



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105233429 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 13

(21) 申请号 201510764312. 4

(22) 申请日 2015. 11. 10

(71) 申请人 中国科学院深圳先进技术研究院  
地址 518055 广东省深圳市南山区西丽大学  
城学苑大道 1068 号

(72) 发明人 周冬良 严飞 郑海荣 王丛知

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限  
公司 11127

代理人 郭晓宇

(51) Int. Cl.

A61N 7/02(2006. 01)

A61B 8/00(2006. 01)

权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法及系统,包括:向目标区域发射超声波;实时获取返回的超声波信息,根据超声波信息生成目标区域图像;对目标区域图像进行处理,提取目标物图像,获得目标物位置数据;根据目标物位置数据,向目标物所在位置实时智能发射超声辐射力的刺激。本发明提出的上述方法及系统利用超声波的波动形式和能量形式,对超声成像波与刺激波采用分时控制,实现超声成像与自动追踪定位同步显示,可以控制对目标物实施实时智能刺激并在超声图像上可视化地展示,对运用超声波技术研究斑马鱼类神经刺激反应的实验有很大的方便性和准确性,提高了效率,具有重要的意义。



1. 一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法,其特征在于,包括:

向目标区域发射超声波;

实时获取返回的超声波信息,根据超声波信息生成目标区域图像;

对目标区域图像进行处理,提取目标物图像,对目标物图像进行智能判定,输出判定结果,并获得目标物位置数据;

根据对目标物的判定结果和位置数据,向目标物的特定位置智能发射聚焦超声辐射力进行刺激。

2. 根据权利要求1所述的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法,其特征在于,向目标区域发射的成像超声波以及向目标物的特定位置进行聚焦超声辐射力的刺激是利用超声波复用技术实现,其中包括:时分复用模式和通道复用模式中的至少一种模式,以及全通道分时复用方式、连续通道全时序方式、交错通道全时序方式中的至少一种方式。

3. 根据权利要求2所述的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法,其特征在于,所述超声波是利用超声波探头发出的,将其中包含的超声换能器阵列中的128个阵元,在通道复用模式下按照通道划分成2个通道组,一组用于超声成像,另一组用于超声辐射力的刺激;在时分复用模式下按照时间划分成2个时间片,一个时间片用于超声成像,另一个时间片用于超声辐射力的刺激。

4. 根据权利要求1所述的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法,其特征在于,根据目标物位置数据,向目标物的特定位置进行聚焦超声辐射力的刺激包括:通过预设程序控制或人工控制向目标物的特定位置进行聚焦超声辐射力的自动或手动刺激。

5. 一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统,其特征在于,包括:

超声波探头,用于向目标区域发射超声波;

成像模块,用于实时获取返回的超声波信息,根据超声波信息生成目标区域图像;

目标物图像处理模块,用于对目标区域图像进行处理,提取目标物图像,及对提取后的目标物图像进行智能判定,获得目标物位置数据;

刺激控制模块,用于根据对目标物的判定结果和位置数据,控制所述超声波探头向目标物的特定位置智能发射聚焦超声辐射力进行刺激。

6. 根据权利要求5所述的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统,其特征在于,所述超声波探头向目标区域发射超声波以及向目标物的特定位置进行超声辐射力的刺激是利用超声波复用技术实现,其中包括:时分复用模式和通道复用模式中的至少一种模式,以及全通道分时复用方式、连续通道全时序方式、交错通道全时序方式中的至少一种方式。

7. 根据权利要求6所述的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统,其特征在于,所述超声波探头包含的超声换能器阵列中的128个阵元,在通道复用模式下按照通道被分成2个通道组,一组用于超声成像,另一组用于超声辐射力的刺激;在时分复用模式下按照时间被划分成2个时间片,一个时间片用于超声成像,另一个时间

片用于超声辐射力的刺激。

8. 根据权利要求 5 所述的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统,其特征在于,刺激控制模块,用于根据对目标物的判定结果和位置数据,控制所述超声波探头向目标物的特定位置智能发射聚焦超声辐射力进行刺激,包括:通过预设程序控制或人工控制向目标物的特定位置进行聚焦超声辐射力的自动或手动刺激。

9. 根据权利要求 5-8 任一项所述的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统,其特征在于,该系统还包括:同步显示模块,用于显示目标区域图像。

## 一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及超声领域,尤指一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法及系统。

### 背景技术

[0002] 超声波是指频率高于 20KHz 的一种人无法听见的声波。超声波是一种波动形式,它可以作为信息的载体或媒介应用于检查;同时又是一种能量形式,当其强度达到一定值时,便可应用于治疗。超声辐射力由于具有良好的非接触力学特性和穿透能力,及其无创的应用特性使得超声辐射力得到广泛的应用。目前超声波在生物学及医疗方面的应用主要还是“超声波成像”和“超声辐射力”两方面的应用,如超声成像和 HIFU 等主要应用于检查和治疗。

[0003] 如,中国专利 201110091301.6《一种利用低强度超声促进放射治疗旁效应的系统》公布了一种利用超声对肿瘤靶区进行影像定位,用放射源和超声源对肿瘤靶区在接受放射治疗的同时受到低强度超声刺激。——该系统有三个独立源,分别是放射治疗的放射源,影像系统超声源,低强度刺激超声源,设计上较为复杂,由于放射源存在系统在使用时有一定的辐射危害性。

[0004] 中国专利 201510250365.4《一种超声刺激神经组织的装置》公布了一种由控制与超声成像单元、控制与数据通信单元、脉冲激励单元、回波接收单元和超声换能器阵列等硬件构成的装置,采用超声刺激与超声成像共用超声换能器阵列的方法,实现超声神经刺激过程的实时可视化。——该装置由较复杂的硬件系统组成实现,主要应用于小鼠的颅脑皮层进行神经刺激方面,系统需要人工手动操作。

[0005] 中国专利 201380031052.9《肾神经调制的超声装置、系统、和方法》公布了一种采用高强度聚焦的超声的设备的装置、系统、和方法,用于施加能量以调制有助于肾功能的神经纤维,或施加能量至馈送或灌注神经纤维的血管结构。——该装置应用于人体的神经调节和治疗,且设置有额外的超声靶向系统,当超声靶向系统置于体内时具有一定的有创性。

[0006] 中国专利 201210532094.8《用于定位如神经的结构非侵入性设备和方法》公布了一种采用超声波监测目标在经受刺激时的反应,由电极发送电脉冲进行刺激的方法。——系统通过分析神经组织的反应对人体神经进行定位,然后通过电脉冲的方式刺激,具有一定的风险。

[0007] 中国专利 201410829230.9《一种超声深部脑刺激方法及系统》公布了一种根据动物或人体头部的医学成像建立三维数字模型定位,并生成多个超声发射序列,对脑部进行刺激。——该系统则是通过 MRI 或 CT 扫描获得头部三维数字模型,由此得到超声发射序列进行脑部的刺激。

[0008] 以上发明虽都运用了超声成像及超声刺激的手段,但其实现方式不同。现有的方案有基于超声加 MRI 或 CT 的、有基于超声加电极的,有基于超声加放射的,还有多超声组合

等多种模式,但都不够便利,也不能自动化。可见,超声波的两种形式分别在检查和治疗方面得到广泛的应用,但如何将二者的应用更好地结合,使得应用更加方便和实用,目前还没有特别完善的解决方案。

## 发明内容

[0009] 为了将超声波的两种形式更好地结合,本发明提出了一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法及系统,定位是采用对实时采集到的超声图像进行图像处理而获取到的,同时,该方法及系统利用复用技术进行控制,只用同一超声源既实现超声成像波束和超声刺激波束的发射,来达到对目标物的定位及刺激。

[0010] 本发明同时利用超声波的波动形式和能量形式,可直接在超声成像的引导下,完成能量形式的传递即超声辐射力的刺激。其主要工作方式是利用复用技术实现同一探头上通过超声成像,对目标物进行自动追踪定位并智能判定实施超声刺激。

[0011] 为实现上述目的,本发明提出了一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法,包括:向目标区域发射超声波;实时获取返回的超声波信息,根据超声波信息生成目标区域图像;对目标区域图像进行处理,提取目标物图像,对目标物图像进行智能判定,输出判定结果,并获得目标物位置数据;

[0012] 根据对目标物的判定结果和位置数据,向目标物的特定位置智能发射聚焦超声辐射力进行刺激。

[0013] 进一步的,向目标区域发射的成像超声波以及向目标物的特定位置进行聚焦超声辐射力的刺激是利用超声波复用技术实现,其中包括:时分复用模式和通道复用模式中的至少一种模式,以及全通道分时复用方式、连续通道全时序方式、交错通道全时序方式中的至少一种方式。

[0014] 进一步的,所述超声波是利用超声波探头发射,将其中包含的超声换能器阵列中的128个阵元,在通道复用模式下按照通道划分成2个通道组,一组用于超声成像,另一组用于超声辐射力的刺激;在时分复用模式下按照时间划分成2个时间片,一个时间片用于超声成像,另一个时间片用于超声辐射力的刺激。

[0015] 进一步的,根据目标物位置数据,向目标物的特定位置进行聚焦超声辐射力的刺激包括:通过预设程序控制或人工控制向目标物的特定位置进行聚焦超声辐射力的自动或手动刺激。

[0016] 为实现上述目的,本发明还提出了一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统,包括:超声波探头,用于向目标区域发射超声波;成像模块,用于实时获取返回的超声波信息,根据超声波信息生成目标区域图像;目标物图像处理模块,用于对目标区域图像进行处理,提取目标物图像,及对提取后的目标物图像进行智能判定,获得目标物位置数据;刺激控制模块,用于根据对目标物的判定结果和位置数据,控制所述超声波探头向目标物的特定位置智能发射聚焦超声辐射力进行刺激。

[0017] 进一步的,所述超声波探头向目标区域发射超声波以及向目标物的特定位置进行超声辐射力的刺激是利用超声波复用技术实现,其中包括:时分复用模式和通道复用模式中的至少一种模式,以及全通道分时复用方式、连续通道全时序方式、交错通道全时序方式中的至少一种方式。

[0018] 进一步的,所述超声波探头包含的超声换能器阵列中的 128 个阵元,在通道复用模式下按照通道被分成 2 个通道组,一组用于超声成像,另一组用于超声辐射力的刺激;在时分复用模式下按照时间被划分成 2 个时间片,一个时间片用于超声成像,另一个时间片用于超声辐射力的刺激。

[0019] 进一步的,刺激控制模块,用于根据对目标物的判定结果和位置数据,控制所述超声波探头向目标物的特定位置智能发射聚焦超声辐射力进行刺激,包括:通过预设程序控制或人工控制向目标物的特定位置进行聚焦超声辐射力的自动或手动刺激。

[0020] 进一步的,该系统还包括:同步显示模块,用于显示目标区域图像。

[0021] 本发明提出的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法及系统,利用超声波的波动形式和能量形式,对超声成像波与刺激波采用分时控制,实现超声成像与自动追踪定位同步显示,可以控制对目标物实施实时智能刺激并在超声图像上可视化地展示,对运用超声波技术研究斑马鱼类神经刺激反应的实验有很大的方便性和准确性,提高了效率,具有重要的意义。

## 附图说明

[0022] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明的限定。在附图中:

[0023] 图 1 为本发明一实施例的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法流程图。

[0024] 图 2 为本发明一实施例的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统结构示意图。

[0025] 图 3 为本发明一具体实施例的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统应用示意图。

[0026] 图 4A 所示为本发明的超声成像波与刺激波的复用技术控制方法通道复用模式中的连续通道全时序方式的示意图。

[0027] 图 4B 所示为本发明的超声成像波与刺激波的复用技术控制方法通道复用模式中的交错通道全时序方式的示意图。

[0028] 图 4C 所示为本发明的超声成像波与刺激波的复用技术控制方法时分复用模式中的全通道分时复用方式的示意图。

[0029] 图 5A 及图 5B 为本发明一具体实施例的对目标物进行自动追踪定位实时刺激的聚焦波束示意图。

[0030] 图 6 为本发明一具体实施例的斑马鱼刺激实验的超声波图像。

## 具体实施方式

[0031] 以下配合图示及本发明的较佳实施例,进一步阐述本发明为达成预定发明目的所采取的技术手段。

[0032] 图 1 为本发明一实施例的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法流程图。如图 1 所示,该方法包括:

[0033] 步骤 S101,向目标区域发射超声波;

[0034] 步骤 S102, 实时获取返回的超声波信息, 根据超声波信息生成目标区域图像;

[0035] 步骤 S103, 对目标区域图像进行处理, 提取目标物图像, 对目标物图像进行智能判定, 输出判定结果, 并获得目标物位置数据;

[0036] 步骤 S104, 根据对目标物的判定结果和位置数据, 向目标物的特定位置智能发射聚焦超声辐射力的刺激。

[0037] 进一步的, 在步骤 S101 及步骤 S104 中, 向目标区域发射超声波以及向目标物的特定位置智能发射聚焦超声辐射力的刺激是利用超声波复用技术实现, 其中包括: 时分复用模式和通道复用模式中的至少一种模式, 以及全通道分时复用方式、连续通道全时序方式、交错通道全时序方式中的至少一种方式。

[0038] 超声波是利用超声波探头发射, 将其中包含的超声换能器阵列中的 128 个阵元, 在通道复用模式下按照通道划分成 2 个通道组, 一组用于超声成像, 另一组用于超声辐射力的刺激; 在时分复用模式下按照时间划分成 2 个时间片, 一个时间片用于超声成像, 另一个时间片用于超声辐射力的刺激。

[0039] 在步骤 S104 中, 是通过预设程序控制或人工控制向目标物的特定位置进行聚焦超声辐射力的自动或手动刺激。

[0040] 基于同一发明构思, 本发明实施例中还提供了一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统, 如下面的实施例所述。由于该系统解决问题的原理与上述方法相似, 因此上述方法的实施可以参见该系统的实施, 重复之处不再赘述。以下所使用的, 术语“单元”或者“模块”可以实现预定功能的软件和/或硬件的组合。尽管以下实施例所描述的系统较佳地以软件来实现, 但是硬件, 或者软件和硬件的组合的实现也是可能并被构想的。

[0041] 图 2 为本发明一实施例的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统结构示意图。如图 2 所示, 该系统包括:

[0042] 超声波探头 1, 用于向目标区域发射超声波;

[0043] 成像模块 2, 用于实时获取返回的超声波信息, 根据超声波信息生成目标区域图像;

[0044] 目标物图像处理模块 3, 用于对目标区域图像进行处理, 提取目标物图像, 对目标物图像进行智能判定, 输出判定结果, 并获得目标物位置数据;

[0045] 刺激控制模块 4, 用于根据对目标物的判定结果和位置数据, 控制所述超声波探头向目标物的特定位置智能发射聚焦超声辐射力的刺激。

[0046] 在本实施例中, 该系统还可以包括: 同步显示模块 5, 用于显示目标区域图像。

[0047] 图 3 为本发明一具体实施例的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的系统应用示意图。如图 3 所示, 鱼缸 8 为要探测的目标区域, 目标物为斑马鱼 6, 限制装置 7 将斑马鱼 6 的游动范围进行限制, 超声波探头 1 设置在鱼缸 6 上部, 超声波探头 1 连接一超声控制器 9, 该超声控制器 9 为超声波探头 1 的配套器件, 其中包含了图 2 中所示的成像模块 2、目标物图像处理模块 3、刺激控制模块 4。

[0048] 笔记本电脑 10 连接超声控制器 9, 集成有同步显示模块 5, 可以用于显示目标区域图像 11 (图像中包含了目标物图像), 还可以用于人工控制进行超声辐射力的刺激。

[0049] 在本实施例中, 刺激控制模块 5 设置了主动和被动两种触发机制, 可以通过预设

程序控制或人工控制向目标物的特定位置进行聚焦超声辐射力的自动或手动刺激。

[0050] 在本实施例中,超声波探头 1 向目标区域发射超声波以及向目标物的特定位置智能发射聚焦超声辐射力的刺激是利用超声波复用技术实现,其中包括:时分复用模式和通道复用模式中的至少一种模式,以及全通道分时复用方式、连续通道全时序方式、交错通道全时序方式中的至少一种方式。

[0051] 超声波探头 1 包含的超声换能器阵列中的 128 个阵元,在通道复用模式下按照通道被分成 2 个通道组,一组用于超声成像,另一组用于超声辐射力的刺激;在时分复用模式下按照时间被划分成 2 个时间片,一个时间片用于超声成像,另一个时间片用于超声辐射力的刺激。

[0052] 在一具体实施例中,上述系统可以基于 Verasonics 超声研究平台和普通的商业超声探头来实现对目标物的自动追踪定位,并发射超声辐射力进行刺激。

[0053] 在成像模块 2 获得目标区域图像后,目标物图像处理模块 3 会对超声图像进行逐帧处理获取目标物位置参数,从而实现对目标物的自动追踪定位。

[0054] 目标物图像处理模块 3 接收成像模块 2 提供的图像数据,并完成图像的预处理、分割、目标物标定,最后获得目标物的位置参数,并交由刺激控制模块 4。

[0055] 刺激控制模块 4 可以控制发射聚焦超声的辐射力,由于只在焦点附近的一定范围才能获得较高的能量密度,因此在发射超声辐射力之前需对焦点进行调整。调整参数由目标物图像处理模块 3 根据超声成像自动获得,本模块由以下步骤来实现:一是由目标物的位置参数判定是否需要发射刺激波。二是由复用技术实现成像和刺激同步进行。三是通过聚焦控制实现对目标物的准确刺激。

[0056] 其中,复用技术有两种模式分三种方式来实现:即时分复用和通道复用两种模式,有全通道分时复用、连续通道全时序和交错通道全时序三种方式。

[0057] 时分复用技术采用同一物理设备的不同时段来传输不同的声波,达到同一设备发射成像波和刺激波的目的。时分复用技术将整个通道传输声波的时间划分成若干时间片(也称时隙),并将这些时隙分配给两种声波使用。

[0058] 通道复用技术采用的是将所有通道按连续或交错方式进行分组(简称子通道),并将这些子通道分配给两种声波使用。

[0059] 结合图 4A 至图 4C,超声波成像波束 12 和超声波刺激波束 13 分别作用于鱼缸 8 中的斑马鱼 6。其中,

[0060] 图 4A 所示为通道复用模式中的连续通道全时序复用的示意图。

[0061] 图 4B 所示为通道复用模式中的交错通道全时序复用的示意图。

[0062] 图 4C 所示为时分复用模式中的全通道分时复用的示意图。

[0063] 结合图 5A 至图 5B 所示,是在一具体实施例中,超声波探头 1 发射超声波刺激波束 13 时,采用对目标物(斑马鱼 6)进行自动追踪定位,并实时智能发射聚焦刺激波。由于采用的是聚焦超声波,所以波束会汇聚到一个目标点位。

[0064] 为了说明上述系统在超声波技术应用的可行性,以下通过斑马鱼作为模式生物进行实验验证。在观察对斑马鱼刺激反应后,发现上述系统可以对斑马鱼的超声图像进行正确分割,并获得其位置参数。通过观察斑马鱼的生物学行为特性,发现斑马鱼在超声辐射力的刺激下具有一定的行为反应。如图 6 所示,为本发明一具体实施例的斑马鱼刺激实验的

超声波图像,白色轮廓区域为经图像处理提取的目标物,“十”字所示为系统自动追踪定位的位置参数(斑马鱼的位置)。其中,通过图6所示可以看出斑马鱼的图像以及追踪定位的位置,说明本发明系统的图像分割处理和位置参数定位结果准确。因此,通过实验验证了上述系统的相关特性,可以实现自动追踪斑马鱼并对其实时进行超声辐射力刺激,实验效果很好。

[0065] 除上述实施例所述的情况外,本发明的超声波探头可由多探头进行集成实现成像波和刺激波一体化。本发明还可以应用于其它环境下的生物作用目标物的超声辐射力刺激应用,也可扩展到气态环境下应用,如驱赶鸟类、捕鱼等。本发明除上述所述以超声波为媒介,也可采用自然光、激光、热成像等成像手段实现图像采集,再通过超声波、激光或其它的能量传递方式组合实现刺激。

[0066] 本发明提出的基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法及系统,利用超声波的波动形式和能量形式,对超声成像波与刺激波采用分时控制,实现超声成像与自动追踪定位同步显示,可以控制对目标物实施实时智能刺激并在超声图像上可视化地展示,对运用超声波技术研究目标区域的目标物(如斑马鱼类)神经刺激反应的实验有很大的方便性和准确性,提高了效率,具有重要的意义。

[0067] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

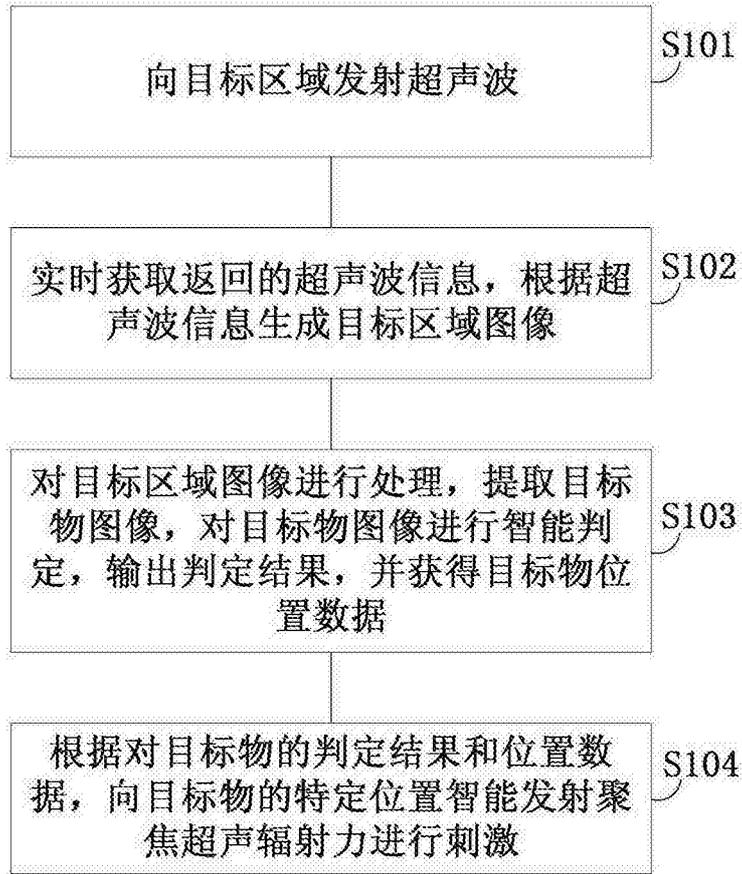


图 1

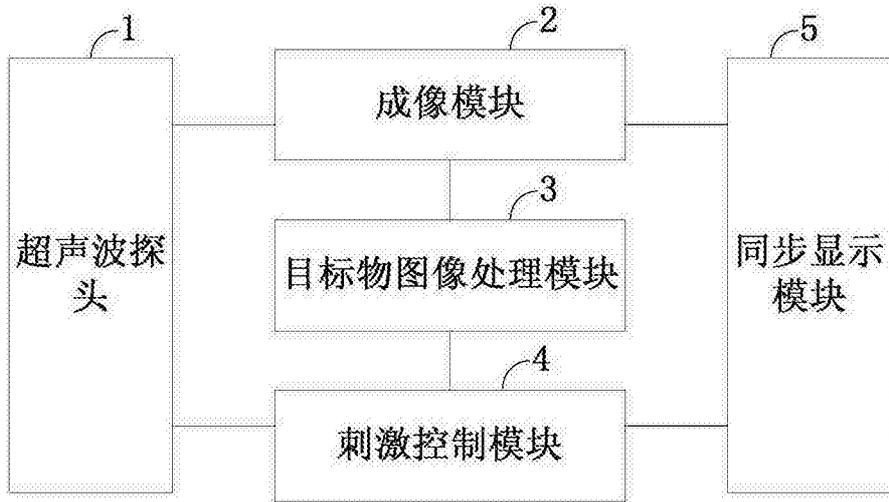


图 2

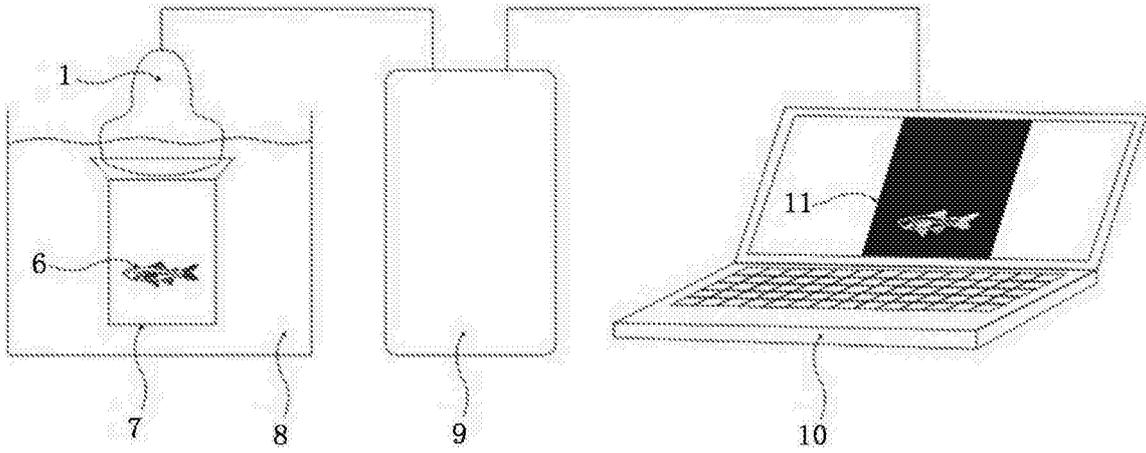


图 3

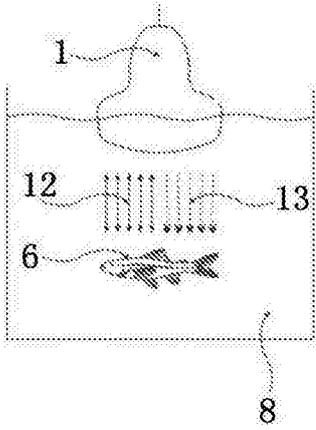


图 4A

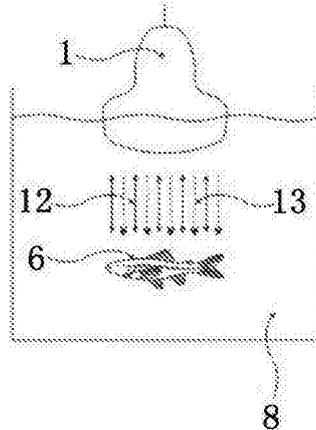


图 4B

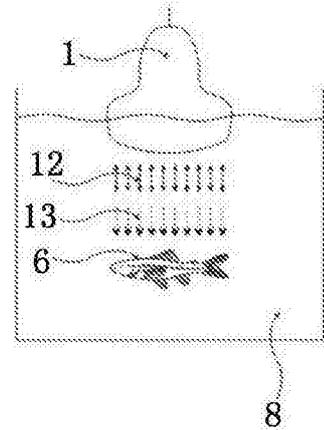


图 4C

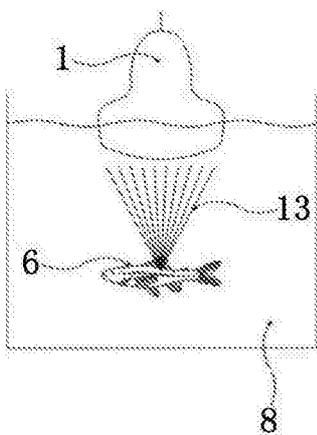


图 5A

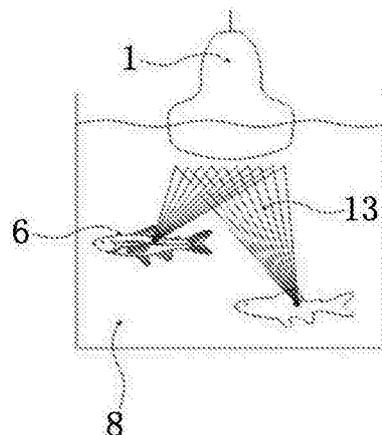


图 5B

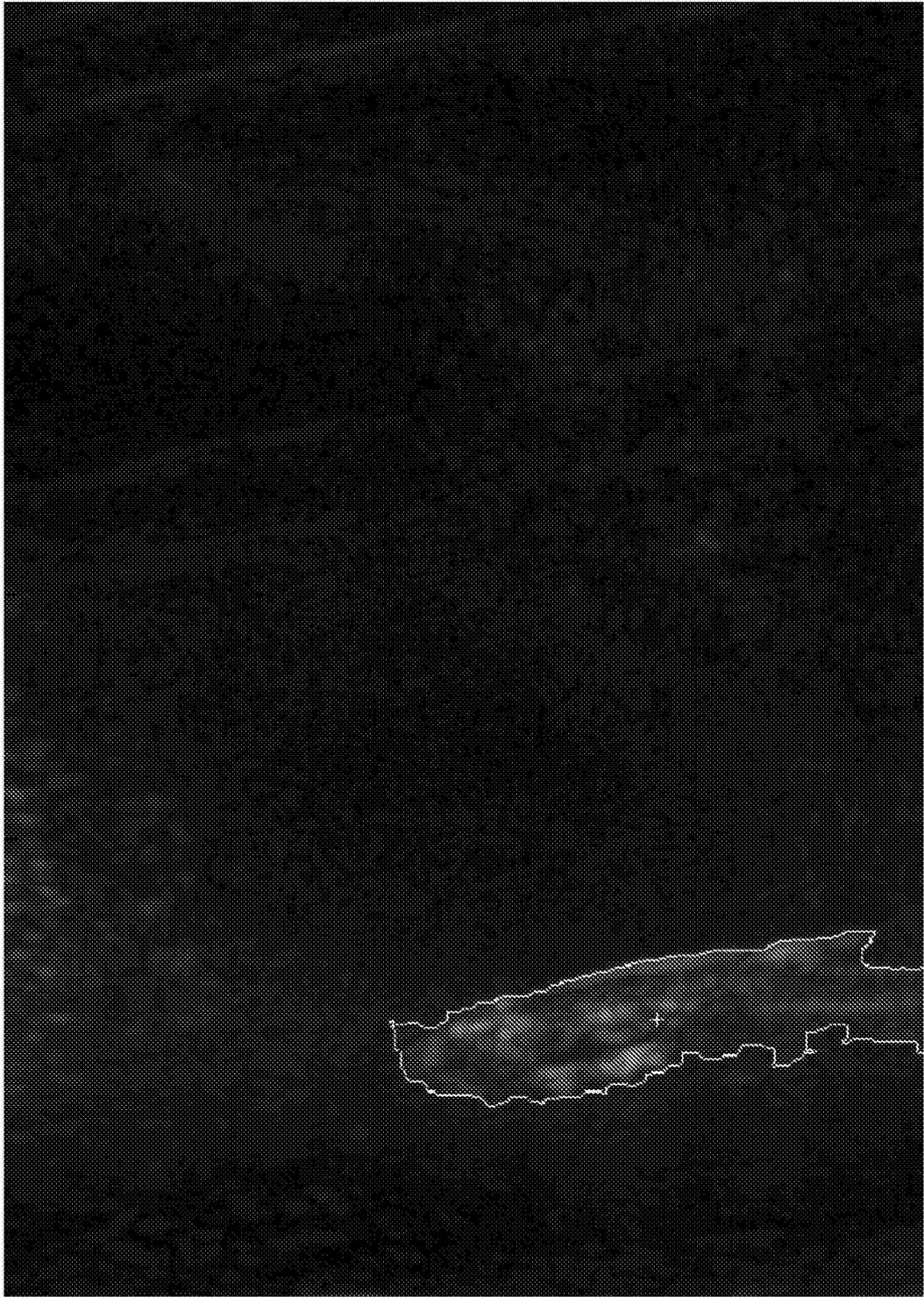


图 6

专利名称(译)	一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法及系统		
公开(公告)号	<a href="#">CN105233429A</a>	公开(公告)日	2016-01-13
申请号	CN201510764312.4	申请日	2015-11-10
[标]申请(专利权)人(译)	深圳先进技术研究院		
申请(专利权)人(译)	中国科学院深圳先进技术研究院		
当前申请(专利权)人(译)	中国科学院深圳先进技术研究院		
[标]发明人	周冬良 严飞 郑海荣 王丛知		
发明人	周冬良 严飞 郑海荣 王丛知		
IPC分类号	A61N7/02 A61B8/00		
代理人(译)	郭晓宇		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

本发明公开了一种基于超声波成像对目标物进行自动追踪定位及实时智能刺激的方法及系统，包括：向目标区域发射超声波；实时获取返回的超声波信息，根据超声波信息生成目标区域图像；对目标区域图像进行处理，提取目标物图像，获得目标物位置数据；根据目标物位置数据，向目标物所在位置实时智能发射超声辐射力的刺激。本发明提出的上述方法及系统利用超声波的波动形式和能量形式，对超声成像波与刺激波采用分时控制，实现超声成像与自动追踪定位同步显示，可以控制对目标物实施实时智能刺激并在超声图像上可视化地展示，对运用超声波技术研究斑马鱼类神经刺激反应的实验有很大的方便性和准确性，提高了效率，具有重要的意义。

