

基于三次样条曲面的多波束测深信息处理

容亦夏, 邵杰

(南京航空航天大学信息科学与技术学院, 江苏南京 210016)

摘要:在多波束测量过程中,由于人为或自然的原因,所测数据不可避免存在干扰。这些干扰影响海底地形图的精度,必须加以修正。文中提出了一种修正模型——三次样条插值法。先应用三次样条曲线和牛顿迭代理论,对多波束测量数据中未测出点的坐标进行恢复,再以三次样条曲面内插来修正多波束测量数据中存在的深度野值,并取得了较好的效果。对实际多波束测量数据进行分析处理结果表明,用三次样条内插算法修正多波束测量数据是一种有效的方法,拓宽了野值处理方面的思路。

关键词:信息处理技术;三次样条曲面;多波束;野值

中图分类号: TN911.7

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)02-0029-04

A Data Processing Method Based on Cubic Spline Surface in Multibeam Systems

RONG Yi-xia, SHAO Jie

(College of Information Science & Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: There are all sorts of interference, for the reasons of both human and nature, in the measurement of multibeam data inevitably. The depth of these disturbances will bring the quality of submarine topography, must be removed. This paper presents a modified model - cubic spline interpolation. The coordinates not detected could be recovered by cubic spline curve and Newton iteration firstly. Outliers of depth could be modified by cubic spline interpolation in the measurement of multibeam, and got a good result. The following simulations and analysis of this method proved that it was an effective method to modify the measurement of multibeam data, and widened the thoughts about outliers processing.

Key words: signal processing technology; cubic spline interpolation; multibeam; outlier

0 引言

多波束测深系统的出现,为研究海底地形地貌、铺设海底管线、航道及岸堤测量、工程疏浚的土方计算等一系列工作提供了可靠的手段^[1]。但由于多种原因,测量过程中不可避免地存在野值(即明显异常的值),造成虚假地形。为了消除这些误差,提高海底地形图的精度,对野值点做出正确处理是非常必要的。

工程经验表明,无论造成野值的原因如何,野值的表现形式无非有以下两种^[2-4]:

a. 孤立型野值:具体表现为 t 时刻的观测数据为野值,而在该时刻的邻域内没有野值。

b. 斑点型野值:野值连续成片出现。

多波束采集信号中包含的野值通常可分为以下3类^[3-6]:

①缺失值。这类异常数据在数值上表现为空值0。

②极大、极小值。这类数据在数值上表现为突然显著超出或低于相邻数据值。

③负荷毛刺。这类异常数据在数值上表现为在相邻时段数据间的突然增大或减小。

文中将第①种野值称为“有缺失值的野点”,将第②、③种野值合称“无缺失值的野点”。目前,野值的处理是信号处理领域的一个难点。相关处理方法如 Kalman 滤波^[7]、指数加权法和基于支持向量机(SVM)的算法^[3],还有文献[5, 6, 8~11]中的中值滤波、趋势面滤波、抗 M 估计法等。其中, Kalman 滤波算法较为复杂;指数加权法和 SVM 算法处理两种表现形式的野值时需结合使用,缺乏通用性;而中值滤波、趋势面滤波、抗 M 估计法和 Kalman 滤波算法等则是利用曲

收稿日期:2009-07-16;修回日期:2009-10-15

作者简介:容亦夏(1983-),男,江苏江阴人,硕士研究生,研究方向为信号处理;邵杰,副教授,硕士研究生导师,研究方向为信号处理。

面拟合,对野值采取剔除的方式。

文中研究的目的在于对已测得的多波束数据进行相关分析,探寻一种通用的修正野值的方法,为处理野值提供一个新的思路,然后用获得的方法去指导多波束研究的后续工作。

1 三次样条理论

多波束测深系统测深时,换能器发射阵平行船纵向(龙骨)排列,并在同一时刻呈两侧对称向正下方发射扇形脉冲声波,且相邻两脉冲声波之间的角度是固定的^[1],则该时刻发射的声波所形成的曲线曲率较小,非常适合用三次样条内插。

1.1 三次样条曲线算法

在只给出的插值点上的函数值的情况下构造一个整体上具有二阶连续微商的插值函数。样条曲线在联接点处具有连续曲率^[12]。

1.1.1 插值条件

① 输入型值点:

设在区间 $[a, b]$ 上取 $n + 1$ 个节点:

$$a = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_{n+1} < x_n = b (i = 0, 1, 2, \dots, n)$$

对应的给定这些点上的函数值 $s(x)$ 满足条件: $s(x_i) = s_i (i = 0, 1, 2, \dots, n)$;

② 在区间 $[a, b]$ 上有三次样条插值函数 $s(x)$,并用 m_i 来表示 $s(x)$ 在点 x_i 处的微商值。

1.1.2 曲线构造

① 根据埃尔米特(Hermite)插值公式,构造出小区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 上的三次样条插值函数 $s(x)$ 的计算公式。

② 将 $s(x)$ 对 x 求二阶微商:区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 上点 x_i 的左右二阶微商连续。

③ 补充两个边界条件^[12],文中采用第二种边界条件(参见文献[12]),与②中得出的方程组联立,并由追赶法求解方程组,即可求得 $m_i (i = 1, 2, 3, \dots, n, n - 1)$ 。代入插值函数公式得到三次样条插值函数 $s(x)$ 的各子区间上的表达式。

1.2 三次曲面构造理论

三次样条曲面的构造法,又称三次样条曲面插值。

1.2.1 插值条件

① 以 $m \times n$ 个型值点做节点,选取靠近插值点 $z(x, y)$ 的四个点^[6]: $z(x_i, y_j), z(x_{i+1}, y_j), z(x_i, y_{j+1}), z(x_{i+1}, y_{j+1}), i = 0, 1, \dots, m - 1; j = 0, 1, \dots, n - 1$ 。

② 数值求导: $z_x = \frac{\partial z}{\partial x}, z_y = \frac{\partial z}{\partial y}, z_{xy} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}$, 求出

四个靠近插值点的导数:

* 沿 x 轴方向生成 x 向网格线,求出所有网格点处的 x 向一阶导数 z_x ;

* 沿 y 轴方向生成 y 向网格线,求出所有网格点处的 y 向一阶导数 z_y ;

* 沿 x 方向对 y 向一阶导数求二阶导数 z_{xy} 。

1.2.2 曲面插值构造

常见的三次样条曲面有弗格森三次样条曲面、孔斯三次样条曲面和参数三次样条曲面。文中采用第三种方法。该方法在子矩形域上用参数三次埃尔米特(Hermite)形式表示,则有需插值点 z 向的坐标,详细公式见参考文献[12]。

2 算法实现

根据地形连续变化原则,海底地形是连续变化的。若存在少数几个数据是孤立点,则这些点为异常数据^[1],需要剔除并修正。

采集的原始多波束测深数据,可以处理成 x, y, z 三个数据矩阵,分别存取每一被测点的 x, y, z 坐标。 x, y 是每个点的平面坐标, z 是该点处的深度。

2.1 数据矩阵初始化设计

由于各种原因,有许多点的反射波束并没有接收到,在原始数据中表现为该点 x, y, z 坐标的值全都为零,即“有缺失值的野点”,而其他野点(“非缺失值的野点”)的 x, y 坐标仍存在,只需内插出深度坐标 z 。

通过三次样条曲线理论可知,作为型值的点必须是有效点,有缺失值的野点必须排除在外。观测多波束原始数据可发现,有缺失值的野点在 x, y, z 矩阵的有效数据边界以外的部分往往大面积连续出现,而在边界以内的部分一般很少出现斑点野值。由于三次样条曲面对外推的效果并不理想,文中只对边界内点的坐标进行恢复。

定义行或列出现的第一个非零点和最后一个非零点为边界点,分别用 Startpoint 和 Endpoint 来表示。初始化数据矩阵时,首先寻找每行的行边界,再找出每列的列边界,最后通过 3σ 准则,找出实测数据矩阵各行各列边界内出现野值的点,包括非缺失值的点和缺失值的点。将非缺失值的点 z 坐标改为零,则初始化过程完成。

寻找边界过程较为重要。以寻找行边界为例,寻找列边界与之类似。首先建立行、列边界表以记录扫描出的边界,其结构如表 1 所示。

然后读入矩阵,按图 1 得到每行和每列的边界,分别存入行、列边界表的相应位置。其中 k 代表该点的行数, t 代表该点的列数,下文与此相同。

表1 行边界表

行号	Startpoint	Endpoint
0	StartRow[0]	EndRow[0]
1	StartRow[1]	EndRow[1]

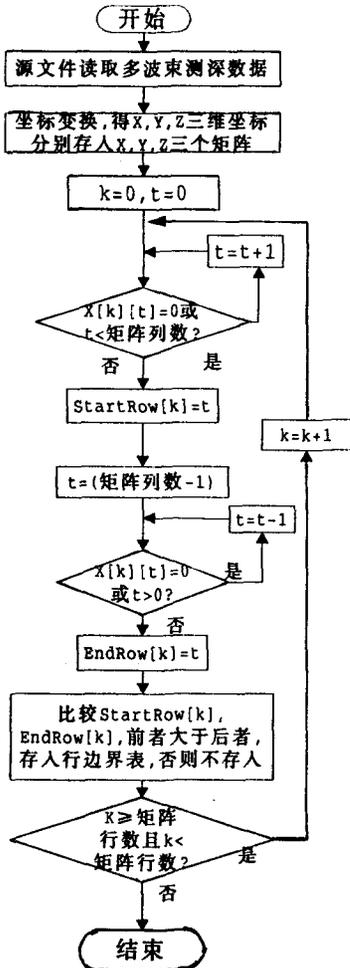


图1 寻找行边界流程图

2.2 交点计算

有缺失值的野点,可对沿 x 向、 y 向两条相交的三次样条曲线求交,恢复出 x, y 坐标。遍历 x 矩阵时,每检测到一个该野值点,则按图2进行处理。

2.3 曲面拟合

主程序设计遍历上述初始化后的数据矩阵,对野值进行分析、判断、剔除,对缺失值所在的点按用三次样条曲线缓和求交的方法(牛顿迭代)拟合出该点近似的 x, y 坐标,再根据三次样条曲面内插,补足全部空白点和删除点,并恢复出曲面,为后处理成图作好必要的准备。其程序流程如图3所示。

3 实测数据处理

为了证明上述算法应用于多波束测深数据

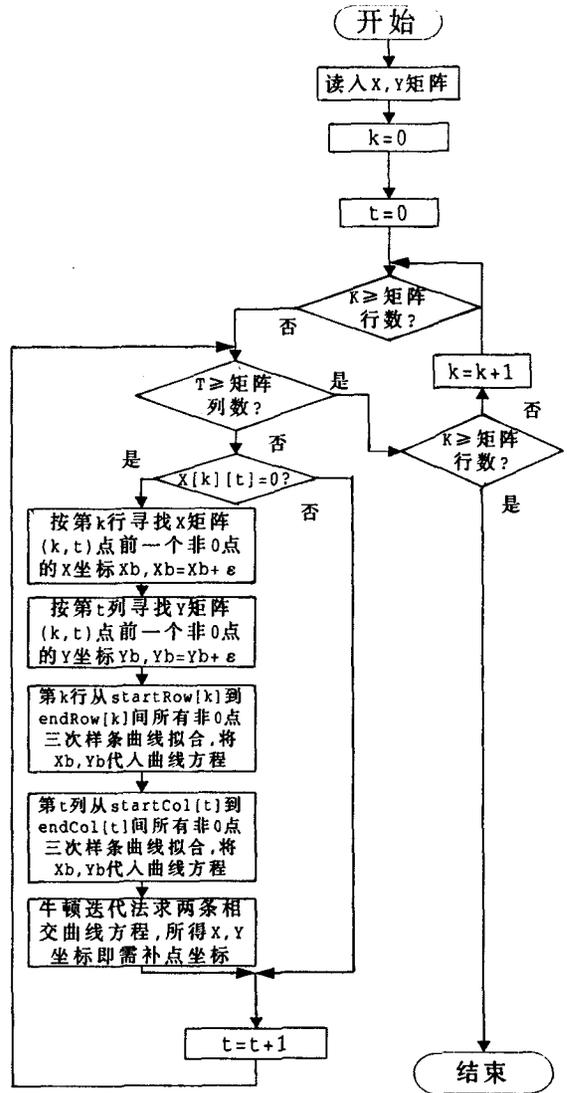


图2 恢复缺失点坐标值流程图

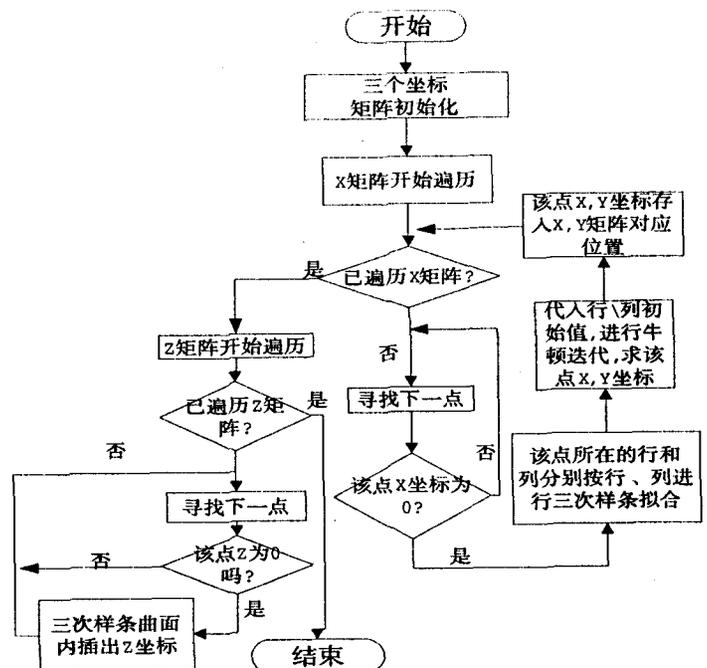


图3 基于三次样条曲面内插的野值修正流程图

的可行性和正确性,根据上述算法及原理用 VC++ 6.0 编写了粗差数据修正处理程序,并将处理好的数据导入 Matlab6.5 中,形成图像。

文中选取 L3 公司 SB2100 型多波束测深系统测量的数据(北纬 33.2°,西经 38.4°附近)的一块实测数据。首先从中选取一组 x, y 坐标数据进行坐标点恢复,然后选取整组较平坦数据进行内插滤波修正。

3.1 坐标恢复

从该实测数据中抽取 88 个点,其中有 8 个点坐标未测出(即缺失点),如图 4(a)所示。采用坐标恢复程序处理后,恢复测量波束坐标如图 4(b)所示。其中每个圆点代表波束采样点,每条纵向曲线是船在某一时刻发出的多个采样波束得到的数据点拟合得出,横向曲线则是测量船在不同时刻发射采样点坐标拟合而成。图 4(a)缺失的 8 个点可由对应的纵向、横向曲线相交全部恢复出来。可以看出,运用该算法较好地恢复出了缺失点坐标。经过大量实验证明,除原始数据矩阵边界外的点外,缺失的坐标点 98% 可由三次样条曲线求交恢复出来。

3.2 三次样条曲面内插修正分析

将原始数据、趋势面拟合后的数据及文中采用的三次样条曲面内插后的数据进行对比(如图 5 所示)发现,原始数据中毛刺较多,深度数据存在很大失真。经趋势面拟合后,原始数据中毛刺数量明显减少,一些比较大的毛刺仍存在,但幅度大大降低。文中算法滤波效果最好,实验数据范围内毛刺最少,幅度也最低。

笔者还用不同的迭代初始值对本程序运算的结果进行测试,表明文中所提算法对不同初始值的计算运行速度和结果精度影响不大。

4 结束语

参考大量文献发现,对于多波束测深数据预处理,常规的思路是避开缺失点,利用已测得的数据进行处理。该思路是利用实验范围内的未缺失点,对曲面进行拟合。由于拟合成的曲面并非严格经过原始数据点,并对缺失点全部舍弃,降低了采样密度,使得到的

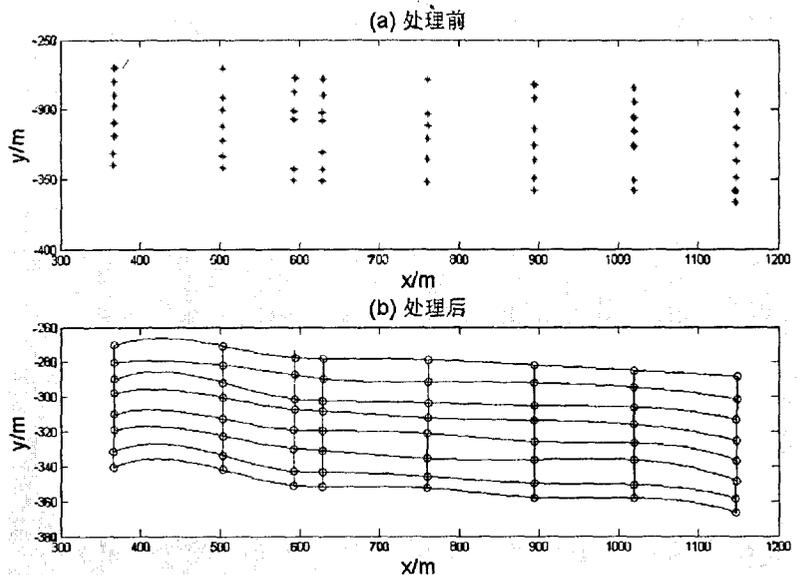


图 4 处理前后的波束脚印二维坐标图

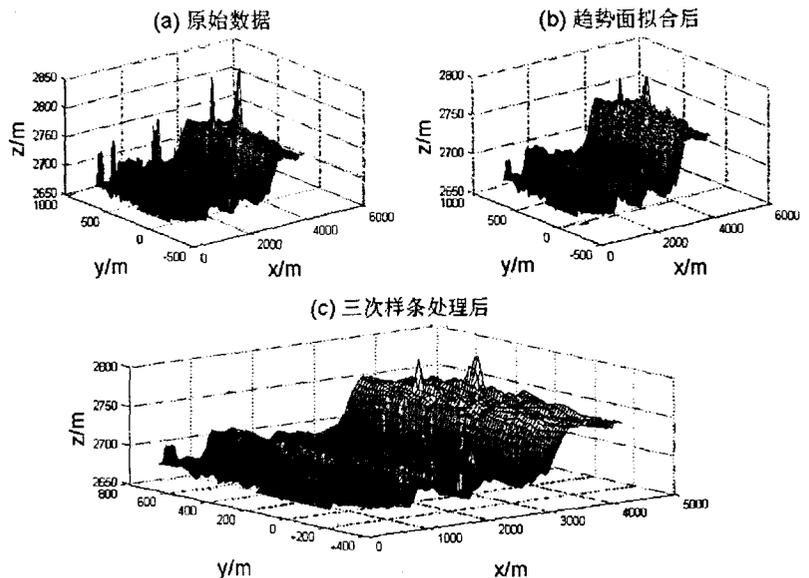


图 5 三维数据对比图

拟合多项式系数出现失真,引起连锁反应,从而造成拟合值和整个区域滤波严重失真。

应用三次样条曲线拟合和缓和曲线求交的方法,可以将缺失点坐标恢复出来,克服了常规思路中的缺陷。用三次样条曲面内插对多波束测深数据进行自动滤波,将粗差数据剔除并修正,使得曲面严格通过修正后的所有数据,很好地改善了滤波效果。同时,滤波算法的好坏都是相对的,对于复杂地形和海况条件不好的情况下,三次样条曲面内插算法还有很多需要改进的地方。

参考文献:

[1] 李家彪. 多波束勘测原理技术与方法[M]. 北京:海洋出版

于不同的先后次序位置。在时序性方面,同一个处理机的同步段上先加入同步段的结点数据先发送,不收到回应则不能发送下一个结点数据。

1.4 同步段同步机制的优点与缺点

同步段同步机制采用同步标识符判断数据是否已更新,可以实时同步被更改的数据,这种同步机制具有以下优点:

(1)对业务相关数据提供统一的数据同步机制,可确保同步的可靠性,系统上电和主备切换时同步数据的效率高;

(2)可以并发向多个处理机、备机下发同步数据;

(3)同步失败时支持重发机制以保证同步的可靠性;

(4)同时支持业务数据的实时同步和批量同步;

为防止主机收到的回应信息太多,造成拥塞,处理机数据更新后不向主机回送本地结点标识符,因此不能判断处理机数据何时同步完毕,这是此机制的主要不足,但对处理机数据的更新不会带来影响。

基于 GPON 的 FTTH(光纤到户)凭借其业务承载率高, OAM (Operation, Administration and Management, 操作管理维护)功能和扩展能力强等特点,受到了许多运营商的肯定,在不久的将来能够得到很好的发展^[7]。这种同步机制特别是在 OLT 系统刚上电和主备切换时的批量数据同步中效率高、可靠性强,优势更明显,因此在 GPON 接入技术中是一个很好的选择。考虑到嵌入式系统的内存较小,本机制具有很好的实用性和很高的可靠性。随着光纤接入向下一代 PON 演进,接入网应具备更高传输效率、更大分路比的特点,需要更高效的传输机制^[8],同步段机制也可满足 10G GPON 及 NG PON 的高带宽、多业务、上下行

流量大等要求的需要。

2 结束语

文中提出的基于同步段的数据同步机制,将业务数据分成若干条数据段,通过同步段的结点位置和数据条目的索引来定位数据,再将数据转发,为保证 QoS 提供高保障。这种机制效率高、可靠性强,是 GPON 接入技术中实用的数据同步机制。随着 GPON 技术趋向成熟,其将在光纤接入网中得到广泛的应用,同步段机制对多业务数据的实时传输具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 王秉钧,王少毅. 接入网技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2005:1-8.
- [2] Gigabit-capable passive optical network (GPON): General characteristics[S]. ITU-T Recommendation G. 984. 1, 2003.
- [3] 喻丹丹,涂国庆,陈珉. 分布式数据库系统中数据一致性维护方法研究[J]. 国防科技大学学报,2002(3):77-80.
- [4] 崔伟,汪诗林. 分布式系统中数据同步机制的研究与实现[J]. 计算机工程与设计,2007,28(10):2259-2261.
- [5] SyncML, SyncML sync Protocol, version 1.0.1[EB/OL]. 2001-06-15. http://www.openmobilealliance.org/tech/affiliates/syncml/syncml_protocol_v101-20010615.pdf.
- [6] 霍洪涛. GPON 光纤接入网络的发展趋势[J]. 电信科学, 2008(12):91-93.
- [7] 何小玉. 光纤接入及 FTTH 技术与应用分析[J]. 电信科学,2007(5):21-25.
- [8] 陈洁. GPON 技术标准的最新进展[J]. 电信技术,2009(3):51-53.

(上接第 32 页)

社,1999:198-201.

- [12] 施法中. 计算机辅助几何设计与非均匀有理 B 样条[M]. 北京:高等教育出版社,2001:55-113.

- [2] 王学伟,殷艳华,郭明,等. 基于模板卷积的平滑滤波在野值剔除中的应用[J]. 红外技术,2008,30(6):321-323.

- [3] 李景熹,王宇,王树宗,等. 观测值中野值的判别与处理方法仿真研究[J]. 微计算机信息,2006,22(5-1):140-142.

- [4] 张婷,汪渤. 连续型野值判别的新方法[J]. 东南大学学报:自然科学版,2005,35(S II):225-227.

- [5] Huang Motao, Zhai Guojun, Wang Rui. The Detection of Abnormal Data in Marine Survey[J]. Acta Geodaetica Et Cartographica Sinica, 1999,28(3):269-276.

- [6] 阳凡林,刘经南,赵建虎. 多波束测深数据的异常检测和滤

波[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2004,29(1):80-83.

[7] 胡峰,孙国基. Kalman 滤波的抗野值修正[J]. 自动化学报,1999,25(5):692-693.

- [8] Weiss V, Andor L, Renner G. Advanced Surface Fitting Techniques[J]. Computer Aided Geometric Design, 2002, 19(6): 19-42.

- [9] Lirakis C B, Bonqiovanni K P. Automated Multibeam Data Cleaning and Target Detection[J]. Proc. of IEEE, Oceans, 2000(1):719-723.

- [10] Canepa G, Bergem O, Pace N G. A New Algorithm for Automatic Processing of Bathymetric Data[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2003,28(1):62-77.

- [11] Shaw S, Arnold J. Automated Error Detection in Multibeam Bathymetry Data[J]. Proc. of IEEE, Oceans, 1993(II):89-94.