

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2007-518966

(P2007-518966A)

(43) 公表日 平成19年7月12日(2007.7.12)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 L 5/00 (2006.01)	GO 1 L 5/00 1 O 1 Z	2 F O 5 1
GO 1 L 5/16 (2006.01)	GO 1 L 5/16	3 C O O 7
B 2 5 J 19/02 (2006.01)	B 2 5 J 19/02	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2006-519171 (P2006-519171)	(71) 出願人	899000024 株式会社東京大学 T L O 東京都文京区本郷七丁目3番1号
(86) (22) 出願日	平成16年5月21日 (2004.5.21)	(74) 代理人	100103137 弁理士 稲葉 滋
(85) 翻訳文提出日	平成18年2月2日 (2006.2.2)	(72) 発明者	溝田 晃一 奈良県大和郡山市池沢町172 ニッタ株式会社奈良工場内
(86) 国際出願番号	PCT/JP2004/007285	(72) 発明者	神山 和人 群馬県前橋市大友町3-21-1
(87) 国際公開番号	W02005/029028	(72) 発明者	梶本 裕之 神奈川県横浜市戸塚区下倉田町828-362
(87) 国際公開日	平成17年3月31日 (2005.3.31)		
(31) 優先権主張番号	特願2003-322624 (P2003-322624)		
(32) 優先日	平成15年9月16日 (2003.9.16)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学式触覚センサ及び該センサを用いた力ベクトル分布再構成法

(57) 【要約】

【課題】

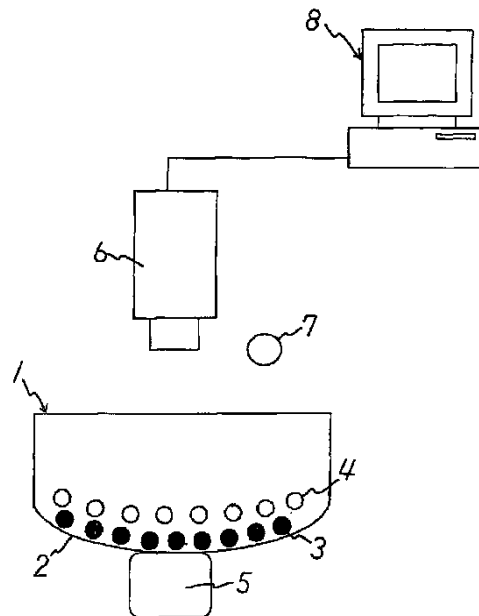
自由曲面からなる触覚部を備えた光学式触覚センサを提供する。

【解決手段】

触覚部と撮影手段とを備えた光学式触覚センサであって、該触覚部は透明弾性体1と該弾性体内に設けた複数のマーカー群とから構成されている。各マーカー群はそれぞれ多数の有色マーカーから構成されており、異なるマーカー群を構成するマーカーは群毎で互いに異なる色を有しており、該弾性体の表面2は自由曲面であり、該マーカー群は該自由曲面に沿って配設されている。該弾性体に物体が接触した際の該有色マーカーの振る舞いを該撮影手段で撮影する。触覚センサは、好ましい例では、指型触覚センサである。

【選択図】

図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

センシング部と、撮影装置と、力ベクトル分布再構成装置と、を備えた光学式触覚センサであって、

該センシング部は、透明弾性体と該弾性体内に設けた複数のマーカ一群とから構成されており、各マーカ一群はそれぞれ多数の有色マーカから構成されており、異なるマーカ一群を構成するマーカは群毎で互いに異なる色を有しており、該弾性体の表面は自由曲面であり、

該撮影装置は、該弾性体の自由曲面からなる表面に物体が接触した際の該有色マーカの振る舞いを撮影してマーカ画像情報を取得し、

該力ベクトル分布再構成装置は、該マーカ画像情報から取得されたマーカの振る舞いに関する情報から該表面に加えられた力ベクトルを再構成するための伝達関数を格納しており、該伝達関数を用いてマーカの振る舞いに関する情報から該表面に加えられた力を再構成する、

光学式触覚センサ。

【請求項 2】

請求項 1 において、該伝達関数は実測によって求めたものである、光学式触覚センサ。

【請求項 3】

請求項 1 において、該伝達関数はシミュレーションによって求めたものである、光学式触覚センサ。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 いずれかにおいて、該伝達関数は、該表面上に配置したサンプル点に複数の所定の方向の所定の大きさの力がそれぞれ加えられた時のマーカの振る舞いに関する情報から求めたものである、光学式触覚センサ。

【請求項 5】

請求項 4 において、前記所定の方向は、x 方向、y 方向、z 方向を含む、光学式触覚センサ。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 いずれかにおいて、該センサは指型センサであり、指先の肉部が透明弾性体で形成されており、該透明弾性体の表面が指先の表面を形成している、光学式触覚センサ。

【請求項 7】

請求項 6 において、該透明弾性体の背部には爪状基部が設けてあり、該爪状基部は該弾性体を支持している、光学式触覚センサ。

【請求項 8】

請求項 7 において、該撮影装置は該爪状基部に装着されており、該指先の表面に対向している、光学式触覚センサ。

【請求項 9】

請求項 7 において、該撮影装置は、爪体の端部に装着されており、該指先の表面に対向している、光学式触覚センサ。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 5 いずれかにおいて、該透明弾性体の表面は、球状あるいは球の部分の形状を有している、光学式触覚センサ。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 いずれかにおいて、前記力ベクトル分布再構成装置は、記憶装置とプロセッサを有し、該記憶装置は該伝達関数を格納しており、該プロセッサはマーカの画像情報からマーカの振る舞いに関する情報を計算し、該伝達関数を用いてマーカの振る舞いに関する情報から力ベクトル分布を計算する、光学式触覚センサ。

【請求項 12】

請求項 11 において、前記力ベクトル再構成装置は、第 1 プロセッサと第 2 プロセッサ

10

20

30

40

50

を有し、該第1プロセッサはマーカーの画像情報からマーカーの振る舞いに関する情報を計算し、該第2プロセッサは、該伝達関数を用いてマーカーの振る舞いに関する情報から力ベクトル分布を計算する、光学式触覚センサ。

【請求項13】

請求項1乃至12いずれかにおいて、前記マーカーの振る舞いは、マーカーの変位、ひずみ、傾きの少なくともいずれか一つ以上を含む、光学式触覚センサ。

【請求項14】

請求項1乃至13いずれかにおいて、前記マーカーの振る舞いは、マーカーの移動情報として取得される、光学式触覚センサ。

【請求項15】

請求項1乃至13いずれかにおいて、前記マーカーの振る舞いは、マーカーの輝度の変化として取得される、光学式触覚センサ。

【請求項16】

請求の範囲1乃至15いずれかにおいて、該マーカー群は互いに異なる空間的配列を有している、光学式触覚センサ。

【請求項17】

1つあるいは複数の透明弾性体であり、各透明弾性体は自由曲面からなる表面を有する指先の肉部を構成しており；

各弾性体内に設けられた複数のマーカー群であって、各マーカー群はそれぞれ多数の有色マーカーから構成されており、異なるマーカー群を構成するマーカーは群毎で互いに異なる色を有しており；

1つあるいは複数の撮影装置であって、該1つあるいは複数の弾性体の自由曲面からなる表面に物体が接触した際の該有色マーカーの振る舞いを撮影してマーカーの画像情報を求め；

マーカーの画像情報から求めたマーカーの振る舞いに関する情報から該表面に加えられた力を求める力ベクトル分布再構成装置と；

からなる指型光学式触覚センサ。

【請求項18】

請求項17において、前記センサは、1つあるいは複数の爪状基部を有し、各爪状基部は前記1つあるいは複数の透明弾性体のそれぞれの背部に設けてあり、各爪状基部は各透明弾性体を支持している、指型光学式触覚センサ。

【請求項19】

請求項18において、前記1つあるいは複数の撮影装置のそれぞれは、各爪状基部に装着されており、指先表面に対向している、指型光学式触覚センサ。

【請求項20】

請求項18において、前記1つあるいは複数の撮影装置のそれぞれは、各爪体の基端部に装着されており、指先表面に対向している、指型光学式触覚センサ。

【請求項21】

請求項17乃至20いずれかにおいて、該力ベクトル分布再構成装置は、該取得されたマーカーの振る舞いに関する情報から表面に加えられた力ベクトルを再構成するための伝達関数を格納しており、該伝達関数を用いてマーカーの振る舞いに関する情報から該表面に加えられた力を求める、指型光学式触覚センサ。

【請求項22】

請求項21において、前記力ベクトル分布再構成装置は、記憶装置とプロセッサを有し、該記憶装置は該伝達関数を格納しており、該プロセッサはマーカーの画像情報からマーカーの振る舞いに関する情報を計算し、該伝達関数を用いてマーカーの振る舞いに関する情報から力ベクトル分布を計算する、指型光学式触覚センサ。

【請求項23】

請求項22において、前記力ベクトル再構成装置は、ローカルプロセッサとセントラルプロセッサを有し、該ローカルプロセッサはマーカーの画像情報からマーカーの振る舞い

10

20

30

40

50

に関する情報を計算し、該セントラルプロセッサは、該伝達関数を用いてマーカの振る舞いに関する情報から力ベクトル分布を計算する、指型光学式触覚センサ。

【請求項 24】

請求項 1 乃至 23 いずれかに記載された光学式触覚センサを用いた力ベクトル分布再構成法であって、

該弾性体のセンシング面に物体が接触した際の該有色マーカを撮影して 1 つあるいは複数のマーカ画像を取得するステップと、

該マーカ画像から、求めたい力ベクトルの個数よりも多い、マーカの振る舞いに関する情報を取得するステップと、

該伝達関数を用いて、取得した情報から力ベクトル分布を再構成するステップと、

を有することを特徴とする力ベクトル分布再構成法。

10

【請求項 25】

請求項 24 において、前記伝達関数は、

弾性体の表面上に多数のサンプル点を離散状に配設するステップと、

各サンプル点において複数の所定の方向に所定の大きさの力が加えられた時のマーカの振る舞いに関する情報を取得するステップと、

各サンプル点において所定の方向に加える既知の所定の大きさの力と、マーカの振る舞いに関する情報とから伝達関数を作成するステップと、

から求められることを特徴とする力ベクトル分布再構成法。

【請求項 26】

請求項 25 において、前記所定の方向は、x 方向、y 方向、z 方向を含むことを特徴とする力ベクトル分布再構成法。

20

【請求項 27】

請求項 1 乃至 23 に記載された光学式触覚センサにおける伝達関数の作成法であって、

弾性体の表面上に多数のサンプル点を離散状に配設するステップと、

各サンプル点において複数の所定の方向に所定の大きさの力が加えられた時のマーカの振る舞いに関する情報を取得するステップと、

各サンプル点において所定の方向に加える既知の所定の大きさの力と、マーカの振る舞いに関する情報とから伝達関数を作成するステップと、

を有することを特徴とする伝達関数作成法。

30

【請求項 28】

請求項 27 において、前記所定の方向は、x 方向、y 方向、z 方向を含むことを特徴とする伝達関数作成法。

【請求項 29】

センシング部と、撮影装置と、記憶装置と、1 つあるいは複数のプロセッサと、を備えた光学式触覚センサであって、

該センシング部は、透明弾性体と該弾性体内に設けた複数のマーカ群とから構成されており、各マーカ群はそれぞれ多数の有色マーカから構成されており、異なるマーカ群を構成するマーカは群毎で互いに異なる色を有しており、該弾性体の表面は自由曲面であり、

40

該撮影装置は、該弾性体の自由曲面からなる表面に物体が接触した際の該有色マーカの振る舞いを撮影してマーカの画像情報を取得し、

該記憶装置は、該マーカの振る舞いに関する情報から表面に加えられた力ベクトルを再構成するための伝達関数を格納しており、

前記 1 つあるいは複数のプロセッサは、マーカの画像情報からマーカの振る舞いに関する情報を計算し、該伝達関数を用いてマーカの振る舞いに関する情報から力ベクトル分布を計算する、

光学式触覚センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、光学式触覚センサに係り、好ましくは、ロボットハンド用の触覚センサに用いられる触覚センサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

触覚センサによって接触面の接触状態を知ること考える時、接触面の各点にかかる力は大きさと方向を持った3成分のベクトルである。これを図1の座標系で $f(x,y)$ と表すことにする。ただし f はベクトルであるため、実際には各点において x,y,z 3成分を持つ。それぞれの成分を明示的に示す場合には $f(x,y)=[f_x(x,y), f_y(x,y), f_z(x,y)]$ と表す。

【0003】

本出願の発明者等は、3次元力ベクトル分布の計測が可能な光学式触覚センサを提案している。この光学式触覚センサは国際公開公報WO 02/18893 A1に開示されており、開示事項は引用によって本明細書に組み込まれる。かかる光学式触覚センサの原理について、図2に基づいて説明する。光学式触覚センサは、透明弾性体とCCDカメラを用いて構成されている。透明弾性体内部に配置された球状マーカをCCDカメラで撮影することで、弾性体の表面に力が加わった時の弾性体内部の変形情報を計測し、該情報から力分布を再構成する。

10

【0004】

弾性体表面を xy 平面、垂直方向を z 軸にとりCCDカメラを用いて z 方向から球状マーカを撮影することにより、力が加わった際の測定点の移動を xy 平面方向の移動ベクトルとして計測する。しかしながら、このままでは情報量が少なく変形情報から力ベクトル分布を再構成することが困難であるため、弾性体内部の異なった深さに赤色球状マーカ、青色球状マーカを測定点としてそれぞれ $N \times N$ 個配設することで深さの異なった2次元移動ベクトルを2つ求め、それぞれ異なった情報として扱うことで、情報量を増やして力ベクトル分布を求める。

20

【0005】

上述の光学式触覚センサにおいては、一般に、平面状の表面を備えた光学式触覚センサが採用される。当該表面は二次元画像情報として撮影されるので、二次元画像情報に対応する平面状の表面の採用は自然な選択である。また、平面状の表面を備えたセンサにおいては、力ベクトル分布の再構成が比較的容易である。

30

【0006】

このタイプの光学式触覚センサは、3次元力ベクトル分布を計測することができる、そして、物体と接触する柔軟な表面を備えた弾性体を有している、という点において有利である。例えば、この光学式触覚センサをヒューマノイドのロボットハンドに設けた場合には、ガラスを壊したり落としたりすることなく掴む必要がある。ガラスの落下を防止するためには、ガラスの表面と平行する方向に作用する力を感知する必要がある。このことは、上記光学式触覚センサによって可能である。ここで、光学式触覚センサの多種の用途を考えた時に、平面状の表面ではなく、自由な任意の形状の表面を備えた触覚センサを作成する必要がある。しかしながら、該自由曲面状の表面に作用した力ベクトル分布を求めるのは困難である。これに関連して、下条等：液状感圧ゴムを用いた自由曲面型触覚センサの開発、日本ロボット学会学術講演会、1G24,2002には、自由曲面を備えた触覚センサが開示されている。しかしながら、このセンサでは、力ベクトル分布を獲得することはできない。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明の目的は、自由曲面からなる表面を備えた光学式触覚センサを提供することにある。

【0008】

本発明の他の目的は、マーカ情報から自由曲面状の表面に作用した力ベクトル分布を再

50

構成することにある。

【0009】

本発明の他の目的は、ロボットハンド用の触覚センサ、あるいはコンピュータ用インターフェースとして用いることができる触覚センサを提供することにある。

【0010】

本発明の他の目的は、それによってマーカー情報を用いて力ベクトル分布を計算することができる伝達関数を求める方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、触覚部と撮影装置とを備えた光学式触覚センサに関する。該触覚部は透明弾性体と該弾性体内に設けた複数のマーカー群とから構成されており、各マーカー群はそれぞれ多数の有色マーカーから構成されており、異なるマーカー群を構成するマーカーは群毎で互いに異なる色を有している。該弾性体は自由曲面状の表面（非平面の表面）を有している。撮影装置は、該弾性体の接触面に物体が接触した際の弾性体内の該有色マーカーの振る舞いを撮影してマーカーの画像情報を取得する。センサは、マーカーの振る舞いに関する情報（例えば、マーカーの移動ベクトル）から力ベクトル分布を再構成する力ベクトル分布再構成手段を有する。マーカーの振る舞いに関する情報はマーカーの画像情報から得ることができる。

10

【0012】

該有色マーカーの振る舞いを撮影することで、該弾性体に物体が接触した際における該有色マーカーの変位、ひずみ、傾きの少なくとも一つ以上を観測する。接触対象がセンサに接触した時の有色マーカーの情報から、透明弾性体内部のひずみ情報、さらにそこから計算された接触対象の形状や接触界面（弾性体の面、接触対象の面の双方を含む）に働く力の情報を検出するものである。本発明によれば、複数種類の情報を「色分け」というシンプルな方法によって個別に採集でき、光学式で複数種類の触覚情報を同時に得ることができる。そして、本発明によれば、「色分け」によって未知数の数以上の独立の観測情報を集め、逆問題を安定に解くことによって、力ベクトルを推定して再構成することができる。

20

【0013】

有色マーカーは撮影装置、一つの好ましい例ではCCDカメラ、によって撮影され、画像処理される。例えば、物体接触時とそれ以前の状態（透明弾性体に外力が作用していない状態）の画像を比較し、マーカーの移動情報を検出する。あるいは、通常時（透明弾性体に外力が作用していない状態）では、マーカーが認識できないような配設態様でマーカーを透明弾性体に埋設しておき、透明弾性体に物体が接触した時に各マーカー存在位置周辺におけるひずみにより生じるマーカーの変位、変形、傾きに応じてマーカーが認識されるように構成し、有色マーカーの見え方等から情報を検出する。あるいは、他の好ましい態様では、マーカー（例えば、階段状の帯状マーカーの場合）の振る舞いは、マーカーの輝度の変化として取得される。

30

【0014】

力ベクトル分布再構成装置には、該撮影装置で取得されたマーカーの振る舞いに関する情報（例えば、表面に物体が接触した時の各マーカーの移動ベクトル）から弾性体の表面に加えられた力ベクトルないし力ベクトル分布を再構成するための伝達関数が格納されている。伝達関数は、センサの表面に加えられた力情報とマーカーの振る舞いに関する情報（例えば、移動ベクトル）とを関連付ける関数である。弾性体のセンシング表面に物体が接触した際の該有色マーカーを撮影してマーカー画像を取得し、該マーカー画像情報から、マーカーの振る舞いに関する情報を取得する。1つの態様では、マーカーの振る舞いに関する情報は、弾性体に物体が接触した接触状態におけるマーカー情報と、弾性体に物体が接触していないノーマル状態におけるマーカー情報とを比較することで得られる。1つの態様では、通常状態におけるマーカー情報は、位置情報や輝度情報のような数値情報として記憶装置に記憶される。マーカーの振る舞いに関する情報は、接触状態におけるマーカー

40

50

一の画像情報と予め格納されているノーマル状態のマーカ情報とから得ることができる。

【0015】

取得した情報を伝達関数に入力することで、力ベクトルを出力として求める。伝達関数に入力されるマーカの振る舞いに関する情報の数は、求めたい力ベクトルの数よりも多い。一般に、力ベクトル分布再構成装置は、記憶装置とプロセッサを有するコンピュータから構成される。該記憶装置には伝達関数が格納されており、プロセッサによって計算が実行される。1つの態様では、力ベクトル分布再構成装置は、マーカ画像情報からマーカの振る舞いに関する情報を計算する第1プロセッサと、マーカの振る舞いに関する情報から力ベクトルを計算する第2プロセッサとを有する。1つの態様では、該第1プロセ

10

【0016】

伝達関数は、弾性体の形状によっては、弾性体理論から導かれる式に基づいて算出することもできるが、弾性体の表面が自由曲面の場合には、伝達関数は、実測あるいはシミュレーションによって作成することが望ましい。実測あるいはシミュレーションによる伝達関数は、表面上に配置したサンプル点に、例えば、x方向、y方向、z方向の所定の力が加えられた時のマーカの振る舞いに関する情報（例えば、移動ベクトル）から求められる。

【0017】

実測により伝達関数を求めるステップは、以下のステップを有する。センサの表面上に多数のサンプル点を離散状に配設する。各サンプル点において所定の複数の方向に所定の大きさの力が加えられた時のマーカの振る舞いに関する情報を取得する。一つの好ましい態様では、所定の方向は、x方向、y方向、z方向を含む。各サンプル点においてx方向、y方向、z方向のような所定の方向に加える既知の所定の大きさの力と、マーカの振る舞いに関する情報とから、伝達関数を作成する。

20

【0018】

自由曲面の表面を有する光学式触覚センサは、一つの好ましい態様では、指型センサである。指型センサにおいては、指先の肉部が透明弾性体で形成されており、該透明弾性体の表面がセンサの表面を形成している。さらに好ましくは、該透明弾性体の背部には爪状基部が設けてあり、該爪状基部には、カメラのような撮影装置が設けてある。他の好ましい態様では、センサは、ローカルプロセッサとセントラルプロセッサを備えている。該ローカルプロセッサはマーカの画像情報からマーカの振る舞いに関する情報を計算し、該セントラルプロセッサは、該伝達関数を用いてマーカの振る舞いに関する情報から力ベクトル分布を計算する。好ましくは、ローカルプロセッサはロボットの手の甲あるいは手のひらに搭載される。

30

【0019】

他の態様では、自由曲面の表面を有する光学式触覚センサは、コンピュータインターフェースとして用いられる。インターフェースとしては、3Dグラフィックを作成するモデリングツールのインターフェースが例示される。このようなインターフェースに採用する光学式触覚センサは、一つの好ましい態様では、球状あるいは球の部分の形状の弾性体から構成され、球面あるいは球面の部分の表面を有する。

40

【0020】

該撮影装置は、望ましい態様では、該透明弾性体の物体が接触する側とは反対側に位置して配設される。また、互いに異なる色を有する複数の有色マーカがある場合に、ある有色マーカのみを選択して個別に捉えることで撮影後の処理の便宜を図ることが望ましい。有色マーカの選択は、例えば、カラーフィルタを用いることで行なう。また、マーカの画像を安定化させるためには、該センシング表面に遮光層を設けることが望ましい。

【0021】

好ましい態様では、該透明弾性体には、複数のマーカ群が埋設されており、各マーカ群はそれぞれ多数のマーカから構成されており、異なるマーカ群を構成するマーカ

50

は群毎で互いに異なる色を有しており、さらに、該マーカー群は互いに異なる空間的配列を有している。この異なる空間的配列の例としては、該弾性体の肉厚内で積層状に配設された複数のマーカー群が挙げられる。積層状のマーカー群の具体例では、該マーカー群を構成するマーカーは球状の微細小片であり、各層のマーカー群を構成する球状マーカーは互いに異なる色を有する。他の空間的配列の例では、互いに交差するように配設された複数のマーカー群が挙げられる。さらに他の空間的配列としては、各マーカー群は同じ方向に延出する複数の面の群から構成されており、該面の延出方向および色は、各マーカー群毎で互いに異なるものが挙げられる。有色マーカーの形状は特に限定されないが、好適な例を挙げると球状、円筒状、円柱状、帯片状、平面状の形状が考えられる。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0022】

図3は本発明に係る光学式触覚センサ装置の構成を示す。センサ装置は、透光性弾性部材からなる透明弾性体1を備えており、透明弾性体1は曲面状の表面2、すなわちセンシングのための表面を有している。透明弾性体1には、表面2に近接して、表面2の曲面に沿うようにして多数の有色マーカー3, 4が埋設されており、透明弾性体1と弾性体内に配設した有色マーカー3, 4とでセンシング部を構成している。

【0023】

有色マーカーは、2つの有色マーカー群から構成されており、2つのマーカー群は表面2から異なる深さに夫々埋設されている。一方のマーカー群を構成する有色マーカー3と、他方のマーカー群を構成する有色マーカー4とは互いに異なる色を有している。例えば、1つのマーカー群は複数の青マーカー3からなり、もう1つのマーカー群は複数の赤マーカー4からなる。

20

【0024】

透明弾性体1に物体5が接触すると、透明弾性体1の内部に設けられた有色マーカー3, 4が内部歪みによって移動する。センサ装置はさらに、撮影装置としてのカメラ6及び光源7を備えている。光学式カメラ6は、透明弾性体1を挟むようにして、物体5が接触する側とは反対側に位置させて配設されており、マーカー3, 4の変位や振る舞いをカメラ6で撮影するようになっている。光源7は、例えば光ファイバのような導波管を用いて導くものであってもよい。撮影装置によって取得されたマーカー3, 4の画像が力ベクトル分布再構成装置を構成するコンピュータ8に送信される。力ベクトル分布再構成装置は、

30

【0025】

透明弾性体1は好ましくはシリコンゴムから形成されるが、他のゴム類やエラストマー等の他の弾性部材から形成されてもよい。マーカーは、好ましくは、弾性部材から形成され、さらに好ましくは、透明弾性体1と同じ材料から構成され、一つの好ましい態様では、シリコンゴムに色素を加えたものから構成される。マーカーによって弾性体本体の変形が

40

【0026】

本発明では、透明弾性体1の中に光学的なマーカーを多数分布させ、弾性体1に物体が接触することによる弾性体1の変形による該マーカーの振る舞い(移動)に関する情報は撮影装置で検出される。ここで、マーカー移動は、物体が弾性体に接触した結果としての弾性体の変形によって引き起こされる。図3では2つのマーカー群を示したが、マーカー群の数は限定されず、たとえば、表面2に沿って3層状に3つのマーカー群を配設してもの

50

でもよい。

【0027】

撮影装置としてのカメラは、デジタル式カメラ、すなわち画像データを電気信号として出力するカメラであり、一つの好ましい例では、CCDカメラである。本発明に係る撮影装置はCCDカメラに限定されるものではなく、例えばC-MOS式イメージセンサを用いたデジタルカメラでもよい。マーカーとしてRed, Green, Blueの3種類用意したとき、これらを個別に捉えるためには、撮像素子のカラーフィルタで分ける(この場合カメラのRGB出力を見ればそのまま各マーカーを個別に撮影したことになる)という第1の方法と、撮像素子は光の強度のみ捉え、光源としてRed, Green, Blueを用意する(Redを光らせたときにはRedのマーカーからのみ反射光が有り、他の二種類のマーカーは光を吸収するため、結果的にカメラはRedのマーカーのみ捉える。これを時分割でGreen, Blueに対しても行えば(1)と等価な情報が得られる。)という第2の方法の二つが有る。

10

【0028】

光学式触覚センサによって得られたマーカーの振る舞いに関する情報(例えば、マーカーの移動ベクトル)からセンサの表面に加えられた力ベクトル分布を求めるには、マーカーの振る舞いに関する情報(例えば、移動情報)Mから力情報Fへの変換が必要となる。マーカー情報Mから力情報Fへの変換は、式 $F = HM$ によって行なわれる。以下に、マーカー情報から力ベクトル分布を再構成する手法について、図4を参照しながら、マーカーの移動ベクトルから力ベクトル分布を求める手法に基づいて説明する。図4では、接触面から開始する4本の矢線が力ベクトルを表し、8本の水平状の矢線がマーカーの観測された移動ベクトルを表す。ここでは簡単のため二次元断面(図のy軸方向は考えない)について考えるが、一般的な三次元の場合でもアルゴリズムは同一である。

20

【0029】

fは接触表面にかかる力ベクトル、m,nはそれぞれBlue, Redの色付けをしたマーカーのCCD素子上での移動ベクトルを表す。適当な離散化によって有限な点数(図4では4点)について考える。前述のように力ベクトルはそれぞれ3成分(x,y,z成分)をもつが、ここでは2成分(x,z成分)を考える。また一般にカメラによる撮影は、三次元物体を画素面の二次元平面上に射影するということであるから、その平面状でのマーカーの移動は水平方向(x,y成分)のみが射影されて観測されるが、ここでは図のようにx方向成分のみ観測されたとする。

30

【0030】

すなわち、 $f=[f_x(1), f_x(2), f_x(3), f_x(4), f_z(1), f_z(2), f_z(3), f_z(4)]$ の8成分が求めたい力分布であり、

$m=[m(1), m(2), m(3), m(4)]$, $n=[n(1), n(2), n(3), n(4)]$ が観測される移動ベクトルである。このm,nをまとめてxと書くことにする。

すなわち、 $x=[m(1), m(2), m(3), m(4), n(1), n(2), n(3), n(4)]$ となる。

ここで、点1においてx方向単位力(大きさ1の力)が加えられたときに観察される各マーカーの移動ベクトルm,nをまとめて $M_x(1)$ と書く。

40

すなわち、

$$M_x(1)=[m(1), m(2), m(3), m(4), n(1), n(2), n(3), n(4)]$$

$$\text{when } f=[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]$$

【0031】

同様に、点1においてz向単位力が加えられたときに観察される各マーカーの移動ベクトルを $M_z(1)$ 、点2においてx方向単位力が加えられたときに観察される各マーカーの移動ベクトルを $M_x(2)$ 等、以下同様に定める。線形弾性体(加えられた力分布と変位の間に線形加算関係が成り立つ弾性体。多くの弾性体はこの性質を満たす)の場合、一般的な力 $f=[f_x(1), f_x(2), f_x(3), f_x(4), f_z(1), f_z(2), f_z(3), f_z(4)]$ が与えられたときに生じる移動ベクトルxは次のように書かれる。

50

$$X = Mx(1) * fx(1) + Mz(1) * fz(1) + Mx(2) * fx(2) + \dots + Mz(4) * fz(4) .$$

逆にこのように表せるということが、力の「重ね合わせ」が成り立つ、すなわち線形弾性体であることの条件である。

【 0 0 3 2 】

これを行列形式で書くと、 $X = H * f$ となる。ただし $H = [Mx(1); Mx(2); \dots; Mz(4)]$ 。このHを、力fから変位xに伝達させるための写像と言う意味で伝達関数と呼ぶ。

要素ごとに書くと次のようになる。

【 数 1 】

$$\begin{matrix}
 m(1) \\
 m(2) \\
 m(3) \\
 m(4) \\
 n(1) \\
 n(2) \\
 n(3) \\
 n(4)
 \end{matrix}
 =
 \begin{matrix}
 H_{mx}(1,1) & H_{mz}(1,1) & H_{mx}(1,2) & H_{mz}(1,2) & H_{mx}(1,3) & H_{mz}(1,3) & H_{mx}(1,4) & H_{mz}(1,4) \\
 H_{mx}(2,1) & H_{mz}(2,1) & H_{mx}(2,2) & H_{mz}(2,2) & H_{mx}(2,3) & H_{mz}(2,3) & H_{mx}(2,4) & H_{mz}(2,4) \\
 H_{mx}(3,1) & H_{mz}(3,1) & H_{mx}(3,2) & H_{mz}(3,2) & H_{mx}(3,3) & H_{mz}(3,3) & H_{mx}(3,4) & H_{mz}(3,4) \\
 H_{mx}(4,1) & H_{mz}(4,1) & H_{mx}(4,2) & H_{mz}(4,2) & H_{mx}(4,3) & H_{mz}(4,3) & H_{mx}(4,4) & H_{mz}(4,4) \\
 H_{nx}(1,1) & H_{nz}(1,1) & H_{nx}(1,2) & H_{nz}(1,2) & H_{nx}(1,3) & H_{nz}(1,3) & H_{nx}(1,4) & H_{nz}(1,4) \\
 H_{nx}(2,1) & H_{nz}(2,1) & H_{nx}(2,2) & H_{nz}(2,2) & H_{nx}(2,3) & H_{nz}(2,3) & H_{nx}(2,4) & H_{nz}(2,4) \\
 H_{nx}(3,1) & H_{nz}(3,1) & H_{nx}(3,2) & H_{nz}(3,2) & H_{nx}(3,3) & H_{nz}(3,3) & H_{nx}(3,4) & H_{nz}(3,4) \\
 H_{nx}(4,1) & H_{nz}(4,1) & H_{nx}(4,2) & H_{nz}(4,2) & H_{nx}(4,3) & H_{nz}(4,3) & H_{nx}(4,4) & H_{nz}(4,4)
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 fx(1) \\
 fz(1) \\
 fx(2) \\
 fz(2) \\
 fx(3) \\
 fz(3) \\
 fx(4) \\
 fz(4)
 \end{matrix}
 \tag{10}$$

ただし $H_{mx}(x1, x2)$ は、座標 $x=x2$ の表面に加わったx方向単位力による座標 $x=x1$ における、m 20
 マーカーがある深さでのx方向変位量を表す。同様に、 $H_{nz}(x1, x2)$ は座標 $x=x2$ の表面に加
 わったz方向単位力による座標 $x=x1$ における、nマーカーがある深さでのx方向変位量を表
 す。

【 0 0 3 3 】

これは単純な行列の掛け算であり、xは1*8、Hは8x8の正方行列、fは1*8の成分を持つ。こ
 のため、観測されたxからfを求めるにはHの逆行列をかけてやればよい。すなわち
 $f = inv(H) * x$ (式1)。ただしinvは逆行列(一般には一般化逆行列)を表す。

要素ごとに書くと数2に示すようになる。

【 数 2 】

$$\begin{matrix}
 fx(1) \\
 fz(1) \\
 fx(2) \\
 fz(2) \\
 fx(3) \\
 fz(3) \\
 fx(4) \\
 fz(4)
 \end{matrix}
 =
 \begin{matrix}
 Imx(1,1) & Imx(2,1) & Imx(3,1) & Imx(4,1) & Inx(1,1) & Inx(2,1) & Inx(3,1) & Inx(4,1) \\
 Imz(1,2) & Imz(2,2) & Imz(3,2) & Imz(4,2) & Inz(1,2) & Inz(2,2) & Inz(3,2) & Inz(4,2) \\
 Imx(1,3) & Imx(2,3) & Imx(3,3) & Imx(4,3) & Inx(1,3) & Inx(2,3) & Inx(3,3) & Inx(4,3) \\
 Imz(1,4) & Imz(2,4) & Imz(3,4) & Imz(4,4) & Inz(1,4) & Inz(2,4) & Inz(3,4) & Inz(4,4) \\
 Imx(1,1) & Imx(2,1) & Imx(3,1) & Imx(4,1) & Inx(1,1) & Inx(2,1) & Inx(3,1) & Inx(4,1) \\
 Imz(1,2) & Imz(2,2) & Imz(3,2) & Imz(4,2) & Inz(1,2) & Inz(2,2) & Inz(3,2) & Inz(4,2) \\
 Imx(1,3) & Imx(2,3) & Imx(3,3) & Imx(4,3) & Inx(1,3) & Inx(2,3) & Inx(3,3) & Inx(4,3) \\
 Imz(1,4) & Imz(2,4) & Imz(3,4) & Imz(4,4) & Inz(1,4) & Inz(2,4) & Inz(3,4) & Inz(4,4)
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 m(1) \\
 m(2) \\
 m(3) \\
 m(4) \\
 n(1) \\
 n(2) \\
 n(3) \\
 n(4)
 \end{matrix}
 \tag{30}$$

ただし $Imx(1,1)$ 等は $inv(H)$ の各要素であるが、結局のところ $fx(1)$ を計算するためのm(1) 40
 の寄与を表す。

【 0 0 3 4 】

ここで重要なことは、このように、伝達関数によって定まった行列の逆行列を使うことで
 未知数を定める場合、未知数の個数を観測されたデータの個数が上回っているか同数であ
 る必要があるということである。もしこれが満たされない場合、逆行列を求めることが出
 来ず、すなわち求めたい未知数に冗長性が生じ、一意には求まらなくなる。図4に示す例
 の場合、もしもマーカーが1層しかなければ、求めたい力ベクトル成分8つに対して移動
 ベクトル成分が4つしかなく、力ベクトル成分が一意に定まらない(従来の面分布型触覚
 センサはこの状況にある)。この問題を解決するために色分けした2層のマーカー群を用
 意し、2層のマーカー群の各マーカーの移動を取ることによって独立な観測データ数を8 50

つまで増やしている。

【0035】

一般的な三次元の場合(この図ではy軸が追加された場合)、一点における力ベクトルは3自由度、マーカーの水平移動ベクトルは2自由度である。もしサンプリング点と同様に4点であったとすると、未知数は $f=[f_x(1), f_y(1), f_z(1), f_x(2), f_y(2), f_z(2), f_x(3), f_y(3), f_z(3), f_x(4), f_y(4), f_z(4)]$ の12個存在するのに対して、観測される値は移動ベクトル $m=[m_x(1), m_y(1), m_x(2), m_y(2), m_x(3), m_y(3), m_x(4), m_y(4)]$ の8個であり、やはり足りない。これを2層に分けて観測することにより16個の観測データを得ることが出来、これにより12個の未知数を同定することになる。情報としては冗長であるため、頑強な推定を行うことができると考えられる。以上のようなアルゴリズムを用いて、CCD画像から力ベクトルを推定する。例えば図10～13に示す他のマーカーを用いた他の測定方式でも、測定方式は実質的に同じである。

10

【0036】

上記の説明から、本光学式触覚センサにとって表面応力と内部変位の関係を示す伝達関数(行列H)を得ることが本質的に重要であることがわかる。これは、従来提案されてきたマトリクス状触覚センサの多くとは異なる点である。従来のマトリクス状触覚センサ(例えば下條らによるセンサ)は弾性体層をセンサエレメントの上に配置してはいるものの、各アレイ状のセンサエレメントが自身に加わる力を計測するにとどまっており、弾性体表面に加わる力ベクトル分布の計算には至っていない。

【0037】

次に、伝達関数を求めるための手法を説明する。弾性体理論が基本的に示すのは、弾性体内部の微小領域(例えば微小立方体 x, y, z)の表面($x=0, x, y=0, y, z=0, z$)に加わる力とその微小領域のひずみ($d_x/dx, d_y/dx, d_z/dx, d_x/dy, d_y/dy, d_z/dy, d_x/dz, d_y/dz, d_z/dz$)の間で満たすべき関係式である。弾性体全体はこの微小領域が無数に集まって(空間的に積分されて)構成されるものである。

20

【0038】

ある特徴的な形の弾性体(例えば半無限弾性体)においては、表面に加わる力と内部変位の関数として、前述の微小領域で満たすべき関係式を弾性体内部のあらゆる場所で満たすことが出来る関数が数式の形で発見されている。このような形の場合には、この関数に細かく区切った弾性体表面の座標と内部マーカーの座標を代入すれば行列Hが求まる。

30

【0039】

ここでの数式は、表面応力を $f(x_1)$ 、内部変位を $m(x_2, y_2)$ とした場合に、 $m(x_2, y_2) = G(f(x_1), x_2, y_2)$ という形で内部変位を表面応力から求める関数Gである。このとき例えば図4で点1に力が加わったときのマーカー2における変位は $m(2, y_2) = G(f(1), 2, y_2)$ によって求まる。ただし y_2 はマーカーの深さ(既知)である。

【0040】

しかしこのような特徴的な形は極めて稀であり、一例を挙げれば応用上重要と思われる球形状に関してすら表面応力と内部変位の関数は発見されていない。従来本光学式触覚センサでは弾性体形状を半無限大弾性体と仮定することによって上述のような数式を用いてH行列を取得していた。しかし例えば半球のような自由曲面に対して同様に半無限大弾性体の式を当てはめて取得したH行列を用いると、表面応力が正しく得られないことが分かった。何らかの別手段で表面応力と内部変位を関連付ける必要がある。

40

【0041】

そのために提案する第一の手法は、数値シミュレーションによって表面応力と内部変位を関連付ける手法である。現在既に市販されている弾性体シミュレーションソフトウェアは弾性体をメッシュ状に区切り、各メッシュ(前述の微小領域)が満たすべき表面応力とひずみの関係、隣り合ったメッシュ同士が満たすべき関係(隣り合ったメッシュの境界面では同じ大きさの力が働く等)を満たす弾性体変形を数値計算によって求めることが出来る。よって、表面をメッシュに区切り、各メッシュに単位応力が、x方向、y方向、z方向に、加わった際のマーカーの移動量をシミュレーションで計算する。

50

【0042】

第二の手法は図5に示すように実際に力を加えることである。自由曲面を有する弾性体の表面に、既知の力 $F_1, F_2, F_3, F_4 \dots F_n$ を加える。加えられたそれぞれの力に対するマーカーの移動ベクトル（それぞれの既知の力によって引き起こされるマーカーの移動） $M_1, M_2, M_3, M_4, \dots M_n$ を計測し、これを保存する。 F_1 は、 F_{1x}, F_{1y}, F_{1z} の3つのベクトルであり、これらの力を加えたときに夫々対応するマーカーの移動ベクトルは M_{1x}, M_{1y}, M_{1z} となる。既知の力と得られた情報（移動ベクトル）を用いて行列 H を作成する。伝達関数 H は、マーカーの各移動を用いて用意される。以下具体的に説明する。

【0043】

弾性体表面上に多数のサンプル点を離散的に配置する。好ましくは、サンプル点は表面の全域をカバーするように配置される。一つの態様では、表面上の離散的な多数のサンプル点の配設は、極座標を用いて配設される（平面視同心状に配設される）。他の態様では、サンプル点は平面視格子状に配設される。 10

【0044】

各サンプル点において、 x 方向、 y 方向、 z 方向にそれぞれ作用する既知の大きさの力と、かかる力が作用したそれぞれの場合のマーカーの移動ベクトルとを関連付ける情報を取得する。一つの好ましい方法では、各サンプル点に x 方向、 y 方向、 z 方向の所定の力をそれぞれ加え、その時のマーカーの移動ベクトルをそれぞれ計測して、保存する。サンプル点に加える力ベクトルの x 方向、 y 方向、 z 方向の取り方は、力ベクトルを用いて、表面に加えられる任意の力を表示できるものであれば、その方向は限定されない。 20

【0045】

一つの態様では、サンプル点を通して表面に接する接面を取り、該接面内で互いに直交する方向を x 方向、 y 方向とし、該接面に対して鉛直方向に z 方向を取る。あるいは、表面の形状と無関係に、 xy 平面を設定し、該 xy 平面に鉛直状に z 方向を取っても良い。

【0046】

各サンプル点に加える力は既知の力であり、一つの好ましい態様では、一定の大きさの力、例えば100[gf]をそれぞれ x 方向、 y 方向、 z 方向からサンプル点に加えて、それぞれの場合のマーカーの移動ベクトルを計測する。また、各サンプル点に加える力は既知の力であれば、必ずしも同じ大きさの力でなくてもよく、異なる既知の力に基づいてマーカーの移動ベクトルを計測した場合には、後で、マーカーの移動ベクトルの大きさを正規化すればよい。 30

【0047】

また、結果的に x 方向、 y 方向、 z 方向の力とマーカーの移動ベクトルとを関連付ける情報が取得できれば、各サンプル点に加える力は、 x 方向、 y 方向、 z 方向の力には限定されない。弾性体は線形であると考えることで、次のような方法も考えられる。まず一点に対して z 方向に加えた時のマーカー移動量を保存し、次に xz 方向に力を加え、力の z 方向成分に対する移動情報を差し引くことで x 方向成分とする。 y 方向も同様である。数式を用いて説明すると、

$M_z(n, m)$ （格子点 n, m に対して z 方向に力を加えた際のマーカーの移動）、

$M_x(n, m)$ （格子点 n, m に対して x 方向に力を加えた際のマーカーの移動）、 40

$M_{xz}(n, m)$ （格子点 n, m に対して xz 方向に力を加えた際のマーカーの移動）とすると、 $M_{xz}(n, m) = M_x(n, m) + M_z(n, m)$ と考えることができ、 $M_z(n, m)$ と $M_{xz}(n, m)$ がわかれば $M_x(n, m)$ も計算可能である。また、同様に、一点に力を加えるのではなく、複数の格子点に力が加わっていてもそれぞれを分けることが可能である。

【0048】

このようにして、シミュレーションあるいは実測によって、力情報 F とマーカーの振る舞いに関する情報（例えば、移動情報） M とを結び付ける伝達関数である行列 H を作成する。光学式触覚センサは記憶装置、プロセッサを有しており、予め作成された行列 H は記憶装置に格納されている。透明弾性体に物体が当接して、センサの表面に任意の力が作用した場合に、撮影装置によってマーカー画像を取得する。取得したマーカー画像からプロセ 50

ッサによって、マーカー移動ベクトルを計測する。計測されたマーカー移動ベクトルを行列Hに入力してプロセッサで計算することで、弾性体の表面に作用した力ベクトル分布が出力される。

【0049】

自由曲面を備えた光学式触覚センサの幾つかの実施例について説明する。半球状触覚センサを図6に示す。触覚センサの触覚部を構成する透明弾性体1は、半球形状であり、円形平面状の底面と半球面状の表面を有している。半球面状の表面が表面2を構成している。透明弾性体1は半径が25mmの半球体であり、透明弾性体としてシリコンを使用して製作されている。透明弾性体1の表面2には黒色の遮光層を設けてある。遮光層を設けることで、CCDカメラによって撮影されるマーカー画像を安定化させることができる。

10

【0050】

センシング表面2から2mmの深さに、表面2の曲面に沿って多数の青色球状マーカー3を配設して青色球状マーカー群を構成し、さらに、表面2から3.5mmの深さに、青色球状マーカー群に沿って、多数の赤色球状マーカー4を配設して赤色球状マーカー群を構成した。マーカーの間隔は4mmである。マーカー3,4は着色されたプラスチック球である。弾性透明体1の底面は透明アクリル板9に固定されている。透明アクリル板9を通して、該底面に対向するように、CCDカメラが配設されている。CCDカメラに近接した部位に図示しない光源が設けてある。透明アクリル板9を通して弾性体1の内部のマーカー3,4の変位をCCDカメラで撮影する。映像はNTSC形式で出力されUSB接続のキャプチャユニットを通してコンピュータに送信される。

20

【0051】

図面では、半球状の触覚部を示したが、触覚部はその表面が球面あるいは球面の部分を有するものであればよく、触覚部は実質的に球状あるいは球の一部を切り欠いた形状のものでもよい。触覚部の形状が球面に近ければ近いほど、大きな視野角を有する撮影装置が必要となるが、視野角の大きい撮影装置としては、魚眼レンズを用いた撮影装置が例示される。

【0052】

球面あるいは球面の部分の表面を有する触覚センサは、一つの好ましい態様では、マウスやキーボード等の入力手段、その他のコンピュータインターフェースを構成する。より具体的な例では、球面あるいは球面の部分からなる表面を有する光学式触覚センサは、コンピュータ画面上で粘土を扱うようにして3Dグラフィックを作成するモデリングツールのインターフェースに用いることができる。表面を手で押し込んだり、摘んだり、擦ったりすることで、表面に加わった力をセンサが感知し、その情報をコンピュータの処理部に送信し、画面に表示された物体の形状を変形させたり、物体の表面を研磨したりすることができる。

30

【0053】

指型触覚センサを図7に示す。指型触覚センサは、人間の指先と類似の形状を有しており、指先の肉部に相当する部位を透明弾性体1で形成し、指先の表面に相当する部位を表面2とし、指先の肉部の反対側の表面には、アルミニウム材で形成した爪状部材10が設けてある。指型触覚センサは、高さ23mm、縦35mm、横23mmの全体形状を有しており、透明弾性体1にはシリコンを用いた。透明弾性体1の表面2は、実際の指先の肉の表面ないし輪郭と同様に、曲面状の表面から構成されている。

40

【0054】

指先の肉部を構成する透明弾性体1内には、曲面状の表面2から2mmの深さに、多数の青色球状マーカー3が表面2に沿って3mm間隔で配設されており、多数の青色球状マーカー3が青色球状マーカー群を構成している。曲面状の表面2から3mmの深さに、多数の赤色球状マーカー4が青色球状マーカー群に沿って、2mm間隔で配設されており、多数の赤色球状マーカー4が赤色球状マーカー群を構成している。表面2には黒色の遮光層が設けてある。遮光層を設けることで、CCDカメラによって撮影されるマーカー画像を安定化させることができる。

50

【0055】

爪状基部10の基端側には、指先の表面を構成する表面2と対向するように傾斜状に延出する傾斜片11が一体形成されており、傾斜片11が撮影装置60の取付部を構成している。撮影装置60は先端にCCD素子を備えたビデオスコープであり、ビデオスコープの基端側はコンピュータに接続されている。傾斜片11には、CCD素子が指先の表面、すなわち表面2及びマーカー3,4に対向するように装着される。傾斜片11の弾性体側には、弾性体とCCD素子との間に位置して透明アクリル板9が配設されている。CCD素子の近傍には、図示しない光源が設けてある。弾性体1内部のマーカー3,4をビデオスコープを使用して撮影し、映像はコンピュータに送信される。

【0056】

さらに、傾斜片11の端部には、ロボットハンドに対して触覚センサ体を着脱自在に装着して支持させるための装着部12が形成されている。図7に示すものでは、装着部12は螺子孔を有しており、ロボットハンド側に設けた図示しない螺子が該螺子孔に螺合することで、触覚センサ体が支持される。図7の指型触覚センサにおいては、実際の指先にある末節骨に相当する部材はないが、装着部12は、末節骨と中節骨のジョイント部に位置しており、装着部12が関節あるいは骨の一部に相当すると考えることもできる。

【0057】

触覚部をロボットハンドに装着する手段は、上述のものに限定されない。固定用螺子孔が設けられている部位にCCD素子等の撮影装置を設けてもよい。あるいは、光ファイバの先端を透明弾性体に臨ませることで、撮影装置を構成するCCD素子を弾性体から離隔した部位に配設するものであってもよい。例えば、ロボットの5本の指の先端にそれぞれ指型触覚センサを設け、各指型触覚センサからのマーカー情報を共通の(例えば一つの)CCD素子で撮像して、コンピュータに送信するものでもよい。

【0058】

しかしながら、ビデオスコープと光ファイバを備えた指型触覚センサは、広い視野角を得ることができないという欠点がある。コンパクトな指型触覚センサを提供するためには、視野角は、90度あるいはそれより大きいことが望ましい。もし視野角が十分でないと、マーカーを離れた場所から撮影する必要があり、センサを小型化することができない。さらに、光ファイバあるいはビデオスコープのレンズは、約60度の視野角しか有していない。さらに、光ファイバでは、十分な解像度を得ることが難しい。

【0059】

図8に上記問題を解決するための指型触覚センサの実施例を示す。指型触覚センサは、人の指先の形状と類似の形状を有している。指先の肉に対応する部分は透明弾性体1から形成されており、指先表面に対応する部分が表面2を構成している。指先の肉部の表面に対向する表面にはアルミニウムからなる爪状部材100が設けてある。透明弾性体1はシリコンから形成されている。透明弾性体1の表面2は、実際の指先の表面あるいは輪郭と類似の曲面を有している。透明弾性体1において、青色マーカー群を構成する多数の青色球状マーカーと、赤色マーカー群を構成する多数の赤色球状マーカーとが、該曲面から異なる深さに配置されている。表面2には、黒色の遮光層が設けてある。爪状部材100は、透明弾性体1の背面に設けてあり、透明弾性体1を支持している。

【0060】

撮影装置60は、CCD素子やCMOS素子のような撮影素子と90度以上(実施例では110度である)の視野角を備えたレンズとからなる。爪状部材100は、撮影装置60を装着するための開口を有している。撮影素子は、レンズを埋設されたマーカー3,4及び表面に向けるようにして、爪状部材100の開口に装着される。爪状部材100と透明弾性体2の間には、プレート70が設けてある。プレート70はライトガイドあるいは光源として働く。

【0061】

図9には指型触覚センサの他の実施例が示してある。図9に示すように、5本の指の各指には、マーカーを備えた透明弾性体とカメラのような撮影装置を有する触覚部が設けてあ

10

20

30

40

50

る。図9の指型触覚センサは、ローカルプロセッサとセントラルプロセッサ（図示せず）とを有している。ローカルプロセッサは末端に設けてあり、例えば手の裏あるいは手の平に対応する部位に設けてある。ローカルプロセッサとしては、FPGA装置が例示される。セントラルプロセッサは基端に設けてある。指先に搭載された各カメラは、ローカルプロセッサに電氣的に接続されており、各カメラによって得られた各データはローカルプロセッサに送信され、そこで、得られたマーカーの画像情報からマーカー移動に関する情報が計算される。ローカルプロセッサはセントラルプロセッサに電氣的に接続されており、マーカー移動に関する情報はセントラルプロセッサに送信され、そこで、マーカー移動に関する情報から力ベクトル分布が計算される。画像情報は大量の情報を含むので、USB及びIEEE1394のようなデータ転送標準を通して画像情報を望ましい速度で転送することは難しい。図9に示す形態では、力ベクトル分布を再構成するために必要な情報（例えば、マーカー移動に関する情報）は、カメラの近くに設けたローカルプロセッサにより抽出され、抽出された情報、その量は元の画像情報よりも大きく低減されている、がセントラルプロセッサに転送される。

10

20

30

40

50

【0062】

本発明について、一つの好ましい態様である球状マーカーに基づいて説明したが、マーカーの形状や配設構成は前述のものに限定されない。他のマーカーの形状および配設構成について図10乃至図13に基づいて説明する。これらのマーカーの詳細については、国際公開公報WO02/18893 A1の記載を参照することができる。また、マーカーの形状や配設態様は、図示のものあるいは前記国際公開公報に記載されたものに限定されるものではない。図11、図12では、便宜上、平面状の接触面を備えた触覚センサ体が表示してあるが、これらのマーカーの配設構成を自由曲面の表面を有する触覚センサに採用することができる。

【0063】

図10には、微小断面を有する極細円筒体あるいは極細円柱体からなる色マーカーが示してある。透明弾性体1の厚さ内には、表面2から異なる深さにおいて、二つのマーカー群が配置されている。多数の青色マーカー30を垂直状に配設して構成した青色マーカー群は、表面2の近傍に埋設されている。多数の赤色マーカー40を垂直状に配設して構成した赤色マーカー群は、青色マーカー群よりも深い部位に埋設されている。マーカーは、弾性体に接触する物体とカメラとを結ぶ仮想線に沿って延出している。各マーカーの配設態様は図示のものに限定されず、また、互いに異なる色を有する3つ以上のマーカー群を設けてもよい。

【0064】

図11上図には、弾性体1内に階段状に配設された傾斜面状の面マーカー300, 400が表示してある。好ましくは、弾性体1の部分（階段状の界面）がマーカー300, 400を形成するが、別体の面マーカーを弾性体1内に埋設してもよい。階段状の界面は2つの同じ方向を持った面群に分けることが出来る。それぞれの群を同一色に着色しておく（一方の界面300が青、他方の界面400が赤）。ある点における2色の輝度の観測によってその点における力ベクトルの水平、垂直成分を情報として含んだ観測値が得られる。これらをセンシングすることによって力ベクトルの面分布を再構成することが出来る。図11上図には、2色の帯状の面マーカーを図示したが、3色を有する面マーカーを用いてもよい。図12下図のように底面に微細な立方体の集まったいわゆるピラミッド構造を用い、同一方向を向いた3組の面群をそれぞれ同一色に着色すれば（例えばRed, Green, Blue）、3色輝度の比率で接触面水平にかかる力の自由度を、3色の合計輝度によって面垂直にかかる力をそれぞれ求めることが出来る。

【0065】

図12には、弾性体内で、複数の並設された赤色薄肉帯片からなるマーカー群、複数の並設された青色薄肉帯片からなるマーカー群の2つのマーカー群を、それぞれのマーカーが互いに交差（図示のものでは直交）するように配設したものを示している。複数のマーカー群の空間的配設関係はこれに限定されない。また、マーカーを構成する帯片の表裏を異

なる色から形成してもよい。図 1 1 では、帯片マーカ-の面部は、観測方向に沿って延出しているが、該帯片マーカ-の面部は、観測方向に対して傾斜状に延出するものでもよい。

【 0 0 6 6 】

図 1 3 は、複数の平面マーカ-を有するセンシング部を示している。平面マーカ-は常時は隠蔽マーカ-によって隠蔽されている。平面マーカ-は複数の部位に区画されており、各区画には互いに異なる色が付してあり、各平面マーカ-における同色を有する区画がマーカ-群を構成している。該平面マーカ-と該隠蔽マーカ-とは、互いに間隔を存して該透明弾性体に設けてあり、該透明弾性体に力が作用しない状態においては該平面マーカ-が隠蔽されて観測されない。剪断歪みが生じると、隠蔽マーカ-と有色マーカ-の位置がずれて、色づくように構成されている。図示のものでは、円形マーカ-は、円の中心から三等分されて三つの扇状部に分割されており、それぞれ赤、緑、青に塗り分けられており、発生した色からひずみの方向を知ることが出来る。

10

【産業上の利用可能性】

【 0 0 6 7 】

本発明は触覚センサに広く適用することができ、好適な例としてはロボットハンド用の触覚センサやコンピュータ用インターフェースに用いられる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 8 】

【図 1】触覚センサと接触対象の間に生じる力ベクトル分布を示す図である。

20

【図 2】光学式触覚センサの原理図である。

【図 3】本発明に係る光学式触覚センサの模式図である。

【図 4】接触表面にかかる力ベクトル分布とマーカ-の移動を説明する図である。

【図 5】力ベクトル分布の再構成に用いる伝達関数の作成法の説明図である。

【図 6】半球状触覚センサの実施例を示す図である。

【図 7】指型触覚センサの実施例を示す図である。

【図 8】指型触覚センサの他の実施例を示す図である。

【図 9】指型触覚センサのさらに他の実施例を示す図である。

【図 1 0】マーカ-の他の実施例を示す図である。

【図 1 1】マーカ-の他の実施例を示す図である。

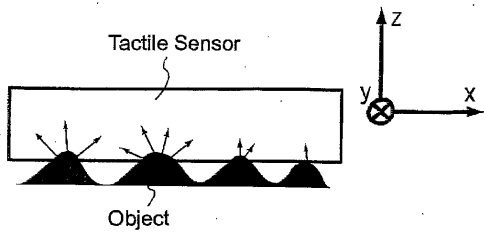
30

【図 1 2】マーカ-の他の実施例を示す図である。

【図 1 3】マーカ-の他の実施例を示す図である。

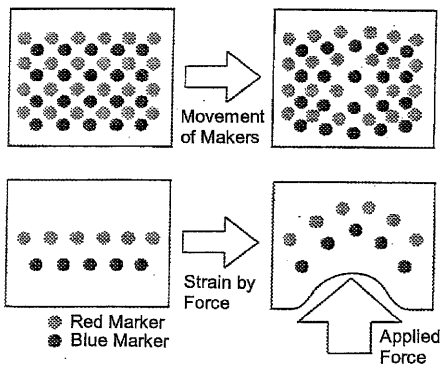
【 図 1 】

FIG. 1



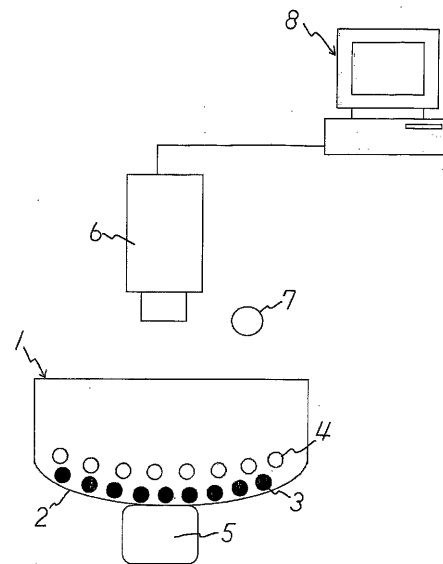
【 図 2 】

FIG. 2



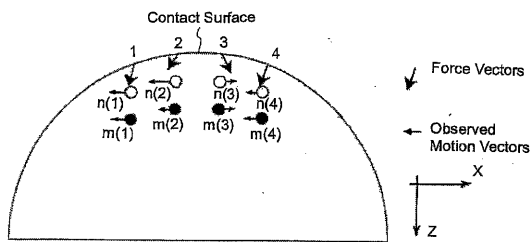
【 図 3 】

FIG. 3



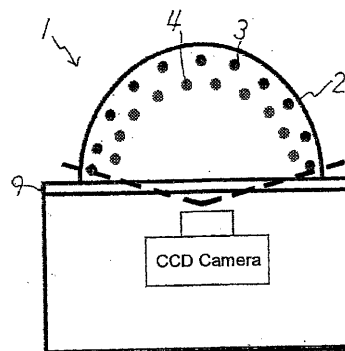
【 図 4 】

FIG. 4



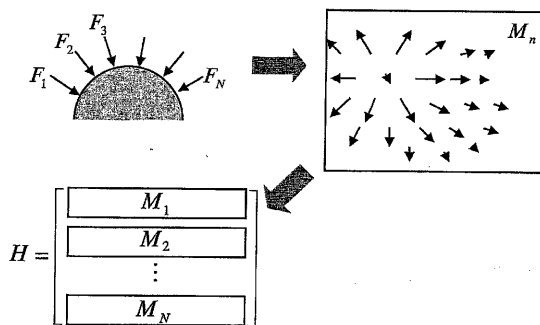
【 図 6 】

FIG. 6

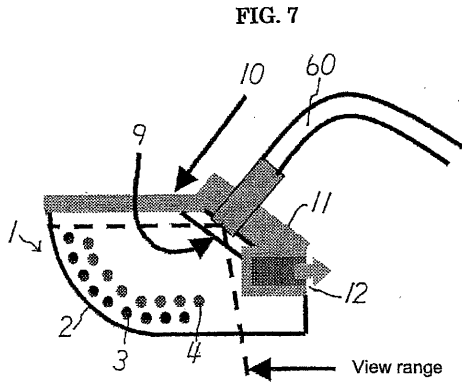


【 図 5 】

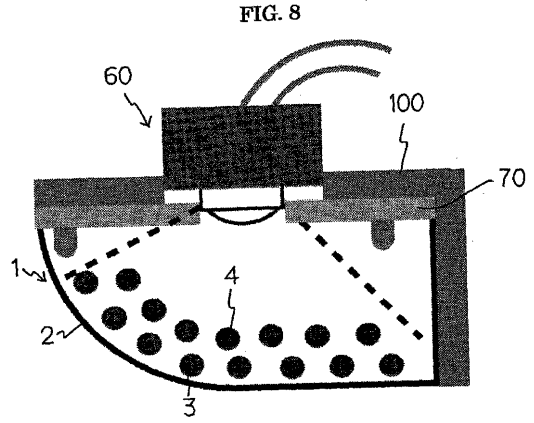
FIG. 5



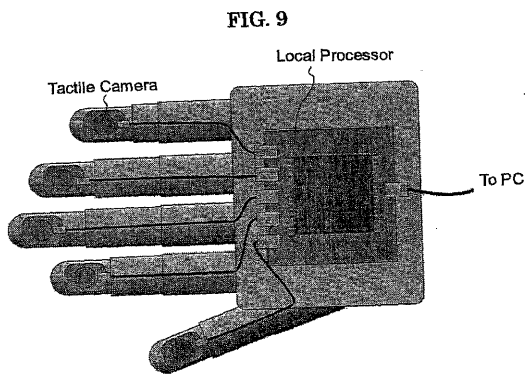
【 図 7 】



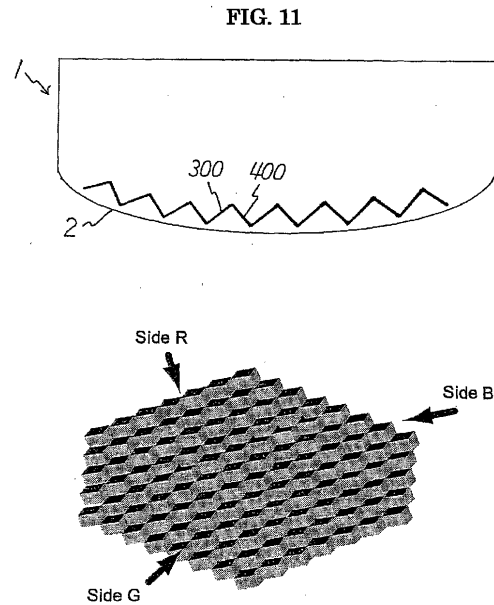
【 図 8 】



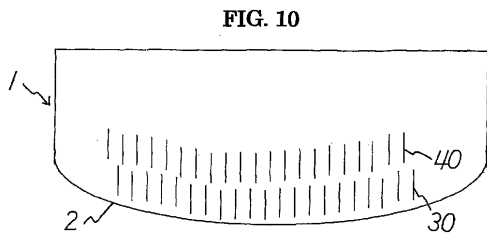
【 図 9 】



【 図 1 1 】

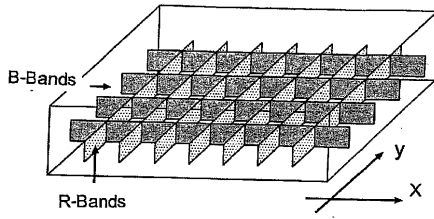


【 図 1 0 】



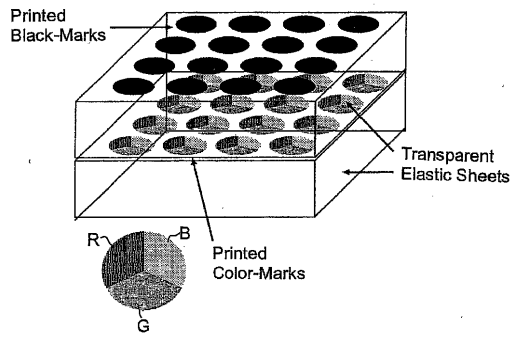
【 図 1 2 】

FIG. 12



【 図 1 3 】

FIG. 13



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/007285

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
Int.Cl. ⁷ G01L5/16, G01L1/04, G01L1/24		
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)		
Int.Cl. ⁷ G01L5/16, G01L1/04, G01L1/24		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Japanese Utility Model Gazette 1922-1996, Japanese Publication of Unexamined Utility Model Applications 1971-2004, Japanese Registered Utility Model Gazette 1994-2004, Japanese Gazette Containing the Utility Model 1996-2004		
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	EP 1321753 A1 (Center for Advanced Science and Technology Incubation, Ltd.) 2003.06.25, all pages, all figures & WO 02/18893 A1 & US 2003-0178556 A1 & AU 8254901 A & CA 2419252 A	1-29
Y	JP 11-118625 A (TOYOTA Central R&D Labs., Inc.) 1999.04.30, all pages, all figures (Family:none)	1-29
Y	JP 11-108630 A (Shiseido Co., Ltd.) 1999.04.23, all pages, all figures (Family:none)	1-29
A	EP 872719 A1 (TOKAI RUBBER INDUSTRIES, LTD.) 1998.10.21, all pages, all figures & JP 10-249768 A & US 6037703 A1 & DE 69800176 T	1-29
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "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 "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 "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 "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 "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24.08.2004		Date of mailing of the international search report 14.9.2004
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer HISAO MATSUURA Telephone No. +81-3-3581-1101 Ext. 3215
		2F 9613

フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

特許法第30条第1項適用申請有り

(72) 発明者 川上 直樹

東京都文京区白山2-35-2 マンション橘2F

(72) 発明者 舘 すすむ

茨城県つくば市梅園2-31-14

Fターム(参考) 2F051 AA10 AB03 BA07 DA03

3C007 DS02 ES06 ES07 EV14 KS31 KS34 KT02 KT05 KW01 KW03

KX08