

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6044099号  
(P6044099)

(45) 発行日 平成28年12月14日(2016.12.14)

(24) 登録日 平成28年11月25日(2016.11.25)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 C 17/38 (2006.01)  
 G 1 O H 1/00 (2006.01)  
 G 1 O H 1/053 (2006.01)  
 GO 1 C 17/02 (2006.01)  
 GO 6 F 3/0346 (2013.01)

GO 1 C 17/38 Z  
 G 1 O H 1/00 A  
 G 1 O H 1/053 A  
 G 1 O H 1/00 Z  
 GO 1 C 17/02

請求項の数 3 (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2012-84369 (P2012-84369)  
 (22) 出願日 平成24年4月2日(2012.4.2)  
 (65) 公開番号 特開2013-213745 (P2013-213745A)  
 (43) 公開日 平成25年10月17日(2013.10.17)  
 審査請求日 平成27年4月1日(2015.4.1)

(73) 特許権者 000001443  
 カシオ計算機株式会社  
 東京都渋谷区本町 1 丁目 6 番 2 号  
 (74) 代理人 100106002  
 弁理士 正林 真之  
 (74) 代理人 100120891  
 弁理士 林 一好  
 (74) 代理人 100154748  
 弁理士 菅沼 和弘  
 (72) 発明者 櫻井 敬一  
 東京都羽村市栄町 3 丁目 2 番 1 号 カシオ  
 計算機株式会社 羽村技術センター内  
 (72) 発明者 林 龍太郎  
 東京都羽村市栄町 3 丁目 2 番 1 号 カシオ  
 計算機株式会社 羽村技術センター内  
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 姿勢検出装置、方法及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ユーザが保持可能な保持部材と、  
前記保持部材の互いに直交する 3 軸それぞれを中心とする角速度ベクトルを検出する角速度センサと、  
前記角速度センサが検出した角速度ベクトルを一定タイミング毎に取得する角速度取得手段と、  
前記角速度ベクトルが検出される毎に取得した角速度の値に応じて、前記直交する 3 軸に基づいたローカル座標系と 1 軸が重力方向と一致する 3 軸に基づいたワールド座標系との関係を表わす姿勢パラメータを更新する更新手段と、  
前記直交する 3 軸それぞれの方向に生じる各磁気ベクトルを、ローカル座標における各磁気ベクトルとして検出する磁気センサと、  
前記磁気センサが検出した前記ローカル座標系における各磁気ベクトルを一定タイミング毎に取得する取得手段と、  
前記姿勢パラメータに基づいて、前記一定タイミング毎に取得された前記ローカル座標系における各磁気ベクトルをワールド座標系における各磁気ベクトルに変換する変換手段と、  
前記ワールド座標系における各磁気ベクトルに基づいて、地磁気方向のベクトルを推定する推定手段と、  
外部操作に応答して、前記推定された地磁気方向のベクトルと初期状態におけるワール

10

20

ド座標系における地磁気方向のベクトルとが一致するように、前記更新された姿勢パラメータを補正する補正手段と、

を有することを特徴とする姿勢検出装置。

【請求項 2】

ユーザが保持可能な保持部材と、前記保持部材の互いに直交する 3 軸それぞれを中心とする角速度ベクトルを検出する角速度センサと、前記直交する 3 軸それぞれの方向に生じる各磁気ベクトルを検出する磁気センサと、を有する姿勢検出装置が実行する方法であって、

前記角速度センサが検出した角速度ベクトルを一定タイミング毎に取得する角速度取得ステップと、

前記角速度ベクトルが検出される毎に取得した角速度の値に応じて、前記直交する 3 軸に基づいたローカル座標系と 1 軸が重力方向と一致する 3 軸に基づいたワールド座標系との関係を表わす姿勢パラメータを更新する更新ステップと、

前記磁気センサが検出した各磁気ベクトルを、ローカル座標における各磁気ベクトルとして一定タイミング毎に取得する取得ステップと、

前記姿勢パラメータに基づいて、前記一定タイミング毎に取得された前記ローカル座標系における各磁気ベクトルをワールド座標系における各磁気ベクトルに変換する変換ステップと、

前記ワールド座標系における各磁気ベクトルに基づいて、地磁気方向のベクトルを推定する推定ステップと、

外部操作に応答して、前記推定された地磁気方向のベクトルと初期状態におけるワールド座標系における地磁気方向のベクトルとが一致するように、前記更新された姿勢パラメータを補正する補正ステップと、

を含む方法。

【請求項 3】

ユーザが保持可能な保持部材と、前記保持部材の互いに直交する 3 軸それぞれを中心とする角速度ベクトルを検出する角速度センサと、前記直交する 3 軸それぞれの方向に生じる各磁気ベクトルを検出する磁気センサと、を有する姿勢検出装置として用いられるコンピュータに、

前記角速度センサが検出した角速度ベクトルを一定タイミング毎に取得する角速度取得ステップと、

前記角速度ベクトルが検出される毎に取得した角速度の値に応じて、前記直交する 3 軸に基づいたローカル座標系と 1 軸が重力方向と一致する 3 軸に基づいたワールド座標系との関係を表わす姿勢パラメータを更新する更新ステップと、

前記磁気センサが検出した各磁気ベクトルを、ローカル座標における各磁気ベクトルとして一定タイミング毎に取得する取得ステップと、

前記姿勢パラメータに基づいて、前記一定タイミング毎に取得された前記ローカル座標系における各磁気ベクトルをワールド座標系における各磁気ベクトルに変換する変換ステップと、

前記ワールド座標系における各磁気ベクトルに基づいて、地磁気方向のベクトルを推定する推定ステップと、

外部操作に応答して、前記推定された地磁気方向のベクトルと初期状態におけるワールド座標系における地磁気方向のベクトルとが一致するように、前記更新された姿勢パラメータを補正する補正ステップと、

を実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、姿勢検出装置、方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 2 】

従来、演奏者の演奏動作を検知すると、演奏動作に応じた音を発音する演奏装置が提案されている。例えば、スティック状の部材のみからなる構成で打楽器音を発音する演奏装置が知られており、この演奏装置では、スティック状の部材にセンサが設けられ、演奏者が、部材を手で保持して振ることで、センサがその演奏動作を検知して、打楽器音を発音する。

このような仮想的な演奏装置によれば、現実の楽器を必要とせずに当該楽器の楽音を発音することができるため、演奏者は、演奏場所や演奏スペースに制約を受けずに演奏を楽しむことができる。

## 【 0 0 0 3 】

上述のような仮想的演奏装置として、例えば、特許文献 1 には、スティック状の部材に加速度センサを設け、この部材を振ることにより加速度センサから得られる出力（加速度値）が所定の閾値に達した後、楽音を発音するように構成された演奏装置が開示されている。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 7 - 2 5 6 7 3 6 号 公 報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 5 】

ところで、このような仮想的な演奏装置では、演奏者の異なる演奏動作毎に夫々異なる楽音が用意されている場合が多い。特許文献 1 に開示された演奏装置においても、地磁気センサを用いてスティック状の部材の向きを判定し、この向きに応じて異なる音色の楽音を発音できるように構成されている。しかし、この場合、音源の配置は水平方向しかできないため、音源は 3 つから 4 つが最大で、それ以上の配置ができない。さらに、地磁気センサは外乱に弱く安定しないため、スティックのように高速に動作させると方位推定の精度が悪くなる。

## 【 0 0 0 6 】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、スティック状の部材を高速に動作させた場合において、地磁気方向を補正することで、スティック状の部材の姿勢推定の精度を向上させることができる姿勢検出装置を提供することを目的とする。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するため、本発明の一態様の姿勢検出装置は、

ユーザが保持可能な保持部材と、

前記保持部材の互いに直交する 3 軸それぞれを中心とする角速度ベクトルを検出する角速度センサと、

前記角速度センサが検出した角速度ベクトルを一定タイミング毎に取得する角速度取得手段と、

前記角速度ベクトルが検出される毎に取得した角速度の値に応じて、前記直交する 3 軸に基づいたローカル座標系と 1 軸が重力方向と一致する 3 軸に基づいたワールド座標系との関係を表わす姿勢パラメータを更新する更新手段と、

前記直交する 3 軸それぞれの方向に生じる各磁気ベクトルを、ローカル座標における各磁気ベクトルとして検出する磁気センサと、

前記磁気センサが検出した前記ローカル座標系における各磁気ベクトルを一定タイミング毎に取得する取得手段と、

前記姿勢パラメータに基づいて、前記一定タイミング毎に取得された前記ローカル座標系における各磁気ベクトルをワールド座標系における各磁気ベクトルに変換する変換手段と、

10

20

30

40

50

前記ワールド座標系における各磁気ベクトルに基づいて、地磁気方向のベクトルを推定する推定手段と、

外部操作にして、前記推定された地磁気方向のベクトルと初期状態におけるワールド座標系における地磁気方向のベクトルとが一致するように、前記更新された姿勢パラメータを補正する補正手段と、

を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、スティック状の部材を高速に動作させた場合において、地磁気方向を補正することで、スティック状の部材の姿勢推定の精度を向上させることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の演奏装置の一実施形態の概要を示す図である。

【図2】上記演奏装置のスティック部の構成を示すブロック図である。

【図3】上記演奏装置の発音部の構成を示すブロック図である。

【図4】上記演奏装置のスティック部についての詳細を説明する図である。

【図5】本発明の演奏装置の一実施形態に係るワールド座標系について説明する図である。

。

【図6】上記スティック部のCPUが実行する処理の流れを示すフローチャートである。

【図7】姿勢センサと姿勢の初期化処理の流れを示すフローチャートである。

20

【図8】姿勢推定処理の流れを示すフローチャートである。

【図9】位置推定処理の流れを示すフローチャートである。

【図10】先端動き予測処理の流れを示すフローチャートである。

【図11】上記スティック部のスティック先端回転軸とスイング方向との関係を示す図である。

【図12】第1の実施例における発音タイミング検出処理の流れを示すフローチャートである。

【図13】第2の実施例における発音タイミング検出処理の流れを示すフローチャートである。

【図14】上記スティック部の動作状態の遷移を示す図である。

30

【図15】発音量検出処理の流れを示すフローチャートである。

【図16】ノートイベント生成処理の流れを示すフローチャートである。

【図17】変形例におけるサウンド探索処理の流れを示すフローチャートである。

【図18】発音処理の流れを示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の実施形態について、図面を用いて説明する。

【0011】

以下、添付図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。

図1は、本発明の一実施形態の演奏装置1の概要を示す図である。図1に示すように本発明の演奏装置1は、スティック部10と、発音部30とから構成される。

40

スティック部10は、長手方向に延びるスティック状の部材である。演奏者は、スティック部10の一端（根元側）を手に持ち手首などを中心とした振り上げ及び振り下ろし動作を行うことで、演奏動作を行う。このような演奏者の演奏動作を検知するため、スティック部10の他端（先端側）には、姿勢センサ12が設けられている（図2参照）。

【0012】

発音部30は、楽音を発音する。

このような演奏装置1では、スティック部10を用いた演奏動作、すなわち、スティック部10の振り下ろし動作に応じて、発音部30は、所定の楽音を発音する。これにより、演奏者による演奏が行われる。

50

## 【 0 0 1 3 】

## [ 演奏装置 1 の構成 ]

初めに、図 2 及び図 3 を参照して、本実施形態の演奏装置 1 の各構成要素、具体的には、スティック部 1 0、及び発音部 3 0 の構成について説明する。

## 【 0 0 1 4 】

## [ スティック部 1 0 の構成 ]

図 2 は、スティック部 1 0 の構成を示すブロック図である。図 2 に示すように、スティック部 1 0 は、CPU (Central Processing Unit) 1 1、姿勢センサ 1 2、I/F (インタフェース) 装置 1 3、ROM (Read Only Memory) 1 4、RAM (Random Access Memory) 1 5、入力部 1 6、無線通信装置 1 7 及び LED 1 8 から構成される。

10

姿勢センサ 1 2 は、地磁気方向を計測する 3 軸の磁気センサ 1 2 1、スティックに加わる加速度を測定するための 3 軸の加速度センサ 1 2 2、及びスティックの回転動作を計測する 3 軸の角速度センサ 1 2 3 から構成される。各センサは 3 つの軸 x、y、z の軸方向の計測が可能になっている。

## 【 0 0 1 5 】

図 4 を参照して、本実施形態では、スティック部 1 0 の長手方向の軸と一致する軸を y 軸とし、姿勢センサ 1 2 が配置された基板 (図示せず) と平行で、かつ、y 軸と直交する軸を x 軸とし、x 軸及び y 軸と直交する軸を z 軸としている。磁気センサ 1 2 1 は、地磁気ベクトルの x 軸、y 軸、z 軸のそれぞれの成分の地磁気値を取得できる。また、加速度センサ 1 2 2 は、x 軸、y 軸、z 軸のそれぞれの成分の加速度値を取得できる。また角速度センサ 1 2 3 は軸それぞれを中心とする角速度の成分の値 ( x、 y、 z ) を取得できる。

20

ここで、演奏者は、スティック部 1 0 の一端 (根元側) を保持し、手首などを中心とした振り上げ及び振り下ろし動作を行うことで、スティック部 1 0 に対して回転運動や平行運動などを生じさせる。これらの動きを姿勢センサ 1 2 で検出をおこない、CPU 1 1 に送り出す。

## 【 0 0 1 6 】

図 2 に戻り、CPU 1 1 は、姿勢センサ 1 2 が検出した加速度値、角速度値、地磁気方向と強度を読み出し、これらの値に応じて、スティックの姿勢、及び、発音のタイミング検出を行う。これにより、CPU 1 1 は、その発音に対応するノートオンイベントの生成を行い、I/F 装置 1 3 及び無線通信装置 1 7 を介してノートオンイベントを発音部 3 0 に送信する。ここで、ノートオンイベントとは、楽音の発音を音源部 3 7 1 (図 3 参照) に対して指示するコマンド情報であり、本実施形態においては、発音する楽音の音色や音高の情報に加えて、さらに楽音の音量などの情報を含むものである。

30

## 【 0 0 1 7 】

このように、CPU 1 1 は、スティック部 1 0 が有する姿勢センサ 1 2 の各センサ値に基づいて発音部 3 0 にノートオンイベントを送信することで、発音部 3 0 は、スティック部 1 0 を用いた演奏動作に基づいて所定の楽音を発音することができる。

## 【 0 0 1 8 】

ROM 1 4 は、CPU 1 1 が実行する各種処理の処理プログラム、すなわち、前述したように、姿勢センサ 1 2 によるデータの取得、ノートオンイベントの生成処理、ノートオンイベントの送信処理などの処理プログラムを格納する。RAM 1 5 は、姿勢センサ 1 2 の各センサ値、処理において取得され或いは生成された値を格納する。I/F 1 3 は、CPU 1 1 からの指示にしたがって無線通信装置 1 7 にデータを出力する。

40

## 【 0 0 1 9 】

また、入力部 1 6 は、各種スイッチ (図示せず) を有し、演奏者からの各種指示入力を受け付ける。

## 【 0 0 2 0 】

無線通信装置 1 7 は、発音部 3 0 との間で所定の無線通信を行う。所定の無線通信は、

50

任意の方法で行うこととしてよく、本実施形態では、無線通信装置 17 は、赤外線通信により発音部 30 との間で無線通信を行う。LED 18 は、CPU 11 からの制御に応じて発光及び消灯する。なお、LED 18 は、スティックの姿勢の初期化などのスティックの処理状態を示すためなどに用いられる。

#### 【0021】

[ 発音部 30 の構成 ]

#### 【0022】

次に、図 3 を参照して、発音部 30 の構成について説明する。図 3 は、発音部 30 の構成を示すブロック図である。図 3 に示すように、発音部 30 は、CPU 31、I/F (インタフェース) 32、ROM 33、RAM 34、表示部 35、入力部 36 及びサウンドシステム 37 から構成される。発音部 30 の I/F 32 は、スティック部 10 からのデータ (例えば、楽音を発音する制御データであるノートオンイベント) を受け入れて、RAM 34 に格納するとともに、CPU 31 にデータの受け入れを通知する。本実施形態においては、スティック部 10 に無線通信装置 17 が、発音部 30 に赤外線通信装置 38 が設けられている。I/F 32 は、スティック部 10 の無線通信装置 17 が発した無線信号を、赤外線通信装置 38 で受信することで、スティック部 10 からデータを受信する。

#### 【0023】

CPU 31 は、演奏装置 1 全体の制御、特に、発音部 30 の制御、入力部 36 を構成するキースイッチ (図示せず) の操作の検出、I/F 32 を介して受信したスティック部 10 からのノートオンイベントに基づく楽音の発音など、種々の処理を実行する。

#### 【0024】

ROM 33 は、演奏装置 1 全体の制御、特に、発音部 30 の制御、入力部 36 を構成するキースイッチ (図示せず) の操作の検出、I/F 32 を介して受信したノートオンイベントに基づく楽音の発音など、種々の処理プログラムを格納する。また、ROM 33 は、種々の音色の波形データ、例えば、フルート、サクソ、トランペットなどの管楽器、ピアノなどの鍵盤楽器、ギターなどの弦楽器、バスクラム、ハイハット、スネア、シンバル、タムなど打楽器の波形データを格納する波形データエリアを含む。

#### 【0025】

RAM 34 は、ROM 33 から読み出されたプログラムや、処理の過程で生じたデータやパラメータを記憶する。処理の過程で生じたデータには、入力部 36 のスイッチの操作状態、I/F 32 を介して受信したノートオンイベントや演奏者の身体動作の状態 (前進フラグや変位量) などが含まれる。

#### 【0026】

表示部 35 は、例えば、液晶表示装置で構成され、選択された音色や音量、演奏者の身体動作の状態 (基準位置からの変位量) などを画像として表示する。また、入力部 36 は、各種スイッチ (図示せず) を有し、演奏者からの各種情報の入力を受け付ける。

#### 【0027】

サウンドシステム 37 は、音源部 371、オーディオ回路 372 及びスピーカ 373 を含む。音源部 371 は、CPU 31 からの指示にしたがって、ROM 33 の波形データエリアから波形データを読み出して、楽音データを生成して出力する。オーディオ回路 372 は、音源部 371 から出力された楽音データをアナログ信号に変換するとともに、変換したアナログ信号を増幅してスピーカ 373 に出力する。これによりスピーカ 373 から楽音が出力される。

#### 【0028】

[ 座標系の説明 ]

次に本実施形態におけるスティックの姿勢、及びワールド座標系について図 5 を参照して説明する。ここでワールド座標とは、演奏者を中心とした座標系のことをいう。図 5 にあるように演奏者から見て右水平方向を X 軸、前方水平方向を Y 軸、天頂方向を Z 軸と定義する。図 4 で記載したスティック部 10 の 3 軸である x 軸、y 軸、z 軸とは異なる。本実施形態では、スティック部 10 の 3 軸を、ローカル座標系と呼び小文字で表すのに対し

10

20

30

40

50

て、ワールド座標系では3軸を大文字で表す。演奏者がスティック部10をスイングさせると時間とともにローカル座標とワールド座標との関係が変わっていく。ワールド座標系から見て、スティック部10のローカル座標系の向きがどのようになっているかをスティックの姿勢と呼ぶ。

【0029】

また、スティック部10が移動すると、ワールド座標系の原点からみたローカル座標系の原点も移動する。ワールド座標系から見たローカル座標系の原点をスティック部10の位置と呼ぶ。

【0030】

[演奏装置1の処理]

10

【0031】

続いて、本実施形態の演奏装置1の処理について説明する。初めに、図6を参照しながらスティック部10において実行される処理について概要説明をする。

【0032】

図6は、スティック部10のCPU11が実行する処理の流れを示すフローチャートである。CPU11は、ROM14からプログラムコードを読みだして実行する。

【0033】

まず、CPU11は、姿勢センサ12が有する各種センサの初期化とRAM15のデータのクリアなどを含むイニシャライズ処理を実行する(ステップS11)。イニシャライズ処理が終了すると、CPU11は、姿勢センサ12が有する各種センサのもつデバイスのばらつきや温度によって変化するオフセットやゲイン調整などを実行する(ステップS12)。次に、CPU11は、入力部36のスイッチの状態を読み出してRAM15に保存する(ステップS14)。RAM15に保存された当該スイッチの状態は、後述する位置検出の補助などに用いられる。

20

【0034】

次に、CPU11は、ユーザがスティック部10をスイングしたとき、そのスイングに応じて発音させる処理を実行する(ステップS16~S24)。まず、CPU11は、姿勢センサ12の加速度値、角速度値、及び地磁気の方角と強度をRAM15に保存する(ステップS16)。

【0035】

30

CPU11は、この読みだした値に応じてスティック部10の姿勢の推定を実行し(ステップS17)、次に、スティック部10の平行移動の位置推定を実行する(ステップS18)。さらに、CPU11は、スティック部10の先端の動き予測を実行し(ステップS19)、この予測された動きを用いて、発音タイミングの検出を実行する(ステップS20)。さらに、CPU11は、発音量の検出を実行する(ステップS21)。ステップS20において発音タイミングである(動作状態が後述する「SHOT」である)場合(ステップS22でYESと判定された場合)、CPU11は、スティック部10の姿勢及び位置に応じて楽音の音色や音高を決定してノートオンイベントを生成し(ステップS23)、生成されたノートオンイベントを発音部30に送信する(ステップS24)。

【0036】

40

[姿勢センサと姿勢の初期化]

図7を参照して、図6のステップS12の姿勢センサと姿勢の初期化処理の詳細説明を行う。

【0037】

図7は、姿勢センサと姿勢の初期化処理の流れを示すフローチャートである。

まず、CPU11は、ユーザにスティック部10の先端を前方方向に向けて静止してもらうように表示を行う(ステップS71)。表示の例としては、CPU11は、LED18を緑色に点灯させる。

【0038】

次に、CPU11は、角速度センサ123の各軸のデータを読み出す。角速度センサ1

50

23は通常、デバイスのばらつきや温度変動により、角速度0であるときのオフセット値が変動する。CPU11は、角速度センサ123の値をオフセット値としてRAM15に記憶する(ステップS72)。以降のステップでは、CPU11は、角速度センサ123の値を読み出したとき、読み出した値からこのオフセット値を引くことで、スティック部10が静止しているときの角速度が0となるように調整する。

【0039】

次に、CPU11は、加速度センサ122の各軸のデータを読み出して、前回の加速度と比較し重力方向の変化を検出したか否かを判断する(ステップS74)。具体的には、スティック部10の静止状態では、加速度センサ122の値は重力方向の各軸成分のみを示すことになるので、CPU11は、各軸成分の値に変化がない場合に、スティックが静止状態であることを検出できる。本実施形態では、CPU11は、1秒程度変化がない場合に、スティックが静止状態であることを検出する。CPU11は、スティックが静止状態であることを検出した場合には、角速度のオフセット値の登録を完了して、ステップS75に処理を移す。一方、CPU11は、スティックが動作したことを検出した場合、ステップS72に処理を移し、再度オフセット値の登録をやり直す。

【0040】

続いて、CPU11は、姿勢の初期化を行う(ステップS75)。具体的には、CPU11は、ユーザが前方方向にスティック部10の先端部を向けた状態で、スティック部10の先端部が向いている方向が、ワールド座標系の前方(Y軸方向)になるようにワールド座標系とローカル座標系の関係を初期化する。また、CPU11は、当該初期化時点における角速度、加速度及び地磁気の各軸成分をRAM15に記憶する。

【0041】

続いて、CPU11は、ユーザにスティック部10を様々な方向に向ける動作をさせるための表示を行う(ステップS76)。例えば、CPU11は、LED18を赤色で点滅させる。

【0042】

さらに、CPU11は、磁気センサ121のオフセットとゲインの補正データを求める(ステップS77)。具体的には、CPU11は、ステップS76の処理に応じて、ユーザが様々な方向にスティック部10を向けたときの地磁気の値を磁気センサ121により計測し、計測した地磁気の値を用いて補正データを求める。オフセットとゲインの値の求め方の例としては、CPU11は、磁気センサ121の各軸の最大値及び最小値からその中央値を算出し、算出した中央値を各軸のオフセット値とする。

【0043】

また、CPU11は、各軸の中央から最大値までの値が同じになるようにゲイン補正値を算出し、算出したオフセット値とゲイン補正値をRAM15に記憶する。以降のステップにおいて、CPU11は、磁気センサ121の値を読み出したとき、読み出した値からオフセット値を引いて、さらに補正ゲインを掛けることで、地磁気の値を補正して検出値とする。

【0044】

続いて、CPU11は、検出された地磁気の値が一般の地上で検出される値であるか否かを判定する(ステップS78)。検出された地磁気の値が一般の地上で検出される値ではない場合には、CPU11は、処理をステップS76に戻し、再度、磁気センサ121のオフセット値とゲインの補正データを求める。検出された地磁気の値が一般の地上で検出される値である場合には、CPU11は、処理をステップS79に移行させ、ヨー補正モードを地磁気モードにセットする。

【0045】

また、CPU11は、ステップS78の処理を所定回数(例えば、5回など)実行しても検出された地磁気の値が一般の地上で検出される値ではない場合には、処理をステップS80に移行させ、ヨー補正モードをショットモードにセットする。ステップS79又はステップS80の処理が終了すると、CPU11は、ステップS81に処理を移行させ、

10

20

30

40

50



ヨー補正モードが地磁気モードであるかショットモードであるかを表示する。例えば、CPU 11は、ショットモードの場合にはLED 18を赤色で点灯させ、地磁気モードである場合にはLED 18を緑色で点灯させる。なお、角速度センサ 123 及び磁気センサ 121のセンサ値の補正処理の順番は、入れ替わってもよい。

【0046】

[姿勢推定]

図8を参照して、図6のステップS17の姿勢推定処理の詳細説明を行う。

【0047】

図8は、姿勢推定処理の流れを示すフローチャートである。

ワールド座標系から見たローカル座標系のx軸、y軸、z軸の基底ベクトルを $e_x$ ,  $e_y$ ,  $e_z$ として、各基底ベクトルを列に並べた行列 $T_{L \rightarrow W} = (e_x \ e_y \ e_z)$ を定義すると、ローカル座標系の点 $p = (x \ y \ z)^T$ と、この点pに対応するワールド座標系の点 $P = (X \ Y \ Z)^T$ との間には、次の関係式(1)、(2)が成り立つ(演算記号Tは転置行列を意味する)。

$$P = T_{L \rightarrow W} p \quad (1) \quad p = T_{L \rightarrow W}^T P \quad (2)$$

【0048】

このように、 $T_{L \rightarrow W}$ は2つの座標系の関係を示すものであるので、このように、2つの座標系同士の関係などを用いて現在のスティック姿勢状態を表すことができる。なお、姿勢の表現方法としては、ピッチ、ヨー、ロールなどの角度を用いてもよい。

【0049】

ところで、今回時刻tで読み取った角速度センサ 123の値からローカル座標系の各軸成分を持つ3次の角速度ベクトルを取得できる。この3次の角速度ベクトルの各軸成分の値に角速度センサ 123のサンプリング時間であるTを掛け算することで、回転角ベクトル $\theta_t = (\theta_{x \ t} \ \theta_{y \ t} \ \theta_{z \ t})^T$ を求められる。

【0050】

この回転角ベクトルによってスティックの姿勢を求めることができる。具体的には、時刻tにおける姿勢 $T_{L \rightarrow W \ t}$ は、x軸を中心とした $\theta_{x \ t}$ の回転、y軸を中心とした $\theta_{y \ t}$ の回転、及びz軸を中心とした $\theta_{z \ t}$ の回転の合成行列 $R_{a \ 1 \ 1}(\theta_t)$ と、前回の姿勢 $T_{L \rightarrow W \ t-1}$ とを用いて、 $T_{L \rightarrow W \ t} = R_{a \ 1 \ 1}(\theta_t) \cdot T_{L \rightarrow W \ t-1}$ と推定できる。このように、CPU 11は、今回の角速度センサ 123の値に基づいて、前回の姿勢を更新させて、今回の姿勢を推定する(ステップS101)。

【0051】

ところが、このようにして求めた姿勢は誤差が累積していく。また、姿勢が一度間違ってしまうと、その後の姿勢推定の精度が著しく悪化する。例えば、スティック部10を前方水平からまっすぐに右水平に向かって回転したことを考える。最初に水平でなく垂直方向の回転に誤差が入るとスティックの先端の軌跡は斜めに上がりながら回転することになる、その後、この姿勢に関してまた、新しい回転が加わっていくので加速的に本来の姿勢からずれる。したがって、重力推定をおこなうことで、姿勢推定の補正を行い、姿勢の精度を高める。

【0052】

加速度センサ 122で検出される加速度ベクトルはローカル座標系での各軸の成分から構成される。この加速度ベクトルをステップS101で求めた姿勢情報を用いて、ワールド座標系ベクトルで表す。

【0053】

外力が加わらなければ、加速度センサ 122は重力のみを検出することになるので、加速度センサ 122が検出したローカル座標系での加速度ベクトルをワールド座標系に変換すると、常に同じ方向を示すことになる。しかし、スティック部10の動作中は遠心力などの外力が加わるので常に同じ方向を向くとは限らない。ところが、ユーザは止まった状態でスティック部10をスイングしているので、スティック部10の位置は動かない。また、スティック部10を振り上げたときや、振り下げたときなど、いたるときに速度は0

10

20

30

40

50

になる。すなわち、加速度ベクトルから重力成分を除いた外力の積分はいたるときに 0 になる。よってワールド座標系の加速度ベクトルを積分したベクトルは概ね重力方向を示すことになる。この性質を用いてワールド座標系の重力方向を推定する。

#### 【 0 0 5 4 】

具体的には、CPU 11 は、今回時刻  $t$  で読み取った加速度センサ 122 が取得した各軸成分の加速度値を  ${}_L A_T = (A_{x_t} A_{y_t} A_{z_t})^T$  とし、これはローカル座標系であるので、式 (3) に基づいて、ワールド座標系に変換算出する (ステップ S 102)。

$${}_W A_T = T_{L \rightarrow W} \cdot {}_L A_T \quad (3)$$

#### 【 0 0 5 5 】

次に、CPU 11 は、ワールド座標系に変換された加速度ベクトルの値について各成分について、現時刻から所定時間前までの平均値を算出して、平均加速度ベクトルを求める。所定時間はスイング状態などで実験的に決定される。CPU 11 は、この平均加速度ベクトルを重力方向ベクトル  ${}_W e_{g_t}$  と推定する (ステップ S 103)。

具体的には、下記の式 (式 (4)) を定義し、再帰加算によって累算を行う。 $K_g$  はダンピング係数で、スイング状態などで実験的に決定される。

$$G W_t = k_g \cdot G W_{t-1} + {}_W A_t \quad (4)$$

この  $G W_t$  からワールド座標系の重力方向ベクトル  ${}_W e_{g_t}$  を  ${}_W e_{g_t} = G W_t / |G W_t|$  と推定する。

#### 【 0 0 5 6 】

次に、CPU 11 は、この重力方向ベクトル  ${}_W e_{g_t}$  が Z 軸の負の方向ベクトル  $(0 \ 0 \ -1)^T$  になるように、姿勢パラメータ  $T_{L \rightarrow W}$  を修正する (ステップ S 104)。具体的には、CPU 11 は、重力方向ベクトル  ${}_W e_{g_t}$  と負の方向ベクトル  $(0 \ 0 \ -1)^T$  との 2 つのベクトルに直行する軸を中心に、これら 2 つのベクトルのなす角度分を回転する操作を行うことで、姿勢パラメータ  $T_{L \rightarrow W}$  を修正する。これにより、重力方向の補正がおこなわれるので、姿勢推定の精度が向上する。

#### 【 0 0 5 7 】

前述した姿勢補正は重力方向のみであるので、Z 軸を中心としたヨー角の誤差累積が残る。本実施形態では、ヨー角の補正は、ユーザによるスイッチ操作と、地磁気を用いた補正との 2 つの方法を提案する。

#### 【 0 0 5 8 】

まず、ユーザによるスイッチ操作による補正について説明する。この補正は、ユーザが、スティック部 10 が前方を向いているタイミングで、スティック部 10 が備える入力部 16 (例えば、スイッチ) を、定期的に押すことにより、CPU 11 が、ヨー角の補正を行うというものである。CPU 11 は、ヨー方向強制スイッチが ON されたか否かを判断する (ステップ S 109)。この処理では、CPU 11 は、入力部 16 から、ヨー方向強制スイッチが ON されたことを示す信号を受信したか否かを判断する。

#### 【 0 0 5 9 】

ステップ S 109 での判断が YES の場合、CPU 11 は、スティック部 10 の先端のワールド座標系の方向ベクトルをワールド座標系の Y 軸の方向ベクトルと一致させるような回転行列を求め、この回転行列を用いて姿勢パラメータの補正を行う (ステップ S 110)。これにより、スティック部 10 の先端のヨー角が 0 度にセットされる。

この回転行列は、例えば、2 つのベクトルをなす角度の長さであって、2 つのベクトルに直交するベクトル方向を向いた回転角ベクトルを考える。この回転角ベクトルを角速度センサ 123 の姿勢補正の合成回転行列を求めた方法と同じ方法で合成行列変換を求めることができる。

#### 【 0 0 6 0 】

次に、地磁気を用いた補正について説明する。

#### 【 0 0 6 1 】

ステップ S 109 での判断が NO の場合、CPU 11 は、ヨー方向補正モードが地磁気モードによる補正モードであるか否かを判定する (ステップ S 105)。地磁気モードに

10

20

30

40

50

よる補正モードでない場合は、CPU 11は、姿勢推定処理を終了する。

地磁気モードによる補正モードである場合には、CPU 11は、今回時刻  $t$  で読み取った磁気センサ 121 から求めた地磁気ベクトルの値を  ${}_L M_T = (M_{x_t} \ M_{y_t} \ M_{z_t})^T$  とし、これはローカル座標系であるので、式 (5) に基づいて、ワールド座標系に変換する (ステップ S106)。

$${}_W M_T = T_L \quad {}_W t \cdot {}_L M_T \quad (5)$$

【0062】

次に、CPU 11は、例えば IIR (Infinite Impulse Response) フィルタを実行し平滑化をおこなう。この平滑して得られた方向を現在の地磁気方向  ${}_W e_{m_t}$  と推定する (ステップ S107)。

具体的には、下記の IIR フィルタ演算 (式 (6)) を実行し平滑化を行う。  $k_m$  はフィルタ係数でスイング状態などで実験的に決定される。

$$M_{W_t} = (1 - k_m) \cdot M_{W_{t-1}} + k_m \cdot {}_W A_t \quad (6)$$

この  $M_{W_t}$  からワールド座標系の現在の地磁気方向ベクトル  ${}_W e_{m_t}$  を

$${}_W e_{m_t} = M_{W_t} / |M_{W_t}| \text{ と推定する。}$$

【0063】

続いて、CPU 11は、初期状態でのワールド座標系における地磁気方向  ${}_W e_{m_0}$  を RAM 15 に記録し、現在の地磁気方向  ${}_W e_{m_t}$  と、初期状態でのワールド座標系における地磁気方向  ${}_W e_{m_0}$  の方向とが、ワールド座標系の XY 平面で同じ方向を向くような回転行列を求め、この回転行列を用いて姿勢パラメータ  $T_L \quad {}_W t$  の補正を行う (ステップ S108)。これにより、地磁気方向の補正が行われるので、姿勢推定の精度が向上する。

この回転行列は、具体的には、各ベクトルの Z 成分を 0 にしたベクトルを考え、その 2 つのベクトル方向から、重力補正と同様、中心に 2 つのベクトルをなす角度の長さの 2 つのベクトルに直交するベクトル方向を向いたベクトルを考え、この各成分の値の回転の合成行列変換で表現できる。

【0064】

[位置推定]

図 9 を参照して、図 6 のステップ S18 の位置推定処理の詳細説明を行う。

【0065】

図 9 は、位置推定処理の流れを示すフローチャートである。

姿勢推定する際に、図 8 のステップ S103 において、ワールド座標の重力方向  ${}_W e_g$  を推定した。CPU 11は、ワールド座標系の加速度ベクトルからその重力方向  ${}_W e_g$  の成分を除いたベクトルを求め、このベクトルを外力による加速度  ${}_W F_T$  と定義する (ステップ S201)。さらに、CPU 11は、外力による加速度  ${}_W F_T$  を積分して移動速度  ${}_W v_t$  を求め、さらにこの移動速度  ${}_W v_t$  を積分して水平面の移動量  ${}_W D_t$  を求める (ステップ S202)。

【0066】

なお、積分は完全積分では誤差累積の影響が出るので不完全積分を用いるのが望ましい。ダンピング係数 (時定数) は実験にて調整をおこなう。このようにして求めた値は後のノートイベント生成処理 (図 16 参照) で利用される、

【0067】

[先端動き予測]

図 10 及び図 11 を参照して、図 6 のステップ S19 の先端動き予測処理の詳細説明を行う。

【0068】

発音の強弱はスティック先端の速度で制御をおこなうことが望ましい。速度を予測するのに加速度センサから求める方法があるが精度上問題がある。また、角速度だけではスティックのスイングはひじや肩を中心とした回転運動またはひじなどを伸ばしながらスイングするので、角速度と速度が比例関係になるともいえない。そのため、本実施形態では、

先端の角速度と角加速度で速度予測する。

【 0 0 6 9 】

図 1 0 は、先端動き予測処理の流れを示すフローチャートである。

求め方の一例として、まず、CPU 1 1 は、角速度ベクトルから y 軸周りの成分を除いた角速度をスティック先端の角速度の観測値  $V_t = (x_t \ 0 \ z_t)^T$  とし、その値をカルマンフィルタなどを用いて角速度  $s$  及び角加速度  $s$  と推定する（ステップ S 2 1 0）。

【 0 0 7 0 】

例えば、それぞれの角速度成分は、前回の角速度成分に角加速度成分を加えたもの、角加速度成分は、前回と同じ角加速度成分に駆動ノイズが加わるような状態モデルを利用して求めることができる。CPU 1 1 は、このようにして得られたスティック先端の角速度を用いて、その角速度の直近の平均したベクトル方向をスティック先端速度回転軸  $e_r$  として推定する（ステップ S 2 1 1）。

【 0 0 7 1 】

本実施例ではカルマンフィルタで実現したが、IIR フィルタを用いてセンサの値及びその差分をスムージングしてそれぞれ角速度、角加速度を求めても良い。

【 0 0 7 2 】

スティック先端回転軸とスティックの方向 y 軸と直行する方向（外積方向、図 1 1 参照）をスイング方向  $e_s$  と定義する。先端の回転運動の接線方向はこの方向を向く。CPU 1 1 は、加速度ベクトル  $L A_t$  のスイング方向の成分  $L A_{s_t}$  を、 $L A_t$  と  $e_s$  との内積を計算することで求める（ステップ S 2 1 2）。

【 0 0 7 3 】

[ 発音タイミング検出処理 ]

図 1 2 又は図 1 3 を参照して、図 6 のステップ S 2 0 の発音タイミング検出処理の詳細説明を行う。

【 0 0 7 4 】

[ 発音タイミング検出処理（第 1 の実施例） ]

図 1 2 は、第 1 の実施例における発音タイミング検出処理の流れを示すフローチャートである。

まず、CPU 1 1 は、動作状態に応じて分岐を行う（ステップ S 3 0 2）。動作状態には IDLE、ACTION、SHOT 及び DONE の 4 状態がある。CPU 1 1 は、IDLE の場合には、処理をステップ S 3 0 3 に移行させ、ACTION の場合には、処理をステップ S 3 2 0 に移行させ、SHOT の場合には、処理をステップ S 3 3 0 に移行させ、DONE の場合には、処理をステップ S 3 4 0 に移行させる。

【 0 0 7 5 】

ここで、標準的な動作状態の遷移を図 1 4 に示す。図 1 4 は、横軸は、時間軸を示しており、縦軸は、図 A では角速度の大きさ（ベクトルの長さ）を示している。符号はあまり意味がないが、便宜上、スティック部 1 0 を振り始めた方向を正とする。また、縦軸は、図 B では角加速度の大きさ（ベクトルの長さ）を示している。符号は角速度の正方向と同じ向きを正とする。図 C は動作状態の遷移を示している。

【 0 0 7 6 】

スティックが停止している状態は IDLE であり、初期状態で動作状態は IDLE に初期化されている。初期状態の時刻  $t_0$  では動作状態は IDLE である。このとき CPU 1 1 は、スティック部 1 0 の角加速度が正でない場合には、発音タイミング検出処理を終了する（ステップ S 3 0 3）。スティック部 1 0 の角加速度が正の場合であってもスティック部 1 0 の角速度が「閾値 1」以下の場合には、CPU 1 1 は、発音タイミング検出処理を終了する（ステップ S 3 0 4）。スティック部 1 0 の角速度が「閾値 1」の値を超えた場合、CPU 1 1 は、ステップ S 3 0 5 に処理を移行させる（ステップ S 3 0 4）。図 1 4 では、 $t_2$  の時刻で、「閾値 1」を超えたことが示されている。ステップ S 3 0 5 では、CPU 1 1 は、動作状態を ACTION に変更させ（ステップ S 3 0 5）、最大角速度

10

20

30

40

50

を 0 に初期化して（ステップ S 3 0 6）、発音タイミング検出処理を終了する。

動作状態が ACTION になると、しばらくスティックは加速し続け、この間は、角加速度が正であるので、CPU 11 は、ステップ S 3 2 0 で YES と判断し、現在の角速度が保持されている最大角速度と比較し（ステップ S 3 2 1）、角速度が最大角速度より大きい場合には、最大角速度を更新して（ステップ S 3 2 2）、「閾値 2」を更新する（ステップ S 3 2 3）。角速度が最大角速度より小さい場合には、CPU 11 は、発音タイミング検出処理を終了する。

【 0 0 7 7 】

「閾値 2」は最大角速度の値によって決定されるようになっている。例えば、「閾値 2」=（最大角速度）× C で求める、ここで、C は、0 ~ 1 の値で実験的に決定される。通常は 0 . 1 程度が望ましい。この「閾値 2」はショットを検出してから音が発音するまでの遅延時間に相当する事前の角速度を想定している。無線の伝達遅延や、後に述べる発音処理に遅延が生じるので、その遅延分を保証するために本来の音の鳴らすタイミングより、事前に音を鳴らすためである。一般にショットの角速度のカーブは音の強弱に比例した形であることを想定し、角速度の最大値から、閾値を決定している。

【 0 0 7 8 】

スティック部 1 0 が減速状態になると（t 3）、スティック部 1 0 の角加速度は 0 以下となるので、CPU 11 は、ステップ S 3 2 0 で NO と判断する。ステップ S 3 2 4 では、CPU 11 は、現在の角速度の絶対値が「閾値 2」より小さいか否か比較する。スティックがまだ十分に減速されていない間は、CPU 11 は、ステップ S 3 2 4 で NO と判断し、発音タイミング検出処理を終了して、ショットタイミングを待つことになる。

【 0 0 7 9 】

スティックが十分に減速し、「閾値 2」より小さくなると、CPU 11 は、ショットタイミングに近づいたと判定し、ステップ S 3 2 4 で YES と判断し（t 4 のタイミング）、動作状態を SHOT に設定し（ステップ S 3 2 5）、ショット通過時間を 0 に初期化する（ステップ S 3 2 6）。その後、CPU 11 は、発音タイミング検出処理を終了する。この SHOT 状態は発音タイミングを知らせるものであり、図 6 のステップ S 2 2 の発音タイミングの判断に用いられる。

【 0 0 8 0 】

動作状態が SHOT の場合には、CPU 11 は、動作状態をステップ S 3 3 0 において DONE に更新して、発音タイミング検出処理を終了する。

【 0 0 8 1 】

動作状態が DONE の場合には、CPU 11 は、角速度が「閾値 3」以下であるか否かを判断し（ステップ S 3 4 0）、角速度が「閾値 3」以下であると判断した場合には、動作状態を IDLE に変更し（ステップ S 3 4 1）、発音タイミング検出処理を終了する。ステップ S 3 4 0 において、CPU 11 は、角速度が「閾値 3」より大きいと判断した場合には、ショット通過時間が「閾値 4」以下であるか否かを判断し（ステップ S 3 4 2）、ショット通過時間が「閾値 4」以下であると判断した場合には、発音タイミング検出処理を終了する。一方、CPU 11 は、ショット通過時間が「閾値 4」を超えたと判断した場合には、動作状態を IDLE に変更し（ステップ S 3 4 1）、発音タイミング検出処理を終了する。

【 0 0 8 2 】

すなわち、DONE 状態は角速度が「閾値 3」以下になるまで保持される。これは停止時に複数音が鳴ったりする誤動作を防止するためである。しかし、角速度がゆっくりと減速されて、角速度が「閾値 3」以下になるまでのショット通過時間が「閾値 4」を超えた場合には、動作状態は DONE から IDLE に変更される。

【 0 0 8 3 】

[ 発音タイミング検出処理（第 2 の実施例） ]

【 0 0 8 4 】

図 1 3 は、第 2 の実施例における発音タイミング検出処理の流れを示すフローチャート

10

20

30

40

50

である。

まず、CPU 11は、動作状態に応じて分岐を行う(ステップS352)。動作状態にはIDLE、ACTION、SHOT及びDONEの4状態がある。CPU 11は、IDLEの場合には、処理をステップS353に移行させ、ACTIONの場合には、処理をステップS370に移行させ、SHOTの場合には、処理をステップS380に移行させ、DONEの場合には、処理をステップS390に移行させる。ここで、標準的な動作状態の遷移は図14に示したとおり第1の実施例と同様である。

#### 【0085】

CPU 11は、スティック部10の角加速度が正でない場合には、発音タイミング検出処理を終了する(ステップS353)。スティック部10の角加速度が正の場合であってもスティック部10の角速度が「閾値1」以下の場合には、CPU 11は、発音タイミング検出処理を終了する(ステップS354)。スティック部10の角速度が「閾値1」の値を超えた場合、CPU 11は、ステップS355に処理を移行させる(ステップS354)。図14では、t2の時刻で、「閾値1」を超えたことが示されている。ステップS355では、CPU 11は、動作状態をACTIONに変更させ(ステップS355)、発音タイミング検出処理を終了する。

#### 【0086】

動作状態がACTIONになると、しばらくスティックは加速し続け、この間は、角加速度が正であるので、CPU 11は、ステップS370でYESと判断し、発音タイミング検出処理を終了する。

#### 【0087】

スティック部10が減速状態に変わると(t3)、スティック部10の角加速度は0以下となるので、CPU 11は、ステップS370でNOと判断する。CPU 11は、ステップS371で、現在のスティック先端角速度  $s_t$ 、角加速度  $s_a$  から角速度が0になるまでの時間を推測する。その推測された時間をTremとすると、

$$Trem = |s_t| / |s_a| \quad s_t \text{ および } s_a \text{ の絶対値を用いて推定できる。}$$

#### 【0088】

続いて、CPU 11は、推定した時間が「閾値5」以下であるかを判定する(ステップS372)。例えばこの「閾値5」は10m秒程度とする。

#### 【0089】

この「閾値5」はショットを検出してから音が発音するまでの遅延時間として設定されている。無線の伝達遅延や、後に述べる発音処理に遅延が生じるので、その遅延分を保証するために本来の音の鳴らすタイミングより、事前に音を鳴らすためである。CPU 11は、スティック部10が十分に減速するまでは、ステップS372ではNOと判断して発音タイミング検出処理を終了する。やがてスティック部10の角速度が0に近くなると、停止(角速度0)までの推定時間が「閾値5」以下となり、CPU 11は、ステップS372ではYESと判断し(t4のタイミング)、動作状態をSHOTに設定し(ステップS373)、SHOT通過時間を0に初期化する(ステップS374)。このSHOT状態は発音タイミングを知らせるものであり、図6のステップS22の発音タイミングの判断に用いられる。

#### 【0090】

動作状態がSHOTの場合には、CPU 11は、動作状態をステップS380においてDONEに更新して、発音タイミング検出処理を終了する。

#### 【0091】

動作状態がDONEの場合には、CPU 11は、角速度が「閾値3」以下であるか否かを判断し(ステップS390)、角速度が「閾値3」以下であると判断した場合には、動作状態をIDLEに変更し(ステップS391)、発音タイミング検出処理を終了する。ステップS390において、CPU 11は、角速度が「閾値3」より大きいと判断した場合には、ショット通過時間が「閾値4」以下であるか否かを判断し(ステップS392)、ショット通過時間が「閾値4」以下であると判断した場合には、発音タイミング検出処

10

20

30

40

50

理を終了する。一方、CPU 11は、ショット通過時間が「閾値4」を超えたと判断した場合には、動作状態をIDLEに変更し（ステップS391）、発音タイミング検出処理を終了する。

【0092】

すなわち、DONE状態は角速度が「閾値3」以下になるまで保持される。これは停止時に複数音が鳴ったりする誤動作を防止するためである。しかし、角速度がゆっくりと減速されて、角速度が「閾値3」以下になるまでのショット通過時間が「閾値4」を超えた場合には、動作状態はDONEからIDLEに変更される。

【0093】

[発音量検出]

10

図15を参照して、図6のステップS21の発音量検出処理の詳細説明を行う。

【0094】

図15は、発音量検出処理の流れを示すフローチャートである。

CPU 11は、動作状態を判定し、動作状態がDONE又はIDLEである場合には、ステップS402に処理を移行させ、動作状態がACTION又はSHOTである場合には、ステップS406に処理を移行させる。

【0095】

動作状態がDONE又はIDLEである場合には、CPU 11は、ピーク角速度値（スカラー量） $s_{peak}$ 、シフト速度 $v_{st}$ 、ピークシフト速度 $v_{s_{peak}}$ 、及びピークシフト加速度 $a_{s_{peak}}$ を0に初期化する（ステップS402～S405）。

20

【0096】

ピーク角速度値 $s_{peak}$ は、スティックが発音スイング中に検出した角速度の最大値、シフト速度 $v_{st}$ はスティックの先端の平行移動分の速度成分、現在のピークシフト速度 $v_{s_{peak}}$ はシフト速度 $v_{st}$ の最大値を保持している値である。発音タイミング検出（図12のステップS305、又は図13のステップS355）においてスティックのスイングが検出され、動作状態がACTION又はSHOTになると、CPU 11は、現在のスティック先端角速度ベクトルのスカラー量 $|s_t|$ とピーク角速度値 $s_{peak}$ とを比較し、 $|s_t|$ の方が大きい場合、 $s_{peak}$ を $|s_t|$ の値に更新する（ステップS406）。

【0097】

30

次に、CPU 11は、図10のステップS212で求めたスイング方向の加速度成分 $L A_{st}$ のシフト加速度のピーク値 $a_{s_{peak}}$ の保持と更新を行う（ステップS407）。

【0098】

続いて、CPU 11は、図10のステップS212で求めたスイング方向の加速度成分 $L A_{st}$ を不完全積分し、スイング方向の速度 $L V_{st}$ を得る（ステップS408）。

【0099】

CPU 11は、前記のスイング方向速度 $L V_{st}$ とピーク角速度値 $v_{s_{peak}}$ とを比較し、 $L V_{st}$ の方が大きい場合、 $v_{s_{peak}}$ を $L V_{st}$ の値に更新する（ステップS409）。

40

【0100】

次に、CPU 11は、3つのピーク値からスティックの速度（音量）を求める。例えば、次の式（5）のような重み付き加算等で求める。

$$P_{shot} = a_1 \cdot s_{peak} + a_2 \cdot v_{s_{peak}} + a_3 \cdot a_{s_{peak}} \quad (5)$$

ここで、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ はミキシングパラメータであり、実験にて決定される。

この $P_{shot}$ は、ショットの音の大きさとして利用される。

【0101】

[ノートイベント生成]

図16を参照して、図6のステップS23のノートイベント生成処理の詳細説明を行う

50

。

## 【0102】

図16は、ノートイベント生成処理の流れを示すフローチャートである。

ショット時に、空間上に仮想的に配列された音源のどれを鳴らすかが決定されるが、ショットタイミングはシステムの遅延を考慮して先行して検出されているので、CPU11は、音が鳴るときのスティック部10の位置の推定を行う(ステップS501)。スティック部10の先端の角速度と角加速度がわかっているので、CPU11は、Trem後のスティックの姿勢を求めることにより位置を推定できる。具体的には、CPU11は、Tremをさらに時間を細分化し、その時間間隔をTとし、各時間の角速度ベクトルを前回の角速度ベクトル及び角加速度ベクトルから求める。さらに、CPU11は、この角速度ベクトルで、各時間間隔の回転角ベクトルを求め、この回転角ベクトルを用いて、合成回転行列を求め、次の姿勢を予測する。これをTremまで繰り返すことでTrem秒後の姿勢を $T_{L\_Wt} + T_{rem}$ と予測することができる。この姿勢パラメータからスティック部10の先端方向y軸のワールド座標系の位置 $P_y = (P_{y\_x} \ P_{y\_y} \ P_{y\_z})^T$ を得ることができる。

10

## 【0103】

音源がワールド座標系に6つマップ(配置)されている場合、それぞれの音源の位置(ワールド座標系)を、例えば、

音源1: (0, 1, 0) 前方

音源2: (sin60, cos60, 0) 前方右60度方向

音源3: (-sin60, cos60, 0) 前方左60度方向

音源4: (0, cos45, sin45) 前方上部45度方向

音源5: (cos45sin60, cos45cos60, sin45) 前方右60度、上部45度方向

音源6: (-cos45sin60, cos45cos60, sin45) 前方左60度、上部45度方向

とする。

20

## 【0104】

この各音源の位置情報と各音源番号に対応する音色は、ROM14のメモリ上に予め記憶されている。

30

CPU11は、ステップS501で推定した発音時のスティック部10の位置 $P_y$ とそれぞれの音源位置 $P_{si} = (P_{si\_x} \ P_{si\_y} \ P_{si\_z})^T$ との距離を求め、一番近いものを今回のショット対象の音源とする(ステップS502)。

## 【0105】

距離測定は、ユークリッド距離を算出する。または、スイング方向軸の距離には鈍感になるような成分毎に重みつきユークリッド距離を用いることも有効である。スイング方向は移動方向なので精度が悪いので、回転軸方向より重みを大きくした距離を用いた方が望ましい。

## 【0106】

または、方位はピッチ、ヨー、ロール角度表現に変換できる。この角度表記で音源位置、スティックの位置を角度表記に変換し、距離を求めても良い。この際、ピッチ方向とヨー方向で重みを変えた距離を用いても良い。ロール成分の重みは0が望ましい。

40

## 【0107】

ステップS502でショット対象とした音源番号、又は、図17を参照して後述するサウンド探索処理において決定された音源番号をiとすると、CPU11は、i番目の音源に対応するノートをテーブルから読み出し(ステップS503)、発音するノートを取得することができる。

## 【0108】

次に、CPU11は、図7のステップS79又はS80で判定されたヨー方向補正モードをチェックする(ステップS504)。ヨー方向補正モードが地磁気モードである場合

50



、CPU11は、ノートイベント生成処理を終了する。他方、ヨー補正モードがショットモードである場合、CPU11は、音源とスティック部10とがなすヨー角エラーを求める(ステップS505)。具体的には、CPU11は、スティックの方向ベクトルは姿勢パラメータから求め、音源の方向ベクトルは前述したワールド座標系の音源の位置情報を用い、これら2つのベクトルのXY成分からなるベクトルの角度の差がヨー角エラーとして求める。このヨー角エラーはZ軸まわりの回転エラーであるので、CPU11は、Z軸を回転軸とした回転行列を求め、この回転行列を用いて姿勢の補正をおこなう(ステップS506)。

#### [ サウンド探索 ]

図17を参照して、図16のステップS502の変形例であるサウンド探索処理の詳細説明を行う。

#### 【 0109 】

図17は、図16のステップS502の変形例であるサウンド探索処理の流れを示すフローチャートである。本処理は、図16のステップS502の処理に替えて実行される。すなわち、本処理は、図15のステップS501の処理の後に実行され、本処理のステップS613が終了すると、CPU11は、図16のステップS503に処理を移行させる。

#### 【 0110 】

まず、CPU11は、図16のステップS502と同様のサウンド探索方法にて、各サウンドマップから一番近い音源を探し出す(ステップS601)。

次に、CPU11は、探し出した音源番号iを今回の音源選択番号としてRAM15に記憶しておく(ステップS602)。続いて、CPU11は、前回の音源番号を読み出し、その音源番号の位置座標と今回の音源の位置座標とを比較する。このとき、垂直方向Z軸を除いた、X、Y座標を比較する(ステップS603)。垂直方向は本実施例では補正しない。

#### 【 0111 】

さらに、CPU11は、同じ方位であるか否か判断し(ステップS604)、同じ方位であると判断した時は、図9のS202で求めた移動量の水平成分の値が予め決められた正の閾値より大きいかを判定する(ステップS605)。この判定がYESの場合、CPU11は、予め決められた水平方向の回転角度分スティック部10の先端方向の位置 $P_y$ を正方向に回転する(ステップS606)。ステップS605での判定がNOの場合、CPU11は、閾値を-1倍した負の閾値と当該移動量の水平成分とを比較して負の閾値より小さいかを判定する(ステップS607)。この判定がYESの場合、CPU11は、予め決められた水平方向の回転角度分スティック部10の先端方向の位置 $P_y$ を負方向に回転する(ステップS608)。

#### 【 0112 】

CPU11は、このようにスティックの先端方向の方位を補正し、再度、図16のS502と同様のサウンド探索方法にて、各サウンドマップから一番近い音源を探し出す(ステップS609)。CPU11は、音源が探せたか否か判断し(ステップS610)、探せた場合(ステップS610でYESと判断された)には、新たに見つかった音源を今回の音源番号に更新しRAM15に記憶する(ステップS611)。探せなかった場合(ステップS610でNOと判断された)には、以前の音源番号が保持されることになる。

#### 【 0113 】

次に、CPU11は、次回のショットと今回のショットとの間の移動量をもとめるため、移動量の値を0にリセットする(ステップS612)。さらに、CPU11は、今回採用した音源番号を前回の音源番号としてRAM15に記憶する(ステップS613)。

#### 【 0114 】

#### [ 発音処理 ]

図18を参照して、発音部30において実行される発音処理について説明する。

#### 【 0115 】

図 18 は、発音部 30 において実行される発音処理の流れを示すフローチャートである。

【0116】

図 18 に示すように、発音部 30 の CPU 31 は、電源投入時において、RAM 34 のデータのクリア、表示部 35 の画面に表示された画像のクリア、音源部 371 のクリアなどを含むイニシャライズ処理を実行する（ステップ S701）。次いで、CPU 31 は、スイッチ処理を実行する（ステップ S702）。スイッチ処理では、例えば、入力部 36 のスイッチ操作にしたがって、演奏者が所望する音量ボリューム値及び音色を特定し、RAM 34 に格納する。

【0117】

続いて、CPU 31 は、I/F 32 が、ノートオンイベントを新たに受信しているかを判断する（ステップ S703）。ステップ S703 で Yes と判断された場合には、CPU 31 は、この受信されたノートオンイベントに基づき、設定された音量ボリューム値及び設定された音色の楽音の発音を音源部 371 に指示する処理を実行する（ステップ S704）。ステップ S704 の処理が終了すると、CPU 31 は、処理をステップ S702 に戻す。

【0118】

以上、本実施形態の演奏装置 1 の構成及び処理について説明した。

本実施形態においては、CPU 11 は、加速度センサ 122 が検出した加速度及び角速度センサ 123 が検出した角速度を一定タイミング毎に取得するとともに、スティック部 10 の初期の静止状態において、加速度センサ 122 により検出された重力による加速度を含み、当該初期静止状態における姿勢パラメータを RAM 15 に記憶する。そして一定タイミング毎に角速度センサ 123 が検出した角速度に応じて、この姿勢パラメータを更新を行い、この更新された姿勢パラメータに基づいて、検出された加速度から重力方向の加速度を算出する。さらに、この算出された加速度を所定区間毎に累算し、累算された加速度を、RAM 15 に記憶された加速度と一致するように補正する。

よって、スティック部 10 を高速に動作させた場合において、重力方向を補正することで、スティック部 10 の姿勢推定の精度を向上させることができる。

【0119】

また、本実施形態においては、CPU 11 は、スティック部 10 の初期の静止状態において、磁気センサ 121 によって、スティック部 10 の長手方向の軸を含めた互いに直交する 3 軸それぞれの方向の地磁気成分を検出し、前述の姿勢パラメータに基づいて別の 3 軸方向の地磁気成分に変換して RAM 15 に記憶する。そして、磁気センサ 121 が検出する各軸の地磁気成分を一定タイミング毎に取得し、取得した一定タイミング毎の各軸の地磁気成分を姿勢パラメータに基づいて、前述の異なる 3 軸方向の地磁気成分に変換する。さらこの変換された各地磁気成分を所定区間毎に累算し、この累算された各地磁気成分を、RAM 15 に記憶された各地磁気成分に一致させるように補正する。

よって、スティック部 10 を高速に動作させた場合において、地磁気方向を補正することで、スティック部 10 の姿勢推定の精度を向上させることができる。

【0120】

また、本実施形態では、CPU 11 は、角速度センサ 123 が取得した角速度の値が「閾値 1」を超えた後、「閾値 2」を下回った場合に、ノートオンイベントを発音部 30 に送信する。また、「閾値 2」は、角速度センサ 123 が取得した角速度の値が「閾値 1」を超えた後の最大値に応じた値（具体的には、当該最大値に一定比率値を乗算した値）である。

よって、発音遅延時間を考慮して本来のショットタイミングよりも一定時間前に発音タイミングを生成することで、発音の精度を向上できる。

【0121】

また、本実施形態では、CPU 11 は、角速度センサ 123 が取得した角速度の値が「閾値 1」を超えた後、0 になるまでの時間を推定し、推定された時間が「閾値 5」を下回

10

20

30

40

50

った場合に、ノートオンイベントを発音部 30 に送信する。

よって、発音遅延時間を考慮して本来のショットタイミングよりも一定時間前に発音タイミングを生成することで、発音の精度を向上できる。

【0122】

また、本実施形態では、CPU 11 は、角速度センサ 123 が取得した角速度に基づいてスティック部 10 の先端部の角速度及び角加速度を算出し、算出されたスティック部 10 の先端部の角速度及び角加速度に基づいて、角速度センサ 123 が取得した角速度の値が「閾値 1」を超えた後、0 になるまでの時間を推定する。

よって、角速度の値が 0 になるまでの時間の推定精度を向上できる。

【0123】

また、本実施形態では、CPU 11 は、角速度センサ 123 が取得した角速度に基づいて、演奏操作中のスティック部 10 の回転軸方向を推定し、角速度センサ 123 が取得した角速度からスティック部 10 の長手方向の軸成分を除いた角速度に基づいて、スティック部 10 の先端部の角速度を算出し、推定された直近の回転軸方向、及び算出されたスティック部 10 の先端部の直近の角速度に基づいて、所定時間後のスティック部 10 のワールド座標系の位置を算出し、音源マップの複数の領域のうち、算出された当該位置に最も近い領域に対応する楽音のノートオンイベントを発音部 30 に送信する。

よって、スティック部 10 が斜めにスイングされた場合であっても、本来のショットタイミングでのスティック部 10 の位置の音色で発音できる。

【0124】

また、本実施形態では、CPU 11 は、角速度センサ 123 が取得した角速度に基づいて、演奏操作中のスティック部 10 の回転軸方向を推定し、角速度センサ 123 が取得した角速度からスティック部 10 の長手方向の軸成分を除いた角速度に基づいて、スティック部 10 の先端部の角速度を算出し、推定された直近の回転軸方向、及び算出されたスティック部 10 の先端部の直近の角速度に基づいて、所定時間後のスティック部 10 のワールド座標系の位置を算出し、加速度センサ 122 が取得した加速度に基づいて、移動距離を算出し、算出された当該位置、及び算出された当該移動距離に基づいて、所定時間後のスティック部 10 のワールド座標系の位置を補正し、音源マップの複数の領域のうち、補正された当該位置に最も近い領域に対応する楽音のノートオンイベントを発音部 30 に送信する。

よって、スティック部 10 が斜めにスイングされ、かつ平行移動した場合であっても、本来のショットタイミングでのスティック部 10 の位置の音色で発音できる。

【0125】

また、本実施形態では、CPU 11 は、角速度センサ 123 が取得した角速度に基づいて、演奏操作中のスティック部 10 の角速度の最大値を算出し、加速度センサ 122 が取得した加速度に基づいて、演奏操作中のスティック部 10 の加速度の最大値を算出し、算出された角速度の最大値と、加速度の最大値とに基づいて、発音する楽音の音量を制御する。

よって、仮想的な音源がワールド座標系に垂直に配置されている場合であっても、スイング動作の強さを反映して適切な音量制御が可能となる。

【0126】

以上、本発明の実施形態について説明したが、実施形態は例示に過ぎず、本発明の技術的範囲を限定するものではない。本発明はその他の様々な実施形態を取ることが可能であり、さらに、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、省略や置換など種々の変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、本明細書などに記載された発明の範囲や要旨に含まれると共に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

【0127】

以下に、本願の出願当初の特許請求の範囲に記載された発明を付記する。

[付記 1]

ユーザが保持可能な保持部材と、

10

20

30

40

50

前記保持部材の互いに直交する３軸それぞれの方向に生じる磁気を検出する磁気センサと、

前記保持部材の初期の静止状態において前記磁気センサにより検出された地磁気による磁気、および当該初期静止状態における姿勢パラメータをメモリに記憶する記憶制御手段と、

前記磁気センサが検出した磁気を一定タイミング毎に取得する取得手段と、

前記取得手段が取得した前記一定タイミング毎の磁気の各軸成分を所定区間毎に累算する累算手段と、

この累算手段により累算された磁気を、前記メモリに記憶された初期の地磁気と一致するように姿勢パラメータを補正する補正手段と、

を有することを特徴とする姿勢検出装置。

10

[ 付記 ２ ]

ユーザが保持可能な保持部材と、前記保持部材の互いに直交する３軸のそれぞれの方向に生じる磁気を検出する磁気センサと、を有する姿勢検出装置が実行する方法であって、

前記保持部材の初期の静止状態において前記磁気センサにより検出された地磁気による磁気、および当該初期静止状態における姿勢パラメータをメモリに記憶する記憶制御ステップと、

前記磁気センサが検出した磁気を一定タイミング毎に取得する取得ステップと、

前記取得ステップが取得した前記一定タイミング毎の磁気の各軸成分を所定区間毎に累算する累算ステップと、

20

この累算ステップにより累算された磁気を、前記メモリに記憶された初期の磁気と一致するように姿勢パラメータを補正する補正ステップと、

を含む方法。

[ 付記 ３ ]

ユーザが保持可能な保持部材と、前記保持部材の互いに直交する３軸のそれぞれの方向に生じる磁気を検出する磁気センサと、を有する姿勢検出装置として用いられるコンピュータに、

前記保持部材の初期の静止状態において前記磁気センサにより検出された地磁気による磁気、および当該初期静止状態における姿勢パラメータをメモリに記憶する記憶制御ステップと、

30

前記磁気センサが検出した磁気を一定タイミング毎に取得する取得ステップと、

前記取得ステップが取得した前記一定タイミング毎の磁気の各軸成分を所定区間毎に累算する累算ステップと、

この累算ステップにより累算された磁気を、前記メモリに記憶された初期の地磁気と一致するように姿勢パラメータを補正する補正ステップと、

を実行させるプログラム。

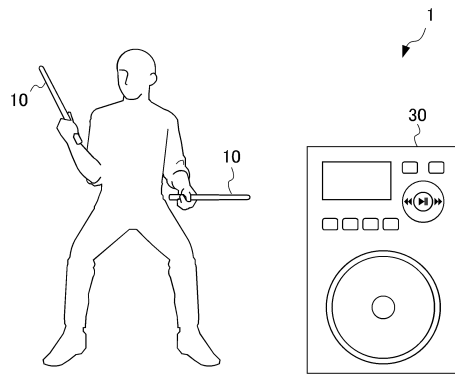
【 符号の説明 】

【 ０ １ ２ ８ 】

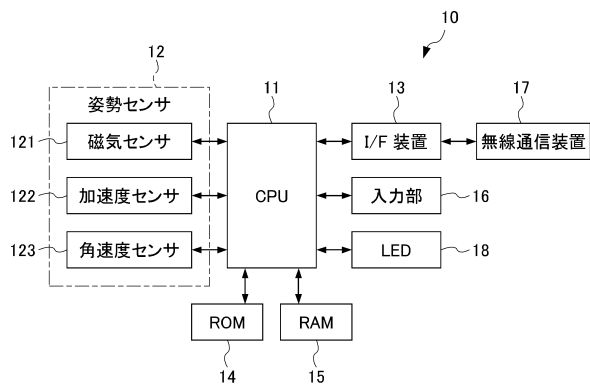
１・・・演奏装置、１０・・・スティック部、１１・・・ＣＰＵ、１２・・・姿勢センサ、１３・・・Ｉ／Ｆ装置、１４・・・ＲＯＭ、１５・・・ＲＡＭ、１６・・・入力部、１７・・・無線通信装置、１８・・・ＬＥＤ、１２１・・・磁気センサ、１２２・・・か速度センサ、１２３・・・角速度センサ、３０・・・発音部、３１・・・ＣＰＵ、３２・・・Ｉ／Ｆ、３３・・・ＲＯＭ、３４・・・ＲＡＭ、３５・・・表示部、３６・・・入力部、３７・・・サウンドシステム、３８・・・赤外線通信装置、３７１・・・音源部、３７２・・・オーディオ回路、３７３・・・スピーカ

40

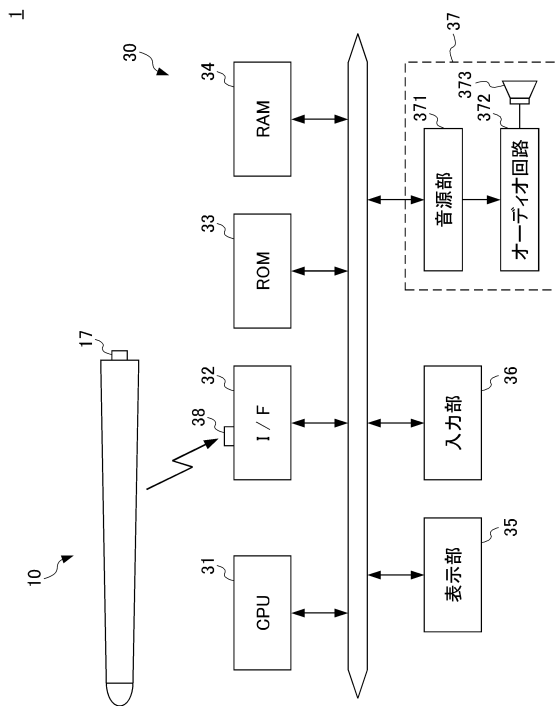
【図 1】



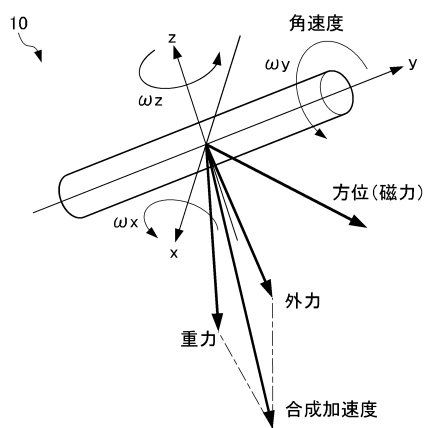
【図 2】



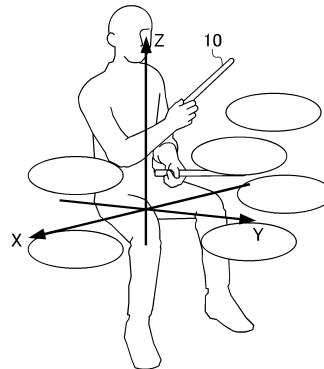
【図 3】



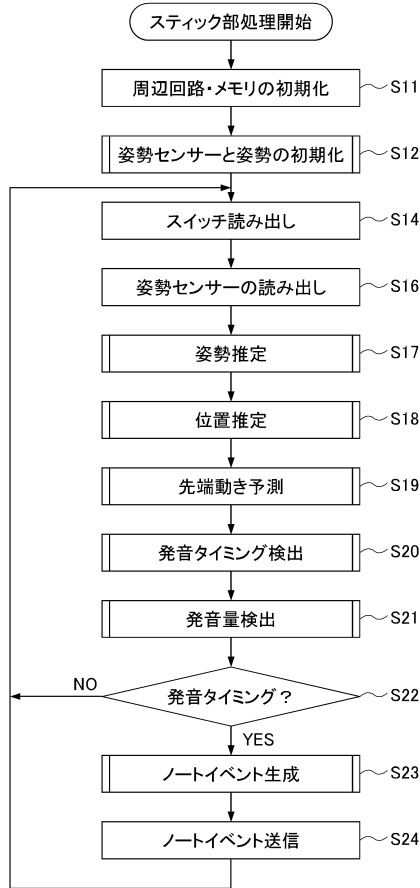
【図 4】



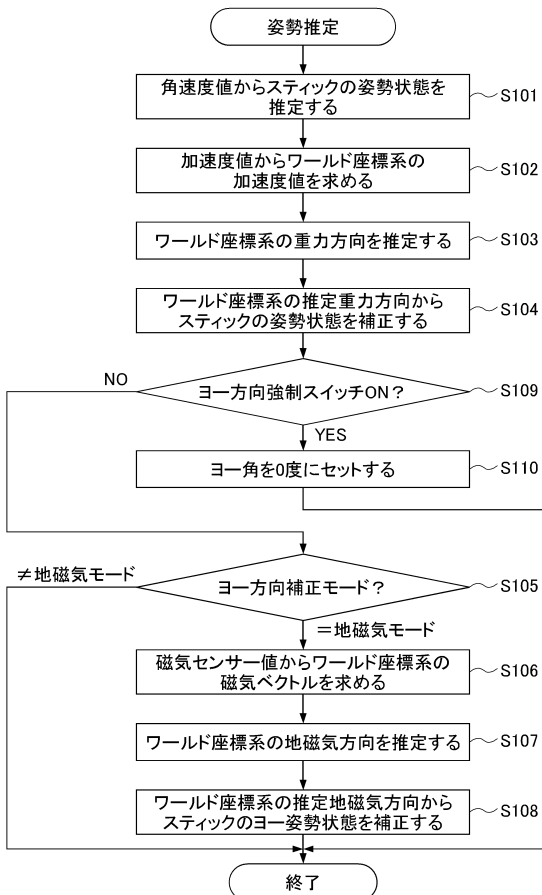
【図 5】



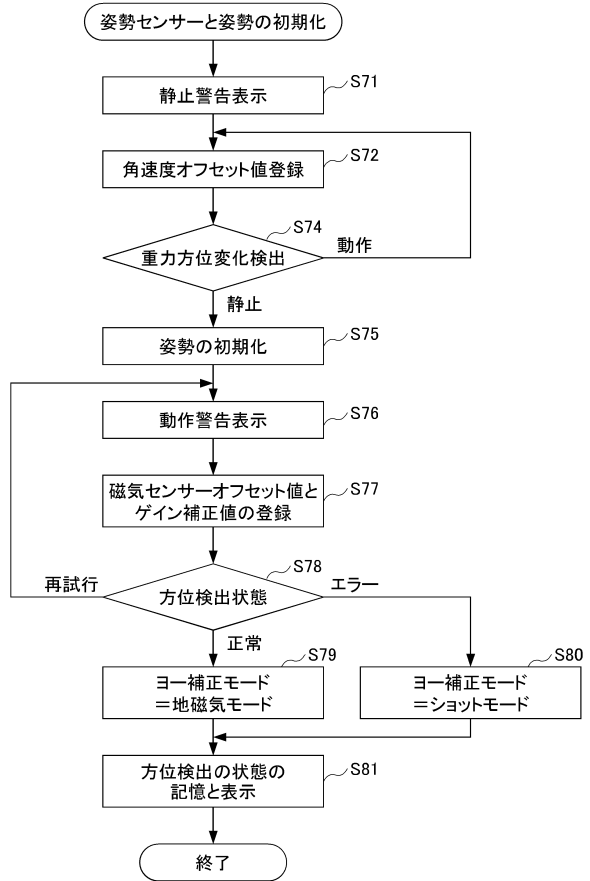
【図 6】



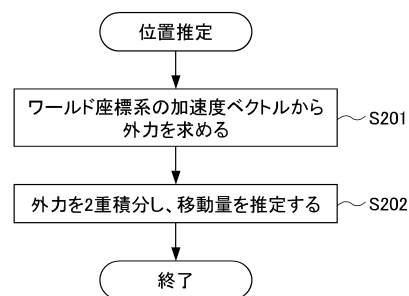
【図 8】



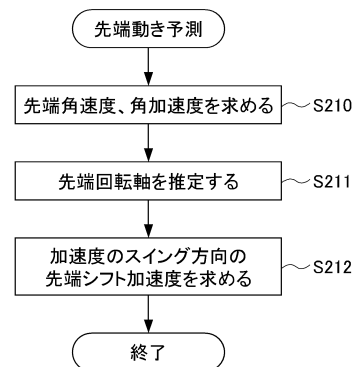
【図 7】



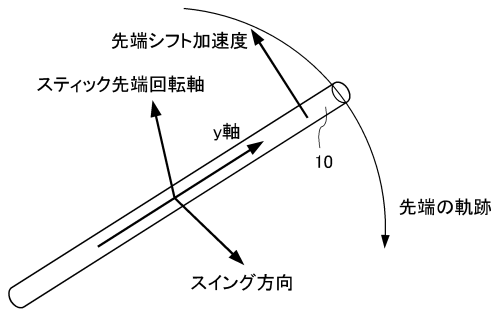
【図 9】



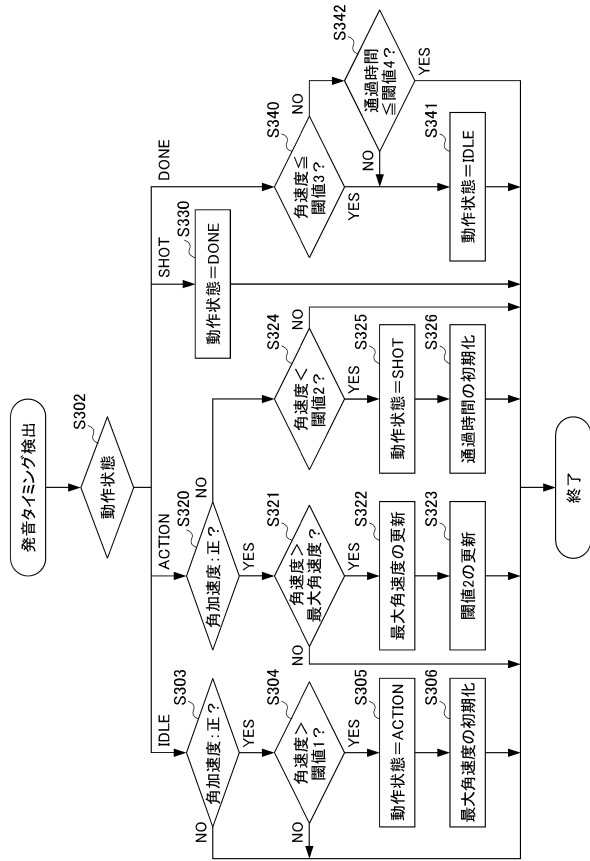
【図 10】



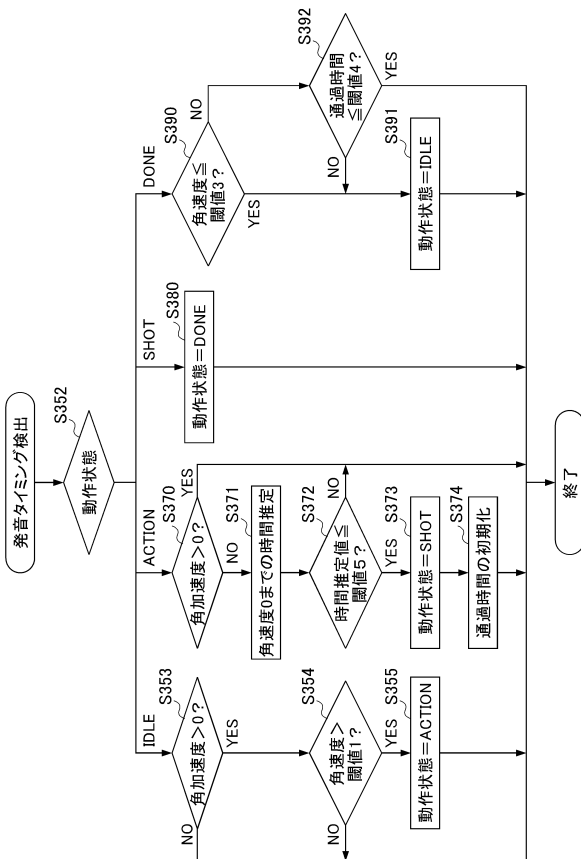
【図 1 1】



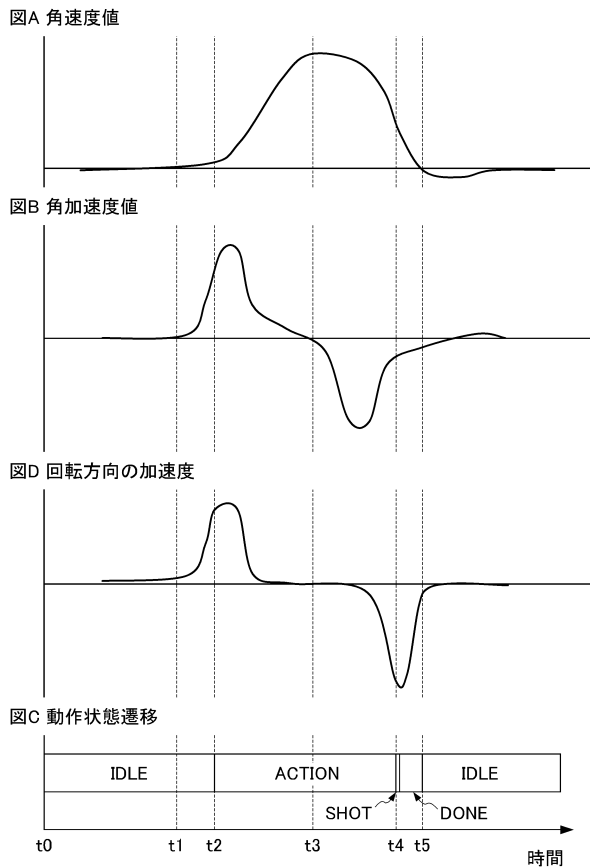
【図 1 2】



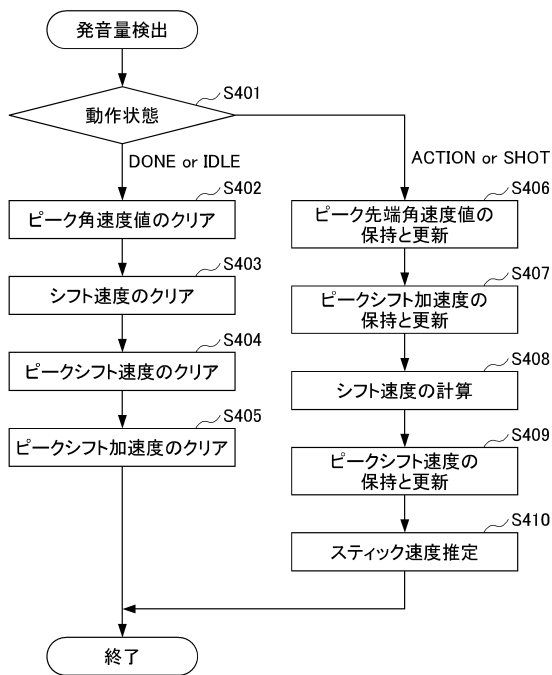
【図 1 3】



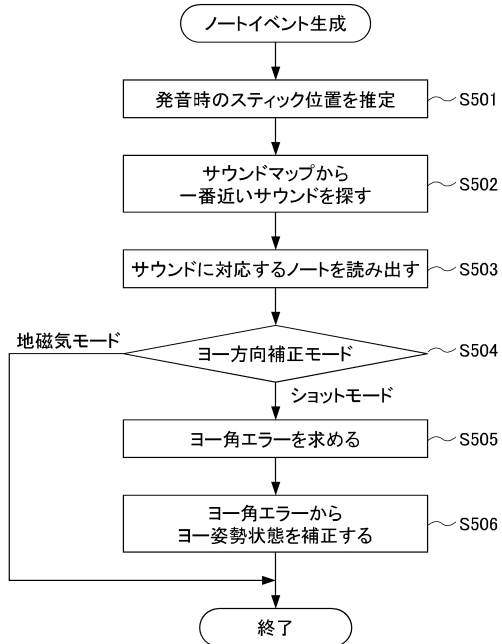
【図 1 4】



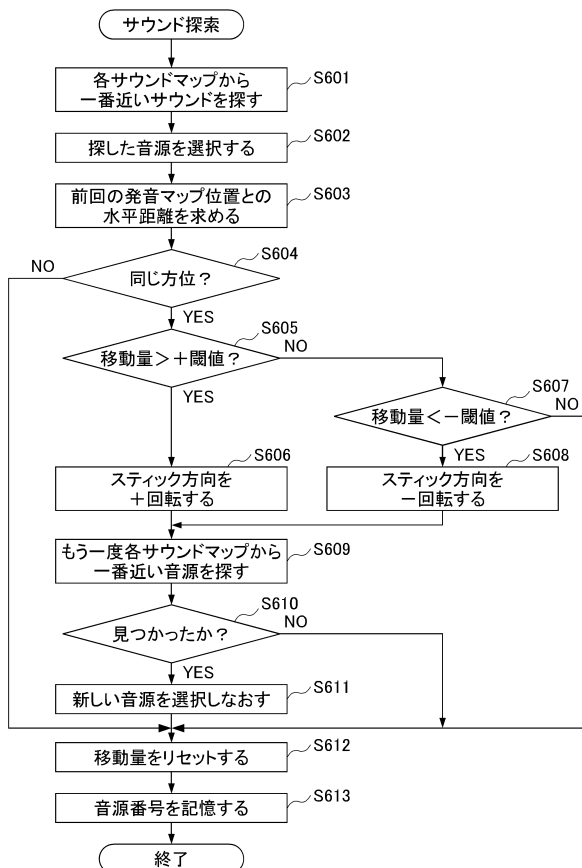
【図 15】



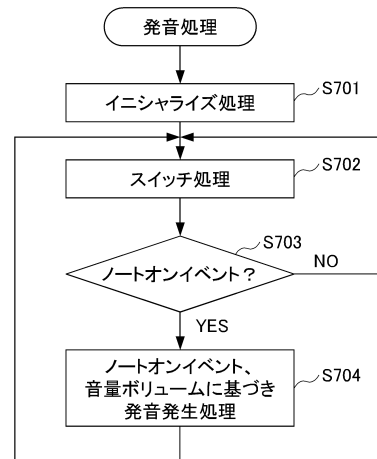
【図 16】



【図 17】



【図 18】





## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 1 B 7/30 (2006.01) G 0 6 F 3/0346 4 2 4  
G 0 6 F 3/0346 4 2 5  
G 0 1 B 7/30 H

(72)発明者 田畑 裕二  
東京都羽村市栄町3丁目2番1号 カシオ計算機株式会社 羽村技術センター内

(72)発明者 春日 一貴  
東京都羽村市栄町3丁目2番1号 カシオ計算機株式会社 羽村技術センター内

審査官 岩田 玲彦

(56)参考文献 特開2011-252994(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 C 1 7 / 3 8  
G 0 1 C 1 7 / 0 2  
G 0 6 F 3 / 0 3 4 6  
G 1 0 H 1 / 0 0  
G 1 0 H 1 / 0 5 3  
G 0 1 B 7 / 3 0