

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2021年9月2日(02.09.2021)

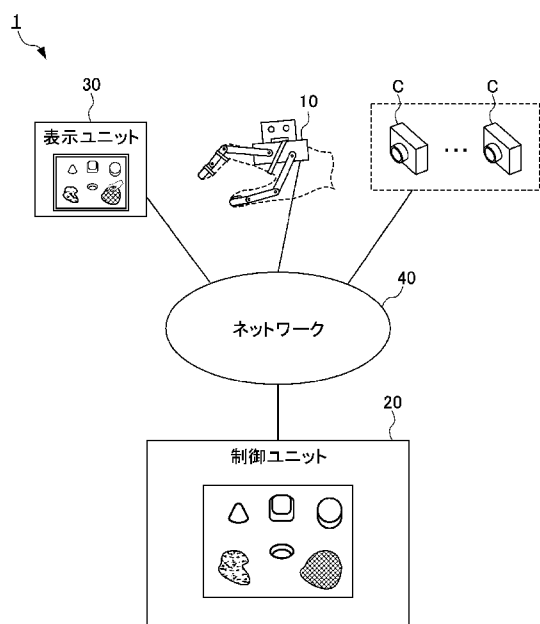


(10) 国際公開番号
WO 2021/172580 A1

- (51) 国際特許分類:
B25J 13/00 (2006.01) G06F 3/01 (2006.01)
B25J 13/02 (2006.01) G06F 3/0346 (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/007588
- (22) 国際出願日: 2021年2月27日(27.02.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2020-032447 2020年2月27日(27.02.2020) JP
- (71) 出願人: 学校法人慶應義塾(KEIO UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒1088345 東京都港区三田二丁目15番45号 Tokyo (JP). モーションリブ株式会社(MOTION LIB, INC.) [JP/JP]; 〒2120032 神奈川県川崎市幸区新川崎7-1 K2キャンパス1棟201 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 大西 公平 (OHNISHI Kouhei); 〒2238522 神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14番1号 慶應義塾大学理工学部内 Kanagawa (JP). 溝口 貴弘 (MIZOGUCHI Takahiro); 〒2120032 神奈川県川崎市幸区新川崎7-1 K2キャンパス1棟201 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 坊野 康博(BONO Yasuhiro); 〒1600023 東京都新宿区西新宿6-10-1 日土地西新宿ビル8階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: POSITION/FORCE CONTROL SYSTEM, WORN UNIT, CONTROL UNIT, POSITION/FORCE CONTROL METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 位置・力制御システム、装着ユニット、制御ユニット、位置・力制御方法及びプログラム



20 Control unit
30 Display unit
40 Network

(57) Abstract: [Problem] To realize control for presenting a force-tactile sense in a more appropriate system configuration. [Solution] A position/force control system 1 comprises a worn unit 10 and a control unit 20. The worn unit 10 is worn on a user's body and presents a force-tactile sense by means of an actuator 13. The control unit 20 acquires data regarding a position in the space of the worn unit on the basis of data regarding a space where an object to be touched is present. The worn unit 10 comprises a control part 11 that acquires the position data from the control unit 20 and presents the force-tactile sense by controlling the drive of the actuator 13 on the basis of the position data as well as impedance and outline information regarding the object to be touched in the space.



WO 2021/172580 A1

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 【課題】力触覚を提示する制御をより適切なシステム構成で実現する。【解決手段】位置・力制御システム1は、装着ユニット10と、制御ユニット20と、を備える。装着ユニット10は、ユーザの身体に装着され、アクチュエータ13によって力触覚を提示する。制御ユニット20は、接触対象物が存在する空間のデータに基づいて、装着ユニットの空間における位置のデータを取得する。装着ユニット10は、制御ユニット20から位置のデータを取得し、空間における接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報と、位置のデータとに基づいて、アクチュエータ13の駆動を制御することにより、力触覚を提示する制御部11を備える。

明 細 書

発明の名称：

位置・力制御システム、装着ユニット、制御ユニット、位置・力制御方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、ユーザに対して位置及び力を提示する位置・力制御システム、装着ユニット、制御ユニット、位置・力制御方法及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] 近年、物体に接触した際の力触覚をユーザの身体に対して提示する装置が知られている。

例えば、ユーザの手指に装着され、ユーザの各指に対し、アクチュエータを用いて力触覚を伝達することにより、物体に接触した際の感触を伝達する外骨格型の装置等が市販されている。

このような装置を用いることにより、ネットゲーム等において仮想空間内の物体の感触等をユーザに提示することが可能となる。

力触覚をユーザの身体に対して提示する装置は、例えば、特許文献1に記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2001-166676号公報

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、力触覚をユーザの身体に対して提示する従来の技術では、ユーザの身体に装着される装置（外骨格型の装着ユニット等）の制御をPC（Personal Computer）あるいはサーバ等から行っている。

そのため、ユーザの身体に装着される装置に対する制御信号の遅延が大きくなり、適切な制御が行えない可能性がある。

本発明の課題は、力触覚を提示する制御をより適切なシステム構成で実現することである。

課題を解決するための手段

[0005] 上記課題を解決するため、本発明の一態様に係る位置・力制御システムは、

ユーザの身体に装着され、アクチュエータによって力触覚を提示する装着ユニットと、接触対象物が存在する空間のデータに基づいて、前記装着ユニットの前記空間における位置のデータを取得する制御ユニットとを含み、

前記装着ユニットは、前記制御ユニットから前記位置のデータを取得し、前記空間における前記接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報と、前記位置のデータとに基づいて、前記アクチュエータの駆動を制御することにより、力触覚を提示する制御手段を備えることを特徴とする。

発明の効果

[0006] 本発明によれば、力触覚を提示する制御をより適切なシステム構成で実現することができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]本発明における物体の感触の概念を示す模式図である。

[図2]接触対象の物体の接触位置それぞれにおいて、剛性、粘性及び慣性が変化すると捉えた場合の物体の感触の概念を示す模式図である。

[図3]本発明の一実施形態に係る位置・力制御システム1の全体構成を示す模式図である。

[図4]位置・力制御システム1のネットワークトポロジーを示す模式図である。

[図5]位置・力制御システム1における装着ユニット10及び制御ユニット20の具体的構成例を示すブロック図である。

[図6]制御部11に実装される制御アルゴリズムを示すブロック図である。

[図7]制御ユニット20が実行する位置情報送信処理の流れを説明するフローチャートである。

[図8]装着ユニット10が実行する力触覚提示処理の流れを説明するフローチャートである。

[図9]指先に嵌めるリング形状とした装着ユニット10の構成例を示す模式図である。

[図10]ペン形状とした装着ユニット10の構成例を示す模式図である。

[図11]ポインティングデバイスとしてのマウス形状とした装着ユニット10の構成例を示す模式図である。

[図12]ゲームコントローラ形状とした装着ユニット10の構成例を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。

初めに、本発明に適用される基本的原理について説明する。

[0009] [基本的原理]

本発明においては、物体に接触した場合の力触覚を、物体表面の感触を表すテクスチャを含めて情報として取り扱い、デバイスによってユーザに提示する。

このとき、接触対象物の剛性、粘性及び慣性（物体のインピーダンス）を用いることにより、物体に接触した場合の力触覚を情報として取り扱う。

また、本発明に係る位置・力制御システムは、PC等の情報処理装置によって構成される制御ユニットと、ユーザの身体に装着される装着ユニットとを備えている。制御ユニットは、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）における位置に関する情報（仮想空間または遠隔的な空間内における装着ユニットの位置等）を取得する。また、装着ユニットは、ユーザの身体に装着されるデバイス（外骨格型のロボット等）によって構成され、物体からの反作用を疑似的に創出するためのアクチュエータを駆動することにより、ユーザに力触覚を伝達する。

[0010] このような構成において、制御ユニットは、接触対象物が存在する空間における装着ユニットの位置に関する情報（以下、「空間内位置情報」と称する。）を取得（算出）し、装着ユニットで出力される力触覚を表す情報（アクチュエータが出力する位置及び力等）を算出することなく、取得した空間内位置情報を装着ユニットに逐次送信する。装着ユニットは、接触対象物が存在する空間の位置に対応する物理パラメータ（ここでは、物体のインピーダンス及び輪郭情報）を記憶している。そして、装着ユニットは、制御ユニットから送信された空間内位置情報及びアクチュエータの出力軸（または出力軸と対応して動作する部材）の位置に関する情報（以下、「出力位置情報」と称する。）を基に、接触対象物である物体の物理パラメータを用いて、テクスチャを含む接触対象物からの力触覚を表す情報を算出し、アクチュエータを制御してユーザに力触覚を提示する。

[0011] 上述のような構成とすることにより、制御ユニットが装着ユニットで出力される力触覚に関する情報を算出して送信する場合に比べ、制御ユニットから装着ユニットに送信されるデータ量を低減することができるため、制御信号の遅延が大きくなることを抑制できる。

したがって、力触覚を提示する制御をより適切なシステム構成で実現することができる。

[0012] 次に、本発明において、物体に接触した場合の力触覚を情報として取り扱うための手法について説明する。

[物体のインピーダンスの取得]

本発明においては、物体に接触した場合の力触覚を情報として取り扱うために、接触対象の物体におけるインピーダンスが用いられる。物体のインピーダンスは、接触対象物の剛性、粘性及び慣性によって表されるため、接触対象物の剛性、粘性及び慣性が既知である場合には、これらの値を取得して制御に用いることができる。また、接触対象物の剛性、粘性及び慣性が既知でない場合には、接触対象物に実際に接触して推定した剛性、粘性及び慣性（物体のインピーダンス）の値を制御に用いることができる。

物体のインピーダンスを推定する場合、物体に接触した際の力触覚に関する演算を行うために、実空間のパラメータを、位置と力とを独立して取り扱うことが可能な座標系へ座標変換する。この座標変換は、力触覚の制御機能を表す変換として定義されたものであり、例えば、国際公開第2015/041046号において力触覚の伝達機能を表す座標変換として示されているもの等を用いることができる。なお、力触覚の制御機能の概念には、人間が感じる力触覚を制御すること及び機械で出力される位置、速度あるいは力等を制御することが含まれる。

[0013] そして、アクチュエータの出力位置情報を基に、実空間における位置と力とを表す入力ベクトルを、上記座標系のベクトルに座標変換し、この座標系において、座標変換によって得られる状態値（ベクトルの要素）を、力触覚の制御機能を実現するための目標値に追従させる演算を行う。

さらに、上記座標系における演算結果を実空間のパラメータに逆変換し、このパラメータに基づいてアクチュエータを制御することで、力触覚の制御機能を実現されると共に、この一連の制御において取得されるパラメータを基に、接触対象の物体のインピーダンス（剛性、粘性及び慣性）が推定される。

なお、このように接触対象の物体のインピーダンスを推定する場合、マスタ・スレーブシステムのように、接触対象の物体に接触する側のアクチュエータと、ユーザに力触覚を伝達する側のアクチュエータとを備える形態や、所定の基準値（所定の接触力を表す基準値等）を入力とした1つのアクチュエータを備える形態の装置等を用いることができる。

[0014] [物体表面の感触の提示]

このように推定したインピーダンスを用いることにより、実空間または仮想空間における物体表面の感触（具体的には、物体表面の感触を表すテクスチャを含む力触覚）を提示することができる。

物体表面の感触を提示するために、本発明においては、接触対象となる物体の剛性、粘性及び慣性（インピーダンス）を固有のものとし、物体からの

反力を物体表面の平面方向の位置及び平面と垂直な方向の位置に対応する関数として定義することで、物体表面の感触を表すテクスチャを情報化する。

具体的には、剛性、粘性及び慣性が定数であり、物体との作用・反作用を決定する位置が物体表面の平面方向の位置及び平面と垂直な方向の位置を要素とする関数で表される運動方程式に基づいて、接触対象となる物体の感触を定義する。

[0015] そして、物体表面の平面方向の位置及び平面と垂直な方向の位置が、実空間または仮想空間の入力として与えられた場合に、接触対象となる物体の感触を定義した関数で定められる値を基準値として入力し、上述の座標系において目標値に追従させる演算を行って、アクチュエータの出力を制御することで、物体表面の感触を表すテクスチャを含めた力触覚を提示することができる。

なお、位置と速度（または加速度）あるいは角度と角速度（または角加速度）は、微積分演算により置換可能なパラメータであるため、位置あるいは角度に関する処理を行う場合、適宜、速度あるいは角速度等に置換することが可能である。

[0016] [物体の感触を表す関数]

上述のように、本発明においては、接触対象となる物体の剛性、粘性及び慣性（インピーダンス）を固有のものとし、物体の感触を物体表面の平面方向の位置及び平面と垂直な方向の位置に対応する関数として定義することで、物体表面の感触を表すテクスチャを情報化する。

物体の感触（物体表面の感触を表すテクスチャを含めた力触覚）は、物体表面の形状のみならず、物体自体の物理特性の影響を受けるため、物体の感触を定義する場合、物体のインピーダンスを反映させることが有効である。

[0017] 図1は、本発明における物体の感触の概念を示す模式図である。

図1に示すように、接触対象となる物体表面の形状が滑らかな平面ではなく微小な凹凸を有する場合、物体自体のインピーダンス（剛性、粘性及び慣性）は変化せず、表面の形状（輪郭）が変化していると捉えられる。

この場合、物体のインピーダンスを表すパラメータ Z は変化しておらず、接触する位置（物体表面の平面方向の位置 x 及び平面と垂直な方向の位置 y ）によって物体からの反力が変化すると考えることが、より適切な事象の捉え方であるといえる。

そこで、本発明においては、物体固有の剛性、粘性及び慣性と、物体表面の輪郭情報とによって物体の感触を定義する。

具体的には、以下の式（１）及び（２）によって、物体の感触を定義する。

[0018] [数1]

$$f = m\ddot{x} + d\dot{x} + kx \quad (1)$$

$$x = g(y, t) \quad (2)$$

[0019] なお、式（１）及び（２）において、 f は接触対象となる物体からの反力、 m は慣性、 d は粘性、 k は剛性、 g は物体表面の輪郭を表す関数、 t は時刻を表している。物体表面の輪郭を表す関数が時刻 t の関数となっていることから、式（２）は、接触等に応じて形状が変化する物体表面の輪郭を表すものとなっている。

この場合、感触の取得あるいは提示において管理すべきパラメータが、物体固有の剛性、粘性及び慣性（インピーダンス）と、物体表面の平面方向の位置及び平面と垂直な方向の位置となり、より少ないパラメータで感触の取得あるいは提示を行うことができる。

なお、接触対象の物体の接触位置それぞれにおいて、剛性、粘性及び慣性が変化する（即ち、接触位置によってインピーダンスが異なる）ものと捉えた場合、接触対象となる物体の剛性、粘性及び慣性が、接触した物体表面の平面方向の位置に対応する関数であるものとして捉えられる。

[0020] 図２は、接触対象の物体の接触位置それぞれにおいて、剛性、粘性及び慣性が変化するものと捉えた場合の物体の感触の概念を示す模式図である。

図2に示す概念においては、接触した物体表面の平面方向の位置 x に応じてインピーダンス $Z_1 \sim Z_5$ が変化すると捉えることから、物体の感触は、以下の式(3)のように表現される。

[0021] [数2]

$$f = m(x)\ddot{x} + d(x)\dot{x} + k(x)x \quad (3)$$

[0022] この場合、剛性、粘性及び慣性のデータを位置毎に持つ必要があることから、式(1)及び(2)のように物体の感触を定義する場合に比べ、管理すべきパラメータの数が相対的に多くなり、実装コストが増加したり、演算量が増大したりする可能性がある。

したがって、本発明においては、式(1)及び(2)のように物体の感触を定義することにより、物体表面の感触を含むテクスチャを取り扱うものとする。

[0023] なお、式(3)に従って物体の感触を表現し、接触した物体表面の平面方向の位置 x に応じてインピーダンス $Z_1 \sim Z_5$ が変化するものとして取り扱った場合でも、本発明のシステム構成とすることによる一定の効果を奏するものとなる。即ち、式(3)のように物体の感触を定義した場合、式(1)及び(2)のように物体の感触を定義した場合に比べ、装着ユニットにおける演算量は増加するものの、制御ユニットから装着ユニットに対して、位置に関する情報を送信することで、物体表面の感触を表すテクスチャを含めた力触覚を提示することができるため、制御信号の遅延が大きくなることを抑制できる。

[0024] [構成]

次に、本発明のシステム構成について説明する。

図3は、本発明の一実施形態に係る位置・力制御システム1の全体構成を示す模式図である。

図3に示すように、本実施形態に係る位置・力制御システム1は、ユーザ(ここではユーザの手とする)に装着され、ユーザに力触覚を提示する装着

ユニット10と、装着ユニット10に対する制御を行う制御ユニット20と、ユーザに視覚的な情報を提示する表示ユニット30と、装着ユニット10の位置及び姿勢を検出する複数の撮像装置Cと、を含んで構成される。

[0025] これら装着ユニット10、制御ユニット20、表示ユニット30及び複数の撮像装置Cは、ネットワーク40を介して通信可能に構成されている。ネットワーク40は、有線または無線による通信経路を含み、インターネット等の公衆網、専用線あるいは通信ケーブルによる直接接続等の通信形態で、装着ユニット10、制御ユニット20、表示ユニット30及び複数の撮像装置Cの間における通信を実現する。

[0026] 装着ユニット10は、例えば、人間の手指に対応する複数の関節を備えた外骨格型の装置として構成され、制御ユニット20から送信される空間内位置情報に基づいて、各関節を回転させるアクチュエータの駆動を制御する。なお、空間内位置情報としては、接触対象物が存在する空間において、装着ユニット10に設定された基準となる特定部分（例えば、手首の中央部分等）に対応する位置（基準位置）を用いることが可能である。この場合、装着ユニット10において、基準位置から各手指までの相対位置が算出される。ただし、空間内位置情報として、接触対象物が存在する空間における各手指に対応する位置（個別位置）を用いることも可能である。

[0027] また、装着ユニット10には、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）における接触対象物の物理特性を表すパラメータが記憶されている。接触対象物の物理特性を表すパラメータは、例えば、接触対象物の剛性、粘性及び慣性（物体のインピーダンス）とすることができる。

[0028] 物体の感触（物体表面の感触を表すテクスチャを含めた力触覚）は、物体表面の形状のみならず、物体自体の物理特性の影響を受けるため、物体の感触を定義する場合、物体のインピーダンスを反映させることが有効である。

そして、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）における空間内位置情報と、物理パラメータ（物体のインピーダンス及び輪郭情報）と、アクチュエータの出力位置情報とに基づいて、各アクチュエータ

の駆動（各関節の位置及び力）を制御することで、物体の感触を含む力触覚を提示することができる。

[0029] 本実施形態においては、接触対象物が存在する空間の位置に対応する物理パラメータを制御ユニット20から予め装着ユニット10に送信し、力触覚を提示する制御を実行する際には、接触対象物が存在する空間における空間内位置情報のみが装着ユニット10に逐次送信される。そして、装着ユニット10において、空間内位置情報と、物理パラメータ（物体のインピーダンス及び輪郭情報）と、アクチュエータの出力位置情報とに基づいて、物体の感触を含む力触覚を提示するためのパラメータ（アクチュエータの駆動を制御するためのパラメータ）が算出される。

[0030] これにより、制御ユニット20において物体の感触を含む力触覚を提示するためのパラメータ（アクチュエータの駆動を制御するためのパラメータ）を算出して、制御ユニット20から装着ユニット10に送信する場合に比べ、制御信号の遅延が生じることを抑制できる。

即ち、力触覚を提示する制御をより適切なシステム構成で実現することができる。

[0031] また、本実施形態においては、複数の撮像装置Cで装着ユニット10を複数方向から撮像した画像が制御ユニット20に逐次送信される。そして、制御ユニット20において、複数の撮像装置Cで撮像された装着ユニット10の画像を基に、装着ユニット10の位置及び姿勢が検出される。

これにより、例えば、シート状の部材等、接触対象物が薄手の部材である場合に、表裏のいずれに接触しているかを区別して制御することができる。

そのため、部材の重量を力触覚に反映させること等が可能となり、より適切に物体の感触を含む力触覚を提示することが可能となる。

なお、装着ユニット10の位置及び姿勢は、複数の撮像装置Cで取得することの他、例えば、3次元レーザスキャナ等の各種装置で取得することも可能である。

[0032] 制御ユニット20は、例えば、PCあるいはサーバコンピュータ等の情報

処理装置によって構成される。制御ユニット20は、3次元モデリングを行うことにより、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）のデータを生成する。例えば、制御ユニット20は、撮像画像のデータを基に3次元モデリングされた仮想現実空間の画像を生成したり、3次元コンピュータグラフィックスのデータを基に3次元モデリングされた仮想現実空間の画像を生成したりする。また、制御ユニット20は、複数の撮像装置Cで撮像された装着ユニット10の画像を基に、装着ユニット10の位置及び姿勢を検出する。そして、制御ユニット20は、検出した装着ユニット10の位置及び姿勢を基に、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）における装着ユニット10の空間内位置情報を取得（算出）し、装着ユニット10で出力される力触覚を表す情報（アクチュエータが出力する位置及び力等）を算出することなく、取得した空間内位置情報を装着ユニット10に逐次送信する。

[0033] また、制御ユニット20は、接触対象物が存在する空間における接触対象物の物理パラメータを装着ユニット10に送信する。本実施形態において、制御ユニット20は、接触対象物が存在する空間において、空間内位置情報で示される装着ユニット10の位置が、異なる物理パラメータを有する接触対象物の位置（接触対象物の境界）に到達した場合（または到達する直前）に、新たな接触対象物の物理パラメータを送信する。ただし、接触対象物が存在する空間における各接触対象物の物理パラメータを、制御ユニット20から装着ユニット10にまとめて予め送信しておくこととしてもよい。

さらに、制御ユニット20は、接触対象物が存在する空間を表示するための画像データを生成すると共に、接触対象物が存在する空間における仮想的な装着ユニット10の画像を生成する。そして、制御ユニット20は、生成した接触対象物が存在する空間を表示するための画像データ及び仮想的な装着ユニット10の画像データを表示ユニット30に逐次送信する。

[0034] 表示ユニット30は、例えば、ディスプレイを有するPC等の情報処理装置によって構成され、制御ユニット20から送信される画像データに従って

、接触対象物が存在する空間の画像及びこの空間における仮想的な装着ユニット10の画像を表示する。なお、表示ユニット30は、ヘッドマウント型のディスプレイや据え置き型のディスプレイ、あるいは、プロジェクタ等の各種画像表示装置によって構成することも可能である。

[0035] 上述の構成を有する位置・力制御システム1では、ネットワークポロジにおいて、接触対象物が存在する空間のデータを生成する制御ユニット20と、接触対象物が存在する空間内の仮想的な力触覚を提示する装着ユニット10とが、ネットワーク40を挟んで反対側に位置している。

図4は、位置・力制御システム1のネットワークポロジを示す模式図である。

図4に示すように、位置・力制御システム1においては、ネットワーク40及び通信インターフェース（通信I/F）を介して、制御ユニット20から装着ユニット10に、力触覚を提示する制御の契機となるデータ（空間内位置情報）が送信される。また、装着ユニット10において、制御ユニット20から受信した空間内位置情報に基づいて、物体の感触を提示するためのパラメータ（アクチュエータの駆動を制御するためのパラメータ）が算出され、アクチュエータが駆動される。

[0036] なお、図4におけるネットワーク40及び通信I/Fは、例えば、OSI参照モデルにおいては、ネットワーク層/データリンク層/物理層を構成し、TCP/IPプロトコルにおいては、インターネット層/ネットワークインターフェース層を構成する。本実施形態において、力触覚を提示する制御は、OSI参照モデルあるいはTCP/IPプロトコルのいずれにおいても、アプリケーション層で実行される。

[0037] 即ち、制御ユニット20のアプリケーション層では、空間内位置情報を取得した後、装着ユニット10の制御のための処理を実行することなく、空間内位置情報を逐次送信する処理のみが実行される。一方、装着ユニット10のアプリケーション層では、制御ユニット20から受信した空間内位置情報と、装着ユニット10が記憶している物理パラメータ（物体のインピーダン

ス及び輪郭情報)と、アクチュエータの出力位置情報とに基づいて、アクチュエータの駆動を制御するためのパラメータ(制御パラメータ)を逐次算出する。そして、算出した制御パラメータを装着ユニット10のアプリケーション層からアクチュエータに逐次出力することにより、物体の感触を含む力触覚の提示が実現される。

このため、装着ユニット10におけるアクチュエータの制御ループにおいて、ネットワーク40及び通信インターフェース(通信I/F)を介したデータの送受信が発生しないことから、制御信号の遅延が生じることを抑制できる。

[0038] 次に、位置・力制御システム1における装着ユニット10及び制御ユニット20の具体的構成について説明する。

図5は、位置・力制御システム1における装着ユニット10及び制御ユニット20の具体的構成例を示すブロック図である。

図5において、位置・力制御システム1の装着ユニット10は、制御部11と、ドライバ12と、アクチュエータ13と、位置センサ14と、記憶部15と、通信部16と、を含んで構成される。また、制御ユニット20は、制御部21と、入力部22と、出力部23と、記憶部24と、通信部25と、を含んで構成される。なお、図5においては図示を省略するが、位置・力制御システム1には、上述したように、表示ユニット30及び複数の撮像装置Cが含まれる。

[0039] 装着ユニット10において、制御部11は、プロセッサ及び半導体メモリ(ROM(Read Only Memory)及びRAM(Random Access Memory)等)を備え、記憶部15に記憶されたプログラムに従って各種の処理を実行する。

例えば、制御部11は、実空間のパラメータ(アクチュエータ13の出力位置情報等)を、位置と力とを独立して取り扱うことが可能な座標系へ座標変換し、この座標系において、座標変換によって得られる状態値(ベクトルの要素)を、力触覚の制御機能を実現するための目標値に追従させる演算を

行う。そして、制御部 11 は、上記座標系における演算結果を実空間のパラメータに逆変換し、このパラメータに基づいてアクチュエータ 13 を制御することで、物体表面の感触を表すテクスチャを含めた力触覚を提示することができる。

[0040] 図 6 は、制御部 11 に実装される制御アルゴリズムを示すブロック図である。

図 6 に示すように、制御部 11 に実装されるアルゴリズムは、機能別力・速度割当変換ブロック FT と、理想力源ブロック FC あるいは理想速度（位置）源ブロック PC の少なくとも一つと、逆変換ブロック IFT とを含む制御則として表される。なお、本実施形態において、制御対象システム S は、ドライバ 12 及びアクチュエータ 13 によって構成される。

[0041] 機能別力・速度割当変換ブロック FT は、制御対象システム S の機能に応じて設定される速度（位置）及び力の領域への制御エネルギーの変換を定義するブロックである。具体的には、機能別力・速度割当変換ブロック FT では、制御対象システム S の機能の基準となる値（基準値）と、アクチュエータ 13 の現在位置（出力位置情報）とを入力とする座標変換が定義されている。この座標変換は、一般に、基準値及び現在速度（位置）を要素とする入力ベクトルを速度（位置）の制御目標値を算出するための速度（位置）からなる出力ベクトルに変換すると共に、基準値及び現在の力を要素とする入力ベクトルを力の制御目標値を算出するための力からなる出力ベクトルに変換するものである。

[0042] 機能別力・速度割当変換ブロック FT における座標変換を、実現する機能に応じて設定することにより、各種行為を実現したり、スケーリングを伴う行為の再現を行ったりすることができる。

即ち、本実施形態においては、機能別力・速度割当変換ブロック FT において、アクチュエータ 13 単体の変数（実空間上の変数）を、実現する機能を表現するシステム全体の変数群（座標変換後の空間上の変数）に“変換”し、速度（位置）の制御エネルギーと力の制御エネルギーとに制御エネルギー

一を割り当てる。そのため、アクチュエータ単体の変数（実空間上の変数）のまま制御を行う場合と比較して、速度（位置）の制御エネルギーと力の制御エネルギーとを独立に与えることが可能となっている。

本実施形態においては、例えば、アクチュエータ13の出力位置情報から算出される位置及び力の入力と基準値とにおいて、位置の差がゼロ、力の和がゼロ（逆向きに等しい力が出力される）となることを条件として、座標変換後の空間における状態値の演算を行うことができる。

[0043] 理想力源ブロックFCは、機能別力・速度割当変換ブロックFTによって定義された座標変換に従って、力の領域における演算を行うブロックである。理想力源ブロックFCにおいては、機能別力・速度割当変換ブロックFTによって定義された座標変換に基づく演算を行う際の力に関する目標値が設定されている。この目標値は、実現される機能に応じて固定値または可変値として設定される。例えば、基準値が示す機能と同様の機能を実現する場合には、目標値としてゼロを設定したり、スケーリングを行う場合には、基準値が示す機能を表す情報を拡大・縮小した値を設定したりできる。

[0044] 理想速度（位置）源ブロックPCは、機能別力・速度割当変換ブロックFTによって定義された座標変換に従って、速度（位置）の領域における演算を行うブロックである。理想速度（位置）源ブロックPCにおいては、機能別力・速度割当変換ブロックFTによって定義された座標変換に基づく演算を行う際の速度（位置）に関する目標値が設定されている。この目標値は、実現される機能に応じて固定値または可変値として設定される。例えば、基準値が示す機能と同様の機能を実現する場合には、目標値としてゼロを設定したり、スケーリングを行う場合には、再現する機能を示す情報を拡大・縮小した値を設定したりできる。

[0045] 逆変換ブロックIFTは、速度（位置）及び力の領域の値を制御対象システムSへの入力の領域の値（例えば、電圧値または電流値等）に変換するブロックである。

このような制御アルゴリズムの下、制御部11には、位置センサ14によ

って検出された時系列の位置の検出値が入力される。この時系列の位置の検出値は、アクチュエータ 13 の動作を表すものであり、制御部 11 は、入力された検出値（位置）から導出された速度（位置）及び力の情報に対して、機能に応じて設定されている座標変換を適用する。

[0046] ドライバ 12 は、制御部 11 によって逆変換されたアクチュエータ 13 への入力の領域の値に基づいて、アクチュエータ 13 を駆動するための電流を供給する。

アクチュエータ 13 は、ドライバ 12 から供給される電流によって駆動され、制御対象物の位置を制御する。

位置センサ 14 は、アクチュエータ 13 の出力軸（または制御対象物）の位置を検出し、検出値（出力位置情報）を制御部 11 に出力する。

[0047] 記憶部 15 は、半導体メモリ等の記憶装置によって構成される。記憶部 15 には、接触対象となる物体の物理パラメータ（物体のインピーダンス及び輪郭情報）が記憶される。また、記憶部 15 には、接触対象の物体の感触を定義する関数（式（1）及び（2））が記憶される。なお、接触対象の物体の感触を定義する関数（式（1）及び（2））に代えて、この関数に基づいて算出したテーブル形式のデータを記憶することとしてもよい。

通信部 16 は、USB（Universal Serial Bus）ケーブル等の通信ケーブルや、インターネット等の通信ネットワークを介して他の装置との通信を行う。

[0048] 制御ユニット 20 において、制御部 21 は、プロセッサ及び半導体メモリ（ROM 及び RAM 等）を備え、記憶部 24 に記憶されたプログラムに従って各種の処理を実行する。

[0049] 制御部 21 には、機能的構成として、画像表示制御部 211 と、空間位置情報取得部 212 と、空間位置情報送信部 213 と、物理パラメータ送信部 214 と、が形成される。

画像表示制御部 211 は、3次元モデリングを行うことにより、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）のデータを生成する。

例えば、画像表示制御部 211 は、撮像画像のデータを基に 3次元モデリングされた仮想現実空間の画像を生成したり、3次元コンピュータグラフィックスのデータを基に 3次元モデリングされた仮想現実空間の画像を生成したりする。

[0050] 空間位置情報取得部 212 は、複数の撮像装置 C によって撮像された画像を基に、装着ユニット 10 の位置及び姿勢を検出する。また、空間位置情報取得部 212 は、検出した装着ユニット 10 の位置及び姿勢を基に、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）における装着ユニット 10 の空間内位置情報を逐次取得（算出）する。

空間位置情報送信部 213 は、空間位置情報取得部 212 によって取得された装着ユニット 10 の空間内位置情報を装着ユニット 10 に逐次送信する。

物理パラメータ送信部 214 は、接触対象物が存在する空間における接触対象物の物理パラメータ（物体のインピーダンス及び輪郭情報）を装着ユニット 10 に送信する。本実施形態において、物理パラメータ送信部 214 は、接触対象物が存在する空間において、空間内位置情報で示される装着ユニット 10 の位置が、異なる物理パラメータを有する接触対象物の位置（接触対象物の境界）に到達した場合（または到達する直前）に、新たな接触対象物の物理パラメータを送信する。

[0051] 入力部 22 は、キーボードあるいはマウス等のポインティングデバイスによって構成され、ユーザの指示操作に応じて各種情報を入力する。

出力部 23 は、ディスプレイやスピーカによって構成され、制御部 21 の制御に従って、情報の表示や音声の出力を行う。

記憶部 24 は、半導体メモリあるいはハードディスク等の記憶装置によって構成され、立体物製造装置 1 で使用される各種データやプログラムを記憶する。また、記憶部 24 には、接触対象物が存在する空間における接触対象物の物理パラメータ（物体のインピーダンス及び輪郭情報）が、接触対象物が存在する空間における位置と対応付けて記憶されている。

通信部 25 は、USB ケーブル等の通信ケーブルや、インターネット等の通信ネットワークを介して他の装置との通信を行う。

[0052] [動作]

次に、位置・力制御システム 1 の動作を説明する。

[0053] [位置情報送信処理]

図 7 は、制御ユニット 20 が実行する位置情報送信処理の流れを説明するフローチャートである。

位置情報送信処理は、入力部 22 あるいは通信部 25 を介して位置情報送信処理の実行が指示されることに対応して開始される。

ステップ S1 において、画像表示制御部 211 は、3次元モデリングを行うことにより、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）のデータを生成する。

[0054] ステップ S2 において、物理パラメータ送信部 214 は、接触対象物が存在する空間において、装着ユニット 10 の初期位置に対応する接触対象物の物理パラメータ（物体のインピーダンス及び輪郭情報）を装着ユニット 10 に送信する。

ステップ S3 において、空間位置情報取得部 212 は、複数の撮像装置 C によって撮像された画像を基に、装着ユニット 10 の位置及び姿勢を検出する。

ステップ S4 において、空間位置情報取得部 212 は、検出した装着ユニット 10 の位置及び姿勢を基に、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）における装着ユニット 10 の空間内位置情報を取得（算出）する。

[0055] ステップ S5 において、空間位置情報送信部 213 は、空間位置情報取得部 212 によって取得された装着ユニット 10 の空間内位置情報を装着ユニット 10 に送信する。

ステップ S6 において、物理パラメータ送信部 214 は、接触対象物が存在する空間における接触対象物の物理パラメータを更新する必要があるか否

かの判定を行う。接触対象物が存在する空間における接触対象物の物理パラメータを更新する必要があるか否かは、空間内位置情報で示される装着ユニット10の位置が、異なる物理パラメータを有する接触対象物の位置（接触対象物の境界）に到達したか否か（または到達する直前であるか否か）等によって判定することができる。

[0056] 接触対象物が存在する空間における接触対象物の物理パラメータを更新する必要がない場合、ステップS6においてNOと判定されて、処理はステップS8に移行する。

一方、接触対象物が存在する空間における接触対象物の物理パラメータを更新する必要がある場合、ステップS6においてYESと判定されて、処理はステップS7に移行する。

ステップS7において、物理パラメータ送信部214は、接触対象物が存在する空間において、装着ユニット10の現在位置に対応する接触対象物の物理パラメータ（物体のインピーダンス及び輪郭情報）を装着ユニット10に送信する。

[0057] ステップS8において、空間位置情報取得部212は、位置情報送信処理を終了するための条件が充足されているか否かの判定を行う。位置情報送信処理を終了するための条件が充足されているか否かは、例えば、入力部22あるいは通信部25を介して位置情報送信処理の終了が指示されたか否か、または、複数の撮像装置Cによって撮像された画像から装着ユニット10が検出されなくなったか否か等によって判定することができる。

[0058] 位置情報送信処理を終了するための条件が充足されていない場合、ステップS8においてNOと判定されて、処理はステップS3に移行する。

一方、位置情報送信処理を終了するための条件が充足されている場合、ステップS8においてYESと判定されて、位置情報送信処理は終了する。

[0059] [力触覚提示処理]

図8は、装着ユニット10が実行する力触覚提示処理の流れを説明するフローチャートである。

力触覚提示処理は、装着ユニット10の電源投入と共に開始される。

ステップS11において、制御部11は、通信部16を介して制御ユニット20から物理パラメータを受信する。このとき、制御部11は、受信した物理パラメータを記憶部15に記憶する。

ステップS12において、制御部11は、通信部16を介して装着ユニット10の空間内位置情報を受信する。

[0060] ステップS13において、制御部11は、位置センサ14を介してアクチュエータ13の出力位置情報を取得する。

ステップS14において、制御部11は、アクチュエータ13の出力位置情報及び装着ユニット10の空間内位置情報に基づいて、物体表面の感触を表すテクスチャを含めた力触覚を提示するためのアクチュエータ13への入力の領域の値（ここでは電流値）を算出する。

[0061] このとき、制御部11は、装着ユニット10の空間内位置情報に応じて、記憶部15に記憶された物理パラメータ（物体のインピーダンス及び輪郭情報）を設定した力触覚の定義式（式（1）及び（2）参照）から、接触対象の物体の接触位置に対応する基準値を算出する。また、制御部11は、算出した基準値及びアクチュエータ13の出力位置情報を入力として、位置と力とを独立して取り扱うことが可能な座標系へ座標変換し、座標変換によって得られた状態値を、力触覚の制御機能を実現するための目標値に追従させる演算を行う。そして、制御部11は、上記座標系における演算結果をアクチュエータ13への入力の領域の値に逆変換する。

[0062] ステップS15において、ドライバ12は、制御部11によって逆変換されたアクチュエータ13への入力の領域の値に基づいて、アクチュエータ13を駆動するための電流を供給する。

ステップS16において、制御部11は、通信部16を介して制御ユニット20から新たに物理パラメータを受信したか否かの判定を行う。

通信部16を介して制御ユニット20から新たに物理パラメータを受信していない場合、ステップS16においてNOと判定されて、処理はステップ

S 1 8に移行する。

一方、通信部 1 6 を介して制御ユニット 2 0 から新たに物理パラメータを受信した場合、ステップ S 1 6 において Y E S と判定されて、処理はステップ S 1 7 に移行する。

ステップ S 1 7 において、制御部 1 1 は、記憶部 1 5 に記憶されている物理パラメータを新たに受信した物理パラメータに更新する。

[0063] ステップ S 1 8 において、制御部 1 1 は、力触覚提示処理を終了するための条件が充足されているか否かの判定を行う。力触覚提示処理を終了するための条件が充足されているか否かは、例えば、装着ユニット 1 0 の電源をオフするための操作が行われたか否か、あるいは、通信部 1 6 を介して力触覚提示処理を終了するための指示が入力されたか否か等によって判定することができる。

力触覚提示処理を終了するための条件が充足されていない場合、ステップ S 1 8 において N O と判定されて、処理はステップ S 1 2 に移行する。

一方、力触覚提示処理を終了するための条件が充足されている場合、ステップ S 1 8 において Y E S と判定されて、力触覚提示処理は終了する。

[0064] 以上のように、本実施形態に係る位置・力制御システム 1 によれば、制御ユニット 2 0 は、接触対象物が存在する空間における装着ユニット 1 0 の位置に関する情報（空間内位置情報）を取得（算出）し、装着ユニット 1 0 で出力される力触覚を表す情報（アクチュエータ 1 3 が出力する位置及び力等）を算出することなく、取得した空間内位置情報を装着ユニット 1 0 に逐次送信する。装着ユニット 1 0 は、接触対象物が存在する空間の位置に対応する物理パラメータ（物体のインピーダンス及び輪郭情報）を記憶している。そして、装着ユニット 1 0 は、制御ユニット 2 0 から送信された空間内位置情報及びアクチュエータ 1 3 の出力軸（または出力軸と対応して動作する部材）の位置に関する情報（出力位置情報）を基に、接触対象物である物体の物理パラメータを用いて、テクスチャを含む接触対象物からの力触覚を表す情報を算出し、アクチュエータ 1 3 を制御してユーザに力触覚を提示する。

[0065] 上述のような構成とすることにより、制御ユニット20が装着ユニット10で出力される力触覚に関する情報を算出して送信する場合に比べ、制御ユニット20から装着ユニット10に送信されるデータ量を低減することができるため、制御信号の遅延が大きくなることを抑制できる。

したがって、力触覚を提示する制御をより適切なシステム構成で実現することができる。

[0066] また、本実施形態における位置・力制御システム1においては、式(1)及び(2)のように物体の感触を定義して、物体表面の感触を含むテクスチャを取り扱う。そのため、感触の取得あるいは提示において管理すべきパラメータが、物体固有の剛性、粘性及び慣性（インピーダンス）と、物体表面の平面方向の位置及び平面と垂直な方向の位置となり、より少ないパラメータで感触の取得あるいは提示を行うことができる。

さらに、本実施形態における位置・力制御システム1によれば、仮想空間または遠隔的な空間等における物体（仮想空間を用いたゲームにおける仮想物体や、e-コマースにおいて販売される仮想空間内の商品、あるいは、遠隔地に存在する物体等）に接触した場合の物体表面の感触を表すテクスチャを含めた力触覚を提示することができる。

[0067] [装着ユニット10の変形例]

上述の実施形態において、装着ユニット10を人間の手指に対応する複数の関節を備えた外骨格型の装置として構成する例について説明した。

これに対し、ユーザに装着され、ユーザに力触覚を提示する機能を実現できれば、装着ユニット10の構成は、以下のように種々の形態とすることができる。

なお、以下の例では、ケーブルにより電力供給及び通信を行う構成について説明するが、バッテリーで電力供給すると共に、無線により通信を行う構成（ワイヤレス型）とすることも可能である。

[0068] [指先に嵌めるリング形状の構成例]

図9は、指先に嵌めるリング形状とした装着ユニット10の構成例を示す

模式図である。

図9に示すように、指先に嵌めるリング形状とした装着ユニット10は、リング形状の部材の内部（指の腹側）には、アクチュエータにより動作する可動子を取り付けられており、この可動子を介して力触覚が提示される。

具体的には、ユーザがリング形状の装着ユニット10を指先に装着し、タッチパッドや、タッチ可能な画面を触る、撫でる等の動作を行うと、力触覚を提示するためのアクチュエータがタッチ面から突出する方向に可動子を移動（進退）させることで感触を提示する。

このような構成により、ユーザは、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）のインピーダンスを、リング形状の装着ユニット10を通して感じるができる。

[0069] [ペン形状の構成例]

図10は、ペン形状とした装着ユニット10の構成例を示す模式図である。

図10に示すように、ペン形状とした装着ユニット10は、タッチパッドや、タッチ可能な画面に当接する当接部と、ユーザによって保持されるロッド部とを備えている。また、当接部には、力触覚を提示するためのアクチュエータが備えられ、ロッド部はアクチュエータにより動作する可動子に連結されている。なお、当接部は、タッチパッドやタッチパネル等に接触させて操作可能な素材で構成されている。

そして、ユーザがロッド部を保持してタッチ面に接触すると、力触覚を提示するためのアクチュエータがタッチ面から突出する方向（ロッド部を当接部から突出させる方向）に可動子を移動（進退）させることで感触を提示する。

このような構成により、ユーザは、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）のインピーダンスを、ペン形状の装着ユニット10を通して感じるができる。

[0070] [マウス形状の構成例]

図11は、ポインティングデバイスとしてのマウス形状とした装着ユニット10の構成例を示す模式図である。

図11に示すように、マウス形状とした装着ユニット10は、先端にボタン（ユーザの指を載置する部分）を備え、装着ユニット10内のボタン下部には、力触覚を提示するためのアクチュエータが備えられている。また、ボタンは、アクチュエータにより動作する可動子に連結されている。なお、マウス形状とした装着ユニット10は、通常のマウス同様に、マウスカーソルを移動させるポインティングデバイスとしての機能も備えている。

そして、ユーザがマウス形状とした装着ユニット10を手で保持し、マウスカーソルを移動させる操作により、画面内に提示された接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）に対し触る、撫でる等の動作を行うと、力触覚を提示するためのアクチュエータがボタンを装着ユニット10から突出させる方向に可動子を移動（進退）させることで感触を提示する。

このような構成により、ユーザは、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）のインピーダンスを、マウス形状の装着ユニット10を通して感じることができる。

[0071] [ゲームコントローラ形状の構成例]

図12は、ゲームコントローラ形状とした装着ユニット10の構成例を示す模式図である。

図12に示すように、ゲームコントローラ形状とした装着ユニット10は、左右2つの操作部を備えており、例えば、左の操作部は、移動用（平面方向への移動操作）のキー、右の操作部はクリック操作のボタン等として機能する。

これら2つの操作部は、コントローラ本体内に力触覚を提示するためのアクチュエータを備えている。

例えば、左の操作部は、左右方向に移動（進退）するアクチュエータの可動子及び前後方向に移動（進退）するアクチュエータの可動子それぞれに連

結されている。また、右の操作部は、コントローラ本体から突出する方向に移動（進退）するアクチュエータの可動子に連結されている。

そして、ゲームコントローラ形状の装着ユニット10を指先で保持し、画面内の接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）を触る、撫でる等の動作を行うと、力触覚を提示するためのアクチュエータが左右それぞれのボタンを前後左右あるいはコントローラ本体から突出させる方向に可動子を移動（進退）させることで感触を提示する。

このような構成により、ユーザは、接触対象物が存在する空間（仮想空間または遠隔的な空間等）のインピーダンスを、ゲームコントローラ形状の装着ユニット10を通して感じることができる。

[0072] 以上のように、本実施形態に係る位置・力制御システム1は、装着ユニット10と、制御ユニット20と、を備える。

装着ユニット10は、ユーザの身体に装着され、アクチュエータ13によって力触覚を提示する。

制御ユニット20は、接触対象物が存在する空間のデータに基づいて、装着ユニット10の空間における位置のデータを取得する。

装着ユニット10は、制御ユニット20から位置のデータを取得し、空間における接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報と、位置のデータとに基づいて、アクチュエータ13の駆動を制御することにより、力触覚を提示する制御部11を備える。

これにより、制御ユニット20が装着ユニット10で出力される力触覚に関する情報を算出して送信する場合に比べ、制御ユニット20から装着ユニット10に送信されるデータ量を低減することができるため、制御信号の遅延が大きくなることを抑制できる。

したがって、力触覚を提示する制御をより適切なシステム構成で実現することができる。

[0073] 制御部11は、空間における接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報と、位置のデータとに基づいて位置及び力の基準値を算出し、算出した基準値

と、アクチュエータ 13 の作用に基づく位置に関する情報とを入力として、位置と力とが独立した座標系への変換を行い、当該座標系における状態値を位置及び力の目標値に追従させる演算を行った後、演算結果に対して変換の逆変換を行ってアクチュエータ 13 を制御するためのパラメータを算出することにより、アクチュエータ 13 の駆動を制御する。

これにより、位置及び力について独立した目標値を設定し、これらの目標値を実現するようにアクチュエータ 13 を制御することが可能となる。

[0074] 装着ユニット 10 には、空間における接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報が予め記憶されている。

制御部 11 は、記憶された接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報を参照すると共に、制御ユニット 20 によって取得された位置のデータを逐次取得してアクチュエータ 13 の駆動を制御することにより、力触覚を提示する。

これにより、装着ユニット 10 においては、制御ユニット 20 から位置のデータを取得することで、アクチュエータ 13 の駆動を制御して力触覚を提示することが可能となる。

[0075] 制御部 11 は、装着ユニット 10 の空間における位置が接触対象物の境界に到達した場合または当該境界に到達する直前の少なくともいずれかにおいて、制御ユニット 20 から取得した接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報を参照すると共に、制御ユニット 20 によって取得された位置のデータを逐次取得してアクチュエータ 13 の駆動を制御することにより、力触覚を提示する。

これにより、装着ユニット 10 においては、制御ユニット 20 から必要な物理パラメータ（接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報）を適宜取得しつつ、位置のデータを取得することで、アクチュエータ 13 の駆動を制御して力触覚を提示することが可能となる。

[0076] 制御ユニット 20 は、空間における装着ユニット 10 の基準となる位置のデータを取得する。

装着ユニット10は、制御ユニット20から装着ユニット10の基準となる位置のデータを取得し、当該基準となる位置のデータに基づいて、空間における装着ユニット10の部分を表す相対位置を算出して、アクチュエータ13の駆動を制御する。

これにより、装着ユニット10の基準となる位置のデータを制御ユニット20から装着ユニット10に送信すればよいため、制御ユニット20から装着ユニット10に送信されるデータ量を低減することができる。

[0077] 制御ユニット20は、空間における装着ユニット10の部分を表す位置のデータを取得する。

装着ユニット10は、制御ユニット20から装着ユニット10の部分を表す位置のデータを取得して、アクチュエータ13の駆動を制御する。

これにより、制御ユニット20において、装着ユニット10の部分（接触対象物に接触する部分等）の位置のデータを取得するため、装着ユニット10における演算量を低減することができる。

[0078] なお、本発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれるものである。

例えば、上述の実施形態においては、制御ユニット20が、複数の撮像装置Cによって撮像された画像等を基に、装着ユニット10の位置及び姿勢を検出して、空間内位置情報を算出する場合を例に挙げて説明したが、これに限られない。例えば、接触対象物が存在する空間における装着ユニット10の位置及び姿勢をマウス等の入力装置で入力することにより、空間内位置情報を算出することとしてもよい。

また、物体表面の感触を強調したり抑制したりする場合、物体の感触を定義した関数に基づいて決定される基準値（または座標変換後の目標値）をスケーリングに対応した値とする例について説明したが、これに限られない。即ち、ユーザに提示される感触が強調または抑制されれば他の手法を用いることも可能であり、例えば、アクチュエータへの入力にゲインを与えること等によって、テクスチャを拡大または縮小してユーザに提示することも可能

である。

[0079] また、上述の実施形態における処理は、ハードウェア及びソフトウェアのいずれにより実行させることも可能である。

即ち、上述の処理を実行できる機能が位置・力制御システム1に備えられていればよく、この機能を実現するためにどのような機能構成及びハードウェア構成とするかは上述の例に限定されない。

上述の処理をソフトウェアにより実行させる場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、コンピュータにネットワークや記憶媒体からインストールされる。

[0080] プログラムを記憶する記憶媒体は、装置本体とは別に配布されるリムーバブルメディア、あるいは、装置本体に予め組み込まれた記憶媒体等で構成される。リムーバブルメディアは、例えば、半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク、または光磁気ディスク等により構成される。光ディスクは、例えば、CD-ROM (Compact Disk-Read Only Memory), DVD (Digital Versatile Disk), Blu-ray Disc (登録商標) 等により構成される。光磁気ディスクは、MD (Mini-Disk) 等により構成される。また、装置本体に予め組み込まれた記憶媒体は、例えば、プログラムが記憶されているROM (Read Only Memory) やハードディスク、あるいは、半導体メモリ等で構成される。

[0081] なお、上記実施形態は、本発明を適用した一例を示しており、本発明の技術的範囲を限定するものではない。即ち、本発明は、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、省略や置換等種々の変更を行うことができ、上記実施形態以外の各種実施形態を取ることが可能である。本発明が取ることができ各種実施形態及びその変形は、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。

符号の説明

[0082] 1 位置・力制御システム、10 装着ユニット、11, 21 制御部、

211 画像表示制御部、212 空間位置情報取得部、213 空間位置
情報送信部、214 物理パラメータ送信部、12 ドライバ、13 アク
チュエータ、14 位置センサ、15, 24 記憶部、16, 25 通信部
、20 制御ユニット、22 入力部、23 出力部、30 表示ユニット
、40 ネットワーク、50 位置センサ、60 記憶部、FT 機能別力
・速度割当変換ブロック、FC 理想力源ブロック、PC 理想速度（位置
）源ブロック、IFT 逆変換ブロック、S 制御対象システム

請求の範囲

- [請求項1] ユーザの身体に装着され、アクチュエータによって力触覚を提示する装着ユニットと、接触対象物が存在する空間のデータに基づいて、前記装着ユニットの前記空間における位置のデータを取得する制御ユニットとを含み、
- 前記装着ユニットは、前記制御ユニットから前記位置のデータを取得し、前記空間における前記接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報と、前記位置のデータとに基づいて、前記アクチュエータの駆動を制御することにより、力触覚を提示する制御手段を備えることを特徴とする位置・力制御システム。
- [請求項2] 前記制御手段は、前記空間における前記接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報と、前記位置のデータとに基づいて位置及び力の基準値を算出し、算出した前記基準値と、前記アクチュエータの作用に基づく位置に関する情報とを入力として、位置と力とが独立した座標系への変換を行い、当該座標系における状態値を位置及び力の目標値に追従させる演算を行った後、演算結果に対して前記変換の逆変換を行って前記アクチュエータを制御するためのパラメータを算出することにより、前記アクチュエータの駆動を制御することを特徴とする請求項1に記載の位置・力制御システム。
- [請求項3] 前記装着ユニットには、前記空間における前記接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報が予め記憶され、
- 前記制御手段は、記憶された前記接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報を参照すると共に、前記制御ユニットによって取得された前記位置のデータを逐次取得して前記アクチュエータの駆動を制御することにより、力触覚を提示することを特徴とする請求項1または2に記載の位置・力制御システム。
- [請求項4] 前記制御手段は、前記装着ユニットの前記空間における位置が前記接触対象物の境界に到達した場合または当該境界に到達する直前の少

なくともいずれかにおいて、前記制御ユニットから取得した前記接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報を参照すると共に、前記制御ユニットによって取得された前記位置のデータを逐次取得して前記アクチュエータの駆動を制御することにより、力触覚を提示することを特徴とする請求項1または2に記載の位置・力制御システム。

[請求項5] 前記制御ユニットは、前記空間における前記装着ユニットの基準となる前記位置のデータを取得し、

前記装着ユニットは、前記制御ユニットから前記装着ユニットの基準となる前記位置のデータを取得し、当該基準となる前記位置のデータに基づいて、前記空間における前記装着ユニットの部分を表す相対位置を算出して、前記アクチュエータの駆動を制御することを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の位置・力制御システム。

[請求項6] 前記制御ユニットは、前記空間における前記装着ユニットの部分を表す前記位置のデータを取得し、

前記装着ユニットは、前記制御ユニットから前記装着ユニットの部分を表す前記位置のデータを取得して、前記アクチュエータの駆動を制御することを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の位置・力制御システム。

[請求項7] ユーザの身体に装着され、アクチュエータによって力触覚を提示する装着ユニットと、接触対象物が存在する空間のデータに基づいて、前記装着ユニットの前記空間における位置のデータを取得する制御ユニットとを含む位置・力制御システムにおける装着ユニットであって、

前記制御ユニットから前記位置のデータを取得し、前記空間における前記接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報と、前記位置のデータとに基づいて、前記アクチュエータの駆動を制御することにより、力触覚を提示する制御手段を備えることを特徴とする装着ユニット。

[請求項8] ユーザの身体に装着され、アクチュエータによって力触覚を提示す

る装着ユニットと、接触対象物が存在する空間のデータに基づいて、前記装着ユニットの前記空間における位置のデータを取得する制御ユニットとを含む位置・力制御システムにおける制御ユニットであって、

前記装着ユニットの前記空間における前記位置のデータを取得し、前記装着ユニットに対し、前記空間における前記接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報と、前記位置のデータとに基づいて、前記アクチュエータの駆動を制御して力触覚を提示するために前記位置のデータを逐次送信することを特徴とする制御ユニット。

[請求項9]

ユーザの身体に装着され、アクチュエータによって力触覚を提示する装着ユニットと、接触対象物が存在する空間のデータに基づいて、前記装着ユニットの前記空間における位置のデータを取得する制御ユニットとを含む位置・力制御システムで実行される位置・力制御方法であって、

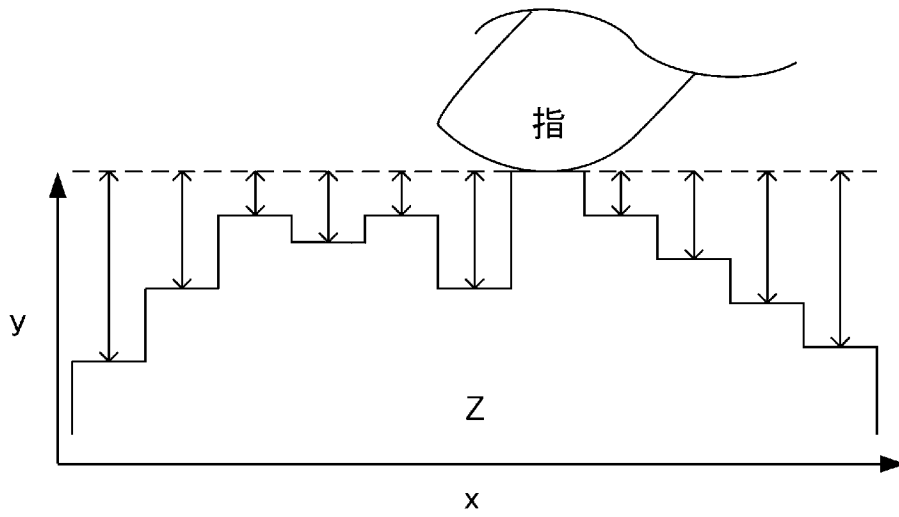
前記装着ユニットが、前記制御ユニットから前記位置のデータを取得し、前記空間における前記接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報と、前記位置のデータとに基づいて、前記アクチュエータの駆動を制御することにより、力触覚を提示する制御ステップを含むことを特徴とする位置・力制御方法。

[請求項10]

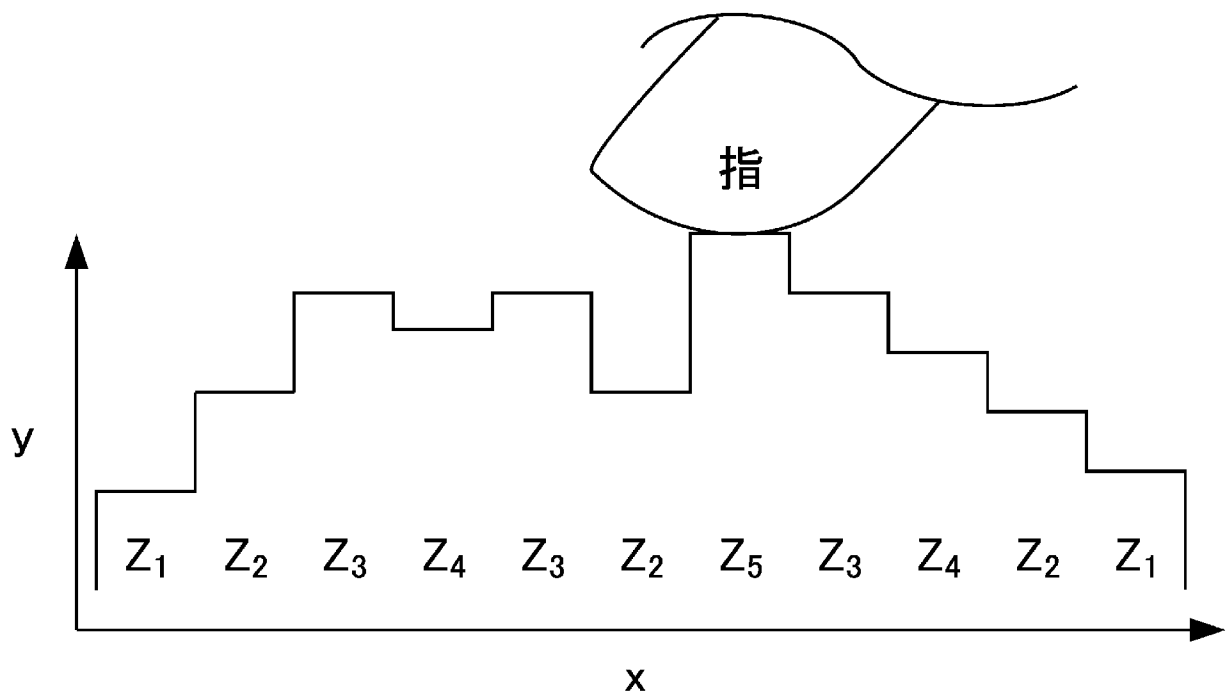
ユーザの身体に装着され、アクチュエータによって力触覚を提示する装着ユニットと、接触対象物が存在する空間のデータに基づいて、前記装着ユニットの前記空間における位置のデータを取得する制御ユニットとを含む位置・力制御システムを制御するコンピュータに、

前記装着ユニットが、前記制御ユニットから前記位置のデータを取得し、前記空間における前記接触対象物のインピーダンス及び輪郭情報と、前記位置のデータとに基づいて、前記アクチュエータの駆動を制御することにより、力触覚を提示する制御機能を実現させることを特徴とするプログラム。

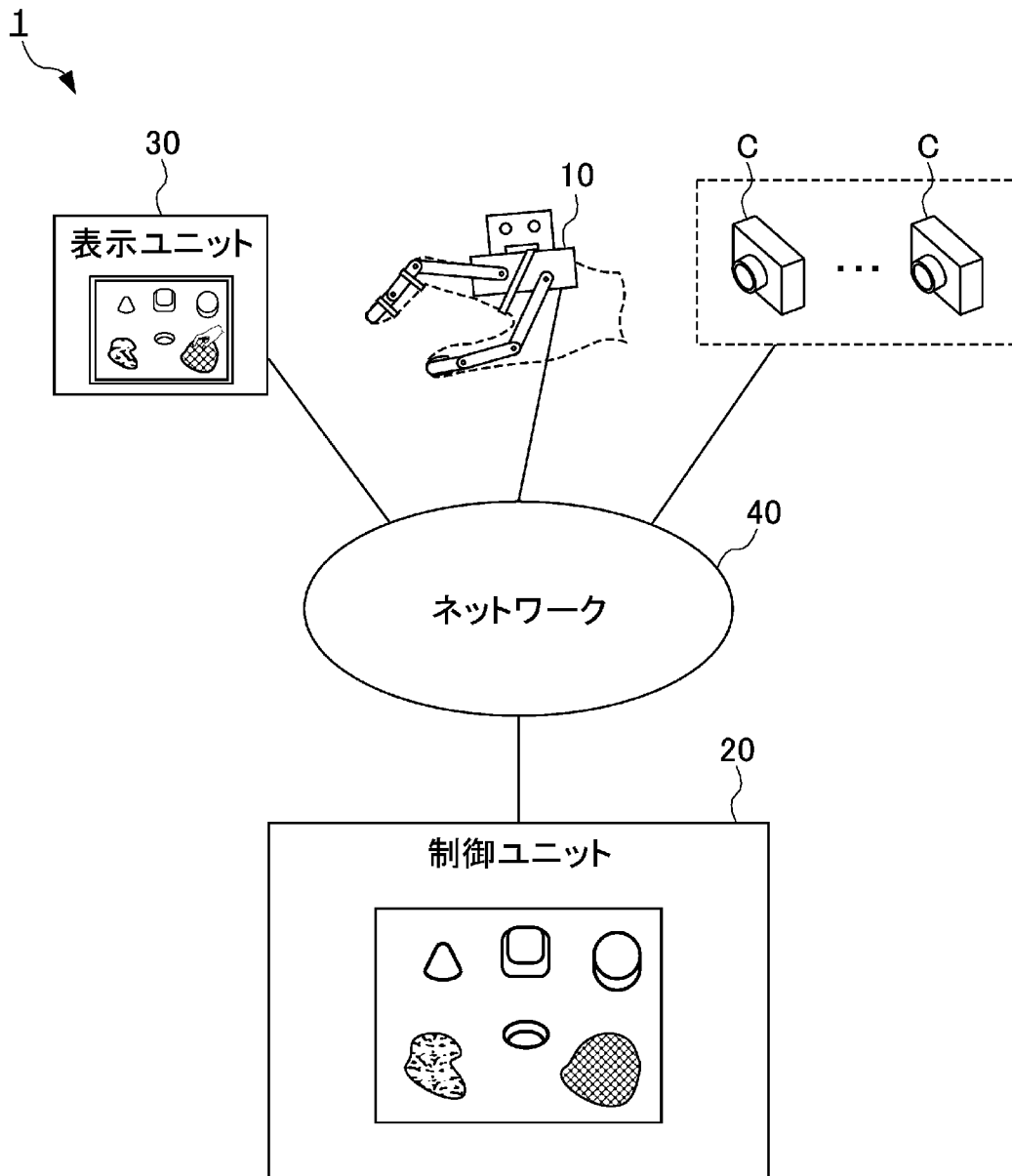
[図1]



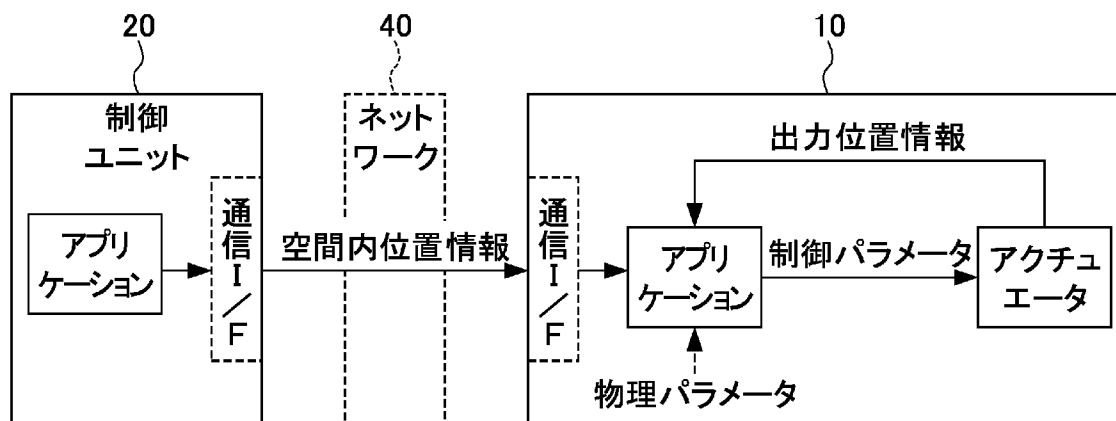
[図2]



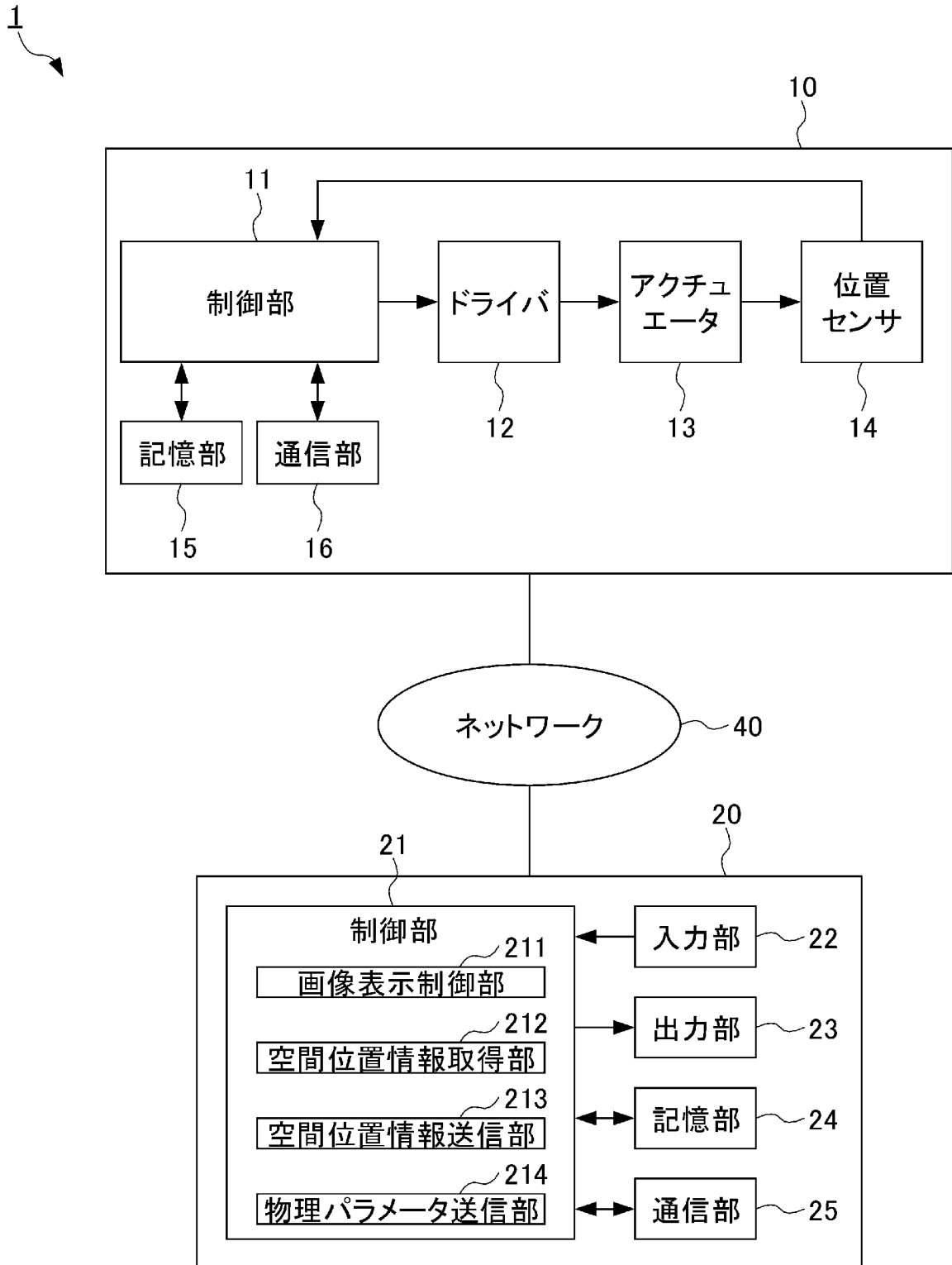
[図3]



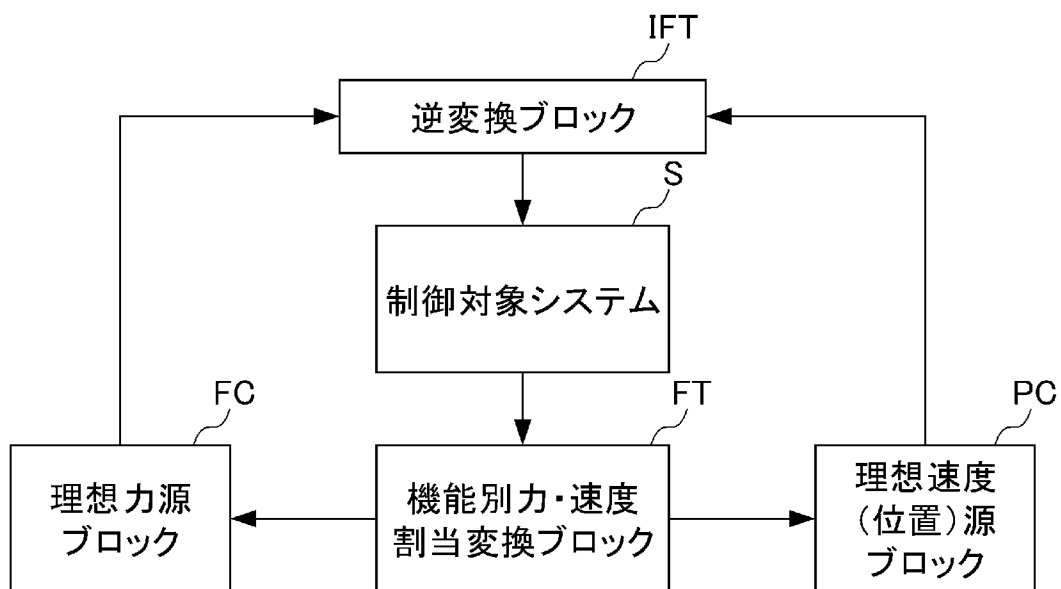
[図4]



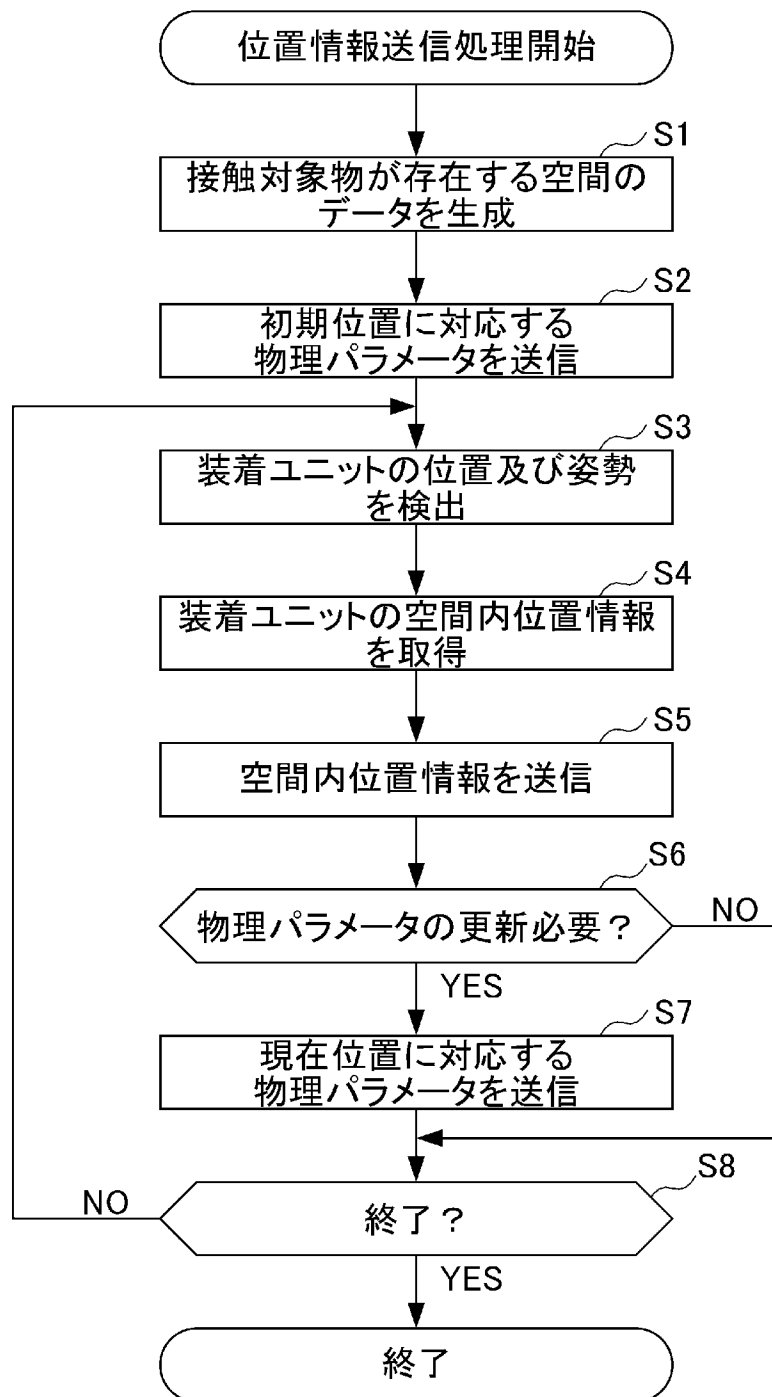
[図5]



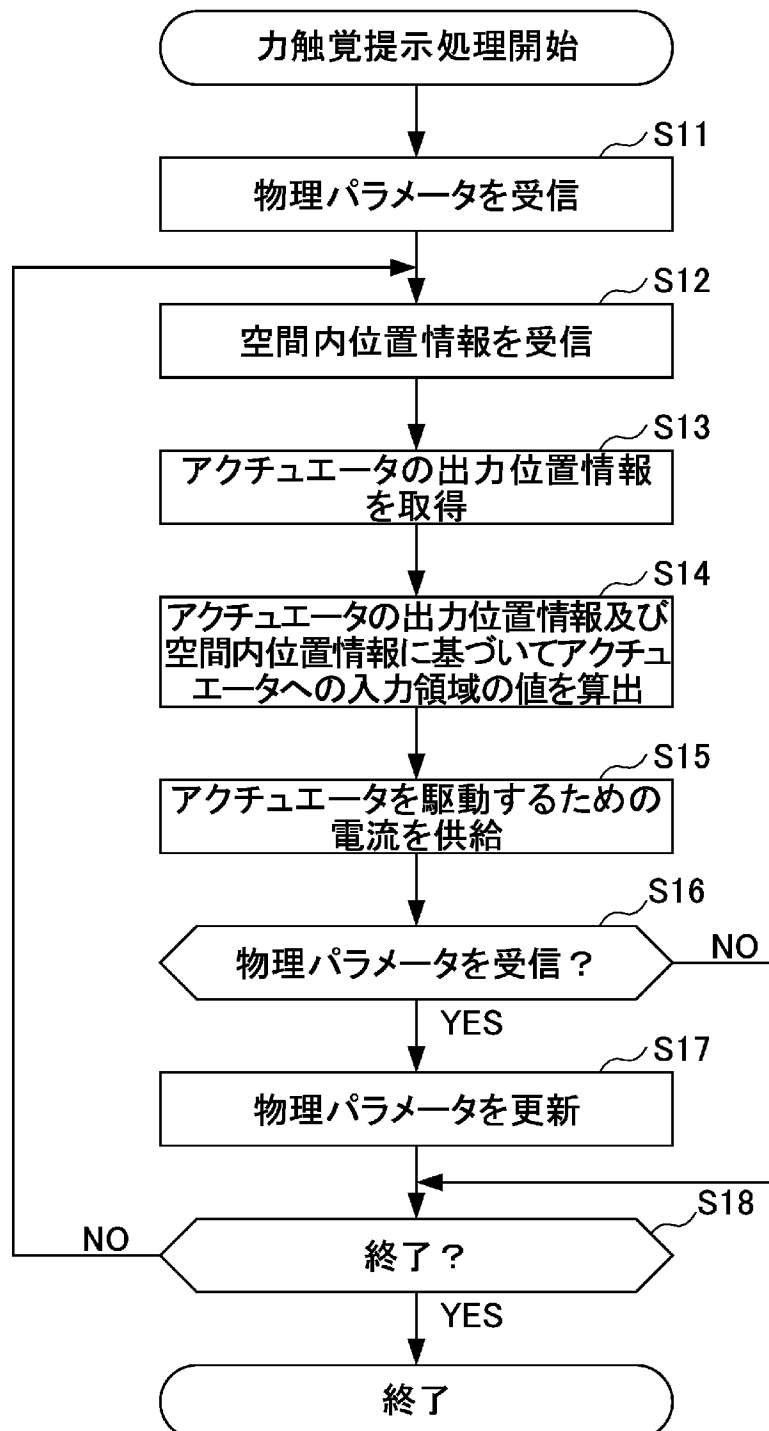
[図6]



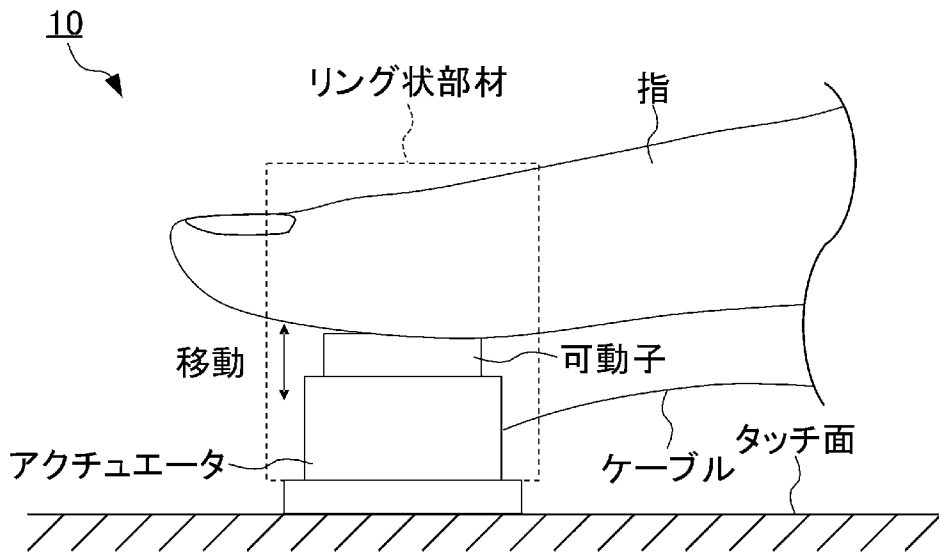
[図7]



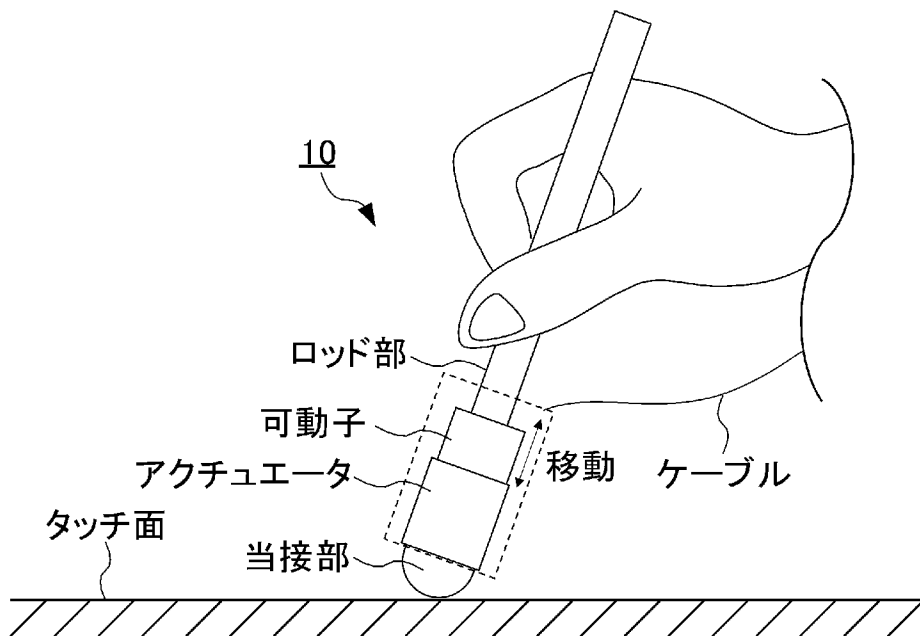
[図8]



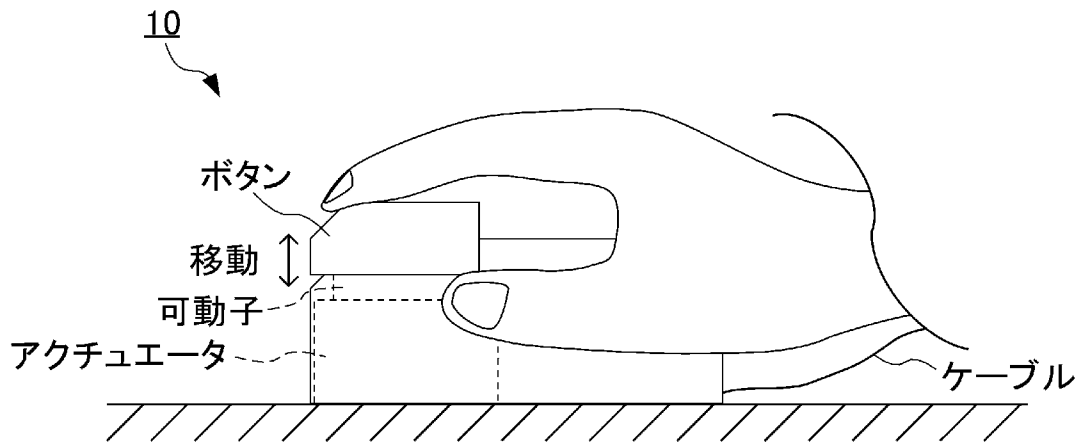
[図9]



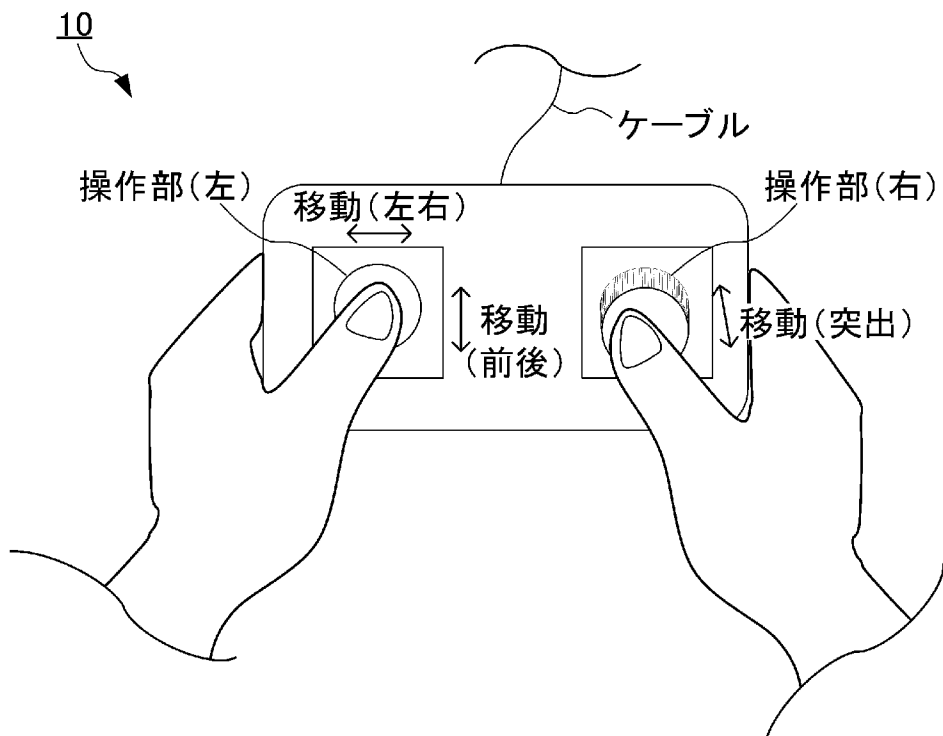
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/007588

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 B25J 13/00(2006.01)i; B25J 13/02(2006.01)i; G06F 3/01(2006.01)i; G06F 3/0346(2013.01)i
 FI: G06F3/01 560; B25J13/02; B25J13/00 Z; G06F3/0346 422
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 B25J13/00; B25J13/02; G06F3/01; G06F3/0346

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-47567 A (DAINIPPON PRINTING CO., LTD.) 18 February 2000 (2000-02-18) paragraphs [0018]-[0044], fig. 1-6	1-10
Y	JP 2017-168121 A (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 21 September 2017 (2017-09-21) paragraph [0048]	1-10
Y	WO 2019/117309 A1 (KEIO GIJUKU) 20 June 2019 (2019-06-20) paragraphs [0013]-[0017]	2
Y	JP 2004-318400 A (SEIKO EPSON CORP.) 11 November 2004 (2004-11-11) paragraph [0133]	5
A	JP 2011-238069 A (JAPAN BROADCASTING CORPORATION) 24 November 2011 (2011-11-24) entire text, all drawings	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 19 April 2021 (19.04.2021)	Date of mailing of the international search report 11 May 2021 (11.05.2021)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/007588

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2000-47567 A	18 Feb. 2000	(Family: none)	
JP 2017-168121 A	21 Sep. 2017	US 2010/0245237 A1 paragraph [0180] WO 2009/035100 A1 KR 10-1174450 B1	
WO 2019/117309 A1	20 Jun. 2019	(Family: none)	
JP 2004-318400 A	11 Nov. 2004	(Family: none)	
JP 2011-238069 A	24 Nov. 2011	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B25J 13/00(2006.01)i; B25J 13/02(2006.01)i; G06F 3/01(2006.01)i; G06F 3/0346(2013.01)i FI: G06F3/01 560; B25J13/02; B25J13/00 Z; G06F3/0346 422</p>										
<p>B. 調査を行った分野</p>										
<p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） B25J13/00; B25J13/02; G06F3/01; G06F3/0346</p>										
<p>最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2021年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年									
<p>国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）</p>										
<p>C. 関連すると認められる文献</p>										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
Y	JP 2000-47567 A（大日本印刷株式会社）18.02.2000（2000 - 02 - 18） 段落[0018]-[0044], 図1-6	1-10								
Y	JP 2017-168121 A（国立研究開発法人産業技術総合研究所）21.09.2017（2017 - 09 - 21） 段落[0048]	1-10								
Y	WO 2019/117309 A1（学校法人慶應義塾）20.06.2019（2019 - 06 - 20） 段落[0013]-[0017]	2								
Y	JP 2004-318400 A（セイコーエプソン株式会社）11.11.2004（2004 - 11 - 11） 段落[0133]	5								
A	JP 2011-238069 A（日本放送協会）24.11.2011（2011 - 11 - 24） 全文, 全図	1-10								
<p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>										
* 引用文献のカテゴリー	<p>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</p> <p>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</p> <p>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</p> <p>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</p> <p>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p> <p>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</p>									
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日									
19.04.2021	11.05.2021									
名称及びあて先	権限のある職員（特許庁審査官）									
日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	木内 康裕 5E 8385 電話番号 03-3581-1101 内線 3521									

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
 PCT/JP2021/007588

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2000-47567 A	18.02.2000	(ファミリーなし)	
JP 2017-168121 A	21.09.2017	US 2010/0245237 A1 段落[0180] WO 2009/035100 A1 KR 10-1174450 B1	
WO 2019/117309 A1	20.06.2019	(ファミリーなし)	
JP 2004-318400 A	11.11.2004	(ファミリーなし)	
JP 2011-238069 A	24.11.2011	(ファミリーなし)	