



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104997534 A

(43) 申请公布日 2015. 10. 28

(21) 申请号 201510439757. 5

(22) 申请日 2015. 07. 24

(71) 申请人 复旦大学

地址 200433 上海市杨浦区邯郸路 220 号

(72) 发明人 余锦华 李兴松 汪源源

(74) 专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司

31200

代理人 陆飞 盛志范

(51) Int. Cl.

A61B 8/08(2006. 01)

G06T 5/00(2006. 01)

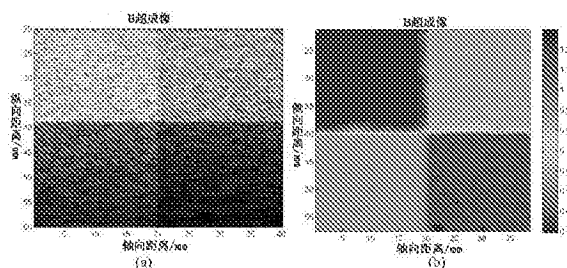
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

基于带约束最小二乘法的超声衰减系数成像方法

(57) 摘要

本发明属于超声量化分析技术领域,具体为一种基于带约束最小二乘算法的超声衰减系数成像方法。本发明方法首先将接收到的射频回波信号分割成若干个相互重叠的数据块,然后利用welch 算法评估数据块的功率谱,接着结合功率谱信息和约束条件,利用最小二乘算法评估衰减系数,最后对感兴趣区域内每个数据块内的衰减系数进行成像以获得超声衰减系数成像。在本发明中,引入的约束条件避免了最小二乘算法因局部最大值收敛而导致的误差,提高了衰减评估算法在背散射特性均一情况下的评估准确度。本发明作为一种超声量化诊断方法,可为超声的临床诊断提供更丰富的信息和手段。



1. 一种基于带约束最小二乘算法的衰减系数评估方法,其特征在于具体步骤为:

(1) 将接收到的原始射频回波信号划分成若干个相互重叠的数据块;

(2) 将 FWHM 值和误差率作为指标,对窗长和窗宽参数进行最优化选取,使得超声衰减成像的评估精确度和空间分辨率综合目标下最优;

(3) 在数据块内利用 welch 算法对功率谱进行评估,并利用平滑窗对回波功率谱进行平滑处理,以减少噪声对评估结果的影响;结合功率谱信息和约束条件,引入一个带三参数的数学模型并利用最小二乘算法对代价函数进行拟合,以同时评估数据块内的局部衰减系数和背散射系数;

(4) 对每个数据块进行局部衰减系数评估,将评估值作为数据块对应区域的衰减系数,将所有数据块内的衰减系数进行成像,即得到超声衰减成像。

2. 根据权利要求 1 所述的评估方法,其特征在于所述对参数进行最优化选取,其具体步骤为:

选取窗长的最优化参数:将 FWHM 值作为评估指标,其表达式为:

$$FWHM = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{peak}} \quad (1)$$

f_{max} 和 f_{min} 分别为 -20dB 带宽范围内的频率最大值和最小值, f_{peak} 为 -20dB 带宽范围内的中心频率,参数选取为使 FWHM 值稳定且最小的值;

为寻找使 FWHM 值稳定的最小值,以一个发射脉冲的长度作为步长,通过使数据块在纵向长度以一个步长进行迭代并计算 FWHM 值,从而观察窗长与 FWHM 间的关系;

选取窗宽的最优化参数:将观察评估结果与真实值之间的误差作为评估指标,其中误差的表达式为:

$$Error = \frac{a_{true} - a_{est}}{a_{true}} \times 100 \quad (2)$$

其中, a_{true} 为真实值, a_{est} 为评估值,参数选取为使误差值稳定且最小的值;

为寻找使误差率值稳定的最小值,在选择窗宽的最优参数时,将扫描线数以步长为 1 进行遍历以观察窗宽与误差率间的关系。

3. 根据权利要求 2 所述的评估方法,其特征在于所述利用最小二乘算法对代价函数进行拟合的具体步骤为:

设在相同深度上目标回波信号功率谱与参考回波信号功率谱的比值可表示为:

$$RS(f, z) = \frac{B_s(f)}{B_r(f)} \cdot \frac{A_s(f)}{A_r(f)} = \frac{b_s f^{n_s}}{b_r f^{n_r}} \cdot \exp(-4(\beta_s - \beta_r) f z) \quad (3)$$

其中, b 为扩散因子, A 为衰减因子,下标 s 和 r 分别代表目标仿真和参考仿真, β 表示衰减系数与频率间的斜率, b 为常数, f 为频率, z 为感兴趣区域距离探头表面的距离, n 表示背散射系数的频率依赖性;对 (3) 式左右两边取自然对数,得如下式:

$$\ln\{RS(f, z)\} = \ln \frac{b_s}{b_r} + (n_s - n_r) \ln f - 4(\beta_s - \beta_r) f z \quad (4)$$

为了简化式 (3), 进行如下替换:

$$\begin{aligned} X(f, z) &= \ln RS(f, z) \\ \ln \frac{b_s}{b_r} &= b, \quad n_s - n_r = n, \quad \beta_s - \beta_r = \beta \end{aligned} \quad (5)$$

于是式 (4) 表达为:

$$X(f, z) = b + n \ln f - 4\beta f z \quad (6)$$

式 (6) 中有三个未知数 b, n, β , 为求解式 (6), 在频带范围内引入最小二乘拟合过程, 即:

$$[\hat{b}, \hat{n}, \hat{\beta}] = \arg \min_{b, n, \beta} \sum_{i=1}^K (X(f_i, z) - b - n \ln f_i + 4\beta f_i z)^2 \quad (7)$$

其中, K 为用于评估未知参数的频率成分个数; 同时引入了如下的约束条件:

$$\begin{aligned} b_1 \leq b \leq b_2, \quad n_1 \leq n \leq n_2, \quad \beta_1 \leq \beta \leq \beta_2 \\ |b_1 - b_2| \leq threshold1, \quad |n_1 - n_2| \leq threshold2 \end{aligned} \quad (8)$$

根据该约束条件, 可提高在背散射特性具有均一性的感兴趣区域内的衰减评估准确性。

基于带约束最小二乘法的超声衰减系数成像方法

技术领域

[0001] 本发明属于超声量化分析技术领域,具体涉及一种超声衰减系数成像方法。

背景技术

[0002] 现有的超声衰减评估算法主要有两种类型。第一种是基于 hybrid 评估算法的衰减成像方法^[1]。该方法在假设感兴趣区域内声速为常数,衰减与频率成线性关系,背散射与频率成幂关系,散射为弱散射的情况下,通过寻找不同深度下中心频率与功率谱幅值间的关系以计算衰减系数,其主要缺点为所得超声衰减成像的空间分辨率较差且在衰减特性和散射特性发生变化时评估准确性较差。第二种方法是基于最小二乘评估算法的衰减成像方法^[2]。该方法通过引入一个含衰减参数的模型用以拟合功率谱比值,利用最小二乘算法使代价函数最小,从而对局部衰减系数进行评估。该方法的主要缺点是缺乏约束条件,使得最小二乘算法因局部极大值收敛而产生误差。

[0003] 为了提高超声衰减成像技术的准确性和空间分辨率,本发明提出了一种带约束的最小二乘算法的超声衰减成像方法,该方法主要分为两部分:第一部分为利用半峰宽高比和误差率等评价指标对评估功率谱的窗长和窗宽参数进行最优化的选取;第二部分为针对脂肪肝病变后散射特性并无太大变化这一现状,将背散射系数的均一性作为约束条件,避免了最小二乘算法因局部最大值收敛而导致的误差,从而提高了衰减评估算法的评估准确性。

[0004] 本发明克服了已有方法的缺点,提出了一种评估精确,空间分辨率高的超声衰减成像方法,为临床诊断提供更加丰富的诊断信息。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提出一种评估准确性和空间分辨率高的超声衰减成像方法,从超声量化诊断的角度为超声的临床诊断提供更丰富的信息和手段。

[0006] 本发明提供的超声衰减成像方法,是基于带约束最小二乘评估算法的,其步骤如下:

- 1、将接收到的原始射频回波信号划分成若干个相互重叠的数据块;
- 2、将 FWHM 值^[3]和误差率作为指标,对窗长和窗宽参数进行最优化选取,使得超声衰减成像的评估精确度和空间分辨率综合目标下最优;
- 3、在数据块内利用 welch 算法^[4]对功率谱进行评估,并利用平滑窗^[5]对回波功率谱进行平滑处理,以减少噪声对评估结果的影响;结合功率谱信息和约束条件,引入一个带三参数的数学模型并利用最小二乘算法对代价函数进行拟合,以同时评估数据块内的局部衰减系数和背散射系数;
- 4、对每个数据块进行局部衰减系数评估,将评估值作为数据块对应区域的衰减系数,将所有数据块内的衰减系数进行成像,即得到超声衰减成像。

[0007] 本发明中,所述的对参数进行最优化选取,其具体步骤为:

为选取窗长的最优化参数,将 FWHM 值(半峰宽高比,full width at half maximum)作为评估指标,其表达式为:

$$FWHM = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{peak}} \quad (1)$$

f_{max} 和 f_{min} 分别为 -20dB 带宽范围内的频率最大值和最小值, f_{peak} 为 -20dB 带宽范围内的中心频率,参数选取为使 FWHM 值稳定且最小的值。

[0008] 为寻找使 FWHM 值稳定的最小值,本发明以一个发射脉冲的长度作为步长,通过使数据块在纵向长度以一个步长进行迭代并计算 FWHM 值来观察窗长与 FWHM 间的关系。

[0009] 为选取窗宽的最优化参数,将观察评估结果与真实值之间的误差作为评估指标,其中误差的表达式为:

$$Error = \frac{\alpha_{true} - \alpha_{est}}{\alpha_{true}} \times 100 \quad (2)$$

其中 α_{true} 为真实值, α_{est} 为评估值,参数选取为使误差值稳定且最小的值;

为寻找使误差率值稳定的最小值,本发明在选择窗宽的最优参数时,将扫描线数以步长为 1 进行遍历以寻找窗宽与误差率间的关系,通过肉眼观察即可找到使误差率值稳定的最小值。

[0010] 本发明中,所述利用最小二乘算法对代价函数进行拟合的具体步骤为:

设在相同深度上目标回波信号功率谱与参考回波信号功率谱的比值可表示为:

$$RS(f, z) = \frac{B_s(f)}{B_r(f)} \cdot \frac{A_s(f)}{A_r(f)} = \frac{b_s f^{n_s}}{b_r f^{n_r}} \cdot \exp(-4(\beta_s - \beta_r) f z) \quad (3)$$

其中, B 为扩散因子, A 为衰减因子,下标 s 和 r 分别代表目标仿真和参考仿真, β 表示衰减系数与频率间的斜率, b 为常数, f 为频率, z 为感兴趣区域距离探头表面的距离, n 表示背散射系数的频率依赖性;对 (3) 式左右两边取自然对数后可得如下式:

$$\ln\{RS(f, z)\} = \ln \frac{b_s}{b_r} + (n_s - n_r) \ln f - 4(\beta_s - \beta_r) f z \quad (4)$$

为了简化式 (3),进行如下替换:

$$\begin{aligned} X(f, z) &= \ln RS(f, z) \\ \ln \frac{b_s}{b_r} &= b, \quad n_s - n_r = n, \quad \beta_s - \beta_r = \beta \end{aligned} \quad (5)$$

进行替换后,式 (4) 可表达为:

$$X(f, z) = b + n \ln f - 4 \beta f z \quad (6)$$

为了求解式 (6) 中三个未知数 b 、 n 、 β ，在频带范围内引入最小二乘拟合过程，即：

$$[\hat{b}, \hat{n}, \hat{\beta}] = \arg \min_{b, n, \beta} \sum_{i=1}^K (X(f_i, z) - b - n \ln f_i + 4\beta f_i z)^2 \quad (7)$$

其中， K 为用于评估未知参数的频率成分个数。为了使评估结果更加准确，引入了如下的约束条件：

$$\begin{aligned} b_1 \leq b \leq b_2, \quad n_1 \leq n \leq n_2, \quad \beta_1 \leq \beta \leq \beta_2 \\ |b_1 - b_2| \leq \text{threshold1}, \quad |n_1 - n_2| \leq \text{threshold2} \end{aligned} \quad (8)$$

当约束条件不足时，最小二乘算法容易因为局部极小值而收敛，从而产生较大的误差。利用背散射特性具有均一性可以增加约束条件，从而有效避免因局部极小值收敛而产生的误差。

[0011] 本发明采用增加约束条件的方法获得带约束的最小二乘算法，能充分利用先验知识，避免最小二乘算法因局部极大值收敛而导致的误差，相对于传统的方法具有更高的评估准确度；采用以半峰宽高比和误差率作为指标对参数进行最优化选取，可以使超声衰减成像在评估精确度和空间分辨率两方面综合目标下最优。

附图说明

[0012] 图1为对由Field II^[6 7]生成的散射系数均一，衰减系数不均一的仿真数据进行衰减成像。其中，(a)为参考仿真，是由Field II生成的散射系数和衰减系数具有均一性的仿真数据，(b)为未知仿真，未知仿真中衰减系数有4块，第一块的衰减系数值为0.3 dB/MHz/cm，分布范围在[20mm40mm; 0mm, 20mm]之间。第二块的衰减系数值为0.6 dB/MHz/cm，分布范围在[20mm40mm; 20mm, 40mm]之间。第三块的衰减系数值为1dB/MHz/cm，分布范围在[40mm60mm; 0mm, 20mm]之间。第四块的衰减系数值为1.2dB/MHz/cm，分布范围在[40mm60mm; 20mm, 40mm]之间。

[0013] 图2为对由Field II生成的衰减系数均一，背散射系数不均一的仿真数据进行衰减成像。其中，(a)为参考仿真，是由Field II生成的散射系数和衰减系数具有均一性的仿真数据，参考仿真的衰减系数均一且值为0.3dB/MHz/cm。(b)为未知仿真，未知仿真的衰减系数均一且值为0.7dB/MHz/cm，在中间位置存在一个椭圆型区域，区域内的背散射强度比背景区域的回波强度高出3 dB。(c)为由本方法得到的衰减系数成像图。(d)为由本方法得到的背散射系数成像图。(e)为随机选择衰减成像中的一条线与真实值相比较的结果。

[0014] 图3为对利用超声仪对类人体软组织进行扫描得到的回波信号进行超声衰减成像，其中探头型号为L9-3（128个阵元，阵元间距为200um）的线阵探头。其中，(a)为参考仿真，是对散射系数和衰减系数具有均一性的类人体软组织进行扫描得到的回波信号，参考仿真的衰减系数值为0.5dB/MHz/cm。(b)为未知仿真，是对散射系数和衰减系数具有均一性的类人体软组织进行扫描得到的回波信号，在[30mm50mm; 4.5mm, 6mm]范围内，未知仿真的衰减系数值为0.5dB/MHz/cm，在[30mm50mm; 6mm, 7.5mm]范围内，未知仿真的衰减系数值为0.7dB/MHz/cm。(c)为由传统的带约束最小二乘算法得到的衰减系数成像图，(d)为由本方法得到的衰减系数成像图。

具体实施方式

[0015] 以下是整个算法的具体实现步骤：

1、在接收到回波信号后，将回波信号分割成若干个在横向和纵向上具有重叠大小分别为 80% 和 80% 的数据块。通过 FWHM 标准确定数据块的长度以获取准确稳定的功率谱，利用海宁窗截取数据以减少频谱旁瓣泄露，利用 welch 算法评估功率谱并通过滑动窗平滑以抑制噪声的影响。

[0016] 2、在得到相同深度下参考仿真和未知仿真数据块内的功率谱信息后，将参考仿真与未知仿真相比以去除扩散特性和系统特性的影响，引入一个带三参数的数学模型后，利用带约束最小二乘算法对功率谱比值进行拟合以同时获得背散射系数和衰减系数评估值。

[0017] 3、将评估得到的衰减系数值作为该数据块代表区域内的衰减信息，在得到感兴趣区域内的每个数据块的衰减系数评估值后，将其进行成像，即可得到衰减系数成像。

[0018] 结果分析

从图 1 和图 2 的衰减成像结果可知，当感兴趣区域内的散射特性和衰减特性发生变化时，该算法依然能准确的评估背散射系数和衰减系数，且衰减成像的空间分辨率较高。表 1 为利用带约束最小二乘算法在衰减系数和背散射系数变化时的衰减评估结果，可看到该方法在两种情况下均能得到较为准确的评估值。从图 3 的类人体软组织仿体的衰减成像结果可知，优化后的算法在引入新的约束条件后，在背散射特性均一的情况下，相较于传统的带约束最小二乘算法，在衰减评估准确性上有了明显的提高。表 2 为利用传统的带约束最小二乘算法和优化后的算法对类人体软组织仿体数据进行衰减成像的结果。从表中可看到，本发明的算法在评估准确性上有了明显的提高。

[0019] 表 1 本发明算法在数字仿真中的评估结果

数字仿真	平均值 dB/MHz/cm	方差 dB/MHz/cm	真实值 dB/MHz/cm
衰减系数变化	0.29, 0.59, 0.99, 1.19	0.02, 0.02 0.02, 0.02	0.30, 0.60 1.00, 1.20
背散射系数变化	0.58	0.05	0.60

表 2 两种算法在类人体软组织中的评估结果

方法	平均值 dB/MHz/cm	方差 dB/MHz/cm	真实值 dB/MHz/cm
LSM	0.41, 0.62	0.10, 0.12	0.50, 0.70
本发明算法	0.43, 0.64	0.12, 0.13	0.50, 0.70

[0020] 参考文献

[1] H. Kim, T. A. Bigelow. Hybrid spectral domain method for attenuation slope estimation [J]. Ultrasound Med. Biol, 2008, 34(11): 1808-1819.

[2] N. Kibo, A. Z. James, J. H. Timothy. Simultaneous backscatter and

attenuation estimation using a least squares method with constraints [J]. Ultrasound Med. Biol, 2011, 37(12): 1-10.

[3] H. Kim, T. Varghese. Attenuation estimation using spectral cross-correlation [J]. IEEE trans UltrasonFerroelectrFreq Control, 2007, 54(3):510-519.

[4] P. Welch. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms [J]. IEEE Trans Audio Electroacoust, 1967, 15: 70-73.

[5] T. Varghese, K. D. Donohue. Estimating mean scatterer spacing with the frequency-smoothed spectral autocorrelation function [J]. IEEE Trans UltrasonFerroelectrFreq Control, 1995, 42: 451-463.

[6] J. Jensen. Field: A program for simulating ultrasound systems [R]. Paper presented at the 10th Nordic-Baltic Conference on Biomedical Imaging Published in Medical & Biomedical Engineering & Computing, 1996, 34(1): 351-353.

[7] J. Jensen, N. Svendsen. Calculation of pressure fields from arbitrarily shaped, apodized, excited ultrasound transducers [J]. IEEE Trans UltrasonFerroelectrFreq Control, 1992, 39(2): 262-267.

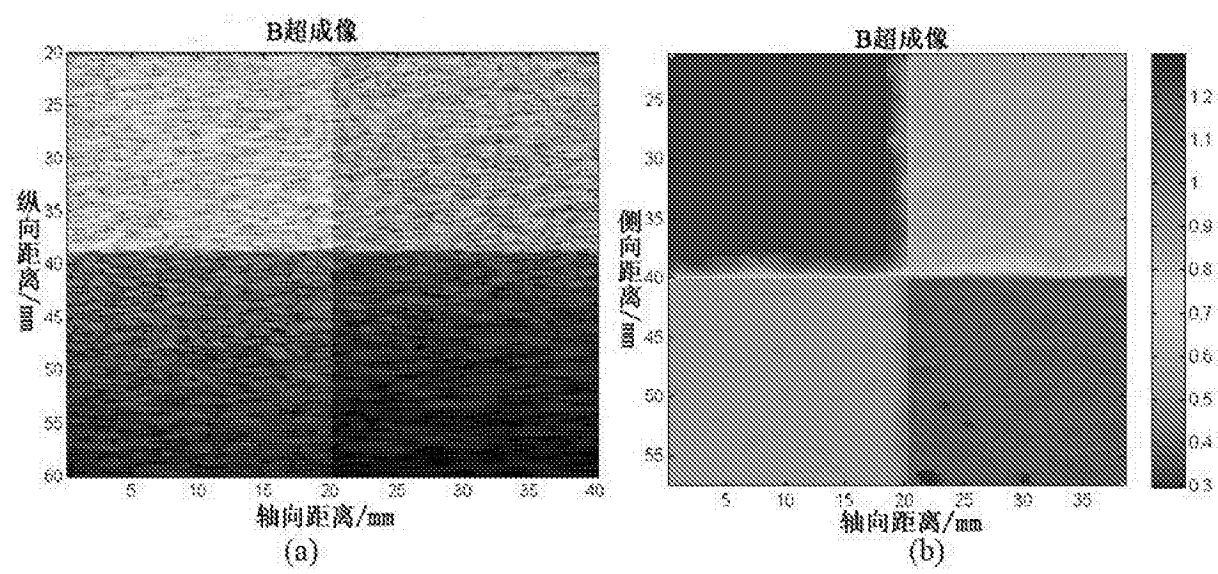


图 1

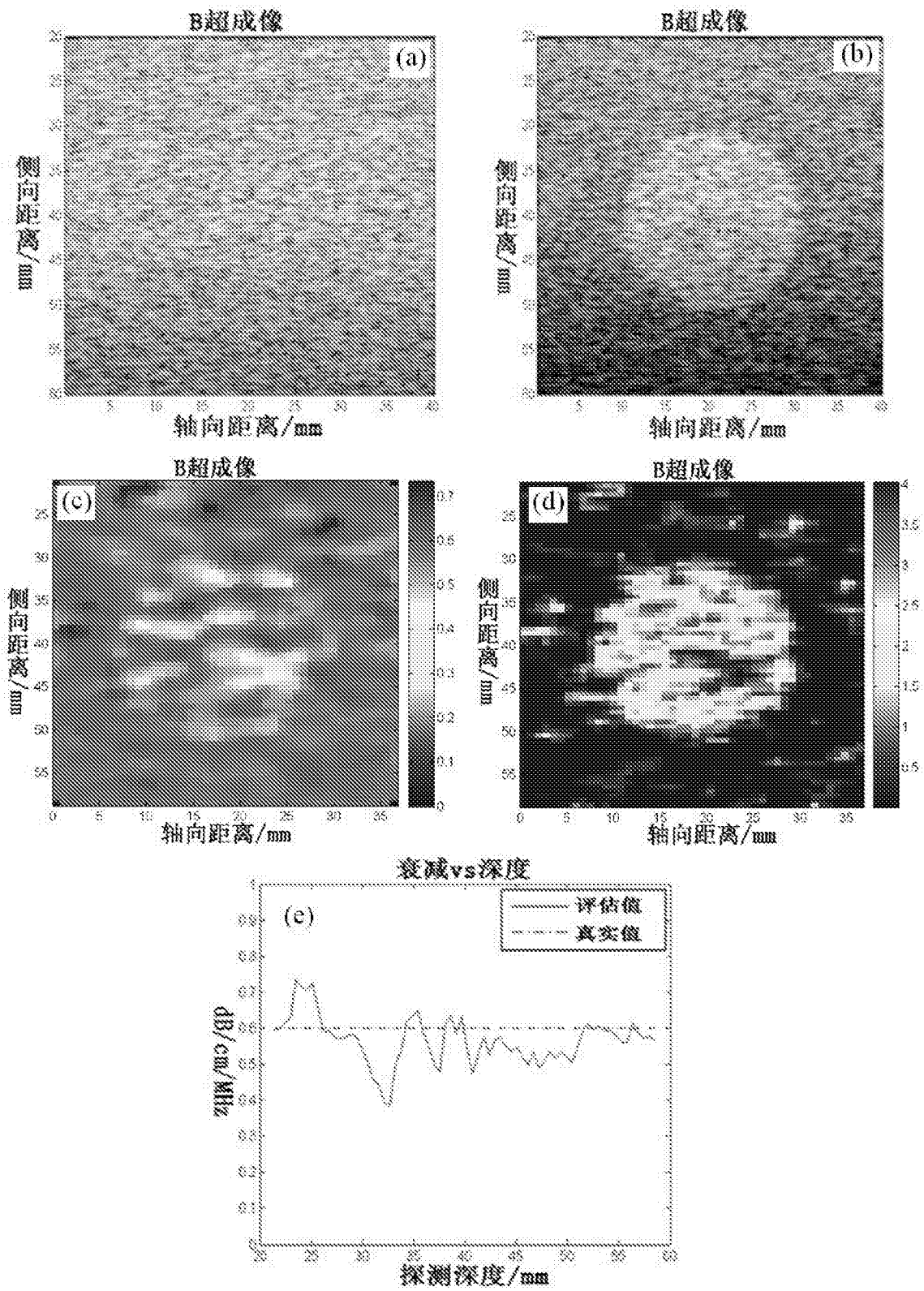


图 2

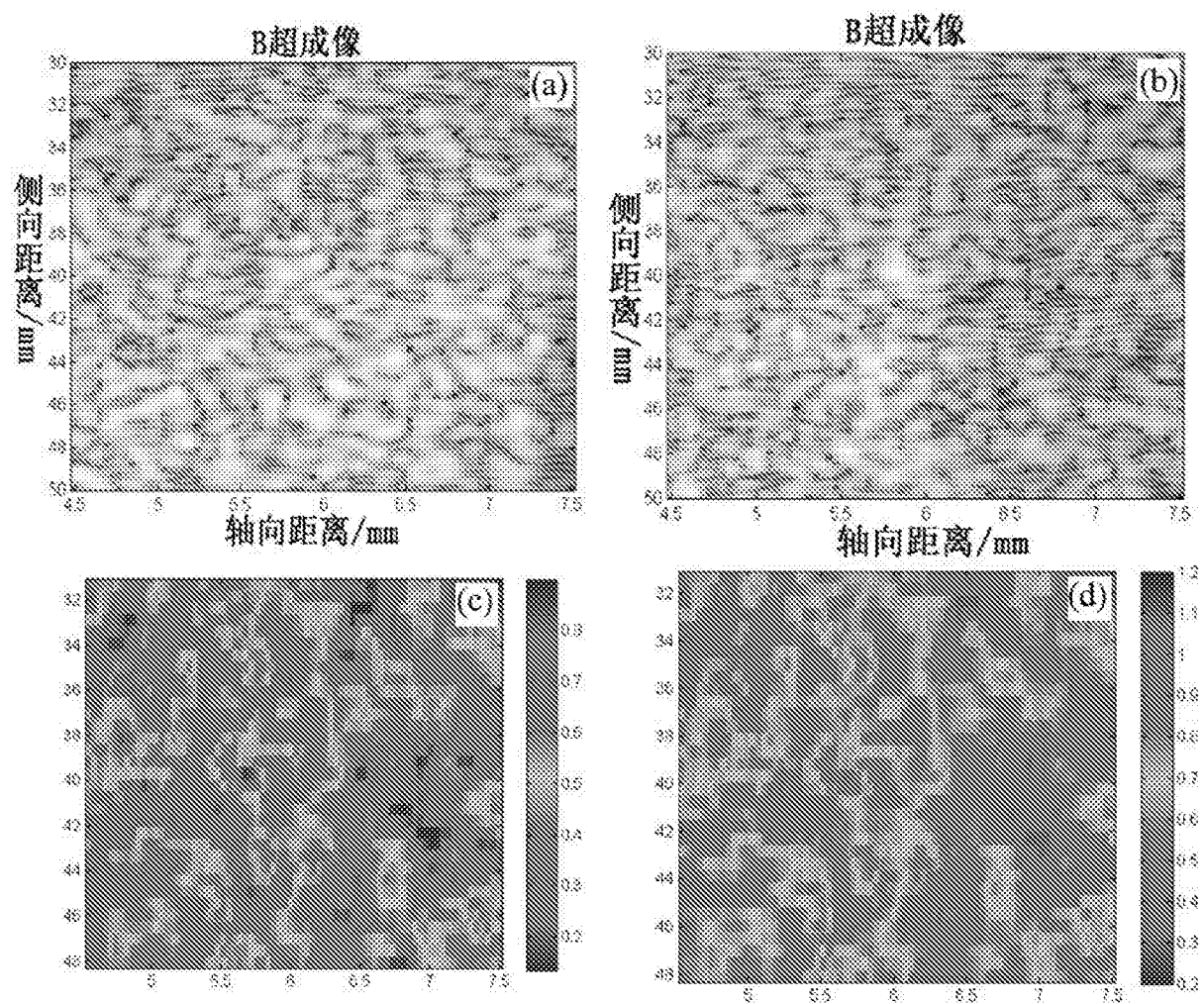


图 3

专利名称(译)	基于带约束最小二乘法的超声衰减系数成像方法		
公开(公告)号	CN104997534A	公开(公告)日	2015-10-28
申请号	CN201510439757.5	申请日	2015-07-24
[标]申请(专利权)人(译)	复旦大学		
申请(专利权)人(译)	复旦大学		
当前申请(专利权)人(译)	复旦大学		
[标]发明人	余锦华 李兴松 汪源源		
发明人	余锦华 李兴松 汪源源		
IPC分类号	A61B8/08 G06T5/00		
CPC分类号	A61B8/085 A61B8/4494 A61B8/469 A61B8/5223 A61B8/5269 G06T5/002 G06T2207/10132 G06T2207/30004		
代理人(译)	陆飞		
其他公开文献	CN104997534B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明属于超声量化分析技术领域，具体为一种基于带约束最小二乘算法的超声衰减系数成像方法。本发明方法首先将接收到的射频回波信号分割成若干个相互重叠的数据块，然后利用welch算法评估数据块的功率谱，接着结合功率谱信息和约束条件，利用最小二乘算法评估衰减系数，最后对感兴趣区域内每个数据块内的衰减系数进行成像以获得超声衰减系数成像。在本发明中，引入的约束条件避免了最小二乘算法因局部最大值收敛而导致的误差，提高了衰减评估算法在背散射特性均一情况下的评估准确度。本发明作为一种超声量化诊断方法，可为超声的临床诊断提供更丰富的信息和手段。

