

基于虚拟参考标签的 RFID 定位系统构建方法

李军怀 孙转宜 王一乐 王 锋

(西安理工大学计算机科学与工程学院 西安 710048)

摘 要 针对现有 RFID 定位系统在位置服务单一、部署大量 RFID 设备相互间产生信号干扰而影响定位精度等方面的不足,利用经典信号传播模型在定位区域内构造虚拟参考标签空间,进而构建了一种基于虚拟参考标签空间的移动对象定位方法。实际测试表明,本系统具有较高的定位精度,可以有效克服部署大量参考标签及定位读写器引起的设备干扰问题,定位精度在中心区域达到 0.31m~1.65m,在外围区域误差为 1.48m~3.72m。

关键词 RFID,定位系统,参考标签,系统构建

中图法分类号 TP399 **文献标识码** A

RFID Positioning System Construction Method Based on Virtual Reference Tags

LI Jun-huai SUN Zhuan-yi WANG Yi-le WANG Feng

(School of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract As current RFID positioning system can only provide a single location based service and low localization accuracy for interfering each other in an area where deploying a large number of RFID devices, the paper proposed a RFID positioning system construction method which is using classical signal propagation model to construct a virtual reference tags in position area, and then designed a mobile object positioning method based on virtual reference tags space. The experiment results show that the method may enhance positioning accuracy and overcome the interference problems caused by deploying a lot of reference tags and reader, positioning accuracy in the central region to reach 0.31m~1.65m, between the error in the external region between 1.48m~3.72m.

Keywords RFID, Positioning system, Reference tag, System construction

1 引言

当前位置感知正成为许多新型计算领域(如普适计算、移动计算等)的一个最重要的特征和追求目标,而作为提供基于位置服务的核心技术之一,研究移动对象的定位方法和技术也随之逐渐深入^[1]。定位服务从普通的科学研究、军事服务、商业活动,直至抢险、搜救等各行业都有着重要的应用。移动定位技术成为一个重要的研究方向,也得到了飞速发展。

移动定位系统具有广泛的应用领域,人们在许多应用场景下有着巨大的应用需求。移动定位技术不仅可用于对物体的定位,如仓储货品定位、医院医疗设备管理、生产过程管理,还可用于人员的定位,如煤矿井下人员定位、公园/博物馆游客导览、医院医生/病人定位、监狱犯人监管等重要领域。从实际应用角度来看,移动定位技术极大地提高了生产的管理水平、人员的工作效率,并在生活中极大地丰富了获取信息的方式。出于这些实际需要,根据不同的定位方法^[2-7],如 TOA, TDOA, AOA, RSSI 等,结合不同的无线通信技术,如 GSM, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee 等,研究者开发出多种定位系统及应用服务,以满足人们对基于位置服务的巨大需求。

以 GPS 为代表的远距离定位技术在各领域中被大量应用^[8],但是 GPS 是针对全球范围应用设计的定位系统,其信号在城市或室内定位中受到较大影响,而且民用信号定位精度通常只有 10m。这样 GPS 无法在这些复杂场景下,提供较为精确的定位服务。与此同时,现有的定位系统在中短距离范围进行定位的应用中还存在着定位精度不够、额外设备投入较大、抗干扰性差等诸多不足,极大地限制了在实际中提供基于位置服务的能力和质量。

无线射频识别(RFID, Radio Frequency Identification)作为一种自动识别技术,近年来在识别、定位等方面得到了迅速发展和应用。RFID 通过电磁场利用无线射频方式进行非接触双向通信,以达到识别目标的目的,并实现非接触式自动数据交换。RFID 标签具有体积小、可存储数据、可重复利用等诸多特点。与传统识别方式相比,RFID 技术无需直接接触,无需光学可视,并且无需人工干预即可完成信息输入和处理。在非视距(NLOS, Non Line of Sight)条件下,读写器可以对覆盖范围内的标签快速读写,可对多个附有标签的移动目标同时识别,操作方便、快捷,目前已被广泛应用于生产、物流、交通运输、医疗、跟踪和资产管理等领域,并在定位跟踪、自动

到稿日期:2010-05-19 返修日期:2010-08-31 本文受陕西省科技攻关项目(2009K08-24),西安市科技项目(CXY09020),教育厅科技项目(09JK659)资助。

李军怀(1969—),男,博士,教授,主要研究方向为 RFID 技术、网络计算等, E-mail: lijunhuai@xaut.edu.cn; 孙转宜(1985—),女,硕士生,主要研究方向为 RFID 定位技术; 王一乐(1984—),男,主要研究方向为 RFID 定位技术; 王 锋(1972—),男,硕士,讲师,主要研究方向为计算机网络、分布式计算等。

扫描等无人自动管理领域具有广泛的应用前景^[9]。

2 典型 RFID 定位系统

目前典型的 RFID 定位系统主要有 SpotON, LAND-MARC, VIRE 等。

SpotON 是一个典型的基于 RFID 技术开发的定位应用系统^[10],是 Active RFID 定位研究的先驱。SpotON 利用读写器与参考标签构造了一个无线感知环境,通过聚合算法(Aggregation Algorithm)减少信号强度误差,并利用信号传播模型求解读写器与目标标签的距离,最后利用三角定位算法对目标三维空间定位。在定位系统设计中,开发者在原有系统基础上又设计开发了基于 Ad-hoc 的 SpotON 定位系统^[11]。在 SpotON 应用的方法上,定位物体通过同构的感知节点来定位,不需要进行集中控制。但是,该系统部署时可定位距离较短、区域较小,部分数据关系与采用的 RFID 设备耦合度较高,使得该系统在实际应用部署与扩展中受到很大限制。

LANDMARC 是目前基于 RFID 的 RSSI 定位算法研究中相对较为优秀的系统^[7]。LANDMARC 利用 RFID 技术来对室内物体进行定位,通过借鉴无线传感器网络中设置信标的类似原理,LANDMARC 在定位环境中设置多个参考标签,然后通过大量实验总结出一组经验公式,利用多个阅读器分别测量与 k 个相对参考标签的 RSSI 以及所要追踪标签的 RSSI,通过经验公式计算出二者间信号的欧几里得距离(Euclidean Distance),据此确定追踪标签的坐标权值,进而可以求解出追踪标签的坐标。在论文的实验分析中,给出了根据大量定位标签定位时的平均误差,并对参考标签数量变化、定位时间变化、障碍物存在等不同情况下定位平均误差的变化进行了实验。从实验结果可知,LANDMARC 覆盖范围在 10m 时,定位精度可以达到 2m 左右。

此后,Zhao Junhui^[12]等人根据 LANDMARC 系统,进行了一系列仿真实验,对参考标签的排列密度和几何形状进行了定性分析。还有研究者对 LANDMARC 定位的权值公式进一步改进,希望对定位精度予以改进,并加入噪声模拟后对 LANDMARC 进行评估。

鉴于 LANDMARC 算法中存在的无法有效处理的、严重的多径效应对定位精度造成的影响,如果着力于提高定位系统精度,需要额外增加参考标签部署的密度。但是,大量部署参考标签,标签之间发射的信号可能在信道中产生碰撞,信号间会产生干扰。Zhao Yiyang 等学者^[13]针对该问题提出了一种通过建立虚拟标签来提高定位精度的定位算法。在定位空间的相邻两个参考标签之间,构造若干个虚拟参考标签,参考标签的信号强度通过线性插值法求出。不同位置部署的读写器可以求解出待定位标签的若干可能出现的位置。对比多个读写器,将这些可能出现的位置取交集,然后根据权值公式求解出待定位标签最终的估计位置。

3 基于虚拟参考标签的定位系统模型

本文提出的基于虚拟参考标签的定位方法需要在定位区域内部署一些参考标签,它与 LANDMARC 系统和 VIRE 系统类似,可提高系统的定位精度。本文方法对传统定位模型进行了重新建模,引入了虚拟标签的概念,利用经典信号传播模型在定位区域内构造虚拟参考标签的 RSSI 信息,利用虚拟标签对定位目标定位,可以提高定位系统的定位精度。采

用 VRBP 方法的定位系统需要采用 Active RFID 设备。参考标签固定在定位区域内的适当位置,其坐标可以相对容易地通过测量获得。对参考标签的信号强度,可以设定读写器每隔一段时间读取一次,以便适应环境因素变化对定位误差带来的影响。而将定位的 RFID 标签附在待定位目标上,通过读写器接收的定位目标的信号来估计其在空间的位置。本文方法主要可以分为 3 个步骤:估计环境变量、构造虚拟参考标签信息(特别是估计虚拟参考标签的 RSSI 信息)、基于特定算法对追踪目标定位。

3.1 定位系统结构

根据 RFID 设备特点以及定位系统的需要,本文设计了一种 RFID 定位系统结构,如图 1 所示。整个 RFID 实时定位系统由若干个定位单元(Positioning Unit)和追溯、追踪服务器(Tracing & Tracking Server)组成。

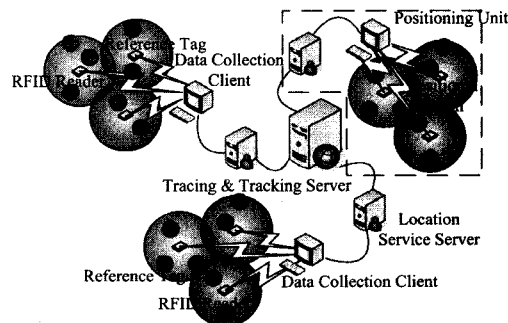


图 1 RFID 定位网络

其中每个定位单元有提供位置服务的服务器(Location Service Server, LSS)、数据采集客户端及若干个定位蜂窝(Positioning Cell)。每个定位蜂窝中有一台射频读写器和若干参考标签(Reference Tag)。多个定位蜂窝覆盖范围会有相当部分相互重叠,共同构成定位系统的基础结构。

在此,需要注意,标签与定位读写器之间的关系应该遵循:如果某时刻,标签 T 在定位区域内,可以被若干个读写器定位到,设 Γ 为这些读写器组成的集合。对于某基于 RFID 定位算法 P ,可以对标签 T 定位所需要的最少读写器数量,记为 $\text{Min}(|R|)$ 。标签 T 可通过算法 P 定位的必要条件是 $|\Gamma| \geq \text{Min}(|R|)$ 。

一般来说,对于绝大多数基于 RFID 的室内定位算法,定位某标签所需的读写器数量在 3 个以上,即 $\text{Min}(|R|) \geq 3$,否则需要利用信号的到达角度等信息减小读写器数量。上面提到的标签与读写器之间的关系仅是标签 T 可以通过该定位算法定位的必要条件。如果要通过算法 P 来定位,可能还需要其他一些额外信息,如链路质量等。但是,若可定位到标签 T 的读写器少于 $\text{Min}(|R|)$,由于算法限制,定位系统一般无法实现精确定位。一般来说,每个定位蜂窝内 RFID 读写器的数量应满足的必要条件是

$$|\Gamma| \geq \text{Min}(|R|)$$

若定位物体在某个定位单元覆盖范围内移动,多个定位蜂窝中的读写器会将定位物体和相关的参考标签的 RSSI 等定位信息通过有线或无线网络传送到数据采集客户端上。数据采集客户端会收集该定位单元内的所有定位数据,并发送到 LSS 上进行处理。LSS 会将目标的状态、位置信息、服务记录等发送给追踪服务器,然后为定位对象提供所需要的服务。

追溯、追踪服务器(Trace and Tracking Server, TTS)会从各个定位单元收集整个系统的目标的位置信息,负责监控服

务订阅者的行为,并根据他们的行为为系统管理人员提供提示信息、报警服务等。同时,TTS可以对目标所在的位置记录、历史服务信息、行为信息等进行追溯性分析。

3.2 基于虚拟参考标签的定位单元构建方法

很多研究者提出,在定位区域内增加参考标签的密度可以提高定位的精度^[7,13],但是部署高密度的参考标签不仅会增加系统建设和维护成本,而且会增加信号在同一信道上相互干扰的概率。所以,通过增加参考标签密度来提高精度很可能会被提高信号间干扰造成定位误差所抵消。面对这组矛盾,单纯依赖于部署更多的参考标签无法得到令人满意的定位精度。但是,如果引入虚拟参考标签的概念,则可以较好地解决这个问题。一方面,虚拟标签所提供的 RSSI 信息可以起到类似于真实参考标签的作用,能够提高系统精度;另一方面,由于虚拟参考标签并不真实存在,增加虚拟参考标签的密度不会对其他参考标签产生信号干扰。此外,虚拟参考标签的位置部署相当灵活。而如何模拟虚拟标签的信号强度,是接下来重点考虑的问题。

本文中应用了一种基于测距的方法来计算虚拟标签的 RSSI 值。由于参考标签及其对应的位置信息可以比较容易获得,因此可以利用信号传播模型来计算虚拟参考标签的信号强度。

对二维平面的定位系统,假设定位区域的大小为 $S \times T$,如图 2 所示。

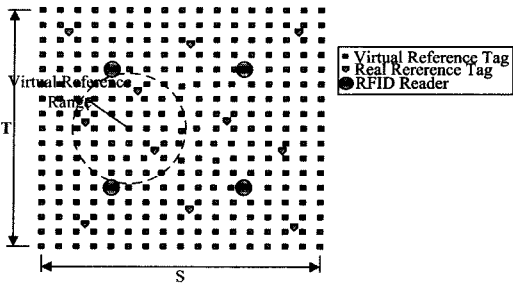


图2 虚拟参考标签构造

若每个虚拟参考标签之间沿着 X 和 Y 坐标轴方向上的间隔均为 $Interval$,那么沿 X 轴方向需要部署 $\lfloor S/Interval \rfloor$ 个虚拟参考标签,沿 Y 轴方向需要部署 $\lfloor T/Interval \rfloor$ 个虚拟参考标签。设虚拟参考标签表示为 VT_s ,则有:

$$s \in [1, \lfloor S/Interval \rfloor], t \in [1, \lfloor T/Interval \rfloor]$$

在对虚拟标签的 RSSI 进行模拟计算之前,系统需要预设一个虚拟参考标签范围(Virtual Reference Range)。对于某个虚拟标签,在虚拟参考标签范围以内的所有真实参考标签都会被选中作为虚拟参考标签 RSSI 值计算的输入数据。

设 H_{ST} 代表虚拟参考标签 VT_{ST} 范围内相邻的真实参考标签的集合,并且 VT_{ST} 的信号强度表示为 $VTRSSI_s$ 。故由于受实参考标签 RT_j 的影响,虚拟参考标签 VT_{ST} 发送到读写器 R_i 的信号强度可以用如下公式计算:

$$VTRSSI_{s,ij} = RTRSSI_{ij} - 10N_{ij} \log\left(\frac{d_{s,i}}{d_{ij}}\right)$$

式中, $d_{s,i}$ 表示虚拟参考标签 VT_s 与读写器 R_i 之间的距离,并且对于相邻集合内的每个真实参考标签 $RT_j \in H_s$ 均会对虚拟标签 VT_{ST} 的构造过程产生影响。

之后,虚拟参考标签 VT_{ST} 的信号强度 $VTRSSI_s$ 的复合值需要通过一个权值公式来综合评估相邻集合 H_s 中的每一个真实参考标签对虚拟参考标签信号强度的影响。如果真实参考标签 RT_j 越接近虚拟标签 VT_{ST} 的位置,则 $VTRSSI_{s,i}$

应当在 $VTRSSI_s$ 中所占的比重越大。所以,应当为 $VTRSSI_s$ 指派一个更大的权值。通过大量的模拟实验,本文采用如下权值公式为 $VTRSSI_s$ 计算权值:

$$w_j = \left(\frac{\partial RSSI}{\partial d}\right)^2 = \left(\frac{10N_{ij}}{\ln(10)d_{s,i}}\right)^2$$

所以,虚拟标签 VT_{ST} 的信号强度可以通过以下公式进行复合构造:

$$VTRSSI_{s,i} = \sum_{j \in H_s} w_j VTRSSI_{s,ij}$$

特别地,对于特定的虚拟标签 VT_{ST} ,如果其相邻集合 H_s 为空,也就是说在选择范围内没有真实参考标签存在,该虚拟参考标签的 RSSI 值 $VTRSSI_s$ 将无法被定位计算利用。如果相邻集合 H_s 中仅有一个元素,则构造的虚拟标签的信号强度与其对应的真实参考标签等价。理想情况下,相邻集合 H_s 应当包含 3 个以上真实标签。对于本文方法,虚拟参考标签的位置设定是静态的,并且只需对其设置的位置信息计算一次即可。但是虚拟标签的信号强度会伴随着真实参考标签信号强度的更新定时得到更新。

4 系统测试与评价

本文系统采用了西安西谷微功率数字技术公司的室内型 RFID 读写器和标签。该设备采用 2.4G 直序扩频短程无线抗干扰通讯技术,可以有效降低功率谱密度,功率污染小,对其他系统引起的电磁污染较小,有利于与同频段的其他系统共存。由于采用伪随机序列,构成了码分多址系统,可以利用地址码的正交性来识别来自不同发射站的信息,具有抗宽带干扰、抗多频干扰及单频干扰的能力。同时,直接扩展频谱系统具有抗多径效应的能力。其中,电子签可发送的信号功率分为 0dB~4dB, -5dB~0dB, -10dB~-15dB, -20dB~-15dB, -25dB~-20dB, -30dB~-25dB 和 -35dB~-30dB 8 档。该标签收到发送自读写器的定位请求后,会对应各档功率下发送一定数量的定位响应帧,发送的响应的数量由定位请求中的字段指定。

本文系统部署在一个 17.70m×5.85m 的实验室中,在定位区域内设置了 4 台读写器($R_1 \sim R_4$),并且在固定位置布置了 12 个参考标签($RT_1 \sim RT_{12}$)以便提高系统定位精度。实验室中布置了大量计算机、机柜等,设备附近还有墙体、窗户、门等障碍,这些室内附属设施增加了环境的复杂程度,与实际应用时的环境相似。根据前面所述,将参考标签覆盖范围以内记为中心区域,区域定位区域边界部分记为外部区域,如图 3 所示。

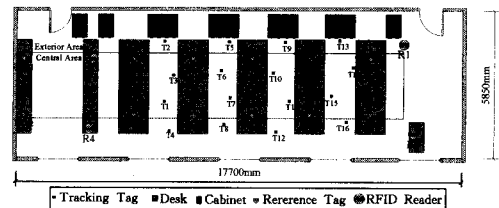


图3 定位应用实验基本配置

为了检验本系统对目标的定位精度,本论文随机选择了 16 个定位测试点($T_1 \sim T_{16}$),其中选择 8 个定位测试点在中心区域、8 个测试点在外部区域。每个定位点进行了 300 次位置测定,分别将中心区域与外部区域的定位 MEE 统计结果用条形图表示,如图 4、图 5 所示。从图中可以看到,中心区域的定位误差为 0.31m~1.65m,定位精度很高。在外围区域,定位的 MEE 为 1.48m~3.72m,定位误差增大。如果

在外围区域再布置若干参考标签,定位精度仍有进一步提升的潜力。

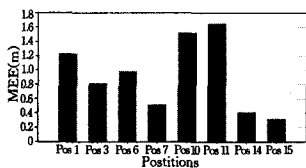


图4 中心区域定位误差分析

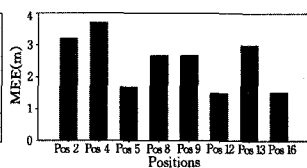


图5 外围区域定位误差分析

结束语 本文通过对典型 RFID 定位方法的研究与分析,针对为了提高定位精度而部署大量 RFID 设备引起的信息信号干扰问题,提出了一种基于虚拟参考标签的 RFID 定位系统构建方法。实际测试表明,本文方法具有较好的抗干扰能力和较高的定位精度。未来的工作将集中在结合多种位置感知信息,进一步提高定位精度。

参考文献

- [1] Yan Sun, La Porta T F, Kermani P. A Flexible Privacy-enhanced Location-based Services System Framework and Practice[J]. IEEE Transaction on Mobile Computing, 2009, 9(3): 304-321
- [2] Alsindi N, Xinrong L, Pahlavan K. Analysis of Time of Arrival Estimation Using Wideband Measurements of Indoor Radio Propagations[J]. IEEE Transaction, Instrumentation and Measurement, 2007(5): 1537-1545
- [3] 王扬,付永庆,司顺奇. 基于 DOA 和 TOA 的机载单站无源定位[J]. 测绘工程, 2008(3): 13-15
- [4] Hao N, Guangliang R, Yilin C. A TDOA location scheme in OFDM based WMANs[J]. IEEE Transaction, Consumer Elec-

tronics, 2008(3): 1017-1021

- [5] 李兴鹤,胡咏梅,宋吉波,等. 基于 landmarc 系统的室内定位仿真研究[J]. 计算机工程与应用, 2008(27): 209-212
- [6] Paul A S, Wan E A. Wi-Fi based indoor localization and tracking using sigma-point Kalman filtering methods[C]// Position, Location and Navigation Symposium, 2008: 646-659
- [7] Ni L M, Yunhao L, Yiu Cho L, et al. LANDMARC: Indoor location sensing using active RFID[C]// Pervasive Computing and Communications, 2003: 407-415
- [8] McNeff J G. The global positioning system [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2002, 50(3): 645-652
- [9] Hossain M M, Prybutok V R. Consumer Acceptance of RFID Technology: An Exploratory Study[J]. IEEE Transaction, Engineering Management, 2008(2): 316-328
- [10] Jeffrey W R, Borriello G. SpotON: An Indoor 3 D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength[R]. Department of Computer Science and Engineering, University of Washington, 2000
- [11] Hightower J, Vakili C, Borriello G, et al. Design and Calibration of the SpotON Ad-Hoc Location Sensing System[R]. 2001
- [12] Zhao J, Zhang Y, Ye M. Research on the Received Signal Strength Indication Location Algorithm for RFID System[C]// International Symposium on Communications and Information Technologies, 2006(ISCIT 2006). 2006: 881-885
- [13] Yiyang Z, Yunhao L, Ni L M. VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination[C]// the 2007 International Conference on Parallel Processing (ICPC 2007). 2007: 56-56

(上接第 75 页)

权限合法性所花费的时间。其中第一因子为 $O(\sqrt{N})$, 同样地, 第二因子是一个常数, 记为 C_r 。

因此无论是身份认证还是访问控制, 所花费的时间均为 $O(C\sqrt{N}) = O(\sqrt{N})$, 其中 $(C = C_i/C_r)$, 可见实时性比较好。

结束语 MANET 的访问控制一直是一个较难解决的问题。本文采用 quorum 技术, 结合 Voronoi 图模型, 充分利用 quorum 系统的抗攻击、抗毁能力强的特点, 所设计的 MANET 访问控制机制不仅能够抵抗共谋、篡改、假冒、重放和拒绝服务等多种攻击行为, 而且具有较高的可靠性和较好的实时性, 实现了安全技术与可靠性技术的融合。此外, 基于该访问控制机制能够方便地实现节点身份和角色的撤销, 易于实现全局资源的访问控制权限的维护与更新, 解决了 MANET 中节点证书和权限撤销难的问题。

本文的研究结果适用于野外指挥系统、突发事件处理系统、传感器网络(如移动雷达网、声纳网)等军民应用领域。但是在节点频繁移动的 MANET 应用系统中还存在保持角色和权限更新 quorum 结构的稳定性问题, 这是今后研究的重点方向。

参考文献

- [1] 林闯, 蒋屹新, 伊浩. 网络安全控制机制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008
- [2] 林闯, 封富君, 李俊山. 新型网络环境下的访问控制技术 [J]. 软件学报, 2007, 18(4): 955-965
- [3] Theel O. A general framework for modeling data replication schemes[C]//Proc of the Int'l Workshop on Modeling, Analy-

sis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS'93). San Diego, CA: SCS and IEEE, 1993: 347-250

- [4] Agrawal D, El-Abbadi A. An efficient solution to the mutual exclusion problem [J]. Proc of the ACM Trans. Comp. Sys., 1991, 9(1): 1-20
- [5] 熊庭刚, 卢正鼎, 张家宏, 等. 基于 Quorum 系统的分布式访问控制框架研究 [J]. 计算机科学, 2010, 37(5): 120-125
- [6] Xiong Ting-gang, Lu Zheng-ding, Zhang Jia-hong, et al. Construction of High Dependable Distributed Access Control Architecture Based on Quorum System [J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, Springer-Verlag, 2010, 15(3): 210-216
- [7] Bose P, Morin P. Online routing in triangulations [C]// Aggarwal A, Rangan C P, eds. Proc. of the 10th Int'l Symp. on Algorithms and Computation (ISAAC). Chennai: Springer-Verlag, 1999: 113-122
- [8] Bose P, Morin P, Stojmenovic I, et al. Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks [J]. ACM/Kluwer Wireless Networks, 2001, 7(6): 609-616
- [9] Kranakis E, Singh H, Urrutia J. Compass routing on geometric networks [C]//Proc. of the 11th Canadian Conf. on Computational Geometry. Vancouver, 1999: 52-54
- [10] Claude C, Carlton D R. A certificate revocation scheme for wireless ad hoc networks [C]//Proc of the 1st ACM Workshop Security of Ad Hoc and Sensor Networks. Fairfax, Virginia, 2003: 54-61
- [11] National Institute of Standard and Technology. Public key infrastructure, Final Report [R]. MITRE Corporation, 1994
- [12] Naor M, Wieder U. Scalable and dynamic quorum systems [J]. Distributed Computing, 2005, 17: 311-322