(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103314300 A
(43)申请公布日 2013.09.18

(21)申请号 201180064012.5
(22)申请日 2011.12.22
(30)优先权数据
12/983,402 2011.01.03 US
(85)PCT申请进入国家阶段日
2013.07.03
(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2011/066703 2011.12.22
(87)PCT申请的公布数据
WO2012/094161 EN 2012.07.12
(71)申请人 阿尔卡特朗讯
地址 法国巴黎市
(72)发明人 洛萨·B·穆勒
(74)专利代理机构 北京汉昊知识产权代理事务所(普通合伙) 11370
代理人 罗朋
(51)Int.Cl.
G01P 5/22(2006.01)
G01P 5/24(2006.01)

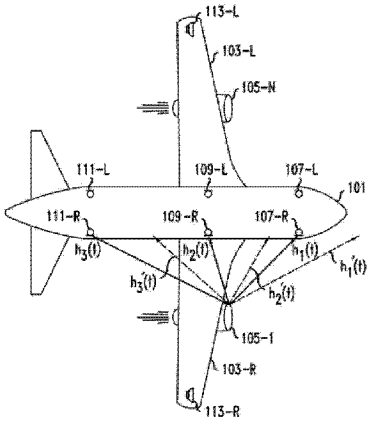
权利要求书4页 说明书11页 附图4页

(54)发明名称

空速与空气流速的测量

(57)摘要

与物体相关的速度可以通过使用声波被精确地测量。该等与物体相关的速度可以是空速。例如,相对于周围空气的物体的速度,或在物体附近或沿其预期运动路径的空气流速。更具体地,两个或多个声音的速度可以是相关的,使得可通过考虑到沿与气流传播方向相同方向传播的声音比沿与气流传播方向相反方向传播的声音快的事实,来确定空速,或空气流速。



CN 103314300 A

1. 一种设备，包括：

多个声音检测器，每一所述声音检测器适应于从至少一个声源接收声音信号；及

处理器，耦合至所述声音检测器，用于确定与物体相关的速度。

2. 如权利要求 1 所述的设备，其中，置于所述物体上的为包括 (i) 所述声源和 (ii) 所述声音检测器中至少一个的组中的至少一个。

3. 如权利要求 1 所述的设备，其中，通过比较在所述声音检测器中第一声音检测器检测来自所述声源的声音的时间与在所述声音检测器中至少一个第二声音检测器检测来自所述声源的所述声音的时间，来确定与所述物体相关的所述速度。

4. 如权利要求 1 所述的设备，还包括置于所述物体上的至少第二声源，当所述第一声源寂静时，该至少第二声源被用于确定所述速度。

5. 如权利要求 1 所述的设备，其中，所述处理器确定所述声音检测器中第一声源检测器与所述声音检测器中第二和第三声音检测器的每一个之间的所检测声音信号模式的最大互相关性，所述第二声音检测器位于所述物体上在所述第一声音检测器的前方，所述第三声音检测器位于所述物体上在所述第一声音检测器的后方。

6. 如权利要求 1 所述的设备，其中，所述处理器确定，对于 e ＝ 1 至所述声音检测器的数量，及 l ＝ 1 至所述声音检测器的所述数量，且 e ≠ l 时，$\varphi_{n_e n_l}(\tau) = \overline{n_e(t+\tau) n_l(t)}$ 的最大值，

其中

$n_1(t)$ 是由声音检测器 1 检测的来自所述声源的与时间有关的声音信号模式；

$n_e(t+\tau)$ 是由声音检测器 e 在时间 $t+\tau$ 检测的来自所述声源的时间偏移声音信号模式，其中，τ 可以是正的或负的；及

——表示在一段时间内取平均值。

7. 如权利要求 1 所述的设备，其中，所述处理器通过解一组可表示为 $\left|\vec{M}_e - \vec{S}_i + (t_e - t_0)\vec{v}_p\right| = \left|\vec{c}_s\right|(t_e - t_0)$ 的联立方程，来确定与所述物体相关的所述速度 $\vec{v}_p$，其中，e 的范围由 1 到声音检测器的数量并表示特定声音检测器，其中

$t_e = \tau_{max}(e, 1) + t_1$，$\tau_{max}$ 为 $\max\{\varphi_{n_e n_l}(\tau)\} \Rightarrow \tau_{max}(e,l)$，因此表示得到互相关函数最大值的 τ 值，从而表示当由声音检测器 e 和 1 检测时，来自所述声源的声音的当前延迟；

$\vec{M}_e$ 为在 t_0 从参考坐标系原点到声音检测器 e 的位置的矢量，其中，在该参考坐标系中，所述物体周围的空气没有流动，其中，t_0 为当在声音检测器 e 接收到的由所述声源产生的声音信号被生成时的时间；

$\vec{v}_p$ 是所述物体相对于所述周围空气的速度；

$\vec{S}_i$ 是从所述原点到所述声源的当前位置的矢量；

$\vec{c}_s$ 是所述参考坐标系中的声音的速度；及

$t_e - t_0$ 是声音从所述声源传播到声音检测器 e 的时间。

8. 如权利要求 1 所述的设备，其中，与所述物体相关的所述速度为包括 (i) 所述物体的空速及 (ii) 影响所述物体的空气流速的分量的组中的一个。

9. 如权利要求 1 所述的设备，其中，所述处理器确定在第一和第二所述声音检测器之

间检测到的声音信号模式的最大互相关性，所述第一和第二声音检测器位于所述物体上，使得所述声源位于它们之间。

10. 如权利要求 1 所述的设备，其中，所述处理器确定$\varphi_{n_Ln_R}(\tau)=\overline{n_L(t+\tau)n_R(t)}$的最大值，其中

$n_L(t)$ 是由位于所述声源左侧的所述声音检测器中的一个检测到的来自所述声源的声音信号模式，且时间变量 t 是连续的；

$n_R(t+\tau)$ 是由位于所述声音发生器右侧的所述声音检测器中的一个在时间 $t+\tau$ 检测到的所述声音信号模式的时间偏移模式，其中，τ 为相同模式到达每一麦克风对的时间之间的延迟时间，其可以是正的或负的；及

——表示在一段时间内取平均值。

11. 如权利要求 10 所述的设备，其中，所述处理器通过解一组可表示为

$$\left|\vec{M}_L-\vec{S}_S+(t_L-t_0)(\vec{v}_p+\vec{v}_V)\right|=\left|\vec{c}_s\right|(t_L-t_0)$$

$$\left|\vec{M}_R-\vec{S}_S+(t_R-t_0)(\vec{v}_p+\vec{v}_V)\right|=\left|\vec{c}_s\right|(t_R-t_0)$$

的联立方程，确定与所述物体有关的所述速度$\vec{v}_p$，其中

$t_L=\tau_{max}(L,R)+t_R$，其中，$\max\{\varphi_{n_Ln_R}(\tau)\}\Rightarrow\tau_{max}$，因此表示得到互相关函数最大值的 τ 值，从而表示当由声音检测器 L 和 R 检测时，来自所述声源的声音的当前延迟，

$\vec{M}_L$为在 t_0 从参考坐标系原点到位于所述声音发生器左侧的所述声音检测器中的所述一个的位置的矢量，其中，在该参考坐标系中，所述物体周围的空气没有流动，其中，t_0 为当在所述位于左侧的声音检测器处检测到的所述声音信号在所述声源处被生成时的时间；

$\vec{M}_R$为在 t_0 从所述参考坐标系的原点到所述位于所述声音发生器右侧的所述声音检测器中的所述一个的位置的矢量；

$\vec{v}_p$是影响所述物体的空气阵风的流速；

$\vec{v}_V$是所述物体相对于地面的速度；

$\vec{S}_i$是从所述参考坐标系的所述原点到所述声源的位置的矢量；

$\vec{c}_s$是空气中的声速；及

t_L-t_0 是声音从所述声源传播到位于所述声源左侧的所述声音检测器中的所述一个的时间；

t_R-t_0 是声音从所述声源传播到位于所述声源左侧的所述声音检测器中的所述一个的时间。

12. 如权利要求 1 所述的设备，其中，与所述物体相关的所述速度为包括 (i) 沿着所述物体的预期运动路径的空气流速分量及 (ii) 平行于所述物体的预期运动路径的空气流速分量的组中的一个。

13. 如权利要求 1 所述的设备，其中，所述处理器确定$\varphi_{M_1M_2}(\tau)=\overline{M_1(t+\tau)M_2(t)}$的最大值，

其中

$M_2(t)$ 是由沿平行于所述物体的预期运动方向的直线放置的所述声音检测器中的一个 M_2 检测到的来自所述声源的声音信号模式，且时间变量 t 是连续的；

$M_1(t+\tau)$ 为由沿所述直线放置的所述声音检测器中的一个 M_1 在时间 $t+\tau$ 检测到的来自所述声音发生器的所述声音信号模式的时间偏移模式，其中 τ 为所述声音信号模式到达所述声音检测器 M_1 和 M_2 的每一个的时间之间的延迟时间，其可以是正的或负的；

——表示在一段时间内取平均值。

14. 如权利要求 1 所述的设备，其中，所述处理器通过计算

$c_s - \left|\vec{M}_1 - \vec{M}_2\right| / \tau_{12} = v^{para}$，来确定与所述物体相关的所述速度 v^{para}，

其中

c_s 是声速；

v^{para} 是平行于所述物体的所述预期运动路径的风速分量；

$\max\{\varphi_{M_1M_2}(\tau)\} => \tau_{12}$ 为得到互相关函数的最大值的 τ 值，表示正由所述声音检测器 M_1 和 M_2 检测的声音的当前延迟；

$\vec{M}_1$ 是在其中所述声音检测器 M_1 没有在运动的参考平面中从所述物体到所述声音检测器 M_1 的距离；及

$\vec{M}_2$ 是在所述参考平面中从所述物体到所述声音检测器 M_2 的距离。

15. 如权利要求 1 所述的设备，其中，与所述物体相关的所述速度包括垂直于所述物体的预期运动路径的空气流速的分量。

16. 如权利要求 1 所述的设备，其中，所述处理器确定 $\varphi_{M_2M_3}(\tau) = \overline{M_2(t+\tau)M_3(t)}$ 的最大值，

其中

$M_3(t)$ 是由沿垂直于所述物体的预期行进方向的直线放置的所述声音检测器中的一个 M_3 检测到的来自所述声源的声音信号模式，且时间变量 t 是连续的；

$M_2(t+\tau)$ 是由沿所述直线放置的所述声音检测器中的一个 M_2 在时间 $\tau+\tau$ 检测到的来自所述声音发生器的所述声音信号模式的时间偏移版本，其中 τ 为所述声音信号模式到达所述声音检测器 M_2 和 M_3 中每一个的时间之间的延迟时间，其可以是正的或负的；

——表示在一段时间内取平均值。

17. 如权利要求 16 所述的设备，其中，所述处理器通过计算

$c_s - \left|\vec{M}_2 - \vec{M}_3\right| / \tau_{23} = v^{perp}$，来确定与所述物体相关的所述速度 v^{perp}，

其中

c_s 是声速；

v^{perp} 是垂直于所述物体的所述预期行进路径的风速分量；

$\max\{\varphi_{M_2M_3}(\tau)\} => \tau_{23}$ 是得到互相关函数的最大值的 τ 值，表示正由所述声音检测器 M_2 和 M_3 检测的声音的当前延迟；

$\vec{M}_2$是在其中所述声音检测器 M_2 没有在运动的参考平面中从所述物体到所述声音检测器 M_2 的距离；及

$\vec{M}_3$是所述参考平面中从所述物体到所述声音检测器 M_3 的距离。

18. 如权利要求 1 所述的设备，其中，通过比较关于在所述声音检测器中第一声音检测器处检测来自所述至少一个声源中第一声源的声音的时间与关于在所述声音检测器中第二声音检测器处检测所述声音的时间，来确定所述空速。

19. 一种方法包括步骤：

使用至少两个相互独立放置的声音检测器接收来自声源的声音信号；及

通过在所述至少两个声音检测器中每一个处接收到的所述信号的版本之间执行至少一个相关操作来确定与物体相关的速度。

空速与空气流速的测量

技术领域

[0001] 本发明涉及测量空速和空气流速。

背景技术

[0002] 测量物体诸如飞机或其它交通工具相对于周围空气的速度是众所周知的。该速度被称为空速。注意因为物体周围的空气可以各种速度和 / 或沿物体以不同方向运动，物体的空速实际上是关于每一物体表面的本地参数。

[0003] 通常使用皮托管测量空速。遗憾的是，如果管子被冰或昆虫等异物颗粒卡住，皮托管故障可发生，其可以导致不准确的空速读数。这种错误的空速读取可以误导驾驶实体，不管是人还是自动操作器，采取导致坠毁的不正确的操作。

[0004] 物体上的空气的影响往往会影响到物体运动。因此，知道在特定位置，例如，在物体附近或沿着物体的预期路径，的空气流速往往是重要的。

发明内容

[0005] 根据本发明的原理，我已经意识到与物体相关的速度可以通过使用声波被精确地测量。该等与物体相关的速度可以是空速。例如，相对于周围空气的物体的速度，或在物体附近或沿其预期运动路径的空气流速。更具体地，两个或多个声音的速度可以是相关的，使得可通过考虑到沿与气流传播方向相同方向传播的声音比沿与气流传播方向相反方向传播的声音快的事实，来确定空速，或空气流速。

[0006] 在本发明的一个实施例中，放置在飞机机身上的不同位置的麦克风，通常位于例如引擎前向至少有一个及引擎尾部至少有一个，接收引擎噪声，然后其被转换成数字形式。接收到的噪声模式之间的相关性被用来确定空速，然后其被提供给其他操作，例如，为诸如飞行员的人显示空速，或提供给在飞机中的其他设备，例如，自动驾驶仪。根据本发明的一个方面，扬声器可被提供用于在引擎故障事件中提供音频信号，以使得，即使在这种情况下，空速也可被确定。根据本发明的另一个方面，由于引擎噪声或扬声器声音通过其可传播到麦克风的通道，可能是非线性的、时变的，或表现出多径失真，高级相关性算法可被执行，以得到正确的空速。

[0007] 在本发明的另一个实施例中，麦克风被例如双边地置于车辆上，诸如汽车或卡车。使用声源，诸如汽车的发动机或最好是扬声器，其可能是超声波的，影响车辆的空气阵风 (air gust) 的垂直于车辆行进方向的速度分量可被测量。在适当的情况下，控制信号可以被提供给一个或多个车载系统，诸如转向或悬挂，以试图补偿这样的侧风及提高安全性与舒适性。

[0008] 在本发明的又一个实施例中，在飞机周围区域中，例如，沿着预期的飞机降落路径，的风速可被计算用于更好的预测这样的风对飞机的影响，以使得当飞机到达地区时，适当的控制可被应用于对抗在飞机上的预期的力。更具体的说，在本发明这样一个实施例中，沿着跑道放置的麦克风接收来自于飞机的引擎噪声。通过麦克风接收的噪声信号被提供给

一个风速确定单元，其可被远离麦克风放置，也可甚至在在飞机上。提供给风速确定单元的该噪声信号可经由一个或多个有线或无线连接上被提供。

[0009] 风速确定单元关联所接收的声音及确定在沿着飞机的预期路径的各个位置的风速，例如，其确定飞机在当前时间正面临的风切变。在每一位置的风速包括平行于飞机预期路径，通常如跑道，的分量，例如，顶风或顺风，以及垂直于飞机预期路径，通常如跑道，的分量，在飞机试图例如例如在跑道上降落时，这些风速分量将对抗飞机。使用该信息，也可能是高度和 / 或飞机的姿态，自动驾驶系统可被用于控制飞机运动，包括在自动驾驶控制下，可能降落飞机。这样的系统可被有利地使用在坏天气情况下或在航空母舰上。

[0010] 有利地是，消除皮托管的使用避免当皮托管故障时导致的问题。

附图说明

[0011] 在附图中

[0012] 图 1 示出本发明的一个实施例，其中，麦克风被放置在飞机机身上的不同位置，以接收随后被转换为数字形式的引擎噪声；

[0013] 图 2 示出定义参考坐标系的坐标系统，其中，空气被定义为是不流动的以用于数学地表示引擎和麦克风的位置，使得图 1 的飞机或另一物体的空气流速可根据本发明的原理被计算；

[0014] 图 3 示出本发明的另一个实施例，其用于根据本发明的原理确定影响物体例如汽车的空气流速；

[0015] 图 4 示出本发明的再一个实施例，其中，飞机附近例如沿着飞机的预期降落路径的风速可被计算；及

[0016] 图 5 示出根据本发明的原理，用于确定空速，或物体附近风速的示例性装置。

具体实施方式

[0017] 以下仅仅说明本发明的原理。因此，可以理解的是，本领域技术人员将能够设计出虽然在此没有明确描述或示出，体现本发明的原理及被包括在它的精神和范围之内的各种安排。此外，在此所述的所有示例和条件性语言主要明确地旨在仅用于教学目的，以帮助读者理解本发明原理及发明人贡献的概念以促进本领域。及可被解释为没有限制这些具体叙述的示例和条件。此外，在此详述原理、方面，及本发明的实施例，以及其具体示例的所有陈述，旨在包含其结构性和功能性等价物两者。此外，意思是，这样的等价物包括目前已知的等价物以及在将来开发的等价物，例如，开发执行相同功能，无论结构，的任何元件。

[0018] 因此，例如，本领域技术人员将可理解的是，在此，任何框图代表体现本发明原理的示例电路的概念性视图。同样地，将可理解任何流程图、流图、状态转换图、伪代码等体现不同的过程，其可在计算机可读介质中被基本体现，及因此通过计算机或处理器执行，无论该计算机或处理器是否明确显示。

[0019] 显示在图中的各种元件的功能，包括任何标记为“处理器”的功能块可被提供，通过专用硬件以及与适当的软件相关联的能够执行软件的硬件的使用。当由处理器提供时，这些功能可由单个专用处理器，由单个共享处理器，或由多个单独的处理器，其中一些可以被共享，来提供。此外，明确使用的术语“处理器”或“控制器”不应该被解释为专指可执行

软件的硬件，而可隐含地，没有限制地，包括，数字信号处理器 (DSP) 硬件、网络处理器、专用集成电路 (ASIC)、现场可编程门阵列 (FPGA)、存储软件的只读存贮器 (ROM)、随机存取存储器 (RAM)，及非易失性性存储器。其他常规的和 / 或定制的硬件也可被包括。同样地，显示在图中的任何开关仅是概念上的。它们的功能可通过程序的操作逻辑，通过专用逻辑，通过程序控制与专用逻辑的交互，或甚至手动而被执行。当对上下文更具体了解，实现者可以选择特定技术。

[0020] 在权利要求中，表达作为用于执行指定功能的装置的任何元件，旨在覆盖执行该功能的任何方式。这可能包括，例如，a) 执行该功能的电气或机械元件的组合或 b) 任何形式的软件，因此，包括与适当的电路相结合，用于执行软件，以执行该功能的固件，微码等，以及如果有的话，耦合到软件控制电路的机械元件。通过该等权利要求定义的本发明存在于一个事实，即由各种所述装置提供的功能以该等权利要求所要求的方式组合并会聚在一起。因此，申请人将可提供该等功能的任何方法视为与在此所示的是等同的。

[0021] 软件模块或隐含为软件的简单模块，在此可被表示为流程图元件或表征过程步骤和 / 或文本描述的执行的其他元件的任何组合。该等模块可由明示或暗示地显示的硬件执行。

[0022] 注意，这里使用的通道质量考虑来自通道属性的影响，诸如来自其它源的多径和干扰。

[0023] 在此除非另有明确地规定，附图未按比例绘制。

[0024] 在说明书中，在不同附图中相同编号的部件为相同部件。

[0025] 根据本发明的原理，通过使用声波，可精确地测量有关物体的速度。该有关物体的速度可以是风速，例如，该物体相对于周围空气的速度，或在该物体周围或沿其预期的行进路径的空气流速，更具体地，两个或两个以上的声音的速度可以是相关的，以使得通过考虑到在气流的相同方向传播的声音比在气流的相反方向上传播的声音传播更快的事实，空速，或空气流速可被确定。

[0026] 图 1 示出本发明的一个实施例，其中麦克风被放置在飞机机身上的不同位置，通常位于例如引擎前向至少有一个及引擎尾部至少有一个，以接收随后被转换为数字形式的引擎噪声。噪声模式之间的相关性被用来确定空速，然后其被提供给其他操作，例如，为诸如飞行员的人显示空速，或提供给飞机中的其他设备，例如，自动驾驶仪。

[0027] 更具体地，图 1 示出飞机 101，其包括机翼 103-L、103-R，及引擎 105，引擎 105 包括引擎 105-1 至 105-N，其中 N 通常在 2-4 范围内。注意，尽管引擎 105 被示出安装在机翼 103 上，它们可被配置在飞机 101 上的其他地方，例如，在背部中央有可能是一个。可选的，示例性的扬声器 113-R 及 113-L 也被示出配置在飞机 101 上，例如，分别在机翼 103-R 及 103-L 上。

[0028] 同样配置在飞机 101 上的是示例性的麦克风 107-R、107-L、109-R、109-L、111-R 及 111-L。在飞机 101 每一侧上的麦克风应优选定位，以使得它们尽可能地分开。一个或多个不同的麦克风可以是定向麦克风。该等麦克风可被安装在机身外部或机舱内部上，然而为了保护麦克风的目的，把它们安装在机舱内部是优选的。同样优选地，每个麦克风是定向的并指向该麦克风感兴趣的声源。这样，例如，每个麦克风 107-R、109-R 及 111-R 将被指向引擎 105-1.

[0029] 通常在飞机 101 运行期间，引擎 105 产生极大的声音信号。在根据本发明的原理，这些信号在不同的麦克风被接收和处理，由此产生的电信号被数字化及处理，以确定飞机的空速。为了清晰的阐述，仅飞机 101 的右侧及因此仅那些带有 -R 后缀的麦克风将被考虑，但同样的描述可比照适用于飞机 101 的左侧及那些带有 -L 后缀的元件。

[0030] 使用已知的叠加原理，来自引擎声音的速度可以被认为有两个分量，一个平行于飞机 101 的长度的方向，和一个与其垂直的方向。空速感兴趣的分量是平行于飞机 101 的长度的那个分量。

[0031] 在引擎 105-1 和每个麦克风 107-R、109-R、111-R 之间形成有用于声音传输的各自的基本通道。在引擎 105-1 和麦克风 107-R 之间的基本通道被称为 $h_1(t)$；在引擎 105-1 和麦克风 109-R 之间的基本通道被称为 $h_2(t)$，及在引擎 105-1 和麦克风 111-R 之间的基本通道被称为 $h_3(t)$。在实际应用中，麦克风的数目为 k，其至少为 3。在此示出及公开的该等麦克风仅是示例性的，且在飞机 101 的两侧上不需要是相同的。

[0032] 该基本通道响应可通过测量或模拟来确定。通过使用飞机 101 模型，使用扬声器用于模拟来自引擎 105 的噪声，及使麦克风位于麦克风 107-R、109-R、111-R 的按比例缩小的位置上，测量通道可被实现。模型应位于远离任何表面足够远的位置上以模拟在空中。另外，使用用于虚构飞机 101 的具有飞机 101 的所有结构细节的计算机模型，及以本领域普通技术人员公知的方式求解波动方程，模拟可被实现。

[0033] 根据采用的参考坐标系，可能会出现不同的声音传播。注意，有两个将被认为是初始的参考坐标系，即，1) 基于飞机 101 的移动的参考坐标系，及 2) 在飞机 101 下面的地面的不移动的参考坐标系。而且，当飞机 101 在运动时的声音传播经过的实际通道不同于如上所述的当飞机 101 静止时的基本通道，且在运动期间的通道取决于速度。

[0034] 在引擎 105-1 和麦克风 107-R 之间的操作通道被称为 $h'_1(t)$；在引擎 105-1 和麦克风 109-R 之间的操作通道被称为 $h'_2(t)$；在引擎 105-1 和麦克风 111-R 之间的操作通道被称为 $h'_3(t)$。类似于基本通道响应，操作通道响应可通过测量或模拟来确定。使用飞机 101 模型，使用扬声器模拟来自引擎 105 的噪声，测量通道可被实现。然而，替代使麦克风位于麦克风 107-R、109-R、111-R 的按比例缩小的位置上，该等麦克风需要沿着模拟的飞行路径向前滑动。这是因为在操作期间，例如，当飞机运动时，接收声音的麦克风的位置比当声音产生时麦克风所在的位置将是沿着运动的路径进一步向前的。通过对离初始位置不同距离的麦克风进行取样，可做出一个表格，以代表不同的速度。再次，模型应位于远离任何表面足够远的位置上，以模拟在空中。

[0035] 在操作期间，例如，飞行期间，在每个麦克风 107-R、109-R、111-R 接收的信号 S 是来自引擎 105-1 的声音信号的组合，该信号 S 受其在之上传播的特定通道和来自其他源，例如，其他诸如引擎 105-N 的引擎、风噪声等，的噪声的影响。

[0036] 图 2 示出定义了第三参考坐标系的坐标系统 201，即，其中空气被定义为是不流动的参考坐标系，以用于数学地表示引擎和麦克风的位置，使得在图 2 中呈现所谓的“棒状表示”(stick representation) 的飞机 101(图 1) 或另一物体的空速可根据本发明的原理而被计算。注意，在坐标系统 201 中的每个位置由从原点 200 的矢量表示。没有必要定义原点 200 位于哪里，因为在下文中仅需要计算引擎与各种麦克风的位置之间的差别。

[0037] 在坐标系统 201 中，为计算目的，如下文解释。引擎 105-1 的位置被指定为 $\vec{S}_i$，其

中 i 可被用作参考不同引擎的索引。同样地，麦克风 107-R 在参考坐标系中的位置被指定为$\overrightarrow{M_1}$，麦克风 109-R 在参考坐标系中的位置被指定为$\overrightarrow{M_2}$，麦克风 111-R 在参考坐标系中的位置被指定为$\overrightarrow{M_3}$。从概念上讲，可以考虑的是，该飞机被定位，使得例如引擎 105-1 的引擎位于原点，例如，$\vec{S_i}=(0,0,0)$。

[0038] 麦克风应该被放置，以使得从每个引擎 105 到在飞机的特定侧上的每个麦克风的各自的矢量不是平行的。也应注意，当飞机在空中移动，以使得飞机在参考平面中移动，在参考平面中，从引擎到每个各自的麦克风的距离矢量保持不变，但从引擎到每个麦克风的声音的速度矢量不同于从引擎到每个各自的麦克风的距离矢量。

[0039] 为便于论述和计算，每个麦克风被分配一个从 1 到在飞机 101 的一侧上的麦克风的最大数量的参考数字。从而，例如，麦克风 107-R 被指定为麦克风 1，接收信号 n_1，且其在参考坐标系 201 中的位置由$\overrightarrow{M_1}$指定。同样地，麦克风 109-R 被指定为麦克风 2，接收信号 n_2，且其在参考坐标系中的位置由$\overrightarrow{M_2}$指示。同样地，麦克风 111-R 被指定为麦克风 3，接收信号 n_3，且其在在参考坐标系 201 中的位置由$\overrightarrow{M_3}$指示 .

[0040] 根据本发明的原理，飞机在空气中，例如，相对于它周围的空气，的速度可被发现如下。在时间 t_0，麦克风 107-R 位于位置$\overrightarrow{M_1}$，麦克风 109-R 位于位置$\vec{M}_2$及引擎 105 位于位置$\vec{S_i}$。该飞机以速度$\vec{v}_p$在参考平面中，例如，相对于空气，来移动。我们希望确定在不同麦克风位置对之间的噪声模式的到达时间差。

[0041] 具有最小数量的三个麦克风时，应使用所有麦克风对。具有更多麦克风时，最好使用所有对，但具有不少于可获得的三个麦克风的对的子集可被选择。通常，一般来说，可用的麦克风越多且所使用的对越多，空速测量将越精确。

[0042] 例如，对于每个特定的麦克风对，可通过计算在具有延迟 τ 的不同麦克风对之间的检测到的噪声模式的互相关性$\varphi_{n_e n_l(\tau)}$的最大值，来确定到达时间差。换句话说，使用 e 和 l 作为变量，用于意指被用于计算的不同麦克风，麦克风参考如上，其中，e ＝ 1 至所使用麦克风的数量，及 l ＝ 1 至所使用麦克风的数量，e ≠ l，获得

[0043]

$$\varphi_{n_e n_l}(\tau)=\overline{n_e(t+\tau)n_l(t)} \qquad (1)$$

[0044] 的最大值，例如，获得$\max\{\varphi_{n_e n_l}(\tau)\}\Rightarrow\tau_{\max}$，

[0045] 其中

[0046] τ_{max} 为产生互相关函数的最大值的 τ 的值，表示由两个麦克风检测到的来自引擎的声音的当前延迟；

[0047] $n_1(t)$ 为由麦克风 1 获得的噪声模式，且时间变量 t 是连续的，所以是存在与时间相关的噪声模式；

[0048] $n_e(t+\tau)$ 为由麦克风 e 在时间 t+τ 获得的延迟的或前向噪声模式，其中，可为正或负的 τ 是相同模式到达每个麦克风对的时间之间的延迟时间，理论上范围从负无穷到正无穷，但实际上，其边界从 0 到声音以最大速度穿过飞机 101 的长度所花费的时间；及

[0049] ——指在一段时间内的平均值，其中，用于取平均值的时间窗口可能与捕获的噪声信号的带宽成反比，例如，几毫秒的窗口应是足够的。这考虑到积分，否则其对于相关性必须是指定的。

[0050] 换句话说，从概念上讲，$\tau_{max}(e,1) = t_e - t_1$，其中 t_e 是来自引擎的在麦克风 e 的信号的到达时间，及 t_1 是来自引擎的在麦克风 1 的信号的到达时间。

[0051] 当然，应注意，上述假设在每一麦克风处的信号的数字化，以开发用于在此描述的处理的噪声信号的表示，对于每一麦克风是本质相同的，特别是关于由数字化路径引入的延迟。否则，数字化中的延迟差必须被考虑。

[0052] 对于每个麦克风 e，其中 e，如上，范围从 1 到麦克风的数量，我们制定方程

[0053] $$\left|\vec{M}_e - \vec{S}_i + (t_e - t_0)\vec{v}_p\right| = \left|\vec{c}_s\right|(t_e - t_0) \qquad (2)$$

[0054] 其中

[0055] $t_e = \tau_{max}(e,1) + t_1$；

[0056] $\vec{M}_e$ 是从在参考坐标系中的原点到麦克风 e 在 t_0 的位置的矢量，其中 t_0 是当麦克风 e 接收到的噪声被生成时的时间；

[0057] $\vec{v}_p$ 是飞机相对于空气的速度，例如，在参考坐标系 201 中沿着机身的空速，其绝对值是我们寻找的变量；

[0058] $\vec{S}_i$ 是从在参考坐标系中的原点到噪声源例如引擎 105-R 或扬声器 113-R 的位置的矢量；

[0059] $\vec{c}_s$ 是在参考坐标系中声速，其是未知的，因为它基于各种因素诸如气压、温度、湿度等等，但为了确定空速终将不需要知道，因为它的值可依照在方程中的其他因素表示，且当做出适当替换，$\vec{c}_s$ 的值被省略；

[0060] $t_e - t_0$ 是声音从声源传播到麦克风 e 所花费的时间。因此 $\left|\vec{c}_s\right|(t_e - t_0)$ 是在时间间隔 $t_e - t_0$ 期间，声音实际传播的距离。

[0061] 注意，当 1 改这，$\tau_{max}(e,1)$ 改变，因此 t_e 的值保持不变。还要注意，如上文所述，仅需要差额 $\vec{M}_e - \vec{S}_i$，因此没有必要知道参考坐标系的原点的精确的位置。

[0062] 为获得 $\vec{v}_p$，关于方程 (2) 表示的联立方程组的求解方法被发现。用于确定求解方法的任何方法可被使用。例如，可搜索关于联立方程的数字求解方法，例如，使用 Mathematica® 8 版本的“FindRoot”命令的技术，其从 Wolfram Research，http://www.wolfram.com/，可商业地获得。另外，可使用由克里纳．葛洛增 (Crina Grosan) 和阿吉特．亚伯拉罕 (Ajith Abraham) 在《关于解决非线性方程系统的新方法》中公开的各种技术之一，其发表在 IEEE 系统、人与控制论汇刊 A 部分：系统和人类，VO1.38，NO.3，2008 年 5 月第 698-714 期。

[0063] 引擎与每个麦克风之间的通道遭受了各种通道影响，诸如沿通道的温差及来自机身的反射。低频率的声音往往以更全方向的方式传播，而高频率的声音往往以更集中的方式传播，尤其是考虑到声音可穿过的缝隙。喷气引擎通常产生许多频率——低的和高的——的声音，且这些声音以一个作为频率和引擎结构的函数的模式而被辐射。因为高阶的引擎声音辐射特性主导其他通道影响，到达每个麦克风的声音模式，虽然很相似，甚至在

考虑到该等通道影响之后，除了它们的延迟时间外不一定是完全相同的。

[0064] 因此，根据本发明的一个方面，补偿所述引擎声音辐射特性，以提供每个延迟最大值的更精确的发现是可取的。根据本发明的一个方面，这可以通过寻找从声源到麦克风的通道的逆通道函数实现。

[0065] 该逆通道函数可以表示为

[0066] $n_e(t) = h_e(|\vec{v}_p|, t) * s_n(t)$

[0067] 其中

[0068] $s_n(t)$ 是由声源产生的噪声；

[0069] $h_e(|\vec{v}_p|, t)$是麦克风 e 在时间 t 的通道传输函数，其中 e 范围可以从 1 到麦克风的数量；

[0070] * 是卷积；及

[0071] $n_e(t)$ 是用于在方程 1 中分析的噪声模式

[0072] 注意，通道传输函数微弱地取决于飞机相对于空气的速度$\vec{v}_p$，例如，参考坐标系 201 中的空速，这是我们最终寻找的变量。

[0073] 图 3 示出本发明的另一个实施例，在其中麦克风 307-R 和 307-L 被，例如，双边地，设置在车辆 301，诸如汽车或卡车。在所示的方式中，麦克风位于沿车辆 301 的前表面，最好是尽可能接近每侧边缘。使用声源，诸如该车辆的发动机（不可见的，因为它在汽车 301 里面，例如，在发动机罩下面），或最好是可为超声波的扬声器 313，影响该车辆的空气阵风，例如，侧风，的垂直于该车辆行进方向的分量速度可被测量，且在适当的情况下，控制信号可被提供给一个或多个车载系统，诸如转向或悬挂，以试图补偿侧风及提高安全性与舒适性。

[0074] 用于确定影响车辆的阵风的参考坐标系像以前一样，即，在参考坐标系中，空气被定义为不移动。因此，概念上的原点处于该阵风的一个微粒上。类似于上面的空速案例，为了计算，如下文解释，扬声器 313 的位置被指定为$\vec{S}_S$。另外，同样地，麦克风 307-R 在参考坐标系中的位置被指定为$\vec{M}_R$，及麦克风 307-L 在参考坐标系中的位置被指定为$\vec{M}_L$。从概念上讲，可以考虑的是，该车辆被定位，使得如果是参考坐标系，扬声器 313 位于原点，例如，$\vec{S}_S=(0,0,0)$。

[0075] 根据本发明的原理，影响车辆的空气阵风的垂直于车辆的行进方向的分量的速度可被获得如下。在时间 t_0，麦克风 307-R 位于位置$\overrightarrow{M_R}$，麦克风 307-L 位于位置$\overrightarrow{M_L}$及扬声器 313 位于位置$\overrightarrow{S_S}$。车辆周围物以速度$\vec{v}_p$在参考平面中移动。确定在麦克风位置对之间的噪声模式的到达时间差是可期望的。对于一对麦克风 307，到达时间差可通过计算在具有延迟 τ 的麦克风对之间的检测到的噪声模式的互相关性$\varphi_{n_L n_R}(\tau)$的最大值决定。换句话说，获得

[0076]

$$\varphi_{n_L n_R}(\tau) = \overline{n_L(t+\tau) n_R(t)}$$

[0077] 的最大值，例如，获得$\max\{\varphi_{n_L n_R}(\tau)\} => \tau_{\max}$，

[0078] 其中

[0079] τ_{max} 为产生互相关函数的最大值的 τ 的值，表示由两个麦克风检测到的关于来自引擎的声音的当前延迟；

[0080] $n_L(t)$ 为由麦克风 307-L 获得的声音模式，且时间变量 t 是连续的，所以是一个与时间相关的噪声模式；

[0081] $n_R(t+\tau)$ 为由麦克风 307-R 在时间 t+τ 获得的延迟的或前向的声音模式，其中，可为正的或负的 τ 是相同模式到达每个麦克风对的时间之间的延迟时间，理论上范围从负无穷到正无穷，但实际中，其边界为从 0 到声音以最大速度穿过车辆 301 的宽度除以声速所花费的时间；及

[0082] ——指在一段时间内的平均值，其中，用于取平均值的时间窗口可能与捕获的噪声信号的带宽成反比，例如，几毫秒的窗口应是足够的。这考虑到积分，否则其对于相关性必须是指定的。

[0083] 换句话说，从概念上讲，$\tau_{max}(L,R) = t_L - t_R$，其中 t_L 是来自扬声器 313 的信号在麦克风 307-L 的到达时间，及 t_R 是来自扬声器 313 的信号在麦克风 307-R 的到达时间。

[0084] 当然注意，上述假设在每一麦克风处的信号的数字化，以开发用于在此描述的处理过程的噪声信号的表示，对于每一麦克风是本质相同的，特别是关于由数字化路径引入的延迟。否则，数字化中的延迟差必须被考虑。

[0085] 制定以下方程

[0086] $$\left|\vec{M}_L - \vec{S}_S + (t_L - t_0)(\vec{v}_p + \vec{v}_V)\right| = \left|\vec{c}_s\right|(t_L - t_0) \qquad (3)$$

[0087] $$\left|\vec{M}_R - \vec{S}_S + (t_R - t_0)(\vec{v}_p + \vec{v}_V)\right| = \left|\vec{c}_s\right|(t_R - t_0) \qquad (4)$$

[0088] 75 其中

[0089] $t_L = \tau_{max}(L,R) + t_R$；

[0090] $\vec{M}_L$ 是在 t_0 从参考坐标系原点到麦克风 307-L 的位置的矢量，其中，t_0 为当在麦克风 307-L 接收到的噪声被产生时的时间；

[0091] $\vec{M}_R$ 是在 t_0 从参考坐标系原点到麦克风 307-R 的位置的矢量，其中，t_0 为当在麦克风 307-R 接收到的噪声被产生时的时间；

[0092] $\vec{v}_p$ 是影响该车辆的空气阵风相对于地面的流速；

[0093] $\vec{v}_V$ 是该车辆相对于地面的速度；

[0094] $\vec{S}_S$ 是从参考坐标系原点到例如扬声器 313 的噪声源的位置的矢量；

[0095] $\left|\vec{c}_s\right|$ 是在空气中的声速，其中，为了确定侧风，假定声音在空气中的常规接受的速度 340 米 / 秒通常是足够精确的以适应地面的高度和典型的天气条件，而且如果要求进一步的精度，可以对实际高度和天气条件作出调整。

[0096] $t_L - t_0$ 是声音从声源传播到麦克风 307-L 所花费的时间，因此 $\left|\vec{c}_s\right|(t_L - t_0)$ 是声音在时间间隔 $t_L - t_0$ 期间的实际传播距离；及

[0097] $t_R - t_0$ 是声音从声源传播到麦克风 307-R 所花费的时间，因此 $\left|\vec{c}_s\right|(t_R - t_0)$ 是声音在参考坐标系中的时间间隔 $t_R - t_0$ 期间的实际传播距离。

[0098] 为了获得$\vec{v}_p$,关于方程 (3) 及 (4) 表示的联立方程组求解方法被发现。用于确定求解方法的任何方法可被使用。例如,可搜索关于联立方程的数字求解方法,例如,使用 Mathematica® 8 版本的“FindRoot”命令的技术,其从 Wolfram Research, http://www.wolfram.com/,可商业地获得。另外,可使用由克里纳 . 葛洛增 (Crina Grosan) 和阿吉特 . 亚伯拉罕 (Ajith Abraham) 在《关于解决非线性方程系统的新方法》中公开的各种技术之一,其发表在 IEEE 系统、人与控制论汇刊 A 部分 :系统和人类,VO1.38,NO.3,2008 年 5 月第 698-714 期。

[0099] 在图 4 中示出的本发明的又一实施例中,飞机附近,例如,沿着飞机预期降落路径,的风速可被计算出以更好地预期该风对飞机的影响,使得适当控制可被应用以对抗,当飞机到达那个区域时,对飞机的预期力量。更具体地说,图 4 示出多个麦克风组,包括至少麦克风组 407、409,及沿跑道 421 放置以接收来自飞机 401 的噪音,例如,来自引擎 405 的噪音,或者来自安装在飞机 401 扬声器 (未示出) 的噪音,的 411。通常,每一麦克风组由三个麦克风组成,麦克风被安排使得它们中的两个的位置形成平行于跑道 421 的直线段,且第三个麦克风的位置是这样的,从其到另两个麦克风中的一个的直线段垂直于跑道 421。参见麦克风组 407 示例,其包括麦克风 407-M1、407-M2,及 407-M3。连接麦克风 407-M1 与 407-M2 的位置形成平行于跑道 421 的直线段,连接麦克风 407-M2 与 407-M3 的位置形成垂直于跑道 421 的直线段。麦克风组 409 及麦克风组 411 的麦克风,以图 4 所示的方式,被类似地安排,其中,麦克风组 409 包括麦克风 409-M1’、409-M2’,及 409-M3’,麦克风组 411 包括麦克风 411-M1”、411-M2”,及 411-M3”。

[0100] 由麦克风接收到的噪声信号被提供给风速确定单元,其可被远离麦克风放置,也可甚至在飞机 401 上。提供给风速确定单元的噪声信号可在一个或多个有线或无线链接上被提供。风速确定单元关联所接收的声音及确定在沿着飞机预期路径的多个位置的风速,例如,其确定飞机在当前时间正面临的风切变。在每一位置的风包括平行于飞机预期路径通常如跑道的分量,例如,顶风或顺风,以及垂直于飞机预期路径通常如跑道的分量,例如,侧风。当飞机沿着其路径行进,诸如试图例如在跑道 421 上降落时,这些风将对抗飞机。

[0101] 风速确定单元操作如下。假设飞机 401 距离感兴趣的特定麦克风组例如 407、409 及 411 足够远,使得传播自飞机 401 的声音可被视为平面波,例如,使用近似假设声波的相前或多或少是平的进行处理。注意,当组中的麦克风之间的空间相对小时,该近似是更精确的。

[0102] 参考面是这样的,麦克风和跑道 421 是不移动的。$\vec{M}_1$是参考面中从飞机 401 到麦克风 407-M1 的距离,$\vec{M}_2$是参考面中从飞机 401 到麦克风 407-M2 的距离,$\vec{M}_3$是参考面中从飞机 401 到麦克风 407-M3 的距离。矢量$\vec{M}_1$ 、 $\vec{M}_2$和$\vec{M}_3$不必实际确定。这是因为仅指定的差与计算相关,且这些差可通过测量麦克风之间的空间来确定。

[0103] 使用麦克风 407-M1 和 407-M2,确定在沿跑道 421 的麦克风组 407 的近似位置处的平行于跑道 421 的风速分量。通过计算在具有延迟 τ 的麦克风 407-M1 与 407-M2 之间的所检测到的噪声模式的互相关性$\varphi_{M_1M_2}(\tau)$的最大值,来确定在麦克风 407-M1 与 407-M2 处来自飞机 401 的声音模式的到达时间差。换句话说,获得

[0104]

$$\varphi_{M_1M_2}(\tau)=\overline{M_1(t+\tau)M_2(t)}$$

（3），

[0105] 的最大值，例如，获得$\max\{\varphi_{M_1M_2}(\tau)\}=>\tau_{12}$，

[0106] 其中，

[0107] ——指在一段时间内取平均值，其中，用于取平均值的时间窗口可与捕获的噪声信号的带宽成反比。例如，几毫妙的窗口应是足够的。这考虑到积分，否则其对于相关性必须是指定的。注意，τ_{12} 为得到互相关函数的最大值的 τ 值，表示正由麦克风 407-M1 与 407-M2 检测的来自引擎的声音的当前延迟。

[0108] 此后，通过计算$c_s-\left|\vec{M}_1-\vec{M}_2\right|/\tau_{12}=v^{para}$来确定风速的平行分量 v^{para}，其中，c_s 表示声速。对于特定应用，在跑道附近的声速是感兴趣的，c_s 一般由数值 340m/s 近似。

[0109] 使用麦克风 407-M2 和 407-M3，确定在沿跑道 421 的麦克风组 407 的近似位置处的垂直于跑道 421 的风速分量。通过计算在具有延迟 τ 的麦克风 407-M2 与 407-M3 之间的所检测到的噪声模式的互相关性$\varphi_{M_2M_3}(\tau)$的最大值，来确定在麦克风 407-M2 与 407-M3 处来自飞机 401 的声音模式的到达时间差。换句话说，获得

[0110]

$$\varphi_{M_2M_3}(\tau)=\overline{M_2(t+\tau)M_3(t)}$$

[0111] 的最大值，例如，获得$\max\{\varphi_{M_2M_3}(\tau)\}=>\tau_{23}$，

[0112] 其中，

[0113] ——指在一段时间内取平均值，其中，用于取平均值的时间窗口可与捕获的噪声信号的带宽成反比。例如，几毫妙的窗口应是足够的。这考虑到积分，否则其对于相关性必须是指定的。注意，τ_{23} 为得到互相关函数的最大值的 τ 值，表示正由麦克风 407-M1 与 407-M2 检测的来自引擎的声音的当前延迟。

[0114] 此后，通过计算$c_s-\left|\vec{M}_2-\vec{M}_3\right|/\tau_{23}=v^{perp}$来确定风速的垂直分量 v^{perp}。

[0115] 当然注意，如前所述，上述假设在每一麦克风处的信号的数字化，以开发如用于在此描述的处理的噪声信号的表示，对于每一麦克风是本质相同的，特别是关于由数字化路径引入的延迟。否则，数字化中的延迟差必须被考虑。

[0116] 部分或全部麦克风可能是定向的，因为它们被设计以聚焦对在从飞机正过来的地点的方向上，例如，在与特定麦克风相关联的各自一个矢量$\vec{M}_1$、$\vec{M}_2$和$\vec{M}_3$的相反方向上，的声音的接收。

[0117] 置于沿跑道的不同位置的其他麦克风组，例如，在执行计算中，使用相同技术，使用组中的特定麦克风代替麦克风组 407 中类似放置的麦克风，麦克风组 409 和 411 可被用于确定在它们各自位置上的风分量。这样，沿着飞机预期路径如沿跑道的风速可被确定。

[0118] 风信息可被显示用于人类例如飞行员所感知。同样，使用该信息，以及可能还有飞机的高度和 / 或姿态，自动驾驶系统可被用于控制飞机运动，包括在自动驾驶控制下，可能降落飞机。这样的系统可被有利地使用在坏天气情况下或在航空母舰上帮助降落飞机。

[0119] 图 5 示出，根据本发明的原理，确定例如车辆的物体周围的空速或风速的示例性的安排。图 5 中示出处理器 523、包括麦克风 507-1 至麦克风 507-N 的麦克风 507，及扬声器 513。麦克风 507 代表参照图 1-4 示出和描述的本发明实施例中所采用的任何麦克风，麦克风 507 也可被认为包括在此用于接收数字化声音的任何电路。类似地，扬声器 513 代表参照图 1-4 中示出和描述的本发明实施例中所采用的任何扬声器。

[0120] 链接 519 连接麦克风 507 到处理器 523。链接 519 可以是任何类型，例如，有线、无线、光纤，或它们的任意组合且由链接 519 承载的信号可以是模拟的或数字的或它们的任意组合。如上所述，由麦克风 507 检测到的声音信号的数字化既可在麦克风 507 处被执行，也可作为链接 519 的部分在处理器 523 处被执行，或为它们的组合。

[0121] 处理器 523，当适当的编程时，执行参照图 1-4 示出和描述的本发明实施例中所采用的操作和计算。确定的速度可被提供作为在链接 527 上的输出。如上文所示，速度可被提供给一个显示器，以使得一个可视化表示可被例如司机或飞行员的人观察到，或速度可被提供给自动驾驶仪，用于控制与该速度相关的车辆。

[0122] 尽管以上描述就空气而言，本领域内的普通技术人员应能容易地将本发明原理适应到其他气体，或声音或物体可通过其传播的其他媒介，例如，一般为液体，和特别感兴趣的水及水溶液。

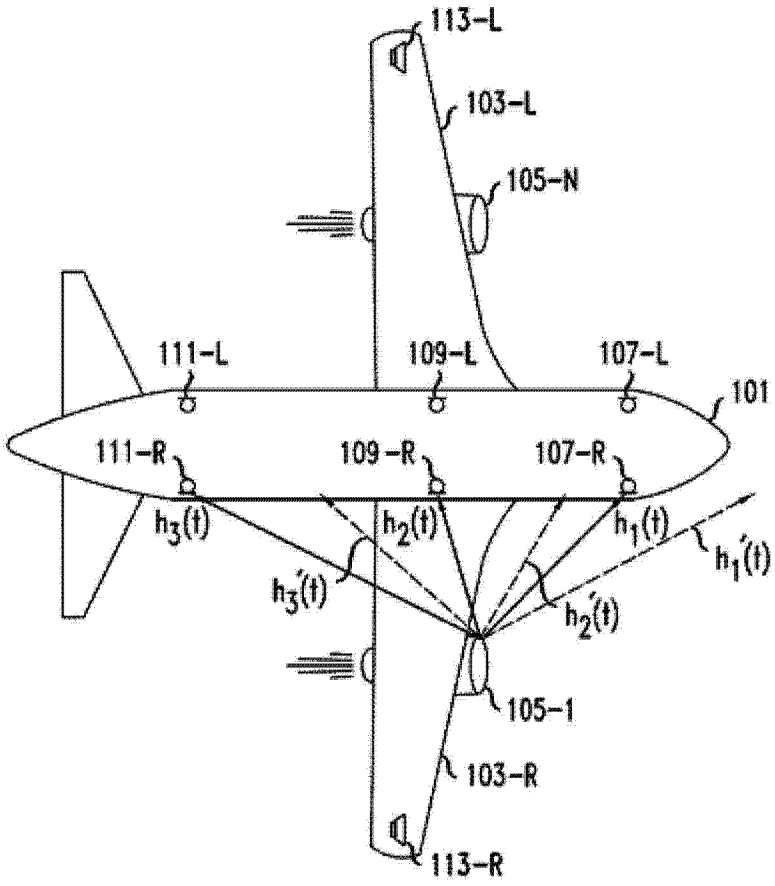

113-L
103-L
105-N
111-L
109-L
107-L
101
111-R
109-R
107-R
$h_3(t)$
$h_2(t)$
$h_1(t)$
$h_1'(t)$
$h_3'(t)$
$h_2'(t)$
105-1
103-R
113-R

图 1

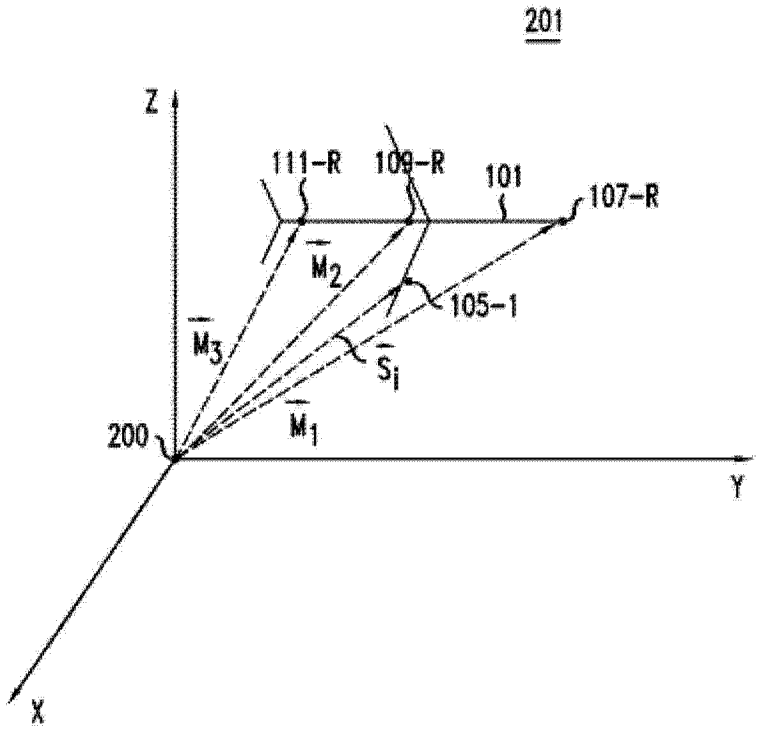

201
Z
111-R
109-R
101
107-R
$\overline{M}_2$
105-1
$\overline{M}_3$
$\overline{S}_i$
$\overline{M}_1$
200
Y
X

图 2

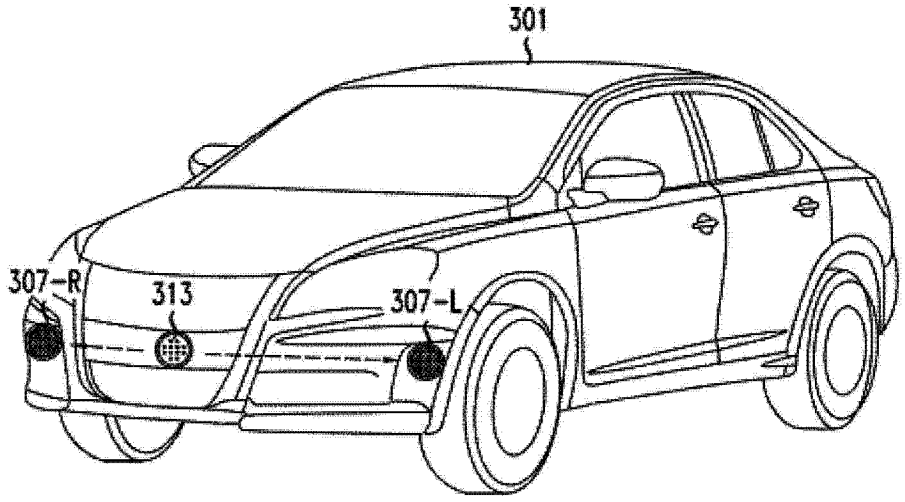

301
307-R
313
307-L

图 3

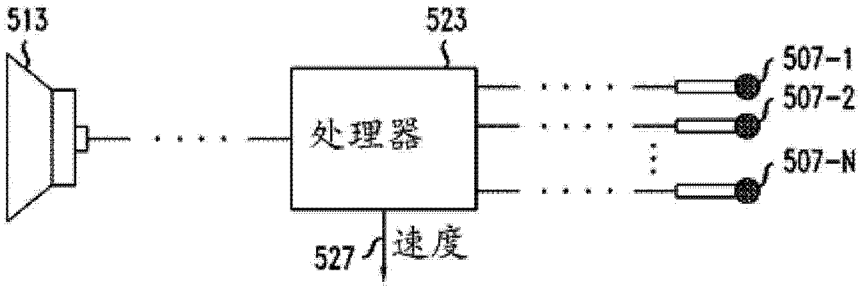


图 5

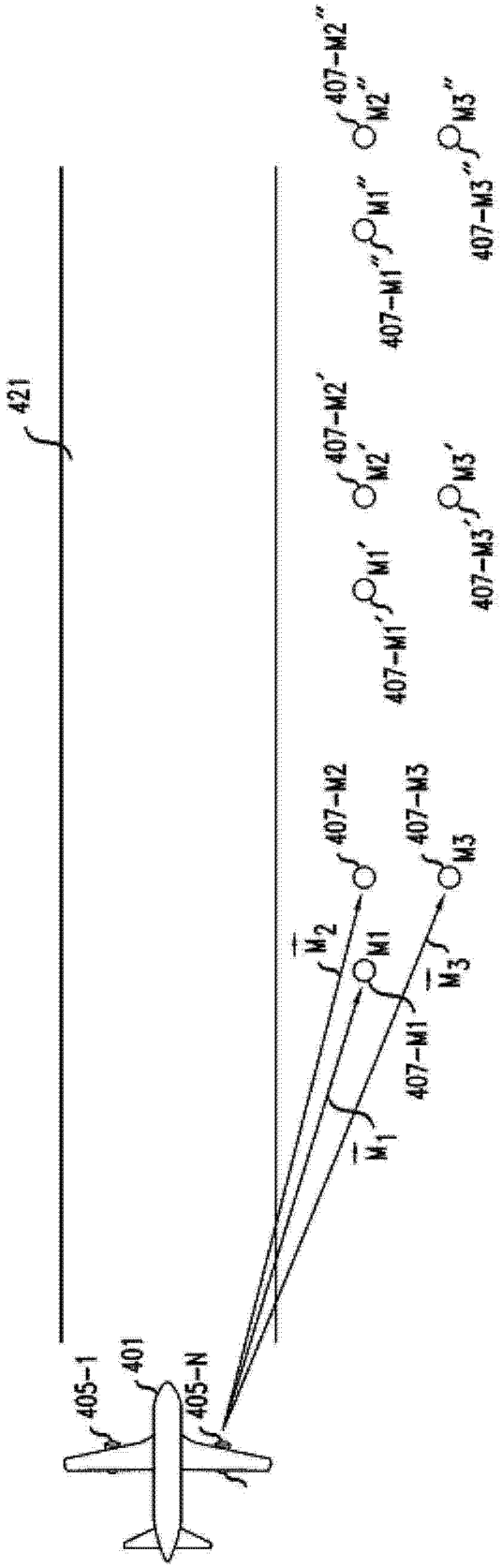

421
407-M2''
M2''
407-M1''
M1''
407-M3''
M3''
407-M2'
M2'
407-M1'
M1'
407-M3'
M3'
407-M2
407-M3
M3
M2
M1
M3
407-M1
M1
405-1
401
405-N

图 4