

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.03.04

# 一种红外被动定位方法的工程实现

祁蒙<sup>1</sup>, 邱朝阳<sup>2</sup>

(1. 华北光电技术研究所, 北京 100015; 2. 中航工业雷华电子技术研究所, 江苏 无锡 214063)

**摘要:** 被动定位可分为单站被动定位和多站被动定位两种类型。本文在简要分析各种被动定位技术的基础上, 提出一种将双目立体视觉和运动立体视觉相结合的单站红外被动定位方法。设计了实验样机, 将该被动定位算法进行了工程实现。实验结果表明, 单站红外被动定位方法不仅具有 $\pm 10\%$ 的被动定位精度, 而且可以同时多个目标进行被动定位。

**关键词:** 红外被动定位; 单站定位; 双目视觉; 运动视觉

**中图分类号:** TB22; TN219 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5795 (2016) 03-0014-04

## The Realization of an IR Passive Positioning Method in Engineering

QI Meng<sup>1</sup>, QIU Chaoyang<sup>2</sup>

(1. North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China;

2. AVIC Leihua Electronic Technology Research Institute, Wuxi 214063, China)

**Abstract:** There are two types of passive positioning: single-station passive positioning and multi-station passive positioning. Based on the analysis of several methods of passive positioning, a new method combining binocular vision and motion vision is proposed, which belongs to the single-station passive positioning. Relevant equipment is designed and the distance calculation algorithm is realized in engineering. It is proved that this equipment can realize the real-time passive positioning of multiple flying targets in air. The accuracy of this method is approximately  $\pm 10\%$  of the target distance.

**Key words:** IR passive positioning, single-station positioning, binocular vision, motion vision

## 0 引言

目标的定位可分为主动定位和被动定位两种类型。传统的主动定位一般采用雷达或者激光的方式, 虽然定位距离远, 但由于要主动发射大功率雷达脉冲或者激光脉冲, 所以非常容易暴露自身, 并且, 无论是雷达定位还是激光定位, 设备都较为复杂, 不符合未来武器装备小型、轻量、便携的发展趋势。面对电磁隐身技术的制约和挑战, 被动定位技术已成为现代战争中目标定位的另一个重要发展方向<sup>[1-4]</sup>, 它具有搜索跟踪单目标和多目标的能力, 并且不易被敌方发现和摧毁。

被动定位可分为单站被动定位和多站被动定位。单站被动定位是使用一个平台对目标进行被动定位, 多站被动定位是使用多个平台同时对目标进行定位。本文主要研究的是单站被动定位。红外被动定位是

主要的单站被动定位方式之一, 它在军事应用上具有隐蔽性好、角度定位精度高、具有一定反隐身能力等优点, 所以受到广泛的关注。

红外被动定位包括角度定位和距离定位两方面。对于红外系统, 角度定位技术相对成熟, 而距离定位技术实现难度很大, 是一个亟待解决的技术上和工程上的难题。距离定位是本文要讨论的重点。

本文提出了一种将运动立体视觉和双目立体视觉相结合的单站红外被动定位方法, 并给出了工程实现结果。该方法可以实现对空中多个目标角度和距离的实时测量, 从而为攻击性武器的研制提供有效参数。

## 1 被动定位技术的分析

被动定位技术由于具有上述优势, 一直受到广泛的关注, 其中的一些技术已经应用到某些武器装备中, 在实战中发挥出了重要作用。经过国内外几十年研究, 涌现出了十几种被动定位方法<sup>[5-14]</sup>, 以下介绍的是几种常用的可工程实现的被动定位方法。

收稿日期: 2016-03-10; 修回日期: 2016-04-08

作者简介: 祁蒙 (1977-), 男, 北京人, 高级工程师, 主要从事红外系统及技术研究。

### 1.1 双站交叉定位法

双站交叉定位的基本原理如图 1 所示。空间目标  $M$  在水平面投影为  $M'$ ；两个测量站  $O_1, O_2$  之间的距离为  $L$ 。分别从测量站  $O_1$  和  $O_2$  对目标进行角度定位：角度测量值分别为方位角  $\alpha_1$ ，俯仰角  $\beta_1$ ，方位角  $\alpha_2$ ，俯仰角  $\beta_2$ 。根据公式 (1) 可计算出测量站到目标的距离  $R_1$  和  $R_2$ 。

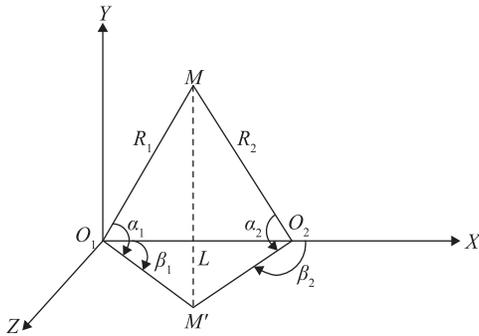


图 1 双站交叉定位法的基本原理

$$R_1 = \frac{L \sin \alpha_2}{\cos \beta_1 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)}, R_2 = \frac{L \sin \alpha_1}{\cos \beta_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (1)$$

从公式 (1) 可看出，距离定位计算误差与测量站之间的距离长短，方位角、俯仰角的测量值都有关。测量站之间的距离越大，方位角、俯仰角越小，角度定位误差越小，距离定位精度越高。这就要求目标尽量出现在基线的垂直方向上，以减小误差。所以说这种简单的双站交叉定位法在实际运用中会受到很多的限制，定位误差也较大。

### 1.2 目标辐射强度法

目标辐射强度法定位的基本原理如图 2 所示。假设一个具有恒定辐射强度的点源在空中做匀速直线运动，测量站对其进行能量探测。可探测到目标的辐射照度  $E$  与目标的距离  $R$  之间关系为公式 (2)。其中， $J$  为目标的辐射强度， $\tau_0$  为单位距离上的大气透过率。

$$E = \tau_0^R J / R^2 \quad (2)$$

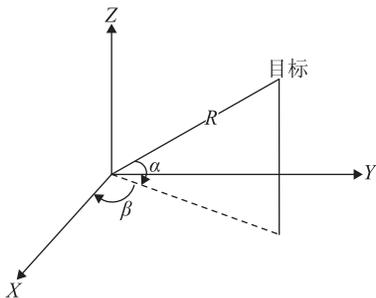


图 2 目标辐射强度法的基本原理

### 1.3 运动立体视觉法

运动立体视觉法定位的基本原理如图 3 所示。假设测量站采用的是某种光电探测器，测量站与目标之间的距离不同，目标所成像点到光电探测器像面中心的距离  $u$  也会不同。测量站与目标之间的距离  $R$  与光电探测器沿光轴方向的运动位移  $b_m$  以及  $u$  之间的关系为公式 (3)。

$$R = b_m u_1 / (u_2 - u_1) \quad (3)$$

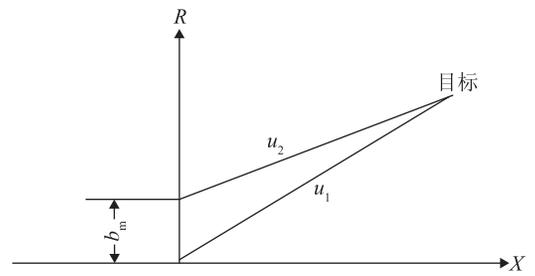


图 3 运动立体视觉法的基本原理

### 1.4 双目立体视觉法

双目立体视觉法定位的基本原理如图 4 所示。其中， $M$  为目标，假设单个测量站采用两套光学系统对目标进行定位，两套光学系统光轴之间的距离为  $b$ ，光学系统焦距为  $f$ 。假设目标在两套光学系统中所成像点距各自成像面中心的距离为  $X_1$  和  $X_2$ ，那么根据公式 (4) 可计算测量站到目标的距离  $R$ 。

$$R = bf / (X_1 - X_2) \quad (4)$$

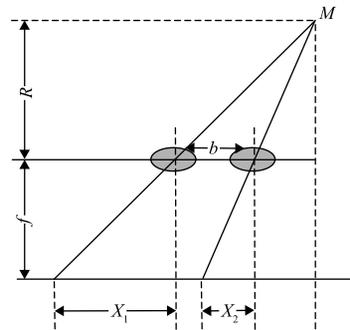


图 4 双目立体视觉法的基本原理

## 2 单站红外被动定位技术的工程实现

根据目标辐射强度法，可得到单站红外被动定位的计算公式为

$$SNR = JC\tau / R^2 \quad (5)$$

式中： $SNR$  为目标信噪比； $C$  为红外探测器固有参数； $\tau$  为大气透过率。 $\tau$  是距离  $R$  的函数，设

$$\tau = f(P, R) \quad (6)$$

式中： $P$  是大气透过率模型参数。对于公式 (5)， $SNR$  可测量，如果大气透过率模型参数  $P$ 、红外探测器固有参数  $C$  以及目标辐射强度  $J$  已知，由公式 (5) 就可求解目标距离  $R$ 。

单站的红外被动定位，一直存在着一个问题，就是定位距离方程解的不唯一性。即存在以下可能：

$$SNR = J_1 C f(P, R_1) / R_1^2 = J_2 C f(P, R_2) / R_2^2 = \dots \quad (7)$$

直观的理解就是，可能存在一个较远的、辐射强度较大的目标和一个较近的、辐射强度较小的目标，两者的红外辐射能量经过大气传输后到达探测器的能量是一样的，此时无法区别两个目标。在工程上需要结合其它方法进行解决。

### 2.1 迎头飞行目标的解算方法

假定在两个位置（目标到被测站的距离分别为  $R_1, R_2$ ）处目标的飞行高度基本保持不变，红外探测器垂直方向的像元数为 512，定义成像中心坐标为  $(u, v)$ 。由运动立体视觉的成像原理可知： $R_1/R_2 = (v_2 - 512/2) / (v_1 - 512/2)$ ，联立公式 (5)，可以解算出目标的距离  $R_1$  和  $R_2$ 。

### 2.2 切向侧飞目标的解算方法

在目标的飞行过程中，由于  $R_1, R_2$  基本相同，利用公式 (5) 无法进行定位距离解算。定义目标的水平速度和水平尺寸之比这样一个参数，根据该参数可以对战斗机、巡航导弹、直升机、民航飞机目标进行区分，进而根据目标红外图像灰度和大气传输特性定位目标距离。大量的工程试验证明，该方法可以很容易地区分出战斗机和民航机，但在区分巡航导弹和直升机方面有可能会出现偏差（见表 1），需要引入双目立体视觉方法进行进一步的确认。

表 1 不同目标的水平速度和水平尺寸之比

参数	飞行目标			
	战斗机	巡航导弹	直升机	民航机
水平速度和水平尺寸之比	约 30	约 50	约 20	约 5

### 2.3 实验样机的搭建

将运动立体视觉和双目立体视觉相结合的单站红外被动定位方法实验样机如图 5 所示。转台为一个二维的转台，可实现水平  $360^\circ$ 、俯仰  $-10^\circ \sim 80^\circ$  的空域搜索，左右为两台参数相同的中波  $640 \times 512$  红外整机。实验之前需要获取实验现场的中波红外大气传输参数。

对于空中战术目标（战斗机、巡航导弹、直升机、民航飞机），假定在距离的测量过程中目标辐射和大气

传输特性不变，可采用 2.1 和 2.2 的方法进行被动定位。如果这两种方法失效，也可采取双目立体视觉的方法进行被动定位，但定位精度会随着目标距离的增大而增大。

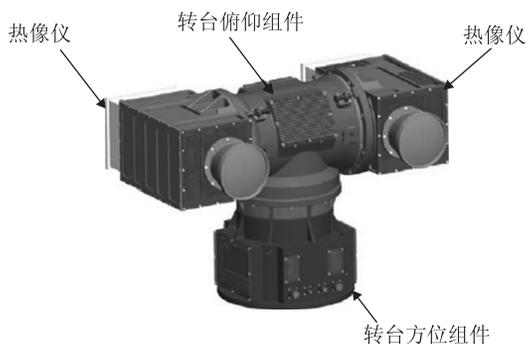


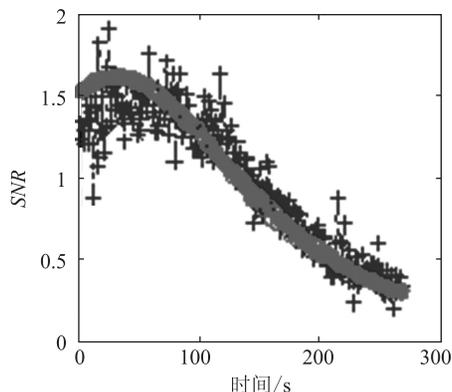
图 5 实验样机

### 2.4 实验结果

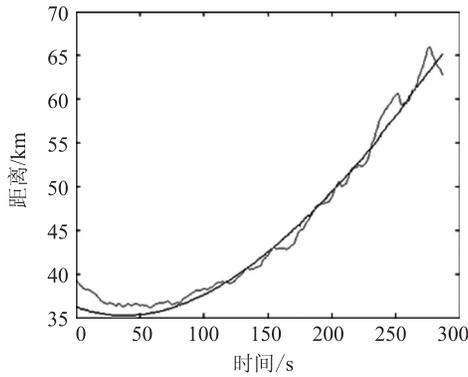
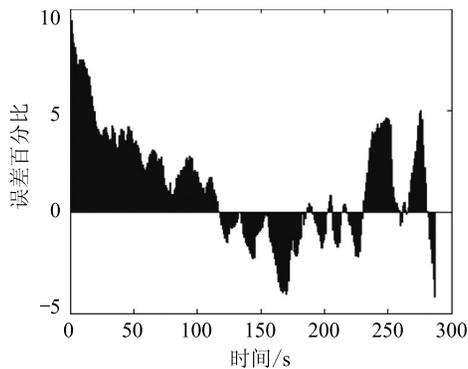
实验样机的初步实验结果如图 6 所示。图 6 (a) 是目标红外图像，图 6 (b) 是目标  $SNR$  随时间的变化关系，根据图 6 (b) 曲线拟合的函数关系，得出图 6 (c) 中目标距离变化曲线，对目标定位距离和目标实际距离进行误差统计，如图 6 (d) 所示，误差大都在距离的  $\pm 10\%$  以内。



(a) 目标的红外图像



(b) 信噪比  $SNR$  与时间的变化关系

(c) 距离 $R$ 与时间的变化关系

(d) 距离误差与时间的变化关系

图6 单站红外被动定位的实验结果和误差分析

### 3 结束语

被动定位由于拥有主动定位无法比拟的隐蔽性强、反隐身等优势特征, 已经成为装备发展的又一方向。但是实践证明, 很多被动定位方法如离焦高频振动法、计时法、光流法、双波段比值法等<sup>[15-18]</sup>, 虽然存在理论计算公式, 但在工程上几乎无法实现, 这需要设计人员引起注意。

在众多可工程化的被动定位方法中, 单站红外被动定位具有突出的技术优点: 体积小, 成本低, 定位距离远, 能够实时多目标定位, 智能化程度高, 容易和其它设备配合使用等<sup>[19-20]</sup>。缺点是受目前光电前端指向精度和大气传输模型准确性的影响, 定位精度较低, 需要在工程实践中进行进一步的改善。

### 参 考 文 献

[1] Dennis J G. Passive ranging technique for infrared search and track (IRST) systems; United States, 5282013 [P]. 1994-01-25.

[2] de Visser M, Schwering P B W, de Groot J F, et al. Passive ranging using an infrared search and track sensor [J]. Optical Engineering, 2006, 45 (2): 409-411.

[3] Michael R. Hawks. Passive Ranging Using Atmospheric Oxygen Absorption Spectra [M]. Maxwell, United States: Air University, 2006.

[4] Joel R Anderson. Monocular Passive Ranging by an Optical system with band pass filtering [M]. Maxwell, United States: Air University, 2010.

[5] 冯国强, 邹强, 李伟仁. 单站双波段红外被动测距算法研究 [J]. 红外技术, 2005, 27 (4): 295-298.

[6] 付小宁, 赵赓, 刘上乾. 基于对比度双波段被动红外测距 [J]. 激光与红外, 2007, 37 (6): 517-519.

[7] 李恩科, 殷世民, 刘上乾, 等. 一种新的机动平台红外单站被动定位算法 [J]. 西安电子科技大学学报 (自然科学版), 2006, 33 (3): 408-410.

[8] 赵勋杰, 高雅允. 光电被动测距技术 [J]. 光学技术, 2003, 29 (6): 652-656.

[9] 赵勋杰, 李成金. 双目立体实时测距系统的关键技术研究 [J]. 激光与红外, 2006, 36 (9): 874-877.

[10] 杨德贵, 黎湘, 肖顺平. 基于单站双波段红外图像的面目标被动测距研究 [J]. 信号处理, 2010, 26 (5): 714-718.

[11] 路远, 凌永顺, 吴汉平. 目标的红外被动测距研究 [J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23 (1): 77-80.

[12] 路远, 时家明, 凌永顺. 红外被动定位研究 [J]. 红外与激光工程, 2001, 30 (6): 405-409.

[13] 王春雷, 杨日杰. 基于正交多站测角的机载红外定位技术研究 [J]. 激光与红外, 2007, 37 (11): 1184-1187.

[14] 樊民革, 赵剡, 孙夏川. 基于面积的弹载红外成像被动测距 [J]. 红外与激光工程, 2009, 38 (3): 391-396.

[15] 孙晓刚, 李云红. 红外热像仪测温技术发展综述 [J]. 激光与红外, 2008, 38 (2): 101-104.

[16] 孙志远, 李孟华, 乔彦峰. BP神经网络在比色法测温系统标定中的应用 [J]. 激光与红外, 2007, 37 (12): 1274-1277.

[17] 王学伟, 王春歆, 张玉叶. 点目标图像信噪比计算方法 [J]. 电光与控制, 2010, 17 (1): 18-21.

[18] 陈维真, 张春华, 周晓东. 空间目标的光度特性及其成像信噪比研究 [J]. 红外技术, 2007, 29 (12): 716-719.

[19] 殷祖焄, 肖恒兵, 翟广宁. 红外热像仪作用距离现场检测装置的研究 [J]. 计测技术, 2007, 27 (3): 22-25.

[20] 王曦. 基于图像数据链的目标被动测距技术研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.