



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109785271 A

(43)申请公布日 2019.05.21

(21)申请号 201910138845.X

(22)申请日 2019.02.25

(71)申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 陈晓冬 邓惟心 杨晋 吉佳瑞

汪毅 蔡怀宇

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代

理事务所 12201

代理人 刘子文

(51)Int.Cl.

G06T 5/00(2006.01)

G16H 30/40(2018.01)

A61B 8/12(2006.01)

A61B 8/08(2006.01)

权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法

(57)摘要

本发明公开一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法,本发明算法结合了编码激励技术以及相干系数算法的优点:通过编码激励技术,将超声波的发射激励信号由传统的单正弦脉冲信号改为序列编码信号,增加编码长度从而提高了超声波的平均发射功率,进而提升图像的信噪比;利用互补序列良好的自相关性进行脉冲压缩,有效消除了成像的轴向旁瓣,提高了轴向分辨率;最后通过相干系数自适应波束形成算法,人为降低非相干能量,即噪声信号的能量在整幅图像中的比重,抑制图像中的高斯噪声和旁瓣噪声,提高了图像的横向分辨率。



1. 一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:分别利用二元互补序列对的A、B序列作为超声换能器的激励信号,激发超声换能器单个阵元发射超声波;

步骤2:在超声波传播遇到障碍物时,声波会发生反射,此时利用超声换能器所有阵元对回波信号进行接收并缓存;

步骤3:分别利用匹配滤波器对A、B序列的回波信号进行脉冲压缩并将压缩后的数据求和,得到一次成像需要的完整回波数据;

步骤4:对回波数据进行延时叠加处理,获得一幅低分辨率图像;

步骤5:对超声换能器的N个阵元均进行步骤1-4的操作,获得N幅低分辨率图像,N为2的整数次幂;

步骤6:利用得到的N幅低分辨率图像计算相干系数;

步骤7:将相干系数作为权值,对所有低分辨率图像进行加权叠加得到成像结果。

2. 根据权利要求1所述一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法,其特征在于,步骤1中的二元互补序列对是一对等长的、由两种元素构成的二进制序列,其编码方式为:在任何给定间隔下,一个序列中相同元素对的个数等于另一个序列中相异元素对的个数;编码长度为M的互补序列对表示为A ($a_0, a_1, \dots, a_{M-1}$) 和B ($b_0, b_1, \dots, b_{M-1}$),其中 a_i 和 b_i ($i = 0, \dots, M-1$) 为1或-1。

3. 根据权利要求1所述一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法,其特征在于,步骤3中,利用匹配滤波器实现脉冲压缩是通过利用互补序列对的自相关性,互补序列对的A、B序列分别作自相关运算后得到的结果如下:

$$X_j = \begin{cases} \sum_{i=j}^{i=M-1} a_i a_{i-j} & j = 0, 1, \dots, M-1 \\ \sum_{i=0}^{i=M-1+j} a_i a_{i-j} & j = M+1, \dots, -1 \end{cases}$$

$$Y_j = \begin{cases} \sum_{i=j}^{i=M-1} b_i b_{i-j} & j = 0, 1, \dots, M-1 \\ \sum_{i=0}^{i=M-1+j} b_i b_{i-j} & j = M+1, \dots, -1 \end{cases}$$

其中, X_j 是A序列的自相关函数, Y_j 是B序列的自相关函数,通过将二者的自相关函数相加得到:

$$X_j + Y_j = 2M \quad j = 0$$

$$X_j + Y_j = 0 \quad j \neq 0。$$

4. 根据权利要求1所述一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法,其特征在于,步骤6中,利用多幅低分辨率图像计算相干系数的公式如下:

$$CF = \frac{\text{coherent sum}}{\text{total energy}} = \frac{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(k) \right]^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x_i(k)]^2}$$

其中, N 为超声换能器阵元数, $x_i(k)$ 代表第 i 个超声换能器阵元接收到的回波信号, k 为渡越时间索引,各个超声换能器阵元接收到的成像点位置的超声回波信号是成像需要的目标信号;所有目标信号的幅值和相位相同,而噪声信号的幅值和相位则有差异;若超声回波信号中只存在目标信号,则 CF 值为1,表示超声换能器接收到的回波信号完全相干;反之若超声换能器接收到的回波信号的总和为零,则 CF 值为0,代表超声换能器接收到的回波信号完全不相干; CF 的取值范围在0~1之间。

一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法

技术领域

[0001] 本发明涉及医用超声内镜成像领域,具体涉及一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法。

背景技术

[0002] 超声内镜通过医用电子内镜的活检钳道将集成了超声换能器的探头送入人体,通过超声换能器发射和接收超声波并对回波信号进行处理计算,即可得到人体器官的超声扫描图像,从而对相应位置的病变进行检测。

[0003] 在超声成像过程中,传统的波束合成算法为延时叠加算法(Delay and Sum,DAS),此法仅能实现回波数据接收聚焦,且无自适应性,成像的效果较差。受雷达成像的合成孔径技术启发,丹麦的Jensen等提出了合成孔径超声成像算法(Synthetic Aperture,SA),通过改变发射阵元的位置来实现较大的发射孔径,从而提高成像质量。合成孔径算法中实现了超声波发射和接收的双向动态聚焦,但仍然存在较大的横向旁瓣噪声,且无法实现对纵向分辨率的提升。

[0004] 临床超声检查中,为了防止超声的热效应和空化效应可能给病人带来的伤害,需要限制超声波的平均功率和峰值功率。而在单脉冲激励中,由于信号占空比小,在超声波峰值功率接近限制标准时,其平均功率往往不到限制值的1%,因此,参与成像的超声波能量较小,导致生成图像信噪比低,影响成像质量。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了克服现有技术中的不足,提供一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法,利用长编码激励的方式激发超声波,可以增大发射信号的能量,提高生成图像的信噪比;对脉冲压缩可以实现图像轴向分辨率的提升;再利用相干系数自适应算法对图像中的噪声进行抑制。通过该算法可以提高超声图像的空间分辨率和信噪比。

[0006] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法,包括以下步骤:

[0008] 步骤1:分别利用二元互补序列对的A、B序列作为超声换能器的激励信号,激发超声换能器单个阵元发射超声波;

[0009] 步骤2:在超声波传播遇到障碍物时,声波会发生反射,此时利用超声换能器所有阵元对回波信号进行接收并缓存;

[0010] 步骤3:分别利用匹配滤波器对A、B序列的回波信号进行脉冲压缩并将压缩后的数据求和,得到一次成像需要的完整回波数据;

[0011] 步骤4:对回波数据进行延时叠加处理,获得一幅低分辨率图像;

[0012] 步骤5:对超声换能器的N个阵元均进行步骤1-4的操作,获得N幅低分辨率图像,N为2的整数次幂;

[0013] 步骤6:利用得到的N幅低分辨率图像计算相干系数;

[0014] 步骤7:将相干系数作为权值,对所有低分辨率图像进行加权叠加得到成像结果。

[0015] 进一步的,步骤1中的二元互补序列对是一对等长的、由两种元素构成的二进制序列,其编码方式为:在任何给定间隔下,一个序列中相同元素对的个数等于另一个序列中相异元素对的个数;编码长度为M的互补序列对表示为A ($a_0, a_1, \dots, a_{M-1}$) 和B ($b_0, b_1, \dots, b_{M-1}$), 其中 a_i 和 b_i ($i=0, \dots, M-1$) 为1或-1。

[0016] 进一步的,步骤3中,利用匹配滤波器实现脉冲压缩是通过利用互补序列对的自相关性,互补序列对的A、B序列分别作自相关运算后得到的结果如下:

$$[0017] \quad X_j = \begin{cases} \sum_{i=j}^{i=M-1} a_i a_{i-j} & j = 0, 1, \dots, M-1 \\ \sum_{i=0}^{i=M-1+j} a_i a_{i-j} & j = M+1, \dots, -1 \end{cases}$$

$$[0018] \quad Y_j = \begin{cases} \sum_{i=j}^{i=M-1} b_i b_{i-j} & j = 0, 1, \dots, M-1 \\ \sum_{i=0}^{i=M-1+j} b_i b_{i-j} & j = M+1, \dots, -1 \end{cases}$$

[0019] 其中, X_j 是A序列的自相关函数, Y_j 是B序列的自相关函数,通过将二者的自相关函数相加得到:

$$[0020] \quad X_j + Y_j = 2M \quad j=0$$

$$[0021] \quad X_j + Y_j = 0 \quad j \neq 0$$

[0022] 进一步的,步骤6中,利用多幅低分辨率图像计算相干系数的公式如下:

$$[0023] \quad CF = \frac{\text{coherent sum}}{\text{total energy}} = \frac{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(k) \right]^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x_i(k)]^2}$$

[0024] 其中,N为超声换能器阵元数, $x_i(k)$ 代表第i个超声换能器阵元接收到的回波信号,k为渡越时间索引,各个超声换能器阵元接收到的成像点位置的超声回波信号是成像需要的目标信号;所有目标信号的幅值和相位相同,而噪声信号的幅值和相位则有差异;若超声回波信号中只存在目标信号,则CF值为1,表示超声换能器接收到的回波信号完全相干;反之若超声换能器接收到的回波信号的总和为零,则CF值为0,代表超声换能器接收到的回波信号完全不相干;CF的取值范围在0~1之间。

[0025] 与现有技术相比,本发明的技术方案所带来的有益效果是:

[0026] 本发明提出的内镜超声成像算法结合了编码激励技术以及相干系数算法的优点:通过编码激励技术,将超声波的发射激励信号由传统的单正弦脉冲信号改为序列编码信号,增加编码长度从而提高了超声波的平均发射功率,进而提升图像的信噪比;利用互补序列良好的自相关性进行脉冲压缩,有效消除了成像的轴向旁瓣,提高了轴向分辨率;最后通过相干系数自适应波束形成算法,人为降低非相干能量,即噪声信号的能量在整幅图像中的比重,抑制图像中的高斯噪声和旁瓣噪声,提高了图像的横向分辨率。

附图说明

[0027] 图1是本发明基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法的实施流程图。

[0028] 图2-1、图2-2和图2-3分别是A序列自相关函数图、B序列自相关函数图及A,B序列自相关函数和的示意图。

[0029] 图3-1、图3-2和图3-3分别是采用SA算法、Barker编码SA算法和本发明算法(CFCS)超声成像后的结果对比图。

具体实施方式

[0030] 以下结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0031] 本发明提供一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法,如图1所示:

[0032] 101.分别利用二元互补序列对的A,B序列代替原有的正弦信号激励超声换能器的第一个阵元发射超声波;此处用的A,B序列为等长的互补序列,分别记为 $G_a(n)$ 和 $G_b(n)$ 。在任何给定间隔下,一个序列中相同元素对的个数等于另一个序列中相异元素对的个数。

[0033] 102.在第一个超声换能器阵元收到激励信号发射超声波后,利用超声换能器的所有阵元对回波信号进行接收。由于分别使用了A,B两种序列信号,因此需要分别接收回波信号。记A,B序列的回波信号分别为 $F_a(n)$ 和 $F_b(n)$,将两次回波信号分别进行缓存。

[0034] 103.分别利用匹配滤波器对A,B序列激发的超声波的回波信号进行脉冲压缩并将压缩后的数据求和,得到一次成像需要的完整回波数据;对于二元互补序列来说,其脉冲压缩时用到的匹配滤波器为发射的编码信号在时间上的反转。经过压缩后的回波信号可以表示为:

$$[0035] \quad M_a = F_a(n) * G_a(-n)$$

$$[0036] \quad M_b = F_b(n) * G_b(-n)$$

[0037] 其中, M_a 代表A序列进行脉冲压缩后的数据, M_b 代表B序列进行脉冲压缩后的数据。将压缩后的回波信号相加,可以得到一组完整的回波数据。由于二元互补序列优异的自相关性,脉冲压缩后的信号可以看作理想的冲激函数,因此叠加后的回波信号可以完全消除成像过程中可能产生的轴向距离旁瓣并减小声波主瓣宽度,从而提升轴向分辨率。其消除距离旁瓣的原理图如图2-1至图2-3..

[0038] 104.对回波数据进行延时叠加处理,获得一幅低分辨率的超声图像 LRI_1 , LRI_1 中的下角标1指此低分辨率图像是由第一个超声换能器阵元发射超声波,所有阵元接收超声波得到的回波数据生成的。

[0039] 105.对所有阵元依次进行上述步骤的编码激励,在每次发射时控制所有阵元进行回波的接收并对回波数据进行压缩。第 i 个阵元单独发射时接收到的回波数据可以生成一幅低分辨率图像 LRI_i 。假设超声换能器有 N 个阵元,则 N 个阵元均发射后,可以得到 N 幅低分辨率图像。 N 取大于1的正整数,如8,16,32,64,128等。

[0040] 106.利用多幅低分辨率图像计算图像中每个点的能量的相干系数。相干系数的定义为回波信号中相干能量占总能量的比重。计算公式为:

$$[0041] \quad CF = \frac{\text{coherent sum}}{\text{total energy}} = \frac{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(k) \right]^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x_i(k)]^2}$$

[0042] 其中, N 为超声换能器阵元数, $x_i(k)$ 代表第 i 个超声换能器阵元接收到的回波信号, k 为渡越时间索引。在 SA 算法中, 各个超声换能器阵元接收到的成像点位置的超声回波信号 (目标信号) 的幅值和相位相同, 而噪声信号的幅值和相位则有差异。若回波信号中只存在目标信号, 则 CF 值为 1, 表示超声换能器接收到的回波信号完全相干; 反之若超声换能器接收到的回波信号的总和为零, 则 CF 值为 0, 代表超声换能器接收到的回波信号完全不相干。 CF 的取值范围在 0~1 之间, 其值越大代表该成像点的超声回波信号中相干能量所占比率更高, 即噪声信号所占比率更小。

[0043] 107. 将相干系数作为权值, 参与到高分辨率图像的生成过程中。对于目标点, 其权值为 1, 则信号完整保留; 而对于噪声点, 其权值小于 1, 且噪声越大其权值越小。最后经过该算法生成的高分辨率图像 HRI 的公式如下:

$$[0044] \quad HRI = \sum_{i=1}^N CF * LRI_i$$

[0045] 利用相干系数人为降低了回波信号中非相干能量的比重, 因此可以改善成像质量。

[0046] 将本发明算法 (CFCS) 与传统合成孔径算法 (SA), 基于 Barker 编码激励的合成孔径算法 (BarkerSA) 的成像效果进行对比, 结果如图 3-1 至图 3-3。从图中可以直观看出, 本算法可以滤除图像中的高斯噪声和旁瓣噪声, 且轴向压缩效果优于其他算法; 对图像的各项评价标准进行定量分析, 相较于基于 Barker 编码激励的合成孔径算法 (BarkerSA), 本发明算法可以有效消除距离旁瓣, 轴向分辨率提升了 47.4%; 相较于 SA 算法, 本发明算法在横向分辨率上提升 24.4%, 信噪比提升了 18dB。

[0047] 本发明并不限于上文描述的实施方式。以上对具体实施方式的描述旨在描述和说明本发明的技术方案, 上述的具体实施方式仅仅是示意性的, 并不是限制性的。在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下, 本领域的普通技术人员在本发明的启示下还可做出很多形式的具体变换, 这些均属于本发明的保护范围之内。

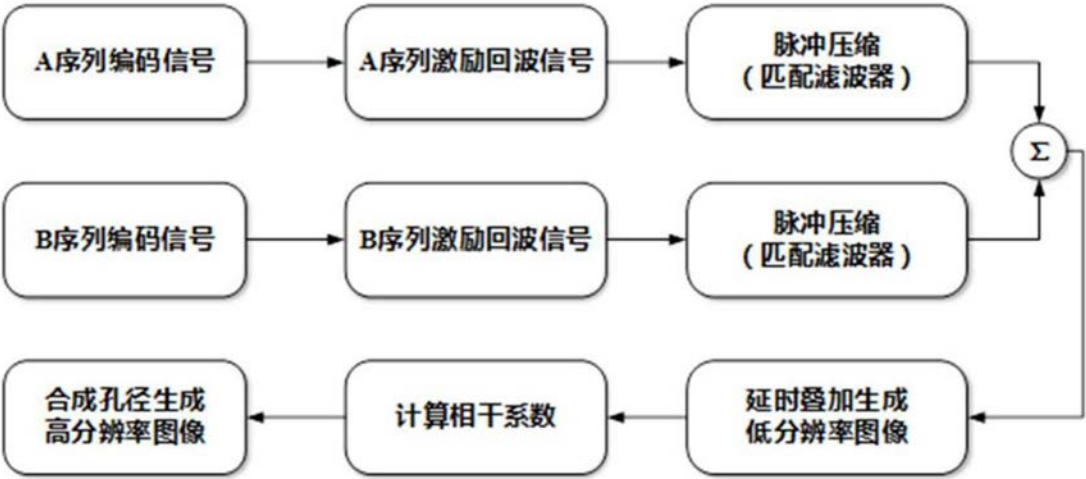


图1

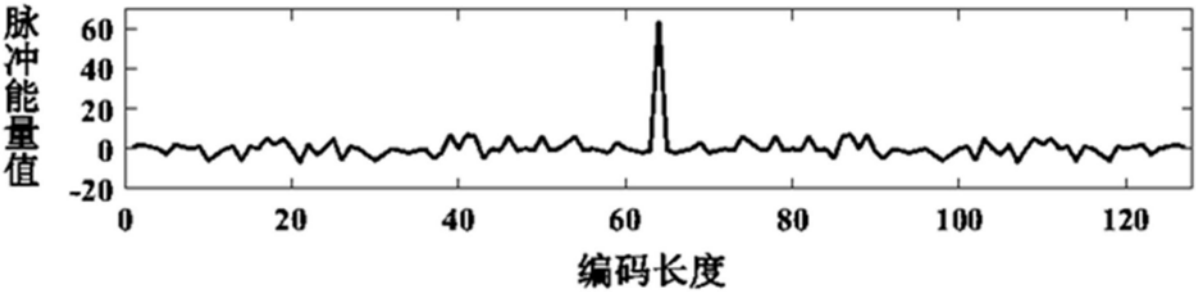


图2-1

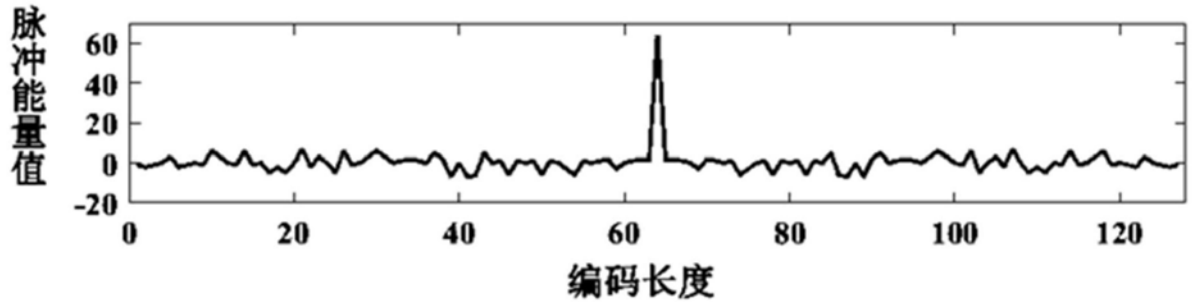


图2-2

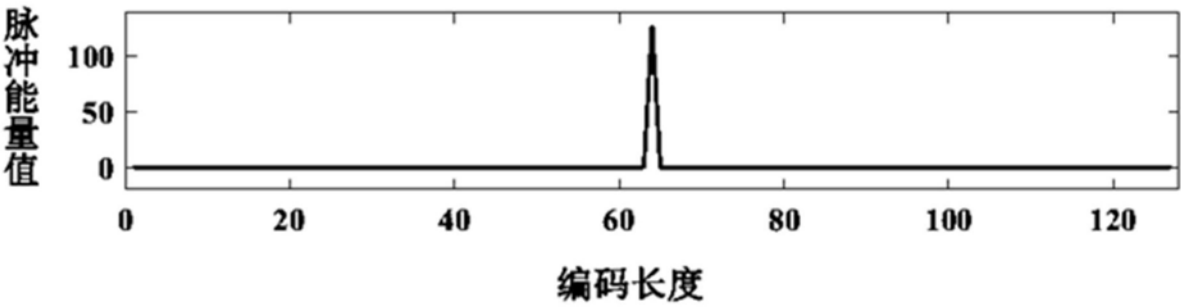


图2-3

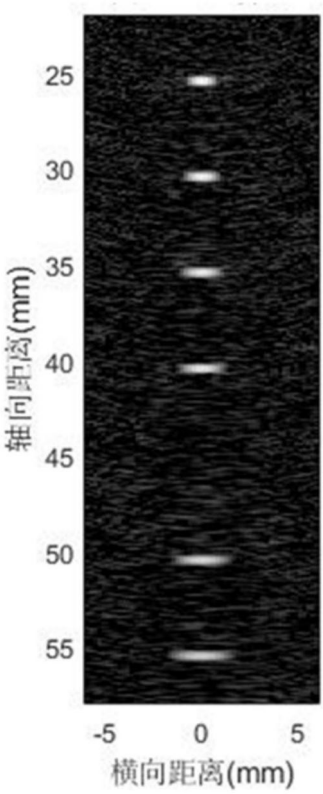


图3-1

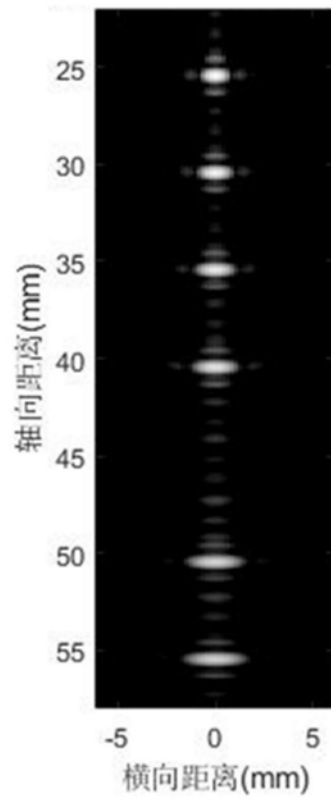


图3-2

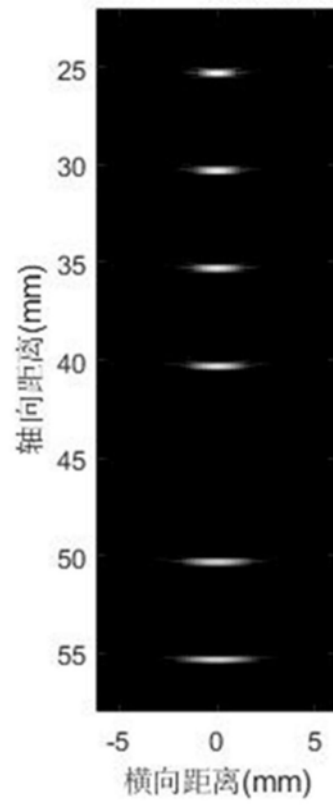


图3-3

专利名称(译)	一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法		
公开(公告)号	CN109785271A	公开(公告)日	2019-05-21
申请号	CN201910138845.X	申请日	2019-02-25
[标]申请(专利权)人(译)	天津大学		
申请(专利权)人(译)	天津大学		
当前申请(专利权)人(译)	天津大学		
[标]发明人	陈晓冬 杨晋 汪毅 蔡怀宇		
发明人	陈晓冬 邓惟心 杨晋 吉佳瑞 汪毅 蔡怀宇		
IPC分类号	G06T5/00 G16H30/40 A61B8/12 A61B8/08		
代理人(译)	刘子文		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开一种基于编码激励和相干系数的内镜超声成像算法，本发明算法结合了编码激励技术以及相干系数算法的优点：通过编码激励技术，将超声波的发射激励信号由传统的单正弦脉冲信号改为序列编码信号，增加编码长度从而提高了超声波的平均发射功率，进而提升图像的信噪比；利用互补序列良好的自相关性进行脉冲压缩，有效消除了成像的轴向旁瓣，提高了轴向分辨率；最后通过相干系数自适应波束形成算法，人为降低非相干能量，即噪声信号的能量在整幅图像中的比重，抑制图像中的高斯噪声和旁瓣噪声，提高了图像的横向分辨率。

