

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.10.027

基于射频模块的室内定位系统设计及试验*

陈君梅¹, 叶娟¹, 孙道宗^{2*}

(1. 广东科学技术职业学院 广州学院, 广东 广州 510640; 2. 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

摘要: 针对大型室内空间移动设备的定位问题,对室内定位理论及应用进行了研究,设计了基于无线射频模块的室内定位系统。系统硬件以STM32F103微控制器为核心芯片,结合3个nanoPAN5375模块分别构成了3个固定节点,由STM32F103微控制器和1个安装有nanoPAN5375的小车构成了移动节点,软件采用三边质心算法和卡尔曼滤波算法实现了实时定位。试验结果表明,移动节点能以10 cm/s的速度自动行走设定坐标;增加固定节点组成的等边三角形边长后,可得到较为精确的移动节点位置。该系统具有较好的实用性,其设计方案可应用于室内车间、矿井、隧道、设施农业等需要在室内使用定位技术的场所。

关键词: 室内定位; 无线传感器网络; nanoPAN5375模块; 三边质心算法

中图分类号: TN962; TH39 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)10-1356-05

Design and test of indoor positioning system based on RF module

CHEN Jun-mei¹, YE Juan¹, SUN Dao-zong²

(1. Guangzhou College, Guangdong Institute of Science and Technology, Guangzhou 510640, China;

2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Aiming at locating large device that moves indoors, the theory of indoor positioning and its application were studied and the indoor positioning system based on radio frequency (RF) module was designed. Microcontroller STM32F103 was used as core chip in system hardware to constitute 3 fixed nodes respectively in combination with 3 nanoPAN5375 modules. Mobile node consisted of microcontroller STM32F103 and one small vehicle with nanoPAN5375. Trilateration & centroid algorithm and Kalman filter algorithm were employed to achieve real-time location. The results indicate that mobile node can move to the given coordinate automatically at 10 cm/s; and more accurate location of mobile node can be obtained after the length of side of equilateral triangle consisting of fixed nodes are increased. The system is proved to be practical and its design scheme can be applied to places where indoor positioning is required, such as indoor workshop, mine, tunnel and protected agriculture.

Key words: indoor positioning; wireless sensor network; nanoPAN5375 module; trilateral centroid algorithm

0 引 言

随着无线网络技术的高速发展,以及手机等智能终端设备的普及,室内定位服务越来越受到人们的重视。室内定位服务在日常生活、商业活动、科学研究、直至抢险搜救等方面都呈现出迫切的需求^[1-4]。

美国研究机构ABI研究员帕特里克·康诺利(Patrick Connolly)称:“室内定位技术是下一波热门定位技术,该技术将在2015~2017年间得到大量部署和实施^[5]。”

然而,室内环境是一个复杂的空间,常用的卫星讯号在传播的过程中受到室内建筑结构的影响,定位精度大大下降,甚至无法进行室内定位。当移动

收稿日期: 2014-04-24

基金项目: 农业部引进国际先进农业科学技术(“948”计划)重点资助项目(2011-G32); 广东省农业科技推广资助项目(粤农计[2013]65号); 广东省科技计划资助项目(2011B020313019)

作者简介: 陈君梅(1968-),女,广东梅州人,副教授,主要从事机械工程及自动化方面的研究。E-mail: cjmaaa@126.com

通信联系人: 孙道宗,男,博士,高级实验师。E-mail: sundaozong@scau.edu.cn

物体位于比较封闭的室内空间时,由于存在严重的障碍遮挡及非视距噪声的干扰,其定位问题必须通过探索其他技术来解决^[6-7]。自20世纪90年代初以来,国内外对于室内定位开展了大量的研究^[8-11],近几年来世界各国研究机构、学术界、产业界等均致力于室内定位的研究,开发了很多热门技术,但各种技术仍存在诸多不足,因此,如何在复杂的室内环境中实现高精度定位,仍然是现阶段定位技术的研究热点和难点。

综合目前国内外的研究成果,定位方法大致可以分为:无线射频RF(Radio Frequency)电磁波、超声与射频RF电磁波相结合、RFID(Radio Frequency Identification,即射频识别)、红外线等^[12-13]。由于室内、隧道及农业大棚等受到特殊环境条件的限制,以及受方向性、距离、敷设的可行性等原因的影响,使后3种方法不适合大范围应用于这些场合。基于无线传感器网络的定位技术具有非接触式和非视距等特点,已经成为优选的室内定位方法之一^[14-15]。本研究主要基于无线射频传感器网络节点,进行移动物体室内定位理论及应用研究,设计并实现了一种基于 nanoPAN5375 射频模块的室内定位系统,对系统进行实验测试与验证,并记录和分析测试数据。试验结果表明,当固定节点组成的等边三角形边长增大后,通过三边质心算法和卡尔曼滤波算法,可得到较为精确的移动节点位置。

1 系统结构及硬件电路

1.1 系统结构框图

室内定位系统主要包含固定节点和移动节点两个部分。固定节点由微控制器、射频模块和磷酸铁锂电池组成;移动节点在固定节点的基础上,增加了显示当前坐标和目的坐标的液晶、用于设定目的坐标的键盘、电机驱动电路和小车。移动节点的结构框图如图1所示。

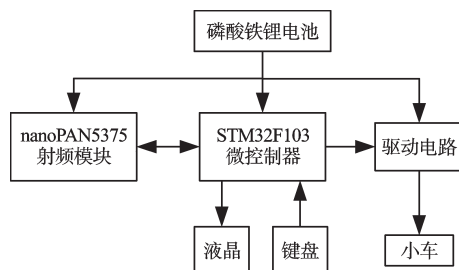


图1 移动节点结构框图

1.2 电机驱动电路

步进电机驱动电路选用 NEC 公司的电机驱动芯片 MMC-1 和双 H 桥驱动芯片 L298N。系统配置微控制器 PA.8 口为 MMC-1 使能端, PA.9 和 PA.10 为串口。微控制器利用串口向 MMC-1 控制寄存器写入控制字, MMC-1 通过 L298N 驱动电机转动。驱动电路原理图如图2所示。

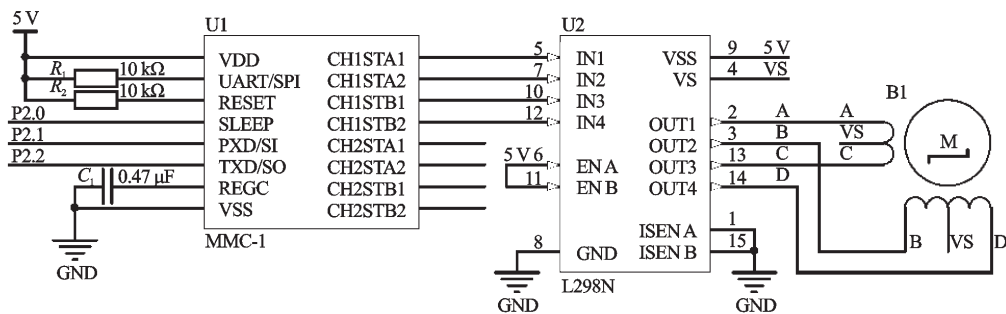


图2 电机驱动电路图

1.3 nanoPAN5375 模块

nanoPAN5375 是一款基于 2.4 GHz ISM 频带的 RF 模块,整合了放大、滤波等组件,采用了 nanotron 的宽带线性调频扩频(CSS)技术,对 31.25 kbps~2 Mbps 范围的数据传输率能灵活提供,同时提供具有极佳传输范围的可靠数据通信,可实现点对点测距、平面定位、会话传输等功能^[16-17]。nanoPAN5375 模块的大小与 1 元硬币相当,系统中固定节点和移动节点的实物图如图3所示。

2 软件设计

移动节点通过 nanoPAN5375 模块测得与 3 个固定节点的距离,经过三边质心算法结合卡尔曼滤波确定移动节点的当前位置。软件主要包含 nanoPAN5375 的测距、三边质心算法、卡尔曼滤波算法。固定节点部分的 nanoPAN5375 模块处于等待接收的状态,接收到测距信息时,反馈回移动节点。移动节点定位算法流程图如图4所示。系统总流程图如图5

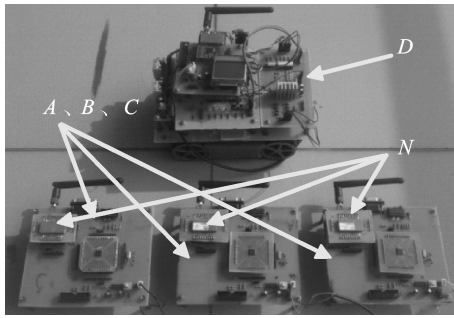


图3 系统实物图

D—移动节点,电路板下方安装有电机驱动的小车,可带动节点移动;A, B, C—固定节点;N—应用在系统中的 nanoPAN5375 射频模块

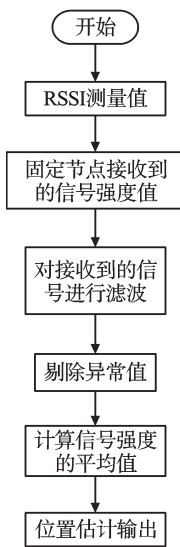


图4 系统定位算法流程图

所示,该系统设计了简单的导航功能。

移动节点和3个固定节点的位置分布示意图如图6所示。

三边质心算法用于实现移动节点位置的确定。系统通过测量移动节点到3个固定节点的距离,计算相交圆的公共区域的质心来提高对主机位置估算的精度^[18-19],示意图如图7所示。

设移动节点D的坐标为 (x, y) ,已知点A, B, C的坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$,它们到移动节点D的距离分别为 d_1, d_2, d_3 。则可得如下方程:

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \quad (1)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \quad (2)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \quad (3)$$

根据式(1~3)可解出圆A与圆C的交点 $(x_{ac1}, y_{ac1}), (x_{ac2}, y_{ac2})$,圆B与圆C的交点 $(x_{bc1}, y_{bc1}), (x_{bc2}, y_{bc2})$,圆A与圆B的交点 $(x_{ab1}, y_{ab1}), (x_{ab2}, y_{ab2})$ 。

通过将圆A与圆C的交点 $(x_{ac1}, y_{ac1}), (x_{ac2}, y_{ac2})$

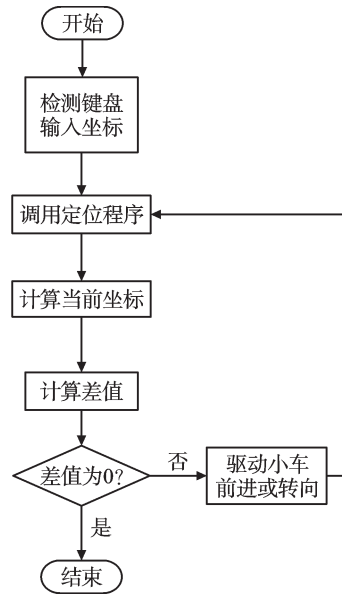


图5 系统总流程图

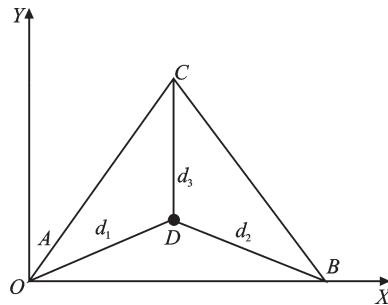


图6 移动节点和固定节点分布示意图

D—移动节点;A, B, C—已知坐标的固定节点

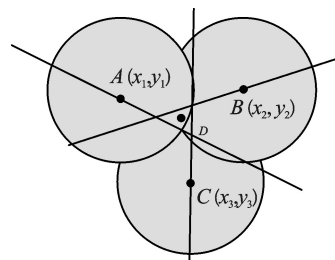


图7 三边质心法示意图

代入式 $(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2$,经判断大小后可找出两点中距圆B的圆心较近的点,假设为 (x_{ac1}, y_{ac1}) 。同理可找出圆B,圆C交点中距圆A的圆心较近的点,设为 (x_{bc1}, y_{bc1}) ,圆A,圆B交点中距圆C的圆心较近的点,设为 (x_{ab1}, y_{ab1}) 。

依据质思想估算未知节点的坐标为:

$$(\bar{x}, \bar{y}) = \left(\frac{x_{ab1} + x_{bc1} + x_{ac1}}{3}, \frac{y_{ab1} + y_{bc1} + y_{ac1}}{3} \right)$$

根据以上算法求出移动节点D的位置之后,本研究再利用卡尔曼滤波的推测值来校正移动节点的测量值,提高系统精度。

卡尔曼滤波是一种高效率的递归滤波器(自回归滤波器),它能够从一系列的不完全及包含噪声的测量中,估计动态系统的状态。目标的位置、速度、加速度的测量值往往在任何时候都有噪声。卡尔曼滤波利用目标的动态信息,设法去掉噪声的影响,得到一个关于目标位置的好的估计。这个估计可以是对当前目标位置的估计,也可以是对将来位置的估计(预测)或对过去位置的估计(插值或平滑)^[20]。

3 试验与结果分析

本研究将3个节点固定在边长为6 m的等边三角形的3个顶点上,通过移动节点自带的键盘,设定移动节点坐标后,移动节点自动以10 cm/s的速度在等边三角形内移动时,笔者实时测量移动节点的位置坐标,所记录的测试数据如表1所示。

由表1可知,在边长为6 m的等边三角形内,移动

表1 6 m边长等边三角形内的测试数据

坐标测量值	坐标实际值	X 坐标相对误差 /(%)	Y 坐标相对误差 /(%)
(2.0,2.1)	(2.55,1.58)	21.57	32.91
(2.4,3.2)	(2.33,3.94)	3.0	18.78
(2.5,3.6)	(2.15,3.35)	16.28	7.46
(2.6,2.3)	(3.06,1.99)	15.03	15.58
(2.9,2.3)	(3.27,2.45)	11.31	6.12
(3.7,3.8)	(4.32,3.54)	14.35	7.34
(3.8,3.0)	(4.27,2.39)	11.01	25.52
(5.5,4.6)	(6.06,4.08)	9.24	12.75

节点运动后 X 坐标的平均相对误差为12.72%,最大相对误差为21.57%, Y 坐标的平均相对误差为15.81%,最大相对误差为32.91%。

笔者进一步增加等边三角形的边长,使三角形的边长在16 m~70 m之间,移动节点与3个固定节点在较大范围测量的距离如表2所示。

表2 移动节点与3个固定节点的距离

距A的 测量值	距A的 实际值	距A的相 对误差/(%)	距B的 测量值	距B的 实际值	距B的相 对误差/(%)	距C的 测量值	距C的 实际值	距C的相 对误差/(%)
13.48	13.10	2.9	14.02	13.70	2.34	29.98	29.40	1.97
16.87	16.95	0.47	20.42	21.95	6.92	18.64	19.10	2.4
20.50	19.40	5.67	22.46	23.00	2.35	17.80	18.04	1.33
24.20	23.98	0.92	21.08	20.30	3.84	20.59	20.50	0.44
32.74	33.35	1.83	42.82	43.50	1.56	39.73	40.04	0.77

由表2可知,移动节点距离 A 点的平均相对误差为2.36%,最大相对误差为5.67%;距离 B 点的平均相对误差为3.4%,最大相对误差为6.92%;距离 C 点的平均相对误差为1.39%,最大相对误差为2.4%。移动节点距离固定节点 A、B、C 的平均测量误差分别为0.5 m、0.8 m、0.4 m,移动节点距离固定节点 A、B、C 的最大测量误差分别为1.1 m、1.53 m、0.58 m。

试验结果表明,增加固定节点 A、B、C 之间的距离后,在新组成的等边三角形内,移动节点分别与3个固定节点距离的平均相对误差和最大相对误差均大幅度减小,这是由于增大移动节点与固定节点之间的距离后信号传播时间较长,干扰和时钟误差等对测量结果的影响相对较小。增加固定节点之间的距离后,平均误差均小于室内定位导航要求的1 m,最大测量误差超出了0.53 m,实现了比较精确地测量。

4 结束语

该系统以 STM32F103 微控制器为核心,结合 nanoPAN5375 模块,构成3个固定节点和1个移动节

点,编写相应算法和软件,实现了室内移动物体的实时位置测量。试验结果表明,移动节点与3个固定节点在测量距离较大的情况下,该系统具有较高的定位精度。而较大的测量距离正是大型室内空间中移动物体定位所需要的,因此,该系统具有较好的实用性。

该系统具有简单的导航功能,在移动节点上设定坐标后,移动节点能自动以10 cm/s的速度从当前坐标向目的坐标移动。该系统经改进后可用于室内车间、矿井、隧道、地下车库、温室大棚等室内需要定位或导航的装备上,通过将该系统中的小车替换成其他满足需求的动力装置,则可实现较为快速地移动,以满足生产需求。

参考文献(References):

- [1] 毛利洋,林秀晶,邵开来,等. 基于RSSI的无线传感网络协同定位算法及其应用[J]. 机电工程,2012,29(1):116-119.
- [2] 邱元阳. 无处不在的定位技术[J]. 中国信息技术教育,2014(5):67-70.
- [3] PETRIU E M, GEOGANAS N D, PETRIU D C, et al. Sensor-based information appliances[J]. **IEEE Instrumentation and Measurement Magazine**, 2000, 26(10):31-35.

[4] 刘 勇. 室内也定位[J]. 百科知识, 2014(2):28-29.

[5] 杨宇良. 诺基亚的“复国”运动[J]. 软件工程师, 2012(10):12-14.

[6] 宦若虹, 李义冬, 何晓慧. 基于无线传感器网络的室内定位系统[J]. 机电工程, 2011, 28(8):910-913.

[7] 张骁耀, 王 玫. 基于CSS技术的室内定位通信系统的研究与实现[J]. 微型机与应用, 2012, 31(13):49-52.

[8] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System[C]//Proceedings of the IEEE INFOCOM 2000. New York: IEEE Computer and Communications Society, 2000:775-784.

[9] WANTR, HOPPER A, FALCAO V, et al. The active badge location system [J]. **ACM Transaction on Information Systems**, 1992, 10(1):91-102.

[10] HARTER A, HOPPER A. A distributed location system for the active office[J]. **IEEE Network**, 1994, 8(1):62 -70.

[11] 赵 爽. 谁掌握着室内导航的核心?[J]. 国际太空, 2014, 421(1):31-33.

[12] 杨 铎, 林基明, 刘争红. 基于 nanoLOC 的嵌入式定位系统[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(9):38-42.

[13] 范 迪, 吕常智, 李 虎. 基于射频模块的矿井巷道人员定位的实现[J]. 煤矿机械, 2007, 28(2):72-74.

[14] KWAKM CHONGJ. A New Double Two-way Ranging Algorithm for Ranging System [C]//IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content. Beijing: [s.n.], 2010:470-473.

[15] 司海飞, 杨 忠, 王 珺. 无线传感器网络研究现状与应用[J]. 机电工程, 2011, 28(1):16-20, 37.

[16] NANOTRON. NanoLOC TRX Transceiver (NA5 TR1), user's manual[Z]. NANOTRON, 2006.

[17] 杨 骏, 陈建政, 冯艳波. 基于 NanoPAN5375 的测力轮对无线传输系统[J]. 工程与实验, 2009, 49(4):75-77.

[18] 高 雷, 郑相全, 张 鸿. 无线传感器网络中一种基于三边测量法和质心算法的节点定位算法[J]. 重庆工学院学报:自然科学版, 2009, 23(7):138-141.

[19] 裴庆祺, 赵 军. 基于网格分布的三角形内点测试定位算法[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(18):4658-4661

[20] 宋迎春. 动态定位中的卡尔曼滤波研究[D]. 长沙:中南大学信息物理工程学院, 2006.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

陈君梅, 叶 娟, 孙道宗. 基于射频模块的室内定位系统设计及试验[J]. 机电工程, 2014, 31(10):1356-1360.

CHEN Jun-mei, YE Juan, SUN Dao-zong. Design and test of indoor positioning system based on RF module[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014, 31(10):1356-1360.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

中国轻工机械协会 中国联合装备集团公司
 轻工业杭州机电设计研究院 主办

轻工机械

LIGHT INDUSTRY MACHINERY MAGAZINE

全国轻工装备行业杂志



为您服务

全国邮局订阅全年6期60元
 邮发代号32-39
 广告经营许可证: 3300004000067

《轻工机械》为中国科技核心期刊、中国核心学术期刊、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊。

《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》、《中国学术期刊综合评价数据库》、《万方数据-数字化期刊群》、《中文科技期刊数据库》全文收录。

英国《科学文摘》(SA, INSPEC)、美国《化学文摘》(CA)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、美国《乌利希期刊指南》(Ulrich)、波兰《哥白尼索引》(IC)收录期刊。

杂志社地址: 杭州市体育场路71号
 电 话: 0571-85186130、85187520
 联系人: 江仲文 王晓彬 高 蓝 叶 涛
 E-mail: qgjxzz@126.com (投稿) 或 qgjxzz@163.com (广告)

邮政编码: 310004
 传 真: 0571-85187520
 网 址: <http://www.qgjxzz.com>

