

一种基于 TOA 算法的 UWB 定位系统方案

施晓东*

(桂林理工大学 信息科学与工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要 定位系统在一定程度上决定了定位的精确度和定位算法的复杂程度, 文章给出了一种基于 TOA 技术的 UWB 室内定位系统方案, 该方案具有算法灵活、结构简单和实时性强等优点, 并简化了传统的 Chan 定位算法, 提高了定位的总体精确度。

关键词 UWB; TOA; 定位系统; Chan 算法

中图分类号: TN911.23

文献标志码: A

文章编号: 1009-1033(2009)04-0417-02

根据信号的到达时间(TOA)进行位置的估计是一种传统且最为有效的方法。在各定位结点得到估计的信号到达时间之后, 可以通过确定的定位算法进行目标结点位置估计。在对目标结点的位置进行估计时, 室内环境下定位系统的结构、参与 TOA 估计和位置估计的定位结点的数目、位置以及定位算法的选择等诸多因素都在一定程度上对定位准确率存在着影响。

目标结点进行 UWB 信号的反射, 并且处理时延为 τ 。

(3) 被选定的 N 个参考结点同时进行反射信号的接收与检测, 并将测量得到的相关数据送入控制与处理中心, 这里各个参考结点测量得到的数据信息为发射信号到达各个参考结点的时间, 分别为 t_1, t_2, t_3 和 t_N 。

(4) 通过各个参考结点测量得到的各个 TOA 信息, 通过 Chan 算法进行位置估计。

1 基于 TOA 的定位系统方案

图 1 给出了一种参考定位方案, 各参考结点为位置已知的 UWB 收发设备, 目标结点为需要进行位置估计的 UWB 标签。其中, (x, y, z) 为目标结点的位置坐标, $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$ 和 (x_N, y_N, z_N) 对应各参考结点的位置坐标。 D_1, D_2, D_3 和 D_N 分别为各参考结点与目标结点之间的距离。各参考结点用电缆联接, 进行实时数据传输, 并通过频率锁定共有一个参考时钟。定位过程如下:

2 定位方案下的 Chan 算法

Chan 算法是一种具有解析表达式解的非递归的双曲线方程组的解法^[1-2]。该算法的特点是计算量小, 在噪声服从高斯分布的环境下, 定位精确度高。以上述定位方案为例, 在二维空间中, 假定有效测量的参考结点数为 3 时, 可得到目标结点与第 i 个参考结点之间的距离为:

$$D_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$
$$D_i^2 = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 = K_i - 2x_ix - 2y_iy + x^2 + y^2 \quad (1)$$

其中:

$$K_i = x_i^2 + y_i^2$$

令 $D_{i,1}$ 表示目标结点到参考结点 i 和参考结点 1 的圆差, 则

$$D_{i,1} = c(t_i - t_1) = D_i - D_1 = \sqrt{(x_i - x)^2 - (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 - (y_1 - y)^2} \quad (2)$$

其中 c 为电波传播速率, t_i 和 t_1 分别是参考结点 i 和参考结点 1 检测到的 TOA 值。为了求解该非线性方程组可以先进行线性化处理, 如下式:

$$D_i^2 = (D_{i,1} + D_1)^2 \quad (3)$$

式(3)可以展开表示为:

$$D_{i,1}^2 + 2D_{i,1}D_1 + D_1^2 = K_i - 2x_ix - 2y_iy + x^2 + y^2 \quad (4)$$

取 $i = 1$, 式(1)为:

$$D_1^2 = K_1 - 2x_1x - 2y_1y + x^2 + y^2 \quad (5)$$

式(4)减去式(5)可得:

$$D_{i,1}^2 + 2D_{i,1}D_1 = K_i - 2x_{i,1}x - 2y_{i,1}y - K_1 \quad (6)$$

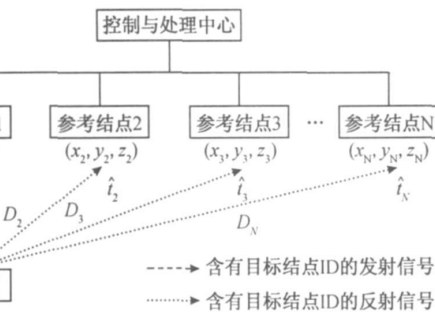


图 1 基于 TOA 的定位系统方案

(1) t_0 时刻, 控制与处理中心选定系统中的 N 个参考结点进行特定的定位的任务, 其中 $N \geq 4$, 并由某一参考结点发送包含目标结点 ID 的 UWB 定位命令信号。

(2) 在所有的目标结点之中, 仅有能够满足 ID 匹配的

* 作者简介: 施晓东(1980—), 男, 河北邯郸人, 桂林理工大学信息科学与工程学院讲师, 研究方向: 个人通信与移动通信。

式(6)中 $x_{i,1} = x_i - x_1, y_{i,1} = y_i - y_1$ 。将式(6)以下的形式给出:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} \\ x_{3,1} & y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \left\{ \begin{bmatrix} D_{2,1} \\ D_{3,1} \end{bmatrix} D_1 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} D_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ D_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \right\} \quad (7)$$

根据 Chan 算法, 将式(7)代入式(1), 取 $i = 1$, 便可得到一个关于 D_1 的二次方程, 将其正根再代回式(7)就得到目标结点的估计位置。但是在某些情况下 D_1 可以有两个正根甚至是两个负根, 在这种情况下, 往往需要有关的先验信息或者采用更多的参考结点进行位置的估计, 以便消除这种模糊性。

然而, 在上面提出的参考定位方案中, 可以通过式(8)直接获得 D_1 的值,

$$D_1 = \frac{1}{2}(\lambda_1 - t_0 - \tau) \times c \quad (8)$$

这样便可以将式(8)代入式(7)得出目标结点的估计位置。如式(9):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} \\ x_{3,1} & y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \frac{1}{2} \left\{ \begin{bmatrix} \lambda_2 - \lambda_1 \\ \lambda_3 - \lambda_1 \end{bmatrix} (\lambda_1 - t_0 - \tau) c^2 + \begin{bmatrix} (\lambda_2 - \lambda_1)^2 c^2 - V_{2,1} \\ (\lambda_3 - \lambda_1)^2 c^2 - V_{3,1} \end{bmatrix} \right\} \quad (9)$$

其中 $V_{i,j} = K_i - K_j = (x_i^2 + y_i^2) - (x_j^2 + y_j^2)$ 。现在就得到了具有唯一解的目标结点位置的线性估计方程。

3 系统及算法性能仿真

对于定位系统中目标结点的位置估计, 影响其精确度的因素很多。当然, TOA 等定位参数的估计精确度是最为关键的一个因素, 另外, 参考结点的几何位置、覆盖范围、参与位置估计的参考结点数以及后期的定位算法等都将影响到最后位置估计的精确度。其中常用的定位准确率的评价指标为几何精度因子(GDOP)^[3]。

构造一个 $10 \times 10\text{m}$ 的二维室内平面空间, 该空间中均匀分布着 100 个目标结点, 位置坐标分别取 $(1, 1), (1, 2), \dots, (2, 1), (2, 2), \dots, (10, 10)$ 各整数坐标点。在图 1 系统中的 N 个参考结点中选取其中的 3 个进行位置估计, 其中 3 个参考结点按等边三角形分布。在各参考结点获得 TOA 值后, 采用 Chan 算法进行位置估计。在各参考结点

估计得到的 TOA 估计误差服从区间为 $[-0.5, 0.5]$ ns 的均匀分布的条件下, 对处于不同坐标的 100 个目标结点分别进行 1000 次的位置估计。图 2 为对各目标结点的估计位置分布, 可以看出, 由于对 Chan 算法的简化消除了算法本身所带来的模糊性, 即使只采用了 3 个参考结点进行位置估计, 也能够使得整个空间内的各结点的位置估计误差比较均匀, 即使是处于角落的位置也不会出现过大的位置估计误差。图 3 为 GDOP 值的分布情况, 同样说明了误差分布较为均匀。

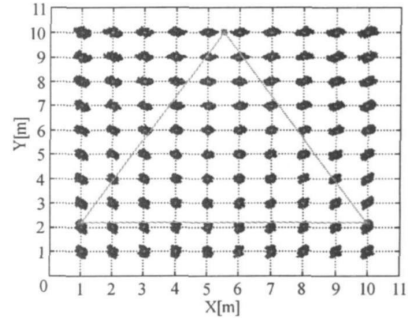


图 2 位置估计分布

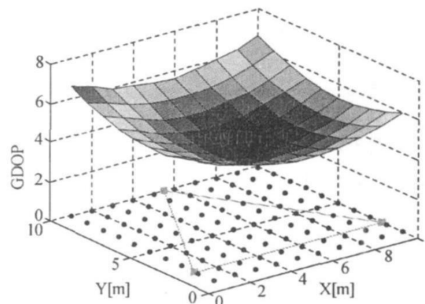


图 3 GDOP 分布

4 结束语

文中的系统方案在一定程度上简化了 Chan 算法, 在只有 3 个参考结点的情况下, 无需更多先验信息就能消除位置估计的模糊性, 且容易实现参考结点之间的精确时钟同步。通过 TDOA 算法进行位置估计, 参考结点和目标结点之间不需要时钟同步。实际的定位系统中, 可以通过增加参与定位实现的参考结点的数目来进一步减小位置估计误差^[3]。

参考文献

- [1] Y. T. Chan, K. C. Ho. A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location[J]. IEEE Trans. On Signal Processing, 1994, 42(8):1905- 1915.
- [2] 邓平. 蜂窝网络移动台定位技术研究[D]. 成都: 西南交通大学博士学位论文, 2005: 5- 8.
- [3] 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: 49- 50.
- [4] O. H. Kwon and H. J. Song, "Localization through map stitching in wireless sensor networks", IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., 2008, 19(1): 93- 105.
- [5] L. Li and T. Kunz, "Cooperative node localization for tactical wireless sensor networks", Proc. 2007 Military Communications Conference (Milcom2007), Orlando, FL, USA, October 2007.
- [6] Wu Changjia, Sheng Weihua, Zhang Ying. Mobile Sensor Networks Self Localization based on Multi-dimensional Scaling[A] // 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation[C]. Roma, Italy: IEEE, 2007: 4038- 4043.

(责任编辑 李卫华)