

基于三维扩展卡尔曼滤波的算法^①

屠晓东, 张 浩

(中国海洋大学 信息科学与工程学院, 青岛 266100)

摘 要: 现在的定位算法通常是二维形式的, 在基于扩展卡尔曼滤波的 TDOA/AOA 算法的基础上推导出了该算法的三维形式。在本文中方位角、俯仰角、TDOA 三个量构造符合扩展卡尔曼滤波器的模型, 可求得三个分量, 从而最终得到移动基站的位置估计。我们仿真了该方法的跟踪轨迹, 推算出参数克拉美罗下限

关键词: Web 信息提取; 知识表示; 数据密集型 Web 页面; 基于本体的关键词库

Parameters 3-D Location Based on Extended Kalman Filter

TU Xiao-Dong, ZHANG Hao

(China Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: For now the positioning algorithm is usually two-dimensional form. Based on the TDOA /AOA algorithm which is on the basis of extended Kalman filter, we derive the three-dimensional form of the algorithm. In this article, three quantities including azimuth, pitch angle, TDOA constructs a model that in line with the extended Kalman filter. Thus the three coordinate components can be obtained, and ultimately get the location of the mobile base station estimates. We simulated the tracking trajectory of the algorithm, and deduced the parameters Cramer-Rao Low Bound (CRLB).

Key words: kalman; crlb; tdoa/aoa

自从美国 FCC(联邦通信委员会)于 1996 年发布 E-911 定位标准以来, 无线定位技术就以其蕴涵的无穷商业潜力掀起了研究的热潮。目前, 无线定位方法大部分属于静态定位的方法, 即利用某个时刻的到达时间或到达角度测量值估计出该时刻 MS 的位置坐标。卡尔曼滤波是从有限的观测到的目标位置预测定位坐标的典型例子。卡尔曼滤波被广泛应用在由于 MS 在移动过程中的位置是连续变化的, 故 MS 在某一时刻的位置与其在上一刻的位置有关, 所以现在有良好的跟踪性能的卡尔曼滤波被广泛应用于对移动台的定位中, 来提高定位精度。卡尔曼滤波被广泛应用于人脸识别 1、图像分割、目标跟踪 2,3 等等。

定位方法的研究大多是基于二维平面坐标的, 但是在现实生活中需要对 MS 在三维空间进行定位。本文在深入研究基于扩展卡尔曼滤波的 TDOA/AOA 算

法的基础上, 将其推广应用到三维空间中。计算克拉美罗下限和仿真跟踪轨迹发现该方法具有较高的精度和较好的稳健性。

1 三维 TDOA/AOA 定位系统的向量模型

设 N 个观测站的坐标分别为 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , \dots , (x_N, y_N, z_N) , 设被定位对象的坐标为 (x, y, z) , 用向量的方式表示定位模型如下:

$$Y = h(X) + V \quad (1)$$

其中

$$X = [x, y, z]^T$$

$$Y = [\alpha_1, \dots, \alpha_N, \beta_1, \dots, \beta_N, \rho_2, \dots, \rho_N]_{(3N-1)}^T$$

$$V = [v_{\alpha_1}, \dots, v_{\alpha_N}, v_{\beta_1}, \dots, v_{\beta_N}, v_{\rho_2}, \dots, v_{\rho_N}]_{(3N-1)}^T$$

每个观测站均能获得方位角 α 、俯仰角 β 的观测

^① 收稿时间:2011-11-23;收到修改稿时间:2012-01-20

量,除了主站以外的其它站均能获得 TDOA 的观测量 ρ 。下面用公式描述这些观测量:

方位角:

$$\alpha_i = \arctan\left(\frac{y-y_i}{x-x_i}\right), i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

俯仰角:

$$\beta_i = \arctan\left(\frac{z-z_i}{\sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2}}\right), i=1,2,\dots,N \quad (3)$$

到达时间差:

$$\rho_i = \sqrt{(x-x_i)^2+(y-y_i)^2+(z-z_i)^2} - \sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2+(z-z_1)^2} \quad (4)$$

$i=2,\dots,N$

2 扩展卡尔曼滤波模型

2.1 模型的跟踪轨迹

扩展卡尔曼滤波是一种线性最小方差估计,算法具有递推性,适用于对多维随机过程进行估计。

为了利用扩展卡尔曼滤波器,必须用下面的模型进行描述^[4]

$$\begin{cases} X(t_{k+1}) = f(X(t_k), W(t_k)) \\ Y(t_{k+1}) = h(X(t_{k+1})) + V(t_{k+1}) \end{cases} \quad (5)$$

其中,函数 f 由目标的运动规律确定,函数 h 为前面描述的三维 TDOA/AOA 定位模型。

首先由运动规律确定目标的状态方程

$$S_{k+1} = \Phi S_k + W_k \quad (6)$$

其中

$S_k = [x_k, y_k, z_k, v_{x,k}, v_{y,k}, v_{z,k}]^T$ 是 t_k 时刻的状态向量, (x_k, y_k, z_k) 是目标的位置坐标, $(v_{x,k}, v_{y,k}, v_{z,k})$ 代表目标的瞬时速度。状态转移矩阵为 Φ , 噪声向量 W_k 的协方差矩阵为 Q , 它们的定义如下

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_u^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_u^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_u^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中, σ_u^2 是驱动噪声的方差,由它来弥补 Φ 矩阵描述运动规律的局限性,并适应于任何运动规律。

T 是采样时间间隔,也理解为计算机仿真的步长。目标的观测方程定义如下

$$Z_k = h(S_k) + V_k \quad (9)$$

其中 Z_k 是观测数据向量, V_k 是观测噪声,由于 $h(S_k)$ 是非线性变换,为了应用扩展卡尔曼滤波,进行线性化后的观测方程如下

$$Z_k = H_k S_k + V_k \quad (10)$$

仿真结果显示如下:

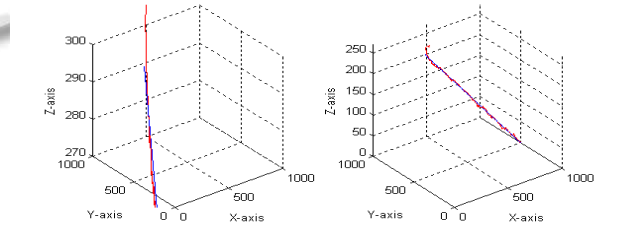


图 1 被定位节点的追踪轨迹

图 1 假设被定位节点从 A(100,500, 300) 匀速移动到 B(900,500,0), 从图中跟踪轨迹可以看出估计轨迹跟实际在整个过程中基本吻合,说明该方法在三维空间中有较好的稳健性。

2.2 模型的克拉美罗下限

对于参数估计问题,克拉美-罗界任何无偏估计量的方差确定了一个下限,即不可能求得方差小于下限的无偏估计量,并为比较无偏估计量的性能提供一个标准,而且当无偏估计量达不到 CRB 也可以渐进达到这个下界。

设 H_k 为 k 时刻 $h(S_k)$ 在级数展开点的雅可比矩阵,那么

$$H_k = \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1(S_k)}{\partial x} & \frac{\partial h_1(S_k)}{\partial y} & \frac{\partial h_1(S_k)}{\partial z} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\partial h_2(S_k)}{\partial x} & \frac{\partial h_2(S_k)}{\partial y} & \frac{\partial h_2(S_k)}{\partial z} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\partial h_{3N-1}(S_k)}{\partial x} & \frac{\partial h_{3N-1}(S_k)}{\partial y} & \frac{\partial h_{3N-1}(S_k)}{\partial z} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{S_i=S_{k+1}} \quad (11)$$

其中,

$$H_{11} = \frac{y-y_i}{(x-x_i)^2 \left(1 + \frac{(y-y_i)^2}{(x-x_i)^2}\right)} \quad (12)$$

$$H_{12} = \frac{1}{(x-x_i)^2 \left(1 + \frac{(y-y_i)^2}{(x-x_i)^2} \right)} \quad (13)$$

$$H_{21} = \frac{-(z-z_i)(x-x_i)}{(x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2)^{\frac{3}{2}} \left(1 + \frac{(z-z_i)^2}{x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2} \right)} \quad (14)$$

$$H_{22} = \frac{-(z-z_i)(y-y_i)}{(x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2)^{\frac{3}{2}} \left(1 + \frac{(z-z_i)^2}{x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2} \right)} \quad (15)$$

$$H_{23} = \frac{1}{(x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2)^{\frac{3}{2}} \left(1 + \frac{(z-z_i)^2}{x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2} \right)} \quad (16)$$

$$H_{31} = \frac{x-x_i}{(x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2+z^2-2zz_i+z_i^2)^{\frac{1}{2}} \frac{-(x-x_i)}{(x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2+z^2-2zz_i+z_i^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (17)$$

$$H_{32} = \frac{y-y_i}{(x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2+z^2-2zz_i+z_i^2)^{\frac{1}{2}} \frac{-(y-y_i)}{(x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2+z^2-2zz_i+z_i^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (18)$$

$$H_{33} = \frac{z-z_i}{(x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2+z^2-2zz_i+z_i^2)^{\frac{1}{2}} \frac{-(z-z_i)}{(x^2-2xx_i+x_i^2+y^2-2yy_i+y_i^2+z^2-2zz_i+z_i^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (19)$$

克拉美罗下限的计算公式如下:

$$\Phi = [H^T Q^{-1} H] = \begin{bmatrix} \delta_1^2 & & & \\ & \delta_2^2 & & \\ & & \dots & \\ & & & \delta_N^2 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$CRLB = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_N^2 \quad (21)$$

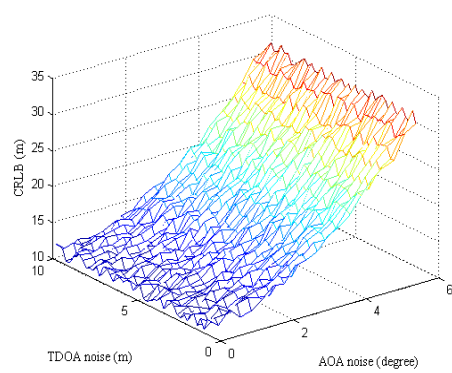


图 2 中克拉美罗下限随 TD OA 和 AOA 的变换

X 轴表示 TD OA 噪声, Y 轴表示 AOA 噪声, Z 轴表示克拉美罗下限。图中显示克拉美罗下限是随着 TD OA 噪声和 AOA 噪声的增长而增长的。虽然曲线不是完全平衡,但总体是呈上升趋势的。

3 结语

该论文研究了基于扩展卡尔曼滤波的 TD OA/AOA 定位算法,并把它扩展到三维空间中。由克拉美罗下限和跟踪轨迹可推算出该方法具有较高的稳定性和精度。

参考文献

- 1 Jahns J, Holmdel JN. Optical Computing Hardware. [s.t.]: AT&T; Academic Press,1994.
- 2 Murdocca M. Advances in Digital Optical Computing. The International Journal of Optoelectronics.1990,3(2):191-205.
- 3 Haiboch FG, Myrick ML. Precision in multivariate optical computing. Appt Opt, 2004,43(10):212-217.
- 4 赵春晖,张朝柱.自适应信号处理.哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2006.
- 5 陈志波,陆雍森.Surfer 在环境评价和规划中的应用.同济大学学报(自然科学版),2005,33(2):191-195.
- 6 韩丽娜,石昊苏.利用 Surfer 8.0 绘制地质等值线图.计算机与现代化,2008,11:85-88.
- 7 张二勇,李云峰,王玮.Surfer 软件绘图接口的开发及应用.地下水,2005,27(3):212-214.