

文章编号: 1672-2892(2010)03-0257-04

## 基于 CC2431 实现的无线传感器网络定位

姚俊邑, 傅 焯

(中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘 要:** 无线传感器网络(WSN)中的定位技术是目前该领域研究的热点。对无线传感器网络中常用的定位技术进行了概述, 着重分析了基于接收的信号强度指示(RSSI)定位技术的误差来源及减小误差的办法。重点讨论了利用 CC2431 内嵌的定位引擎实现的无线传感器网络定位功能及其原理, 并通过实际测试验证了其定位准确度满足本应用需求, 最后对该定位系统的各项性能指标进行了全面的分析总结。

**关键词:** 无线传感器网络; 定位; 接收信号强度指示; CC2431 芯片

**中图分类号:** TN915.9; TP393.02

**文献标识码:** A

## Location estimation based on CC2431 RF transceiver in WSN

YAO Jun-yi, FU Xuan

(Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

**Abstract:** The location estimation in Wireless Sensor Networks(WSN) has been widely discussed in this field recently. This study introduced the location methods that were commonly used in IEEE 802.15.4 network and summarized the main sources of error in Received Signal Strength Indication(RSSI) based location estimation, combined with the approaches to improve location accuracy. The use of the location engine implemented in the CC2431 to estimate location was mainly discussed. The practical measurement results of location were given to prove that the CC2431 had met the application requirements. And all the performance criteria of the location system were analyzed.

**Key words:** WSN; location; Received Signal Strength Indication; CC2431

在许多无线传感器网络监控系统应用中, 网络节点需要知道自身的物理位置, 根据是否需要获得待定位节点与锚节点间距离或角度信息, WSN 中使用的定位算法可分为基于测距技术(Range-based)的定位算法和无需测距技术(Range-free)的定位算法。相对而言, 前者定位准确度更高, 而后者仅根据网络的连通性等信息确定待定位节点是否在某个锚节点附近, 实现起来简单, 但只能提供大概的位置信息。基于测距技术, 无线传感器网络的定位包括基于信号到达时间(Time of Arrival, ToA)、到达时间差(Time Difference of Arrival, TDoA)、到达角度(Angle of Arrival, AoA)<sup>[1]</sup>及接收信号强度指示(RSSI)方法。ToA 和 TDoA 测距技术利用信号的传播速度和传输时间作为输入来计算距离, 要求高精度的时钟实现同步, 其优点是定位准确度高; AoA 测距技术需要天线阵列等额外硬件设备以测量锚节点和待定位节点间连线与参考线形成的角度; RSSI 测距技术是利用理论或经验模型, 将信号传播损耗映射为传播距离, 从而实现定位。在算法开销、网络构建成本及定位准确度等多重条件制约下, 多采用基于 RSSI 的定位算法。本文应用 CC2431 芯片, 实现了基于 RSSI 的分布式定位算法, 并通过设置参考节点数及其位置, 提高定位准确度。

### 1 基于 RSSI 的定位误差

在 WSN 中, 基于 RSSI 的定位不需要额外的硬件和数据交换, 具有成本低、易实现的优点。RSSI 值不仅与距离有关, 还受到其他因素的影响。基于 RSSI 的定位误差主要来源于 3 个方面, 即硬件带来的误差、定位算法带来的误差和信号传输环境带来的误差<sup>[2]</sup>。

在硬件方面,无线传感器网络中使用的廉价的无线收发器,使得实际的发送功率和期望发送功率存在差异,而且这差异在不同的设备上可能是不一样的;或是在不同的设备上即使接收到相同的信号强度也可能导致不同的RSSI值。因此,在条件允许的情况下应选择大公司性能稳定的器件。另外,如果收发天线不是全向天线,则不同方向上发射信号强度及RSSI值与距离的关系有较大差异。应尽量使用全向天线并适当布置参考节点位置,减小天花板、地板及墙壁的吸附作用;若RSSI的误差为常量且与环境变化或节点的位置无关,可考虑加上一个RSSI偏移量。在定位算法方面,不同的定位算法也会带来相应的误差。同时,由于RSSI值是由接收到的信号强度量化得到的,而不仅仅是接收到的数据包信号强度,所以,在算法设计上要避免在网络流量较大时测量RSSI值。还可通过复杂的算法来提高定位准确度(如分段拟合),但在资源有限的应用中用复杂度来换取有限定位准确度的提高并不是最好的选择。

环境的变化可以说是影响RSSI定位准确度最大也不可避免的一个因素。无线环境中存在障碍物导致的多径衰落;待定位节点移动导致信号传输环境的变化等。选择合适的信道特征估计方法;增加测量RSSI值的时间,测量次数,通过统计方法剔除不正确结果等都可以有效降低环境对定位准确度的影响。

总之,在定位准确度与复杂度/成本间存在一个折中,应根据具体的应用场景选择合适的定位方法。在本文的应用中,对定位准确度要求在3m左右即可,采用基于RSSI的定位方法是适宜的。利用TI公司的CC2431芯片实现定位功能,其定位准确度可达3m。

## 2 基于CC2431芯片实现的定位功能

### 2.1 CC2430/CC2431 简介

CC2430/CC2431是TI公司推出的针对IEEE 802.15.4/Zigbee应用的片上系统,其内部集成了工作在2.4GHz的射频收发器、工业标准增强型8051MCU内核、128KB Flash ROM和8KB RAM<sup>[3]</sup>。另外,CC2431带有一个基于RSSI的片内硬件定位引擎,其他功能与CC2430完全相同。其定位引擎支持3~16个参考节点的定位运算,位置坐标分辨力为0.25m;定位时间50 $\mu$ s~13ms,定位区域为64m $\times$ 64m,定位误差3m~5m,与一般软件定位相比,具有定位速度快、定位准确度高、不占用CPU资源的特点<sup>[4]</sup>。

### 2.2 CC2431 定位原理

基于CC2431实现的定位采用分布式的定位算法(如图1),其定位方法是利用位置已知的参考节点(至少3个),对位于这些参考节点范围内位置未知的盲节点进行定位。其中,只有盲节点需要配备定位引擎即CC2431芯片,在该定位算法中参考节点不需要进行任何计算,这便于在原有ZigBee网络的基础上实现定位功能。

首先,盲节点向其邻近的参考节点广播一系列RSSI请求数据包,这些参考节点收到RSSI请求后测得相应数据包的RSSI平均值,并将自身的位置坐标值及RSSI值发送给盲节点作为定位算法的输入。然后,盲节点根据收到的RSSI值及相应坐标值,计算自身到每个参考节点的距离。最后,盲节点根据到每个参考节点的距离及参考节点位置坐标值,利用极大似然估计法计算自身的坐标值。盲节点将自身坐标值传送给与上位机相连的节点。

### 2.3 理论信号传播模型及定位引擎工作流程

RSSI值是信号发射节点与接收节点之间距离的函数,其关系如下<sup>[5]</sup>:

$$RSSI = -(10n \lg d + A) \quad (1)$$

式中:RSSI值(RSSI)为在工作信道上开始接收数据包后,8个符号周期(symbol period)中测得的信号能量平均值,它被转换为一个8bit二进制数添加到数据包中向上层传输; $d$ 为发射节点与接收节点之间的距离,单位为m; $n$ 反映了在具体的传播环境下信号能量随收发器间距离增加而衰减的速率,为了简化运算,实际写入定位引擎的 $n$ 值是通过查表得到的整数索引值,具体可参考数据手册; $A$ 为天线全向模式下距发射节点1m处接收信号的RSSI绝对值,与信号发射强度有关。由CC2430/CC2431测得的RSSI值具有100dB的动态范围及很好的线性。

CC2431的定位引擎使用很方便,其工作流程如图2。

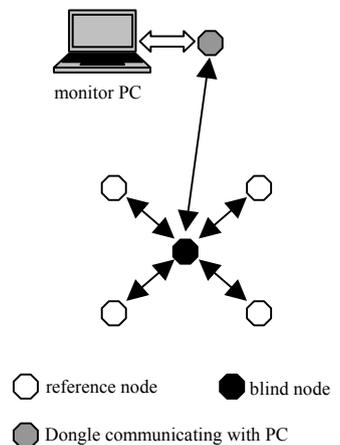


Fig.1 Location estimation  
图1 定位原理示意图

2.4 RSSI 测试

测试条件：办公室，发射节点发射功率为 0 dBm，收发节点位于同一平面上，每个位置的 RSSI 为在该位置上连续采集 200 个 RSSI 的平均值。图 3 中的折线为接收节点测得 RSSI 值随距离变化的关系。图 4 为路径损耗与  $10\lg d$  之间的关系。根据式(1)及图 4，可得在该测试条件下  $A$  约为 30， $n$  约为 2.875。

由图 3 可以看出，在距离小于 10 m 的范围内，RSSI 与距离间有较好的线性关系，且和理论模型具有较好一致性；随着距离的增大，RSSI 的变化趋于缓慢，与理论模型差距较大，具有一定的随机性。这主要是由于室内障碍物较多引起的多径效应的影响。

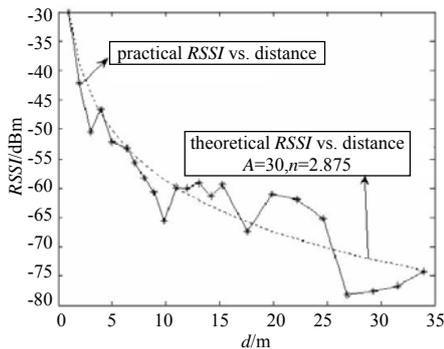


Fig.3 RSSI vs. distance  
图 3 RSSI 与距离的关系

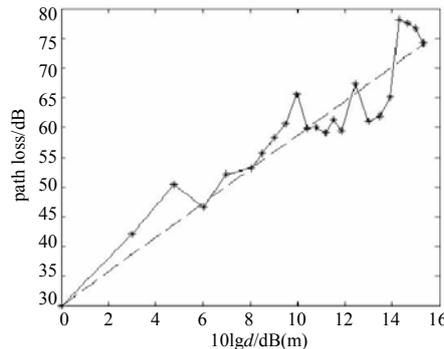


Fig.4 Path loss vs. log distance  
图 4 路径损耗与  $10\lg d$  的关系

2.5 定位测试

测试条件：办公室内  $9.5\text{ m} \times 7.5\text{ m}$  的区域，布置 4 个参考节点，位置分别为  $(0,0), (0,7.5), (9.5,0), (9.5,7.5)$ 。发射节点发射功率为 0 dBm，参考节点均贴放于高 1.8 m 的墙上，收发节点均采用鞭状天线，天线倒置以使 RF 信号向外和向下传输， $A$  取 30， $n$  取 2.875。测试结果如表 1(坐标单位：m，测得位置坐标分辨力为 0.25 m)。由定位结果可见定位误差在 2 m 以内，满足本应用需求。

表 1 定位测试结果

Table1 Location measurement		
real coordinates/m	estimated coordinates/m	location error/m
(1.8, 6.3)	(2.75, 4.75)	(0.95, -1.55)
(1.8, 3.6)	(2.75, 2.75)	(0.95, -0.85)
(6.2, 1.8)	(5.00, 2.25)	(-1.20, 0.45)
(8.3, 2.5)	(6.75, 2.75)	(-1.55, 0.25)
(6.2, 4.8)	(5.25, 3.25)	(-0.95, -1.55)
(2.8, 7.1)	(3.00, 6.75)	(0.20, -0.35)
(4.4, 3.6)	(4.75, 2.25)	(0.35, -1.35)
(7.5, 7.3)	(6.75, 5.75)	(-0.75, -1.55)

3 定位性能分析

一般而言，一个定位系统的性能指标包括：定位准确度、定位覆盖范围、定位坐标精度、定位延迟时间及定位开销。以上性能指标不可能在同一定位系统中均达到最优，因此测距方式的选择及定位算法的设计应依据具体的应用场景，以便在以上各性能指标间找到一个“最佳平衡点”。

本文中基于 CC2431 实现的定位系统，通过测试验证，在覆盖范围约为  $10\text{ m} \times 10\text{ m}$  的条件下，其定位准确度可达 2 m 以内，这个结果也与 RSSI 测试结果是一致的，即在小于 10 m 的范围内，RSSI 值和距离的关系与理论模型具有较好的一致性，在更大的范围（前提是小于  $64\text{ m} \times 64\text{ m}$ ）内进行定位时，定位准确度也可保证 3 m~5 m；而在定位覆盖范围方面，只要保证以每个盲节点为中心的  $64\text{ m} \times 64\text{ m}$  范围内有至少 3 个参考节点，则可通过编程实现其定位覆盖范围任意大；由于 CC2431 中定位引擎寄存器的规定，本文中实现的定位坐标精度为 0.25 m，满足一般无线传感器网络应用需求；由于基于 CC2431 的定位主要的计算部分在其内嵌的定位引擎中实现，因此定位延迟时间主要由程序中的相关设置决定(如发送的 RSSI-Blast 数目、间隔时间等)，根据实际应用的需求，可调节相关参数值；最后，在定位开销方面，由于本文采用的分布式定位算法，无需花费大量时间在离线阶段建立数据库，且具有定位速度快、占用 CPU 资源少等优点，因此，很适于在具有严格能耗限制的无线传感器网络中使用。此外，在本文实现过程中，为减小 RSSI 误差来源对定位准确度的影响，采取了多项措施，如合理布置参考节点位置，算法设计上使同一时间只有一个定位节点发送 RSSI 请求，以减小网络流量等。另外通过增加参考节点数量可以有效提高定位准确度，使其满足实际需求<sup>[6]</sup>。

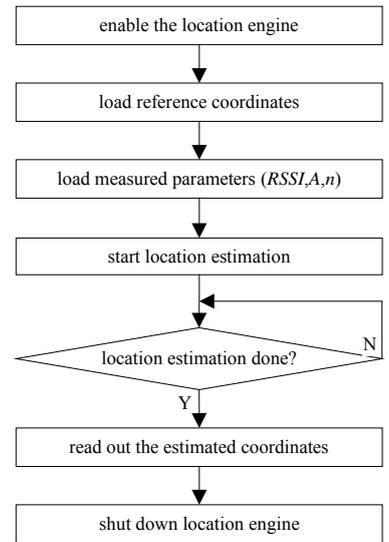


Fig.2 CC2431's location engine operation  
图 2 CC2431 定位引擎工作流程

## 4 结论

本文详细分析了基于 RSSI 定位技术的误差来源及解决办法。并基于 CC2431 的分布式定位算法实现了无线传感器网络的定位功能,最后通过实测验证了其定位准确度满足本应用要求,并对该系统的各项定位性能指标进行了全面的分析和总结。

### 参考文献:

- [ 1 ] Karl H,Willig A. 无线传感器网络协议与体系结构[M]. 北京:电子工业出版社, 2007:198-214.
- [ 2 ] Farahani S. ZigBee Wireless Networks and Transceivers[M]. Burlington:Newnes, 2008.
- [ 3 ] TI. CC2430 Data Sheet (rev.2.1):A True System-on-Chip solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee[DB/OL]. Texas Instruments, 2006[2009-08-18]. <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2430.pdf>.
- [ 4 ] TI. CC2431 Data Sheet (Rev. 2.01): System-on-Chip for 2.4 GHz ZigBee®/ IEEE 802.15.4 with Location Engine[DB/OL]. Texas Instruments. 2006[2009-08-18]. <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2431.pdf>.
- [ 5 ] Aamodt K. CC2431 Location Engine[R/OL]. Texas Instruments. 2006[2009-08-18]. <http://focus.ti.com/lit/an/swra095/swra095.pdf>.
- [ 6 ] Jarle Boe. ZigBee 定位解决方案[J]. 电子设计应用, 2008(1):85-87.

### 作者简介:



姚俊邑(1983-),女,贵州省遵义市人,在读硕士研究生,主要研究方向为通信与信息系统.email:392194722@qq.com.

傅焯(1965-),男,四川省大英县人,硕士,研究员,主要从事测量与控制领域技术研究.

(上接第250页)

### 参考文献:

- [ 1 ] Jouko Vankka. Digital synthesizers and transmitters for software radio[EB/OL]. (2005-8-22) [2009-10-05]. [http://www.ebookee.net/Digital-Synthesizers-and-Transmitters-for-Software-Radio-by-Jouko-Vankka\\_58821.html](http://www.ebookee.net/Digital-Synthesizers-and-Transmitters-for-Software-Radio-by-Jouko-Vankka_58821.html).
- [ 2 ] 陈大海. 一种软件无线电遥测信号产生系统[J]. 信息与电子工程, 2007,5(1):66-69.
- [ 3 ] 卢欣. 基于数字波形合成的 PCM/FM 调制技术[D]. 绵阳:中国工程物理研究院, 2005.
- [ 4 ] ADI 公司. AD9957 芯片手册[EB/OL]. [2009-10-05]. <http://cn.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/162353/AD/AD9957.html>.
- [ 5 ] 姜宇柏,黄志强. 通信收发信机的 Verilog 实现与仿真[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.

### 作者简介:



王鹏(1983-),男,四川省绵阳市人,在读硕士研究生,主要从事信号处理与硬件电路设计.email:pengge\_008@163.com.

杨春(1972-),男,四川省绵竹县人,副研究员,主要从事数据采集及信号处理方面研究.

文招金(1981-),男,四川省绵阳市人,工程师,主要从事数据采集及编码技术研究.