

物联网中基于 RFID 的移动标签定位方案

郭平¹ 谢磊²

(广东交通职业技术学院信息管理中心 广州 510650)¹ (南京大学计算机科学与技术系 南京 210023)²

摘要 当前基于 RFID 的定位系统无法使用异构移动阅读器按照分布式策略定位移动标签,且定位精度低下。针对这种情况,提出了 LSMT-RFID 系统。该系统使用一组异构移动式 RFID 阅读器来定位移动 RFID 标签,移动阅读器通过时间约束交错过程展开合作,附近的阅读器通过共享询问信息来相应地估计标签位置,并使用主动和被动协议来确保位置信息的及时传输。基于 ns-3 的仿真实验来评估方案的定位能力,重点考察了平均定位误差和定位延时。实验结果表明,本方案能实现有效定位。

关键词 物联网,RFID,阅读器,定位,精度,合作

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Localization Scheme for Mobile Tags Based on RFID in Internet of Things

GUO Ping¹ XIE Lei²

(The Information Management Center, Guang Dong Communication Polytechnic, Guangzhou 510650, China)¹

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University, Nanjing 210023, China)²

Abstract In existing localization systems of using RFID technology, there is a lack of systems that localize mobile tags using heterogeneous mobile readers in a distributed manner, and positioning accuracy is low. We proposed the LSMT-RFID system for localizing mobile RFID tags using a group of ad hoc heterogeneous mobile RFID readers. Mobile readers cooperate with each other through time-constrained interleaving processes, and those readers in neighborhood share interrogation information, estimate tag locations accordingly and employ both proactive and reactive protocols to ensure timely dissemination of location information. Simulation experiments based on ns-3 were set to the positioning capability of the scheme, especially, the average localization error and positioning delay. The results show that the proposed scheme can achieve effective positioning.

Keywords Internet of things, RFID, Readers, Localization, Accuracy, Cooperation

1 引言

日常生活中存在许多智能对象,这些智能对象可以在一定条件下与人类或其他智能对象进行感知、处理和通信^[1]。数百万个这样的智能对象产生了物联网。其中,每一个智能对象都会在具有上下文感知功能、由异构设备组成的物联网中扮演一定角色^[2]。为了使用上下文知识,智能对象必须拥有相应的定位信息^[3]。

人们已经提出多种 RFID 定位系统来实现移动或静止对象的定位,这些系统可以分为阅读器定位或标签定位^[4]。在阅读定位系统中,文献[5]将标签安装于地板上,并呈正方形排列。当阅读器检测到这些标签上的部分标签时,由于已经知道了它们的位置,因此通过使用加权平均方法可以估计出它的位置。然而,为了提高精度,必须要降低标签间的距离,因此需要大量标签,增加了系统成本。文献[6]给出了另一种类似系统,在提高定位精度的同时,通过将大量标签部署为三角形,降低了标签使用量。为了避免参考标签密集部署,文献[7]中的 SLAC-RF 提出一种称为超级标签的专用标签。每个超级标签是多个 RFID 标签的集合,这些标签通过一定

排列来模拟虚拟天线阵列。探测一定区域的移动阅读器,利用接收信号相对于超级标签的相位差以及惯性导航系统测量值来估计位置。虽然该系统的性价比和精度较高,而且基础设施部署起来比较简单,但是只能支持自主式移动机器人应用。

标签定位系统根据多个阅读器的检测事件实现标签定位。这些检测事件发回给中央位置服务器,然后利用三边测量、指纹或概率理论来估计标签位置。文献[8]中的 SpotON 系统利用聚合算法来定位标签位置,忽略了环境动态变化导致的测量不确定性。文献[9]中的 LANDMARC 系统以指纹技术为基础,为了降低 RSS 测量的不确定性影响,提升精度,引入了参考标签概念来校准环境的动态性。文献[10,11]等中的系统与 LANDMARC 类似,通过使用虚拟参考标签降低了参考标签的部署密度。在这些系统中,根据周围真实参考标签的读数来计算每个阅读器每个虚拟参考标签的 RSS 读数。标签定位系统可满足多种应用需求。然而,它们以昂贵而又定点部署的基础设施为基础,稳定性和可拓展性有限,不适用于物联网领域。

为此,本文提出了 LSMT-RFID 系统,以用于被标记对象

本文受国家自然科学基金(61472185/F02080),广东省教育科研“十二五”规划项目(2011TJK076),广东省交通厅项目(201302093)资助。

郭平(1970-),男,硕士,副教授,主要研究方向为 RFID 技术、数据挖掘;谢磊(1978-),男,博士,副教授,主要研究方向为物联网、移动计算。

的分布式定位。LSMT-RFID在3个交错过程中周期性地操作每个移动阅读器,以便:(1)采集标签邻近信息并与周围阅读器交换这一信息;(2)根据采集和交换得到的邻近信息来估计标签位置;(3)利用一种对等机制和推/拉策略来传播标签位置估计。图1给出了LSMT-RFID系统的总体架构。

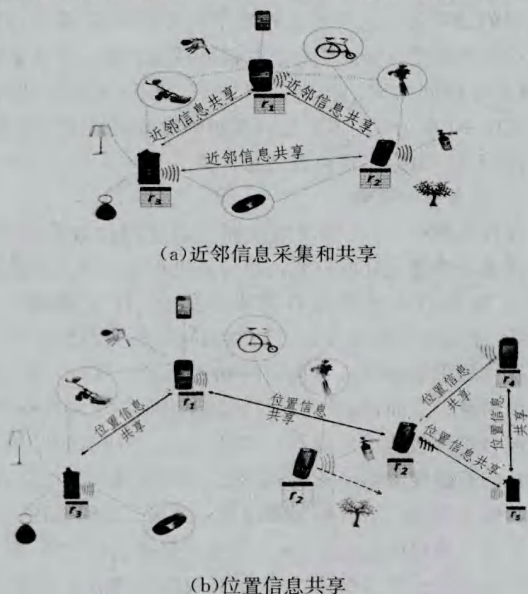


图1 LSMT-RFID系统的总体架构

2 LSMT-RFID系统

LSMT-RFID系统的目标是:

- (1)定位移动对象,可以根据应用需求控制定位精度;
- (2)可以使用现有的移动RFID基础设施进行定位;
- (3)具有稳定性和可拓展性。

为了实现这些目标,LSMT-RFID实现如下3个交错过程:(1)邻近信息采集和共享;(2)位置估计;(3)位置信息传播。本节将重点描述系统组件,明确本文假设,正式描述相关问题并详细阐述各个过程。

2.1 系统组件和标记法

假设RFID系统由 n 个标签和 m 个移动阅读器构成,考虑室外环境下基于移动阅读器的二维标签定位问题。系统包括以下组件:

(1)移动RFID阅读器:由 m 个移动阅读器构成的集合,可按随意轨迹移动。

(2)RFID主动或被动标签: n 个移动或固定标签组成的集合。标签可按随意轨迹移动。

(3)邻近表:每个移动阅读器的表。该表包含关于侦询范围内任意标签的邻近信息(带有时间戳)以及从相邻阅读器中接收到的邻近信息。

(4)位置表:每个移动阅读器的表。该表包含被检测标签的估计位置。表的尺寸的数量级为 (mn) 。

本文使用如下标记法:

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$,表示 m 个移动阅读器组成的集合。

$T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$,表示 n 个移动或固定标签组成的集合。

$NR_i = \{cr_{i1}, cr_{i2}, \dots, nr_{ik}\} \subseteq R$,表示在时间 τ 覆盖标签 t_i 的移动阅读器子集。

$NR_i = \{nr_{i1}, nr_{i2}, \dots, nr_{id}\} \subseteq R$,表示在时间 τ 位于阅读器 r_i 内的移动阅读器子集。

检测间隔,表示在这段时间内,每个 $r_i \in R$ 检测到近邻的标签,更新其近邻表,并与 NR_i 共享这些信息。

定位间隔,表示在这段时间内,每个 $r_i \in R$ 根据手中的近邻信息来估计被检测标签的位置。

更新时间,表示位置更新信息在位置传播过程中的有效时间。

一般来讲,检测时间<定位时间<更新时间。

2.2 问题定义

为了更好地阐述本文问题,假设:(1)每个移动阅读器在任何时候通过一种移动阅读器定位系统(比如GPS、Wi-Fi、锚定器等)均可获得其位置。(2)阅读器可以访问相邻阅读器以共享位置信息。在上述假设的基础上,标签定位问题定义如下。

已知一组RFID标签和Ad hoc移动RFID阅读器,在任何时刻确定每个标签的二维坐标,并与感兴趣设备共享这一位置信息。根据2.1节中的标记法可将该问题进一步描述如下:已知 T 和 R ,对每个 $r_i \in R$ 及对每个定位间隔,利用 CR_i 内阅读器的近邻信息来估计所有被检测 $t_j \in T$ 的坐标 (x_j, y_j) ,并与 NR_i 内的阅读器共享这些位置信息。

2.3 邻近信息采集和共享

在该过程中,移动阅读器在移动时要维护其近邻表。在每个检测间隔, R 中的每个移动阅读器 r_i 侦询其近邻范围内的标签,在其近邻表中为每个被检测标签创建一条检测记录,并与 NR_i 中的所有阅读器共享这些记录。每条检测记录包括:时间、标签的ID、阅读器的ID、阅读器位置、标签至阅读器的距离及一个标记。标记值为0表示为首个近邻信息,以便只对单跳范围内相邻阅读器间的信息共享进行约束,如图2所示。检测记录的数量限制为尺寸等于定位间隔的时间窗,并在此之后进行替换。已知检测间隔小于定位间隔,每个定位间隔可以存储来自阅读器本身或单跳相邻阅读器同一标签的带有时间戳的多个检测记录。这样可以提高精度,降低共线检测概率。为了调整移动标签,可以相对于定位间隔降低检测间隔,以便在每个定位间隔内获得更多检测记录。

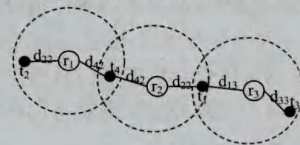


图2 邻近信息共享示意图

表1 阅读器 r_2 处的邻近信息表

时间	标签ID	阅读器ID	阅读器位置	T-R距离	标记
...	t_4	r_2	...	d_{42}	0
...	t_1	r_2	...	d_{12}	0
...	t_4	r_1	...	d_{41}	1
...	t_1	r_3	...	d_{13}	1
...	t_2	r_1	...	d_{21}	1
...	t_3	r_3	...	d_{33}	1

2.4 位置估计

对于静态标记,一般来讲大多数检测记录都有助于提高定位精度。然而,因为标签可能发生移动,所以不是所有的检测记录都有助于定位。在位置估计的预处理步骤中,在考虑检测时间的情况下,应该对检测记录进行过滤,以便去除可能

会降低定位精度的记录。为此,本文将每个检测记录看成一个以阅读器为中心、阅读器至目标标签间(感兴趣标签)距离为半径的圆。从最近的一个圆开始,其他挨个顺延,删除对前面所有圆相交区域没有帮助的圆。算法 1 中给出了完整的位置估计过程,出于简便考虑,图 3 只给出了单个标签的过滤步骤(对应算法 1 中第 3-15 行)。在图 3 中,虚线圆被排除,因为它们对定位精度没有帮助。

算法 1 位置估计

输入:近邻表

输出:位置表

```

1. for each 定位间隔 do
2.   for each 近邻表中的 tagi do
3.     for tagi 近邻表中的每个检测 dj do
4.       if j=1 then
5.         filtered_proximity_info_list.add(dj)
6.       else
7.         to_add_flag=True
8.         for filtered_proximity_info_list 中的每个 dk do
9.           if (dj. 阅读器位置, dk. 阅读器位置) 二者距离 >
              (dj. 距离 + dk. 距离) then
10.            to_add_flag=False
11.            break
12.          end if
13.        end for
14.        if (to_add_flag=True)
15.          filtered_proximity_info_list.add(dj)
16.        end if
17.      end if
18.    end for
19. tagi. 位置 = Estimate_Loc(filtered_proximity_info_list)
20. 更新位置表(阅读器 ID, Get(当前时间), tagi. ID, tagi. 位置,
    filtered_proximity_info_list. 尺寸)
21. end for
22. end for

```

在算法 1 中的位置表更新步骤中,定位标签时使用到的有用检测数量(ud)被加入到位置信息记录中。在下文中,我们将该数量称为精度水平,如果在位置传播过程中出现冲突,则可使用该精度水平来决定哪个位置更为准确(在相同的定位间隔内)。阅读器可以保存陈旧的位置信息,并使用跟踪技术来降低信息量,同时跟踪处于忙碌状态的标签位置。

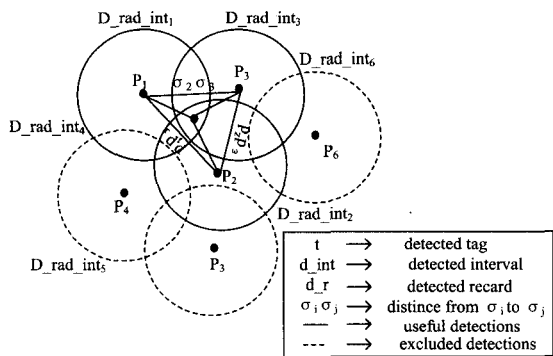


图 3 检测过滤方法

2.5 位置信息传播

上文讨论的近邻信息采集和共享及位置估计过程均有助于每个阅读器知道部分标签的位置。然而,并没有考虑这些

位置交换带来的问题及如何确定未被检测标签位置的问题。在 LSMT-RFID 中,每个阅读器在更新其位置信息表时,可以与其他阅读器共享自身已知信息。当需要某个标签的位置时,阅读器还可以发送位置查询请求。使用集中式策略或对等策略可以实现上述查询。在集中式方法中,阅读器周期性地将它们的位置信息表推送到集中式服务器中,服务器检索目标标签的信息。该方法要求移动阅读器具有相同的通信协议,并能够访问共同的数据库(LSMT-RFID 不是如此)。在对等方法中(本文采用该方法),在相邻设备间传播位置信息,通过使用推拉策略实现位置信息传播。

2.5.1 对等推动策略

在该策略中,每个移动阅读器主动进行位置信息更新。当阅读器在位置估计或位置信息传播过程中更新其位置信息表时,它将向 NR_i 中的所有阅读器发送一个更新消息。因此, NR_i 中的每个阅读器的更新时间间隔和更新消息方法均不相同。如果是回环或与更新时间相比过于陈旧,则阅读器忽略该消息。然而,如果陈旧的更新消息是关于未知标签的,则阅读器将接收该消息但不转发该消息。否则,如果接收到的位置的新鲜度或精度较高,则阅读器更新其位置信息表,并将这些更新推送给其相邻阅读器。算法 2 详细描述了这一过程。这一策略的优点是:标签位置只要被估计出来,那么所有阅读器均将获得这些位置信息;该策略的缺点是:阅读器将要接收到的或是转发给相邻接收器的信息量负载较高。

算法 2 位置信息传播——推动策略

输入:位置更新

输出:更新后的位置表

```

1. for 每个位置更新 do
2.   if 位置更新. 时间 > 当前时间 - 更新时间 then
3.     设置更新消息 = Get location record (T_ID)
4.     设置 NRi = 当前相邻阅读器
5.     向 NRi 发送更新消息
6.   end if
7. end for
8. if 接收到更新消息 UM then
9.   if UM. 阅读器 ID 等于我的 ID then
10.    忽略消息
11.   else
12.    接受更新消息(UM)
13.   end if
14. end if

```

函数:接收更新消息(更新消息)

```

if 更新消息. 时间 < 当前时间 - 更新时间 then
  if 更新消息. 标签 ID 未知 then
    更新位置表(更新消息)
  else 忽略消息
  end if
else if 更新消息. 时间 > 当前时间 - 一定位间隔 then
  if 更新消息. ud > 当前位置记录. ud then
    更新位置表(更新消息)
  end if
end 函数

```

2.5.2 对等拉引策略

在该策略下,移动阅读器从感兴趣阅读器处接收到检索消息前,不会共享其位置信息。这一检索请求可以要求多个

标签。出于简便起见,假设阅读器将检索分为多个标签检索消息,然后阐述这一过程(见算法3)。过程开始时,阅读器向其相邻阅读器发送一个带有时间戳的关于目标标签的检索消息。接收到这一检索的每个阅读器扮演响应者或转发者的角色。如果它有标签的位置信息,则生成一个包含位置信息的回答报文并将该报文发送给其相邻阅读器。否则,将检索请求转发给其相邻阅读器。通过这种方式,检索可以在阅读器间传播,直到找到响应者或者检索请求过期。响应报文沿着相同路径传输,因此扮演转发角色的阅读器可以相应地更新其位置表。与推送策略类似,如果是回环或相对于更新时间过于陈旧,则阅读器忽略检索请求或回答报文。很明显,与对等推动策略相比,对等拉引策略的报文负载和信息交换负载更低。此外,阅读器可为目标标签获得最新且准确度较高的位置信息。然而,该策略的缺点是只对目标标签进行位置信息传播。

算法3 位置信息传播——拉引策略

```

输入:感兴趣标签
输出:更新后的位置表
1. if tagi将被定位 then
2.   发送检索报文(tagi)
3. end if
4. if 接收到检索报文 QM then
5.   if (QM. R_ID 等于我的 ID 或者 QM. Time < 当前时间 - 一定位间隔) then
6.     忽略报文
7.   else if 位置表中存在 QM. T_ID then
8.     设置 NRi = 当前相邻阅读器
9.     设置回答报文(R_ID, 时间, QM. T_ID, 位置, ud)
10.    向 NRi 发送回答报文
11.  else
12.    设置 QM. R_ID = 我的 ID
13.    设置 NRi = 当前相邻阅读器
14.    向 NRi 发送 QM
15.  end if
16. if 接收到回答报文 RM then
17.   if RM. R_ID 等于我的 ID then
18.     忽略报文
19.   else if RM. Time < 当前时间 - 更新时间 then
20.     if RM. T_ID 未知 then
21.       更新位置表(RM)
22.     end if
23.   else if RM. Time > 位置记录(RM. T_ID). Time then
24.     更新位置表(RM)
25.     设置 RM. R_ID = 我的 ID
26.     设置 NRi = 当前相邻阅读器
27.     向 NRi 发送 RM
28.   end if
29. end if

函数:发送检索报文(T_ID)
  设置检索报文 = (R_ID, Time, T_ID)
  while T_ID 未被定位 do
    For 每个定位间隔 do
      设置 NRi = 当前相邻阅读器
      向 NRi 发送检索报文
    end for
end 函数

```

在实际应用中,可以考虑采用混合策略,在降低所有标签位置传播开销的同时,仍能保证有机会获得目标标签的位置。通过将对象分为多种类别,只为重要类别推送位置信息,对其他类别使用拉引策略就可以实现这一点。这种分类与领域有关。例如,在医疗领域,最重要的对象是病人和有害物质,而其他对象的重要性相对较低。

3 性能评估

在 LSMT-RFID 中,有多个参数可控制系统性能。这些参数包括但不限于移动阅读器数量、对周围标签的侦询频率、移动速度及它们使用的位置传播策略。本节将重点研究上述参数对定位精度和定位延时等系统性能的影响。

3.1 仿真配置

我们对 ns-3 网络模拟器进行拓展,使之支持 RFID 系统。在本文仿真中,在 250m×250m 仿真区域上随机部署了 100 个标签。标签按照随机路径机动模型在区域内运动,移动速度范围为 0~2.5m/s,暂停时间为 50s。此外,定位间隔设为 60s,检测频率范围为 5~30s,步进量为 5s,更新时间设为定位间隔的 10 倍。移动阅读器的阅读范围为 30m,基于随机路径机动模型运动,速度范围为 2.5~5m/s,暂停时间为 0s。在测量标签与阅读器间的距离时,将范围测量噪声看成是 0 均值高斯白噪声,方差与距离和信噪比有关,且为已知。性能指标取值为 10 次独立运行的均值,每次运行的种子随机且互不相同,丢弃前 1000s 后总体运行时间为 1000s。

3.2 仿真结果

本文评估两个性能指标:平均定位误差和定位延时。平均定位误差表示每个定位间隔每个移动阅读器的标签位置的平均方差;定位延时表示在推动策略下标签被所有阅读器定位及在拉引策略下标签被感兴趣阅读器定位所需要的最大时间。第 1 个仿真场景研究了定位间隔相同但移动阅读器数量不同时,降低检测频率对平均定位误差的影响。对于 60s 的定位间隔,允许每个阅读器使用不同的检测间隔来检测周围的标签。图 4 表明,当增加检测频率时,平均定位误差将会下降,如果模拟区域内的移动阅读器数量上升,则平均定位误差会进一步下降。

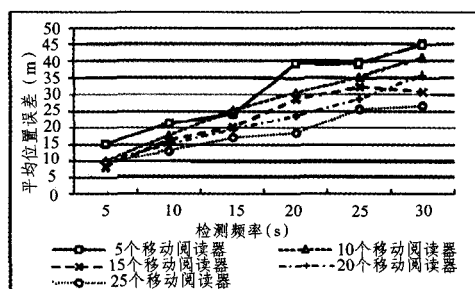


图4 平均位置误差和移动阅读器、检测频率之间的关系

导致平均定位误差下降的另一个因素是移动阅读器的速度。在该场景下,本文部署了 30 个移动阅读器,在 3 种不同速度条件下研究了定位间隔为 60s 时不同检测间隔对平均定位误差的影响,如图 5 所示。可以看出,如果移动阅读器的速度较快且检测频率较高,则阅读器可以获得更多的有用检测,并与其他阅读器交换更多近邻信息,进而降低平均位置误差。

[2] Huang W, Shen Z, Huang N E, et al. Engineering Analysis of Biological Variables; an Example of Blood Pressure Over 1 Day [J]. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1998, 95(9): 4816-4821

[3] Huang N E, Wu M L, Qu W D. Applications of Hilbert-Huang Transform to Non-stationary Financial Time Series Analysis [J]. Appl. Stochastic Models Bus. Indust, 2003, 19(3): 245-268

[4] Ditommaso R, Mucciarelli M, Parolai S, et al. Monitoring the Structural Dynamic Response of a Masonry Tower; Comparing Classical and Time-Frequency Analyses [J]. Bulletin of Earthquake Engineering, 2012, 10(4): 1221-1235

[5] Guang Y, Sun X, Zhang M, et al. Study on Ways to Restrain End

Effect of Hilbert-Huang Transform [J]. Journal of Computers, 2014; 25(3): 22-31

[6] Huang N E, Wu Z. A review on Hilbert-Huang transform; Method and its applications to geophysical studies [J]. Rev. Geophys, 2008, 46(2)

[7] Tomasi C, Manduchi R. Bilateral Filtering for Gray and Color Images [C] // Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Computer Vision. Bombay, India, 1998; 839-846

[8] 胡爱军, 安连锁, 唐贵基. HILBERT-HUANG 变换端点效应处理新方法 [J]. 机械工程学报, 2008, 44(4): 154-158

(上接第 295 页)

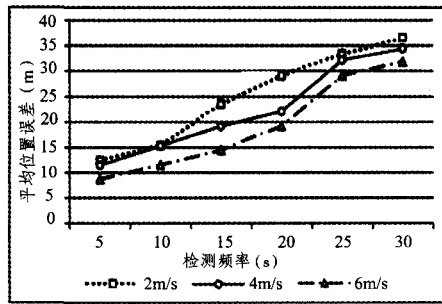


图 5 移动阅读器速度对平均位置误差的影响

最后一种场景研究移动阅读器数量对推动和拉引策略下定位延时的影响。定位间隔为 60s, 允许移动阅读器每 10s 检测周围的标签, 结果如图 6 所示。不难发现, 当移动阅读器数量较小时, 拉引策略的性能优于推动策略, 因为位置检索没有任何延误地被回复或转发, 而在推动策略下, 移动阅读器必须等待定位间隔将它们的位置信息推送给其他阅读器。当移动阅读器数量较多时, 定位延时趋于收敛。

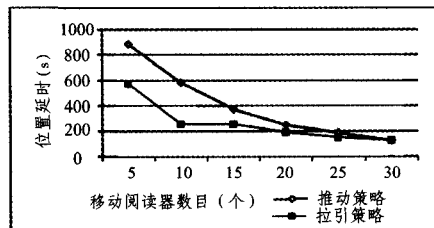


图 6 推拉策略的位置延时

结束语 RFID 技术对交通、航空运输和医疗等领域产生影响, 在多种物联网应用中发挥重大作用。RFID 技术的普及促使人们研究如何使用该技术来解决对象定位问题。虽然人们已经提出许多基于 RFID 的定位系统, 但是这些系统在对象的可拓展性、机动性和异构性方面无法应对物联网的挑战。本文提出的 LSMT-RFID 系统利用一组 Ad hoc 异构移动式 RFID 阅读器来实现移动标签的合作式定位, 并可确保移动标签位置的及时传播。系统具有较强的适应性, 其性能受到多个参数的控制: 检测间隔、定位间隔、移动阅读器数量和移动速度。这些参数视具体应用情况而定。下一步将研究这些参数的相互关系, 并考察移动阅读器按照事先确定好的路径移动时的系统性能。

参考文献

[1] 彭商谦, 李战怀, 李强, 等. RFID 数据流上多目标复杂事件检测 [J]. 计算机研究与发展, 2012, 49(9): 1910-1925

[2] La Porta T F, Maselli G, Petrioli C. Anticollision protocols for single-reader rfid systems; Temporal analysis and optimization [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2011, 10(2): 267-279

[3] Bu K, Xiao B, Xiao Q, et al. Efficient pinpointing of misplaced tags in large RFID systems [C] // 2011 8th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad hoc Communications and Networks (SECON). IEEE, 2011; 287-295

[4] Sanpechuda T, Kovavisaruch L. A review of RFID localization: Applications and techniques [C] // 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2008 (ECTI-CON 2008). IEEE, 2008; 769-772

[5] Choi B S, Lee J W, Lee J J, et al. A hierarchical algorithm for indoor mobile robot localization using RFID sensor fusion [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(6): 2226-2235

[6] Han S, Lim H S, Lee J M. An efficient localization scheme for a differential-driving mobile robot based on RFID system [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2007, 54(6): 3362-3369

[7] Asadzadeh P, Kulik L, Tanin E. Gesture recognition using RFID technology [J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2012, 16(3): 225-234

[8] Papapostolou A, Chaouchi H. RFID-assisted indoor localization and the impact of interference on its performance [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2011, 34(3): 902-913

[9] Ni W, Xiao W, Toh Y K, et al. Fingerprint-MDS based algorithm for indoor wireless localization [C] // 2010 IEEE 21st International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC). IEEE, 2010; 1972-1977

[10] Zhao Y, Liu Y, Ni L M. VIRE: Active RFID-based localization using virtual reference elimination [C] // International Conference on Parallel Processing, 2007 (ICPP 2007). IEEE, 2007; 56-66

[11] Bouet M, Pujolle G. L-VIRT: Range-free 3-D localization of RFID tags based on topological constraints [J]. Computer Communications, 2009, 32(13): 1485-1494