

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7351042号  
(P7351042)

(45)発行日 令和5年9月26日(2023.9.26)

(24)登録日 令和5年9月15日(2023.9.15)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 6 F 3/041(2006.01) G 0 6 F 3/041 4 8 0

請求項の数 16 (全27頁)

(21)出願番号	特願2023-531296(P2023-531296)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和3年7月1日(2021.7.1)	(74)代理人	110001195 弁理士法人深見特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/024964	(72)発明者	田中 康治 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開番号	WO2023/276113	(72)発明者	坂井 満 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開日	令和5年1月5日(2023.1.5)	(72)発明者	名倉 健 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
審査請求日	令和5年7月27日(2023.7.27)	審査官	岩橋 龍太郎
早期審査対象出願			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 触覚提示装置及び触覚提示方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

タッチパネルと、  
前記タッチパネルを支持する筐体と、  
前記タッチパネルに設置され、前記タッチパネルを振動させるアクチュエータと、  
前記タッチパネル上のタッチ位置を検知するタッチセンサと、  
前記タッチ位置に対応して予め設定された目標振動及び前記アクチュエータを介して前記タッチ位置に到達するまでの振動伝達特性を用いて第1駆動電圧信号を算出し、前記第1駆動電圧信号が、予め設定された電圧範囲内である場合には、前記第1駆動電圧信号を第2駆動電圧信号とし、前記第1駆動電圧信号が、前記予め設定された電圧範囲を超える場合には、算出した前記第1駆動電圧信号の予め設定された周波数未満の第1周波数帯域の成分を低減させ、前記予め設定された電圧範囲内の第2駆動電圧信号を算出する信号算出部と、  
前記第2駆動電圧信号を前記アクチュエータへ出力する出力部と、  
を備える触覚提示装置。

10

【請求項2】

前記信号算出部は、前記第1駆動電圧信号が、前記予め設定された電圧範囲を超える場合に、前記第1駆動電圧信号の前記予め設定された周波数以上の第2周波数帯域の成分を低減又は増幅又は維持し前記予め設定された電圧範囲内の前記第2駆動電圧信号を算出し、前記第1駆動電圧信号の前記第2周波数帯域の成分を低減させる場合は、前記第1周波

20

数帯域の成分の低減割合は前記第 2 周波数帯域の成分の低減割合より大きいことを特徴とする請求項 1 に記載の触覚提示装置。

【請求項 3】

前記アクチュエータは複数であり、複数の前記アクチュエータにそれぞれ対応する複数の前記第 1 駆動電圧信号が算出された場合、前記信号算出部は、複数の前記第 1 駆動電圧信号の前記第 1 周波数帯域を同じ割合で低減し、複数の前記第 1 駆動電圧信号の前記第 2 周波数帯域の成分を維持又は同じ割合で低減又は増幅することにより、複数の前記第 2 駆動電圧信号を算出することを特徴とする請求項 2 に記載の触覚提示装置。

【請求項 4】

前記予め設定された周波数は、前記目標振動の周波数特性がピークとなる周波数よりも低い周波数であることを特徴とする請求項 3 に記載の触覚提示装置。

10

【請求項 5】

前記タッチセンサにより複数の前記タッチ位置が検知され、複数の前記タッチ位置に対応する前記目標振動の種類が複数である場合、前記予め設定された周波数は、大きさが 0 となる時間波形の前記目標振動を除いた各前記目標振動の前記周波数特性がピークとなる周波数のいずれよりも低い周波数であることを特徴とする請求項 4 に記載の触覚提示装置。

【請求項 6】

前記目標振動の時間波形は、所定の周波数の正弦波に包絡波形を乗じた波形であり、前記予め設定された周波数は、前記正弦波の前記所定の周波数よりも低い周波数であることを特徴とする請求項 3 に記載の触覚提示装置。

20

【請求項 7】

前記予め設定された周波数は、前記第 1 駆動電圧信号の周波数特性がピークとなる周波数よりも高い周波数であることを特徴とする請求項 4 に記載の触覚提示装置。

【請求項 8】

前記予め設定された周波数は、前記第 1 駆動電圧信号の周波数特性がピークとなる周波数よりも高い周波数であることを特徴とする請求項 5 に記載の触覚提示装置。

【請求項 9】

前記予め設定された周波数は、前記第 1 駆動電圧信号の周波数特性がピークとなる周波数よりも高い周波数であることを特徴とする請求項 6 に記載の触覚提示装置。

【請求項 10】

30

前記アクチュエータは複数であり、前記信号算出部において複数の前記アクチュエータにそれぞれ対応する複数の前記第 1 駆動電圧信号が算出された場合、前記予め設定された周波数は、複数の前記第 1 駆動電圧信号の前記周波数特性がピークとなる周波数のいずれよりも高い周波数であることを特徴とする請求項 7 に記載の触覚提示装置。

【請求項 11】

前記アクチュエータは複数であり、前記信号算出部において複数の前記アクチュエータにそれぞれ対応する複数の前記第 1 駆動電圧信号が算出された場合、前記予め設定された周波数は、複数の前記第 1 駆動電圧信号の前記周波数特性がピークとなる周波数のいずれよりも高い周波数であることを特徴とする請求項 8 に記載の触覚提示装置。

【請求項 12】

40

前記アクチュエータは複数であり、前記信号算出部において複数の前記アクチュエータにそれぞれ対応する複数の前記第 1 駆動電圧信号が算出された場合、前記予め設定された周波数は、複数の前記第 1 駆動電圧信号の前記周波数特性がピークとなる周波数のいずれよりも高い周波数であることを特徴とする請求項 9 に記載の触覚提示装置。

【請求項 13】

前記予め設定された周波数は、200 Hz 以下の周波数であることを特徴とする請求項 1 から請求項 12 のいずれか一項に記載の触覚提示装置。

【請求項 14】

前記予め設定された電圧範囲は、前記アクチュエータが線形駆動可能な電圧範囲又は前記触覚提示装置の定格電圧範囲であることを特徴とする請求項 1 に記載の触覚提示装置。

50

**【請求項 15】**

前記予め設定された電圧範囲は、前記触覚提示装置の動作モードに応じて変更可能であり、前記動作モードが省エネルギーモードにされた場合、前記アクチュエータが前記線形駆動可能な電圧範囲又は前記触覚提示装置の定格電圧範囲よりも狭い電圧範囲に設定されることを特徴とする請求項 14 に記載の触覚提示装置。

**【請求項 16】**

タッチパネル上のタッチ位置を検知するステップと、

検知した前記タッチ位置に対応して予め設定された目標振動及びアクチュエータを介して前記タッチ位置に到達するまでの振動伝達特性を用いて第 1 駆動電圧信号を算出するステップと、

前記第 1 駆動電圧信号が、予め設定された電圧範囲内である場合には、前記第 1 駆動電圧信号を第 2 駆動電圧信号とし、前記第 1 駆動電圧信号が、前記予め設定された電圧範囲を超える場合には、前記第 1 駆動電圧信号の予め設定された周波数未満の第 1 周波数帯域の成分を低減させ、前記予め設定された電圧範囲内の第 2 駆動電圧信号を算出するステップと、

前記第 2 駆動電圧信号を前記アクチュエータへ出力するステップと、  
を備える触覚提示方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本開示は、触覚提示装置及び触覚提示方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

タッチパネルに対するタッチ操作は、機械式ボタンを押下した場合と比較して触覚刺激へのフィードバックが小さい。そこで、タッチパネル上のタッチ位置を振動させることにより、ユーザに触覚刺激を提示する触覚提示装置が知られている。例えば特許文献 1 には、複数のアクチュエータを用いて、タッチパネル上の複数のタッチ位置に、それぞれ個別の振動波形を提示する触覚提示装置が開示されている。この触覚提示装置では、それぞれのアクチュエータからそれぞれのタッチ位置までの伝達特性の逆行列を算出し、目標とする振動波形にこの逆行列を乗じた駆動電圧信号でアクチュエータを駆動する。これにより、それぞれのタッチ位置に目標とした振動波形が提示される。

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0003】**

【文献】国際公開第 2010/038552 号

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

しかしながら、従来の触覚提示装置においてアクチュエータに出力可能な駆動電圧には上限がある。そのため、算出された駆動電圧信号がアクチュエータに出力可能な駆動電圧の上限を超える場合には、ユーザに適切な触覚刺激を提示する振動を発生できない虞があった。

**【0005】**

本開示は、上述した課題を解決するためになされたものであり、予め設定された電圧範囲内でユーザに適切な触覚刺激を提示する振動を発生させることができる触覚提示装置及び触覚提示方法を提供することを目的とするものである。

**【課題を解決するための手段】****【0006】**

本開示に係る触覚提示装置は、タッチパネルと、タッチパネルを支持する筐体と、タッチパネルに設置され、タッチパネルを振動させるアクチュエータと、タッチパネル上のタ

10

20

30

40

50

タッチ位置を検知するタッチセンサと、タッチ位置に対応して予め設定された目標振動及びアクチュエータを介してタッチ位置に到達するまでの振動伝達特性を用いて第1駆動電圧信号を算出し、第1駆動電圧信号が、予め設定された電圧範囲内である場合には、第1駆動電圧信号を第2駆動電圧信号とし、第1駆動電圧信号が、予め設定された電圧範囲を超える場合には、算出した第1駆動電圧信号の予め設定された周波数未満の第1周波数帯域の成分を低減させ、予め設定された電圧範囲内の第2駆動電圧信号を算出する信号算出部と、第2駆動電圧信号をアクチュエータへ出力する出力部とを備えたものである。

【0007】

また、本開示に係る触覚提示方法は、タッチパネル上のタッチ位置を検知するステップと、検知したタッチ位置に対応して予め設定された目標振動及びアクチュエータを介してタッチ位置に到達するまでの振動伝達特性を用いて第1駆動電圧信号を算出するステップと、第1駆動電圧信号が、予め設定された電圧範囲内である場合には、第1駆動電圧信号を第2駆動電圧信号とし、第1駆動電圧信号が、予め設定された電圧範囲を超える場合には、第1駆動電圧信号の予め設定された周波数未満の第1周波数帯域の成分を低減させ、予め設定された電圧範囲内の第2駆動電圧信号を算出するステップと、第2駆動電圧信号をアクチュエータへ出力するステップとを備えたものである。

10

【発明の効果】

【0008】

本開示によれば、予め設定された電圧範囲内でユーザに適切な触覚刺激を提示する振動を発生させることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】図1は実施の形態1の触覚提示装置の概略図である。

【図2】図2は実施の形態1の目標振動107の時間波形の例を示すグラフである。

【図3】図3は実施の形態1の第1分離フィルタ $w_1(t)$ と第2分離フィルタ $w_2(t)$ の周波数特性を表すグラフである。

【図4】図4は実施の形態1における第1駆動電圧信号108と第2駆動電圧信号109の周波数特性の関係を表すグラフである。

【図5】図5は実施の形態1の目標振動の一例を表すグラフである。

【図6】図6は実施の形態1触覚提示装置における振動伝達特性の周波数特性の一例を示すグラフである。

30

【図7】図7は実施の形態1の第1駆動電圧信号の一例を表すグラフである。

【図8】図8は実施の形態1の第2駆動電圧信号の一例を表すグラフである。

【図9】図9は比較例に係る触覚提示装置のタッチ位置に提示される振動の一例を表すグラフである。

【図10】図10は実施の形態1のタッチ位置に提示される振動の一例を表すグラフである。

【図11】図11は実施の形態1の実施の形態1の各アクチュエータに出力する第2駆動電圧信号の関係を説明する概略図である。

【図12】図12は実施の形態1の変形例1における第1駆動電圧信号108と第2駆動電圧信号109の周波数特性の関係を表すグラフである。

40

【図13】図13は実施の形態1の変形例1におけるタッチ位置106に提示される振動の一例を表すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

実施の形態1 .

<構成>

図1を用いて、実施の形態1の触覚提示装置1について説明する。図1は実施の形態1の触覚提示装置1の概略図である。触覚提示装置1は、タッチパネル101と、筐体102と、2個のアクチュエータ103\_1~2と、タッチセンサ104と、信号処理部10

50

5を備える。以下に、触覚提示装置1の各構成について説明する。

【0011】

タッチパネル101は、ユーザが指を触れて操作を行うパネルであり、例えば、ガラス製あるいは樹脂製の板状部材である。タッチパネル101は、形状を保つことが可能な強度を有し、かつ、ユーザに触覚刺激を提示するための振動を伝達可能なものであればよく、大きさ、形状、厚さ、材質は特に限定されない。

【0012】

筐体102は、タッチパネル101を支持するための筐体であり、タッチパネル101と一部が接続している。筐体102はタッチパネル101を支持できるように接続されていれば、接続箇所、接続方法は特に限定されない。筐体102とタッチパネル101は、シリコンゴム（図示しない）などの粘弾性体を介して接続されていることもある。

10

【0013】

アクチュエータ103\_\_1~2は、それぞれ、タッチパネル101を振動させるように取り付けられたアクチュエータであり、例えば、ボイスコイルや圧電型振動子で構成されている。アクチュエータ103\_\_1~2のそれぞれは、互いにタッチパネル101の異なる位置に配置されている。なお、アクチュエータ103\_\_1~2は、タッチパネル101を振動させられるものであればよく、その種類や取り付け方は特に限定されない。アクチュエータ103\_\_1~2は、一端が筐体102に接続されていることもある。また、アクチュエータ103\_\_1~2は、駆動に必要なアンプ回路を含むこともある。

【0014】

タッチセンサ104は、ユーザが指で触れたタッチ位置106を検知するセンサである。例えば、静電容量方式のシート状のセンサで構成されており、タッチパネル101に貼られて、一体となっている。タッチセンサ104は、縦横2層に並べられた多数の電極列を用いて位置検出を行うことで、複数の指で異なる箇所を同時にタッチしたときに、それら複数のタッチ位置106を同時に検知する。同時に検知できるタッチ位置106の個数は、触覚提示装置1の使用用途において想定される同時タッチ数に合わせて設計されるが、図1は2ヶ所の同時タッチが行われた場合のタッチ位置106\_\_1~2を示している。なお、タッチセンサ104は、想定する個数のタッチ位置106を同時検知できるものであれば、静電容量方式以外のセンサであってもよく、その方式や形態は特に限定されない。

20

【0015】

さらに、タッチパネル101には、画像データを表示できるよう、TFT、有機ELなどの表示パネル（図示しない）が備えられていることもある。表示パネルが備えられている場合は、ボタンやツマミの画像を表示して、ユーザにタッチ操作の方法を直感的に分かりやすく提示することができる。その場合、アクチュエータ103\_\_1~2は、表示領域と干渉しないよう、例えば、タッチパネル101の周辺部に配置される。

30

【0016】

信号処理部105は、演算処理を行うための電気回路であり、内部に、入力部111と、信号算出部112と、出力部113を備える。

【0017】

入力部111は、入力インターフェイスを備えた電気回路であり、タッチセンサ104で検知された2か所のタッチ位置106\_\_1~2と、タッチ位置106\_\_1~2のそれぞれに提示する目標振動107\_\_1~2を表す情報を入力として受ける。

40

【0018】

信号算出部112は、タッチ位置106\_\_1~2に対応して予め設定された目標振動107\_\_1~2及びアクチュエータ103\_\_1~2を介してタッチ位置106\_\_1~2に到達するまでの振動伝達特性を用いて第1駆動電圧信号108\_\_1~2を算出する演算回路である。そして、信号算出部112は、算出した第1駆動電圧信号108\_\_1~2を用いて、アクチュエータ103\_\_1~2のそれぞれに出力する第2駆動電圧信号109\_\_1~2を算出する。

【0019】

50

出力部 113 は、アクチュエータ 103\_\_1 ~ 2 のそれぞれに接続された出力インターフェイスを備えた電気回路であり、信号算出部 112 で算出された第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ 2 をアクチュエータ 103\_\_1 ~ 2 の各々に出力する。

【0020】

アクチュエータ 103\_\_1 ~ 2 に印加できる電圧の範囲は、出力部 113 の回路構成、および、アクチュエータ 103\_\_1 ~ 2 が内部にアンプ回路を含む場合には、そのアンプ回路の構成によって予め制限され、それを越える電圧を出力しようとしても、サチュレーションなどの現象が起きて意図する電圧は出力されない。また、アクチュエータ 103\_\_1 ~ 2 が線形に可動できる範囲も予め決まっており、その可動範囲を越える電圧が印加された場合には、意図する振動をしないだけでなく、誤動作や故障を引き起こす可能性がある。従って、アクチュエータ 103\_\_1 ~ 2 に印加できる電圧値の範囲に制限がある。そこで、信号算出部 112 は、第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ 2 を用いて、アクチュエータ 103\_\_1 ~ 2 が正常動作する電圧範囲に収まる第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ 2 を算出する。

10

【0021】

信号処理部 105 (入力部 111、信号算出部 112、出力部 113) は、例えば、汎用 DSP (Digital Signal Processor)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、メモリ、HDD (Hard Disk Drive)、入出力インターフェイス回路、それらを結合するバス回路、アナログ信号の入出力を行うための AD コンバータ、DA コンバータ、アナログフィルタ回路、増幅回路、DSP の動作を記述したソフトウェアなどの組合せで構成される。このような信号入出力と演算処理の機能は、様々なハードウェア、ソフトウェアの組合せで実現することが可能であり、その機能が実現される限り、具体的な構成は特に限定されない。

20

【0022】

なお、図 1 の触覚提示装置 1 は、タッチ位置 106 が 2 か所、アクチュエータ 103 の個数が 2 個の構成を示しており、上記の説明はこの構成に合せて行ったが、本発明はこの構成に限定されるものではない。タッチ位置 106 は 1 か所であってもよいし、2 か所より多くてもよい。また同様に、アクチュエータ 103 が 1 個の構成もあり得るし、2 個より多い構成もあり得る。その場合は、M、N をそれぞれ 1 以上の整数として、タッチセンサ 104 は、M か所以上のタッチ位置を同時検知できる機能を有しタッチ位置 106\_\_1 ~ M を検知する構成となる。

30

【0023】

入力部 111 は、タッチセンサ 104 で検知された M か所のタッチ位置 106\_\_1 ~ M と、タッチ位置 106\_\_1 ~ M のそれぞれに提示する目標振動 107\_\_1 ~ M の情報を受け取る構成となる。信号算出部 112 は、タッチ位置 106\_\_1 ~ M と、タッチ位置 106\_\_1 ~ M のそれぞれに提示する目標振動 107\_\_1 ~ M から N 個の第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N 及び第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N を算出する構成となる。出力部 113 は、アクチュエータ 103\_\_1 ~ N のそれぞれに接続されており、信号算出部 112 で算出された第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N をアクチュエータ 103\_\_1 ~ N の各々に出力する構成となる。この場合も、第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N が取り得る電圧値の範囲には制限があり、アクチュエータ 103\_\_1 ~ N が正常動作する電圧範囲に収まるように算出される。

40

【0024】

以下の動作の説明では、M、N を 1 以上の整数とし、M か所のタッチ位置 106\_\_1 ~ M、N 個のアクチュエータ 103\_\_1 ~ N に一般化して説明を行う。また、 $m = 1 \sim M$ 、 $n = 1 \sim N$  とする。

【0025】

<動作>

50

次に、実施の形態 1 の触覚提示装置 1 の動作、すなわち触覚提示方法を説明する。

【0026】

ユーザが、タッチパネル 101 を指でタッチすると、タッチパネル 101 に貼り付けられたタッチセンサ 104 が、タッチ位置 106 を検知する。ここでは、タッチパネル 101 上の M か所のタッチ位置 106 \_\_ 1 ~ M が検知されるものとする。

【0027】

信号処理部 105 は、入力部 111 において、タッチセンサ 104 が検知したタッチ位置 106 \_\_ 1 ~ M と、タッチ位置 106 \_\_ 1 ~ M のそれぞれに提示すべき目標振動 107 \_\_ 1 ~ M を情報として受け取る。

【0028】

どのタッチ位置 106 \_\_ 1 ~ M にどのような波形の振動を提示するか、という点については、提供しようとするユーザインターフェイスの仕様に応じて、予め決定されている。図 2 は、実施の形態 1 の目標振動 107 の時間波形の例を示すグラフである。

【0029】

例えば、タッチ位置 106 が、ボタンの表示位置である場合には、ボタンを押下したときのようなクリック感のあるキレのよい単発の刺激が適している。そのため、図 2 (A) に示すような、急峻に変化する継続時間の短い波形の振動が目標振動 107 に設定される。図 2 (A) は、周波数 200 Hz の正弦波 1 周期分の波形である。この波形は、周波数 200 Hz の正弦波に長さ 1 周期分の矩形波を包絡波形として乗じて算出される。

【0030】

また、同じ単発の刺激であっても、少し穏やかな触覚刺激を提示する場合には、図 2 (B) に示すような、なだらかに変化する継続時間のやや長い波形の振動が目標振動 107 に設定される。図 2 (B) は、周波数 200 Hz の正弦波に、その数周期分に渡るなだらかな包絡波形を乗じた波形である。

【0031】

また、タッチ位置 106 が、スライドバーの表示位置である場合には、スライドバーの動きに合わせて、クリックが連続的に繰り返す刺激が適している。そのため、図 2 (C) に示すような、ピークが繰り返す波形の振動が目標振動 107 に設定される。図 2 (C) の波形は、周波数 200 Hz の正弦波 1 周期分の波形が一定間隔で繰り返す波形である。

【0032】

また、タッチ操作に対して何らかの警告を発する場合にも、ユーザの注意を引くために鋭いクリックが繰り返すような刺激が適しており、図 2 (C) に示すような波形の振動が目標振動 107 に設定される。

【0033】

また、操作オブジェクトが何も無い位置をタッチした場合には、振動が提示されないこの場合には、図 2 (D) に示すような、どの時刻においても大きさが 0 となる波形の振動が目標振動 107 に設定される。

【0034】

また、画面に表示される操作オブジェクトの配置や種類が変われば、それに応じて、タッチ位置 106 と目標振動 107 の対応も変更される。

【0035】

つまり、タッチ位置 106 と目標振動 107 の対応は、ユーザにどのような意図で触覚刺激を提示しようとするかによって異なり、本実施の形態の触覚提示装置 1 を用いたアプリケーションソフトウェアを設計する中で、意図する機能をユーザに提示できるように設定されるものである。そして、その対応に基づき、触覚提示装置 1 の外部において決定された目標振動 107 \_\_ 1 ~ M の情報が、触覚提示装置 1 に入力される。

【0036】

ここでは、目標振動 107 \_\_ 1 を、図 2 (A) に示した、周波数 200 Hz の正弦波 1 周期分の時間波形の振動、目標振動 107 \_\_ 2 ~ M を、図 2 (D) に示した、どの時刻においても大きさが 0 の時間波形の振動とする。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 7 】

なお、入力される目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M は、目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M の波形データそのものが入力される構成であってもよいし、目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M の識別子が入力される構成であってもよい。目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M の識別子が入力される構成の場合には、目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M として使用される各種の時間波形が、信号算出部 1 1 2 内に備えられた不揮発性メモリなどの記憶装置（図示しない）に予め格納されており、入力された目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M の識別子に対応する時間波形が選択される。

## 【 0 0 3 8 】

また、後述するが、振動加速度に対する人間の指の感度特性が 3 0 0 H z 以下の周波数において高く、特に 2 0 0 H z 付近の感度特性が高いことが知られている。

そのため、図 2 ( A ) ~ ( C ) に示した波形は、いずれも周波数 2 0 0 H z の正弦波を何らかの包絡波形で変調した波形であり、2 0 0 H z 付近の周波数成分を多く含む。ここでは、変調とは、所定の周波数の正弦波に何らかの包絡波形を乗じることが示す。図 2 ( D ) の波形も、周波数 2 0 0 H z の正弦波に 0 を乗じて得られる波形であり、周波数 2 0 0 H z の正弦波を変調した波形とみなすことができる。

## 【 0 0 3 9 】

入力部 1 1 1 に、タッチ位置 1 0 6 \_\_ 1 ~ M と目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M を示す情報が入力されると、信号算出部 1 1 2 は、後述する S T E P 1 ~ 4 の手順に従い、第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 ~ N 及び第 2 駆動電圧信号 1 0 9 \_\_ 1 ~ N を算出する。

## 【 0 0 4 0 】

ここで、S T E P 1 ~ 4 の説明の準備のため、信号算出部 1 1 2 におけるデータ・演算の扱いについて述べる。

## 【 0 0 4 1 】

信号算出部 1 1 2 では、後述する  $x_m(t)$ 、 $g_{mn}(t)$  のような、演算に使用される時系列データは全て、標本化されたデジタルデータとして扱われるものとし、その標本化周波数を 2 0 4 8 H z とする。つまり、 $t$  は 1 / 2 0 4 8 秒刻みの離散的な値をとる時刻のインデックスである。標本化されたデータは、標本化周波数の 1 / 2 の周波数までの情報を保持できることが標本化定理として知られている。従って、標本化周波数が 2 0 4 8 H z であれば、約 1 k H z までの帯域を保持することが可能であり、2 0 0 H z を中心とした振動の時間波形を扱うのには充分である。

## 【 0 0 4 2 】

また、時系列データの各数値もデジタル化されるが、大きな演算誤差が発生しないよう十分な精度を持ったデータ型で扱われる。例えば、倍精度浮動小数点型のデータとすることで、演算誤差を十分に小さく抑えることが可能である。ここでは、倍精度浮動小数点型のデータとして保持されるものとする。

## 【 0 0 4 3 】

また、本実施の形態では、時系列データを、適宜、周波数領域でのデータに変換して説明を行うが、時間領域のデータと周波数領域のデータは、離散フーリエ変換・逆離散フーリエ変換によって相互に変換可能であり、どちらの領域でデータの格納や演算を行っても本質的な違いは生じない。つまり、時間領域および周波数領域のデータが離散フーリエ変換・逆離散フーリエ変換によって適切に関連付けられている限り、いずれの領域においても等価な演算を行うことができ、本発明の構成は、本実施の形態で説明するデータの格納や演算の方法に限定されるものではない。

## 【 0 0 4 4 】

また、目標振動 1 0 7 \_\_  $m$  ( $m = 1 \sim M$ ) の時間波形を、 $x_m(t)$  と表す。 $x_m(t)$  は時刻  $t$  における振動加速度の値である。

## 【 0 0 4 5 】

また、アクチュエータ 1 0 3 \_\_  $n$  ( $n = 1 \sim N$ ) を介してタッチ位置 1 0 6 \_\_  $m$  ( $m = 1 \sim M$ ) に伝達する振動伝達特性の時間波形を、 $g_{mn}(t)$  と表す。 $g_{mn}(t)$  は、時刻 0 において単位インパルスの電圧をアクチュエータ 1 0 3 \_\_  $n$  に印加したときにタッチ

10

20

30

40

50

位置 106\_\_m に生じる振動加速度の時刻 t における値である。

【0046】

振動伝達特性は、参照信号の電圧を各アクチュエータに印加し、その応答としてタッチ位置に生じる振動を計測して算出することが可能である。参照信号には、ホワイトノイズ、インパルス、TSP (Time Stretched Pulse) などの広帯域の信号が一般的に用いられる。計測箇所については、例えば、タッチ位置 106\_\_1 ~ M の候補となる位置を、タッチパネル 101 上の、タッチ操作が想定される領域に格子状に設定し、アクチュエータ 103\_\_1 ~ N の各々と各格子点との全ての組合せにおいて、予め伝達特性のデータを計測しておく。計測した振動伝達特性データは、信号算出部 112 に備えられた不揮発性メモリなどの記憶装置 (図示しない) に予め格納されており、タッチ位置 106\_\_1 ~ M に該当する格子点の振動伝達特性のデータが第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N の算出に用いられる。実際のタッチ位置 106\_\_1 ~ M が、計測した伝達特性の格子点の位置と異なる場合には、タッチ位置 106\_\_1 ~ M に最も近い格子点への振動伝達特性を、そのタッチ位置 106\_\_1 ~ M への伝達特性として使用してもよい。また、タッチ位置 106\_\_1 ~ M の周辺のいくつかの格子点への伝達特性から補間してそのタッチ位置 106\_\_1 ~ M への伝達特性を求めてもよい。

10

【0047】

格子点の間隔は、狭いほど、実際のタッチ位置 106\_\_1 ~ M との差が生じにくいので望ましいが、指先の大きさを考慮すれば、1 cm 以下であれば充分である。また、格納される振動伝達特性データの時間幅は、その時間波形が途中で切れることなく、十分に収束する時間幅であればよい。振動伝達特性の時間波形が収束する時間は、タッチパネル 101、それを支持する筐体 102 やシリコンゴム (図示しない) などの振動系の特性によって決まるため、振動伝達特性データの時間幅は、触覚提示装置 1 が有する振動系の特性に合わせて設定される。ここではその時間幅を 1 秒とする。このとき、標本化周波数が 2048 Hz であるため、格納される振動伝達特性データの 1 つの時間波形の標本数 (時系列データの数値の個数) は 2048 個となる。

20

【0048】

<STEP 1>

STEP 1 では、信号算出部 112 は、目標振動 107\_\_1 ~ M の時間波形とアクチュエータ 103\_\_1 ~ N を介してタッチ位置 106\_\_1 ~ M に到達するまでの振動伝達特性から、第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N を算出する。

30

【0049】

第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N は、アクチュエータ 103\_\_1 ~ N のそれぞれに対して算出され、ここでは、その時間波形を  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) と表す。 $z_n(t)$  は時刻 t における駆動電圧の値である。ここでも、t は 1 / 2048 秒刻みの離散的な値をとる時刻のインデックスであり、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  は、標本化周波数 2048 Hz で標本化されたデジタルデータである。

【0050】

第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  は、次のように算出される。まず、振動伝達特性の時間波形  $g_{mn}(t)$  ( $m = 1 \sim M, n = 1 \sim N$ ) を離散フーリエ変換によって周波数領域のデータに変換する。変換後の振動伝達特性を  $G_{mn}(f)$  と表す。 $G_{mn}(f)$  ( $m = 1 \sim M, n = 1 \sim N$ ) は、振動伝達特性の周波数 f における成分の振幅 (大きさ) と位相を表した複素数である。ここで、f は周波数を表すインデックスである。f は、時刻のインデックス t と離散フーリエ変換によって関連付けられ、0 Hz から (標本化周波数 / 標本数) Hz 刻みで (標本数 / 2 + 1) 個の離散的な値をとる、ここでは、標本化周波数が 2048 Hz、時間波形の標本数が 2048 個であるので、0 Hz から 1 Hz 刻みに 1024 Hz までの 1025 個の値をとる。

40

【0051】

次に、 $[G_{mn}(f)]$  の逆特性を有する行列  $[H_{nm}(f)]$  を、周波数 f ごとに算出する。なお、 $[A_{mn}]$  は  $A_{mn}$  を第 m 行、第 n 列の要素とする行列を表すものとする。従

50

って、 $[G_{mn}(f)]$ は $G_{mn}(f)$  ( $m = 1 \sim M$ 、 $n = 1 \sim N$ )を第 $m$ 行、第 $n$ 列の要素とする $M$ 行 $N$ 列の行列であり、 $[H_{nm}(f)]$ は $H_{nm}(f)$  ( $n = 1 \sim N$ 、 $m = 1 \sim M$ )を第 $n$ 行、第 $m$ 列の要素とする $N$ 行 $M$ 列の行列である。

【0052】

ここで、 $[G_{mn}(f)]$ の逆特性を有する行列とは、 $[G_{mn}(f)]$ を打ち消すような特性の行列のことであり、 $[G_{mn}(f)] \times [H_{nm}(f)]$ が単位行列に近くなるような行列のことである。例えば、タッチ位置106\_\_1~Mの個数 $M$ と、アクチュエータ103\_\_1~Nの個数 $N$ が同じ、すなわち、 $M = N$ の場合には、 $[H_{nm}(f)]$ は $[G_{mn}(f)]$ の逆行列として求めることができる。また、タッチ位置106\_\_1~Mの個数 $M$ と、アクチュエータ103\_\_1~Nの個数 $N$ が一致しない場合には、逆行列 $[H_{nm}(f)]$ は、一般化逆行列として求めることが可能である。 $[H_{nm}(f)]$ を一般化逆行列とすることで、

10

$N > M$ であれば、 $[G_{mn}(f)] \times [H_{nm}(f)]$ が単位行列となるような行列を算出することが可能であり、 $M > N$ の場合には、厳密な逆行列を求めることはできないが、近似的に逆特性を有する行列を算出することが可能である。

【0053】

また、タッチ位置106\_\_1~Mの個数 $M$ と、アクチュエータ103\_\_1~Nの個数 $N$ が同じであっても、 $[G_{mn}(f)]$ がランク落ちによって逆行列を持たないこともある。その場合は、逆行列 $[H_{nm}(f)]$ を一般化逆行列として求めてもよいし、 $[cI + G_{mn}(f)]$ の逆行列として求めてもよい。ここで、 $I$ は単位行列、 $c$ は定数であり、 $cI$ を加算して逆行列を求める手法は、ランク落ちによる逆行列の発散を防ぐ手法として知られている。この場合も、厳密解を得ることはできないが、近似的に逆特性を有する行列を算出することができる。

20

【0054】

以上のように、 $[H_{nm}(f)]$ は、近似解を含めると一般に知られた多くの手法を用いて求めることが可能であり、 $[G_{mn}(f)]$ を打ち消すような特性の行列になっている限り、その求め方は特に限定されるものではない。但し、アクチュエータ103\_\_1~Nの個数 $N$ が、タッチ位置の個数 $M$ と比べて少ない場合には、 $[H_{nm}(f)]$ の逆特性としての精度が大きく劣化することがある。算出した $[H_{nm}(f)]$ が $[G_{mn}(f)]$ の良好な逆特性を有するようにするには、アクチュエータ103\_\_1~Nの個数 $N$ はタッチ位置106\_\_1~Mの個数 $M$ 以上の構成とするのがよい。

30

【0055】

次に、算出した逆特性 $H_{nm}(f)$  ( $n = 1 \sim N$ 、 $m = 1 \sim M$ )を、逆離散フーリエ変換により時間領域のデータに変換する。変換後の逆特性の時間波形を $h_{nm}(t)$ と表す。ここでも、 $t$ は時刻を表すインデックスであり、周波数のインデックス $f$ と逆離散フーリエ変換によって関連付けられ、1/2048秒刻みに2048個の値をとる。

【0056】

さらに、算出した $h_{nm}(t)$  ( $n = 1 \sim N$ 、 $m = 1 \sim M$ )と、目標振動の時間波形 $x_m(t)$  ( $m = 1 \sim M$ )を用いて、 $[z_n(t)] = [h_{nm}(t)] * [x_m(t)]$ の演算を行い、第1駆動電圧信号 $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ )を算出する。

40

【0057】

ここで、 $[B_n]$ は $B_n$ を第 $n$ 番目の要素とするベクトルを表すものとする。従って、 $[x_m(t)]$ は $x_m(t)$  ( $m = 1 \sim M$ )を第 $m$ 番目の要素とする $M$ 要素のベクトルであり、 $[z_n(t)]$ は $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ )を第 $n$ 番目の要素とする $N$ 要素のベクトルである。また、 $*$ は畳み込み演算であり、式1に従う演算を表す。

$$\text{式1 } f(t) * g(t) = \sum_{k=1}^K f(\tau_k) \times g(t - \tau_k)$$

【0058】

50

式 1 において、 $K$  は  $f(t)$  の標本数、 $t_k$  は  $f(t)$  の  $k$  番目の標本の時刻を表す。  
\* が行列演算に適用された場合は、式 2 に従って演算を行う。

【 0 0 5 9 】

$$\text{式 2} \quad [h_{nm}(t)] * [x_m(t)] = \left[ \sum_{m=1}^M h_{nm}(t) * x_m(t) \right]$$

【 0 0 6 0 】

以上のようにして、信号算出部 1 1 2 は第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) を算出する。

10

【 0 0 6 1 】

なお、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) をアクチュエータ 1 0 3 \_\_ 1 ~ N のそれぞれに印加したとすると、タッチ位置 1 0 6 \_\_ 1 ~ M のそれぞれに生じる振動加速度  $y_m(t)$  ( $m = 1 \sim M$ ) は、印加した第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) に、アクチュエータ 1 0 3 \_\_ n からタッチ位置 1 0 6 \_\_ m までの振動伝達特性  $g_{mn}(t)$  が畳み込まれた振動が、 $n = 1 \sim N$  の全ての  $n$  について重ね合わさったものとなるので、 $[y_m(t)] = [g_{mn}(t)] * [z_n(t)] = [g_{mn}(t)] * [h_{nm}(t)] * [x_m(t)]$  となる。

【 0 0 6 2 】

$[H_{nm}(f)]$  は振動伝達特性行列  $[G_{mn}(f)]$  の逆特性を有する行列であり、周波数領域での乗算は、時間領域での畳み込み演算に対応するので、 $[g_{mn}(t)]$  と  $[h_{nm}(t)]$  を畳み込むことによって両者の特性が打ち消しあい、タッチ位置 1 0 6 \_\_ m ( $m = 1 \sim M$ ) に生じる振動加速度  $y_m(t)$  は目標とする振動加速度  $x_m(t)$  と概ね一致する。つまり、算出した第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) は、タッチ位置 1 0 6 \_\_ m ( $m = 1 \sim M$ ) に目標振動の時間波形  $x_m(t)$  の振動加速度を、できる限り精度よく提示するように算出された駆動電圧信号である。

20

【 0 0 6 3 】

< S T E P 2 >

S T E P 2 では、信号算出部 1 1 2 は、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) を所定の周波数  $F_b$  未満の低域側の第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分と周波数  $F_b$  以上の高域側の第 2 周波数帯域 1 1 5 の成分に分離する。

30

【 0 0 6 4 】

周波数  $F_b$  は、目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M の主たる成分の周波数よりも低い周波数に設定する。ここでは、目標振動 1 0 7 \_\_ 1 が、200 Hz の正弦波に包絡波形を乗じた波形であり、200 Hz を中心として大きな周波数成分を有することから、周波数  $F_b$  を 200 Hz よりも低い 100 Hz とする。

【 0 0 6 5 】

ここで、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) から分離した第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分の時間波形を  $z_{1n}(t)$ 、第 2 周波数帯域 1 1 5 の成分の時間波形を  $z_{2n}(t)$  とする。また、第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分を分離する第 1 分離フィルタの時間波形を  $w_1(t)$ 、第 2 周波数帯域 1 1 5 の成分を分離する第 2 分離フィルタの時間波形を  $w_2(t)$  とする。図 3 は実施の形態 1 の第 1 分離フィルタの時間波形  $w_1(t)$  と第 2 分離フィルタの時間波形  $w_2(t)$  の周波数特性を表すグラフである。図 3 の実線は第 1 分離フィルタの時間波形  $w_1(t)$  の周波数特性、図 3 の破線は第 2 分離フィルタ  $w_2(t)$  の周波数特性を表している。

40

【 0 0 6 6 】

第 1 分離フィルタの時間波形  $w_1(t)$  の周波数特性は、周波数  $F_b$  未満の第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分を通過し、周波数  $F_b$  以上の第 2 周波数帯域 1 1 5 を遮断する特性である。第 2 分離フィルタの時間波形  $w_2(t)$  の周波数特性は、周波数  $F_b$  未満の第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分を遮断し、周波数  $F_b$  以上の第 2 周波数帯域 1 1 5 を通過する特性で

50

ある。

【0067】

第1分離フィルタと第2分離フィルタは、周波数 $F_b$ を境にして高域または低域の成分を完全に通過または遮断する必要はなく、ある程度の帯域幅においてお互いに重なりあう特性となっている。但し、第1周波数帯域114では第1分離フィルタの方のゲインが大きく、第2周波数帯域115では第2分離フィルタの方のゲインが大きい。また、両者の通過ゲインの和は全ての周波数において1となるようになっている。

【0068】

時間波形 $z_{1n}(t)$ 、 $z_{2n}(t)$ は、第1分離フィルタの時間波形 $w_1(t)$ 、第2分離フィルタの時間波形 $w_2(t)$ を用いて、次のように算出される。第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ に第1分離フィルタの時間波形 $w_1(t)$ を畳み込み、得られる時間波形を $z_{1n}(t)$ とする。また、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ に第2分離フィルタの時間波形 $w_2(t)$ を畳み込み、得られる時間波形を $z_{2n}(t)$ とする。

10

【0069】

このとき、 $z_{1n}(t)$ は、 $z_n(t)$ の第1周波数帯域114の成分を主とする時間波形であり、 $z_{2n}(t)$ は、 $z_n(t)$ の第2周波数帯域115の成分を主とする時間波形であり、 $w_1(t)$ と $w_2(t)$ の通過ゲインの和は全ての周波数において1となるので、 $z_{1n}(t)$ と $z_{2n}(t)$ を加算した波形は $z_n(t)$ と等しくなる。

【0070】

<STEP3>

STEP3では、信号算出部112は、 $z_{1n}(t)$  ( $n=1\sim N$ )と $z_{2n}(t)$  ( $n=1\sim N$ )を合成して第2駆動電圧信号109\_\_1~Nを算出するための合成係数を決定する。

20

【0071】

第2駆動電圧信号109\_\_n ( $n=1\sim N$ )の時間波形を $y_n(t)$ とし、 $y_n(t)$ は $z_{1n}(t)$ と $z_{2n}(t)$ の線形和、つまり、 $y_n(t) = z_{1n}(t) + z_{2n}(t)$ で表されるものとする。

【0072】

また、第2駆動電圧信号109\_\_1~Nが取り得る電圧(絶対値)の上限を $V_{max}$ とする。ここでは、 $V_{max}$ は装置の定格電圧値、もしくは、アクチュエータ103\_\_1~Nが線形駆動可能な電圧の上限値に設定する。

30

【0073】

<合成係数、の決定手順>

$\alpha = 1$ 、 $\beta = 1$ の時は、第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ が第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ に等しくなるが、この状態から、 $\alpha$ 、 $\beta$ がいずれも0以上の範囲において $\alpha$ を優先して低減し、 $n=1\sim N$ の全ての $n$ において、 $z_{1n}(t) + z_{2n}(t)$ が $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲に収まるように合成係数 $\alpha$ 、 $\beta$ を決定する。このとき、 $\alpha$ が優先して低減されるため、 $\beta$ となる。

【0074】

図4は、実施の形態1における第1駆動電圧信号108と第2駆動電圧信号109の周波数特性の関係を表すグラフである。第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$  ( $n=1\sim N$ )と、これに対応する第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ の周波数特性の関係を示している。破線のグラフが第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ の周波数特性、実線のグラフが第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ の周波数特性である。第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ は、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ の第1周波数帯域114の成分を $\alpha$ 倍に、第2駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ の第2周波数帯域115の成分を $\beta$ 倍にした信号である。であるため、第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ は、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ の第1周波数帯域114の成分を第2周波数帯域115の成分よりも大きく低減した信号となる。

40

【0075】

50

以下では、合成係数  $\alpha_n$ 、 $\beta_n$  の具体的な決定手順の例を説明する。

まず、信号算出部 112 は、 $\alpha_n = 1$ 、 $\beta_n = 1$  とし、仮の第 2 駆動電圧信号の時間波形  $y_n(t) = z_{1n}(t) + z_{2n}(t)$  を算出する。  $n = 1 \sim N$  の全ての  $n$  において、 $y_n(t)$  が  $-V_{max}$  以上  $+V_{max}$  以下の範囲に収まっていれば、 $\alpha_n = 1$ 、 $\beta_n = 1$  とする。この場合、 $y_n(t)$  は  $z_n(t)$  に等しくなるので、第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N と第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N は等しい。

【0076】

仮の第 2 駆動電圧信号の時間波形  $y_n(t)$  が  $-V_{max}$  以上  $+V_{max}$  以下の範囲に収まっていない場合は、 $\alpha_n$  は 1 のままにして、 $\beta_n$  を 1 から減少させ、 $n = 1 \sim N$  の全ての  $n$  において、 $y_n(t)$  が  $-V_{max}$  以上  $+V_{max}$  以下の範囲に収まったときの  $\beta_n$  の値を採用する。

10

【0077】

$\beta_n = 0$  となっても、 $y_n(t)$  が  $-V_{max}$  以上  $+V_{max}$  以下の範囲に収まらない場合は、 $\alpha_n$  は 0 のままにして、 $\beta_n$  を 1 から減少させ、 $n = 1 \sim N$  の全ての  $n$  において、 $y_n(t)$  が  $-V_{max}$  以上  $+V_{max}$  以下の範囲に収まったときの  $\alpha_n$  の値を採用する。

以上の手順によって、合成係数  $\alpha_n$ 、 $\beta_n$  が決定される。

【0078】

<STEP 4>

STEP 4 では、信号算出部 112 は、第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N を算出する。

具体的には、STEP 3 で決定した  $\alpha_n$ 、 $\beta_n$  を用いて、第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N の時間波形  $y_n(t)$  を  $y_n(t) = \alpha_n z_{1n}(t) + \beta_n z_{2n}(t)$  に従い算出する。

20

【0079】

ここで、 $\alpha_n = 1$ 、 $\beta_n = 1$  の場合は、第 2 駆動電圧信号の時間波形  $y_n(t)$  は第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  と等しくなる。

また、 $\alpha_n < 1$  の場合は、第 2 駆動電圧信号の時間波形  $y_n(t)$  は、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  を、第 2 周波数帯域 115 の成分に比べて第 1 周波数帯域 114 の成分を大きく低減した信号となる。

【0080】

以上の STEP 1 ~ 4 の処理によって、信号算出部 112 において、第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N が算出された。

30

【0081】

信号算出部 112 により第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N が算出されると、信号処理部 105 の出力部 113 は、第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N で、対応するアクチュエータ 103\_\_1 ~ N をそれぞれ駆動する。

【0082】

駆動されたアクチュエータ 103\_\_1 ~ N は、取り付けられたそれぞれの位置において、タッチパネル 101 を加振し、タッチパネル 101 上に生じたそれぞれの振動がタッチ位置 106\_\_1 ~ M のそれぞれに伝播して振動による触覚刺激が提示される。

【0083】

このとき、 $\alpha_n = 1$ 、 $\beta_n = 1$  の場合には、第 2 駆動電圧信号の時間波形  $y_n(t)$  が第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  と等しいので、タッチ位置 106\_\_m ( $m = 1 \sim M$ ) に提示される振動加速度は、目標振動の時間波形  $x_m(t)$  と概ね一致した時間波形となる。また、 $\alpha_n < 1$  の場合には、第 2 駆動電圧信号の時間波形  $y_n(t)$  が、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  の第 1 周波数帯域 114 の成分を、第 2 周波数帯域 115 の成分に比べて低減した信号となるので、タッチ位置 106\_\_m ( $m = 1 \sim M$ ) に提示される振動加速度は、目標振動の時間波形  $x_m(t)$  の第 1 周波数帯域 114 の成分を、第 2 周波数帯域 115 の成分に比べて同様に低減した波形となる。

40

【0084】

<作用・効果>

実施の形態 1 の触覚提示装置 1 の作用と効果を説明する。

50

比較のため、まず、第2駆動電圧信号109\_\_1~Nに第1駆動電圧信号108\_\_1~Nを用いる構成を考える。この構成では、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$  ( $n=1\sim N$ )が $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲を超えると、アンプ回路内部におけるサチュレーションや、アクチュエータ103\_\_nの非線形な動作が生じ、意図する振動を提示できないだけでなく、誤動作や故障を引き起こす可能性がある。従って、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ をそのまま第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ とすることはできない。

#### 【0085】

そこで、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$  ( $n=1\sim N$ )のレベルを下げて、これを第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ に用いる構成を考える。この構成では、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ のレベルを $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲に収まるまで下げて、これを第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ とすれば、誤動作や故障は回避することができる。しかし、提示される振動も目標振動の時間波形 $x_m(t)$  ( $m=1\sim M$ )のレベルを同じだけ下げたものとなり、意図した触覚刺激よりも弱い触覚刺激しか提示できない。例えば、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ の最大電圧が、 $V_{max}$ の2倍の値だとすると、 $z_n(t)$ の $(1/2)$ 倍の信号を第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ とすれば $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲に収めることができる。しかし、このとき提示される振動は、 $x_m(t)$ の $(1/2)$ 倍の大きさの振動になってしまう。

#### 【0086】

この点に関して、本発明の触覚提示装置1では以下のような効果が得られる。まず、図2に示したような目標振動の時間波形 $x_m(t)$ は、200Hzの正弦波に包絡波形を乗じて生成された波形である。このような波形を使用するのは、触覚感度のよい振動の周波数である200Hz付近の成分を多く含み、ユーザに明確な触覚刺激を提示しやすいからである。しかしながら、短時間に変動する波形であるため、200Hz付近以外にも広い帯域の周波数成分を含み、200Hzよりも低域側にも成分を有している。

#### 【0087】

図5は、実施の形態1の目標振動107\_\_1を表すグラフであり、目標振動107\_\_1の時間波形を図5(A)に、その周波数特性を図5(B)に示す。図5(A)は、図2(A)とは横軸のスケールが異なるが、同一の波形を表したグラフである。目標振動107\_\_1は、周波数200Hzの正弦波1周期分の時間波形であり、200Hz付近に周波数ピークを有するが、第1周波数帯域114を含む、それ以外の帯域にも広く周波数成分を持つことが分かる。

#### 【0088】

一方、タッチパネル101のような機械振動系における振動加速度のゲインは、共振周波数より低域側では周波数が $1/2$ 倍になるとに12dB低下することが一般的に知られており、低域ほど急激にゲインが小さくなる性質がある。図6は、触覚提示装置1における振動伝達特性の一例を示すグラフである。概ね300Hz以下の帯域において、周波数が低くなるほどゲインが低下し、特に100Hz以下の第1周波数帯域114において急激なゲインの落ち込みが見られる。

#### 【0089】

このとき、目標振動の時間波形 $x_m(t)$  ( $m=1\sim M$ )に含まれる第1周波数帯域114の成分を精度よく提示しようとする、機械振動系のゲインの小ささを補うように、第1駆動電圧信号108\_\_1~Nの第1周波数帯域114の成分を大きくする必要が生じる。このことが第1駆動電圧信号108\_\_1~Nを大きくする原因となっている。別の言い方をすると、第1周波数帯域114において、振動伝達特性の行列 $[G_{mn}(f)]$ の要素は値が小さくなる傾向があり、これを補うように、その逆特性を有する行列 $[H_{nm}(f)]$ の要素は値が大きくなるので、 $[h_{nm}(t)]$ と $[x_m(t)]$ の畳み込み、すなわち、周波数領域における $x_m(t)$ を $X_m(f)$ として、 $[H_{nm}(f)]$ と $[X_m(f)]$ の積として算出される第1駆動電圧信号108\_\_1~Nも第1周波数帯域114において大きな値となりやすい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 0 】

図 7 は、実施の形態 1 の第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 を表すグラフである。図 5 に示す目標振動 1 0 7 \_\_ 1 を用いて算出された第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 の時間波形を図 7 ( A ) に、その周波数特性を図 7 ( B ) に例として示す。図 5 ( B ) に示された目標振動 1 0 7 \_\_ 1 は 2 0 0 H z 付近にピークを有するにも拘わらず、図 7 ( B ) に示された第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 では、2 0 0 H z よりも低い第 1 周波数帯域 1 1 4 の 8 0 H z 付近の周波数にピークが生じていることが分かる。

## 【 0 0 9 1 】

これに対し、目標振動 1 0 7 \_\_ 1 の周波数ピークは 2 0 0 H z 付近に存在し、この帯域は振動に対する触覚感度の高い帯域でもあるから、目標振動の 2 0 0 H z 付近の成分に大きな変化がなければ、提示される振動波形に生じる歪みや触覚刺激への影響は小さい。

10

## 【 0 0 9 2 】

そこで、本実施の形態の触覚提示装置 1 では、周波数  $F_b$  を、目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M の主たる成分の周波数よりも低い周波数に設定し、周波数  $F_b$  未満の低域の第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分を優先的に低減しながら、周波数  $F_b$  以上の高域の第 2 周波数帯域 1 1 5 の成分をできる限り低減せずに保持する。

## 【 0 0 9 3 】

これにより、目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M の主たる成分が第 2 周波数帯域 1 1 5 に含まれ、提示される振動波形に生じる歪みが抑えられるという効果が得られる。また同時に、第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 ~ N において大きくなりがちな低域成分は第 1 周波数帯域 1 1 4 に含まれ、これを低減することで、第 2 駆動電圧信号 1 0 9 \_\_ 1 ~ N の最大電圧を効率的に抑えられるという効果が得られる。このとき、目標振動 1 0 7 \_\_ 1 ~ M において、第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分は主たる成分ではないので、この成分を低減しても提示される振動波形への影響は小さい。

20

## 【 0 0 9 4 】

図 8 は、実施の形態 1 の第 2 駆動電圧信号 1 0 9 \_\_ 1 を表すグラフである。図 7 に示す第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 を用いて算出された第 2 駆動電圧信号 1 0 9 \_\_ 1 の時間波形を図 8 ( A ) に、その周波数特性を図 8 ( B ) に例として示す。

## 【 0 0 9 5 】

図 7 ( B ) と図 8 ( B ) を比較すると、本実施の形態による第 2 駆動電圧信号 1 0 9 \_\_ 1 は、周波数  $F_b$  として設定した 1 0 0 H z 未満の第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分が低減されている。このとき、図 7 ( A ) と図 8 ( A ) を比較すると、第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 の時間波形の最大電圧は約 1 2 V、第 2 駆動電圧信号 1 0 9 \_\_ 1 の時間波形の最大電圧は約 3 V であり、第 2 駆動電圧信号 1 0 9 \_\_ 1 の方が第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 より、最大電圧が小さく抑えられていることが分かる。つまり、第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 の第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分を低減することで、第 2 駆動電圧信号 1 0 9 \_\_ 1 はその時間波形の最大電圧を大きく低減できている。

30

## 【 0 0 9 6 】

また、図 7 ( A ) と図 8 ( A ) には、電圧の上限値  $V_{max}$  が 8 V であるときの駆動可能な電圧範囲が書き入れてある。第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 は、この電圧範囲を逸脱しているため、アクチュエータ 1 0 3 \_\_ 1 に印加することができないが、第 2 駆動電圧信号 1 0 9 \_\_ 1 は、この電圧範囲に収まっているため、アクチュエータ 1 0 3 \_\_ 1 を駆動することができる。

40

## 【 0 0 9 7 】

図 9 は、比較例に係る触覚提示装置のタッチ位置 1 0 6 \_\_ 1 に提示される振動の一例を表すグラフである。図 9 は、電圧の上限がないとして、図 7 に示した第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 を用いたときに提示される振動加速度の時間波形の例を図 9 ( A ) に、その周波数特性を図 9 ( B ) に示す。図 9 ( A ) と図 5 ( A ) を比較すると、第 1 駆動電圧信号 1 0 8 \_\_ 1 を用いたときには、目標とした振動の波形を精度よく提示できていることが分かる。

50

## 【 0 0 9 8 】

図 10 は、実施の形態 1 のタッチ位置 106\_\_1 に提示される振動の一例を表すグラフである。図 10 ( A ) は、図 8 に示した第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 を用いたときに提示される振動加速度の時間波形であり、その周波数特性を図 10 ( B ) に示す。図 10 ( B ) の振動加速度の周波数特性は、図 9 ( B ) と比べて、周波数  $F_b$  として設定した 100 Hz 未満の第 1 周波数帯域 114 の成分が低減されている。しかし、図 10 ( A ) に示したこの振動加速度の時間波形は、図 5 ( A ) に示した目標振動の波形  $x_m(t)$  や図 10 ( A ) に示した第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 による提示波形と比べて、やや歪んではいるものの波形は概ね同じであり、その大きさもほとんど変わらない。つまり、第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 は、第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 の第 1 周波数帯域 114 の成分を低減した時間波形であるが、第 2 周波数帯域 115 の成分を保持することで、第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 を用いたときと同等の振動を提示することができる。

10

## 【 0 0 9 9 】

以上に説明したように、本実施の形態の触覚提示装置 1 は、タッチ位置 106\_\_1 ~ M に対応して予め設定された目標振動 107\_\_1 ~ M 及びアクチュエータ 103\_\_1 ~ N を介してタッチ位置 106\_\_1 ~ M に到達するまでの振動伝達特性を用いて第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N を算出し、第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N の予め設定された周波数  $F_b$  未満の第 1 周波数帯域 114 の成分を低減させ、予め設定された電圧範囲 ( $-V_{max}$  以上  $+V_{max}$  以下) 内の第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N を算出する。これにより、第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N において大きくなりがちな第 1 周波数帯域 114 の成分を低減することにより、第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N の最大電圧を効率的に抑えることができる。

20

また同時に、目標振動 107\_\_1 ~ M の主たる成分である第 1 周波数帯域 114 の成分を第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N において保持することにより、提示される振動を目標振動 107\_\_1 ~ M に近いものにすることができる。

そのため、予め設定された電圧範囲 ( $-V_{max}$  以上  $+V_{max}$  以下) 内でユーザに適切な触覚刺激を提示する振動を発生させることができる。

## 【 0 1 0 0 】

また、信号算出部 112 は、第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N の予め設定された周波数  $F_b$  以上の第 2 周波数帯域 115 の成分を低減し予め設定された電圧範囲 ( $-V_{max}$  以上  $+V_{max}$  以下) 内の第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N を算出してもよい。この場合、第 1 駆動電圧信号 108\_\_1 ~ N の第 1 周波数帯域 114 の成分の低減割合は第 2 周波数帯域 115 の成分の低減割合より大きい。これにより、目標振動 107\_\_1 ~ M において重要な第 2 周波数帯域 115 の成分は保持し、提示される振動波形に生じる歪みや触覚刺激への影響を抑えて、意図するとおりの強い振動刺激を提示することができる。

30

## 【 0 1 0 1 】

なお、目標振動の時間波形  $x_m(t)$  ( $m = 1 \sim M$ ) が、周波数  $F_c$  の正弦波に包絡波形を乗じた波形である場合には、一般に、周波数  $F_c$  付近に大きな周波数成分を有し、周波数  $F_c$  の成分を主たる周波数成分と捉えることができる。従って、この場合の周波数  $F_b$  は、周波数  $F_c$  より低い値に設定すればよい。これにより、第 2 駆動電圧信号 109\_\_1 ~ N は目標振動 107\_\_1 ~ M の周波数ピークが存在する第 2 周波数帯域 115 の成分を第 1 周波数帯域 114 の成分よりも保持するため、提示される振動波形に生じる歪みや触覚刺激への影響を抑えて、意図するとおりの強い振動刺激を提示することができる。

40

## 【 0 1 0 2 】

また、本実施の形態において、周波数 200 Hz の正弦波を基に目標振動 107\_\_1 ~ M を生成したのは、200 Hz 付近の振動に対して、指の触覚感度が高いためである。基にする正弦波の周波数は必ずしも 200 Hz に限定されるものではないが、触覚の感度の高い周波数成分を多く含む振動を提示することで、ユーザに明確な触覚刺激を伝えることができる。振動加速度に対する人間の指の感度特性が 300 Hz 以下の周波数において高いことが知られており、また、周波数が低くなるほど、機械振動系のゲインが小さくなる

50

ことを考慮すれば、提示する振動には比較的高めの200～300Hzの周波数を使用し、周波数 $F_b$ はそれよりも低い200Hz以下に設定するのが効果的である。これにより、触感的な観点からも、提示される振動波形の歪みを抑えることができる。

#### 【0103】

また、STEP3において、第2駆動電圧信号109\_\_1～Nが取り得る電圧（絶対値）の上限 $V_{max}$ を、触覚提示装置1の定格電圧値、もしくは、アクチュエータ103\_\_1～Nが線形駆動可能な電圧の上限値に設定するのは、触覚提示装置1の誤動作や故障を防ぐためである。第2駆動電圧信号109\_\_1～Nが、定格電圧値、もしくは、アクチュエータ103\_\_1～Nが線形駆動可能な電圧の上限値を超える場合には、アンプ回路内部におけるサチュレーションや、アクチュエータの非線形な動作が生じ、意図する振動を提示できないだけでなく、誤動作や故障を引き起こす可能性がある。そこで、 $V_{max}$ を触覚提示装置1の定格電圧値、もしくは、アクチュエータ103\_\_1～Nが線形駆動可能な電圧の上限値に定め、第2駆動電圧信号109\_\_1～Nを $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲に収めることで、そのような不具合を回避することができる。

10

#### 【0104】

また、STEP3における合成係数、 $\alpha_n$ の決定手順では、 $n=1\sim N$ の全ての $n$ において、 $z_{1n}(t) + z_{2n}(t)$ が $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲に収まるように、合成係数 $\alpha_n$ を決定し、STEP4では、 $n=1\sim N$ の全ての $n$ に対し、共通の合成係数 $\alpha_n$ を用いて、第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ を算出している。

#### 【0105】

図11は、実施の形態1の実施の形態1の各アクチュエータ103\_\_1～2に出力する第2駆動電圧信号109\_\_1～2の関係を説明する概略図である。図11は、アクチュエータ103が2個の構成を例に説明した図である。アクチュエータ103\_\_1～2のそれぞれに印加する第2駆動電圧信号の時間波形 $y_1(t)$ 、 $y_2(t)$ はいずれも、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_1(t)$ 、 $z_2(t)$ の第1周波数帯域114の成分を $\alpha$ 倍にした信号であり、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_1(t)$ 、 $z_2(t)$ の第2周波数帯域115の成分を $\beta$ 倍にした信号である。すなわち、全ての第2駆動電圧信号109\_\_1～2は、対応する第1駆動電圧信号108\_\_1～2の第1周波数帯域114、および、第2周波数帯域115の成分を同じ割合で低減又は増幅して算出される。

20

#### 【0106】

このように、 $n=1\sim N$ の全ての $n$ に対し、共通の合成係数 $\alpha_n$ を用いる理由は以下のとおりである。複数個のアクチュエータ103\_\_1～Nが備えられている場合、タッチ位置106\_\_1～Mに生じる振動は各アクチュエータ103\_\_1～Nから伝播する振動の重ね合わせとなる。このとき、タッチ位置106\_\_1～Mに目標振動107\_\_1～Mを提示するように伝達特性を基に算出された第1駆動電圧信号108\_\_1～Nは、あるアクチュエータ103\_\_nからの振動と別のアクチュエータ103\_\_p( $p \neq n$ )からの振動が打ち消しあうなど、各アクチュエータ103\_\_1～Nから伝播する振動のバランスによって所望の振動を形成しており、いずれかのアクチュエータ103\_\_nの第1駆動電圧信号108\_\_nのみを低減または増幅すると意図しない振動が残留することがある。

30

#### 【0107】

一方、共通の合成係数 $\alpha_n$ を用いた場合には、 $n=1\sim N$ の全ての第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ が同様に、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ の第1周波数帯域114の成分を $\alpha$ 倍し、第2周波数帯域115の成分を $\beta$ 倍した信号となるので、タッチ位置106\_\_1～Mに提示される振動加速度の波形は、目標振動の時間波形 $x_m(t)$ の第1周波数帯域114の成分を $\alpha$ 倍し、第2周波数帯域115の成分を $\beta$ 倍した波形となり、意図しない振動が発生することはない。そこで、第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ を算出する合成係数 $\alpha_n$ を共通として、全てのアクチュエータ103\_\_1～Nの第1駆動電圧信号108\_\_1～Nを同じ割合で低減または増幅し、各アクチュエータ103\_\_1～Nからの振動の重ね合わせの比率を変えないようにすることで、意図しない振動の発生を防ぐ効果がある。

40

50

## 【0108】

また、低域において、タッチパネル101や筐体102との支持部により構成される機械振動系の振動加速度のゲインが小さいことが第1駆動電圧信号108\_\_1~Nを大きくする原因となっていることを考慮すると、本発明の効果は、目標振動107の主たる成分の周波数における振動加速度のゲインよりも、第1周波数帯域114におけるゲインが低い機械振動系において顕著に現れる。そして、このようなゲインの周波数特性は、機械振動系の全ての共振周波数が第2周波数帯域115に含まれる場合になりやすい。従って、タッチパネル101や筐体102との支持部による機械振動系は、その全ての共振周波数が第2周波数帯域115に含まれるように構成するのが望ましい。機械振動系の共振周波数は、その重量、剛性、形状などによって決まるため、所望の共振周波数を有する触覚提示装置1は、タッチパネル101や筐体102の支持部の材質や寸法を適宜設計することによって得ることができる。

10

## 【0109】

実施の形態1の変形例1。

実施の形態1の変形例1として、上述のSTEP3における合成係数、の決定手順が異なる構成を説明する。

## 【0110】

<構成・動作>

実施の形態1の変形例1では、信号算出部112は、 $n = 1 \sim N$ の全ての $n$ に対して、 $z_{1n}(t) + z_{2n}(t)$ が $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲に収まる条件の下で、 $\alpha$ は1より小さく(但し、 $\alpha$ は0以上)、 $\beta$ は1より大きくなるように合成係数、 $\alpha$ 、 $\beta$ を決定する。

20

## 【0111】

図12は、実施の形態1の変形例1における第1駆動電圧信号108と第2駆動電圧信号109の周波数特性の関係を表すグラフである。このときの第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ ( $n = 1 \sim N$ )と、これに対応する第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ の周波数特性の関係を表すグラフである。破線のグラフが第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ の周波数特性を、実線のグラフが第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ の周波数特性である。第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ は、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ の第1周波数帯域114の成分を $\alpha$ 倍に、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ の第2周波数帯域115の成分を $\beta$ 倍にした信号である。 $\alpha < 1$ 、 $1 < \beta$ であるため、第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ は、第1駆動電圧信号の時間波形 $z_n(t)$ の第1周波数帯域114の成分は低減し、第2周波数帯域115の成分は増幅した信号となる。

30

## 【0112】

以下では、合成係数 $\alpha$ 、 $\beta$ の具体的な決定手順の例を説明する。

まず、信号算出部112は、 $\alpha = 1$ 、 $\beta = 1$ とし、仮の第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t) = z_{1n}(t) + z_{2n}(t)$ を算出する。 $n = 1 \sim N$ の全ての $n$ において、 $y_n(t)$ が $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲に収まっていない場合、 $\alpha = 1$ 、 $\beta = 1$ とする。

40

## 【0113】

信号算出部112は、仮の第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ が $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲に収まっていない場合は、 $\alpha = 0$ 、 $\beta = 1$ として、 $y_n(t) = z_{1n}(t) + z_{2n}(t)$ を算出する。

## 【0114】

信号算出部112は、 $n = 1 \sim N$ のいずれかの $n$ において、仮の第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ が $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲に収まっていない場合は、 $\alpha$ は0のままにして、 $\beta$ を1から減少させ、 $n = 1 \sim N$ の全ての $n$ において、仮の第2駆動電圧信号の時間波形 $y_n(t)$ が $-V_{max}$ 以上 $+V_{max}$ 以下の範囲に収まったときの $\beta$ の値を採用する。

50

【 0 1 1 5 】

信号算出部 1 1 2 は、 $n = 1 \sim N$ の全ての  $n$  において、仮の第 2 駆動電圧信号の時間波形  $y y_n ( t )$  が  $- V_{m a x}$  以上  $+ V_{m a x}$  以下の範囲に収まっている場合は、 $\alpha$  は 0 のままにして、 $\beta$  を 1 から増加させ、条件 1 を満たす範囲において、式 3 が最小となる  $\alpha$  の値を採用する。

【 0 1 1 6 】

条件 1 :  $n = 1 \sim N$ の全ての  $n$  において、 $y y_n ( t ) = z_{1 n} ( t ) + z_{2 n} ( t )$  が  $- V_{m a x}$  以上  $+ V_{m a x}$  以下の範囲に収まる。

【 0 1 1 7 】

式 3 
$$\sum_{m=1}^M |PP(x x_m(t)) - PP(x_m(t))|$$

10

【 0 1 1 8 】

ここで、 $| A |$  は  $A$  の絶対値を表し、 $PP ( B ( t ) )$  は時間波形  $B ( t )$  のピークトゥーピーク値を表す。ピークトゥーピーク値とは、波形の最大値 ( 正の値 ) と最小値 ( 負の値 ) の差を示す。また、 $x x_m ( t )$  は、 $x x_m ( t ) = x_{1 m} ( t ) + x_{2 m} ( t )$  のように算出される時間波形である。ここで、 $x_{1 m} ( t )$  は、目標振動の時間波形  $x_m ( t )$  から分離した第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分の時間波形であり、 $x_m ( t )$  に第 1 分離フィルタ  $w_1 ( t )$  を畳み込んで算出される。また、 $x_{2 m} ( t )$  は、目標振動の時間波形  $x_m ( t )$  から分離した第 2 周波数帯域 1 1 5 の成分の時間波形であり、 $x_m ( t )$  に第 2 分離フィルタ  $w_2 ( t )$  を畳み込んで算出される。

20

【 0 1 1 9 】

$x_m ( t ) ( m = 1 \sim M )$  を目標振動 1 0 7 としたときの第 1 駆動電圧信号 1 0 8 が  $z_n ( t ) ( n = 1 \sim N )$  であることから、 $x x_m ( t ) = x_{1 m} ( t ) + x_{2 m} ( t )$  として算出される  $x x_m ( t ) ( m = 1 \sim M )$  は、第 2 駆動電圧信号 1 0 9 を  $y y_n ( t ) = z_{1 n} ( t ) + z_{2 n} ( t ) ( n = 1 \sim N )$  としたときの目標振動 1 0 7 に相当する。つまり、 $x x_m ( t ) ( m = 1 \sim M )$  は、アクチュエータ 1 0 3 \_\_  $n ( n = 1 \sim N )$  に、本変形例で得られる仮の第 2 駆動電圧信号  $y y_n ( t ) = z_{1 n} ( t ) + z_{2 n} ( t )$  を印加したときに、タッチ位置 1 0 6 \_\_  $1 \sim M$  に生じることが予想される振動波形を表している。

30

【 0 1 2 0 】

なお、上記の手順では、 $\alpha = 0$  とした状態で  $\beta$  を 1 から増加させ、式 3 を最小化する、 $\beta$  を算出したが、 $\alpha$  を 0 としなくても、条件 1 を満たすことができる場合には、 $\alpha$  を 0 より大きな値に設定することも可能である。つまり、 $\alpha = \alpha_0 ( \alpha_0$  は 0 より大きな定数 )、 $\beta = 1$  のときに条件 1 を満たしている場合に、 $\alpha = \alpha_0$  とした状態で  $\beta$  を 1 から増加させ、式 3 を最小化する、 $\beta$  を算出することもできる。

以上の手順によって、合成係数  $\alpha$ 、 $\beta$  が決定される。

【 0 1 2 1 】

< 作用・効果 >

40

図 1 3 は、実施の形態 1 の変形例 1 におけるタッチ位置 1 0 6 に提示される振動の一例を表すグラフである。図 1 3 はタッチ位置 1 0 6 に提示される振動の時間波形の一例を表すグラフであり、縦軸は振動加速度 (  $m / s^2$  )、横軸は時刻  $t ( s e c )$  である。図 1 3 に示す振動は、図 7 に示す第 1 駆動電圧信号 1 0 8 を用いて、実施の形態 1 の変形例 1 の S T E P 3 により決定された合成係数  $\alpha$ 、 $\beta$  を用いて算出された第 2 駆動電圧信号 1 0 9 が、アクチュエータ 1 0 3 に出力された際のタッチ位置 1 0 6 に提示された振動である。図 1 3 の P 1 は図 5 ( A ) に示す目標振動の時間波形のピークトゥーピーク値を、P 2 は図 1 0 ( A ) に示す実施形態 1 におけるタッチ位置 1 0 6 に提示される振動の時間波形のピークトゥーピーク値を、P 3 は実施の形態 1 の変形例 1 におけるタッチ位置 1 0 6 に提示される振動の時間波形のピークトゥーピーク値をそれぞれ示している。

50

## 【 0 1 2 2 】

目標振動 1 0 7 の第 2 周波数帯域 1 1 5 の成分が精度よく提示されたとしても、提示される振動の時間波形のピークトゥーピーク値は、第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分の時間波形と第 2 周波数帯域 1 1 5 の成分の時間波形の、それぞれの時刻における重ね合わせによって決まるため、第 1 周波数帯域 1 1 4 の成分が欠落することにより、必ずしも、目標振動 1 0 7 のピークトゥーピーク値と同じにならない。

## 【 0 1 2 3 】

例えば、図 5 ( A ) に示す目標振動の時間波形と、図 1 0 ( A ) に示す実施形態 1 におけるタッチ位置 1 0 6 に提示される振動の時間波形を比較すると、概ね同じ時間波形が得られているものの、図 1 3 に示したピークトゥーピーク値では、ピークトゥーピーク値 P 2 の方がピークトゥーピーク値 P 1 より若干小さくなっていることが分かる。

10

## 【 0 1 2 4 】

ピークトゥーピーク値が小さくなると、第 2 周波数帯域 1 1 5 の成分の大きさは保持されていても、振動のピークに達した瞬間の触覚刺激は弱く感じられることがあるため、目標振動 1 0 7 と同じピークトゥーピーク値を提示することが望ましい。

## 【 0 1 2 5 】

この点について、実施の形態 1 の変形例 1 では、第 2 駆動電圧信号 1 0 9 が  $-V_{max}$  以上  $+V_{max}$  以下に収まる範囲において合成係数を 1 より大きくできる場合には、合成係数を 1 より大きく設定する。つまり、第 1 駆動電圧信号 1 0 8 の予め設定された周波数  $F_b$  以上の第 2 周波数帯域 1 1 5 の成分を増幅させることにより、ピークトゥーピーク値 P 3 を大きくし、予め設定された電圧範囲内でユーザに適切な触覚刺激を提示する振動を発生させることができる。

20

## 【 0 1 2 6 】

また、式 3 は、 $y_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) によって提示される振動波形のピークトゥーピーク値と目標振動 1 0 7 のピークトゥーピーク値の差を表しており、これを最小にすることにより、提示される振動のピークトゥーピーク値を、目標振動 1 0 7 のピークトゥーピーク値とできる限り近づけることができる。

## 【 0 1 2 7 】

なお、式 3 が、ピークトゥーピーク値の差を、 $m = 1 \sim M$  に渡って合算した値となっているのは、 $M$  が 2 以上の場合には、全ての  $m$  において同時にピークトゥーピーク値を目標振動 1 0 7 と同じにはできないためである。 $M$  が 2 以上の場合にも、式 3 のように、 $m = 1 \sim M$  のそれぞれにおけるピークトゥーピーク値の差を算出し、その和を最小化することで、全体として、目標振動 1 0 7 のピークトゥーピーク値にできる限り近い振動が提示できる。

30

## 【 0 1 2 8 】

実施の形態 1 の変形例 2 .

実施の形態 1 の変形例 2 として、STEP 3 における第 2 駆動電圧信号 1 0 9 が取り得る電圧 ( 絶対値 ) の上限値  $V_{max}$  の設定が異なる構成を説明する。

## 【 0 1 2 9 】

< 構成・動作 >

実施の形態 1 の変形例 2 では、触覚提示装置 1 の動作モードに応じて  $V_{max}$  の設定を変更することが可能であり、省エネルギーモードに設定された場合には、 $V_{max}$  を触覚提示装置 1 の定格電圧値、もしくは、アクチュエータ 1 0 3 が線形駆動可能な電圧の上限値よりも小さな値に設定する。

40

## 【 0 1 3 0 】

< 作用・効果 >

上限値  $V_{max}$  を、定格電圧値やアクチュエータ 1 0 3 が線形駆動可能な電圧の上限値よりも小さな値に設定することにより、提示可能な振動刺激は弱くなるが、誤動作や故障を回避できるだけでなく、さらに、触覚提示装置 1 の消費電力を節約することが可能となる。

## 【 0 1 3 1 】

50

また、触覚提示装置 1 の動作モードに応じて  $V_{max}$  の設定を変更することにより、消費電力は大きい強い振動刺激を提示できる通常モードと、提示される振動刺激は弱い消費電力を節約して長時間の稼働ができる省エネルギーモードを、使用時のバッテリーの充電量に応じて切り替えることができる。つまり、バッテリーの充電量が多いときには、強い振動刺激によって予め設定された電圧範囲内でユーザに適切な触覚刺激を提示する振動を発生させ、充電量が少なくなると、電力消費を抑えて長時間の使用を可能にする。

【0132】

実施の形態 1 の変形例 3 .

実施の形態 1 の変形例 3 として、STEP 2 における周波数  $F_b$  の決め方の異なる構成を説明する。

【0133】

<構成・動作>

実施の形態 1 の変形例 3 では、目標振動  $107\_1 \sim M$  の周波数特性のピークとなる周波数を算出し、そのピーク周波数よりも低い周波数を周波数  $F_b$  とする。ただし、 $M$  が 2 以上で、目標振動  $107\_1 \sim M$  が複数となる場合は、それぞれのピーク周波数を算出し、そのいずれよりも低い周波数とする。また、全ての時刻において 0 の値となる時間波形が、目標振動  $107\_1 \sim M$  のいずれかに含まれる場合は、その時間波形は除外する。

【0134】

<作用・効果>

目標振動  $107\_1 \sim M$  の主たる成分は、その最も大きな周波数成分、すなわち、周波数特性のピーク成分と捉えることができるので、周波数  $F_b$  は、目標振動  $107\_1 \sim M$  のピーク周波数よりも低い周波数に設定すればよい。つまり、周波数特性のピーク成分が大きく低減されると、提示される振動波形に生じる歪みが大きくなるが、周波数  $F_b$  を目標振動  $107\_1 \sim M$  のピーク周波数よりも低い周波数に設定することで、目標振動  $107\_1 \sim M$  の周波数特性のピーク成分を第 2 周波数帯域  $115$  に含めることができ、提示される波形の歪を抑えることができる。また、本変形例の方法によれば、目標振動  $107\_1 \sim M$  が、所定の周波数の正弦波に包絡波形を乗じた波形でない場合にも、その主たる成分の周波数を決定し、周波数  $F_b$  を設定することができる。

【0135】

また、 $M$  が 2 以上で、目標振動  $107\_1 \sim M$  が複数ある場合には、それぞれのピーク周波数を算出し、周波数  $F_b$  はそのいずれよりも低い周波数とすることで、タッチ位置  $106\_1 \sim M$  に提示される全ての振動波形の歪みを抑えることができる。ただし、目標振動  $107\_1 \sim M$  のいずれかが、全ての時刻において 0 の値となる時間波形である場合は、その波形は除外して  $F_b$  を選定してよい。その理由は、全ての時刻において 0 の値となる時間波形はいずれの帯域成分が低減されても全ての時刻において 0 の値となることは変わらず、波形に歪みが生じないためである。

【0136】

実施の形態 1 の変形例 4 .

実施の形態 1 の変形例 4 として、STEP 2 における周波数  $F_b$  の決め方の異なる別の構成を説明する。

【0137】

<構成・動作>

実施の形態 1 の変形例 4 では、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) が、目標振動  $107\_1 \sim M$  の主たる成分の周波数より低い周波数にピークを有する場合に、周波数  $F_b$  を、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) の周波数特性のピーク周波数よりも高い周波数とする。また、 $N$  が 2 以上で、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) が複数ある場合は、それぞれのピーク周波数を算出し、周波数  $F_b$  を、そのいずれよりも高い周波数とする。

【0138】

<作用・効果>

10

20

30

40

50

周波数  $F_b$  を、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) の周波数特性のピーク周波数よりも高い周波数とすることにより、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  の周波数ピークの成分を第 1 周波数帯域 114 に含めることができ、第 2 駆動電圧信号 109\_1 ~ N を効率的に低減できる。前述のように、タッチパネル 101 のような機械振動系における振動加速度のゲインは、低域ほど急激にゲインが小さくなり、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  は、目標振動 107\_1 ~ M の主たる成分の周波数よりも低い周波数にピークを生じやすい。第 2 駆動電圧信号 109\_1 ~ N を低減するには、第 1 駆動電圧信号 108\_1 ~ N の周波数ピークであるこの成分を低減するのが効果的であり、その周波数ピークが目標振動 107\_1 ~ M の主たる周波数成分よりも低域にあるのであれば、この成分を低減しても提示される振動波形への影響は小さいので、周波数  $F_b$  は、目標振動 107\_1 ~ M の主たる成分の周波数よりも低く、かつ、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  の主たる成分の周波数よりも高く設定するのが効果的である。

10

## 【0139】

また、 $N$  が 2 以上で、第 1 駆動電圧信号の時間波形  $z_n(t)$  ( $n = 1 \sim N$ ) が複数ある場合は、それぞれのピーク周波数を算出し、周波数  $F_b$  をそのいずれよりも高い周波数とすることで、アクチュエータ 103\_1 ~ N に印加される全ての第 2 駆動電圧信号 109\_1 ~ N の最大電圧を抑えることができる。

## 【符号の説明】

## 【0140】

1 触覚提示装置、101 タッチパネル、102 筐体、103 アクチュエータ、104 タッチセンサ、105 信号処理部、106 タッチ位置、107 目標振動、108 第 1 駆動電圧信号、109 第 2 駆動電圧信号、111 入力部、112 信号算出部、113 出力部、114 第 1 周波数帯域、115 第 2 周波数帯域

20

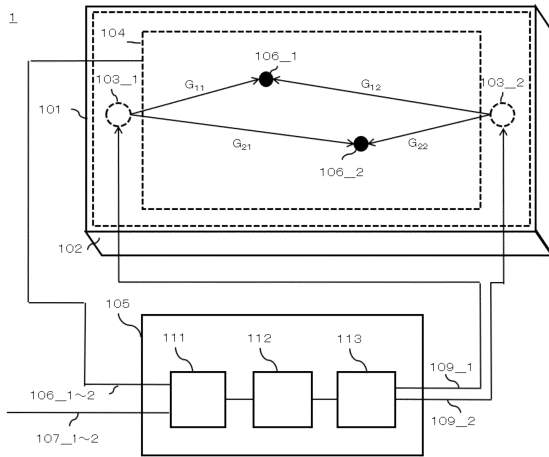
30

40

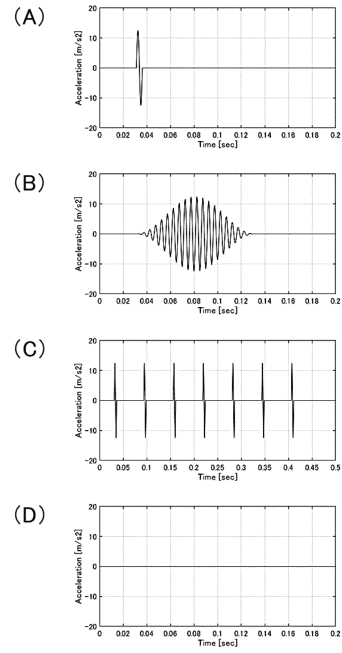
50

【図面】

【図 1】



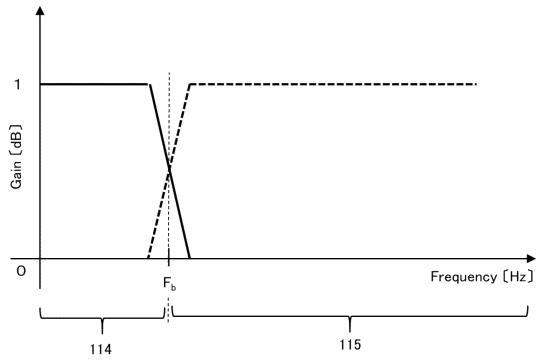
【図 2】



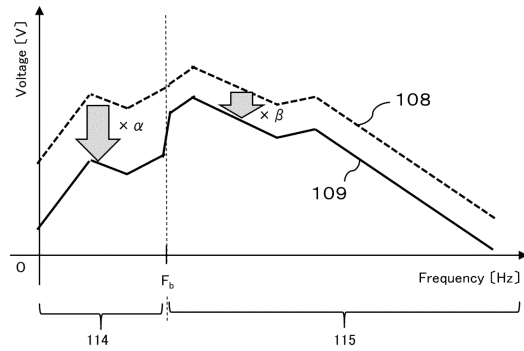
10

20

【図 3】



【図 4】

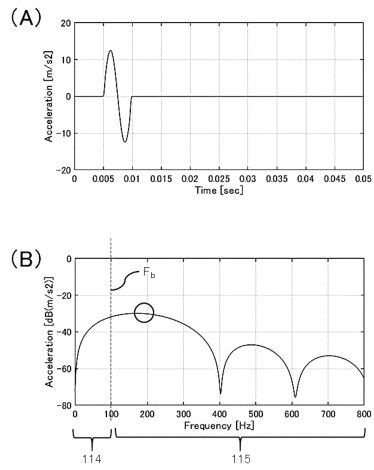


30

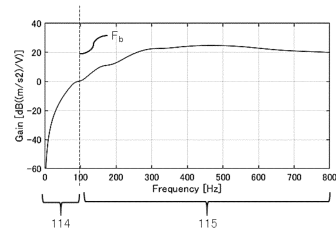
40

50

【 5 】

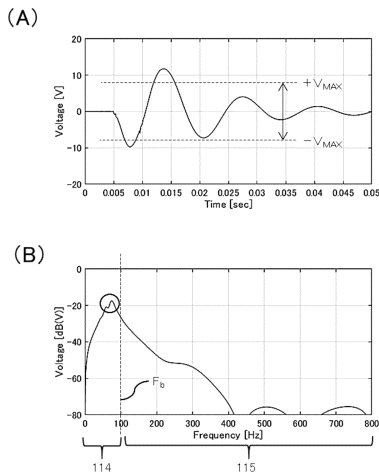


【 6 】

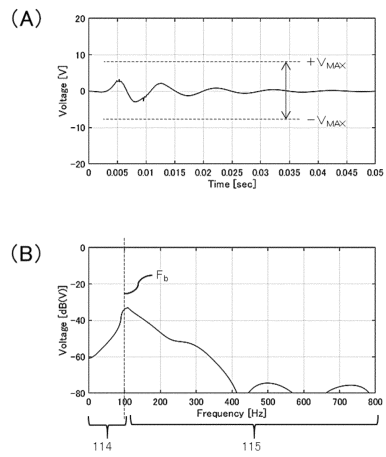


10

【 7 】



【 8 】



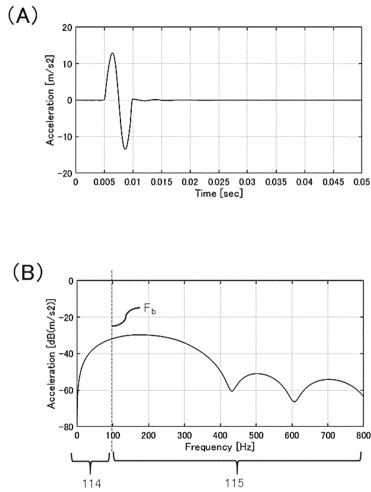
20

30

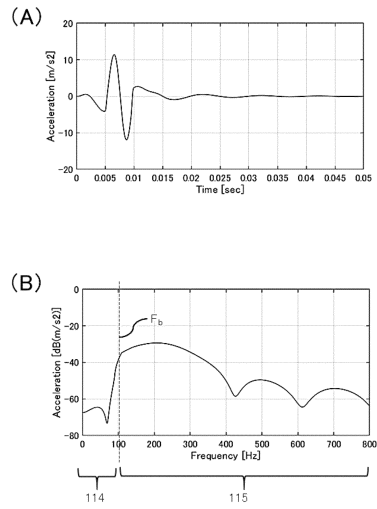
40

50

【 9 】

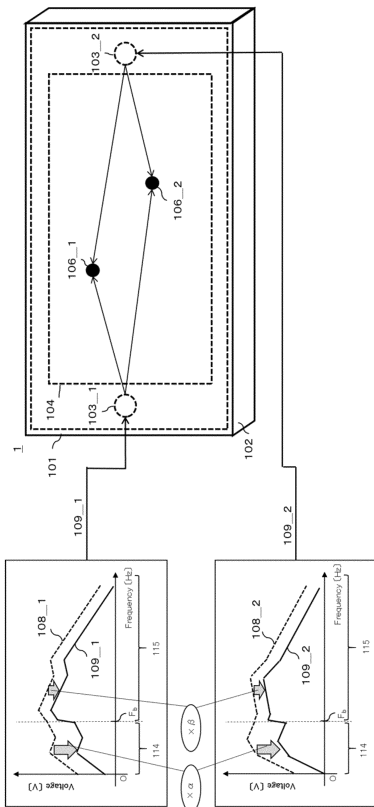


【 1 0 】

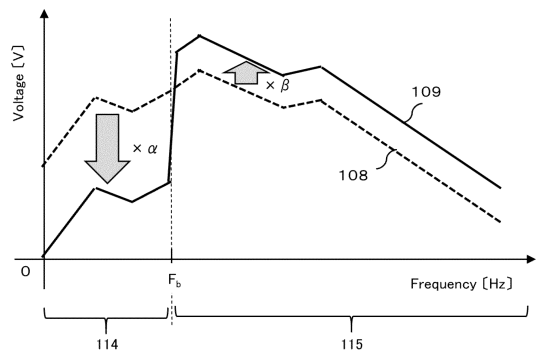


10

【 1 1 】



【 1 2 】



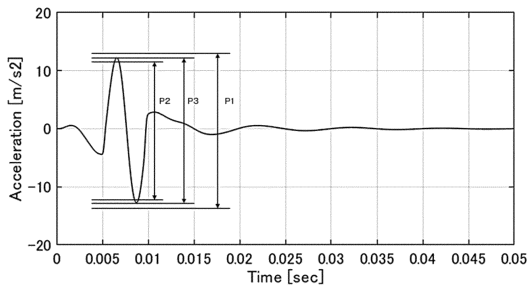
20

30

40

50

【 1 3 】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2015 - 028766 (JP, A)  
特開 2014 - 048863 (JP, A)  
国際公開第 2012 / 160827 (WO, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
G06F 3 / 01  
G06F 3 / 041