

基于 BitCloud 的室内定位系统^①

王振东^{1,2}, 蒲宝明¹, 闫慧文^{1,2}

¹(中国科学院大学, 北京 100049)

²(中国科学院沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

摘要: 本文从 BitCloud 协议栈的应用特点、ATmega128RF 单片机的射频特性、ZigBee 网络结构、滤波算法、位置估算方法和网络承载能力等方面, 详细描述了室内定位系统的设计与实现的主要内容和关键技术, 并实验证明了实际效果. 在位置估算方法方面提出了平滑滤波和极大似然估计法结合的有效的位置估算方式, 成功解决在使用 RSSI 定位算法时, 难以得到稳定信号强度值和估算误差大等问题. 试验结果表明, 该系统中的采样稳定性优于普通 RSSI 算法, 定位精度较高.

关键词: ZigBee; ATmega128RF; BitCloud; RSSI; 室内定位

Indoor Positioning System Based on BitCloud

WANG Zhen-Dong^{1,2}, PU Bao-Ming², Yan Hui-Wen^{1,2}

¹(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

²(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

Abstract: Base on the application characteristics of BitCloud protocol stack, ATmega128RF microcontroller RF characteristics, ZigBee network structure, filtering algorithms, and position estimation methods, described in detail the main content of indoor positioning systems and the implementation of key technologies. In the position estimation methods proposed smoothing filter, combined with maximum likelihood estimation method to an effective way to estimate the position. Experimental results show that the algorithm is more stable than ordinary RSSI algorithms, and high positioning accuracy.

Keywords: ZigBee; ATmega128RF; BitCloud; RSSI; indoor position

ZigBee 是一种新兴的短距离、架构简单、低功耗功率与低传输速率的无线通讯技术. 其传输距离为 30m~300m, 使用频段为免费的 2.4GHz 与 900MHz 频段^[1], 它的这些特点使其在无线传感器网络领域应用广泛. 在使用它通讯功能的同时, 由于 ZigBee 硬件 (IEEE 802.15.4) 对 RSSI (接收信号强度指示) 和 LQI (链路质量指示) 的支持, 用其终端设备来实现定位算法也成为了新兴的研究课题^[2].

AVR 单片机的高性能、低功耗、低成本使其应用到了各个领域, BitCloud 协议栈的诞生更是大大提高了 ZigBee 无线通讯解决方案的开发效率. 本文基于最新版本的 BitCloud (兼容 ZigBee Pro) 协议栈, 使用 AVR 的 ATmega128RF 单片机, 设计并实现了一套基

于 RSSI 的^[3]、稳定的、精确的室内定位系统.

1 系统的结构设计

1.1 BitCloud 协议栈简介

BitCloud 协议栈 100% 完全兼容 ZigBee PRO 标准和 ZigBee 标准^[4]. 它把网络协议栈分离成独立的逻辑层结构, 并且, 为了控制和开发方便, 它还额外增加了任务管理、电量管理、底层接口封装、开发板支持等层结构. 本文使用的 BitCloud 是操作系统无关的版本.

1.2 ATmega128RF 单片机简介

ATmega128RF 是具有 16MHz (最高) 主频的、

① 收稿时间: 2013-10-25 收到修改稿时间: 2013-12-16

高性能、低功耗的单片机. ATmega128RF 片内集成了 128K 字节的可自编程序的 flash、4K 字节的 EEPROM、16K 字节的 SRAM. 它内部还集成了完全功能的 2.4GHz 的低功耗射频收发器, 收发器完全兼容 IEEE 802.15.4-2006 和 IEEE 802.15.4-2003 标准^[5]. 在安装了 2DB 的标配天线后, 室内有效的、稳定的、可用于室内定位的通讯距离为 30m.

1.3 定位系统中的设备类型设计

首先, BitCloud 协议栈支持 3 种基本的 ZigBee 设备类型:

① Router: 提供网络入口, 实现数据在网络中向目的地的传递, 是全功能设备.

② Coordinator: 创建并初始化网络, 具备 Router 的所有功能, 是全功能设备.

③ End Device: 只能通过它依赖的 Router 或 Coordinator 进行数据传输, 是精简功能设备.

这三种设备互相协作, 构建出一个完整的 ZigBee 通讯网络. 而在定位网络中, 根据设备的功能和其 BitCloud 设备类型, 分别设计了以下 4 种设备:

① 移动节点, 手持设备. 随身携带的终端设备, 在实际应用当中可以是各种便携式的理疗设备、手持终端等. 它负责采集基站设备的信号强度、连接质量等信息, 经过简单的处理后, 把这些信息发送给服务器. 由于 End Device 接入网络后, 其只维护父设备的信息, 因此这种设备需要是 Router 类型设备, 设备的工作流程图如图 1(c)所示.

② 基站设备. 位置固定的设备, 它是确定移动设备相对坐标的基站. 在实际的应用中, 基站设备可以附带温湿度等传感器, 或者作为中继设备专门负责中转信息. 这种设备需要是 Router 或 Coordinator 类型设备, 设备工作流程图如图 1(a)所示.

③ 网关设备, 装配有通讯模块(Uart/Wifi/3G 等), 负责把从 ZigBee 收集到的信息通过串口、Internet 或局域网转发给服务器^[6]. 由于这种设备需要进行的数据转发, 工作负荷较大, 所以应该使用精简型的 End Device 设备, 设备工作流程图如图 1(b)所示.

④ 服务器, 负责接收数据、处理数据、用户交互、实现定位算法等. 应该使用安装了操作系统的、连入互联网的、处理性能较强的计算设备来实现, 设备工作流程图如图 1(d)所示.

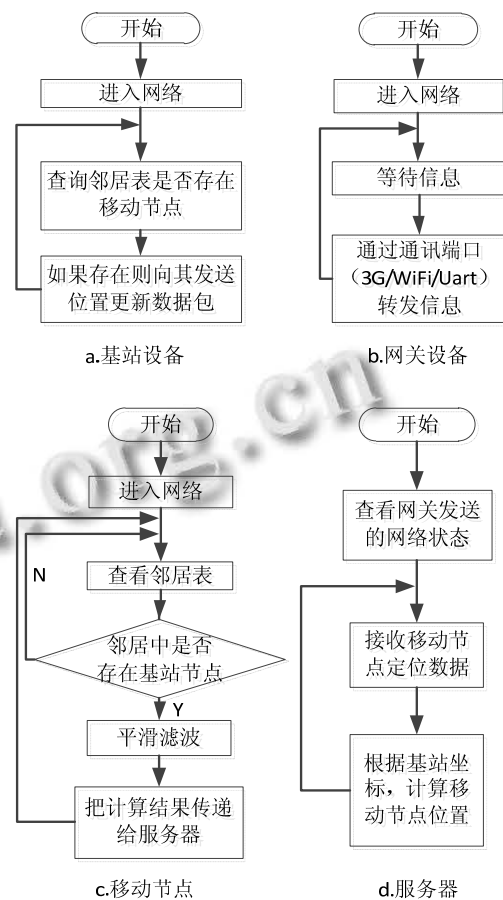


图 1 设备工作流程图

1.4 定位系统的网络拓扑结构设计

网络拓扑结构的设计需要满足的需求有:

- ① 基站设备位置固定不变;
- ② 网关设备以某个基站设备作为父节点;
- ③ 移动设备位置随机, 需要能够和任意基站设备建立直接连接;

④ 为了所有采集到的信息都能成功发送给网关设备, 所有基站都需要能够连接到网关设备的父设备.

综上所述, 定位网络拓扑结构和数据流向图的设计如图 2 所示.

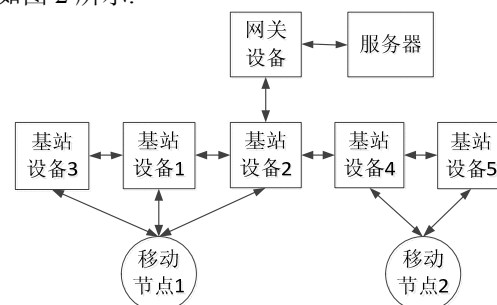


图 2 定位系统网络拓扑结构图

2 定位算法的设计与实现

2.1 信号采集

在定位计算中, 需要使用设备间通讯的信号强度和设备间的链路质量值来估算设备间的距离. 因为通过 BitCloud 协议栈可以直接读取信号强度和链路质量值, 因此在信号(RSSI/LQI)采集过程中需要解决的问题为信号值的更新方法和信号的采集频率的设定^[7].

根据 IEEE 802.15.4 标准, 设备间 RSSI 和 LQI 信号的更新^[8], 是在接收设备收到发送设备发送的信号之后, 由硬件自动更新. 因此, 如图 1(a)中所示, 基站定时向它邻近的移动节点发送更新提示数据包, 移动设备中的 RSSI 和 LQI 就会自动更新. 同时, 移动节点会定时查看邻居表中相应基站的 RSSI 和 LQI 值, 并把得到的数据发送到服务器.

数据的采集频率会影响定位的精度, 但由于网络承载能力的限制, 采样频率不可能无限提高. 经过实验测试, 在采样频率为 1HZ 时, 能够较好的实现室内定位算法, 同时对网络不会产生过高负荷.

2.2 平滑滤波提高采样稳定性

未处理过的 RSSI 和 LQI 值是不稳定的, 如图 3 所示. 如果直接用来进行定位计算, 会导致极大的误差. 所以需要采集到的信号进行滤波处理, 提高采样值的稳定性.

平滑滤波使用了简单平均法, 既用最近几次的采样值的平均值作为滤波结果^[9]:

$$\text{filter}(i) = \frac{\sum_{k=i-n}^i \text{sample}(k)}{n}$$

使用平滑滤波, 因为它有以下 4 个优点:

- ① 速度快;
- ② 实现简单, 可以在单片机中实现;
- ③ 有效消除波动, 滤波结果具备较好的线性;
- ④ 适应性强, 滤波窗口的大小, 可以根据应用环境而变化.

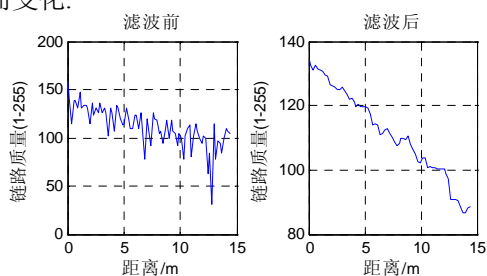


图 3 滤波效果图

当手持设备匀速接近基站时, 采样得到数据的滤波效果如图 3 示, 实验使用的滤波窗口大小为 12.

2.3 基于 RSSI 的测距原理

在基于接收信号强度指示(RSSI)的定位中, 接收信号强度是发射功率和发射器与接收器间距离的函数, 接收信号强度 RSSI 理论值和距离的关系为:

$$\text{RSSI} = 10n \cdot \log d + A$$

其中, n 代表信号传播常量; d 代表距发射器间的距离; A 代表距离为 1 个单位时的接收信号强度.

ATmega128RF 中的 RSSI 值得取值范围为 0~28, 其中 0 代表检测到的 RSSI 小于 -90dBm, 28 代表检测到的 RSSI 大于等于 -10dBm, 其它值以 3 为差递减.

同时, ATmega128RF 提供链路质量指示值(LQI)来指示两台设备间的链路质量, 取值范围为 0~255, 由于 LQI 值是由 RSSI 和丢包率计算出来的. 因此 LQI 值和两台设备间的距离存在一定关系, 实验证明此正关系可近似为线性关系, 使用 Matlab 拟合出的线性关系式如下:

$$d = -0.31 \times LQI + 42$$

经实验测试, 在匀速移动的过程中, 上式的最大相对误差为 18%.

2.4 定位算法的设计

已知点 1、2、3.....n 的坐标分别为(x1, y1)、(x2, y2)、(x3, y3).....、(xn, yn). D 到这些点的距离为 d1、d2、d3.....、dn. 则 D 的坐标(x, y), 存在如公式所示关系:

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2$$

⋮

$$(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 = d_n^2$$

用线性方程 AX=b 表示后, 可得公式:

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

由于存在误差, 合理的模型应为 AX+K=b, 其中 K 为 n-1 维随机误差向量, 由最小二乘法可得公式:

$$Q(x) = K^2 = b - AX^2$$

对上式求解后关于 X 求导并令其等于零可使 b-AX 最

小, 求解后即得到近似坐标 \hat{x} , 最终坐标估算公式为:

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T b$$

这种求解位置值的方法为极大似然估计法[10], 使用这种方法进行位置估算的流程图, 如图 4 所示.

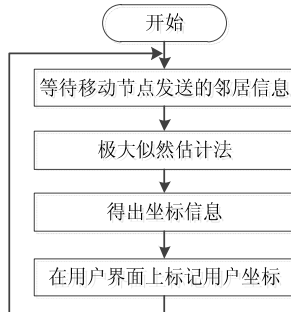


图 4 定位算法计算流程图

3 网络承载能力测试

ZigBee 网络的承载能力是有限的, 测试网络的承载能力, 目的在于测试出: 在单个移动设备通讯数据率一定的情况下, 网络能够容纳的移动设备的最大数量; 网络能够承载的最大的瞬时数据交换率.

可能影响承载能力的因素有:

- ① 单片机性能影响的协议栈吞吐量
- ② 数据碰撞导致的重传或丢包
- ③ 网络带宽影响通讯率
- ④ 数据应答影响数据通讯率

根据定位网络的拓扑结构可知, 网络中的数据最终都会汇总到网关设备, 因此, 网关设备的吞吐能力必定是影响网络承载能力的关键. 综上所述, 测试实验中, 使基站设备不间断的向网关设备发送数据包, 根据网关设备接收到的数据包的正确率和极限速度, 就可以对网络的承载能力进行估计. 测试使用的网络拓扑结构如图 5 所示. 试验所得数据如表 1 所示.

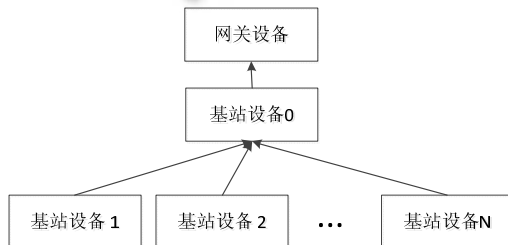


图 5 网络承载能力测试图

表 1 网络承载能力实验数据

基站数量	发送频率 (Hz)	数据大小 (Byte)	应答模式	发送总数	正确接收总数	用时 (s)
1	20	10	开	1977	1977	100s
1	30	10	开	1712	1712	100s
2	20	10	开	2513	2513	100s
3	20	10	开	2688	2688	100s
4	20	10	开	2726	2726	100s
5	20	10	开	2440	2440	100s
2	20	10	关	4037	3955	100s
3	20	10	关	6062	5964	100s
4	20	10	关	7964	7416	100s
5	20	10	关	8543	5650	100s
6	20	10	关	6058	5564	100s

实验结果分析:

- ① 使用 20Hz 做测试实验不会超过单片机负荷;
- ② 应答模式数据传送正确率为 100%, 但是通讯速率较低, 最高速率为 27 帧/秒(每帧数据大小和数据安全性选项有关为 59-95bit), 适合数据率比较低的数据, 比如基站配备的传感器采样信息;
- ③ 关闭应答模式时, 漏传率随着瞬时数据量的增加而增加, 最高速率为 80 帧/秒, 此时, 漏传率为 6%, 适合数据率高, 却容许丢包的通讯功能, 比如定位功能.

综上所述, 定位网络能够承载的可靠数据传输率为 27 帧/秒; 若使用定位功能, 移动设备以 1HZ 的速度向网关设备发送位置信息的话, 网络同时最多能够承载的移动用户数为 80 位.

4 结 语

本文给出了一种基于 BitCloud 协议栈的室内定位算法, 并对测试了定位网络的承载能力, 给出了定位网络的负荷极限. 本文提出的将平滑滤波和极大似然估计法结合进行定位计算的方法, 从滤波前后信号的稳定度对比和测距误差可以看出, 平滑滤波对于提高采样的稳定性有极大地效果, 结合极大似然估计法进行位置估算, 能够得到较好的定位精度.

参考文献

- 1 ZigBee Specification. San Ramon: ZigBee Alliance, 2007.
- 2 蒋耘晨.基于校园网和 ZigBee 技术的实验室监控管理系统.实验技术与管理,2010,27(7):104-107.
- 3 方震,赵湛,郭鹏,等.基于 RSSI 测距分析.传感技术学报,2007,20(11):2526-2530.
- 4 Atmel BitCloud Developer Guide. San Jose: Atmel Corporation, 2011.
- 5 ATmega128RFA1 PRELIMINARY Data Sheet. San Jose: Atmel Corporation,2012.
- 6 张久朋,王喆,史洪玮.基于 TD-SCDMA 的 ZigBee 接入网关的设计.江汉大学学报(自然科学版), 2011, 39(1):57-59.
- 7 周怡,凌志浩,吴勤勤.ZigBee 无线通信技术及其应用探讨.自动化仪表,2005,26(6):5-9
- 8 章坚武,张璐,应瑛,等.基于 ZigBee 的 RSSI 测距研究.传感技术学报,2009,22(2):264-269.
- 9 Hightower J, Boriello G. Location systems for ubiquitous computing. Computer, 2001, 34(8): 57-66
- 10 王福豹,史龙,任丰原.无线传感器网络中的自身定位系统和算法.软件学报,2005,16(5):857-868.

www.c-s-a.org.cn

www.c-s-a.org.cn