

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5158562号
(P5158562)

(45) 発行日 平成25年3月6日(2013.3.6)

(24) 登録日 平成24年12月21日(2012.12.21)

(51) Int.Cl. F I
G O 1 L 5/22 (2006.01) G O 1 L 5/22

請求項の数 18 (全 26 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-212687 (P2007-212687)</p> <p>(22) 出願日 平成19年8月17日(2007.8.17)</p> <p>(65) 公開番号 特開2009-47503 (P2009-47503A)</p> <p>(43) 公開日 平成21年3月5日(2009.3.5)</p> <p>審査請求日 平成22年8月3日(2010.8.3)</p> <p>特許法第30条第1項適用 2007年3月6日~2007年3月7日に開催された社団法人電気学会主催の電気学会研究会</p> <p>(出願人による申告)平成19年度、独立行政法人科学技術振興機構、シーズ発掘試験採択課題「ハプトグラフに基づく個人認証技術の開発研究」による委託研究、産業再生法第30条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 304021288 国立大学法人長岡技術科学大学 新潟県長岡市上富岡町1603-1</p> <p>(74) 代理人 100080089 弁理士 牛木 護</p> <p>(74) 代理人 100137800 弁理士 吉田 正義</p> <p>(74) 代理人 100119312 弁理士 清水 栄松</p> <p>(72) 発明者 大石 潔 新潟県長岡市上富岡町1603-1 国立 大学法人長岡技術科学大学内</p> <p>(72) 発明者 桂 誠一郎 新潟県長岡市上富岡町1603-1 国立 大学法人長岡技術科学大学内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	---

(54) 【発明の名称】 触覚の解析方法および触覚の解析装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

個体の動作に応じて作動するアクチュエータを備え、
前記アクチュエータは、1台以上のマスターシステムおよび2台以上のスレーブシステムをネットワークで接続してなり、前記個体からの作用力を前記マスターシステムで受けると、この作用力に伴う反作用力を、前記ネットワークを介して前記スレーブシステムで生成するようになっており、

ある時間にどのような反作用力が生じているのかを、前記個体を動作させたときの時系列な力の触覚情報として取得し、

前記取得した前記触覚情報を時間領域で解析処理して、前記触覚情報に含まれる時間と力との関係を、周波数と振幅との関係を示す周波数分析データに変換し、

前記周波数分析データから前記個体の動作または反応を抽出することを特徴とする触覚の解析方法。

【請求項2】

前記周波数分析データから、前記抽出した動作または反応を視覚的に表現させることを特徴とする請求項1記載の触覚の解析方法。

【請求項3】

前記アクチュエータから抽出した力によって、前記触覚情報を取得することを特徴とする請求項1または2記載の触覚の解析方法。

【請求項4】

10

20

前記アクチュエータが制御手段により制御されているシステムから抽出した力によって、前記触覚情報を取得することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の触覚の解析方法。

【請求項 5】

前記アクチュエータからの力が、位置センサ，速度センサ，加速度センサ，電流センサ，力センサ，トルクセンサ，または歪みゲージを用いて抽出されることを特徴とする請求項 3 または 4 記載の触覚の解析方法。

【請求項 6】

前記アクチュエータからの力が、外乱オブザーバにより抽出されることを特徴とする請求項 3 または 4 記載の触覚の解析方法。

【請求項 7】

前記周波数分析データと前記個体とを関連付けた関連付けデータを、当該個体毎に記憶手段に記憶させることを特徴とする請求項 1 ~ 6 の何れか一つに記載の触覚の解析方法。

【請求項 8】

前記解析処理が行なわれると、前記周波数分析データと前記記憶手段から読み出される前記関連付けデータとの比較解析を行ない、比較解析結果を出力することを特徴とする請求項 7 記載の触覚の解析方法。

【請求項 9】

前記取得した触覚情報をフーリエ変換またはウェーブレット変換またはコサイン変換により時間領域で解析処理することを特徴とする請求項 1 ~ 8 の何れか一つに記載の触覚の解析方法。

【請求項 10】

個体の動作に応じて作動するアクチュエータを備え、
前記アクチュエータは、1 台以上のマスターシステムおよび 2 台以上のスレーブシステムをネットワークで接続してなり、前記個体からの作用力を前記マスターシステムで受けると、この作用力に伴う反作用力を、前記ネットワークを介して前記スレーブシステムで生成する構成を有し、

ある時間にどのような反作用力が生じているのかを、前記個体を動作させたときの時系列な力の触覚情報として取得する入力手段と、

前記取得した前記触覚情報を時間領域で解析処理して、前記触覚情報に含まれる時間と力との関係を、周波数と振幅との関係を示す周波数分析データに変換する処理手段と、

前記周波数分析データから前記個体の動作または反応を抽出する抽出手段と、を備えたことを特徴とする触覚の解析装置。

【請求項 11】

前記処理手段は、前記周波数分析データから、前記抽出した動作または反応を視覚的に表現させるものであることを特徴とする請求項 10 記載の触覚の解析装置。

【請求項 12】

前記アクチュエータから抽出した力によって、前記触覚情報を取得する構成としたことを特徴とする請求項 10 または 11 記載の触覚の解析装置。

【請求項 13】

前記アクチュエータが制御手段により制御されているシステムから抽出した力によって、前記触覚情報を取得する構成としたことを特徴とする請求項 10 または 11 記載の触覚の解析装置。

【請求項 14】

前記アクチュエータからの力を、位置センサ，速度センサ，加速度センサ，電流センサ，力センサ，トルクセンサ，または歪みゲージを用いて抽出する構成としたことを特徴とする請求項 12 または 13 記載の触覚の解析装置。

【請求項 15】

前記アクチュエータからの力を抽出する外乱オブザーバを備えたことを特徴とする請求項 12 または 13 記載の触覚の解析装置。

【請求項 16】

10

20

30

40

50

前記周波数分析データと前記個体とを関連付けた関連付けデータを、当該個体毎に記憶手段に記憶させる構成としたことを特徴とする請求項 1 0 ~ 1 5 の何れか一つに記載の触覚の解析装置。

【請求項 1 7】

前記解析処理が行なわれると、この周波数分析データと前記記憶手段から読み出される前記関連付けデータとの比較解析を行ない、比較解析結果を出力する認証手段を備えたことを特徴とする請求項 1 6 に記載の触覚の解析装置。

【請求項 1 8】

前記処理手段は、前記取得した触覚情報をフーリエ変換またはウェーブレット変換またはコサイン変換により時間領域で解析処理するものであることを特徴とする請求項 1 0 ~ 1 7 の何れか一つに記載の触覚の解析装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、触覚情報に基づき個体の動作を抽出し得る触覚の解析方法および触覚の解析装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

人間の感覚情報を扱う技術は、人間と人間、或いは人間と機械とを結ぶ重要なインターフェースとして、これまでに巨大な産業を生成していることは周知の通りである。特に、視覚や聴覚に対応する画像や音声の処理技術は、情報通信工学の発展とともにインターフェースとして急速に広まり、産業の基盤技術として欠かせないものとなっている。例えば、写真、テレビ、電話、蓄音機等の発明により、視覚や聴覚に関する情報の伝送や、保存や、再生が可能となり、さらにはビデオカメラやテレビにより、視覚および聴覚情報の放送も可能になった。これは、あたかも人間が持つ視覚や聴覚が、時間と空間を越えたように感じさせることと等価であるといえる。現在では、そうした視覚や聴覚情報の解析や加工を取り扱うデジタル信号処理技術の開発も、日々進歩している。

20

【0 0 0 3】

一方、感覚情報の一つを担う触覚情報は、視覚や聴覚の情報に次ぐ新たなマルチメディア情報として、これを伝送して保存し、人工的に再現する技術の開発が求められている。そのため、マスターシステムとスレーブシステムとによるロボットシステム間の遠隔操作や、動かしている位置とその位置での各種情報を触覚を介して表示するようなハプティック（触覚）ディスプレイは、触覚情報を扱う技術として多くの研究が行なわれている。

30

【0 0 0 4】

しかしながら、上述した視覚や聴覚に関する情報は受動的で、単方向性の感覚情報であるのに対し、触覚情報は実世界における「作用・反作用の法則」に束縛される双方向性の感覚情報であり、しかも接触対象である環境に能動的に接触することで、初めてその情報が得られるので、モデルベースやヴァーチャルリアリティを応用した触覚情報の再現は行なわれているものの、実世界における触覚情報の取得は困難である。

【0 0 0 5】

40

こうした実世界における触覚情報の抽出や再現を行なう実世界ハプティクスとして、例えば非特許文献 1 には、実世界における遠隔地からのバイラテラル力覚フィードバックの制御手法が提案されている。また別な非特許文献 2 には、多方向のシステム間で力覚情報のやり取りを可能にするマルチラテラル触覚伝送技術が提案されている。

【0 0 0 6】

実世界におけるバイラテラル力覚フィードバックの高性能再現において、「透明性」は、バイラテラルシステムの代表的な評価指標としてよく知られている。バイラテラルシステムとして高い「透明性」を確保するためには、空間透明性と時間透明性の双方を満たす必要がある。空間透明性は、触覚の再現可能な自由度に相当するもので、効率の良い多自由度力覚フィードバックの統合が望まれる。一方、時間透明性はその再現する触覚情報の

50

周波数帯域に相当するもので、人間の持つ触覚であるDC ~ 400 Hzを最低限確保する必要がある。

【0007】

つまり、こうしたバイラテラルシステムにおいて、多自由度で広帯域な実世界環境からの力覚フィードバックを実現するためには、例えば非特許文献4や非特許文献5で提案されているように、ロバスト性を失わずに制御剛性をゼロにするための加速度制御が不可欠であり、具体的には非特許文献6 ~ 非特許文献8に開示される外乱オブザーバによる実現手法が広く用いられている。特に非特許文献9 ~ 非特許文献11では、外乱オブザーバを用いることで広帯域の力覚情報を力覚センサレスで取得できることが開示されており、また外乱オブザーバの広帯域化については、非特許文献12 ~ 非特許文献14でも多くの研究提案がなされている。

10

【0008】

その中で本願発明者らは、非特許文献14において、アクチュエータの位置を検出する位置エンコーダの情報に加えて、アクチュエータの加速度を検出する加速度センサの情報に基づき、当該アクチュエータに加わる外力を推定する位置・加速度統合型の外乱オブザーバを提案し、またそれ以前に特願2006-57614号で出願も行なっている。そして、このような外乱オブザーバによって、1kHz以上の極めて広帯域を有するバイラテラル力覚フィードバックを実現している。

【0009】

このように、実世界における触覚情報の抽出や再現に関し、様々な研究が行なわれているが、そこで取得した触覚情報を視覚的に表現する技術は、生産工学や低侵襲性外科医療の分野で望まれてはいるものの、開発がなされてはならず、実用化に至っていない。例えば触覚情報を視覚的に表現する一手法として、力覚センサや、非特許文献9で提案された反力推定オブザーバなどで得られたデータを、時系列順に表示することが考えられるが、この場合には接触する環境が、「つるつる」や「ざらざら」といった定性的な表現でしか評価を行なうことができない。そのため双方向性を有する実世界における触覚情報を扱う基本概念として、触覚情報をより直感的且つ定量的に評価できる装置や方法が求められていた。

20

【非特許文献1】下野 誠通，桂 誠一郎，大西 公平 (T. Shimono, S. Katsura, K. Ohnishi)、「環境モデルに基づく実世界力覚情報再現のための双方向モーションコントロール (Bilateral Motion Control for Reproduction of Real World Force Sensation based on the Environmental Model)」、電気学会 産業応用部門誌 (IEEJ Transactions on Industry Applications)、第126-D巻第8号 (Vol.126-D, No.8)、pp. 1059 - 1068、2006年8月 (August, 2006)

30

【非特許文献2】桂 誠一郎，松本 雄一，大西 公平 (S. Katsura, Y. Matsumoto, K. Ohnishi)、「マルチラテラル制御による「作用・反作用の法則」の実現 (Realization of "Law of Action and Reaction" by Multilateral Control)」、米国電気電子学会 産業電子工学論文誌 (IEEE Transactions on Industrial Electronics)、第52巻第5号 (Vol.52, No.5)、pp. 1196 - 1205、2005年10月 (October, 2005)

【非特許文献3】桂 誠一郎，大西 公平 (S. Katsura, K. Ohnishi)、「マルチラテラル制御によるハプティック訓練システムの実現 (A Realization of Haptic Training System by Multilateral Control)」、米国電気電子学会 産業電子工学論文誌 (IEEE Transactions on Industrial Electronics)、第53巻第6号 (Vol.53, No.6)、pp. 1935 - 1942、2006年12月 (December, 2006)

40

【非特許文献4】エイ・サバノヴィチ (A. Sabanovic)「パワーエレクトロニクスおよびモーション制御システムにおけるスライディングモード (Sliding Modes in Power Electronics and Motion Control Systems)」、米国電気電子学会 第29回産業電子工学学会年次会議論文 (Proceedings of the 29th IEEE Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society)、IECON 2003年 - ロアノーク (IECON '03-ROANOKE)、pp. 997 - 1002、2003年11月 (November, 2003)

50

【非特許文献5】富塚 誠義 (M. Tomizuka) 「現代メカトロニックシステム工学における各センサ (Sensors in the Engineering of Modern Mechatronic Systems)」、第三回メカトロニックシステムシンポジウム論文 (Proceedings of the 3rd IFAC Symposium on Mechatronic Systems) メカトロニクス 2004年 - シドニー (MECHATRONICS '04-SYDNEY)、pp. 19 - 24、2004年9月 (September, 2004)

【非特許文献6】大石 潔, 大西 公平, 宮地 邦夫 (K. Ohishi, K. Ohnishi, K. Miyachi)、「負荷トルク推定に基づくDCモータのトルク - 速度調整 (Torque-Speed Regulation of DC Motor Based on Load Torque Estimation)」、電気学会 パワーエレクトロニクス国際会議論文 (Proceedings of the IEEJ International Power Electronics Conference, パワーエレクトロニクス国際会議 - 東京 (IPEC-TOKYO)、第2巻 (Vol. 2)、pp. 1209 - 1216、1983年3月 (March, 1983)

10

【非特許文献7】大西 公平, 柴田 昌明, 村上 俊之 (K. Ohnishi, M. Shibata, T. Murakami)、「高性能メカトロニクス用モーション制御 (Motion Control for Advanced Mechatronics)」、米国電気電子学会 / 米国機械学会メカトロニクス論文誌 (IEEE / ASME Transactions on Mechatronics)、第1巻 (Vol. 1)、第1号 (No. 1)、pp. 56 - 67、1996年3月 (March, 1996)

【非特許文献8】桂 誠一郎, 大西 公平 (S. Katsura, K. Ohnishi)、「外乱オブザーバに基づく位相進み補償器による多慣性共振系の絶対安定化 (Absolute Stabilization of Multi-Mass Resonant System by Phase-Lead Compensator Based on Disturbance Observer)」、米国電気電子学会 最新モーション制御国際ワークショップ会議録 (Proceedings of the 9th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control)、2006年 - イスタンブール (AMC '06 - ISTANBUL)、第1巻 (Vol. 1)、pp. 194 - 199、2006年3月 (March, 2006)

20

【非特許文献9】村上 俊之, 郁 方銘, 大西 公平 (T. Murakami, F. Yu, K. Ohnishi)、「多自由度マニピュレータにおけるトルクセンサレス制御 (Torque Sensorless Control in Multidegree-of-freedom Manipulator)」、米国電気電子学会 産業電子工学論文誌 (IEEE Transactions on Industrial Electronics)、第40巻第2号 (Vol. 40, No. 2)、pp. 259 - 265、1993年4月 (April, 1993)

【非特許文献10】桂 誠一郎, 松本 雄一, 大西 公平 (S. Katsura, Y. Matsumoto, K. Ohnishi)、「力制御に対する力バンド幅の分析と実験有効性 (Analysis and Experimental Validation of Force Bandwidth for Force Control)」、第53巻第3号 (Vol. 53, No. 3)、pp. 922 - 928、2006年6月 (June, 2006)

30

【非特許文献11】桂 誠一郎, 松本 雄一, 大西 公平 (S. Katsura, Y. Matsumoto, K. Ohnishi)、「力制御のための力覚センシングのモデリングおよび外乱オブザーバの妥当性確認 (Modeling of Force Sensing and Validation of Disturbance Observer for Force Control)」、第54巻第1号 (Vol. 54, No. 1)、pp. 530 - 538、2007年2月 (February, 2007)

【非特許文献12】エム . パートルッツォ, ジー . エス . ブージャ, イー . スタンパッチャ (M. Bertoluzzo, G. S. Buja, E. Stampacchia)、「高帯域幅トルク外乱補償器の性能解析 (Performance Analysis of a High-Bandwidth Torque Disturbance Compensator)」、米国電気電子学会 / 米国機械学会メカトロニクス論文誌 (IEEE / ASME Transactions on Mechatronics)、第9巻 (Vol. 9)、第4号 (No. 4)、pp. 653 - 660、2004年12月 (December, 2004)

40

【非特許文献13】水落 麻里子, 辻 俊明, 大西 公平 (M. Mizuochi, T. Tsuji, K. Ohnishi)「加速度制御システムに対するマルチレートサンプリング方法 (Multirate Sampling Method for Acceleration Control System)」、米国電気電子学会 産業電子工学論文誌 (IEEE Transactions on Industrial Electronics)、第54巻 (Vol. 54)、第3号 (No. 3)、pp. 1462 - 1471、2007年6月 (June, 2007)

【非特許文献14】入江 航平, 桂 誠一郎, 大石 潔 (K. Irie, S. Katsura, K. Ohishi)、「複数センサに基づいた外乱オブザーバによる高度モーションコントロール (Advanc

50

ed Motion Control by Multi-Sensor based Disturbance Observer)、電気学会 電気電子工学論文誌 (IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering)、第1巻 (Vol. 1)、第1号 (No. 1)、pp. 112 - 115、2006年5月 (May, 2006)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

上述したように、従来は力覚センサや反力推定オブザーバで得られた反作用力の経時変化を、単に時系列なデータとして表示させていただきただけなので、この時系列データから接触対象物が、どのような特徴を有するものなのかを定量的に直ちに判断できなかった。

【0011】

とりわけ、こうした接触対象物の一つとして、人間などの個体の動作は個々に独自の特徴を有しており、こうした個体の動作を触覚情報として取得して定量的に把握し、そこから個体の動作や反応の特徴を抽出することが求められていた。すなわち、こうした技術が確立されれば、熟練技術者の持つスキルの抽出および解析や、個人の癖の抽出に基づいた個人認証への応用も可能になると期待される。

【0012】

本発明は上記の問題点に鑑みなされたもので、個体の動作や反応を触覚情報として取得して定量的に把握し、そこから動作や反応の特徴を抽出することが可能な触覚の解析方法および触覚の解析装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題を解決するために、本発明における触覚の解析方法は、個体の動作に応じて作動するアクチュエータを備え、前記アクチュエータは、1台以上のマスターシステムおよび2台以上のスレーブシステムをネットワークで接続してなり、前記個体からの作用力を前記マスターシステムで受けると、この作用力に伴う反作用力を、前記ネットワークを介して前記スレーブシステムで生成するようになっており、ある時間にどのような反作用力が生じているのかを、前記個体を動作させたときの時系列な力の触覚情報として取得して、前記触覚情報に含まれる時間と力との関係を、周波数と振幅との関係を示す周波数分析データに変換し、前記周波数分析データから前記個体の動作または反応を抽出することを特徴とする。

【0014】

この場合、前記周波数分析データから、前記抽出した動作または反応を視覚的に表現させるのが好ましい。

【0015】

上記方法においては、前記アクチュエータから抽出した力によって、前記触覚情報を取得するのが好ましい。

【0016】

代わりに、前記アクチュエータが制御手段により制御されているシステムから抽出した力によって、前記触覚情報を取得してもよい。

【0017】

また、前記アクチュエータからの力が、位置センサ、速度センサ、加速度センサ、電流センサ、力センサ、トルクセンサ、または歪みゲージを用いて抽出されるのが好ましい。

【0018】

代わりに、前記アクチュエータからの力が、外乱オブザーバにより抽出されるようになっていてもよい。

【0019】

上記各方法において、前記周波数分析データと前記個体とを関連付けた関連付けデータを、当該個体毎に記憶手段に記憶させるのが好ましい。

【0020】

この場合、前記解析処理が行なわれると、この周波数分析データと前記記憶手段から読

10

20

30

40

50

み出される前記関連付けデータとの比較解析を行ない、比較解析結果を出力するのが好ましい。

【0021】

さらに上記各方法においては、前記取得した触覚情報をフーリエ変換またはウェーブレット変換またはコサイン変換により時間領域で解析処理するのが好ましい。

【0022】

上記方法に対応するように、本発明における触覚の解析装置は、個体の動作に応じて作動するアクチュエータを備え、前記アクチュエータは、1台以上のマスターシステムおよび2台以上のスレーブシステムをネットワークで接続してなり、前記個体からの作用力を前記マスターシステムで受けると、この作用力に伴う反作用力を、前記ネットワークを介して前記スレーブシステムで生成する構成を有し、ある時間にどのような反作用力が生じているのかを、前記個体を動作させたときの時系列な力の触覚情報として取得する入力手段と、前記取得した前記触覚情報を時間領域で解析処理して、前記触覚情報に含まれる時間と力との関係を、周波数と振幅との関係を示す周波数分析データに変換する処理手段と、前記周波数分析データから前記個体の動作または反応を抽出する抽出手段と、を備えたことを特徴とする。

10

【0023】

この場合、前記処理手段は、前記周波数分析データから、前記抽出した動作または反応を視覚的に表現させるものであることが好ましい。

【0024】

上記装置においては、前記アクチュエータから抽出した力によって、前記触覚情報を取得する構成とするのが好ましい。

20

【0025】

代わりに、前記アクチュエータが制御手段により制御されているシステムから抽出した力によって、前記触覚情報を取得する構成としてもよい。

【0026】

また、前記アクチュエータからの力を、位置センサ、速度センサ、加速度センサ、電流センサ、力センサ、トルクセンサ、または歪みゲージを用いて抽出する構成とするのが好ましい。

【0027】

代わりに、前記アクチュエータからの力を抽出する外乱オブザーバを備えてもよい。

30

【0028】

上記各装置において、前記周波数分析データと前記個体とを関連付けた関連付けデータを、当該個体毎に記憶手段に記憶させる構成とするのが好ましい。

【0029】

この場合、前記解析処理が行なわれると、この周波数分析データと前記記憶手段から読み出される前記関連付けデータとの比較解析を行ない、比較解析結果を出力する認証手段を備えるのが好ましい。

【0030】

さらに上記各装置において、前記処理手段は、前記取得した触覚情報をフーリエ変換またはウェーブレット変換またはコサイン変換により時間領域で解析処理するものであることが好ましい。

40

【発明の効果】

【0031】

上記請求項1の方法および請求項10の装置によれば、個体を動作させたときの触覚情報をそのまま単に時系列的に並べるのではなく、取得した触覚情報に時間領域で解析処理を施し、その解析処理結果である周波数分析データから個体の動作または反応を抽出するようにしている。そのため、例えば熟練技術者の持つスキルや、個体の動作の特徴や癖といった諸情報の特徴的な周波数について、個体の動作を触覚情報として取得して定量的に把握することができ、そこから動作または反応の特徴を抽出することが可能になる。

50

【0032】

また、マスターシステムに加わる個体からの作用力と、この作用力を受けてスレーブシステムで発生する反作用力とを別々に分離でき、そこから抽出される力に基づき、ある時間にどのような反作用力が生じているのかを、触覚情報として取得することが可能になる。

【0033】

さらに、一乃至複数のマスターシステムに個体からの作用力が加わると、ネットワークを介して複数のスレーブシステムに反作用力を発生させることができ、遠隔地における力伝送を可能にできる。

【0034】

上記請求項2の方法および請求項11の装置によれば、周波数分析データから、単に個体の動作や反応を抽出するだけでなく、これらを視覚的に表現させて、例えば表示手段などにより提示することが可能になる。

【0035】

上記請求項3の方法および請求項12の装置によれば、アクチュエータを利用して、そこから抽出される力に基づき、触覚情報を取得することが可能になる。

【0036】

上記請求項4の方法および請求項13の装置によれば、制御手段によりアクチュエータの例えば位置、速度、加速度、トルク、または力を制御しつつ、これらの制御手段とアクチュエータとを組み合わせたシステムから抽出される力に基づき、触覚情報を取得することが可能になる。

【0037】

上記請求項5の方法および請求項14の装置によれば、位置センサ、速度センサ、加速度センサ、電流センサ、力センサ、トルクセンサ、または歪みゲージの検知出力を利用して、アクチュエータからの力を抽出できる。

【0038】

上記請求項6の方法および請求項15の装置によれば、外乱オブザーバによってアクチュエータからの力を抽出することで、個体を動作させたときの時系列な反作用力の触覚情報を取得できるので、力覚センサを用いることなく触覚情報の取得が可能になる。

【0039】

上記請求項7の方法および請求項16の装置によれば、周波数分析データが個体と関連付けられて、記憶手段に関連付けデータとして記憶されるので、個体を動作させたときに生じた力から、その個体の動作の特徴や癖などの特徴を直感的且つ定量的に抽出できるような周波数分析データを、触覚ベースで各個体ごとにデータベース化することが可能になる。

【0040】

上記請求項8の方法および請求項17の装置によれば、周波数分析データと記憶手段から読み出される関連付けデータとの比較解析を行なうことで、個体の動作の特徴や癖といった触覚ベースでの個体認証が可能になる。

【0041】

上記請求項9の方法および請求項18の装置によれば、画像や音声信号処理などの分野で研究開発が進んでいるフーリエ変換またはウェーブレット変換またはコサイン変換を採用することで、触覚情報の時間領域における解析処理を容易に行なうことが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0042】

本発明における好適な実施の形態について、添付図面を参照して説明する。なお、以下に説明する実施の形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を限定するものではない。また、以下に説明される構成の全てが、本発明の必須要件であるとは限らない。

【0043】

図1は、本発明の好適な一実施例を示す装置の機能的構成を示している。同図において

10

20

30

40

50

、 1 は外部から取得した触覚情報を視覚情報化する装置本体であって、これは演算処理機能を有する例えばコンピュータなどにより構成される。装置本体 1 は、ある時間における力と位置の触覚情報を取得する手段としての入力手段 2 と、入力手段 2 で取得した触覚情報を時間領域と位置領域すなわち空間領域でそれぞれ解析処理する処理手段 3 と、処理手段 3 で得られた空間位置毎の周波数分析データを記憶する記憶手段 4 と、画面（ディスプレイ）やプリンタなどの視覚的な表示手段 5 と、後述するアクチュエータシステム 3 1 の駆動を制御するモータ制御手段 6 と、を備えて構成される。

【 0 0 4 4 】

また、ここでは環境 E への接触動作により生じた反作用力情報を抽出するために、2 台のロボットすなわちマスターシステム 3 2 とスレーブシステム 4 2 とにより構成されるアクチュエータシステム 3 1 が設けられる。マスターシステム 3 2 とスレーブシステム 4 2 は、周知のようにエネルギーを動力に変換するもので、好ましくは同一の構成を有する。マスターシステム 3 2 は、個体である人間の操作力が加わる可動体としての軸体 3 3 と、この軸体 3 3 を一方向に動かすリニアモータ 3 4 と、リニアモータ 3 4 ひいては軸体 3 3 の位置と加速度をそれぞれ監視する検知手段 3 5 と、を備えて構成され、これに対応するように、スレーブシステム 4 2 は、前記操作力に応じた反作用力が発生する可動体としての軸体 4 3 と、この軸体 4 3 を一方向に動かすリニアモータ 4 4 と、リニアモータ 4 4 ひいては軸体 4 3 の位置と加速度をそれぞれ監視する検知手段 4 5 と、を備えて構成される。さらに、軸体 3 3 , 4 3 の可動方向一側には、当該軸体 3 3 , 4 3 と接触可能な位置に環境 E 1 , E 2 が設けられる。

【 0 0 4 5 】

前記モータ制御手段 6 には、マスターシステム 3 2 とスレーブシステム 3 3 の間でこれらをバイラテラルに力覚フィードバック制御するためのフィードバック制御部 5 1 が設けられる。このフィードバック制御部 5 1 には、力覚センサを用いずにマスターシステム 3 2 とスレーブシステム 4 2 を加速度制御するために、マスターシステム 3 2 とスレーブシステム 4 2 のそれぞれに位置・加速度統合型の外乱オブザーバ（PAIDO）5 2 , 5 3 が組み込まれる。外乱オブザーバ 5 2 は、マスターシステム 3 2 の検知手段 3 5 で得られた位置検知信号と加速度検知信号により、マスターシステム 3 2 における外乱力ひいては人間の操作力を推定するもので、また別な外乱オブザーバ 5 3 は、スレーブシステム 4 2 の検知手段 4 5 で得られた位置検知信号と加速度検知信号により、スレーブシステム 4 2 における外乱力ひいては前記操作力に伴い発生する反作用力を推定するものである。そしてフィードバック制御部 5 1 は、これらの外乱オブザーバ 5 2 , 5 3 で得られた操作力や反作用力の推定値と、各検知手段 3 5 , 4 5 で得られた加速度（または位置）検知信号から、上記マスターシステム 3 2 における操作力（作用力）とスレーブシステム 4 2 における反作用力の和が 0 になり、且つマスターシステム 3 2 の位置とスレーブシステム 4 2 の位置との偏差が 0 になるように、マスターシステム 3 2 のリニアモータ 3 4 と、スレーブシステム 4 2 のリニアモータ 4 4 をバイラテラルに力覚フィードバック制御する構成になっている。ここでは、モータ制御手段 6 によってアクチュエータシステム 3 1 を力制御するのではなく、アクチュエータシステム 3 1 を位置制御，速度制御，加速度制御，またはトルク制御する構成であってもよい。

【 0 0 4 6 】

なお、ここではマスターシステム 3 2 やスレーブシステム 4 2 の駆動源としてリニアモータ 3 4 , 4 4 を採用しているが、他の駆動源を用いてもよい。また、アクチュエータシステム 3 1 として、スレーブシステム 4 2 を 2 台以上備えた構成とし、合計で 3 台以上のマスターシステム 3 2 やスレーブシステム 4 2 をネットワーク（図示せず）で接続することで、フィードバック制御部 5 1 によりマルチラテラルに力覚フィードバック制御する構成としてもよい。こうした概念は、本願発明者らが特願 2 0 0 6 - 5 7 6 3 2 号で既に提案している。何れにせよ、個体の動作に伴う作用力と反作用力を分離して抽出できれば、アクチュエータシステム 3 1 はどのようなデバイス構成であっても構わない。

【 0 0 4 7 】

前記入力手段 2 は、ある時間において、個体を動作させたときにどのような反作用力が時系列的に生じているのかという触覚情報を最終的に取得し、後段の処理手段 3 に出力できれば、どのような構成であってもよい。上述したモータ制御手段 6 による力制御系では、駆動源であるリニアモータ 3 4 により可動する可動体としての軸体 3 3 が、接触対象である環境 E 1 に接触したときに受ける反作用力を、外乱オブザーバ 5 2, 5 3 で得られる推定値を利用して取り込むと共に、必要に応じて、その反作用力を環境 E のどの位置で受けたのかという情報を、図示しない位置検知手段から入力手段 2 が取り込んでよい。この場合は、入力手段 2 に備えた計時手段 2 A の時間カウントを利用して、ある時間における反作用力と位置とを特定する触覚情報を取得する構成であってもよい。また、外乱オブザーバ 5 2, 5 3 からの推定値に代わって、例えばスレーブシステム 4 2 に取付けられた触覚センサからの検知出力により、反作用力を取り込んでよい。入力手段 2 は、マスターシステム 3 2 または / スレーブシステム 4 2 における位置、速度、加速度、電流、力、トルクを検知する各種センサや、歪みを検知する歪みゲージからの検知出力を用いて、アクチュエータシステム 3 1 からの力を抽出する構成であってもよい。

【 0 0 4 8 】

また、別な例として、キーボードやマウスなどの操作手段 1 7 を入力手段 2 に接続し、この操作手段 1 7 から操作入力された任意の環境 E に接触したときの時系列な反作用力のデータと、場合によっては位置のデータを、そのまま触覚情報として入力手段 2 が取り込んでよく、さらに別な例として、時系列な少なくとも反作用力と、場合によっては位置の触覚情報を記憶した外部媒体 1 8 を入力手段 2 に接続し、外部媒体 1 8 から読み出した触覚情報を入力手段 2 が取り込む構成であってもよい。この場合、上述した計時手段 2 A を入力手段 2 に組み込む必要はない。

【 0 0 4 9 】

ここで、処理手段 3 が必要とする触覚情報は、同じ時間における力と位置の各情報を含んでいて、時間的に同期しているものであってもよいし、違う時間における力と位置の各情報を含んでいて、時間的に非同期なものであってもよい。

【 0 0 5 0 】

処理手段 3 は、入力手段 2 で取得した触覚情報を時間領域で解析する時間領域解析部 2 1 と、当該触覚情報を空間領域で解析する空間領域解析部 2 2 と、を備えて構成される。時間領域解析部 2 1 は、入力手段 2 で取得した触覚情報を時間領域で周波数解析して、触覚情報に含まれる時間と力との関係を、周波数と振幅（振動レベル）との関係を示す周波数分析データに変換できれば、どのような構成であってもよい。こうした周波数解析は、画像や音声信号処理などの分野で研究開発が進んでおり、高速フーリエ変換（FFT）やウェーブレット変換を用いた手法が例として挙げられる。そこで、本実施例における時間領域解析部 2 1 は、内蔵する FFT やウェーブレット変換による変換機能を用いて、触覚情報の時間領域としての解析を行ない、特徴的な周波数成分を抽出した周波数分析データを取得できるようになっている。

【 0 0 5 1 】

一方、空間領域解析部 2 2 は、空間領域を小空間に分割して数値解析を行なうもので、これを実現する手法としては、有限要素法がよく知られている。そこで本実施例の空間領域解析部 2 2 は、内蔵する有限要素法の変換機能によって、実世界空間を小空間に分割して抽出された触覚情報を時間領域で解析し、その結果を 2 次元空間に投影できるように、実世界空間上の位置と関連付けできるようになっている。なお、固定した一乃至複数の点の位置に関する触覚情報の場合は、この空間領域解析部 2 2 による解析を省略してもよい。

【 0 0 5 2 】

処理手段 3 は、時間領域解析部 2 1 による解析結果と、接触位置が複数ある場合には、時間領域解析部 2 2 による解析結果とを統合することで、小空間の各接触位置に対応した周波数分析データを取得し、これを個体を特徴付ける識別データと関連付けて、記憶手段 4 に記憶させる。この場合、時間領域解析部 2 1 による周波数解析に続いて、空間領域解

10

20

30

40

50

析部 2 2 による空間解析を行なう構成としてもよいし、逆に空間解析に続いて周波数解析を行なう構成としてもよい。さらには、周波数解析と空間解析を並行して行なう構成としてもよいし、接触位置が固定して空間解析が不要な場合は、空間領域解析部 2 2 の構成を省略してもよい。

【 0 0 5 3 】

なお、ここに提示され、またはここに提示されていない周知の各種変換機能を単独または複数組み合わせ、同様の処理手段 3 を実現してもよい。例えば時間領域解析部 2 1 に内蔵する変換機能として、例えば F F T 以外のフーリエ変換や、ウェーブレット変換や、コサイン変換を採用してもよい。ここでいうフーリエ変換とは、離散フーリエ変換や、短時間フーリエ変換などを含み、コサイン変換は、特殊な離散フーリエ変換である離散コサイン変換や、離散コサイン変換の一手法である変形離散コサイン変換などを含む。また、ウェーブレット変換とは、連続ウェーブレット変換や、離散ウェーブレット変換などを含む。

10

【 0 0 5 4 】

また処理手段 3 は、触覚情報の解析処理結果である周波数分析データから、個体毎にその動作や反応を抽出する抽出手段 2 4 を備えている。この抽出手段 2 4 により、例えば個人の動作の特徴や癖といった個体毎の力覚ベースでの特徴的な周波数の情報を抽出することができ、こうした抽出情報を基に、例えば後述する表示制御手段によって、表示手段 5 に色や濃淡による可視化表現を任意に行なわせたり、認証手段 2 5 による照合を行なわせたりすることが可能になる。

20

【 0 0 5 5 】

前述のように、記憶手段 4 には、個体である人間が動作したときの反作用力から得られた周波数分析データが、個体の特徴を示す識別データ毎に、データベース化されて保存される。図 2 は、記憶手段 4 に記憶されるデータの保存形態を模式的に示しているが、ここでは例えば個人毎に割り当てられた固有の識別番号や、個人の名前などの情報を記憶した識別データ 6 1 と、その個人に対する触覚情報から得られた周波数とスペクトル強度の可視化情報を記憶した周波数分析データ 6 2 が、一つの関連付けデータ 6 3 として記憶手段 4 に記憶保存される。識別データ 6 1 の入力、例えば装置本体 1 に接続する操作手段 1 7 から行なえるようにすればよい。

【 0 0 5 6 】

また、図 2 に示すように、空間領域解析部 2 2 による空間解析によって、同じ材質で複数の位置の周波数分析データ 6 2 が存在する場合には、それらを纏めて同じ関連付けデータ 6 3 内に保存するのが好ましい。これにより、同じ材質から受ける触覚情報に関し、空間配置上における周波数分析データ 6 2 の特徴を直ちに把握することができる。

30

【 0 0 5 7 】

処理手段 3 は、入力手段 2 からの触覚情報を解析して、周波数分析データを取得する毎に、この比較対象となる周波数分析データと同一または類似している周波数分析データ 6 2 が、記憶手段 4 から読み出される各関連付けデータ 6 3 内に存在するか否かを比較解析し、その比較解析結果を出力する認証手段 2 5 を備えている。認証手段 2 5 から出力される比較解析結果を、どのように利用するのはここでは特に限定しない。例えば図示しないが、開閉自在なドアを施錠または開錠するロック手段に認証手段 2 5 を接続し、認証手段 2 5 からデータ照合が取れた旨の比較解析結果が出力された場合にのみ、ロック手段によりドアを開錠する構成としてもよい。また好ましくは、認証手段 2 5 は前記抽出手段 2 4 を利用して、比較対象となる周波数分析データの中で周波数的な特徴となる部分と、各関連付けデータ 6 3 内の周波数分析データ 6 2 の中で周波数的な特徴となる部分について、比較解析を行なうように構成すればよい。こうすれば、全ての周波数分析データについて比較解析を行なう必要がなく、認証に必要な時間を短縮化することができる。

40

【 0 0 5 8 】

上記処理手段 3 は、記憶手段 4 に保存される各位置に対応した周波数分析データを読み出して、触覚情報を写真のように可視化して表示手段 5 で表示できるように、当該表示手

50

段5を制御する表示制御手段としての機能を備えている。このような触覚情報を可視化する新たな表現技術を、ここでは「ハプトグラフ(Haptograph)」と表現して以後説明する。表示手段5により表示される「ハプトグラフ」は、入力手段2で取得した触覚情報に対し、処理手段3で高速フーリエ変換やウェーブレット変換のような周波数解析を施すことで、個体毎にどのような周波数成分の振幅レベル(スペクトル)が存在するのかを、振幅レベルの強弱に応じた異なる色や濃淡(グラデーション)で、表示手段5に可視化表現させることが可能になる。

【0059】

因みに「Hapto」とは、ギリシャ語で「触れる」の意味であり、触覚を写真のように視覚化することから「Haptograph」と命名している。本実施例でのハプトグラフは、接触する環境Eの表面から受ける触覚情報を、2次元空間上に配置したものとして定義する。勿論この配置は、1次元または3次元以上であっても構わない。ハプトグラフを用いることで、触覚情報を写真や図のように視覚的に捉えることが可能になるので、より直感的に触覚を認識できるようになる。また、触覚情報を時間領域解析部21で周波数解析し、それによりスペクトルの大きさを例えば色の違いや濃淡で可視化するため、触覚の定量的な評価や比較を行なうことも可能である。

【0060】

前記空間領域解析部22で分割した空間の数は、画像でいえばピクセル(画素)に相当し、分割数は触覚情報の分解能となる。当然、分割数が多ければ詳細な触覚情報を埋め込むことができるが、後述する記憶手段4で保存すべきデータ量も増加する。一つの指標としては、人間が最も触覚を必要とする指先の分解能にあわせて、空間領域解析部22で分割する空間の数を設定するのが好ましい。人間が皮膚に2つの触刺激を受けた時に、その刺激がそれぞれ別の点であると識別できるもっとも短い距離が、成人の人差し指の先端では約2.5mm程度であるといわれている。空間の分割方法や分割数は任意であるが、人間の持つ触覚に対する分解能よりも細かい小空間で、表示手段5による「ハプトグラフ」を表現することが、人間支援の観点から理想的である。さらに、空間領域解析部22で分割した小空間を、離散的な点列で構成したハプトグラフだけでなく、小空間を連続的な線と捉えることで、なで動作によるハプトグラフの作成も可能である。

【0061】

図3は、上記バイラテラル力覚フィードバックによる「作用・反作用の法則」を人工的に再現する上での概念を示す図である。本実施例では、前記「ハプトグラフ」の概念を人間の動作に適用し、触覚ベースでの動作の周波数解析を行なうことを目的としている。前述したように、触覚情報は視覚情報や聴覚情報とは異なり、実世界における「作用・反作用の法則」に支配されることから、こうした作用力と反作用力をそれぞれ抽出し、再現するためには、フィードバック制御部51によるバイラテラル力覚フィードバックが必要となる。これは図3に示すように、個体である人間Aが、実世界で環境Eを動かす時に同時に生じる作用力と反作用力を、フィードバック制御部51によって一方のマスターシステム32において作用力だけを抽出し、他方のスレーブシステム42において反作用力だけを抽出することで実現する。こうして、2台のマスターシステム32とスレーブシステム42とを、フィードバック制御部51によってバイラテラル力覚フィードバック制御する構成を構築することで、人間Eの作用力と環境Eからの反作用力の分離が可能になり、そこから動作中の触覚情報の抽出が可能になる。

【0062】

次に、上記構成に基づき、本実施例における触覚の視覚的表現方法の各手順を、図5のフローチャートを参照して説明する。装置本体1を起動させ、処理動作を開始させると、入力手段2はステップS2において、後段の処理手段3に送出するための触覚情報を取得する。この触覚情報の取得には、ステップS1の接触動作が先に行なわれる。

【0063】

具体的には、例えば図1において、バイラテラルに力覚フィードバック制御されたアクチュエータシステム31を備えた構成では、マスターシステム32の軸体33を動かし、

10

20

30

40

50

この軸体 3 3 を環境 E 1 に接触させることで、ステップ S 1 の接触動作が行なわれる。また、ここでは接触動作に伴いスレーブシステム 4 2 に生じる外乱力が、モータ制御手段 6 に備えた好ましくは位置・加速度統合型の外乱オブザーバ 5 3 によって推定され、この外乱力の推定値が、反作用力の情報として外乱オブザーバ 5 3 から入力手段 2 へ出力される。

【 0 0 6 4 】

なお、マスターシステム 3 2 の軸体 3 3 を動かす際に、この軸体 3 3 を環境 E 1 に接触させる代わりに、スレーブシステム 4 2 の軸体 4 3 を環境 E 2 に接触させ、このときの環境 E 2 に対する接触位置や反作用力の情報を、入力手段 2 が取り込んでもよい。

【 0 0 6 5 】

また、上記ステップ S 1 の接触動作に伴う環境 E 1 と軸体 3 3 若しくは環境 E 2 と軸体 4 3 との接触位置は、これを図示しない位置センサで検知して、入力手段 2 へ出力してもよいし、予め接触位置が判っている場合には、その位置情報を入力手段 2 が取り込んでもよい。例えば環境 E 1 やマスターシステム 3 2 若しくは環境 E 2 やマスターシステム 4 2 が不規則に動いていて、接触位置が定まらない場合には、位置センサの検知出力を入力手段 2 が位置の情報として取り込むのが好ましい。逆に、例えば環境 E 1 またはマスターシステム 3 2 若しくは環境 E 2 やマスターシステム 4 2 を X - Y テーブルなどに取付けて、モータ制御手段 6 から X - Y テーブルへ出力される制御信号により、決められた位置で軸体 3 3 (または軸体 4 3) を環境 E 1 (または環境 E 2) に接触させる場合、このモータ制御手段 6 からの前記制御信号を利用して、入力手段 2 が位置の情報を取り込めば、上記位置センサを不要にすることができる。

【 0 0 6 6 】

ステップ S 2 において、入力手段 2 は取り込まれた力と位置の情報の経時的な変化を触覚情報として取得するために、内蔵する計時手段 2 A の時計カウントを用いて、時間と力および時間と位置とを関連付ける。因みに、入力手段 2 に取り込まれる力や位置の情報に、予め時間情報が関連付けられている場合は、これをそのまま触覚情報として取得することができる。また、操作手段 1 7 や外部媒体 1 8 から直接触覚情報を取得する場合には、ステップ S 1 の手順を省略することも可能である。

【 0 0 6 7 】

こうして、ステップ S 2 において触覚情報が得られると、処理手段 3 の時間領域解析部 2 1 は、触覚情報に含まれる時間と力との関係から、これを FFT やウェーブレット変換などの周波数解析手法を用いて、触覚情報の時間領域としての解析を行なう (ステップ S 3)。こうした周波数解析を施すと、ある期間に生じる反作用力の情報から、それがどのような周波数特性を有するのかという周波数分析データを取得することができる。

【 0 0 6 8 】

次のステップ S 4 において、処理手段 3 の空間領域解析部 2 2 は、時間領域解析部 2 1 により求められた周波数分析データを、軸体 3 3 が接触する環境 E 1 の表面形状に基づき、空間上に配置する空間解析を行なう。具体的には、環境 E 1 と軸体 3 3 との接触位置が刻々と変化する場合、単に時間領域解析部 2 1 により周波数解析を行なうだけでは、その変化する接触位置上での周波数分析データしか取得することができない。そこで、ステップ S 3 で求めた周波数分析データに対し、さらに空間領域解析部 2 2 で例えば有限要素法による空間解析を施すことにより、固定した位置での周波数分析データを取得することができる。

【 0 0 6 9 】

なお、処理手段 3 からの前記制御信号により、環境 E と軸体 3 3 若しくは環境 E 2 と軸体 4 3 との接触位置を固定して、反作用力の情報を取り込む場合は、その反作用力の情報に対応する接触位置の情報が、入力手段 2 から処理手段 3 に与えられることで、ステップ S 3 で求めた周波数分析データと接触位置とを、空間領域解析部 2 2 による空間解析を行なわずに、時間領域処理部 2 1 だけで関連付けることができる。そしてこの場合は、ステップ S 1 ~ ステップ S 3 の各手順が終了した時点で、軸体 3 3 (または軸体 4 3) を環境

10

20

30

40

50

E 1 (または環境 E 2) の別な位置に接触動作させるために、ステップ S 1 の手順に戻すことにより、様々な固定した接触位置での周波数分析データを得ることができる。また、一点の位置だけの周波数分析データを得る場合には、ステップ S 1 の手順に戻ることなく、次のステップ S 5 の手順が行なわれる。

【 0 0 7 0 】

こうして空間領域解析部 2 2 が、実空間の位置に対応した周波数分析データを処理手段 3 の解析処理結果として生成すると、次のステップ S 5 で解析処理結果を記憶手段 4 に保存し、さらにはこの記憶手段 4 から解析処理結果を読み出して、処理手段 3 に備えた抽出手段 2 4 と表示制御手段が、前述した「ハプトグラフ」を表示手段 5 に表示させ、一連の処理を終了する。

10

【 0 0 7 1 】

ここで、表示手段 5 の表示形態は、「ハプトグラフ」の概念を逸脱しない限り、どのようなものであっても構わない。例えば、環境 E 1 の表面形状に応じた一乃至複数の位置上に、所定範囲の周波数におけるスペクトルの度合を、線、色、濃淡などで可視化させてもよい。また、点在する固定した位置の周波数分析データ間を直線などで補間し、メッシュ状に繋いで連続的に表示させてもよい。さらに、一つの決められた位置において、どのような周波数成分でどのような強さのスペクトルが存在するのかを、表示手段 5 により色などで可視化表示させてもよい。

【 0 0 7 2 】

また処理手段 3 は、ステップ S 4 で得られた周波数分析データを、その個体に関する識別データと関連付けて、これを関連付けデータ 6 3 として記憶手段 4 に記憶させる。これにより記憶手段 4 には、個体毎に可視化可能な周波数分析データ 6 2 が蓄積保存されてゆく。つまり、記憶手段 4 によって、各個体に応じた触覚情報の周波数解析結果が、データベース化されることになる。記憶手段 4 の関連付けデータ 6 3 は、例えば操作手段 1 7 からの入力操作により、その中の一部若しくは全てが読み出され、表示手段 5 に周波数分析データ 6 2 が可視化表示されたり、或いは図示しない通信手段を介して、外部に転送することができる。こうした処理手段 3 の機能によって、「ハプトグラフ」を用いた新規な実世界触覚情報の可視化表現と、そうした触覚情報の可視化共有が可能となる。

20

【 0 0 7 3 】

また、任意の個体が接触動作を行なう照合時において、上記ステップ S 1 ~ ステップ S 4 の各手順に従い、処理手段 3 で周波数分析データが得られると、処理手段 3 に備えた認証手段 2 5 が、記憶手段 4 から関連付けデータ 6 3 を一つずつ読み出して、その中に含まれる周波数分析データ 6 2 の中で周波数的な特徴となる部分を抽出手段 2 4 に抽出させると共に、処理手段 3 で得られた周波数分析データの中で周波数的な特徴となる部分を、同様に抽出手段 2 4 に抽出させ、双方の比較解析を行なう。そして判別手段 2 5 は、双方で特徴となる部分が一致またはある閾値以上に類似していれば、マスターシステム 3 2 を動作する固体の照合が取れたと判断して、その旨を照合結果信号として出力する。これにより、個体の動作の特徴や癖といった触覚ベースでの個体認証が可能になる。

30

【 0 0 7 4 】

続いて、上記図 1 の装置本体 1 を利用した実験例について、その装置構成と実験結果を説明する。

40

【 0 0 7 5 】

図 4 は、実験例で採用した実験システムであり、ここには前記図 1 のアクチュエータシステム 3 1 に相当する構成が示されている。同図において、マスターシステム 3 2 に着目すると、ここにはマスターシステム 3 2 の設置用固定板として、平面が矩形の金属製板材からなる土台 7 1 が設けられ、その土台 7 1 の上面における長手方向に沿って、丸棒状の金属製軸体 3 3 が土台 7 1 の上面に前後方向に移動自在に設けられている。また、軸体 3 3 の長手方向のほぼ中央箇所位置して、土台 7 1 の上面に固定したりニアモータ 3 4 を装着する。このリニアモータ 3 4 によって、軸体 3 3 をその長手方向に移動できるようになっている。さらに、軸体 3 3 の長手方向の他端に検知手段 3 5 としての位置エンコ

50

ーダ72を装着する。この位置エンコーダ72によって、軸体33の位置と加速度を測定することができる。その他、リニアモータ34にはリニアガイド73が取付けられる。

【0076】

また、同様にスレーブシステム42も、スレーブシステム42の設置用固定板として、平面が矩形の金属製板材からなる土台81が設けられ、その土台81の上面における長手方向に沿って、丸棒状の金属製軸体43が土台81の上面上に前後方向に移動自在に設けられている。また、軸体43の長手方向のほぼ中央箇所に位置して、土台81の上面上に固定したリニアモータ44を装着する。このリニアモータ44によって、軸体43をその長手方向に移動できるようになっている。さらに、軸体43の長手方向の他端に検知手段35としての位置エンコーダ82を装着する。この位置エンコーダ82によって、軸体43の位置と加速度を測定することができる。その他、リニアモータ34にはリニアガイド83が取付けられる。

10

【0077】

そして、ここでは2台のリニアモータ34, 44を直交したX-Yテーブルとして構成している。

【0078】

図4に示す実験システムは、アクチュエータシステム31として図1に示す装置本体1に接続される。これにより、人間の操作力および環境E2からの反作用力は、位置・加速度統合型(PAID0)の外乱オブザーバ52, 53によって、力覚センサレスで推定される。力覚センサを用いずに力覚フィードバックを実現するための外乱オブザーバ52, 53に用いる摩擦同定の精度は、力覚の推定精度に強く影響する。したがって、外乱オブザーバ52, 53でそれぞれ推定される操作力や反作用力の誤差を最小にするためには、アクチュエータシステム31としての機構的な摩擦を少なくすることが重要である。なお、前記装置本体1の各部を制御するプログラムは、サンプリングタイムを100 μ sに設定している。

20

【0079】

ここでは、2人の被験者A, Bが同じ動作を行なったときの「ハプトグラフ」を処理手段3で作成し、個人差がどのように現れるのかを比較する実験を行なった。また、被験者A, Bの動作は、マスターシステム32の軸体33に対して1Hzで3cm往復する運動を10秒間繰り返し、スレーブシステム42の軸体43が環境E2と接触を伴わない自由動作と、軸体43を環境E2に接触させる接触動作のそれぞれ2回ずつ行なった。

30

【0080】

図6および図7は、被験者Aの1回目と2回目の自由動作を行なった際の実験結果をそれぞれ示しており、また図8および図9は、別な被験者Bの1回目と2回目の自由動作を行った際の実験結果をそれぞれ示している。これらの各図において、上側の図は反作用力の時系列データを示しており、下側の図はそれに対応して、周波数毎のスペクトルの大きさに応じて色や濃淡で表現した「ハプトグラフ」を示している。

【0081】

自由動作における実験結果では、環境E2との接触を行っていないことから、個人の動作のみに依存した「ハプトグラフ」を取得することができる。図6と図7、若しくは図8と図9を比較すると、これらはそれぞれ同一人物による動作を基にしており、同一人物における1回目と2回目の「ハプトグラフ」では、周波数の特徴として同様の傾向が表れていることが確認できる。

40

【0082】

一方、図6および図7と、図8および図9との間で比較を行なうと、特に被験者Bの「ハプトグラフ」からは、被験者Aの「ハプトグラフ」には存在していない30Hz付近に強いスペクトルが確認される。したがって、反作用力の時系列データからでは確認できない動作の特徴周波数を抽出手段24で抽出し、これを「ハプトグラフ」として表示手段5により可視化表示することが可能である。

【0083】

50

図10および図11は、被験者Aの1回目と2回目の接触動作を行なった際の実験結果をそれぞれ示しており、また図12および図13は、別な被験者Bの1回目と2回目の接触動作を行った際の実験結果をそれぞれ示している。これらの各図において、上側の図は反作用力の時系列データを示しており、下側の図はそれに対応して、周波数毎のスペクトルの大きさに応じて色や濃淡で表現した「ハプトグラフ」を示している。

【0084】

ここでも自由動作の実験の場合と同様に、図10と図11、若しくは図12と図13を比較すると、同一人物における1回目と2回目の「ハプトグラフ」では、周波数の特徴として同様の傾向が表れていることが確認できる。

【0085】

一方、図10および図11と、図12および図13との間で比較を行なうと、上側にある反作用力の時系列データからは、被験者Aと被験者Bとの間で反作用力のピーク点にそれほど違いが見られないが、下側の「ハプトグラフ」からは明確に個人特有の癖の違いを確認することができる。

【0086】

このように、本実施例で提案した手法により、従来のような反作用力の時系列データからでは確認することができない人間の動作における個人の癖を、「ハプトグラフ」により明確に表示し、かつ定量的に評価できることが明らかになった。

【0087】

本実施例では、「ハプトグラフ」による実世界における触覚情報の可視化技術を提案している。この「ハプトグラフ」の作成にあたっては広帯域な触覚センシングが必要であり、特に位置・加速度統合型(PAIDO)の外乱オブザーバ52, 53を用いることで、人間の感じる触覚帯域すべてをカバーすることが望まれる。なお、PAIDO外乱オブザーバ52, 53については、本願発明者らが先に出願した特願2006-57614号で詳しく説明しているので、ここでの説明は省略する。

【0088】

また、個体である人間の動作抽出システムとして、マスターシステム32とスレーブシステム42からなるアクチュエータシステム31を構成することで、人間の操作力および環境E2からの反作用力から、実世界における触覚情報の抽出を行った。また図4に示す実験システムでは、異なる2名の被験者A, Bに対して同じ動作を行なわせ、抽出した反作用力情報を「ハプトグラフ」で表示することを行なった。その結果、環境E2と接触を伴わない自由動作と、環境E2に接触する接触動作の双方で、個体固有の癖を抽出することが可能になる。

【0089】

以上のように本実施例では、個体の動作に応じて作動するアクチュエータとしてのアクチュエータシステム31を備え、アクチュエータシステム31は、1台以上のマスターシステム32および2台以上のスレーブシステム42をネットワークで接続してなり、個体からの作用力をマスターシステム32で受けると、この作用力に伴う反作用力を、ネットワークを介してスレーブシステム42で生成する構成を有し、ある時間にどのような反作用力が生じているのかを、個体を動作させたときの時系列な力の触覚情報として入力手段2により取得し、この入力手段2で取得した触覚情報を、処理手段3により時間領域で解析処理して、前記触覚情報に含まれる時間と力との関係を、周波数と振幅との関係を示す周波数分析データに変換し、この周波数分析データから個体の動作または反応に関し周波数的な特徴を抽出手段24で抽出する方法と装置を提供している。

【0090】

この場合、個体を動作させたときの触覚情報をそのまま単に時系列的に並べるのではなく、取得した触覚情報に時間領域で処理手段3で解析処理を施し、その解析処理結果である周波数分析データから個体の動作や反応の特徴を抽出手段24で抽出ようにしている。そのため、例えば熟練技術者の持つスキルや、個体の動作の特徴や癖といった諸情報の特徴的な周波数について、個体の動作を触覚情報として取得して定量的に把握すること

10

20

30

40

50

ができ、そこから動作や反応の特徴を抽出することが可能になる。

【0091】

また、マスターシステム32に加わる個体からの作用力と、この作用力を受けてスレーブシステム42で発生する反作用力とを別々に分離でき、そこから抽出される力に基づき、ある時間にどのような反作用力が生じているのかを、触覚情報として取得することが可能になる。

【0092】

さらに、一乃至複数のマスターシステム32に個体からの作用力が加わると、ネットワークを介して複数のスレーブシステム42に反作用力を発生させることができ、遠隔地における力伝送を可能にできる。

【0093】

また、ここでは処理手段3によって、周波数分析データから、抽出した動作または反応を視覚的に表現させるようになっている。つまり、単に個体の動作や反応を抽出するだけでなく、これらを視覚的に表現させて、例えば表示手段5などにより提示することが可能になる。

【0094】

この場合、アクチュエータシステム31から抽出した力によって、触覚情報を取得する。こうすれば、アクチュエータシステム31を利用して、そこから抽出される力に基づき、触覚情報を取得することが可能になる。

【0095】

また代わりに、アクチュエータシステム31が制御手段であるモータ制御手段6により制御されているシステムから抽出した力によって、触覚情報を取得してもよい。当該モータ制御手段6によりアクチュエータシステム31の例えば位置、速度、加速度、トルク、または力を制御しつつ、これらのモータ制御手段6とアクチュエータシステム31とを組み合わせたシステムから抽出される力に基づき、触覚情報を取得することが可能になる。

【0096】

上記アクチュエータシステム31からの力が、位置センサ、速度センサ、加速度センサ、電流センサ、力センサ、トルクセンサ、または歪みゲージを用いて抽出される場合、これらのセンサやゲージの検知出力を利用して、アクチュエータシステム31からの力を抽出できる。

【0097】

また、アクチュエータシステム31からの力を、外乱オブザーバ52、53により抽出する構成であってもよい。外乱オブザーバ52、53によってアクチュエータシステム31からの力を抽出することで、個体を動作させたときの時系列な反作用力の触覚情報を取得できるので、力覚センサを用いることなく触覚情報の取得が可能になる。

【0098】

また、前記解析処理結果である周波数分析データ62と、個体を特定する識別データ61とを関連付けた関連付けデータ63を、当該個体毎に記憶手段4に記憶させている。つまり、周波数分析データ62が個体と関連付けられて、記憶手段4に関連付けデータ63として記憶されるので、個体を動作させたときに生じた力から、その個体の動作の特徴や癖などの特徴を直感的且つ定量的に抽出できるような周波数分析データ62を、触覚ベースで各個体ごとにデータベース化することが可能になる。

【0099】

また本実施例では、前記処理手段3による解析処理が行なわれると、周波数分析データ62と、記憶手段4から読み出される関連付けデータ63との比較解析を行ない、その比較解析結果を出力する認証手段25を備えている。こうした認証手段25によって、周波数分析データ62と記憶手段4から読み出される関連付けデータ63との比較解析を行なうことで、個体の動作の特徴や癖といった触覚ベースでの個体認証が可能になる。

【0100】

さらに本実施例の処理手段3は、入力手段2で取得した触覚情報をフーリエ変換または

10

20

30

40

50

ウェーブレット変換またはコサイン変換により時間領域または空間領域で解析処理し、また有限要素法を用いた変換により空間領域で解析処理している。つまり、画像や音声信号処理などの分野で研究開発が進んでいるフーリエ変換またはウェーブレット変換またはコサイン変換や、空間領域を小空間に分割して数値解析を行なう手法としてよく知られている有限要素法を採用することで、触覚情報の時間領域や空間領域における解析処理を容易に行なうことが可能になる。

【0101】

その他本実施例では、前記関連付けデータ63を記憶手段4から読み出して、表示手段5に可視化表示させる構成となっている。

【0102】

つまり、関連付けデータ63に含まれる解析処理結果をそのまま表示手段5に可視化表示させるのではなく、記憶手段4に一旦保存してから可視化表示させることで、それまで記憶手段4に蓄積保存されていた解析処理結果を任意に読み出して、これを表示手段5で可視化表示させることが可能になる。

【0103】

なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨の範囲において種々の変形実施が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0104】

上記実施例で提示した「ハプトグラフ」により、触覚情報を可視化することが可能になったため、実世界における触覚をより直感的且つ定量的に表現することができる。とりわけ本発明では、人間などの個体毎の動作を、触覚情報の違いとして周波数解析により可視化し、個人の癖やスキルといった情報を抽出し、周波数および空間情報に基づいて定量比較することも可能である。さらに、ユビキタスネットワークにおいて、個人ごとの動作を記録したパーソナル辞典を作成すれば、熟練技能者の有するスキルの定量的な評価や、触覚ベースでの個人認証といった技術の開発にもつながり、将来の人間支援技術においても広く応用が可能となる。したがって、その産業上の応用は計り知れないものとなり得る。

【図面の簡単な説明】

【0105】

【図1】本発明の一実施例における触覚の解析装置に関し、その全体構成を示すブロック図である。

【図2】同上、記憶手段に記憶されるデータの保存形態を模式的に示した概略説明図である。

【図3】同上、バイラテラル力覚フィードバックによる「作用・反作用の法則」の人工的再現の概念を示す説明図である。

【図4】同上、図1の装置本体を利用した実験システムの斜視図である。

【図5】同上、図1における触覚の解析装置が実行する処理手順をあらわしたフローチャートである。

【図6】同上、被験者Aが1回目の自由動作を行なった際の実験結果を示すグラフである。

【図7】同上、被験者Aが2回目の自由動作を行なった際の実験結果を示すグラフである。

【図8】同上、被験者Bが1回目の自由動作を行なった際の実験結果を示すグラフである。

【図9】同上、被験者Bが2回目の自由動作を行なった際の実験結果を示すグラフである。

【図10】同上、被験者Aが1回目の接触動作を行なった際の実験結果を示すグラフである。

【図11】同上、被験者Aが2回目の接触動作を行なった際の実験結果を示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図12】同上、被験者Bが1回目の接触動作を行なった際の実験結果を示すグラフである。

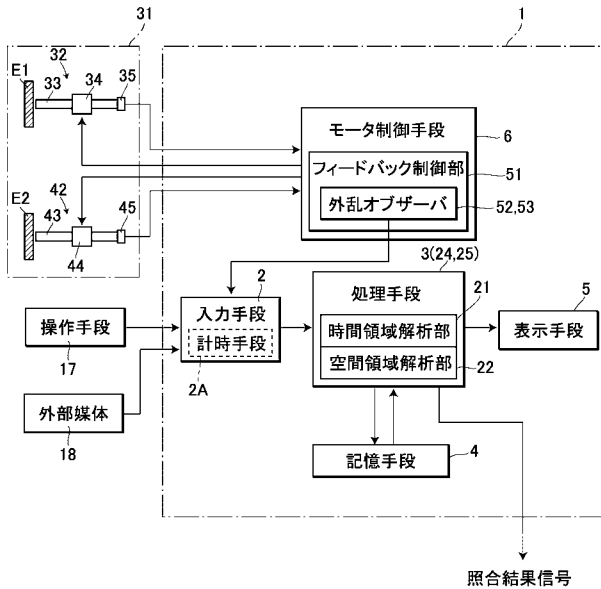
【図13】同上、被験者Bが2回目の接触動作を行なった際の実験結果を示すグラフである。

【符号の説明】

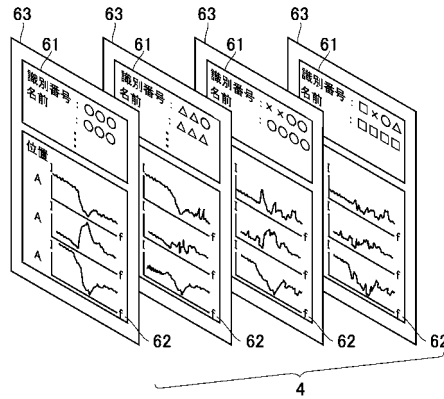
【0106】

- 2 入力手段
- 3 処理手段
- 4 記憶手段
- 5 表示手段
- 6 モータ制御手段（制御手段、システム）
- 24 抽出手段
- 25 認証手段
- 31 アクチュエータシステム（アクチュエータ）
- 32 マスターシステム
- 42 スレーブシステム
- 52, 53 外乱オブザーバ

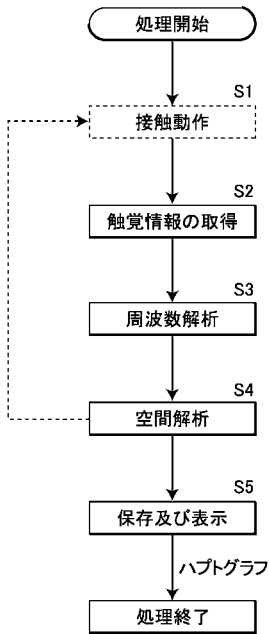
【図1】



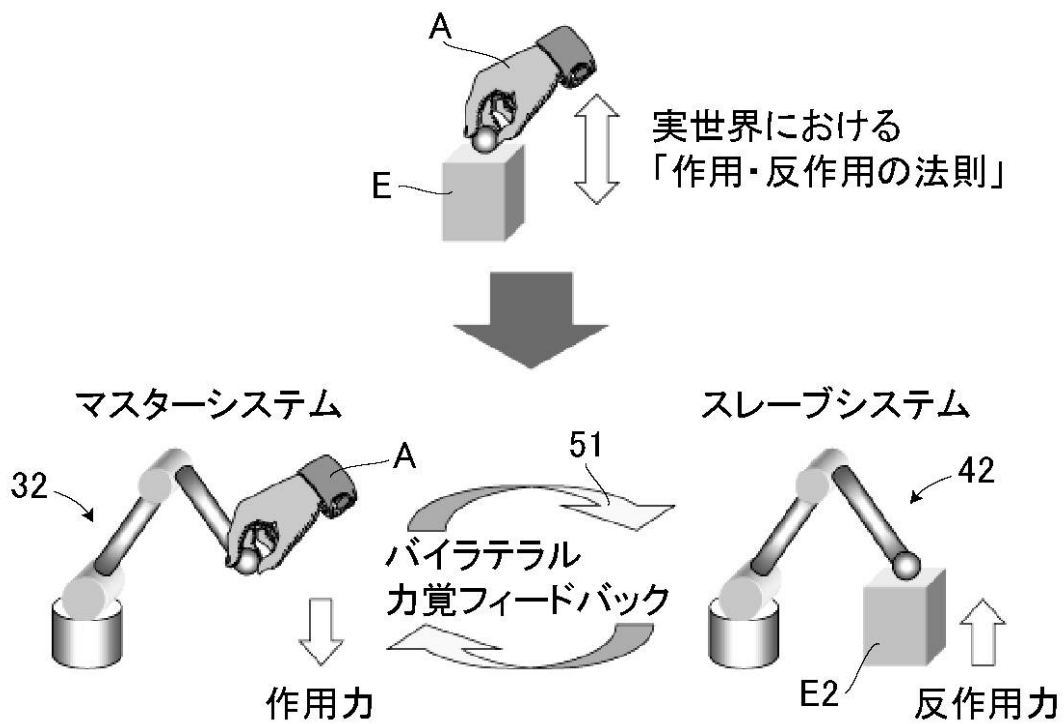
【図2】



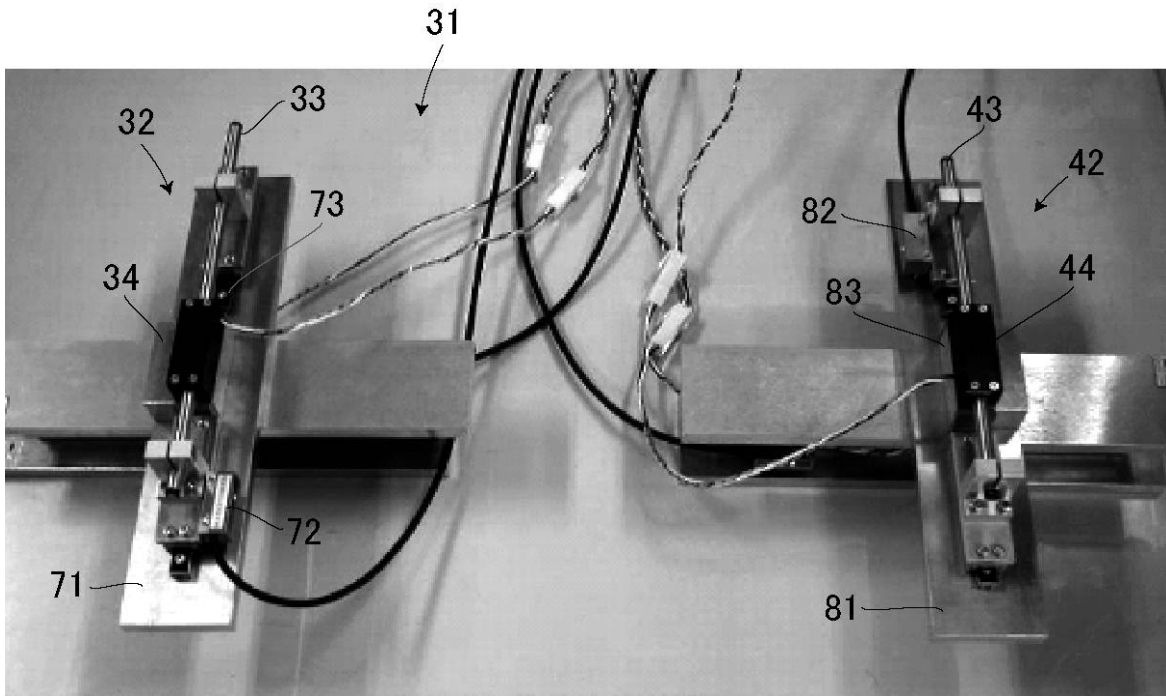
【図5】



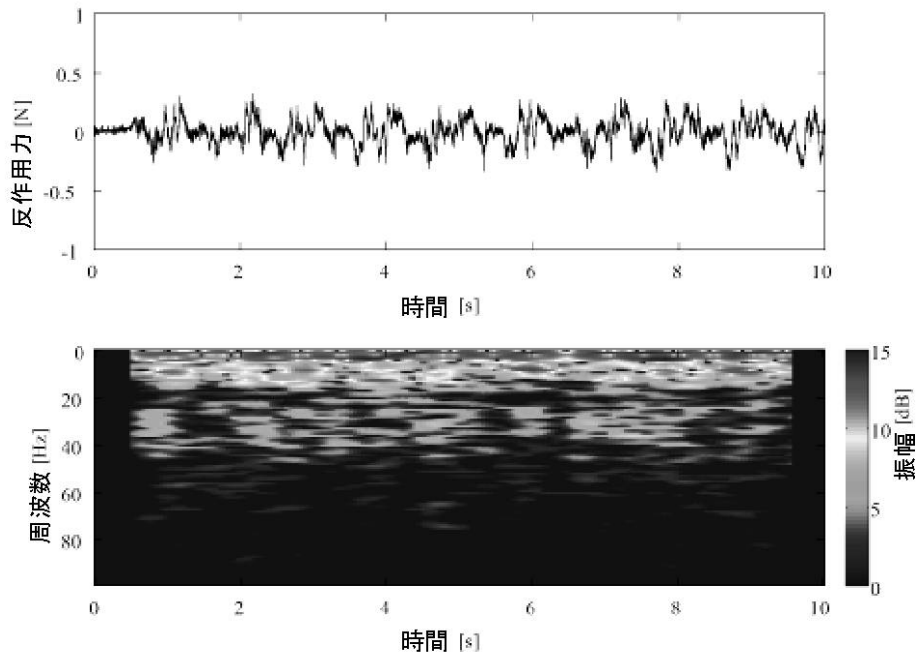
【図3】



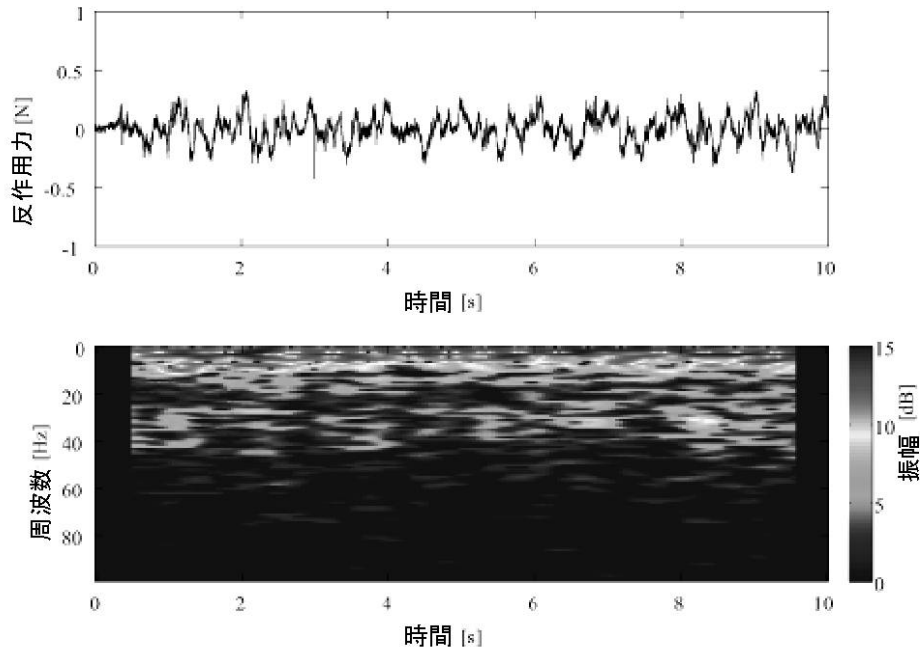
【図4】



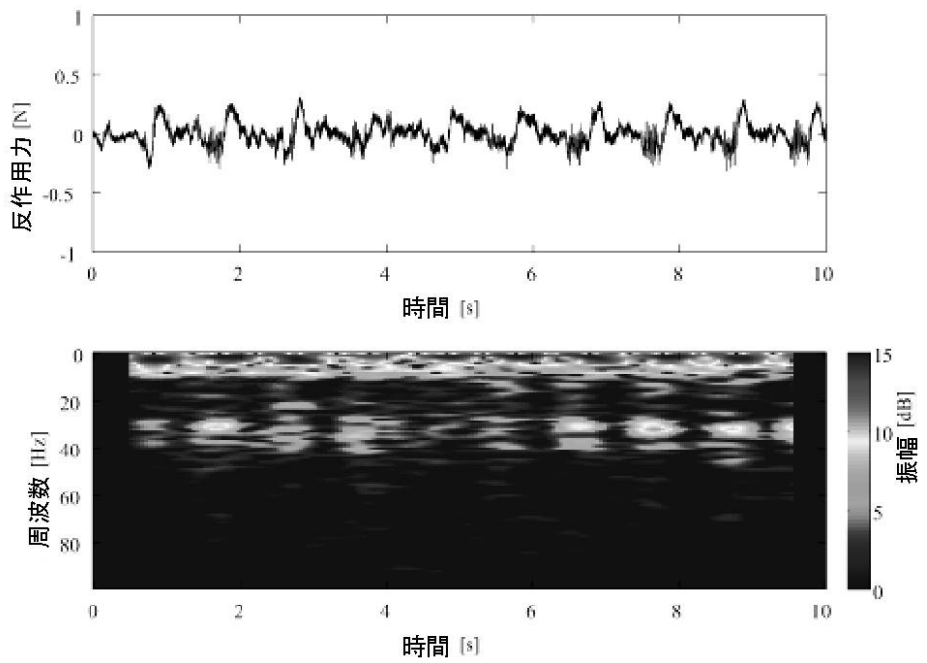
【図6】



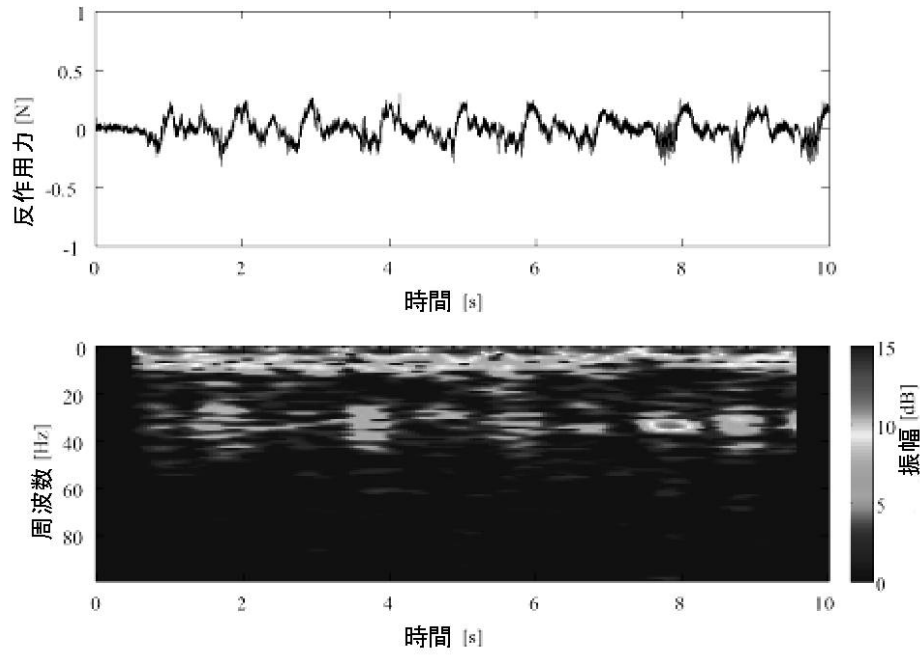
【 図 7 】



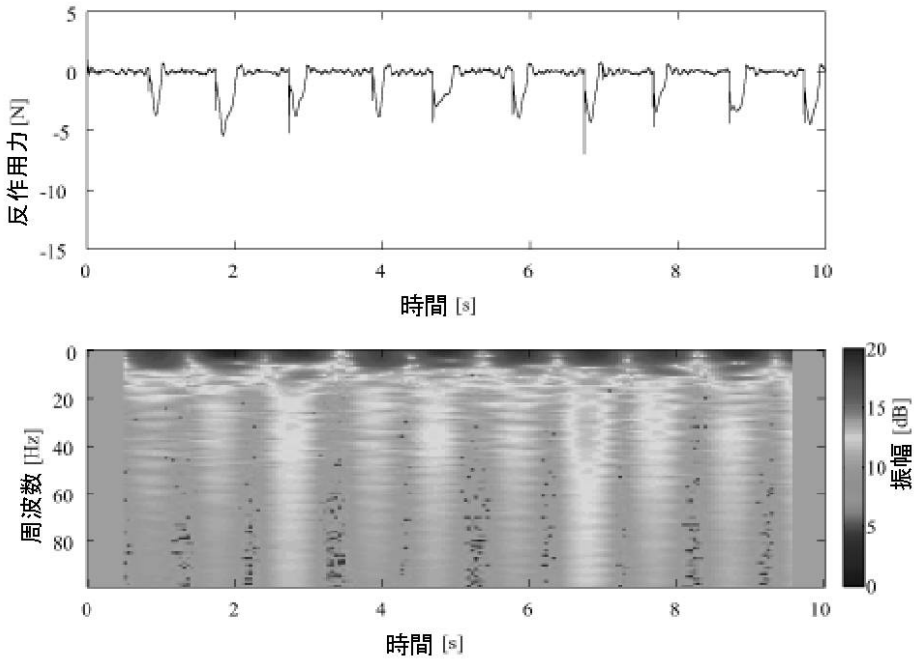
【 図 8 】



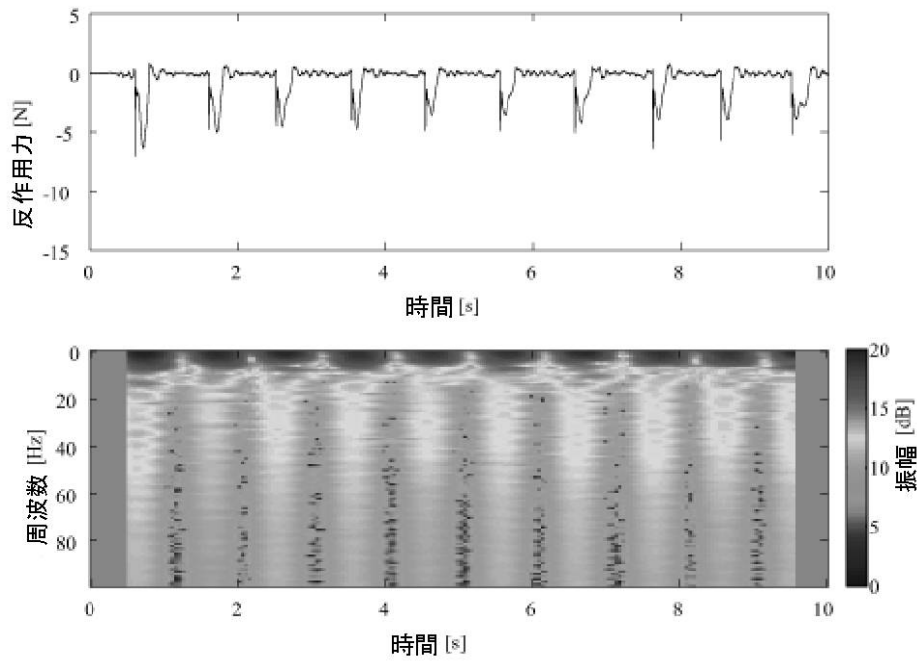
【 図 9 】



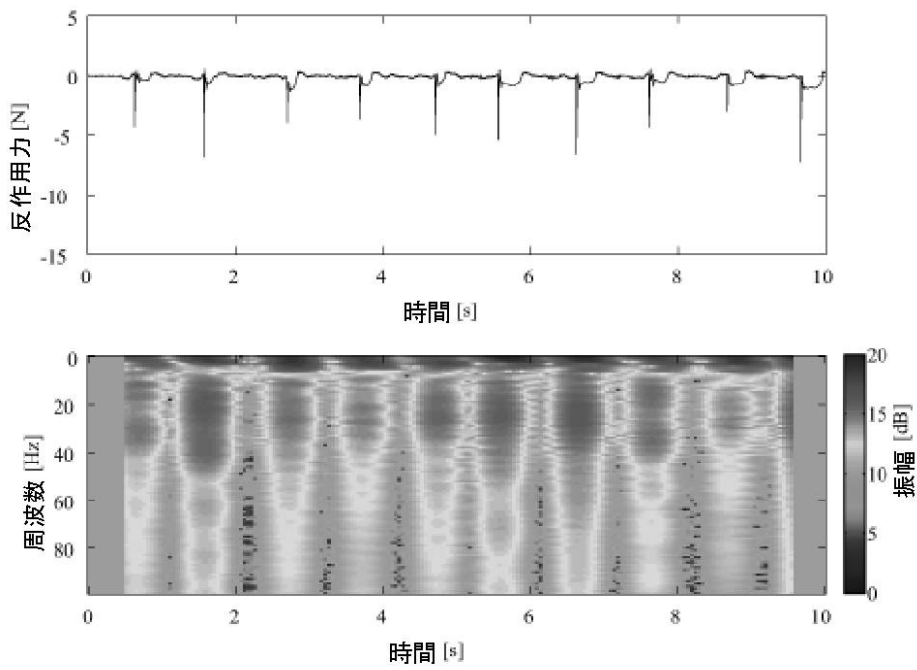
【 図 10 】



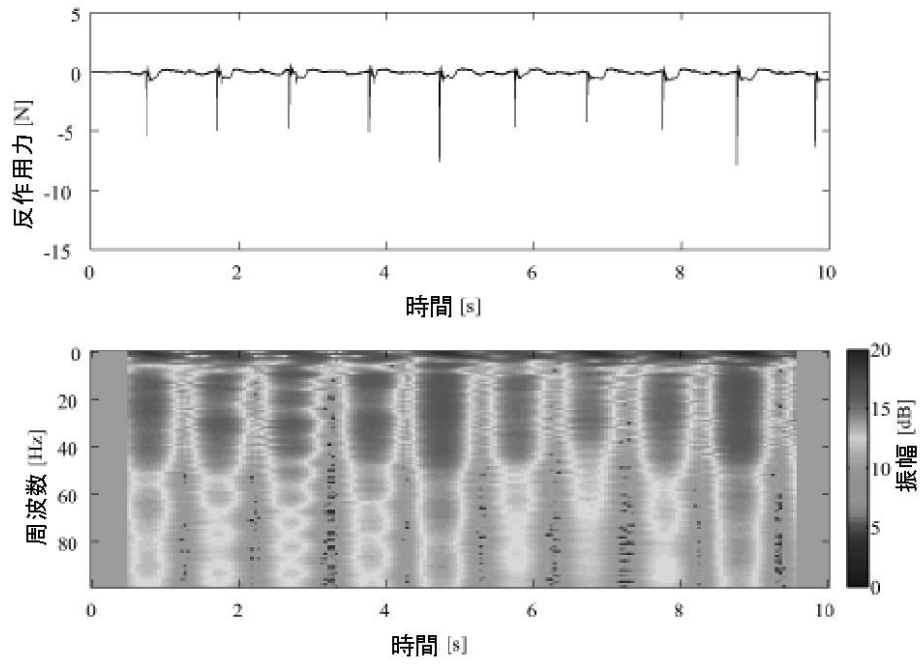
【図 1 1】



【図 1 2】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

審査官 公文代 康祐

- (56)参考文献 特開2000-258268(JP,A)
特開2006-281347(JP,A)
特開2002-159509(JP,A)
実開平04-019786(JP,U)
特開2006-110072(JP,A)
特開2000-182060(JP,A)
特開2000-300543(JP,A)
特開2004-265269(JP,A)
特開2003-262582(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 5/00
G01L 5/22
B25J 19/02
A61B 5/117
A61B 19/00
G01N 19/00