

RFID 室内定位技术研究综述

李丽娜 马俊 徐攀峰 涂志

(辽宁大学物理学院 辽宁 沈阳 110036)

摘要 为了掌握射频识别 RFID 定位算法的原理与应用背景,找到一种适用于特定环境的室内定位算法和 tag 防碰撞算法,对 RFID 室内定位系统的组成、定位方法、定位算法以及定位过程中涉及到的防碰撞算法进行了较为全面的研究和系统的总结。该研究为不同条件下 RFID 定位系统和定位算法的选择提供了重要依据。

关键词 射频识别 室内定位系统 定位算法 防碰撞

中图分类号 TP391.44 文献标识码 A DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2015.09.001

SUMMARY OF STUDY ON RFID INDOOR LOCALISATION TECHNOLOGY

Li Li'na Ma Jun Xu Panfeng Tu Zhi

(College of Physics, Liaoning University, Shenyang 110036, Liaoning, China)

Abstract To master the principle and application background of RFID localisation algorithm and to find an indoor location algorithm and tag anti-collision algorithm which are applicable to the selective environment, in this paper we make a rather comprehensive study and systematic summary on the RFID indoor positioning system in regard to its composition, positioning method, positioning algorithms and anti-collision algorithm involved in positioning process. The study provides important basis for the selection of RFID positioning system and positioning algorithm under different conditions.

Keywords Radio frequency identification (RFID) Indoor positioning systems Positioning algorithm Anti-collision

0 引言

无线射频识别(RFID)技术因传播方式非接触、传播过程非视距、硬件成本低廉、定位目标准确而在室内定位中应用广泛^[1]。RFID 技术的普及,在促进其发展的同时,也为其自身的低成本技术、小型化技术、一体集成化技术和防碰撞技术等技术领域带来了一些新的挑战。掌握 RFID 定位算法的原理与应用背景,设计出一种环境普适的室内定位算法和标签(tag)防碰撞算法,对室内定位技术的进一步发展,具有重大的现实意义。

1 射频识别系统简介

RFID 系统的基本结构包括两个网络,即传感网络和数据传输网络。

传感网络由读写器和电子标签阵列组成。读写器分为只读和读写两种,是定位系统数据处理和控制中心。读写器在 RFID 工作的覆盖区域内,能发射射频信号,使区域内布置好的电子标签(tag)被激发。tag 被激发后,会返回其中的数据,并能通过接口与电脑网络进行通信。

电子 tag 根据获取能量途径的不同有三种分类,即有源、无源和半有源电子 tag。有源标签配有电池,无源标签不配带电池,半有源标签可以使用电池也可以不使用电池工作。按照频率由大到小,又可分作微波、超高频、高频及低频电子 tag。

数据传输网络组成分为两部分,即服务器和其与读写器的连接^[2]。数据的传送包含两方面:一方面是由用户产生的指令信号通过服务器产生并传送给传感网络;另一方面是读写器把接收到的数据返回给服务器。最后由服务器通过算法计算出待定位 tag 的位置。服务器与读写器的连接方式也有 2 种,即:有线连接、无线连接。RFID 的基本的结构可以用图 1 表示。

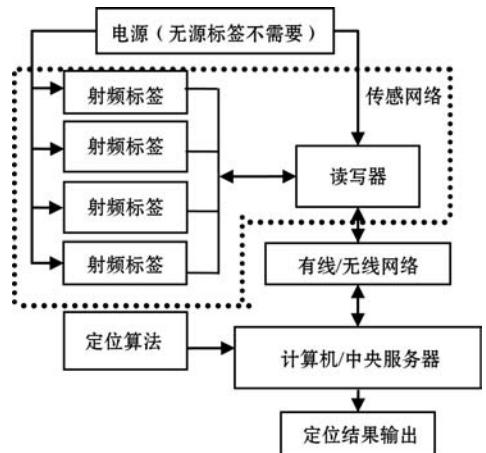


图 1 RFID 系统基本结构

2 RFID 定位系统及方法研究

基于测量技术不同,室内定位方法分为:“接收的信号强度方法^[3](RSSI)”、“到达角度方法(AOA)”、“到达时间方法(TOA)”与“到达时间差方法(TDOA)”^[4]。

不同的定位系统对测量方法的选择是不同的,下面具体介绍几种常见的 RFID 定位系统及其定位方法的原理和选用。

2.1 RSSI 方法及其应用系统

RSSI 法是将测得的信号强度采用经验模型模拟信号路径损耗,计算目标距离,利用定位算法得到目标坐标的定位方法。这里所需的信号的衰减经验模型,可实验得到或理论推导。实验证实,RSSI 法能在一定程度上抵消多径效应的影响,更适合于室内环境。^[5]目前不少 RFID 系统都运用 RSSI 方法。但在室内无线电传播时有很多干扰因素,如衰减、绕射等。这些因素都影响 RSSI 方法的定位的精度^[6]。

RSSI 损耗模型公式:

$$P_D = P_{D_0} - 10\mu\lg(D/D_0) + x \quad (1)$$

式中, D 为定位 tag 与参考 tag 的距离; μ 为损耗指数; x 是以 σ 为标准差的零均值的正态分布随机变量; P_D 为距离 D 的 RSSI 值, D_0 为参考距离。

LANDMARC 系统^[7]为其典型应用。该系统采用“最近邻距离”(kNN)方法,在定位区间设定坐标已知的参考 tag。参考 tag 与待定位 tag 的欧氏距离计算公式:

$$E_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\phi_{k,i} - \varphi_i)^2} \quad (2)$$

式中, φ_i 是阅读器(第 i 个)所读取的待定位的 tag 的信号强度, n 为阅读器数, $\phi_{k,i}$ 是该阅读器读取到参考 tag k 的信号强度, E_k 表示的是未知 tag 和参考 tag 的“欧氏距离”。待定位 tag 的坐标可由下面的公式推算出来:

$$(x, y) = \sum \omega_L(x_L, y_L)$$

其中:

$$\omega_L = \frac{1/E_L^2}{\sum_{L=1}^k (1/E_L^2)} \quad (3)$$

不难看出, E 值最小的参考 tag 权重最大。LANDMARC 系统成本廉价,能更好地适应变化的环境,获得的位置信息更加准确可靠,但由于计算时间较长,系统实时性较差。

2.2 AOA 法及其应用系统

AOA 定位的思想是利用测量 RF 信号到达方向与天线的角度完成定位。AOA 方法初始定位时,仅仅需要配置两个天线阵列,相比于 TOA 和 TDOA 等,它的结构简单,但对天线的灵敏度和分辨率要求要高。而 RFID 技术目前无法达到此要求,因此 AOA 方法不是 RFID 的主流方法。但随着智能天线技术的发展将其运用到 RFID 设备上,可以提高天线的角度分辨率,AOA 方法也可能得到较快发展。

AOA 方法计算公式:

$$(x, y) = \left[h \cdot \frac{\tan(\omega_1)\tan(\omega_2)}{\tan(\omega_1) + \tan(\omega_2)}, \frac{h}{2} \frac{\tan(\omega_1) - \tan(\omega_2)}{\tan(\omega_1) + \tan(\omega_2)} \right] \quad (4)$$

式中, h 是两组阅读器连线的中心间距, ω_1 和 ω_2 是据两线和 tag 估算的波达角。

RSP 系统为其典型应用,该系统通过计算阅读器间的相位差,得到移动 tag 的方向。采集数据后,利用最小二乘法进行定位设计。

2.3 TOA 法及其应用系统

TOA 方法是在假设已知信号传播速度的条件下,测量信号从参考点发出到移动端接到的时间,计算出移动端和参考点间距。TOA 方法主要有如下缺点:一是发射、接收的同步问题;二是无线信号的传输时间戳的问题,加戳有助于传播距离的测量。经常在信号传播慢、定位区域大的情况下采用。

TOA 方法计算公式:

$$d = \frac{T_{total} - T_{sa} - T_{sy} - T_{cab}}{c_o} \quad (5)$$

式中, T_{sys} 为系统延迟, T_{cab} 是接收天线缆线造成的延迟, T_{sa} 为 tag 的延迟值。

表面波识别系统(SAW ID-tags)为其典型应用。该系统采用无源 tag,通过编码可能性技术和脉冲压缩查询 tag 的逆时间脉冲响应并重新发送相关的信号。重新发送的信号拥有自相关峰值,幅度响应最大的 tag 即为所求 tag。

2.4 TDOA 法及其应用系统

TDOA 方法要求同时发射两种信号(速度不一样),计算传到接收机的时间差,进而求解参考端与接收机的距离,求解坐标。TDOA 测量时不需要知道传播时间的具体数值,可一定程度减少计算时带来的误差,它的定位的精度较 TOA 好,可是需要限制功率,附近的点只接收到很小的功率,这会带来测量上的误差。总而言之,TDOA 改进了 TOA,它对设备在时间上的同步要求不再严格,提高了定位准确程度的同时,也使定位的复杂性降低。

TDOA 算法计算公式:

$$c_o t_d(R) = c_o(t_T - t_{RT}) + \|T - R\| - \|RT - R\| \quad (6)$$

式中, T 为选择的测量标签, t_T 为其响应时间, t_d 为 R 阅读器接收到信号的时间差值, RT 为固定位置的已知参考标签, t_{RT} 为该参考标签的相应时间, c_o 为常数。最后通过加权均方法进行 tag 的位置的估计^[8]。

LPM(本地定位测量系统)^[9]为其典型应用。该系统设定在阅读器同步且参考 tag 均工作正常时,测量 tag 在时间 t_T 的响应。

VIRE、Simplex、SpotON 系统等^[10-12]也是较常用的 RFID 的应用系统,表 1 将对其进行介绍,在此不再赘述。现将常见的室内定位系统标签的选用、定位方法的选择、适用性及定位范围等参数总结归纳,如表 1 所示。

表 1 各定位系统参数比较

定位系统	定位方法	参考标签	待定位标签	空间维数
SAW ID-tags	TOA	无	无源	2D
LPM	TDOA	无	有源	2D
RSP	AOA	无	无源	2D
LANDMARC	RSSI	有	有源	2D
VIRE	RSSI	有	有源	2D
Simplex	RSSI	有	有源	3D
SpotON	RSSI	无	无源	3D

3 RFID 定位算法

3.1 RFID 定位算法分类及特点

基于 RFID 的室内定位方式大体上可以划分为四类:(1)三边定位:用至少三个已知位置坐标的点与待定位目标的距离来实现对待定位目标的定位。文献[13]提出了一种基于三边测量的参考节点选择算法(RNST),该定位算法适用性比较广泛,但精度不高,适用要求不高的场合。(2)角度定位:通过测量两个以上已知坐标的相关点与待定位目标的角度来定位。文献[14]提出了一种基于角度的定位算法,精度较高,但易受多径效应的影响且硬件要求较高;(3)指纹定位:分为离线阶段和在线阶段,离线阶段训练射频信号样本,建立数据库;在线阶段将测量的信号与指纹库中的信号进行比对,实现定位。文献[15]提出一种指纹定位算法,根据所需的密度的指纹和所需的样本数量,在跟踪或信号映射建立的同时,区分信号分布,估计位置信息。(4)邻域定位:采用射频特性测量出一系列位置已知的相邻点集。选用标签或者阅读器作为待定位目标均可。

相比于其他算法,基于 RSSI 的定位方法更容易实现,对阅读器接收同步要求比较低,拥有较好的适用性。LANDMARC 算法是基于 RSSI 针对移动 tag 的邻域定位方法的典型应用方案。因此下面重点讨论 LANDMARC 算法。

3.2 LANDMARC——kNN 算法及改进分析

LANDMARC 是被广泛应用于 tag 定位的室内定位系统。LANDMARC 系统的核心为“kNN”算法^[16],即:在 n 个样本中,找出 X 的 K 个近邻。该算法简单易懂,精确性高,故采用率较高。KNN 算法的计算流程如下:

步骤 1 取 $X[1] \sim X[m]$ 为待测 X 的初始近邻,计算与 X 间的欧式距离 $D(X, A[i])$, $i=1 \sim m$;

步骤 2 按 $D(X, A[i])$ 升序排列(可用冒泡排序法);

步骤 3 取出“欧氏距离”最小的 k 个值;

步骤 4 根据选取的 k 个坐标进行加权计算,求出待定位 tag 的坐标。

近年来,LANDMARC 算法不断得到改进,例如:文献[17]提出了一种改进最近邻居算法(IKNN),该算法引入了“预估位置”的概念,通过三点定位测出目标 tag 的预估位置,比较与预估位置的距离选取最近邻居。IKNN 算法与原 KNN 算法相比,平均误差减少了 9.8%;文献[18]提出一种环境自适应的虚拟参考 tag 的定位方法,该方法在 K 近邻的选取时加入了自校正的功能,平均误差小于三米的概率达到 99%。未来 LANDMARC 算法在如何降低系统硬件成本及减少冗余信息方面、如何进行虚拟标签布局及提高正向精度方面有待进一步研究。

4 防碰撞算法

防碰撞问题在室内定位中是不可避免的,而防碰撞算法的好坏也直接影响系统的定位性能。总体上看,阅读器(Reader)碰撞和标签(tag)碰撞是 RFID 中涉及的两种碰撞方式。Reader 碰撞的机会比较少并且有较好的处理办法,tag 防碰撞问题相对不易解决。tag 防碰撞的常用的方法有:“空分多路法”、“码分多路法”以及“频分多路法”、“时分多路法”^[19-22]。目前,多数防碰撞算法的理论基础是“时分多路”思想,著名的有 Aloha 算

法和二进制搜索法。

Aloha 算法简便,较早应用于 RFID 系统中,这种算法的基本思路是射频 tag 随机选择不同的时隙把一些数据发送给阅读器,来避免发生碰撞。算法的缺陷是当阅读器的工作范围内的电子 tag 突然大幅度增加的时候,所带来的碰撞次数和碰撞概率都剧增,这样系统对于防碰撞的性能就会大大降低,信道的利用率下降。在 Aloha 算法的基础上,将信道划分为固定时隙的帧时隙 Aloha 算法,使吞吐率翻了一番。后来,人们又提出了动态时隙 Aloha,在时隙 Aloha 的基础上使用可变数量的时隙数;SuRyun Lee 等提出一种增强型的动态帧时隙的 Aloha^[23],当 tag 和时隙有相同数量时,吞吐率最大达 36.8%;总之,以时隙随机分派为基的 Aloha 不复杂,不难实现,应用于成本低的 RFID 系统。

通过多次比较把不相同的序号挑选出来是二进制搜索法的核心。这种算法通信量大,系统的识别时间较长识别率并不高,在大量 tag 场合适用。我国的学者也提出了很多基于二进制算法的改良算法,例如:余松森等人先后提出了“后退式索引的二进制树形搜索”算法^[24]、“修剪枝的二进制树形搜索”算法^[25]。东南大学的武强等提出“UFH 频段的二进制防碰撞算法”等,使二进制搜索法趋于完善^[26]。

通过不断对防碰撞算法进行改进、优化,在克服算法本身问题的同时不可避免地带来了一些新的困难,进而促进了防碰撞算法的发展。表 2 列举出了最具代表性的 tag 防碰撞算法的发展历程、技术难点和改进方向。

表 2 时分多路的 tag 防碰撞算法的改进

Aloha 算法		二进制树搜索算法	
名称(按发展历程)	改进后问题	名称(按发展历程)	改进方式
纯 ALOHA 算法	易发生碰撞和误判	二进制搜索算法	改进了 ALOHA 算法信道利用率低的问题
时隙 ALOHA 算法	所有标签同步问题	动态二进制搜索算法	减少二进制搜索算法的中数据冗余位
帧时隙 ALOHA 算法	大量标签读取时间长,少量标签时隙资源浪费	锁位后退二进制搜索算法	搜索次数减少
动态帧时隙 ALOHA 算法	标签多时隙少时碰撞严重	跳跃式动态二进制搜索算法	减少数据发送冗余位和查询次数

综上所述,“基于树的防碰撞算法”有较高的识别率,而“基于 ALOHA 的算法”实时性比较好,我们可以整合它们的优点、缺点选择合适的算法,如:“ALOHA 类”主要用于较少的 tag,而“二进制类”则在 tag 较多时经常使用。另外,全球的专家们提出了很多创新的“混合的算法”,将这些算法的优点整合,使系统性能升级。现在比较主流的有两种整合思想:时间分离的思想(双时隙),它是针对树的算法基础上进行的;二进制分离思想,它是建立于“ALOHA”的基础上,对碰撞的时隙使用^[27]。

5 结语

本文详细总结了 RFID 系统的特性、工作原理、定位方法,
(下转第 96 页)

- prise architecture analysis based on enterprise architecture quality attributes[J]. Knowledge and information systems, 2011, 28(2): 449-472.
- [7] 裴求根. 面向电网企业信息化顶层设计的企业架构研究[J]. 商品与质量, 2012(3): 262-263.
- [8] Zhang C, Wang F. Construction of forestry e-government system based on Zachman frame theory [C]//E-Business and E-Government (ICEE), 2011 International Conference on. IEEE, 2011: 1-4.
- [9] 甘明鑫. 企业体系结构的建模框架研究[J]. 中国管理信息化, 2009, 12(15): 16-19.
- [10] 王元放. 基于三大要素系统的上海城市管理信息系统基本框架研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [11] Zachman J A. Enterprise Architecture; The Issue of the Century [J]. Database Programming & Design, 2007, 10(3): 44-57.
- [12] Santos F J N, Santoro F M, Cappelli C. Crosscutting concerns at enterprise architecture level [C]//Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011: 345-350.
- [13] 胡一波. Zachman 框架在 EA 中的比较优选应用浅析[J]. 商情, 2011(15): 171.
- [14] GB/T 20274-2008. 信息安全技术信息系统安全保障评估框架[S]. 北京: 国家质检总局, 2008.
- ications, 2013, 20(6): 36-41.
- [7] Song Wei, Li Mengli. Localization in Supermarket Based on RFID Technology [J]. Procedia Engineering, 2012, 29: 3779-3782.
- [8] 吴浩权, 吴哲夫, 袁荣亮, 等. 基于 RFID 的室内无线定位技术研究[J]. 电声技术, 2013, 37(3): 76-78.
- [9] Aposolia Papapostolou, Hakima Chaouchi. RFID-assisted indoor localization and the impact of interference on its performance [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2011, 34: 902-913.
- [10] Hossain M M, Prybutok V R. Consumer acceptance of RFID technology: an exploratory study [J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2008, 55(2): 316-328.
- [11] Horiginal T, Wda T, Ota Y, et al. A multi-sensing-range method for position estimation of passive RFID tags [C]//IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, 2008: 208-213.
- [12] Keyvan Kashkouli Nejad, Xiaohong Jiang, Michitaka Kameyama. RFID-based localization with Non-Blocking tag scanning [J]. Ad Hoc Networks, 2013, 11: 2264-2272.
- [13] Guangjie Han, Deokjai Choi, Wontaek Lim. Reference node placement and selection algorithm based on trilateration for indoor sensor networks [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2009, 8(9): 1017-1027.
- [14] Ali Motamedi, Mohammad Mostafa Soltani, Amin Hammad. Localization of RFID-equipped assets during the operation phase of facilities [J]. Advanced Engineering Informatics, 2013, 27: 566-579.
- [15] Piotr Mirowski, Dimitrios Miliotis, Philip Whiting, et al. Probabilistic Radio-Frequency Fingerprinting and Localization on the Run [J]. Bell Labs Technical Journal, 2014, 4(18): 111-133.
- [16] Nan Li, Burcin Becerik-Gerber. Performance based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment [J]. Advanced Engineering Informatics, 2011, 25(3): 535-546.
- [17] 邹学玉, 韩付伟. 基于 LANDMARC 的最近邻居改进算法 [J]. 武汉大学学报, 2013, 59(3): 255-259.
- [18] 李军怀, 张果谋, 于蕾, 等. 具有环境自适应性的虚拟参考标签定位方法 [J]. 应用科学学报, 2013, 31(4): 402-410.
- [19] 刘康. 基于无源 RFID 标签防碰撞算法的研究 [D]. 山东: 山东大学, 2012: 15-16.
- [20] 李青青. RFID 防碰撞算法研究 [D]. 江西: 南昌航空大学, 2012: 23-26.
- [21] 张文解. RFID 系统防碰撞算法研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2012: 13-15.
- [22] Yu J X, Liu K H, Yan G. A Nove RFID Anti-collision Algorithm Based on SDMA [C]//the 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008: 2887-2890.
- [23] Su Ryun Lee, Sung Don Joo, Chae Woo Lee. An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm for RFID Tag [C]//IEEE Proceedings of the Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'05). San Diego: IEEE CS Press, 2005: 166-172.
- [24] 余松森, 詹宜巨, 彭卫东, 等. 基于后退式索引的二进制树形搜索反碰撞算法及其实现 [J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(16): 26-28.
- [25] 余松森, 詹宜巨. 基于修剪枝的二进制树形搜索反碰撞算法与实现 [J]. 计算机工程, 2005, 31(16): 217-218.
- [26] 侯胜宇, 冯锋. 一种改进的二叉树型 RFID 防碰撞算法 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(4): 129-133.
- [27] 曹梦如, 乔玉龙, 辜丽川, 等. 基于 ID 预测的 RFID 防碰撞算法 [J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(10): 94-98.

(上接第 3 页)

并重点对各定位算法以及定位过程中存在的 tag 防碰撞算法的发展情况和算法原理进行了比较和分析。相比于 AOA、TOA、TDOA 等定位方法, 基于 RSSI 的定位方法抗干扰性相对较高, 更容易实现。LANDMARC 系统结构简单、方便灵活、定位精度高, 是 RSSI 定位的首选。标签防碰撞算法中, 基于树的防碰撞算法识别率较高, 基于 ALOHA 的算法实时性较好, 在实际应用中, 应综合考虑他们的优缺点, 标签较少时, 可优先选择 ALOHA 算法, 而在标签较多时, 可以考虑使用二进制树防碰撞算法。复杂环境下, 可以采用二者的混合算法, 可以达到更高的定位精度。目前, RFID 定位技术已成功实现矿井人员定位、监狱人员定位和医院病人定位管理, 有效地减少了矿难的发生, 加强了对犯人和病人的监管。随着 RFID 技术不断向着小型化、集成化、智能化的方向发展, RFID 室内定位将应用于精度要求更高、更复杂的环境。以不增加成本和系统复杂性为前提, 提高系统的实时性、稳定性、识别准确性和定位精度, 是 RFID 硬件技术和算法研究的趋向和意义所在。

参 考 文 献

- [1] 刘君. 室内定位系统研究 [D]. 安徽: 安徽大学, 2011: 6-8.
- [2] 胡志坤, 蒋英明, 王文祥, 等. 基于 ZigBee 的井下人员精确定位方案及实现 [J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(5): 159-162.
- [3] Ali Montaser, Osama Moselhi. RFID indoor location identification for construction projects [J]. Automation in Construction, 2014, 39: 167-179.
- [4] Yu Huangang, Huang Gaoming, Gao Jun, et al. Approximate Maximum Likelihood Algorithm for Moving Source Localization Using TDOA and FDOA Measurements [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2012, 25(4): 593-597.
- [5] Xiuyan Zhu, Yuan Feng. RSSI-based Algorithm for Indoor Localization [J]. Communications and Network, 2013, 5: 37-42.
- [6] Wu Ling, Huang Liya. Improvement of location methods based on RFID [J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommu-