

一种多天线阅读器定位系统^①

崔英花^②

(北京信息科技大学信息与通信工程学院 北京 100101)

摘 要 分析了基于射频识别(RFID)的定位系统的性能,针对现有的 RFID 定位系统在定位精度、效率、可靠性、成本等方面的不足,提出了一种采用多天线阅读器的定位系统。该系统利用多天线阅读器可扩大单个阅读器定位的覆盖范围,并可根据各接收天线检测的信号强度等信息实现对目标标签的精确定位。通过灵活选择发射天线,可以避免由于阴影效应而带来的信号盲区现象。和传统的单天线阅读器定位方法相比,多天线阵列阅读器定位系统在定位速度、定位精度和抗干扰性上都具有突出的优势。

关键词 射频识别,定位,分布式天线,多天线,阅读器

0 引 言

随着全球定位系统(GPS)和北斗等卫星导航定位系统的投入使用,室外定位技术日趋成熟,可以达到很高的定位精度,但是作为“最后一米”的室内定位技术,一直未能获得根本性的突破,这也是工业界和学术界多年来共同关注的焦点之一。在室内环境下,由于卫星信号接收受到严重干扰,GPS 无法用于室内定位。近年来,射频识别(radio frequency identification, RFID)技术^[1,2]得到了空前的发展,也被应用到室内定位领域。RFID 具有非接触、非视距、低成本优点,开始得到越来越多的关注,成为优选的室内定位技术。

在 RFID 室内定位理论研究方面,国外关注的相对较早。许多高校和企业都在研究 RFID 定位,提出了不少优秀的定位方案,这其中包括 MIT Oxygen 项目开发的 Cricket 系统^[3,4]、华盛顿大学的 SpotON 系统^[5]、密歇根州立大学的 LANDMARC 系统^[6]、微软公司的 RADAR 系统^[7,8]、IBM 的 BlueBot^[9]系统等。然而,上述系统的定位算法,为提高

精度需要大量布置阅读器或参考标签,这不仅增大系统的建设成本,而且由于阅读器或标签之间的信号冲突,会相互干扰并恶化通信信道质量,影响定位的精度。国内从 2004 年开始陆续有一些大学和科研单位对相关技术进行研究,主要体现在对现有算法做优化和研究,强调在实际中的具体应用。比如将现有算法用于煤矿井下人员的定位、医院室内人员跟踪以及供应链上的物流与零售作业等。目前比较出色的成果是清华大学刘云浩教授领导的 Tagoram 系统^[10],该系统利用商业化产品对移动射频标签进行实时高精度追踪,基于差分增强全息图方法,将精度提高到厘米级别,比相关工作提高了近 40 倍,是迄今为止利用商业化设备所取得的最好的追踪结果。该技术首次引入逆孔径雷达思想,克服了测量噪音和标签多样性等困难,利用标签的移动性和位置相关性对其进行精准定位,并成功应用到机场的行李分拣中。该技术主要适用于固定轨迹且移动速度恒定的目标。

总体来说,室内 RFID 定位算法可分为四大类:基于测距的定位^[11]、基于相位的定位^[12-17]、基于场景的定位^[18-20]和基于邻近算法的定位^[21]。通过对

① 国家自然科学基金(61340005),北京市自然科学基金(4132012),北京市教委科技发展计划(KM201411232011)和北京市优秀人才培养(5211524100)资助项目。

② 女,1973 年生,博士,副教授;研究方向:无线通信,射频识别,移动通信;联系人,E-mail: cui_ying_hua@sina. con (收稿日期:2017-01-10)

目前各种主流定位系统的分析可以看出,尽管相关技术发展迅速,但还存在一些不足,具体体现在定位误差大、系统成本高、不适于在复杂信道环境和快速变化环境下使用等。针对当前定位方法的不足之处,本文将研究一种基于收发分置的多天线阅读器定位模型,阅读器控制较大面积的定位区域,可以有效减少系统的建设成本,而且通过灵活选择发射和接收天线,可以有效避免信号盲区现象,并实现快速精确定位。

1 基于收发分置多天线阅读器的定位模型

常见的阅读器使用一根天线,同时发送信号和

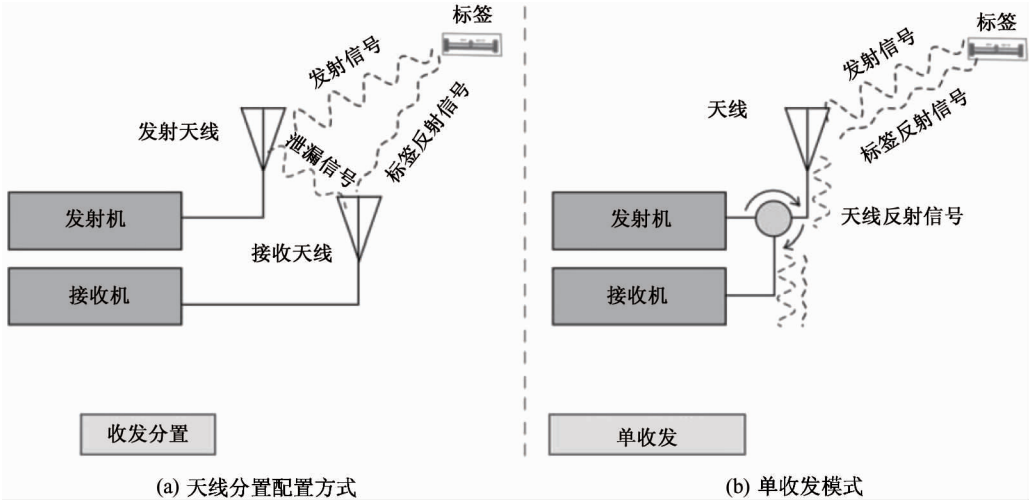


图 1 阅读器天线工作配置方式

的可靠性。而仲元昌等在文献[24]中提出了一种通过增加天线个数,以增强覆盖效果、减少识别盲区、增强多标签识别可靠性的 RFID 多天线识别模式。阅读器具有多个天线,分别对电子标签进行识别,每个标签能否被识别是相互独立的。Tagogram 系统则使用了配备有 4 个天线的 RFID 读写器 TrackPoint,天线位置已知,连接着同一个读写器。这些方法的特点是各天线的识别是相互独立的,采用单收发模式,使用同一个天线进行发射射频信号并接受标签反射信号,配合以轮询调度算法方式,分别在不同时间段内工作^[25]。

本文设计了一种基于多天线阅读器的定位模

接收标签的反射信号,称为单收发模式,如图 1(b)所示。这种方式浪费了一半左右的发射能量,接收器还需要克服强闭锁信号(blocking signal)的干扰来获取微弱的标签信号。而采用图 1(a)的天线分置配置方式,发送端与接收端的天线分离,则有利于避免这些问题^[22]。

使用单收发天线模式的 RFID 阅读器如果工作在超高频频段,由于盲区以及多径干扰的影响,难以保证目标标签识别的可靠性。Chaves^[23]等人引入了参考标签的概念,提出了在阅读区域合理部署多个参考标签,并根据这些参考标签的识别情况来判断是否可靠的方法。如果不是所有的参考标签被识别,则表明识别过程中出现了不可靠性因素,整个识别结果不可靠,需通过重复识别来提高 RFID 系统

型,每个定位区域使用一个阅读器,通过设置多天线的方

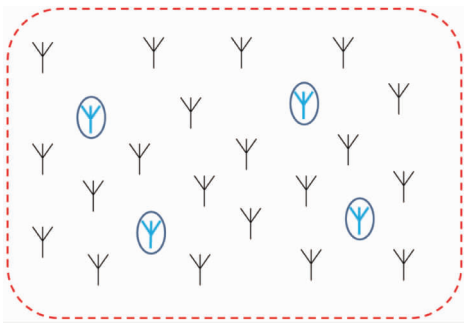


图 2 定位区域内的多天线阅读器布置示意图

在这个模型体系中,待定位区域由一个阅读器负责。阅读器具有一组天线阵列,这些天线通过物理线路与阅读器相连。在定位区域内,均匀放置了许多个阅读器天线。设置其中若干个天线作为发射天线(图 2 中有圆圈标识天线),其他为接收天线。阅读器可以灵活地布置发射天线或接收天线,每次只选择其中一个发射天线为工作状态,其他为关闭状态,区域内的接收天线都可以接收信号。这些信号被阅读器接收后送到后台的服务器综合处理,以得到最优的跟踪效果。该模型在保证定位精度的条件下,大大减少了阅读器的数量,避免了多个阅读器或大量参考标签的使用,有助于降低系统的建设成本。

2 多天线阅读器精确定位方法

根据各接收天线接收到的标签反射信号强度,可以估算出标签与各天线的距离远近。本文选择几个接收信号最强的天线,根据信号强度为它们赋以对应的权重,对接收信息进行加权处理来计算出标签的位置。

具体定位算法描述如下:

设定位区域内有 m 个发射天线 $T_i (1 \leq i \leq m)$, n 个接收天线 $R_i (1 \leq i \leq n)$, 这些天线的位置都是已知的,其位置分别设为 $Z_{T_i} (1 \leq i \leq m)$ 和 $Z_{R_i} (1 \leq i \leq n)$ 。从中依次选择 $l (1 \leq l \leq m)$ 个不同的发射天线 $T_{s_x} (1 \leq x \leq l, 1 \leq s_x \leq m)$, 所有 n 个接收天线同时接收目标标签的反射信号。每个接收天线 $R_k (1 \leq k \leq n)$ 根据其接收到的第 j 个发射天线的信号强度 S_{jk} , 可以得到标签到该天线的距离估计值 D_{jk} 。本文将信号强度按能级分为 10 级,使用信号能级计算接收天线 R_{jk} 的权重 W_{jk}

$$W_{jk} = \frac{C(S_{jk})}{10} \quad (1)$$

其中 $C(S_{jk})$ 表示信号的能级。

权重小于某阈值 Δ 的天线将不参与下一步计算,设其权值为零,如下式所示:

$$W'_{jk} = \begin{cases} W_{jk} & W_{jk} \geq \Delta \\ 0 & W_{jk} < \Delta \end{cases} \quad (2)$$

设目标标签的位置为 P , 则其位置的最佳估计值 P_{opt} 取值满足下式:

$$P_{\text{opt}} = \arg \min_z \left(\sum_{\substack{1 \leq j \leq l \\ 1 \leq k \leq n}} (W'_{jk} \cdot \|Z - Z_{R_k}\| - D_{jk}) \right) / \sum_{\substack{1 \leq j \leq l \\ 1 \leq k \leq n}} W'_{jk} \quad (3)$$

其中, Z 的取值范围为整个定位区域。由式(3)可知,得到最优解需要经过大量的计算,不利于快速定位。本研究选取权重最大的 3 个接收天线信号,根据交叉圆方法,可以得到对应的估计位置,设为 P' 。以 P' 为中心,建立一个 $L \times L$ 的矩形区域(根据标签速率的不同, L 的大小做自适应变化)作为目标区域。根据应用精度要求,选取大小 $d \times d$ 的 (L 是 d 的整数倍)方格,则使得式(3)取值最小的格点就是所求的位置。这种方式可以大大提高计算速率,有利于满足快速运动物体跟踪的性能需求。同时根据应用要求,可适当调整天线密度,以获得满意的定位精度。

多径效应是室内环境下影响定位精度的最主要因素,因此如何有效地降低多路径效应的影响,提高室内定位系统的抗干扰能力是目前需要克服的主要困难之一。根据定位区域信号接收和定位情况,在阅读器天线阵列中灵活选择发射天线,可以减小多径效应的影响,消除阴影效应造成的信号盲区现象,大大增强了系统的适应性和抗干扰能力。

3 多天线阅读器定位算法分析

在射频识别应用中,经常采用 log-normal 作为信号传输模型,其表达式如下式表示:

$$P_L(d) [dB] = P_L(d_0) + 10n \log(d) + X_\sigma \quad (4)$$

其中, d 为发送端和接收端之间的距离, d_0 是自由空间参考距离,在大覆盖蜂窝系统中,经常使用 1km 的参考距离,在微蜂窝系统采用 1m 或 100m 做参考距离。 n 为路径损耗指数, X_σ 表示信道的 Gaussian 随机噪声, σ 代表标准偏差。根据接收信号强度,就可以计算出距离目标距离。

传统的接收信号强度指示 (received signal strength indication, RSSI) 方法^[5]其场景图如图 3 所示。目标物体携带电子标签,而位置检测设备是已

知位置坐标的几台 RFID 读写器。阅读器利用接收信号强度来估算目标与自己的距离,并利用三边定位法,定位目标的位置应位于以对应阅读器为圆心,估算距离为半径的圆上,这些圆的交点就是待定位目标的位置。

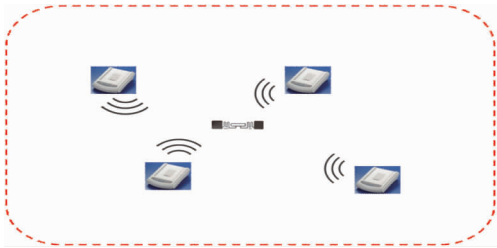


图3 常见的 RSSI 检测方法示意图

多天线定位方法则突破了此限制,在一个指定区域中,只使用一个多天线阅读器即可,大大减少了建设成本。

通常 RSSI 方法需要每个阅读器分别识别一次,在不考虑标签和阅读器碰撞的情况下,设每次识别的时间为 T_1 。如图 3 所示的场景,则至少需要 $3T_1$ 的时间才可以完成定位。而采用多天线阅读方法,一根天线发射,多根天线接收,只用一次就可以完成识别定位过程,即只使用 T_1 时间即可完成定位。因此,多天线阅读器定位方法的定位效率要优于 RSSI 方法。

RSSI 方法将接收的信号强度直接换算成待定位目标与阅读器的距离。由于室内环境中无线信号传播信道复杂,多径效应和信道噪声会严重影响接收信号的准确性,计算误差较大。而采用多天线阅读器法,发射天线与接收天线相分离,接收天线设置较密集,可以从接收信号中选择信号最强,权值较高的接收天线参与计算,有效减小定位误差。图 4 和图 5 分别显示了 RSSI 方法以及多天线阅读器方法的仿真实验结果。在 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 的定位区间内,随机放置了 30 个目标标签。图 4 中,小正方形代表 4 个阅读器位置,星号代表标签的实际位置,空心圆圈代表标签的预测位置,其平均误差是 0.4701m 。图 5 中,20 个小正方形代表阅读器的天线位置,其中 4 个实心正方形代表发射天线,空心正方形为接收天线,其平均误差为 0.0650m 。可以看出多天线方法的定位精度大大优于传统的 RSSI 方法。

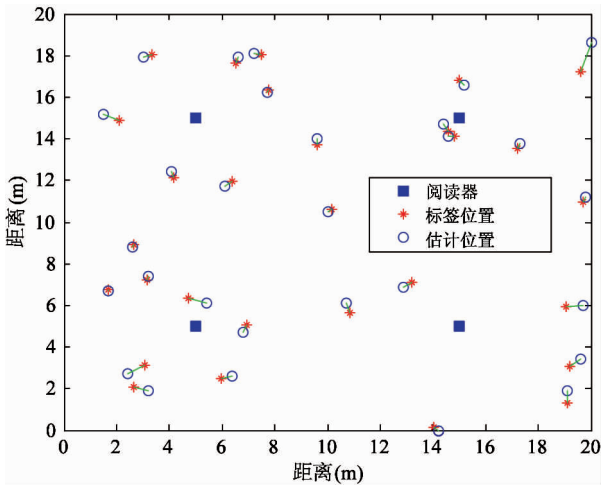


图4 RSSI 方法仿真实验结果

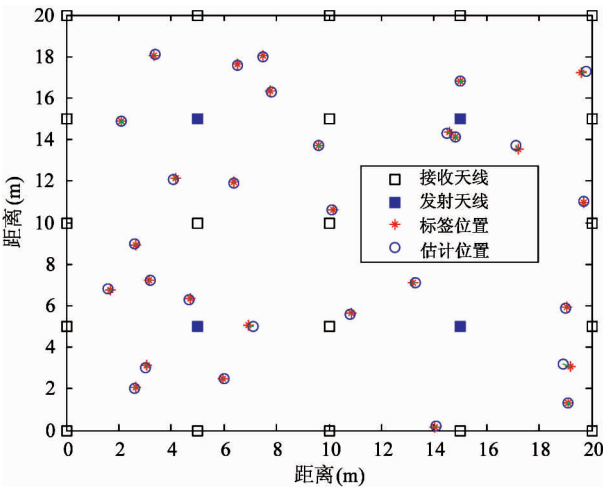


图5 多天线方法仿真实验结果

由于多径效应、阴影效应,接收天线接收信号有时会受到很大干扰。当标签与阅读器天线之间有物体阻挡时,会造成信号质量下降,甚至会有信号盲区,造成阅读器无法识别标签。假设标签与任一根发射天线或接收天线之间由于信号干扰或信号盲区而无法识别的概率大小为 a 。RSSI 方法中发送天线和接收天线是合一的,如图 3 所示,4 个阅读器中必须至少有 3 个阅读器成功识别标签才可以正确定位,如果标签同时与两个或以上的阅读器天线通信被干扰,则无法对标签进行有效定位。其不可识别的概率 P 由下式表示:

$$P = 1 - 4 \cdot a(1 - a)^3 - (1 - a)^4 = 6a^2 + O(a^3) \tag{5}$$

采用多天线方法,如图 2 所示,在定位区域内,

有 4 个发射天线和 20 个接收天线,其不可识别的概率 P' 由下式表示:

$$\begin{aligned} P' &= a^4 + (1 - a^4)(a^{20} + C_{20}^1 a^{19}(1 - a) \\ &\quad + C_{20}^2 a^{18}(1 - a)^2) \\ &= a^4 + O(a^{18}) \end{aligned} \quad (6)$$

概率 a 一般是个较小的值,当 $a = 0.001$, $P \approx 6 \times 10^{-6}$, $P' \approx 1 \times 10^{-12}$, 可以看出多天线方法大大减少了由于信号盲区导致定位失败的出现概率,抗干扰能力大大增强。

4 结 论

本文介绍了一种多天线阅读器定位方法,该方法使用收发分置的多天线阅读器。在定位区域一次只设置一个发射天线为工作状态,所有接收天线都可以接收信号,避免了使用大量参考标签产生碰撞而导致接收信道恶化、信号干扰增大的困扰。通过灵活选择发射天线,避免出现由于通信中的阴影效应而带来的信号盲区现象。算法分析及实验仿真表明,相对于常见的单天线阅读器 RSSI 定位方法,多天线阅读器方法的定位误差大大减小,具有更快的定位速度和更高的抗干扰能力。

参考文献

- [1] Want R. An introduction to RFID technology. *IEEE pervasive computing*, 2006, 5(1): 25-33
- [2] Yang H, Hu X, Zhang Y, et al. An integrate RFID traceability system for the halal supply chain. *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*, 2016, 9(9): 351-360
- [3] Smith A, Balakrishnan H, Goraczko M, et al. Tracking moving devices with the cricket location system. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications and Services, Boston, USA, 2005. 190-202
- [4] Priyantha N B, Chakraborty A, Balakrishnan H. Cricket location-support system. In: Proceedings of the ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, Boston, USA, 2000. 32-43
- [5] Hightower J, Want R, Borriello G. SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal

strength. University of Washington, Seattle, WA, CSE 2000-02-02; UW, Feb. 2000

- [6] Ni L M, Liu Y, Patil A P. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. In: Proceedings of the IEEE 1st International Conference on Pervasive Computing and Communications, Fort Worth, USA, 2003. 407-415
- [7] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system. In: Proceedings of the IEEE 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Tel Aviv, Israel, 2000. 775-784
- [8] Bahl P, Padmanabhan V N. Enhancements to the RADAR user location and tracking system. *Microsoft Research*, February 2000
- [9] Patil A, Munson J, Wood D, et al. Bluebot: asset tracking via robotic location crawling. In: Proceedings of the International Conference on Pervasive Services, Santorini, Greece, 2005, 31(6): 1067-1077
- [10] Yang L, Chen Y, Li X Y, et al. Tagoram: real-time tracking of mobile RFID tags to high precision using COTS devices. In: Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Hawaii, USA, 2014. 237-248
- [11] Deka M J, Joshi J, Sinha N, et al. Indoor and outdoor position identification using RFID. In: Proceedings of the 2016 International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering, Jaipur, India, 2016. 314-319
- [12] Zhao Y, Liu K, Ma Y. Similarity analysis-based indoor localization algorithm with backscatter information of passive UHF RFID tags. *IEEE Sensors Journal*, 2017, 17(1): 185-193
- [13] Xu H, Ding Y, Li P, et al. Indoor localization using the reference tags and phase of passive UHF-RFID tags. *International Journal of Business Data Communications and Networking*, 2017, 13(2): 69-82
- [14] Wang J, Adib F, Knepper R, et al. Rus, Rf-compass: robot object manipulation using RFIDS. In: Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Miami, USA, 2013. 3-14
- [15] Wang J, Katabi D. Dude, where's my card? Rfid positioning that works with multipath and non-line of sight. In: Proceedings of the ACM SIGCOMM 2013 Conference

- on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication, Hong Kong, China, 2013,43(4):51-62
- [16] Miesen R, Kirsch F, Vossiek M. Holographic localization of passive UHF rfid transponders. In: Proceedings of the IEEE International Conference on RFID, Orlando, USA, 2011. 32-37
- [17] Parr A, Miesen R, Vossiek M. Inverse SAR approach for localization of moving RFID tag. In: Proceedings of the IEEE International Conference on RFID, Orlando, USA, 2013. 104-109
- [18] Du X, Wu J, Yang K, et al. An AP-centred indoor positioning system combining fingerprint technique. In: Proceedings of the 2016 IEEE Global Communications Conference, Washington, USA, 2016. 316-324
- [19] Pirzada N, Nayan M Y, Hassan M F, et al. WLAN location fingerprinting technique for device-free indoor localization system. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Computer and Information Sciences, Kuala Lumpur, Malaysia, 2016. 650-655
- [20] Zhao Y, Liu Y, Ni L M. VIRE: active RFID—based localization using virtual reference elimination. In: Proceedings of the International Conference on Parallel Processing, Xi'an, China, 2007. 56-56
- [21] Yassin A, Nasser Y, Awad M, et al. Recent advances in indoor localization: a survey on theoretical approaches and applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2017,19(2):1327-1346
- [22] Dobkin D M. The RF in RFID, UHF RFID in Practice. Second Edition, Newnes, 2012
- [23] Chaves L W F, Buchmann E. Tagmark: reliable estimations of RFID tags for business processes. In: Proceedings of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, LasVegas, USA, 2008. 999-1007
- [24] 仲元昌,陈辉,丁漩. 多天线 RFID 阅读器的多标签识别及其可靠性分析. 高技术通讯, 2011,21(11):1190-1195
- [25] Han S, Lim H, Lee J. An efficient localization scheme for a differential-driving mobile robot based on RFID system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2007, 54:3362-3369

A positioning system using multiple antenna readers

Cui Yinghua

(School of Information and Communication Engineering, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 100101)

Abstract

The performance of RFID based positioning systems was analyzed, and aiming at their deficiency in positioning accuracy, efficiency, reliability, cost etc., a new positioning system using multiple antenna readers was proposed. The new positioning system uses multiple antenna readers to expand one single reader's location coverage, and realizes the accurate positioning of target tags by using the received signal strength of antennas. The multiple antenna readers can avoid the signal blind area caused by the shadow effect by selecting the transmitting antenna flexibly. Compared with the single antenna reader positioning system, the positioning system using multiple antenna readers has the outstanding advantages in positioning speed, accuracy and anti-interference property.

Key words: radio frequency identification, positioning, distributed antenna, multiple antenna, reader