

利用传感器阵的多级振幅束控 提高定向精度的方法研究

陈 航, 刘东启, 王新宏

(西北工业大学航海工程学院, 陕西西安 710072)

摘 要: 本文探讨了在传感器阵的指向性设计中利用振幅束控提高系统定向精度的一种方法. 对等间隔线列阵采用多级切比雪夫加权的振幅束控方法, 并将不同约束条件下得到的指向性加以综合, 使合成的指向性在给定的旁瓣级条件下有效降低束宽.

关键词: 传感器阵; 多级振幅束控; 指向性综合

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 09-1228-02

Research on the Method to Raise Directional Precision by Array's Multi-Level Amplitude Shading

CHEN Hang, LIU Dong-qi, WANG Xin-hong

(Marine Engineering College of Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shanxi 710072, China)

Abstract: The article studies a method of raising directional precision by amplitude shading in sensor array's directivity design. Synthesized patterns with different restricted conditions can efficiently abase the width of beam on definite minor lobe levels, using multi-level Chebyshev weights on equidistant linear array.

Key words: sensor array; multi-level amplitude shading; directivity synthesis

1 引言

在声呐、雷达系统中, 传感器阵作为发射和接收信号的“神经末梢”, 其性能的优劣受到普遍的重视. 利用振幅束控改善阵的指向性以达到抑制噪声、最大限度地获取有用信号是常规阵设计中非常有效且性能稳定的重要方法. 结合时延形成的常规阵多波束系统在目标检测和定向等问题中已得到广泛的应用^[1,2]. 但必须看到, 在常规阵的设计中, 波束的宽度选择与旁瓣级控制是具有相互约束关系的^[3]. 为了有效地抑制干扰, 常规阵的设计通常都对旁瓣级进行了一定的控制, 这样势必导致其波束具有一定的宽度, 因而难以满足目标定向的高分辨率、高精度要求. 本文讨论在常规阵设计中利用多级振幅束控解决上述问题的一种方法. 在给定的波束宽度下, 对常规阵进行多级振幅束控, 获得低旁瓣级的指向性. 或者, 在保证常规阵具有所要求的旁瓣级条件下, 利用多级振幅束控有效地控制波束宽度, 以达到系统的高指向性.

2 阵的多级振幅束控

对等间隔线列阵或平面阵进行切比雪夫加权的振幅束控被认为是一种“最佳”的指向性设计. 阵的各个阵元采用级数与阵元数相应的切比雪夫多项式系数作为约束权值后所形成

的指向性函数为:

$$D(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^N a_i e^{-j(N-1)k d i \sin\theta}}{\sum_{i=1}^N a_i} \quad (1)$$

式中, a_i 为阵元权值, N, d, k 分别为阵元数, 阵元间距和波数. 相应的用分贝表示的功率指向性函数为:

$$b(\theta) = 20 \lg(D(\theta)) \quad (2)$$

例如, 以 8 个无指向性点源, 以 $d = \lambda/2$ 等间隔排列构成的线列阵, 采用切比雪夫束控方法形成阵的指向性, 当控制其最大旁瓣级为 $M_{dB} = -40\text{dB}$ 时, 指向性图主瓣的 -3dB 角宽度 $\Theta_{-3\text{dB}} = 18.0^\circ$ (图 1(a)). 为了得到比较窄的主瓣宽度, 必须以牺牲旁瓣级的升高为代价. 对上述阵形, 当控制其指向性图主瓣的 -3dB 角宽度为 $\Theta_{-3\text{dB}} = 10.0^\circ$ 时, 最大旁瓣级抬高到 $M_{dB} = -5\text{dB}$ (图 1(b)). 显然, 常规的束控方法在应用上受到一定的制约.

为了在常规波束形成时既能够有效地控制旁瓣级, 又能够使主瓣的宽度进一步减小, 可以对束控方法加以改进. 采用与数字多波束系统类似的处理方法, 将原来的一次束控过程分解成多级不同约束条件下的振幅束控, 每一级振幅束控采用按照不同的旁瓣级所要求的不同切比雪夫多项式系数对

收稿日期: 2000-07-20; 修回日期: 2001-01-05

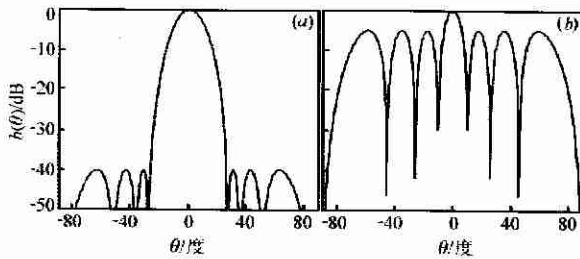


图 1 八元等间隔线列阵采用切比雪夫束控的功率指向性系统进行约束. 最终形成阵的指向性时, 必须对接收信号的方位依束控级数进行划分, 再按照每个划分方位内所相应的束控参数做指向性综合. 方位的划分范围可能有不同的选择, 但应该在本级束控指向性的主瓣 -3dB 角宽度 Θ_{-3dB} 和方向锐度角 Θ_0 之间选取一个确定值作为下限, 上一级束控的相应参数作为上限. 经过 $L+1$ 级振幅束控后阵的指向性函数为:

$$D(\theta) = \sum_{l=-L}^L \left(\frac{\sum_{i=1}^N a_{il} e^{-j(N-1)kd\sin\theta_i}}{\sum_{i=1}^N a_{il}} \right) \quad (3)$$

式中, a_{il} 和 θ_i 分别为相应于 l 级的束控因子和划分方位角.

3 利用多级振幅束控对阵的指向性综合

以上述阵形和相同的振幅束控方法为研究对象, 如果我们想得到这样的指向性:

不仅具有良好的旁瓣抑制, 并且其指向性图主瓣的 -3dB 角宽度较小. 例如, $M_{dB} = -40dB$, $\Theta_{-3dB} = 10^\circ$. 采用多级振幅束控, 第一级 ($l=0$) 束控, 使得阵的主瓣宽度为 $\Theta_{-3dB} = 10^\circ$, 旁瓣级 $M_{dB} = -5dB$.

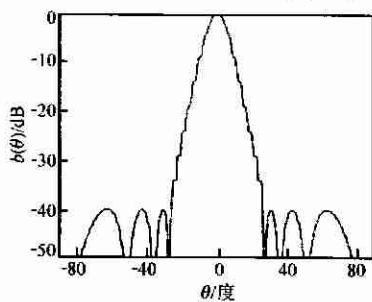


图 2 八元等间隔线列阵采用多级切比雪夫束控形成的指向性

以 -5dB 为间隔不断降低旁瓣级, 直至第八级 ($l=7$) 束控, 使得阵指向性主瓣的宽度为 $\Theta_{-3dB} = 18^\circ$, 旁瓣级降至 $M_{dB} = -40dB$. 以高于本级束控最大旁瓣级 1dB 相应的主瓣区域角宽度作为方位角 θ_l 划分的下限, 即:

$$[M_{dB} + 1]_l = 20 \cdot \lg \left[\frac{\sum_{i=1}^N a_{il} \cdot \exp(-j(N-1)kd\sin\theta_l)}{\sum_{i=1}^N a_{il}} \right] \quad (4)$$

上一级束控的相应参数 θ_{l+1} 作为本级上限, 则有:

$$\begin{aligned} \theta_{l=0} &= -6^\circ \sim 6^\circ, & \theta_{l=1} &= \pm 6^\circ \sim \pm 9^\circ \\ \dots, \dots, & & \theta_{l=7} &= \pm 24^\circ \sim \pm 90^\circ \end{aligned} \quad (5)$$

按照上述方法得到阵的指向性如图 2 所示.

可以看出, 采用本文的处理方法能够最大限度地利用传感器阵的有限孔径形成比较尖锐的指向性, 同时兼顾到实际应用中应保证其具有较低旁瓣级的要求.

4 结束语

本文探讨了在等间隔线列阵的指向性设计中利用多级切比雪夫振幅束控进行指向性综合的一种方法. 由于在一定程度上兼顾了波束宽度和旁瓣级之间的矛盾, 可以使系统在保证一定抗环境干扰能力的条件下有效提高其定向精度. 所述方法不仅适用于本文讨论的阵形和振幅束控方式, 对其它普遍的情况也可参考或应用.

参考文献:

[1] Quazi A H. An overview on the time delay estimate in active and passive system for target localization [J]. IEEE Trans., 1981, ASSP-29: 527 - 533.
 [2] Richard J Vauxano. The past, present, and future of underwater acoustic signal processing [J]. IEEE Signal Processing Magazine, July 1998: 21 - 51.
 [3] 袁易全, 雷家煜, 姚治国. 近代声学基阵原理及其应用 [M]. 南京大学出版社, 1994.

作者简介:



陈 航 男, 1956 年 12 月生于陕西西安, 西北工业大学航海工程学院电子信息工程专业教研室主任, 副教授, 硕士生导师. 主要从事水声学、水声传感器设计、阵列信号处理等方面的教学与科研工作.



刘东启 男, 1936 年 12 月生于河南新郑, 61 年毕业于西北工业大学应用电子技术专业并留校任教, 教授, 硕士生导师. 主要从事水下导引系统设计、水声信号处理等方面的教学与科研工作. 曾获得国家科技进步一等奖 1 项, 省部级科技进步二等奖 4 项, 三等奖 2 项, 在各类刊物上发表文章 12 篇.