

一种改进的超宽带室内定位方法

何欣欣, 刘爱莲, 刘伟, 胡月

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650500)

摘要: 针对目前超宽带室内定位技术至少需要 4 个接收器直接接收来自发射端信号的情况, 利用超宽带高时间分辨率能力和室内环境中宽大平坦的反射物特征, 提出了只用 3 个接收机的到达时间差(TDOA) 三维定位方法. 该方法利用多径延迟和发射物位置的信息进行定位. 实验结果表明, 本定位方法比传统的假设高度 TDOA 的方法测量精确.

关键词: 超宽带; 室内定位; 到达时间差

中图分类号: TN925 文献标志码: A

An improved indoor positioning method based on ultra wideband

HE Xin-xin, LIU Ai-lian, LIU Wei, HU Yue

(Faculty of Infor. Eng. and Auto. Kunming Univ. of Sci. and Tech. Kunming 650500, China)

Abstract: Aiming at the situation that four or more receivers of ultra-wideband(UWB) positioning technology are needed to directly receive signals from transmitting terminal. Positioning method for only three receivers with TDOA was proposed using high time resolution of UWB signals and character of big flat reflective surfaces in the environment to estimate the 3D position. This method can position applying of the information of multipath delay and reflector position. The experiment results showed that this method could determine the transmitter's position with better accuracy than the conventional assumed height TDOA method.

Key words: ultra wideband; indoor positioning; time difference of arrival(TDOA)

0 引言

物联网是继计算机、互联网与移动通信网之后的又一次信息产业浪潮, 对促进互联网的发展及带动人类的进步发挥着重要的作用^[1-2]. 物联网通过射频识别(RFID)、红外感应、全球定位系统(GPS)等信息传感设备, 按约定的协议, 把物品与互联网相连接, 从而进行信息交换和通信, 以实现物品的定位和管理. 物联网的应用非常广泛, 其中有很多应用是在室内环境中的, 比如体育馆的勤务活

动、消防队员建筑物内的灭火行动、医疗病人的监护、煤矿井下人员的追踪等, 因此需要有较为精确的室内定位. 目前物联网广泛使用的无线定位技术在室内环境中的应用效果不是很理想^[3]. RFID 定位技术作用距离短, 一般最长为几十米, 且不具有通信能力, 因此不便于整合到其他系统中去; 红外线定位技术虽然具有较高的室内定位精度, 但是由于光线不能穿过障碍物, 使得红外线仅能视距传播, 而且红外线容易被荧光灯或者房间内的灯光干扰, 因此在室内定位上有局限性; GPS 虽然定位覆盖

收稿日期: 2012 - 04 - 04

作者简介: 何欣欣(1987—), 女, 江苏省盐城市人, 昆明理工大学硕士研究生, 主要研究方向为无线通信.

的面积大、定位导航信号免费,但是到达地面的定位信号较弱,且不能穿透建筑物,因此也不适合室内定位。

超宽带技术是近几年发展起来的通信技术,它不需要使用传统通信体制中的载波,而是通过具有很陡上升和下降时间的冲击脉冲对数据进行直接调制,从而具有 GHz 量级的带宽。超宽带技术具有对信道衰落不敏感、发射信号功率谱密度低、系统复杂度低、能提供厘米级的定位精度等优点,尤其适用于室内等密集多径场所的应用。目前超宽带定位技术通常运用到到达时间差(TDOA)方法实现3D定位^[4],为实现此三维定位系统至少需要4个接收器直接接收来自发射端的信号。本文则充分利用超宽带高时间分辨率能力和室内环境中宽大平坦的反射物的特点,建立一种只采用3个接收机来实现TDOA三维定位的新方法。

1 超宽带定位方法分析

超宽带定位技术的常用方法TDOA的技术思想主要基于距离公式

$$\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2}=C(t_i-t_0) \quad i=1 \cdots N \quad (1)$$

其中 (x, y, z) 和 (x_i, y_i, z_i) 分别表示被测点和第*i*个参考节点的位置坐标, t_0 表示被测点发送信号的时间, t_i 表示信号到达参考节点的时间。要确定一个三维坐标,至少需要4个参考点,建立4个方程,求解四元二次方程组,方可得被测点的坐标。但是由于在室内有物体的反射还有热噪声等影响,为了提高有效解的概率和测量精度,通常会选择5个以上的参考点。

在室内环境中,物体产生反射和衍射将造成多径分量。而超宽带的信号具有的高时间分辨率可以分辨多径分量,因此本文利用多径延迟和反射物位置的知识来进行定位。

1.1 定位系统模型

此模型中的发射器*T*发射脉冲信号,一组接收器*R*来接收信号。每个接收器的三维坐标 $R_n = [x_n, y_n, z_n]$ 。接收器*R_n*处信号为

$$r_n(t) = \sum_{k_m=1}^{k_n} \alpha_{k_n} S(t - \tau_{k_n}) + n(t)$$

其中 k_n 是多径分量(MPC)的数量, α_k 和 τ_k 分别为衰减系数和相对应的MPC延迟, $n(t)$ 为加性高斯白

噪声 $s(t)$ 为脉冲波形。

发射器 $T = [x_t, y_t, z_t]$,系统设定区 $SA = [x_{\min}, y_{\min}, z_{\min}, x_{\max}, y_{\max}, z_{\max}]$ 若 $T \in SA$ 则 $x_{\min} \leq x_t \leq x_{\max}, y_{\min} \leq y_t \leq y_{\max}, z_{\min} \leq z_t \leq z_{\max}$ 。

反射物(如天花板、墙等)定义为 $FR = [FR_1, \cdots, FR_m]$ 。每个 FR_m 三维表达式为

$$A_m x + B_m y + C_m z + D_m = 0$$

其中 $\sqrt{A_m^2 + B_m^2 + C_m^2} = 1$ 。

设接收器 R_n 关于反射物 FR_m 的镜像为 R_n^m 则

$$R_n^m = R_n - 2(R_n \cdot [A_m B_m C_m] + D_m) [A_m B_m C_m]$$

在测距过程中,接收器 R_n 探测到的是所有区分开的多径分量。多径分量到达时间为 $[\hat{t}_n^1, \cdots, \hat{t}_n^j]$ 其中 \hat{t}_n^j 服从高斯误差分布,即 $\hat{t}_n^j = t_n^j + e_n^j \sim N(0, \sigma_n^2)$ 。若

$\hat{t}_n^1 = \min_{n \in (1, N)} (t_n^j)$ 则 R_1 最接近接收器*T*。选择 R_1 和 t_1^1 为参照物,则第一个MPC射程

$$d_n = [d_{n,1}^1, \cdots, d_{n,1}^j]$$

$$d_{n,1}^j = (\hat{t}_n^j - t_1^1) C$$

对应于发射器*T*和接收器 R_n 间的直接路径为

$$d_{n,1}^1 = d_{n,1}^j + e_{n,1}^j \sim N(0, C^2(\sigma_n^2 + \sigma_1^2))$$

1.2 3个接收器的位置估计

第1步使用直接路径范围差异计算结果曲线*RC*。*RC*应该包括或者接近发射器*T*的位置。根据公式(1)取3个接收器,用其坐标位置求得结果曲线*RC*^[5]。通过计算,*RC*将会成为一个二次曲线、双曲线、椭圆或者抛物线,其中一个*RC*例子如图1所示。

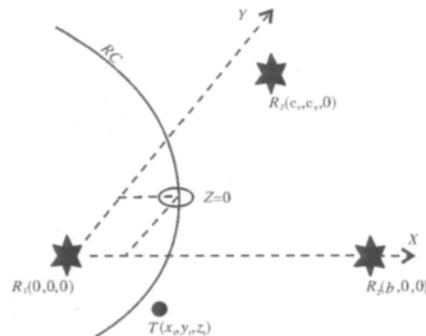


图1 某个曲线及3个接收机的坐标位置

第2步找到发射器 $T(z')$ 的位置。与反射物相匹配的多径分量是不知道的,因此假设每个探测到的多径分量有可能与反射物相匹配。每一对接收机

和反射物组合 $(R_n, FR_m) \in R \times FR$, $d_{n,1}^j$ 很有可能在检测到的多径分量距离差 d_n 中. 反射物 FR_m 反射到 R_n 的路径可以表示为到 R_n^m 的直接路径. MPC 检测误差可能为高斯误差 $\sigma_n^2 = \sigma_n^2 + \sigma_{FR_m}^2$, 估计 $T(z')$ 位置的似然函数^[6] 为

$$L(d_n; z') = N_{rm} P_{ndet} + N_{rm} \sum_{j=1}^{j_n} P_j \exp\left(-\frac{1}{2} \times \left(\frac{d(T(z'), R_n^m) - (d_{n,1}^j + d(T(z'), R_1))}{\sigma_n^m}\right)^2\right)$$

其中 N_{rm} 为归一化常数, P_{ndet} 为探测不到匹配 MPC 的概率, $d(T(z'), R_n^m)$ 为 $T(z')$ 与 R_n^m 之间的距离, $d_{n,1}^j$ 为 R_n 接收信号中第 j 个 MPC 的距离差异.

$$P_j = \min\left(\exp\left(-P_{fs}\left(\frac{1 - d_{n,1}^j - d_{n,1}^1}{d_{max}}\right)\right), 1\right)$$

如果 $(R_n, FR_m) \in R \times FR$ 的所有的 $L_n^m(z')$ 都结合在一起, 则似然函数 $L(z')$ 的结果非常近似于 T , 似然函数

$$L(z') = \prod_{n \in [1, N], m \in [1, M]} L_n^m(z')$$

发射机的位置即为 $T(z')$.

2 仿真结果分析

此系统设置在一个教室里, 考虑的反射物为天花板、地板和门墙. 仿真结果见图 2. 按传统标准 TDOA

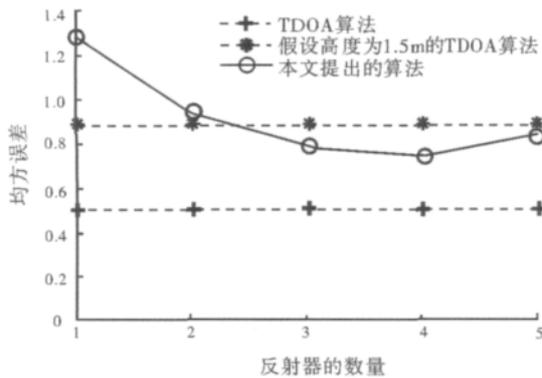


图2 不同数量反射器的均方误差

方法, 只应用 3 个接收机需要假设高度, 实验中假设高度为 1.5 m.

仿真结果显示, 本文所提出的方法适合 3 个或者以上的反射物, 应用 4 个反射物时达到最佳结果, 均方误差降低 12%. 因此本文提出的使用 3 个接收机和室内表面反射知识的方法所确定的发射机位置的测量精度比传统的假设高度的 TDOA 方法精确.

3 结论

本文分析了超宽带定位技术在室内定位的优势, 并在现有的三维定位方法上提出了一个新的只应用 3 个接收机的 TDOA 方法. 该方法利用多径延迟和反射物位置的信息进行定位. 实验结果表明此方法比传统的假设高度的 3 个接收机三维定位方法更精确.

参考文献:

- [1] 邢晓江, 王建立, 李明栋. 物联网的业务及关键技术 [J]. 中兴通讯技术, 2010(2): 27.
- [2] 王保云. 物联网技术研究综述 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(12): 1.
- [3] 由高潮. 浅谈物联网技术及应用 [J]. 科技成果纵横, 2010(4): 55.
- [4] Sahinoglu Z, Gezici S, Guvenc I. Ultra-wideband Positioning Systems: Theoretical Limits, Ranging Algorithms and Protocols [M]. Cambridge: Cambridge Univ Press, 2008.
- [5] Schroeder J, Galler S, Kyamakya K, et al. Three-dimensional indoor localization in non line of sight UWB channels [C] // Proc IEEE Int Conf on Ultra-Wideband ICU-WB 2007, Singapore: IEEE, 2007: 89-93.
- [6] Gezici S, Tian Z, Giannakis G B, et al. Localization via ultra-wideband radios: a look at positioning aspects for future sensor networks [J]. Signal Processing Magazine, IEEE, 2005, 22(4): 70.