

文章编号:1001-9081(2008)07-1858-03

## 使用无线射频识别(RFID)技术进行室内定位

邓辉舫,马启平,周尚伟

(华南理工大学 计算机科学与工程学院,广州 510006)

(hfdeng@scut.edu.cn)

**摘要:**简要介绍了无线射频识别技术以及它在各行各业中的不同应用,特别是在室内定位中的应用。重点介绍了对 LANDMARC 室内定位系统理论的改进,使其可以更好地应用于实际环境。实验结果表明,改进的算法比原来的算法在定位精度上提高了 10%~50%。

**关键词:**无线射频识别;室内定位;接收信号强度指示;k-邻近算法

**中图分类号:** TN925.93 **文献标志码:** A

### Use of RFID technology for indoor location

DENG Hui-fang, MA Qi-ping, ZHOU Shang-wei

(School of Computer Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510006, China)

**Abstract:** Radio Frequency Identification (RFID) Technology and its different applications in various sectors, particularly, in the indoor location, were briefly introduced. The theory of LANDMARC indoor location system was improved to make it more realistic in use. The experimental results show that the improved algorithm yields an accuracy of 10%~50% higher than the original one does.

**Key words:** Radio Frequency Identification (RFID); indoor location; Received Signal Strength Indicator (RSSI); k-nearest algorithm

## 0 引言

随着普适计算研究的不断深入和发展,以及更多的应用需要知道目标的位置信息,基于位置的服务(Location-based Services)受到了越来越多的关注。近些年来,有许多大学和研究机构对自动定位技术进行了研究,这些技术主要可以分为三种<sup>[1]</sup>:三角定位法,场景分析法以及近似法。目前比较常用的定位服务主要有全球定位系统(Global Positioning System, GPS)和蜂窝无线定位两种,这两种定位方法精度不高(误差为米数量级),并且在室内环境中,由于电磁波屏蔽,这两种方法无法满足用户的室内定位需求。而基于无线网络、红外线、超声波以及 RFID 等技术的方法正快速发展起来,并成为室内定位的主要研究方向。

目前,国内外开发出了一些室内定位系统的雏形,如 Active Badge、RADAR 以及 Active Bat 等。Olivetti 实验室的 Active Badge 系统采用红外线技术实现室内定位,直线视距和传输距离较短这两大主要缺点,使得它在室内定位中的效果较差。RADAR 采用标准的 802.11 网络,该系统采用经验测试和信号传播模型相结合的方式,易于安装、需要很少基站,能采用相同的底层无线网络结构,但系统总精度不高。Active Bat 是采用超声波定位的典型例子,它采用超声波时延信号进行定位,其整体定位精度较高,但需要大量的底层硬件设施投资,成本太高。

除了以上几种定位方法之外,还有基于 RFID 及 UWB 等技术的定位方法。RFID 定位是一种基于信号强度的定位技

术,它使用接收到的信号强度指示(Received Signal Strength Indicator, RSSI)来确定待定位物体的位置。理论上,接收器得到的 RSSI 值可以用各种不同的传播模型所描述的形式获得,是一个接收器和发射器之间距离的函数。不同的定位技术各有不同的优缺点,但是 RFID 由于其独特的非接触性,以及非视性(不用在可视范围内),这使得它在室内定位中占有优势。

下面首先简要介绍 RFID 的基本原理,然后介绍了现有的基于 RFID 的室内定位算法,分析它的优点和不足之处,并提出一种改进的定位算法,最后进行实验仿真分析和总结。

## 1 RFID 基本原理及技术特点

### 1.1 背景

RFID 技术最早的应用可追溯到第二次世界大战中飞机的敌我目标识别,但是由于技术和成本原因,一直没有得到广泛应用。近年来,随着大规模集成电路、网络通信、信息安全等技术的发展,RFID 技术进入商业化应用阶段。由于具有高速移动物体识别、多目标识别和非接触识别等特点,RFID 技术显示出巨大的发展潜力与应用空间,被认为是 21 世纪最有发展前途的信息技术之一。<sup>[2]</sup>

### 1.2 RFID 的基本概念

无线射频识别 RFID 技术是一种非接触式的自动识别技术,其基本原理是利用射频信号和空间耦合(电磁耦合或电磁传播)传输特性,实现对被识别对象物体的自动识别。

RFID 系统由标签、阅读器和天线三部分组成。其中标签

收稿日期:2007-11-05;修回日期:2008-05-03。

**作者简介:**邓辉舫(1957-),男,英籍华人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:计算机模拟、先进计算、无线射频识别(RFID)、物流与供应链管理信息化;马启平(1983-),男,广东惠东人,硕士研究生,主要研究方向:物流信息化系统平台、无线射频识别、无线定位;周尚伟(1983-),男,浙江金华人,硕士研究生,主要研究方向:物流信息化系统平台、无线射频识别、无线定位。

作为数据的载体存在,阅读器接收来自标签的数据,并进行解码,天线主要作为数据传播的媒体介质。图1展示了RFID的系统配置。

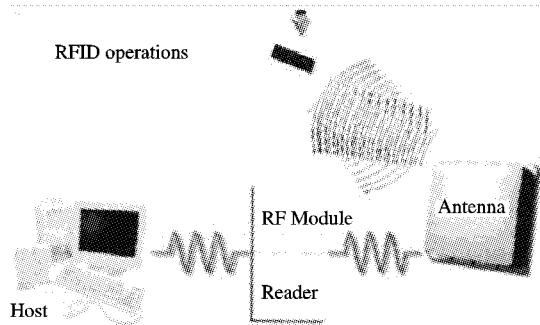


图1 RFID的系统配置图<sup>[3]</sup>

## 2 LANDMARC 室内定位系统

LANDMARC 定位算法是一种经典的基于有源RFID的室内定位算法,设计的思想是采用额外的固定参考标签(或称为辅助标签),这些参考标签在该定位系统中作为参考点使用,通过参考点的信号强度值与待定位标签的信号强度值之间的比较,计算出待定位标签的坐标。由于阅读器获取到的相邻标签的RSSI也是相近的,所以LANDMARC算法通过比较阅读器接收到的待定位标签与参考标签信号强度值的大小来求得离待定位标签距离最近的几个参考标签,然后根据这几个最邻近参考标签的坐标,并结合它们的权重,用经验公式计算出待定位标签的坐标。LANDMARC方法具有较高的定位精度,可扩展性好,能处理比较复杂的环境,是一种实用的定位方法。

LANDMARC 室内定位系统具有如下三个特点:

1) 采用了多个低廉的标签代替了昂贵的阅读器,节省了开支;

2) 可以较好地适应环境变化所引起的动态因素;

3) 定位信息与其他定位技术比较,更加精确、可靠。

LANDMARC 系统支持移动和动态的属性,可以更好地完成一些接近实时传感的工作。当然,辅助标签和阅读器摆放的位置对定位的精度有一定的影响。

LANDMARC 室内定位系统采用了一种称为“最邻近距离”的思想,理论上,当某个待定位标签与参考标签的距离相临近,那么它们在同一个RFID阅读器中所获得的信号强度值应该也是相临近的,基于这种思想,以及在实验中得到的一些经验公式,可以求解出待定位标签的坐标位置。求解过程如下( $n$ 个阅读器, $m$ 个参考标签和 $u$ 个待定位标签):

1) 定义待定位标签的信号强度矩阵为:  $\hat{S} = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ , 参考标签的信号强度矩阵为:  $\hat{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ , 因此,

它们之间的欧几里德距离为:  $E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i - S_i)^2}$ 。

2) 通过求得的 $k$ 个跟待定位标签的信号强度最接近的参考标签,可以推算出待定位标签的坐标为:

$$(x, y) = \sum_{i=1}^k w_i (x_i, y_i) \quad (1)$$

其中, $S_i$ 表示第 $i$ 个阅读器所获得的待定位标签的信号强度( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ );  $\theta_i$ 表示的是第 $i$ 个阅读器所读取到的参考标签的信号强度; $E_j$ 表示的是它们的欧几里德距离; $j = 1, 2,$

$3, \dots, m$ ,  $m$ 是参考标签数,也是每个待定位标签最多可以具有的 $m$ 个邻居数,即最大邻居数。 $E_j$ 越小表示它们之间的距离越近。 $w_i$ 表示的是第 $i$ 个邻居的权重( $i = 1, 2, 3, \dots, k < m$ ,  $k$ 是 $m$ 个欧几里德距离 $E_j$ 中,最小的 $k$ 个邻居)。它是一个经验公式,可以通过式(2)获得。

$$w_i = \frac{1/E_i^2}{\sum_{i=1}^k (1/E_i^2)} \quad (2)$$

通过待定位标签的实际坐标和理论得到的待定位标签的坐标的比较,可以算出它们之间的误差值  $e = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ , 其中 $(x_0, y_0)$ 表示的是待定位标签的实际坐标位置; $(x, y)$ 表示的是理论求得的待定位标签坐标位置。

图2为LANDMARC的实验结果,实验中使用了4个阅读器,16个参考标签,以及8个待定位标签。计算待定位标签的实际位置和理论所得的位置的误差,得到最大误差为2m,平均误差为1m<sup>[5]</sup>,误差范围在3m以内。

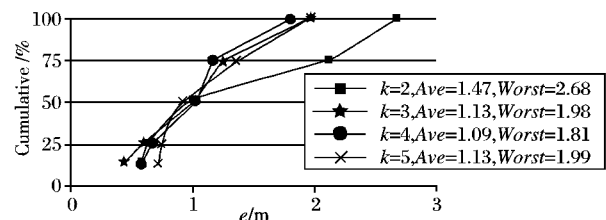


图2 待标签位置误差分布图<sup>[4]</sup>

## 3 对LANDMARC 室内定位系统理论的改进

### 3.1 自由空间电波传播模型

为了研究RSSI与距离的关系,了解相关电波传播模型是必要的。在自由空间环境中,设发射端与接收端的距离为 $d$ ,则接收端的接收功率 $P_r$ 可表示为<sup>[3]</sup>:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (3)$$

其中: $P_t$ 为发射功率; $G_t$ 和 $G_r$ 分别为发射和接收天线增益; $\lambda$ 为电波波长; $P_t$ 和 $P_r$ 的单位是瓦特 $[w]$ ;  $G_t$ 和 $G_r$ 无量纲。由式(3)的模型可以看出,在自由空间中,接收功率与距离 $d^2$ 成反比,与发射功率、收发天线增益和电波波长成正比。在排除天线增益的情况下,以dB为单位的信号强度可表示为:

$$P_L = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = -10 \log \left[ \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] \quad (4)$$

如果以dBm为单位,则接收到的信号强度可以由式(5)表示:

$$P_r(d) = 10 \log \left[ \frac{P_r(d_0)}{P} \right] + 20 \log \left[ \frac{d_0}{d} \right] \quad (5)$$

其中 $P_r(d_0)$ 的单位是W, $P_r(d)$ 单位为dBm。常量 $P = 0.001$ W。

自由空间是指发射端与接收端无任何障碍物阻挡,存在视距传播路径的无线传播环境。而在现实环境中,由于室内复杂的环境结构以及人的走动,会引起无线信号的反射、折射和被吸收等。目前有不少经验传播模型,但无线信号传播具有不确定性,很难确定哪一种模型方法能准确地反映室内无线信号环境。

### 3.2 算法改进

第2章中介绍的LANDMARC室内定位系统是在阅读器

获得了待定位标签的信号强度  $S$  之后,与参考标签的信号强度  $\theta$  进行比较,计算信号强度的欧几里德距离  $E$ ,取  $E$  中最小的  $k$  个,作为最邻近距离。然后利用式(2) 分别计算出  $k$  个邻近距离的权重,最后利用式(1) 得到待定位标签的坐标位置。

由前面的自由空间电波传播模型和信号强度与几何距离的映射关系可以看出,在理想情况下,信号强度与几何距离之间存在一个反比的关系,距离越远,接收功率越低。但是,测试的传播模型指出,无论室内还是室外信道,平均接收信号功率随距离的对数衰减。在 LANDMARC 定位系统的算法中,直接采用了整体的欧几里德距离,通过计算整体的欧几里德距离,然后求得跟待定位标签的信号强度差别最小的参考标签作为它的最邻近标签,然后求解得待定位标签的坐标。

虽然 LANDMARC 的实用性好,定位精度较高,但依然存在一些问题,例如在一些封闭环境中,由于信号的多路径效应,使得其定位精度不高,而且为了使得定位能更加准确,往往需要放置更多的参考标签,而这会增加成本,并且可能产生射频干扰现象,因此,我们有必要对它进行改进。

在改进算法中,使用了一种不需要增加标签数量但可以减少多路效应的方法,把不同的 RFID 阅读器中获取到标签的 RSSI 值加入到一个集合中,然后求集合中出现频度最高的标签作为我们的最邻近距离的标签,然后使用经验公式求得待定位标签的坐标位置,取得比原来的 LANDMARC 算法更准确的精度。

算法过程如下( $n$  个阅读器, $m$  个参考标签和  $u$  个待定位标签):

1) 分别获得阅读器  $R_1, R_2, \dots, R_n$  的待定位标签的信号强度  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ , 阅读器  $R_1, R_2, \dots, R_n$  的参考标签的信号强度  $S_1, S_2, \dots, S_n$ 。

其中:  $\theta_i$  表示第  $i$  个阅读器获得的待定位标签的信号强度矩阵,  $\theta_i = (\theta_{i1}, \theta_{i2}, \dots, \theta_{iu}) (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ ,  $S_j$  表示第  $j$  个阅读器获得的参考标签的信号强度矩阵,  $S_j = (S_{j1}, S_{j2}, \dots, S_{jm}) (j = 1, 2, 3, \dots, n)$ 。

2) 分别计算阅读器  $R_1, R_2, \dots, R_n$  的待定位标签的信号强度矩阵  $\theta_i = (\theta_{i1}, \theta_{i2}, \dots, \theta_{iu}) (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ , 与参考标签的信号强度矩阵  $S_j = (S_{j1}, S_{j2}, \dots, S_{jm}) (j = 1, 2, 3, \dots, n)$  的欧几里德距离矩阵  $E_1, E_2, \dots, E_n$ 。其中  $E_i = (E_{i1}, E_{i2}, \dots, E_{im}) (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ ,  $E_{ij} = \sqrt{(\theta_i - S_j)^2} (j = 1, 2, 3, \dots, m)$ 。从  $E_1, E_2, \dots, E_n$  中各自取其中最小的  $k$  个作为各自的最邻近距离。则阅读器  $R_1, R_2, \dots, R_n$  中每个阅读器的最邻近距离矩阵为  $L_i = (L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ik}) (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 。

3) 设  $T = K$ , 在阅读器  $R_1, R_2, \dots, R_n$  的各自最邻近距离矩阵  $L_i = (L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ik}) (i = 1, 2, 3, \dots, n)$  中,  $R_1, R_2, \dots, R_n$  中的不同的最邻近距离矩阵  $L_i$  构成了矩阵  $L = (L_1, L_2, \dots, L_n)$ 。求在  $L = (L_1, L_2, \dots, L_n)$  (一个二维矩阵) 中, 出现次数为  $T$  的参考标签标记为  $r_i$ , 把  $r_i$  加入集合  $\omega$  中。若最后求得  $\omega$  为空, 则把  $T$  置为  $T - 1$ , 如果  $T > 0$ , 则重复步骤 3, 继续求解集合  $\omega$ 。最后得到集合  $\omega = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_x) (1 \leq x \leq m)$ ,  $m$  为参考标签的数目。

4) 求得  $\omega = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_x) (1 \leq x \leq m)$  后, 利用求得的  $x$  个参考标签作为待定位标签的最邻近距离的标签, 计算待定位标签和这  $x$  个参考标签的欧几里德距离为  $E_g =$

$\sqrt{\sum_{i=1}^x (\theta_i - S_i)^2} (g = 1, 2, 3, \dots, x)$ ,  $E_g$  表示第  $g$  个最邻近距离参考标签与待定位标签的欧几里德距离。利用式(2) 求得  $x$

个最邻近距离的参考标签的权重:  $w_g = \frac{1/E_g^2}{\sum_{g=1}^x (1/E_g^2)}$ ,  $w_g$  表示

第  $g$  个最邻近距离参考标签的权重, 然后利用式(1) 求得待定位标签的坐标位置为:  $(x, y) = \sum_{g=1}^x w_g (x_g, y_g)$ , 其中  $(x_g, y_g)$  表示第  $g$  个最邻近距离参考标签的坐标位置。

### 3.3 改进算法的仿真与分析

前一节的内容详细地描述了改进的算法过程, 本节将此算法设置在实际环境中进行仿真测试。仿真的条件是: 采用 RF Code 公司生产的设备, 4 个 RF 阅读器, 16 个参考标签和 8 个待定位标签, 均匀分布在参考标签覆盖区域内。仿真中的阅读器和标签的分布位置如图 3 的分布所示。

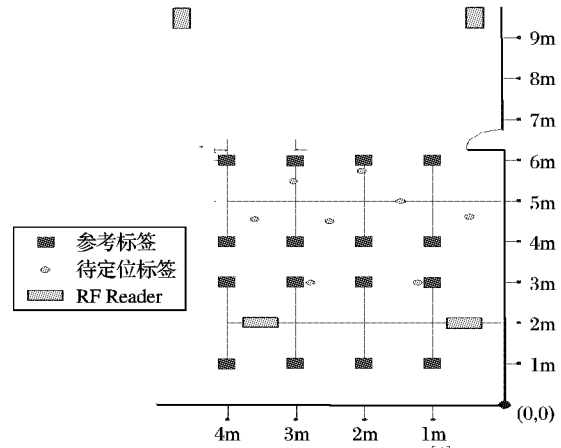


图 3 辅助(参考)标签分布示意图<sup>[4]</sup>

采用图 3 的系统摆放方式, 与 LANDMARC 定位系统的算法中的仿真实验的摆放位置一致, 可以较准确的比较 LANDMARC 定位系统的算法与改进的算法的仿真结果。仿真结果如图 4 所示, 横坐标中的数字表示的是误差范围, 纵坐标表示的是累计待定位标签的百分比, 如改进的 LANDMARC 算法中的条形柱(1.5, 63%)表示的是 63% 的待定位标签的误差范围在 1.5 m 以内。

从仿真结果可以看出, 改进的 LANDMARC 算法 26% 的待定位标签的误差在 0.5 m 以内, 50% 的待定位标签的误差在 1 m 以内, 63% 的待定位标签的误差在 1.5 m 以内, 76% 的待定位标签的误差在 2 m 以内的, 精度均比 LANDMARC 算法好。在 2.5 m 到 3 m 之间累计误差与没有改进之前的差别不大, 因为 LANDMARC 算法和改进的 LANDMARC 算法的最大误差均在 3 m 以内。而自由空间点播传播模型能力的损耗的不规则, 导致部分待定位标签的误差范围达到了 2~3 m。

从图 4 中可以看出, 改进的 LANDMARC 算法在 2 m 的误差范围之内具有更好的定位精度。

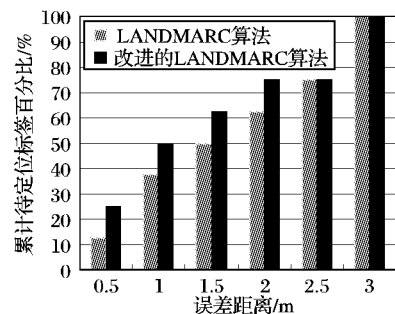


图 4 累计误差距离比较图

$$\overline{per\_reqload} = \overline{req} + \overline{ack} \quad (1)$$

其中:  $\overline{req}$  为服务请求时的网络负载;  $\overline{ack}$  为服务响应时的网络负载。

网络负载与具体底层网络性质,包括路由,拓扑等相关,本文以 Zigbee./802.15.4 网络作为 WSN 原型,其典型的网络拓扑呈树形,服务请求方式采用泛洪(flooding)算法的广播,服务响应数据则按网拓扑向汇集点单播。因此含有  $n$  节点的 Zigbee 网络  $T$  上的每服务网络负载计算方式如下:

$$\overline{per\_reqload} = \left( \sum_{i=0}^{depth(T)-1} T_i \times \overline{reqpksize} \right) + \frac{\overline{reqpksize}}{(n-1) \times \overline{reppksize}} \quad (2)$$

其中:  $depth(T)$  为返回以 0 为起始的  $T$  树深度;  $T_0 = 1$ 。

位于 Zigbee 之上的服务代理在每服务请求时由于使用 Light SOAP 封装的通用消息,使得  $\overline{reqpksize}$ ,  $\overline{reppksize}$  皆有所增加。针对这一问题,我们对网络加入了节点调度服务,用于减少一定时间内活动节点的数量。此方法基于这样一个假设:在一定范围的物理空间内,部署了相当一部分具有同样能力的 WSN 节点。故对于一个服务请求,无需所有节点参与,部分节点的数据也可获得这一物理空间的当前情况。此举可有效降低网络负载的  $\overline{ack}$  部分。

图 9 中,原始曲线(per-reqloadorg)是基于 Zigbee 的每请求网络负载。参照曲线(per-reqloadref)是服务代理的每请求网络负载,由于使用 SOAP 而非 Zigbee 底层的消息结构,故网络负载呈线性的上升。但使用节点间服务集共享后,由于簇集于小范围的节点仅需部分工作,所以减少了网络消息数目。设  $m$  是可供调度的节点数目,使用  $X \sim U(1, m)$  作为工作节点的选择算法,在图中表示为优化曲线(per-reqloadopt)。

#### 4 结语

WSN 如与现有的网格技术集成,将大大扩展网格的信息处理范围,从而催生出一系列的新型应用。本文将 WSN 与网络集成技术划分为两个域,一个是目前研究较多的接口域,即网格网关,另一个是 WSN 的服务域。服务域的作用主要是为网关提供一个统一访问 WSN 的界面,简化两者的集成难度,更重要的是,通过服务界面能有效控制和提高 WSN 的服务质量,保证两者集成后的可用性。为设计出这样一个服务界面,本文先从理论入手,给出了面向服务的 WSN 的形式化定义和

服务验证方法,然后给出了一个集成框架,特别突出了服务代理部分。总的说来,从面向服务的角度来组建 WSN 网络,思考方式和解决问题的方法近似于一一般的网格系统,有助于两者的无缝集成,并可保证集成后的服务质量。

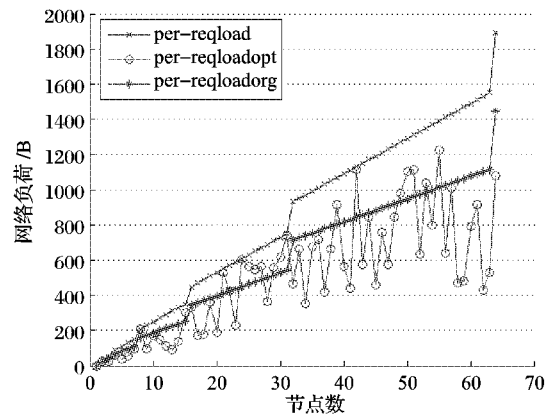


图 9 服务代理与原始 Zigbee 的每请求网络负载的比较

#### 参考文献:

- [1] FOSTER I, KESSELMAN C. The grid: Blueprint for a new computing infrastructure[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1998.
- [2] FOSTER I, KESSELMAN C, TUECKE S. The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations[J]. International Journal Supercomputer Applications, 2001, 15(3): 2001: 1-26.
- [3] AKYILDIZ I F, SU WEI-LIAN, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. A survey on sensor networks[J]. Communications Magazine, IEEE, 2002, 40(8): 102-114.
- [4] GAYNOR M. Integrating wireless sensor networks with the grid[J]. IEEE Internet Computing, 2004, 8(4): 32-39.
- [5] HOCK B L, YONG M, MUKHERJEE T, et al. Sensor grid: Integration of wireless sensor networks and the grid[C]// Proceedings of IEEE Conference on Local Computer Networks 2005 (LCN'05). Washington, DC: IEEE Press, 2005: 91-99.
- [6] ELTOWEISSY D, OLARIU M, WADAA W, et al. On modeling wireless sensor networks[C]// Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'04). Washington, DC: IEEE Press, 2004: 220-226.
- [7] 曾家智,徐洁,吴跃,等. 服务元网络体系结构和微通信元系统架构[J], 电子学报. 2004, 32(5): 745-748.

(上接第 1860 页)

#### 4 结语

本文在介绍了无线射频 RFID 技术的原理及其应用的基础上,着重讨论了越来越显现优势和受到人们青睐的 RFID 技术在室内定位中的应用。本文提出的对 LANDMARC 室内定位系统的改进算法使得定位精度有了一个明显的提高。因此,使用这个算法来确定定位精度更加具有实际意义。

#### 参考文献:

- [1] HIGHTOWER J, BORRIELLO G. A survey and taxonomy of location systems for ubiquitous computing[EB/OL]. [2007-10-20]. <http://seattle.intel-research.net/people/jhightower/pubs/hightower2001survey/hightower2001survey.pdf>.
- [2] 中国射频识别(RFID)技术政策白皮书[P]. 北京:中华人民共和国科学技术部等十五部委, 2006.
- [3] 游战清,刘克胜,张义强,等. 无线射频识别技术规划与实施

[M]. 北京:电子工业出版社, 2005: 3-50.

- [4] NI L M, LIU Y H, LAU Y C, et al. LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID[C]// Proceedings of the First IEEE International Conference. Washington DC: IEEE Computer Society, 2003: 407-415.
- [5] 孙瑜,范平志. 射频识别技术及其在室内定位中的应用[J]. 计算机应用, 2005, 25(5): 1205-1208.
- [6] 范平志,邓平,刘林. 蜂窝网无线定位[M]. 北京:电子工业出版社, 2002: 33-35.
- [7] ZHAO YI-YANG, LIU YUN-HAO, NI L M. VIRE: Active RFID-based localization using virtual reference elimination[C]//2007 International Conference on Parallel Processing(ICPP 2007). [S.l.]: IEEE Press, 2007: 56-56.
- [8] DENG P, FAN P Z. An efficient position-based dynamic location algorithm[C]// 2000 International Workshop on Autonomous Decentralized System. Chengdu: IEEE Press, 2000: 36-39.