

板块尺寸在板块元目标散射算法中的特性分析

徐 瑜, 苑秉成, 张洪刚

(海军工程大学 兵器工程系, 湖北 武汉 430033)

摘 要: 板块元算法是在对 Kirchhoff 积分公式高频近似的基础上, 采用几何建模的方法, 计算目标散射声场。板块划分是板块元算法中的一个重要步骤, 对计算精度与计算速度有着重要的影响。球体形状目标, 因其形状简单, 通过积分方法可以进行精确的求解, 因此常被选择作为比较不同散射算法效能的参照对象。文中针对球体目标, 分别采用板块元散射算法与解析解方法计算球体目标强度, 分析不同频率和距离等情况下板块尺寸对板块元算法精度的影响。仿真结果表明, 板块尺寸对计算结果的影响主要是由板块拟和目标曲面所导致的几何模型误差和近似计算中计算模型误差二者所引起。

关键词: 板块元算法; 板块尺寸; 声散射; 目标强度

中图分类号: O427.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2012)04-0050-03

Effect Analysis of Planar Element Size in Planar Element Method for Computing Target Echo

XU Yu, YUAN Bing-cheng, ZHANG Hong-gang

(Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Planar element method is one of approximate computation means for echo characteristics of submerged targets, based on geometry modeling. The object meshing is an important step in planar element method, and plays an important role in computation accuracy and velocity. Due to the shape of the sphere is simple, its target strength can be calculated accurately, and the sphere model is often selected as a reference object to compare the different algorithms effectiveness. In this thesis the target strength of sphere is calculated by planar element scattering method and integral equation method, and then the effect of planar element size in planar element method for computing target echo with different frequency and distance is analyzed. Numerical calculation is presented, and the results show that the geometrical shape errors between the model that is fitted by planar element and the true model and the calculation model are the main factors that cause the result errors.

Key words: planar element method; planar element size; acoustic scattering; target strength

0 引 言

水下目标回声特性的研究是水声研究领域的一个重要方面^[1-3]。理论计算声纳目标的目标强度, 关键是散射声场的计算。分离变量法是求解波动方程的重要方法, 但它只能应用于那些表面能用正交曲线坐标表示的规则形状物体, 这就使它的应用受到了限制。Kirchhoff-Helmholtz 积分方法是求解声场问题的另一种常用方法, 对于规则形状物体, 能够给出严格的解析解, 对于非规则形状物体, 则可应用数值积分方法得到数值解。板块元散射算法^[4-7]是在对 Kirchhoff 积分公式高频近似的基础上, 将目标表面划分为板块元, 然后计算每个板块的散射声场, 将各个板块散射声场叠

加得到整个目标散射声场的计算方法。该方法的优点是可以计算水下任意复杂形状目标的高频回声特性。板块元算法中的一个重要步骤是对目标进行几何建模, 并针对模型进行板块划分。板块划分过于粗糙, 板块尺寸过大, 对计算精度会产生影响; 网格划分过小, 又会使板块数量增加, 增加计算时间。基于此, 文中重点分析在不同频率和距离情况下, 板块尺寸大小对计算精度的影响, 以便为进一步研究板块元散射算法中板块尺寸的选取提供一定的理论依据。

1 板块元算法原理

对于收发合置的情况, Kirchhoff 公式给出散射声场:

$$\varphi_s = \frac{A}{2\pi} \iint_S \frac{e^{izkr}}{r^2} \cos(r, n) \left(ik - \frac{1}{r} \right) ds$$

在物体表面的曲面方程已知的情况下, 上述积分是可以求得计算结果的, 但运算非常繁琐。若把目标

收稿日期: 2011-06-27; 修回日期: 2011-09-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(61074191)

作者简介: 徐 瑜(1983-), 男, 湖北黄冈人, 博士研究生, 研究方向为制导与控制技术。

划分为足够小的板块,则相对于每一个小板块,接收换能器处在远场,总散射声场是所有小板块散射声场的叠加。可以导出刚性目标远场散射声场的势函数 φ , 和目标强度 TS 的计算公式:

$$\varphi_{sj} = \frac{A}{2\pi} e^{2ik|R_0|} \frac{ik}{|R_0|^2} \cos(R, n) \iint_{s_j} e^{2ikr_j \cdot \frac{R_0}{|R_0|}} ds$$

$$\varphi_s = \sum_{j=1}^N \varphi_{sj}$$

$$TS = 20 \log \left| \frac{k}{2\pi} \sum_{j=1}^N \cos(R, n) \iint_{s_j} e^{2ikr_j \cdot \frac{R_0}{|R_0|}} ds \right|$$

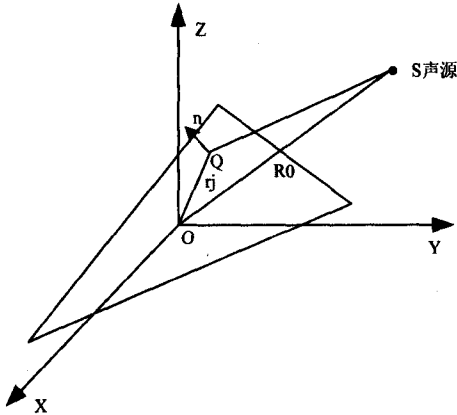


图1 板块散射

图1所示为第 j 个板块, O 点为板块中心点; r_j 为板块上任意点相对于中心点的位置矢量; n 为板块元单位法向矢量; R_0 为声源相对中心点的位置矢量; N 为目标上能够被入射波照射到的板块数。从上述公式可以看出,计算过程包含了大量空间平板元的积分。将空间平板元积分转化成与平板元坐标相关的求和,是解决面元积分提高计算效率的关键环节。利用简化 Gordon 积分算法^[8,9]可以解决这个问题。

对于三角形板块而言,上式中所涉及到的积分可转化为:

$$\iint_{s_j} e^{2ikr_j \cdot \frac{R_0}{|R_0|}} ds = -\frac{1}{2ik} \sum_{m=1}^3 n \times \frac{R_0}{|R_0|} \cdot \vec{a}_m e^{i2k\vec{\rho}_m \cdot \frac{R_0}{|R_0|}}$$

$$\frac{\sin(k \vec{a}_m \cdot \frac{R_0}{|R_0|})}{k \vec{a}_m \cdot \frac{R_0}{|R_0|}}$$

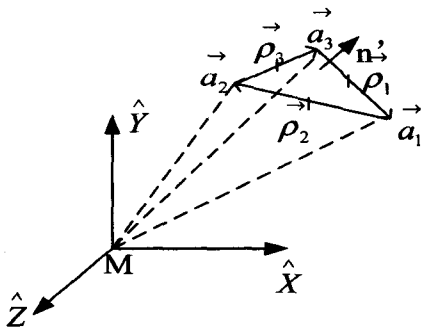


图2 整体坐标系下的板块

图2所示为第 j 个板块在整体坐标系中的示意图,可以看出 \vec{a}_m , $\vec{\rho}_m$ 可以通过板块顶点坐标进行求取,从而简化了空间平板元积分。

2 数值计算及分析

Kirchhoff-Helmholtz 积分方法对于规则形状物体,能够给出严格的解析解,对于非规则形状物体,直接通过积分方法则变得非常复杂。而球体目标,因其形状简单,通过 Kirchhoff 积分方法就可以进行精确的求解。因此,通过选择球体目标作为参照物,以比较在不同距离、频率以及曲率半径情况下板块元算法与解析解之间的计算结果误差,分析板块尺寸在板块元散射算法中的特性。

2.1 算法介绍

(1) Kirchhoff 解析解。如图3所示,以球体目标中心为原点建立直角坐标系。设球半径为 a ,声源与球体中心之间的距离为 r_0 。对球体目标的 Kirchhoff 解析解可以通过下述公式实现:

$$\varphi_s = \frac{iAk}{2\pi} \iint_{s_j} \frac{1}{r^2} e^{2ikr} \cos(r, n) ds = iAk \int_0^d F(r) dr$$

$$F(r) = \frac{1}{r^2 + (r_0 - \sqrt{a^2 - r^2})^2} e^{2ik\sqrt{r^2 + (r_0 - \sqrt{a^2 - r^2})^2}} \cos(r, n)$$

$$\frac{a}{\sqrt{a^2 - r^2}} r$$

$$\cos(r, n) = \frac{r_0 \sqrt{a^2 - r^2} - a^2}{a \sqrt{r^2 + (r_0 - \sqrt{a^2 - r^2})^2}}$$

$$d = \frac{a}{r_0} \sqrt{r_0^2 - a^2}$$

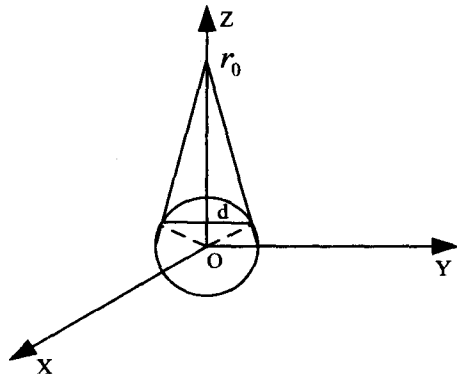


图3 球目标声散射示意图

(2) 目标模型建立与板块元划分^[10-12]。用远场板块元法计算目标的散射特性。采用 Ansys 软件对目标进行几何建模并进行板块划分。

2.2 仿真结果及分析

分别采用板块元散射算法和解析解方法计算球体目标的声学强度。

图 4 给出了球体半径为 1m, 板块最大尺寸分别为 0.1m, 0.05m, 声源距离为 1000m 情况下, 以解析解计算结果为标准, 板块元散射算法 TS 计算误差 ΔTS 值随频率的变化曲线。从图中可以看出, 板块尺寸为 0.1m 时, 计算结果与解析解之间误差较大; 板块尺寸为 0.05m 时, 计算结果与解析解较吻合, 但费时较多。并且在低频情况下, 板块尺寸为 0.1m, 板块元算法就可以满足精度要求; 而在 $f \geq 5\text{kHz}$ 情况下, 板块尺寸为 0.1m 时, ΔTS 变得较大, 不能满足精度要求, 需要对板块作更加细致的划分。

图 5 给出的是 ΔTS 随距离的变化曲线, 从图中可以看出, 距离越大 ΔTS 值越小, 因此对于距离较远的情况下, 板块尺寸取相对较大的值通常就可以达到精度要求; 而在距离较近的情况下, 板块尺寸应划分地更为细致才能满足精度要求。

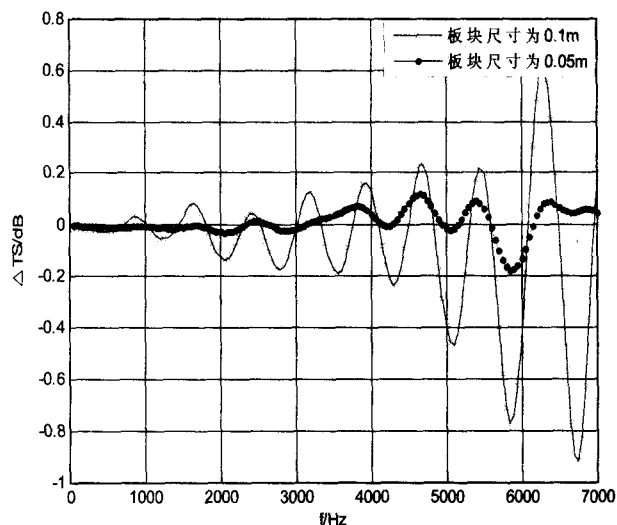


图 4 ΔTS 值随频率的变化曲线

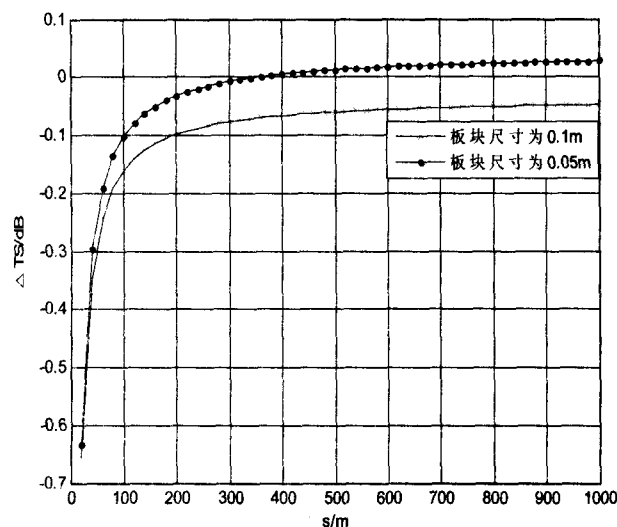


图 5 ΔTS 值随距离的变化曲线(1)

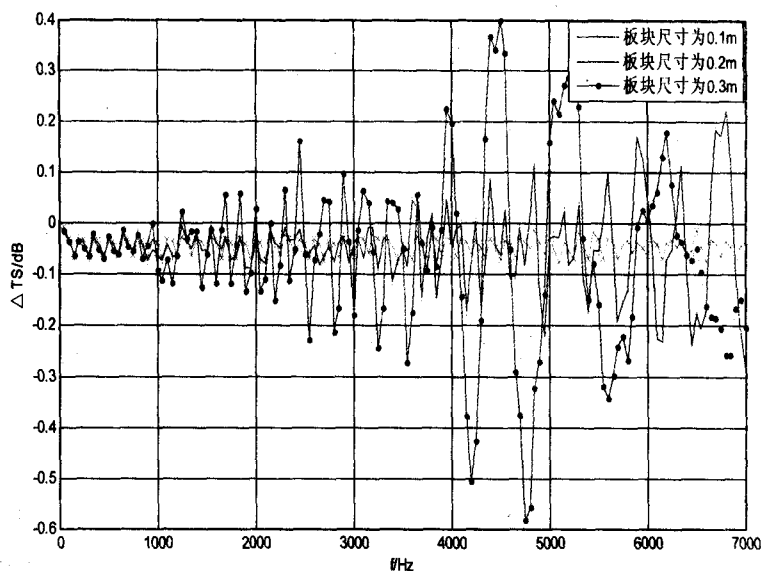


图 6 ΔTS 值随距离的变化曲线(2)

图 6 给出了球体半径为 5m, 板块最大尺寸分别为 0.1m, 0.2m, 声源距离为 1000m 的情况下, 板块元散射算法 TS 计算误差 ΔTS 随频率的变化曲线。从图中可以看出, 板块尺寸为 0.1m 和 0.2m 时计算结果与解析解之间的误差较小, 满足精度要求。相对于半径为 1m 的球体, 可以选取较大的板块尺寸。主要是因为对于较大的物体, 曲面半径相对较大, 采用较大的板块尺寸就可以精确地拟和目标曲面, 因此所导致的几何模型误差也相对较小。

3 结束语

板块元法是在对 Kirchhoff 积分公式高频近似的基础上, 采用几何建模的方法, 计算目标散射声场。板块元法可以计算水下任意复杂形状目标的高频回声特性。板块划分是板块元算法中的一个重要步骤。文中重点针对球体目标, 采用板块元算法与解析解进行对比, 分析板块尺寸对板块元散射算法精度的影响。通过一系列仿真可以看出, 板块尺寸对计算结果的影响主要是由板块拟和目标曲面所导致的几何模型误差和近似计算中计算模型误差二者引起。因此, 板块尺寸的选取通常应结合声源距离、信号频率、目标表面曲率半径和计算精度的要求进行。

参考文献:

- [1] 刘伯胜, 雷家煜. 水声学原理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2002.
- [2] Jiang Yongming, Feng Haihong, Hao Xinya, et al. A study on underwater target 2-dimensional highlight distribution[J]. Chinese Journal of Acoustics, 1997, 16(4): 301-312.
- [3] Tang Weilin. Highlight model of echoes from sonar targets

换特征提取方法通过 BP 网络、SOFM 网络、CPN 网络的人脸识别比较。

通过表 2 可以看出 CPN 神经网络与 BP、SOFM 神经网络相比具有收敛速度快、识别正确率高的优点,这是由于 CPN 前阶段采用 SOFM 网络的竞争学习规则,各神经元通过竞争来获取对输入模式的响应机会,最后仅有一个神经元成为竞争胜利者,并将与获胜神经元有关的各连接权值向着更有利于其竞争的方向调整,后阶段采用有导师的学习规则使实际输出不断向理想输出靠近。而 BP 神经网络是采用误差逆传播校正算法多层前馈型网络,必须进行训练来确定其网络连接的权值,当样本增加时,BP 神经网络需要重新训练,时间较长。由于 SOFM 网络不设理想输出,对样本类型自动归类,所以在训练时与 CPN 网络相比有较大误差。

3 结束语

提出了一种通过奇异值压缩降秩-KDA 变换提取人脸特征与 CPN(对偶传播神经网络)识别人脸相结合的新方法,该方法利用奇异值压缩降秩准则提取优秀奇异值并通过核判别分析方法提取最优非线性人脸特征和兼顾 BP 网络、SOFM 网络优点的 CPN 人工神经网络进行人脸识别分类,二者有效结合,实验结果表明该方法得到了较好的识别效果,是一种人脸识别的可行方法。

参考文献:

- [1] Bhowmik M K, Bhattacharjee D, Nasipuri M. Quotient Based Multiresolution Image Fusion of Thermal and Visual Images Using Daubechies Wavelet Transform[J]. IJCSI International Journal of Computer Science Issues, 2010, 7(3): 1065-1075.
- [2] Zou Jie, Ji Qiang, Nagy G. A Comparative Study of Local Matching Approach for Face Recognition[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(10): 958-965.
- [3] 陈献忠, 苏庆刚, 王耀明. 应用于人脸识别的结合 SVD 变换的图像类特征提取算法[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(9): 188-192.
- [4] Wang Z, Bovik A C. A universal image quality index[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(3): 81-89.
- [5] Beghdadi A, Pesquet-Popescu B. A new image distortion measure based on wavelet decomposition[C]//Proc of IEEE ISSPA 2003. Paris: [s. n.], 2003: 485-493.
- [6] 王建辉, 崔连延, 顾树生. 图像矩阵降维压缩的一种新方法[J]. 控制与决策, 2007, 22(12): 143-147.
- [7] 周晓彦, 郑文明. 一种融合 KPCA 和 KDA 的人脸识别新方法[J]. 计算机应用, 2008, 28(5): 202-206.
- [8] 周晓彦, 郑文明, 邹采荣, 等. 基于特征融合和模糊核判别分析的面部表情识别方法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(8): 165-171.
- [9] Bhowmik M K, Bhattacharjee D, Nasipuri M. Topological Change in Artificial Neural Network for Human Face Recognition[C]//Proceedings of National Seminar on Recent Development in Mathematics and Its Application. Tripura: Tripura University, 2008: 43-49.
- [10] 刘宏, 董镭. 基于人工神经网络的人脸识别分类器设计[J]. 鞍山科技大学学报, 2007, 30(4): 76-80.
- [11] 王孝国, 张雄伟. 基于 DCT 和 KDA 的人脸特征提取新方法[J]. 电子科技大学学报, 2006, 35(4): 245-249.
- [12] Baudat G, Anouar F. Generalized discriminant analysis using a kernel approach[J]. Neural Computation, 2000, 12(10): 2385-2404.
- [1] [J]. Chinese Journal of Acoustics, 1994, 13(2): 131-140.
- [4] 刘成元, 张明敏, 程广利. 一种改进的板块元目标回声计算方法[J]. 海军工程大学学报, 2008, 20(1): 25-31.
- [5] 范军, 汤渭霖. 声呐目标强度(TS)计算的板块元方法[J]. 声学技术, 1999(sup): 31-32.
- [6] 李建鲁, 范军, 汤渭霖. 水下简单形状目标回声的近远场过渡特性[J]. 上海交通大学学报, 2001, 35(12): 1846-1850.
- [7] 李建鲁. 水下目标近场回声特性及其声图像[D]. 上海: 上海交通大学, 2001.
- [8] 李 宁, 俞卞章. Gordon 板块元算法稳定性研究及其在电磁散射中的应用[J]. 电波科学学报, 1996, 11(1): 33-41.
- [9] Gordon W B. Far Field Approximations of the Kirchhoff-Helmholtz Representation of Scattered Fields[J]. IEEE Transactions on AP, 1975, 23(5): 864-876.
- [10] 范军, 万琳, 汤渭霖. 基于 3DS MAX 建模的目标强度 TS 计算[J]. 声学技术, 2000, 19(4): 203-204.
- [11] 陈刚, 赵玉奎, 徐春雨. 基于 ANSYS 的某活塞热应力分析[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(11): 214-216.
- [12] 罗建军, 杨琦. MATLAB 教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

(上接第 52 页)