

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5711388号
(P5711388)

(45) 発行日 平成27年4月30日(2015.4.30)

(24) 登録日 平成27年3月13日(2015.3.13)

(51) Int.Cl.

G O 1 P 5/00 (2006.01)
G O 1 P 5/24 (2006.01)

F 1

G O 1 P 5/00
G O 1 P 5/24J
B

請求項の数 19 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2013-548423 (P2013-548423)
 (86) (22) 出願日 平成23年12月22日 (2011.12.22)
 (65) 公表番号 特表2014-501931 (P2014-501931A)
 (43) 公表日 平成26年1月23日 (2014.1.23)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2011/066703
 (87) 國際公開番号 WO2012/094161
 (87) 國際公開日 平成24年7月12日 (2012.7.12)
 審査請求日 平成25年8月20日 (2013.8.20)
 (31) 優先権主張番号 12/983,402
 (32) 優先日 平成23年1月3日 (2011.1.3)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 391030332
 アルカテルルーセント
 フランス国、92100・プローニューピ
 ャンクール、ルート・ドゥ・ラ・レーヌ・
 148/152
 (74) 代理人 100094112
 弁理士 岡部 譲
 (74) 代理人 100106183
 弁理士 吉澤 弘司
 (74) 代理人 100128657
 弁理士 三山 勝巳
 (74) 代理人 100170601
 弁理士 川崎 孝

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】対気速度および空気の速度の測定

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

各々が、少なくとも1つの音源から音信号を受音するように適合された、複数の音検出器と、

地球に対して動いている物体に関連する速度を決定するための、前記音検出器に結合されたプロセッサとを備え、

前記音源は、前記物体上に配置され、エンジン及び代わりのエンジン音源のうちの1つである、装置。

【請求項 2】

(i) 前記音源と(iii)前記音検出器の少なくとも1つとから成るグループの少なくとも1つが、前記物体上に配置される、請求項1に記載の装置。 10

【請求項 3】

前記物体に関連する前記速度が、前記音検出器のうちの第1の音検出器において前記音源からの音を検出した時刻を、前記音検出器のうちの少なくとも第2の音検出器において前記音源からの音を検出した時刻と比較することによって決定される、請求項1に記載の装置。

【請求項 4】

前記第1の音源が音を発しない場合に、前記速度を決定するために使用される、前記物体上に配置される少なくとも第2の音源をさらに備える、請求項1に記載の装置。

【請求項 5】

10

20

前記プロセッサが、前記音検出器のうちの第1の音検出器と前記音検出器のうちの第2の音検出器および第3の音検出器の各々との間で、検出された音信号パターンの最大相互相関を決定し、前記第2の音検出器が、前記第1の音検出器より前方の前記物体上に位置付けられ、前記第3の音検出器が、前記第1の音検出器より後方の前記物体上に位置付けられる、請求項1に記載の装置。

【請求項6】

$e = 1$ から前記音検出器の数、 $l = 1$ から音検出器の前記数、 $e = 1$ であるとして、前記プロセッサが、

【数1】

$$\varphi_{n_e n_l}(\tau) = \overbrace{n_e(t+\tau)}^{\sim} n_l(t)$$

10

の最大値を決定し、ここで、

$n_1(t)$ は、音検出器1によって検出される、前記音源からの時間依存音信号パターンであり、

$n_e(t + \tau)$ は、時刻 $t + \tau$ において、音検出器 e によって検出される、前記音源からの時間オフセット音信号パターンであり、 τ は正または負とすることができます、

$\sim \sim \sim \sim$ は、時間にわたって平均をとることを表す、

請求項1に記載の装置。

【請求項7】

e が1から音検出器の数までの範囲内にあり、特定の音検出器を表すとして、前記プロセッサが、

【数2】

$$\vec{v}_p$$

と表すことができる1組の連立方程式を解くことによって、前記物体に関連する前記速度

【数3】

$$\left| \tilde{M}_e - \tilde{S}_i + (t_e - t_0) \vec{v}_p \right| = |\tilde{c}_s| (t_e - t_0)$$

20

30

を決定し、ここで、

$t_e = \max(e, l) + t_1$ であり、 \max は、

【数4】

$$\{\varphi_{n_e n_l}(\tau)\} \Rightarrow \tau_{\max}(e, l)$$

であり、そのため、相互相關関数を最大にする τ の値を示し、それによって、音検出器 e および l によって検出される、前記音源からの音の現在の遅延を示す、

【数5】

$$\tilde{M}_e$$

40

は、時刻 t_0 における、前記物体の周囲の空気が動かない基準座標系の原点から音検出器 e の位置までのベクトルであり、ここで、 t_0 は、前記音源において発生させられ、音検出器 e において受音された音信号が、発生させられた時刻であり、

【数6】

$$\vec{v}_p$$

は、前記周囲の空気に対する前記物体の速度であり、

【数7】

$$\tilde{S}_i$$

50

は、前記原点から前記音源の現在位置までのベクトルであり、

t_1 は、音検出器 1 における前記音源からの信号の到着時刻であり、

【数 8】

$$\vec{c}_s$$

は、前記基準座標系における音の速度であり、

$t_e - t_0$ は、音が前記音源から音検出器 e まで伝搬するのに要する時間である、

請求項 6 に記載の装置。

【請求項 8】

前記物体に関する前記速度が、(i) 前記物体の対気速度と、(ii) 前記物体に衝撃を与える空気の速度の成分とから成る群のうちの 1 つである、請求項 1 に記載の発明。 10

【請求項 9】

前記プロセッサが、前記音検出器のうちの第 1 および第 2 の音検出器の間で、検出された音信号パターンの最大相互通関を決定し、前記第 1 および第 2 の音検出器が、それらの間に前記音源が位置付けられるように、前記物体上に位置付けられる、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 10】

前記プロセッサが、

【数 9】

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

20

の最大値を決定し、ここで、

$n_L(t)$ は、前記音源の左側に位置付けられた、前記音検出器のうちの 1 つによって検出される、前記音源からの音信号パターンであり、時変数 t は、連続であり、

$n_R(t + \tau)$ は、時刻 $t + \tau$ において、前記音源の右側に位置付けられた、前記音検出器のうちの 1 つによって検出される、前記音信号パターンの時間オフセットバージョンであり、正または負とすることができます。 τ は、対をなすマイクロフォンの各々に同じパターンが到着した時刻の間の遅延時間であり、

~ ~ ~ ~ ~ は、時間にわたって平均をとることを表す、

30

請求項 1 に記載の装置。

【請求項 11】

前記プロセッサが、

【数 10】

$$\vec{v}_p$$

と表すことができる 1 組の連立方程式を解くことによって、前記物体に関する前記速度

【数 11】

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

40

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

を決定し、ここで、

$t_L = m_a x(L, R) + t_R$ であり、ここで、

【数 12】

$$\{\varphi_{n_L n_R}(\tau)\} \Rightarrow \tau_{max}$$

であり、そのため、相互相関関数を最大にする τ の値を示し、それによって、音検出器 L および R によって検出される、前記音源からの音の現在の遅延を示し、

50

【数13】

$$\vec{M}_L$$

は、時刻 t_0 における、前記物体の周囲の空気が動かない基準座標系の原点から前記音源の左側に位置付けられた前記音検出器のうちの前記1つの位置までのベクトルであり、ここで、 t_0 は、前記左側に位置付けられた音検出器において検出された前記音信号が前記音源において発生させられた時刻であり、

【数14】

$$\vec{M}_R$$

10

は、時刻 t_0 における、前記基準座標系の原点から前記音源の右側に位置付けられた前記音検出器のうちの前記1つの位置までのベクトルであり、

【数15】

$$\vec{v}_p$$

は、前記物体に衝撃を与える突風の速度であり、

【数16】

$$\vec{v}_v$$

は、前記物体の地面に対する速度であり、

20

【数17】

$$\vec{s}_s$$

は、前記基準座標系の前記原点から前記音源の位置までのベクトルであり、

【数18】

$$|\vec{c}_s|$$

は、空気中の音の速さであり、

$t_L - t_0$ は、音が前記音源から前記音源の左側に位置付けられた前記音検出器のうちの前記1つまで伝搬するのに要する時間であり、

30

$t_R - t_0$ は、音が前記音源から前記音源の右側に位置付けられた前記音検出器のうちの前記1つまで伝搬するのに要する時間である、

請求項10に記載の装置。

【請求項12】

前記物体に関連する前記速度が、(i)前記物体の運動の予想経路に沿った空気の速度の成分と、(ii)前記物体の運動の所望経路と平行な空気の速度の成分とから成る群のうちの1つである、請求項1に記載の装置。

【請求項13】

前記プロセッサが、

【数19】

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

40

の最大値を決定し、ここで、

$M_2(t)$ は、前記物体の所望移動方向と平行な直線沿いに位置付けられた前記音検出器のうちの1つ M_2 によって検出される前記音源からの音信号パターンであり、時変数 t は、連続であり、

$M_1(t + \tau)$ は、時刻 $t + \tau$ における、前記直線沿いに位置付けられた前記音検出器のうちの1つ M_1 によって検出される前記音源からの前記音信号パターンの時間オフセットバージョンであり、正または負とすることができます。は、前記音検出器 M_1 および M_2

50

の各々に前記音信号パターンが到着した時刻の間の遅延時間であり、

～～～～～は、時間にわたって平均をとることを表す、

請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 4】

前記プロセッサが、

【数 2 0】

$$c_s - |\tilde{M}_1 - \tilde{M}_2| / \tau_{12} = v^{para}$$

を計算することによって、前記物体に関連する前記速度 v^{para} を決定し、ここで、

10

c_s は、音の速度であり、

v^{para} は、前記物体の前記所望移動経路と平行な風速度の成分であり、

【数 2 1】

$$\max\{\varphi_{M_1 M_2}(\tau)\} \Rightarrow \tau_{12}$$

は、相互相関関数を最大にする τ の値であり、前記音検出器 M_1 および M_2 によって検出されている音の現在の遅延を示し、

【数 2 2】

$$\tilde{M}_1$$

20

は、前記音検出器 M_1 が動かない基準面における、前記物体から前記音検出器 M_1 までの距離であり、

【数 2 3】

$$\tilde{M}_2$$

は、前記基準面における、前記物体から前記音検出器 M_2 までの距離である、

請求項 1 3 に記載の発明。

【請求項 1 5】

前記物体に関連する前記速度が、前記物体の運動の所望経路と垂直な空気の速度の成分である、請求項 1 に記載の装置。

30

【請求項 1 6】

前記プロセッサが、

【数 2 4】

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

の最大値を決定し、ここで、

$M_3(t)$ は、前記物体の所望移動方向と垂直な直線沿いに位置付けられた前記音検出器のうちの 1 つ M_3 によって検出される前記音源からの音信号パターンであり、時変数 t は、連続であり、

40

$M_2(t + \tau)$ は、時刻 $t + \tau$ における、前記直線沿いに位置付けられた前記音検出器のうちの 1 つ M_2 によって検出される前記音源からの前記音信号パターンの時間オフセットバージョンであり、正または負とすることができます。は、前記音検出器 M_2 および M_3 の各々に前記音信号パターンが到着した時刻の間の遅延時間であり、

～～～～～は、時間にわたって平均をとることを表す、

請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 7】

前記プロセッサが、

【数25】

$$c_s - |\vec{M}_2 - \vec{M}_3| / \tau_{23} = v^{perp}$$

を計算することによって、前記物体に関連する前記速度 v^{perp} を決定し、ここで、

c_s は、音の速度であり、

v^{perp} は、前記物体の前記所望移動経路と垂直な風速度の成分であり、

【数26】

$$\max\{\varphi_{M_2 M_3}(\tau)\} \Rightarrow \tau_{23}$$

10

は、相互相関関数を最大にする τ の値であり、前記音検出器 M_2 および M_3 によって検出されている音の現在の遅延を示し、

【数27】

$$\vec{M}_2$$

は、前記音検出器 M_2 が動かない基準面における、前記物体から音検出器 M_2 までの距離であり、

【数28】

$$\vec{M}_3$$

20

は、前記基準面における、前記物体から音検出器 M_3 までの距離である、

請求項16に記載の装置。

【請求項18】

前記対気速度が、前記少なくとも1つの音源のうちの第1の音源からの音を前記音検出器第1の音検出器において検出した時刻を、前記音を前記音検出器第2の音検出器において検出した時刻と比較することによって決定される、請求項1に記載の装置。

【請求項19】

互いに離して位置付けられた少なくとも2つの音検出器を使用して、音源からの音信号を受音するステップであって、前記音源はエンジン及び代わりのエンジン音源のうちの1つである、ステップと、

30

前記少なくとも2つの音検出器の各々において受音した前記信号のバージョンの間で少なくとも1つの相関演算を実行することによって、地球に対して動いている物体に関連する速度を決定するステップと

を含む方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、対気速度および空気の速度を測定することに関する。

【背景技術】

40

【0002】

物体、例えば、航空機または他の乗物、の速度を周囲の空気に対して測定することが良く知られている。この速度は、対気速度として知られている。物体の周囲の空気は、物体沿いに、異なる速さで、および/または異なる方向に動いていることがあるので、物体の対気速度は、実際には、物体の各表面に対する局所パラメータであることに留意されたい。

【0003】

対気速度は、一般に、ピトー管(pitot tube)を使用して測定される。残念ながら、氷または昆虫などの異物で管が詰まった場合に発生し得る誤作動をピトー管が起こすと、対気速度の測定値は、不正確なものになり得る。そのような誤った対気速度の測

50

定値を読み取った操縦主体は、人間であるか、それとも自動操縦であるかに係わらず、判断を誤って、墜落に至らしめる誤った行動をとることがある。

【0004】

物体に対する空気の衝撃は、物体の運動にしばしば影響を与える。したがって、特定の位置、例えば、物体の付近または物体の予想経路沿い、における空気の速度を知ることがしばしば重要になる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】Crina Grosan, Ajith Abraham、「A New Approach for Solving Nonlinear Equations Systems」、IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics - Part A: Systems And Humans、Vol. 38、NO. 3、2008年5月、698~714ページ
10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

発明者は、物体に関連する速度は、音波を使用することによって、本発明の原理に従つて、正確に測定できることを認識した。物体に関連するそのような速度は、対気速度、すなわち、周囲の空気に対する物体の速度とることができ、または物体の付近もしくは物体の所望移動経路沿いの空気の速度とができる。より具体的には、気流と同方向に伝搬する音は、気流とは逆方向に伝搬する音よりも速く伝搬するという事実を考慮することによって、対気速度または空気の速度を決定できるように、2つ以上の音の速さを相關させることができる。
20

【0007】

本発明の一実施形態では、航空機の機体上の異なる位置に配置されたマイクロフォン、一般に、少なくとも1つがエンジンの前方に、少なくとも1つがエンジンの後方にあるように位置付けられたマイクロフォンが、エンジン・ノイズを受音し、その後、エンジン・ノイズは、デジタル形式に変換される。受音されたノイズ・パターンの間の相関が、対気速度を決定するために使用され、その後、対気速度は、例えば、パイロットなどの人間に対気速度を表示するなど、他の使用のために供給され、または例えば、自動操縦など、航空機内の別のデバイスに供給される。本発明の一態様によれば、エンジンが故障を起こした場合にオーディオ信号を供給するために、スピーカを提供することができ、そのため、そのような状況においても、対気速度を決定することができる。本発明の別の態様によれば、エンジン・ノイズまたはスピーカ音がマイクロフォンまで伝搬できるチャネルは、非直線であること、時間につれて変化すること、またはマルチパス歪みを示すことがあるので、高度な相関アルゴリズムを実行して、正確な対気速度を取得することができる。
30

【0008】

本発明の別の実施形態では、マイクロフォンは、自動車またはトラックなどの乗物上に、例えば、左右相称に配置される。自動車のモータ、または好ましくは、超音波を出すことができるスピーカなどの、音源を使用して、乗物に衝撃を与える突風の、乗物の移動方向とは垂直の成分の速さを測定することができる。適切な環境の下では、横風に対する補償を試みて、安全性および快適性を向上させるために、ステアリングまたはサスペンションなどの自動車システムの1つまたは複数に、制御信号を供給することができる。
40

【0009】

本発明のまた別の実施形態では、航空機の付近、例えば、航空機の予想着陸経路沿い、の風の速度を計算して、そのような風が航空機に与える影響をより良く予測することができ、それによって、航空機が対象エリアに到着したときに、適切な制御を適用して、航空機に加えられると予想される力を相殺することができる。より具体的には、本発明のそのような一実施形態では、滑走路に沿って配置されたマイクロフォンが、航空機からエンジ
50

ン・ノイズを受音する。マイクロフォンによって受音されたノイズ信号は、マイクロフォンから遠く離れて位置付けることができ、航空機上に搭載することさえできる、風速度決定ユニット(wind velocity determining unit)に供給される。風速度決定ユニットに供給されるノイズ信号は、1つまたは複数の有線または無線リンクを介して供給することができる。

【0010】

風速度決定ユニットは、受音された音を相關させ、航空機の予想経路沿いの様々な位置における風の速さを決定し、例えば、風速度決定ユニットは、飛行機が現時点で直面しているウインド・シア(wind shear)を決定する。各位置における風の速度は、例えば向かい風または追い風など、航空機の予想経路、一般に滑走路、と平行な成分と、航空機が例えば滑走路に着陸を試みるときに航空機に吹付ける、航空機の予想経路、一般に滑走路、と垂直な成分とを含む。そのような情報と、場合によっては航空機の高度および/または姿勢も使用することによって、自動操縦システムを利用して、航空機の動きを制御することができ、場合によっては、航空機の動きには自動操縦制御の下での航空機の着陸も含む。そのようなシステムは、悪天候条件において、または航空母艦上で、有利に利用することができる。

10

【0011】

有利には、ピトー管の使用を止めて、ピトー管が誤作動した場合に生じる問題を回避する。

20

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】エンジン・ノイズを受音するためにマイクロフォンが航空機の機体上の異なる位置に配置され、その後、エンジン・ノイズがデジタル形式に変換される、本発明の一実施形態を示す図である。

【図2】図1の航空機または別の物体の対気速度を本発明の原理に従って計算できるように、エンジンおよびマイクロフォンの位置を数学的に表すのに使用される、空気が動かないものとして定められた基準座標系(reference frame)を定義する座標系(coordinate system)を示す図である。

【図3】本発明の原理に従って、物体、例えば自動車、に衝撃を与える空気の速度を決定するための本発明の別の実施形態を示す図である。

30

【図4】航空機の付近、例えば、航空機の予想着陸経路沿い、の風の速度を計算できる、本発明のさらなる一実施形態を示す図である。

【図5】本発明の原理に従って、物体の対気速度、または物体の付近の風の速度を決定するための例示的な構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下の説明は、本発明の原理を説明するにすぎない。したがって、本明細書で明示的に説明または示されていなくても、本発明の原理を具体化しており、本発明の主旨および範囲内に含まれる様々な構成を、当業者が考案できることが理解されよう。さらに、本明細書において述べられたすべての例および条件を表す言葉は、本発明の原理および発明者(ら)がもたらした当技術分野の発展に資する概念を読者が理解する助けとなるように、明らかにもっぱら教示的な目的をもつことが主に意図されており、そのような具体的に述べられた例および条件に限定されることはないと解釈されるべきである。さらに、本発明の原理、態様、および実施形態、ならびに本発明の特定の例について述べる本明細書のすべての言明は、本発明の構造的および機能的な均等物を両方とも包含することが意図されている。加えて、そのような均等物は、現在知られている均等物ばかりでなく、将来開発される均等物、すなわち、構造に関わりなく同じ機能を実行する任意の開発された要素も含む。

40

【0014】

したがって、例えば、本明細書のブロック図はいずれも、本発明の原理を具体化した例

50

示的な回路の概念図を表していることが当業者には理解されよう。同様に、フローチャート、フロー図、状態遷移図、および疑似コードなどはいずれも、実質的にはコンピュータ可読媒体内に表すことができ、そのため、コンピュータまたはプロセッサによって、そのようなコンピュータまたはプロセッサが明示的に示されているかどうかにかかわらず、実行することができる、様々なプロセスを表していることが理解されよう。

【0015】

「プロセッサ」と名付けられた任意の機能ブロックを含む、図に示された様々な要素の機能は、専用ハードウェアを使用することによってばかりでなく、適切なソフトウェアと関連付けられた、ソフトウェアを実行可能なハードウェアを使用することによっても提供することができる。プロセッサによって提供される場合、機能は、単一の専用プロセッサによって、单一の共用プロセッサによって、またはいくつかは共用可能な複数の個別プロセッサによって、提供することができる。さらに、「プロセッサ」または「コントローラ」という用語の明示的な使用は、ソフトウェアを実行可能なハードウェアを排他的に指示すると解釈されるべきではなく、限定することなく、デジタル信号プロセッサ(DSP)ハードウェア、ネットワーク・プロセッサ、特定用途向け集積回路(AVIC)、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ(FPGA)、ソフトウェアを記憶するためのリード・オンリ・メモリ(ROM)、ランダム・アクセス・メモリ(RAM)、および不揮発性ストレージを暗黙的に含むことができる。従来型および/またはカスタマイズされた他のハードウェアも含むことができる。同様に、図に示される任意のスイッチも概念的なものにすぎない。それらの機能は、プログラム・ロジックの動作を通して、専用ロジックを通して、プログラム制御と専用ロジックの対話をを通して、または人手によってさえも実行することができ、より具体的には、文脈から理解されるように、特定の技法は、実施者によって選択可能である。

10

【0016】

本発明の特許請求の範囲では、指定された機能を実行するための手段として表された要素はいずれも、その機能を実行する任意の方法を包含することが意図されている。それに、例えば、a) その機能を実行する電気的または機械的な要素の組み合わせ、またはb) 任意の形式の、したがって、ファームウェアもしくはマイクロ・コードなどを含むソフトウェアであって、そのソフトウェアを動作させて機能を実行するための適切な回路に加えて、存在する場合には、ソフトウェア制御される回路に結合された機械的な要素とも組み合わされる、ソフトウェアを含むことができる。そのような特許請求の範囲によって確定される本発明は、述べられた様々な手段によって提供される機能が、特許請求の範囲が求める方法で組み合わされ、まとめられるという事実の中に存在する。したがって、出願人は、それらの機能を提供できる手段はいずれも、本明細書で示される手段の均等物であると見なしている。

20

【0017】

ソフトウェア・モジュール、またはソフトウェアであることが暗示されている、単にモジュールは、プロセス・ステップの実行を表すフローチャート要素または他の要素の任意の組み合わせとして、および/またはテキスト記述として、本明細書では表すことができる。そのようなモジュールは、明示的または暗黙的に示されるハードウェアによって実行することができる。

30

【0018】

本明細書で使用する場合、チャネル品質は、マルチパスおよび他の音源からの干渉などの、チャネル特性からの影響を考慮していることに留意されたい。

40

【0019】

本明細書において別途明示的に指摘がない限り、図面は、原寸に比例して描かれてはいない。

【0020】

説明において、図面のうちの異なる図内で同一の番号を与えられた構成要素は、同じ構成要素を指し示している。

50

【 0 0 2 1 】

物体に関連する速度は、音波を使用することによって、本発明の原理に従って、正確に測定することができる。物体に関連するそのような速度は、対気速度、すなわち、周囲の空気に対する物体の速度とすることができる、または物体の付近もしくは物体の所望移動経路沿いの空気の速度とすることができる。より具体的には、気流と同方向に伝搬する音は、気流とは逆方向に伝搬する音よりも速く伝搬するという事実を考慮することによって、対気速度または空気の速度を決定できるように、2つ以上の音の速さを相関させることができる。

【 0 0 2 2 】

図1は、マイクロフォンが航空機の機体上の異なる位置に配置されて、一般に、少なくとも1つがエンジンの前方に、少なくとも1つがエンジンの後方にあるように位置付けられて、エンジン・ノイズを受音し、その後、エンジン・ノイズがデジタル形式に変換される、本発明の一実施形態を示している。ノイズ・パターンの間の相関が、対気速度を決定するために使用され、その後、対気速度は、例えば、パイロットなどの人間に対気速度を表示するなど、他の使用のために供給され、または例えば、自動操縦など、航空機内の別のデバイスに供給される。

10

【 0 0 2 3 】

より具体的には、図1は、航空機101を示しており、航空機101は、翼103-L、103-Rと、エンジン105-1から105-Nを含むエンジン105とを含み、ここで、Nは、一般に、2~4の範囲内にある。エンジン105は、翼103に取り付けられる形で示されているが、航空機101の別の場所に配置することもでき、例えば、1つは、胴体後尾に存在できることに留意されたい。任意選択の例示的なスピーカ113-R、113-Lも、航空機101上、例えば、それぞれ翼103-R、103-L上、に配置される形で示されている。

20

【 0 0 2 4 】

航空機101上には、例示的なマイクロフォン107-R、107-L、109-R、109-L、111-R、111-Lも配置されている。航空機101の各側のマイクロフォンは、好ましくは、互いにできるだけ遠く離して配置すべきである。様々なマイクロフォンの1つまたは複数は、指向性マイクロフォンとすることができる。マイクロフォンは、胴体外側またはキャビン内に取り付けることができるが、マイクロフォンを保護する目的で、マイクロフォンをキャビン内に取り付けるほうが好ましい。また好ましくは、マイクロフォンの各々は、指向性をもち、そのマイクロフォンが対象とする音源の方に向けられる。したがって、例えば、マイクロフォン107-R、109-R、111-Rの各々は、エンジン105-1の方に向けられる。

30

【 0 0 2 5 】

一般に、航空機101の運航中、エンジン105は、大音量の音信号を発生させる。これらの信号は、マイクロフォンのうちの様々な1つにおいて受音され、処理された結果、電気信号となり、これらの電気信号は、デジタル化され、本発明の原理に従って航空機101の対気速度を決定するために処理される。説明が明瞭になるように、航空機101の右側のみ、したがって、接尾辞-Rが付されたマイクロフォンのみを考察するが、同じ説明が、変更すべきところは変更して、航空機101の左側、接尾辞-Lが付された要素にも適用される。

40

【 0 0 2 6 】

よく知られた重ね合わせの原理を使用すると、エンジンからの音の速度は、航空機101の長さ方向に平行な1つの成分と、長さ方向に垂直な1つの成分の、2つの成分を有すると見なすことができる。対気速度の場合に対象となる成分は、航空機101の長さ方向に沿った成分である。

【 0 0 2 7 】

エンジン105-1とマイクロフォン107-R、109-R、111-Rの各々との間には、音伝送のための基礎チャネル(base channel)がそれぞれ形成され

50

る。エンジン 105 - 1 とマイクロフォン 107 - R との間の基礎チャネルは、 $h_1(t)$ と呼ばれ、エンジン 105 - 1 とマイクロフォン 109 - R との間の基礎チャネルは、 $h_2(t)$ と呼ばれ、エンジン 105 - 1 とマイクロフォン 111 - R との間の基礎チャネルは、 $h_3(t)$ と呼ばれる。実用の際、マイクロフォンの数は k であり、 k は少なくとも 3 であるべきである。本明細書で示され、開示されるマイクロフォンは、例示的なものにすぎず、航空機 101 の両側で同じである必要はない。

【0028】

基礎チャネル応答は、測定またはシミュレーションによって決定することができる。チャネルの測定は、航空機 101 のモデルを使用して行うことができ、このモデルは、エンジン 105 からのノイズを模倣するスピーカを使用し、マイクロフォン 107 - R、109 - R、111 - R の位置関係を縮尺した位置に位置付けられるマイクロフォンを有する。モデルは、飛行中であることを模倣するために、いずれの面からも十分に離して位置付けるべきである。代替として、シミュレーションは、航空機 101 のすべての構造的詳細を有する、航空機 101 を製造するのに使用されたコンピュータモデルを使用し、当業者に知られた方法で波動方程式を解くことによって、行うことができる。

【0029】

どの基準座標系を利用するかに応じて、音伝搬が異なって見えることがある。最初に考えられる基準座標系には、2つの基準座標系、すなわち、1) 航空機 101 に基づいた、動いている基準座標系、および 2) 航空機 101 の下方の地面を基準座標系とした、動いていない基準座標系があることに留意されたい。さらに、航空機 101 が動いているときに音が伝搬する実際のチャネルは、上で述べた、航空機 101 が静止しているときの基礎チャネルと同じではなく、動いているときのチャネルは、速度に依存する。

【0030】

エンジン 105 - 1 とマイクロフォン 107 - R との間の運航中チャネル (operating channel) は、 $h'_1(t)$ と呼ばれ、エンジン 105 - 1 とマイクロフォン 109 - R との間の運航中チャネルは、 $h'_2(t)$ と呼ばれ、エンジン 105 - 1 とマイクロフォン 111 - R との間の運航中チャネルは、 $h'_3(t)$ と呼ばれる。基礎チャネル応答と同様に、運航中チャネル応答も、測定またはシミュレーションによって決定することができる。チャネルの測定は、航空機 101 のモデルを使用して行うことができ、このモデルは、エンジン 105 からのノイズを模倣するスピーカを使用する。しかし、マイクロフォン 107 - R、109 - R、111 - R の位置関係を縮尺した位置にマイクロフォンを位置付ける代わりに、マイクロフォンは、シミュレートされる飛行経路に沿って前方にスライドさせる必要がある。このようにする理由は、運航中、すなわち、航空機が動いているときは、音を受音するマイクロフォンの位置は、音が発生させられたときにマイクロフォンが存在した位置よりも動きの経路に沿って前方に存在するからである。最初の位置から様々な距離のところにあるマイクロフォンからサンプルを取得することによって表を作成し、異なる速さを表すことができる。やはり、モデルは、飛行中であることを模倣するために、いずれの面からも十分に離しておくべきである。

【0031】

運航中、例えば、飛行中、マイクロフォン 107 - R、109 - R、111 - R の各々において受音される信号 S は、音信号が伝搬する特定のチャネルによって影響される、エンジン 105 - 1 からの音信号と、他の音源、例えば、エンジン 105 - N などの他のエンジン、からのノイズ、および風切音などとの組み合わせである。

【0032】

図 2 は、第 3 の基準座標系、すなわち、図 2 ではいわゆる「スティック表現 (stick representation)」で描かれた、航空機 101 (図 1) または別の物体の対気速度を本発明の原理に従って計算できるように、エンジンおよびマイクロフォンの位置を数学的に表すのに使用される、空気が動かないものとして定められた基準座標系を定義する座標系 201 を示している。座標系 201 内の各位置は、原点 200 からのベクトルとして表現されることに留意されたい。本明細書における以下の計算では、エンジ

10

20

30

40

50

ンと様々なマイクロフォンの位置の間の差を必要とするだけなので、原点 200 をどこに位置付けるかを定めることは必要ではない。

【0033】

座標系 201 では、計算の目的で、本明細書において以下で説明するように、エンジン 105 - 1 の位置は、

【0034】

【数1】

\vec{S}_i

で指定され、ここで、 i は、エンジンのうちの異なる 1 つを指し示すインデックスとして 10 使用することができる。同様に、マイクロフォン 107 - R の基準座標系内の位置は、

【0035】

【数2】

\vec{M}_1

で指定され、マイクロフォン 109 - R の基準座標系内の位置は、

【0036】

【数3】

\vec{M}_2

で指定され、マイクロフォン 111 - R の基準座標系内の位置は、

【0037】

【数4】

\vec{M}_3

で指定される。概念的に、航空機は、エンジン、例えばエンジン 105 - 1、が原点、すなわち、

【0038】

【数5】

$\vec{S}_i = (0, 0, 0)$

に位置付けられると配置されると見なすことができる。

【0039】

マイクロフォンは、エンジン 105 の各々から航空機の特定の側のマイクロフォンの各々までの各ベクトルが平行にならないように位置付けるべきである。航空機が、基準面内で動いているような動きを空気中で行っている場合、エンジンからそれぞれ各マイクロフォンまでの距離ベクトルは一定であるが、エンジンから各マイクロフォンまでの音の速度ベクトルは、基準面におけるエンジンからマイクロフォンまでの距離ベクトルと同じではないことにも留意されたい。

【0040】

説明および計算が容易になるように、マイクロフォンの各々には、1 から航空機 101 の片側のマイクロフォンの最大数までの参照番号が割り当てられる。したがって、例えば、マイクロフォン 107 - R は、マイクロフォン 1 に指定され、信号 n_1 を受音し、

【0041】

【数6】

\vec{M}_1

によって指定される基準座標系 201 内の位置を有する。同様に、マイクロフォン 109 - R は、マイクロフォン 2 に指定され、信号 n_2 を受音し、

【0042】

10

20

30

40

50

【数7】

 \bar{M}_2

によって指定される基準座標系内の位置を有する。同様に、マイクロフォン 111-R は、マイクロフォン 3 に指定され、信号 n_3 を受音し、

【0043】

【数8】

 \bar{M}_3

によって指定される基準座標系 201 内の位置を有する。

10

【0044】

空気内での、すなわち、航空機周囲の空気に対する航空機の速さは、本発明の原理に従って、以下のようにして求めることができる。時刻 t_0 において、マイクロフォン 107-R は、位置

【0045】

【数9】

 \bar{M}_1

に位置付けられ、マイクロフォン 109-R は、位置

20

【0046】

【数10】

 \bar{M}_2

に位置付けられ、エンジン 105 は、位置

【0047】

【数11】

 \bar{S}_1

にある。航空機は、基準面内で、すなわち、空気に対して、速度

30

【0048】

【数12】

 \bar{v}_p

で動いている。マイクロフォン位置の異なる対の間で、ノイズ・パターンの到着時間差を決定するのが望ましい。

【0049】

マイクロフォンが最小数の 3 つである場合、マイクロフォンのすべての対を利用するべきである。マイクロフォンがより多数の場合は、すべての対を利用するのが好ましくはあるが、マイクロフォンが 3 つの場合に利用可能な対を少なくとも有する対の一部を選択することができる。一般に、利用可能なマイクロフォンが多いほど、また使用される対が多いほど、対気速度測定は、平均すると、より正確になる。

40

【0050】

例えば、マイクロフォンの特定の各対について、到着時間差は、遅延が の、様々なマイクロフォンの対の間の検出ノイズ・パターンの相互相関

【0051】

【数13】

 $\phi_{n_1 n_2}(\tau)$

の最大値を計算することによって決定することができる。言い換えると、計算のために利用するマイクロフォンのうちの様々な 1 つを指し示すのに使用する変数として e および l

50

を使用し、マイクロフォンを上で述べたように呼び、その場合、 $e = 1$ から利用するマイクロフォンの数、 $l = 1$ から利用するマイクロフォンの数、 $e = l$ であるとして、

【0052】

【数14】

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

の最大値を、すなわち、

【0053】

【数15】

$$\max\{\varphi_{n_e n_l}(\tau)\} \Rightarrow \tau_{\max}$$

10

を求めるが、ここで、

τ_{\max} は、2つのマイクロフォンによって検出されているエンジンからの音の現在の遅延を示す、相互相關関数を最大にする τ の値であり、

$n_1(t)$ は、マイクロフォン 1 によって拾われるノイズ・パターンであり、時変数 t は、連続的であるので、時間に依存するノイズ・パターンが存在し、

$n_e(t + \tau)$ は、時刻 $t + \tau$ においてマイクロフォン e によって拾われる、遅れたまたは進んだノイズ・パターンであり、正または負とすることができます。は、対をなすマイクロフォンの各々に同じパターンが到着した時刻の間の遅延時間であり、理論的には、負の無限大から正の無限大までの範囲を有するが、実際には、0 から、最大速度の音が航空機 101 の長さを伝搬するのに要する時間までの間に制限され、

20

$\sim \sim \sim \sim$ は、時間にわたって平均をとることを意味し、平均の時間窓は、獲得されるノイズ信号の帯域幅とは逆に変化することができる。例えば、数ミリ秒の窓で十分であるべきである。これは、別の方では相関のために指定しなければならない積分を考慮に入れている。

【0054】

言い換えると、概念的に、 $\tau_{\max}(e, l) = t_e - t_1$ であり、 t_e は、マイクロフォン e におけるエンジンからの信号の到着時刻であり、 t_1 は、マイクロフォン 1 におけるエンジンからの信号の到着時刻である。

30

【0055】

もちろん、上述の説明では、本明細書で説明するような処理のために使用されるノイズ信号の表現を生み出すための、各マイクロフォンにおける信号のデジタル化は、各マイクロフォンで、特にデジタル化経路によって導入される遅延に関して、基本的に同じであることが仮定されていることに留意されたい。さもなければ、デジタル化において遅延の相違を考慮しなければならない。

【0056】

上で説明したように、 e が 1 からマイクロフォンの数までの範囲内にあるとして、各マイクロフォン e について、式

40

【0057】

【数16】

$$|\tilde{M}_e - \tilde{S}_i + (t_e - t_0)\vec{v}_p| = |\vec{c}_s(t_e - t_0)| \quad (2)$$

を定式化し、ここで、

$$t_e = \tau_{\max}(e, l) + t_1 \text{ であり、}$$

【0058】

【数 1 7】

$$\vec{M}_e$$

は、時刻 t_0 における、基準座標系の原点からマイクロフォン e の位置までのベクトルであり、ここで、 t_0 は、マイクロフォン e において受音したノイズが発生させられた時刻であり、

【0 0 5 9】

【数 1 8】

$$\vec{v}_p$$

10

は、胴体に沿った、基準座標系 2 0 1 における、空気に対する航空機の速度、すなわち、対気速度であり、その絶対値が、求める変数であり、

【0 0 6 0】

【数 1 9】

$$\vec{S}_i$$

は、基準座標系の原点からノイズ源、例えば、エンジン 1 0 5 - 1 または任意選択のスピーカ 1 1 3 - R、の位置までのベクトルであり、

【0 0 6 1】

【数 2 0】

$$\vec{c}_s$$

20

は、基準座標系における音の速度であり、この速度は、気圧、温度、湿度などの様々な要因に基づいているので、分かっていないが、その値は、式中では、他の要因に関して表現できるので、対気速度を決定するためには、最終的にも分かる必要はなく、適切な置き換えが行われた場合、

【0 0 6 2】

【数 2 1】

$$\vec{c}_s$$

30

の値は消去され、

$t_e - t_0$ は、音が音源からマイクロフォン e まで伝搬するのに要する時間であり、そのため、

【0 0 6 3】

【数 2 2】

$$|\vec{c}_s|(t_e - t_0)$$

は、音が間隔 $t_e - t_0$ の間に実際に伝搬する距離である。

【0 0 6 4】

40

1 が変化すると、 $\max(e, l)$ も変化し、そのため、 t_e の値は同じままであることに留意されたい。また、本明細書において上で述べたように、差

【0 0 6 5】

【数 2 3】

$$\vec{M}_e - \vec{S}_i$$

だけが必要とされ、そのため、基準座標系の原点の正確な位置を知る必要がないことに留意されたい。

【0 0 6 6】

【数24】

 \vec{v}_p

を求めるため、式(2)によって表される1組の連立方程式の解が求められる。解を決定するための任意の方法を利用することができる。例えば、連立方程式の数値解を探すのに、例えば、Mathematica(登録商標)8のFindRootコマンドの技法を使用することができ、Mathematica(登録商標)8は、Wolfram Research、<http://www.wolfram.com/>から市販品として入手可能である。代替として、IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics - Part A: Systems And Humans、Vol. 38、NO. 3、2008年5月、698~714ページに発表された、Crina GrosanおよびAjith AbrahamによるA New Approach for Solving Nonlinear Equations Systemsにおいて開示されている様々な技法の1つを利用することができます。

【0067】

エンジンとマイクロフォンの各々との間のチャネルは、チャネル沿いの温度の相違および胴体からの反射など、様々なチャネル効果を被る。低周波音は、より全方向的に伝搬する傾向にあり、一方、高周波音は、より高い方向性をもって伝搬する傾向にあり、音が通過する開口を考慮した場合は特にそうである。ジェットエンジンは、一般に、高低多くの周波数の音を発生させ、これらの音は、周波数とエンジンの構造との関数であるパターンで放射される。エンジン音放射特性は、より高次の他のチャネル効果を支配するので、各マイクロフォンに到着する音パターンは、非常に類似してはいるが、そのようなチャネル効果を考慮した後であっても、遅延時間を除いて、必ずしも正確に同じではない。

【0068】

したがって、本発明の一態様に従って、各遅延最大値のより正確な結果を提供するには、そのようなエンジン音放射特性を補償することが望ましい。本発明の一態様によれば、これは、音源からマイクロフォンまでのチャネルの逆チャネル関数(inverse channel function)を見出すことによって、達成することができる。

【0069】

逆チャネル関数は、

【0070】

【数25】

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

のように表すことができ、ここで、

$s_n(t)$ は、音源によって発生させられたノイズであり、

【0071】

【数26】

$$h_e(|\vec{v}_p|, t)$$

は、時刻tにおけるマイクロフォンeのチャネル伝達関数であり、eは1からマイクロフォンの数までの範囲内にあることができ、

*は、畳み込みであり、

$n_e(t)$ は、式1において解析のために使用されるノイズ・パターンである。

【0072】

チャネル伝達関数は、最終的に求める変数である、基準座標系201における、空気に対する航空機の速度、すなわち、対気速度

【0073】

10

20

30

30

40

50

【数27】

 \vec{v}_P

に弱く依存することに留意されたい。

【0074】

図3は、マイクロフォン307-R、307-Lが、自動車またはトラックなどの乗物301上に、例えば、左右相称に配置される、本発明の別の実施形態を示している。マイクロフォンは、乗物301の前面に沿って、好ましくは、示されるように各側端にできるだけ近づけて位置付けることが望ましい。乗物のモータ（乗物301の内側、例えばボンネットの下にあるので見えない）、または好ましくは、超音波を出すことができるスピーカ313などの、音源を使用して、乗物に衝撃を与える突風の、乗物の移動方向とは垂直の成分、すなわち横風、の速さを測定することができ、適切な環境の下では、そのような横風に対する補償を試みて、安全性および快適性を向上させるために、ステアリングまたはサスペンションなどの自動車システムの1つまたは複数に、制御信号を供給することができる。10

【0075】

乗物に衝撃を与える突風を決定するために利用される基準座標系は、以前のものと同じ、すなわち、空気が動かないものとして定められた基準座標系である。そのため、概念的に、原点は、突風の一分子に置かれている。上述した対気速度の場合と同様に、計算の目的で、本明細書において以下で説明するように、スピーカ313の位置は、20

【0076】

【数28】

 \vec{s}_S

で指定される。また、同様に、マイクロフォン307-Rの基準座標系内の位置は、

【0077】

【数29】

 \vec{M}_R

で指定され、マイクロフォン307-Lの基準座標系内の位置は、30

【0078】

【数30】

 \vec{M}_L

で指定される。概念的に、乗物は、スピーカ313が基準座標系内の原点、すなわち、

【0079】

【数31】

 $\vec{s}_S = (0, 0, 0)$

に位置付けられると見なすことができる。40

【0080】

乗物に衝撃を与える突風の、乗物の移動方向とは垂直の成分の速さは、本発明の原理に従って、以下のように求めることができる。時刻 t_0 において、マイクロフォン307-Rは、位置

【0081】

【数32】

 \vec{M}_R

に位置付けられ、マイクロフォン307-Lは、位置

【0082】

【数33】

$$\vec{M}_L$$

に位置付けられ、スピーカ313は、位置

【0083】

【数34】

$$\vec{S}_S$$

にある。乗物環境は、基準面内で、速度

【0084】

10

【数35】

$$\vec{v}_P$$

で動いている。マイクロフォン位置の対の間で、ノイズ・パターンの到着時間差を決定するのが望ましい。マイクロフォン307の対の場合、到着時間差は、遅延が の、マイクロフォンの間の検出ノイズ・パターンの相互相関

【0085】

【数36】

$$\varphi_{n_L n_R}(\tau)$$

20

の最大値を計算することによって決定することができる。言い換えると、

【0086】

【数37】

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

の最大値を、すなわち、

【0087】

【数38】

$$\max\{\varphi_{n_L n_R}(\tau)\} \Rightarrow \tau_{\max}$$

30

を求めるが、ここで、

τ_{\max} は、2つのマイクロフォンによって検出されているエンジンからの音の現在の遅延を示す、相互相関関数を最大にする の値であり、

$n_L(t)$ は、マイクロフォン307-Lによって拾われるノイズ・パターンであり、時変数 t は、連続的であるので、時間に依存するノイズ・パターンが存在し、

$n_R(t+)$ は、時刻 $t+$ においてマイクロフォン307-Rによって拾われる遅れたまたは進んだノイズ・パターンであり、正または負とすることができます。 は、対をなすマイクロフォンの各々に同じパターンが到着した時刻の間の遅延時間であり、理論的には、負の無限大から正の無限大までの範囲を有するが、実際には、0から、乗物301の幅を音の速度で除算した、最大速度の音が乗物301の幅を伝搬するのに要する時間までの間に制限され、

40

～～～～～は、時間にわたって平均をとることを意味し、平均の時間窓は、獲得されるノイズ信号の帯域幅とは逆に変化することができる。例えば、数ミリ秒の窓で十分であるべきである。これは、別の方法では相関のために指定しなければならない積分を考慮に入れている。

【0088】

言い換えると、概念的に、 $\tau_{\max}(L, R) = t_L - t_R$ であり、 t_L は、マイクロフォン307-Lにおけるスピーカ313からの信号の到着時刻であり、 t_R は、マイクロフォン307-Rにおけるスピーカ313からの信号の到着時刻である。

50

【0089】

もちろん、上述の説明では、本明細書で説明するような処理のために使用されるノイズ信号の表現を生み出すための、各マイクロフォンにおける信号のデジタル化は、各マイクロフォンで、特にデジタル化経路によって導入される遅延に関して、基本的に同じであることが仮定されていることに留意されたい。さもなければ、デジタル化において遅延の相違を考慮しなければならない。

【0090】

式

【0091】

【数39】

10

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

【0092】

【数40】

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

を定式化し、ここで、

$t_L = m_a x(L, R) + t_R$ であり、

20

【0093】

【数41】

$$\vec{M}_L$$

は、時刻 t_0 における、基準座標系の原点からマイクロフォン 307-L の位置までのベクトルであり、ここで、 t_0 は、マイクロフォン 307-L において受音したノイズが発生させられた時刻であり、

【0094】

【数42】

$$\vec{M}_R$$

30

は、時刻 t_0 における、基準座標系の原点からマイクロフォン 307-R の位置までのベクトルであり、ここで、 t_0 は、マイクロフォン 307-R において受音したノイズが発生させられた時刻であり、

【0095】

【数43】

$$\vec{v}_p$$

は、乗物に衝撃を与える突風の地面に対する速度であり、

【0096】

40

【数44】

$$\vec{v}_V$$

は、乗物の地面に対する速度であり、

【0097】

【数45】

$$\vec{S}_s$$

は、基準座標系の原点からノイズ源、例えばスピーカ 313、の位置までのベクトルであり、

50

【0098】

【数46】

$$|\vec{c}_s|$$

は、空気中の音の速さであり、横風を決定する目的では、地上高度および典型的な気象条件に適合するために、従来認められている空気中の音の速さである340メートル毎秒で一般に十分に正確であると仮定されるが、さらなる精度が望まれる場合は、実際の高度および気象条件に合わせて調整を行うこともでき、

$t_L - t_0$ は、音が音源からマイクロフォン307-Lまで伝搬するのに要する時間であり、そのため、

10

【0099】

【数47】

$$|\vec{c}_s|(t_R - t_0)$$

は、音が間隔 $t_L - t_0$ の間に実際に伝搬する距離であり、

$t_R - t_0$ は、音が音源からマイクロフォン307-Rまで伝搬するのに要する時間であり、そのため、

【0100】

【数48】

$$|\vec{c}_s|(t_R - t_0)$$

20

は、基準座標系において、音が間隔 $t_R - t_0$ の間に実際に伝搬する距離である。

【0101】

【数49】

$$\vec{v}_p$$

を求めるため、式(3)および(4)によって表される1組の連立方程式の解が求められる。解を決定するための任意の方法を利用することができる。例えば、連立方程式の数値解を探すのに、例えば、Mathematica(登録商標)8のFindRootコマンドの技法を使用することができ、Mathematica(登録商標)8は、Wolfram Research、<http://www.wolfram.com/>から市販品として入手可能である。代替として、IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics-Part A: Systems And Humans、Vol. 38、No. 3、2008年5月、698~714ページに発表された、Crina GrosanおよびAjith AbrahamによるA New Approach for Solving Nonlinear Equations Systemsにおいて開示されている様々な技法の1つを利用することができる。

30

【0102】

図4に示される、本発明のまた別の実施形態では、航空機の付近、例えば、航空機の予想着陸経路沿い、の風の速度を計算して、そのような風が航空機に与える影響をより良く予測することができ、それによって、航空機が対象エリアに到着したときに、適切な制御を適用して、航空機に加えられると予想される力を相殺することができる。より具体的には、図4は、少なくともマイクロフォングループ407、409、411を含む、マイクロフォンのグループを示しており、これらのマイクロフォングループは、航空機401からノイズ、例えば、エンジン405からのノイズ、または航空機401に取り付けられたスピーカ(図示されず)からのノイズ、を受音するように、滑走路421に沿って配置される。一般に、各マイクロフォングループは、3つのマイクロフォンから成り、それらのマイクロフォンは、それらのうちの2つの位置を結ぶ線分が滑走路421に平行になり、第3のマイクロフォンの位置については、そのマイクロフォンから他の2つのマイクロフ

40

50

オンのうちの一方までの線分が滑走路 421 と垂直になるように配置される。例えば、マイクロフォン 407-M1、407-M2、407-M3 を含む、マイクロフォングループ 407 を見られたい。マイクロフォン 407-M1 および 407-M2 の位置を結ぶと、滑走路 421 に平行な線分が形成され、マイクロフォン 407-M2 および 407-M3 の位置を結ぶと、滑走路 421 に垂直な線分が形成される。マイクロフォン 409-M1'、409-M2'、409-M3' を含む、マイクロフォングループ 409、およびマイクロフォン 411-M1''、411-M2''、411-M3'' を含む、マイクロフォングループ 411 のマイクロフォンも、図 4 に示されるように、同様に配置される。

【0103】

マイクロフォンによって受音されたノイズ信号は、マイクロフォンから遠く離れて位置付けることができ、航空機 401 上に搭載することさえできる、風速度決定ユニットに供給される。風速度決定ユニットに供給されるノイズ信号は、1つまたは複数の有線または無線リンクを介して供給することができる。風速度決定ユニットは、受音された音を相關させ、航空機の予想経路沿いの様々な位置における風の速さを決定し、例えば、風速度決定ユニットは、飛行機が現時点で直面しているウインド・シアを決定する。各位置における風は、例えば向かい風または追い風など、航空機の予想経路、一般に滑走路、と平行な成分と、例えば横風など、航空機の予想経路、一般に滑走路、と垂直な成分とを含む。これらの風は、航空機が、例えば滑走路 421 に着陸を試みるなど、その経路に沿って進むときに、航空機に吹付ける。

【0104】

風速度決定ユニットは、以下のように動作する。航空機 401 は、航空機 401 から伝搬する音を平面波として扱うこと、すなわち、音波の同位相波面 (phase front) が多かれ少なかれ平らであると仮定する近似を使用して扱うこと、ができるように、対象となる特定のマイクロフォングループ、例えば、マイクロフォングループ 407、409、411、から十分に遠く離れていると仮定する。グループ内のマイクロフォンの間の間隔が相対的に小さい場合、この近似はより正確であることに留意されたい。

【0105】

基準面は、マイクロフォンと滑走路 421 が動かないように定められる。

【0106】

【数 50】

$$\tilde{M}_1$$

は、基準面内における、航空機 401 からマイクロフォン 407-M1 までの距離であり、

【0107】

【数 51】

$$\tilde{M}_2$$

は、基準面内における、航空機 401 からマイクロフォン 407-M2 までの距離であり、

【0108】

【数 52】

$$\tilde{M}_3$$

は、基準面内における、航空機 401 からマイクロフォン 407-M3 までの距離である。ベクトル

【0109】

【数 53】

$$\tilde{M}_1$$

10

20

30

40

50

【0 1 1 0】

【数54】

 \tilde{M}_2

【0 1 1 1】

【数55】

 \tilde{M}_3

は、実際に決定する必要はない。その理由は、指定された差のみが計算に関連し、これらの差は、マイクロフォン間の間隔を測定することによって決定できるからである。

10

【0 1 1 2】

滑走路421沿いのマイクロフォン407のグループの位置に近いところでの、滑走路421と平行な風速度成分は、マイクロフォン407 - M1および407 - M2を使用して決定される。航空機401からの音パターンがマイクロフォン407 - M1および407 - M2に到着したときの到着時間差は、遅延が の、マイクロフォン407 - M1および407 - M2の間の検出ノイズ・パターンの相互相関

【0 1 1 3】

【数56】

 $\varphi_{M_1 M_2}(\tau)$

20

の最大値を計算することによって決定される。言い換えると、

【0 1 1 4】

【数57】

$$\varphi_{M_1 M_2}(\tau) = \overline{\overline{M_1(t+\tau) M_2(t)}} \quad (5),$$

の最大値を、すなわち、

【0 1 1 5】

【数58】

$$\max\{\varphi_{M_1 M_2}(\tau)\} \Rightarrow \tau_{12}$$

30

を求めるが、ここで、

～～～～～は、時間にわたって平均をとることを意味し、平均の時間窓は、獲得されるノイズ信号の帯域幅とは逆に変化することができる。例えば、数ミリ秒の窓で十分であるべきである。これは、別の方法では相関のために指定しなければならない積分を考慮に入れている。₁₂は、2つのマイクロフォン407 - M1、407 - M2によって検出されているエンジンからの音の現在の遅延を示す、相互相関関数を最大にする の値であることに留意されたい。

【0 1 1 6】

その後、風速度の平行成分 v^{\parallel} が、

40

【0 1 1 7】

【数59】

$$c_s - |\tilde{M}_1 - \tilde{M}_2| / \tau_{12} = v^{\parallel}$$

を計算することによって決定され、ここで、 c_s は、音の速度を表す。この特定の応用では、関心のある滑走路付近の音の速度 c_s は、一般に、340 m / s の値によって良好に近似される。

【0 1 1 8】

滑走路421沿いのマイクロフォン407のグループの位置に近いところでの、滑走路421と垂直な風速度成分は、マイクロフォン407 - M2および407 - M3を使用し

50

て決定される。航空機 401 からの音パターンがマイクロフォン 407 - M2 および 407 - M3 に到着したときの到着時間差は、遅延が の、マイクロフォン 407 - M2 および 407 - M3 の間の検出ノイズ・パターンの相互相関

【0119】

【数 60】

$$\varphi_{M_2 M_3}(\tau)$$

の最大値を計算することによって決定される。言い換えると、

【0120】

【数 61】

10

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

の最大値を、すなわち、

【0121】

【数 62】

$$\max\{\varphi_{M_2 M_3}(\tau)\} \Rightarrow \tau_{23}$$

を求めるが、ここで、

～～～～～は、時間にわたって平均をとることを意味し、平均の時間窓は、獲得されるノイズ信号の帯域幅とは逆に変化することができる。例えば、数ミリ秒の窓で十分であるべきである。これは、別の方法では相関のために指定しなければならない積分を考慮に入れている。 τ_{23} は、2つのマイクロフォン 407 - M2、407 - M3 によって検出されているエンジンからの音の現在の遅延を示す、相互相関関数を最大にする の値であることに留意されたい。

20

【0122】

その後、風速度の垂直成分 v^{perp} が、

【0123】

【数 63】

$$c_s = |\vec{M}_2 - \vec{M}_3| / \tau_{23} = v^{perp}$$

30

を計算することによって決定される。

【0124】

もちろん、先に述べたように、上述の説明では、本明細書で説明するような処理のために使用されるノイズ信号の表現を生み出すための、各マイクロフォンにおける信号のデジタル化は、各マイクロフォンで、特にデジタル化経路によって導入される遅延に関して、基本的に同じであることが仮定されていることに留意されたい。さもなければ、デジタル化において遅延の相違を考慮しなければならない。

【0125】

40

マイクロフォンのいくつかまたはすべては、指向性をもつことができ、それらのマイクロフォンは、航空機が来る方向から、例えば、特定のマイクロフォンに関連付けられたベクトル

【0126】

【数 64】

$$\vec{M}_1$$

【0127】

【数65】

\vec{M}_2

【0128】

【数66】

\vec{M}_3

のそれぞれと反対の方向から、音を集中的に受音するように設計される。

【0129】

滑走路沿いの異なる位置に配置されるマイクロフォンの他のグループ、例えば、マイクロフォンのグループ409および411、は、同じ技法を使用して、それぞれの位置における風成分を決定するために使用することができるが、計算を行う際に、マイクロフォンのグループ407に代わって、マイクロフォンが同様に配置されたグループ内の特定のマイクロフォンを使用する。したがって、航空機の予想経路、例えば、航空機が進入する滑走路421、に沿った風速度を決定することができる。10

【0130】

風情報は、人間、例えばパイロット、が感知できるように表示することができる。また、そのような情報と、場合によっては航空機の高度および/または姿勢も使用することによって、自動操縦システムを利用して、航空機の動きを制御することができ、場合によっては、航空機の動きには自動操縦制御の下での航空機の着陸も含む。そのようなシステムは、悪天候条件において、または航空母艦上で、航空機の着陸を支援するために、有利に利用することができる。20

【0131】

図5は、本発明の原理に従って、物体、例えば乗物、の対気速度、またはその付近の風の速さを決定するための例示的な構成を示している。図5には、プロセッサ523と、マイクロフォン507-1から507-Nを含むマイクロフォン507と、スピーカ513とが示されている。マイクロフォン507は、図1～図4に関連して示し、説明した、本発明の実施形態において利用されるマイクロフォンのいずれかを代表している。マイクロフォン507は、マイクロフォン507で受音した音をデジタル化するための任意の回路を含むと見なすことができる。同様に、スピーカ513は、図1～図4に関連して示し、説明した、本発明の実施形態において利用されるスピーカのいずれかを代表している。30

【0132】

リンク519は、マイクロフォン507をプロセッサ523に結合する。リンク519は、例えば、有線、無線、光、またはそれらの任意の組み合わせなど、任意のタイプとすることができ、リンク519によって伝達される信号は、アナログもしくはデジタル、またはそれらの任意の組み合わせとすることができます。述べたように、マイクロフォン507によって検出された音信号のデジタル化は、マイクロフォン507において実行することができ、またはリンク519の一部として、プロセッサ523において、もしくはそれらの組み合わせで実行することができる。

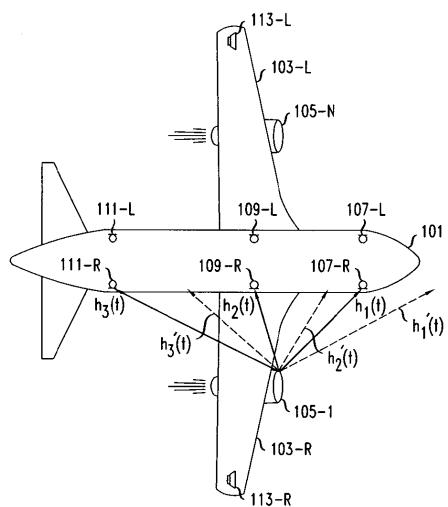
【0133】

プロセッサ523は、適切にプログラムした場合、図1～図4に関連して示し、説明した、本発明の実施形態において利用される動作および計算を実行する。決定された速度は、出力としてリンク527上に供給することができる。本明細書において上で指摘したように、速度は、人間、例えば運転手またはパイロット、が視覚的表現を観測できるように、ディスプレイに供給することができ、または速度は、その速度が関連する乗物を制御するのに使用するために、自動操縦に供給することができる。

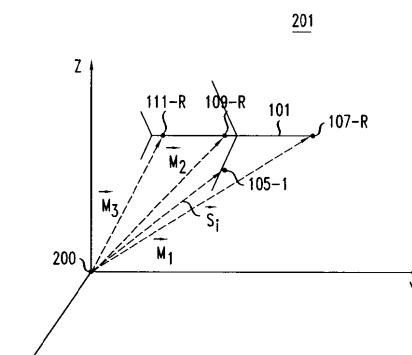
【0134】

上述の説明は、空気に関するものであるが、当業者は、本発明の原理を他の気体に、またはその中を音が伝搬し、物体が進むことができる他の媒体、例えば、一般に液体、特に关心があるのは、水および水溶液、に容易に適合させることができる。40

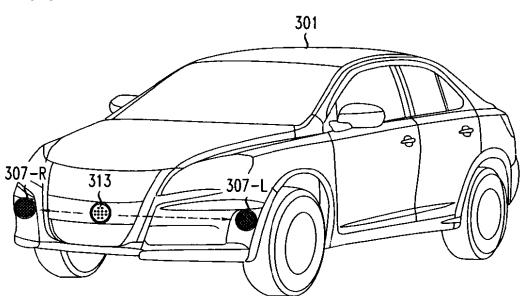
【図1】



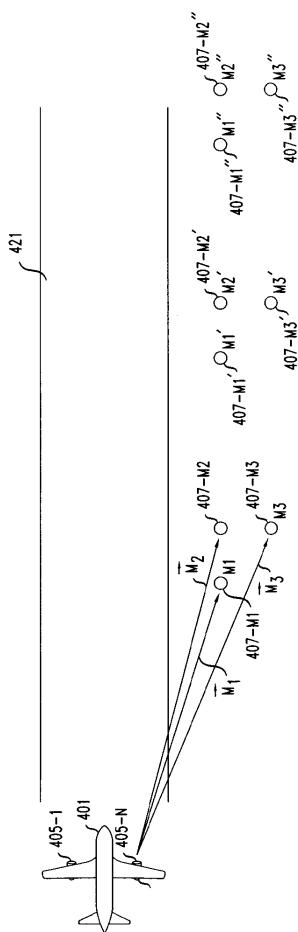
【図2】



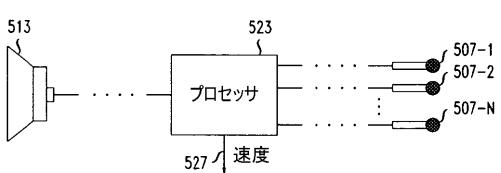
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 モーラー , ローター , ビー .

アメリカ合衆国 0 7 7 4 8 ニュージャーシィ , ミドルタウン , クノールウッド ドライヴ 1
9 1 0

審査官 森 雅之

(56)参考文献 特開昭 5 2 - 1 2 3 2 7 9 (J P , A)

特許第 3 5 7 4 8 1 4 (J P , B 2)

(58)調査した分野(Int.CI. , DB名)

G 0 1 P 5 /