



基于 RFID 技术的智慧园区室内定位算法

吴文焰¹, 王潇², 赵鲲鹏³, 文亚凤²

(1. 北京国电通网络技术有限公司, 北京 100070;

2. 华北电力大学新能源电力系统国家重点实验室, 北京 102206;

3. 国家电网公司客户服务中心, 天津 300012)

摘要: 针对南北园区智慧楼宇内大量资产设备全方位管理的多方面需求, 在基于 RFID 系统资产设备管理的基础上, 利用阅读器与电子标签之间的无线感知特性, 结合参考标签与定位模糊环概念, 提出了一种多阅读器信息融合的室内定位算法, 算法具有定位精确度高、复杂度低、成本低的特点, 能够对楼宇内资产设备标签进行快速准确定位, 从而实现对智慧园区楼宇内的大量资产进行更高效、更智能的全周期管理。

关键词: 智慧园区; RFID; 定位; 信息融合

中图分类号: TN98

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016073

Indoor localization algorithm based on RFID technology for smart park

WU Wenzhao¹, WANG Xiao², ZHAO Kunpeng³, WEN Yafeng²

1. Beijing GuoDianTong Network Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China

2. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources,
North China Electric Power University, Beijing 102206, China

3. State Grid Customer Services Center, Tianjin 300012, China

Abstract: To meet the various requirements of full range management of vast device in buildings of smart park, an indoor localization algorithm about information fusion of multi readers was proposed. Based on device management in RFID system, using the wireless sensing characteristics between the reader and the tag, and combining with the reference tag concept, an indoor localization algorithm based on RFID was proposed. The algorithm had the characteristic of high position accuracy, low complexity and low cost. This algorithm could realize the localization of device tag in smart buildings, and realize management to a large number of device in buildings of smart park more efficiently and intelligently.

Key words: smart park, RFID, localization, information fusion

1 引言

伴随着物联网技术在建设智能电网中的广泛应用, 电

网在信息化、自动化、智能化等方面都有显著提升, 物联网技术也成为支撑智慧园区建设的核心技术之一。作为物联网核心技术之一的射频识别(radio frequency identification,

RFID^[1]技术通过非接触式无线通信方式对智慧园区内大量资产设备进行高效便捷的智能化管理。园区楼宇内的各种资产设备数量庞大、流动频繁,对资产设备位置信息的有效管理是实现资产全周期管理过程中非常重要的一部分。

适用于室内定位环境的定位技术包括射频识别定位技术^[2]、超宽带定位技术^[3]、光跟踪定位技术^[4]等。由于 RFID 定位系统具有非接触、非视距、定位精度高、成本低等特点,逐渐成为室内定位系统的优选技术,受到越来越多的关注。目前,已有许多基于 RFID 的定位技术以及典型的系统,如 LANDMARC^[5]、VIRE^[6]等,这些都为 RFID 室内定位技术提供了丰富的指导经验,奠定了良好的基础。LANDMARC 定位系统通过引入位置固定的参考标签来辅助定位,根据阅读器接收到的目标标签与参考标签的信号强度值之差,选出最近邻的参考标签,通过权重质心法估计目标标签位置。但是 LANDMARC 定位精度受阅读器最大可测能级数的影响较大。

基于以上分析,针对智慧园区 RFID 资产管理系统的
特点,本文在 LANDMARC 系统参考标签的基础上,将定位
模糊环的思想引入 RFID 定位技术中,提出多阅读器信息
融合的 RFID 室内定位算法,算法具有较高的定位精度、低
复杂度、低成本、低能耗的特点,是应用于智慧园区楼宇具
有较高性价比的定位算法。

2 RFID 系统组成及原理

RFID 技术是一种非接触式的无线通信系统, 主要包括阅读器、电子标签和天线 3 个部分。

RFID 系统通过射频电磁场把标签上的数据信息传输到阅读器,从而完成自动识别和目标追踪的功能,RFID 系统架构如图 1 所示。

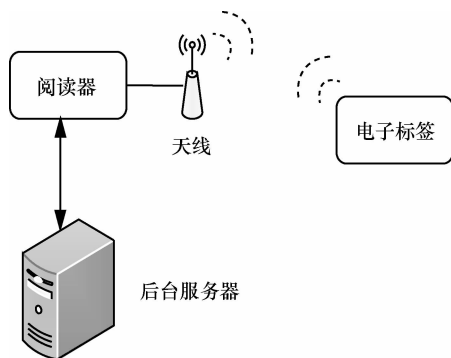


图 1 RFID 系统架构

(1) 电子标签

RFID 电子标签内部有设备厂商预先设定好的唯一的 ID, 嵌入物体上, 以此来识别目标对象。当电子标签位于阅读器的通信识别范围内时, 标签便通过微型天线将存储于内部芯片的 ID 信息发送给阅读器。RFID 标签具有可重复多次使用、数据安全可靠、耐用性强、体积小、形式多样等特点。

(2) 阅读器

阅读器也称读写器,用于对电子标签的读取或写入。阅读器主要由射频模块和基带模块2个部分组成。其中射频模块是阅读器的核心部分,由天线和调制解调电路组成,其主要功能有两个:一是发射无线信号,使其识别范围内的电子标签做出响应;二是对标签传回的信号进行相应的加工处理,提取标签数据。

(3) 天线

天线的作用是在阅读器和电子标签之间传递射频信号,以控制数据的读取和通信。天线在阅读器和标签之间发射电磁波,为电子标签提供能量,并且负责接收来自标签返回的信号。

RFID 系统的工作原理是: 首先阅读器通过天线发射一定频率的射频信号, 处于阅读器射频识别范围区域内的电子标签感应到射频信号, 其天线产生感应电流使得标签获得能量被激活, 然后向阅读器发送标签 ID。

3 智慧楼宇室内定位算法

3.1 定位模糊环

在 RFID 技术的室内定位算法中,最经典的就是 LANDMARC 系统算法,其核心思想是通过引入位置固定的参考标签来辅助定位,目标标签与其邻近的参考标签受到的环境影响是一致的,阅读器接收到位置邻近的目标标签与参考标签的信号强度值近似,所以系统根据阅读器分别接收到的目标标签与参考标签的信号强度值的差值,选出最近邻的参考标签,通过权重质心法估计目标标签位置。但是,根据无线信号在自由空间的传播特性,仅考虑目标标签与参考标签的信号强度值近似,只能说明参考标签在以阅读器为圆心、以目标标签信号强度 R 为圆心的圆周线附近,并不能说明该参考标签位置与目标标签近邻。在实际应用中,由于环境因素(如多径效应、温度、干扰与噪声等)的变化,会造成接收到的无线信号强度的偏差,故本文引入定位模糊环的思想^[7],即在定位过程中,目标标签应处于以阅读

器为圆心,以信号强度值 $R+R_e$ 为内半径、 $R-R_e$ 为外半径的模糊环内。本文算法标签布局及定位模糊环如图2所示。

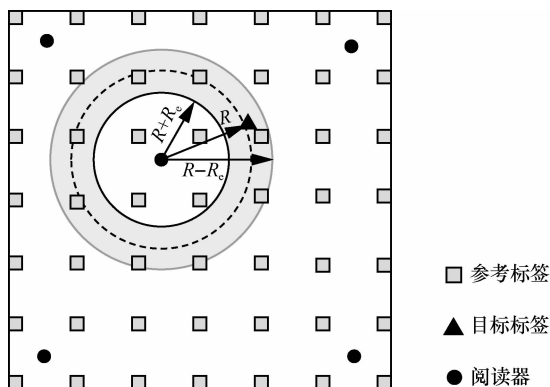


图2 标签布局及模糊环

假设本算法定位区域中有 H 个阅读器、 N 个参考标签,由于目标标签位于模糊环内,处于模糊环外的参考标签对目标标签的定位意义不大,所以为减少计算量降低系统能耗,只选取模糊环内的参考标签进行位置估计,设模糊环内的参考标签数为 $M(M < N)$ 个。 H 个阅读器分别读取目标标签和 M 个参考标签的信号强度,以向量形式表示,则目标标签的场强向量记作 $R=(R_1, R_2, \dots, R_H)$, 其中 R_j 表示第 j 个阅读器读取的目标标签的场强值;参考标签的场强向量记作: $S(i)=(S_1(i), S_2(i), \dots, S_H(i))$, 其中 $S_j(i)$ 表示第 j 个阅读器读取的第 i 个参考标签的场强值 ($1 \leq j \leq H, 1 \leq i \leq M$)。

根据定位模糊环的特性,定义隶属度:

$$\mu(i, j) = 1 - \frac{D(i, j)}{R_e} \quad (1)$$

其中, $D(i, j) = |R_j - S_j(i)|$, 表示参考标签与目标标签的场强距离; R_e 为定位模糊环宽度参数, 其值大小是环宽度的一半, 根据定位实际环境而定。

隶属度函数如图3所示, $D(i, j)$ 越接近0, 隶属度 $\mu(i, j)$ 越接近1, 则表明参考标签越靠近定位模糊环的中心圆周线, 即图2中模糊环中虚线所示的圆周, 但是这还

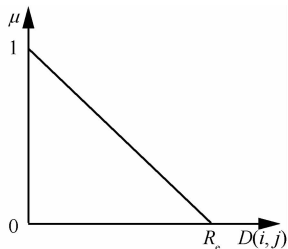


图3 隶属度函数示意

不能说明该参考标签与目标标签位置近邻, 因此采用信息融合的方法解决这一问题。

3.2 多阅读器信息融合

当参考标签距离目标标签较远时, 会存在某个或者某些阅读器判定隶属度 $\mu(i, j)$ 较接近于1, 但是其他的阅读器判定的结果可能是 $\mu(i, j) < 1$, 所以采用最小值融合的方法, 融合后的值较小, 即可判定参考标签距离较远, 则可以排除该参考标签; 当参考标签距离目标标签较近时, 所有的阅读器计算得到的 $\mu(i, j)$ 都较接近1, 采用最小值融合法融合后的结果仍较接近1, 故而判定该参考标签为目标标签的近邻标签。最小值融合方法如下所示:

$$\tilde{\mu}(i) = F[\mu(i, 1), \mu(i, 2), \dots, \mu(i, H)] = \bigwedge_{j=1}^H \mu(i, j) \quad (2)$$

其中, F 表示融合算子, 采用最小值算子进行融合计算; $\tilde{\mu}(i)$ 表示融合后, 第 i 个参考标签与目标标签的接近程度, 将其定义为参考标签贴进度。

当 $\tilde{\mu}(i)$ 小于某一设定值 $\beta (\forall \beta \in [0, 1])$ 时, 表示参考标签 i 和目标标签的位置相对较远。当 $\tilde{\mu}(i)$ 大于该设定值 β 时, 参考标签 i 和目标标签的位置相对较近, 则表示如下:

$$\mu_R(i) = \begin{cases} 1, & \tilde{\mu}(i) \geq \beta \\ 0, & \tilde{\mu}(i) < \beta \end{cases} \quad (3)$$

其中, R 代表参考标签 i 与目标标签的位置关系: 参考标签 i 和待定位节点 A 的位置较为接近。 $\mu_R(i)$ 表示参考标签 i 对关系 R 的隶属度, 当 $\mu_R(i) \geq \beta$ 时, 参考标签 i 隶属于关系 R , 隶属于关系 R 的所有参考标签即判定为与目标标签位置近邻, 可参与目标标签的定位计算。在目标标签近邻的参考标签中选择全部或者若干个贴进度最大的标签进行加权质心运算, 贴进度越大表示参考标签距离目标标签越近, 其所占据的权重越大, 设 k 为所选取最终参与计算的参考标签数目。目标标签的位置如下:

$$(x, y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^K \tilde{\mu}(i) \cdot x_j}{\sum_{i=1}^K \tilde{\mu}(i)}, \frac{\sum_{i=1}^K \tilde{\mu}(i) \cdot y_j}{\sum_{i=1}^K \tilde{\mu}(i)} \right) \quad (4)$$

所得结果即目标标签的估计坐标。

4 算法性能

根据本文算法定位原理, 利用 MATLAB 软件对该算法进行仿真, 仿真环境为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的室内方形区域, 在方形区域的4个角落分别放置一个阅读器, 按照网格形状均



匀布置参考标签,目标标签采用随机部署的方式,图4为参考标签按照5×5的网格形状部署分布。根据RFID系统中阅读器与标签之间通信距离有限的特点,本文采用相对定位误差 E 表示算法的定位精度,通信距离 R 设为5 m。

$$E = \frac{\sqrt{(x'-x)^2 + (y'-y)^2}}{R} \quad (5)$$

其中, x, y 为估计坐标, x', y' 为真实坐标。

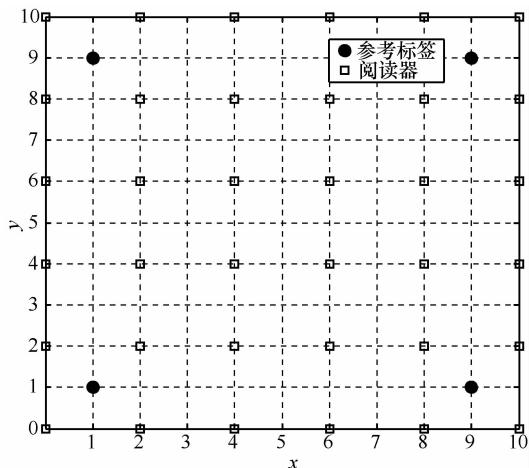


图4 标签布局

4.1 阅读器及参考标签数量对定位精度的影响

阅读器及参考标签数量对定位精度的影响如图5所示。5条曲线分别为不同参考标签部署密度下,随着阅读器数目的增加,相对定位误差的变化情况,在仿真过程中,阅读器随机布置于定位空间。可以看出,随着阅读器数量的增加,相对定位误差减少,这是由于本文算法信息融合的特点,融合多个阅读器的判决信息综合判定参考标签是否与目标标签近邻,且得到近邻参考标签更精确的贴近度,以此来计算目标标签位置,从而得到更高的精确度。

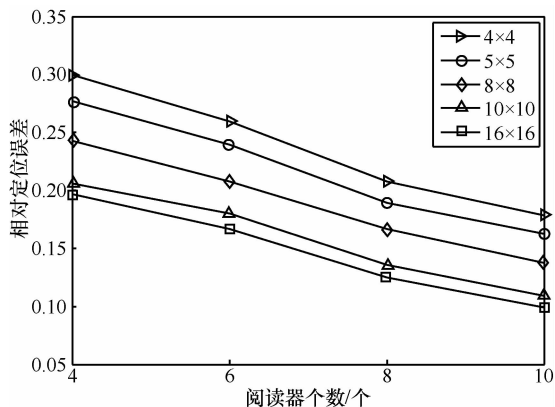


图5 阅读器及参考标签数量对定位精度的影响

为准确反映不同参考标签部署密度对算法定位精度的影响,在定位区域中参考标签分别以4×4、5×5、8×8、10×10、16×16的网格形状排列,即参考标签的部署间隔分别为2.5 m、2 m、1.25 m、1 m、0.625 m。由仿真结果可知,随着参考标签部署密度的增大,相对定位误差减小,这是因为参考标签数量增加密度增加,可选择的与目标标签近邻参考标签数量更多,筛选出参与定位计算的参考标签贴近度更大,所以定位结果更精确。当参考标签密度增大到一定程度,由10×10到16×16时的定位精度的提高相对较小,其主要原因在于当参考标签部署密度过高时,过多的参考标签信号会对阅读器接收信号产生干扰。因此,在参考标签的布局中选择1 m的布置间隔最优,既可以提高算法精确度,又能降低算法复杂度,降低系统整体能耗。

4.2 定位模糊环宽度参数 R_e 对定位精度的影响

定位模糊环宽度参数 R_e 的大小关系到选取的近邻参考标签的数量以及参考标签与目标标签的贴近程度。 R_e 太小,模糊环变窄,定位计算可选择的近邻参考标签的数目就少,影响定位精度; R_e 太大,模糊环太宽,环内参考标签数目过多,不仅影响定位精度,而且增加了算法运算量。所以应选择合适的宽度, R_e 对定位精度的影响如图6所示,由仿真结果可得,当 $R_e=3$ 时,相对定位误差最小,所以在本环境中将模糊环宽度参数设置为 $R_e=3$ m。

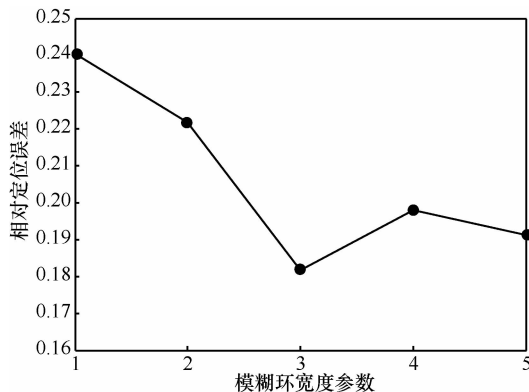


图6 R_e 对定位精度的影响

4.3 与LANDMAC算法对比

为验证算法的有效性,在不同参考标签密度下与经典RFID定位系统LANDMAC^[5]对比,相对定位误差如图7所示。阅读器按照图4布局,参考标签分别按照4×4、5×5、8×8、10×10、16×16的网格形状排列。由图7可知,本文算法对目标标签的定位效果明显要优于LANDMAC系统。这是由于LANDMAC系统采用目标标签与参考标签能量等级

欧氏距离的办法确定近邻参考标签:一方面,能量等级的划分会引入误差;另一方面,目标标签与参考标签的信号强度值近似只能说明参考标签在以阅读器为圆心、以目标标签信号强度 R 为圆心的圆周线附近,并不能说明该参考标签位置与目标标签近邻。本文算法直接利用信号强度值,并且采用信息融合的办法可更准确地选择出近邻参考标签,从而提高定位精度。

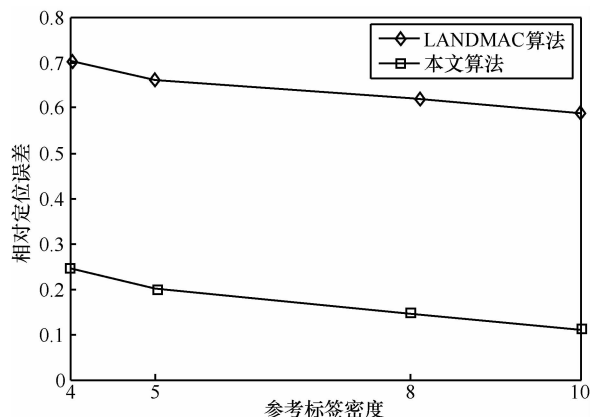


图7 与 LANDMAC 算法对比

5 结束语

针对南北园区智慧楼宇内大量资产设备全方位管理的多方面需求,通过物联网智能感知技术对智慧楼宇的资产进行有效管理及维护,在基于 RFID 系统资产设备管理的基础上,利用 RFID 技术中阅读器与电子标签之间的无线感知特性,结合定位模糊环概念,提出多阅读器信息融合的 RFID 室内定位算法,算法具有定位精度较高、复杂度低、功耗小等特点,能够对楼宇内资产设备标签进行快速准确定位,从而实现对智慧园区楼宇内的大量资产设备进行更高效、更智能的全周期管理。

参考文献:

- [1] 李程, 钱松荣. 射频识别动态定位方法 [J]. 通信学报, 2013(4): 144-148.
LI C, QIAN S R. RFID dynamic positioning method [J]. Journal on Communications, 2013(4): 144-148.
- [2] 王远哲, 毛陆虹, 刘辉, 等. 基于参考标签的射频识别定位算法研究与应用 [J]. 通信学报, 2010(2): 86-92.
WANG Y Z, MAO L H, LIU H, et al. Research and application of RFID location algorithm based on reference tags [J]. Journal on Communications, 2010(2): 86-92.
- [3] 李孝辉, 刘娅, 张丽荣. 超宽带室内定位系统 [J]. 测控技术, 2007(7): 1-2, 6.
LI X H, LIU Y, ZHANG L R. Indoor positioning system using ultra wideband radio [J]. Measurement & Control Technology, 2007(7): 1-2, 6.
- [4] 娄鹏华, 张洪明, 郎凯, 等. 基于室内可见光照明的位置服务系统 [J]. 光电子: 激光, 2012(12): 2298-2303.
LOU P H, ZHANG H M, LANG K, et al. A location-based services system using indoor visible light sources [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2012(12): 2298-2303.
- [5] LIONEL M N, LIU Y H, LAU Y C, et al. LANDMAC: indoor location sensing using active RFID [J]. Wireless Networks, 2004, 10(6): 701-710.
- [6] ZHAO Y Y, LIU Y H, LIONEL M N. VIRE: active RFID-based localization using virtual reference elimination [C]//The International Conference on Parallel Processing, September 10-14, 2007, Xi'an, China. New Jersey: IEEE Press, 2007: 56.
- [7] TANG L, GONG Y, LUO Y, et al. Positioning algorithms by information fusion in wireless sensor networks [J]. Wireless Personal Communications, 2014, 74(2): 545-557.

[作者简介]



吴文焯(1966-),男,北京国电网络技术有限公司高级工程师,主要从事电力信息通信方向研究工作。



王潇(1990-),女,华北电力大学硕士生,主要研究方向为无线传感器网络及 RFID 标签定位。



赵鲲鹏(1976-),男,国家电网公司客户服务中心高级工程师,主要研究方向为电力信息通信。

文亚凤(1968-),女,华北电力大学副教授,主要研究方向为信息系统与信息安全。