

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4753410号
(P4753410)

(45) 発行日 平成23年8月24日(2011.8.24)

(24) 登録日 平成23年6月3日(2011.6.3)

(51) Int. Cl. F I
B 2 5 J 13/08 (2006.01) B 2 5 J 13/08 Z
B 2 5 J 5/00 (2006.01) B 2 5 J 5/00 A

請求項の数 5 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-317986 (P2004-317986)</p> <p>(22) 出願日 平成16年11月1日(2004.11.1)</p> <p>(65) 公開番号 特開2006-123140 (P2006-123140A)</p> <p>(43) 公開日 平成18年5月18日(2006.5.18)</p> <p>審査請求日 平成19年10月1日(2007.10.1)</p> <p>特許法第30条第1項適用 平成16年10月25日 社団法人情報処理学会関西支部主催の「平成16年度 情報処理学会関西支部 支部大会」において文書をもつて発表</p> <p>(出願人による申告)平成16年度独立行政法人情報通信研究機構、研究テーマ「超高速知能ネットワーク社会に向けた新しいインタラクション・メディアの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 393031586 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2</p> <p>(74) 代理人 100090181 弁理士 山田 義人</p> <p>(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</p> <p>(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</p> <p>(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</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 コミュニケーションロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の触覚センサ、

相手の触行動に伴う各時刻の前記触覚センサの出力ベクトルをクラスタリングしてクラスタ核を抽出するクラスタ核抽出手段、

前記クラスタ核をそれぞれの触り方に対応付けて、クラスタ核の遷移データを作成する遷移データ作成手段、および

前記クラスタ核の遷移データどうしの距離に応じた階層的クラスタリングを行なう階層的クラスタリング手段を備える、コミュニケーションロボット。

【請求項2】

前記出力ベクトルの時系列データに基づいて継続的に反応している部分の出力ベクトルを抽出する出力ベクトル抽出手段をさらに備え、

前記遷移データ作成手段は前記出力ベクトル抽出手段で抽出した出力ベクトルのクラスタ核について前記遷移データを作成する、請求項1記載のコミュニケーションロボット。

【請求項3】

前記階層的クラスタリング手段は、直交する2軸の一方が距離を表しかつ他方がクラスタ番号を表す樹状図を作成する樹状図作成手段を含む、請求項1または2記載のコミュニケーションロボット。

【請求項4】

ロボット本体上に被せられる柔軟素材からなる皮膚をさらに備え、

前記複数の触覚センサは前記皮膚中に分散配置される複数のピエゾセンサシートを含む、請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載のコミュニケーションロボット。

【請求項 5】

複数の触覚センサを有するコミュニケーションロボットに対する人間の触り方を判別するための方法であって、

(a) 相手の触行動に伴う前記触覚センサの出力ベクトルをクラスタリングしてクラスタ核を抽出するクラスタ核抽出ステップ、

(b) 前記クラスタ核をそれぞれの触り方に対応付けて、クラスタ核の遷移データを作成する遷移データ作成ステップ、および

(c) 前記クラスタ核の遷移データどうしの距離に応じた階層的クラスタリングを行なって樹状図を作成する階層的クラスタリングステップを含む、コミュニケーションロボットの触り方判別方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明はコミュニケーションロボットに関し、特にたとえば、全身に分布する触覚センサまたは皮膚センサを用いてコミュニケーションの相手の触行動を認識するコミュニケーションロボットに関する。

【背景技術】

【0002】

日常環境の中で活動するロボットにとって表面の柔らかさと敏感さは、コミュニケーションの相手となる人間への安全性という面において重要である。さらに、スキンシップという言葉の通り、体の表面は最初に触れるインタフェースであることから、コミュニケーションの相手がどのようにどの場所に触れているかを知ることが、相手の状態を知ることにつながる。たとえば強く握ったり、やさしくなでたりするという触行動は自分の意思や気持ちを手伝うための行動であり、根本的なコミュニケーション行動の 1 つである。したがって、ロボットの全身の柔らかさと触覚は、日常環境の中で活動するコミュニケーションロボットにとって非常に重要である。

20

【0003】

従来、部分的な触覚を持ったロボットは数多く存在するが、全身の触覚イメージを獲得できるロボットは少ない。たとえば、非特許文献 1 では、導電性ファブリックを用いたロボット用の全身触覚スーツが提案される。しかし、この非特許文献 1 のロボット用センサスーツは、柔らかさを持った皮膚ではなく服であること、センサ出力は触られたか触られていないかの 2 値であることなどから、相手がどのように触れているのかを知ることが難しい。

30

【0004】

また、非特許文献 2 では、3.75 mm ピッチの分布型触覚センサを巻き付けて全身の圧覚を取得するぬいぐるみが提案される。この非特許文献 2 のぬいぐるみでは、代表的な触行動が全身の圧覚によって分類できることが明らかにされている。しかし、触行動の対象があくまで静止したぬいぐるみに過ぎず、能動的なロボットへの触行動の解析はなされていない。また、ロボットが動くと、ロボット自体の体表の圧力が変化するという新たな問題も生じる。

40

【0005】

そこで、本件出願人は、特許文献 1 において、柔らかい皮膚を持ち、触覚情報を出力するピエゾセンサ（触覚センサまたは皮膚センサ）を全身に配置したコミュニケーションロボットを提案している。

【非特許文献 1】稲葉雅幸，星野由紀子，井上博允，“導電性ファブリックを用いた全身被服型触覚センサスーツ”、日本ロボット学会誌，Vol. 16，No. 1，pp. 80 - 86，1998

【非特許文献 2】納谷太，篠沢一彦，大和淳司，小暮潔，“圧力分布センサによる人の触

50

行動の実時間識別とその個人適応手法”、電子情報通信学会論文誌 D - I I , V o l . J
8 5 - D - I I , N o . 4 , p p . 6 1 3 - 6 2 1 , 2 0 0 2

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

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1のコミュニケーションロボットでは、触覚センサの出力情報から圧力の強弱、持続時間、または変化の周波数などに着目することで、コミュニケーション相手である人間の触り方を区別することが分かっている。

【0007】

それゆえに、この発明の主たる目的は、触覚センサの出力情報から人間の触り方を抽出できる、コミュニケーションロボットを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

請求項1の発明は、複数の触覚センサ、相手の触行動に伴う各時刻の触覚センサの出力ベクトルをクラスタリングしてクラスタ核を抽出するクラスタ核抽出手段、クラスタ核をそれぞれの触り方に対応付けて、クラスタ核の遷移データを作成する遷移データ作成手段、およびクラスタ核の遷移データどうしの距離に応じた階層的クラスタリングを行なう階層的クラスタリング手段を備える、コミュニケーションロボットである。

【0009】

請求項1の発明では、コミュニケーションロボット(10。実施例で相当する部分または要素の参照符号。以下同じ。)には全身に分布して複数の皮膚センサまたは触覚センサ(58)が設けられる。各触覚センサからの圧力データがたとえばPIC(74)で取り出され、センサ入力/出力ボード(68)からバス(62)を通してCPU(60)に収集される。CPUが収集した触覚センサ出力データは、たとえばメモリ(64)に蓄積される。たとえば1フレームにおけるすべての触覚センサの出力データが出力ベクトルとして表される。クラスタ核抽出手段(60, S3)は、この出力ベクトルをたとえばISODATA法に従ってクラスタリングし、そのクラスタのクラスタ核を抽出する。

【0010】

コミュニケーション相手である人間がコミュニケーションロボットに触る触り方(触る、撫でる、叩く、押すなど)は、たとえば250~1500種類程度の典型的または代表的な触り方のどれかに分類できる。そこで、遷移データ作成手段(60, S7)は、各フレームの出力ベクトルを、上記の典型的な触覚センサ出力ベクトルを表すクラスタ核のどれに最も類似するか判断し、対応づける。つまり、クラスタ核抽出手段において抽出した各クラスタ核に予め番号またはラベルを付し、番号またはラベルが時間経過とともに変化する1次元データを遷移データとして作成する。

【0011】

階層的クラスタリング手段(60, S9, S11)では、まず、各クラスタ核の遷移データどうしの距離を、たとえばDPマッチング法によって求める。ついで、得られた距離情報に従って階層的クラスタリングを行なって、たとえば樹状図を作成する。したがって、この樹状図を参照することによって、コミュニケーション相手である人間の触り方を抽出または認識することができる。

【0012】

請求項2の発明は、出力ベクトルの時系列データに基づいて継続的に反応している部分の出力ベクトルを抽出する出力ベクトル抽出手段をさらに備え、遷移データ作成手段は出力ベクトル抽出手段で抽出した出力ベクトルのクラスタ核について遷移データを作成する、請求項1記載のコミュニケーションロボットである。

【0013】

請求項2の発明では、出力ベクトル抽出手段(60, S5)は、たとえば各触覚センサからの出力データを参照して、たとえば閾値以上の出力が一定時間以上出力されなくなる

10

20

30

40

50

と、継続的な反応がなくなると判断する。つまり、この出力ベクトル抽出手段は、一連のまとまりのある触り方を構成する出力ベクトルだけを抽出する。したがって、遷移データ作成手段は、出力ベクトル抽出手段で抽出された出力ベクトルのクラスタ核だけで遷移データを作成する。このように、継続的な反応を呈している部分についての出力ベクトルを抽出することによって、反応すなわち触り方を誤って分類するのを可及的抑制できる。

【0014】

請求項3の発明は、階層的クラスタリング手段は、直交する2軸の一方が距離を表しかつ他方がクラスタ番号を表す樹状図を作成する樹状図作成手段を含む、請求項1または2記載のコミュニケーションロボットである。

【0015】

請求項3の発明では、一例として、樹状図の上位のクラスタが、主に触る部位によって形成され、下位のクラスタはその部位における触り方によって形成される。したがって、この樹状図を参照すれば、どこをどのように触られているかを判別することができる。

【0016】

請求項4の発明は、ロボット本体上に被せられる柔軟素材からなる皮膚をさらに備え、複数の触覚センサは皮膚中に分散配置される複数のピエゾセンサシートを含む、請求項1ないし3のいずれかに記載のコミュニケーションロボットである。

【0017】

請求項4の発明では、たとえば全身分布型皮膚センサを有するコミュニケーションロボットを実現することができ、また、柔らかい皮膚を介して触行動が行われるので、人間に対して安心感を与えて親和性と安全性を向上できる。

【0018】

請求項5の発明は、複数の触覚センサを有するコミュニケーションロボットに対する人間の触り方を判別するための方法であって、(a)相手の触行動に伴う触覚センサの出力ベクトルをクラスタリングしてクラスタ核を抽出するクラスタ核抽出ステップ、(b)クラスタ核をそれぞれの触り方に対応付けて、クラスタ核の遷移データを作成する遷移データ作成ステップ、および(c)クラスタ核の遷移データどうしの距離に応じた階層的クラスタリングを行なって樹状図を作成する階層的クラスタリングステップを含む、コミュニケーションロボットの触り方判別方法である。

【発明の効果】

【0019】

この発明によれば、階層的クラスタリングの結果に従って、人間のコミュニケーションロボットの触り方、つまりどこをどのように触られているかを判別することができる。

【0020】

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。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

図1を参照して、こ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」ということがある。)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4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。

【0022】

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

10

20

30

40

50

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。

【0023】

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のものである。

10

【0024】

人体状部 22 は、右腕 28 R および左腕 28 L を含み、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 4 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。

20

【0025】

人体状部 18 の上部には首関節 44 を介して頭部 46 が、人間の頭と同様に俯仰・回転可能に取り付けられる。この 3 軸の首関節 44 は、図 4 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。

【0026】

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、 piezo センサシート（触覚センサ）58 が埋め込まれる。この piezo センサシート 58 は、たとえば米国 M S I 社製、株式会社東京センサ販売の piezo フィルムを用いる（<http://www.t-sensor.co.jp/PIEZ0/TOP/index.html>）。実施例のロボットに使用したのは A4 サイズ（型番：200 × 140 × 28）の piezo フィルムを 1/2、1/3、1/4、1/6 の大きさにはさみでカットした piezo センサシートである。この piezo フィルムは、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。圧力等で変形すると両面金属薄膜間に piezo 電気を発生し、すなわち、電荷があらわれて電位差が生じる。

30

40

【0027】

実施例では、上述のように、発泡ウレタンとシリコンゴムとを使って皮膚 24 の柔らかさを得た。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。そこで、発明者等は、実験を重ねた結果、大まかな形と厚みは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を採用することとした。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 piezo センサシート 58 を埋め込んだ。このとき、内側のシリコンゴム層 56 a を厚く（約 15 mm）し、表面側のシリコンゴム層 56 b を薄く（約 5 mm）した。このようにすると、ロボット 10 の振動や人

50

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。

【0028】

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、 piezofilm 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、皮膚24の厚み(各層の厚み)は、素材によって適宜変更され得る。

10

【0029】

上述の piezofilm シートすなわち触覚センサ(触覚センサ)58は人体状部22の全身にわたって埋め込まれ、それによって、人間等が接触することによって皮膚24に加えられた圧力を圧覚(触覚)情報として検知する。この実施例では、図3に示すように、ロボット10の全身にわたって48枚の piezofilm シート501-548を埋め込んだ。つまり、ロボット10は全身分布型触覚センサを有するといえる。埋め込み状況(場所)に関しては、人間に触られやすい部位、たとえば頭頂や肩それに腕(手を含む)には、圧力を正確かつ確実に検知できるように、隙間なく piezofilm シートを埋め込み、あまり触られることを想定していない部位たとえば足あるいは脇腹には許容できる隙間を持って piezofilm シートを埋め込んだ。それによって、検出精度と製造コストとのトレードオフを解決した。なお、これら48枚の piezofilm シート501-548は、場合によっては、触覚センサ58として区別なしに示されることがあることに留意されたい。

20

【0030】

図1に示すロボット10の電氣的構成が図4のブロック図に示される。図4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CPU60を含み、このCPU60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。

30

【0031】

メモリ64は、図示しないが、ROMやHDD、RAMを含む。ROMやHDD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等を含む。RAMは、一時記憶メモリとして用いられるとともに、ワーキングメモリとして利用される。

【0032】

モータ制御ボード66は、たとえばDSP(Digital Signal Processor)で構成され、各腕や頭部などの各軸モータを制御する。すなわち、モータ制御ボード66は、CPU60からの制御データを受け、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4ではまとめて、「右腕モータ」として示す。)40の回転角度を調節する。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4ではまとめて、「左腕モータ」として示す。)42の回転角度を調節する。モータ制御ボード66は、また、頭部46の3軸のモータ(図4ではまとめて、「頭部モータ」として示す。)48の回転角度を調節する。そして、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4ではまとめて、「車輪モータ」として示す。)16を制御する。

40

【0033】

50

なお、この実施例の上述のモータは、車輪モータ16を除いて、制御を簡単化するためにそれぞれステッピングモータまたはパルスモータであるが、車輪モータ16と同様に、直流モータであってよい。

【0034】

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CPU60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、CPU60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、CPU60に入力される。

【0035】

このセンサ入力/出力ボード68は、さらに、図5に示すように、複数(実施例では12枚)の基板72, 72...を含み、各基板72には、それぞれ1つのPICマイコン74が設けられる。PICマイコン74はたとえばASICで構成され、同じく基板72に設けられたA/D変換器76からの電圧データ(たとえば10ビット)をビット直列信号として出力する。

【0036】

触覚センサ58は、図5に示すようにピエゾフィルム78を電極ないし導体80aおよび80bで挟んだものであり、圧力が加えられるとそのピエゾフィルム78が電圧を発生し、その電圧が2つの導体80aおよび80b間に現れる。ただし、このとき発生される電圧は電位は高いが電流が微弱なため、この発生電圧をそのまま長いケーブルでコンピュータ60(図4)に取り込むことは、ノイズが多く乗ってしまうので難しい。そこで、この実施例では、図5に示す基板72を触覚センサ58に近い位置に配置し、その中に高インピーダンスの読み取り装置、すなわちA/D変換器76を配置し、このA/D変換器76で変換した電圧値をPICマイコン74で読み取ってシリアル信号として出力し、それをCPU60へ送るようにした。なお、ピエゾフィルムシートの電極の配置の一例として、導体80aは皮膚24の表面側に配置され、導体80bは筐体側に配置される。

【0037】

A/D変換器76は、実施例では4チャンネル10ビットのものをを用いた。したがって、1つの基板72が4つの触覚センサ58を受け持つことができる。基板72には、4つのピエゾセンサシートのために4対の端子82aおよび82bが設けられ、それぞれに電極80aおよび80bが接続される。端子82aおよび82b間にはノイズ除去用コンデンサ84が接続されている。したがって、端子82aおよび82b間に与えられた触覚センサ58からの電圧は、ノイズ除去された後、オペアンプ86によって電流増幅され、上述のA/D変換器76の1つのチャンネルに入力される。図5では1つの触覚センサ58が示されるだけであるが、他の触覚センサ58およびそれに関連する回路も同様に構成されるものである。

【0038】

上述のように人体状部22の皮膚24中には48個のピエゾセンサシート501-548が全身にわたって埋め込まれているが、それらをすべてロボット制御用のCPUないしコンピュータ60で読み取るうとすると、ノイズを拾い易いだけでなく、コンピュータのA/Dポートを非常に多く必要としてしまい、現実的ではない。そこで、上述のように読み取り装置(基板72、A/D変換器76)を触覚センサ58の近傍に分散配置し、それぞれの出力を1本のシリアルケーブル、たとえばRS232C(商品名)で繋いだ、いわゆるデジチェーンを形成した。したがって、図5に示す1つの基板72のPICマイコン74から出力されたビットシリアル信号は、次段の基板72のPICマイコン74のシリアル入力ポートに与えられる。当該次段のPICマイコン74は、前段のPICマイコン74から送られてきたデータに自分が担当するA/D変換器76から読み込んだデータを加えて、ビット直列信号として出力する。したがって、コンピュータ60は、1つのシリアルポートで全身の触覚センサ58からの検知情報を取り込めるようになっている。

【0039】

10

20

30

40

50

なお、各 P I C マイコン 7 4 から出力される検知データは、図 3 に示す 4 8 個の piezo センサシート 5 0 1 - 5 4 8 のいずれであるかを示す識別子と、圧力値に関する情報とを含むので、コンピュータ 6 0 は、どの(部位の) piezo センサシートがどの程度の圧力を受けているかを容易に特定できる。

【 0 0 4 0 】

ただし、この実施例では、左右の手先に設けられるそれぞれ 5 つの piezo センサシート 5 3 5 - 5 3 9 と 5 4 4 - 5 4 8 については、A / D 変換器 7 6 の入力 4 つであることから、便宜上、先端の 1 個(右手: 5 3 9、左手: 5 4 8)と外側の 1 個(右手: 5 3 6、左手: 5 4 5)の出力を並列にしている。したがって、この実施例では、左右の手先の触覚センサ 5 8 は実質的にそれぞれ 4 個となるので、触覚センサ 5 8 の出力データは 4 6 次元データとなる。

10

【 0 0 4 1 】

出力を読み取る場合、具体的には、コンピュータ 6 0 は、たとえば 5 0 m s e c の周期で、ビットシリアルデータを出力する最終段の P I C マイコン 7 4 にポーリングをかけ、5 0 m s e c 周期ですべての piezo センサシート 5 0 1 - 5 4 8 の検知データを読み取ることができる。検知データは、A / D 変換器 7 6 (図 5)からはたとえば正負 3 2 段階、合計 6 4 段階で出力される。つまり、1 0 ビットのうち下位 4 ビットはノイズ成分として捨て、上位 6 ビットのデータだけが各 P I C マイコン 7 4 (図 5)から出力される。

【 0 0 4 2 】

そして、コンピュータ 6 0 は、触覚センサ 5 8 で検知した 6 4 段階のデータを用いて、たとえば触られ方の強弱、押された状態の持続時間または電圧変化の波形の周波数(圧力変化の周波数)などの接触状態を計測することができる。触られ方の強弱によってたとえば「ひどく叩かれたか」、「軽く叩かれたか」、「やさしく手を置かれたか」、「軽く触られたか」などを判断することができ、持続時間によってたとえば「叩かれたか」、「押されたか」などの継続状態を判断することができ、圧力変化の周波数によってたとえば「叩かれているのか」、「なでられているのか」、「くすぐられているのか」という触られ方の種類を判断することができる。そして、ロボット 1 0 は、触り方(接触状態)に応じて動作を制御することができる。このような動作制御は、特許文献 1 (特開 2 0 0 4 - 2 8 3 9 7 5 号)にも詳細に開示されるので参照されたい。

20

【 0 0 4 3 】

図 4 に戻って、スピーカ 5 2 にはサウンド入力 / 出力ボード 7 0 を介して、C P U 6 0 から、合成音声データが与えられ、それに応じて、スピーカ 5 2 からはそのデータに従った音声または声出力される。また、マイク 2 6 からの音声入力が、サウンド入力 / 出力ボード 7 0 を介して、C P U 6 0 に取り込まれる。

30

【 0 0 4 4 】

また、C P U 6 0 には、バス 6 2 を介して通信 L A N ボード 8 8 および無線通信装置 9 0 が接続される。通信 L A N ボード 8 8 は、D S P で構成され、C P U 6 0 から送られる送信データを無線通信装置 9 0 に与え、無線通信装置 9 0 から送信データを、図示は省略するが、たとえば無線 L A N 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 L A N ボード 8 8 は、無線通信装置 9 0 を介してデータを受信し、受信したデータを C P U 6 0 に与える。つまり、この通信 L A N ボード 8 8 および無線通信装置 9 0 によって、ロボット 1 0 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。

40

【 0 0 4 5 】

図 6 を参照して、この図 6 には、図 1 および図 4 に示すこの実施例の動作のフロー図が示される。まず、最初のステップ S 1 では、コンピュータまたは C P U 6 0 は、実験によりコミュニケーション時のデータを、上述の P I C 7 4 (図 5)から取得して蓄積する。取得されるデータは、人間の触行動によって反応した触覚センサ 5 8 の出力データであり、たとえば 2 0 H z (1 秒間に 2 0 フレーム)で計測する。このように取得した、触覚センサ 5 8 の出力データはメモリ 6 4 内に格納される。

50

【 0 0 4 6 】

触覚センサデータは、上述のように48個の触覚センサ501 - 548からの出力を含む46次元データであり、各要素が0 ~ 32 (- 31 ~ 32の絶対値)の値を有する。

【 0 0 4 7 】

次のステップS3では、ステップS1で取得した触覚センサからの1フレームのデータ(46次元出力ベクトル)を、図7に示すように、ISODATA法によってクラスタリングする。つまり、46次元の触覚センサデータ空間において、パターンの分布が密になっている部分(クラスタ)を見つける。そして、そのクラスタのクラスタ核、実施例ではクラスタの重心を抽出する。したがって、CPU60およびそれによって実行されるこのステップS3がクラスタ核抽出手段として機能する。

10

【 0 0 4 8 】

なお、ISODATA法はクラスタリングの一手法であり、前段において生成したクラスタを一定基準に従って分割したり併合したりして最終的なクラスタを導く(参考文献:鳥脇純一郎、テレビジョン学会教科書シリーズ9「認識工学 パターン認識とその応用」、コロナ社、1993)。

【 0 0 4 9 】

続いて、ステップS5で、触覚センサ出力が閾値以上のフレームを選別する。閾値は48個の触覚センサ501 - 548ごとに実験的に求められて予め設定されている。48個の触覚センサ501 - 548のうちどれか1つでもその閾値を超えているものがあるかどうかを判断し、閾値を超えているものがある場合には、反応が継続していると判断する。そして、一定時間たとえば10秒以上の時間、閾値以上の出力の触覚センサが検出されなければ、そこで継続的な反応が終了したと判断する。したがって、このステップS5では、継続的に反応している部分の1まとまりの出力ベクトルを触り方のデータとして選択または抽出する。したがって、以後のステップでは、1まとまりの反応毎に、触り方を抽出することになる。このように、CPU60およびこのステップS5が出力ベクトル抽出手段として機能する。

20

【 0 0 5 0 】

続くステップS7では、それぞれの触り方における時系列データを1フレームずつクラスタ核に対応付けることによって、クラスタ核の遷移データを作成する。

【 0 0 5 1 】

ステップS1で蓄積した触覚センサの1フレーム毎の出力データ、すなわちステップS3で得たクラスタは、人間とのコミュニケーション時の代表的な触られ方を表している。つまり、コミュニケーション時にコミュニケーションロボット10に人間が触る触り方(触る、撫でる、叩く、押すなど)は、発明者等の実験によれば、たとえば250 ~ 1500種類程度の典型的な触り方のどれかに分類できる。そこで、このステップS7では、たとえば、最近傍法または最近近傍法(nearest neighbor method)を用いて、各フレームの出力ベクトルがその典型的な触り方のどれに該当するか判別し、その判別した触り方を、その出力ベクトルのクラスタ核に対応付ける。つまり、各クラスタ核に、それに対応する触り方の種類または番号(図7)を付し、図8に示すように、その種類または番号が時間経過とともに変化する1次元データであるクラスタ核遷移データを作成する。

30

40

【 0 0 5 2 】

CPU60とこのCPU60で実行するステップS7とが、クラスタ核遷移データ作成手段として機能する。

【 0 0 5 3 】

次のステップS9では、ステップS7で求めたクラスタ核の遷移データどうしの距離をたとえばDP(Dynamic Programming)マッチング法(動的計画法)によって、たとえば図9に示すように、計算する。

【 0 0 5 4 】

なお、DPマッチングでは、ISODATAのクラスタ核 p 、 q 間の距離 $dist(p, q)$ は数1のように定義する。

50

【 0 0 5 5 】

【 数 1 】

$$\text{dist}(p, q) = || e(p) - e(q) ||$$

【 0 0 5 6 】

ここで、 $e(r)$ は r 番目の I S O D A T A のクラスタ核である。

【 0 0 5 7 】

そして、ステップ S 1 1 で、CPU 6 0 は、ステップ S 9 で求めたクラスタ核の遷移データ間の距離情報に基づいて、階層的クラスタリングを行い、たとえば図 1 0 に示す樹状図 (dendrogram) を作成する。

10

【 0 0 5 8 】

上述のように、CPU 6 0 とこれによって実行されるステップ S 9 および S 1 1 が階層的クラスタリング手段を構成する。

【 0 0 5 9 】

発明者等は、一般被験者に対して、人間の触行動時のロボットの全身触覚センサの時系列データを収集する実験を行った。図 1 のように全身に皮膚センサまたは触覚センサを分布して設けたコミュニケーションロボット 1 0 を静態展示し、ロボットの各関節が自由に動かせる状態で被験者に自由に触るように指示することで触覚センサデータ収集を行なった。元データは 3 1 1 8 3 0、クラスタ核は 5 0 1 である。

20

【 0 0 6 0 】

実験結果として、284 人の被験者から得られた有効な触覚センサデータは 3 1 1 8 3 0 フレーム、I S O D A T A クラスタリングによって得られたクラスタ核は 5 0 1 個となった。さらに、被験者から得られた 1 2 4 5 個の触り方データにそれぞれのクラスタ核を対応付けて遷移データを求め、その遷移データについて階層的クラスタリングを行った結果、図 1 0 のような樹状図が得られた。この図 1 0 の樹状図は、直交する 2 軸を有し、その一方 (縦軸) が距離を表しかつ他方 (横軸) がクラスタ番号を表している。ただし、図 1 0 では、階層的クラスタの上位階層のみを樹状図として示している。

【 0 0 6 1 】

図 1 0 では、各枝の先端が 1 つのクラスタに対応しており、高さがクラスタ間の距離を表している。樹状図の枝の先端が 1 5 0 個に分かれた階層における触り方を表すクラスタの例を表 1 に示す。

30

【 0 0 6 2 】

【表 1】

		クラスタ							
		A	B	C	D	E	F		
触り方	たたく	0	0	4	0	0	0	10	
	軽くたたく	2	0	0	0	0	0		
	つつく	1	0	0	0	0	23		
	手のひらで押す	0	0	0	1	0	8		
	つかむ	1	0	0	6	0	0		
	なでる	0	15	0	0	0	0		
	手のひらで触れる	9	1	0	0	0	0		
	指先でなぞる	3	0	0	0	0	0		
	指先で触れる	4	0	0	0	0	0		
	腕を上下にふる	0	0	0	0	4	0		20
	腕を持ち上げる	0	0	0	0	1	0		

【0063】

表 1 における触り方の評価は、実験者が被験者の触行動を録画した映像を観察することにより行った。表 1 におけるクラスタ A は、他クラスタと比較して、映像としては多くの触り方を含んだものになっている。これはこのクラスタに属する触り方のセンサの反応が小さく、各触り方データ間の距離が小さくなるためである。一方、その他のクラスタは映像から判別される触り方の特徴を反映した分類がなされている。

【0064】

なお、図 10 の樹状図による階層的クラスタリングにおいては、主に触る部位によって上位のクラスタが形成され、下位のクラスタはその部位における触り方によって形成されることがわかった。したがって、この樹状図を参照すれば、コミュニケーションロボット 10 は、どこをどのように触られているかを判別することができる。

【0065】

このように、この実施例では、コミュニケーションロボット 10 に対する人間の代表的な触り方の抽出が可能になった。つまり、上述のように、20 フレームで 46 次元ベクトルデータを取り扱おうとすると、1 秒間に (20×46) 個、一連の継続的な反応（つまり、1 つの触り方）が 15 秒だとすると、 $(20 \times 46 \times 15)$ のデータを処理する必要があるが、実施例のように、触覚センサの時系列データを各時刻における触覚センサ出力の代表値の一次元配列に変換することにより圧縮を行い、それぞれの触り方データの距離を DP マッチングで求め、階層的クラスタリングを行うことにより、より少ないデータ処理量で、触り方の判別が可能となった。

【0066】

なお、上述の実施例では、図 6 の処理をロボット 10 の CPU が全て実行するものとして説明した。しかしながら、このような「触り方」の抽出は、別に設けたコンピュータによって処理するようにしてもよい。この場合、当該別のコンピュータ（図示せず）は、ロボット 10 の無線通信装置 90 から触覚センサの出力データを受け取ればよい。

【図面の簡単な説明】

【0067】

【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
 ピエゾセンサシートとを示す図解図である。

【図3】ピエゾセンサシートの配置位置を示す図解図である。

【図4】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を示すブロック図である。

【図5】図1実施例のコミュニケーションロボットにおけるピエゾセンサシート（触覚センサ）から検知信号を入力するセンサ入力／出力ボードを部分的に示す図解図である。

【図6】図1実施例の動作を示すフロー図である。

【図7】図1実施例において触覚センサ出力ベクトルを空間圧縮することを示す図解図である。

【図8】図7のクラスタ核を典型的な触り方に対応付けて時間経過とともに示したクラスタ核遷移データを示す図解図である。

【図9】DPマッチングの方法を示す図解図である。

【図10】図1実施例で得られた樹状図の一例を示す図解図である。

【符号の説明】

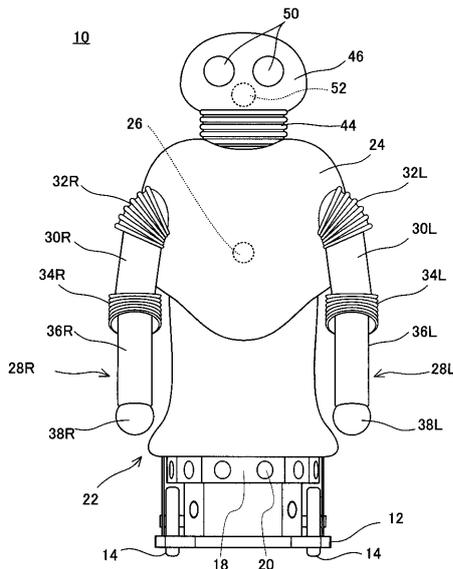
【0068】

- 10 ...コミュニケーションロボット
- 22 ...人体状部
- 24 ...皮膚
- 58, 501 - 548 ...触覚センサ（ピエゾセンサシート）
- 60 ...CPU
- 64 ...メモリ
- 68 ...センサ入力／出力ボード

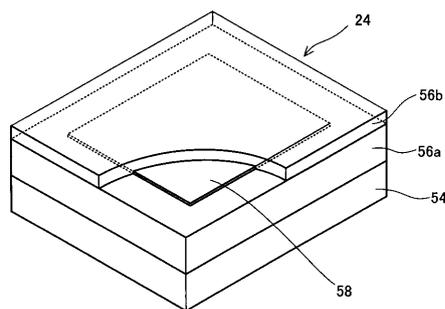
10

20

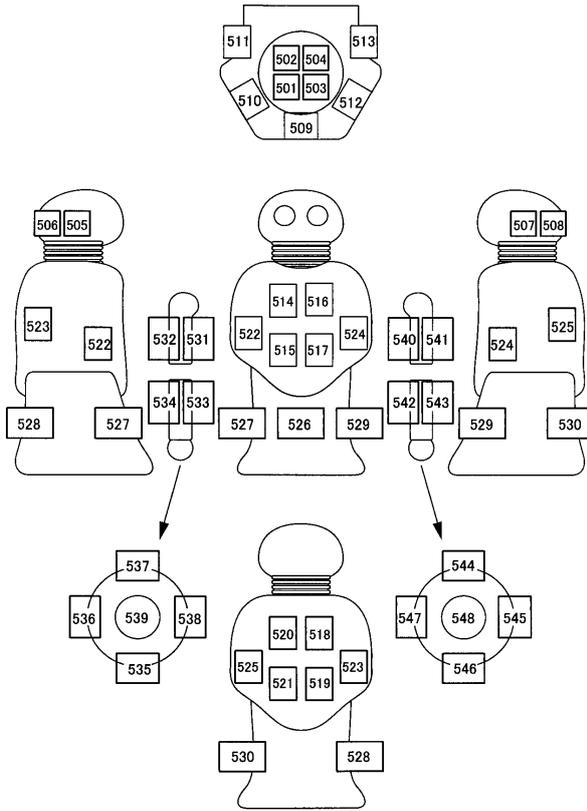
【図1】



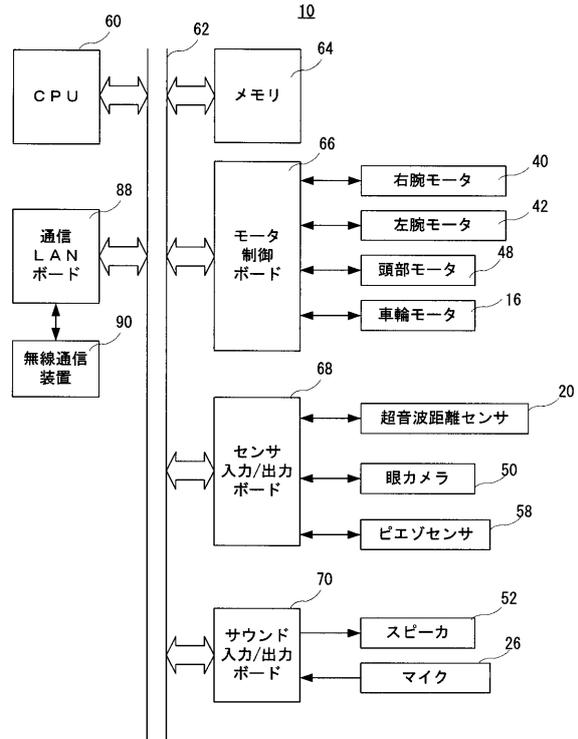
【図2】



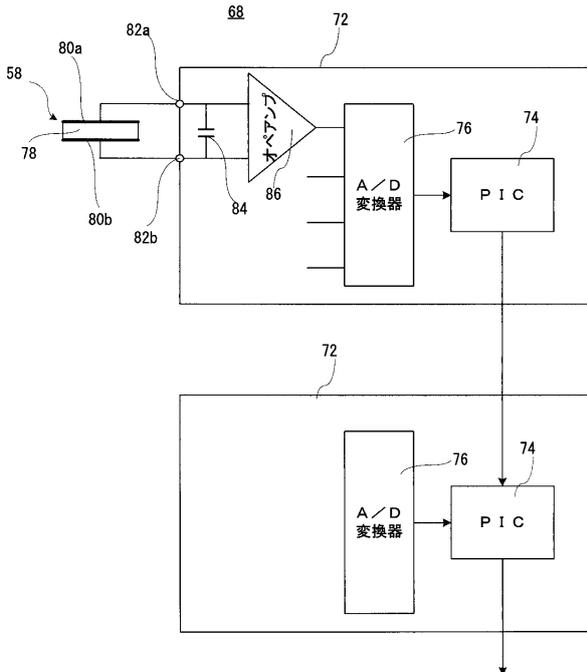
【図3】



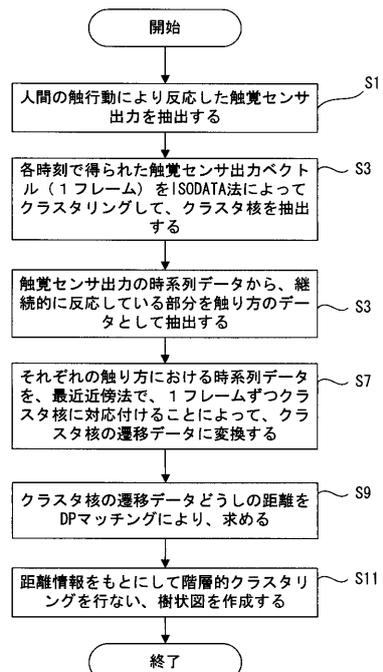
【図4】



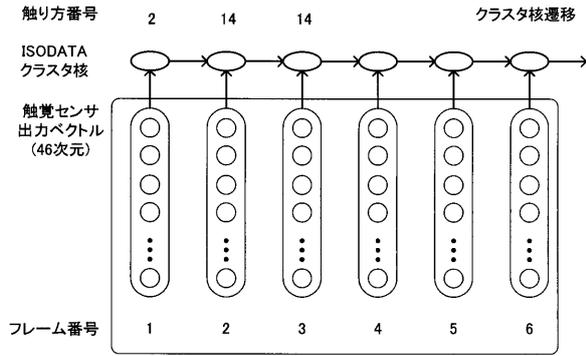
【図5】



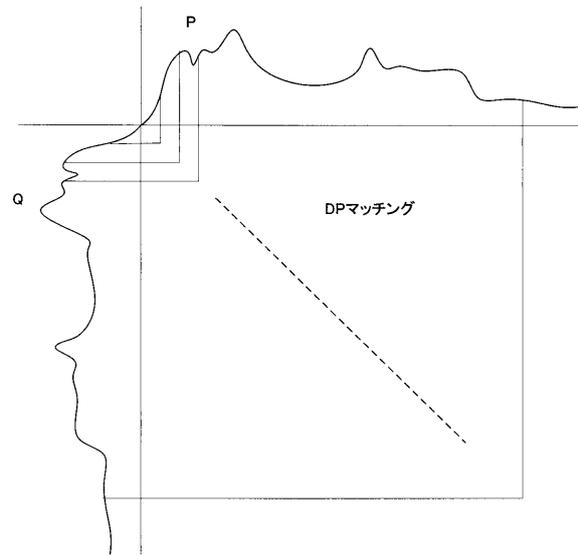
【図6】



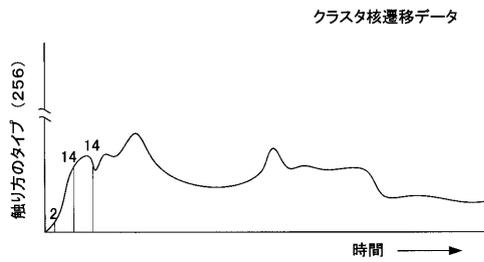
【図7】



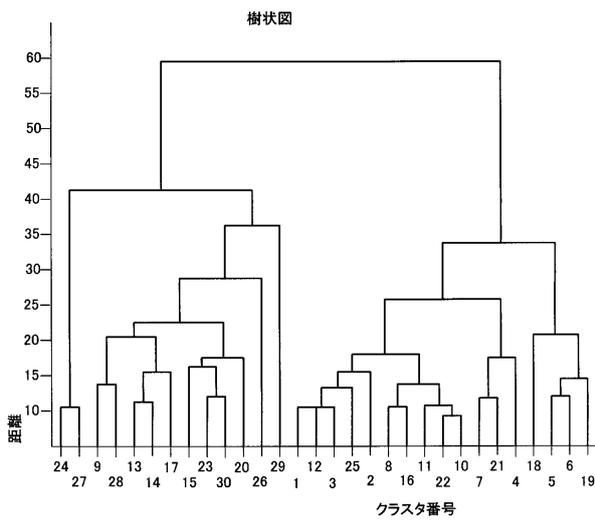
【図9】



【図8】



【図10】



フロントページの続き

審査官 佐々木 一浩

- (56)参考文献 特開2004-283975(JP,A)
特開2000-029910(JP,A)
特開平7-200300(JP,A)
特開平6-149904(JP,A)
納谷 太 Futoshi NAYA, 圧力分布センサによる人の触行動の実時間識別とその個人適応手法
Real-Time Classification of Human Touching Behaviors Using Pressure Sensors and Its Personal Adaptation, 電子情報通信学会論文誌 (J85-D-II) 第4号 THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS D-II, 日本, 社団法人電子情報通信学会 THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS, 2002年 4月 1日, 第J85-D-II巻
北原 鉄朗 Tetsuro Kitahara, 音響的類似性に基づく楽器音の階層的クラスタリング, 第65回(平成15年)全国大会講演論文集(2) 人工知能と認知科学, 2003年 3月27日
田近 太一, 宮下 敬宏, 石黒 浩, 全身触覚に基づく人間の位置・姿勢の検出, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集(CD-ROM), 日本, 2004年 6月18日, Vol. 2004, Page. 1P1-H-32
納谷 太 Futoshi NAYA, ペット型ロボットのための全身触覚インタフェースによる人の触行動識別 Classification of Human Touching Behaviors using a Whole Body Haptic Interface for a Pet-robot, 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 102 No. 472 IEICE Technical Report, 日本, 社団法人電子情報通信学会 The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 2002年11月14日, 第102巻
- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B25J 1/00-21/02
JSTPlus(JDreamII)