

三维被动定位 AOA 融合算法*

刘培国,刘继斌,周蔚红,李高升

(国防科技大学 电子科学与工程学院 湖南 长沙 410073)

摘要 三维被动定位是 ESM 系统的重要内容,在军事上是侦察定位、监视监测的重要方面。AOA 是被动雷达普遍采用的一种定位方法。基于安装于不同运动平台上的两个传感器的 AOA 测量,给出了 ILS 融合算法。仿真结果显示采用 AOA 融合算法,使定位精度得到有效提高。

关键词 无源被动定位;AOA 融合算法

中图分类号:TN958 文献标识码:B

AOA Fusion Algorithm for 3D Passive Location

LIU Pei-guo, LIU Ji-bin, ZHOU Wei-hong, LI Gao-sheng

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract 3D passive location of radar emitters plays an important part in electronic support for military surveillance. The AOA (angle of arrivals) is one popular scheme for passive emitter location. In this paper, a location scheme is proposed based on fusion of AOA measurements from two ESM (electronic support measures) sensors installed on two moving platforms, respectively. Furthermore, ILS (iterative least-squares) is also proposed to fuse AOA measurements from two ESMs. Experimental results show that the location accuracy of the radar emitter can be improved effectively by this AOA fusion algorithm.

Key words passive location; AOA fusion algorithm

被动定位技术在雷达系统和无线通信中都十分重要。特别是在军事上,对辐射源的侦查、定位和跟踪意义重大。在研究和应用中有多数被动定位技术得到利用,例如 AOA^[1-3]、TOA (time of arrival)、TDOA (time difference of arrivals)^[4-7]以及 FDOA (frequency difference of arrivals)等。因为每种方法都有自己的优点和不足,所以,为了提高定位精度,实际被动定位系统常常采用多种定位技术,并利用数据融合对不同方法得到的测量数据进行融合处理。例如,移动通信用户的定位采用的是二维混合 TDOA/AOA^[9-10];对移动辐射源定位采用的是 TDOA 和 FDOA^[8];对雷达辐射源的定位采用的是多平台的 TDOA 融合^[4]。

1 三维 AOA 被动定位的系统组成

三维 AOA 被动定位的系统组成框图如图 1 所示。不失一般性,假设运动平台为两个。每个平台上安装一个 ESM 传感器和一个 GPS/INS 导航系统。ESM 传感器提供 AOA 测量方式,并假设两个 ESM 传感器时间同步。一般情况下,传感器测量的 AOA 数据是以天线子系统的坐标为参考的,所以要转化到与雷达辐射源统一的坐标系下。GPS/INS 系统提供运动平台的位置、速度以及状态参数。将单个被动雷达方位线方法^[1]应用于两个 ESM,并将 ILS 方法用于对两个 AOA 的融合。

2 AOA 的 ILS 融合算法

2.1 运动平台状态估计

运动平台的位置、速度以及状态数据由松散耦合的 GPS/INS 系统提供。INS 方程为:

* 收稿日期 2005 - 04 - 14

基金项目 国家 863 基金资助项目(2001AA132020)

作者简介 刘培国(1969—),男,副教授,博士。

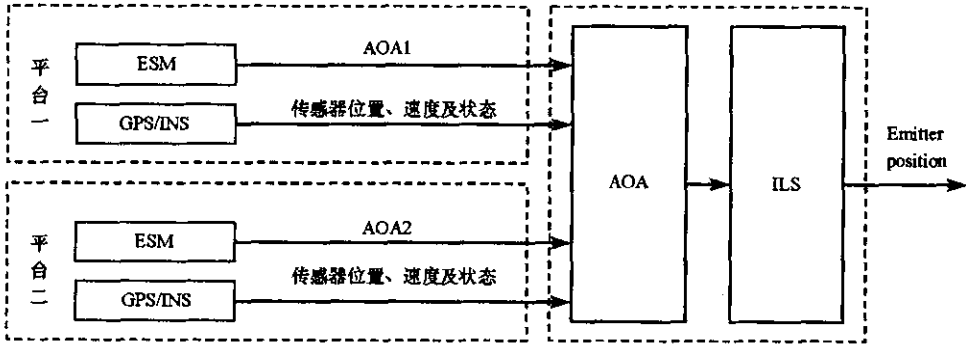


图1 三维 AOA 被动定位的系统

Fig.1 System for 3D passive location

$$\begin{bmatrix} \dot{r}^l \\ \dot{v}^l \\ \dot{C}_b^l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D^{-1} v^l \\ C_b^l f^b - (2w_{ie}^l + w_{ed}^l) \times v^l + g^l \\ C_b^l (\Omega_{ib}^b - \Omega_{il}^b) \end{bmatrix} \quad (1)$$

这里位置矢量 $r^l = (\varphi, \lambda, h)$, φ, λ 和 h 分别为柱坐标系下的方位角、径长和高度; $v^l = (v_N, v_E, v_D)$ 为速度矢量; C_b^l 为子系统坐标系和平台坐标系的转换矩阵。动态的状态模型为:

$$x_k = F_{k, k-1} x_{k-1} + G_{k-1} w_{k-1} \quad (2)$$

$F_{k, k-1}$ 和 G_{k-1} 的定义如文献 [4] 而且,

$$x = [\delta\varphi \quad \delta\lambda \quad \delta h \quad \delta v_N \quad \delta v_E \quad \delta v_D \quad \delta\beta \quad \delta\theta \quad \delta\Psi \quad \delta f_x \quad \delta f_y \quad \delta f_z \quad \delta g_x \quad \delta g_y \quad \delta g_z]$$

包含了三个位置参量,三个速度参量,三个方位参量,三个加速度参量以及三个旋转变换参量。对于 GPS/INS 系统,INS 方程和 GPS 接收机的输出可以构成测量方程如下:

$$z_k = H_k x_k + n_k^z = \begin{bmatrix} r_{INS}^l - r_{GPS}^l \\ v_{INS}^l - v_{GPS}^l \end{bmatrix} \quad (3)$$

基于状态方程 (2) 和测量方程 (3),采用卡尔曼滤波方法估计运动平台的位置、速度以及状态等参量。

2.2 AOA 融合

假设被测辐射源以及 n 时刻两个运动平台在直角坐标系下的位置为:

$$x_e = (x_e, y_e, z_e), \quad x_{p1}(n) = [x_{p1}(n), y_{p1}(n), z_{p1}(n)], \quad x_{p2}(n) = [x_{p2}(n), y_{p2}(n), z_{p2}(n)]$$

$x_{p1}(n)$ 和 $x_{p2}(n)$ 由 GPS/INS 系统提供。测得的运动平台与辐射源视线的单位矢量分别为:

$$u_1(n) = [u_{1a}(n), u_{1b}(n), u_{1c}(n)], \quad u_2(n) = [u_{2a}(n), u_{2b}(n), u_{2c}(n)]$$

定义目标函数为由 AOA 视线得到的运动平台与辐射源之间的距离差,

$$J_{AOAi} = \sum_{n=1}^N d_i^2(n) \quad (4)$$

$$d_i^2(n) = [x_e - x_{pi}(n)]^2 + [y_e - y_{pi}(n)]^2 + [z_e - z_{pi}(n)]^2 - \{u_{ia}(n) [x_e - x_{pi}(n)] + u_{ib}(n) [y_e - y_{pi}(n)] + u_{ic}(n) [z_e - z_{pi}(n)]\}^2 \quad (5)$$

N 为采样数, $i=1, 2$ 代表两个运动平台。(4) 式可以写为矩阵形式,

$$J_{AOAi} = x_e^T A_i x_e + 2B_i^T x_e + c_i \quad (6)$$

其中,

$$A_i = \sum_{n=1}^N A_i(n), \quad B_i = \sum_{n=1}^N B_i(n), \quad c_i = \sum_{n=1}^N c_i(n)$$

$$A_i(n) = \begin{bmatrix} u_{ib}^2(n) + u_{ic}^2(n) & -u_{ia}(n)u_{ib}(n) & -u_{ia}(n)u_{ic}(n) \\ -u_{ia}(n)u_{ib}(n) & u_{ia}^2(n) + u_{ic}^2(n) & -u_{ib}(n)u_{ic}(n) \\ -u_{ia}(n)u_{ic}(n) & -u_{ib}(n)u_{ic}(n) & u_{ia}^2(n) + u_{ib}^2(n) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}(n) = \begin{bmatrix} u_{ia}(n) \int u_{ia}(n)x_{pi}(n) + u_{ib}(n)y_{pi}(n) + u_{ic}(n)z_{pi}(n) \\ u_{ib}(n) \int u_{ia}(n)x_{pi}(n) + u_{ib}(n)y_{pi}(n) + u_{ic}(n)z_{pi}(n) \\ u_{ic}(n) \int u_{ia}(n)x_{pi}(n) + u_{ib}(n)y_{pi}(n) + u_{ic}(n)z_{pi}(n) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_{pi}(n) \\ y_{pi}(n) \\ z_{pi}(n) \end{bmatrix}$$

$$c_i(n) = x_{pi}^2(n) + y_{pi}^2(n) + z_{pi}^2(n) - [(u_{ia}(n)x_{pi}(n) + u_{ib}(n)y_{pi}(n) + u_{ic}(n)z_{pi}(n))] \quad (7)$$

AOA 融合的目标函数定义为：

$$J_{AOA}^{fusion} = \mathbf{x}_e^T [\mathbf{A}_1 ; \mathbf{A}_2] \mathbf{x}_e + 2 [\mathbf{B}_1 ; \mathbf{B}_2]^T \mathbf{x}_e + c_1 + c_2 \quad (8)$$

容易得到 AOA 融合方程 (8) 的 LS 解为：

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{x}}_e^{AOA} = -(\mathbf{A}_{AOA}^T \mathbf{A}_{AOA})^{-1} \mathbf{A}_{AOA}^T \mathbf{B}_{AOA} \\ \mathbf{A}_{AOA} = [\mathbf{A}_1 ; \mathbf{A}_2], \quad \mathbf{B}_{AOA} = [\mathbf{B}_1 ; \mathbf{B}_2] \end{cases} \quad (9)$$

3 仿真结果

仿真计算中,假设距离测量精度为 100m,方位角和俯仰角的测量误差分别为 0.88° 和 0.3° ,采样数为 100,两个运动平台的初始位置为 $(-7500\text{m}, 18\ 000\text{m}, 11\ 000\text{m})$ 和 $(15\ 000\text{m}, 14\ 000\text{m}, 8000\text{m})$,运动速度为 $(200\text{m/s}, -210\text{m/s}, -45\text{m/s})$ 和 $(-300\text{m/s}, -170\text{m/s}, 60\text{m/s})$,辐射源的位置为 $(10\ 000\text{m}, 10\ 000\text{m}, 10\ 000\text{m})$,仿真结果如表 1 所示。从表 1 可见, AOA1/AOA2 迭代融合算法比平均算法的计算精度具有显著的提高。

表 1 仿真结果
Tab. 1 Simulation result

定位方法	x_e	y_e	z_e
AOA1	11 715	11 354	10 844
AOA2	12 253	11 333	10 712
AOA1/AOA2 (平均)	11 984	11 344	10 778
AOA 融合	10 905	10 644	10 816

4 结论

由 GPS/INS 系统提供运动平台的位置、速度以及状态参量,采用 ILS 方法对 AOA 测量进行融合处理,对辐射源进行三位被动定位。仿真结果显示定位精度得到显著提高。

参考文献：

- [1] Lee J, Liu J. Passive Emitter Determination and Geolocation Using a Digital Interferometer[A]. Nato Rta Set Symposium on Passive and LPI Radio Frequency Sensor[C], Portland, 2001: 23-25.
- [2] Gregoire D G, Singletary G B. Advanced ESM AOA and Location Techniques[A]. Proceedings of IEEE 1989 National AES Conference[C], 1989, 2: 917-924.
- [3] Xu J, Wang X, Hu J, et al. Multi-platform Bearing-only Tracking Fusion of Maritime Targets[A]. International Conference on Radar[C], 2001: 1112-1114.
- [4] Du H, Lee J. Passive Geolocation Using TDOA Method from UAVs and Ship/land-based Platforms for Maritime and Littoral Area Surveillance[R]. Defense R&D Canada-Ottawa, Technical Report, Febr. 2004.
- [5] Yu Y, Silverman H F. An Improved TDOA-based Location Estimation Algorithm for Large Aperture Microphone Arrays[A]. ICASSP '2004[C], 2004: 77-80.
- [6] Ho K C, Chan Y T. Solution and Performance Analysis of Geolocation by TDOA[J]. IEEE Trans. 1993, AES, 29(4): 1311-1322.
- [7] Zhang C, Liu J, Liu S, et al. Research on Improving TDOA Location Accuracy Based on Data Fusion[A]. Proceedings of the IEEE 6th Circuits and Systems Symposium on Emerging Technologies[C], 2004: 761-764.
- [8] Ho K C, Xu W. An Accurate Algebraic Solution for Moving Source Location Using TDOA and FDOA Measurements[J]. IEEE Trans., 2000, SP, 52(9): 2453-2463.
- [9] Cong L, Zhang W. Hybrid TDOA/AOA Mobile User Location for Wideband CDMA Cellular Systems[J]. IEEE Trans. Wireless Communications, 2002, 1(3): 439-447.
- [10] Ma C, Klukas R, Lachapelle G. An Enhanced Two-step Least Squared Approach for TDOA/AOA Wireless Location[A]. IEEE Conference on Comm.[C], 2003: 987-991.

