

文章编号: 2095-2163(2019)05-0091-04

中图分类号: TN92

文献标志码: A

# 基于 UWB 的室内定位技术综述

丁亚男, 张旭, 徐露

(上海工程技术大学 航空运输学院, 上海 201620)

**摘要:** 随着卫星定位技术 (Global Positioning System, GPS) 在室外定位中的深入应用, 人们在室外环境下对位置服务 (Location Based Service, LBS) 愈加依赖, 而室内环境中的定位技术还有待发展。本文主要研究了目前室内环境下的主流定位技术及其解决方案, 并将其优缺点进行了对比分析, 最终给出选择超宽带定位技术的原因。同时, 还分析了超宽带定位技术的基本原理及最终选择 TDOA 算法的原因, 并给出求解其后续非线性方程组的建议。简述了在室内环境下影响移动目标精准定位的主要因素, 其中, 因为非视距传播最能影响信号传播, 所以针对降低其对精度的影响力进行了相关算法介绍。

**关键词:** 室内定位; 超宽带; TDOA; 定位精度; 非视距环境

## Overview of indoor positioning technology based on UWB

DING Yanan, ZHANG Xu, XU Lu

(School of Air Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**[Abstract]** With the in-depth application of satellite positioning technology in outdoor positioning, people have become increasingly dependent on Location Based Service (LBS) in outdoor environment, while the positioning technology in indoor environment still needs to be developed. This paper mainly aims at indoor environment, summarizes the current mainstream positioning technology and its solutions, and compares its advantages and disadvantages, finally gives the reasons for choosing ultra-wideband positioning technology. At the same time, the basic principle of ultra-wideband positioning technology and the reason of choosing TDOA algorithm are analyzed, and the suggestions of solving its nonlinear equations are given. This paper briefly discusses the main factors that affect the precise positioning of moving target in indoor environment, among which, because the non-line-of-sight propagation can best affect the signal propagation, the corresponding algorithm is introduced to reduce its influence on precision.

**[Key words]** indoor positioning; UWB; TDOA; positioning accuracy; NLOS

## 0 引言

室内定位系统 (Indoor Positioning System, IPS) 功能是在室内环境下显示人或物品位置信息, 其目的旨在实时掌握目标物体的位置情况。目前, 随着社会经济的发展, 人们对位置服务的需求愈加强烈, 已经从室外延伸至室内环境。超宽带 (Ultra-Wideband, UWB) 是利用宽度为纳秒级的脉冲作为无线通信信号的新兴通信技术, 在时间分辨率方面尤为突出且定位精度能够精确到厘米级别。此外, 在抗多径能力和穿透性方面也有着较好表现, 适用于高精度的室内定位服务<sup>[1]</sup>。

目前, 在室外空旷的环境中定位应用最为广泛的是卫星定位系统。然而与室外环境相比, 室内比

较封闭且存在大量的遮挡物, GPS 在室内环境下覆盖率较差, 因此难以有效应用于室内定位。研究可知, 室内定位系统包括 3 部分, 分别是: 基于视觉信息、基于无线信号以及其它方法, 见图 1(a)。继而有研究指出, 基于无线的定位系统可以分为 4 类, 即: 红外线定位系统、射频系统、全球定位系统以及超声波系统。其中, 射频系统中常用的技术有 WiFi 技术、蓝牙技术、Zigbee 技术、超宽带技术。RFID 技术室内定位技术<sup>[2]</sup>, 见图 1(b)。

综上分析论述可知, 在现有的无线定位技术中, UWB 信号具有高传输率、低功耗、抗干扰性强等优点且定位精度能够精确到厘米级别, 使得 UWB 有着不可比拟的优势, 因此选取 UWB 作为 IPS 的通信信号。对此拟展开研究论述如下。

**作者简介:** 丁亚男 (1996-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 机场定位系统研究; 张旭 (1973-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 民航信息工程、民航电子政务; 徐露 (1994-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 民航电子政务、航空信息控制。

收稿日期: 2019-07-15

哈尔滨工业大学主办 ◆ 学术研究与应用

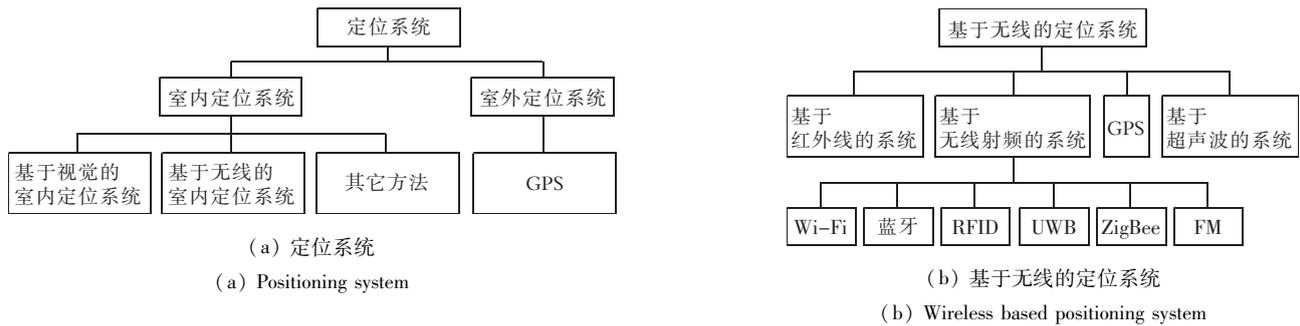


图1 定位系统的分类架构总览

Fig. 1 Overview of classification architecture of location system

## 1 UWB 定位

FCC (Federal Communications Commission) 在 2002 年制定规范正式允许使用了 UWB 通信系统,超宽带技术是不用载波的,其突出优势是能够快速

地将系统所需数据传输到指定位置、低功耗、抗干扰能力强,也不会对同一环境下的其它设备产生干扰,且定位精度能精确到厘米级。

### 1.1 与其它室内定位的比较

目前,IPS 常用的技术性能对比见表 1。

表 1 常用室内定位技术对比

Tab. 1 comparison of common indoor positioning technologies

技术	频率	精度	覆盖范围	隐私安全	费用	功耗	可扩展性	抗干扰性	延迟
WiFi	802.11n2.4/5 GHz	2-3 m	70 m	中	低	中	中	低	几乎实时
	802.11ac5 GHz	2-3 m	35 m	高	低	中	中	低	几乎实时
	802.11ad60 GHz	2-3 m	3.3 m	低	低	中	中	低	几乎实时
Bluetooth	2.4 GHz	2-3 m	10 m	高	高	低	中	低	20 s
ZigBee	2.4 GHz	3-5 m	40 m	高	中	低	高	低	非实时
RFID	Active 433 MHz	1-3m	100 m	高	高	中	中	高	几乎实时
	Passive13.6 MHz	<1 m	1 m	高	高	中	中	高	几乎实时
UWB	3.1-10.6 GHz	10-30 cm	20 m	高	中	低	高	高	几乎实时

### 1.2 UWB 室内定位技术的算法研究

在使用 UWB 信号作为通讯信号的室内定位中,测距和非测距方法都可以用于确定移动目标的位置。传统用于测距的方法分别有:三边测量法 (Trilateration)、三角测量法 (Triangulation),无需测距的定位方法中运用最多的是指纹匹配法 (Fingerprint)。这里,对于各类算法分析可做阐释论述如下。

#### 1.2.1 RSSI 匹配定位算法

RSSI 匹配算法的主要思想:根据距离和能量衰减公式用指纹匹配法来估计接入点与移动物体两者的距离。具体分为离线和在线两个阶段。其中,离线阶段事先搜集相关的数据构成指纹数据库,即首先在建筑物中定义参考节点,其次搜集每个接入点在各个参考节点处的数据,最终形成包含每个参考节点处各接入点的 RSSI 值的数据库。在线阶段中,用户则会接收到来源于各个接入点的真实 RSSI

值,并将该值与指纹数据库运用估计算法(如 k-Nearest Neighbor algorithm)进行匹配,从而得到用户在指纹地图中的位置。

一般来说,在信号传输时室内环境中的遮挡物较多,因此使用 RSSI 指纹匹配法容易遇到非视距 (NLOS)传播以及多径效应的干扰,从而导致移动目标在该场景下的位置估计出现较大的偏差。针对上述情况,采用其它算法对出现的偏差进行校正时,不能保证每次都有较好的校正结果。

#### 1.2.2 AOA 定位算法

AOA 定位算法的主要思想:用独有的硬件设施测出移动标签与基站(通常数量至少 2 个)之间的角度,再运用三角测量法定位移动标签的位置坐标。在已知基站 A、B 的坐标的情况下,设其坐标分别是  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ ,移动标签的坐标是  $(x, y)$ ,三者之间的夹角如图 2 所示。

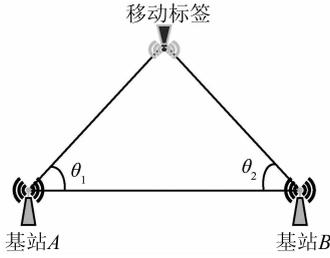


图2 移动标签与基站的位置示意图

Fig.2 Location diagram of mobile tag and base station

根据正弦定理可以求出移动标签的位置坐标,因此会用到如下数学公式:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\sin\alpha}{\sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2}} &= \frac{\sin(\pi-\alpha-\beta)}{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}} \\ \frac{\sin\beta}{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}} &= \frac{\sin(\pi-\alpha-\beta)}{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

该算法运行时需要额外的天线,故而就会增加系统的成本。又因为AOA算法是基于角度的算法,因此对角度的测量要求较高,且容易受到非视距的影响。

### 1.2.3 TOA 定位算法

TOA算法的主要思想:中央处理器将每个基站和目标节点间的到达时间进行处理。而每个基站则运用三边测量法建立一个定位模型,旨在求得找到移动物体的坐标信息。二维情况下的TOA定位算法的模型则如图3所示。

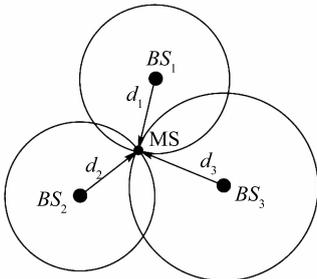


图3 TOA定位算法模型

Fig.3 TOA positioning algorithm model

假设目标标签的位置坐标是 $(x,y)$ ,第 $n$ 个基站的位置坐标为 $(x_n,y_n)$ 。假设移动标签在 $t$ 时刻发射信号,则第 $i(i=1,2,3)$ 个基站接收到该信号的时间为 $t_i$ ,此时二维模型下移动标签的位置可表示为:

$$\left\{ \begin{aligned} \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2} &= c(t_1-t); \\ \sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2} &= c(t_2-t); \\ \sqrt{(x-x_3)^2+(y-y_3)^2} &= c(t_3-t). \end{aligned} \right. \quad (2)$$

根据公式(2)就可求出移动标签的位置坐标。

TOA算法中对到达信号的时间在其同步上的精确度要求比较高,这是因为时间需要乘以光速 $c$ ,因此就使得不论是多小的时间误差乘以光速后都会变成较大的误差,对室内定位的精准度造成严重的影响。

### 1.2.4 TDOA 定位算法

TDOA定位的主要思想:一组基站测量的时间差能确立一对双曲线,其焦点就是两基站,而移动物体就是双曲线上的某点。TDOA算法与TOA不同点在于可通过2个不同传播速度的信号到达时间差,或同一个信号到达不同节点所产生的时间差来测量距离;相同点就同样都是使用了三边测量法。研究可得,二维情况下的TDOA定位模型如图4所示。

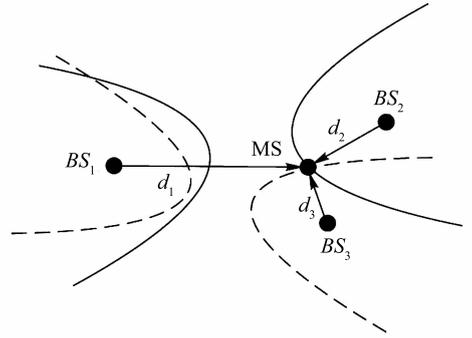


图4 TDOA定位算法模型

Fig.4 TDOA positioning algorithm model

假设移动标签的坐标是 $(x,y)$ ,第 $i(i=1,2,3)$ 个基站的坐标是 $(x_n,y_n)$ ,因此可得到2D模型下移动标签的位置表示为:

$$\left\{ \begin{aligned} d_1 - d_2 &= \sqrt{(x_1-x)^2+(y_1-y)^2} - \sqrt{(x_2-x)^2+(y_2-y)^2}; \\ d_1 - d_3 &= \sqrt{(x_1-x)^2+(y_1-y)^2} - \sqrt{(x_3-x)^2+(y_3-y)^2}. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

根据公式(3)可得移动标签的位置坐标。

TDOA最终展现出来的是双曲线定位模型,模型求得的解就是移动标签的位置信息,但该模型是非线性方程组。非线性方程组的求解过程比较困难,目前的求解算法主要有:Fang算法、Chan算法、Friedlander算法以及Taylor算法等<sup>[3]</sup>。

## 2 影响室内定位的主要因素

### 2.1 非视距传播

信号在无线通信过程的传播条件有视距(Line

of Sight, LOS)以及非视距(Non Line of Sight, NLOS)环境,其中视距环境可以直观理解为信号能够直接传输至指定地点,而非视距环境可以直观理解成信号会遭到障碍物的阻挡而无法直线传输。通常在视距情况下,信号能够进行高质量的传输,因为信号在无障碍物的空间内可以在信号发射端以及信号接收端做到直线传输。而在非视距传播的环境下,信号在传输过程中因遭到遮挡物的阻挡,导致其不能够进行点对点的直线传输。只能够在信号触碰到遮挡物的阻挡后借助反射、折射以及衍射的方式进行间接传输。最终导致无线信号在接收点处包含着大量的失真信号,从而严重影响到室内环境下对移动目标的位置估计。信号的非视距传播是限制室内定位系统精确度的主要原因之一,当下提高室内定位精度的解决途径之一就是识别并消除非视距信号。

## 2.2 多径效应

多径效应表现为电信号从发射端发射后,经过数条不同的信道传播至相同的信号接收端。电信号在不同的信道上传播时,因遭受遮挡物干扰所产生的反射、折射及衍射,这样一来就会导致信号在到达接收端时出现的幅度和相位大小不可控现象。当相位同相时,到达接收端的信号强度会随之增强,反之同理<sup>[4]</sup>。但是,由于室内环境的特殊性,即使在室内环境没有任何微小变动的情况下,也会使得无线信号的强度很容易发生改变,从而影响室内定位的精度。

## 3 非视距的鉴别和消除

识别并消除 NLOS 环境。如果在 LOS 环境下,通常包含较小的噪声,对研究时的数据影响不大;而对于 NLOS 情况下,原始数据往往包含较多的噪声,这就需要将采集的数据进行处理方可投入应用。

江歌等人<sup>[5]</sup>研究了在非视距传播中提高超宽带技术在室内环境下移动目标的定位准确度。过程

中,将最小二乘法(LS)与粒子群优化算法(particle swarm optimization, PSO)相结合,形成了 LS-PSO 算法。首先重构 TDOA 模型,然后将 NLOS 误差的均值和方差用于对 TDOA 模型做出参数调整,最后运用提出的新算法来估计移动物体的坐标。仿真结果显示与常用的 Chan 算法、最小二乘法相比,该算法在提高室内环境下移动目标位置的精确度方面更有优势。

曾玲等人<sup>[6]</sup>发现在室内环境中,非视距传播会对估计移动目标位置的准确度产生明显不良影响,故有针对性地提出基于非视距鉴别的 TOA 定位算法。首先判断出 NLOS 基站,并重新算出其 TOA 的值,再赋给其 TOA 值以较小的权重,最后,运用加权最小二乘法结合上述权重,致力于更为准确地估计移动目标的位置信息。仿真结果显示,该算法与最小二乘算法相比在确定移动目标的位置坐标方面具有更高的可靠性。

## 4 结束语

本文整体阐述了室内定位系统的一些基础性概念,分析了在室内环境下选择超宽带技术的原因。在室内环境下影响移动目标精准定位的非视距传播是可以通过其它算法来进行校准的。

## 参考文献

- [1] 刘韬,徐爱功,隋心. 超宽带与惯性导航组合的室内导航定位[J]. 测绘科学,2016,41(12):162-166.
- [2] 罗勃. 基于 UWB 技术的 TDOA 定位算法的研究与实现[D]. 海口:海南大学,2017.
- [3] 赵红梅,赵杰磊. 超宽带室内定位算法综述[J]. 电信科学,2018,34(9):130-142.
- [4] 刘玉杰. 基于扩展卡尔曼滤波算法的融合室内定位系统研究与实现[D]. 南京:南京邮电大学,2016.
- [5] 江歌,李志华. 非视距环境下的超宽带室内定位算法[J]. 计算机测量与控制,2018,26(11):203-207.
- [6] 曾玲,彭程,刘恒. 基于非视距鉴别的超宽带室内定位算法[J]. 计算机应用,2018,38(S1):131-134,139.

(上接第 90 页)

- [7] 王钧,张鹏,袁帅. 基于股票预测的 Seq2Seq RNN 和 LSTM 模型比较[J]. 时代金融,2018(12):381-382,392.
- [8] 方旭,过弋,王祺,等. 核心词修正的 Seq2Seq 短文摘要[J]. 计算机工程与设计,2018,39(12):3610-3615.
- [9] KOBASA A. Genetic user modeling systems[J]. User Modeling

and User Adapted Interactive, 2001(11):49-63.

- [10] 郭金婷. 云计算环境下图书馆云服务模式构建[D]. 大连:辽宁师范大学,2012.
- [11] 李岩. 基于深度学习的短文本分析与计算方法研究[D]. 北京:北京科技大学,2016.