

基于有源射频识别信号强度的室内移动机器人测距方法

王殿君¹, 任福君², 兰云峰³, 赵丽杰³, 姜永成⁴

1. 北京石油化工学院机械工程学院, 北京 102617
2. 哈尔滨理工大学机械动力工程学院, 哈尔滨 150080
3. 佳木斯大学机械工程学院, 黑龙江佳木斯 154007
4. 北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京 100191

摘要 为采用几何法进行室内移动机器人定位, 提出了基于有源射频识别(RFID)信号强度测距方法。分析了无线信号传播的特点和无线信号强度指示(RSSI)测距的原理, 建立对数-常态分布传播损耗模型。采用有源RFID的HR-6020C读写器和WS-HT06电子标签构建实验系统, 其中读写器作为基站固定于一点, 电子标签作为移动节点时刻发送信号, 通过实验得到距离与RSSI值关系曲线, 利用有源RFID系统对理论模型中的参考点信号强度和比例因子进行标定, 并分析了测距精度。影响测距精度的因素主要包括标签的位置、数量和实验环境等。根据确定的传播损耗理论模型进行了测距实验, 结果表明, 在3 m范围内测距最大偏差为41.68 cm, 这为基于RFID的室内场馆移动机器人定位提供了依据, 可以满足机器人的定位精度要求。

关键词 有源射频识别; 无线信号强度指示测距; 定位精度

中图分类号 TQ050.4+25

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)15-0076-04

Ranging Method for Indoor Mobile Robot Based on Active RFID Signal Strength

WANG Dianjun¹, REN Fujun², LAN Yunfeng³,
ZHAO Lijie³, JIANG Yongcheng⁴

1. Faculty of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Petro-Chemical Technology, Beijing 102617, China
2. Mechanical & Power Engineering College, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China
3. Faculty of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi 154007, Heilongjiang Province, China
4. School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China

Abstract In order to use a geometric method to locate the indoor mobile robot, this paper proposes a method of active RFID signal

strength for ranging. Based on the characteristics of wireless signal propagation and the principle of Received Signal Strength Indication (RSSI) ranging, a logarithm-normal distribution propagation loss model is established. An experiment system is built by using HR-6020C reader and WS-HT06 tags, with the reader fixed as the base station, and the tags sending the signal continuously as the mobile agents. The relationship between distance d and the RSSI value is obtained through the experiment. The signal strength of a reference point and the scale factor are determined in calibration. Ranging precision factors are analyzed through the active RFID system. The influencing factors include the position, number of tags and the experiment environment. The test results show that the maximum deviation in the 3 m range is 41.68 cm, which can meet the positioning precision requirements for indoor mobile robots.

Keywords active RFID; received signal strength indication ranging; positioning precision

0 引言

目前基于距离的空间定位必须测量节点间间距, 现常用的测距方式有GPS、红外线、超声波和接收信号强度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI)等。其中GPS是基

收稿日期: 2009-06-17

基金项目: 中国高技术研究发展计划(863计划)项目(2007AA04Z255)

作者简介: 王殿君, 副教授, 研究方向为机器人技术, 电子邮箱: wangdianjun@bupt.edu.cn

于卫星通信的户外定位, 由于室内环境无线信道比较复杂、非视距传输和多径效应等问题严重, GPS 的定位精度明显下降进而不能满足室内环境应用要求。基于红外线测距由于其直线视距和传输距离较短两大主要缺点使其室内定位的效果很差。基于超声的测距虽然测距精度较高, 但需要添加硬件、增加节点成本和尺寸。而基于 RSSI 的测距无须额外硬件, 利用对接收无线信号的强度判断, 推算收发节点间的距离, 所以基于 RSSI 的测距是无线传感器定位较常采用的方法^[1-2]。

接收信号强度指示 RSSI 是无线信号接收和测量的一种尺度, 通过射频识别 (RFID) 接收到的 RSSI 测定信号点与接收点的距离, 是应用 RFID 技术进行空间定位的基础。其中, 有源 RFID 以其低发射功率、通讯距离长、传输数据量大、可靠性和兼容性好等特点, 被广泛应用于室内移动机器人定位^[3]。

本研究中, 测距的目的是给在室内场馆基于有源 RFID 移动机器人定位提供较高的测距精度, 所以从基于 RSSI 测距理论模型的参数确定和实验验证等方面, 提出一种基于有源 RFID 信号强度的测距方法。

1 无线信号强度测距原理

对于位于室内的 RFID 系统而言, 电波传播的主要方式是视距传播和非视距传播。视距传播对信号做出主要的贡献, 若接收机在视距以外时, 则发射机通过透射、反射和折射把信号能量发送到接收机。而重要的特性参数, 如接收信号功率和电波传播路径损失, 都是通过基于电波反射、电波绕射和电波散射传播机理的传播模型来估计的。

在实际应用中, 可以利用 RSSI 值标示 RF 信号在某个位置的强度。一般来说, 有源 RFID 系统中每个标签发出的信号的强度都是一个定值, 但是当阅读器与标签的距离不一样时, 接收标签发送回来的信号强度也不一样。这种强度的衰减, 称为信号的传播损耗, 它与环境有关^[4-6]。

根据接收到信号的强度, 利用理论和经验传播损耗模型, 可将传输损耗转化为距离。本研究采用对数-常态分布传播损耗模型:

$$P(d) = P(d_0) - 10n \lg(d/d_0) - X_\sigma \quad (1)$$

其中, $P(d)$ 为阅读器接收到标签发送回来的信号强度; $P(d_0)$ 为阅读器在参考点 d_0 接收到标签发送的信号强度, 所有标签的初始发送信号强度相同; n 为路径长度和路径损耗之间的比例因子, 依赖于障碍物的结构和使用的材料; X_σ 是平均值为 0 的高斯分布随机变数, 即信号穿过障碍物的衰减; d_0 为参考点和标签的距离; d 为需要计算的标签和阅读器间的距离。

应用对数-常态分布传播损耗模型, 可得到标签到读写器的距离 d 和读写器接收到的该标签信号强度之间的函数关系式为

$$d = 10^{\frac{[P(d_0) - P(d)]/10n}{1}} \quad (2)$$

$P(d_0)$ 和 n 分别为在 1 m 处得到的信号强度和信号传播常量。由式 (2) 可以看出, 常数 $P(d_0)$ 和 n 的数值决定了接收信号强

度和信号传输距离的关系。当使用环境确定后, 它们都可当作常量。

2 信号传播损耗模型参数确定

介于有源 RFID 的自身优点是, 有源标签使用卡内自身配有的电池能量, 所以识别距离较长; 在有障碍物的情况下, 应用无源方式, 读写器的能量来回穿过障碍物 2 次, 严重影响读写器获取标签发来信号的强度值的可靠性, 而有源标签发射的信号仅穿过障碍物 1 次^[7-8]。本实验使用的 HR-6020C 读写器和 WS-HT06 电子标签的配套模块不仅可用于读取标签内的 ID 号等各类信息, 而且可接收到某标签发射的 RSSI 值, 所以选用此套有源 RFID 仪器作为本实验的测距设备。

为了确定对数-常态分布传播损耗模型的参数, 首先采用射频设备在一个空旷的实验室中做一组实验: HR-6020C 读写器作为基站固定于一点, WS-HT06 作为移动节点时刻发送信号 (图 1)。

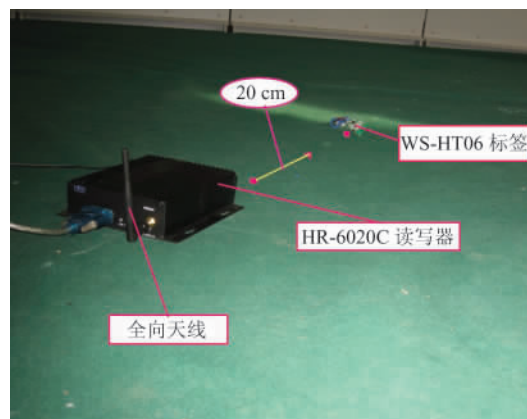


图 1 实验测试系统

Fig. 1 Experimental test system

读写器在接收到标签发出的信号同时得到 RSSI 值, 上位机通过串口将其显示出来, 逐渐改变移动节点到读写器的距离 (以 0.2 m 为步距移动), 将距离 d 与 RSSI 值成对记录下来, 每条记录采样 30 次, 取其平均值, 将 RSSI 与 d 的对应关系绘制成二维曲线 (图 2)。

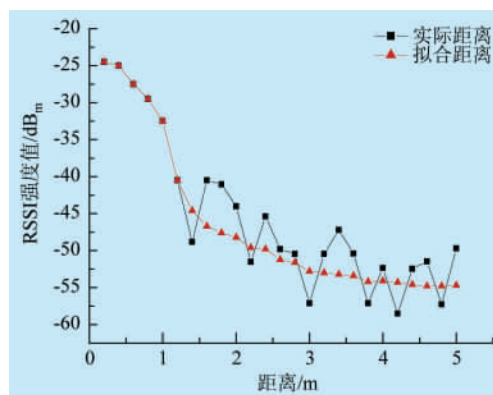


图 2 RSSI 与 d 的对应关系

Fig. 2 Corresponding relationship chart of RSSI and d

从图2曲线的变化趋势可以看出,到达接收端读写器的信号强度值与传输距离呈现出明显地衰落变化趋势,但并非一条平滑的曲线,这表明利用RSSI进行测距,存在着一定程度的抖动;当传输距离较近时,功率衰减较快,而传输距离越远,衰减越慢。因此,基于RSSI的测距技术,当传输距离越近,距离值越准确,传输距离越远,测距误差越大。

由式(2)可知,利用RSSI测距必须知道 $P(d_0)$ 值(本实验 $d_0=1\text{ m}$)和 n 值,这2个值都是经验值,与具体使用的硬件节点和无线信号传播的环境密切相关,所以测距前必须在应用环境中把2个经验值标定好,标定的准确与否,直接关系到测距定位的精度。

标定 $P(d_0)$ 的实验采用如图3所示的节点安置方法。 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 为发射节点(工艺相同的有源标签),而接收节点(读写器)放置在圆心处。实验中天线尽量选择全向天线,但在实际应用中全向天线是一个理想的情况,为避免天线的非全向性和外界设备带来的测量误差,本实验在天线位置不变的情况下,采取多次调整读写器和上位机位置的方法读取来自4个方向上标签的RSSI值。

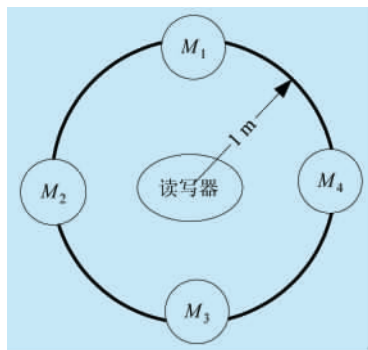


图3 标定 $P(d_0)$ 的实验节点安置方法

Fig. 3 Experimental node placement method for the calibration of $P(d_0)$

图4是读写器记录的来自4个方向上标签的RSSI平均值对应的曲线,其中红色直线对应的是4个方向上RSSI的平均值,红色直线在纵轴上的截距为-64.25,所以实验标定的 $P(d_0)$ 值为-64.25。标定无线信号传播因子 n 值时存在天线全向性问题,为了提高标定精度,实验采取单方向的如图1所示的标定方法:每隔0.2 m标签依次发送数据包给读写器,读写器将数据包转换为相应的RSSI值并求平均值,求得的平均值作为标签在相应距离下的RSSI值。实验从0.2 m测量到5 m,得到1组RSSI与 d 的平均值,由于在3~5 m范围内RSSI与 d 关系变化不够明显,1 m以内达不到基本测距要求,所以取1.2~3 m范围内的值带入式(2)反推得到1组 n 值,求得 n 的平均值 $\bar{n}=2.1082$,所以标定传播因子 n 值为2.1082。

以上标定的 $P(d_0)$ 和 n 是本实验环境对应的参数,如果环境改变, $P(d_0)$ 值和传播因子 n 值都需重新标定精确才可测距。在本实验环境下的理论公式为

$$d=10^{\frac{[-(64.25+RSSI)]/21.082}{n}} \quad (3)$$

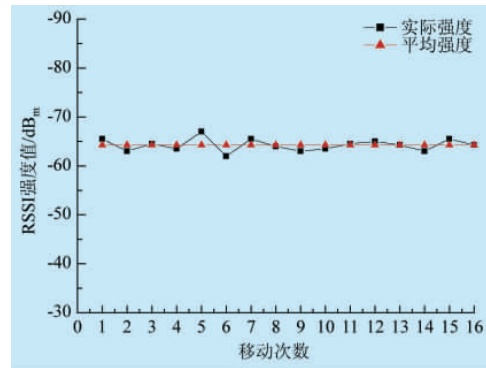


图4 4个不同方向上标签的RSSI值曲线

Fig. 4 RSSI curve of labels in four different direction

3 测距精度和影响因素分析

3.1 精度分析

利用标定好的信号传播损耗模型,选取无线信号性能稳定的同一标签做测距实验,每隔0.2 m测量1次,一直测量到3 m。通过标定后的测距模型得出的计算距离与实际距离比较见图5。计算得到的测距值在Matlab下得出。

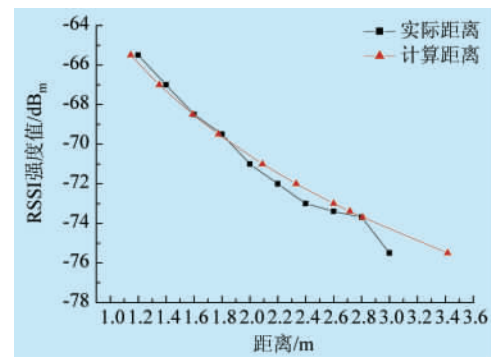


图5 计算距离与实际距离比较

Fig. 5 Comparison between calculated and actual distances

由表1分析比较,在1.2~3 m的测距中,最大的测距偏差为41.68 cm,最小测距偏差为0.7 cm,偏差值在本实验测距要求的范围内,表明该测距方法在1.2~3 m以内精确度较高,所以1.2~3 m范围内进行测距可以保证精度。

表1 距离数据

Table 1 Data of distance

实际距离/m	计算距离/m	误差/m
1.2	1.146 3	-0.053 7
1.4	1.350 3	-0.049 7
1.6	1.590 7	-0.009 3
1.8	1.774 3	-0.025 7
2	2.090 1	0.090 1
2.2	2.331 3	0.131 3
2.4	2.600 4	0.200 4
2.6	2.716 5	0.116 5
2.8	2.807	0.007 0
3	3.416 8	0.416 8

3.2 影响因素的分析

基于实验分析,影响测距的因素主要包括两方面:

1) 标签和阅读器的所在不同环境的影响。在室内环境下,周围噪声的影响,墙壁射频反射的干扰、室内各种电磁波(如手机、计算机等)的干扰等,对获取的信号强度的大小指示会有影响,影响距离值。

2) 标签摆放的位置和数量对 RSSI 的影响。由图 2 可知,标签到信号源的距离越近,由 RSSI 值的偏差产生的绝对距离误差越小,而当距离大于 3 m 时,由 RSSI 波动造成的绝对距离误差将会很大^[9]。

4 结论

针对 RSSI 测距的特点并结合有源 RFID 技术,在对数-常态分布传播损耗模型基础上给出标签到读写器的距离和读写器接收到的该标签信号强度之间的函数关系式 $d = 10^{\frac{[P(d_0) - P(d)]/10n}{10}}$,分析了参数的标定过程,实验表明,在室内特定场所 RSSI 在 3 m 的近距离测距最大偏差在 42 cm 之内,这为室内无线传感器 RFID 定位提供了定位精度保障。

参考文献 (References)

- [1] 方震, 赵湛, 郭鹏, 等. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报, 2007, 20(11-25): 26-30.
Fang Zhen, Zhao Zhan, Guo Peng, et al. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(11-25): 26-30.
- [2] 孙瑜. 射频识别(RFID)室内定位算法研究[D]. 成都: 西南交通大学信息科学与技术学院, 2005.
Sun Yu. Investigation of indoor location algorithms based on RFID[D]. Chengdu: School of Information Science and Technology, Southwest Jiao

Tong University, 2005.

- [3] 顾煌, 王东, 盛焕烨. RFID 定位管理系统设计与实现 [J]. 微计算机信息, 2008, 24(9): 157-159
Gu Xuan Wang Dong Sheng Huanye. Microcomputer Information, 2008, 24(9-2): 157-159
- [4] 王中云. 基于 RFID 的机器人控制与定位系统研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学自动化学院, 2007.
Wang Zhongyun. Research on robot control and localization system based on RFID[D]. Wuhan: School of Automation, Wuhan University of Science and Technology, 2007.
- [5] 杨大成. 移动传播环境理论基础、分析方法和建模技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 106-107.
Yang Dacheng. Motion dissemination environment rationale, analysis method and modeling technology [M]. Beijing: China Machine Press, 2003: 106-107.
- [6] 陈永光, 李修和. 基于信号强度的室内定位技术 [J]. 电子学报, 2004, 32(9): 1456-1458.
Chen Yongguang, Li Xiuhe. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(9): 1456-1458.
- [7] 鲍煦. 蜂窝网及基于 RFID 的室内定位系统中 NLOS 抑制算法研究[D]. 镇江: 江苏大学计算机科学与通信工程学院, 2006.
Bao Xu. NLOS mitigation algorithm Implementing in cellular network and RFID indoor location system [D]. Zhengjiang: School of Computer Science and Telecommunication Engineering, Jiangsu University, 2006.
- [8] Girod L, Bychovskiy V, Elson J, et al. Locating tiny sensors in time and space: A case study[C]//Werner B. Proc 2002 IEEE Int'l Conf Comp Des: VLSI in Computers and Processors. Freiburg: IEEE Computer Society, 2002: 214-219.
- [9] Doherty L, Pister K S J, Ghaoui L E. Convex position estimation in wireless sensor networks [C]//Proc IEEE IN-FOCOM 2001. Anchorage: IEEE Computer and Communications Societies, 2001, 3: 1655-1663.

(责任编辑 陈广仁)

·学术动态·



“铝电解新技术学术研讨会”征文

我国有色金属工业飞跃发展,2008 年 10 种有色金属总产量达 2 519 万吨,连续 7 年世界第一。其中,电解铝年产量 1 318 万吨,亦居世界首位。为了推动铝电解大预焙槽新技术的交流和推广,提高中国铝工业生产的整体技术水平,推动节能减排,增加效益,提高企业竞争力,中国有色金属学会拟于 2009 年第 4 季度召开“铝电解新技术学术研讨会”。详见中国有色金属学会网站:www.nfsoc.org.cn。

会议征文范围包括:大型预焙电解槽结构新技术,包括电解槽壳抗热变新技术、槽内衬新技术、阴阳极新技术、槽阴极母线配置与电解槽磁场平衡等;铝用碳素新成果和新装备;大型铝电解整流所控制新技术;铝电解生产工艺新技术;大型预焙电解槽启动新技术;铝电解生产环保新技术等有关铝电解生产、设计。

论文截稿日期为 2009 年 8 月 31 日。稿件投送信箱:zh4310@163.com。

联系方式:北京市复兴路乙 12 号中国有色金属学会 (100814) 周景琦; 电话:010-63971460; 传真:010-63965399。