



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103006272 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 03

(21) 申请号 201310007683. 9

(22) 申请日 2013. 01. 09

(73) 专利权人 东南大学

地址 211300 江苏省南京市高淳县古檀大道
3 号科创中心 405 室

(72) 发明人 周宾 姚琛 许传龙 张龙

(74) 专利代理机构 南京天翼专利代理有限责任
公司 32112

代理人 王鹏翔 朱戈胜

(51) Int. Cl.

A61B 8/06 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2003/0236461 A1, 2003. 11. 25, 全文.

CN 101002690 A, 2007. 07. 25, 全文.

WO 2012/081709 A1, 2012. 06. 21, 全文.

JP 特开 2008-86742 A, 2008. 04. 17, 全文.

EP 1977692 A2, 2008. 10. 08, 全文.

杨金耀, 李德来. 《一种扇形扫描三维超声成像系统三维重建方法》. 《中国医疗器械信息》. 2012, (第 7 期), 47-50.

审查员 陈昭阳

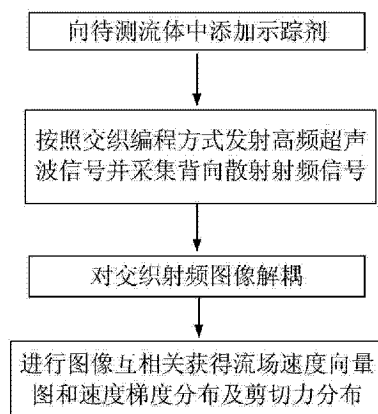
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

基于超声交织编程的速度分布测量方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于超声交织编程的速度分布测量方法, 包括如下步骤 1) 向待测流体中添加示踪剂; 2) 控制器控制高频超声换能器按照交织编程方式向外发射高频超声波信号, 并采集流体中示踪剂的背向散射射频信号; 3) 在步骤 2) 的基础之上, 对交织编程方法采集的交织射频图像解耦, 即可获得图像对; 4) 在步骤 3) 的基础之上, 将上述交织编程方法采集到的两帧射频信号图像 1 和图像 2 划分成多个分析窗口即询问窗口, 接着对询问窗口进行傅里叶空间内的二维互相关运算以得到该处示踪剂的局部位移, 再根据两帧图像的时间间隔 Δt , 则可以计算得到速度向量即位移除以时间 Δt 。该方法可以测定较高流速状态下流体速度场。



1. 基于超声交织编程的速度分布测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 向待测流体中添加示踪剂,所述待测流体为一般尺度非透明流体和多相流;

2) 控制器控制高频超声换能器按照交织编程方式向外发射高频超声波信号,并采集流体中示踪剂的背向散射射频信号;

设超声成像测速系统中超声探头由 n 个单元构成,按线扫描的方式来记录每帧图像;设一幅图像由 n 条扫描线构成,其中 a 表示扫描线所在位置,取值范围为 $[1, n]$, b 表示采集该条扫描线时所处的时间单元,取值范围为 $[1, n]$;

交织编程方式采集图像时,具体方法如下:在第 1 时间单元采集 $a = 1$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{11} ;在第 2 时间单元仍采集 $a = 1$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{12} ;在第 3 时间单元采集 $a = 2$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{23} ;在第 4 时间单元仍采集 $a = 2$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{24} ;以此类推,在第 $2n-1$ 时间单元采集 $a = n$ 位置处的射频信号扫描线,记为 $L_{n(2n-1)}$;在第 $2n$ 时间单元仍采集 $a = n$ 位置处的射频信号扫描线,记为 $L_{n(2n)}$;交织编程方法采集到的图像由 $(L_{11}, L_{12}, L_{23}, L_{24}, \dots, L_{n(2n-1)}, L_{n(2n)})$ 组成,包含 $2n$ 列;

3) 在步骤 2) 的基础之上,对交织编程方法采集的交织射频图像解耦,即可获得图像对;

所述的交织编程方法采集的交织射频图像解耦具体实现方法如下:抽取步骤 2) 图中第 1, 3, 5... $\sim 2n-1$ 时间单元所采集到的图像列构成图像 1 ($L_{11}, L_{23}, L_{35}, \dots, L_{n(2n-1)}$), 抽取第 2, 4, 6... $2n$ 时间单元所采集到的图像列构成图像 2 ($L_{12}, L_{24}, L_{36}, \dots, L_{n(2n)}$);

4) 在步骤 3) 的基础之上,将上述交织编程方法采集到的两帧射频信号图像 1 和图像 2 划分成多个分析窗口即询问窗口,接着对询问窗口进行傅里叶空间内的二维互相关运算以得到询问窗口示踪剂的局部位移,再根据两帧图像的时间间隔 Δt ,则可以计算得到速度向量即询问窗口示踪剂的位移除以时间 Δt 。

2. 根据权利要求 1 所述的基于超声交织编程的速度分布测量方法,其特征在于,所述的示踪剂是造影微泡或造影剂。

基于超声交织编程的速度分布测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用交织编程原理采集超声射频信号进行速度场测量的方法。

背景技术

[0002] 超声成像测速技术是一种非侵入式流场测量技术,可以实现非透明流质和流道壁速度场的测量,能够用来精确测量临床上血液流场,实现人体内血液复杂流场分布的实时测量,对各种心血管疾病准确诊断和临床研究具有重要意义。

[0003] 超声成像测速过程中所使用的线性超声探头由多个单元阵列组成,在进行图像采集时首先一组单元阵列通过高频信号发生电路激发换能器在测量区域产生超声波,然后接收超声回波信号(又被称为射频 RF 信号),产生超声图像中的一列。然后下一组新的单元阵列按照该方式继续采样产生超声图像的第二列,按照同样方式依次扫描,当所有超声探头单元阵列扫描流场以后将产生一张完整的超声图像,所产生的超声图像是由多条经连续取样方式产生的 RF 信号组成。常见的线性超声探头是由 128 个单元构成的阵列,采集的原始图像由 128 条 RF 信号线组成。最后通过对所获得的超声粒子射频图像作粒子图像测速法(PIV)互相关分析,获取各个位置处流体的流动速度。

[0004] 然而目前连续取样方式受超声设备采样频率的限制,只能获得较低流速下速度场的分布,对于流体速度较大情况下所得计算结果误差较大。例如:利用图像采集帧率 $f=250\text{Hz}$ (目前常用超声设备图像采集帧率为 $f=200\sim 500\text{Hz}$ 之间)的超声设备,从左向右扫描人体颈动脉中血液流场,设定在流场中示踪材料(造影剂)的移动速度与人体颈动脉处实际血液流动具有相同的流速 $U=1\text{m/s}$ 。对于由 $n=128$ 条线组成的超声图像,获取图像的第一条线至最后一条线之间的时间差为 T ,即获得一帧图像所花费的时间周期为 $T=1/f=4\text{ms}$ 。假设所采集得到的超声粒子图像宽度为 $L=5\text{cm}$ (实际使用的探头宽度),则其横向分辨率可表示为 $dx=L/n=0.39\text{mm}$ 即每条扫描线的宽度为 0.39mm 。示踪粒子在 T 时间内的位置偏移 $Dx=U/f=1/250=4\text{mm}$,相当于 10.3 倍扫描线的宽度,此较大位移对于传统的光学粒子图像测速法分析是可以接受的,但在超声成像技术中,采集到的是气泡的散斑图像,噪音较大。粒子位移过大会导致 PIV 互相关运算时间窗口内找不到匹配粒子图像对,从而使根据粒子图像测速法互相关运算所得的速度存在较大误差。如要达到理想状态下粒子偏移量仅是几条线的宽度,图像采集帧率 f 至少需增加三倍,因此需要使用更加先进的超声设备才能满足此要求,将会大大增加硬件成本。即便昂贵设备可以实现多条线同时扫描,提高图像的采集帧率,在一帧图像采集时间内使粒子偏移量减少至几条线的宽度,却存在流动过采样的缺点,例如一个典型的心动周期持续时间约为 1 秒,若以 $750\sim 1000\text{Hz}$ 的频率取样将产生大量的冗余数据,因为即使图像采集帧率比上述图像采集帧率降低一个数量级,也足够分辨心脏血液动力学特性。

[0005] 综上所述,目前缺乏以当前超声粒子成像硬件设备为基础,可以克服较高流速条件下粒子位移偏量过大的限制,获得流体流速较大情况下的二维流场分布的测速方法。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种基于超声交织编程的速度分布测量方法,该方法可以得到较高流速状态下流体的速度场;该方法以当前超声粒子成像硬件设备为基础,克服流速较高条件下连续采样过程中粒子位移偏移量过高的限制,不增加硬件成本,同时提高测速的动态范围。

[0007] 为了实现以上目的,本发明所采用的技术方案是:

[0008] 基于超声交织编程的速度分布测量方法,包括以下步骤:

[0009] 1) 向待测流体中添加示踪剂;

[0010] 2) 控制器控制高频超声换能器按照交织编程方式向外发射高频超声波信号,并采集流体中示踪剂的背向散射射频信号;

[0011] 设超声成像测速系统中超声探头由 n 个单元构成,按线扫描的方式来记录每帧图像;设一幅图像由 n 条扫描线构成,其中 a 表示扫描线所在位置,取值范围为 $[1, n]$, b 表示采集该条扫描线时所处的时间单元,取值范围为 $[1, n]$;

[0012] 交织编程方式采集图像时,具体方法如下:在第 1 时间单元采集 $a=1$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{11} ;在第 2 时间单元仍采集 $a=1$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{12} ;在第 3 时间单元采集 $a=2$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{23} ;在第 4 时间单元仍采集 $a=2$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{24} ;以此类推,在第 $2n-1$ 时间单元采集 $a=n$ 位置处的射频信号扫描线,记为 $L_{n(2n-1)}$;在第 $2n$ 时间单元仍采集 $a=n$ 位置处的射频信号扫描线,记为 $L_{n(2n)}$;交织编程方法采集到的图像由 $(L_{11}, L_{12}, L_{23}, L_{24}, \dots, L_{n(2n-1)}, L_{n(2n)})$ 组成,包含 $2n$ 列;

[0013] 3) 在步骤 2) 的基础之上,对交织编程方法采集的交织射频图像解耦,即可获得图像对;

[0014] 所述的交织编程方法采集的交织射频图像解耦具体实现方法如下:抽取步骤 2) 图中第 $1, 3, 5, \dots, 2n-1$ 时间单元所采集到的图像列构成图像 1 ($L_{11}, L_{23}, L_{35}, \dots, L_{n(2n-1)}$), 抽取第 $2, 4, 6, \dots, 2n$ 时间单元所采集到的图像列构成图像 2 ($L_{12}, L_{24}, L_{36}, \dots, L_{n(2n)}$);

[0015] 4) 在步骤 3) 的基础之上,将上述交织编程方法采集到的两帧射频信号图像 1 和图像 2 划分成多个分析窗口即询问窗口,接着对询问窗口进行傅里叶空间内的二维互相关运算以得到该处示踪剂的局部位移,再根据两帧图像的时间间隔 Δt ,则可以计算得到速度向量即位移除以时间 Δt 。

[0016] 所述的示踪剂是造影微泡或造影剂。

[0017] 高频超声换能器可以发送高频信号同时接受该反射信号,其中发送高频信号由超声探头中的高频超声换能器完成,高频超声换能器是本技术领域现有技术不做详细描述。

[0018] 本发明的步骤 1) 与步骤 4) 属于本技术领域公知技术,在本发明中不作详细描述。

[0019] 与现有技术相比,本发明的优点在于:本发明所提出的利用交织编程原理进行超声成像测速的方法,克服流速较高条件下连续采样过程中粒子位移偏移量过高的限制,不增加硬件成本,大大提高所测流速的动态范围,使超声测速技术的应用范围进一步扩大,不仅可以用于医学上心血管内血流动力学参数的获取,而且还可用于一般尺度非透明流体成像和多相流测量领域,例如石油工业中油气的输送,化学药物溶解监测,海岸工程学研究和分析,江河入海口及海岸线的环境管理等。

附图说明

- [0020] 图 1 是传统顺序扫描方式采集第一帧图像示意图；
[0021] 图 2 是传统顺序扫描方式采集第二帧图像示意图；
[0022] 图 3 是交织编程成像法获取图像示意图；
[0023] 图 4 是计算速度向量场示意图；
[0024] 图 5 是基于超声交织编程的速度分布测量方法的流程图；
[0025] 图 6 是测速实验系统示意图；
[0026] 图 7 是按照传统顺序扫描方式进行超声成像测速获取的二维速度场；
[0027] 图 8 是采用本发明交织编程原理进行超声成像测速得到的二维速度场。

具体实施方式

- [0028] 下面结合附图对本发明做进一步说明。
- [0029] 基于超声交织编程的速度分布测量方法,包括以下步骤:
- [0030] 1) 向待测流体中添加示踪剂,示踪剂可以是造影微泡或其它声学性能较好的造影剂。
- [0031] 2) 通过计算机控制高频超声换能器按照交织编程的方式向外发射高频超声波信号,并采集流体中示踪剂的背向散射射频信号。
- [0032] 传统顺序扫描方式与交织编程方式获取射频信号图像的区别之处在于:
- [0033] 假定超声成像测速系统中超声探头由 n 个单元构成,按线扫描的方式来记录每帧图像。由于超声造影剂微泡散射的信号是通过超声声束逐条扫描,再将扫描线组合在一起形成图像,从而造成不同扫描线之间时间不同。假定一幅图像由 n 条扫描线构成,定义图像中任意一条扫描线为 L_{ab} ,其中 a 表示扫描线所在位置,取值范围为 $[1, n]$, b 表示采集该条扫描线时所处的时间单元,取值范围为 $[1, n]$ 。
- [0034] 按传统方法采集图像时,如图 1 所示,对于第一幅图像,在第 1 时间单元采集 $a=1$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{11} ;在第 2 时间单元采集 $a=2$ 位置处射频信号扫描线,记为 L_{22} ;在第 3 时间单元采集 $a=3$ 位置处射频信号扫描线,记为 L_{33} ;以此类推,在第 n 时间单元采集 $a=n$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{nn} 。如图 2 所示,对于第二幅图像,在第 $n+1$ 时间单元采集 $a=1$ 位置处的射频信号扫描线,记为 $L_{1(n+1)}$;在第 $n+2$ 时间单元采集 $a=2$ 位置处的射频信号扫描线,记为 $L_{2(n+2)}$;在第 $n+3$ 时间单元采集 $a=3$ 位置处的射频信号扫描线,记为 $L_{3(n+3)}$;以此类推,在第 $2n$ 时间单元采集 $a=n$ 位置处的射频信号扫描线,记为 $L_{n(2n)}$ 。因此,按传统方法采集射频信号进行分析时,图像 1 由 $(L_{11}, L_{22}, L_{33}, \dots, L_{nn})$ 组成,图像 2 由 $(L_{1(n+1)}, L_{2(n+2)}, L_{3(n+3)}, \dots, L_{n(2n)})$ 组成。图像对的时间间隔为 n 。
- [0035] 按交织编程成像法采集图像时,如图 3 所示,在第 1 时间单元采集 $a=1$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{11} ;在第 2 时间单元仍采集 $a=1$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{12} ;由于被测流体处于运动中,因此 L_{11}, L_{12} 上记录了不同的示踪剂背向散射射频信号。在第 3 时间单元采集 $a=2$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{23} ;在第 4 时间单元仍采集 $a=2$ 位置处的射频信号扫描线,记为 L_{24} ;以此类推,在第 $2n-1$ 时间单元采集 $a=n$ 位置处的射频信号扫描线,记为 $L_{n(2n-1)}$;在第 $2n$ 时间单元仍采集 $a=n$ 位置处的射频信号扫描线,记为 $L_{n(2n)}$ 。

交织编程法采集到的图像由 $(L11, L12, L23, L24, \dots, L_n(2n-1), L_n(2n))$ 组成, 包含 $2n$ 列。

[0036] 3) 对利用交织编程成像法采集的交织射频图像解耦, 即可获得图像对。

[0037] 对交织编程成像法采集的射频信号图解耦过程如下, 抽取图 3 中第 $1, 3, 5 \dots \sim$ 第 $2n-1$ 时间单元所采集到的图像列构成图像 1 $(L11, L23, L35, \dots L_n(2n-1))$, 抽取第 $2, 4, 6 \dots \sim$ 第 $2n$ 时间单元所采集到的图像列构成图像 2 $(L12, L24, L36, \dots L_n(2n))$ 。此时, 图像对的时间间隔为 1。

[0038] 由上述分析可见, 对于高速流动的流体, 若按传统方法采集射频信号进行分析时, 图像对的时间间隔为 n , 由于示踪粒子位移过大, 在第二幅图像中无法获得相应的匹配粒子图像, 而按交织编程成像法采集射频信号图并解耦分析时, 图像对的时间间隔仅为 1, 完全可以由图像对获得匹配粒子对。因此采用交织编程成像法进行分析, 可以克服较高流速下粒子位移偏移量过大的限制, 适用于更宽的流体测速动态范围。

[0039] 4) 将图像划分成多个分析窗口, 所有分析窗口进行互相关运算, 获得流场速度场向量图以及速度梯度分布和壁面剪切力分布。

[0040] 如图 4 所示, 将上述交织编程成像法采集得到的两帧射频信号图像划分成多个分析窗口 (询问窗口), 接着对询问窗口进行傅里叶空间内的二维互相关运算以得到该处示踪剂的局部位移。如果两帧图像的时间间隔 Δt 已知, 则可以计算得到速度向量 (位移除以时间 Δt)。对所有的分析窗口进行互相关运算, 就可以得到二维的速度向量场。速度梯度分布和壁面剪切力分布可由速度向量场经计算获得。

[0041] 图 5 是基于超声交织编程的速度分布测量方法的流程图。基于超声交织编程的速度分布测量方法包括以下步骤。

[0042] 1. 向待测流体中添加示踪剂。示踪剂可以是造影微泡或其它声学性能较好的造影剂。

[0043] 通过计算机控制高频超声换能器按照交织编程的方式向外发射高频超声波信号并采集图像。在第 1 时间单元采集 $a=1$ 位置处的射频信号扫描线, 记为 $L11$; 在第 2 时间单元仍采集 $a=1$ 位置处的射频信号扫描线, 记为 $L12$; 在第 3 时间单元采集 $a=2$ 位置处的射频信号扫描线, 记为 $L23$; 在第 4 时间单元仍采集 $a=2$ 位置处的射频信号扫描线, 记为 $L24$; 以此类推, 在第 $2n-1$ 时间单元采集 $a=n$ 位置处的射频信号扫描线, 记为 $L_n(2n-1)$; 在第 $2n$ 时间单元仍采集 $a=n$ 位置处的射频信号扫描线, 记为 $L_n(2n)$ 。交织编程法采集到的图像 $(L11, L12, L23, L24, \dots, L_n(2n-1), L_n(2n))$ 由 $2n$ 列组成。

[0044] 为获得速度场计算所需的两帧图像, 需对交织编程成像法采集的交织射频信号图像解耦。抽取第 $1, 3, 5 \dots \sim$ 第 $2n-1$ 时间单元所采集到的图像列构成图像 1 $(L11, L23, L35, \dots L_n(2n-1))$, 抽取第 $2, 4, 6 \dots \sim$ 第 $2n$ 时间单元所采集到的图像列构成图像 2 $(L12, L24, L36, \dots L_n(2n))$ 。图像对的时间间隔为 1。

[0045] 将上述交织编程成像法采集得到的两帧射频信号图像划分成多个分析窗口 (询问窗口)。接着对询问窗口进行傅里叶空间内的二维互相关运算以得到该处示踪剂的局部位移。如果两帧图像的时间间隔 Δt 已知, 则可以计算得到速度向量。对所有的分析窗口进行互相关运算, 就可以得到二维的速度向量场。速度梯度分布和壁面剪切力分布可由速度向量场经计算获得。

[0046] 实验系统如图 6 所示, 乳胶管被水平放置在水槽中且在水槽底部放置吸声材料以

减少超声波的反射,乳胶管的内径为 5mm 壁厚为 1mm。通过一台离心泵驱动流体在管内以恒定流量循环流动。利用超声设备获取超声射频(RF)数据,该超声设备带有一个频率带宽为 5-14MHz 的线性探头,探头包含 128 个单元。调整流量值,使管道中心处最大速度约为 1.8m/s。

[0047] 图 7 是采用传统顺序扫描方式进行超声成像测速获取的二维速度向量场。其中箭头表示速度的方向,灰度表示速度的大小。由于高流速条件下,粒子偏移量过大,所得速度场计算结果误差较大,总体流速分布杂乱无章,管道中心流场处的部分速度向量分布甚至出现了与实际流动速度方向相反的情况。

[0048] 图 8 是采用本发明交织编程进行超声成像测速得到的二维速度向量场,准确完整的获取了全场速度矢量分布。

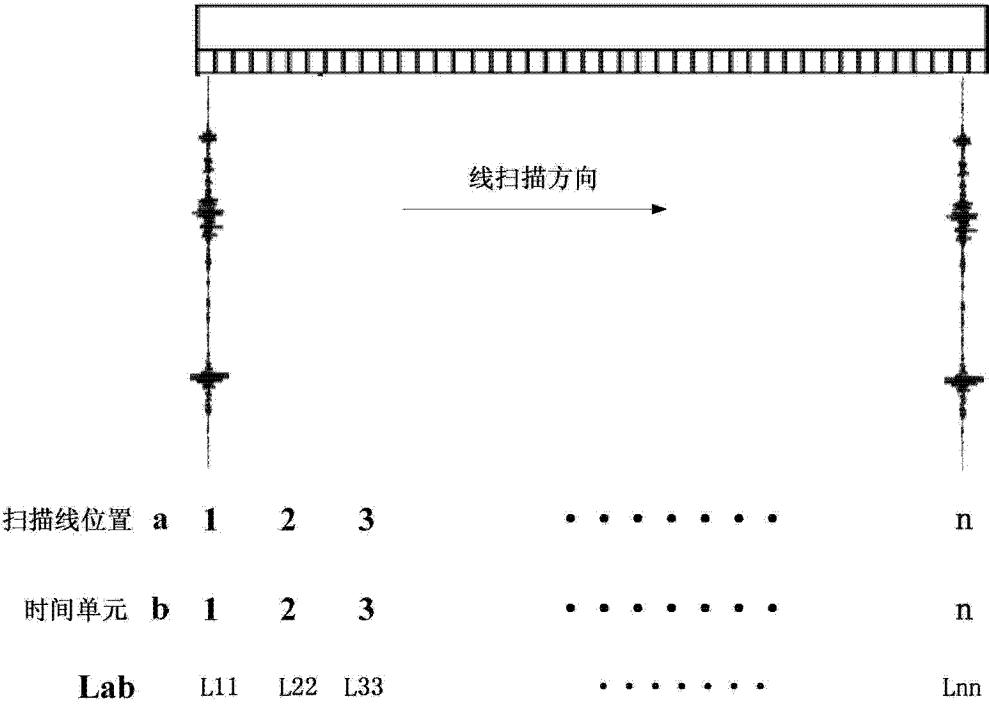


图 1

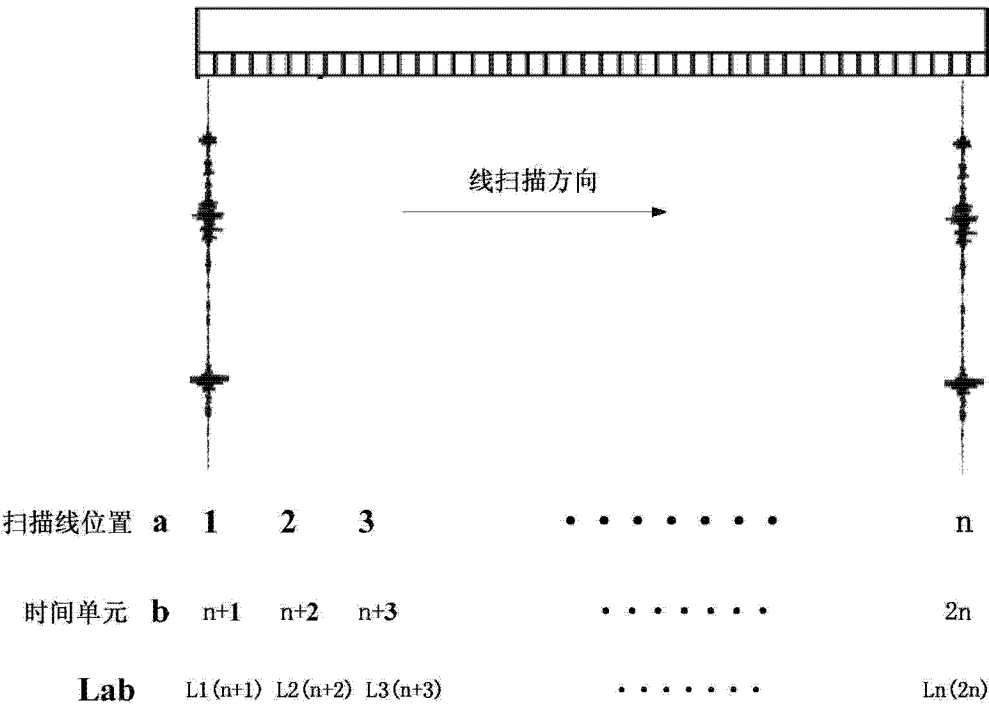


图 2

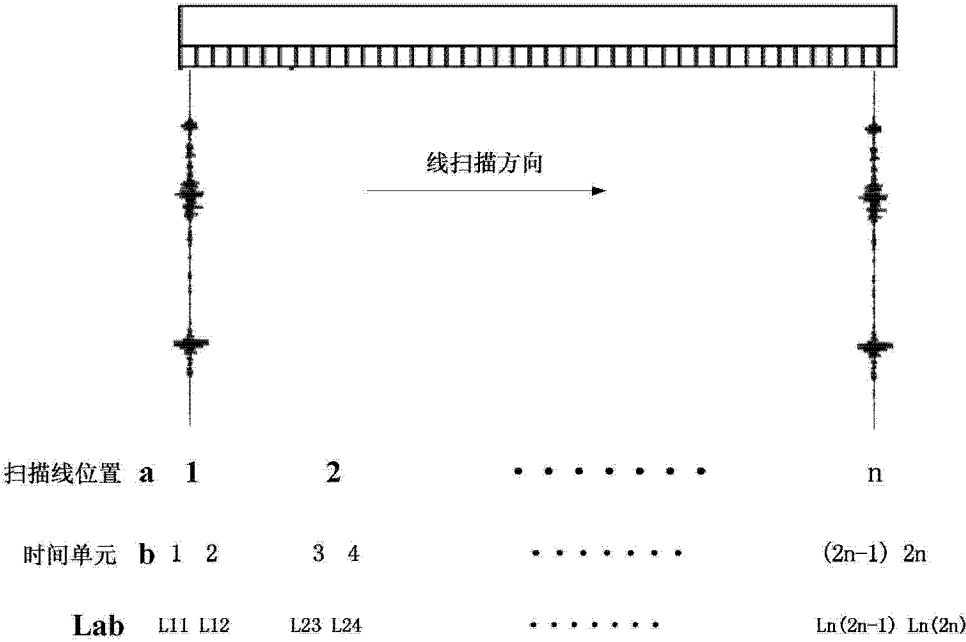


图 3

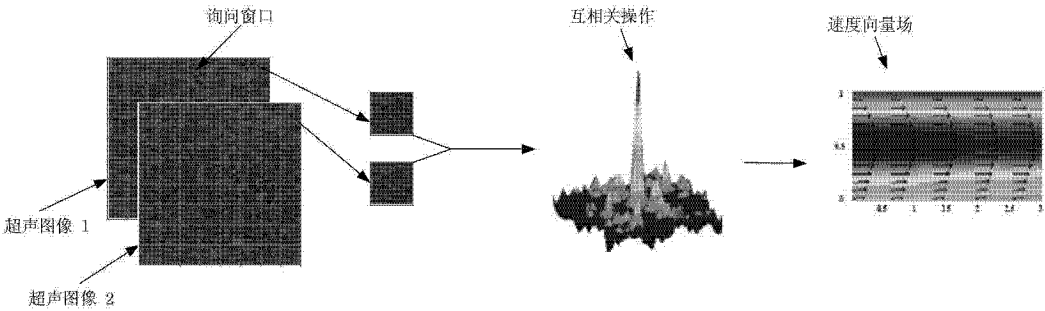


图 4

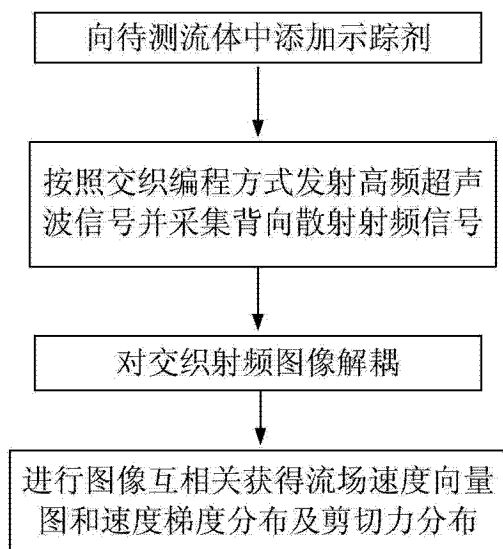


图 5

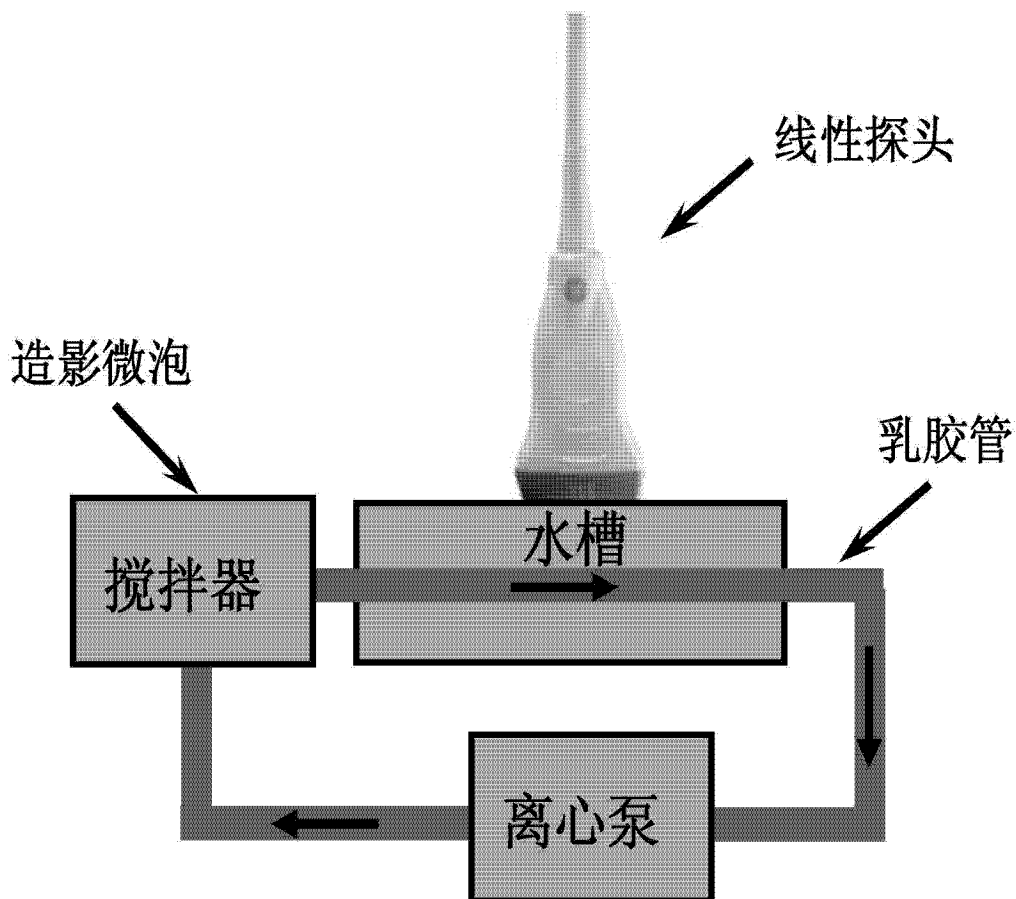


图 6

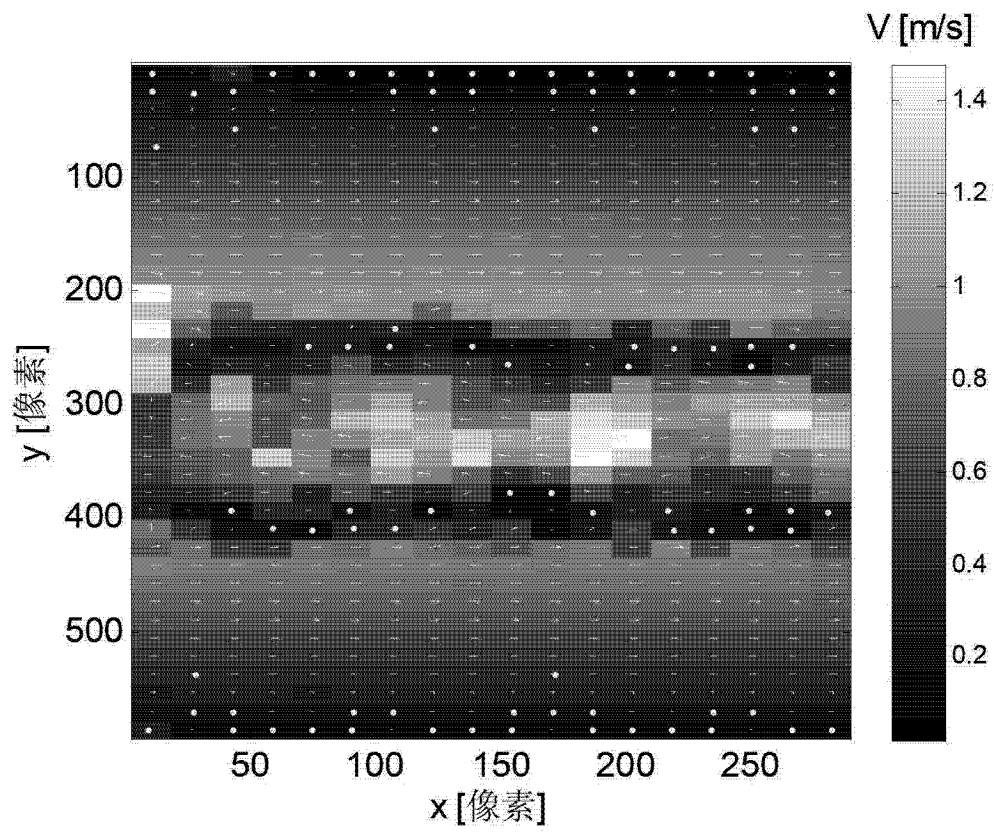


图 7

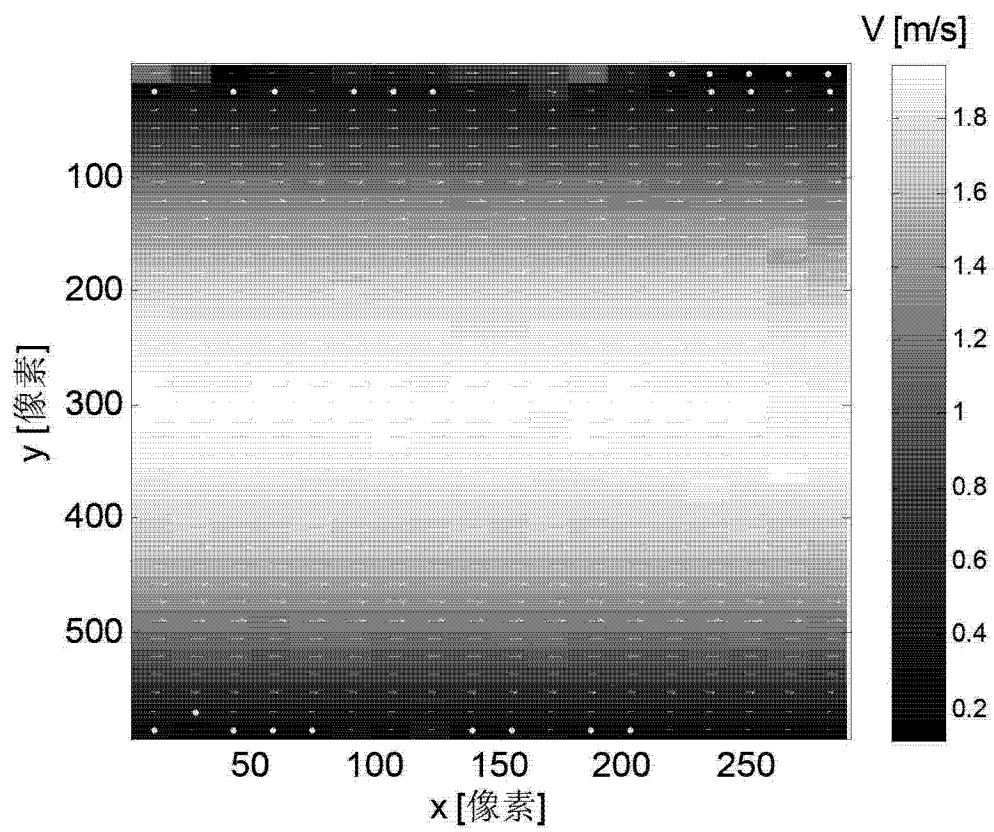


图 8

专利名称(译)	基于超声交织编程的速度分布测量方法		
公开(公告)号	CN103006272B	公开(公告)日	2014-12-03
申请号	CN201310007683.9	申请日	2013-01-09
[标]申请(专利权)人(译)	东南大学		
申请(专利权)人(译)	东南大学		
当前申请(专利权)人(译)	东南大学		
[标]发明人	周宾 姚琛 许传龙 张龙		
发明人	周宾 姚琛 许传龙 张龙		
IPC分类号	A61B8/06		
代理人(译)	王鹏翔		
审查员(译)	陈昭阳		
其他公开文献	CN103006272A		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于超声交织编程的速度分布测量方法，包括如下步骤1) 向待测流体中添加示踪剂；2) 控制器控制高频超声换能器按照交织编程方式向外发射高频超声波信号，并采集流体中示踪剂的背向散射射频信号；3) 在步骤2) 的基础之上，对交织编程方法采集的交织射频图像解耦，即可获得图像对；4) 在步骤3) 的基础之上，将上述交织编程方法采集到的两帧射频信号图像1和图像2划分成多个分析窗口即询问窗口，接着对询问窗口进行傅里叶空间内的二维互相关运算以得到该处示踪剂的局部位移，再根据两帧图像的时间间隔 Δt ，则可以计算得到速度向量即位移除以时间 Δt 。该方法可以测定较高流速状态下流体速度场。

