

基于无线传感器网络的室内定位系统*

宦若虹, 李义冬, 何晓慧, 陈庆章*

(浙江工业大学 计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310023)

摘要:为解决已有室内定位系统精度低、成本高的问题,将无线传感器网络(WSN)技术应用到室内定位中。开展了对已有定位系统包括 RADAR、Active Badge 和 Cricket 等的分析,设计了一套基于无线传感器网络的室内定位系统。该系统使用 GAINSJ 无线传感器网络节点组网,整个系统由汇聚节点、参考节点和目标节点构成。汇聚节点负责传感器网络节点与 PC 机通信,参考节点是位置坐标已知的传感器节点,目标节点为待定位的传感器节点。该系统采用了基于距离的多边定位算法,并使用极大似然估计法求解目标节点坐标。对系统运行后的数据进行了分析和统计,还分析了影响该系统定位精度和效率的原因,提出了改进和提高的方案。研究结果表明,该定位系统可实现室内定位,在较为理想的环境下,其定位误差率可控制在 10% 以下,平均定位精度达到 2 m。

关键词:无线传感器网络;室内定位;多边定位

中图分类号:TP393.17

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)08-0910-04

In-building localization system based on wireless sensor networks

HUAN Ruo-hong, LI Yi-dong, HE Xiao-hui, CHEN Qing-zhang

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: As the existing in-building localization systems have problems of inaccuracy and high cost, a location method based on wireless sensor network was investigated. After the analysis of existing localization system including RADAR, Active Badge and Cricket, an in-building localization system based on wireless sensor network(WSN) was established. The whole system was constituted by sink node, reference nodes and target nodes using GAINSJ wireless sensor nodes. The sink node was responsible for communication between PC and sensor nodes. Reference nodes were a group of sensor nodes that their positions are already known. The target nodes were the nodes to be positioned. A multilateral localization algorithm based on distance and maximum likelihood estimation method was used for calculating the coordinates of target nodes in the system. The localization results was analyzed and calculated. The reasons that affect system accuracy and efficiency have also been analyzed with the suggestions for the system performance improvement. The research results show that the in-building localization system can locate in an ideal environment with localization accuracy of 10% or less and the average localization accuracy is 2 m.

Key words: wireless sensor network(WSN); in-building localization; multilateral localization

0 引 言

随着嵌入式计算技术、网络通信技术和电路制造技术的发展和进步,集感知能力、计算能力和通信能力于一体的微型传感器节点开始受到世界范围的关注,由微型传感器节点所组成的无线传感器网络(WSN)也得到了飞速发展,并且在各个领域中正发挥着越来越大的作用。在大多数无线传感器网络的应用中,传

感器节点在位置未知的情况下所感知到的信息都是没有实际应用价值的^[1]。因此,无线传感器网络节点定位技术作为无线传感器网络中的关键支撑技术,是目前无线传感器领域中的研究热点^[2]。

目前,GPS(Global Positioning System,全球卫星定位系统)定位是最普遍使用的定位方法,但 GPS 对于室内环境的定位常常由于接收不到卫星信号导致误差很大甚至失败^[3]。当前,人们对复杂室内环境的定位

收稿日期:2010-12-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61001126);浙江省科技厅面上工业资助项目(2009C31002)

作者简介:宦若虹(1979-),女,浙江杭州人,博士,讲师,主要从事无线传感网络、图像处理方面的研究。E-mail: huanrh@zjut.edu.cn

通信联系人:陈庆章,男,教授,博士生导师,E-mail: qzchen@zjut.edu.cn

需求日益增大,比如仓库、超市、矿井等环境中,常常需要确定移动物体及设备的具体位置。因此,研究并开发一套适用于室内环境的定位精度较高的定位系统十分必要。

欧美国家在室内定位的研究上起步比较早,代表性系统有:AT&T 实验室 Cambridge 提出的红外感应定位系统 Active Badge 系统^[4],微软公司的基于 RSSI 技术的 RADAR 系统^[5],麻省理工学院研发的基于 TDOA (Time Difference Of Arrival,到达时间差)的 Cricket 系统^[6]等。Active Badge 系统是一个室内定位系统,也是首个位置相关的应用系统。该系统使用红外传感器和电子徽章来收集并计算出徽章携带者的位置。RADAR 系统是一个基于 RSSI 相关技术的室内定位系统,该系统利用基站与用户节点间的信号强度来计算基站与用户之间的距离从而测定出用户节点的位置。Cricket 室内定位系统是采用无线射频信号与超声波信号的到达时间差作为估算节点间距离的信息,进而测定出节点的位置关系。

本研究主要探讨基于无线传感器网络的室内定位系统。

1 WSN 定位系统的设计与实现

1.1 系统总体架构

本研究实现的室内定位系统包括无线传感器网络和 PC 端后台处理程序两部分,其架构如图 1 所示。其中,无线传感器网络由前端节点设备组成,PC 端后台处理程序对从网络传回的数据使用相应算法进行定位处理。

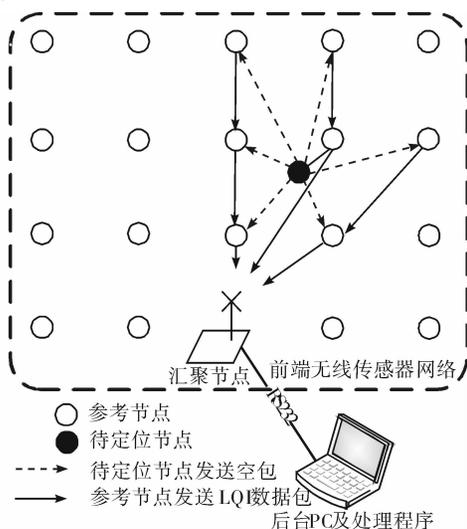


图1 系统总体架构

前端节点采用 GAINSI 系列节点构建,可获取节点间通讯时的链路质量信息(LQI)值。各节点间的通信遵循 IEEE 802.15.4 规范。各节点由于功能不同,

可分为3类^[7]:

(1) 汇聚节点(Sink 节点),与 PC 端相连,是网络中的协调者(Coordinator);

(2) 参考节点(Reference 节点),是网络中的终端设备,其自身地理位置信息已知;

(3) 目标节点(Target 节点),其位置信息未知,由定位系统确定其自身所在位置。

整个系统完成一次定位通讯的基本过程如下:

(1) 汇聚节点首先发起网络,各个参考节点按顺序依次加入网络,并分配相应的短地址,待所有参考节点都加入网络后,目标节点加入网络;

(2) 目标节点根据自己的短地址进行判断,以确定需要给哪些参考节点发送数据包,并依次发送没有任何语义的空包;

(3) 参考节点根据其所接收到的数据包解析出相应的 LQI 值,并将接收到的 LQI 值以及自己的标识信息加入到数据负载中,发送给汇聚节点;

(4) 汇聚节点将所接收到的数据信息解码并格式化后,以二进制数据的形式通过 RS232 串口传送到 PC 端;

(5) PC 端的后台处理程序从 RS232 串口读取由汇聚节点传回的信息,通过相应的算法流程对信息进行处理,将 LQI 值转换到 RSSI 值并最终转化成距离值,使用多边定位法和极大似然估计法得到目标节点的坐标,并通过图形界面将目标节点的位置显示出来。

1.2 节点程序的设计与实现

节点程序的设计与实现如下:

(1) 汇聚节点(Sink 节点)。汇聚节点是整个网络的核心,其主要功能包括发现新加入网络的节点,为新加入的节点分配短地址;从各个参考节点接收数据包,并解析这些数据包,将 LQI 值从数据包的负载数据中提取出来进行格式化,以一个指定的序列形式将参考节点号和所对应的 LQI 值以二进制数据的形式通过 RS232 串口发送到 PC 端。

(2) 参考节点(Reference 节点)。参考节点的主要功能是与汇聚节点和目标节点进行通信,因此其节点中需要对数据帧进行装配,向发射模块请求发射数据,同时还需要从目标节点接收数据并提取出数据链路质量得到其本身与目标节点间的 LQI 值。此外,在与汇聚节点进行通信时还要从汇聚节点的协调器接收分配给自己的短地址。

(3) 目标节点(Target 节点)。目标节点与其他两类节点的不同之处在于其本身无需从网络接收数据,只需要在确认已经加入网络并从汇聚节点的协调器获取到短地址后,周期性地向整个网络中的其他参考节点发送没有负载的数据包。

1.3 后台处理程序的设计与实现

整个后台处理程序可分为硬件接口层、数据处理

层和图形界面层 3 层。硬件接口层完成与汇聚节点的通信,并将汇聚节点采集到的与目标节点相关的数据通过串口读入到 PC 机中。数据处理层对获取的数据信息进行处理,应用基于链路质量信息 LQI 和信号强度指示信息 RSSI 的定位算法,通过极大似然估计方法处理后获取目标节点的位置信息。图形界面层提供了人机交互界面,可读取用户输入的参数,并可节点位置信息以图形化的方式显示出来。

1.4 定位算法在系统中的应用

本系统使用的定位算法流程如图 2 所示。



图 2 定位算法基本流程图

(1) LQI 值到 RSSI 值的转换。LQI 是依据信号强度以及设备所接收到的数据包的质量这两项特征而制定的指标,由大量的实验和测试结果证明,LQI 与 RSSI 之间的基本关系如下^[8]:

$$RSSI = ((LQI \times (88 \div 255)) - 98) \quad (1)$$

(2) RSSI 值到距离值的转换。本研究采用了信号传播的理论模型来构建 RSSI 和距离之间的关系,其转换模型的公式如下^[9]:

$$P(d) [dBm] = P(d_0) [dBm] - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2)$$

式中: $P(d)$ — 基站接收到用户节点的信号强度, $P(d_0)$ — 基站接收的在参考距离为 d_0 时的信号强度, n — 根据不同建筑物结构和使用材料情况下的路径长度和路径损耗之间的比例因子, d_0 — 信标节点和基站间的距离。

(3) 多边定位算法。由于通过前两步转换得到的是目标节点和参考节点之间的相对距离,可以使用目标节点与多个(至少 3 个)参考节点之间的距离,结合参考节点已知的坐标位置,通过三边或多边定位法得到待定位节点的坐标位置^[10-12]。

根据平面几何的相关知识可得方程组:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \\ \vdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = r_n^2 \end{cases} \quad (3)$$

该方程组的解 (x, y) 即为待定位节点的坐标值,其中 $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)$ 为参考节点位置坐标。

本研究采用极大似然估计 (Maximum Likelihood Estimation, MLE) 方法来获得具有最小均方误差 (Minimum Mean Square Error, MMSE) 的估计值。

2 实验设计与数据分析

实验环境是一块矩形平面区域,如图 3 所示,该区域由一个 20×20 的正方形网格覆盖,每个网格的边长为 60 cm。图中, R1 ~ R4 分别代表了 4 个参考节点的位置, T1 ~ T7 分别代表 7 个待测位置。

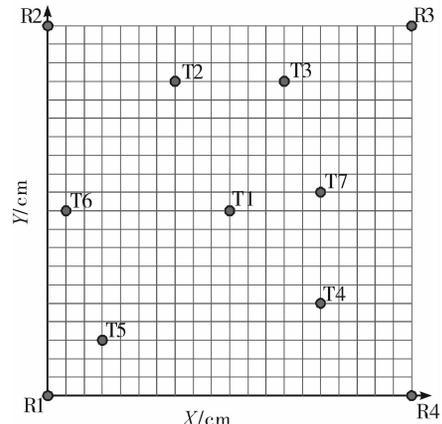


图 3 实验场地与节点布置示意图

本研究将汇聚节点与 PC 机相连并依次开启汇聚节点、参考节点和目标节点。待各节点的初始化工作完成后,将目标节点布置到待测位置,运行后台定位处理程序。实验中使用了 4 个参考节点,以参考节点 1 的位置作为坐标原点,各参考节点的坐标值如表 1 所示。

表 1 参考节点坐标位置

	X/cm	Y/cm
参考节点 1	0	0
参考节点 2	0	1 200
参考节点 3	1 200	1 200
参考节点 4	1 200	0

定位结果如表 2 所示,其中 4 列 LQI 值及定位结果值均为 10 次测量后的平均值。表 2 中各列数据的定义如下:原始位置即测试位置的实际坐标值;LQI1 ~ LQI4 为目标节点分别与 4 个参考节点进行通讯时所测得值;定位结果即系统通过计算后所得到的目标节点坐标值;定位误差为系统通过测量得到的目标节点的位置与该目标节点实际位置之差;定位误差率是定位误差与节点最大通讯距离的比值,经实际测量,节点的最大通讯距离(无丢包)为 30 m。

通过实验可以看出,系统在该布置方案下的平均定位误差仅为 1.25 m,平均定位误差率仅为 4.2%;各待测位置中结果最理想的点的定位误差不足 0.4 m,定位误差率仅为 3%;各位置中结果最差的点的误差未超过 3 m,定位误差率不超过 9%;而其他位置的误

差及误差率也都稳定分布在该区间内。由于实验所测试的节点布置方案也是实际运用环境中最经常使用的一种方案,具有很强的代表性,因此通过该组实验,可

以确定该系统的定位误差和定位误差率完全能够满足大部分实际应用的需求。

经分析,误差产生的原因主要包括:

表2 定位结果与误差

	原始位置		与4个参考节点间的LQI值				定位结果		定位误差	定位误差率
	X/cm	Y/cm	LQI1	LQI2	LQI3	LQI4	X/cm	Y/cm	d/cm	d/range/(%)
T1	600	600	80	78	88	90	694.22	577.12	96.96	3.23
T2	420	1020	83	91	119	67	493.16	905.00	136.30	4.54
T3	780	1020	52	90	114	68	932.74	1094.0	169.70	5.66
T4	900	300	86	59	82	126	861.80	280.64	42.83	1.43
T5	180	180	144	78	54	86	295.27	113.43	133.11	4.44
T6	60	600	96	100	77	65	281.66	741.16	262.79	8.76
T7	900	660	67	76	97	93	869.00	673.78	33.92	1.13

(1) 实验环境中存在大量 Wi-Fi 信号。由于 Wi-Fi 信号使用的频段也是 2.4 GHz,会对实验过程中节点间的通信产生较为显著的影响。

(2) 测量精度的限制。由于实验采用的节点能够测得的 LQI 值是以 6 为单位进行变化,精度上相对较低,而 LQI 值又是定位的基础数据,其测量精度决定了整体的定位精度。

(3) 建筑物结构对结果的影响。实验场地周围的建筑结构会对信号产生反射和衍射,从而导致信号强度发生非线性变化。

(4) 节点间通讯对信号的影响。由于各个参考节点不仅要与目标节点进行通讯,还需要将获得的 LQI 值传送给汇聚节点,在通讯的过程中有可能会对其他参考节点和目标节点间的通讯产生影响。

(5) 节点电源对节点发射功率的影响。由于各个节点的电源是通过安置在节点上的电池进行供电的,在工作一定时间后,各个节点电池的供电电压会出现不同程度的下降,从而导致各节点工作电压不再一致,这会对节点的发射功率产生影响,进而影响到定位的准确性。

3 结束语

本研究设计并实现了一套基于无线传感器网络的室内定位系统。该系统将待定位目标节点与所有参考节点的信号强度信息转换成距离信息,通过多边定位和极大似然估计法计算目标节点的位置。实验结果表明,该定位系统可实现真实环境下的室内定位,定位误差在可接受范围内,且定位误差随目标节点位置的变化波动的幅度较小,可适用于简单连续的室内环境的定位。

改进现有的定位算法,运用分布式处理等技术进一步提高该系统的定位精度,减少环境因素对定位结果的影响,提高定位系统的运行效率是本系统下一阶

段的工作计划。

参考文献 (References):

- [1] RABACY J J, AMMER M J. Picoradio supports ad hoc ultra-low power wireless networking[J]. *Computer*, 2000, 33(7): 42-48.
- [2] HUAN Ruo-hong, CHEN Qing-zhang, MAO Ke-ji, et al. A Three-dimension Localization Algorithm for Wireless Sensor Network Nodes Based on SVM[C]. ICGCS, Shanghai, China, 2010.
- [3] 熊小华,何通能,徐中胜,等. 无线传感器网络节点定位算法的研究综述[J]. *机电工程*, 2009, 26(2): 13-17.
- [4] WANT R, HOPPER A, FALCAO V, et al. The active badge location system[J]. *ACM Transaction on Information Systems*, 1992, 10(1): 91-102.
- [5] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system[C]// *Proceeding of INFOCOM'2000*, Tel Aviv, Israel. 2000:775-784.
- [6] NISSANKA B, ANIT C, HARI B. The Cricket Location-Support System [C]// *Proc of 6th ACM Int'l Conf on Mobile Computing and Networking (ACM MOBICOM)*. Boston, MA, USA: ACM Press, 2000:32-43.
- [7] 曾湘林,胡培平,姜从群,等. 基于 JN5139-Z01-MOO 的无线传感器网络节点设计[J]. *机电工程*, 2010, 27(6): 124-126.
- [8] 孙利民,李建中,陈渝. 无线传感网络[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.
- [9] 史龙,王福豹,段渭军. 无线传感器网络自身定位机制与算法[J]. *计算机工程与应用*, 2004(23): 127-130.
- [10] 于宏毅,李鸥,张效义. 无线传感器网络理论与技术与实现[M]. 北京:国防工业出版社, 2008.
- [11] 徐勇军,刘峰,王春芳,等. 低速无线个域网实验教程[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2008.
- [12] 李晓维. 无线传感器网络技术[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2007.

[编辑:罗向阳]