

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5229701号
(P5229701)

(45) 発行日 平成25年7月3日(2013.7.3)

(24) 登録日 平成25年3月29日(2013.3.29)

(51) Int.Cl.	F I
G O 1 L 5/00 (2006.01)	G O 1 L 5/00 L
B 2 5 J 19/02 (2006.01)	B 2 5 J 19/02

請求項の数 6 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2008-74840 (P2008-74840)	(73) 特許権者	393031586
(22) 出願日	平成20年3月24日(2008.3.24)		株式会社国際電気通信基礎技術研究所
(65) 公開番号	特開2009-229244 (P2009-229244A)		京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
(43) 公開日	平成21年10月8日(2009.10.8)	(74) 代理人	100090181
審査請求日	平成23年2月21日(2011.2.21)		弁理士 山田 義人
		(72) 発明者	宮下 敬宏
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
			株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
		(72) 発明者	田近 太一
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
			株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
		(72) 発明者	石黒 浩
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
			株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 触覚センサを有するロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の触覚センサを有するロボットであって、

前記複数の触覚センサで検出された複数の触覚データの独立成分分析によって算出された復元行列と、前記独立成分分析によって抽出された複数の独立成分のうち自分の動作に起因する成分を示す情報とを記憶する記憶手段、

前記複数の触覚センサで検出された複数の触覚データを取得する触覚データ取得手段、

前記触覚データ取得手段によって取得された前記複数の触覚データと前記記憶手段に記憶された前記復元行列とに基づいて、複数の独立成分を算出する算出手段、および

前記記憶手段に記憶された前記自分の動作に起因する成分を示す情報に基づいて、前記算出手段によって算出された前記複数の独立成分から自分の動作に起因する成分を除去する分離手段を備える、ロボット。

【請求項 2】

前記触覚データ取得手段によって取得された前記複数の触覚データが検出されたときの自分の動作情報を取得する動作情報取得手段、

前記触覚データ取得手段によって取得された前記複数の触覚データに対して独立成分分析を実行する分析手段、および

前記分析手段による前記独立成分分析で抽出された複数の独立成分と前記動作情報取得手段によって取得された前記自分の動作情報との相関をとることによって、前記複数の独立成分のうち自分の動作に起因する成分を判別する判別手段をさらに備え、

10

20

前記記憶手段は、前記分析手段による前記独立成分分析によって算出された前記復元行列と、前記判別手段によって判別された前記自分の動作に起因する成分を示す情報とを記憶する、請求項 1 記載のロボット。

【請求項 3】

前記動作情報取得手段は、前記自分の動作情報として、各関節軸の角度センサで検出された角度データを取得する、請求項 2 記載のロボット。

【請求項 4】

前記動作情報取得手段は、前記自分の動作情報として、各関節軸の角度制御のためのコマンドデータを取得する、請求項 2 記載のロボット。

【請求項 5】

複数の触覚センサを有するロボットの触覚情報のうち動作に起因する成分を判別するための方法であって、

前記複数の触覚センサで検出された複数の触覚データを取得し、

前記複数の触覚データが検出されたときの前記ロボットの動作情報を取得し、

前記複数の触覚データの独立成分分析を実行し、そして、

前記独立成分分析で抽出された複数の独立成分と前記ロボットの動作情報との相関をとることにより、前記複数の独立成分のうち前記ロボットの動作に起因する成分を判別する、判別方法。

【請求項 6】

複数の触覚センサを有するロボットにおいて触覚情報のうち動作に起因する成分を分離するための方法であって、

前記複数の触覚センサで検出された複数の触覚データの独立成分分析によって算出された復元行列と、前記独立成分分析によって抽出された複数の独立成分のうち自分の動作に起因する成分を示す情報とを記憶しておき、

前記複数の触覚センサで検出された複数の触覚データを取得し、

取得された前記複数の触覚データと前記復元行列とに基づいて、複数の独立成分を算出し、そして、

前記自分の動作に起因する成分を示す情報に基づいて、算出された前記複数の独立成分から自分の動作に起因する成分を除去する、分離方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は触覚センサを有するロボットに関し、特にたとえば、人間と触覚コミュニケーションを行うコミュニケーションロボットのような全身に分布された複数の触覚センサを有するロボットに関する。

【背景技術】

【0002】

たとえば特許文献 1 に示されるように、本件出願人は全身分布型触覚センサを備えるコミュニケーションロボットを提案してきた。このコミュニケーションロボットの全身は柔軟な皮膚で覆われており、当該皮膚中に複数の触覚センサが埋め込まれている。人とのコミュニケーションを目指すロボットにとって、全身を柔らかい素材で構成された皮膚と敏感な触覚で覆うことが、接触によって危害を加える危険性を減少させるという点で重要な要素の 1 つとなるだけでなく、ロボットと人間とが円滑にコミュニケーションを行うためには、全身分布型の高感度超柔軟性触覚センサに基づく触行動認識が必要不可欠になる。

【特許文献 1】特開 2004 - 283975 号公報[B25J 13/08, B25J 19/02]

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

従来のロボットでは、触覚情報の検出精度を向上させるために触覚センサを鋭敏化すると、触覚センサはロボット自身の動作に反応してしまい、当該動作に起因するノイズが多

10

20

30

40

50

なくなってしまうという問題がある。検出される触覚情報の源を分離できないと、敏感なロボットの実現が困難になる。これを解決するために、ロボットが動いているときに触覚センサをオフにし、動きが止まったときに触覚センサをオンにする手法が容易に考えられるが、この手法では、ロボットが動作しているときの触覚情報を取得できなくなり、ロボットが動いているときの接触や危険などを検知して対応することができない。

【 0 0 0 4 】

それゆえに、この発明の主たる目的は、新規な、触覚センサを有するロボットを提供することである。

【 0 0 0 5 】

この発明の他の目的は、触覚を敏感にしても自己の動作に起因する反応を分離できる、触覚センサを有するロボット、ならびに、動作起因成分の判別方法および分離方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明は、上記の課題を解決するために、以下の構成を採用した。なお、括弧内の参照符号および補足説明等は、本発明の理解を助けるために後述する実施の形態との対応関係を示したものであって、本発明を何ら限定するものではない。

【 0 0 0 7 】

第1の発明は、複数の触覚センサを有するロボットであって、複数の触覚センサで検出された複数の触覚データの独立成分分析によって算出された復元行列と、独立成分分析によって抽出された複数の独立成分のうち自分の動作に起因する成分を示す情報とを記憶する記憶手段、複数の触覚センサで検出された複数の触覚データを取得する触覚データ取得手段、触覚データ取得手段によって取得された複数の触覚データと記憶手段に記憶された復元行列とに基づいて、複数の独立成分を算出する算出手段、および記憶手段に記憶された自分の動作に起因する成分を示す情報に基づいて、算出手段によって算出された複数の独立成分から自分の動作に起因する成分を除去する分離手段を備える、ロボットである。

【 0 0 0 8 】

第1の発明では、ロボット(10)は、複数の触覚センサ(58)を有する。記憶手段(64)には、複数の触覚データの独立成分分析によって算出された復元行列と、自分の動作に起因する成分を示す情報とが記憶されている。この記憶手段の情報を得るために、予めロボットと人とのインタラクションが実施され、複数の触覚センサで検出された複数の触覚データが取得される。復元行列は、複数の触覚データの独立成分分析によって抽出された複数の独立成分の復元行列である。また、自分の動作に起因する成分は、独立成分分析によって抽出された複数の独立成分と触覚データが検出されたときの自己の動作情報との相関をとることによって判別される。このロボットがたとえば人とインタラクションを行う際には、触覚データ取得手段(60、S3、S23)が、複数の触覚センサで検出された複数の触覚データを取得する。算出手段(60、S25)は、取得された複数の触覚データと復元行列に基づいて、複数の独立成分を算出する。分離手段(60、S27)は、自分の動作に起因する成分を示す情報に基づいて、複数の独立成分から自分の動作に起因する成分を除去する。

【 0 0 0 9 】

第1の発明によれば、記憶手段に復元行列と自分の動作に起因する成分を示す情報を記憶するようにしたので、復元行列と複数の触覚データから複数の独立成分を算出し、当該複数の独立成分から自分の動作に起因する成分を除去することができる。したがって、触覚情報源を分離することができ、敏感な触覚センサであっても、動作に起因する反応を触覚情報から分離することができる。

【 0 0 1 0 】

第2の発明は、第1の発明に従属するロボットであり、触覚データ取得手段によって取得された複数の触覚データが検出されたときの自分の動作情報を取得する動作情報取得手段、触覚データ取得手段によって取得された複数の触覚データに対して独立成分分析を実

10

20

30

40

50

行する分析手段、および分析手段による独立成分分析で抽出された複数の独立成分と動作情報取得手段によって取得された自分の動作情報との相関をとることによって、複数の独立成分のうち自分の動作に起因する成分を判別する判別手段をさらに備え、記憶手段は、分析手段による独立成分分析によって算出された復元行列と、判別手段によって判別された自分の動作に起因する成分を示す情報とを記憶する。

【 0 0 1 1 】

第2の発明では、動作情報取得手段(60、S5)は、独立成分分析が施される複数の触覚データが検出されたときの自分の動作情報を取得する。分析手段(60、S9)は、複数の触覚データに対して独立成分分析を実行する。この独立成分分析によって、複数の独立成分と復元行列とが算出される。判別手段(60、S11)は、複数の独立成分と自分の動作情報との相関をとることによって、複数の独立成分のうち自分の動作に起因する成分を判別する。記憶手段には、分析手段による独立成分分析で算出された復元行列と、判別手段によって判別された自分の動作に起因する成分を示す情報とが記憶される。

10

【 0 0 1 2 】

第2の発明によれば、独立成分分析を実行することができ、復元行列を算出して記憶しておくことができる。また、自分の動作情報を取得して、自分の動作に起因する成分を判別することができ、当該自分の動作に起因する成分を示す情報を記憶しておくことができる。

【 0 0 1 3 】

第3の発明は、第2の発明に従属するロボットであり、動作情報取得手段は、自分の動作情報として、各関節軸の角度センサで検出された角度データを取得する。

20

【 0 0 1 4 】

第3の発明では、各関節軸の角度センサ(78)で検出された角度データが自分の動作情報として取得される。したがって、各独立成分と角度データとの相関をとることによって、動作に起因する成分を判別することができる。

【 0 0 1 5 】

第4の発明は、第2の発明に従属するロボットであり、動作情報取得手段は、自分の動作情報として、各関節軸の角度制御のためのコマンドデータを取得する。

【 0 0 1 6 】

第4の発明では、各関節軸の角度制御のためのコマンドデータが自分の動作情報として取得される。したがって、各独立成分とコマンドデータとの相関をとることによって、動作に起因する成分を判別することができる。

30

【 0 0 1 7 】

第5の発明は、複数の触覚センサを有するロボットの触覚情報のうち動作に起因する成分を判別するための方法であって、複数の触覚センサで検出された複数の触覚データを取得し、複数の触覚データが検出されたときのロボットの動作情報を取得し、複数の触覚データの独立成分分析を実行し、そして、独立成分分析で抽出された複数の独立成分とロボットの動作情報との相関をとることにより、複数の独立成分のうちロボットの動作に起因する成分を判別する、判別方法である。

【 0 0 1 8 】

第5の発明によれば、外界からの接触による触覚情報と自己動作による触覚情報とを区別することができるので、触覚を敏感にしても自分の動作に起因する反応を分離できるロボットを実現することができる。

40

【 0 0 1 9 】

第6の発明は、複数の触覚センサを有するロボットにおいて触覚情報のうち動作に起因する成分を分離するための方法であって、複数の触覚センサで検出された複数の触覚データの独立成分分析によって算出された復元行列と、独立成分分析によって抽出された複数の独立成分のうち自分の動作に起因する成分を示す情報とを記憶しておき、複数の触覚センサで検出された複数の触覚データを取得し、取得された複数の触覚データと復元行列とに基づいて、複数の独立成分を算出し、そして、自分の動作に起因する成分を示す情報に

50

基づいて、算出された複数の独立成分から自分の動作に起因する成分を除去する、分離方法である。

【 0 0 2 0 】

第 6 の発明によれば、触覚情報から自分の動作に起因する成分を除去することができるので、触覚を敏感にしても自分の動作に起因する反応を分離できるロボットを実現することができる。

【発明の効果】

【 0 0 2 1 】

この発明によれば、複数の触覚データの独立成分分析によって算出された復元行列と自分の動作に起因する成分を示す情報とを記憶しておくようにしたので、取得された複数の触覚データと復元行列に基づいて複数の独立成分を算出し、自分の動作に起因する成分を示す情報に基づいて当該複数の独立成分から自分の動作に起因する成分を除去することができる。したがって、触覚センサを鋭敏化しても、外界の接触による触覚情報と自己の動作による触覚情報とを分離することができる。

10

【 0 0 2 2 】

また、複数の触覚データと自分の動作情報を取得し、複数の触覚データの独立成分分析によって抽出した複数の独立成分と自分の動作情報との相関をとるようにしたので、自己の動作による触覚情報を判別することができる。

【 0 0 2 3 】

この発明の上述の目的、その他の目的、特徴および利点は、図面を参照して行う以下の実施例の詳細な説明から一層明らかとなろう。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 4 】

図 1 は、この発明の実施例のコミュニケーションロボット（以下、単に「ロボット」ともいう。）10 を示す。ロボット 10 は台車 12 を含み、この台車 12 の側面には、このロボット 10 を自律移動させる車輪 14 が設けられる。この車輪 14 は、車輪モータ（図 3 において参照番号「16」で示す。）によって駆動され、台車 12 すなわちロボット 10 を前後左右任意の方向に動かすことができる。なお、図示しないが、この台車 12 の前面には、衝突センサが取り付けられ、この衝突センサは、台車 12 への人間や他の障害物の接触を検知する。

30

【 0 0 2 5 】

台車 12 の上には、多角形柱状のセンサ取付パネル 18 が設けられ、このセンサ取付パネル 18 の各面には、超音波距離センサ 20 が取り付けられる。この実施例ではたとえば 24 個の超音波距離センサ 20 が周囲 360 度にわたるように設けられる。この超音波距離センサ 20 は、センサ取付パネル 18 すなわちロボット 10 の周囲の主として人間との距離を計測するものである。具体的には、超音波距離センサ 20 は超音波を発射し、その超音波が人から反射されて超音波距離センサ 20 に入射されたタイミングを測定して、人との間の距離情報を出力する。

【 0 0 2 6 】

台車 12 の上には、人体状部 22 が直立するように取り付けられる。このロボット本体としての人体状部 22 の全身は、後に詳しく説明するように、柔軟素材からなる皮膚 24 によって覆われる。人体状部 22 は、たとえば鉄板のような筐体（図示せず）を含み、その筐体にコンピュータやその他必要なコンポーネントを収容している。そして、皮膚 24 は、その筐体上に被せられる。皮膚 24 の下の筐体の上部ほぼ中央にはマイク 26 が設けられる。このマイク 26 は、周囲の音声、特に人間の声を収集するためものである。

40

【 0 0 2 7 】

人体状部 22 は、身体動作を実行可能な身体部位を備えている。具体的には、人体状部 22 は、可動部として右腕 28 R および左腕 28 L を含む。右腕 28 R および左腕 28 L すなわち上腕 30 R および 30 L は、それぞれ、肩関節 32 R および 32 L によって、胴体部分に変位自在に取り付けられる。この肩関節 32 R および 32 L は、3 軸の自由度を

50

有する。上腕 30 R および 30 L には、1 軸の肘関節 34 R および 34 L によって、前腕 36 R および 36 L が取り付けられ、この前腕 36 R および 36 L には、手 38 R および 38 L が取り付けられる。これら右腕 28 R および左腕 28 L の各関節における各軸はここでは図示しないモータによってそれぞれ制御される。すなわち、右腕 28 R および左腕 28 L のそれぞれ 4 個のモータが、図 3 において、それぞれ右腕モータ 40 および左腕モータ 42 として表される。

【0028】

さらに、人体状部 22 の上部には可動部として頭部 46 が設けられる。頭部 46 は、首関節 44 を介して人間の頭と同様に俯仰・回転可能に取付けられる。この 3 軸（パン、チルトおよびロール軸）の首関節 44 は、図 3 に示す頭部モータ 48 によって制御される。頭部 46 の前面の「目」に相当する位置には 2 つの眼カメラ 50 が設けられ、この眼カメラ 50 は、ロボット 10 に接近した人間の顔や他の部分を撮影してその映像信号を取り込む。頭部 46 の前面の目カメラ 50 の下方にはスピーカ 52 が設けられる。このスピーカ 52 は、ロボット 10 がその周囲の人間に対して音声によってコミュニケーションを図るために用いられる。

【0029】

上で説明した人体状部 22 の胴体や頭部 46 および腕は上記したようにすべて柔軟な素材からなる皮膚 24 に覆われる。この皮膚 24 は、図 2 に示すように、下層のウレタンフォーム 54 と、その上に積層される比較的肉厚のシリコンゴム層 56 a および比較的肉薄のシリコンゴム層 56 b とを含む。そして、2 つのシリコンゴム層 56 a および 56 b の間に、圧電センサシート 58 が埋め込まれる。この圧電センサシート 58 は、圧電フィルム（たとえば P V D F（ポリビニリデンフルオロイド））の両面に金属薄膜が形成された構造、つまり、圧電体が導体で挟まれた構造を有する圧電センサである。圧電フィルムは、圧力等で変形されると、両面金属薄膜間に圧電電気を発生し、すなわち、そのひずみ速度に応じた電圧を発生する。圧電フィルムは、たとえば、30×30 mm 程度の大きさにカットされ、約 5 mm の間隔で皮膚 24 中に配置される。

【0030】

皮膚 24 では、上述のように、発泡ウレタンとシリコンゴムとを使って柔らかさを得るようにしている。シリコンゴムだけである程度の厚みと柔らかさを得ようとする、重くなりすぎてエネルギー消費量が大きくなるだけでなく、裂傷に弱くなるので、大まかな形と厚みをウレタンフォームで作り、その表面を約 20 mm のシリコンゴムで覆う形が採用されている。そして、シリコンゴム層を 2 つにし、それらのシリコンゴム層 56 a および 56 b の間に、上述の圧電センサシート 58 が埋め込まれる。さらに、内側のシリコンゴム層 56 a が厚く（約 15 mm）され、表面側のシリコンゴム層 56 b が薄く（約 5 mm）される。これによって、ロボット 10 の振動や人間が表面を押したときに生じる高周波の振動をカットでき、なおかつフィルムが変形し易くなるので、圧力の計測が容易になる。つまり、シリコンゴム層の厚みはロボット 10 の構造やパワーによるが、なるべく薄く、しかし変形が伝わり易く、雑音となる振動が伝わり難いものが必要となる。また、この柔らかい皮膚を介して、人との間で触行動によるコミュニケーションを行うことができるので、人に対して安心感を与えて親和性を高めることができるし、触れたりぶつかったりした場合の人の怪我を防止して安全性も高めることができる。

【0031】

なお、皮膚 24 の素材は軟性素材であればよく、上述のものに限定されずたとえば他のゴム素材等でもよい。ただし、圧電センサシートの表面金属薄膜が腐食しない材質である必要がある。また、上述の皮膚 24 の厚み（各層の厚み）は一例であり、素材等によって適宜変更され得る。また、皮膚 24 の積層構造も適宜変更可能である。

【0032】

このように、人体状部 22 の全身にわたって多数の圧電センサシート（触覚センサエレメント）58 が埋め込まれており、全身分布型の高密度で超柔軟の触覚センサ（図 3 において参照符号「76」で示す。）が構築されている。後述するように、触覚センサ 76

10

20

30

40

50

は、複数のノード 80 (図 4 参照) を含むセンサネットワークで構成されており、各ノード 80 は、複数の触覚センサエレメント 58、センサ値読取装置および演算装置等を備えている。この触覚センサ 76 によって、ロボット 10 の全身において人間や物の接触によって皮膚 24 に加えられた圧力を圧覚 (触覚) 情報として検知することができる。

【0033】

図 1 に示すロボット 10 の電氣的構成の一例が図 3 のブロック図に示される。図 3 に示すように、このロボット 10 は、全体の制御のためにマイクロコンピュータまたは CPU 60 を含み、この CPU 60 には、バス 62 を通して、メモリ 64、モータ制御ボード 66、センサ入力/出力ボード 68 およびサウンド入力/出力ボード 70 が接続される。

【0034】

メモリ 64 は、図示しないが、ROM や HDD、RAM 等を含む。ROM や HDD 等にはこのロボット 10 の制御プログラムが予め書き込まれている。制御プログラムはたとえばコミュニケーション行動を実行するためのプログラム、外部のコンピュータと通信するためのプログラム等を含む。メモリ 64 にはまた、コミュニケーション行動を実行するためのデータが記憶され、そのデータは、たとえば、個々の行動を実行する際に、スピーカ 52 から発生すべき音声または声の音声データ (音声合成データ)、および所定の身振りを提示するための各関節軸の角度制御データ (コマンドデータ) 等を含む。RAM は、一時記憶メモリおよびワーキングメモリとして利用される。

【0035】

モータ制御ボード 66 は、たとえば DSP (Digital Signal Processor) で構成され、上述の各腕や頭部などの各モータ 16、40、42、48 を制御する。各モータ 16、40、42、48 はそれぞれポテンシオメータまたはロータリエンコーダ等の角度センサ 78 を備えている。各角度センサ 78 は各関節軸の回転角度 (関節角度) を検出し、当該回転角度を示す信号をモータ制御ボード 66 に与える。モータ制御ボード 66 は、角度センサ 78 からの信号を用いて各モータ 16、40、42、48 をフィードバック制御する。

【0036】

具体的には、モータ制御ボード 66 は、CPU 60 からのコマンドデータを受けて、右肩関節 32R の 3 軸のそれぞれの角度を制御する 3 つのモータと右肘関節 34R の 1 軸の角度を制御する 1 つのモータとの計 4 つのモータ (図 3 ではまとめて、「右腕モータ」として示す。) 40 の回転角度を、各軸の角度センサ 78 の回転角度データ (関節角度データ) を用いて調節する。また、モータ制御ボード 66 は、左肩関節 32L の 3 軸と左肘関節 34L の 1 軸、計 4 つのモータ (図 3 ではまとめて、「左腕モータ」として示す。) 42 の回転角度を、各軸の角度センサ 78 の回転角度データを用いて調節する。モータ制御ボード 66 は、また、頭部 46 を変位させる首関節 44 の 3 軸のモータ (図 3 ではまとめて、「頭部モータ」として示す。) 48 の回転角度を、各軸の角度センサ 78 の回転角度データを用いて調節する。さらに、モータ制御ボード 66 は、車輪 14 を駆動する 2 つのモータ (図 3 ではまとめて、「車輪モータ」として示す。) 16 を、各軸の角度センサ 78 からの回転角度データを用いて制御する。

【0037】

なお、この実施例の各モータ 16、40、42、48 は、直流モータ (サーボモータ) であるが、他の実施例では、車輪モータ 16 を除いて、それぞれステッピングモータまたはパルスモータであってよい。

【0038】

センサ入力/出力ボード 68 も、同様に、DSP で構成され、各センサやカメラからの信号を取り込んで CPU 60 に与える。すなわち、図示しない衝突センサの各々からの接触に関するデータがこのセンサ入力/出力ボード 68 を通して CPU 60 に入力される。また、眼カメラ 50 からの映像信号が、必要に応じてこのセンサ入力/出力ボード 68 で所定の処理が施された後、CPU 60 に入力される。

【0039】

また、触覚センサ 76 が、このセンサ入力/出力ボード 68 に接続されており、CPU

10

20

30

40

50

60と触覚センサ76はセンサ入力/出力ボード68を介してデータを送受信する。

【0040】

サウンド入力/出力ボード70には、スピーカ52およびマイク26が接続される。スピーカ52にはサウンド入力/出力ボード70を介して、CPU60から、合成音声データが与えられ、それに応じて、スピーカ52からはそのデータに従った音声または声が出力される。また、マイク26からの音声入力が、サウンド入力/出力ボード70を介して、CPU60に取り込まれる。

【0041】

また、CPU60には、バス62を介して通信LANボード72および無線通信装置74が接続される。この通信LANボード72および無線通信装置74によって、ロボット10は外部のコンピュータ等と無線通信を行うことができる。具体的には、通信LANボード72は、DSPで構成され、CPU60からの送信データを無線通信装置74に与え、無線通信装置74から送信データを、図示は省略するが、たとえば無線LANまたはインターネットのようなネットワークを介して、外部のコンピュータに送信させる。また、通信LANボード72は、無線通信装置74を介して外部のコンピュータからのデータを受信し、受信したデータをCPU60に与える。

【0042】

触覚センサ76の電氣的構成の一例が図4のブロック図に示される。触覚センサ76は複数のノード80を含み、各ノード80は複数の触覚センサエレメント58を備えている。複数のノード80はバス82を介して相互に接続される。バス82はたとえばRS422シリアルバスであり、センサ入力/出力ボード68に設けられるシリアル通信ポートに接続されている。このように、複数のノード80およびCPU60がセンサネットワークを構成しており、接続された経路を介して通信を行う。

【0043】

なお、触覚センサ76のネットワーク構造は適宜変更可能であり、たとえば、本件出願人による特開2006-287520号公報に開示されるような相互接続型のセンサネットワークが構築されてもよい。

【0044】

各ノード80は基板84を含み、この基板84に当該ノード80に所属する複数の触覚センサエレメント58が接続される。また、基板84には、センサ値読取装置としてのA/D変換器88および増幅器90、ならびに演算装置としてのプロセッサユニット86が設けられている。各触覚センサエレメント58からの配線は増幅器90に接続されている。

【0045】

なお、基板84と所属する各触覚センサエレメント58との配線長を短くするために、各ノード80の基板84は、所属する各触覚センサエレメント58のなるべく近傍になるように筐体内において配置される。たとえば、200-300枚程度の触覚センサエレメント58がロボット10の全身の皮膚24中に分布されており、また、十数枚程度の基板84が設けられる。各基板84には数十枚程度の触覚センサエレメント58が割り当てられる。

【0046】

各触覚センサエレメント58の出力信号は、増幅器90で電流増幅された後、A/D変換器88によってデジタルデータに変換される。このA/D変換器88は、たとえば16bit、100Hzの時空間分解能でサンプリングを行う。A/D変換器88でサンプリングされたデータはプロセッサユニット86に与えられる。

【0047】

プロセッサユニット86は、ノードプロセッサであり、つまり、当該ノード80の制御および通信制御を行うマイクロコンピュータである。プロセッサユニット86は、ROMおよびRAMなどのメモリを内蔵している。内蔵メモリのROMにはノード80の動作を制御するためのプログラムおよびデータが予め記憶される。A/D変換器88で読み取ら

10

20

30

40

50

れた各触覚センサエレメント 58 のセンサ出力データ（時系列データ）は、内蔵メモリの R A M に記憶される。このプロセッサユニット 86 により、センサ出力の時系列データの処理を各ノード 80 において行うことができる。また、このプロセッサユニット 86 が上述のバス 82 に接続されており、バス 82 を介して他のノード 80 のプロセッサユニット 86 および C P U 60 との間で通信を行うことができるので、C P U 60 は各ノード 80 で検出された触覚データを取得することができる。

【 0 0 4 8 】

このロボット 10 では、触覚センサ 76 は、人と接触したとき以外にも、つまり、自分が動作したときや環境と接触したときにも反応する。これらの源の異なる触覚情報は、ロボット 10 の全身に配置した各触覚センサエレメント 58 の反応の分布が異なる。例えば、人が手でロボット 10 を軽く触れたときは、触れた部分のみが反応し、一方、ロボット 10 が腕を動かしたときには、腕全体の触覚センサエレメント 58 が反応する。このような特徴を利用することにより触覚データに含まれる情報源分離を行う。具体的には、全身に複数配置された触覚センサエレメント 58 で検出されたデータを独立成分分析（Independent Component Analysis）にかけ、当該触覚データに含まれる独立成分を抽出することで情報源分離を行う。

【 0 0 4 9 】

図 5 は、ロボット 10 の C P U 60 によって実行される触覚データの独立成分を抽出するための処理の一例を示す。独立成分分析のためのデータを取得して独立成分分析を行う。

【 0 0 5 0 】

具体的には、ステップ S 1 で、人とロボット 10 とのインタラクションを実施する。この人とロボット 10 の対話において、ロボット 10 は、所定の身振りおよび音声発話の少なくとも一方を用いて所定の行動を提示する。そして、各種センサを用いて人の行動や反応を認識し、当該認識結果に応じて所定の行動を実行する。このステップ S 1 のデータ取得のためのインタラクションが繰り返し実行されて、ロボット 10 の実行可能な様々な身体動作を伴った様々な行動が実行されるのが望ましく、さらに人の触行動を伴うような触覚コミュニケーションが行われるのが望ましい。

【 0 0 5 1 】

なお、ロボット 10 の実行する個々の行動は、メモリ 64 に予め記憶されたプログラムおよびデータに従って実行される。また、行動の選択もプログラムに従って行われる。あるいは、行動の選択は、全部または部分的にロボット 10 の遠隔制御システムのオペレータによって実行されてもよく、その場合、ロボット本体 10 の C P U 60 は、通信 L A N ボード 72 および無線通信装置 74 等を介して遠隔制御用コンピュータ（図示しない）と通信し、たとえば、各種センサのデータを送信したり、遠隔制御コマンドを受信したりする。

【 0 0 5 2 】

このインタラクションの間の触覚データを計測するとともにロボット 10 の動作情報を取得する。すなわち、ステップ S 3 で、触覚センサ 76 で検出された触覚データを取得する。具体的には、C P U 60 は、触覚センサ 76 の各ノード 80 に定期的に触覚データを要求し、各ノード 80 から触覚データを受信する。上述のように、各ノード 80 では、所定の周期で各触覚センサエレメント 58 の出力データが検出されており、各ノード 80 は、C P U 60 の要求に応じて、各触覚センサエレメント 58 の出力の時系列データを C P U 60 に送信する。これによって、この実施例では、インタラクションを実行しているときに検出されたすべての触覚センサエレメント 58 の出力の時系列データ（触覚データ）がメモリ 64 の所定領域に取得される。触覚データは、時刻、触覚センサエレメント 58 の識別情報および触覚情報を含む。人がロボット 10 に対して触行動をしている場合には、人の触行動に起因する触覚成分を含む触覚データが取得され、また、ロボット 10 が頭部 46 や左右の腕など身体部位を動かしている場合には、ロボット 10 自身の動作に起因する触覚成分を含む触覚データが取得される。

【 0 0 5 3 】

続くステップ S 5 で、触覚データを検出したときのロボット 1 0 自身の動作情報として、角度センサ 7 8 で検出された関節角度データを取得する。具体的には、C P U 6 0 は、モータ制御ボード 6 6 に定期的に関節角度データを要求し、モータ制御ボード 6 6 から各角度センサ 7 8 で検出された各関節軸の角度データ（関節角度データ）を受信する。モータ制御ボード 6 6 は、各角度センサ 7 8 の出力データを所定周期で検出しており、C P U 6 0 の要求に応じて、各角度センサ 7 8 の出力の時系列データを C P U 6 0 に送信する。これによって、インタラクションを実行しているときに角度センサ 7 8 で検出された各関節軸の角度データがメモリ 6 4 の所定領域に取得される。関節角度データは、時刻、関節軸の識別情報および関節角度を含む。

10

【 0 0 5 4 】

そして、ステップ S 7 で、インタラクションが終了したか否かを判断する。たとえば、メモリ 6 4 に記憶されたプログラムに従ってロボット 1 0 と人とのインタラクションが終了したか否かが判断され、あるいは、オペレータの遠隔制御によって終了が選択されたか否かが判断される。ステップ S 7 で“ N O ”の場合、処理はステップ S 1 に戻る。したがって、インタラクションが終了するまで、触覚データと関節角度データの取得とメモリ 6 4 への記録が続けられる。

【 0 0 5 5 】

一方、ステップ S 7 で“ Y E S ”の場合、つまり、データ取得を終了した場合には、続くステップ S 9 で、取得した触覚データの独立成分分析によって独立成分を抽出する。この独立成分分析によって、復元行列が算出される。

20

【 0 0 5 6 】

ここで、復元行列は、各独立成分を表す係数行列である。独立成分は、各触覚センサ出力の線形結合で表され、そのときの係数をまとめたものを復元行列と呼ぶ。たとえば、独立成分を a_m 、各触覚センサ出力を s_i 、係数を k_{mi} とすると、独立成分 a_m は次の数 1 で表される。

【 0 0 5 7 】

【数 1】

$$a_m = \sum_{i=1}^n k_{mi} \cdot s_i$$

30

【 0 0 5 8 】

ここで、 n は触覚センサエレメント 5 8 の数である。 m は独立成分の番号を示す。各独立成分の番号は、寄与率に従って決められる。

【 0 0 5 9 】

このとき、独立成分 a_m に対応する復元行列 A_m は、次の数 2 で表される。

【 0 0 6 0 】

【数 2】

$$A_m = (k_{m1} \quad k_{m2} \quad k_{m3} \quad \dots \quad k_{mn})$$

40

【 0 0 6 1 】

算出された復元行列は、特異なものであり、ロボット 1 0 の個性を表す。復元行列はメモリ 6 4 に記憶される。後述するように、人とのインタラクションの際には、この復元行列を用いて、検出された触覚データから各独立成分を算出することができる。

【 0 0 6 2 】

さらに、ステップ S 1 1 で、抽出された複数の独立成分のうち動作に起因する成分を判別する。具体的には、各独立成分と自己の動作情報（この実施例では関節角度データ）との相関をとることによって、複数の独立成分のうちの動作に起因する成分を判別する。つ

50

まり、独立成分の波形（時間変化）と関節角度の波形（時間変化）との相関がとられ、相関度の高いすなわち所定値以上の成分が、動作に起因する成分であると判断される。そして、当該動作に起因する成分を示す情報がメモリ 64 に記憶される。たとえば、各独立成分に割り当てられている番号 m のうち動作に起因する成分の番号が特定されて記憶される。後述するように、人とのインタラクションの際には、この動作起因成分を示す情報に基づいて、復元行列を用いて算出された各独立成分のうち動作に起因する成分を特定することができる。ステップ S 11 を終了すると、この図 5 の処理を終了する。

【0063】

なお、この実施例では、図 5 の処理は、ロボット 10 の CPU 60 によって実行されたが、他の実施例では、ステップ S 9 および S 11 の独立成分分析の処理は、ロボット 10 の外部に設けた処理用コンピュータで実行するようにしてもよい。その場合、ロボット本体 10 の CPU 60 は、メモリ 64 に記録した触覚データと関節角度データとを、通信 LAN ボード 72 および無線通信装置 74 等を介して処理用コンピュータ（図示しない）に所定のタイミングで送信する。処理用コンピュータは、触覚データと関節角度データとを受信して HDD 等に記憶し、分析を行う。分析の結果として得られた復元行列と動作に起因する成分を示す情報とは、処理用コンピュータからロボット本体 10 に送信されてメモリ 64 に記憶される。

【0064】

検出された触覚データおよび抽出された独立成分の一例が図 6 および図 7 にそれぞれ示される。図 6 は、ロボット 10 の前腕 28 L に配置された触覚センサエレメント 58 の出力を示す。この例では、ロボット 10 の前腕 28 L には 12 個の触覚センサエレメント 58 が配置されており、したがって、図 6 では、触覚センサエレメント 58 の番号 i が 1 から 12 までの触覚データの波形が示されている。このデータ取得の際には、ロボット 10 が前腕 28 L の関節すなわち肘関節 34 L を繰り返し曲げ伸ばしさせており、そのときに人が軽く当該腕に触れるという状況であった。たとえば、図 6 に示す触覚データにおいて、 $Time = 6000 [1 / 100 sec]$ 付近や $Time = 10000 [1 / 100 sec]$ 付近に見られる繰り返し波形は、自己動作に起因するものである。また、センサ番号 $i = 1, 5 \sim 8$ の触覚データにおいて、 $Time = 3000 [1 / 100 sec]$ 付近や $Time = 11000 [1 / 100 sec]$ 付近に見られる波形は、外界からの接触に起因するもの、つまり、この場合、人が触ったことに起因するものである。

【0065】

また、図 7 は、図 6 に示す波形の独立成分分析によって求めた独立成分を示す。12 個の独立成分が抽出されているので、独立成分の番号 m が 1 から 12 までの独立成分が示されている。寄与率の小さい成分ほど、変数 m に小さい番号が割り当てられている。図 6 および図 7 の時間軸は対応している。

【0066】

図 7 に示す独立成分と自己の動作情報（図示しない）との相関をとることにより、動作に起因する成分が判別される。ここでは、下から 1 つ目および 2 つ目の成分、つまり、番号 $m = 11$ および 12 の成分が動作に起因する成分であった。これら $m = 11$ および 12 の成分では、 $Time = 6000 [1 / 100 sec]$ 付近や $Time = 10000 [1 / 100 sec]$ 付近に繰り返し波形が明確に現れており、ロボット 10 が肘関節 34 L を繰り返し曲げ伸ばしさせたことに起因する反応であることがよく分かる。

【0067】

このように、各独立成分と自己動作情報との相関をとることにより、動作起因成分を特定することができる。したがって、ロボット 10 に復元行列と動作起因成分を示す情報とを記憶しておけば、検出された触覚データから独立成分を算出し、当該独立成分から動作起因成分を取り除くことが可能になる。これにより、外界からの接触に起因する成分だけを含む触覚情報を得て、コミュニケーション行動を制御することが可能になる。

【0068】

ロボット 10 の CPU 60 によって実行される行動制御処理の一例を図 8 に示す。ステ

10

20

30

40

50

ステップS 2 1で、人とロボット1 0のインタラクションを実施する。この処理は、図5のステップS 1の処理と同様であり、これによって、ロボット1 0は身体動作および音声発話の少なくとも一方を用いて所定の行動を実行する。

【0069】

ステップS 2 3では、触覚データを取得する。上述のように、触覚センサ7 6の各ノード8 0では、各触覚センサエレメント5 8の触覚データが所定周期で検出されている。CPU 6 0は、触覚センサ7 6の各ノード8 0に定期的に触覚データを要求して各ノード8 0から触覚データを受信し、メモリ6 4に記憶する。これにより、ステップS 2 1でインタラクションを開始してから触覚データを計測し記録する。なお、触覚データの計測時間は、ステップS 2 1で実行される行動に従って決められる。

10

【0070】

触覚データの取得を終了すると、ステップS 2 5で、復元行列を用いて各独立成分を算出する。上述の数1に示すように、独立成分は、各触覚センサ出力の線形結合で表され、そのときの係数が復元行列である。したがって、数1に従って、メモリ6 4に記憶されている復元行列と取得された触覚データとに基づいて各独立成分を算出する。

【0071】

ステップS 2 7では、動作に起因する成分を除去する。具体的には、メモリ6 4に記憶されている動作に起因する成分を示す情報に基づいて、算出された複数の独立成分のうち、動作に起因する成分の番号mに対応する成分を取り除く。

【0072】

20

続くステップS 2 9で、触覚コミュニケーション動作を実施する。たとえば、ロボット1 0が触られたかどうかの情報のみを必要とする場合には、動作に起因する成分を除去した独立成分に基づいて、人の触行動を判別し、当該人の触行動に応じた行動を実行する。また、ロボット1 0がどこをどのように触られたかといった情報が必要な場合には、動作に起因する成分を除去した独立成分を、逆変換（復元行列の逆行列によって変換）することにより、動作に起因する成分を除いたクリアな触覚情報を算出することができ、当該クリアな触覚情報に基づいて人の触行動を判別し、当該人の触行動に応じた行動を実行することができる。

【0073】

そして、ステップS 3 1でインタラクションが終了であるか否かを判断する。たとえば、人間とのインタラクションを終了するか否かを、メモリ6 4に記憶されたプログラムまたはオペレータの遠隔制御コマンドに従って判断する。ステップS 3 1で“NO”の場合、処理はステップS 2 1に戻り、人とのインタラクションを継続する。一方、ステップS 3 1で“YES”の場合、この図8の処理を終了する。

30

【0074】

このように、触覚データの独立成分分析によって算出された復元行列、および複数の独立成分と関節角度データとの相関をとることによって判別された動作に起因する成分を示す情報を記憶しておけば、触覚情報源を分離して動作起因成分を除去することができる。したがって、当該自己動作起因成分を除去したクリアな触覚情報を得ることができるとともに、当該クリアな触覚情報に基づいて行動を制御することができる。

40

【0075】

なお、上述の実施例では、動作に起因する成分を判別するために、自分の動作情報として角度センサ7 8で検出される関節角度データを取得するようにしていた。しかし、他の実施例では、ロボット1 0に所定の身体動作を実行させるためのコマンドデータを取得するようにしてもよい。

【0076】

この実施例のコマンドデータは、各関節軸の角度制御のためのデータであり、ロボット1 0の実行する身体動作ごとのコマンドデータが予めメモリ6 4に記憶されている。コマンドデータは、各関節軸の開始角度、終了角度および動作時間に関する情報を含んでいる。身体動作を実行する際には、CPU 6 0は当該身体動作に応じたコマンドデータをモ-

50

タ制御ボード 66 に与え、モータ制御ボード 66 は、動作時間が経過する間に各関節軸が開始角度から終了角度になるように各モータを制御する。より詳しくは、所定の身体動作の実行にかかる全体の時間が複数の区間に分割され、当該分割された区間のそれぞれが動作時間として設定されている。つまり、コマンドデータでは、所定の身体動作の全体を実行するために、複数の動作時間のそれぞれにおける各関節軸の開始角度および終了角度が指示される。

【0077】

したがって、この実施例では、図 5 のステップ S5 で、実行する身体動作のコマンドデータを読み出して、当該コマンドデータから各関節軸の角度の時系列データを生成して、これを自己の動作情報として取得する。なお、時系列データを生成する際には、さらに各動作時間内の角度を補間するようにしてよい。図 5 のステップ S11 では、生成した各関節軸の角度制御の時系列データと各独立成分との相関をとることによって、自己の動作に起因する成分を判別することができる。ただし、角度センサ 78 で検出される関節角度データは、ロボット 10 の実際の動作を示しているので、上述の図 5 の実施例のように当該検出された関節角度データを用いた方がより正確な自己動作情報を得ることができ、より適切な相関を計算することが可能である。

【0078】

また、上述の各実施例では、触覚センサ 76 の備えるすべての触覚センサエレメント 58 で検出された触覚データに対して、独立成分分析を行うようにしていた。しかしながら、他の実施例では、動作した部位ごとに独立成分分析を行うようにしてもよい。

【0079】

具体的には、図 5 の独立成分のための処理におけるステップ S9 では、動作した部位ごとに、当該部位に配置された触覚センサエレメント 58 の触覚データの独立成分分析を行って、部位ごとに復元行列を算出し、ステップ S11 では、部位ごとの独立成分のうち動作起因成分を判別する。また、図 8 の行動制御処理におけるステップ S25 では、部位ごとの復元行列と動作した部位の触覚データとに基づいて、部位ごとの独立成分を算出し、ステップ S27 では、部位ごとに、独立成分から動作起因成分を除去する。この実施例のロボット 10 では、首関節 44 の 3 軸のいずれかが動作している場合、頭部 46 の触覚データに対して各処理を実行し、肘関節 34L または 34R が動作している場合、前腕 28L または 28R と手 38L または 38R の触覚データに対して各処理を実行し、肩関節 32L または 32R が動作している場合、上腕 30L または 30R と前腕 28L または 28R と手 38L または 38R の触覚データに対して各処理を実行する。

【0080】

このようにすれば、触覚センサデータの次元を減らし、計算量を抑えることができる。なお、各関節軸が動作しているかどうかは、角度センサ 78 で検出された関節角度データまたは当該身体動作を実行するためのコマンドデータによって判別することができる。また、ロボット 10 の各関節も触覚センサ 76 を有する皮膚 24 で覆われ、かつ、当該皮膚 24 が隣接する部位の皮膚 24 と繋がって形成される場合には、動作した部位には、隣接する部位を含めるようにする。

【0081】

また、他の実施例では、図 8 の行動制御処理で実行されたインタラクションにおいて取得された触覚データとロボット 10 の動作情報とを、ロボット 10 の内部または外部に設けた記憶装置に蓄積するようにしてもよく、その場合には、学習が可能であり、図 5 の処理によって復元行列と動作に起因する成分を示す情報とを更新することができる。

【図面の簡単な説明】

【0082】

【図 1】この発明の一実施例のコミュニケーションロボットを示す図解図である。

【図 2】図 1 実施例のコミュニケーションロボットに用いる皮膚とその中に埋め込まれる触覚センサエレメントを示す図解図である。

【図 3】図 1 実施例のコミュニケーションロボットの電氣的構成の一例を示すブロック図

10

20

30

40

50

である。

【図４】触覚センサの電氣的構成の一例を示すブロック図である。

【図５】触覚データを取得して独立成分を抽出するための処理の動作の一例を示すフロー図である。

【図６】触覚データの一部を示す図解図である。

【図７】図６の触覚データの独立成分分析により抽出された独立成分を示す図解図である。

【図８】復元行列を利用した行動制御処理の動作の一例を示すフロー図である。

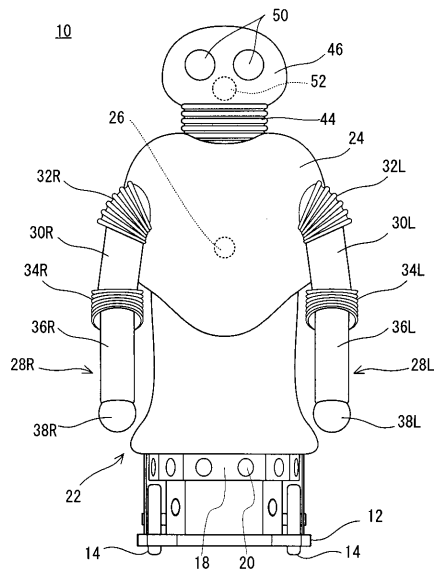
【符号の説明】

【 ０ ０ ８ ３ 】

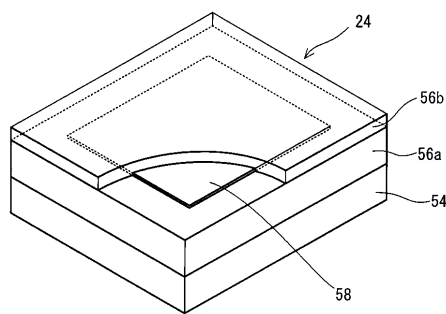
- １０ … コミュニケーションロボット
- ５８ … 触覚センサエレメント
- ６０ … Ｃ Ｐ Ｕ
- ６４ … メモリ
- ６８ … センサ入力／出力ボード
- ７６ … 触覚センサ
- ７８ … 角度センサ
- ８０ … ノード
- ８６ … プロセッサユニット

10

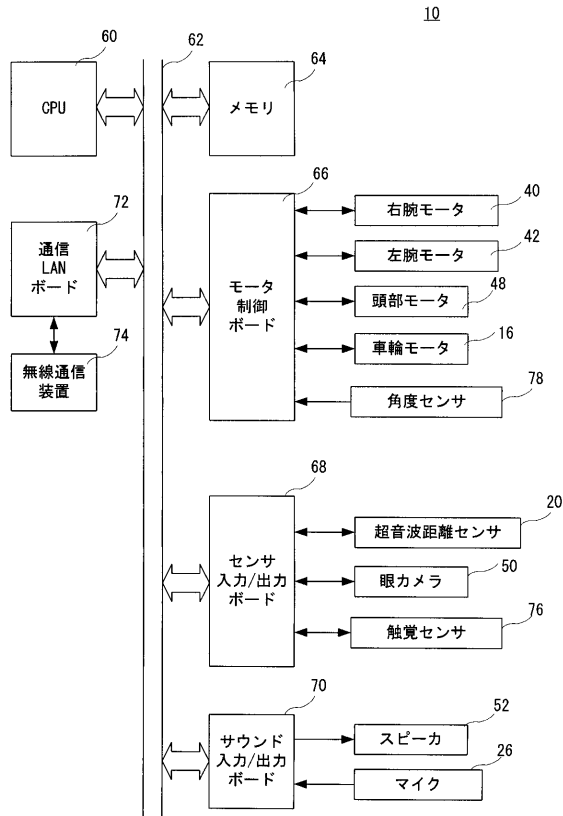
【図１】



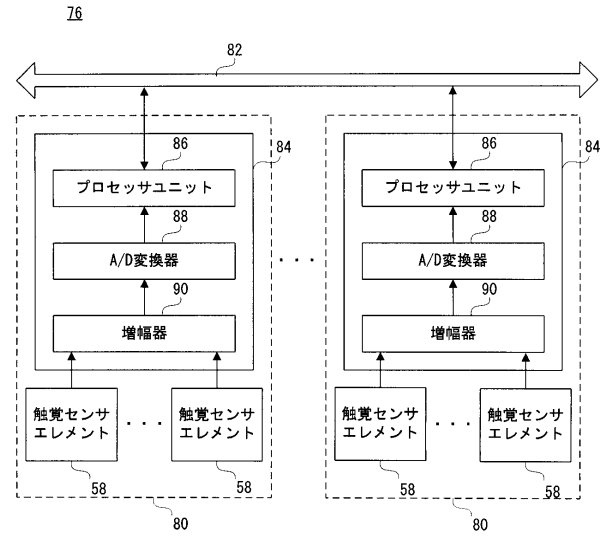
【図２】



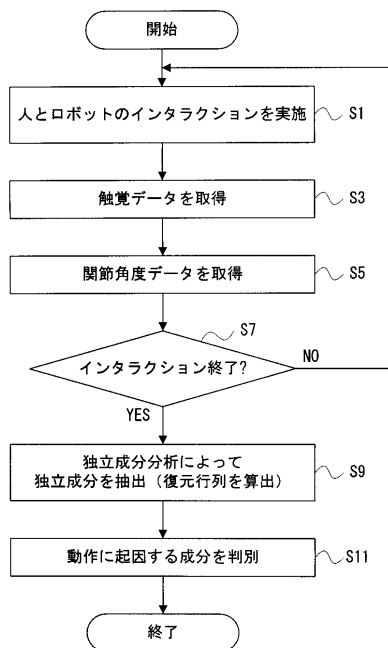
【図 3】



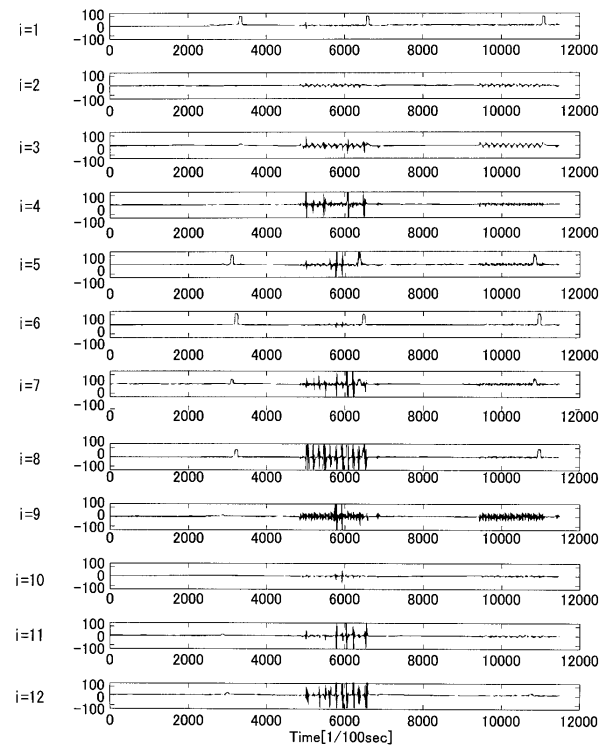
【図 4】



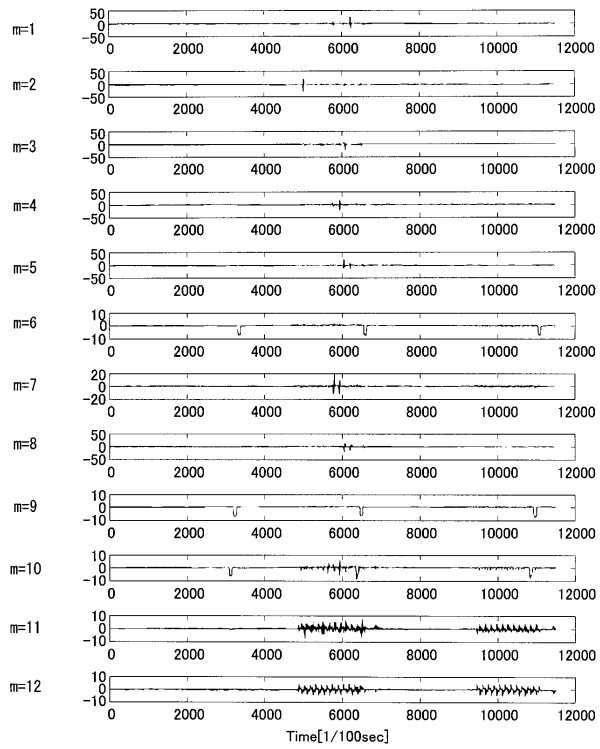
【図 5】



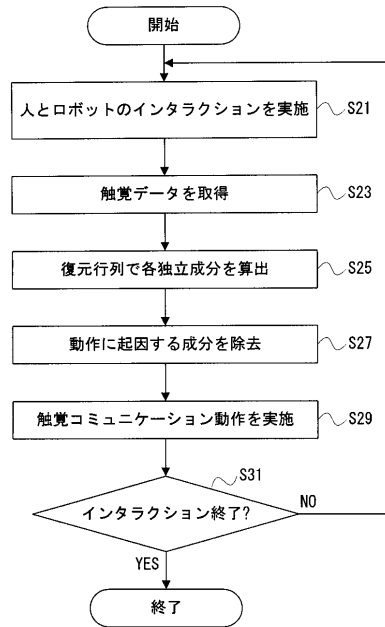
【図 6】



【図 7】



【図 8】



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2004-283975(JP,A)
特開平10-006180(JP,A)
特開2005-103056(JP,A)
特開2004-230480(JP,A)
特開2003-344196(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01L 5/00
G01L 1/00
B25J 19/02
A61B 5/04