

基于 WLAN 的室内移动机器人定位系统的开发^①王殿君^②

(北京石油化工学院 机械工程学院 北京 102617)

摘 要 针对无线局域网(WLAN)技术在室内定位的特点,使用无线路由器,基于 Visual C++ 6.0 平台开发了一种室内移动机器人定位系统。分别以三边定位法和概率定位法为基础,移动机器人通过接收 3 个不同位置无线路由器的接收信号强度指示(RSSI)值,实现了室内移动机器人位置的测量。移动机器人定位实验表明,相比三边定位法,应用概率定位法后移动机器人系统可以较好地实现机器人稳定工作,其平均定位误差为 0.430m,这个定位精度可以较好地满足室内移动机器人的定位要求。

关键词 无线局域网(WLAN),移动机器人,三边定位法,概率定位法

0 引言

无线定位技术是通过对接收到的无线电波的一些参数进行测量,根据相关算法判断被测物体的位置。目前移动机器人无线定位常用的定位方式有全球定位系统(GPS)、红外线、超声波和无线射频识别(RFID)等。典型户外定位是基于卫星通信的 GPS,但在室内和高楼密布的城区等信号遮挡严重的密集环境中,由于接收机捕获不到足够强度的卫星信号,GPS 的定位质量难以得到保证甚至无法完成定位^[1,4]。无线局域网(WLAN)在机场、校园、医院和科技馆等各种室内场景中广泛分布,基于 WLAN 的定位技术具有成本低、覆盖广、精度高等优势,充分利用现有覆盖广泛的 WLAN 设施,能便捷高效地将高质量定位的应用范围延伸到密集城区和室内^[5,6]。本研究提出了室内移动机器人的基于 WLAN 信号的三边定位法和概率定位法,开发了机器人定位系统,并进行了机器人定位实验。

1 三边定位法

在室内环境中,利用 3 个已知坐标信息的无线路由器来进行移动机器人的定位。三边定位法是由移动机器人控制器中的无线网卡获得结构化环境中

的 3 个无线路由器的媒体接入控制(media access control,MAC)值和接收信号强度指示(received signal strength indication,RSSI)值,通过信号传播模型公式分别求得无线路由器与无线网卡之间的欧式距离,进一步计算出无线网卡的位置,即移动机器人的位置^[7]。

通过信号传播模型公式可以得到无线路由器到机器人中无线网卡之间的距离 d 与 RSSI 值 $P(d)$ 之间的函数关系,如式

$$d = 10^{[P(d_0) - P(d)] / (10 \cdot \alpha)} \quad (1)$$

所示。 $P(d_0)$ 和 α 分别为在 1m 处所得到的无线路由器信号强度和信号传播常量。由式(1)可以看出,常数 $P(d_0)$ 和 α 的数值决定了 $P(d)$ 和 d 的关系。当机器人定位环境确定后,可以当作常量使用。

若已知三个路由器 M_1 、 M_2 、 M_3 的坐标分别为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) , 3 个路由器到移动机器人 T 的距离分别为 d_1 、 d_2 、 d_3 , 移动机器人 T 的当前坐标为 (x, y) 。

三边定位方法示意图如图 1 所示,机器人位置坐标计算如下式所示:

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2 \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (2)$$

① 863 计划(2007AA04Z255)和北京市属高等学校人才强教深化计划(PHR201008355、PHR200907221)资助项目。

② 男,1973 年生,博士,副教授;研究方向:机器人技术;E-mail:wangdianjun06@tsinghua.org.cn
(收稿日期:2012-12-25)

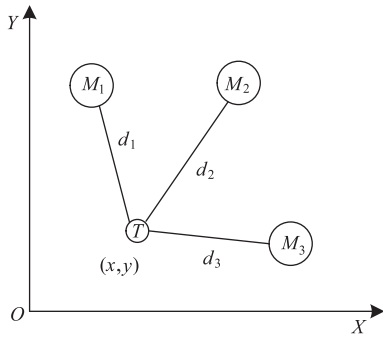


图1 三边定位方法示意图

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = A^{-1}b = \begin{bmatrix} \frac{K_1}{K}(y_2 - y_3) + \frac{K_2}{K}(y_3 - y_1) \\ \frac{K_1}{K}(x_3 - x_2) + \frac{K_2}{K}(x_1 - x_3) \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中:

$$K = 2(x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - 2(x_2 - x_3)(y_1 - y_3) \quad (4)$$

$$K_1 = x_1^2 - x_3^2 + y_1^2 - y_3^2 + d_3^2 - d_1^2 \quad (5)$$

$$K_2 = x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 + d_3^2 - d_2^2 \quad (6)$$

通过三边定位算法可以求得机器人 T 的坐标 (x, y) 。

2 概率定位法

概率定位法是计算采集到的 3 个无线路由器的 RSSI 值与离线状态下确定的信号强度地图中各点的概率值进行匹配,取概率最大点对应的坐标值作为当前机器人的位置坐标。

在统计信号数据时,通过引入高斯信号的概率密度函数,它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的某一点的 RSSI 值。对于采集的 RSSI 值,服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$,未知参数为 μ 和 σ^2 。似然函数为

$$L(\mu, \sigma^2) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

对数方程为

$$\begin{aligned} \log L(\mu, \sigma^2) &= -\frac{n}{2} \log(2\pi) - \frac{n}{2} \log(\sigma^2) \\ &\quad - \frac{n}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \end{aligned} \quad (8)$$

似然方程组为

$$\begin{cases} \frac{\partial \log L(\mu, \sigma^2)}{\partial \mu} = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu) = 0 \\ \frac{\partial \log L(\mu, \sigma^2)}{\partial \sigma^2} = -\frac{n}{2\sigma^2} + \frac{1}{2\sigma^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 = 0 \end{cases} \quad (9)$$

解得:

$$\mu^* = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (10)$$

$$\sigma^{*2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (11)$$

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

$$\mu^* = \bar{X} \quad (12)$$

$$\sigma^{*2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (13)$$

用大写字母表示所有涉及的样本,由于最大似然估计 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。

在机器人定位系统离线训练状态下,构建无线信号强度地图。首先在拟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无线路由器信号强度的平均值 e_i 和方差 d_i (i 为各无线路由器代号),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。

机器人在线定位状态下,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。采集各个无线路由器的无线信号强度 $rssi_i$, 根据公式

$$p_i(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}d_i} e^{-\frac{(rssi_i - e_i)^2}{2d_i^2}} (d_i > 0) \quad (14)$$

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 $rssi_i$ 在信号强度地图中的点 (x, y) 处的概率。

在得到采集的各个无线路由器的无线信号强度在地图中的分布概率后,计算在各参考点概率 $p(x, y)$, 取最大值 $p(x, y)$ 。在得到采集的各个无线路由器的无线信号强度在地图中的分布概率后,将所得 3 个无线路由器强度分布的概率相乘,如公式

$$p(x, y) = \prod_{i=1}^3 p_i(x, y) = \prod_{i=1}^3 \frac{1}{\sqrt{2\pi}d_i} e^{-\frac{(rssi_i - e_i)^2}{2d_i^2}} \quad (15)$$

所示,求得个参考点处总的分布概率,把在无线信号

强度地图中对应的坐标 (x,y) 作为估计位置。

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的安放位置的影响,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。为了克服定位坐标误匹配的影响,在概率积相等情况下,通过对 3 个无线路由器收到的 RSSI 值和数据库中存储的 RSSI 值分别进行比较,并对比较差值的绝对值设定一个阈值 $R(=2\text{dBm})$ 。如果比较的结果在阈值范围内,则通过比较 RSSI 值确定其在数据库中相对应的坐标,最终确定机器人的定位坐标^[8-10]。

3 定位系统构建

在本试验中,机器人平台采用已研制的地面轮式移动机器人平台,机器人控制器上位机平台为带有无线网卡的 HP520 计算机,如图 2 所示。信号接收装置一般选用装有无线网卡 Intel(R) PRO/ Wireless 3945ABG Network Connection 的笔记本,信号发送装置选择 3 个 Cisco 无线路由器 LINKSYS. WRT54G2,无线信号定位软件采用 Microsoft Visual C++ 6.0、安装 Microsoft Platform Software Development Kit(SDK)平台开发,定位环境的信息地图采用数据库 Microsoft Office Access 存储。



图 2 定位系统实验环境

机器人定位环境长约 23m,宽约 13m,面积约为 300m²,室内主要设施包括计算机、办公桌、柜子及数控机床等实验设备等。3 个无线路由器固定在实验室侧面,与机器人控制器中无线网卡保持在同一个平面内。机器人定位实际环境如图 2 所示,定位系统软件流程图如图 3 所示。

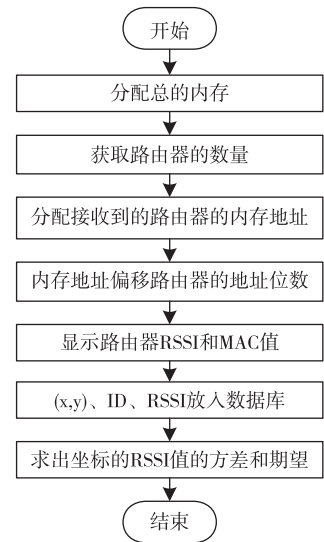


图 3 概率定位法系统软件流程图

4 无线网络定位实验

机器人定位实验包括无线信息地图的创建和在线定位两个阶段。对于室内定位环境,需要进行位置空间的划分以建立坐标,试验中将 300m² 的室内环境划分为若干单元格,其大小为 0.6m×0.6m,黑色方块为障碍物区;虚线的交汇点为构建环境无线信号强度地图时的参考点,网格间距为 0.6m,无线路由器 1 的坐标为 (11.48m,3.618m),无线路由器 2 的坐标为 (12.083m,6.307m),无线路由器 3 的坐标为 (11.48m,8.455m),环境地图如图 4 所示。在

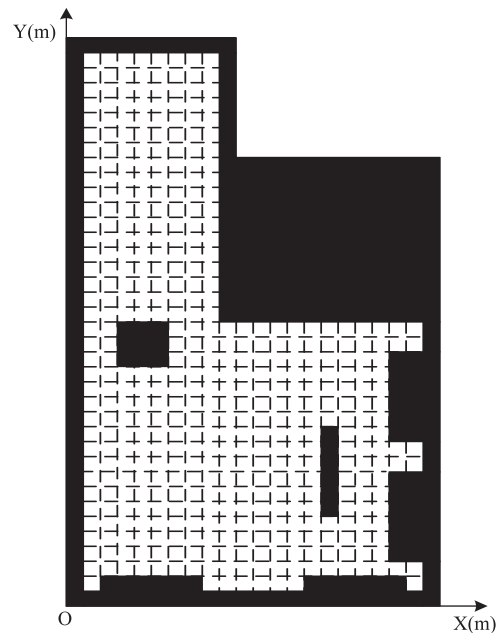


图 4 环境地图

各个采样坐标点处,将无线网卡与各个无线路由器连接,以 40ms 的间隔采集 50 次当前无线路由器的 RSSI 值,计算其平均值及方差,连同采样点坐标存入 Access 离线定位数据库中。

在线定位阶段,通过无线网卡对定位环境内的 3 个无线路由器进行扫描,获取到当前环境下各个无线路由器的 MAC 值及其 RSSI,分别采用三边定位法和概率定位法进行室内移动机器人定位实验。

4.1 定位结果

三边定位算法实验结果如图 5 和表 1 所示,概率定位算法如图 6 和表 2 所示。

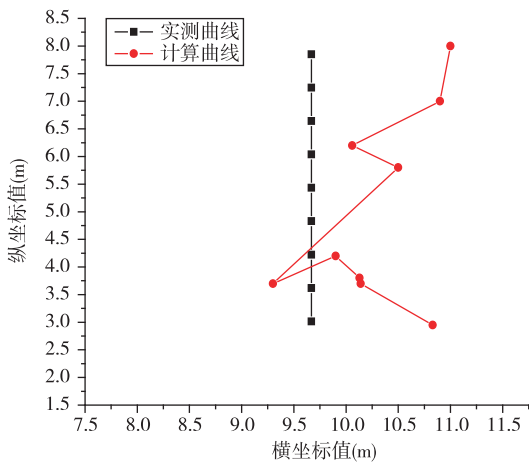


图 5 三边定位算法的机器人定位结果

表 1 三边定位算法机器人轨迹坐标

实际点		计算点		偏差值
X	Y	X	Y	d
9.699	3.015	10.723	2.728	1.063459
9.699	3.618	10.253	3.342	0.618944
9.699	4.223	10.153	3.412	0.929428
9.699	4.828	9.823	4.213	0.627376
9.699	5.433	9.253	3.255	1.973196
9.699	6.037	10.673	5.728	1.02184
9.699	6.642	9.985	6.124	0.591709
9.699	7.247	10.635	6.732	1.068326
9.699	7.851	11.254	7.988	1.561023

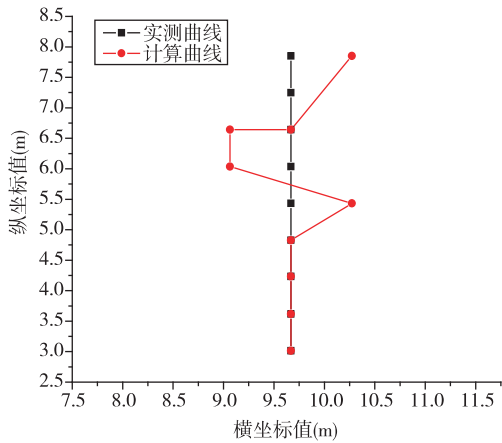


图 6 概率定位算法的机器人定位结果

表 2 概率定位算法机器人轨迹坐标

实际点		计算点		偏差值
X	Y	X	Y	d
9.699	3.015	9.669	3.015	0
9.699	3.618	9.669	3.618	0
9.699	4.223	9.669	4.223	0
9.699	4.828	9.669	4.828	0
9.699	5.433	10.273	5.432	0.574
9.699	6.037	9.064	6.037	0.635
9.699	6.642	9.064	6.642	0.875
9.699	7.247	9.699	6.037	1.210
9.699	7.851	10.273	7.851	0.574

4.2 对比分析

从表 1 可知,采用三边定位法得到的移动机器人最大定位偏差为 1.973196m,最小定位偏差为 0.591709m,平均定位偏差为 1.050589m。从表 2 可知,在同样的实验环境下,采用概率定位法得到的移动机器人最大定位偏差为 1.210m,最小定位偏差为 0m,平均定位偏差为 0.430m,与三边定位法相比概率定位法精度更高。

5 结 论

(1)以三边定位法和概率定位法为基础,分别对移动机器人进行了定位实验。

(2)定位实验结果表明,在定位精度方面,移动机器人采用概率定位法比采用三边定位法有了明显

的提高。

(3)所构建的基于有源 WLAN 室内移动机器人定位系统为移动机器人在结构化环境下的自主导航提供了依据。

参考文献

- [1] 原玉磊,王安健,蒋理兴. 一种使用红外线和超声波的定位技术. 电子测量技术,2008,31(10):15-17
- [2] 寇海洲. 基于超声波的定位系统研究与实现. 数据通信,2008(03):49-52(in Chinese)
- [3] 刘传. 基于 WiFi 定位终端的低功耗研究. 湖南:湘潭大学,2010
- [4] 杜云明,周杨. 无线射频识别技术与应用研究. 自动化技术与应用,2010,29(5):32-55
- [5] 甘仲民,张更新. 卫星通信技术的新发展. 通信学报,2006,27(8):2-9
- [6] Simoned. Real-time navigation using the Global Positioning System. *IEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*,1995,5:31-37
- [7] 熊志广,石为人. 基于加权处理的三边测量定位算法. 计算机工程与应用,2010,46(22):99-102
- [8] Seet B,Liu G,Lee B,et al. A-STAR:A mobile ad hoc routing strategy for metropolis vehicular communications. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin / Heidelberg,2004:989-999
- [9] Bell M G. Hyperstar:A multi-path Astar algorithm for risk averse vehicle navigation. *Transportation Research. Part B, Methodological*,2009,43(1):97-107
- [10] 尹湘云,殷国富. 基于支持矢量机回归的机器人视觉系统定位精度. 机械工程学报. 2011,47(1):48-53

Development of an indoor mobile-robot localization system based on WLAN

Wang Dianjun

(Mechanical Engineering Academy, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China)

Abstract

According to the characteristics of WLAN(wireless local area networks) technology for indoor localization, an indoor mobile-robot localization system with wireless routers was developed based on a Visual C++6.0 platform. The mobile-robot receives three RSSI(Received Signal Strength Indication) labels sent by three wireless routers in different places, and then calculates its own position by respectively using the trilateral positioning method and the probability positioning method. The mobile-robot localization tests show that the localization system using the probability positioning method works more stably compared to the one using the trilateral positioning method, and has an average localization deviation of 0.430m. And the positioning accuracy can meet the positioning requirements of indoor mobile-robots.

Keywords: wireless local area networks(WLAN), mobile-robot, trilateral positioning method, probability positioning method