

RFID 读写器网络的跟踪算法研究

刘 快, 纪志成

(江南大学物联网工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 针对读写器密集分布且位置固定, 标签在其读写范围内移动的 RFID 系统需要对标签进行识别和跟踪的问题, 提出一种改进的虚拟路由跟踪算法, 对移动的标签进行跟踪, 分析当标签同时被多个读写器读取或被读写器漏读时数据出现异常的处理方法。结果证明该算法可减少误差引入的来源, 并且在处理异常情况时不受读写器个数的限制, 保证当标签被多个读写器同时读取或被读写器漏读时, 仍能够对标签进行跟踪, 使得 RFID 读写器网络有较好的鲁棒性。

关键词: 无线射频识别; 读写器网络; 跟踪; 定位; 虚拟路由跟踪算法; 移动标签

Research on RFID Reader Network Tracking Algorithm

LIU Kuai, JI Zhi-cheng

(School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

【Abstract】 According to the situation that readers are distributed densely and tags move randomly, it is necessary for Radio Frequency Identification(RFID) system to identify and track tags. This paper proposes an improved Virtual Route Tracking(VRT) algorithm to tracking tags, and comes up with the method to process the abnormal situation that a tag is inducted by more than a reader at the same time or leaked by readers. The results show that the algorithm reduces error sources of introduction and beyond the restrictions of reader number, so that the tag is always tracked even in abnormalities, and ensures that the RFID network has preferable robustness.

【Key words】 Radio Frequency Identification(RFID); reader network; tracking; location; Virtual Route Tracking(VRT) algorithm; moving tag

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.18.067

1 概述

随着移动计算设备、无线技术和普适计算的发展, 无线射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)系统对标签的识别已经不能满足技术发展的需求, 对贴有标签物品的跟踪开始受到越来越多的关注。目前 RFID 对标签跟踪技术的研究主要是通过通过对标签的定位来实现的。虽然 RFID 有着非接触、非视距、低成本、弥补 GPS 用于室内定位精度的不足等优点, 但其定位依据的都是以接收信号强度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI)为背景^[1-7]。根据文献[8]中的实验结果可知, 即使读写器和标签位置都固定的情况, 标签信号强度值并不唯一, 其强度值分布类似于正态分布。而信号在实际的传播过程中, 总会受到很多不稳定的未知干扰, 这就使得基于 RSSI 和插值的 RFID 定位的方法可靠性比较低。上述文献中考虑的仅仅是标签的定位, 没有针对标签移动的情况做出具体的分析, 如标签在一定区域内移动时, 在不同时间由不同的读写器读取移动标签的信息。本文在此基础上, 提出一种改进的虚拟路由跟踪算法。

2 虚拟路由跟踪算法

多个 RFID 读写器在一定区域内工作, 通过无线的方式进行通信, 组成 RFID 读写器的 Ad hoc 网络^[9]。用于连接 RFID 读写器的 Zigbee、UWB、Bluetooth、Wi-Fi 的有效工作距离可以达到 100 m, 以多跳的方式组成的 RFID 读写器 Ad hoc 网络覆盖范围可以达到数百米甚至上千米, 而读写器对标签的读取范围只有几十厘米或者二三米^[10]。所以可以近似用读取标签的读写器的位置来标识标签的位置, 因此, 称为虚拟路由, 如图 1 所示。实际情形中读写器的分布是不规则的, 本图将读写器按照矩阵的形式排列仅仅是便于理论说明。因为标签的移动具有连续性, 所以感应到标签的读写器也是连续的。如图 1 标签被感应到的读写器的顺序依次为(1,1)、(1,2)、(2,2)、(1,3)、(2,3)、(3,3)、(3,4)、(4,3)、(4,2)、(3,1)。在标签移动过程中, 某个读写器感应到标签时就会产生一个数据包, 即跟踪向量 $\langle T_i, t_j, R_k \rangle$, 表示标签 T_i 在 t_j 时刻被读写器 R_k 感应到。RFID 读写器将产生的所有跟踪向量通过网络传输到后台的 RFID 应用系统。

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划基金资助项目(NCET-10-0437)

作者简介: 刘 快(1988—), 女, 硕士研究生, 主研方向: RFID 技术; 纪志成, 教授、博士生导师

收稿日期: 2011-11-22 **修回日期:** 2012-01-09 **E-mail:** liukuai07@126.com

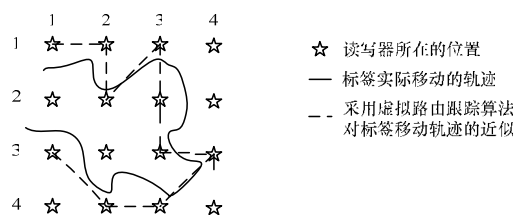


图1 虚拟路由算法的原理

RFID 应用系统接收到许多读写器传来的跟踪向量, 首先按照标签的 ID 号分组, 然后将每组的跟踪向量按照时间顺序排列, 就可以得到每个标签的移动轨迹。以 2 个跟踪向量为分析 RFID 应用系统对跟踪向量的处理。系统接收到的跟踪向量如下面的集合所示:

$$\{ \langle T_1, t_1, R_1 \rangle, \langle T_2, t_2, R_2 \rangle \}$$

(1) $T_1 = T_2$, 说明跟踪向量是由同一个标签产生的。在时刻 t_1 由读写器 R_1 感知, 在时刻 t_2 由读写器 R_2 感知; $T_1 \neq T_2$, 说明跟踪向量是由 2 个不同的标签产生的, 在时刻 t_1 读写器 R_1 感知到标签 T_1 , 在时刻 t_2 读写器 R_2 感知到标签 T_2 。(2) $t_1 > t_2$, 说明第 1 个跟踪向量先产生, 经过时间 $t_1 - t_2$ 第 2 个跟踪向量产生; $t_1 < t_2$, 说明第 2 个跟踪向量先产生, 经过时间 $t_2 - t_1$, 第 1 个跟踪向量产生; $t_1 = t_2$, 说明 2 个跟踪向量同时产生, 若 $T_1 = T_2$, 则 2 个跟踪向量为同一个跟踪向量。(3) $R_1 \leftrightarrow R_2$, 表示读写器 R_1 与 R_2 相邻; $R_1 \infty R_2$, 表示读写器 R_1 与 R_2 不相邻; $R_1 = R_2$, 表示 R_1 与 R_2 是同一个读写器。

文献[10]提出了一种虚拟路由跟踪算法(Virtual Route Tracking, VRT), 在处理标签被读写器漏读的情况仅采用的是两相近读写器的中点, 而实际中相邻的读写器可能不止 2 个, 对于一般情况缺乏适用性。文献[11]在文献[10]的基础上对有 3 个读写器同时读取标签的情况采用基于场强定位算法来确定标签的位置, 同时对于有 2 个以上读写器漏读标签的情况取其中的 3 个权重最大的读写器取其外心作为标签所在的位置, 但漏读标签的读写器中漏读的概率是相同的, 无法确定权重的大小; 而且基于场强的定位算法本身就具有不确定性, 会造成一定的误差。本文分别针对标签被多个读写器感应和被读写器漏读的情况进行分析, 提出了一种与读写器个数无关的普遍方法。

3 改进虚拟路由跟踪算法

3.1 多个读写器同时感应情况

3.1.1 2 个读写器同时感应情况

2 个读写器同时感应一个标签, 如图 2 所示, 即存在跟踪向量集合 $\{ \langle T_i, t_{j-1}, R_p \rangle, \langle T_i, t_j, R_1 \rangle, \langle T_i, t_j, R_2 \rangle, \langle T_i, t_{j+1}, R_n \rangle \}$ 。

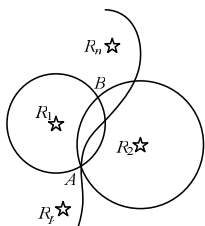


图2 2 个读写器同时感应到 1 个标签的情况

由于 R_1 和 R_2 是在时刻 t_j 同时感应到标签 T_i 的, 因此标签必然经过 A 点。读写器 R_1 和 R_2 的位置 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 与工作半径 r_1 、 r_2 都是已知的, 再根据标签移动的方向就可以定位标签的位置。由:

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = r_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = r_2^2 \end{cases}$$

可以求得 2 组解 (x_{A1}, y_{A1}) 和 (x_{A2}, y_{A2}) 。

再根据目标函数 $z = \min[(x-x_{pre})^2 + (y-y_{pre})^2]$, 其中, $(x, y) \in \{(x_{A1}, y_{A1}), (x_{A2}, y_{A2})\}$; (x_{pre}, y_{pre}) 表示读写器 R_p 的坐标, 即可确定 A 点的坐标 (x_A, y_A) 。则跟踪向量集合 $\{ \langle T_i, t_{j-1}, R_p \rangle, \langle T_i, t_j, R_1 \rangle, \langle T_i, t_j, R_2 \rangle, \langle T_i, t_{j+1}, R_n \rangle \}$ 可以简化为 $\{ \langle T_i, t_{j-1}, R_p \rangle, \langle T_i, t_j, R_A \rangle, \langle T_i, t_{j+1}, R_n \rangle \}$, 其中, R_A 的坐标即 A 点的坐标。

3.1.2 3 个读写器同时感应情况

3 个读写器感应一个标签和 2 个读写器感应一个标签的情况类似。如有跟踪向量集合 $\{ \langle T_i, t_{j-1}, R_p \rangle, \langle T_i, t_j, R_1 \rangle, \langle T_i, t_j, R_2 \rangle, \langle T_i, t_j, R_3 \rangle, \langle T_i, t_{j+1}, R_n \rangle \}$, 则标签必然经过 A 点。读写器 R_1 、 R_2 、 R_3 的坐标 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 以及工作半径 r_1 、 r_2 、 r_3 均已知。由下式:

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = r_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = r_2^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 = r_3^2 \end{cases}$$

可以求得 1 组解 (x_A, y_A) 或 2 组解 (x_{A1}, y_{A1}) 和 (x_{A2}, y_{A2}) , 分别如图 3(a)、图 3(b)所示。

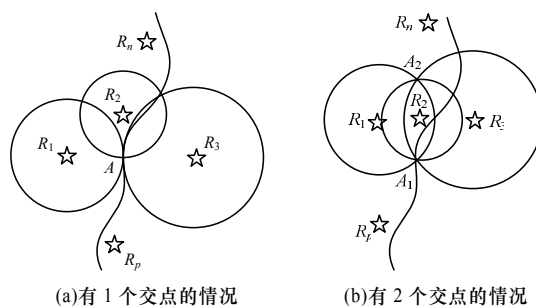


图3 3 个读写器同时感应到 1 个标签的情况

当有 1 组解时, 可确定标签的位置为 $A(x_A, y_A)$; 当存在 2 组解时, 根据目标函数 $z = \min[(x-x_{pre})^2 + (y-y_{pre})^2]$, 其中, $(x, y) \in \{(x_{A1}, y_{A1}), (x_{A2}, y_{A2})\}$; (x_{pre}, y_{pre}) 为读写器 R_p 的坐标位置, 即可确定标签同时进入 3 个坐标的位置 A 。则跟踪向量集合可简化为: $\{ \langle T_i, t_{j-1}, R_p \rangle, \langle T_i, t_j, R_1 \rangle, \langle T_i, t_j, R_3 \rangle, \langle T_i, t_{j+1}, R_n \rangle \} \rightarrow \{ \langle T_i, t_{j-1}, R_p \rangle, \langle T_i, t_j, R_A \rangle, \langle T_i, t_{j+1}, R_n \rangle \}$, 其中, R_A 的坐标即 A 点的坐标。

标签被 3 个以上读写器同时读取的概率比较小, 其处理方法也是类似的。

3.2 读写器漏读标签

标签的移动具有连续性, 感知标签的读写器在连续的时段彼此之间也应该是相邻的。但实际情况中, 可能由于干扰或某个读写器失效等因素造成读写器的漏读。如图 4 所示, 连续 2 个时间段的读写器不相邻, 如有跟踪相邻集

合 $\{ \langle T_i, t_j, R_p \rangle, \langle T_i, t_{j+1}, R_n \rangle \}$, 但读写器 R_p 和 R_n 不相邻。

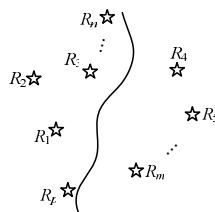


图4 读写器漏读标签的情况

设与读写器 R_p 和 R_n 都相邻的读写器有 m 个, 分别为 $R_1, R_2, \dots, R_m$, 且它们的坐标 $(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, m)$ 均已知。由以下公式可以求得这 n 个读写器的中心位置 $(\bar{x}, \bar{y})$:

$$\begin{cases} \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_m}{m} \\ \bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_m}{m} \end{cases}$$

再根据目标函数 $z = \min_{i=1}^m [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2]$ 就可以确定一个最符合要求的读写器 R_x , $x \in \{1, 2, \dots, m\}$ 。则跟踪向量可以转化为 $\{ \langle T_i, t_j, R_p \rangle, \langle T_i, t_{j+1}, R_n \rangle \} \rightarrow \{ \langle T_i, t_j, R_p \rangle, \langle T_i, \frac{t_j + t_{j+1}}{2}, R_x \rangle, \langle T_i, t_{j+1}, R_n \rangle \}$ 。

4 算法实例分析

如图5所示, 星型表示读写器的位置, 圆表示每个读写器各自工作的范围, 虚线表示读写器之间是相邻的。

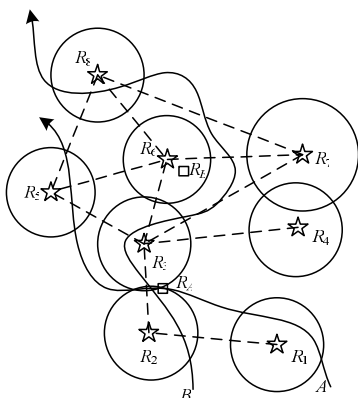


图5 改进虚拟路由算法的实例

现有2个标签分别沿着路径A、B进入读写器网络, 从而后台系统接收到如下的跟踪向量:

$$\begin{aligned} & \left\{ \langle T_A, t_1, R_1 \rangle, \langle T_B, t_2, R_2 \rangle, \langle T_A, t_3, R_2 \rangle, \langle T_A, t_3, R_3 \rangle, \right. \\ & \left. \langle T_B, t_4, R_3 \rangle, \langle T_A, t_5, R_5 \rangle, \langle T_B, t_6, R_8 \rangle \right\} \\ & \xrightarrow{\text{按标签分组}} \left\{ \langle T_A, t_1, R_1 \rangle, \langle T_A, t_3, R_2 \rangle, \right. \\ & \left. \langle T_A, t_3, R_3 \rangle, \langle T_A, t_5, R_5 \rangle \right\} + \\ & \left\{ \langle T_B, t_2, R_2 \rangle, \langle T_B, t_4, R_3 \rangle, \langle T_B, t_6, R_8 \rangle \right\} \\ & \xrightarrow{\text{根据3.1节多个读写器同时感应标签的处理机制}} \left\{ \langle T_A, t_1, R_1 \rangle, \right. \\ & \left. \langle T_A, t_3, R_4 \rangle, \langle T_A, t_5, R_5 \rangle \right\} + \\ & \left\{ \langle T_B, t_2, R_2 \rangle, \langle T_B, t_4, R_3 \rangle, \langle T_B, t_6, R_8 \rangle \right\} \\ & \xrightarrow{\text{根据3.2节读写器漏读标签的处理机制}} \left\{ \langle T_A, t_1, R_1 \rangle, \right. \\ & \left. \langle T_A, t_3, R_4 \rangle, \langle T_A, t_5, R_5 \rangle \right\} + \\ & \left\{ \langle T_B, t_2, R_2 \rangle, \langle T_B, t_4, R_3 \rangle, \langle T_B, \frac{t_4 + t_6}{2}, R_B \rangle, \langle T_B, t_6, R_8 \rangle \right\} \end{aligned}$$

其中, R_A 是通过3.1节确定的标签同时被读写器感应时的位置; R_B 是通过3.2节确定标签被读写器漏读的位置, 用小正方形表示。

5 结束语

针对标签在RFID网络中移动, 本文对改进的虚拟路由算法进行研究, 分析了标签被多个读写器同时读取、读写器漏读标签的情况, 并提出了改进的方法。

与文献中的虚拟路由算法相比, 本文提出的改进虚拟路由算法对一个标签被多个读写器同时读取以及读写器漏读标签的情况与读写器的个数无关, 并且在处理的过程中没有依据RSSI, 从而减少误差的引入, 更具有普适性。在标签被漏读或被多个读写器同时读取的情况下, 依据本文算法的处理机制依然可以确定标签的虚拟路由, 所以对实际现场中存在的干扰具有一定鲁棒性。

参考文献

- [1] Chen Rung-Ching, Lin Yu-Cheng. A Novel Method for Indoor Location Identification[C]//Proc. of the 2nd International Symposium on Aware Computing. [S. l.]: IEEE Press, 2010: 257-262.
- [2] Bekkali A, Matsumoto M. RFID Indoor Tracking Based on Inter-tags Distance Measurement[C]//Proc. of IEEE Wireless Telecommunications Symposium. [S. l.]: IEEE Press, 2007.
- [3] Ni L M, Liu Yunhao, Lau Y, et al. LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID[C]//Proc. of the 1st IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication. [S. l.]: IEEE Press, 2003: 407-415.
- [4] Krishnakumar A, Krishnan P. The Theory and Practice of Signal Strength-based Location Estimation[C]//Proc. of International Conference on Collaborative Computing: Networking, Application and Worksharing. San Jose, USA: [s. n.], 2005: 10-19.
- [5] 闫保中, 姜琛, 尹伟伟. 基于RFID技术的室内定位算法研究[J]. 计算机仿真, 2010, 27(2): 320-324.
- [6] 朱剑, 赵海, 孙佩刚, 等. 基于RSSI均值的等边三角形定位算法[J]. 东北大学学报, 2007, 28(4): 1094-1097.
- [7] 王小辉, 汪云甲, 张伟. 基于RFID室内定位技术评述[J]. 传感器与微系统, 2009, 2(2): 1-3.
- [8] 王晓磊, 江雪婧, 刘晔. 基于RSSI分布模型的RFID定位算法[J]. 信息技术与标准化, 2009, (11): 21-23.
- [9] 王永华. 超高频RFID多读写器部署与协调技术研究[D]. 广州: 中山大学, 2009.
- [10] 蒋伟. RFID与无线网络融合关键理论和技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2008.
- [11] 杨公建, 刘勇, 韩建松, 等. 室内RFID网络跟踪算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(36): 114-117.

编辑 顾逸斐