

文章编号 1004-924X(2006)06-1076-04

一种目标位置解算方法

李晓光^{1,2}, 王兆楠³, 王智², 金光², 张立平², 丁原⁴

- (1. 吉林工程技术师范学院 信息工程学院, 吉林 长春 130052; 2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 3. 吉林大学 电子工程学院, 吉林 长春 130025; 4. 长春大学 机械工程学院, 吉林 长春 130032)

摘要: 目标位置解算装置是快速、准确地获取空中或地面目标位置坐标的有效手段, 由激光测距机提供目标距离参数, 由GPS接收机获得观测点坐标参数, 方位获取设备提供目标方位角及高低角参数。在目标位置解算过程中, 建立目标局部坐标系, 根据地球的椭球模型, 建立相应的地心坐标系。根据求得的目标局部坐标系与地心坐标系的转换关系, 解算空中或地面目标相对于地心坐标系的大地坐标参数。通过对已知 WGS-84 坐标系数值的地面固定目标进行测试, 在 30 km 的探测距离上, 达到了目标定位误差绝对值小于 1% 的精度要求。

关键词: 位置解算; GPS; 地心坐标

中图分类号: TH703 **文献标识码:** A

Research on location compute method of object

LI Xiao-guang^{1,2}, WANG Zhao-nan³, WANG Zhi², JIN Guang², ZHANG Li-ping², DING Yuan⁴

- (1. *Jilin Teacher's Institute of Engineering and Technology, Changchun 130052, China;*
2. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
3. *College of Electronic Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China;*
4. *Mechanical Engineering Department, Changchun University, Changchun 130032, China*)

Abstract: The location compute equipment of object is an effective means to acquire object's location quickly and accurately, target distance parameter is offered by laser range finder, and geodetic position of observation point is obtained by GPS, azimuth and pitch angle are offered by azimuth compass. In the process of location compute of object, local coordinate system of object is established, and according geocentric coordinate system is established in terms of earth's ellipsoidal model. Conversion matrix between object's local coordinate system and geocentric coordinate system is solved to compute geodetic coordinate parameters which object in air or on earth to geocentric coordinate system. By testing the fixed targets on earth with known coordinate value in WGS-84 coordinate system, within the range of 30 kilometre, the required location accuracy of less than 1% is achieved.

Key words: location compute; GPS; geocentric coordinate system

收稿日期: 2006-04-16; 修订日期: 2006-10-21.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 60575025)

1 引言^[1-2]

传统的对远距离目标的定位方法多是基于一个观测平台对目标进行观测定位,首先要求对观测平台所在点的位置进行测定,再由观测点确定目标的相对位置,最后通过某种算法计算出目标的准确位置。例如在大地测绘工作中,如果需要确定某点的大地坐标,一般需要在其附近选一个已知其大地坐标的参考点,然后以该点作为观测点对目标点进行观测(一般用激光测距机和方位获取设备来获取目标点相对于观测点的距离、方位角和高低角信息),然后再根据某种算法计算出目标点的大地坐标。

目标位置解算装置是快速、准确的获取目标位置坐标的有效手段,该装置由激光测距机提供观测点与目标之间的距离参数,由 GPS 接收机获得观测点的坐标参数(经度、纬度和高程),方位获取设备提供目标相对于观测点的方位角和高低角参数。根据提供的这些参数,来解算目标相对于地心坐标系的大地坐标参数(经度、纬度)。该装置将以前传统的目标定位方法的几个独立的操作步骤整合在一个系统中,无须再寻找已知其位置的参考点,而由 GPS 接收机直接获得观测点的坐标参数,然后将观测数据直接传给位置解算模块,进行目标位置解算。

2 系统主要组成和工作原理

目标位置解算装置主要由 GPS 卫星定位模块、激光测距模块、三轴的数字云台模块、中央控制处理模块、通信软件模块和目标位置解算软件模块组成(如图 1 所示)。

系统的工作原理是:从前端的侦察平台获取相关数据,中央控制处理器发出目标位置解算命令,系统的通信控制软件接到中央处理器的解算命令后,将全部测量数据自动输出至目标位置解算软件,解算后的数据将自动输出至系统通信控

制软件,以驱动执行设备执行相关动作。

GPS 卫星定位模块提供观测点的经纬度、高程和当前时刻等数据信息。具有 12 通道全视野并行跟踪、重捕获时间小于 1 s、可实现串行数据输出。单点定位精度小于 5 m,差分定位精度小于 1 m。

激光测距模块输出观测点到目标的距离信息,测量精度为 5 m,测量范围 30 km。可直接与中央控制模块进行串行通信。

三轴数字云台模块为系统提供目标相对于测量点的方位角和高低角,由于地磁磁偏角的存在,方位角是相对于磁北的。数字云台测得的方位角和高低角的精度分别为 $\pm 1.0^\circ$ 和 $\pm 0.5^\circ$ 。

目标位置解算软件对获得的目标与测量点的相对信息进行解算,获得目标的位置信息(大地坐标参数:经度和纬度)。目标位置解算软件可对获得的同一目标的多组位置信息进行统计运算,以消除其系统误差。使目标定位精度在 30 km 的探测距离上,绝对值小于 1%。

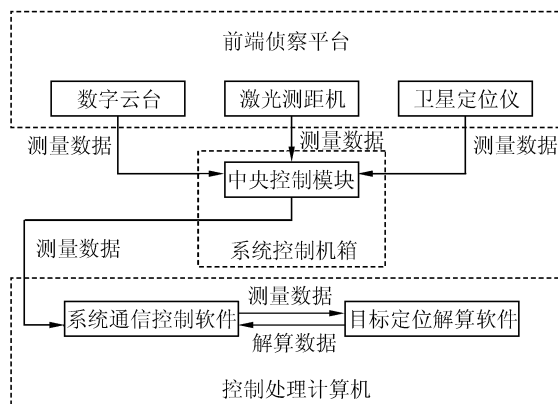


图 1 系统组成框图

Fig. 1 Chart of system

3 目标位置解算原理及算法实现

3.1 解算原理

由 GPS 卫星接收模块获取观测点的大地坐标(经度、纬度和高程),由激光测距机模块获得目标距离观测点的距离信息,由数字云台获取目标

距离观测点的方位角和高低角。建立以观测点为坐标原点的切平面坐标系,将目标点在该切平面坐标系内进行投影,以确定观测点到目标点在该局部坐标系的矢量表示。建立以地心为坐标原点的地心坐标系,确定地心到观测点在地心坐标系的矢量表示。建立地心、观测点(地表点)、目标点为端点的矢量三角形,如图 5 所示,在矢量三角形 OGM 中,已经确定向量 OG 和 GM ,根据矢量加法,可以求得向量 OM ,进而可以确定目标点 M 的大地坐标(经度和纬度)。

3.2 目标位置解算模型的建立^[3]

地球并不是一个密度分布均匀、形状规则的球体,在解算过程中,采用地球的椭球模型。要解算的空中目标的纬度应该是地心纬度,而且,由于地球是个椭球,不同纬度带其地心向径也是不同的,因此需要确定不同纬度带的地心向径。由图 2 来确定地心纬度 φ 与地心向径 R_φ 的关系式:

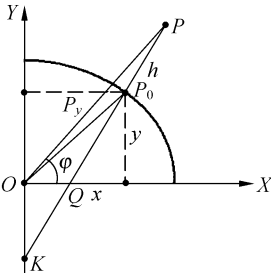


图 2 地心纬度与地心向径的关系

Fig. 2 Relation between latitude and radius of the earth's core

如图 2 所示, O 为地心, P 为空间中一点, P 点沿法线方向投影到椭球面上为 P_0 , PP_0 为大地高 h , P 点的地心纬度为 φ ,地心向径 $OP=R_\varphi$,由图 2 可以得出地心纬度 φ 与地心向径 R_φ 的关系式:

$$x=R_\varphi \cos \varphi, y=R_\varphi \sin \varphi \quad (1)$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2)$$

将式(1)代入椭圆方程(2)得:

$$R_\varphi = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{\sqrt{1-e^2\cos^2\varphi}} \quad (3)$$

图 3 中, G 点为观测点(地球表面上一点),建立观测点 G 的地心坐标系, Z 正方向指北, ZOX 为子

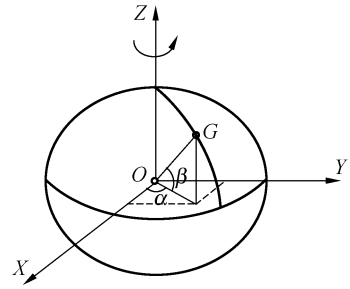


图 3 地心坐标系

Fig. 3 Coordinate of the earth's core

午平面,从 ZOX 面右旋为正方向。 α 是 G 点的经度, β 是 G 点的纬度。根据公式(3)可以得到 G 点(地面上点)的地心向径 R_φ 为:

$$R_\varphi = \frac{R\sqrt{1-e^2}}{\sqrt{1-e^2\cos^2\varphi}} = R\left(1 + \frac{e^2}{1-e^2}\sin^2\varphi\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

3.3 目标位置解算算法^[4-11]

假设:观测点 G ,目标点 M 。以观测点 G 为切点建立一个地球的切平面坐标系(目标的局部坐标系,坐标原点为 G),其中, G 到 M 的方位角为 θ (以 Z' 顺时针为正,方位角由数字云台获得,原理是通过磁阻电子罗盘对大地磁场强度的测量而得到,由于地磁磁偏角的存在,为了获得正确的解算精度,由数字云台的方位角应该经过大气磁偏数据库的修正),高低角为 r (以水平面向上为正),由激光测距机得到的观测点与目标点的距离为 S 。

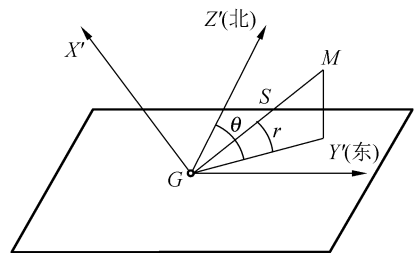


图 4 以观测点建立的切平面坐标系

Fig. 4 Tangent plane coordinate based on observation point

由图 4 可以得到,向量 GM 则在切平面坐标系 $X'Y'Z'$ 中的表达式为:

$$GM = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S \cdot \sin r \\ S \cdot \cos r \cdot \sin \theta \\ S \cdot \cos r \cdot \cos \theta \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$OG = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_\varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha \\ R_\varphi \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha \\ R_\varphi \cdot \sin \beta \end{pmatrix}, \quad (6)$$

由图 3,可以求得向量 OG 在地心坐标系中的表达式为:

从切平面坐标系 $X'Y'Z'$ 转到地心坐标系 XYZ 的变换矩阵为 A :

$$A = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha \cdot \cos \beta & -\sin \alpha & -\cos \alpha \cdot \sin \beta \\ \sin \alpha \cdot \cos \beta & \cos \alpha & -\sin \alpha \cdot \sin \beta \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix}, \quad (7)$$

则向量 GM 在地心坐标系中的表达式为:

$$GM = A \cdot GM' = \begin{pmatrix} S \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin r - S \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot \sin \theta - S \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos r \cdot \cos \theta \\ S \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin r + S \cdot \cos \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin \theta - S \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos r \cdot \cos \theta \\ S \cdot \sin \beta \cdot \sin r + S \cdot \cos \beta \cdot \cos r \cdot \cos \theta \end{pmatrix}, \quad (8)$$

由图 5 所示的由地心、观测点、目标点构成的矢量三角形,可以确定向量 OM 在地心坐标系中的表达式:

$$OM = OG + GM = \begin{pmatrix} R_\varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha + S \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin r - S \cdot \cos r \cdot \sin \alpha \cdot \sin \theta - S \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot \cos r \cdot \cos \theta \\ R_\varphi \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha + S \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin r + S \cdot \cos r \cdot \cos \alpha \cdot \sin \theta - S \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos r \cdot \cos \theta \\ R_\varphi \cdot \sin \beta + S \cdot \sin \beta \cdot \sin r + S \cdot \cos \beta \cdot \cos r \cdot \cos \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \quad (9)$$

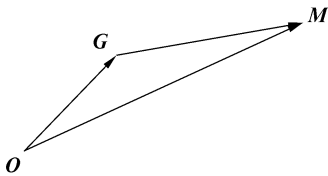


图 5 目标点,观测点和地心的矢量关系

Fig. 5 Vector relation between target point, observation point and the earth's core

从公式(9),就可以确定目标点的大地坐标为:

纬度坐标: $\mu = \arcsin \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$ (正值即北纬, 负值即南纬)

经度坐标: $\lambda = \arccos \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$ ($y > 0$ 即东经, $y < 0$ 即西经)

公式(9)中的 R_φ 是由公式(4)求出的不同纬度带(不同的 φ)G点的不同的地心向径。这样就可以在不同的纬度带得到相同的定位精度。

表 1 是在几个已知其大地坐标的不同实验地点对不同距离的目标点进行目标解算的精度对比表,目标点的实测坐标是由 GPS 卫星接收模块所得到的目标点的大地坐标,目标点解算坐标是系统里固化的一套解算程序所得,与本文解算的算法进行精度对比,可以看出,本文的解算算法可以保证在 30 km 的定位距离上,目标点的定位精度大大小于其现有的解算系统。远远满足系统要求的定位精度在 30 km 的定位距离上绝对值小于 1% 的要求。



图 6 目标位置解算程序

Fig. 6 Location compute program of target