本系统中, 适配层实现如下功能: ①适配层从应用层接收数据, 如果数据包不需要分片, 则用不分片适配层头部对数据包进行封装, 否则, 对数据包进行分片, 并分别用第一分片适配层头部与后续适配层头部对其进行封装, 最后将封装后的数据(即帧实体数据)发送给硬件抽象层处理; ②适配层从硬件抽象层获取数据, 并分析适配层头部结构, 如果是分片报文, 则等待其他分片报文的到来, 对分片进行重组, 并将整个 IPv6 报文提交给应用层处理。

1.3.3 应用层的设计

本系统为 IPv6 报文引入一个控制域,在控制域后是 IPv6 头部和 IPv6 报文载荷,具体的报文格式如图 3 所示,控制域定义了 IPv6 报文头部各个域的格式,具体内容如图 4 所示。

8 bit	8 bit	<i>n</i> byte
控制域标识(01000010)	控制域	IPv6 头部及负载

图 3 精简 IPv6 报文格式

1 bit	2 bit	2 bit	2 bit	1 bit
Version, Traffic Class, Flow Label	Next Header	S_Addr	D_Addr	RSV

图 4 控制域

IPv6 头部控制域中每个比特位的具体含义如下:

Version、Traffic Class、Flow Label—0: 上述三个字段在报文中仍然存在,没有压缩;1:报文中不存在上述三个字段,它们的默认值为 Version = 6, Traffic Class = 0, Flow Label = 0。

Next Header—00:没有压缩,即在 Payload 中存在 Next Header 域;01:在 Payload 中不存在 Next Header 域,并且 IPv6 载荷是 ICMPv6 报文;10:在 Payload 中不存在 Next Header 域,并且 IPv6 载荷是 UDPv6 报文;11:预留,(因为无线传感器网络一般不实现 TCP)。

S_Addr—00:源地址没有压缩,长度为 128 比特;01:压缩的源地址,0 比特,源地址直接从源链路地址获取;10:压缩的源地址,8 个字节,内容为源地址的路由前缀。

D_Addr—00:目的地址没有压缩,长度为 128 比特;01:压缩的目的地址,0 比特,目的地址直接从目的链路地址获取;10:压缩的目的地址,8 个字节,内容为目的地址的路由前缀。

本系统中,应用层软件具有如下功能:①应用层从适配层获取 IPv6 报文,根据控制域对报文进行处理;②应用层用控制域和精简 IPv6 报头封装数据,形成 IPv6 数据包,并将其提交到适配层进行处理。

1.3.4 传感器节点与 IPv6 节点的通信过程

在本方案中,传感器节点能够实现精简的 IPv6 协议,因此,无线传感器网络采用 IPv6 协议进行路由。传感器节点与 IPv6 节点的通信过程(如图 1 所示)如下:

(1) IPv6 节点向传感器节点 *X* 发送一个获取 *X* 采集数据的请求数据包;

(2) 此数据包到达与 IPv6 网络相连的接入节

点,此接入节点将 IPv6 请求数据包进行精简分片,然后按照数据包的目的 IPv6 地址(即节点 *X* 的目的 IPv6 地址)将分片发送到下一跳节点;

(3) 最终,目的传感器节点 *X* 从硬件抽象层接收到所有的分片,并将其提交到适配层进行处理,适配层将所有分片进行重组,将重组后的精简 IPv6 数据包提交给应用层处理,应用层处理精简 IPv6 头部,将 IPv6 负载提交给上一层进行处理;

(4) 节点 *X* 处理 IPv6 负载,将采集的数据提交给应用层处理,应用层用控制域与精简 IPv6 头部封装采集的数据,将封装好的 IPv6 数据包提交到适配层,适配层对响应数据包进行分片,并用适配层头部进行封装,最后提交给硬件抽象层,硬件抽象层用数据帧对提交的数据进行封装,并将其通过无线接口发送到下一跳节点,最终到达与 IPv6 网络相连的接入节点;

(5) 接入节点对其进行重组,并将精简 IPv6 数据包还原为完整的数据包,最后将其发送到 IPv6 网络上。这样,此响应数据包最终到达源 IPv6 节点。

2 性能分析

通过一个小型试验平台来测试本方案中传感器节点与 IPv6 节点的通信性能。实验平台随机分布 10 个传感器节点,拓扑结构如图 1 所示,传感器节点的软件结构图如图 2 所示,传感器节点的通信范围为 20 m,初始状态下的电池能量为 2 J。实验中数据源的传输速率设置在 128 bit/s 至 1 024 bit/s 之间。实验对传感器节点的数据包接收率、平均延迟时间以及平均消耗能量进行了分析,其中,数据包接收率指接收方接收到的数据包总数与发送方发送的数据包总数的比值,平均延迟时间是指发送方发送数据包时刻到接收方接收到数据包时刻之间的时间间隔平均值,平均消耗能量指传感器节点在每个轮回中消耗能量的平均值(轮回指传感器节点从初始化、稳定接收/传送数据、转入休眠状态的一个工作周期),本实验设定每个轮回(Round)中传感器传送/接收的数据总量为 5 120 byte,分析结果如图 5 所示。

图 5 表明本方案中的传感器节点能够与 IPv6 节点通过 IPv6 协议实现点到点通信。图 5 的数据包接收率及平均延迟时间的性能分析表明传感器节点能够保持与 IPv6 节点通信的连续性,而平均消耗能量的分析表明传感器节点能够以较低功耗实现与 IPv6 节点的全 IP 通信,传感器节点的性能分析如下:①由于传感器节点采用 IPv6 协议与 IPv6 节点实现全 IP 通信,无需网关节点进行协议转换和协议承载,因此增加了数据包接收率,缩短了数据平均延

迟时间;②由于传感器节点采用 8 bit 微处理器实现精简 IPv6 协议,因此降低了平均消耗能量。

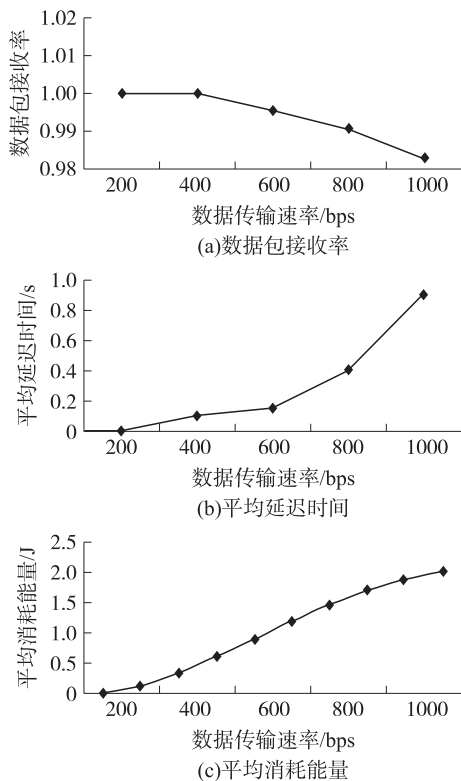


图 5 性能分析

3 结论

本文提出了一种基于 6LoWPAN 的传感器节点的设计方案,并对传感器节点的硬件与软件设计进行了详细的论述与讨论。在小型实验平台上对传感器节点的数据包接收率、平均延迟时间以及平均消耗能量等性能参数进行了比较分析。实验数据表明,本传感器节点能够实现与 IPv6 节点的全 IP 通信并确保其连续性。

参考文献:

[1] Akkaya K, Younis M. A Survey on Routing Protocols for Wireless

Sensor Networks[J]. Ad Hoc Networks, 2005, 3(3): 325 - 349.

- [2] Karaki J N AI, Kamal A E. Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey [J]. IEEE Wireless Communications, 2004, 11(6): 6 - 28.
- [3] Kushalnagar N, Montenegro G, Schumacher C. 6LoWPAN: Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals [S]. IETF RFC 4919, Aug, 2007.
- [4] Montenegro G, Kushalnagar N, Hui J. Transmission of IPv6 Packets over IEEE802. 15. 4 Networks [S]. IETF RFC 4944, Sept., 2007.
- [5] Olvezky P C, Thorvaldsen S. Formal Modeling and Analysis of the OGDC Wireless Sensor Network Algorithm in Real-Time Mode [A]. Proceedings of the 20th International Parallel and Distributed Processing Symposium 2006 (IPDPS2006) [C]//RjodesIsland, Greece, 25 - 29 April 2006.
- [6] Kim H H, Hong C S. A Routing Scheme for Supporting Network Mobility of Sensor Network Based on 6LoWPAN [C]//APNOMS 2007 LNCS, 2007, 4773: 155 - 164.
- [7] 王晓喆,钱焕延. 6LoWPAN 网关的设计与实现[J]. 传感技术学报, 2009, 22(5): 717 - 721.
- [8] Bag G, Shams S M S, Akbar A H, et al. Network Assisted Mobility Support for 6LoWPAN [C]//6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference. Las Vegas, USA, January, 2009, 1 - 5.
- [9] Bag G, Shams S M S, Mukhtar H. Inter PAN Mobility Support for 6LoWPAN [C]//Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology. Busan, Korea, November, 2008, 787 - 792.
- [10] Shin Myung-Ki, Kim Hyoung-Jun. L3 mobility support in Large-Scale IP-Based Sensor Networks (6LoWPAN) [C]//11th International Conference on Advanced Communication Technology. 2009. New York: IEEE press, 2009, 941 - 945.
- [11] Kim H, Hong C. A Routing Scheme for Supporting Network Mobility of Sensor Network Based on 6LoWPAN [C]//Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium 2007. Berlin: Springer Press, 2007, 155 - 164.
- [12] Kim J, Hong C, Shon T. A Lightweight NEMO Protocol to Support 6LoWPAN [J]. ETRI Journal, 2008, 30(5): 685 - 695.



王晓喆(1973 -),女,辽宁沈阳人,博士后/副教授,主要研究方向为下一代互联网网络协议及无线传感器网络协议,wxn_2001@163.com;



高德民(1980 -),男,山东临沂人,中国计算机学会会员,南京理工大学博士研究生,主要研究方向为无线传感器网络,gdmnj@139.com。