

三维成像声呐图像重建研究

刘天宝^{1,2}, 吴晓潭^{1,2}, 黄勇¹, 刘纪元¹, 王保臣³

(1. 中国科学院声学研究所, 北京 100190; 2. 中国科学院大学, 北京 100190; 3. 玖瓯科技公司, 北京 100083)

摘要: 针对成像声呐领域中水下目标探测、识别等问题, 基于三维探测声呐 2304 通道波束形成数据, 研究三维成像声呐可视化方法, 仿真了三维点云重构算法, 并根据实际应用需求, 在设备实现中改进了算法, 使其在实际环境中可动态调节阈值, 优化成像效果。水池、湖试实验表明: 以该可视化方法为基础的三维探测声呐可正确显示目标位置、形态; 且在混响环境中对复杂探测目标有良好的重构效果; 同时通过与二维声呐图像对比, 进一步验证了该三维声呐在轮廓识别方面的优越性。

关键词: 成像声呐; 三维重构; 可视化方法

中图分类号: TB556

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-04-0358-04

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2015.04.013

Image reconstruction for 3D acoustical imaging sonar

LIU Tian-bao^{1,2}, WU Xiao-tan^{1,2}, HUANG Yong¹, LIU Ji-yuan¹, WANG Bao-chen³

(1. Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 3. Nunew Technology Company, Beijing 100083, China)

Abstract: Aiming at the requirement of underwater target detection and recognition, basing on the data of 3D sonar from 2304 array elements, this article studies the 3D imaging sonar visualization methods, simulates and improves the 3D point cloud reconstruction algorithm, and then the method is applied to the actual equipment to verify its performance. The experimental results show that the 3D acoustical imaging sonar based on this visualization is effective and has good visual effect. Moreover, by contrasting with the results of 2D sonar, the superiority of 3D sonar is verified.

Key words: acoustical image sonar; 3D reconstruction; visualization method

0 引言

成像声呐一直是水声领域研究的重点。目前二维成像声呐有较成熟的技术, 且在国内外应用广泛。三维成像声呐与传统二维成像声呐相比, 增加了图像的深度信息, 具有更多良好的性能, 如更清晰的轮廓识别度, 图像可三维空间旋转观测等。在国际上有代表性的三维成像声呐有 EchoScope 系列产品。但国内还没有完全商用的三维手持声呐系统, 技术实现方法仍处于研究阶段^[1]。

三维成像声呐可视化实现部分是三维成像声呐实现过程中的一个重点和难点。数据的可视化技术现已广泛应用于医学、地质等领域, 但是在声学领域的应用仍有待进一步研究与改进^[2]。

本文以三维探测声呐数据为基础, 研究声呐数据的三维重构问题。基于该可视化方法的三维声呐

不仅可以在模拟三维场景中重建三维目标, 同时可

实时显示动态目标, 观测者可以获悉更清晰的目标轮廓, 观测效果更具真实感。

1 重构算法研究

空间离散点云三维重建, 一般有两种可视化方法, 分别为面绘制和体绘制。该系统声呐数据满足表面绘制特点, 因此选择表面绘制进行三维图像重构。在众多三角网格重构算法中, Delaunay 算法被证明是最优的。但此算法时间复杂度高, 实际应用中效率过低。U. Castellani 等人提出改进的三角网格重构法^[3], 利用声呐数据邻接关系一致性的特点, 在三角网格重构过程中, 只构建目标点和邻接点的网格拓扑关系, 在很大程度上提升了重构的效率。

本系统单帧重建部分以 U. Castellani 等人提出的三角网格重构法^[3-5]为基础, 通过对重构条件判断部分增加动态阈值, 对算法进行了改进, 具有更好的使用性能, 使得图像在不同场景均能达到最好的

收稿日期: 2014-07-16; 修回日期: 2014-11-25

作者简介: 刘天宝(1989—), 女, 黑龙江佳木斯人, 硕士, 研究方向为水声图像处理。

通讯作者: 刘纪元, E-mail: ljy@mail.ioa.ac.cn

效果。图 1 为改进后的三角网格重构法对空间离散点重构结果示意图。

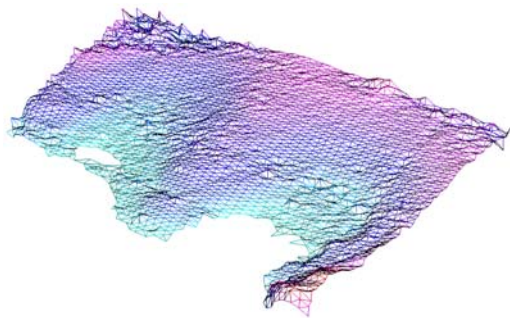


图 1 改进三角网格重构
Fig.1 Improved triangular mesh reconstruction

改进的三角网格重构的基本原理及步骤如下^[4]:

(1) 声呐阵列相邻点连接关系判断标准:

$$|\sqrt{x_1^2+y_1^2+z_1^2}-\sqrt{x_2^2+y_2^2+z_2^2}|<\delta \quad (1)$$

式中相邻点坐标分别为 $V_1(x_1, y_1, z_1)$, $V_2(x_2, y_2, z_2)$, δ 为根据实际情况设置的阈值, δ 在系统运行过程中可动态调整。

(2) 对相邻的 2×2 网格空间内点, 依次执行相邻点连接判断操作, 如图 2(a)所示。

(3) 选取中心点为空点的 3×3 网格空间, 判断空间内点连接关系, 以填补空缺, 令重建网格更丰满, 如图 2(b)所示。

(4) 在 2×3 和 3×2 网格空间, 判断点连接关系, 如图 2(c)所示。

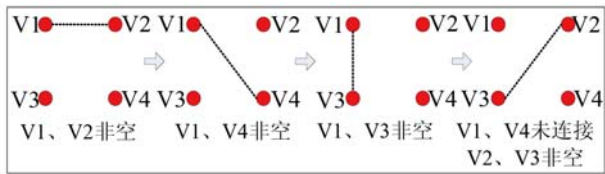
(5) 动态调整 δ , 重复以上操作。

2 检测软件系统设计及实验数据处理

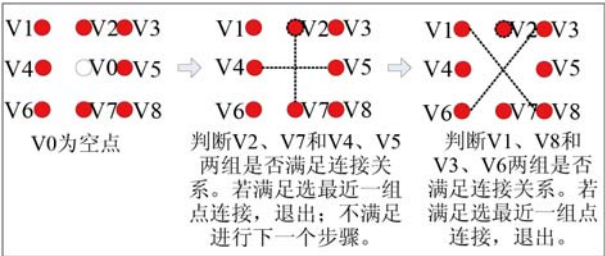
2.1 检测软件系统设计

为检测该可视化方法的有效性, 搭建的测试软件平台的架构设计如图 3 所示。

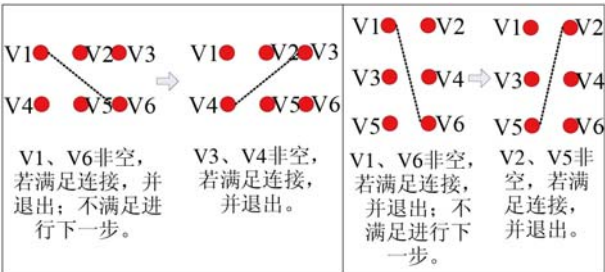
(1) 传输层: 用于接收 DSP 发送的声呐数据及反馈指令信息给声呐设备。



(a) 2×2 邻接空间点连接流程



(b) 3×3 邻接空间点连接流程



(c) $2 \times 3(3 \times 2)$ 邻接空间点连接流程

图 2 单帧重建步骤示意图

Fig.2 Steps of single frame reconstruction

(2) 显示控制层: 用于图像显示及用户参数设置。

(3) 数据处理层: 完成数据的接收、可视化处理、存储等功能。其中可视化部分包括对数据的有效点提取、滤波、重建。

2.2 实验数据处理

每帧图像的声呐数据由 $48 \times 48 \times 2048$ 个像素点组成, 其中 48×48 为面信息点, 每帧包含 2048 层面信息, 如图 4 所示。

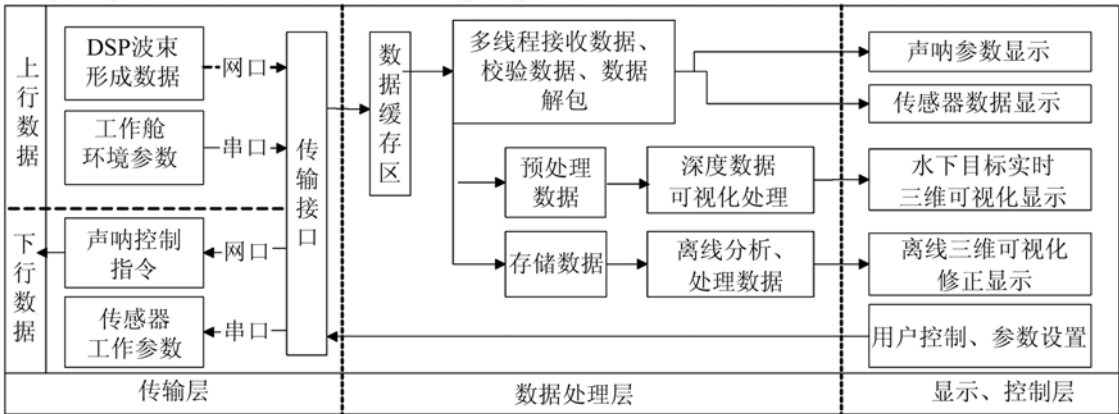


图 3 显控系统架构图

Fig.3 Diagram of the software system

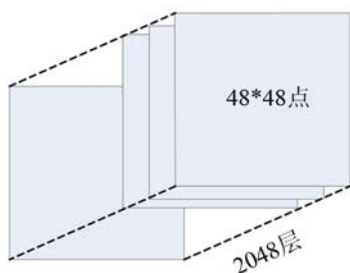


图4 单帧声呐数据结构图

Fig.4 Diagram of single frame sonar data structure

实际试验数据与仿真数据相比含有较多无效点和噪声点,在对声呐数据进行重构之前需要对数据进行预处理,包括提取有效点与数据滤波。提取有效点方法为对每帧数据、每一深度提取一个有效点,最终每帧数据压缩为 48×48 点的数据信息,用于表面重构。数据滤波方法为依据每帧数据亮度信息,进行区域划分剔除噪点。软件中数据处理流程如图5所示。

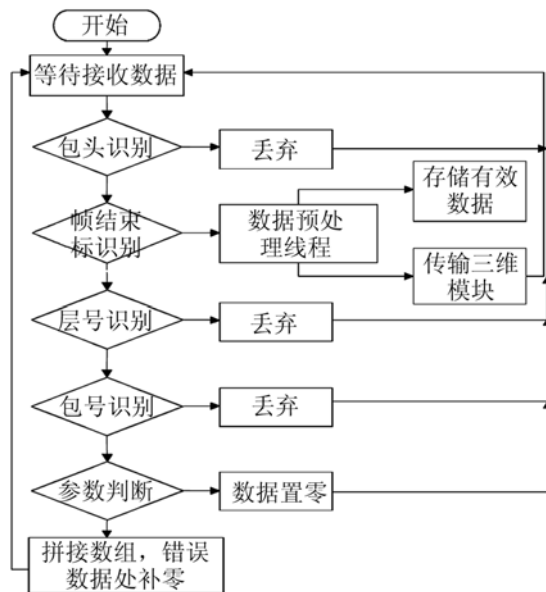


图5 软件数据处理流程图

Fig.5 Flowchart of software data processing

3 实验条件及结果分析

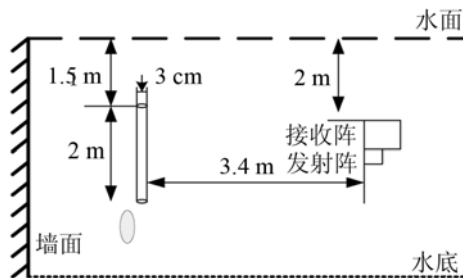
为验证该可视化方法的实际性能,实验室进行了如下实验:

实验1: 实验具体环境参数如下: 声呐系统入水深度约2 m; 声呐系统与目标距离为3~4 m; 声呐系统距离消声壁约5.3 m; 声呐接收阵面与水面基本垂直。实验场景示意图如图6(a)所示。

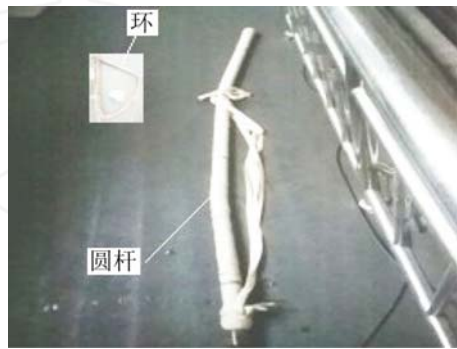
实验目标为:(1) 不规则圆环,环直径约35 cm,环杆直径约3 cm,整个圆环包裹白布条;(2) 长度

为2.05 m、直径约5 cm,带有一定弯度的光滑圆杆,材质为金属,全部包裹白布条两端有螺丝纹。实验实物照片如图6(b)所示。

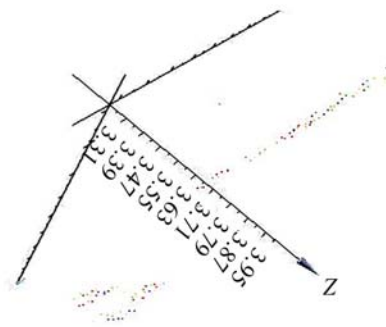
对数据进行处理后散点显示效果如图6(c)所示,重构后结果如图6(d)所示,目标显示坐标在3.39~3.75 m之间,与实际位置相符,且杆目标与环



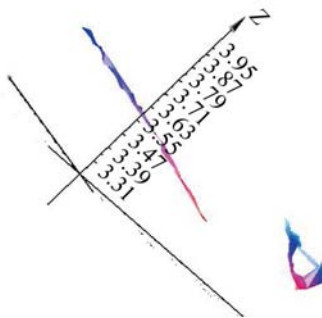
(a) 实验场景图



(b) 实验目标



(c) 实验结果点云图



(d) 实验结果重构图

图6 水池试验结果

Fig.6 Experiment results in pool

形目标外形、相对位置均正确, 验证了可视化处理结果的正确性。

实验2: 实验地点及目标描述: 潜水员悬浮于水中, 头部露出水面, 身体距离另一蛙人的手持声呐4~5 m。

实验结果如图7所示, 可视化处理后, 声呐可以正确显示人体目标的轮廓, 且自由旋转观测, 人像下为湖底目标, 以及多次回波造成的影像, 证明了在混响环境中, 可以对复杂形态目标进行有效的目标识别。

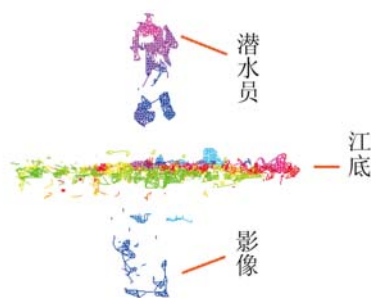
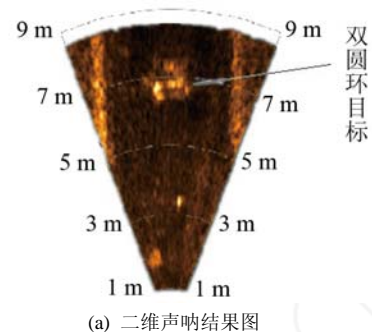


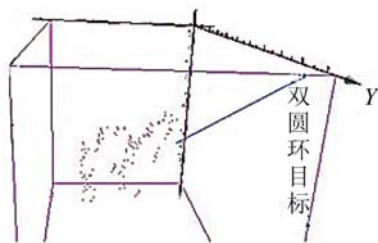
图7 试验结果
Fig.7 Experiment results in Zhanjiang

实验3: 实验目标及实验目的: 为对比二维、三维声呐成像特点, 实验室将双圆环型目标悬于水中, 对比两种声呐的目标检测效果。

二维声呐目标识别结果如图8(a)所示, 三维声



(a) 二维声呐结果图



(b) 三维声呐结果图

图8 二维、三维声呐探测结果对比图

Fig.8 Comparison chart of 2D and 3D sonar detection results

呐目标识别结果如图8(b)所以, 两者对比可见, 二维声呐成像结果图中目标为亮点。三维声呐成像结果图中目标轮廓清晰, 且可空间旋转观测目标形态, 最终确定目标。同时经过三维场景渲染, 三维重构结果更具空间真实感。

4 结 语

本文主要针对三维声呐中的可视化处理这项关键技术进行了研究, 仿真了空间点云三角网格重建方法, 并根据三维声呐数据特点, 选择了复杂度较低的算法, 且依据实际应用环境进行了改进, 使操作者可动态调整连接判断阈值, 根据实际场景选择更优的观测效果。并且通过3次水池、湖试试验, 对可视化处理结果的正确性、复杂环境中复杂目标的重构能力及相对于二维声呐的优越性进行了验证, 证明了该可视化方法的应用价值。

在本文研究的基础上可以三维声呐重构图像为基础, 对三维声呐图像全景拼接问题做进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 刘伟宁. 基于 VTK 的海底声呐数据实时三维建模软件设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.1: 6-8.
LIU Weining. Software design for VTK based real-time 3D modeling system of submarine sonar[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010: 01.
- [2] 李晓梅, 黄朝晖. 科学计算可视化导论[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1996, 6.
LI Xiaomei, HUANG Zhaohui. An introduction of scientific computing visualization[M]. Changsha: National University of Defense Technology publishing house, 1996, 6.
- [3] Catellani U, Fusiello A, Murino V. Object reconstruction and 3D mosaicing[EB/OL]. ARROV. Project GRD1-2004-180601. <http://www.disi.unige.it/http://www.opengg.cn/?nsukey=GhUfnzA%2FqRx6f3UzJEEw9Mb1AIR%2B5nlUm8yN9CFJv6StLCuGQpRMSV9uGxmEpE1sabh2ArEQ8E1rQRQbRJByA%3D%3D>
- [4] 贺旭. 三维前视声呐可视化系统研究与实现[D]. 北京: 中国科学院声学研究所, 2013.5: 37-41.
HE Xu. The research and implementation of 3D forward-looking sonar visualization system[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences Institute acoustics, 2013.5: 37-41.
- [5] Murino V, Trucco A. Three-dimensional image generation and processing in underwater acoustic vision[J]. Proceeding of the IEEE, 2000, 88(12): 1903-1946.