



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103191528 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 10

(21) 申请号 201310093642. 6

(22) 申请日 2013. 03. 21

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 陈亚珠 吉翔 白景峰 沈国峰

乔杉 余瑛 吴昊

(74) 专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限

公司 31236

代理人 郭国中

(51) Int. Cl.

A61N 7/00(2006. 01)

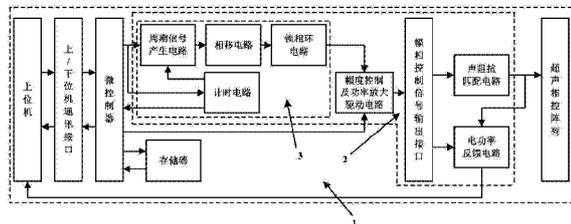
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

超声相控阵列聚焦模式高速切换系统及聚焦模式合成方法

(57) 摘要

本发明提供一种超声相控阵列聚焦模式高速切换系统及聚焦模式合成方法,该系统包括:上位机、上/下位机通讯接口、微控制器、存储器、幅相控制信号发生器和超声相控阵列,微控制器通过上/下位机通讯接口与上位机进行数据接收和发送,同时将相关数据存入存储器,当微控制器接收到上位机发送的控制命令,随即取出存储器内相关数据,并将相关数据发送至幅相控制信号发生器,幅相控制信号发生器根据接收到的数据产生合成聚焦模式或高速切换不同聚焦模式所需的多路正弦波信号,并发送至超声相控阵列激励超声相控阵列内对应阵元。本发明可用于医学成像系统引导的相控型聚焦超声系统中聚焦模式合成或多个聚焦模式间高速切换。



1. 一种超声相控阵列聚焦模式高速切换系统,其特征在于,包括:上位机、上/下位机通讯接口、微控制器、存储器、幅相控制信号发生器和超声相控阵列,所述微控制器通过所述上/下位机通讯接口与所述上位机连接,所述存储器与所述微控制器连接,所述幅相控制信号发生器分别与所述微控制器、上位机和超声相控阵列连接,所述微控制器通过上/下位机通讯接口与上位机进行数据接收和发送,同时将相关数据存入存储器,当微控制器接收到上位机发送的控制命令,随即取出存储器内相关数据,并将所述相关数据发送至幅相控制信号发生器,幅相控制信号发生器根据接收到的数据产生合成聚焦模式或高速切换不同聚焦模式所需的多路正弦波信号,并发送至所述超声相控阵列激励超声相控阵列内对应阵元。

2. 根据权利要求1所述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统,其特征在于,所述微控制器通过上/下位机通讯接口与所述上位机进行传输的数据包括接收部分和发送部分,其中,接收部分至少包括聚焦模式信息和控制命令信息,所述聚焦模式信息至少包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位;所述控制命令信息至少包括开启或停止输出激励正弦波信号指令、各组聚焦模式对应的焦点三维坐标、激励正弦波信号的输出开启时间和输出停止时间;所述发送部分至少包括各组聚焦模式对应激励正弦波信号的反馈信息,该信息至少包括单组聚焦模式对应激励正弦波信号的输出结束反馈信息。

3. 根据权利要求2所述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统,其特征在于,所述幅相控制信号发生器至少包括相控信号发生器、幅度控制及功率放大驱动电路、幅相控制信号输出接口、超声相控阵列内对应阵元的声阻抗匹配电路和电功率反馈电路,所述相控信号发生器用以接收所述微控制器发出的激励正弦波信号的相位信息、输出开启时间和输出停止时间并进行相应的处理,且当单组聚焦模式对应激励正弦波信号的总输出时间结束后,相控信号发生器将输出结束反馈信息发送至所述微控制器;所述幅度控制及功率放大驱动电路用以接收所述微控制器发出的激励正弦波信号的幅度信息;所述电功率反馈电路与所述上位机连接,用以将超声相控阵列内对应阵元正弦波信号的电功率反馈发送至上位机。

4. 根据权利要求2所述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统,其特征在于,所述相控信号发生器进一步包括周期信号产生电路、相移电路、锁相环电路和计时电路,所述周期信号产生电路、相移电路和锁相环电路依次连接,所述周期信号产生电路与所述微控制器连接,所述锁相环电路与所述幅度控制及功率放大驱动电路连接,所述计时电路分别与所述微控制器和周期信号产生电路连接。

5. 根据权利要求2所述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统,其特征在于,所述微控制器存入存储器的相关数据至少包括聚焦模式信息,聚焦模式信息至少包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位;根据控制命令信息中各组聚焦模式对应的焦点三维坐标,微控制器从存储器内取出对应的相关数据,至少包括各组聚焦模式对应的超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位。

6. 根据权利要求3所述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统,其特征在于,所述微控制器、存储器和相控信号发生器为各自独立的功能模块;或者,三者共同集成在现场可编程门阵列芯片上。

7. 根据权利要求 1 所述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统,其特征在于,所述超声相控阵列为二维或三维阵列;阵列内阵元形状不局限于圆形、方形或菱形;阵列内阵元尺寸相同,或不尽相同;阵列内相邻阵元间距相同,或不尽相同。

8. 根据权利要求 1 所述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统,其特征在于,所述系统用以产生合成单组聚焦模式所需的 64 ~ 512 路正弦波激励信号,所述正弦波激励信号为连续波信号或脉冲波信号;产生单组聚焦模式合成的多路正弦波信号的耗时与超声相控阵列的阵元数目成正比,且耗时不超过 10 毫秒。

9. 根据权利要求 5 所述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统,其特征在于,所述存储器至少存储三组不同聚焦模式信息的数据。

10. 一种基于权利要求 1 所述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统的聚焦模式合成方法,其特征在于:根据单组聚焦模式的焦点三维坐标和超声相控阵列内各阵元之间的几何关系以及焦点处设定声压的复数向量,采用伪逆矩阵方法或纯相位激励方法求出对应的超声相控阵列内各阵元激励正弦波信号的幅度和相位,具体包括以下步骤:

第一步,初步确定上位机的发送数据,包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及激励正弦波信号的输出开启时间和输出停止时间;

第二步,通过聚焦模式合成方法进一步确定上位机的发送数据,包括各组聚焦模式对应超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位;

第三步,经上/下位机通讯接口,上位机将聚焦模式信息发送至微控制器,该信息至少包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位,微控制器随后将该数据存入存储器;

第四步,经上/下位机通讯接口,上位机将控制命令信息发送至微控制器,该信息至少包括开启或停止输出激励正弦波信号指令、各组聚焦模式对应的焦点三维坐标、激励正弦波信号的输出开启时间和输出停止时间,根据控制命令信息中各组聚焦模式对应的焦点三维坐标,微控制器从存储器内取出对应的相关数据,至少包括各组聚焦模式对应的超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位;

第五步,微控制器将激励正弦波信号的相位信息、输出开启时间和输出停止时间发送至相控信号发生器,同时将幅度信息发送至幅度控制及功率放大驱动电路;

第六步,幅相控制信号发生器接收到通过上位机计算得到的激励正弦波信号的相位和幅度后,产生相应激励正弦波信号,并输出激励正弦波信号至超声相控阵列内对应阵元,同时相控信号发生器对该激励信号的输出总时间进行计时,电功率反馈电路将超声相控阵列内对应阵元正弦波信号的电功率反馈发送至上位机,当该组聚焦模式对应激励正弦波信号的总输出时间结束后,相控信号发生器将输出结束反馈发送至微控制器,微控制器将该反馈发送至上位机,之后将下一组聚焦模式对应激励正弦波信号的相关信息发送至相控信号发生器和幅度控制及功率放大驱动电路,进而实现相邻聚焦模式的高速切换,重复第六步直至完成各组聚焦模式的合成和切换。

11. 根据权利要求 10 所述的聚焦模式合成方法,其特征在于,步骤六中,所述上位机计算得到激励正弦波信号的相位和幅度的步骤,具体为:将焦点处设定声压的复数向量定义为 p ,根据焦点三维坐标和超声相控阵列内各阵元之间的几何关系可确定一前向传递算子,用矩阵 H 表示,单组聚焦模式对应激励正弦波信号的复数向量为 u ,以上三者关系为: $p=Hu$,

u 包含幅度和相位的信息, $u=A \times e^{j\theta}$, 其中, A 表示幅度, θ 表示相位, \times 表示向量间对应位置复数的乘法运算, j 表示虚数单位; 采用伪逆矩阵方法适用于合成多焦点聚焦模式, 则 H 为矩阵; 采用纯相位激励方法适用于合成单焦点聚焦模式, 则 H 为向量; 其中,

伪逆矩阵方法为: $u=H^+p$,

H^+ 是 H 的伪逆, $H^+=H^{*t}(HH^{*t})^{-1}$, 其中, 上标 $*$ 表示矩阵共轭, 上标 t 表示矩阵转置, 上标 -1 表示矩阵求逆;

纯相位激励方法为: $\theta = \arg(H^{*t}) + \arg(p)$,

$A = \text{abs}(p) / \text{dot}(H, e^{j\theta})$,

$u = A \times e^{j\theta}$,

其中, \arg 表示对向量取幅角, abs 表示对向量取模, dot 表示两向量的点积。

超声相控阵列聚焦模式高速切换系统及聚焦模式合成方法

技术领域

[0001] 本发明涉及生物医学工程技术领域,具体地,涉及一种超声相控阵列聚焦模式高速切换系统及聚焦模式合成方法。

背景技术

[0002] 相控型聚焦超声是新一代聚焦超声技术,它通过调控超声相控阵列内任意阵元激励正弦波信号的幅度和相位,将体外超声波束汇聚于一点或多点,该点(即焦点)在三维声场分布中具有声压幅度最大的特性,从理论上说,通过切换焦点的空间位置和时间分布可实现设定的超声能量分布和温度场结果。聚焦模式合成以及不同聚焦模式间切换是相控型聚焦超声系统的关键核心技术,以下将相控型聚焦超声系统简写为相控系统。聚焦模式合成是相控系统实现超声能量空间分布的唯一手段,不同聚焦模式间切换则是相控系统调整超声能量空间和时间分布的实现方式,间接影响温度场分布结果。对相控系统而言,合成单组聚焦模式须产生对应相控阵列内各阵元的激励正弦波信号,不同聚焦模式间切换则需要改变对应激励正弦波信号的幅度和相位。因此,要实现超声能量的精确时空分布,必须提高相邻聚焦模式的切换速度和频率,这就需要有一个针对超声相控阵列的聚焦模式高速切换系统。

[0003] 经对现有技术的文献检索发现,中国专利授权公告号为 CN101862511B, 2012. 04. 25 授权,由上海交通大学申请的发明专利《多通道高精度相控信号发生装置》披露了“一种多通道高精度相控信号发生装置,具体结构包括高精度有源晶振、现场可编程门阵列芯片、可编程只读存储器和 I/O 接口板,由电源模块为整个装置供电。所述可编程只读存储器存储现场可编程门阵列芯片的程序和配置信息。所述现场可编程门阵列芯片通过从可编程只读存储器中读取程序和配置信息,生成相移模块、相位译码模块、地址译码模块及若干个多路选通器。上位机提供的相位控制信号和通道控制信号通过 I/O 接口板分别连接到相位译码模块和地址译码模块,两个模块的输出分别连接到每一个多路选通器。高精度有源晶振作为系统信源,产生的时钟信号连接相移模块,其输出连接到每一个多路选通器。各个多路选通器并行工作:每个多路选通器根据上位机提供的相位控制信号确定输出信号的相位值;多路选通器输出的方波信号通过 I/O 接口板连接外部推挽式功率放大器。I/O 接口板实现现场可编程门阵列芯片与输出信号之间的光电隔离,并将现场可编程门阵列芯片 3.3V 的高电平电压输出提升为 I/O 接口板 5V 的高电平电压输出。”该技术存在以下三点不足:第一,一次“上位机提供的相位控制信号和通道控制信号”仅能合成单组聚焦模式,若需切换聚焦模式,上位机不得不重新发送新的相位控制信号和通道控制信号至“相位译码模块和地址译码模块”,进而发送一次信号无法实现多组聚焦模式的切换;第二,相邻聚焦模式间的切换很大程度上依赖上位机和现场可编程门阵列芯片内对应模块之间的数据传输,而 I/O 接口板传输速度的瓶颈限制了多组聚焦模式间的切换速度,进而影响相控系统对超声能量时空分布的精确调控;第三,该多通道高精度相控信号发生装置缺乏锁相环电路,因此无法对存在相位误差的“输出的方波信号”进行调整,进而不能实现输出信号与设定相位

信号的同步。

[0004] 经对现有技术的文献检索还发现,中国专利申请公布号为 CN102231625A, 2011. 11. 02 申请公布,由哈尔滨工程大学申请的《一种相控信号发生器及相控方法》披露了“一种可以使信号源的规模大大降低的相控信号发生器和一种相控方法,相控信号发生器由多个基本信号产生单元构成,每个基本信号产生单元又包含可控相移信号产生电路、幅度控制及驱动电路和单路-多路信号转接头,三者依次电信号连接;可控相移信号产生电路产生具有一定相移的信号;幅度控制及驱动电路用来控制输出信号的幅度,并提供驱动能力;单路-多路信号转接头将可控相移信号产生电路产生的并经幅度控制及驱动电路的单路信号分接成相同的多路信号,这些多路信号对应于被测多波束系统不同的输入端。”该技术存在明显不足:由于相控信号发生器和“被测多波束系统”内对应基元间存在电缆连接,每根电缆具有特性阻抗(与电缆的感抗和容抗有关),但该发生器内部缺乏阻抗匹配电路,因此,“被测多波束系统”的输入信号和相控信号发生器的输出信号之间会存在差别,表现为信号幅度和相位的不同。虽然单路输入信号的误差并不大,但随着基元数量的大幅增加,“被测多波束系统”输入信号的整体误差将变得不可忽略,进而影响“波束形成”效果。

发明内容

[0005] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种可以在多个聚焦模式间高速切换的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统及聚焦模式合成方法。

[0006] 根据本发明的一个方面,提供一种超声相控阵列聚焦模式高速切换系统,包括:上位机、上/下位机通讯接口、微控制器、存储器、幅相控制信号发生器和超声相控阵列,微控制器通过上/下位机通讯接口与上位机连接,存储器与微控制器连接,幅相控制信号发生器分别与微控制器、上位机和超声相控阵列连接,微控制器通过上/下位机通讯接口与上位机进行数据接收和发送,同时将相关数据存入存储器,当微控制器接收到上位机发送的控制命令,随即取出存储器内相关数据,并将相关数据发送至幅相控制信号发生器,幅相控制信号发生器根据接收到的数据产生合成聚焦模式或高速切换不同聚焦模式所需的多路正弦波信号,并发送至超声相控阵列激励超声相控阵列内对应阵元。

[0007] 优选地,微控制器通过上/下位机通讯接口与上位机进行传输的数据包括接收部分和发送部分,其中,接收部分至少包括聚焦模式信息和控制命令信息,聚焦模式信息至少包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位;控制命令信息至少包括开启或停止输出激励正弦波信号指令、各组聚焦模式对应的焦点三维坐标、激励正弦波信号的输出开启时间和输出停止时间;发送部分至少包括各组聚焦模式对应激励正弦波信号的反馈信息,该信息至少包括单组聚焦模式对应激励正弦波信号的输出结束反馈信息。

[0008] 优选地,幅相控制信号发生器至少包括相控信号发生器、幅度控制及功率放大驱动电路、幅相控制信号输出接口、超声相控阵列内对应阵元的声阻抗匹配电路和电功率反馈电路,相控信号发生器用以接收微控制器发出的激励正弦波信号的相位信息、输出开启时间和输出停止时间并进行相应的处理,且当单组聚焦模式对应激励正弦波信号的总输出时间结束后,相控信号发生器将输出结束反馈信息发送至微控制器;幅度控制及功率放大驱动电路用以接收微控制器发出的激励正弦波信号的幅度信息;电功率反馈电路与上位机

连接,用以将超声相控阵列内对应阵元正弦波信号的电功率反馈发送至上位机。

[0009] 优选地,相控信号发生器进一步包括周期信号产生电路、相移电路、锁相环电路和计时电路,周期信号产生电路、相移电路和锁相环电路依次连接,周期信号产生电路与微控制器连接,锁相环电路与幅度控制及功率放大驱动电路连接,计时电路分别与微控制器和周期信号产生电路连接。

[0010] 优选地,微控制器存入存储器的相关数据至少包括聚焦模式信息,聚焦模式信息至少包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位;根据控制命令信息中各组聚焦模式对应的焦点三维坐标,微控制器从存储器内取出对应的相关数据,至少包括各组聚焦模式对应的超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位。

[0011] 优选地,微控制器、存储器和相控信号发生器为各自独立的功能模块;或者,三者共同集成在现场可编程门阵列芯片上。

[0012] 优选地,超声相控阵列为二维或三维阵列;阵列内阵元形状不局限于圆形、方形或菱形;阵列内阵元尺寸相同,或不尽相同;阵列内相邻阵元间距相同,或不尽相同。

[0013] 优选地,该系统用以产生合成单组聚焦模式所需的 64 ~ 512 路正弦波激励信号,正弦波激励信号为连续波信号或脉冲波信号;产生单组聚焦模式合成的多路正弦波信号的耗时与超声相控阵列的阵元数目成正比,且耗时不超过 10 毫秒。

[0014] 优选地,存储器至少存储三组不同聚焦模式信息的数据。

[0015] 根据本发明的另一方面,提供一种基于上述超声相控阵列聚焦模式高速切换系统的聚焦模式合成方法,根据单组聚焦模式的焦点三维坐标和超声相控阵列内各阵元之间的几何关系以及焦点处设定声压的复数向量,采用伪逆矩阵方法或纯相位激励方法求出对应的超声相控阵列内各阵元激励正弦波信号的幅度和相位,具体包括以下步骤:

[0016] 第一步,初步确定上位机的发送数据,包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及激励正弦波信号的输出开启时间和输出停止时间;

[0017] 第二步,通过聚焦模式合成方法进一步确定上位机的发送数据,包括各组聚焦模式对应超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位;

[0018] 第三步,经上/下位机通讯接口,上位机将聚焦模式信息发送至微控制器,该信息至少包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位,微控制器随后将该数据存入存储器;

[0019] 第四步,经上/下位机通讯接口,上位机将控制命令信息发送至微控制器,该信息至少包括开启或停止输出激励正弦波信号指令、各组聚焦模式对应的焦点三维坐标、激励正弦波信号的输出开启时间和输出停止时间,根据控制命令信息中各组聚焦模式对应的焦点三维坐标,微控制器从存储器内取出对应的相关数据,至少包括各组聚焦模式对应的超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位;

[0020] 第五步,微控制器将激励正弦波信号的相位信息、输出开启时间和输出停止时间发送至相控信号发生器,同时将幅度信息发送至幅度控制及功率放大驱动电路;

[0021] 第六步,幅相控制信号发生器接收到通过上位机计算得到的激励正弦波信号的相位和幅度后,产生相应激励正弦波信号,并输出激励正弦波信号至超声相控阵列内对应阵元,同时相控信号发生器对该激励信号的输出总时间进行计时,电功率反馈电路将超声相

控阵列内对应阵元正弦波信号的电功率反馈发送至上位机, 当该组聚焦模式对应激励正弦波信号的总输出时间结束后, 相控信号发生器将输出结束反馈发送至微控制器, 微控制器将该反馈发送至上位机, 之后将下一组聚焦模式对应激励正弦波信号的相关信息发送至相控信号发生器和幅度控制及功率放大驱动电路, 进而实现相邻聚焦模式的高速切换, 重复第六步直至完成各组聚焦模式的合成和切换。

[0022] 优选地, 步骤六中, 上位机计算得到激励正弦波信号的相位和幅度的步骤, 具体为: 将焦点处设定声压的复数向量定义为 p , 根据焦点三维坐标和超声相控阵列内各阵元之间的几何关系可确定一前向传递算子, 用矩阵 H 表示, 单组聚焦模式对应激励正弦波信号的复数向量为 u , 以上三者关系为: $p=Hu$, u 包含幅度和相位的信息, $u=A \times e^{j\theta}$, 其中, A 表示幅度, θ 表示相位, \times 表示向量间对应位置复数的乘法运算, j 表示虚数单位; 采用伪逆矩阵方法适用于合成多焦点聚焦模式, 则 H 为矩阵; 采用纯相位激励方法适用于合成单焦点聚焦模式, 则 H 为向量; 其中,

[0023] 伪逆矩阵方法为: $u=H^+p$,

[0024] H^+ 是 H 的伪逆, $H^+=H^{*t}(HH^{*t})^{-1}$, 其中, 上标 $*$ 表示矩阵共轭, 上标 t 表示矩阵转置, 上标 -1 表示矩阵求逆;

[0025] 纯相位激励方法为: $\theta = \arg(H^{*t}) + \arg(p)$,

[0026] $A = \text{abs}(p) / \text{dot}(H, e^{j\theta})$,

[0027] $u = A \times e^{j\theta}$,

[0028] 其中, \arg 表示对向量取幅角, abs 表示对向量取模, dot 表示两向量的点积。

[0029] 与现有技术相比, 本发明具有如下的有益效果: 上位机发送一次控制命令至微控制器即可依次完成多组设定聚焦模式的合成与切换, 且无需与幅相控制信号发生器直接通讯, 大幅提高数据传输速度, 实现聚焦模式间的高速切换; 在系统内设计了反馈模块, 可实现超声相控阵列内各阵元激励信号与设定正弦波信号的同步。本发明可用于医学成像系统引导的相控型聚焦超声系统中聚焦模式合成或多个聚焦模式间高速切换。

附图说明

[0030] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述, 本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0031] 图 1 为本发明超声相控阵列聚焦模式高速切换系统的系统组成框图;

[0032] 图 2 为本发明的系统工作流程图;

[0033] 图中: 1 为超声相控阵列聚焦模式高速切换系统, 2 为幅相控制信号发生器, 3 为相控信号发生器。

具体实施方式

[0034] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明, 但不以任何形式限制本发明。应当指出的是, 对本领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明构思的前提下, 还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0035] 请参阅图 1, 一种超声相控阵列聚焦模式高速切换系统 1, 包括: 上位机、上 / 下位

机通讯接口、微控制器、存储器、幅相控制信号发生器 2 和超声相控阵列,微控制器通过上/下位机通讯接口与上位机连接,存储器与微控制器连接,幅相控制信号发生器 2 分别与微控制器、上位机和超声相控阵列连接,微控制器通过上/下位机通讯接口与上位机进行数据接收和发送,同时将相关数据存入存储器,当微控制器接收到上位机发送的控制命令,随即取出存储器内相关数据,并将相关数据发送至幅相控制信号发生器 2,幅相控制信号发生器 2 根据接收到的数据产生合成聚焦模式或高速切换不同聚焦模式所需的多路正弦波信号,并发送至超声相控阵列激励超声相控阵列内对应阵元。

[0036] 幅相控制信号发生器 2 至少包括相控信号发生器 3、幅度控制及功率放大驱动电路、幅相控制信号输出接口、超声相控阵列内对应阵元的声阻抗匹配电路和电功率反馈电路,相控信号发生器用以接收微控制器发出的激励正弦波信号的相位信息、输出开启时间和输出停止时间并进行相应的处理,且当单组聚焦模式对应激励正弦波信号的总输出时间结束后,相控信号发生器将输出结束反馈信息发送至微控制器;幅度控制及功率放大驱动电路用以接收微控制器发出的激励正弦波信号的幅度信息;电功率反馈电路与上位机连接,用以将超声相控阵列内对应阵元正弦波信号的电功率反馈发送至上位机。

[0037] 相控信号发生器 3 进一步包括周期信号产生电路、相移电路、计时电路和用以实现激励信号的相位与设定信号相位同步并减小两者相位间误差的锁相环电路。周期信号产生电路、相移电路和锁相环电路依次连接,周期信号产生电路与微控制器连接,锁相环电路与幅度控制及功率放大驱动电路连接,计时电路分别与微控制器和周期信号产生电路连接。

[0038] 具体地,微控制器通过上/下位机通讯接口与上位机进行传输的数据包括接收部分和发送部分,其中,接收部分至少包括聚焦模式信息和控制命令信息,聚焦模式信息至少包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位;控制命令信息至少包括开启或停止输出激励正弦波信号指令、各组聚焦模式对应的焦点三维坐标、激励正弦波信号的输出开启时间和输出停止时间;发送部分至少包括各组聚焦模式对应激励正弦波信号的反馈信息,该信息至少包括单组聚焦模式对应激励正弦波信号的输出结束反馈信息。

[0039] 进一步地,微控制器存入存储器的相关数据至少包括聚焦模式信息,聚焦模式信息至少包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位;根据控制命令信息中各组聚焦模式对应的焦点三维坐标,微控制器从存储器内取出对应的相关数据,至少包括各组聚焦模式对应的超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位。

[0040] 本实例中,需要说明的是,微控制器或存储器既可以是独立于相控信号发生器的真实的微控制器或存储器,也可以是与相控信号发生器共同集成在现场可编程门阵列芯片上且采用其资源构建的虚拟的微控制器或存储器。并且,存储器可至少存储三组不同聚焦模式信息的数据。

[0041] 超声相控阵列为二维或三维阵列;阵列内阵元形状不局限于圆形、方形或菱形;阵列内阵元尺寸相同,或不尽相同;列内相邻阵元间距相同,或不尽相同。

[0042] 本发明的系统用以产生合成单组聚焦模式所需的 64~512 路正弦波激励信号,正弦波激励信号为连续波信号或脉冲波信号;产生单组聚焦模式合成的多路正弦波信号的耗

时与超声相控阵列的阵元数目成正比,且耗时不超过 10 毫秒。

[0043] 在本发明的一个实施例中,超声相控阵列由 128 个阵元组成,合成单组聚焦模式则须产生 128 路激励正弦波信号。上位机采用自带多个串/并行接口和 USB 接口的工控机,微控制器是独立于相控信号发生器的真实微控制器,采用 MCS-51 系列单片机,上/下位机通讯接口采用串/并行接口,存储器是独立于相控信号发生器的真实存储器,采用 Cypress 半导体公司的静态 RAM 芯片(CY62182BN),该芯片容量为 1Mbit (128K*8bit),地址线为 16 位,数据线为 8 位,可被 MCS-51 系列单片机读写。相控信号发生器 3 中,根据阵元谐振频率,周期信号产生电路中除信号源采用石英晶体振荡器外,周期信号产生电路其余部分、相移电路、锁相环电路和计时电路均集成在现场可编程门阵列芯片上,采用 Altera 公司的 FPGA 芯片(Cyclone III EP3C40F484C8),该芯片具有 331 个外部独立 I/O,满足了 128 路信号的输出要求,锁相环输出频率最高可达 402MHz,满足了 128 倍频(假设阵元谐振频率即基频为 2MHz)的需求,幅度控制及功率放大驱动电路采用附带电源的变压器耦合乙类推挽式功率放大器电路,幅相控制信号输出接口采用同轴电缆连接器接口。针对各阵元自身阻抗特性,声阻抗匹配电路采用 LC (电感电容)阻抗匹配电路,电功率反馈电路如下:将 Agilent 示波器的电压探头和电流探头分别置于幅相控制信号输出接口和同轴电缆上测量激励正弦波信号的电压和电流,示波器随后将两者有效值的乘积(即电功率)采用 USB 传输方式发送至上位机。

[0044] 请参阅图 2,其为本发明的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统的工作流程图。基于上述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统 1,本发明还提供一种基于上述的超声相控阵列聚焦模式高速切换系统的聚焦模式合成方法,根据单组聚焦模式的焦点三维坐标和超声相控阵列内各阵元之间的几何关系以及焦点处设定声压的复数向量,采用伪逆矩阵方法或纯相位激励方法求出对应的超声相控阵列内各阵元激励正弦波信号的幅度和相位,具体包括以下步骤:

[0045] 第一步,初步确定上位机的发送数据,包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及激励正弦波信号的输出开启时间和输出停止时间。

[0046] 第二步,通过聚焦模式合成方法进一步确定上位机的发送数据,包括各组聚焦模式对应超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位。

[0047] 第三步,经上/下位机通讯接口,上位机将聚焦模式信息发送至微控制器,该信息至少包括各组聚焦模式对应的序号、焦点三维坐标以及超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位,微控制器随后将该数据存入存储器。

[0048] 第四步,经上/下位机通讯接口,上位机将控制命令信息发送至微控制器,该信息至少包括开启或停止输出激励正弦波信号指令、各组聚焦模式对应的焦点三维坐标、激励正弦波信号的输出开启时间和输出停止时间,根据控制命令信息中各组聚焦模式对应的焦点三维坐标,微控制器从存储器内取出对应的相关数据,至少包括各组聚焦模式对应的超声相控阵列激励正弦波信号的幅度和相位。

[0049] 第五步,微控制器将激励正弦波信号的相位信息、输出开启时间和输出停止时间发送至相控信号发生器,同时将幅度信息发送至幅度控制及功率放大驱动电路。

[0050] 第六步,幅相控制信号发生器接收到通过上位机计算得到的激励正弦波信号的相位和幅度,产生相应激励正弦波信号,并输出激励正弦波信号至超声相控阵列内对应阵元,

同时相控信号发生器对该激励信号的输出总时间进行计时,电功率反馈电路将超声相控阵列内对应阵元正弦波信号的电功率反馈发送至上位机,当该组聚焦模式对应激励正弦波信号的总输出时间结束后,相控信号发生器将输出结束反馈发送至微控制器,微控制器将该反馈发送至上位机,之后将下一组聚焦模式对应激励正弦波信号的相关信息发送至相控信号发生器和幅度控制及功率放大驱动电路,进而实现相邻聚焦模式的高速切换,重复第六步直至完成各组聚焦模式的合成和切换。

[0051] 步骤六中,上位机计算得到激励正弦波信号的相位和幅度的步骤具体为:合成单组聚焦模式须求出对应相控阵列内各阵元激励正弦波信号的幅度和相位,假设该相控阵列由 N 个阵元组成且该组聚焦模式包括 M 个焦点,则设焦点处设定声压的复数矩阵定义为 $p_{M \times 1}$,其中,下标表示矩阵的行数(M)和列数(1),根据焦点三维坐标和超声相控阵列内各阵元之间的几何关系可确定一前向传递算子,用矩阵 $H_{M \times N}$ 表示,该组聚焦模式对应激励正弦波信号的复数向量为 $u_{N \times 1}$,以上三者关系为: $p_{M \times 1} = H_{M \times N} u_{N \times 1}$ 。以下将 $p_{M \times 1}$ 、 $H_{M \times N}$ 和 $u_{N \times 1}$ 分别简写为 p 、 H 和 u ,即三者关系为: $p = Hu$, u 包含幅度和相位的信息, $u = A \times e^{j\theta}$,其中, A 表示幅度, θ 表示相位, \times 表示向量间对应位置复数的乘法运算, j 表示虚数单位;采用伪逆矩阵方法适用于合成多焦点聚焦模式,则 H 为矩阵;采用纯相位激励方法适用于合成单焦点聚焦模式,则 H 为向量;其中,

[0052] 伪逆矩阵方法为: $u = H^+ p$,

[0053] H^+ 是 H 的伪逆, $H^+ = H^{*t} (HH^{*t})^{-1}$,其中,上标 $*$ 表示矩阵共轭,上标 t 表示矩阵转置,上标 -1 表示矩阵求逆;

[0054] 纯相位激励方法为: $\theta = \arg(H^{*t}) + \arg(p)$,

[0055] $A = \text{abs}(p) / \text{dot}(H, e^{j\theta})$,

[0056] $u = A \times e^{j\theta}$,

[0057] 其中, \arg 表示对向量取幅角, abs 表示对向量取模, dot 表示两向量的点积。

[0058] 本发明利用上位机发送一次控制命令至微控制器即可依次完成多组设定聚焦模式的合成与切换,无需与幅相控制信号发生器直接通讯,大幅提高了数据传输速度,实现了聚焦模式间的高速切换,且在系统内设计了反馈模块,实现了超声相控阵列内各阵元激励信号与设定正弦波信号的同步。本发明可用于医学成像系统引导的相控型聚焦超声系统中聚焦模式合成或多个聚焦模式间高速切换。

[0059] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改,这并不影响本发明的实质内容。

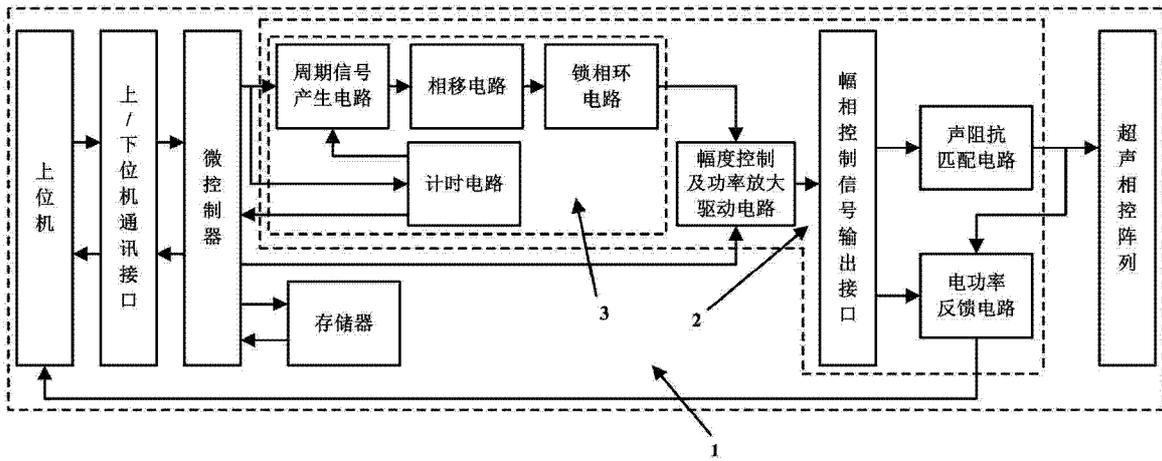


图 1

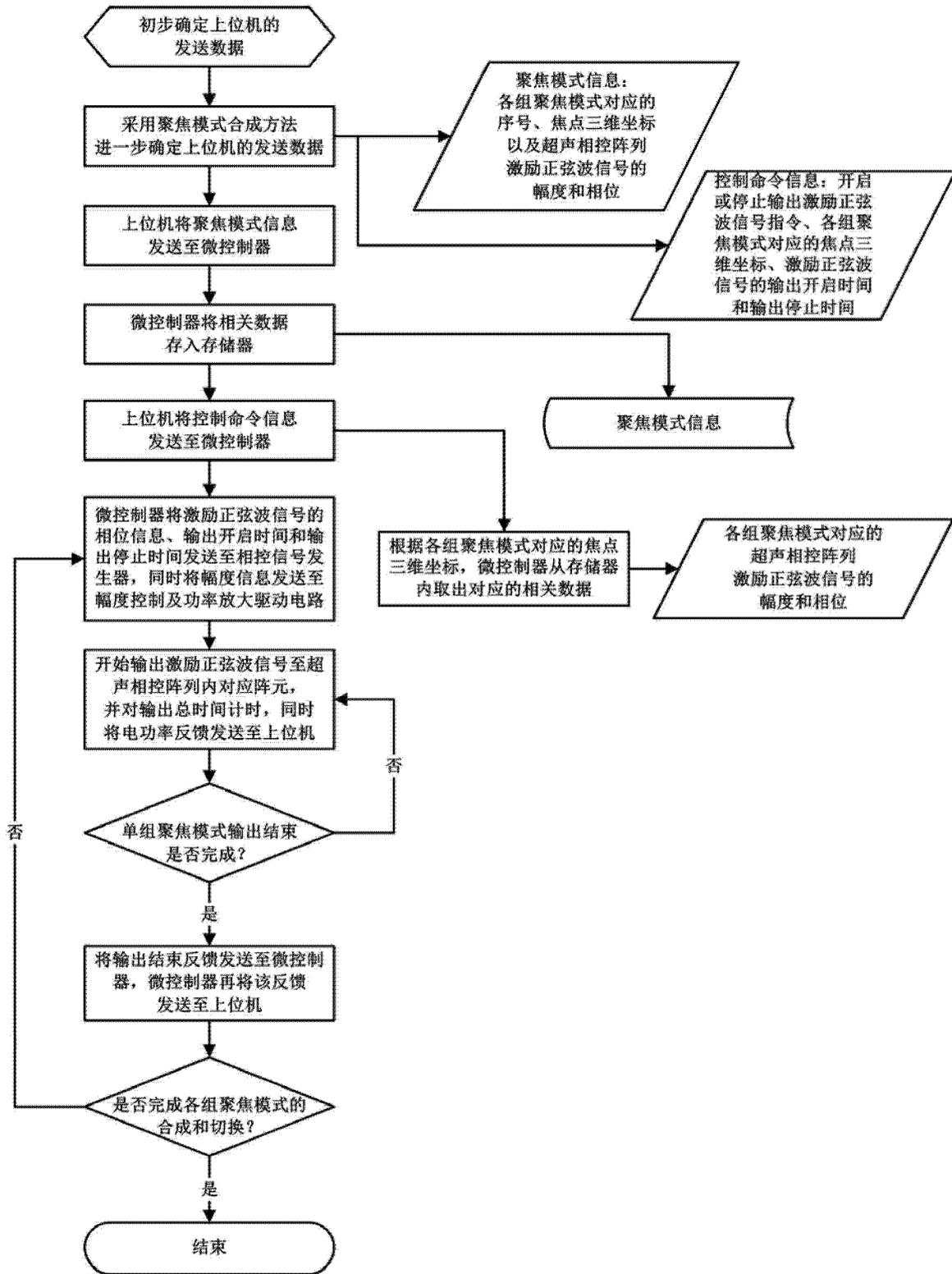


图 2