

射频识别动态定位方法

李程, 钱松荣

(复旦大学 信息科学与工程学院, 上海 200433)

摘要: 提出一种新型的通过参考标签和移动 RFID 射频读写器进行定位的方法。该定位方法的主要优点是不需要记录任何测量信息如 TOA、RSSI 等, 而是通过移动读写器, 不断对目标标签和参考标签进行读取, 经椭圆还原算法对读区域进行还原, 最终以交集计算实现定位。该方法思路简单, 但实现了较高精度的 RFID 室内定位。实验结果表明, 该定位方法的精度可在最小的参考标签单元格内 (可到达数十厘米级), 同时建立的原型定位系统具有成本低、易于部署等特点, 存在应用于大规模 RFID 仓储定位管理的可行性。

关键词: 射频识别; 室内定位; 移动读写器; 参考标签

中图分类号: TN925.93

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2013)04-0144-05

RFID dynamic positioning method

LI Cheng, QIAN Song-rong

(School of Information Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: A novel proximity method-RFID dynamic positioning method was presented, using a moving radio frequency identification (RFID) reader to accurately position the target based on reference tag arrays. The major advantage of the method was that through reading tags without any measurement data, e.g., the time of arrival (TOA) or the received signal strength indication (RSSI), it improved the accuracy of positioning target based on reference tags and a moving reader. The algorithm was simple but useful. Based on the performance of the prototype system, it demonstrated that the proposed system could accurately position in one of the smallest reference tag cell (within dozens of centimeters) and could be deployed easily with low cost, thus has potential application in RFID warehouse management.

Key words: RFID; indoor positioning; moving reader; reference tags

1 引言

近年,随着 RFID (radio frequency identification) 应用的广泛开展,如何高效率、高精确度、低成本地定位 RFID 标签,成为了 RFID 大规模部署的重要问题。以仓储管理为例,货品在 RFID 的管理系统中贴有 RFID 标签,用以唯一识别。如果在仓库中能够快速定位目标标签的位置,从而找到货品,将会非常有效地改进整个仓储管理过程,大大节省时间和人力成本。由此,出现了一系列运用 RFID 进行室内标签定位的研究和应用^[1]。

按照具体的定位方法,可以大致将 RFID 室内定位分为 3 类:距离估计、场景分析和近似估计。距离估计^[2]主要是运用 RSS (received signal strength)、

TOA (time of arriving)、RSP (received signal phase) 等参数,根据特定的物理模型或者几何模型对于距离进行估算;场景分析^[3],一般是预先建立基于 RSS 参数值的先验分布图,然后根据概率模型、 k -NN (k -nearest neighbor) 模型等做出相应的分析,实现定位;这两大类方法要求 RFID 读写设备上有度量特定物理参数的模块,通过收集参数,进行运算实现定位。但是大多 RFID 设备出于成本考虑并没有应用这些测量模块,或者模块的测量精度并不能满足定位的需要。同时,该方法需要收集的度量信息易受到环境的干扰,容错率低。近似估计^[4]利用是否读到标签这一个简单的条件,通过设计相应的天线、布局读写器等,得到一个目标标签大致所在区域,从而进行位置估算。它的优点是仅用最基本的读标签

操作作为定位的依据,实现定位。这种方法的抗环境干扰能力较强。但这一类方法由于仅利用了读标签这一信息,一般很难得到精确的定位结果。

本文提出了一种全新的属于近似估计类的 RFID 标签定位的算法,实现运用一个便携式长距离读写器(没有特殊测量模块)和一组参考标签,得到高精度、高效率、低成本的定位 RFID 标签。系统的应用模型如图 1 所示,仓库管理人员可以手持 RFID 读写器,在移动中借助参考标签找寻贴有目标标签的货物。

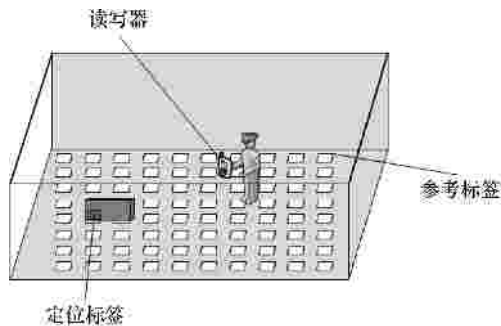


图 1 射频识别动态定位使用场景

通过在实验室中搭建的超高频 RFID 定位原型系统的验证,新提出的定位算法的平均精度小于最小参考单元。该方法的实用性较高,系统成本较低,仅运用一个读写器和参考标签便可以定位。对于 RFID 室内定位在仓库管理中的应用有重要作用。

2 相关研究

2.1 交集通信区域

文献[5]给出了在无线 ad hoc 网络中的一种分布定位算法。该算法模拟理想的通信区域,并将区域划分为均匀的正方形小单元格。由于通信区域的随机分布,会出现区域互相有交集的情况。当目标进入某些通信区域时,通过计算其经过的最密集的重叠区域,估计目标的大致位置。

虽然在精度上存在局限,但这个算法诠释了如何运用近似估计的方法,利用通信区域的交集来进行目标的基本定位原理。

2.2 运动读写器进行目标定位

文献[6]提出了一种运用于建筑工地的通过运动读写器来进行标签定位的应用。在这个方法中,RFID 读写器被装上了 GPS 系统。通过 GPS 系统,可以确定 RFID 读写器的大体位置。假定 RFID 读写器的读写半径是已知的,这样,当读到标签时,表明目标是在这个半径范围里。通过不断地移动读写器读到标

签,并用 GPS 确定读区域的中心(读写器位置),得到多组相互交叠的读区域。而目标标签会存在于所有读区域的公共交集中,从而确定目标位置。

该方法提出了通过移动读写器来定位目标标签的想法,但该方法用 GPS 来进行读区域中心的确定,在精度上存在着很大的误差,平均误差在米量级。

2.3 参考标签定位

LANDMARC^[7]是 RFID 室内定位中利用参考标签定位的一个方法。通过几个读写器和一组参考标签,收集信号强度的度量数值,从而由信号强度计算距离,运用 kNN 方法进行定位。

该方法的优点是运用参考标签提高了定位精度。但是由于需要收集信号强度的数值,对于普通的 RFID 设备并不能简单地运用该方法。同时部署多个读写器来提供定位参数,提高了定位系统的成本。

2.4 近似估计概率定位算法

文献[8]提出了应用于机器人导航,用概率的方法来进行近似估计定位的算法。

该方法事先在读写器的电磁场覆盖区域中测定标签处于不同位置的出现概率,之后通过概率计算以实现目标标签的定位。算法的复杂度不高,但是需要在实验前进行电磁场覆盖区域的精确度量,同时在应用中不能改变天线相对地面的高度。因此系统的容错性较低,不易部署应用。

3 射频识别动态定位方法

本文提出的动态 RFID 标签定位算法在流程上分为 4 个部分:系统初始;记录“边缘跳变”的数据;通过数据以椭圆模型还原读写区域;计算多个椭圆的交集从而定位目标。

3.1 系统初始

RFID 读写器:需要长距离读写器(可以是超高频或者有源读写器)。初始位置不影响性能,但需要在部署好的参考标签方阵中。

RFID 参考标签:对应着所使用的读写器,该类型的 RFID 参考标签被部署为 $K \times K$ 的方阵。 L 是表示方阵的最小正方形单元的边长。由于每个参考标签在部署前便会有一个唯一的已知 ID,同时部署参考标签时其绝对坐标已知。因此整个部署的参考标签的 ID 同实际坐标位置的映射关系为

$$\begin{pmatrix} ID_1 & L & ID_K \\ M & O & M \\ ID_{K \times (K-1)} & L & ID_{K \times K} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1,1) & L & (K,1) \\ M & O & M \\ (1,K) & L & (K,K) \end{pmatrix} \quad (1)$$

定义 ID_0 代表目标标签，同时它的位置可以表示为 $(x_i, y_i), (0 \leq x_i, y_i \leq K)$ 。

3.2 记录“边缘跳变”的数据

假想读写器的电磁场在二维截面上会形成一个读写范围，标签在该读写范围内将会被检测到。随着读写器的运动，标签和读写范围之间会出现 2 种“边缘跳变”的情况：标签刚刚进入读写范围；标签刚刚离开读写范围。在理想状况下（读写器的读写范围不会从该二维截面上消失），无论读写范围在二维截面上呈何种形状，当跳变出现时，标签都是刚好在读写范围的边界上。

“边缘跳变”出现时，用读写器记录下此时读到的参考标签的全部 ID，记作 R_i 。随着读写器的移动，将出现 N 次“边缘跳变”的情况。这样对于目标位置，收集一组相关的读写范围的边缘数据 $[R_1, R_2, R_3, \dots, R_N]$ 。

3.3 通过数据以椭圆模型还原读写区域

在理想模型中，读写器的读写范围在二维截面上被视为圆形^[9]，圆形的对称性有利于计算处理。但是实际上读写范围在二维截面上呈现的是一个非规则性的形状。通过 RFID 天线辐射的理论设计以及电磁场辐射理论，在理想模型中辐射出去的电磁场的横截面一般为椭圆^[10,11]。为了得到简单而且逼近真实的读写范围，本文采用椭圆模型对读写范围进行逼近。

对于每个 R_i ，都可按照其还原出一个读写区域的边界。图 2 可视化了还原的过程。

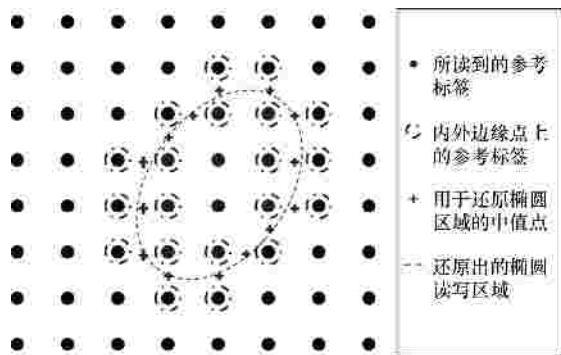


图 2 整个还原重建读写区域边界的过程

1) 通过 R_i 重建 ID 所对应的二维分布情况。根据方程(1), 可以将读到的 ID 置为 1, 没有读到的置为 0。这样就会得到一个 0-1 矩阵。这一步表示为

$$R_i(x, y) \rightarrow M_i(x, y) \quad (2)$$

2) 找到对应区域的内外边缘。内边缘即读到的

参考标签所围成区域的最外一圈；外边缘是与内边缘相邻的没有被读到的参考标签。

可由梯度公式求得该内外边缘

$$\nabla^2 M_i(x, y) = \frac{\partial^2 M_i(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_i(x, y)}{\partial y^2} \quad (3)$$

得到区分出内外边缘的矩阵记为 $M_i'(x, y)$ 。提取内外边缘中间的位置坐标，记作向量组 W_i 。这一步可以有效地为下一步还原椭圆提供更精确的一组数据点。

3) 用椭圆模型还原读写区域。对于椭圆的还原^[12,13]，可根据椭圆公式

$$ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0 \quad (4)$$

通过已知点 W_i ，可以解出 a, b, c, d, e, f ，从而求得椭圆的边界，记作 E_i 。

3.4 计算交集区域并定位目标标签

在理想的情况下，“边缘跳变”被瞬时捕获，还原得到的读区域边界恰好能反映出读写范围，此时的边界记为 E_i' ，那么任意的 3 个边界必交于一点。如图 3 所示，此点必为目标标签所在位置，即

$$P = \bigcap_{i=1}^N E_i' \quad (5)$$

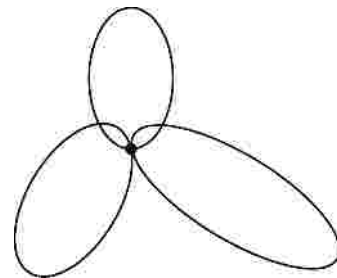


图 3 理想状态下还原的读写范围均交于一点

而实际中，得到的是一个交集区域而非一个交点

$$(x_i, y_i) \in \bigcap_{i=1}^N c(E_i) \quad (6)$$

其中， $c()$ 表示还原得到的读区域边界所围成的形状。目标标签便落在了所有边界公共的叠交区域中。这个区域是在现有信息下有效的定位区域。

为了方便统计误差，再估算出该区域中的平均中心为定位点，记作 (x_0, y_0) ，如图 4 所示，利用公共的交集区域进行最后定位。

$$P' = \{(x, y) | P \in \bigcap_{i=1}^N c(E_i)\} \quad (7)$$

$$(x_0, y_0) = \frac{\sum P'}{N(P)} \quad (8)$$

其中， $N()$ 表示集合中点的数量。

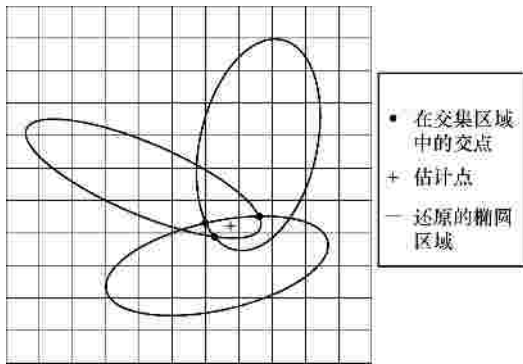


图 4 利用公共交集区域定位

4 实验结果与分析

实验原型系统的搭建如下：选择超高频 RFID(915 MHz) 作为实验中的读写器。满足同时读到多个标签并且读写范围适中。读写器由实验室自行研制，读写范围在 2.5~3m。选用 915 MHz 无缘 RFID 标签，工艺简单、成本低廉。摆成 7×7 的正方形单元阵列。

误差定义为

$$e = \sqrt{[(x_i - x_0)L]^2 + [(y_i - y_0)L]^2} \quad (9)$$

其中， L 是最小单元格的边长。

4.1 用不同个数的还原边界定位对精度的影响

在这组实验中，最小单元为 40cm×40cm，并且对每个定位点随机取了 3 个和 5 个还原出的椭圆区域进行最后目标点的定位。

如图 5 所示，在 2 种应用不同数量的还原读区域定位的条件下，定位的平均误差均小于最小单元的长度。相对于用 3 个还原椭圆进行的定位，使用 5 个还原出的椭圆读区域估计最后的目标位置，在平均的精确度上有一定的提升，但并不显著。原因在于在最小单元确定的条件下，本方法的定位精度取决于对于“边缘跳变”的准确记录以及精确地用椭圆逼近最后的读写区域。理想状况下，任意 3 个椭圆均可定位出目标点。因此用 3 个椭圆进行最后的定位并没有造成很大的偏差，而用 5 个椭圆进行定位只是对最后的定位结果进行了平均，修正了某些偏差。这种平均在某些情况下，会使得 3 个椭圆的还原精度超越了 5 个椭圆。

因此该实验的精度和使用多少还原的椭圆去定位并没有很大的关系。

4.2 参考标签最小单元的大小对于定位精度的影响

本文分别选取 40cm×40cm 的最小单元以及 60cm×60cm 的最小单元作为参考阵列的最小尺寸来进

行实验，均用 3 个还原椭圆对目标进行定位（已经证明用 3 个椭圆与 5 个椭圆进行定位的效果无大的差异）

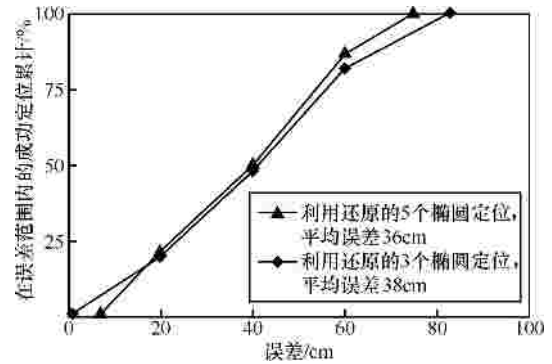


图 5 用不同个数所还原区域定位对精度的影响

如图 6 所示，2 种情况下定位的平均误差均小于所对应的参考标签的最小单元长度。同时对于不同的最小参考单元格，平均误差和最小单元边长的比值基本保持不变。这表明该算法具有稳定的随最小单元格变小而同时提高精度的特性。

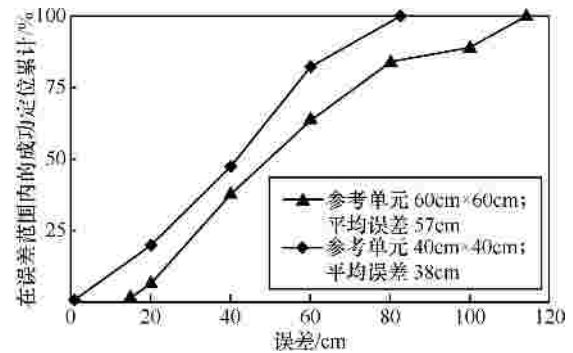


图 6 参考单元大小对于定位精度的影响

同时发现在 40cm×40cm 的条件下“边缘跳变”时读到的参考标签大概在 4~10 个。而在 60cm×60cm 的情况下读到的参考标签数目是 3~7 个。对于这 2 种情况，用了相同的椭圆逼近算法。在本文的方法中，读到 4~8 个参考标签的读写区域的还原性会更为优异。

因此在未来可以考虑根据读到不同的标签个数，加入椭圆还原的自适应算法以提高定位精度。

4.3 目标在参考阵列边缘的定位性能

选取最小单元为 40cm×40cm 的阵列，用 5 个还原区域对目标进行定位。

如图 7 所示，在参考阵列边缘上进行目标的定位，得到的误差明显大于非边缘上的情况。这是由于算法运用了参考标签来还原读写区域。当目标在边缘时，关于参考标签的信息收集具有不可恢复的残缺，会导致还原出的读写区域有较大误差。

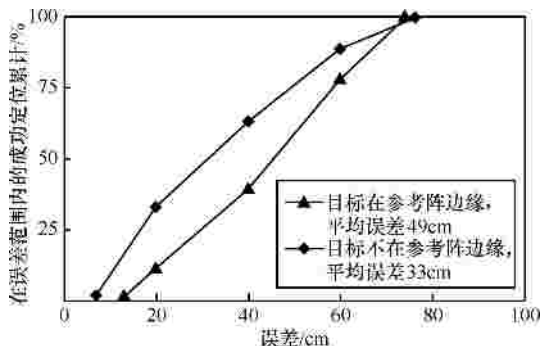


图 7 目标标签在参考阵列边缘的定位精度

考虑采取统计边缘参考标签的出现频率进行辅助定位,可以相对有效地解决这一问题。即认为,边缘上参考点被读到的次数越多,实际中目标标签更靠近该边缘参考点。由此通过椭圆还原出读区域的定位结果进行矫正,矫正结果如图 8 所示。对比图 7 可以看到,在边缘上经矫正的定位点的精度有了大幅提高,接近目标不在参考阵边缘的定位精度。

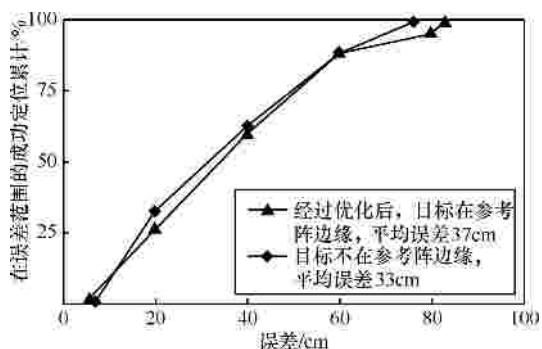


图 8 经优化的目标标签在参考阵列边缘的定位精度

5 结束语

本文设计的基于读写器移动和参考标签的 RFID 室内定位方法,算法简单,系统部署成本较低,却有相对精确的定位效果,开辟了一种新的室内定位视角。测试系统证明,该方法具有良好的定位性能,有部署于 RFID 仓库管理的应用潜力。

参考文献:

[1] ZHOU J Y, SHI J. RFID localization algorithms and applications a review[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2009, 20(6):695-707.
 [2] HIGHTOWER J, VAKILI C, BORRIELLO C, et al. Design and Calibration of the Spot on ad-hoc Location Sensing System[R]. Washington: Department of Computer Science and Engineering, University of Washington, Seattle, WA, 2001.

[3] REZA A, GEOK T K, DIMYATI K. Tracking via square grid of RFID reader positioning and diffusion algorithm[J]. Wireless Personal Communications, 2011, 61(1):227-250.
 [4] HE T, HUANG C D, BLUM B M, et al. Range-free localization schemes for large scale sensor networks[A]. MobiCom '03 Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking[C]. 2003.
 [5] SIMICS N, SASTRY S. Distributed localization in wireless ad hoc networks[A]. Proceedings of Acoustics, Speech, and Signal Processing, [C]. 2001. 2037-2040.
 [6] SONG J C, HAAS C T, CALDAS C H. A proximity-based method for locating RFID tagged objects[J]. Advanced Engineering Informatics, 2007, 21:367-376.
 [7] NI L M, LIU Y H, LAU Y C, et al. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID[J]. Wireless Networks, 2004, 10:701-710.
 [8] DIRK H, WOLFRAM B, DIETER F, et al. Mapping and localization with RFID technology[A]. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation[C]. 2004. 1015-1020.
 [9] WANG C, WU H Y, TZENG N F. RFID-based 3-D positioning schemes[A]. IEEE INFOCOM International Conference on Computer Communications[C]. 2007. 1235-1243.
 [10] ALIBERTI R, GIAMPAOLO E D, MARROCCO G. A model to estimate the RFID read-region in real environments[A]. The 38th European Microwave Conference[C]. 2008. 1711-1714.
 [11] CHEN Z N, QING X M, CHUNG H L. A universal UHF RFID reader antenna[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2009,57(5):1275-1282.
 [12] FITZGIBBON A W, PILU M, FISHER R B. Direct least squares fitting of ellipses[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999,21(5):476-480.
 [13] TAUBIN G. Estimation of planar curves, surfaces and non planar space curves defined by implicit equations, with applications to edge and range image segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(1):1115-1138.

作者简介:



李程 (1987-), 男, 北京人, 复旦大学硕士生, 主要研究方向为 RFID 室内定位和 RFID 应用系统。



钱松荣 (1963-), 男, 上海人, 复旦大学教授, 主要研究方向为网络安全、舆情分析和 RFID 应用系统等。