

声呐图像背景灰度分布特性分析及模型研究

田晓东, 童继进, 刘 忠

(海军工程大学, 武汉 430033)

摘要: 在图像声呐滤波、分割以及目标识别中, 像素灰度分布特性及其模型的选择与建立具有非常重要的作用。针对当前声呐图像背景灰度分布模型研究尚不够深入的现状, 分别采用威布尔分布和瑞利分布模型对声呐图像背景区域像素点灰度分布进行了仿真验证。结果表明, 威布尔分布较瑞利分布来说能够更好地逼近图像声呐灰度分布曲线, 且具有较强的自适应性。但在某些情况下, 可采用瑞利分布替代威布尔分布, 以提高运算效率。

关键字: 灰度分布特性; 威布尔分布; 瑞利分布; 声呐图像

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2006)-05-0468-05

Background gray level distribution in sonar images

TIAN Xiao-dong, TONG Ji-jin, LIU Zhong

(Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Distribution of gray levels is important in filtering, segmentation and identification of sonar images. This paper uses the Weibull law and Rayleigh law for sonar imagery to study the problem. The results indicate that the Weibull law is more appropriate than the Rayleigh law since the former has stronger adaptability. Under some special conditions, however, the Rayleigh law may be used instead to improve the processing efficient.

Key words: gray level distribution; Weibull distribution; Rayleigh distribution; sonar image

1 引 言

近年来水下探测技术得到了极大地发展, 其应用范围也越来越广泛, 包括军事探测、海底测量、沉船打捞、水下管道检测等。基于高频成像声呐的水下声成像探测是其中的主要技术手段之一。尤其是, 合成孔径声呐的研制成功, 使得水下成像的距离和分辨率均得到了数量级上的提高和改善, 从而使得水下声成像技术的应用领域进一步得到扩展。由于水下声场环境的复杂性和声呐设备成像的非线性, 所采集到的水下图像声呐显示具有对比度低、成像质量差等特点。这些特点给后续的图像声呐目标检测

与识别分析等工作带来了很大的难度。

图像灰度分布模型的选择在一定程度上对于图像滤波的分割等处理算法的性能有着较大的影响。在雷达图像的灰度分布模型已得到了较为深入的研究, 目前采用的主要有 K-分布模型、Gamma 分布模型等, 且在雷达图像处理和目标识别领域起到了重要的作用。而对于图像声呐灰度分布模型的研究还比较少, 目前较为常用的几种噪声概率分布模型有: 威布尔分布、高斯分布、瑞利分布等。文献[1]中被污染的高斯分布描述待分割的图像。文献[2, 3]中分别以研究声呐的图像分割算法为前提, 对声呐图像的灰度分布模型进行了分析介绍。本文在综合分析文献算法的基础上, 着重对图像声呐图像显示背景混响区域的灰度分布模型进行了仿真计算分析, 对比各种模型的性能, 从而为图像声呐的理解与分析提供一定的理论基础, 也为研究基于模型的图像声呐

收稿日期: 2005-09-07; 修回日期: 2005-12-29

作者简介: 田晓东(1979-), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 图像处理与模式识别、最优化理论、水下声学探测技术等。

滤波、分割以及目标识别算法提供了必要的依据。

2 算法模型^[2,3]

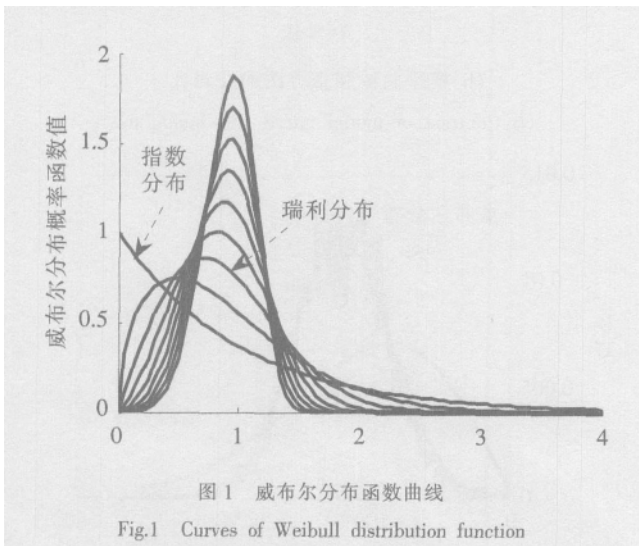
通常, 图像声呐显示包括三类区域: 回波区、阴影区和背景区。回波区主要由声波在目标表面的反射造成的, 而阴影区是由于目标物的遮挡使得声呐难以到达的区域。通常目标回波区含有的信息较阴影区少得多, 在进行目标识别时通常采用目标阴影进行特征提取。在探测水下掩埋物时, 不存在目标的阴影区域, 回波特征就成为唯一的可用于识别的信息。

由于图像声呐画面质量差、对比度低, 且其所包含的噪声主要以乘性斑点噪声为主, 如何滤除乘性噪声或减小其对后续处理的影响是图像声呐处理中较为难以解决的问题之一。目前在混响背景区大多采用具有较强自适应性的威布尔分布。

威布尔分布模型中含有多个自由度, 参数取值的不同可得到多种不同的分布特性, 瑞利分布和指数分布都是其中之一。因此, 对于噪声模型难以精确得到的图像声呐来说, 威布尔分布模型的自适应性可以更准确的描述图像声呐中噪声分布状态。总体来说, 威布尔分布模型具有两个参数, 表达式如下:

$$W_Y(y; \min, c, a) = \frac{c}{a} \left(\frac{y - \min}{a} \right)^{c-1} \exp \left(- \frac{(y - \min)^c}{a^c} \right) \quad (1)$$

其中, $y > \min$; a 为尺度参数, 且满足 $a > 0$; c 为形状参数, 且满足 $c > 0$ 。



对于服从威布尔分布的变量而言, 其 k 阶矩的表达式为:

$$E((y - \min)^k) = a^k \cdot \Gamma(1 + \frac{k}{c}) \quad (2)$$

相应地可得到与 c 有关的系数表达式 $kw(\delta)$:

$$kw(\delta) = \frac{\Gamma(1 + \frac{1}{c})}{\sqrt{\Gamma(1 + \frac{2}{c}) - \Gamma(1 + \frac{1}{c})^2}} \quad (3)$$

该系数性质表明图像中的斑点噪声可视为乘性噪声, 在图像声呐画面分割中可被用来表示图像像素间的连续性。

如图 1 所示, 当威布尔分布模型中参数 c 取不同的值时, 其对应的概率分布曲线会发生变化, 这正是威布尔分布的自适应性所在。在具体的应用过程中, 可根据实际待处理的声呐图像, 在处理过程中进行实时更新参数值, 以得到最逼近声呐显示图像灰度直方图分布的参数最优值。当 $c=1$ 时, 威布尔分布即为指数分布; 当 $c=2$ 时, 威布尔分布即为瑞利分布, 因此, 瑞利分布只是威布尔分布的一个特例。

即瑞利分布可以表示为:

$$W_Y(y; \min, c, a) = \frac{2 \cdot (y - \min)}{a^2} \cdot \exp \left(- \frac{(y - \min)^2}{a^2} \right) \quad (4)$$

对应地, 服从瑞利分布的变量的 k 阶矩表示为:

$$E((y - \min)^k) = (2a^2)^{k/2} \cdot \Gamma(1 + \frac{k}{2}) \quad (5)$$

由此可以推导出瑞利分布模型的均值 μ 和标准偏差 σ 之间的关系为:

$$\mu = k_R \cdot \sigma \quad (6)$$

式中, 系数 $k_R \approx 1.91$ 。

3 参数估计算法^[2,4]

由最大似然估计器可知, 威布尔分布参数 $\phi_{y1} = (\min, a, c)$ 应满足如下条件:

$$\hat{\phi}_{y1} = \underset{\phi_{y1}}{\operatorname{argmax}} \ln P_{Y/\phi_{y1}}(y/\phi_{y1}) \quad (7)$$

式中, $\ln P_{Y/\phi_{y1}}(y/\phi_{y1})$ 为概率函数的对数。

假设各变量之间相互独立, 则参数的最大似然估计为:

$$\ln L(\phi_{y1}) = \ln P_{Y/\phi_{y1}}(y/\phi_{y1}) = \ln \left\{ \left(\frac{c}{a^c} \right)^M \prod_{s=1}^M [(y_s - \min)^{c-1} \exp(-\frac{(y_s - \min)^c}{a^c})] \right\}$$

式中, M 为变量的个数。

由 $\partial \ln L(\phi_{y1}) / \partial \phi_{y1} = 0$, 可得:

$$\hat{m}_{\min} \approx y_{\min} - 1, y_{\min} = \min_s(y_s) \quad (8a)$$

定义 $\hat{y}_s = y_s - \hat{m}_{\min}$, 则有:

$$\hat{a} = \left(\frac{1}{M} \sum_{s=1}^M \hat{y}_s^{\hat{c}} \right)^{1/\hat{c}} \quad (8b)$$

$$\frac{\sum_{s=1}^M \hat{y}_s^{\hat{c}} \cdot \ln \hat{y}_s}{\sum_{s=1}^M \hat{y}_s^{\hat{c}}} - \frac{1}{M} \sum_{s=1}^M \ln \hat{y}_s = \frac{1}{\hat{c}} \quad (8c)$$

利用方程(8a)和方程(8b)即可估计威布尔分布的参数值。

4 评价准则

模型的性能可通过基于直方图的方法进行评估, 目前常用的两种准则分别是 χ^2 准则和 Kolmogorov 距离准则。其中 χ^2 准则估计的函数表达式为:

$$d\chi^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(h(i) - p(i))^2}{p(i)} \quad (9)$$

式中, h 为灰度图像的归一化直方图; p 为分布模型的概率值; G 为图像的灰度级, 本文中 $G=256$ 。

Kolmogorov 距离准则的评估函数定义如下:

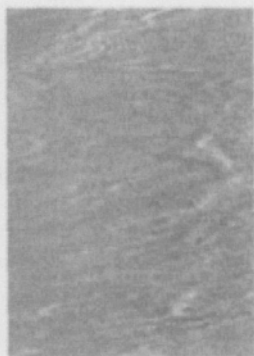
$$dk = \sum_{i=1}^G |h(i) - p(i)| \quad (10)$$

式中, 参数意义同式(9)。

本文中分别采用这两种评价准则对威布尔分布和瑞利分布的性能进行了计算和比较, 结果见表 1。

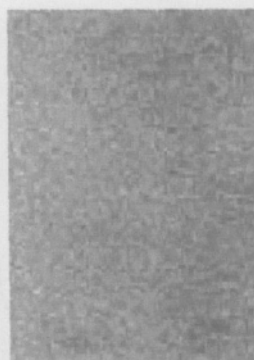
5 仿真分析

首先对声呐图像显示背景区域进行分析。结果如图 2 所示。图 2(a)、2(c)、2(e)、2(g) 以及 2(i) 分别为不同的声呐图像显示背景混响区域图。这些背景图的右边对应的分别是采用威布尔分布和瑞利分布得到的灰度分布概率曲线和图像灰度直方图曲线的对比。由图中可以看出, 采用威布尔分布模型能够更好地模拟背景混响区域的灰度分布情况。计算得到的威布尔



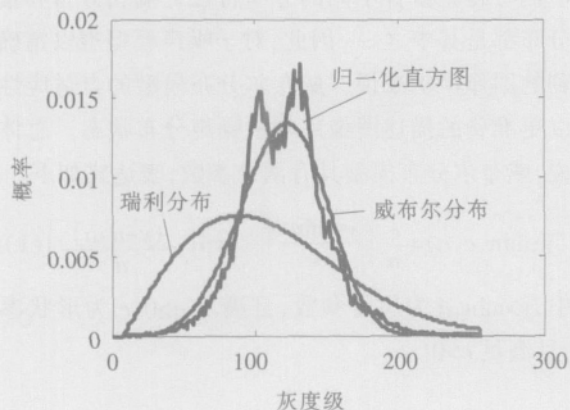
(a)背景区域原始图

(a)Original image of background region



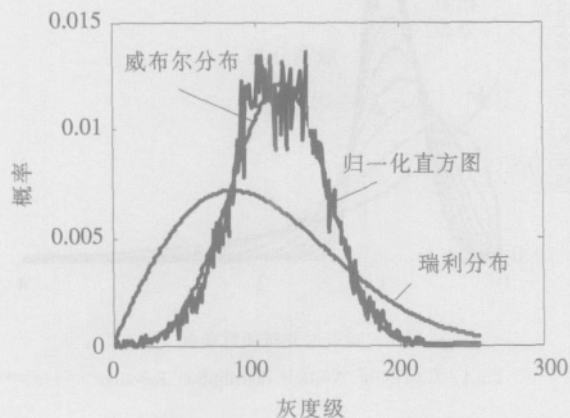
(c)背景区域原始图

(c)Original image of background region



(b)模型曲线和直方图曲线对比

(b)Contrast of model curve and histogram



(d)模型曲线和直方图曲线对比

(d)Contrast of model curve and histogram

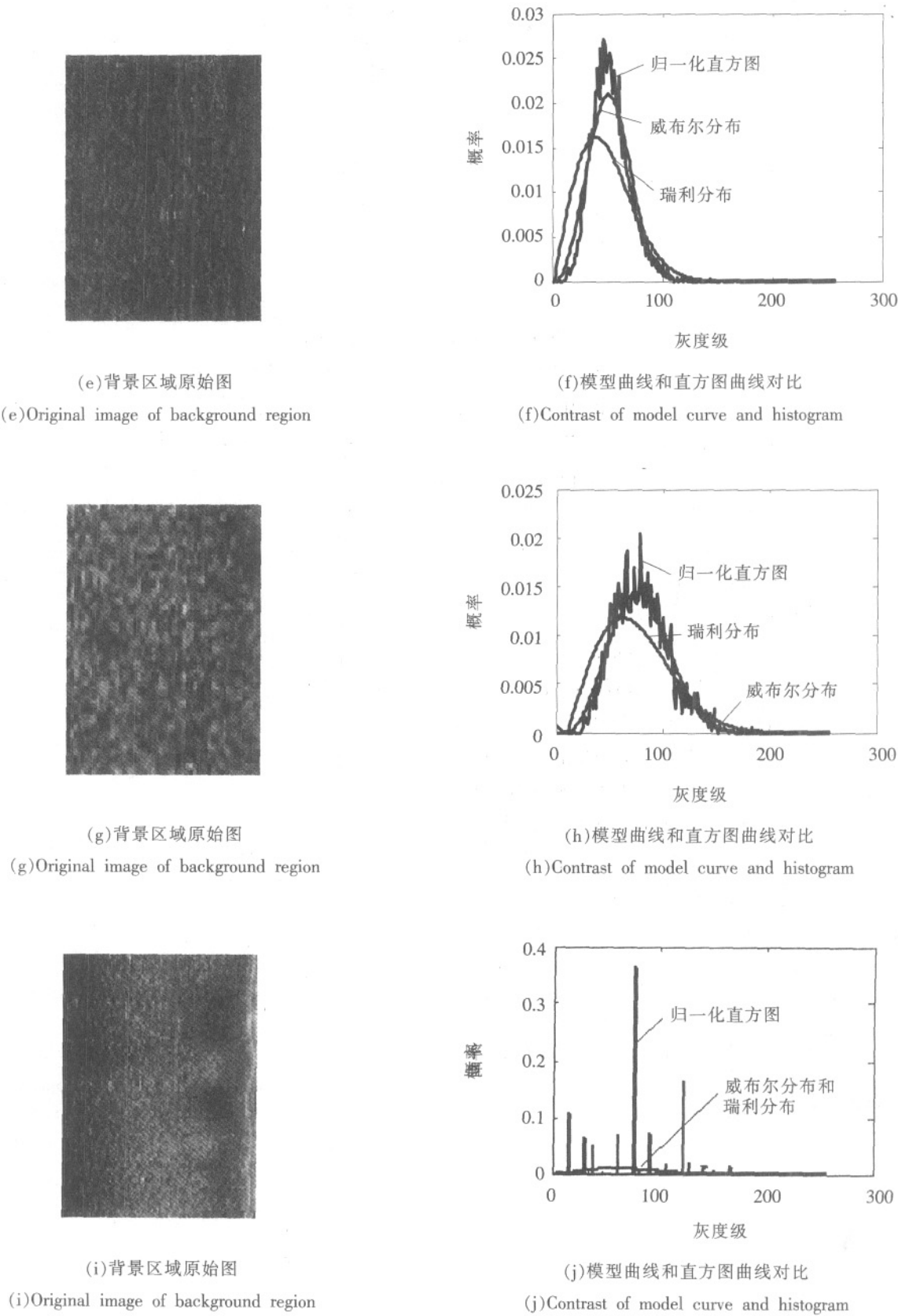


图 2 仿真结果图
Fig.2 Simulation results

表 1 威布尔分布和瑞利分布的性能比较

Table 1 Compare of performance for Weibull distribution and Rayleigh distributeon

		图 2(a)	图 2(c)	图 2(e)	图 2(g)	图 2(i)
形状参数值 c		4.1	4.3	3	2.76	2
χ^2 准则: $d\chi^2$	威布尔分布	0.2467	0.1998	0.2505	0.1628	24.1626
	瑞利分布	0.7099	0.5479	0.2973	0.1960	24.1627
Kolmogorov距离: dk	威布尔分布	0.2007	0.1199	0.1884	0.1837	1.8065
	瑞利分布	0.7537	0.6740	0.4573	0.3626	1.8069

分布模型的形状参数值如表 1 所示。

图 2(a)、(c)和(e)图中所得到的形状参数值同瑞利分布的参数取值相差较大,故其分布曲线具有较为明显的不同,此时可以认为不能用瑞利分布来近似声呐显示图像的灰度概率分布。而图 2(g)和 2(i)图中两种分布的最优形状参数的取值较为接近,尤其是(i)图中二者恰好相等。因此在系统要求精度不高或者为了满足实时性高的要求的条件下,可近似用瑞利分布代替威布尔分布作为声呐显示图像背景混响区域的灰度概率分布模型。

由表 1 中的 χ^2 准则和 Kolmogorov 距离的计算值可以看出,威布尔分布的逼近程度明显好于瑞利分布,其中采用 Kolmogorov 距离作为度量标准,两者之间的差距更加明显。而且可以看出两者之间的差别大小同形状参数值 c 之间的差别大小是相互对应的。

研究中也发现,对于背景混响区域的噪声分布模型来说,当海底纹理粗糙时,由于成像声呐的工作频率较高,声波较短,此时可用瑞利分布作为背景区域的噪声分布模型。使用瑞利分布代替威布尔分布的最大优势在于参数估计的计算量较小。在仿真过程中发现,威布尔分布中形状参数 c 的值的计算是一个比较费时的过程。对于瑞利分布而言,形状参数 c=2 为常数,从而由式(4)可知,尺度参数 a 也只与观测场数据有关。从而大大简化了参数估计的复杂性,提高了计算效率。

6 结 论

在图像声呐滤波、分割以及目标识别中,像素灰

度分布模型的选择与建立具有非常重要的作用。而当前声呐显示图像灰度分布模型研究尚不够深入,本文分别采用威布尔分布和瑞利分布模型对声呐显示图像灰度分布进行了仿真分析。结果表明,两种分布模型各有优缺点,威布尔分布模型自适应性较强,精度高,但其运算过程耗时较长,适用于系统要求精度高且实时性要求低的条件下;瑞利分布则精度较低,只在声纳图像背景较为粗糙的条件下能够逼近声呐显示图像灰度分布,但其运算简单,速度快,适用于系统要求精度不高且实时性要求较高的情况。本文研究得到的结论对于后续的声呐图像滤波和分割处理具有重要的理论价值。

参 考 文 献

[1] 陆明俊, 王润生. 基于 MRF 模型的可靠的图像分割[J]. 电子学报, 1999, 27(2): 87-89.
LU Mingjun, WANG Runsheng. Reliable Image segmentation based on markov Random Field Model [J]. ACTA ELECTRONICA SINICA, 1999, 27(2): 87-89.

[2] Max Mignotte, Christophe Collet, Patrick Perez. Sonar image segmentation using an unsupervised hierarchical MRF model[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2000, 9(7): 1216-1231.

[3] M Mignotte, C Collet. Three-class Markovian segmentation of high-resolution sonar image[J]. Computer vision and Image Understanding, 1999, 76(3): 191-204.

[4] Scott Reed, Yvan Petillot, Judith Bell. An automatic approach to the detection and extraction of mine features in sidescan sonar[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2003, 28(1): 90-105.