

文章编号:1000-582X(2010)03-060-05

基于分段动态变迹技术的超声成像方法

陈民铀, 王伟明

(重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室; 电气工程学院, 重庆 400044)

摘要:在超声成像系统中,单一幅度变迹技术只能在一定的距离范围内获得较好的成像分辨率,该距离范围外,分辨率明显降低。而使用分段动态变迹技术就可以弥补这一缺点,在研究多种单一幅度变迹函数的波束 3 dB 等值线后,观察得到各函数最佳成像分辨率对应的距离范围。通过分段引入对应的变迹函数,从而得到了分段动态变迹技术的一种实现方法,然后绘出波束 3 dB 等值线以及仿真成像。证明该方式的分段动态变迹技术相比单一幅度变迹技术能够改善缺点,提高图像质量。

关键词:超声成像;波束合成;幅度变迹;分段动态变迹

中图分类号:TB553

文章标志码:A

Ultrasound imaging method based on segment dynamic apodization technology

CHEN Min-you, WANG Wei-ming

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology; College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: In the ultrasound imaging system, the main shortage of apodization technology is that, there is a better image resolution only in a limited region, out of the region, the resolution is significantly lower. The segment dynamic apodization can make up the shortcoming. After analyzing kinds of the 3dB isograms of the apodization function, the limited region with the best image resolution has been obtained. By way of sub-leading into the relevant apodization function, the segment dynamic apodization technology is implemented and used to plot the 3dB isogram and simulate the image. Simulation results show that the proposed method of segment dynamic apodization technology, can improve the image quality effectively.

Key words: ultrasound imaging; beam forming; apodization; segment dynamic apodization

在医学超声成像系统中,波束合成技术长期以来一直都是研究的热点技术^[1-3],技术的好坏能够直接影响到最终成像的质量。其中,波束合成技术包括聚焦技术、幅度变迹技术、动态孔径技术。而幅度变迹技术是其较为关键的一项技术。

前人已对幅度变迹技术做了大量的研究工作:

单一的幅度变迹技术,其函数形式总类多(hanning, hamming, blackman, 等),数学表达式简单,实现容易,但是都只能在较小范围获得小的旁瓣^[4-5]。分段动态变迹技术,其函数设计灵活性大,具有多种不同的实现方式。优点是可以在整个探测深度都获得小的旁瓣,缺点是函数设计过程较为复杂,而且通常得

收稿日期:2009-11-25

基金项目:广东省教育部产学研结合项目(2008B090500272)

作者简介:陈民铀(1954-),男,重庆大学教授,主要从事电磁信号检测与智能信息处理,(Tel)15909313969,
(E-mail)mchencqu@126.com。

到的是聚焦点的变迹系数,这就要求分段数目较多,计算繁琐^[6]。

笔者通过深入研究多种不同的单一幅度变迹函数,观察各种函数所形成的波束宽度曲线以及波束3dB等值线,寻找各自函数的较好影响区域,然后给出分段动态变迹技术的一种简单实现方式,该方式相比常规的分段动态变迹技术,虽然在全程成像质量上略不如后者,但实现过程大为简化,计算更简单,通常只需分为3段;而且相比单一幅度变迹技术,超声全程图像质量大大提升。

1 波束形成算法

目前超声成像中,最传统、最简单也是应用最广泛的成像方式为延时叠加(DAS)波束形成,通过延时叠加波束,可以使波束聚焦,提高分辨率,笔者就这种算法成像方式进行建模讨论,延时叠加波束形成可以同时发射和接收阶段对波束控制,因为受超声成像系统限制,信号通常只发射一次,以提高成像帧率,信号发射后便不能再对其控制,因此,分段动态变迹技术很明显不可能运用在发射阶段,只能用于接收阶段。超声成像系统通过延时叠加接收回波信号方式,如图1所示。

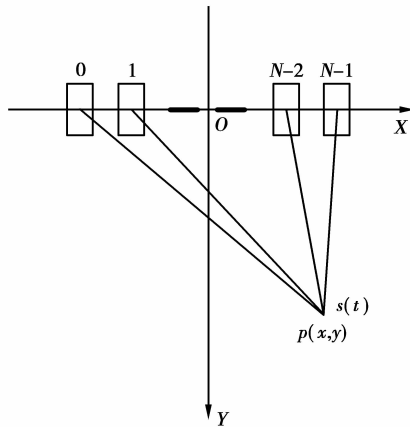


图1 延时叠加波束形成

所形成的波束效果为:

$$S_{DAS}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s(t - \frac{r}{c} - \tau_n) \quad (1)$$

引入幅度变迹后,式(1)变为:

$$S_{DAS}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n s(t - \frac{r}{c} - \tau_n) \quad (2)$$

式(2)中 $s(t)$ 为接收的超声回波信号; N 为阵元总数; $\frac{r}{c}$ 为线性阵列超声信号从空间某点 $p(x, y)$ 传播

到坐标原点的时间; τ_n 为对阵元 n 施加的聚焦延时; ω_n 为幅度变迹函数系数。

常见的幅度变迹函数有以下几种形式:

矩形窗函数: $\omega_n = 1;$ (3)

三角窗函数: $\omega_n = 1 - \frac{|n - (N-1)/2|}{(N-1)/2};$ (4)

余弦窗函数: $\omega_n = \cos(\frac{\pi n}{N-1});$ (5)

汉宁窗函数: $\omega_n = 0.5 - 0.5 \cos(\frac{2\pi n}{N-1});$ (6)

海明窗函数:

$$\omega_n = 0.54 - 0.46 \cos(\frac{2\pi n}{N-1});$$
 (7)

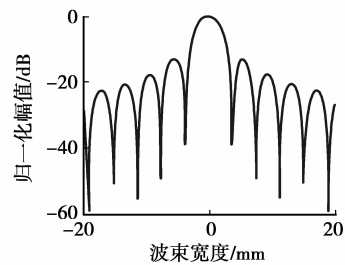
Blackman 窗函数:

$$\omega_n = 0.42 - 0.5 \cos(\frac{2\pi n}{N-1}) + 0.08 \cos(\frac{4\pi n}{N-1}),$$
 (8)

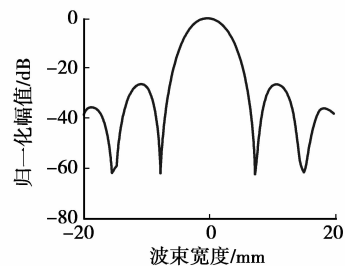
其中 $n=0, \dots, N-1, N$ 为阵元个数。

2 波束仿真分析

仿真参数: 阵元总数 $N = 32$, 声速 $c = 1540 \text{ m/s}$, 阵元间距等于波长, 即 $d = \lambda$, 聚焦点坐标 (X, Y) 为 $F(0, 120) \text{ mm}$ 。图2为运用延时叠加算法, 引入幅度变迹后得到的波束仿真图, 计算深度为 120 mm 。超声成像的分辨率往往可以用波束的3dB宽度来评价^[7]。图3则是计算不同深度的波束宽度分布曲线后(假设探测深度为 $2 \sim 20 \text{ cm}$), 所描绘的各种幅度变迹函数的波束3dB等值线。



(a) 矩形窗



(b) 三角窗

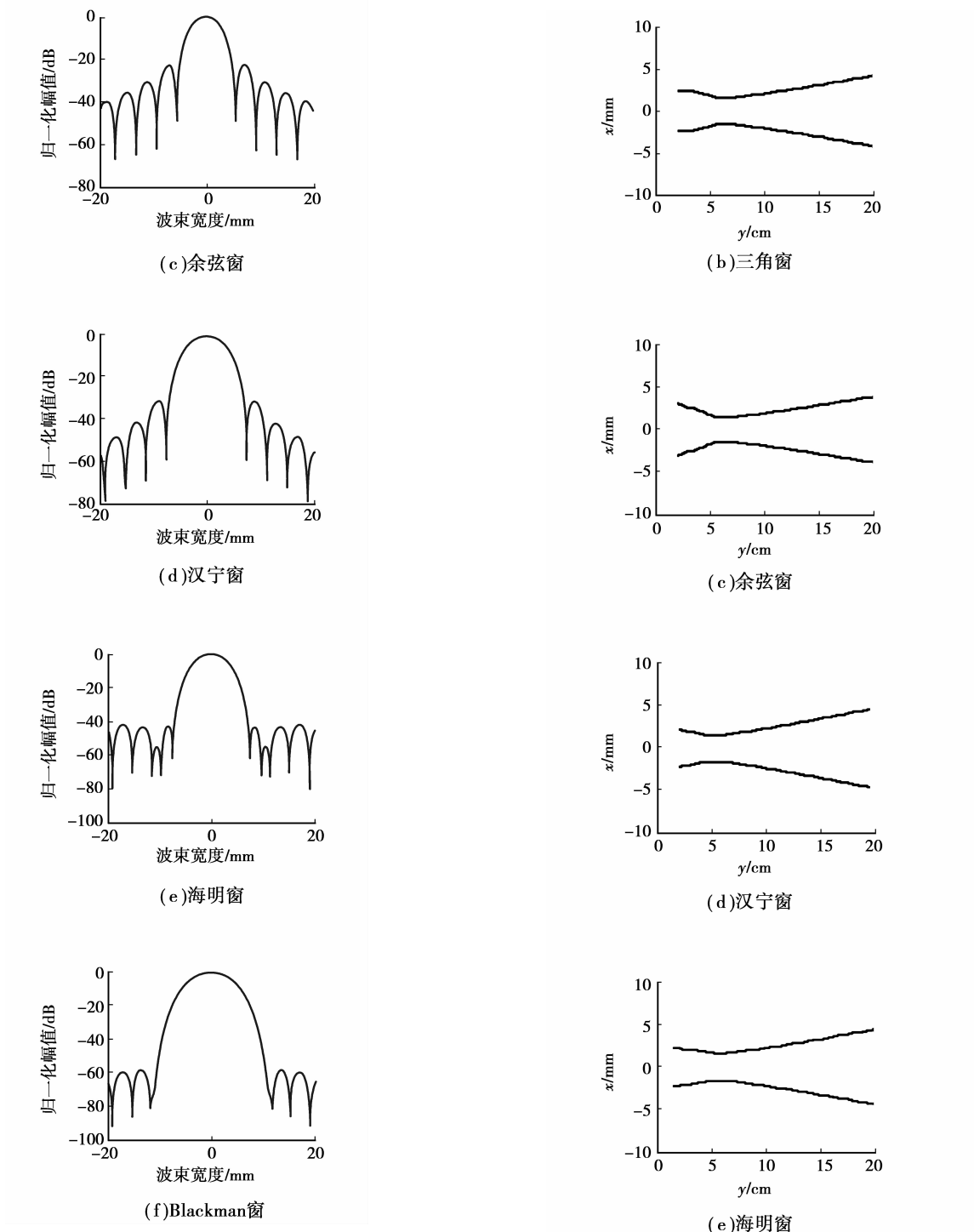


图 2 幅度变迹波束仿真图

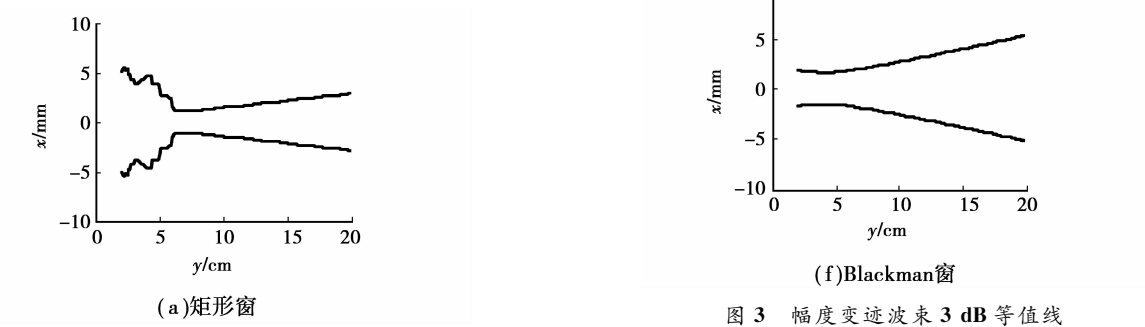


图 3 幅度变迹波束 3 dB 等值线

从图2中可以看出,旁瓣等级的下降是以增大主瓣宽度为代价,主瓣越窄,分辨率越高;旁瓣等级越低,成像对比度越好。从图3中可以看出,引入幅度变迹函数后,波束3 dB等值线发生变化,即成像分辨率发生变化,每种幅度变迹函数都有自身对应不同深度的最佳分辨率。例如,矩形窗在深度7~20 cm成像分辨率较好,汉宁窗在深度4~7 cm成像分辨率较好,Blackman窗在深度2~5 cm成像分辨率较好等。

3 分段动态变迹

从图3仿真中得到结论,单一幅度变迹函数能够获得一定区域的最佳分辨率。因此提出一种设想,在超声成像系统中,通过将探测深度分段,每段引入不同的幅度变迹函数,使该变迹函数能够获得该段区域的最佳分辨率,从而使得超声形成的图像分辨率在每个分段都有最佳效果,从而达到全程最优的目的,这就是分段动态变迹技术的思想。明显有分段越多,引入变迹函数种类越多,得到的图像效果质量更好,但是一味地增加分段数,不但使系统的负载程度增加,而且图像全程分辨率的提高效果不显著,因此笔者实现分段动态技术时,仅将分段数设为3段进行研究,而且从图3中也可以总结得到,3段分段已基本可以使图像分辨率全程较优。

设仿真参数不变,使用分段动态变迹技术进行超声成像,将探测深度分为3段,2~5 cm,5~7 cm,7~20 cm,分别使用Blackman窗、汉宁窗、矩形窗函数进行幅度变迹计算,最终得到一个3段分段动态变迹技术的波束3 dB等值线,如图4所示。

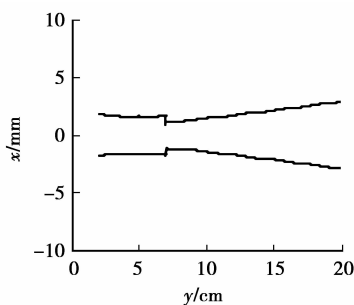


图4 分段动态变迹波束3dB等值线

从图4可以看出,使用分段动态变迹技术后,图像分辨率对比图3使用任何单一幅度变迹函数而言,全程效果明显较好。

4 超声成像仿真

通过超声成像仿真软件研究,直接观察2种不

同技术的成像质量。仿真软件采用目前最流行的快速超声成像(FUI)仿真平台Field_II,仿真的效果与实际成像很接近,已被国际上广泛认同为仿真超声系统的标准。基本仿真参数设置为:阵元总数 $N=32$,中心频率 $f_0=3.5$ MHz,声速 $c=1.54$ mm/ μ s,阵元间距为 λ ,发射和接收焦点都设定在120 mm深度,19个散射点空间坐标 (x,y,z) 为 $(0,0,20)$, $(0,0,30)$, $(0,0,40)\dots(0,0,190)$, $(0,0,200)$ 。图5为超声成像仿真图,a,b,c,d,e,f是使用单一幅度变迹技术,分别使用矩形窗、三角窗、余弦窗、汉宁窗、海明窗、Blackman窗函数,g使用分段动态变迹技术,分3段,在深度20~60 mm,60~90 mm,90~200 mm分别使用Blackman窗、汉宁窗、矩形窗。

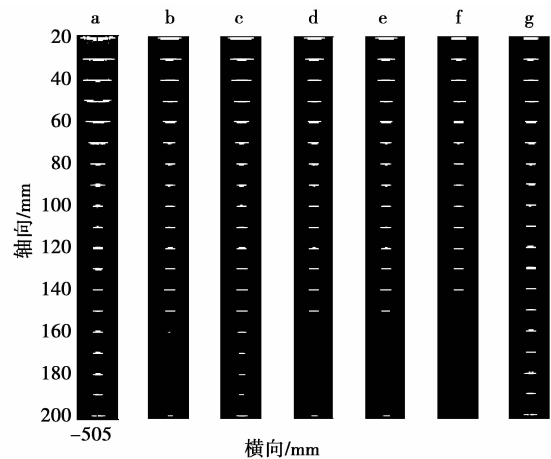


图5 超声成像仿真图

从图5中可以看出,使用单一形式的幅度变迹技术的超声成像,仅在一定成像区域具有较好的分辨率,其中g图使用了分段动态变迹技术的超声成像,其成像质量明显在全程上优于单一形式幅度变迹技术的超声成像。

5 结语

通过分析讨论,可以看出,在超声成像系统中,该方式的分段动态变迹技术相比单一的幅度变迹技术,能够明显改善图像质量,而且分段数目较少,实现也较为容易,其缺点主要是,当改变探测环境以及变化系统参数时,如何分段以及对应采用何种窗函数,不能通过具体公式计算得到,只能通过仿真观察得到。

参考文献:

- [1] GUENTHER D A, WALKER W F. Optimal apodization design for medical ultrasound using constrained least squares Part I: Theory[J]. IEEE Transactions on, Ultrasonics, Ferroelectrics and

- Frequency Control, 2007, 54(2) :332-342.
- [2] GUENTHER D A, WALKER W F. Optimal apodization design for medical ultrasound using constrained least squares Part II; Simulation results [J]. IEEE Transactions on, Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2007, 54(2) : 343-358.
- [3] SYNNEVAG A, AUSTENG A, HOLM S. Adaptive beamforming applied to medical ultrasound imaging[J] IEEE Transactions on, Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2007, 54(8):1606-1613.
- [4] 彭虎. 超声成像算法导论[M]. 合肥:中国科技大学出版社, 2008.
- [5] 冯诺. 超声手册[M]. 南京:南京大学出版社, 1999.
- [6] MILLER S C. Method and apparatus for distributed, agile calculation of beamforming time delays and apodization values; US, 6123671[P]. 2000-09-26.
- [7] 易际平. 线阵 B 超的声场分布[J]. 生物医学工程杂志, 1986, 3(4):235-240.
YI JI-PING. Sound field distribution of linear B-scan ultrasonic array[J]. Journal of Biomedical Engineering, 1986, 3(4) : 235-240.
- [8] 左月萍, 孙肖子, 黄宇星. 超声波声场的计算方法[J]. 西安电子科技大学学报, 2000, 27(4):419-423.
ZUO YUE-PING, SUN XIAO-ZI, HUANG YU-XING. The method for calculating the ultrasound field[J]. Journal of Xidian University. 2000, 27(4):419-423.
- [9] 仇傲, 周山宏, 刘春梅. 数字化 B 超中的频率补偿滤波[J]. 电子科技大学学报, 2007, 36(4): 798-800.
QIU AO, ZHOU SHAN-HONG, LIU CHUN-MEI. Frequency-dependent compensation filter used in digital B-scan ultrasonic instrument[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2007, 36(4): 798-800.
- [10] RAUM K, OBRIEN W D Jr. Pulse-echo field distribution measurement technique for high-frequency ultrasound sources [J]. IEEE Transactions on, Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 1997, 44(2):1747-1750.
- [11] YLITALO J T, ERMERT H. Ultrasound synthetic aperture imaging; Monostatic approach [J]. IEEE Transactions on, Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 1994, 41(3): 333-339.
- [12] SEO C, YEN J. Sidelobe suppression in ultrasound imaging using dual apodization with cross-correlation[J]. IEEE Transactions on, Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2008, 55(10): 2198-2210.
- [13] YAYUN W, EBBINI E S. Imaging with concave large-aperture therapeutic ultrasound arrays using conventional synthetic-aperture beamforming[J]. IEEE Transactions on, Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2008, 55(8):1705-1718.
- [14] NOBEL J A, BOUKERROUI D. Ultrasound image segmentation; A Survey [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2006, 25(8):987-1010.
- [15] THIJSEN J M, STARKE A, WEIJERS G, et al. Computer-aided B-mode ultrasound diagnosis of hepatic steatosis: A feasibility study [J]. IEEE Transactions on, Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2008, 55(6): 1343-1354.

(编辑 王维朗)

(上接第 59 页)

- [7] van DER ZEE D J. Modeling decision making and control in manufacturing simulation [J]. International Journal of Production Economics, 2006, 100 (1): 155-167.
- [8] SCHLICK C, REUTH R, LUCZAK H. A comparative simulation study of work processes in autonomous production cells [J]. International Journal of Human Factors in Manufacturing, 2002, 12(1):31-54.
- [9] ZHANG X, SCHMIDT L, SCHLICK C, et al. A human task-oriented simulation study in autonomous production cells[J]. International Journal of Production Research, 2008, 46(18):1-29.
- [10] 张晓冬, 杨育, 易树平, 等. 制造系统人因仿真参考模型及若干关键技术研究 [J]. 机械工程学报, 2006, 42(3): 56-64.
ZHANG XIAO-DONG, YANG YU, YI SHU-PING, et al. Reference model and key technology for human factors simulation in manufacturing systems[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42 (3): 56-64.
- [11] ZÜLCH G, ROTTINGER S. Approach for personnel development planning based on the technology calendar concept [J]. International Journal of Production Economics, 2007, 105(1):273-281.
- [12] ZÜLCH G. Modelling and simulation of human decision-making in manufacturing systems [C] // Proceedings of the 38th Conference on Winter Simulation, Dec. 3-6, 2006, Monterey, Canada. [S. l.]: IEEE, 2006: 947-953.
- [13] OLHAGER J, PERSSON F. Advances in production management systems [M]. Boston, USA: Springer, 2007.
- [14] VASANT P, NAGARAJAN R, YAACOB S. Decision making in industrial production planning using fuzzy linear programming [J]. IMA Journal of Management Mathematics, 2004, 15(1): 53-65.
- [15] 罗耀光. 模式识别[M]. 北京:人民邮电出版社, 1989: 90-93.

(编辑 张 苹)