

# 室内定位技术和系统的研究进展<sup>①</sup>

曹世华

(杭州师范大学, 杭州 310012)

**摘要:** 室内定位技术一直是近年来研究的热点, 研究了当前的 AGPS、红外线、超声波、UWB、WaveLAN、RFID、视觉等各种室内定位技术和系统的最新进展, 分析了它们的工作机制、定位精度、适用性和优缺点. 其中红外线和超声波技术可以达到 cm 级的定位精度, 利用 RSSI(接收信号强度信息)技术的 RFID(射频识别)定位系统最近得到了极大的发展, 结合低频和高频的 RFID 技术使室内定位精度可以达到 1m.

**关键词:** 室内定位; AGPS; 超声波; 红外线; RFID; RSSI; WeavLAN

## Research Progress of Indoor Location Technology and System

CAO Shi-Hua

(Hangzhou normal university, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** Indoor location technologies is the hot research topic recently. This paper studies the current various indoor location technologies including AGPS, Infrared, Ultrasonic, UWB, WaveLAN, RFID and Computer visual. It analyzes their working mechanism, locating accuracy suitability and their advantages and disadvantages. The accuracy of Infrared and Ultrasonic is cm scale, location system based RFID technology which uses RSSI method rapidly developed recently, and the accuracy of combination HF RFID and LF RFID is reached 1m level.

**Key words:** indoor positioning; AGPS; Ultrasound; Infrared ray; RFID; RSSI; WeavLAN

### 1 序言

室内定位系统是指定在建筑物和封闭的环境内定位和跟踪物体, 系统是根据无线电波、光学跟踪或超声波技术原理来实现的. 对物体的探测和跟踪是很多监测和活动识别应用的基础, 目前研究者们已经开发了很多针对室内和室外物体定位计算的系统<sup>[1,2]</sup>. 大部分定位技术的解决方案是根据三角定位和多点定位技术, 这些技术使用了能代表物体位置信息的光线<sup>[3,4]</sup>、超声波<sup>[5,6]</sup>或电波信号<sup>[7,8]</sup>. 此外还有另外一些相对定位技术比如惯性定位方法<sup>[12]</sup>, 但是相对定位技术会积累误差需要定期的校准位置信息.

室内定位系统主要是为了在一个大的建筑物和封闭的工作区域方便地寻找和定位人员或物体, 例如在医院定位病人, 寻找在火灾区域受困的人员或在一个很大的工作区域寻找工作人员. 为了在室内定位或跟踪人员或物体, 我们通常在人员和物体上安装标签、

标记或定位器等设备.

很多定位系统都用不同的方法和技术来确定物体的位置, 它们有不同的定位精度、配置和适用性. 一些比较著名的定位系统如 A-GPS, Cambridge AT&T 实验室的 Bat 超声波定位系统<sup>[3]</sup>, Microsoft Research's 的 WaveLan 无线网络定位系统<sup>[15]</sup>, Active bats 定位系统<sup>[16]</sup>, 基于射频标签的 LANDMARC 定位系统<sup>[8]</sup>, 计算机视觉定位系统<sup>[18]</sup>.

本文主要研究目前各种主流的室内定位技术的最新进展, 分析和比较它们的性能以及适用性, 为室内定位技术研究人员和应用人员提供有价值的参考.

### 2 室内定位技术

#### 2.1 AGPS(Assistant-GPS)辅助全球定位技术

GPS 是目前最流行的物体位置定位系统, 广泛应用于航空航海、车辆导航等领域. 用户定位设备为 GPS

<sup>①</sup> 基金项目:浙江省科技厅公益技术项目(2011C33031);杭州市科技局项目(20110533B15)

收稿时间:2013-02-10;收到修改稿时间:2013-03-15

接收机, 主要作用是从 GPS 卫星收到信号并利用传来的信息计算用户的三维位置及时间. GPS 是一种室外定位技术, 定位精度受气候、地理环境、美国政府控制以及接收机的性能影响, 在空旷环境定位精度一般在几米到几十米, 实际情况可能会更差. 同时定位时间比较长, 首次定位时间可达 2-5 分钟, 所以 GPS 技术不适用于室内定位.

正因为 GPS 的限制, 研究者们开发了 GPS 辅助全球定位系统(A-GPS), 它使用设备的 GPS 芯片和移动电话网络(cellular network)来实现定位. 使用 A-GPS, 首次定位时间可缩短到 12 秒. AGPS 定位的基本原理是定位终端首先将本身的基站地址通过网络传输到 AGPS 定位服务器; AGPS 服务器根据该终端的概略位置传输与该位置相关的 GPS 辅助信息估算该终端的位置, 最后 AGPS 服务器将该手机的位置通过网络传输到定位终端或应用平台. AGPS 系统如图 1 所示.

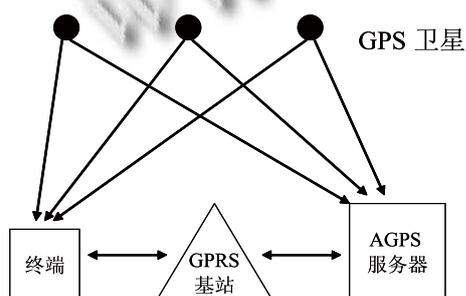


图 1 AGPS 系统

文献[9]提出了一种建立包含 AOA、TOA、SNR 和 AGPS 聚类点坐标数据历史数据库, 通过迭代计算得到每个待定位终端的最终位置估计的方法, 能够不受场景限制, 较好地完成定位. 文献[10]利用 Leica1230 双频接收机测量大楼楼顶的平面坐标, 用 NokiaE72 AGPS 手机在大楼内实测精度为 30m(49.44%有效), 60m(97.99%有效).

## 2.2 红外线定位技术

Active badges 是 Cambridge 大学 AT&T 实验室开发的第一个室内定位传感系统<sup>[3]</sup>, 每个人身上携带一个微型的红外发射器, 该发射器每 10-15 秒钟发射一个独特的身份信息代码, 覆盖在建筑物内的红外接收站网络将会接收到这些红外发射器发出的信号而进行定位.

文献[11]报道通过使用多对红外发射器和红外接收器交叉组成的探测信号网来覆盖待测空间, 探测距离最大可达 30m, 定位精度可达 0.05m. 文献[13]报道

基于最小二乘法原理的极小化误差法, 探测距离可达 20Km, 定位精度可达 10m. 虽然红外线具有相对较高的室内定位精度, 但是由于光线不能穿过障碍物, 使得红外射线仅能视距传播. 直线视距和传输距离较短这两大主要缺点使其室内定位的应用得到很大限制. 当标识放在口袋里或者有墙壁及其他遮挡时就不能正常工作, 需要在每个房间、走廊安装接收天线, 造价较高. 因此, 红外线只适合短距离传播, 而且容易被荧光灯或者房间内的灯光干扰, 在精确定位上有局限性.

## 2.3 超声波定位技术

### 2.3.1 Active bats

Cambridge AT&T 实验室在 Active Badges 系统基础上开发了 Active bats 超声波定位技术, 该技术能够提供更好更精确的室内定位服务. 人员或物品携带或附属一个“bats”的超声波标签<sup>[17]</sup>. 这些标签向安装在天花板上的超声波接收器定期发出超声波信号, 定位系统产生基本的位置和导向信息, 如图 2 所示. 使用超声波定位技术的问题是需要天花板上安装大量的超声波接收器以及这些接收器的安装位置也需要精确地计算.

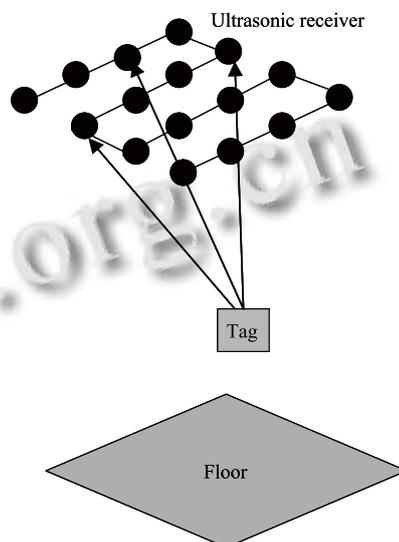


图 2 Active Bat 超声波定位系统

### 2.3.2 Crickets

为了解决 Active bat 定位系统需要安装大量周密部署接收器装置的问题, MIT 开发了最早的可轻松随意部署的定位系统 Cricket. 它由散布在建筑物内位置固定的锚节点和需要定位的人或物体携带的未知节点(称为 Listener)组成锚节点随机地同时发射 RF 和超声波信号,

超声波信号中包含该锚节点的位置和 ID, 未知节点使用 TDOA 技术测量其与锚节点的距离, 当它能够获得 3 个以上锚节点距离时(即使用三边测量法提供物理定位), 在一个  $10\text{m}^3$  的室内环境精度可达  $1\text{-}2\text{cm}$ <sup>[19]</sup>. 文献[20]报道基于超声波技术和射频技术, 引入节能机制, 改进 Cricket 室内定位系统的信道分配策略, 当信标和接收机距离为  $0\text{-}6\text{m}$  时, 精度为  $1.2\text{m}$ .

### 2.3.3 Dolphin

物理空间互联网络的分布式物体定位系统 Distributed Object Locating System for Physical space Internetworking (Dolphin). 文献 [21] 和 [22] 介绍了 Dolphin 系统由分布式的无线传感节点组成, 这些节点发射和接收 RF 和超声波信号, 采用分布式定位算法, Dolphin 技术降低了物体定位的系统配置, 在  $3\text{m}\times 3\text{m}$  的空间可以达到  $2\text{cm}$  的精度.

### 2.4 RSSI 定位系统

Received Signal Strength Information(RSSI)接收信号强度信息技术是使用 RF 信号来估算发送和接收设备间的距离<sup>[1]</sup>, 被测物体的位置是根据接收到的 RF 信息强度来利用三角测量或三边测量技术计算的, 在测量之前需要建立参考位置信息数据库, 待测的 RSSI 数据需要和经验测试数据相对比来找到最匹配的结果. 由于 RSSI 数据会受到室内墙壁或障碍物的多径反射折射影响, 所以在实际应用中应充分考虑到.

采用 RF 信号定位的系统有 WaveLAN, Ultra Wide Band and RFID.

#### 2.4.1 WaveLAN 无线网络技术

文献[15]报道了一个利用 WaveLAN 无线网络技术开发的室内跟踪系统, 该系统利用网卡接收到的信号强度和有效的信噪比, 根据室内无线信号传播的经验数据或者数学算法通过三角法计算出物体平面的位置. 这个定位技术方法优势是部署灵活方便, 只需要极少的无线基站, 但是被跟踪定位的物体必须配置一个 WaveLAN 网卡模块, 而且在多层建筑物内使用会收到信号的穿透干扰影响, 系统的定位精度在  $3\text{m}$  左右. 文献[23]报道基于空间相关性滤波和迭代最小冗余剔除 NLoS 的 ToA 定位算法, 其定位精度小于  $1\text{m}$ .

#### 2.4.2 Ultra Wide Band technology

超宽带(Ultra Wide Band,UWB)技术, 是一种无线载波通信技术, 广泛应用于定位技术中, UWB 定位原理按照测量参数不同, 可分为基于接收信号强度法

(Signal-Strength,SS)、基于接收信号时间法(Time of Arrival, TOA)和基于接收信号角度法(Angle of Arrival, AOA), UWB 定位系统由传感器组、定位标签、服务器等组成, 系统连接如图 3 所示.

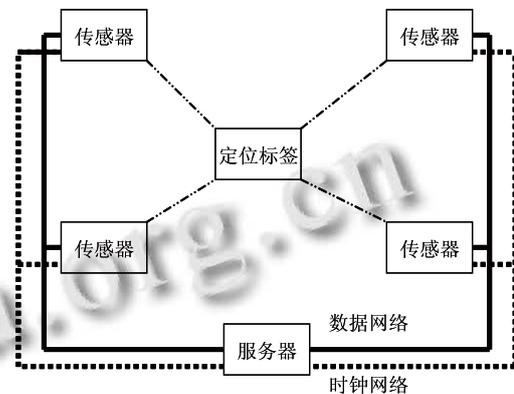


图 3 UWB 定位系统

文献[24]报道超宽带脉冲(IR-UWB)信号具有的高达纳秒级别的时间分辨能力, 结合基于到达时间(TOA, time of arrival)的测距算法在理论上可获得厘米级别的定位精度. 文献[25]提出利用 NLOS 距离误差信息对 TOA 测距结果修正可以提高定位精度, 试验证明精度可达  $5\text{-}45$  厘米.

#### 2.4.3 RFID 技术

RFID(Radio Frequency Identification)是一种非接触式无线射频识别技术, 也称为电子标签, 其成本低, 通信协议简单、灵活, 被广泛应用于物品、人员、车辆等的识别跟踪和定位上. 比较典型的有 SPOTON 和 LAND-MARC 系统<sup>[8]</sup>.

LAND-MARC 系统是一种基于有源射频识别技术、以位置固定的参考标签为辅助校验定位基准的二维动态定位识别系统, 整个系统包括 RFID 读写器、RFID 待定位标签和参考标签, 如图 4 所示, 基本算法是基于间接测量和近邻算法的原理, 利用经验公式来估算待定位标签的坐标位置. 文献[27]提出改进的 LAND-MARC 算法, 定位精度可达  $0.03\text{-}1.85\text{m}$  之间.

SpotON 是基于信号强度分析, 发展了一种聚合算法对三维空间进行定位, SpotON 系统中硬件标签成网络状分布, 无需中央控制单元, 通过检测到标签的信号强弱值来换算表示标签之间的物理距离. 文献[8]提出一种基于 SpotON 的室内 3D 定位感知系统, 测量精度达  $1\text{m}^3$ .

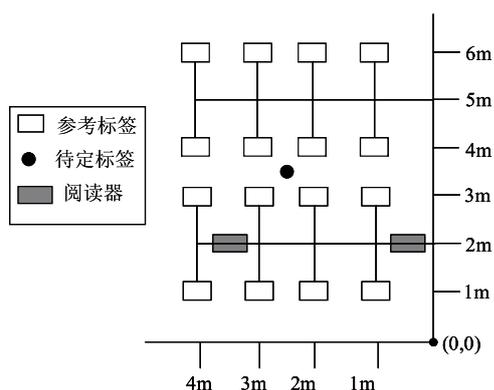


图 4 LAND-MARC RFID 定位系统

RFID 区域和点式定位:

在一些实际应用中,对于定位精度要求不高的区域定位,则采用简单的 RFID 阅读器定位方法,每个 RFID 阅读器都有一定的接收距离,合理部署 RFID 阅读器,通过软件组合逻辑判断定位标签在哪个阅读器读取范围之内,该定位精度取决于阅读器读写距离以及阅读器安装的密度,一般实际应用精度在 10 米左右,如图 5 所示.如果要在在此基础上实现某些特定区域或轨迹的精确定位,则可以增加低频 RFID(125K)唤醒器和带低频唤醒的 RFID 标签,由于 125K 低频电磁波基本不受环境影响(除了金属),而且识别距离可稳定控制在 1-3m 范围,其精度小于 1m.

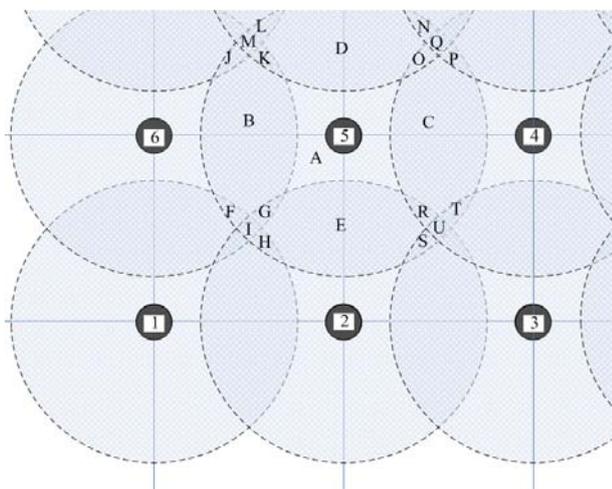


图 5 RFID 区域定位系统

2.5 计算机可视化系统

文献[18]提出一种利用多摄像头来定位人员的可视化系统,系统采用两套立体彩色摄像头来定位房间内的多个人员活动.立体图像用来定位人员,彩色图

像用来辨别身份,系统的定位精度可达 10cm. 该系统的缺点是需要室内每个角落安装多个摄像头,所以造价昂贵. 文献[28]也提出了一种利用两个摄像头进行可视人员进行定位系统,试验结果显示这个 3D 物体定位比单个摄像头系统更精确,该系统是为智能机器人增加它们识别环境和位置能力而设计的. 文献[29]报道了动平台下双目视觉定位标定算法定位精度控制在 mm 范围内.

3 总结

本文通过研究当前各种室内定位技术和系统,分析了每种室内定位技术和系统的优点和不足,表 1 列出了各种室内定位技术的精度、识别范围、工作原理等参数的比较.

表 1 各种室内定位技术比较

| 系统           | 精度     | 信号  | 原理  | 成本 | 耗电 |
|--------------|--------|-----|-----|----|----|
| A-GPS        | 30-60m | RF  | TOA | 高  | 高  |
| Active badge | 7cm    | 红外线 | TOA | 一般 | 一般 |
| Active Bat   | 9cm    | 超声波 | TOA | 一般 | 一般 |
| Cricket      | 2cm    | 超声波 | TOA | 低  | 一般 |
| Dolphin      | 2cm    | 超声波 | TOA | 一般 | 一般 |
| WaveLAN      | 3m     | RF  | RSS | 一般 | 高  |
| UWB          | 10cm   | RF  | TOA | 一般 | 一般 |
| SPOT ON      | 3m     | RF  | RSS | 低  | 低  |
| LANDMARC     | 1-2m   | RF  | RSS | 一般 | 低  |
| RFID(微波)     | 10m    | RF  | RSS | 低  | 低  |
| RFID(低频)     | 0.5-1m | RF  | RSS | 低  | 低  |
| 视觉           | 1cm    | 图像  | 图像  | 高  | 高  |

实际工程应用中采用什么室内定位技术和系统应该综合考虑应用环境、成本、定位精度、系统耗电等因素,如需要 cm 级精确定位则可选择红外线和超声波定位系统,如对定位精度要求不高但对成本和耗电要求严格则 RFID 技术为首选. 在定位技术上,基于 RSSI 和 TOA 的各种改进定位算法将是今后室内定位技术研究和发展的重点. 随着人们对室内定位要求的不断提高以及新技术的不断发展,室内定位的应用前景非常广阔,同时室内定位技术将会不断相互融合、取长补短以及实现室内定位和室外定位的无缝整合.

参考文献

1 宋保业,田国会,周风余.智能空间中的环境自适应 RSSI 定位.高技术通讯,2012,22(10):1083-1089.

- 2 Zhu YJ, Deng ZL, Ji H. Indoor localization via-graph regularized semi-supervised manifold learning. 中国邮电高校学报:英文版,2012,19(5):39-44.
- 3 Want R, Hopper A, Falcao V, Gibbons J. The active Badge location system, ACM Transactions on Information systems, 1992,40(1):91-102.
- 4 Want R, Schilit B, Adams N, Gold R, Goldberg D, Petersen K, Ellis J, Weiser M. The Parctab Ubiquitous Computing Experiment. Book Chapter:“Mobile Computing”,Kluwer Publishing, Ed by Imielinski T. Chapter 2, ISBN 0-7923-9697-9, February 1997:45-101.
- 5 王富东.超声波定位系统的原理与应用.自动化与仪表,1998,13(3):15-17.
- 6 华蕊,郝永平,杨芳.超声波定位系统的设计.国外电子测量技术,2009,10(6):65-67.
- 7 邓平,薄平志.蜂窝系统无线定位原理及应用,移动通信,2000,24(5):19-22.
- 8 Hightower J, Want R, Borriello G. SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength, UW CSE00-02-02,<http://www.cs.washington.edu/homes/jeffro/pubs/hightower2000indoor/hightower2000indoor.pdf>. February 2000:35-36.
- 9 张鹏,骆晓亮.一种终端定位方法和一种基站.H04W64/00 (2009.01)I,201110030091,2012-08-01.
- 10 谢翔,荆昊,郭际明.室内环境下手机 GPS 定位精度研究.测绘通报,2012,8(2):95-97.
- 11 宁静.采用红外织网的室内定位技术.激光与红外,2011,7(41):775-777.
- 12 Hamilton KS, Martell J. Architecture and System Performance of SPAN NovAtel's GPS/INS Solution, Proc. of IEEE/ION PLANS 2006, San Diego, USA, April 2006: 23-25.
- 13 侯娜,黄道君.红外无源定位技术研究.电子对抗技术,2002,17(4):12-14.
- 14 Starlink Incorporated. DGPS Explained,<http://www.starlinkdgps.com/dgpsexp.htm>.1999.
- 15 Bahl P, Padmanabhan VN. User Location and Tracking in an In-Building Radio Network,Microsoft Research Technical Report: MSR-TR-99-12, February 1999.
- 16 Harter A, Hopper A. A Distributed Location System for the Active Office, IEEE, Network, January 1994.
- 17 Hazas M, Hopper A. A Novel Broadband Ultrasonic Location System for Improved Indoor Positioning. IEEE Transactions on mobile Computing, 2006,5(5):129-132.
- 18 Krumm J, Harris S, Meyers B, Brumitt B, Hale M, Shafer S. Multi camera Multi-person tracking easy living. 3rd IEEE International Workshop on Visual Surveillance, Dublin, Ireland, 2000: 1-8.
- 19 Priyantha NB. The cricket indoor location system[PhD Thesis]. Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- 20 刘君,吴建国,褚曦丹,朱丽进,李炜.Cricket 室内定位系统的研究与改进.计算机技术与发展,2011,5(21):207-209.
- 21 Fukuju Y, Minami M, Morikawa H, Aoyama TD. An autonomous indoor positioning system in ubiquitous computing environment,in Proc of the IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded Systems, 2003
- 22 Minami M, Fukuju Y, Hirasawa K, Yokoyama S, Mizumachi M, Morikawa H, Aoyama T. Dolphin:A practical approach for implementing a fully distributed indoor ultrasonic positioning system,Ubicomp, 2004.347-365.
- 23 Luo HY, Liu SJ, Liu XM. NLoS Mitigation in ToA Localization Based on Spatial Correlation Filter and Iterative Minimum Residual,China Communication(中国通信英文版),2012,4(9):14-16.
- 24 GEZICI S, POOR H V. Position estimation via ultra-wideband signals.IEEE Proceedings,2009,97(2):386-403.
- 25 Gab-Hoe Kim,Jong-Sung Kim,Ki-Sang Hong.Vision-based Simultaneous Localization and mapping with Two Cameras, RSJ Int conference on intelligent robots and systems 2009: 3401-3406.
- 26 蒙静,张钦宇,张乃通,陈萍,刘宁宁.IR-UWB 定位系统距离误差建模及性能研究.通信学报,2011,6(32):11-13.
- 27 顾嘉,钱钰博,孙厚芳,王婧.工装室内定位技术研究,北京理工大学学报,2010,9(30):1057-1059.
- 28 Kim GH, Kim JS, Hong KS. Vision-based Simultaneous Localization and mapping with Two Cameras, RSJ Int conference on intelligent robots and systems,2010: 3401-3406.
- 29 钱真,彭秀艳,贾书丽,刘海波.动平台下双目视觉定位标定算法研究.计算机仿真,2012,10(29):293-297.