

基于概率法的移动机器人无线网络定位系统

任福君^{1,2},倪 鹏¹,王殿君³,姜永成⁴,段云涛⁵

1. 哈尔滨理工大学机械动力工程学院, 哈尔滨 150080
2. 中国科普研究所, 北京 100081
3. 北京石油化工学院机械工程学院, 北京 102617
4. 北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京 100191
5. 浙江理工大学信息电子学院, 杭州 310008

摘要 作为一种全新的室内定位技术,将无线路由器的无线信号强度(Receive Signal Strength Indicator,RSSI)值应用在室内移动机器人定位领域。为实现室内移动机器人的定位,提出利用无线信号强度值定位的概率法,根据无线信号强度值在室内环境中的分布特点,分析概率法定位原理,开发一种基于 VC++6.0 平台室内移动机器人定位系统,该定位系统包括硬件平台和软件平台,并进行移动机器人定位实验,得到较好的定位实验结果。同时,分析机器人定位精度,确定影响定位精度的因素主要包括障碍物、人体、温度和湿度等。定位实验结果表明,在结构化环境下机器人定位的最大偏差为 1.2758m,最小定位偏差为 0.3007m,可以较好地满足室内移动机器人的定位要求。

关键词 无线信号强度;移动机器人;概率法定位

中图分类号 TQ050.4

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)10-0056-05

The Wireless Network Positioning System for Mobile Robot Based on Probability

REN Fujun^{1,2}, NI Peng¹, WANG Dianjun³, JIANG Yongcheng⁴, DUAN Yuntao⁵

1. Mechanical & Power Engineering College, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China
2. China Research Institute for Science Popularization, Beijing 100081, China
3. Mechanical Engineering Academies, Beijing Institute of Petro-Chemical Technology, Beijing 102617, China
4. School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China
5. Department of Information & Electronics, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310008, China

Abstract As a new indoor positioning technology, the RSSI (Receive Signal Strength Indicator) value acquired from wireless router is widely used in the field of indoor mobile robot localization. In order to achieve the indoor mobile robot positioning, the probability positioning method is proposed based on the RSSI value. The characteristics of the RSSI distribution in the indoor environment are discussed, together with the principle of probability positioning. The positioning system of the indoor mobile robot based on VC++ 6.0 platform was developed. It includes two parts, the hardware platform and the software platform. The mobile robot localization experiment was carried out in the indoor environment. It is shown that the positioning accuracy is affected by some factors, the obstacles, the human

收稿日期: 2009-12-22

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2007AA04Z255);北京市教委科技发展计划资助项目(KM200710017005);北京市属高等学校人才强教深化计划资助项目(PHR201008355)

作者简介: 任福君(中国科协所属全国学会个人会员登记号:M100106725M),教授,研究方向为机器人技术,电子信箱:hljrenfujun@126.com

body, temperature and humidity, etc. The maximum deviation is 1.2758m and the minimum is 0.3007m. The positioning requirements for the indoor mobile robot localization can be met.

Keywords RSSI; mobile robot; probability positioning

0 引言

移动机器人的研究始于 20 世纪 60 年代末期,美国斯坦福研究院(RSI)的 Nils Nilssen 和 Chares Rosen 等人 1972 年研制了名为 Shakey 的自主移动机器人。随着无线局域网 WLAN (Wireless Local Area Networks) 的发展,研究针对 WLAN 用户的定位技术,尤其是室内环境下定位技术的兴趣不断增长,无线技术和微机电系统技术的发展,使无线定位服务在当今社会扮演着越来越重要的角色。如今常用的定位方式有超声波、红外线、GPS、RFID 和无线信号强度等。无线信号强度提供了简单而且廉价的定位方法,无需添加任何硬件,因此利用无线信号强度的定位被广泛应用在室内移动机器人定位中^[1-4]。

随着机器人技术的发展与进步,一些科研机构在利用无线信号强度值定位方面的研究取得了一定成就。RADAR 系统由 Microsoft 的资深研究员 Bahl 等人所开发,不需要使用特殊的硬件装置,但它的主要缺点是必须花费很多时间与人力成本建立讯号纹资料库;芬兰赫尔辛基大学开发的 Ekahau 无须购买专用硬件,但其应用范围在 90m 内,而且容易受到其他信号的干扰,影响定位精度,而且定位器的能耗也较高^[5-6]。

本文在系统分析无线信号强度分布原理的基础上,建立了基于概率法的无线网络定位算法数学模型,以自主移动地面移动机器人为载体,由 1 个无线网卡和 3 个 Cisco 无线路由器为基础构建了移动机器人定位系统,并进行了机器人定位实验。这些工作为在室内结构化环境下进行移动机器人定位奠定了理论基础。

1 基于概率法的无线网络定位算法

1.1 无线信号强度的分布

在室内环境中,无线信号在传播过程中的路径并不单一,而是众多路径反射信号的合成,各个路径来的反射波到达时间不同,相位也就不同。不同相位的多个信号在接收端迭加,如果信号方向相同则迭加强;如果信号方向不同则迭加减弱。接收信号的幅度急剧变化,即产生了快衰落,这种衰落是由多种路径引起的,所以称为多径衰落^[7-8]。图 1 所示为距其中一个无线路由器 5m 处测得的无线信号强度值分布情况。以 10ms 为周期采集 100 个样本。采集的无线信号强度样本中,有 42%无线信号强度值为-55dBm,此值为出现概率最多的样本,大部分样本点无线信号强度值也在附近。然而,仍有些比较弱或较强的样本,最强为-53dBm,最弱仅为-57dBm。重复此实验,获得的样本数据分布类似。有多种因素影响信号传播,但从整个样本空间可以看出无线信号强度值呈高斯分布。

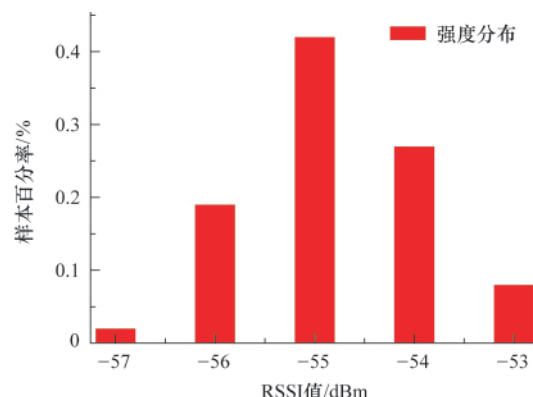


图 1 5m 处的无线信号强度值分布图

Fig. 1 Distribution of the RSSI values at 5m position

1.2 概率法定位算法

概率法是计算采集到的无线信号强度与信号强度地图中各点的匹配概率,取概率最大者作为估计位置。在统计信号数据时,通过引入高斯信号的概率函数,由两个统计量参数数学期望和方差来表示室内定位环境中某一点的无线信号强度值。对于采集的无线信号强度值,认为服从正态总体分布 $N(\mu, \sigma^2)$,这里未知参数为 μ 和 σ^2 ^[9]。

似然函数为:

$$L(\mu, \sigma^2) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

对数方程为:

$$\lg L(\mu, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \lg(2n) - \frac{n}{2} \lg(\sigma^2) - \frac{n}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (2)$$

似然方程组为:

$$\begin{cases} \frac{\partial \lg L(\mu, \sigma^2)}{\partial \mu} = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu) = 0 \\ \frac{\partial \lg L(\mu, \sigma^2)}{\partial \sigma^2} = -\frac{n}{2\sigma^2} + \frac{1}{2\sigma^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

解得:

$$\mu^* = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$$\sigma^{*2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (5)$$

似然方程组有唯一解 (μ^*, σ^{*2}) ,而且它一定是最大值点,这是因为当 $|\mu| \rightarrow \infty$ 或 $\sigma^2 \rightarrow 0$ 或 ∞ 时,非负函数 $L(\mu, \sigma^2) \rightarrow 0$ 。于是 μ 和 σ^2 的最大似然估计为:

$$\mu^* = \bar{X} \quad (6)$$

$$\sigma^{*2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (7)$$

用大写字母表示所有涉及的样本,因为最大似然估计 μ^* 和 σ^{*2} 都是统计量,在抽取一定的样本空间后,认为计算的结果 μ^* 和 σ^{*2} 为真实值,并将 μ^* 作为该点的信号强度。

离线训练状态下,构建无线信号强度地图。首先在要定位的区域范围内选取参考点,然后测定每个参考点处各个 AP (Access Point) 信号强度的平均值 e_i 和方差 d_i (i 为各 AP 代号),连同参考点的坐标一起构建数据库,形成无线信号强度地图。

在线定位状态下,主要根据实时采集到的信号强度,与室内环境的无线信号强度地图进行匹配,以进行定位。采集各个 AP 的无线信号强度值,根据公式(8)正态分布的概率公式,取 $\mu=e_i, \sigma=d_i$,计算 $P_i(x, y)$,即测得的第 i 点在信号强度地图中的点 (x, y) 处的概率。

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (\sigma > 0) \quad (8)$$

获得 3 个 AP 的无线信号强度在地图中的分布概率后,将采集到的无线信号强度值代入概率公式,并计算出各参考点概率 $P(x, y)$,取最大的 $P(x, y)$,将所得的 3 个最大概率相乘如公式(9)所示,求得最大的概率积 $P^i(x, y)$,并把其对应的坐标 (x, y) 作为当前定位位置^[9]。

$$P(x, y) = \prod_{i=1}^3 P_i(x, y) = \prod_{i=1}^3 \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi} d_i} e^{-\frac{(x_i - e_i)^2}{2d_i^2}} \right) \quad (9)$$

在机器人定位过程中,由于受到室内环境因素和无线路由器安放位置的影响,在不同的地方可能得到同时具有相同的最大概率积的坐标点,对机器人定位坐标的确定产生影响。为了克服定位坐标误匹配的影响,在概率积相等情况下,对 3 个 AP 收到的无线信号强度值和数据库中存储的无线信号强度值分别进行比较,并对比较的差值的绝对值设定一个阈值 $R(R=2\text{dBm})$ 。如果比较的结果在阈值范围内,则通过比较的无线信号强度值确定其在数据库中相对应的坐标,最终可以确定机器人的定位坐标。

2 定位实验系统构建

2.1 硬件平台构建

本实验系统的机器人平台采用研制的自主地面移动机器人,其上搭配笔记本,信号接收装置装有无线网卡 Intel(R) PRO/ Wireless 3945ABG Network Connection;信号发送装置选择的是 Cisco 无线路由器 LINKSYS.WRT54G2,最高数据传输率为 54Mbps,里面有两个内置天线,输出功率为 18dBm;另外该路由器体积小,质量轻,便于布置在环境中的任何位置,LINKSYS 路由器如图 2 所示。

2.2 软件平台构建

无线信号定位软件采用 VC++ 6.0 进行编程,并安装 Microsoft Platform Software Development Kit (SDK)。定位环境



图 2 LINKSYS 路由器

Fig. 2 LINKSYS router

的信息地图采用数据库的方式存储,数据库采用开源数据库 Microsoft Office Access。无线网络地图创建阶段,需要采集各个采样坐标点处的期望和方差值,连同采样点坐标存入 Access 数据库。由于实验室场地较大,为了节省劳动力,提高采集效率,开发了自动获取期望和方差系统,如图 3 所示。

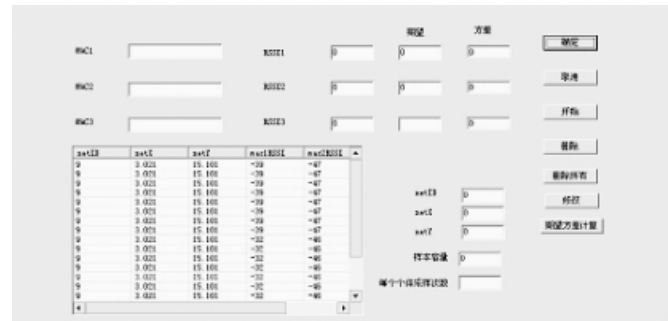


图 3 自动获取期望和方差软件系统

Fig. 3 Automatic acquisition of expectation and variance

为了减少外界环境对无线信号的干扰,移动机器人定位环境选择在一个结构化的实验室环境下进行,3 个无线路由器与无线网卡放置在一个平面内,移动机器人定位环境如图 4 所示。实验平台构建完成后,将无线网卡与各个无线路由器相连接,机器人在定位过程中,以 40ms 的间隔采集无线信号强度值代入到定位系统中,从而得到当前的定位坐标。

基于概率法的移动机器人定位流程如图 5 所示,概率法定位系统软件如图 6 所示。



图 4 移动机器人定位环境

Fig. 4 Mobile robot localization environment

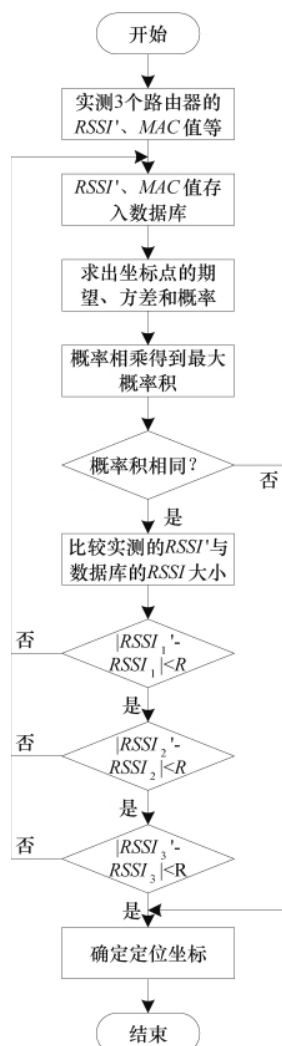


图5 机器人定位流程

Fig. 5 Robot localization process

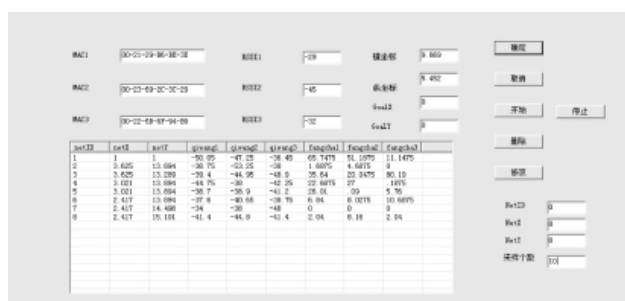


图 6 概率法定位软件

Fig. 6 The interface of the positioning software based on probability method

3 定位结果和精度分析

3.1 定位结果

移动机器人在定位过程中,在实验室环境内选择一条定位曲线作为机器人的定位轨迹。在定位轨迹上选取 12 个点作为机器人的定位点。移动机器人在概率法定位过程中的实

测曲线与计算曲线如图 7 所示, 实测坐标与计算坐标如表 1 所示。

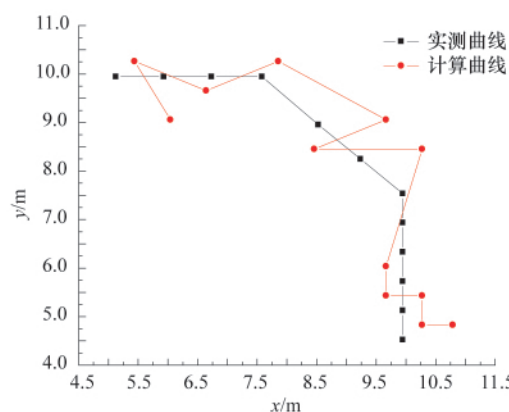


图7 实测轨迹曲线与计算轨迹曲线

Fig. 7 Measured trace curve and calculated trace curve

表 1 实测坐标与计算坐标的比较

Table 1 Comparison of measured coordinate and calculated coordinate

实测坐标	实测坐标	计算坐标	计算坐标	误差 d/m
x/m	y/m	x/m	y/m	
9.946	4.523	10.786	4.828	0.8937
9.946	5.126	10.273	4.828	0.4424
9.946	5.729	10.273	5.433	0.4411
9.946	6.332	9.669	5.433	0.9407
9.946	6.935	9.669	6.037	0.9398
9.946	7.538	10.273	8.455	0.9736
9.238	8.246	8.461	8.455	0.8046
8.53	8.957	9.669	9.058	1.1437
7.583	9.946	7.856	10.264	0.4191
6.735	9.946	6.642	9.66	0.3007
5.932	9.946	5.439	10.264	0.5867
5.126	9.946	6.042	9.058	1.2758

由表 1 可知,在移动机器人定位过程中,最大定位偏差为 1.2758m,最小定位偏差为 0.3007m,实验证明,在这个定位偏差范围内可以满足移动机器人定位精度的要求。

3.2 精度分析

由于室内环境比较复杂,无线信号强度值在室内环境中的实际传播过程受到很多不稳定因素的干扰,对机器人的定位精度产生了一些影响。

1) 障碍物是影响室内定位的最主要因素,在室内环境中常常会摆设各种各样材质不同的设备,对无线信号的吸收率各有不同。

2) 人体的组成 70%以上是水,人本身就是一个吸收无线

信号的物品,当人数增多和移动的时候,无线信号的变动率就会增大,严重影响定位的精度。

3) 湿度与温度都会影响无线信号的传播速度和强度,而且同类型无线信号的发射频率输出的无线信号强度与无线路由器的强度相近,严重影响了接收信号的品质,从而影响了室内定位的精度。

因此,在室内环境中利用无线信号强度值定位时,应该保持室内环境相对稳定,另外还要考虑上述各种因素的影响,实时调整满足各种不同环境的要求。

4 结论

1) 针对无线信号强度在室内环境中的分布特点,建立了基于概率法的无线网络定位算法数学模型。

2) 以自主地面移动机器人为载体,由 1 个无线网卡和 3 个 Cisco 无线路由器为基础构建了移动机器人定位系统。

3) 进行了室内机器人定位实验,机器人最大定位偏差为 1.2758m,最小定位偏差为 0.3007m,实验结果表明该定位方法能满足移动机器人定位精度的要求。

4) 定位算法数学模型为在室内结构化环境下进行移动机器人定位奠定了理论基础,对室内机器人导航系统开发具有指导意义。

参考文献 (References)

- [1] 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.
- [2] 郑向荣, 熊容, 顾大强. 移动机器人导航和定位技术 [J]. 机电工程,

2003, 20(5): 35-37.

Zheng Xiangyang, Xiong Rong, Gu Daqiang. The technologies of mobile and location [J]. *Mechanical & Electrical Engineering Magazine*, 2003, 20(5): 35-37.

- [3] 张正勇, 孙智, 王刚, 等. 基于移动锚节点的无线传感器网络节点定位 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008, 48(10): 1602-1604.

Zhang Zhengyong, Sun Zhi, Wang Gang, et al. *Journal of Tsinghua University: Sciences and Technology Edition*, 2008, 48(10): 1602-1604.

- [4] 张兴会, 张志辉, 邓志东. 基于 RSSI 测距技术的三角形面积和定位算法 [J]. 电子测量技术, 2008, 31(11): 92-94, 98.

Zhang Xinghui, Zhang Zhihui, Deng Zhidong. *Electronic Measurement Technology*, 2008, 31(11): 92-94, 98.

- [5] 王殿君, 任福君, 兰云峰等. 基于有源 RFID 信号强度的室内移动机器人测距方法 [J]. 科技导报, 2009, 27(15): 76-79.

Wang Dianjun, Ren Fujun, Lan Yunfeng, et al. *Science & Technology Review*, 2009, 27(15): 76-79.

- [6] 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.

- [7] Wang Dianjun, Wei Hongxing, Shen Aiming, et al. Research service robot vision alignment algorithm based on SIFT characteristic [C]//Fifth IEEE international symposium on embedded computing, Beijing: 2008: 135-140.

- [8] Billinghamst Marker, Grasset Raphael, Looser Julian. Designing Augmented Reality Interfaces Computer Graphics [M]. New York: ACM, 2005, 39(1): 17-22.

- [9] 张福渊, 郭绍建, 傅丽华. 概率统计及随机过程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.

Zhang Fuyuan, Guo Shaojian, Fu Lihua. Probability statistic and random processes [M]. Beijing: Beihang University Press, 2001.

(责任编辑 杨书春)

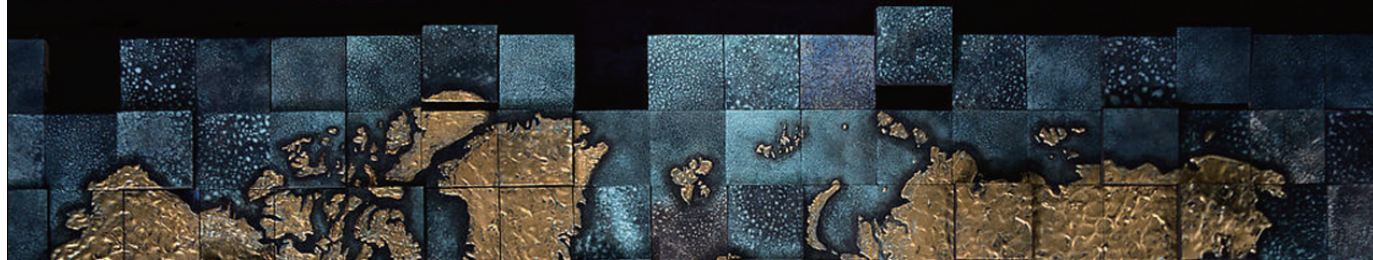
第四届

环境与工程地球物理国际会议

2010年6月14-17日

四川·成都

主 办: 中国地球物理学会
国家自然科学基金委员会
中国地质大学 (武汉)
成都理工大学



通信地址: 成都市二仙桥东三路1号成都理工大学地球探测与信息技术教育部重点实验室 (610059)

联系电话: 028-84076279 传 真: 028-84079681 电子信箱: yanjianguo@cdu.cn