

基于 ZigBee 的持续高波特率无线通讯方法研究

陈华辉, 鲍 敏*

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: ZigBee 无线通讯技术因其低复杂度、低功耗、低成本等优点在中小型网络中的应用日渐广泛, 然而目前对其数据传输的应用基本都是少量、短时性质, 对其持续高波特率数据传输等方面的应用并不多。针对 ZigBee 的持续大量数据传输的可靠性问题, 对在 9 600 bps ~ 115 200 bps 波特率下的基于 ZigBee 的长时间、大数据量无线通讯进行了尝试和研究; 针对数据传输的正确性问题设计了通讯协议和校验方案, 进行了误码率测试实验, 并给出了实验数据。实验结果证实了 ZigBee 在持续高波特率传输上的可行性和可靠性。

关键词: ZigBee; 无线通讯; 持续高波特率

中图分类号: TN925

文献标识码: A

文章编号: 1001 - 4551(2010)11 - 0079 - 04

A solution study on durative high baud rate wireless transfer based on ZigBee technology

CHEN Hua-hui, BAO Min

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Applications in small networks based on the ZigBee technology have been keeping growing because of ZigBee's merits such as low complexity, low cost, and low power. But these applications are mostly based on small quantity and short-term, not on data transfer under durative high baud rate. Aiming at validating the reliability of durative mass data transfer, an attempt and research were made on long-playing communication carries mass data based on ZigBee technology under the baud rate range from 9 600 bps to 115 200 bps. An experiment was made to figure out the bit error rate under different baud rate and the design of communication protocol and verify method contrapose the correctness of data transfer. Some meaningful experimental data were given. The results indicate the feasibility and reliability of durative high baud rate wireless transfer based on ZigBee.

Key words: ZigBee; wireless network; high baud rate

0 引 言

ZigBee^[1] 是一种正在蓬勃发展的近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本的无线网络技术^[2], 也是一种介于无线标记技术和蓝牙之间的技术方案, 主要用于近距离无线连接, 是一组基于 IEEE 802. 15. 4 无线标准开发的有关组网、安全和应用软件方面的技术标准^[3]。

低复杂度、低功耗、低成本等特点让 ZigBee 在近

几年得到了广泛的推广应用。ZigBee 目前的大部分应用主要集中在诸如控制信号的传输或者其他类型的少量数据传输上, 如尹航等人^[4]利用 ZigBee 构建了温湿度测控系统; 侯俊等人^[5]的基于 ZigBee 的家居安全检测系统; 范国伟等人^[6]将 ZigBee 应用于城市公交智能化以及其他的一些不同领域的应用。在这些应用中需要传输的数据量非常小, ZigBee 可以及时准确地将数据传输出去, 难度主要集中在组网和信号采集上, 而非大数据量的传输。

收稿日期: 2010 - 03 - 31

作者简介: 陈华辉(1985 -), 男, 浙江兰溪人, 主要从事测控技术与自动化方面的研究. E-mail: huahui_c@hotmail.com

通信联系人: 鲍 敏, 男, 博士, 副教授, 硕士生导师. E-mail: mbao@zstu.edu.cn

然而,ZigBee 的低功耗建立在近距离和低传输速率等性能特性的基础上。在需要进行大数据量持续传输的应用中,低速率将成为通讯效率的瓶颈。笔者以此问题作为出发点,选用基于 ZigBee 技术的 XBee 模块对持续高波特率的无线通讯的可靠性、稳定性进行了研究。

1 硬件平台简述

本研究选用基于 ZigBee 技术的 XBee 模块作为本实验平台的传输模块,此模块工作在 2.4 GHz 频段,最高传输速率达 250 000 bps^[7]。XBee 模块集成了一个 UART 接口,其结构如图 1 所示。

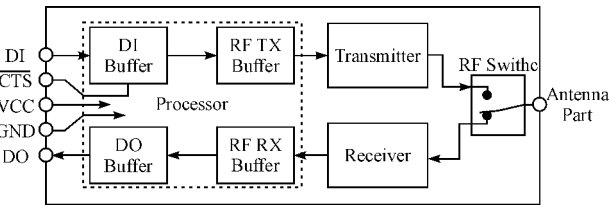


图 1 XBee 模块 UART 内部数据控制流程图

用 XBee 模块收/发数据的过程是:串行数据从 DIN 引脚进入模块后数据会先存储在 DI 缓冲器中,直到被发送器通过天线发送出去;当天线接收 RF 数据后,接收数据则先进入 DO 缓冲器,然后再从 DOUT 引脚串行输出给 ARM 处理。当进行持续大数据量传输的时候,可能会遇到因大量串行数据输入模块而造成 DI 缓冲溢出的问题,可以采取 CTS 流控制来避免该问题。

在本研究中,开发板核心芯片为 AT91SAM9261,移植了嵌入式 Linux 内核^[8]。AT91SAM9261 有 4 个串口^[9],对应文件系统中的 ttyS0、ttyS1、ttyS2、ttyS3。本研究将 ttyS0 作为调试串口,用以查看数据发送和接收时程序的打印信息;ZigBee 模块的输入/输出管脚连至 ttyS1,即 AT91SAM9261 的 PC8、PC9 管脚。PC 端模块连至 PC 的串口即可。

ZigBee 技术支持星型网、网状网、丛集树状网等网络拓扑。实验采取星型网结构,PC 端模块在中间作为网络协调者建立网络,其余模块作为终端设备节点加入网络,与协调者进行点对点通讯。

2 上层通讯协议设计

通讯数据包的语法格式定为:2 字节的发送者地址;2 字节的发送目的地地址;2 字节的数据包长度(不包括自身及前面 4 字节的地址数据);紧跟着是具体的数据;最后一个字节的校验信息,如表 1 所示。

表 1 通讯数据包语法

字段	长度(字节)	类型	说明
源地址	2	Short int	发送者地址 0x1002 等
目的地地址	2	Short int	目的地地址,如 0x1001
数据长度	2	Short int	总长度(字节),由本域之后算起
数据内容	<i>n</i>	unknown	数据
校验位	2	Short int	CRC 校验

其中前 4 个字节的地址是自定义的给每个模块的编号。这样做的目的除了给模块更友好的编号以便管理之外,还在于这 4 个字节连续且按一定顺序地出现将作为一个数据包开始的标志,便于从含无效数据的数据包中提取有用数据包。

“数据长度”的 2 个字节存放一个短整型数,该数等于从自己之后的第 1 个字节开始到数据包最后的字节数。

“数据内容”处存放要发送的核心内容。它大概的结构是,起始于一字节的数据包种类 ID,如发送的是温度数据则 ID 为 1,湿度数据 ID 为 2 等;接着是具体数据,如温度的话就是用 2 字节的短整型存放摄氏温度数值,如表 2 所示;各种 ID 具体定义不在此处一一列出。

表 2 温度数据语法

字段	长度(字节)	类型	说明
ID	1	char	数据包 ID
内容	2	Short int	温度值(摄氏度),如 20

校验位存放“数据内容”块的 16 位 CRC(循环冗余校验)值。这里采用 CRC-16 编码方法^[10],生成多项式 $G(X)$ 为: $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$ (即 11000000000000101)。CRC 校验码的大致计算过程如下:在“数据内容”块的二进制串后加 16 个 0,并将其用多项式形式表示,记为 $D(X)$;用 $G(X)$ 去除 $D(X)$,生成 15 阶余数二进制多项式 $Y(X)$;将 $Y(X)$ 表示成二进制形式即得到了数据内容经过 $G(X)$ 编码的 CRC 校验码。在通讯过程中,发送端发送循环校验编码(数据内容 + CRC 校验码),接收端收到后,除以同一个生成多项式 $G(X)$,如果传输没有差错,则可以整除。因此,余数项等于 0,则接收到的信息无误。有余项,则表示数据传输有差错。

若需要传输字符串则按 ASC II 码形式传输。

3 数据校验及误码测试

误码的产生是由于在信号传输中,衰变改变了信号的电压,致使信号在传输中遭到破坏,并产生误码。误码率是最常用的数据通信传输质量指标。它表示数字系统传输质量的式是“在多少位数据中出现一位差

错”^[11],即:

误码率 = 接收出现差错的比特数/总的发送的比特数。

尽管 ZigBee 有多种抗干扰机制,但无法保证百分百不出差错,尤其是在大数据量的传输上。所以软件上必须有可靠的鉴别处理机制来保证对误码的严格检查。

3.1 数据鉴别与校验

按前面说到的,笔者用连续 4 个字节的发送者和接收者地址作为一个数据包开始的标志,所以当有数据到达时应该先从第 1 字节开始检查是否是发送者地址,在找到发送者地址之前前面的数据全部丢弃;找到之后,下 2 个字节应该是自己的地址,若不是,则前面数据全部丢弃,继续重新检测发送者地址。

在监测到发送者和自己的地址后,读取接下来的数据包长度,判断剩余的数据是否满足这个长度,如果比这个长度小则数据包不完整,放弃;如果满足则按长度将其后的数据连同前面的地址数据一起打包,并计算还有多少数据剩余。这样算是成功接收到一个数据包。

接着对该数据包进行校验。按照协议,数据包的最后一位留作校验用,其值为“数据内容”段的 CRC 值。本研究在对收到的数据包进行解析前,用预定好的生成多项式 $G(X)$ 去除“数据内容”加 2 字节校验位的多项式。如果余数为 0 则说明数据接收没有错误,认为收到的数据是可信的。

通过校验后,就可以安全解析数据包了。若还有数据剩余,则按同样方式处理。

综上所述,针对接收数据的处理程序流程如图 2 所示。

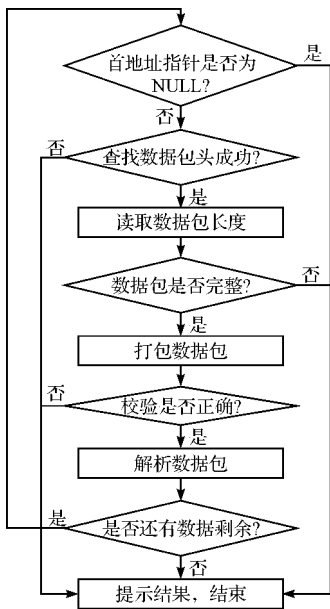


图 2 数据处理流程图

3.2 误码率测试

为了方便测试,本研究让 PC 端模块给某个终端设备发送一串指定的数据,如从 0x0 ~ 0xFF。终端接收到数据后把它与正确的数据按位异或,当异或结果不为 0 时,记录这个 byte,并计算此异或结果二进制表示中 1 的个数(即出现错误的比特数),然后再除以发送的总比特数,就可以算出一次传输的误码率了。当然在传输数据量较小时可能不会出现误码,可以将 0x0 ~ 0xFF 循环几次延长数据包进行测试。

为体现“大数据量”特点,使结果更接近系统的真实误码率,传输的比特数必须足够多。因此在实验时连续不停地发送 0x0 ~ 0xFF 以达到足够多的比特数。本实验在程序中设定连续传输 405 000 次,每次 256 byte(0x0 ~ 0xFF)。

由于实验条件有限,没有具体列出环境噪声等实验背景参数,所有测试在相同的环境中进行。下面是在不同波特率下的测试结果:

当传输速率为 115 200 bps 时:

在大约 2 h 的时间里完成 405 000 次发送,传输总比特数为: $n = 405\,000 \times 256 \times 8 = 8.294\,4 \times 10^8$ bit;其中发生错误的比特数为: $e = 3\,266$ bit;所以误码率为:

$$p = \frac{e}{n} = \frac{3\,266}{8.294\,4 \times 10^8} = 3.94 \times 10^{-6}.$$

当传输速率为 57 600 bps 时:

在大约 4 h 的时间里完成 405 000 次发送,传输总比特数为: $n = 405\,000 \times 256 \times 8 = 8.294\,4 \times 10^8$ bit;其中发生错误的比特数为: $e = 538$ bit;所以误码率为:

$$p = \frac{e}{n} = \frac{538}{8.294\,4 \times 10^8} = 6.49 \times 10^{-7}.$$

其他速率的实验情况如表 3 所示。

表 3 实验数据

传输速率/bps	持续时间/h	传输总比特数	误码数	误码率
9 600	24	$8.294\,4 \times 10^8$	68	8.20×10^{-8}
19 200	12	$8.294\,4 \times 10^8$	106	1.28×10^{-7}
38 400	6	$8.294\,4 \times 10^8$	264	3.18×10^{-7}
57 600	4	$8.294\,4 \times 10^8$	538	6.49×10^{-7}
115 200	2	$8.294\,4 \times 10^8$	3 266	3.94×10^{-6}

从实验数据可以看出,在相同的噪声背景下,波特率越高误码率也会有所提高。其中最高误码率远小于 10^{-5} ,可见 ZigBee 具有良好的抗干扰性能。ZigBee 对应不同的信噪比可以选用不同的数据传输速率,从而有效地降低了误码率。基于串口接口的 ZigBee 模块并不能将 ZigBee 的传输能力发挥到极限,提高波特率只能在一定程度上提高对无线带宽的占用率。ZigBee

(下转第 94 页)

- [C]//IEEE APEC 2003, Miami; [s. n.], 2003: 886 – 892.
- [4] REDL R, SOKAL N O. Near-optimum dynamic regulation of DC-DC converters using feed-forward of output current and input voltage with current-mode control[J]. **IEEE Trans. on Power Electronics**, 1986, 1(3): 181 – 192.
- [5] CALDERONE L, PINOLA L, VAROLI V. Optimal feed-forward compensation for PWM DC/DC converters with ‘linear’ and ‘quadratic’ conversion ratio[J]. **IEEE Trans. on Power Electronics**, 1992, 7(2): 349 – 355.
- [6] KAZIMIERCZUK M K, STARMAN L A. Dynamic performance of PWM DC-DC boost converter with input voltage feed-forward control[J]. **IEEE Transactions on Circuits and Systems**, 1999, 46(12): 1473 – 1481.
- [7] ARBETTER B, MAKSIMOVIC D. Feedforward pulse width modulators for switching power converters [J]. **IEEE Trans. on Power Electronics**, 1997, 12(2): 361 – 368.
- [8] YANG Huan-jen, CHEN Ke-horng, LEE Yung-pin. Feed-Forward Pulse Width Modulation for High Line Regulation Buck or Boost Converters[C]//ISCAS 2007, New Orleans, LA: [s. n.], 2007: 785 – 788.
- [9] LEE Young-joo, KHALIGH A, EMADI A. A Compensation Technique for Smooth Transitions in Non-inverting Buck-Boost Converter[C]//IEEE APEC 2009, Washington, DC: [s. n.], 2009: 608 – 614.
- [10] TAN S C, LAI Y M, TSE C K, et al. Adaptive feedforward and feedback control schemes for sliding mode controlled power converters[J]. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 2006, 21(1): 182 – 192.

[编辑: 柴福莉]

(上接第 81 页)

无线传输模块制造商也提供了不同接口的模块,如基于以太网接口的无线网络网关模块较之串口接口的模块能大大提高数据吞吐量,降低因短时间内大量数据的传入造成的冲突和数据溢出的可能性。

4 结束语

总体而言 ZigBee 可以胜任持续高波特率的无线传输工作。但在实际应用中,传输可能会更加繁重,出现误码的情况也会比实验结果更多。合理的通讯协议以及校验机制对大数据量传输至关重要,能够在提升系统效率的同时将误码带来的影响降到最低,但这只是弥补措施。所以对 ZigBee 持续高波特率传输以及如何更好地降低误码率的进一步研究非常有必要,有利于提高传输的效率和可靠性,拓宽 ZigBee 技术的应用范围。

参考文献 (References):

- [1] ZigBee Alliance. ZigBee Specification Version 1.0 [M]. ZigBee Standards Organization, 2004.
- [2] FUKUI K, PUKUNAGA S, TANIMOTO K. ZigBee technology for low-cost and low-power radio communication systems [J]. **Journal Institute of Electronics Information and Communication Engineers**, 2005, 88(1): 40 – 45.
- [3] 王静霞. 一种与 ZigBee/802.15.4 协议兼容的 RF 模块 XBee/XBeePro 及其应用[J]. 电子工程师, 2007, 3(3): 24 – 26.
- [4] 尹航, 张奇松, 程志林. 基于 ZigBee 无线网络的温湿度监测系统[J]. 机电工程, 2008, 11(11): 20 – 23.
- [5] 侯俊, 吴成东, 袁中甲, 等. 基于 ZigBee 的智能家居安全监控系统研究[J]. 机电工程, 2009, 1(1): 67 – 70.
- [6] 范国伟, 杨刚. 基于 ZigBee 技术的 XBee Pro 模块在智能公交系统中的应用[J]. 电子元器件应用, 2009, 5(5): 18 – 20.
- [7] MaxStream Inc.. XBee/XBee-PRO OEM RF Modules Product Manual v1. xAx-802.15.4 Protocol [M]. MaxStream, Inc., 2007.
- [8] 刘骊, 江虹, 吕杨. 基于 ZigBee 技术的嵌入式无线网络平台的研究[J]. 昆明理工大学学报, 2007, 1(2): 40 – 44.
- [9] ATMEL Inc.. AT91SAM9261 Preliminary, 6062F-ATARM-05-Dec [M]. ATMEL Inc., 2006.
- [10] 王新辉, 王志和, 王东光, 等. 无线传感器网络系统中循环冗余校验码算法分析和实现[J]. 科学技术与工程, 2008, 24(12): 6486 – 6489.
- [11] 龙伟, 周瑞研. 无线通信系统误码率分析[J]. 大气与环境光学学报, 2007, 5(9): 396 – 400.

[编辑: 李辉]