

主被动结合的协同定位模型研究

衣晓, 何友, 关欣

(海军航空工程学院信息融合技术研究所 山东 烟台 264001)

【摘要】从信息融合的角度研究了编队协同中的导航定位问题, 提出了一种主被动结合的协同定位算法。推导了二维情况下, 确定伪测量和相伴误差协方差矩阵的模型。在有固定参照物的情况下, 只需要一个PPLI定位信息就可以实现平台的协同定位。

关键词 协同定位; 信息融合; 状态估计; 多平台
中图分类号 P228.42; C249.31 文献标识码 A

Active and Passive Combined Cooperative Localization Model

YI Xiao, HE You, GUAN Xin

(Research Institute of Information Fusion, Naval Aeronautical Engineering Institute Yantai Shandong 264001)

Abstract This paper studies the navigation and localization problem for formation cooperation from the view of information fusion. A novel active and passive combined scheme is proposed. The model to calculate the pseudomeasurement and the concomitant error covariance matrix is deduced for the planar circumstance. With a referenced fixity, cooperative localization can be achieved by only a piece of PPLI information.

Key words cooperative localization; information fusion; state estimate; multiple platform

无人机、舰艇编队在遂行监视、侦察和攻击等任务时较单平台有突出的优点和广阔的发展前景^[1]。协同定位是实现精确定位和编队控制的关键技术。假定接收用户希望利用从另一个用户那里接收到的PPLI消息确定自己的位置, 通过PPLI消息的到达时间(TOA), 可以知道它的位置处于源报告位置的半径为R的球面上某一地方(伪距测量)。运用几何法实现协同定位, 至少需要三个以上的定位信息, 另外还需要考虑时间质量和位置质量等一系列复杂性问题^[2-3]。本文研究了主被动结合的协同定位问题。

1 问题的描述

假设 $k+1$ 时刻从平台1得到的PPLI信息有平台1的运动状态 $\hat{X}_1(k|k)$ 、协方差矩阵 $P_1(k|k)$ (位置分量为 (\hat{x}_1, \hat{y}_1)) 和己平台距平台1的距离 \hat{r} 、 σ_r^2 , 这时测得到某一固定参照物的方位角为 φ , 如图1所示。利用来自平台1的PPLI信息和被动测向信息 φ 确定己平台的位置, 就构成了主被动协同定位问题。以固定参照物为原点建立直角坐标系, 己平台位置的伪测量值 (\hat{x}_2, \hat{y}_2) 为定位圆和直线的一个交点, 满足:

$$\begin{cases} (x - \hat{x}_1)^2 + (y - \hat{y}_1)^2 = \hat{r}^2 \\ x = \tan \hat{\varphi} \cdot y \end{cases} \quad (1)$$

当 $\Delta = 4[(\hat{r} \sec \hat{\varphi})^2 - (\hat{x}_1 - \hat{y}_1 \tan \hat{\varphi})^2] \geq 0$ 时, 可以实现协同定位。于是:

$$\cos \hat{\theta} = \frac{\hat{y}_1 - \hat{y}_2}{\hat{r}} = \frac{\hat{y}_1}{\hat{r}} - \frac{1}{\hat{r}} (\hat{x}_1 \sin \hat{\varphi} \cos \hat{\varphi} + \hat{y}_1 \cos^2 \hat{\varphi}) \mp \frac{\cos \hat{\varphi}}{\hat{r}} \sqrt{\hat{r}^2 - (\hat{x}_1 \cos \hat{\varphi} - \hat{y}_1 \sin \hat{\varphi})^2} \quad (2)$$

记 $f(\hat{x}_1, \hat{y}_1, \hat{r}, \hat{\varphi})$ 为式(3)右端, 则:

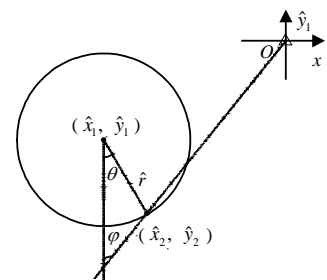


图1 二维情况下主被动协同定位示意图

收稿日期: 2005-01-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60172033); 全国优秀博士学位论文作者专项基金资助项目(200036)

作者简介: 衣晓(1976-), 男, 讲师, 博士生, 主要从事多传感器信息融合, 多目标跟踪, 雷达数据处理等方面的研究。

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{x}_1} = -\frac{\sin \hat{\varphi} \cos \hat{\varphi}}{\hat{r}} \pm \frac{\cos^2 \hat{\varphi} (\hat{x}_1 \cos \hat{\varphi} - \hat{y}_1 \sin \hat{\varphi})}{\hat{r} \sqrt{\hat{r}^2 - (\hat{x}_1 \cos \hat{\varphi} - \hat{y}_1 \sin \hat{\varphi})^2}} \quad (3)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{y}_1} = \frac{\sin \hat{\varphi}}{\hat{r}} \left[\sin \hat{\varphi} \mp \frac{\cos \hat{\varphi} (\hat{x}_1 \cos \hat{\varphi} - \hat{y}_1 \sin \hat{\varphi})}{\sqrt{\hat{r}^2 - (\hat{x}_1 \cos \hat{\varphi} - \hat{y}_1 \sin \hat{\varphi})^2}} \right] \quad (4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{r}} = \frac{1}{\hat{r}^2} (\hat{x}_1 \sin \varphi \cos \varphi + \hat{y}_1 \cos^2 \varphi - \hat{y}_1) - \frac{1}{\hat{r}^2} \frac{\pm (\hat{x}_1 \cos \varphi - \hat{y}_1 \sin \varphi)^2}{\sqrt{\hat{r}^2 - (\hat{x}_1 \cos \varphi - \hat{y}_1 \sin \varphi)^2}} \quad (5)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{\varphi}} = \frac{1}{\hat{r}} (\hat{y}_1 \sin 2\hat{\varphi} - \hat{x}_1 \cos 2\hat{\varphi}) \mp \frac{\hat{x}_1^2 \sin 2\hat{\varphi} \cos \hat{\varphi} + \hat{x}_1 \hat{y}_1 (\cos^3 \hat{\varphi} - 3 \sin^2 \cos \hat{\varphi}) - \hat{y}_1^2 \sin \hat{\varphi} \cos 2\hat{\varphi}}{\hat{r} \sqrt{\hat{r}^2 - (\hat{x}_1 \cos \hat{\varphi} - \hat{y}_1 \sin \hat{\varphi})^2}} \quad (6)$$

对式(2)两边取线性近似, 两端平方, 注意到 $\hat{x}_1, \hat{y}_1, \hat{r}, \hat{\varphi}$ 相互独立, 并取均值有:

$$\cos^2 \hat{\theta} + \sin^2 \hat{\theta} \sigma_{\hat{\theta}}^2 = f^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \hat{x}_1}\right)^2 \sigma_{\hat{x}_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \hat{y}_1}\right)^2 \sigma_{\hat{y}_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \hat{r}}\right)^2 \sigma_{\hat{r}}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \hat{\varphi}}\right)^2 \sigma_{\hat{\varphi}}^2 \quad (7)$$

$$\sigma_{\hat{\theta}}^2 = \frac{1}{1 - f^2} \left[\left(\frac{\partial f}{\partial \hat{x}_1}\right)^2 \sigma_{\hat{x}_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \hat{y}_1}\right)^2 \sigma_{\hat{y}_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \hat{r}}\right)^2 \sigma_{\hat{r}}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \hat{\varphi}}\right)^2 \sigma_{\hat{\varphi}}^2 \right] \quad \theta \neq 0^\circ \quad (8)$$

式中 $f, \frac{\partial f}{\partial \hat{x}_1}$ 等均指其在 $(\hat{x}_1, \hat{y}_1, \hat{r}, \hat{\varphi})$ 处的函数值。同理可得:

$$\sigma_{\hat{\theta}}^2 = \frac{1}{1 - g^2} \left[\left(\frac{\partial g}{\partial \hat{x}_1}\right)^2 \sigma_{\hat{x}_1}^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial \hat{y}_1}\right)^2 \sigma_{\hat{y}_1}^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial \hat{r}}\right)^2 \sigma_{\hat{r}}^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial \hat{\varphi}}\right)^2 \sigma_{\hat{\varphi}}^2 \right] \quad \theta \neq 90^\circ \quad (9)$$

$$g(\hat{x}_1, \hat{y}_1, \hat{r}, \hat{\varphi}) = \frac{1}{\hat{r}} (\hat{x}_1 \sin^2 \hat{\varphi} + \hat{y}_1 \sin \hat{\varphi} \cos \hat{\varphi}) - \frac{\hat{x}_1}{\hat{r}} \pm \frac{\sin \hat{\varphi}}{\hat{r}} \sqrt{\hat{r}^2 - (\hat{x}_1 \cos \hat{\varphi} - \hat{y}_1 \sin \hat{\varphi})^2} \quad (10)$$

进而, 伪测量误差协方差矩阵可以仿照2D雷达的测量误差协方差矩阵写出^[4-5], 即:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \sigma_{\hat{r}}^2 (\sin \hat{\theta})^2 + \hat{r}^2 \sigma_{\hat{\theta}}^2 (\cos \hat{\theta})^2 & (\sigma_{\hat{r}}^2 - \hat{r}^2 \sigma_{\hat{\theta}}^2) \sin \hat{\theta} \cos \hat{\theta} \\ (\sigma_{\hat{r}}^2 - \hat{r}^2 \sigma_{\hat{\theta}}^2) \sin \hat{\theta} \cos \hat{\theta} & \sigma_{\hat{r}}^2 (\cos \hat{\theta})^2 + \hat{r}^2 \sigma_{\hat{\theta}}^2 (\sin \hat{\theta})^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

2 主被动结合的协同定位算法步骤

设己平台的状态为 X , 系统状态描述为:

$$\mathbf{X}(k+1) = \Phi(k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{G}(k)\mathbf{V}(k), \quad \mathbf{Z}(k) = \mathbf{H}(k)\mathbf{X}(k) + \mathbf{W}(k) \quad (12)$$

式中 $\Phi(k)$ 为状态转移矩阵; $\mathbf{G}(k)$ 为过程噪声分布矩阵; $\mathbf{V}(k)$ 为过程噪声; $\mathbf{H}(k)$ 为观测矩阵; $\mathbf{W}(k)$ 为测量噪声。模拟己平台运动时, 认为它具有在速度上变化的 $\mathbf{V}(k)$, 其协方差 $\mathbf{Q}(k) = \begin{bmatrix} q_{11}(k) & 0 \\ 0 & q_{22}(k) \end{bmatrix}$,

$$q_{11}(k) = \alpha_1 \frac{dx(k)}{dt}, \quad q_{22}(k) = \alpha_2 \frac{dy(k)}{dt}, \quad \alpha_1, \alpha_2 \text{ 为标量, 根据具体情况适当选取}^{[6]}.$$

若平台处于匀加速、变加速等运动状态, 可根据实际分别确定 Φ 、 \mathbf{G} 、 \mathbf{H} 和 \mathbf{Q} 等矩阵。基于最近邻的协同定位算法的具体步骤为:(1) 通过式(1)确定伪测量值 $\mathbf{Z}(k+1) = [x^{(1)} \quad y^{(1)}]'$; (2) 通过式(8)或式(9)计算 $\hat{\theta}$ 的方差 $\sigma_{\hat{\theta}}^2$; (3) 通过式(11)确定伪测量误差协方差矩阵; (4) 按照Kalman滤波对己平台的运动状态进行估计。

3 仿真分析

在Matlab环境下, Simulink工具箱建立模型如图2所示。

平台1的位置为 $(-20\ 000, -10\ 000)$ m, $\hat{r} = 5\ 000$ m, $\sigma_{\hat{r}}^2 = 100$ m。 $\sigma_{\hat{\varphi}}^2 = 0.1^\circ$ 。图3给出了随角度变化的圆概率误差曲线, 角度零点定义为定位圆圆心与坐标原点联线的近交点, 顺时针为正。从图中可以看出, 圆概率误差成对称的周期性变化, 在 0° 和 180° 时达到最小。图4给出了不同测角误差下圆概率误差的比较, 其中点划线为 $\sigma_{\hat{\varphi}}^2 = 0.1^\circ$, 虚线为 $\sigma_{\hat{\varphi}}^2 = 0.3^\circ$, 实线为 $\sigma_{\hat{\varphi}}^2 = 0.5^\circ$ 。从图中可以看出, 并不总是测角误差越小圆概率误差越小, 存在一定的角度范围, 测角误差较小而圆概率误差越大, 但对定位效果影响不是毁灭性的。

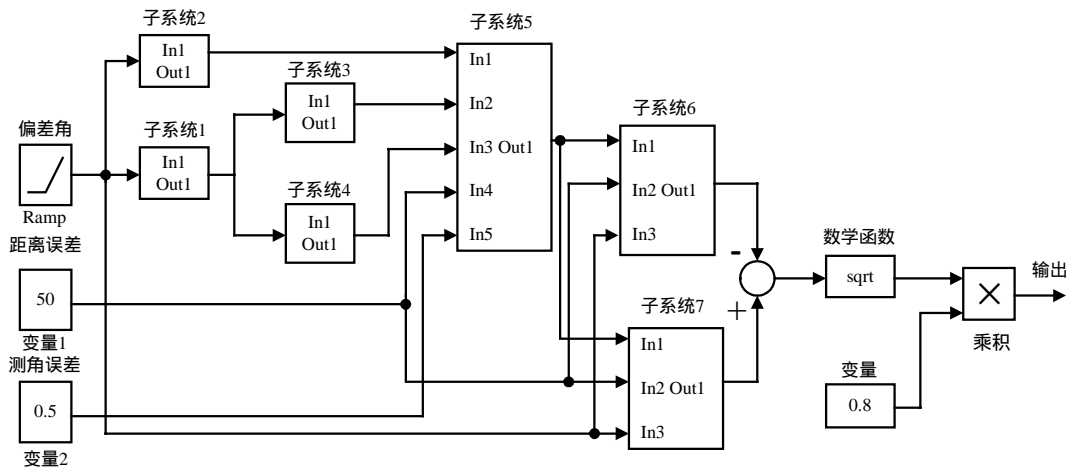


图2 主被动结合的协同定位Simulink仿真框图

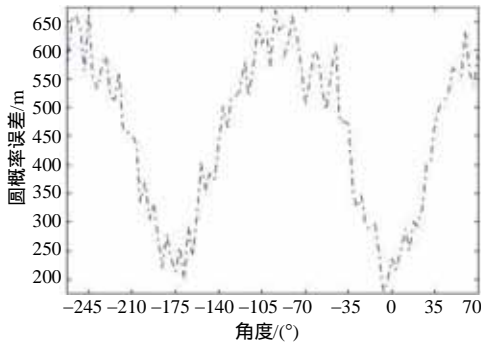


图3 圆概率误差曲线

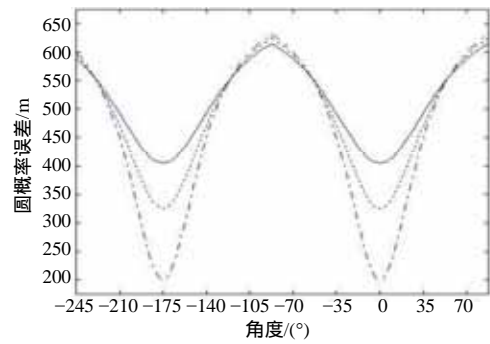


图4 不同测角误差下圆概率误差的比较

4 结论

本文研究了多平台编队中的协同定位问题。利用一个定位圆和某固定参照物相结合,在二维情况下推导了确定伪测量和相伴误差协方差矩阵的模型。仿真分析表明,该算法可以完成己平台运动要素的估计。

参 考 文 献

[1] Nettleton E W, Durrant H F. Multiple platform localization and map building[C]//Sensor Fusion and Decentralized Control in Robotic Systems[A]. Proceeding SPIE 4 196, 2000: 196-201.

[2] 衣晓, 何友, 关欣. 多模型算法在协同定位中的应用研究[J] 武汉大学学报(信息科学版), 2004, 29(8): 732-735.

[3] Blaisdell R P. System specification (Type A) for the joint tactical information distribution system(JTIDS) Test Device (JTD)[R]. MITRE Corp., Bedford, MA., 1995.

[4] 何友. 分布式多传感器信息融合算法研究[博士学位论文][D]. 北京: 清华大学, 1996.

[5] Bar-Shalom Y, William D B. Multitarget-multisensor tracking, applications and advances[M]. Norwood, MA: Artech House, 2001.

[6] Blackman S S, Popoli R. Design and analysis of modern tracking systems[M]. Norwood, MA: Artech House, 1999.

[7] 何友, 王国宏, 陆大金, 等. 多传感器信息融合及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.

编辑 漆蓉