

文章编号: 1672-8785(2013)07-0005-04

利用卫星定位数据计算红外探测系统的作用距离

王忆锋 王丹琳

(昆明物理研究所, 云南昆明 650223)

摘 要: 介绍了一种根据卫星定位数据给出的经纬度信息, 计算两点之间直线长度距离和最短弧线长度距离的方法。红外探测系统与目标之间的作用距离是一条直线的长度。根据两者的经纬度信息可以算出它们之间的距离。当红外探测系统与目标中有一方在运动(例如地对空、空对地)或者两方都在运动(例如空对空)时, 使用该方法或可计算出红外探测系统的作用距离。

关键词: 红外探测系统; 红外成像系统; 作用距离; 卫星定位系统

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2013.07.002

Calculating Operation Range of Infrared Detection System with Satellite Positioning Data

WANG Yi-feng, WANG Dan-lin

(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: A method for calculating the straight length and the shortest arc line length between two points according to the longitude and latitude information given by satellite positioning data is presented. The operation range between an infrared detection system and a target is the length of a straight line. It can be calculated according to the longitude and latitude information of the infrared detection system and the target. If either of the infrared detection system and the target is moving (e.g. ground-to-air or air-to-ground) or both of them are moving (e.g. air-to-ground), the operation range of the infrared detection system can be calculated by using this method.

Key words: infrared detection system; infrared imaging system; operation range; satellite positioning system

0 引言

作用距离(包括探测距离、识别距离和确认距离等)是红外(探测)系统最重要的性能指标之一^[1-2]。在外场试验中, 当确信红外系统已完成某项具体任务之后, 红外系统与目标之间的距离可通过激光测距仪等方式测定。卫星定位

系统可以提供实时的经度、纬度以及高程等导航和定位信息, 其近年来的应用日益普及。能够提供此类数据的卫星包括美国的“全球定位系统”、欧洲的“伽利略”、俄罗斯的“格洛纳斯”以及中国的“北斗”等卫星。在外场试验中, 只要知道红外系统和目标的经纬度, 便可计算出两者之间的距离。本文将介绍一种基于经纬度

收稿日期: 2013-06-03

作者简介: 王忆锋(1963-), 男, 湖南零陵人, 工学士, 高级工程师, 主要从事器件仿真研究。

E-mail: wangyifeng63@sina.com

信息的红外系统作用距离计算方法。

1 根据经纬度计算两点之间的距离

地理坐标系以地轴为极轴，所有通过地轴的平面都是与地球表面相交而形成(椭圆)圆的，这个圆就是经线圈。一条经线是一个半(椭圆)圆弧。所有垂直于地轴的平面与地球椭圆面的交线称为纬线。纬线是一个个半径不同的圆，其中半径最大的纬线称为赤道。人们把通过英国伦敦格林威治天文台原址的那一条经线定为 0° 经线，也叫本初子午线，如图 1(a) 所示。

设 A、B 两点的经纬度分别为 (jA, wA) 和 (jB, wB) ，它们之间的距离包括直线段 AB 的长度以及弧线段 $\widehat{AB}$ 的长度，如图 1(b) 所示。下面介绍其计算方法。

(1) 如图 1(a) 所示，A 在 xOy 平面上的投影为点 D，连接 AD 和 OD； $\triangle ADO$ 是一个直角三角形，其通过球心的锐角由纬度 wA 给出，并有

$$\overline{AD} = R \sin(wA), \overline{OD} = R \cos(wA) \quad (1)$$

这里，如果纬度值以“度($^\circ$)分(')秒('')”的形式给出，则需要先将其转换成十进制度的形式，然后再转换为弧度值的形式。以 108 度 54 分 22.2 秒 ($108^\circ 54' 22.2''$) 为例，先将其换算成度($^\circ$)： $108 \text{ 度 } 54 \text{ 分 } 22.2 \text{ 秒} = 108 + (54/60) + (22.2/3600) = 108.90616^\circ$ ；然后再转换为弧度： $108.90616 \times \pi / 180 = 1.9008$ 弧度。类似地，对点 B 有

$$\overline{BC} = R \sin(wB), \overline{OC} = R \cos(wB) \quad (2)$$

(2) 连接 A、B 两点；直线段 AB 在 xOy 平面上的投影为直线 DC。再从 A 点画一条平行于 DC 的直线，其与直线 BC 相交于 E 点；直线 AE 在 xOy 平面上的投影为直线 DC，于是有

$$\overline{EC} = \overline{AD}, \overline{AE} = \overline{DC}$$

$$\overline{BE} = \overline{BC} - \overline{EC} = \overline{BC} - \overline{AD} = R[\sin(wB) - \sin(wA)] \quad (3)$$

$\triangle AEB$ 是一个直角三角形。根据勾股定理，有

$$\overline{AB}^2 = \overline{AE}^2 + \overline{BE}^2 \quad (4)$$

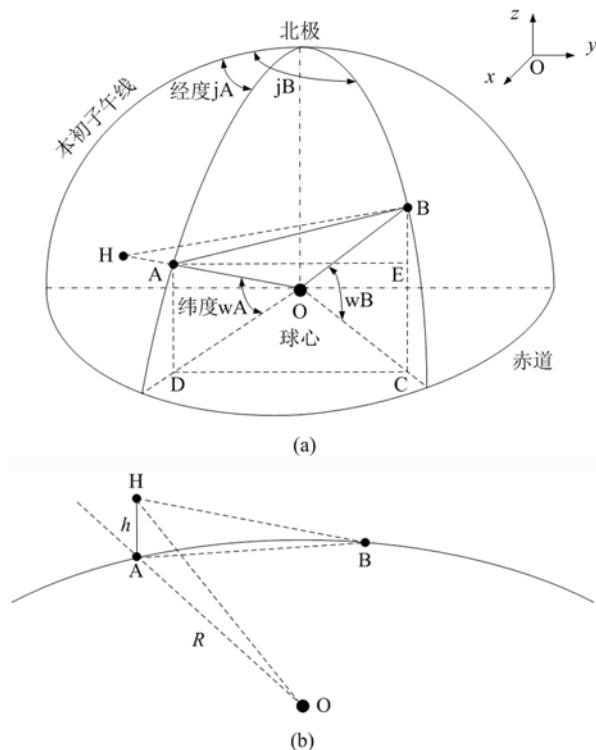


图 1 已知经纬度的点 A 和点 B 的几何位置关系

在 $\triangle DOC$ 中，其夹角 $\angle DOC$ 可由 A、B 两点的经度之差给出，即

$$\angle DOC = jB - jA \quad (5)$$

根据余弦定理，有

$$\begin{aligned} \overline{DC}^2 &= R^2 [\cos^2(wA) + \cos^2(wB) - 2 \cos(wA) \\ &\quad \times \cos(wB) \cos(jB - jA)] = \overline{AE}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

(3) 将 A、B 两点分别与球心 O 相连。 $\triangle AOB$ 是一个等腰三角形。根据余弦定理，有

$$\begin{aligned} \overline{AB}^2 &= R^2 + R^2 - 2R \\ &\quad \times R \cos(\angle AOB) = \overline{AE}^2 + \overline{BE}^2 \end{aligned} \quad (7)$$

根据上述各式，可以写出

$$\begin{aligned} \cos(\angle AOB) &= \cos(wA) \cos(wB) \\ &\quad \times \cos(jB - jA) + \sin(wB) \sin(wA) \end{aligned} \quad (8)$$

因此

$$\begin{aligned} \angle AOB &= \arccos[\cos(wA) \cos(wB) \\ &\quad \times \cos(jB - jA) + \sin(wB) \sin(wA)] \end{aligned} \quad (9)$$

(4) 连接球面上 A、B 两点的最短线是通过 A、B 的大圆上较短的圆弧^[3], 其圆心角为 $\angle AOB$ (以弧度计), 则弧长 $\widehat{AB}$ 为

$$\widehat{AB} = R \cdot \angle AOB = R \cdot \arccos[\cos(wA) \cos(wB) \times \cos(jB - jA) + \sin(wB) \sin(wA)] \quad (10)$$

(5) 如图 2 所示, 在解析几何中, 球面坐标 (r, θ, φ) 与直角坐标 (x, y, z) 之间存在以下关系:

$$x = r \sin \theta \cos \varphi, \quad y = r \sin \theta \sin \varphi, \quad z = r \cos \theta \quad (11)$$

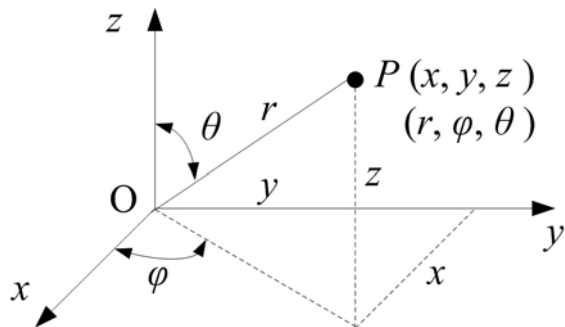


图 2 球面坐标与直角坐标的关系

在直角坐标系中, 空间两点 A (x_A, y_A, z_A) 和 B (x_B, y_B, z_B) 之间的距离可按下式计算:

$$\overline{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2 + (z_A - z_B)^2} \quad (12)$$

导航坐标与球面坐标非常相似^[4]。通过比较图 1(a) 和图 2 可以看出两者之间的差异, 即

$$\varphi = jA, \quad \theta = \frac{\pi}{2} - wA \quad \text{或者} \quad \varphi = jB, \quad \theta = \frac{\pi}{2} - wB \quad (13)$$

从而有

$$\overline{AB} = R\sqrt{2} \times \sqrt{1 - \cos wA \cos wB \cos(jA - jB) - \sin jA \sin jB} \quad (14)$$

作为一个算例, 设 A $(116.46^\circ, 39.92^\circ)$ (北京), B $(121.48^\circ, 31.22^\circ)$ (上海)。根据式 (10), 可算出 $\widehat{AB} = 1068.2$ km; 根据式 (14), 可算出 $\overline{AB} = 1066.9$ km。经过球面上的两点可以画出很多条弧线。式 (10) 算出的是 A、B 两点之间的最短弧长。作为比较, 已知京沪之间的空中航线距离为 1178 km; 京沪高铁的距离为 1320 km; 京沪铁路的全长为 1453 km。

2 根据卫星定位数据计算红外系统的作用距离

设想用一个红外探测系统观察一个目标。当目标张角小于探测器张角时, 目标为点源; 当目标张角大于探测器张角时, 目标为扩展源, 如图 3 所示。为了将重要的图像从杂波中分离出来, 需要显示器上的目标区域具有较多的像素。在有杂波的情况下, 一个较亮的像素可能是没有用的, 除非它有另外的空间特征比如快速运动来予以确认。因为只有当探测器的各个张角逐渐被目标充满时显示器上才可能呈现出像素的变化, 所以成像系统看的都是扩展源。文献 [5] 将用于探测点源的探测器归为“战略级”器件, 而将大多数成像所用的探测器归为“战术级”器件。

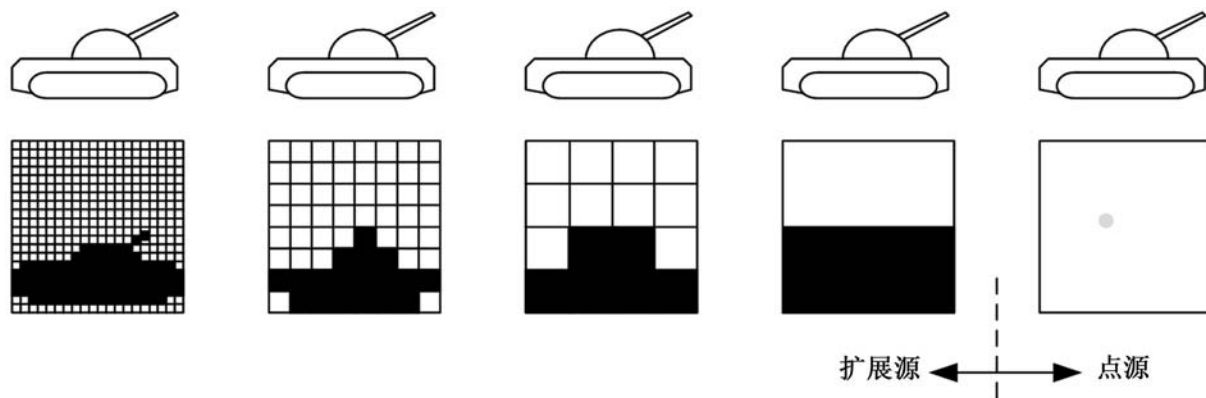


图 3 当目标第一次充满一个探测器的张角时, 目标由点源变为扩展源

根据扩展源目标的观察等级, 红外成像系统有探测、识别和确认之分; 相应地, 其作用距离便有探测距离、识别距离和确认距离之分, 如图 4 所示。这些作用距离可以统称为视线^[6]距离, 或者简称为视距。视距是一条直线段的长度。

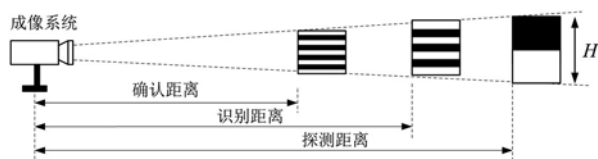


图 4 红外成像系统的作用距离可分为探测距离、识别距离和确认距离

在外场试验中, 根据所在平台位置的不同, 红外系统离地面可能有一定的高度 (HA)。如图 1(b) 所示, 设红外系统位于点 H, 目标位于点 B, 则其作用距离就是 HB 的长度。

严格地说, 如果将平台高度 HA 取在与纬度相同的同一地球半径上, 比如在图 1(a) 中取在与 OA 在一条直线上, 则根据余弦定理, 在三角形 $\triangle HOB$ 中便有

$$\begin{aligned} \overline{HB}^2 &= \overline{OH}^2 + \overline{OB}^2 - 2\overline{OH} \cdot \overline{OB} \cdot \cos(\angle AOB) \\ &= (R+h)^2 + R^2 - 2(R+h) \cdot R \cdot \cos(\angle AOB) \quad (15) \end{aligned}$$

如果假设 HA 垂直于直线 AB, 即将 $\triangle HAB$ 视为直角三角形, 则

$$\overline{HB}^2 = \overline{HA}^2 + \overline{AB}^2 = h^2 + \overline{AB}^2 \quad (16)$$

这里, $\angle AOB$ 和 $\overline{AB}$ 已分别由式 (9) 和式 (14) 给出。

3 结束语

已知两点的经纬度, 计算它们之间的距离时需要理解空间几何模型, 然后再利用有关的数学公式进行求解。该值有直线长度和弧线长度之分。红外系统的作用距离是一条直线。用本文介绍的算法所得到的是球面上两点之间的最短距离。它具有唯一性, 外场试验中得到的测算结果不应大于此值。

另外不难理解, 当红外系统与目标中有一方在运动 (例如地对空、空对地) 或者两方都在运动 (例如空对空) 时, 测定红外系统作用距离所需要的工作量肯定会有所增加。由于卫星定位系统能够提供实时的经纬度信息, 只要记录下红外系统完成某一特定任务的时间点, 并能分别追溯出该时间点所对应的红外系统和目标的经纬度信息, 那么按照本文介绍的方法或可计算出红外系统的作用距离。

参考文献

- [1] 王忆锋, 史衍丽, 马钰. 论红外探测系统的作用距离 (上) [J]. 红外, 2012, 33(11): 8-13.
- [2] 王忆锋, 史衍丽, 马钰. 论红外探测系统的作用距离 (下) [J]. 红外, 2012, 33(12): 8-12.
- [3] 《数学手册》编写组. 数学手册 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [4] Varberg D, Purcell E J, Rigdon S E. 微积分 (英文版·原书第 8 版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [5] Henini M, Razeghi M. Handbook of Infrared Detection Technologies [M]. Oxford: Elsevier Science Ltd, 2002.
- [6] Campana S B. Infrared & Electro-Optical Systems Handbook (Volume 5): Passive Electro-Optical Systems [M]. Bellingham: SPIE Optical Engineering Press, 1993.