

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016 年 10 月 6 日 (06.10.2016)



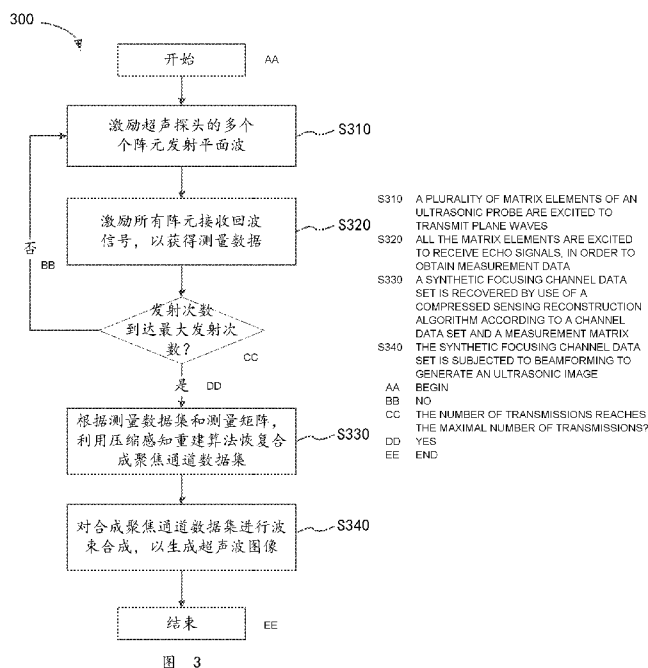
(10) 国际公布号
WO 2016/155239 A1

- (51) 国际专利分类号:
A61B 8/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/089005
- (22) 国际申请日: 2015 年 9 月 6 日 (06.09.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510142749.4 2015 年 3 月 27 日 (27.03.2015) CN
- (71) 申请人: 清华大学 (TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。
- (72) 发明人: 罗建文 (LUO, Jianwen); 中国北京市海淀区清华大学生物医学工程系, Beijing 100084 (CN)。刘敬 (LIU, Jing); 中国北京市海淀区清华大学生物医学工程系, Beijing 100084 (CN)。何琼 (HE, Qiong); 中国北京市海淀区清华大学生物医学工程系, Beijing 100084 (CN)。
- (74) 代理人: 北京睿邦知识产权代理事务所 (普通合伙) (RUIBANG & PARTNERS); 中国北京市东城区夕照寺街 4 号东玖大厦 B 座 409 室, Beijing 100061 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,

[见续页]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR ULTRASONIC IMAGING BY SYNTHETIC FOCUSING

(54) 发明名称: 合成聚焦超声成像方法和装置



(57) Abstract: Provided are a method and device for ultrasonic imaging by synthetic focusing. The method comprises: exciting a plurality of matrix elements of an ultrasonic probe to transmit plane waves many times, wherein transmitting apodizations at the time of every transmission of the plane waves by the plurality of matrix elements are corresponding to the respective lines in a measurement matrix in which elements are randomly distributed; after every transmission of the plane waves, exciting all the matrix elements of the ultrasonic probe to receive echo signals, in order to obtain channel data; recovering a synthetic focusing channel data set by use of a compressed sensing reconstruction algorithm according to a channel data set and the measurement matrix; and subjecting the synthetic focusing channel data set to beamforming to generate an ultrasonic image. Ultrasonic images obtained by the abovementioned method and device are not only quite high in resolution, but also have the advantages of high frame frequency and high contrast ratio due to the fact that ultrasonic waves are less transmitted and high energy is present in every transmission.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2016/155239 A1



SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW。

HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,
SN, TD, TG)。

- (84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

提供一种合成聚焦超声成像方法和装置。该方法包括: 激励超声探头的多个阵元多次发射平面波, 其中所述多个阵元每次发射平面波时的发射变迹与其元素成随机分布的测量矩阵中的相应行相对应; 每发射一次平面波后, 激励所述超声探头的所有阵元接收回波信号, 以获得通道数据; 根据通道数据集和所述测量矩阵, 利用压缩感知重建算法恢复合成聚焦通道数据集; 以及对所述合成聚焦通道数据集进行波束合成, 以生成超声波图像。利用上述方法和装置所获得的超声波图像不仅具有高分辨率; 而且因为超声波的发射次数较少, 每次发射能量高, 因此图像还具有高帧频、高对比度的优点。

合成聚焦超声成像方法和装置

5 技术领域

本发明涉及超声波图像成像领域，具体地，涉及一种合成聚焦超声成像方法和装置。

背景技术

10 超声成像因为具有实时，廉价，非侵入性和非电离辐射等优点而广泛地用于临床诊断。空间分辨率，时间分辨率和对比度是三个评价超声图像的指标，高时空分辨率和高对比度的超声图像能更好的辅助临床诊断。但可惜的是这三者并不能同时达到最优。

传统的超声成像中，通过发射聚焦波而得到一条图像扫描线。这种模
15 式所得到的图像具有较高的空间分辨率和对比度，特别是在发射聚焦区域。但是因为一幅图像通常需要上百条扫描线从而需要上百次的发射次数，所以这种模式的帧频，即时间分辨率，不够高。虽然减小每次发射的聚焦区域的个数可以有效地提高帧频，但这样会降低图像的空间分辨率和对比度。

合成聚焦法作为一种合成孔径方法，早在 1992 年就被提出用于提高
20 超声图像的空间分辨率。在合成聚焦法中，对于具有 128 个阵元的超声探头，依次激励每个阵元发射超声波，每个阵元发射超声波后，所有阵元一起接收回波信号。图 1 示出了现有的合成聚焦超声成像以及其中原始信号 x 的提取的示意图。斜直线表示超声探头。斜直线上的黑色矩形框表示合成聚焦模式下每次发射时的激活阵元，而探头上的其他阵元未被激活。向上
25 实线箭头表示回波信号的接收过程，图 1 示出共进行了 n 次发射和接收，向右虚线箭头表示原始信号 x 的提取过程。对于 128 个阵元的超声探头， n 取 128。每一次发射和接收形成一幅低质量的超声图像。根据 n 幅低质量的图像即可得到一幅高质量的图像。具体地，用矩阵 X_i 表示所有阵元第 i 次接收到的合成聚焦通道数据。该矩阵 X_i 有 $2*d*fs/c$ 行，128 列，其中， d
30 为采样深度， fs 为采样频率， c 为声速。矩阵 X_i 中的每列对应相应阵元接收到的回波信号。经 n 次发射、接收后，数据集 $X: \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 即为合成聚焦通道数据集，其为合成聚焦通道数据 X_i 的集合。

因为合成聚焦法能够实现发射和接收的双向动态聚焦，所以该方法获得的超声图像具有很高的空间分辨率。其分辨率等价于传统模式下有无限个发射聚焦区域的情况。但因为合成聚焦法中每次只有一个阵元被激活，能量非常低，所以获得的超声图像的对比度不高。基于这种情况，合成发射孔径（synthetic transmit aperture）法被提出用于提高超声图像的对比度。基于合成发射孔径法的超声成像中，将阵列划分为多个子孔径，每个子孔径由多个连续的阵元构成。通过依次激活每一个子孔径发射超声波，所有阵元接收回波信号来得到超声图像。这种方法和合成聚焦法相比，因为每次激活的阵元数多而提高了图像对比度，而且其发射次数也比合成聚焦少，所以能得到更高的帧率。但是这种模式却牺牲了空间分辨率。

发明内容

为了至少部分地解决上述技术问题，根据本发明的一个方面，提供一种合成聚焦超声成像方法，包括：

激励超声探头的多个阵元多次发射平面波，其中所述多个阵元每次发射平面波时的发射变迹（transmit apodization）与其元素成随机分布的测量矩阵中的相应行相对应；

每发射一次平面波后，激励所述超声探头的的所有阵元接收回波信号，以获得通道数据；

根据通道数据集和所述测量矩阵，利用压缩感知重建算法恢复合成聚焦通道数据集；以及

对所述合成聚焦通道数据集进行波束合成，以生成超声波图像。

可选地，所述随机分布是 0 至 1 的随机分布。

可选地，所述恢复合成聚焦通道数据集的步骤进一步包括：

根据所述通道数据集、所述测量矩阵和稀疏基，利用所述压缩感知重建算法计算待恢复信号的稀疏表达；以及

利用所述稀疏基对所述待恢复信号的稀疏表达进行稀疏反变换，从而恢复出所述合成聚焦通道数据集。

可选地，所述稀疏基是小波基。

可选地，所述计算待恢复信号的稀疏表达是利用 1-范数最小求解方法。

可选地，所述计算待恢复信号的稀疏表达之前，所述通道数据被归一化。

可选地，对于通道数据集中每个矩阵的第 m 行、第 n 列的元素全部为 0 的情况，将所述合成聚焦通道数据集的每个矩阵的第 m 行、第 n 列的元素全部直接置为 0。

根据本发明另一方面，还提供了一种合成聚焦超声成像装置，包括：

5 激励发射模块，用于激励超声探头的多个阵元多次发射平面波，其中所述多个阵元每次发射平面波时的发射变迹与其元素成随机分布的测量矩阵中的相应行相对应；

激励采集模块，每发射一次平面波后，激励所述超声探头的所有阵元接收回波信号，以获得通道数据；

10 数据恢复模块，用于根据通道数据集和所述测量矩阵，利用压缩感知重建算法恢复合成聚焦通道数据集；以及

图像重建模块，用于对所述合成聚焦通道数据集进行波束合成，以生成超声波图像。

可选地，所述随机分布是 0 至 1 的随机分布。

15 可选地，所述数据恢复模块进一步包括：

第一计算模块，用于根据所述通道数据集、所述测量矩阵和稀疏基，利用所述压缩感知重建算法计算待恢复信号的稀疏表达；以及

第二计算模块，用于利用所述稀疏基对所述待恢复信号的稀疏表达进行稀疏反变换，从而恢复出所述合成聚焦通道数据集。

20 利用上述方法和装置所获得的超声波图像不仅具有很高分辨率；而且因为超声波的发射次数较少，每次发射能量高，因此图像还具有高帧频、高对比度的优点。

在发明内容中引入了一系列简化形式的概念，这将在具体实施方式部分中进一步详细说明。本发明内容部分并不意味着要试图限定出所要求保护的方案的关键特征和必要技术特征，更不意味着试图确定所要求保护的方案的保护范围。

以下结合附图，详细说明本发明的优点和特征。

附图说明

30 本发明的下列附图在此作为本发明的一部分用于理解本发明。附图中示出了本发明的实施方式及其描述，用来解释本发明的原理。在附图中，图 1 示出了现有的合成聚焦超声成像以及其中原始信号的提取的示意

图；

图 2 示出了根据本发明一个具体实施例的合成聚焦超声成像以及其中测量信号的提取的示意图；

图 3 是根据本发明一个具体实施例的合成聚焦超声成像方法的流程图；

图 4 示出了根据本发明一个具体实施例的测量信号的示意图；

图 5 示出了根据本发明一个具体实施例的所恢复信号的示意图；

图 6 示出了根据本发明一个具体实施例的待恢复信号的稀疏表达的示意图；以及

图 7 示出了根据本发明一个具体实施例的合成聚焦超声成像装置的示意性框图。

具体实施方式

在下文的描述中，提供了大量的细节以便能够彻底地理解本发明。然而，本领域技术人员可以了解，如下描述仅涉及本发明的较佳实施例，本发明可以无需一个或多个这样的细节而得以实施。此外，为了避免与本发明发生混淆，对于本领域公知的一些技术特征未进行描述。

压缩感知理论表明，如果信号 $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$ 是稀疏的或者在某个变换域是可压缩的，那么其可以从远低于奈奎斯特采样频率的信号中被高概率的恢复。因为这个性质，压缩感知可以应用于数据压缩，通道编码，逆问题求解和数据采集。目前压缩感知理论在超声领域的应用主要集中在减少数据量的问题上。Liebgott 和 Eldar 小组在这方面做了很多的研究，通过将压缩采样应用在快速时间域（fast time domain），通道数据量能大大减少。其中，快速时间域是沿着超声回波信号采集的方向。数据量的减少对便携式超声系统非常有帮助，但并不能提高帧频。帧频可以按 $c/2dn$ 计算，其中 c 是声速， d 是成像深度， n 是发射次数。一旦成像目标和成像深度确定，而在快速时间域进行的压缩采样也不能改变发射次数 n ，即帧频不会发生变化。所以期望提高帧频，可以通过降低发射次数的方式，即将压缩采样应用在慢速时间域（slow time domain）。慢速时间域是沿着发射-接收重复方向。

本发明将压缩感知这种新理论应用到超声成像领域，以同时得到高帧频，高分辨率和高对比度的超声图像。图 2 示出了根据本发明一个具体实施例的合成聚焦超声成像以及其中测量信号 y 的提取的示意图。本发明提

供的合成聚焦超声成像方法将压缩采样应用到了图 2 所示的慢速时间域。图 3 是根据本发明一个具体实施例的合成聚焦超声成像方法 300 的流程图。

如图 3 所示，合成聚焦超声成像方法 300 包括以下步骤。

- 5 S310，激励超声探头的多个阵元发射平面波。其中该多个阵元发射平面波时的发射变迹与其元素成随机分布的测量矩阵 Φ 中的相应行相对应。

测量矩阵 Φ 的列数等于探头阵元个数。在本发明的示例中，以一个具有 128 个阵元的探头为例，假设其全部阵元都参与发射平面波，则测量矩阵 Φ 的列数为 128。测量矩阵 Φ 中的元素服从随机分布。优选地，测量矩阵 Φ 中的元素服从 0 至 1 的随机分布。通过 0 至 1 的随机分布可以显著减少最终获得的超声波图像的伪影，使图像更准确。更优选地，测量矩阵 Φ 中的元素服从 0 至 1 的均匀随机分布。0 至 1 的均匀随机分布可以保证成像过程中超声波的能量较高，最终获得的超声波图像对比度高，便于医生等用户观察。可选地，测量矩阵 Φ 可以是随机高斯矩阵。

- 15 如图 2 所示，矩形框表示阵元，矩形框的不同灰度表示发射变迹大小。对比上面描述的合成聚焦模式，其需要进行例如 128 次发射，每次发射只有一个阵元被完全激活。根据线性声场理论，一次平面波发射得到的通道数据是 128 个单阵元中的每个发射一次超声波得到的通道数据集的线性组合，其中的线性系数即为探头发射平面波时的发射变迹。每次发射平面波时的发射变迹对应于测量矩阵 Φ 的相应行。即，测量矩阵 Φ 中的第 1 行是第一次发射平面波时的发射变迹，第 2 行是第二次发射平面波时的发射变迹，依次类推。因此，根据本发明的实施例发射一次有发射变迹的平面波就得到了所有 128 次单阵元发射的信息，也即在慢时间域完成了压缩采样。

S320，每发射一次平面波后，激励超声探头的所有阵元接收回波信号，以获得通道数据 Y_i 。

- 25 重复上述步骤 S310 和步骤 S320，直至完成总发射次数，例如 64。由此，获得通道数据的集合：通道数据集 $Y: \{Y_1, Y_2, \dots, Y_{64}\}$ ，也就是结合压缩感知重建算法的合成聚焦通道数据集。其中 Y_i 为矩阵。通道数据 Y_i 和合成聚焦通道数据 X_i 的维度一样，行数等于 $2 \cdot d \cdot fs / c$ 。其中， d 为采样深度， fs 为采样频率， c 为声速。列数和探头阵元数目相等，在此实施例中为 128。每列表示平面波发射后，每个阵元接收到的回波信号。

30 根据步骤 S310 的描述，本领域普通技术人员可以理解，测量矩阵 Φ 的行数等于总发射次数。

本领域普通技术人员可以理解，总发射次数可以是小于阵元个数的任意数。优选地，总发射次数取 32 至 112 次。成像目标为简单的点目标或重建算法是基追踪算法 (Basis Pursuit, BP) 时，总发射次数优选为 32 至 64 次。成像目标为复杂的生物组织或重建算法是正交匹配追踪算法

5 (Orthogonal Matching Pursuit, OMP) 时，总发射次数优选为 64 至 112 次。

本领域普通技术人员可以理解，如果在上述步骤 S310 中，不是所有阵元都参加平面波的发射，那么其余未参加平面波发射的阵元仍可以依次各自发射超声波，并且在其中任何一个阵元发射了超声波之后，超声探头的所有阵元都接收回波信号，以获得对应的通道数据供成像计算，如现有的合成聚焦超声成像方法中一样。

10 S330，根据通道数据集和所述测量矩阵，利用压缩感知重建算法恢复合成聚焦通道数据集。

合成聚焦通道数据集 $X: \{X_1, X_2, \dots, X_{128}\}$ 是利用现有的合成聚焦超声成像方法经 128 次超声波发射和接收得到的通道数据集。利用测量矩阵 Φ ，应用压缩感知重建算法即可从本实施例的通道数据集 $Y: \{Y_1, Y_2, \dots, Y_{64}\}$ 中恢复出合成聚焦通道数据集。具体地，遍历所有接收通道，所有采样深度，对通道数据集 Y 沿慢时间域提取测量信号 y 。根据测量信号 y 和测量矩阵 Φ ，利用压缩感知重建算法即可恢复待恢复信号 x 。将这个恢复过程遍历所有接收通道，所有采样深度即可得到完整的合成聚焦通道数据集。

20 采用上面提到的数学符号，步骤 S330 即从通道数据集 $Y: \{Y_1, Y_2, \dots, Y_{64}\}$ 恢复合成聚焦通道数据集 $X: \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 的过程，其中 n 等于探头阵元数，例如是 128。

对 $Y_1, Y_2, \dots, Y_{64}$ 每个矩阵的第一行，第一列，沿慢时间域提取测量信号，得第一行、第一列的测量信号 $y = [y_1, y_2, \dots, y_{64}]$ (即第一个采样深度，第一个接收通道的测量信号)， $y_1, y_2, \dots, y_{64}$ 的提取如图 2 所示。利用压缩感知重建算法从测量信号 $y = [y_1, y_2, \dots, y_{64}]$ 恢复出其对应的待恢复信号 $x = [x_1, x_2, \dots, x_{128}]$ ，并将 x_i 写入 X 中每个矩阵 X_i 的第一行和第一列；对所有行和所有列重复上述过程，则合成聚焦通道数据集 X 被恢复出来。如此，则利用压缩感知实现了从 64 次平面波发射得到的通道数据集 $Y: \{Y_1, Y_2, \dots, Y_{64}\}$ 恢复出 128 次传统合成聚焦发射得到的合成聚焦通道数据集 $X: \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 。图 4 和图 5 分别示出了根据本发明一个具体实施例的测量信号和所恢复信号的示意图。图 4 和图 5 中的纵坐标均为信号的幅度。图 4 的横坐标为平面波发射索引。图 5 的横坐

标表示合成聚焦发射通道。

压缩感知理论表示,若信号 x 是稀疏的或在某一个变换域是可压缩的,即 $x = \Psi v$ (公式 1), $\Psi \in \mathbb{C}^{128 \times 128}$ 是稀疏基, v 只有少数几个是非零的或其元素的顺序排列服从一个指数衰减,那么该信号 x 可以从其少数几个线性测量信号 $y = \Phi x$ (公式 2) 中恢复出来, Φ 是测量矩阵。在本实施例中,根据线性声场理论,测量矩阵 Φ 的每行对应发射变迹。上述稀疏基 Ψ 可以为小波基。例如 sys8 小波基。小波基对在慢时间域提取的超声信号有较好的稀疏表达,信号恢复效果更好,而且成像的帧率更高。图 6 示出了根据本发明一个具体实施例的待恢复信号的稀疏表达 v 的示意图,其中纵坐标表示信号的幅度,横坐标表示排序后变换域的索引。

S340, 对合成聚焦通道数据集进行波束合成,以生成超声波图像。

该步骤 S340 采用现有的波束合成方法即可,本领域普通技术人员可以理解该步骤的实现过程,为了简洁,在此不再赘述。

本发明的实施例中,利用一次平面波发射是完整合成聚焦的一次压缩采样的原理,相比现有的合成聚焦超声成像方法,可以发射较少次数的超声波,成功地在慢时间域实现了压缩采样,提高了图像帧频。同时因为一次平面波发射所有阵元都被激活,能量较高,所以也提高了图像对比度。因为上述方法得到是合成聚焦图像,所以保留了其高分辨率的特点。总之,利用压缩感知的技术,得到了高帧频,高分辨率和高对比度的超声图像。

此外,上述方法对超声成像领域具有普适性,特别是一些对成像帧频和成像质量同时有较高要求的应用,如实时三维超声成像,心血管成像等。除了传统的结构成像,该方法还能帮助提供高质量的超声功能成像,如心血管弹性成像等。

根据本发明一个具体实施例,上述步骤 S330 恢复合成聚焦通道数据集的操作可以进一步包括以下子步骤。

S331, 根据通道数据集 Y 、测量矩阵 Φ 和稀疏基 Ψ , 计算待恢复信号 x 的稀疏表达 v 。

从通道数据集 Y 中沿慢时间域提取测量信号 y 。将上述公式 1 代入公式 2, 得测量信号 $y = \Phi \Psi v = \Theta v$ (公式 3)。根据公式 3 即可计算获得待恢复信号 x 的稀疏表达 v 。

求解 v 的过程可以利用 1-范数最小求解方法。

$$v = \arg \min_{v \in \mathbb{R}^N} \|v\|_1 \quad \text{其中 } \|y - \Theta v\|_2 \leq \varepsilon$$

其中 ε 为容许误差。1-范数最小的求解方法有很多。优选地，采用基追踪算法求解。该方法可以使得测量信号 y 的计算结果更准确，从而获得更准确的重建图像。可选地，采用正交匹配追踪求解。1-范数最小的优化是对 0-范数最小问题（稀疏问题）的良好近似，利用 1-范数最小的优化方法可以高概率的解出高难度的 0-范数最小问题。由此，可以确保所生成的超声图像的分辨率更高。

S332，利用稀疏基 Ψ 对待恢复信号 x 的稀疏表达 v 进行稀疏反变换，从而恢复出合成聚焦通道数据集 X 。

根据待恢复信号 x 的稀疏表达 v 和稀疏基 Ψ ，代入公式 (1) $x = \Psi v$ 即得所恢复信号 x 。所有所恢复信号 x 即组成了合成聚焦通道数据集 X 。

可选地，在计算待恢复信号的稀疏表达之前，从通道数据集 Y 沿慢时间域提取的测量信号 y 被归一化，并且，在稀疏反变换之后，对稀疏反变换的结果进行量值恢复。可选地，先将测量信号 y 归一化，并保存最大值 $y_{\max}$ ，设稀疏基为 sys8 小波基， ε 为 $1e-3$ ，将上述稀疏反变换获得的结果乘上 $y_{\max}$ 的实部即为所恢复信号 x 。如此操作，即使信号强度非常小，也能够保证正确求解。对于信号强度非常大的情况，能够将容许误差 ε 合理化。归一化的操作更好的保证了信号的准确重建，使成像效果更稳定。

可选地，对于通道数据集 Y 中每个矩阵的第 m 行、第 n 列的元素全部为 0 的情况，将合成聚焦通道数据集 X 的每个矩阵的第 m 行、第 n 列的元素全部直接置为 0。这样可以简化计算，提高效率。

根据本发明另一方面，还提供了一种合成聚焦超声成像装置。图 7 示出了根据本发明一个具体实施例的合成聚焦超声成像装置 700 的框图。如图 7 所示，该装置 700 包括激励发射模块 710、激励采集模块 720、数据恢复模块 730 和图像重建模块 740。

其中，激励发射模块 710 用于激励超声探头的多个阵元多次发射平面波，其中该多个阵元每次发射平面波时的发射变迹与其元素成随机分布的测量矩阵中的相应行相对应。激励采集模块 720 用于每发射一次平面波后，激励超声探头的所有阵元接收回波信号，以获得通道数据。数据恢复模块 730 用于根据通道数据集和测量矩阵，利用压缩感知重建算法恢复合成聚焦通道数据集。图像重建模块 740 用于对合成聚焦通道数据集进行波束合成，以生成超声波图像。

可选地，上述随机分布是 0 至 1 的随机分布。

可选地，上述数据恢复模块 730 进一步包括第一计算模块和第二计算模块。第一计算模块用于根据通道数据集、测量矩阵和稀疏基，利用压缩感知重建算法计算待恢复信号的稀疏表达。第二计算模块用于利用稀疏基对待恢复信号的稀疏表达进行稀疏反变换，从而恢复出合成聚焦通道数据集。

本领域普通技术人员通过阅读上文关于合成聚焦超声成像方法的描述能够理解该合成聚焦超声成像装置的构成、实现及其技术效果，因此为了简洁，这里不再赘述。

本发明已经通过上述实施例进行了说明，但应当理解的是，上述实施例只是用于举例和说明的目的，而非意在将本发明限制于所描述的实施例范围内。此外本领域技术人员可以理解的是，本发明并不局限于上述实施例，根据本发明的教导还可以做出更多种的变型和修改，这些变型和修改均落在本发明所要求保护的范围内。本发明的保护范围由附属的权利要求书及其等效范围所界定。

权 利 要 求 书

1、一种合成聚焦超声成像方法，包括：

激励超声探头的多个阵元多次发射平面波，其中所述多个阵元每次发射平面波时的发射变迹与其元素成随机分布的测量矩阵中的相应行相对应；

每发射一次平面波后，激励所述超声探头的所有阵元接收回波信号，以获得通道数据；

根据通道数据集和所述测量矩阵，利用压缩感知重建算法恢复合成聚焦通道数据集；以及

10 对所述合成聚焦通道数据集进行波束合成，以生成超声波图像。

2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述随机分布是 0 至 1 的随机分布。

3、如权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述恢复合成聚焦通道数据集的步骤进一步包括：

15 根据所述通道数据集、所述测量矩阵和稀疏基，利用所述压缩感知重建算法计算待恢复信号的稀疏表达；以及

利用所述稀疏基对所述待恢复信号的稀疏表达进行稀疏反变换，从而恢复出所述合成聚焦通道数据集。

4、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述稀疏基是小波基。

20 5、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述计算待恢复信号的稀疏表达是利用 1-范数最小求解方法。

6、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，所述计算待恢复信号的稀疏表达之前，从所述通道数据集沿慢时间域提取的测量信号被归一化；并且，在所述稀疏反变换之后，对所述稀疏反变换的结果进行量值恢复。

25 7、如权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，对于通道数据集中每个矩阵的第 m 行、第 n 列的元素全部为 0 的情况，将所述合成聚焦通道数据集的每个矩阵的第 m 行、第 n 列的元素全部直接置为 0。

8、一种合成聚焦超声成像装置，包括：

30 激励发射模块，用于激励超声探头的多个阵元多次发射平面波，其中所述多个阵元每次发射平面波时的发射变迹与其元素成随机分布的测量矩阵中的相应行相对应；

激励采集模块，用于每发射一次平面波后，激励所述超声探头的所有阵元接收回波信号，以获得通道数据；

数据恢复模块，用于根据通道数据集和所述测量矩阵，利用压缩感知重建算法恢复合成聚焦通道数据集；以及

5 图像重建模块，用于对所述合成聚焦通道数据集进行波束合成，以生成超声波图像。

9、如权利要求 8 所述的装置，其特征在于，所述随机分布是 0 至 1 的随机分布。

10 10 步包括：

第一计算模块，用于根据所述通道数据集、所述测量矩阵和稀疏基，利用所述压缩感知重建算法计算待恢复信号的稀疏表达；以及

第二计算模块，用于利用所述稀疏基对所述待恢复信号的稀疏表达进行稀疏反变换，从而恢复出所述合成聚焦通道数据集。

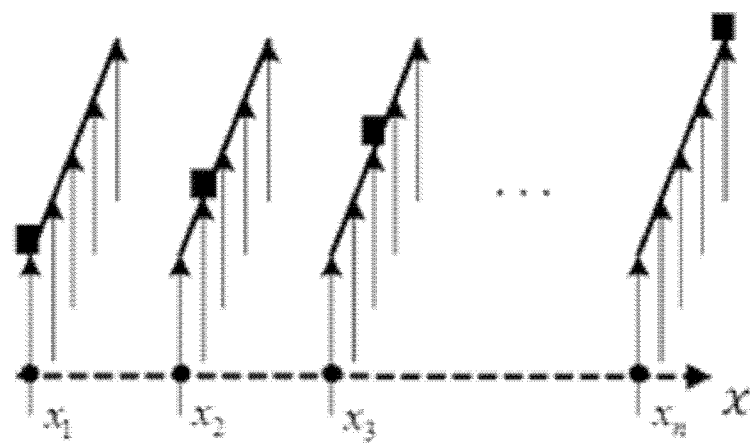


图 1

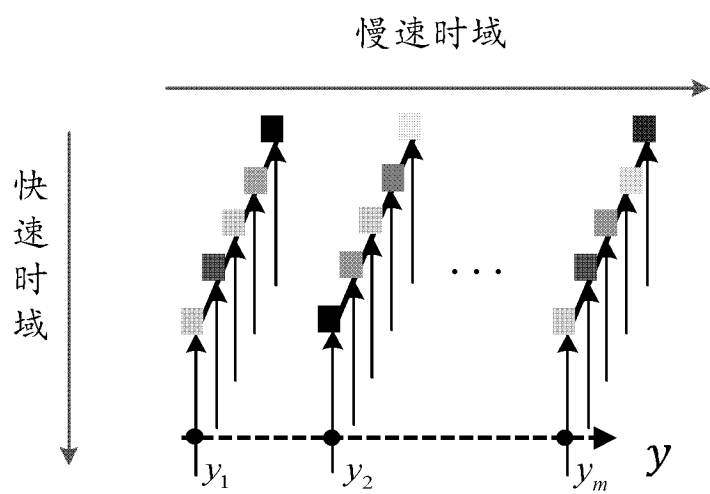


图 2

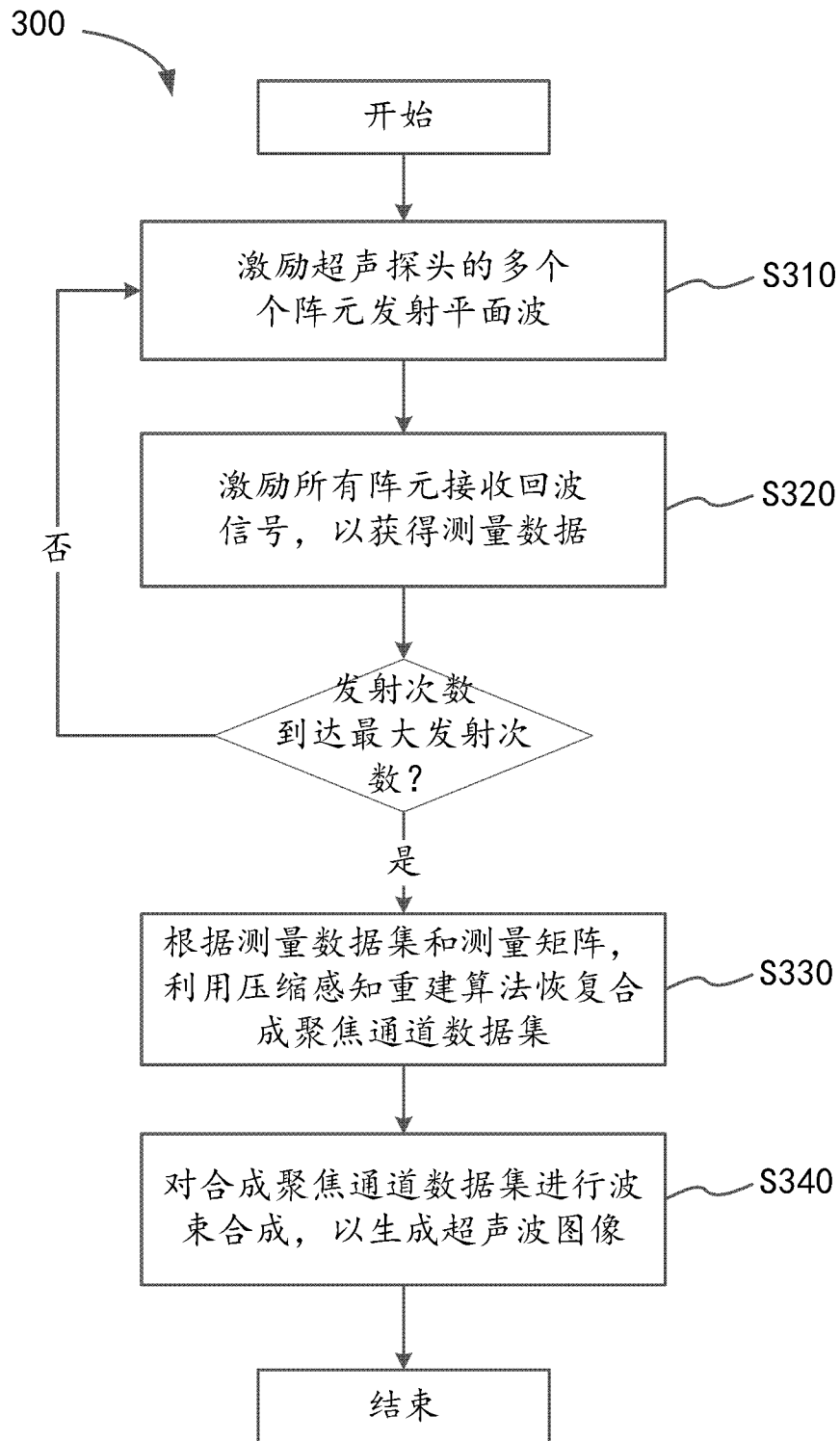


图 3

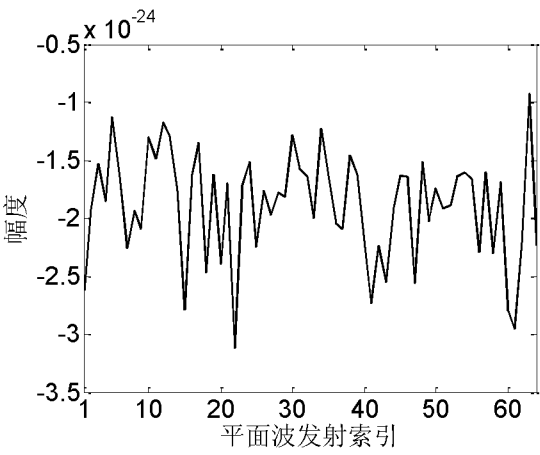


图4

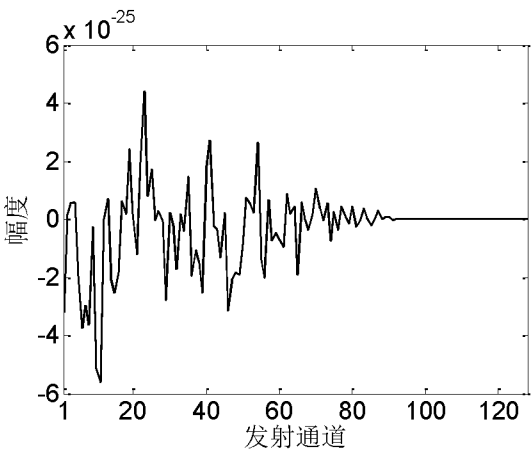


图5

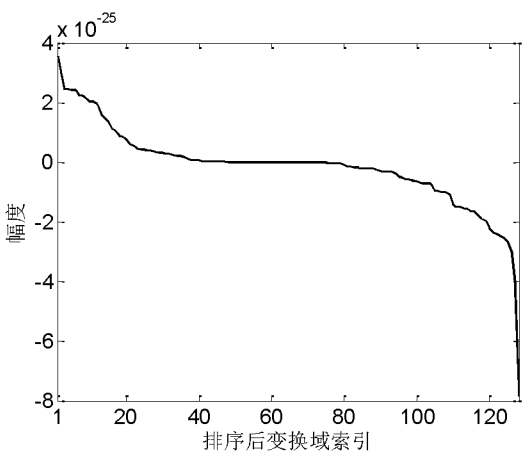


图6

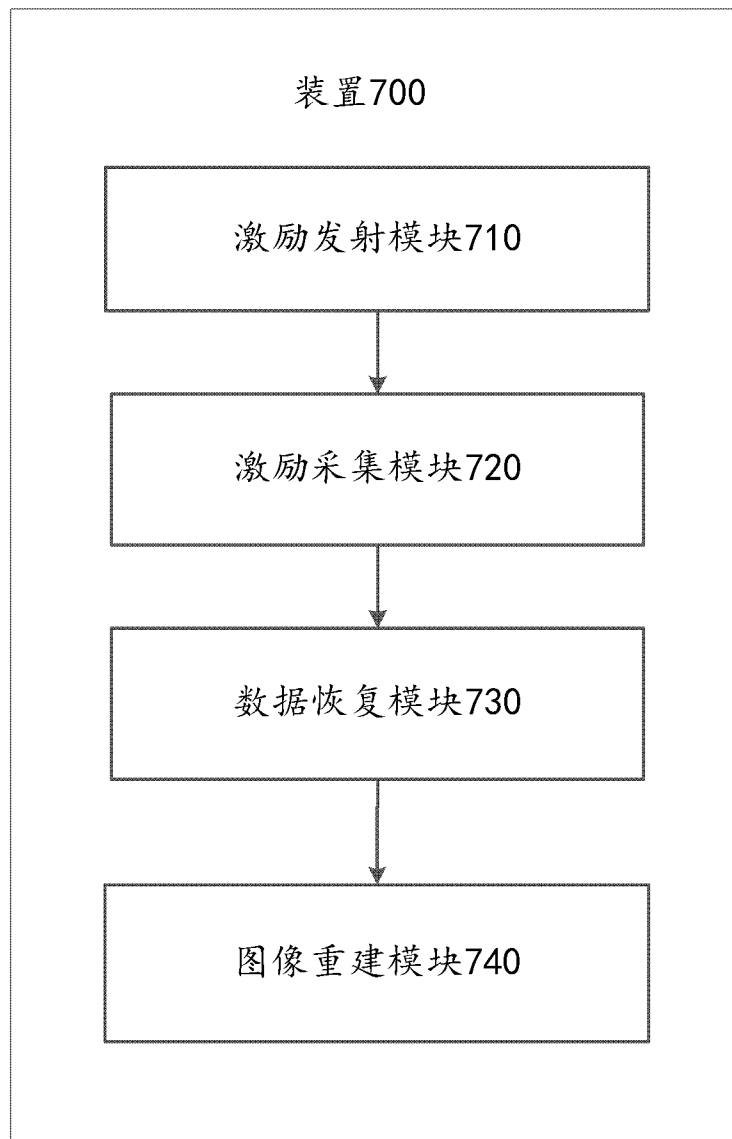


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/089005

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B 8/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B 8/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: LUO, Jianwen, LIU, Jing, HE, Qiong, transmit apodization, Synthetic focusing, B mode ultrasound, Compressive sensing, synthetic, transmit aperture, signal-to-noise ratio, SNR, contrast, resolution

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 104688271 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 10 June 2015 (10.06.2015) claims 1-10	1-10
A	DU, Yanzhen et al., A portable Type-B ultrasonic image synthesis method of focusing, Computer Science Engineering, vol. 1, no. 40, 31 January 2014 (31.01.2014) ISSN: 1000-3428, pages 246-249	1-10
A	CN 102920478 A (SHANDONG UNIVERSITY) 13 February 2013 (13.02.2013) the whole document	1-10
A	CN 102435992 A (BORN-FUKE MEDICAL EQUIPMENT CO., LTD.) 02 May 2012 (02.05.2012) the whole document	1-10
A	CN 1650190 A (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV) 03 August 2005 (03.08.2005) the whole document	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 01 December 2015	Date of mailing of the international search report 23 December 2015
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer HUANG, Xi Telephone No. (86-10) 82246144

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2015/089005

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2007293752 A1 (INDUSTRIAL RESEARCH LIMITED) 20 December 2007 (20.12.2007) the whole document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/089005

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104688271 A	10 June 2015	None	
CN 102920478 A	13 February 2013	CN 102920478 B	16 April 2014
CN 102435992 A	02 May 2012	CN 102435992 B	23 October 2013
CN 1650190 A	03 August 2005	CN 100528089 C	19 August 2009
		US 7448998 B2	11 November 2008
		JP 4307374 B2	05 August 2009
		US 6860854 B2	01 March 2005
		AU 2003225477 A1	17 November 2003
		US 2005154304 A1	14 July 2005
		US 2004068188 A1	08 April 2004
		US 6679847 B1	20 January 2004
		JP 2005523792 A	11 August 2005
		WO 03093863 A1	13 November 2003
		EP 1502127 A1	02 February 2005
US 2007293752 A1	20 December 2007	EP 1788940 A1	30 May 2007
		WO 2006028397 A1	16 March 2006
		EP 1788947 A1	30 May 2007
		EP 1788946 A1	30 May 2007
		JP 2008512175 A	24 April 2008
		US 2007073144 A1	29 March 2007
		US 2007060816 A1	15 March 2007
		WO 2006028395 A1	16 March 2006
		WO 2006028396 A1	16 March 2006
		US 2009024026 A9	22 January 2009
		US 2009012391 A9	08 January 2009

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2015/089005

A. 主题的分类

A61B 8/00(2006.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

A61B8/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 罗建文, 刘敬, 何琼, 发射变迹, 平面波, 合成聚焦, B超, 超声, 清华大学, 压缩感知, 测量矩阵, 发射孔径, 随机, 矩阵, 多次, 合成, luojianwen, liujing, heqiong, transmit apodization, Synthetic focusing, B mode ultrasound, Compressive sensing, synthetic transmit aperture, signal-to-noise ratio, SNR, contrast, resolution

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 104688271 A (清华大学) 2015年 6月 10日 (2015 - 06 - 10) 权利要求1-10	1-10
A	杜衍震 等. "一种合成聚焦的便携式B型超声成像方法" 计算机工程, 第1卷, 第40期, 2014年 1月 31日 (2014 - 01 - 31), ISSN: 1000-3428, 第246-249页	1-10
A	CN 102920478 A (山东大学) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 全文	1-10
A	CN 102435992 A (重庆博恩富克医疗设备有限公司) 2012年 5月 2日 (2012 - 05 - 02) 全文	1-10
A	CN 1650190 A (皇家飞利浦电子股份有限公司) 2005年 8月 3日 (2005 - 08 - 03) 全文	1-10

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2015年 12月 1日

国际检索报告邮寄日期

2015年 12月 23日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10) 62019451

授权官员

黄曦

电话号码 (86-10) 010-82246144

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 2007293752 A1 (INDUSTRIAL RESEARCH LIMITED) 2007年 12月 20日 (2007 - 12 - 20) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/089005

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	104688271	A	2015年 6月 10日	无			
CN	102920478	A	2013年 2月 13日	CN	102920478	B	2014年 4月 16日
CN	102435992	A	2012年 5月 2日	CN	102435992	B	2013年 10月 23日
CN	1650190	A	2005年 8月 3日	CN	100528089	C	2009年 8月 19日
				US	7448998	B2	2008年 11月 11日
				JP	4307374	B2	2009年 8月 5日
				US	6860854	B2	2005年 3月 1日
				AU	2003225477	A1	2003年 11月 17日
				US	2005154304	A1	2005年 7月 14日
				US	2004068188	A1	2004年 4月 8日
				US	6679847	B1	2004年 1月 20日
				JP	2005523792	A	2005年 8月 11日
				WO	03093863	A1	2003年 11月 13日
				EP	1502127	A1	2005年 2月 2日
US	2007293752	A1	2007年 12月 20日	EP	1788940	A1	2007年 5月 30日
				WO	2006028397	A1	2006年 3月 16日
				EP	1788947	A1	2007年 5月 30日
				EP	1788946	A1	2007年 5月 30日
				JP	2008512175	A	2008年 4月 24日
				US	2007073144	A1	2007年 3月 29日
				US	2007060816	A1	2007年 3月 15日
				WO	2006028395	A1	2006年 3月 16日
				WO	2006028396	A1	2006年 3月 16日
				US	2009024026	A9	2009年 1月 22日
				US	2009012391	A9	2009年 1月 8日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)