

·测试、试验与仿真·

机动平台双站红外测距方法研究

李程华, 宋刘非

(东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000)

摘要: 机动平台双站红外测距具有较高的实用性, 通过对测距过程的分析, 描述了坐标系转换原理和空间交叉点定义, 提出了一种机动平台双站红外测距方法。结合实际应用需要, 分析了影响该测距算法测距精度的因素, 并给出误差计算公式。对测距精度进行了仿真分析, 研究了双站间距、探测得到的方位角度和测距精度之间的关系。

关键词: 机动平台; 双站测距; 算法; 精度; 仿真

中图分类号: TN216

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-05-0073-05

Research on Double-station IR Ranging Method of Mobile Platform

LI Cheng-hua, SONG Yi-fei

(Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China)

Abstract: Double-station IR ranging system on mobile platform has higher practicability. By analyzing the process of ranging, the principle of coordinate transformation and the conception of space crossing are described. And the method of double-station IR ranging on mobile platform is introduced. Incorporating with the requirements of practical application, the elements influencing the ranging accuracy of the ranging algorithm are analyzed. And error expressions are given. Simulation analysis for ranging accuracy is performed and the relationships of double-station distance, detected azimuth and ranging accuracy are researched.

Key words: mobile platform; double-station ranging; algorithm; accuracy; simulation

采用光电方式获取指定目标距离信息, 对其精确定位具有很高的实用价值, 在民航导航、地质勘探测绘, 野外救援、小区安保等方面应用广泛。常用的光电测距方法有雷达测距、激光测距和红外测距等。其中, 雷达测距和激光测距都是主动式测距法, 而红外测距属于被动测距方法, 即利用目标红外辐射对目标进行距离测算, 具有精度高、可以利用红外探测系统现有设备, 不需要附加测距设备等优点。

通过对机动平台双站红外测距机理分析, 提出测距方法, 并对测距精度进行了仿真计算。

1 机动平台双站红外测距特点

1.1 红外测距的优点

红外测距的优点如下:

(1) 隐蔽性好, 可以在自身不辐射电磁波的情况下, 隐蔽地确定目标辐射源的位置。

(2) 成本低, 可以利用系统原有的红外探测系统, 不用增加硬件设备。

(3) 精度较高, 红外探测系统分辨力较高, 比雷达无源定位系统具有更高的测向精度。

(4) 可与雷达系统配合使用, 在雷达静默时, 红外探测可发挥优势, 因为红外探测属于被动探测。

1.2 实现机动平台双站红外测距的条件

(1) 需要两个(最好性能一致)的红外探测系统, 分装在两个机动平台之上。

(2) 两个机动平台具备自身定位能力。

(3) 两个机动平台必须能够实时进行信息交换。

2 机动平台双站红外测距算法

2.1 坐标系变换

机动平台双站测距中的两个红外探测器一般相距较远,进行目标测距计算过程中需要进行坐标系变换。采用的地球模型可能会对计算结果具有较大影响,故系统采用的是椭球模型。

(1)局部坐标系。以某一具体地点为坐标系中心,以当地水平面为坐标系的 xoy 平面建立直角或球坐标系。如以红外探测系统为中心建立的坐标系。

(2)大地地心直角坐标系。以地球中心作为坐标系原点, z 轴指向北极, x 轴指向起始子午面与赤道的交点, y 轴位于赤道面上,且按右手系与 x 轴成 90° 夹角。可以作为坐标变换过程中必要的中间坐标系。

(3)大地经纬度坐标系。以地球质心为坐标系中心,纬度是空间的点与参考椭球面的法线与赤道面的夹角,经度是空间中的点与参考椭球的自转轴所在的面与参考椭球的起始子午面的夹角,北半球规定为正,南半球规定为负。某点海拔高度定义为该点到椭球面的距离,在大地椭球面之上为正,反之为负。

大地地心直角坐标系和大地经纬度坐标系见图1所示。

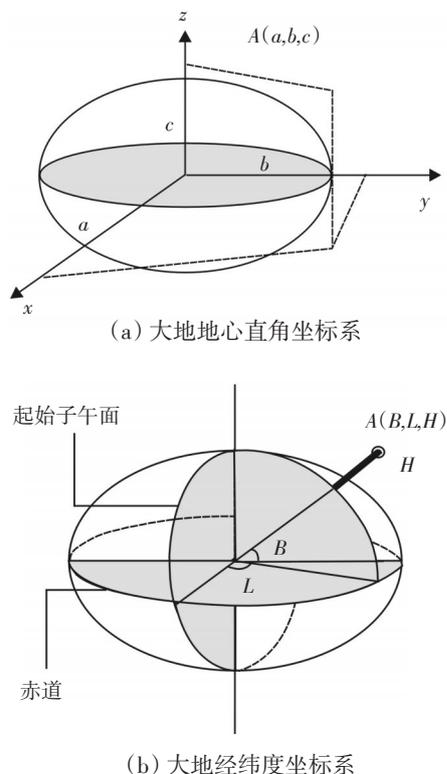


图1 大地地心直角坐标系和大地经纬度坐标系

在进行测距计算时,各个红外探测系统采用的局部坐标系需要转换到同一坐标系中。椭球模型用于多探测器数据融合时,各个探测器局部坐标系之间的坐标变换是旋转加平移的关系。从某点的经纬度就可以得出以该点为坐标中心的局部坐标系与大地直角坐标系之间的旋转矩阵,而该点的大地直角坐标位置就是局部坐标与大地直角坐标相互转换所需的平移向量。

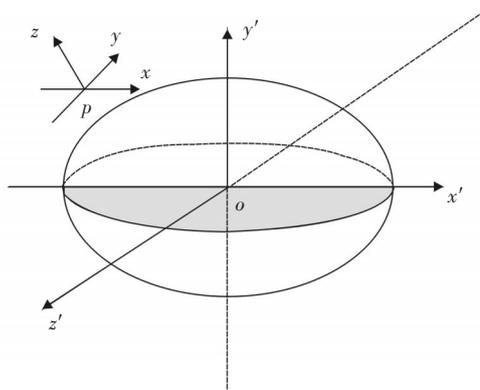


图2 局部坐标系与大地地心坐标系的关系

如图2所示,假设某红外探测系统位于点 $p(x, y, z)$,对应的经纬度坐标为 $p(l, b, h)$,则以此红外探测系统为中心建立的局部坐标系有三个坐标轴 x, y, z ,它们对应的单位向量为 $(1\ 0\ 0)^T, (0\ 1\ 0)^T$ 和 $(0\ 0\ 1)^T$ 。设这三个单位向量变换到大地地心坐标系下的向量 x', y', z' 。根据三轴的定义有

$$\begin{cases} x' = (-\sin l & \cos l & 0)^T \\ y' = z' \times x' \\ z' = (\cos b \cos l & \cos b \sin l & \sin b)^T \end{cases} \quad (1)$$

假设局部坐标系到大地地心坐标系的旋转矩阵为 R ,则有

$$x' = R \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad y' = R \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad z' = R \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

故有

$$R = (x' \ y' \ z')^T \quad (3)$$

可得局部坐标系中任意点 p 与大地地心坐标系下对应点 q 之间的变换公式如下

$$q = R \cdot p + (x_0\ y_0\ z_0)^T \quad (4)$$

$$p = R^{-1} \cdot (q - (x_0\ y_0\ z_0)^T) \quad (5)$$

其中, (x_0, y_0, z_0) 是红外探测系统的大地地心坐标。

任意两个局部坐标系间的坐标转换可以根据上面公式通过先转换到大地地心坐标系来完成。

2.2 空间相交点确定

理论上,参加测距的两个红外探测系统对同一个目标探测,两条视线(射线),一定会相交于空间某一点。但是由于平台运动、以及红外探测系统误差,两条射线在绝大多数情况下必然不相交。因此,在仿真计算过程中,必然导致错误。

如图3所示,将红外探测系统P1和P2各自的坐标系按照前面的方法转换到大地地心坐标系。在空间中,最接近视线P1与P2的交点(目标),可以近似的用两条射线的异面共垂线与射线的交点作为目标的位置,也就是对于目标T,在红外探测系统P1看来,位置为T1,在红外探测系统P2看来,位置在T2。

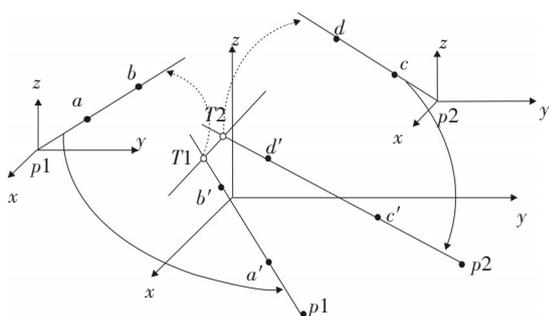


图3 空间相交点的确认

2.3 测距计算方法

将两个红外探测系统分别加装在两个机动平台上,按前面所讲的方法进行坐标转换,统一转换到大地地心坐标系。如图4所示,红外探测系统P1、P2以及目标T分布于空间中不同的平面A、B、C,从T向C平面投影分别交B平面于T_B点,交C平面于T_C点,在B平面上,过T_B点作直线与过P₂点与X轴平行线相交于Q₁点。从P₂点向C平面投影,交C平面于P_C点。

已知同一时刻,P₁平台上红外探测系统得到目标T的方位角为α₁=∠T_CP₁X,俯仰角为β₁=∠TP₁T_C;P₂平台上红外探测系统得到目标T的方位角为α₂=∠Q₁P₂T_B,俯仰角为β₂=∠TP₂T_B。

由P₁处得到P₂的方位角为α₃=∠P_CP₁X,俯仰角为β₃=∠P₂P₁P_C;P₁P₂距离为L。

设:由P₁处测得目标T的距离为D₁,由P₂处测得目标T的距离为D₂。

可得

$$D_1 = L \cdot \frac{\cos \beta_3 \cdot \sin(\alpha_2 + \alpha_3)}{\cos \beta_1 \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (6)$$

$$D_2 = L \cdot \frac{\cos \beta_3 \cdot \sin(\alpha_1 - \alpha_3)}{\cos \beta_2 \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (7)$$

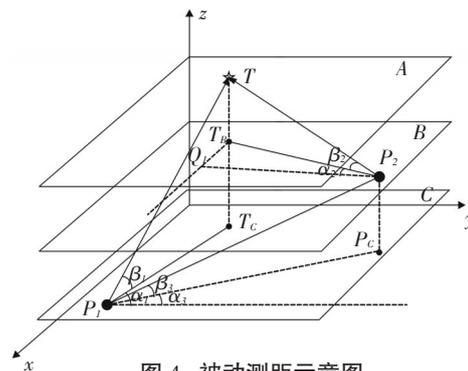


图4 被动测距示意图

3 机动平台双站红外测距误差分析与仿真

3.1 误差分析

在测距过程中产生误差的因素有:

- (1)机动平台定位精度包括:GPS的经纬度和高度。
- (2)红外探测系统的方位、俯仰指向精度。
- (3)红外探测系统时统同步精度。
- (4)红外探测系统探测概率。

经过分析,红外探测系统的同步精度相对于平台机动能力,引入误差相对较小;平台定位带来的误差,在坐标系转化过程中,体现到红外探测系统的方位、俯仰指向精度中;红外探测系统的探测概率很高,为便于研究,可以忽略探测概率带来的误差影响。

可知目标距离D₁关于各方位角和俯仰角的函数为

$$D_1 = f(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_3) \quad (8)$$

影响测距距离D₁的的误差可以表示为

$$\Delta D_1 = \frac{\partial f}{\partial \alpha_1} \Delta \alpha_1 + \frac{\partial f}{\partial \alpha_2} \Delta \alpha_2 + \frac{\partial f}{\partial \alpha_3} \Delta \alpha_3 + \frac{\partial f}{\partial \beta_1} \Delta \beta_1 + \frac{\partial f}{\partial \beta_3} \Delta \beta_3 \quad (9)$$

可得误差计算公式

$$\begin{aligned} \frac{\Delta D_1}{D_1} = & \frac{\cos(\alpha_2 - \alpha_1)}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}(\delta\alpha_1 + \delta\eta_1) + \\ & \frac{\sin(\alpha_3 - \alpha_1)}{\sin(\alpha_2 - \alpha_3)\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}(\delta\alpha_2 + \delta\eta_2) - \\ & \frac{\cos(\alpha_2 - \alpha_3)}{\sin(\alpha_2 - \alpha_3)}(\delta\alpha_3 + \delta\eta_3) + \frac{\sin\beta_1}{\cos\beta_1}(\delta\beta_1 + \delta\gamma_1) - \\ & \frac{\sin\beta_3}{\cos\beta_3}(\delta\beta_3 + \delta\gamma_3) \end{aligned} \quad (10)$$

其中

$$\Delta\alpha_i = \delta\alpha_i + \delta\eta_i, \Delta\beta_i = \delta\beta_i + \delta\gamma_i \quad (11)$$

3.2 结果仿真

设定目标距离: 45 km; 红外探测系统方位误差: 3 mrad; 俯仰误差: 3 mrad。

按照前面分析, 设置两个红外探测系统交点(目标位置)为两条射线的异面共垂线与射线的交点。

测距能力受探测范围影响, 最远测距是在两个探测器连线垂线方向。假设两个红外探测系统 P_1 、 P_2 性能一致, 则对目标 T 的可探测距离范围如图 5 所示阴影部分。

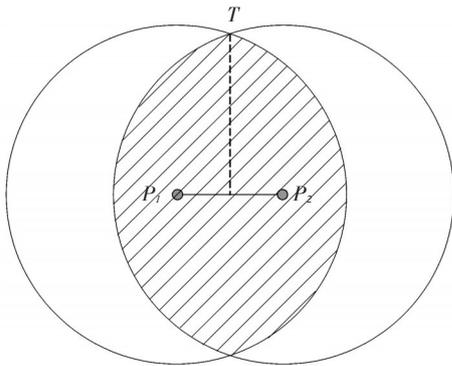


图 5 仿真结果 1

如图 6 所示, 测距误差随两个红外探测系统之间的距离加大而降低。

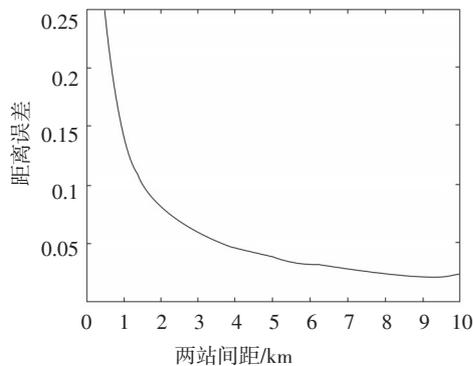
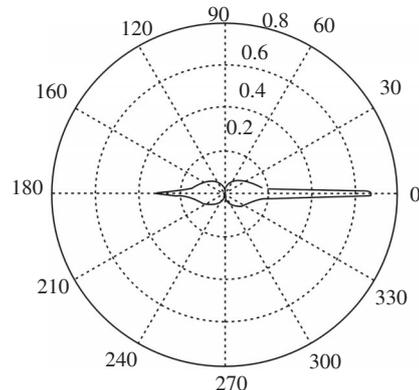
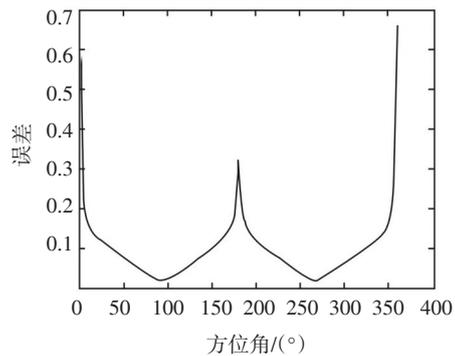


图 6 仿真结果 2

如图 7 所示, 当两个红外探测系统之间的距离为 10 km 时, 探测目标的俯仰角分别为 0° 和 10° , 在圆坐标系和直角坐标系下显示的方位角对测距精度的影响。



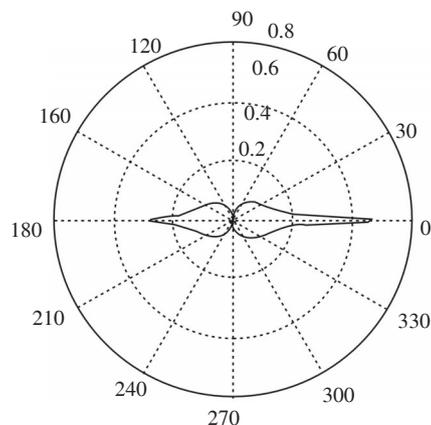
(a) 圆坐标系仿真结果



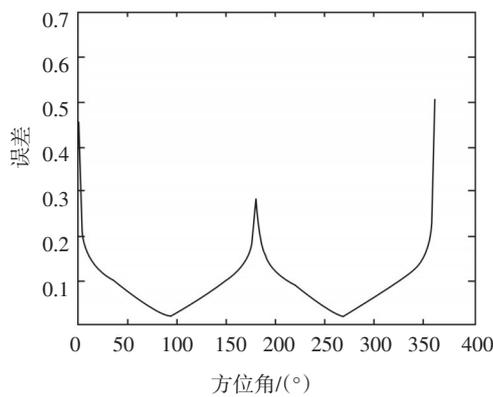
(b) 直角坐标系仿真结果

图 7 仿真结果 3

如图 8 所示, 当两个红外探测系统之间的距离为 10 km 时, 探测目标的俯仰角分别为 10° 和 20° , 在圆坐标系和直角坐标系下显示的方位角对测距精度的影响。



(a) 圆坐标系仿真结果



(b) 直角坐标系仿真结果

图8 仿真结果4

4 结论

文中给出了一种双站被动测距算法,并对该测距算法进行了定位精度误差分析。仿真结果表明,测距距离随着两个红外探测系统之间的距离加大而减小;两个红外探测系统之间的距离一定,与两个红外探测系统连线垂直方向测距距离最远;两个红外探测系统之间的距离加大,测距精度上升;两个红外探测系统之间的距离一定,方位角在某些范围可以取得较好的测距精度。

(上接第64页)

个方面来实现测试系统在井下实际环境下的低功耗设计。其总体功耗和实测结果表明,该测试系统满足井下测取射孔瞬间压力数据的要求,从而验证了测试系统低功耗设计的有效性。

参考文献

- [1] Predicting Pressure Behavior and Dynamic Shock Loads on Completion Hardware During Perforating[R]. Offshore Technology Conference, 2010.
- [2] Texas Instruments Incorporated MSP430x4xx family User's Guide [Z]. 2008.

参考文献

- [1] 郝万亮,赵剑. 基于角度和红外图像信息的弹目相对距离算法[J]. 航空兵器, 2007(1):47-50.
- [2] 陆一,王洪迅. 导弹逼近告警系统最小告警距离仿真研究[J]. 火箭与制导学报, 2011(5):9-12.
- [3] 伍友利,方洋旺. 弹载被动系统测距算法[J]. 系统工程与电子技术, 2009(7):1684-1688.
- [4] 赵忠义,邓天华. 基于运动学的机载红外被动测距算法研究[J]. 红外技术, 2012(8):482-484.
- [5] 谢邦荣. 机载红外被动定位方法研究[J]. 红外技术, 2001, 23(5):1-5.
- [6] 徐志弘,郑猛. 基于红外搜索系统的被动测距技术研究[J]. 舰船电子工程, 2005, 25(2):127-130.
- [7] 吴健飞,李范鸣. 三站红外告警系统被动测距方法[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(4):560-564.
- [8] 陈振飞. 红外探测系统双站被动测距精度分析[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(5):842-844.
- [9] 王东,周清明. 红外告警系统被动测距方法分析[J]. 红外技术, 2008(8):440-442.
- [10] 徐志弘,郑猛. 基于红外搜索系统的被动测距技术研究[J]. 舰船电子工程, 2005, 25(2):127-130.
- [11] 潘明杰,连续. 红外搜索跟踪系统探测距离估算方法[J]. 电光与控制, 2012(9):47-49.

- [3] 张拥军,杨军. 动态时钟配置下的SOC低功耗管理[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2004(4):39.
- [4] 赵纯. 低功耗小体积石油井下压力测试系统研究[D]. 太原:中北大学, 2008.
- [5] 张文栋. 存储测试系统的设计理论及其在导弹动态数据测试中的实现[D]. 北京:北京理工大学, 1995.
- [6] 刘祖凡. 井下动态压力测试技术研究[D]. 太原:中北大学, 2012.
- [7] 祖静. 新概念动态测试[J]. 测试技术学报, 2003, 18.
- [8] 张炜,韩进. 低功耗嵌入式系统的分析与研究[J]. 计算机系统应用, 2009, 11:109-113.