

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.06.011

一种空间两点交会无人机定位方法

孙超¹, 都基焱², 段连飞²

(1. 中国人民解放军炮兵学院 5 系 43 队, 合肥 230031; 2. 中国人民解放军炮兵学院 3 系, 合肥 230031)

摘要: 为了克服传统的无人机单点定位方法误差大、定位精度不高的问题, 提出空间两点交会定位方法。利用自身位置及姿态信息, 构建空间三角形, 通过坐标转换, 求解目标坐标。试验结果证明, 定位精度可提高至 60 m。

关键词: 无人机; 空间交会; 定位; 激光测距

中图分类号: V279 **文献标志码:** A

A Technology of UAV Positioning to Target by Two-Point Space Rendezvous

Sun Chao¹, Du Jiyan², Duan Lianfei²

(1. No. 43 Team, No. 5 Department, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China;
2. No. 3 Department, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to overcome large error and low positioning precision of traditional UAV single positioning method, introduce the two-point space rendezvous method. Use self position and gesture information to construct space triangle, resolve target coordinates through coordinate conversion. The test result shows that the poisoning precision can improve to 60 m.

Keywords: UAV; space rendezvous; position; laser telemeter

0 引言

在《基于 MATLAB 的无人飞行器两点交会定位算法研究》一文中, 笔者提出了利用空间交会对目标定位的思想。笔者在改进该算法计算模型的基础上, 利用误差传播规律重点对算法误差进行了研究, 并通过了飞行试验。实验结果证明, 该算法可将定位精度提高至 60 m。

1 设计思想

1.1 传统定位方式的不足

近年来, 我国无人机相关技术的快速发展, 使得国内自主研发并装备的无人机在目标侦查、监控等方面的作用越来越明显。然而多年来, 我国无人机研究机构和使用单位一直致力于飞行器、发动机、无线链路等的研究, 对无人机使用中的目标定位研究则相对滞后。无人机发展到今天, 随着遥感对地观测技术及激光技术的发展, 对地定位由传统的地—空—地定位模式向空—地模式进行转换。我国无人机传统空—地定位采用单点定位, 即根据飞机定位瞬时自身坐标和姿态, 反推目标点坐标。该方法误差大, 定位精度不高, 尤其是在目标跟踪和定位阶段对飞机有 2 个必要的约束条件, 即跟踪阶段的盘旋和定位时的过顶, 这两点从任务效率上来说不可取、从飞机生存能力上看, 在现代高技术战场上几乎不可能。

无人机传统单点共线定位的过程是, 首先获得无人机的自身坐标, 然后通过 CCD 摄像机拍摄战场目标, 根据共线方程建立成像模型, 利用无人机各传感器测得的飞机姿态角、光轴稳定平台的方位角与俯仰角、飞机的高度等参数建立坐标转换矩阵, 最后通过定位校射计算机计算出目标的坐标。通过对传统定位方法的分析可以看出, 姿态角误差是单点共线定位误差产生的主要原因, 实际定位中其误差通常在百米以上。采用空间交会可以有效消除公共误差, 从而提高定位精度。

1.2 两点交会定位方法概述

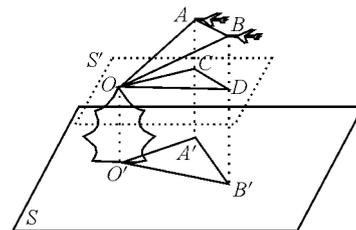


图 1 两点定位设计思想

在无人机飞行过程中, 对将要进行定位的目标实施跟踪, 跟踪过程中对 2 个位置点进行定位测量, 如图 1, 两测量点与目标点组成空间三角形, O 点为目标点, A、B 两点分别为无人机两次定位测量点, S 为海拔平面。 $\triangle OAB$ 在海平面的投影为 $\triangle O'A'B'$ 。A、B 两点坐标由无人机自身定位系统

收稿日期: 2011-03-07; 修回日期: 2011-03-28

作者简介: 孙超 (1981—), 男, 河北人, 博士, 从事指挥信息系统研究。

提供, AO 和 BO 的长度由激光测距所得, 姿态角由姿态测量系统测得。

1) 求 O 点 X 和 Y 两方向轴上的坐标, 也就是 O' 点的 X 和 Y 两方向轴坐标, 考虑解 $\triangle O'A'B'$ 。

2) 过 O 点作平面 S' 平行于平面 S , 设 $\triangle OAB$ 在该平面上的投影为 $\triangle OCD$, 则 $AC \perp OC$, $BD \perp OD$, 又由于平面 S' 平行于平面 S , 所以 $\triangle OCD$ 和 $\triangle O'A'B'$ 三边长度相等, 这样解 $\triangle O'A'B'$ 的问题变成了解 $\triangle OCD$ 。

3) 解 $\triangle OCD$ 并最终确定 O 点坐标。

1.3 建立数学模型

在图 1 中, 设 $\angle OAA'$ 为 $\angle A$, $\angle OBB'$ 为 $\angle B$, O 点坐标为 $O(X_o, Y_o, Z_o)$, 其余点坐标表示方法与 O 点类似。可得下列公式:

$$OC = \sin \angle A \cdot AO \quad (1)$$

$$OD = \sin \angle B \cdot BO \quad (2)$$

在平面 $\triangle OAC$ 中:

$$\sqrt{(Y_c - Y_o)^2 + (X_c - X_o)^2} = OC = \sin \angle A \cdot AO \quad (3)$$

$$\sqrt{(Y_d - Y_o)^2 + (X_d - X_o)^2} = OD = \sin \angle B \cdot BO \quad (4)$$

$$Z_A - \cos \angle A \cdot OA = Z_o \quad (5)$$

由式 (3)、式 (4) 和式 (5) 可知, 可求 O 点坐标。

2 精度分析

2.1 空间坐标转换

由式 (3)、式 (4) 和式 (5) 可知, 若求 O 点坐

$$R = \begin{bmatrix} \cos \beta \cos \gamma_{机} & \sin \alpha_{机} \sin \beta \cos \gamma_{机} + \cos \alpha_{机} \sin \gamma_{机} & -\cos \alpha_{机} \sin \beta \cos \gamma_{机} + \sin \lambda_{机} \sin \alpha_{机} \\ -\cos \beta \sin \lambda_{机} & -\sin \alpha_{机} \sin \beta \sin \lambda_{机} + \cos \gamma_{机} \cos \alpha_{机} & \cos \alpha_{机} \sin \lambda_{机} \sin \beta + \sin \alpha_{机} \cos \gamma_{机} \\ \sin \beta & -\sin \alpha_{机} \cos \beta & \cos \beta \cos \alpha_{机} \end{bmatrix}$$

如图 2, 设在转台空间坐标系 $M'-ABC$ 中任意一点 P 坐标为 (A_p, B_p, C_p) , 过 P 点做两个面的垂线, 与两平面相交与 D, E 两点。则转台仰角 $\alpha_{台}$ 即为 $\angle PM'C$, 转角 $\gamma_{台}$ 即为 $\angle PM'E$, $M'P$ 即为激光测距的数值。

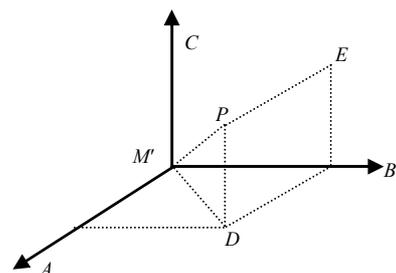


图 2 转台空间坐标系中的三角运算

标, 未知数仅为 $\angle A$ 和 $\angle B$ 。在无人机实际定位中, $\angle A$ 和 $\angle B$ 并不能直接得到, 它不仅与转台测得角度有关, 又与无人机姿态有关, 为研究定位精度, 设无人机能够直接测得的 5 个角分别为仰角 $\alpha_{机}$ 、滚转角 β 、偏航角 $\gamma_{机}$ 、转台仰角 $\alpha_{台}$ 、转角 $\gamma_{台}$ 。

下面通过空间坐标转换的方法得到 $\angle A$ 和 $\angle B$ 与 5 个姿态角之间的数学关系。建立左手坐标系 $M-XYZ$ 和 $M'-ABC$, $M-XYZ$ 为无人机所在坐标系, $M'-ABC$ 为转台所在坐标系。

一般地, 空间一点通过坐标轴的旋转来表达的坐标系间的转换公式为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = k' \cdot R_3(-\omega_3) \cdot R_2(-\omega_2) \cdot R_1(-\omega_1) \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中 (a, b, c) 为点在 ABC 系中的坐标值; (x, y, z) 为点在 XYZ 系中的坐标值, (x_M, y_M, z_M) 为 ABC 系的坐标原点 M' 在 XYZ 系中的坐标值。在无人机定位中, 机身坐标原点与转台坐标原点之间的偏移可忽略不计, 因此该坐标值为 $(0, 0, 0)$; k, k' 为距离比例系数, 因为无人机相对目标点距离远大于转台和无人机质心间距离, 因此两坐标系比例系数可认为是 1; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 为旋转角度, 即为机身所测得的 $\alpha_{机}, \beta, \gamma_{机}$, 对于左手系, 顺时针旋转为正, 反之为负; R_1, R_2, R_3 为旋转矩阵。

设 $R_3 \cdot R_2 \cdot R_1$ 为 R , 由式 (6) 可得:

进而可得:

$$\sqrt{A_p^2 + B_p^2 + C_p^2} = M'P = \frac{C_p}{\cos \alpha_{台}} \quad (7)$$

$$\sqrt{A_p^2 + B_p^2 + C_p^2} = M'P = \frac{A_p}{\sin \gamma_{台}} \quad (8)$$

$$\sqrt{A_p^2 + B_p^2 + C_p^2} = M'P \quad (9)$$

由式 (10)、式 (11) 和式 (12) 可解得由 $\alpha_{台}, \gamma_{台}$, $M'P$ 表示的 P 点坐标表达式:

$$A_p = M'P \cdot \sin \gamma_{台} \quad (10)$$

$$B_p = \sqrt{M'P^2 \cdot (1 - \cos \alpha_{台}^2 - \sin \gamma_{台}^2)} \quad (11)$$

$$C_p = M'P \cdot \cos \alpha_{台} \quad (12)$$