

基于 ZigBee 的 WSN 定位系统^①

董 欣

(渤海大学 管理学院, 锦州 121013)

摘 要: 研究设计了基于 ZigBee 技术的无线传感器网络定位系统. 该方案以 TI 公司的 CC2430/CC2431 为核心芯片, 结合外围元器件设计网关、参考节点和定位节点模块. 详细论述了定位系统的硬件原理和软件设计思想, 给出系统原理图和软件设计流程图, 以 IAR Embedded Workbench 为平台进行系统软件的开发. 采用改进的 DV-Distance 定位算法, 通过仿真比较改进的 DV-Distance 定位算法与传统算法, 验证改进的 DV-Distance 定位算法可提高定位精度和效率. 结果表明该方案是可行的, 适合实际应用.

关键词: ZigBee; 无线传感器网络; 定位; CC2430/2431

WSN Localization System Based on ZigBee

DONG Xin

(School of Management, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

Abstract: We researched and designed WSN localization system based on ZigBee. This plan used CC2430/2431 of TI Company as core chip; gateway, reference node and blind node module were designed combined with peripheral components. The hardware principle and software design of the localization system was discussed, and present the principle diagram of system and software design flow chart. IAR Embedded Workbench was used as platform to develop system software. We adopted improved DV-Distance algorithm as location algorithm. What's more, the improved DV-Distance algorithm was compared with traditional algorithm by simulation, and the results show that improved DV-Distance algorithm could improve location accuracy and efficiency. So the scheme designed is feasible, and it is suitable for practical application.

Key words: ZigBee; WSN; location; CC2430/2431

无线传感器网络(WSN)的发展带动了相关无线业务的出现, 自动定位就是其中一种. GPS 定位用于室外定位, 解决许多军事和民用定位问题, 由于其硬件设备复杂等各方面因素, 不适合室内定位及短距离的室外定位^[1]. 因此一些新的无线技术相应而生, 目前常见的有红外技术、超声波技术、RFID 以及 ZigBee 技术. ZigBee 技术以低成本、低功耗、低数据速率、低复杂度为显著优点的短距离无线通信协议, 满足了小型、低成本的固定、便携或移动设备无线联网的要求^[2]. 由于 ZigBee 的收发模块体积小, 功耗低, 很容易直接安放在设备或工作人员的器械上, 抗干扰能力

强, 传输距离远^[3]. 所以, 很多应用都已直接利用 ZigBee 无线通讯模块来测定节点位置. 因此, 在充分研究现有 ZigBee 技术的基础上, 主要对 ZigBee 无线传感器网络定位系统进行设计, 应用改进的 DV-Distance 算法, 减小定位误差, 提高定位精度.

1 定位系统结构设计与工作原理

1.1 系统结构设计

定位系统由监控中心(PC 机)、ZigBee 网关以及现场实现定位功能的参考节点和定位节点构成, 网关通过 RS232 与监控中心通信, 如图 1 所示.

^① 收稿时间:2012-04-25;收到修改稿时间:2012-05-30

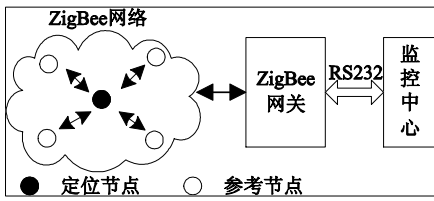


图 1 系统总体结构图

1.2 工作原理

无线传感器定位网络中存在 3 种功能类型的节点: 协调器节点、参考节点和定位节点。

协调器节点相当于网关, 负责组网和采集数据, 并将采集到的数据发送到上层进行进一步的处理, 也可作为参考节点使用。参考节点是一些静止的、已知自身位置信息的固定节点, 根据定位算法和节点软件的要求, 通过内置的 ZigBee 模块, 收集相应信息并向相关节点反馈包含自身位置坐标的信息, 根据算法要求进行相应计算, 辅助完成定位工作[4]。定位节点是无线定位系统中的移动节点, 通过内置的 ZigBee 模块, 能够与离自己近的参考节点通信, 根据参考节点传送的所有信息和相应的定位算法来计算出自己的坐标信息。然后将最终的定位结果发送给网关, 网关通过 RS232 串口将信息传送到监控中心。定位监控中心通过上位机定位软件实现对无线定位网络的网络配置, 接收 ZigBee 网关上传的数据, 在上位机界面上直观的显示定位区域内的参考节点和定位节点, 从而确定相关节点在定位区域的准确位置[5]。

在本系统中, 要实现由 1 个协调器节点、多个参考节点、1 个移动节点组成的无线传感器网络的室内定位。

2 无线网络的硬件结构

2.1 ZigBee 节点总体架构

网关是整个定位系统的中心协调控制器, 网关和参考节点的主控芯片选用不带定位引擎的 CC2430 芯片, 定位节点主控芯片选用带有定位引擎的 CC2431 芯片进行设计。在系统的节点上, 使用 CC2430/2431 芯片, 加上少量外部电路就可以组成一个系统[6], 如图 2 所示。

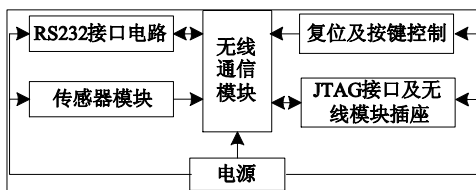


图 2 ZigBee 节点结构图

其中包括串口模块, 电源模块, 复位及按键控制, JTAG 及接插口等。串口是节点硬件和计算机进行数据通信的主要接口。接插口主要是用来连接外部所需要的传感器, 如温湿度传感器, 红外传感器, 震动传感器, 光照传感器。由于本设计主要考虑定位, 所以传感器模块只是为了以后扩展用。

2.2 ZigBee 无线模块

系统的微处理器使用了 TI 的 CC2430/2431 芯片。CC2431 具有定位引擎硬件核心, CC2430 没有定位跟踪引擎, 除此之外, 它们的外观和功能完全一样。CC2430/2431 整合了 ZigBee 射频前端、内存和微控制器, 设计复杂度较低, 适合无线传感器节点微型化发展趋势, 功耗和成本也相对较低。它使用 1 个 8 位增强型 MCU(8051), 具有 32/64/128KB 可编程闪存和 8KB 的 RAM, 还包含 4 个定时器、1 个模/数转换器、AES128 协同处理器、32kHz 晶振的休眠模式定时器、看门狗定时器、上电复位电路、掉电检测电路以及 21 个可编程 I/O 口引脚。微处理器全速工作时, 频率为 32MHz, 电压只有 3.3V。在接收和发射模式下, 电流损耗约为 27mA。CC2430/2431 可以在超短时间(在微秒级)内从休眠模式转换到工作模式, 因此特别适合低功耗或者要求电池寿命非常长的应用。

为保证无线模块的通信距离和可靠性, 本系统所设计的 CC2430 外围电路、天线和其匹配电路、外形及整体布局严格参照 TI 公司提供的参考电路。系统的时间计时要求精确, 选用高精度的 32MHz 晶体振荡器, 休眠时使用 32.768KHz 晶体振荡器。

2.3 RS-232 串口电路设计

网关与 PC 机使用 RS-232 串口进行通信。RS-232 是一个全双工的串行通信标准, 可以同时进行数据的接收和发送, 可连接长达 25m 的距离, 传输速度可达到 38.4kbps。采用 SP3233E 接收器, 通过 CC2430 本身自带的 UART 通信模块对 SP3232 通信芯片的操作, 从

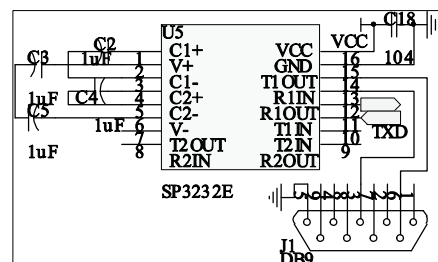


图 3 RS-232 串口电路的设计

而实现协调器节点和 PC 机间的通信. 协调器收到的数据通过发送缓冲区返回给 RS-232 中的 SP3232, 经由 SP3232 进行电平转换后得到同 PC 机协议一致的电平信号传输给 PC 机. 从 PC 机到 CC2430 的通信流程正好相反. 通道 1 的 TTL 收发端与 CC2430 的串行通信接口 USART0 相连接, 电路设计电路如图 3 所示.

2.4 电源

电源是无线传感器节点的重要组成部分, 为微控制器和其它外围设备提供运行电源. 因此, 电源模块的可靠性、抗干扰能力和稳定性将直接影响系统的正常运行. 节点采用锂电池供电, 锂电池的电压最大值为 4.2V, 由于 CC2430/2431 芯片的电压范围为 2.0V~3.6V, 因此在设计电源的时候要用一个 0.7V 的二极管进行降压.

3 定位算法

节点定位技术是根据网络中少量的参考节点位置信息, 按照某种定位机制估算未知节点的位置. 本文所讨论采用基于改进的 DV-Distance 算法.

3.1 DV-Distance 算法

DV-Distance 算法属于基于测距定位技术, 该算法是相邻节点使用 RSSI 测量节点间点到点距离, 利用类似距离矢量路由方法传播与参考节点的累计距离^[7]. 参考节点周期性的向网络广播自己的位置信息, 如参考节点的位置坐标、到未知节点的当前累积距离及本身编号等, 当未知节点获得与 3 个或更多参考节点的距离后使用三边测量定位.

3.2 改进的 DV-Distance 定位算法

改进的 DV-Distance 定位算法具体过程分为三个步骤:

1) 估计距离误差修正值. 参考节点向网络广播自己的位置坐标 (x_i, y_i) , 其他节点接收到该参考节点的信息时就将该参考节点的位置信息、两者之间的每跳距离累积值和、到参考节点的跳数储存. 当某个参考节点接收到其他参考节点的信息时, 通过式(1)计算估计距离误差修正值.

$$w^{i,j} = (r_e^{i,j} - r_t^{i,j})/m \quad (1)$$

其中, $w_{i,j}$ 为参考节点 i 和 j 间的距离误差修正值; $r_t^{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ 为参考节点 i 和 j 间的真实距离; $r_e^{i,j}$ 为参考节点 i 和 j 间的每跳距离累积和; m 为

参考节点 i 和 j 间的跳数.

2) 各参考节点向网络中广播自己到其他节点的距离误差修正值. 未知节点接收到距离自己最近的参考节点的误差修正值后, 根据到参考节点的距离和计算出到参考节点的有效距离. 例如, 未知节点 k 到参考节点 j 的有效距离, 而节点 i 是距未知节点 k 最近的参考节点, 则 k 到 j 的有效距离为:

$$r_{eff}^{k,j} = r_e^{k,j} - w^{i,j} * m_{k,j} \quad (2)$$

其中, $r_e^{k,j}$ 为未知节点 k 到参考节点 j 的每跳距离累积和; $r_{eff}^{k,j}$ 为未知节点 k 到参考节点 i 和 j 间的距离误差修正值.

3) 当定位节点得到 3 个或更多的参考节点有效距离后, 就可利用三角关系计算出自己的位置.

3.3 仿真实验

对改进的 DV-Distance 定位算法和传统算法进行仿真对比. 传感器节点在 $200m \times 200m$ 的正方形区域内随机分布, 每个节点间通信距离均为 10m, 相邻节点之间的距离由接收信号功率根据传播模型确定, 采用最小跳数路由. 固定仿真区域内随机分布的未知节点个数, 参考节点个数变化时算法的性能比较见图 4. 参考节点数 n 分别为 5、10、20, 未知节点接收到 3 个或更多参考节点的信息后便进行位置估计. 从图 4 可知, 改进后的算法定位精度均高于传统算法定位精度. 在未知节点数目固定不变的情况下, 参考节点数越多, 两种算法的定位精度均提高. 这是由于参考节点数越多, 未知节点到参考节点的有效距离误差就越小, 定位精度就越高.

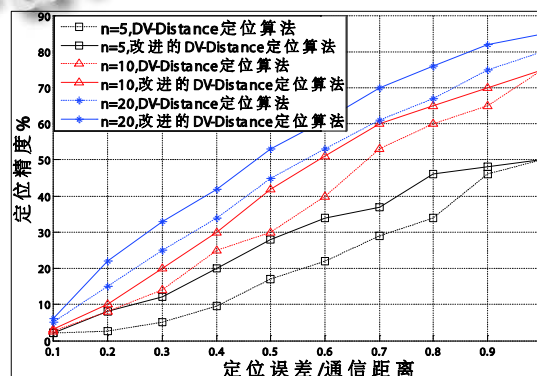


图 4 定位误差与参考节点的关系

4 Z-Stack 协议栈与软件设计

4.1 Z-Stack 协议栈

Z-Stack 协议栈是 TI 公司开发的一款 ZigBee 协议

栈,它装载基于 IAR 开发环境下. Z-Stack 采用操作系统模块进行简单的任务轮询和工作调度,实现硬件的管理和配置功能,其本身并不是一个操作系统,只是有任务调度的模块.当系统上电以后, Z-Stack 进行初始化工作,然后进入低功耗休眠模式,如果有事件发生,唤醒系统进入正常工作模式,系统开始进入中断处理程序处理事件,结束后再回到低功耗模式.若几个事件同时发生,则比较事件优先级依次处理^[8].

4.2 下位机软件设计

ZigBee 系统以 Z-Stack 协议栈为基础,采用基于 C/C++的 IAR Embedded Workbench 应用开发工具开发、编译和调试程序.对于节点的软件设计与硬件电路采用相同的思想,即模块化结构程序设计方式.定位设计采用网状结构,所有节点都是具有全功能的节点,网关与参考节点、定位节点之间,以及参考节点与定位节点之间都有无线数据的交换.

当网关接收到数据后,首先判断是不是可用的,如果可用,再行判断数据的流向,根据命令要求分别将监控终端对各节点的配置数据进行配置,将相关节点的定位信息传递给上位机进行记录和显示.网关节点流程见图 5.

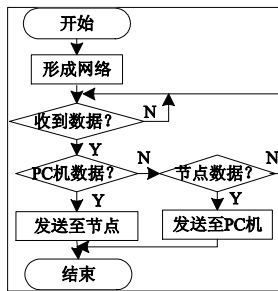


图 5 网关节点流程图

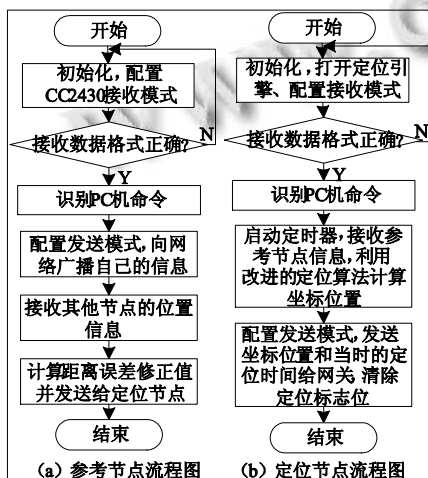


图 6 参考节点和定位节点流程图

参考节点加入网络后发送自己的坐标信息给网关,多次收集与定位节点之间的位置信息并计算其距离误差修正值并发送给定位节点.定位节点加入网络后,打开计时器功能,搜集参考节点发送的信息并根据相应定位算法计算求得定位坐标并发送坐标给网关,经过定位引擎实现硬件定位.其流程见图 6.

5 测试结果分析

在定位区域选择若干实际位置为(x,y)的点,然后将定位节点放在该点,从上位机定位系统软件读出测量结果(x',y'),将实际位置和测量位置进行记录,定位误差为.结果如表 1 所示.

表 1 定位测试结果(单位: 米)

序号	实际位置(x,y)	测量位置(x',y')	误差 e
1	(1.0,1.0)	(1.55,1.64)	0.8438
2	(1.5,2.5)	(2.23,3.05)	0.914
3	(5.5,3.0)	(5.73,3.25)	0.340
4	(5.0,0.5)	(5.75,1.37)	1.149
5	(3.0,5.5)	(3.35,5.94)	0.562
6	(5.0,5.5)	(5.53,5.92)	0.676

从测试结果可知,定位节点与参考节点之间的高度差增大会增大定位误差.所以在布置定位系统时,一定要考虑定位节点的活动范围和定位节点载体相对参考节点的高度差问题.

6 结语

本文分析了定位系统的需求和特点,提出并设计基于 ZigBee 技术的无线传感器网络定位系统.为保证系统的可靠性,针对无线传感器中 DV-Distance 定位算法的不足,提出一种改进的 DV-Distance 定位算法.实验结果表明,改进后的算法可减小定位误差,提高定位精度.通过仿真与调试证明了该设计方案的可行性,因其系统体积小,安装方便,工作状态良好且稳定,可很好地满足室内定位的要求.

参考文献

- 1 孙利民,李建中,陈渝,等.无线传感器网络.清华大学出版社,2005.
- 2 吕治安.ZigBee 网络原理与应用开发.北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- 3 施鹏,赵华伟.ZigBee 传感网络的一种新型安全方案.计算机系统应用,2011,20(8):204-207.

(下转第 79 页)

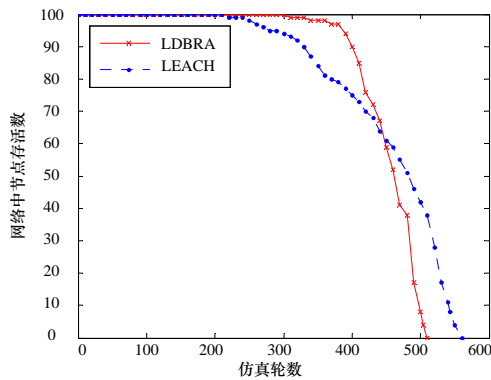


图 1 网络存活节点数目随时间变化

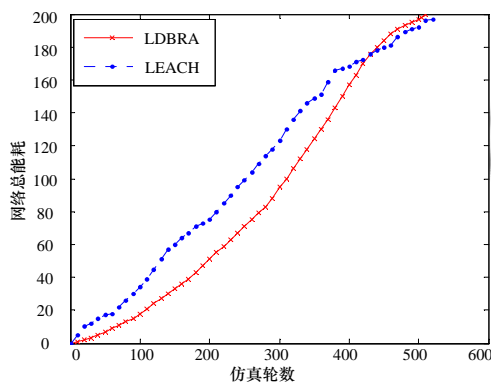


图 2 网络总能耗随时间变化

4 结语

为了使无线传感器网络负载更加均衡, 本文提出了 LDBRA 负载均衡算法, 它充分考虑了节点剩余能量分布以及簇内节点间的通信能耗来选择簇首, 用节点间的通信距离的平方来衡量节点间的通信能耗, 在剩余能量与通信能耗间取平衡点来优化簇首的选择. 下一步的研究方向将是考察平衡因子的选择对不同网络性能的影响.

(上接第 46 页)

- 4 Hyuntae C, Hyunsung J, Yunju B. Practical localization system for consumer devices using Zigbee networks. *Consumer Electronics*, 2010,56(3):1562-1569.
- 5 宁炳武, 刘军民. 基于 CC2430 的 Zigbee 网络节点设计. *电子技术应用*, 2008,34(3):95-99.
- 6 唐炜, 郑小林, 干红华, 等. 基于运动估计的 ZigBee 无线网络

参考文献

- 1 Heizelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient Routing Protocols for Wireless Microsensor Networks. *Proc. of the 33rd Hawaii International Conferences on System Sciences*. Hawaii, USA: IEEE Press, 2000: 3005-3014.
- 2 Song CY, Huazhong Z, Xiuyang Z. Clustering hierarchy tree routing algorithm based on LEACH. *Journal of Computer Applications*, 2008,28(10):2594-2596.
- 3 Younis O, Fahmy S. A Hybrid, Energy Efficient. Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks. *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2004,3(4):660-669.
- 4 Handy MJ, Haase M, Timmermann D. Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy with Deterministic Cluster-head Selection. *Proc of the 4th IEEE Conf on Mobile and Wireless Communications Networks*. Piscataway, NJ: IEEE, 2002: 368-372.
- 5 Heizelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks. *IEEE Trans. Wireless Communication*, 2002,1(4): 660-670.
- 6 Chamam A, Pierre S. A Distributed Energy-Efficient Cluster Formation Protocol for Wireless Sensor Networks. *Consumer Communications and Networking Conference, CCNC 2009*. 6th IEEE, 2009,1(10):1-5.
- 7 Doshi S, Bhandare S, Brown T. An on-demand minimum energy routing protocol for a wireless Ad Hoc network. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2002,6(3):50-66.
- 定位方法. *计算机工程*, 2010,36(20):256-258.
- 7 Wang DH, Jia HD, Chen FX, et al. An improved DV-Distance localization algorithm for wireless sensor networks. *ICACC*, 2010,5:472-476.
- 8 章伟聪, 俞新武, 李忠诚. 基于 CC2340 及 ZigBee 协议栈设计无线网络传感器节点. *计算机系统应用*, 2011,20(7):184-187.