

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6001869号
(P6001869)

(45) 発行日 平成28年10月5日(2016. 10. 5)

(24) 登録日 平成28年9月9日(2016. 9. 9)

(51) Int.Cl.

F I

B 6 4 D 45/00 (2006.01)

B 6 4 D 45/00

Z

請求項の数 10 外国語出願 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2012-27893 (P2012-27893)
 (22) 出願日 平成24年2月13日(2012. 2. 13)
 (65) 公開番号 特開2012-166779 (P2012-166779A)
 (43) 公開日 平成24年9月6日(2012. 9. 6)
 審査請求日 平成27年2月10日(2015. 2. 10)
 (31) 優先権主張番号 13/027, 759
 (32) 優先日 平成23年2月15日(2011. 2. 15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州 1 2 3
 4 5、スケネクタデイ、リバーロード、1
 番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (74) 代理人 100113974
 弁理士 田中 拓人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 航空機飛行経路を更新するために気象データを選択する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

航空機内の飛行管理システムによって利用するために、航空機(20)の予測された飛行経路(44)に沿った、前記予測された飛行経路(44)に関連する使用可能な気象データのサブセットを選択して格納する方法(100)であって、

前記航空機(20)の予測された飛行経路(44)および前記予測された飛行経路の計画された中間地点(60)を受信するステップ(102)と、

前記予測された飛行経路を含む領域の気象情報を受信するステップ(104)と、

前記気象情報からフィルタリングし、前記予測された飛行経路に関連する前記気象情報だけを保持するステップと、

前記予測された飛行経路のセグメントを選択するステップと、

前記セグメントが水平セグメントである場合に(108)、気象データの第1サブセットを作成するために、前記予測された飛行経路上の基準点となる擬似中間地点と、前記擬似中間地点および前記計画された中間地点に関連する水平セグメント気象データとを判定するステップ(110)と、

前記セグメントが非水平セグメントである場合に(112)、気象データの第2サブセットを作成するために、選択された多次元風データに基づく燃料コストおよび時間コストの計算から非水平セグメント気象データを判定するステップ(114)と、

使用可能な気象データの前記サブセットとして前記第1サブセットおよび前記第2サブセットのうちの1つを前記飛行管理システムに格納するステップと、

10

20

前記サブセットに基づいて前記飛行管理システムによって構築された飛行プロファイルで前記航空機を飛行するステップと、
を含む方法。

【請求項 2】

気象データの第 1 のサブセットを作成するために、航空機 (2 0) の予測された飛行経路 (4 4) の水平セグメント (5 0) に沿った擬似中間地点 (7 0) を判定するステップは、

A . 水平セグメント開始点 (4 6) および水平セグメント終点 (5 8) を含む複数の点を含む前記航空機 (2 0) の水平セグメント予測飛行経路を受信するステップ (1 6 0) と、

B . 前記保持された気象情報から前記水平セグメントに沿った前記開始点および前記終点を含む前記複数の点での気象データを判定するステップ (1 6 4) と、

C . 前記開始点 (4 6) での前記気象データを抽出するステップと、

D . 前記水平セグメント予測飛行経路に沿った次の点にステップするステップ (1 6 6) と、

E . 前記水平セグメント予測飛行経路 (5 0) に沿った現在の点が前記水平セグメント終点であるかどうかを判定し (1 6 8) 、前記水平セグメント予測飛行経路 (5 0) に沿った前記現在の点が前記水平セグメント終点 (5 8) である場合に、ステップ J に進むステップと、

F . 前記現在の点での前記気象データを抽出するステップと、

G . 前記現在の点での前記気象データの勾配および以前の点からの前記勾配の変化を判定するステップ (1 6 6) と、

H . 前記勾配の前記変化が所定のしきい値を満足するかどうかを判定し (1 7 0) 、前記勾配の前記変化が所定のしきい値を満足しない場合に、ステップ D に戻るステップと、

I . 擬似中間地点として前記現在の点をセットし (1 7 2) 、その後、ステップ D に戻るステップと、

J . 水平セグメントとしての前記開始点、前記中間地点のそれぞれ、および前記終点での前記気象データを前記気象データの第 1 サブセットとして格納するステップ (1 8 0) と、

を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

擬似中間地点 (7 0) の総数が所定の擬似中間地点最大値を超えるかどうかを判定するステップと、前記擬似中間地点 (7 0) の総数が擬似中間地点最大値を超える場合に、擬似中間地点の残りの個数が前記所定の擬似中間地点最大値と等しくなるようにするために、最小の前記勾配に対応する擬似中間地点 (7 0) を除去するステップとをさらに含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記気象データの前記勾配を判定するステップ (1 6 6) は、前記水平セグメント予測飛行経路 (5 0) に沿った前記現在の点と前記以前の点との間の追い風の変化を判定することを含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

非水平セグメント気象データを判定するステップ (1 1 4) は、

A . 非水平セグメント開始点および非水平セグメント終点を含む複数の点を含む非水平セグメント予測飛行経路を受信するステップ (1 9 0) と、

B . 前記保持された風データおよび前記非水平セグメント予測飛行経路 (5 4) に基づいて前記非水平セグメントに沿った前記複数の点のすべてで気象データを判定するステップ (1 9 4) と、

C . 前記非水平セグメントに沿った前記点のすべてでの前記気象データに基づいて燃料コストおよび時間コストを判定するステップ (1 9 4) と、

D . 気象データ点の個数が所定の最大値を超えるかどうかを判定し (1 9 6) 、前記個

10

20

30

40

50

数が前記所定の最大値を超えない場合に、前記気象データ点のすべてを選択し(198)、ステップLに進むステップと、

E. 前記非水平セグメント予測飛行経路に沿った前記複数の点のすべてで前記風データから冗長気象データ点を除去するステップ(200)と、

F. 前記非水平セグメント予測飛行経路に沿った複数の風データ点から所定の最大個数のデータ点を含む前記気象データのサブセットを選択するステップ(204)と、

G. 前記気象データの前記サブセットを使用して、前記非水平セグメント予測飛行経路に沿った風速の高度分布を生成するステップ(206)と、

H. 前記風速の高度分布に基づいてサブセット燃料コストおよびサブセット時間コストを判定し、前記サブセットの前記データ点、前記サブセット燃料コスト、および前記サブセット時間コストを記録するステップ(208)と、

10

I. サブセットの所定の最大個数が選択され終えたかどうかを判定し(210)、サブセットの前記所定の最大個数が選択され終わっていない場合に、ステップFに戻るステップと、

J. 前記燃料コストと前記時間コストと調べられた前記サブセットのそれぞれの前記サブセット燃料コストおよび前記サブセット時間コストとに基づいて重み付き燃料燃焼誤差および重み付き時間誤差を判定するステップと、

K. 前記重み付き燃料燃焼誤差および前記重み付き時間誤差を最小にする前記サブセットに対応する前記気象データ点を選択するステップ(212)と、

L. 前記気象データの第2サブセットとして前記選択された気象データ点を格納するステップ(212)と、
を含む、請求項1に記載の方法。

20

【請求項6】

前記燃料コストを判定すること(208)は、前記非水平セグメント中の前記航空機の燃料燃焼を判定することを含み、時間コストを判定すること(208)は、前記非水平セグメント予測飛行経路をトラバースするのに要する時間を判定することを含む、請求項5に記載の方法。

【請求項7】

冗長気象データ点を除去するステップ(200)は、前記気象データが隣接するより高い高度および隣接するより低い高度での前記気象データと同一である高度での気象データを除去することを含む、請求項5に記載の方法。

30

【請求項8】

前記気象データのサブセットを選択するステップ(204)は、2つの選択されたサブセットのいずれもが同一でなくなるように、各サブセット内の風データ要素を選択することを含む、請求項5に記載の方法。

【請求項9】

重み付き燃料燃焼誤差および重み付き時間誤差を判定するステップ(208)は、前記燃料コストから前記サブセット燃料コストを引き、その値に第1の所定の定数を乗じ、サブセット時間コストと前記時間コストとの間の差の値を第2の所定の定数に乗じた値を加算すること($C0 \times (\text{燃料コスト} - \text{サブセット燃料コスト}) + C1 \times (\text{時間コスト} - \text{サブセット時間コスト})$)を含む、請求項5に記載の方法。

40

【請求項10】

前記気象データのサブセットを前記航空機に送信するステップをさらに含む、請求項1から9のいずれかに記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、航空機または航空機飛行経路の他のユーザに後で提供するために、気象データ、たとえば航空機の飛行経路に関係する風データおよび温度データを選択することに関

50

する。より具体的には、本発明は、航空機の飛行経路に関係する、正確な予測をそれから行うことができる関連する気象データのより小さいサブセットを作り、提供することに関する。

【背景技術】

【0002】

航空機飛行経路に沿った中間地点の気象データは、しばしば、航空機の飛行中に推定到着時刻および燃料燃焼を判定するために考慮される。たとえば、飛行管理システム(FMS)は、航空機が飛行している間に地上局から通信システムを介してFMSにアップロードされた風力データおよび温度データを考慮することができる。そのような気象データの量は、通常は多く、航空機飛行経路内の多数の点に沿って提供され得る。しかし、使用可能なメモリおよび使用可能な帯域幅の制限が、しばしば、アップロードされる気象データの量およびタイミングを妨げる。そのようなデータは、しばしば、開始点、終点、およびおそらくは航空機の飛行経路に沿った1つまたは少数の中間地点で航空機のFMSにアップロードされる。多くの時に、開始点と終点との間の中間地点は、航空機の飛行経路に沿った地上航行援助(Navaid)の位置に基づいて選択される。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許出願公開第2010/0198433号明細書

【発明の概要】

20

【0004】

データの制限は、そのデータに基づくFMS予報の正確さを危険にさらす可能性がある。また、航空機は、時々、途中でその飛行経路を変更するために管制承認を与えられ、この変更は、時々計画された中間地点なしで、予報をすばやく更新する必要をもたらす。多くのより長い飛行は、中間地点を伴わず、計画された中間地点の間の気象変化について考慮すべきデータを全く伴わない巡航内の長い航程を有する。たとえば、その航程中の更新されたデータを伴わない長い巡航中の風力および風向の変化は、予報された風の誤差を、したがって到着時刻計算の誤差をもたらす可能性がある。

【0005】

航空機の予測された飛行経路および予測された飛行経路の計画された中間地点を受信することと、予測された飛行経路を含む領域の気象情報を受信することと、気象情報からフィルタリングし、予測された飛行経路に関連する気象情報だけを保持することと、予測された飛行経路のセグメントを選択することとによって、航空機の予測された飛行経路に沿った、予測された飛行経路に関連する使用可能な気象データのサブセットを選択し、格納する方法。この方法は、セグメントが水平セグメントである場合に、気象データの第1サブセットを作成するために、擬似中間地点と、擬似中間地点および計画された中間地点に関連する水平セグメント気象データとを判定する。この方法は、セグメントが非水平セグメントである場合に、気象データの第2サブセットを作成するために、選択された多次元風データに基づく燃料コストおよび時間コストの計算から非水平セグメント気象データを判定し、次いで、使用可能な気象データのサブセットとして第1サブセットおよび第2サブセットのうちの1つを格納する。

30

40

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】本発明の一実施形態を実行できる地上局対航空機通信システムを示す概略図である。

【図2】本発明の一実施形態による方法を適用できる飛行経路を示す概略図である。

【図3】本発明の一実施形態による風力データおよび温度データのサブセットの選択を示す流れ図である。

【図4】予報された風速の高度分布と一緒に、挿入された擬似中間地点を示す、図2の飛行経路を示す概略図である。

50

【図5】飛行経路の水平セグメントに関する風データセレクションおよび温度データセレクションの選択を示す流れ図である。

【図6】飛行経路の非水平セグメントに関する風データセレクションおよび温度データセレクションの選択を示す流れ図である。

【図7】冗長な風の除去を示すさまざまな標高での風データを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

以下の記載では、説明の目的で、本明細書で説明される技術の完全な理解を提供するために多数の具体的な詳細を示す。しかし、例示的实施形態をこれらの特定の詳細なしで実践できることは、当業者には明白であろう。他の場合には、例示的实施形態の説明を容易にするために、構造およびデバイスを線図の形で示す。

10

【0008】

例示的实施形態を、下で図面を参照して説明する。これらの図は、本明細書で説明するモジュール、方法、およびコンピュータプログラム製品を実施する特定の实施形態のある詳細を示す。しかし、図面が、図面に存在する可能性がある限定を課すものと解釈してはならない。方法およびコンピュータプログラム製品を、その動作を達成するために任意の機械可読媒体上で提供することができる。実施形態を、既存のコンピュータプロセッサを使用して、この目的または別の目的のために組み込まれた特殊目的コンピュータプロセッサによって、またはハードワイヤドシステムによって実施することができる。

【0009】

20

上で注記したように、本明細書で説明される実施形態は、その上に格納された機械実行可能命令またはデータ構造を担持しまたは有する機械可読媒体を含むコンピュータプログラム製品を含む。そのような機械可読媒体は、汎用コンピュータ、特殊目的コンピュータ、またはプロセッサを有する他の機械によってアクセスできる任意の使用可能な媒体とすることができる。例として、そのような機械可読媒体は、RAM、ROM、EPROM、EEPROM、CD-ROMもしくは他の光ディスクストレージ、磁気ディスクストレージもしくは他の磁気ストレージデバイス、または機械実行可能命令もしくはデータ構造の形で所望のプログラムコードを担持しもしくは格納するのに使用でき、汎用コンピュータ、特殊目的コンピュータ、もしくはプロセッサを有する他の機械によってアクセスできる任意の他の媒体を含むことができる。情報が、ネットワークまたは別の通信接続（ハードワイヤド、無線、またはハードワイヤドもしくは無線の組合せのいずれであれ）を介して機械に転送されまたは提供される時に、その機械は、当然、その接続を機械可読媒体とみなす。したがって、すべてのそのような接続は、当然、機械可読媒体と呼ばれる。上記の組合せも、機械可読媒体の範囲に含まれる。機械可読命令は、たとえば、汎用コンピュータ、特殊目的コンピュータ、もしくは特殊目的処理機械にある機能または機能のグループを実行させる命令およびデータを含む。

30

【0010】

実施形態を、たとえばネットワーク化された環境内で機械によって実行されるプログラムモジュールの形の、プログラムコードなどの機械実行可能命令を含むプログラム製品によって一実施形態で実施できる方法ステップの全体的な文脈で説明する。一般に、プログラムモジュールは、特定のタスクを実行するという技術的影響を有するか特定の抽象データ型を実施する、ルーチン、プログラム、オブジェクト、コンポーネント、データ構造などを含む。機械実行可能命令、関連するデータ構造、およびプログラムモジュールは、本明細書で開示される方法のステップを実行するプログラムコードの例を表す。そのような実行可能命令または関連するデータ構造の特定のシーケンスは、そのようなステップで説明される機能を実施する対応する行為の例を表す。

40

【0011】

実施形態を、プロセッサを有する1つまたは複数のリモートコンピュータへの論理接続を使用してネットワーク化された環境内で実践することができる。論理接続は、限定ではなく例としてここで提示されるローカルエリアネットワーク（LAN）および広域ネット

50

ワーク（WAN）を含むことができる。そのようなネットワーキング環境は、オフィス全体または企業全体のコンピュータネットワーク、イントラネット、およびインターネットでありふれたものであり、さまざまな異なる通信プロトコルを使用することができる。当業者は、そのようなネットワークコンピューティング環境が、通常、パーソナルコンピュータ、ハンドヘルドデバイス、マルチプロセッサシステム、マイクロプロセッサベースのまたはプログラマブルな消費者エレクトロニクス、ネットワークPC、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータ、および類似物を含む多数のタイプのコンピュータシステム構成を含むことが理解されよう。

【0012】

実施形態を、通信ネットワークを介してリンクされた（ハードワイヤードリンク、無線リンク、またはハードワイヤードリンクもしくは無線リンクの組合せのいずれによるものであれ）ローカル処理デバイスおよびリモート処理デバイスによってタスクが実行される分散コンピューティング環境で実践することもできる。分散コンピューティング環境では、プログラムモジュールを、ローカル記憶装置とリモート記憶装置との両方に配置することができる。

【0013】

例示的实施形態の全体または一部を実施する例示的システムは、処理ユニット、システムメモリ、およびシステムメモリを含むさまざまなシステムコンポーネントを処理ユニットに結合するシステムバスを含むコンピュータの形の汎用コンピューティングデバイスを含むことができる。システムメモリは、読取り専用メモリ（ROM）およびランダムアクセスメモリ（RAM）を含むことができる。コンピュータは、磁気ハードディスクから読み取り、磁気ハードディスクに書き込むための磁気ハードディスクドライブ、リムーバブル磁気ディスクから読み取り、リムーバブル磁気ディスクに書き込むための磁気ディスクドライブ、およびCD-ROMまたは他の光媒体などのリムーバブル光ディスクから読み取りまたはこれに書き込むための光ディスクドライブを含むこともできる。ドライブおよびそれに関連する機械可読媒体は、機械実行可能命令、データ構造、プログラムモジュール、およびコンピュータ用の他のデータの揮発性ストレージを提供する。

【0014】

実施形態で開示される方法の技術的効果は、飛行経路予測で使用される風および温度の正確さを高め、これによって航空機による予測された飛行経路の正確さを高めると同時に、航空機飛行の通信コストを最小にすることを含む。これを使用して、予測された飛行経路の時間ペナルティおよび燃料ペナルティを最小にすることもできる。

【0015】

図1に、本発明の一実施形態が使用されるタイプの航空機-地上通信のシステム1を示す。航空機20は、通信リンク30によって地上局10と通信することができる。通信リンク30は、パケット無線および衛星アップリンクを含むがこれに限定されない任意のさまざまな通信機構とすることができる。具体的には、航空機20は、通信リンク30を介して地上局10と通信できる機上の飛行管理システム（FMS）（図示せず）を有する。FMSは、一般に、航空機20の飛行経路に関する気象データを格納するために使用可能な、制限された量のメモリを有する。地上局10は、航空交通管制など、任意のタイプの通信する地上局10とすることができる。一般に、通信リンク30は、航空機20の飛行経路に関する広範囲の気象データを送信するために使用可能な限られた帯域幅を有し、どの場合でも、通信リンク30を介して大量のデジタルデータを通信することは、高価になる可能性がある。任意のタイプの情報を通信リンク30を介して通信することができるが、この実施形態は、具体的には航空機20への気象データの通信に関する。

【0016】

図2に、この場合には米国の、地理的地図40にオーバーレイされた予測された飛行経路44を示す。予測された飛行経路44は、出発点46および終点48を含み、本発明のこの実施形態の目的で、水平セグメント50（時々巡航セグメントとも呼ばれる）および非水平セグメント54を含む。予測された飛行経路の水平部分50は、予測された飛行経

10

20

30

40

50

路 4 4 と同一の開始点である水平セグメント開始点 4 6、水平部分の終点 5 8、および通常は地上 N a v a i d である 1 つまたは複数の計画された中間地点 6 0 を含む。非水平セグメント 5 4 は、水平セグメント終点 5 8 と同一の点とすることができる非水平セグメント開始点 5 8 と、予測された飛行経路の終点 4 8 と同一の点とすることができる非水平セグメント終点 4 8 とを含む。

【 0 0 1 7 】

予測された飛行経路 4 4 は、図 2 では 1 つの水平セグメント 5 0 および 1 つの非水平セグメント 5 4 を有するものとして図示されているが、予測された飛行経路は、任意の個数の水平セグメントおよび非水平セグメントを有することができる。燃料を燃焼する時により高い高度に登るためまたは突風を回避するためにジェットストリームなどの卓越風向を利用またはその影響を最小にするために航空機がその標高を変更する場合がある大陸横断飛行について特に、複数の水平セグメントおよび非水平セグメントがある場合がある。

【 0 0 1 8 】

一般に、航空機 2 0 の着陸中の降下に対応する少なくとも 1 つの非水平セグメント 5 4 がある可能性が高い。そのような降下は、したがって非水平セグメント開始点 5 8 は、予測された飛行経路の終点 4 8 から約 7 0 マイルとすることができる。水平巡航高度を達成するための予測された飛行経路 4 4 の離陸部分または上昇部分は、一般に短く、この実施形態においては、水平セグメント 5 0 に組み込まれる。本発明のこの実施形態によれば、水平セグメント 5 0 は、さらに、1 つまたは複数の擬似中間地点 7 0 を含むことができる。擬似中間地点は、飛行経路のパラメータに関係するある目的のために作成された人工的な基準点である。擬似中間地点を、航空機搭乗員によってまたは通信リンク 3 0 を介して定義することができ、擬似中間地点は、地上航行援助に限定されない。擬似中間地点を、飛行経路の確立された中間地点がセットされた後に、途中で定義することができる。さらに、擬似中間地点を、緯度および経度によって、または経路上中間地点などの現在の飛行経路に沿った指定された距離によってなど、さまざまな形で定義することができる。

【 0 0 1 9 】

予測された飛行経路 4 4 を、3 次元飛行経路 (3 D T) として 3 次元 (3 D) 空間内でまたは 4 次元飛行経路 (4 D T) として 4 次元 (4 D) 空間内で説明することができる。3 D T の 3 つの次元は、緯度、経度、および高度を含む。4 D T の 4 つの次元は、緯度、経度、高度、および時間を含む。言い換えると、航空機飛行経路の 4 D T 記述は、航空機 2 0 が任意の所与の時点に 3 D 空間内のどこにあるのかを定義する。

【 0 0 2 0 】

この実施形態では、水平セグメント 5 0 に関連する気象データは、追い風データ、横風データ、および温度データと一緒に、中間地点 6 0 および 7 0 の空間定義として F M S に提供される。中間地点 6 0 および 7 0 の空間定義は、中間地点の緯度座標および経度座標を含む。追い風は、飛行経路 4 4 に沿った任意の点での航空機 2 0 の飛行経路 4 4 と平行な風成分である。同様に、横風は、飛行経路 4 4 に沿った任意の点での航空機 2 0 の飛行経路 4 4 に垂直な方向の風成分である。追い風の負の値である向かい風を、本明細書の開示から逸脱せずに追い風の代わりに使用することもできることに留意されたい。

【 0 0 2 1 】

また、この実施形態では、非水平部分 5 4 に関連する気象データが、標高点、風速、風向、および温度として航空機 2 0 の F M S に提供される。F M S は、通常、風速および風向を横風成分および追い風成分に変換する。

【 0 0 2 2 】

気象データを、水平セグメント 5 0 と非水平セグメント 5 4 との両方について同時にまたは別々に通信リンク 3 0 を介して航空機 2 0 の F M S に送信することができる。気象データは、両方のセグメント 5 0 および 5 4 の追い風要素、横風要素、および温度要素を含むが、気象データは、より多くのまたはより少ない要素を含むことができる。たとえば、気象データが、温度データなしで追い風成分および横風成分だけを含む場合がある。代替の例として、気象データが、追い風データ要素、横風データ要素、温度データ要素、湿度

10

20

30

40

50

データ要素、および大気圧データ要素を含むことができる。

【0023】

正確でタイムリーで適当な気象データが、飛行経路に関するイベントの正確な予測を可能にするために、全飛行経路中に使用可能でなければならない。たとえば、水平セグメント50内では、燃料燃焼および推定到着時刻が正確に判定されるように、適当な気象データを有することが望ましい。降下などの非水平セグメント54では、グリーンアプローチを使用する傾向が航空産業にあり、このグリーンアプローチは、航空機20の降下中および着陸中の燃料燃焼を減らすために正確な4D飛行経路を作るために正確で最新の気象データを必要とする。降下および着陸などの非水平セグメント54の適当な気象データを用いて、燃料使用量を最適化することができる。

10

【0024】

本発明のこの実施形態によれば、図3は、飛行経路44に関するイベントのより正確な予報を容易にするために通信リンク30を介する航空機20への送信のために使用可能な気象データの適当なサブセットを選択する方法100を示す。方法100は、水平セグメント50と非水平セグメント54との一方または両方での予測された飛行経路44に関する、航空機20のFMSまたはデータの他のユーザのための気象データを生成する。方法100は、102で、予測された飛行経路44を受信することから始まる。次に、104では、予測された飛行経路44を含む領域の風データおよび温度データを受信する。106では、航空機の予測された飛行経路44の温度データおよび風力データのすべてをフィルタリングする。言い換えると、航空機20の予測された飛行経路44に関するデータだけが、後続ステップでのさらなる選択のために保持される。その後、108では、航空機の予測された飛行経路44が水平セグメント50を有するかどうかを判定する。そうである場合には、110で水平セグメント50の風データおよび温度データを判定し、これは、図5に関連してより詳細に説明するステップである。そうではない場合に、または水平セグメント50の風データおよび温度データを110で判定した場合に、方法100は、進行して、112で、予測された飛行経路44が非水平セグメント54を有するかどうかを判定する。そうである場合には、114で非水平セグメントの風データおよび温度データを判定し、これは、図6に関連してより詳細に説明するステップである。そうではない場合に、または非水平セグメント54の風データおよび温度データを114で判定した場合に、方法100は、進行して、116で、風データおよび温度データのすべてを格納し、かつ/または航空機もしくはデータの他のユーザに送信する。116では、格納されかつ/または送信されるデータは、ステップ108および112で行われる判断に応じて、水平セグメントのみ、水平セグメントおよび非水平セグメント、または非水平セグメントのみの風データおよび温度データを含むことができる。

20

30

【0025】

ここで図4を参照すると、予測された飛行経路44の水平セグメント50に沿った擬似中間地点70の追加および風速の高度分布の判定における結果の改善が、絵図的に示されている。図2に示された飛行経路の水平セグメント50の2次元描写が、図4では、水平セグメント開始点46と水平セグメント終点58との間に擬似中間地点70を挿入することの潜在的な重要性をよりよく示すために単一次元に投影されている。点120、122、および124は、それぞれ水平セグメント開始点46、計画された中間地点60、および終点58での風力データを表す。風データは、追い風、横風、風力、風向、向かい風、またはその組合せを含むがこれに限定されない任意のタイプの風データを含むことができる。風データを、これらの点120、122、および124のそれぞれの間で補間して、水平セグメント50の風速の高度分布126を生成することができる。風速の高度分布126は、水平セグメント開始点46と水平セグメント中間地点60との間の風データの第1の補間されたセグメント128と、水平セグメント中間地点60と水平セグメント終点58との間の風データの第2の補間されたセグメント130とを含む。前に述べたように、各補間されたセグメント128、130を介する風速の高度分布126の正確さに関する疑問がある。

40

50

【 0 0 2 6 】

本発明のこの実施形態によれば、擬似中間地点 7 0 を伴う風速の高度分布 1 4 0 の評価は、擬似中間地点なしの風速の高度分布 1 2 6 より高い正確さをもたらすことができる擬似中間地点 7 0 に対応する追加の風データ 1 3 2、1 3 4、および 1 3 6 を含む。実質的に、擬似中間地点を伴う風速の高度分布 1 4 0 について、点の間の補間は、補間セグメント 1 4 2、1 4 4、1 4 6、1 4 8、および 1 5 0 を用いてより短い距離にわたって行われる。擬似中間地点なしの風速の高度分布 1 2 6 などのより長い距離にわたる補間は、擬似中間地点を伴う風速の高度分布 1 4 0 と比較した時に明らかにわかるように、風データの予測に誤差を導入する可能性がある。たとえば、水平セグメント開始点 4 6 と第 1 の擬似中間地点 7 0 との間の経路では、補間されたセグメント 1 4 2 は、補間されたセグメント 1 2 8 内の同一の距離にわたる風データと異なる風データを含む。そのような不一致は、補間セグメント 1 4 4 を 1 2 8 と、1 4 6 を 1 2 8 と、1 4 8 を 1 3 0 と、および 1 5 0 を 1 3 0 と比較する時に存在する。したがって、予測された風データの無視できない誤差が、水平セグメント 5 0 に沿った追加の擬似中間地点 7 0 を用いてより短い距離にわたって補間することによって回避されることがわかる。

10

【 0 0 2 7 】

長い距離にわたって風データを補間することに関連する誤差を最小にするために、水平セグメント 5 0 に沿った関連する風データおよび温度データを有する最も適当な擬似中間地点 7 0 を選択する方法 1 1 0 を、図 5 で説明する。まず、1 6 0 では、航空機の水平セグメント 5 0 飛行経路を受信しまたは予測する。これは、全体的な飛行経路 4 4 を受信することと、その飛行経路データから水平セグメント 5 0 を判定することとを含むことができる。前に述べたように、飛行経路を、本明細書で開示される発明的概念から逸脱せずに、4 D T または 3 D T として記述することができる。

20

【 0 0 2 8 】

1 6 2 では、水平セグメント 5 0 を含む領域の風情報および温度情報も受信する。水平セグメント飛行経路 5 0 と同様に、風情報および温度情報は、2 D (緯度および経度)、3 D (緯度、経度、および高度)、または 4 D (緯度、経度、高度、および時間) など、任意の既知のフォーマットにすることができる。風情報は、風速および風向を含む風力を含む任意の既知のタイプの情報を含むことができる。

30

【 0 0 2 9 】

風情報が 1 6 2 で受信された後に、方法 1 1 0 は、次に、1 6 4 で、風情報から水平セグメントに沿ったすべての点での追い風および横風を判定する。この導出は、任意の既知の方法によるものとして行うことができる。一態様では、追い風を、次のように、航空機 2 0 の瞬間飛行経路および既知の風力から導出することができる。

【 0 0 3 0 】

$$TW = WS * \cos (\quad)$$

ここで、TW は、追い風であり、

WS は、風速であり、

は、航空機飛行経路と風向との間の角度である。

【 0 0 3 1 】

同様に、横風を次のように導出することができる。

40

【 0 0 3 2 】

$$CW = WS * \sin (\quad)$$

ここで、CW は、横風である。

【 0 0 3 3 】

追い風および横風の導出は、例によってよりよく理解することができる。航空機が、真北の瞬間方向を有し、その位置および時刻での風力が、2 0 ノット風速 (WS) 真北東である場合には、瞬間的な航空機 2 0 方向と風向との間の角度 () は、4 5 ° であり、したがって、追い風 (TW) は、1 4 . 1 ノット (2 0 * cos (4 5 °)) であり、横風 (CW) も、1 4 . 1 ノット (2 0 * sin (4 5 °)) である。

50

【 0 0 3 4 】

水平セグメント 5 0 に沿った点は、任意の分解能を有するものとしてとすることができる。さらに、水平セグメント 5 0 に沿った点を、特に国際飛行について、およびより特に大陸横断飛行について、可変分解能を有するものとしてとすることができる。たとえば、米国と欧州との間の飛行で、米国および欧州の地上の点について風情報（および、したがって導出される風データ）のより微細な分解能、たとえば 2 k m おきの風データがあり、大西洋上の点について下げられた分解能があってもよい。

【 0 0 3 5 】

方法 1 1 0 を継続すると、1 6 6 で、水平セグメント 5 0 に沿った各連続する点にステップし、その点での風の勾配の差を判定する。風の勾配を、以前の風データから現在の風データを引き、距離で割ることによって判定することができる。たとえば、追い風の勾配は、水平セグメントに沿った以前の点での追い風から水平セグメント 5 0 に沿った現在の点での追い風を引き、以前の点から現在の点までの距離で割ることによって判定することができる。勾配および風の勾配の差を、水平セグメントの開始点 4 6 について判定しないものとしてとすることができることを理解されたい。というのは、水平セグメント 5 0 に沿ってその点で考慮すべき以前の風データ点がないからである。

【 0 0 3 6 】

1 6 8 では、水平セグメント終点 5 8 に達したかどうかを判定する。そうではない場合には、1 7 0 で、現在の点での風の勾配と以前の点での風の勾配との間の差がしきい値を満足するかどうかを判定する。しきい値の満足は、風の勾配が所定の値より大きいことを意味することができる。たとえば、事前定義の勾配しきい値を、1 5 ノット / k m とすることができる。その場合に、1 k m あたり 1 5 ノットを超える追い風または向かい風（追い風の反対方向）の変化は、しきい値を満足する。

【 0 0 3 7 】

1 7 0 で、現在の点の勾配の差がしきい値を満足すると判定される場合には、1 7 2 で、現在の点を擬似中間地点として定義し、方法 1 1 0 は、1 6 6 に戻って、水平セグメント 5 0 に沿った次の点を検討する。1 7 0 で、現在の点の勾配の差がしきい値を満足しないと判定される場合には、方法 1 1 0 は、1 6 6 に戻って、水平セグメント 5 0 に沿った次の点を検討する。

【 0 0 3 8 】

1 6 8 で、水平セグメント終点 5 8 に達したと判定される場合には、方法 1 1 0 は、1 7 4 にジャンプし、第 1 中間地点にステップする。方法 1 1 0 のこの点では、必要な擬似中間地点 7 0 のすべてが、1 6 6、1 6 8、1 7 0、および 1 7 2 からなるループの実行で定義されている。次に、方法 1 1 0 は、1 7 6 で、現在の中間地点での風データおよび温度データを取り出す。1 7 8 では、最後の中間地点に達したかどうかを判定する。そうである場合には、方法 1 1 0 は、1 8 0 で、風データ、温度データ、および関連する中間地点位置のすべてを格納する。このデータを、適宜、航空機 2 0 の F M S またはデータの他のユーザに送信することができる。1 7 8 で、最後の中間地点に達していないと判定される場合には、この方法は 1 7 4 に戻って、次の中間地点に対処する。

【 0 0 3 9 】

1 7 2 で、最大中間地点しきい値を超えた定義される複数の擬似中間地点がある場合にすることに留意されたい。これは、水平セグメントが比較的長い場合または風の勾配のしきい値に小さすぎる値がセットされている場合に特にあてはまる可能性がある。そのような場合には、方法 1 1 0 は、風の勾配のしきい値を自動的に増やし、要素 1 6 6 から 1 7 2 を再実行することができ、あるいは、この方法は、最大の風の勾配を有する擬似中間地点位置を単純に選択することができる。

【 0 0 4 0 】

方法 1 1 0 が、追い風データなどの関連する風データの勾配または段階的变化に基づいて擬似中間地点 7 0 が挿入される水平セグメント 5 0 に沿った位置を定義することがわかる。データ選択に関連する風データの勾配を使用することによって、擬似中間地点は、少

10

20

30

40

50

なすぎる中間地点を用いる補間によって風速の高度分布を作成することから生じる誤差を減らすのに最大の影響を有する点に効果的に挿入される。180で格納され、航空機20のFMSに送信されるデータは、擬似中間地点の位置と、各擬似中間地点70ならびに各計画された中間地点60の風速、風向、および温度などの気象データを含む。このデータを、中間地点の位置が最初に送信され、その後に風データが送信される、2つの別々のアップリンク送信として送信することができる。

【0041】

ここで図6および7を参照すると、非水平セグメントの風データおよび温度データを選択する方法114が示されている。まず、190で、予測された非水平セグメント飛行経路54を受信する。次に、192で、予測された非水平セグメント54を含む風情報および温度情報を受信する。非水平セグメント54について、風情報および温度情報は、2D（緯度および経度）、3D（緯度、経度、および高度）、または4D（緯度、経度、高度、および時間）など、任意の既知のフォーマットであるものとして行うことができる。風情報は、風力および風向を含む任意の既知のタイプの情報を含むことができる。

【0042】

194では、非水平セグメント54に沿ったすべての点で、関連する気象データを計算する。一般に、このデータは、追い風データおよび横風データを含む。風力などの気象情報からの追い風データおよび横風データの計算は、上で方法110の要素164に関連して水平セグメント50について説明した。194では、非水平セグメント54に沿ったすべての点で判定された気象データに基づいて、燃料コストおよび時間コストも判定される。燃料コストは、燃料燃焼の線形スケーリングなど、推定燃料燃焼の関数とすることができる。時間コストは、到着までの総時間の線形スケーリングなど、非水平セグメント終点48への到着までの総時間の関数とすることができる。時間コストおよび燃料コストは、一般に、この2つのパラメータを同一スケールで比較する非単位方法(non-unit method)を得るために、単なる時間および燃料の代わりに使用される。たとえば、非水平セグメントが、名目上は20分続き、600ポンドの燃料を消費する場合には、適当な燃料コストを、推定燃料使用量を600ポンドで割ったものと等しくなるようにすることができ、適当な時間コストを、非水平セグメント時間を20分で割ったものと等しくなるようにすることができる。

【0043】

196では、風要素の個数が所定のMAX要素しきい値を超えるかどうかを判定する。MAX要素しきい値は、FMSまたは気象データの他のユーザに送信できるデータセット（気象データを伴った高度）の最大個数を定義する、システムによって制限されるしきい値またはユーザ定義のしきい値である。したがって、194で計算された風要素の個数がMAX要素しきい値を超えない場合には、198で、計算された風データセットのすべてを選択でき、FMSまたは風データの他のユーザに送信するために格納することができる。選択されたデータセットを、たとえば、方法114を実行するのに使用されるコンピュータシステムの電子メモリ内に格納することができ、その後、通信リンク30を介して航空機20に送信することができる。

【0044】

しかし、194で計算された要素の個数が、196でMAX要素しきい値を超えると期待される。というのは、通常のFMSシステムが、一般に約5個の要素を受け入れることができ、194で計算される要素が、50個以上ある可能性があるからである。その結果、194で計算された風要素のサブセットが、好ましくは、予測された到着時刻および燃料燃焼の誤差を最小にするために選択される。

【0045】

風要素の選択は、200で冗長な風要素を除去することを含む。非水平セグメント54のデータセットは、高度とその高度での関連する気象データ（追い風、横風、および温度）とによって定義される。200で冗長な風要素を除去するために、方法114は、関連する風データに変化がない、高度に関連するデータを破棄することができる。この概念を

、関連する風データ対高度のプロット 220 を示す図 7 で例によってさらに示す。この例では、関連する風データを、追い風要素 222、224、226、228、230、232、238、240、242、244、246、248、および 250 と向かい風（負の追い風）要素 234 および 236 とを有する追い風データとすることができる。関連する風データは、標高に伴って変化することがあるが、データ点 242、244、246、および 248 ならびにデータ点 222、224、226、および 228 に見られるように、関連する風データが標高に伴って非常に目につくほどには変化しない標高の範囲がある場合がある。標高に伴う風データの最小限の変動というそのような現象は、たとえば、ジェットストリームまたは地面の近くなど、既知の卓越風向内で発生する場合がある。類似するまたは同一の風データを有する複数の標高がある時には、これらの標高を、200 で除去することができる。図 7 の例では、これが、風データ点 224、226、244、および 246 を破棄することを含むことができる。言い換えると、データ要素が、関連する気象データを有する標高を含む時に、関連する風データの目につく差がない標高を、到着時刻または燃料燃焼の推定の大きい誤差を導入せずに除去することができる。

10

【0046】

200 で冗長な風要素を考慮から除去した後に、202 で、時間推定の誤差（C1）と燃料燃焼推定の誤差（C0）との間のトレードオフに関連する変数を初期化する。これらの変数 C0 および C1 を、燃料燃焼に対する時間推定を正しく予測することに関するユーザの望む重要性に基づいてセットすることができる。言い換えると、推定到着時刻より燃料燃焼を正しく予測することが重要と考えられる場合には、C0 に、C1 より大きい値を

20

【0047】

202 で変数を初期化した後に、204 で、MAX 要素しきい値の風要素のサブセットを選択する。このサブセットの選択は、ヒューリスティック法またはユーザ定義の方法に基づくものとすることができる。たとえば、サブセットの選択される要素を、最大の標高の広がりを持つこと、または強い風を生じることがわかっている標高範囲での要素の高い濃度に基づいて判定することができる。204 で選択されたサブセットは、その後、206 で、風速の高度分布を生成するのに使用される。生成される風速の高度分布を、各データセットが標高とその標高での関連する気象データを含むデータのセットとすることができる。風速の高度分布生成 206 は、さらに、標高点の間で補間し、最小および最大の定義された標高点を超えて外挿し、または航空機 20 がサブセットデータに基づいて動作できるすべての標高レベルでの気象データを推定するために任意の既知の数学技法を使用することができる。その後、208 で、サブセットの風速の高度分布に基づいて、サブセットについて燃料コストおよび時間コストを判定する。燃料コストおよび時間コストの概念は、上で 194 の説明についてより詳細に説明した。データのサブセットの燃料コストおよび時間コストは、FMS がサブセットだけに基づいて構築する高度分布に関する航空機の誘導挙動を考慮に入れることもできる。たとえば、飛行経路が、風データおよび温度データのサブセットだけを仮定して作られるが、航空機がそれを通して飛行する実際の気団が、風および温度のフルセットを含む場合には、追加の推力および抗力が、データのサブセットだけを使用することによって導入される誤差を補償するために必要になる可能性がある。これらの誘導アクションは、追加の燃料コストおよび時間コストを導入する。次に、210 では、風サブセットの最大個数を調べたかどうかを判定する。そうではない場合には、この方法は、ステップ 204 に戻って、風要素の次のサブセットを選択する。調べるべきサブセットの最大個数は、固定された所定の数に基づくものとすることができる。たとえば、調べられるサブセットの個数を、206 および 208 での計算時間に依存するものとすることができる。

30

40

【0048】

210 で、最大個数を調べ終えている場合には、212 で、燃料燃焼および時間の組み合わせられた重み付き誤差または組み合わせられた重み付きペナルティを最小にするために風サブセットを選択する。組み合わせられた重み付きペナルティは、サブセットごとに、C0

50

に $Fuel_Penalty$ を乗じたものと $C1$ に $Time_Penalty$ を乗じたものとの和 ($C0 * Fuel_Penalty + C1 * Time_Penalty$) として計算される。 $Fuel_Penalty$ は、完全な気象データセットについて 194 で判定された燃料コストと 208 でサブセットごとに判定された燃料コストとの差である ($Fuel_Penalty = \text{燃料コスト} - \text{サブセット燃料コスト}$)。同様に、 $Time_Penalty$ は、完全な気象データセットについて 194 で判定された時間コストと 208 でサブセットごとに判定された時間コストとの差である ($Time_Penalty = \text{時間コスト} - \text{サブセット時間コスト}$)。最小の組み合わせられた重み付き誤差を有する風データサブセットが、選択され、FMS またはデータの他のユーザによる使用のために、好ましくはハードディスクドライブなどの固定媒体に、格納される。適宜、高度と追い風、横風、および温度などの対応する気象データとを含むデータセットを、通信リンク 30 を介して航空機 20 上の FMS に送信することができる。任意の判定されたまたは選択されたサブセットを、飛行中のまたは地上の航空機に送信でき、あるいは、航空機の予測された飛行経路を更新するために別のユーザに送信できることが理解されよう。

【0049】

方法 114 の要素が、順序から外れてまたは変更を伴って実行でき、本明細書で開示される発明的概念から逸脱しないことを了解されたい。たとえば、190 および 192 を、同時にまたは逆の順序で実行することができる。さらに、方法 114 は、当技術分野で一般に既知のように初期化され、セットされ、リセットされ、または他の形で使用される必要がある可能性がある他の変数およびカウンタを含むことができ、すべての特定の變形形態は、簡潔な説明のために論じられない。

【0050】

この書かれた説明は、最良の態様を含む本発明を開示するために、また、任意のデバイスもしくはシステムを作り、使用することと任意の組み込まれた方法を実行することを含めて当業者が本発明を实践することを可能にするために、例を使用する。本発明の特許可能範囲は、特許請求の範囲によって定義され、当業者が思い浮かべる他の例を含む可能性がある。そのような他の例は、特許請求の範囲の文字どおりの言葉と異なる構造成素を有する場合に、または特許請求の範囲の文字どおりの言葉からの実質的ではない相違を有する同等の構造成素を含む場合に、特許請求の範囲に含まれることが意図されている。

【符号の説明】

【0051】

- 1 地上システムと通信する航空機
- 10 地上局
- 20 航空機
- 30 通信リンク
- 40 地理的地図に重ね書きされた飛行経路
- 44 予測された飛行経路
- 46 出発点または水平セグメント開始点
- 48 終点または非水平セグメント終点
- 50 水平セグメント
- 54 非水平セグメント
- 58 水平セグメント終点または非水平セグメント開始点
- 60 中間地点
- 70 擬似中間地点

【図 1】

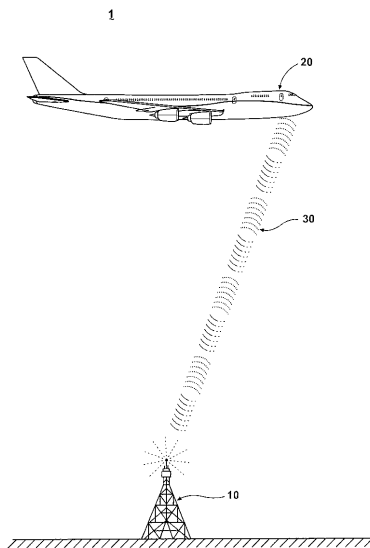


Fig. 1

【図 2】

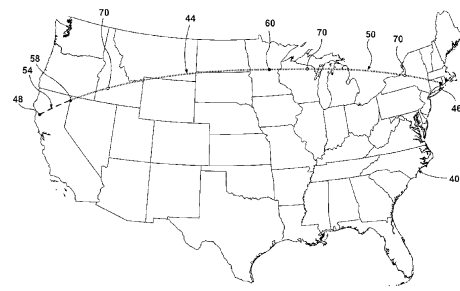


Fig. 2

【図 3】

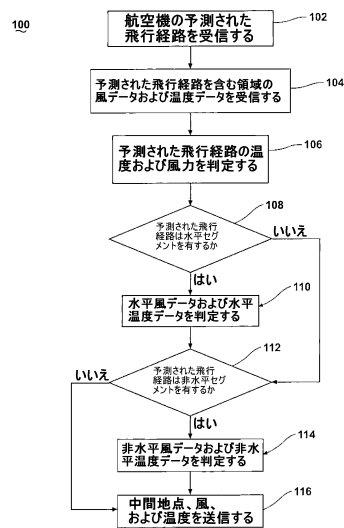


Fig. 3

【図 4】

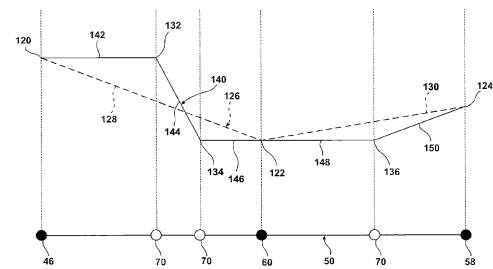


Fig. 4

【図 5】

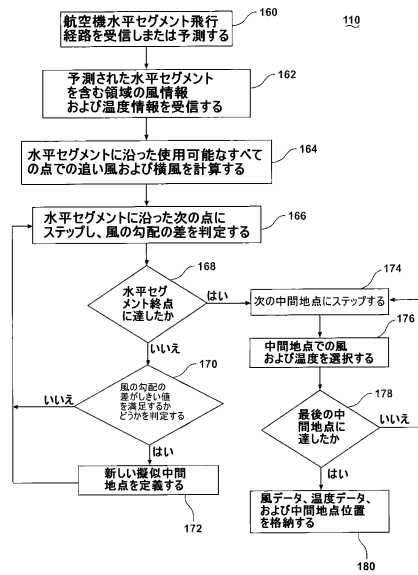


Fig. 5

【図 6】

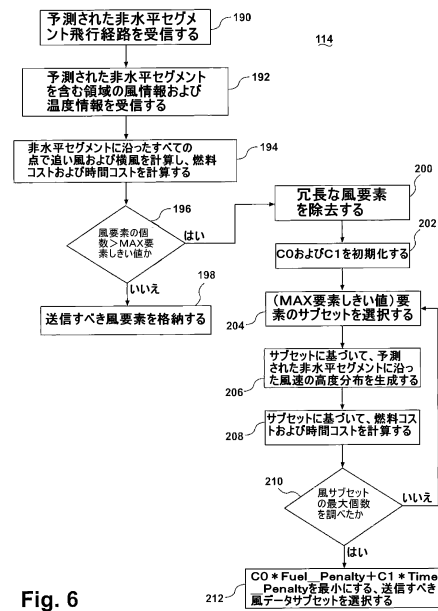


Fig. 6

【図 7】

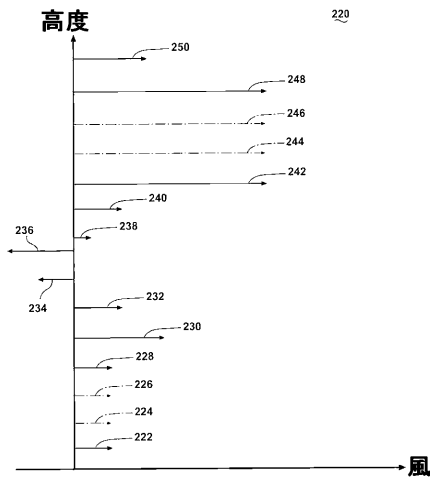


Fig. 7

フロントページの続き

(72)発明者 ジョエル・ケネス・クルースター

アメリカ合衆国、ミシガン州、グランド・ラピッズ、パターソン・アベニュー、3290番

審査官 諸星 圭祐

(56)参考文献 米国特許出願公開第2010/0152931(US,A1)

米国特許出願公開第2010/0049382(US,A1)

米国特許出願公開第2007/0179703(US,A1)

米国特許出願公開第2007/0150178(US,A1)

米国特許第05574647(US,A)

米国特許出願公開第2009/0037091(US,A1)

米国特許出願公開第2010/0198433(US,A1)

特開2003-034300(JP,A)

特開昭62-299498(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

B64D 45/00

G08G 5/00