

文章编号: 0494-0911(2013)09-0039-04

中图分类号: P229

文献标识码: B

OBS 布设导航定位系统的关键技术研究

郑贵洲¹,任东宇¹,晋俊岭¹,胡家赋²,任东旭³

(1. 中国地质大学(武汉)信息工程学院,湖北 武汉 430074; 2. 广州海洋地质调查局,广东 广州 510760; 3. 中北大学 机械工程与自动化学院,山西 太原 030051)

Research on Key Technologies of OBS Emplaced Navigation and Positioning System

ZHENG Guizhou, REN Dongyu, JIN Junling, HU Jiafu, REN Dongxu

摘要: 为实现 OBS 投放测量工作的顺利开展,并实现准确的 OBS 投放与定位,根据已构建的 OBS 布设导航定位系统,结合地理信息技术、导航定位技术和计算机网络技术,介绍 OBS 布设导航定位系统结构,详细阐述 S57 电子海图显示、多路导航定位数据实时采集与通信、测线导航、OBS 水下定位计算等关键技术,并给出相关技术路线、设计方案和数学模型。应用表明,该系统能够满足 OBS 投放的作业需求。

关键词: 海底地震仪; 导航与定位; 电子海图; 串口联网; 水下定位

一、引言

海底地震仪(ocean bottom seismometer, OBS)是放置在海底的地震测量系统,用于海洋人工地震和天然地震的观测^[1]。OBS 探测是利用多个布设在海底的地震仪,接收并记录天然地震和人工地震所产生的地震波,经层析成像得出海底地质结构的一种技术方法,是近十多年来发展应用的一项较新的海洋勘探技术,已在天然地震、海底深部构造研究和海洋油气、海底天然气水合物调查中得到了广泛应用^[2]。

在进行 OBS 布设时,作业船通过钢缆连接 OBS 漂流,并沿预定测线以一定的间距在各站点上分别投放 OBS,然后沿测线等间距激发气枪震源,OBS 开始接收地震波。测线施工完成后,再次沿测线逐站发声指令信号,让 OBS 自动脱钩上浮至海面,将其打捞至船上后,先用 GPS 系统对 OBS 中记录器的时间漂移进行记录,然后进行数据拷贝。纵观整个作业过程,OBS 的成功布设是整个地震勘探工作的基础和前提。由于海上环境复杂,投放和定位过程繁琐,因此需要借助一种综合化的、面向 OBS 布设作业过程的导航定位系统来辅助 OBS 投放测量工作的顺利开展,实现准确的 OBS 投放与定位。

目前,国外已经有一些较成熟的水上导航测量软件,如 QINSy、HYPACK、EIVA 等,但部分功能不符合国家和行业规范,且无法扩展功能。在国内,

主要以南方测绘水上测量导航软件为代表,但其功能单一,不支持常用水下定位设备,并且不具备用于 OBS 水下定位的技术和方法。因此,本文结合 OBS 投放和导航定位的完整过程,在深入了解各种外部测量设备与导航定位系统的连接与通信技术的基础上,利用地理信息技术、导航与定位技术和计算机网络技术,重点研究了用于 OBS 布设的导航定位系统结构和实现的关键技术,主要包括 S57 电子海图数据的显示、多路导航定位数据实时采集与通信、测线导航和 OBS 水下定位计算。

二、OBS 导航定位系统概述

主系统自顶向下分别由表现层、业务层和数据层 3 个部分构成(如图 1 所示)。系统开发采用插件化软件框架结构,并且整个系统具有良好的时间

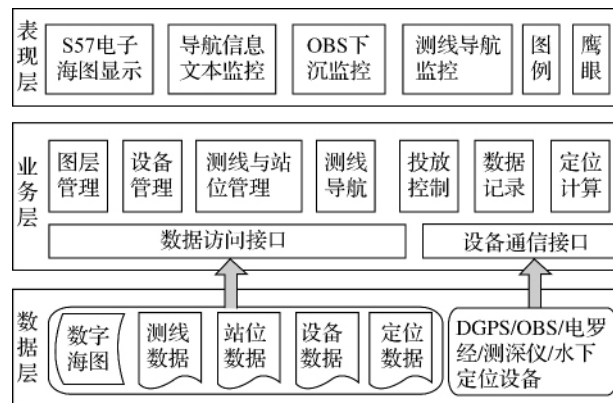


图 1 系统结构

收稿日期: 2012-11-26

基金项目: 国家专项天然气水合物资源勘查与试采工程(GZH201100307)

作者简介: 郑贵洲(1963—),男,福建屏南人,教授,主要研究方向为 3S 技术及应用、GIS 应用软件及应用工程、网络地理信息系统(WebGIS)。

响应特性、可扩展性、可维护性,是一个功能较完整的集数字底图显示与控制、设备管理、OBS 投放控制、测线与站位管理、测线导航、OBS 水下定位于一体的新型地理空间信息系统。

三、系统关键技术

1. S57 电子海图显示

在进行海上作业时,需要在 OBS 布设导航定位系统中直观地显示岸形、岛屿、礁石、水深、航标等各类要素信息,以有效地防范各种险情,保障航行安全,这就需要构建电子海图显示信息系统(electronic chart display information system,ECDIS)。电子海图的显示也是系统一切可视化表达的基础,如船位与 OBS、测网、站位等要素的相对位置关系的表达。

(1) 相关国际标准

一个符合 S57 标准的海图系统,意味着使用符合 S57 标准《数字海道测量数据传输标准》的地理数据并且显示方法符合 S52 标准《ECDIS 海图内容与显示规范》。这两个标准是国际海道测量组织(International Hydrographic Organization,IHO)针对电子海图的生产及应用成立专门委员会开发的。S57 标准描述了海图数据存储格式及读取海图的解析方法。通过 S57 标准的解析和转换,才能获得正确的矢量数据和地理物标数据,其数据模型如图 2^[4]所示。S52 标准又称电子海图内容与显示规范,其规定了电子航海图的内容和显示、数据结构、改正方法和信息传输途径,以及屏幕上电子海图的颜色和符号使用细节等^[4]。

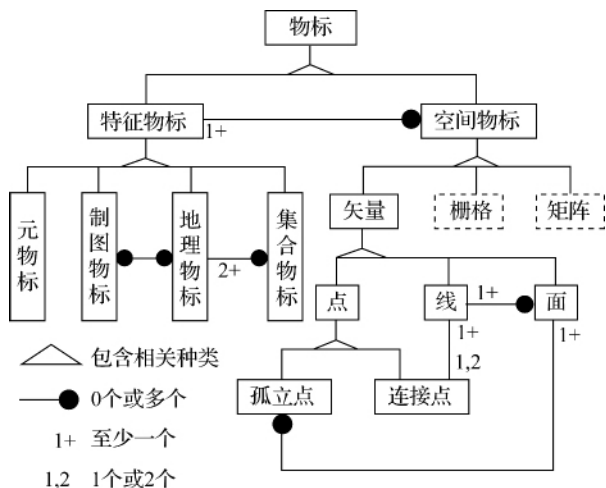


图2 S57 标准海图数据模型

(2) ECDIS 技术路线

在深入分析 IHO 电子海图数据传输标准 S57

和 IHO 电子海图内容及显示规范 S52 的基础上,结合 S57 标准中电子海图的数据结构,实现了对海图数据的解析和集成。由于解析后的坐标是经纬坐标,需要应用投影变换(墨卡托投影)获得平面坐标,再通过坐标转换,最终得到直接应用的屏幕坐标。同时,依据 S52 国际标准制作电子海图符号库(包含 OBS 符号),并创建符号索引表,确定符号渲染规则(包括颜色表)。最后,通过符号渲染规则,将已获取的物标绘制于客户显示屏幕上,完成电子海图显示。系统技术路线如图 3 所示。

考虑到系统开发的周期和成本,建议采用地理信息系统组件式二次开发,如 Esri 的 ArcGIS Engine。ArcGIS 以其强大的分析功能和特有的数据结构组织方式,以及其提供的针对 S57 数据格式生成的 Geodatabase 模型及转换器,支持 Geodatabase 格式数据与后缀为 000 的标准电子海图格式数据的转换,在很大程度上方便了系统的开发。

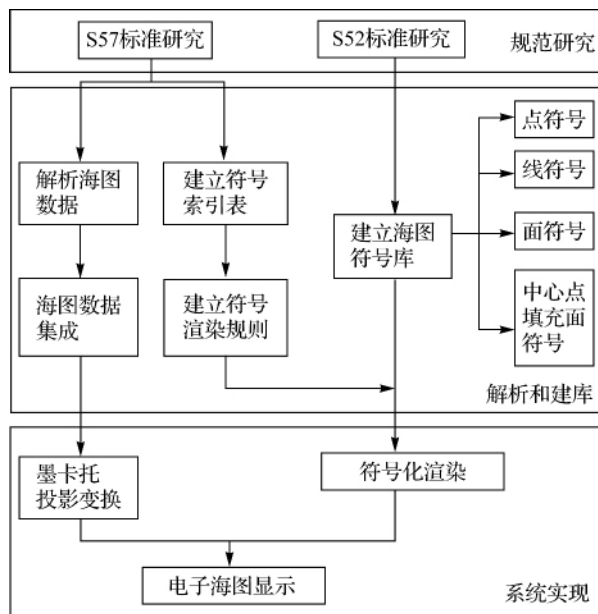


图3 ECDIS 技术路线

2. 多路导航定位数据实时采集与通信

在 OBS 投放作业中,需要实时获取 DGPS 接收机、OBS、电罗经、测深仪等多种设备的数据,然而这些设备的通信接口都是 RS232 串口。因此,一般的船舶导航系统多采用扩展计算机串口的方式,使用多串口卡连接所有设备进行通信。但是,由于 RS232 串口通信协议简单,传输距离短,易受电磁波干扰,并且连接头不能带电插拔等问题给系统的使用、维护和问题排查带来了诸多困扰^[5-6],而以太网通信可以很好地解决以上问题。综合考虑成本、性

能等因素,采用了将串口设备联网,实现基于 TCP/IP 的高速网络管理和通信的技术方案。

(1) 总体方案设计

设计一个串口联网设备,该设备含有若干个 RS232 接口和一个以太网接口,可以实现多串口和以太网的转换。工作时,只需将所有导航定位设备分别通过 RS232 接口与该串口联网设备连接,然后将该设备联入局域网,则同一局域网的所有主控计算机均能通过 TCP/IP 协议与该设备建立连接,实现数据通信。由此,可以直接通过主控计算机对远端串口设备进行配置、状态查询并且发送和接收数据。这个过程就像是直接对串口进行的操作,用户无需感知是通过以太网进行的数据传输。设计方案如图 4 所示。

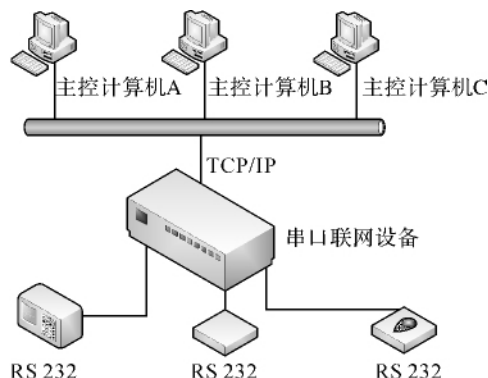


图4 串口设备联网设计方案

(2) 工作原理

整个数据通信架构采用 C/S 网络通信模型,服务器始终处于监听状态,通过协议转换和数据解析,实现多串口数据和以太网数据的转换。客户端通过设定的 IP 和端口与服务器建立连接,实现数据通信。同时,将接收到的以太网数据解析后,进行测试或传递给 OBS 投放导航系统的显示端。工作原理如图 5 所示。

3. 测线导航

为提高 OBS 布设过程中导航定位的准确性,通过建立精确的船只到测线偏移情况的数学模型,实时显示船只到测线偏移距离及偏移航向,并警报提示驾驶员及时调整航速与方向,以按照预定测线进行作业。同时,构建船只在线距、到点距的数学模型,实时动态地获得船只相对于目标测线起点、终点的水平距离,辅助驾驶员判断船只是否已经进入或驶离作业区域。在此基础上,研发测线导航偏移指示功能,动态直观地显示作业船与目标测线、作业区域的相对位置关系,方便驾驶员进行决策。

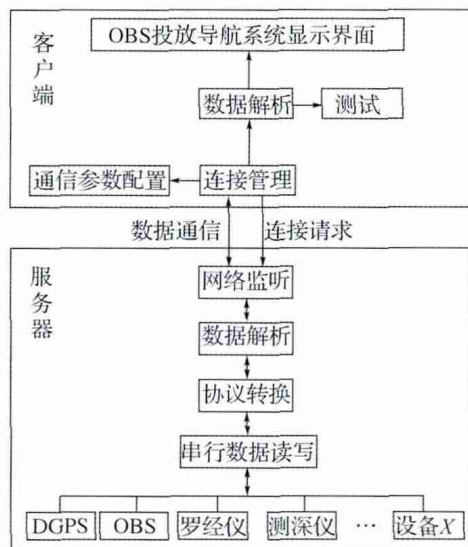


图5 数据通信工作原理

(1) 基本原理

该数学模型的建立主要使用了线性代数中向量的计算,首先根据测线起点与船位确定一个有向线(P),并测得目标测线与 P 的夹角;然后利用向量的叉乘来计算偏线距、在线距、到点距。由于向量的计算结果包含正负,从而反映出船只的偏左和偏右,以及进入或驶离测量区。

(2) 数学模型

在二维和三维中,若 L 是通过两个点 P_0 、 P_1 给出的,可以使用矢量积直接计算出点 P 到 L 的距离。若是二维的,可以嵌入到三维中,令第3个坐标 $z=0$ 。两个三维矢量的矢量积的模等于两个矢量构成的平行四边形的面积,即 $|v \times w| = |v| |w| |\sin \theta|$,其中, θ 是两个矢量 v 和 w 的夹角。平行四边形面积等于底和高的乘积,那么

$$d(P, L) = \frac{|v \times w|}{|v|} = |u \times w|$$

式中, $u = v/|v|$ 为直线 L 的单位方向矢量。对于一个嵌入三维中的二维的情况,点 $P = (x, y, 0)$ 矢量积变为

$$\begin{aligned} v \times w &= (x_1 - x_0, y_1 - y_0, 0) \times (x - x_0, y - y_0, 0) \\ &= \left(0, 0, \begin{vmatrix} x_1 - x_0 & y_1 - y_0 \\ x - x_0 & y - y_0 \end{vmatrix} \right) \end{aligned}$$

距离公式则为

$$d(P, L) = \frac{(y_0 - y_1)x + (x_1 - x_0)y + (x_0y_1 - x_1y_0)}{\sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}}$$

这里没有计算分子的绝对值,这时计算结果是带有符号的距离,表示 P 点位于直线的一侧。测线导航计算示意如图 6 所示。

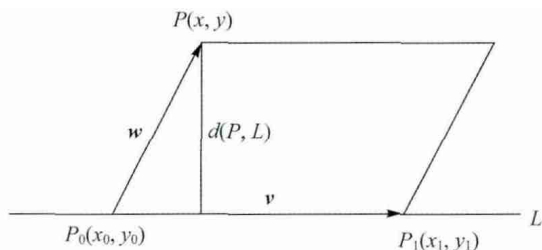


图6 测线导航计算示意图

4. OBS 水下定位

为了更好地实现 OBS 的投放过程动态观测和作业完成后的回收,需要对 OBS 进行水下定位。在投放之前, OBS 在漂流过程中通过钢缆连接母船,该过程可以先借助超短基线^[4] (ultrashort baseline, USBL) 水声定位系统对 OBS 进行动态定位; 然后利用牛顿迭代法^[5]、卡尔曼滤波^[6]等方法进行误差修正。在投放 OBS 之后, 由于海水运动的复杂性, OBS 到达海底的平面位置距投放点会有比较大的偏差, 最大可超过 300 m^[4]。为了便于回收 OBS, 需要尽量精确地得到 OBS 在海底的静态位置。首先, 测量船在海面上与 OBS 目标通信并测距(如图 7 所示), 通过多点伪距测量概位计算数学模型, 求得 OBS 近似坐标, 确定 OBS 海底置放点“粗”概位; 然后, 根据最小二乘法准则, 对计算得出的概位进行初始值精确化改进, 并采用巴尔达数据探测法方案进行抗差估计, 实现对测量数据粗差的剔除; 最终得到精度较高的 OBS 触底地理位置坐标。

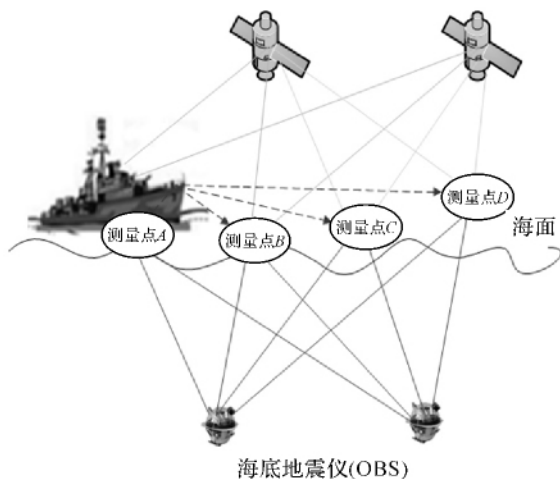


图7 OBS 海底定位示意图

(1) 解算方法

A、B、C、D 为测量船对同一 OBS 的 4 个测距点, d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 分别为 4 个船位点到 OBS 的距离。分别以 $A(x_1, y_1, z_1)$ 、 $B(x_2, y_2, z_2)$ 、 $C(x_3, y_3, z_3)$ 、 $D(x_4, y_4, z_4)$ 为球心, 做半径为 d_i 的球面, 建立如下数学模型

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = d_i^2 \quad (1)$$

按照 GPS 单点定位(即前方交会)原理可以引出 3 个距离公式组, 用线性变换的方法求解该公式组, 得到两组 (x, y, z) 的值, 再按照空间几何学的原理, 剔除其中的错误值, 就可得到 OBS 的近似坐标值。式(1)中只有 3 个未知数, 只需 3 组观测值就可求解, 如果观测值个数为 4 组或 4 组以上, 可采用最小二乘法进行平差计算^[11]。

(2) 数据处理

测量船通过 GPS 技术获得测距点的大地坐标; 使用测量学中的同一坐标系框架下的大地坐标与空间三维直角坐标转换的计算方法, 在 WGS-84 坐标框架下, 将测距点的大地坐标转换为空间三维直角坐标 (x, y, z) ; 利用式(1) 取其中的 3 组测量数据进行解算, 得到 OBS 的近似三维直角坐标, 再利用全部测量数据, 通过间接平差法得到 OBS 平差后的三维直角坐标; 使用巴尔达数据探测法, 对原始的数据中的粗差数据进行剔除, 得到“纯净”的测距点数据; 再次采用间接平差, 使用“纯净”的数据解算得到符合限差要求的 OBS 空间三维直角坐标, 通过坐标逆转换, 即空间直角坐标到大坐标的转换, 得到最终结果。

四、结束语

本文通过对 OBS 布设导航定位系统进行研究, 分别对系统结构和实现的关键技术进行了阐述, 为系统的建设提供了有力的参考。根据本文内容所研发的 OBS 导航定位系统已经成功应用于海上作业。该应用表明, 系统能够很好地辅助勘探船在指定作业区进行 OBS 投放、定位和回收等作业, 提高了 OBS 投放和定位精度, 方便了导航决策。

OBS 投放与定位技术是一项复杂的综合性技术, 涉及测绘学、地质学、物理学、计算机科学技术, 以及地理信息系统等多学科知识, 并对导航定位系统的稳定性、实时性要求较高, 需要多学科、多领域专业人才密切合作。伴随着海洋勘探过程对系统性能和功能要求的不断提升和三维可视化技术的不断发展, 构建二、三维一体化 OBS 投放与定位新型地理信息系统将成为新的发展趋势。

参考文献:

- [1] 张志刚, 伍人墩, 曾宪军. 海底地震仪水下投放装置的 (下转第 58 页)

类方法能够更好地反映地物空间分布细节,并提高分类精度。这也证明使用中等分辨率遥感影像进行超分辨率制图的可行性。但是值得注意的是,混合像元分解精度和降尺度因子都会影响亚像元定位精度,算法的实际应用还需要考虑提高混合像元分解精度并选择合适的降尺度因子,以获得更精确的定位结果。

参考文献:

- [1] 马雪梅,陈亮,俞冰,等. 基于决策树和混合像元分解的城市扩张分类[J]. 测绘通报, 2006(10): 9-11.
 - [2] ATKINSON P M. Mapping Sub-pixel Boundaries from Remotely Sensed Images[J]. Innovations in GIS, 1997(4): 166-180.
 - [3] VERHOEYE J, DE WULF R. Land Cover Mapping at Sub-pixel Scales Using Linear Optimization Techniques[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 79(1): 96-104.
 - [4] MERTENS K C, DE BAETS B, VERBEKE L P C, et al. A Sub-pixel Mapping Algorithm Based on Sub-pixel/pixel Spatial Attraction Models[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(15): 3293-3310.
 - [5] THORNTON M W, ATKINSON P M, HOLLAND D A. Sub-pixel Mapping of Rural Land Cover Objects from Fine Spatial Resolution Satellite Sensor Imagery Using Super-resolution Pixel-swapping[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(3): 473-491.
 - [6] MERTENS K C, VERBEKE L, DUCHEYNE E I, et al. Using Genetic Algorithms in Sub-pixel Mapping[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(21): 4241-4247.
 - [7] TATEM A J, LEWIS H G, ATKINSON P M, et al. Super-resolution Target Identification from Remotely Sensed Images Using a Hopfield Neural Network[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(4): 781-796.
 - [8] NGUYEN Q M, ATKINSON P M, LEWIS H G. Super-resolution Mapping Using Hopfield Neural Network with Panchromatic Imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(21): 6149-6176.
 - [9] TATEM A J, LEWIS H G, ATKINSON P M, et al. Super-resolution Land Cover Pattern Prediction Using a Hopfield Neural Network[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 79(1): 1-14.
 - [10] MERTENS K C, VERBEKE L P C, WESTRA T, et al. Sub-pixel Mapping and Sub-pixel Sharpening Using Neural Network Predicted Wavelet Coefficients[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 91(2): 225-236.
 - [11] ZHANG L, WU K, ZHONG Y, et al. A New Sub-pixel Mapping Algorithm Based on a BP Neural Network with an Observation Model[J]. Neurocomputing, 2008, 71(10-12): 2046-2054.
 - [12] ATKINSON P M. Issues of Uncertainty in Super-resolution Mapping and Their Implications for the Design of an Inter-comparison Study[J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(20): 5293-5308.
-
- (上接第 42 页)
- 设计[J]. 海洋技术, 2011, 30(2): 103-106.
 - [2] 齐君,赵铁虎,刘俊. 短周期 OBS 探测及其在南黄海地震勘探中的应用前景[C] // 中国地球物理学会第二十七届年会论文集. 长沙: [s. n.], 2011: 942-943.
 - [3] IHO. S-57 IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data[S]. Edition 3.1.1. Monaco: the International Hydrographic Bureau, 2007.
 - [4] IHO. S-52 IHO Specifications for Chart Content and Display Aspects of ECDIS[S]. Edition 6.0. Monaco: the International Hydrographic Bureau, 2010.
 - [5] 周鹏,黄灿,江楠. 串口与网络结合的通信方案的研究[J]. 计算机与网络, 2011, 37(15): 68-70.
 - [6] 湛文韬,王乐,孙靖国. 一种多串口和以太网转换方法的研究[J]. 航空计算技术, 2011, 41(4): 102-105.
 - [7] 刘文勇,江林,钱立兵,等. 超短基线水下定位校准方法的探讨与分析[J]. 测绘通报, 2011(1): 82-84.
 - [8] 胡国方,曾鹏. 基于牛顿迭代法的概位修正误差分析[J]. 舰船电子工程, 2011(8): 111-113.
 - [9] MARKOULIDAKIS J G, DESSINIOTIS C, NIKOLAIDIS D. Part two: Kalman Filtering Options for Error Minimization in Statistical Terminal Assisted Mobile Positioning[J]. Computer Communications, 2008, 31(6): 138-147.
 - [10] 曾凡祥. OBS 测距定位原理及其精度分析[J]. 中国科技信息, 2010(7): 31-34.
 - [11] 武汉大学测绘学院测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社. 2009: 107.