

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5076081号  
(P5076081)

(45) 発行日 平成24年11月21日(2012.11.21)

(24) 登録日 平成24年9月7日(2012.9.7)

(51) Int.Cl. F I  
**G06N 3/00 (2006.01)** G06N 3/00 560A

請求項の数 6 (全 28 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-63356 (P2007-63356)                  (22) 出願日 平成19年3月13日 (2007.3.13)                  (65) 公開番号 特開2008-225852 (P2008-225852A)                  (43) 公開日 平成20年9月25日 (2008.9.25)                  審査請求日 平成22年1月19日 (2010.1.19)</p> <p>(出願人による申告)平成18年4月1日付け、支出負担行為担当官 総務省大臣官房会計課企画官、研究テーマ「ネットワーク・ヒューマン・インターフェースの総合的な研究開発(ネットワークロボットの技術)」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                  (74) 代理人 100090181                  弁理士 山田 義人                  (72) 発明者 野原 健太                  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 塩見 昌裕                  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 小泉 智史                  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】 集団状態推定システムおよび集団注意制御システムならびにアクティブセンシングシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

オブジェクトと同一閉空間に存在する複数の人間の集団状態を推定する集団状態推定システムであって、

前記複数の人間のそれぞれの位置を検出して位置データを獲得する位置検出手段、

前記位置データに従ってクラスタリングして複数のクラスタに区画するクラスタリング手段、

前記複数のクラスタのそれぞれに含まれる人間の数に応じて各クラスタを第1クラスタと第2クラスタとに分類する分類手段、および

前記第1クラスタおよび前記第2クラスタの存在と前記オブジェクトとの位置関係とに基づいて集団状態を推定し、集団状態データを出力する集団状態推定手段を備える、集団状態推定システム。

【請求項2】

前記集団状態推定手段は、前記第1クラスタおよび前記第2クラスタの数とそれらと前記オブジェクトとの間の距離に基づいて集団状態を推定する、請求項1記載の集団状態推定システム。

【請求項3】

請求項1または2に記載の集団状態推定システムを用いて集団状態を推定し、

その集団状態に応じて集団注意制御を実行する集団注意制御手段を備える、集団注意制御システム。

10

20

## 【請求項 4】

前記集団注意制御手段はコミュニケーションロボットを含み、前記コミュニケーションロボットは、前記集団状態の推定結果を受け取り、その集団状態に適合した集団注意制御を実行する、請求項 3 記載の集団注意制御システム。

## 【請求項 5】

請求項 1 または 2 に記載の集団状態推定システムを用いて集団状態を推定し、その集団状態に応じてアクティブセンシングを実行するアクティブセンシング手段を備える、アクティブセンシングシステム。

## 【請求項 6】

前記アクティブセンシング手段はコミュニケーションロボットを含み、前記コミュニケーションロボットは、前記集団状態の推定結果を受け取り、その集団状態に適合したアクティブセンシングを実行する、請求項 5 記載のアクティブセンシングシステム。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

この発明は集団状態推定システムおよび集団注意制御システムならびにアクティブセンシングシステムに関し、特にたとえば、コミュニケーションロボットや展示物などの対象物(オブジェクト)と同一閉空間に存在する人間の集団状態を推定して集団注意制御やアクティブセンシングなどに応用する、集団状態推定システムおよびそれを利用した集団注意制御システムならびにアクティブセンシングシステムに関する。

20

## 【背景技術】

## 【0002】

たとえば、非特許文献1には、ロボットと人間との間の距離に応じて適切なモデルを構築し、同時に複数の人間と相互作用を行うロボットが開示されている。ただし、非特許文献1のシステムは、多数の人間が存在する集団とロボットとの対話に対応したものではなかった。

## 【0003】

一方、非特許文献2には、本件発明者等によって、人間の集団とロボットとの相互作用を円滑に行える手法を開示している。

【非特許文献1】Tasaki, T., Matsumoto S., Yamamoto S., Toda M., Komatani, K., Ogata T., and Okuno, H.G. "Dynamic Communication of Humanoid Robot with Multiple People Based on Interaction Distance," 人工知能学会論文誌、Vol. 20, No.3, pp.209-219, 2005

30

【非特許文献2】塩見昌裕、小泉智史、神田宗行、石黒浩、萩田紀博「コミュニケーションロボットによる集団注意制御」ヒューマンインターフェースシンポジウム2006, CD ROM 2006

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

非特許文献2に開示した手法がロボットと人々との相互作用をする上では有効であることが検証されたが、自律したシステムではなかった。

40

## 【0005】

それゆえに、この発明の主たる目的は、新規な、集団状態推定システムを提供することである。

## 【0006】

この発明の他の目的は、オブジェクトに対する人間の集団状態を細かく推定できる、集団状態推定システムを提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

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

50

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。

【0008】

第1の発明は、オブジェクトと同一閉空間に存在する複数の人間の集団状態を認識する集団状態推定システムであって、複数の人間のそれぞれの位置を検出して位置データを獲得する位置検出手段、位置データに従ってクラスタリングして複数のクラスタに区画するクラスタリング手段、複数のクラスタのそれぞれに含まれる人間の数に応じて各クラスタを第1クラスタと第2クラスタとに分類する分類手段、および第1クラスタおよび第2クラスタの存在とオブジェクトとの位置関係とに基づいて集団状態を推定し、集団状態データを出力する集団状態推定手段を備える、集団状態認識システムである。

10

【0009】

第1の発明では、集団状態推定システム(100)は、人間の位置データを取得するために、たとえば床(圧力)センサ(18)およびコンピュータ(14)を用いる。コンピュータ(14)のようなクラスタリング手段(S7, S35)では、たとえば階層的クラスタリングの手法で、まず全ての反応点(人間の位置)を1つのクラスタに併合した後、反応点の分布状態(たとえば、固体距離または公的距離)に応じて適切なクラスタ数を決定し、1つのクラスタを複数のクラスタに分割(区画)する。同じくコンピュータ(14)で構成できる分類手段(S7, S37, S61, S83)で、各クラスタを、「かたまりクラスタ」(第1クラスタ)または「はぐれクラスタ」(第2クラスタ)に分類する。そして、コンピュータ(14)であってよい集団状態推定手段(S7, S91-S105)は、「かたまりクラスタ」および「はぐれクラスタ」の存在ならびにそれらとオブジェクト、実施例ではロボット(10)との位置関係(たとえば、近いとか遠いとか、距離が同じか同じでないかなど)に基づいて、集団状態をたとえば12の集団状態、「集団状態1」「集団状態12」のいずれであるか推定する。

20

【0010】

第1の発明によれば、クラスタリングの後、そのクラスタデータに基づいて集団状態を推定するようにしたので、集団状態を的確に推定できる。

【0011】

なお、たとえば、第1クラスタおよび第2クラスタは、クラスタを構成する要素の数(人間の数。実施例でいえば、反応点の数。)で区分され得る。

30

【0012】

第2の発明は、第1の発明に従属し、集団状態推定手段は、第1クラスタおよび第2クラスタの数とそれらとオブジェクトとの間の距離に基づいて集団状態を推定する、集団状態推定システムである。

【0013】

第2の発明では、たとえば、「かたまりクラスタ」が1つかどうか、「はぐれクラスタ」があるかどうか、「はぐれクラスタ」がオブジェクトから遠いか近いかなどに基づいて集団状態を推定する。集団状態を細かく推定できる。

【0017】

第3の発明は、第1または第2の発明の集団状態推定システムを用いて集団状態を推定し、その集団状態に応じて集団注意制御を実行する集団注意制御手段を備える、集団注意制御システムである。

40

【0018】

第3の発明では、前提としての集団状態の推定が適正であるので、そのときの集団状態に適合する適正な集団注意制御を行なうことができる。

【0019】

第4の発明は、第3の発明に従属し、集団注意制御手段はコミュニケーションロボットを含み、コミュニケーションロボットは、集団状態の推定結果を受け取り、その集団状態に適合した集団注意制御を実行する、集団注意制御システムである。

【0020】

50

第4の発明では、集団注意制御手段としてコミュニケーションロボットを用いたので、コミュニケーションロボットがそれ自身が出力する音声やジェスチャで集団注意制御を行なう。

【0021】

第5の発明は、第1または第2の発明の集団状態推定システムを用いて集団状態を推定し、その集団状態に応じてアクティブセンシングを実行するアクティブセンシング手段を備える、アクティブセンシングシステムである。

【0022】

第5の発明では、前提としての集団状態の推定が適正であるので、そのときの集団状態に適合する適正なアクティブセンシングを行なうことができる。

10

【0023】

第6の発明は、第5の発明に従属し、アクティブセンシング手段はコミュニケーションロボットを含み、コミュニケーションロボットは、集団状態の推定結果を受け取り、その集団状態に適合したアクティブセンシングを実行する、アクティブセンシングシステムである。

【0024】

第6の発明では、アクティブセンシング手段としてコミュニケーションロボットを用いたので、コミュニケーションロボットがそれ自身のカメラなどを用いて効率的にアクティブセンシングすることができる。

【発明の効果】

20

【0025】

この発明によれば、たとえばロボットのようなオブジェクトの周囲の集団状態を精度よく推定できるので、集団注意制御に応用すれば、集団注意制御をよりの確に行うことができる。また、アクティブセンシングに適用すれば、集団状態に応じて効率的にセンシングを行うことができる。

【0026】

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】

【0027】

30

図1を参照して、この実施例の集団状態推定システム（以下、単に「システム」という。）100は、コミュニケーションロボット（以下、単に「ロボット」という。）10、表示装置12、コンピュータ14、データベース16および床圧力センサ（床センサ）18を含む。このシステム100は、たとえばコンピュータ14から転送される人間の集団状態に応じてロボット10が集団注意制御行動を行うシステムである。

【0028】

ただし、コンピュータ14が集団状態を推定した後は、上述のような集団注意制御を行う他、集団の状態に応じてセンシングを行う領域を変更して効率的にセンシングを行うアクティブセンシングなどにも有効に適用され得る。つまり、コンピュータ14が集団状態推定を実行して得た集団状態データには様々な応用例があるということに予め留意されたい。

40

【0029】

たとえば、ロボット10は、たとえば、無線LANやBluetooth（商品名）に代表される近距離無線などによって通信可能に、コンピュータ14に接続され、このコンピュータ14には、表示装置12、データベース16および床センサ18が有線によって接続される。しかしながら、ロボット10とコンピュータ14とは、有線で接続されるようにしてもよい。

【0030】

ロボット10は、主として人間のようなコミュニケーションの対象とコミュニケーションを実行することを目的とした相互作用指向のもので、後に図3および図4を参照して詳

50

細に説明するが、音声および身振り手振りなどの身体動作を用いてコミュニケーション（集団注意制御など）を実行する機能を備えている。

【0031】

表示装置12は、たとえばCRTディスプレイや液晶ディスプレイであり、上述したように、コンピュータ14が接続され、このコンピュータ14によって表示制御される。しかしながら、ロボット10の指示によって表示装置12に集団注意制御の際に必要な情報を可視的に表示することもできる。

【0032】

コンピュータ14は、汎用のパーソナルコンピュータ（PC）やワークステーションのようなコンピュータであり、基本的には、床センサ18からのセンサ値（「1」または「0」）に応じて集団状態を推定して状態データをロボット10などに提供する。コンピュータ14は、その他、上述したように表示装置12の表示を制御したり、ロボット10のコミュニケーション行動を制御したりすることもある。

10

【0033】

コンピュータ14はよく知られているように、たとえばROMやハードディスクなどからなり、後述のフローチャートを参照して説明するような集団状態推定のためのプログラムや、制御データ、画像データなどを予め設定しているプログラムメモリ15aを含む。コンピュータ14は、さらに、たとえばRAMやフラッシュメモリなどからなり、ワーキングメモリやバッファメモリとして利用されるデータメモリ15bを含む。データメモリ15bは、後述の床センサ18からのセンサ値やセンサが反応している点（位置）の座標データを一時的に記憶するための一時記憶領域や、さらには各種フラグや各種レジスタを設定しておくためのフラグ・レジスタ領域などに割り付けられている。

20

【0034】

データベース16は、たとえば、対人サービスとして道案内するときに必要な地図データや、同じく展示説明するときに必要な説明用データなどを記憶しておくとともに、ロボット10の動作を制御するための制御コマンドのコマンド名を記憶している。このコマンド名は、ロボット10の行動モジュールの名称である。コンピュータ14は、ロボット10を制御するときには、ロボット10の制御コマンド（行動モジュール名）をロボット10に送信する。ロボット10は、コンピュータ14からの制御コマンドに従って、コミュニケーション行動（発話、身振りなど）を実行する。また、このデータベース16にはこのシステム100が適用される会場などのマップデータ（2次元データ）が設定される。ただし、このデータベース16を省略し、コンピュータ14および/またはロボット10に上述の地図データ、制御コマンドやマップデータなどを記憶させておくようにしてもよい。

30

【0035】

床センサ（床圧力センサ）18は多数の検出素子（感圧センサ：たとえば、加重によってオン/オフされるスイッチ）の集合を含み、たとえば、500×500mmの正方形で厚みが15mm程度で、検出解像度は、一例として、100×100mm程度である。床センサ18のインタフェースにはたとえばRS232C（規格名）が用いられており、コンピュータ14は、たとえば200ミリ秒間隔でセンサ出力を取得することができる。実施例では、図2に示すように、システム100が適用される閉空間（部屋）101の床に多数の床センサ18が埋め込まれ（敷き詰められ）、同一閉空間内に存在するロボット10や人間を検知する。実施例では、部屋101の床にn個の床センサ18（S1, S2, ..., Sh, Sh+1, ..., Si, Si+1, ..., Sn-1, Sn）が設置される。これらの床センサ18（S1, ..., Sn）の各々は、重さを感じているときハイレベルまたは「1」のセンサ値を、重さを感じないときローレベルまたは「0」のセンサ値をそれぞれ出力する。

40

【0036】

図3はロボット10の外観を示す正面図であり、この図3を参照して、ロボット10は台車20を含み、この台車20の下面にはロボット10を自律移動させる2つの車輪22

50

および1つの従輪24が設けられる。2つの車輪22は車輪モータ26(図4参照)によってそれぞれ独立に駆動され、台車20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。また、従輪24は車輪22を補助する補助輪である。したがって、ロボット10は、配置された空間内を自由に移動することができる。

【0037】

台車20の上には、円柱形のセンサ取付パネル28が設けられ、このセンサ取付パネル28には、赤外線距離センサ30が取り付けられる。この赤外線距離センサ30は、センサ取付パネル28すなわちロボット10の周囲の物体(人間や障害物など)との距離を計測するものである。

【0038】

また、センサ取付パネル28の上には、胴体32が直立するように設けられる。胴体32の前方中央上部(胸に相当する位置)には、上述した赤外線距離センサ30とは別の赤外線センサ31がさらに設けられる。これは、ロボット10の前方の主として人間との距離を計測する。また、1つの全方位カメラ34が設けられる。この全方位カメラ34は、たとえば胴体32の背面側上端部のほぼ中央から上方に伸びる支柱36上に設けられる。全方位カメラ34は、ロボット10の周囲を撮影するものであり、後述する眼カメラ60とは区別される。この全方位カメラ34としては、たとえばCCDやCMOSのような固体撮像素子を用いるカメラを採用することができる。なお、これら赤外線距離センサ30および全方位カメラ34の設置位置は当該部位に限られず適宜変更され得る。

【0039】

胴体32の両側面上端部(肩に相当する位置)には、それぞれ、肩関節38Rおよび38Lによって、上腕40Rおよび40Lが設けられる。図示は省略するが、肩関節38Rおよび38Lは、それぞれ、直交する3軸の自由度を有する。すなわち、肩関節38Rは、直交する3軸のそれぞれの軸廻りにおいて上腕40Rの角度を制御できる。肩関節38Rの或る軸(ヨー軸)は、上腕40Rの長手方向(または軸)に平行な軸であり、他の2軸(ピッチ軸、ロール軸)は、それにそれぞれ異なる方向から直交する軸である。同様に、肩関節38Lは、直交する3軸のそれぞれの軸廻りにおいて上腕40Lの角度を制御できる。肩関節38Lのヨー軸は、上腕40Lの長手方向(または軸)に平行な軸であり、他のピッチ軸およびロール軸は、それにそれぞれ異なる方向から直交する軸である。

【0040】

また、上腕40Rおよび40Lのそれぞれの先端には、肘関節42Rおよび42Lを介して、前腕44Rおよび44Lが設けられる。図示は省略するが、肘関節42Rおよび42Lは、それぞれ1軸の自由度を有し、この軸(ピッチ軸)の軸廻りにおいて前腕44Rおよび44Lの角度を制御できる。

【0041】

前腕44Rおよび44Lのそれぞれの先端には、手に相当する球体46Rおよび46Lがそれぞれ固定的に設けられる。ただし、指や掌の機能が必要な場合には、人間の手の形をした「手」を用いることも可能である。

【0042】

また、図示は省略するが、台車20の前面、肩関節38R、38Lを含む肩に相当する部位、上腕40R、40L、前腕44R、44Lおよび球体46R、46Lには、それぞれ、接触センサ(図4で包括的に示す。:48)が設けられている。台車20の前面の接触センサ48は、台車20への人間や他の障害物の接触を検知する。したがって、ロボット10の移動中に障害物との接触があると、それを検知し、直ちに車輪22の駆動を停止してロボット10の移動を急停止させることができる。また、その他の接触センサ48は、主に、人間がロボット10の当該各部位に触れたかどうかを検知する。なお、接触センサ48の設置位置はこれらに限定されず、適宜な位置(胸、腹、脇、背中、腰、頭など)に設けられてよい。

【0043】

胴体32の中央上部(首に相当する位置)には首関節50が設けられ、さらにその上に

10

20

30

40

50

は頭部 5 2 が設けられる。図示は省略するが、首関節 5 0 は、3 軸の自由度を有し、3 軸の各軸廻りに角度制御可能である。或る軸（ヨー軸）はロボット 1 0 の真上（鉛直上向き）に向かう軸であり、他の 2 軸（ピッチ軸、ロール軸）は、それぞれ、それと異なる方向で直交する軸である。

【 0 0 4 4 】

頭部 5 2 には、口に相当する位置に、スピーカ 5 4 が設けられる。スピーカ 5 4 は、ロボット 1 0 が、その周辺の人間に対して音声ないし音によって、コミュニケーションを取ったり、集団注意制御を行ったりするために用いられる。また、耳に相当する位置には、マイク 5 6 R および 5 6 L が設けられる。以下、右耳に相当するマイク 5 6 R と左耳に相当するマイク 5 6 L とをまとめてマイク 5 6 ということがある。マイク 5 6 は、周囲の音、とりわけコミュニケーションを実行する対象である人間の声を取り込む。さらに、目に相当する位置には、眼球部 5 8 R および 5 8 L が設けられる。眼球部 5 8 R および 5 8 L は、それぞれ眼カメラ 6 0 R および 6 0 L を含む。以下、右の眼球部 5 8 R と左の眼球部 5 8 L とをまとめて眼球部 5 8 ということがあり、また、右の眼カメラ 6 0 R と左の眼カメラ 6 0 L とをまとめて眼カメラ 6 0 ということがある。

【 0 0 4 5 】

眼カメラ 6 0 は、ロボット 1 0 に接近した人間の顔や他の部分ないし物体等を撮影して、それに対応する映像信号を取り込む。眼カメラ 6 0 としては、上述した全方位カメラ 3 4 と同様のカメラを用いることができる。たとえば、眼カメラ 6 0 は眼球部 5 8 内に固定され、眼球部 5 8 は眼球支持部（図示せず）を介して頭部 5 2 内の所定位置に取り付けられる。図示は省略するが、眼球支持部は、2 軸の自由度を有し、それらの各軸廻りに角度制御可能である。たとえば、この 2 軸の一方は、頭部 5 2 の上へ向かう方向の軸（ヨー軸）であり、他方は、一方の軸に直交しかつ頭部 5 2 の正面側（顔）が向く方向に直交する方向の軸（ピッチ軸）である。眼球支持部がこの 2 軸の各軸廻りに回転されることによって、眼球部 5 8 ないし眼カメラ 6 0 の先端（正面）側が変位され、カメラ軸すなわち視線方向が移動される。

【 0 0 4 6 】

なお、上述のスピーカ 5 4、マイク 5 6 および眼カメラ 6 0 の設置位置は、これらに限定されず、適宜な位置に設けてよい。

【 0 0 4 7 】

図 4 はロボット 1 0 の電氣的な構成を示すブロック図であり、この図 4 を参照して、ロボット 1 0 は、全体を制御するプロセサ 6 2 を含む。プロセサ 6 2 は、バス 6 4 を介して、メモリ 6 6、モータ制御ボード 6 8、センサ入力/出力ボード 7 0 および音声入力/出力ボード 7 2 に接続される。

【 0 0 4 8 】

メモリ 6 6 は、たとえば ROM やハードディスクなどからなるプログラムメモリ 6 6 a を含み、このプログラムメモリ 6 6 a には、ロボット 1 0 の制御プログラム（人間との間でコミュニケーションを実行するための行動制御プログラムや集団注意制御プログラム、アクティブセンシングプログラムなど）が予め記憶されるとともに、コミュニケーションや集団注意制御動作を実行する際にスピーカ 5 4 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角度データなども記憶される。また、このプログラムメモリ 6 6 a には、外部コンピュータ（コンピュータ 1 4 など）との間で必要な情報を送受信するための通信プログラムなどが記録される。メモリ 6 6 は、さらに、たとえば RAM やフラッシュメモリなどからなり、ワーキングメモリやバッファメモリとして利用されるデータメモリ 6 6 b を含む。データメモリ 6 6 b は、後述のようにしてコンピュータ 1 4 から送られてくる集団状態のデータなどを一時的に記憶するための一時記憶領域や、さらには後述する注意制御フラグ A や各種レジスタを設定しておくためのフラグ・レジスタ領域などに割り付けられている。

【 0 0 4 9 】

なお、メモリ 6 6 は、プロセサ 6 2 に内蔵されたまたは組み込まれた記憶装置（内部メ

10

20

30

40

50

モリ)であってもよく、プロセサ62の内部メモリとは別に設けた記憶装置であってもよい。

【0050】

モータ制御ボード68は、たとえばDSPで構成され、各腕や首関節および眼球部等の各軸モータの駆動を制御する。すなわち、モータ制御ボード68は、プロセサ62からの制御データを受け、右眼球部58Rの2軸のそれぞれの角度を制御する2つのモータ(図4では、まとめて「右眼球モータ」と示す。)74の回転角度を制御する。同様に、モータ制御ボード68は、プロセサ62からの制御データを受け、左眼球部58Lの2軸のそれぞれの角度を制御する2つのモータ(図4では、まとめて「左眼球モータ」と示す。)76の回転角度を制御する。

10

【0051】

また、モータ制御ボード68は、プロセサ62からの制御データを受け、右肩関節38Rの直交する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42R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」と示す。)78の回転角度を調節する。同様に、モータ制御ボード68は、プロセサ62からの制御データを受け、左肩関節38Lの直交する3軸のそれぞれの角度を制御する3つのモータと左肘関節42L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「左腕モータ」と示す。)80の回転角度を調節する。

【0052】

さらに、モータ制御ボード68は、プロセサ62からの制御データを受け、首関節50の直交する3軸のそれぞれの角度を制御する3つのモータ(図4では、まとめて「頭部モータ」と示す。)82の回転角度を制御する。さらにまた、モータ制御ボード68は、プロセサ62からの制御データを受け、車輪22を駆動する2つのモータ(図4では、まとめて「車輪モータ」と示す。)26の回転角度を制御する。

20

【0053】

なお、この実施例では、車輪モータ26を除くモータは、制御を簡素化するために、ステッピングモータ或いはパルスモータを用いるようにしてある。ただし、車輪モータ26と同様に、直流モータを用いるようにしてもよい。

【0054】

センサ入力/出力ボード70もまた、同様に、DSPで構成され、各センサからの信号を取り込んでプロセサ62に与える。すなわち、赤外線距離センサ30のそれぞれからの反射時間に関するデータがこのセンサ入力/出力ボード70を通してプロセサ62に入力される。また、全方位カメラ34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70で所定の処理を施された後、プロセサ62に入力される。眼カメラ60からの映像信号も、同様にして、プロセサ62に入力される。また、上述した複数の接触センサ(図4では、まとめて「接触センサ48」と示す。)からの信号がセンサ入力/出力ボード70を介してプロセサ62に与えられる。

30

【0055】

音声入力/出力ボード72もまた、同様に、DSPで構成され、プロセサ62から与えられる音声合成データに従った音声または声がスピーカ54から出力される。たとえば、道案内や集団注意制御などを実行するとき情報が音声または声としてスピーカ54から発せられる。また、マイク56からの音声入力が、音声入力/出力ボード72を介してプロセサ62に取り込まれる。

40

【0056】

また、プロセサ62は、バス64を介して通信LANボード84に接続される。通信LANボード84は、DSPで構成され、プロセサ62から送られる送信データを無線通信装置86に与え、無線通信装置86から送信データを、たとえば、無線LANのようなネットワークを介して、外部コンピュータ(図1および図4ではコンピュータ14)などに送信する。また、通信LANボード84は、無線通信装置86を介してデータを受信し、受信したデータをプロセサ62に与える。つまり、この通信LANボード84および無線

50



通信装置 86 によって、ロボット 10 はコンピュータ 14 などと無線通信を行うことができる。

【0057】

図5 図13を参照して、コンピュータ14が集団状態を推定する手法とそのときの動作について説明する。

【0058】

図5のステップS1でオペレータによる停止命令を検出しなければ、コンピュータ14は、次のステップS3において、RS232Cなどを利用して、たとえば、ポーリングの手法を用いて、図2に示すように部屋101内に配列されたすべての床センサ18からセンサ情報、すなわち、センサ番号(n)、センサ値( $S_i = 1$ または0)およびそのセンサ値を取得した時刻を読み取る。このセンサ情報は、図1に示すデータメモリ15bに一時的に格納される。

10

【0059】

続くステップS5において、コンピュータ14は、ステップS3で取得したセンサ情報をx-y座標に変換する。つまり、ロボット10や人間を検出した床センサの反応点の位置座標を計算する。ただし、ロボット10は2つの車輪22で床センサに加重しているのでロボット10の反応点は2つの車輪の midpoint として計算し、他方、人間も2本足で立っていることを前提にしているので、2本の足の midpoint が人間による床センサの反応点として計算される。このような反応点をx-y座標に変換するには、具体的には、図6に示す手順が実行される。

20

【0060】

図6の最初のステップS21でオペレータによる停止命令を検出しなければ、コンピュータ14は、続くステップS23において、各床センサからセンサ情報を受信したかどうか判断し、“NO”なら、受信するまで待つ。センサ情報を受信していれば、次のステップS25で、コンピュータ14は、(1)式を用いて、床センサが反応している点の座標を計算する。

[数1]

$$x_j = i \% h$$

$$y_j = i / h \quad (S_i = 1, j = 1, 2, \dots, m) \quad \dots(1)$$

ただし、mは床センサが反応している点の総数であり、床センサは図2のように配置されているものとする。

30

【0061】

そして、次のステップS27において、コンピュータ14は、ステップS25で計算して得た、床センサが反応している点の座標( $x_1, y_1$ ), ( $x_2, y_2$ ), ..., ( $x_m, y_m$ )を、図5の次のステップS7に送信する。つまり、図1に示すデータメモリ15bにこれらの座標データを一時記憶する。このステップS7は集団状態推定プログラムであり、図7 図11に詳細に示される。

【0062】

図7の最初のステップS31でオペレータによる停止命令を検出しなければ、コンピュータ14は、続くステップS33において、床センサが反応している点の座標( $x_1, y_1$ ), ( $x_2, y_2$ ), ..., ( $x_m, y_m$ )を受信したかどうか判断し、“NO”なら受信するまで待つ。“YES”なら、次のステップS35で、コンピュータ14は、受信した座標データに基づいてクラスタリングを行い、反応点(床センサの)をいくつかのクラスタに分割または区画する。

40

【0063】

ステップS35では、反応点と反応点との間のユークリッド距離を類似度としてクラスタリングを行う(距離が近いほど類似度が高い)。実施例では、いわゆる階層的クラスタリングの手法を採用した。階層的クラスタリングでは、m個の反応点データが与えられたとき、まず、1個のデータ(要素)だけを含むm個のクラスタを初期状態とする。この状態から、あるクラスタと他のあるクラスタとの距離(クラスタ間距離)を計算し、この距

50

離がもっとも近い2つのクラスタを逐次的に併合し、すべての反応点が1つのクラスタに併合されるまで繰り返し処理することによって、クラスタ間の階層構造を獲得するという手法である。以下、図8を参照して詳しく説明する。

【0064】

図8の最初のステップS41でオペレータによる停止命令を検出しなければ、コンピュータ14は、続くステップS43において、m個の反応点を、それぞれ、要素が1つだけのm個のクラスタとする。続いて、ステップS45で、コンピュータ14は、m個のクラスタのクラスタ間距離(図9)を計算する。

【0065】

実施例では、特に限定するという意味ではないが、クラスタ間距離は最短距離法を用いて計算する。最短距離法とは、2つのクラスタに含まれている要素のうち最も近い要素どうしの間の距離をクラスタ距離とする方法である。

10

【0066】

クラスタ距離を計算するためには、その他、重心法、ワード法などいくつかのアルゴリズムが存在するが、最短距離法では、最も近い要素どうしの間の距離をクラスタ間距離とするというアルゴリズムの特性上、鎖状のクラスタを作ることができる。一方、重心法やワード法は、主に楕円体のクラスタを作る。実施例のようにロボット10と人間とが相互作用を行う場合、そのような人間の集団に対してクラスタリングを行う際には、楕円体のクラスタよりも鎖状のクラスタの方が適していると考えられる。人間がロボットに対して横に一列に並んでいるときに、その1列を1つのクラスタとして扱えるためである。

20

【0067】

そして、次のステップS47で、コンピュータ14は、クラスタ間距離がもっとも近いクラスタどうしを併合する。このステップS47は、先のステップS45とともに、ステップS49ですべての反応点(要素)が1つのクラスタに併合されたと判断するまで、繰り返し実行される。

【0068】

ステップS49で1のクラスタにすべての反応点が併合できたと判断したとき、コンピュータ14は、次のステップS51で、データメモリ15b(図1)に記憶している反応点の座標データを参照して、各反応点の分布状態に応じて、適切なクラスタ数Cを決定する。クラスタ数Cは、対人距離に関する発明者等の知見に基づき、反応点と反応点との距離が70cm(固体距離)以下の反応点は必ず同じクラスタに属し、110cm(公的距離)以上離れた反応点どうしは必ず異なるクラスタに属するように、決められる。

30

【0069】

さらに、実施例では、このような距離条件に加えて、(2)式で表される擬似t2統計量に基づいてクラスタ数を決定する。擬似t2統計量は、よく知られているように、クラスタ数決定の指標として用いられている統計量である。

【0070】

クラスタPとクラスタQとを結合してクラスタRとなるときの擬似t2統計量は、(2)式で与えられる。ここで、Wは各クラスタの重心とクラスタに含まれる全要素(反応点)との距離の総和であり、Nは各クラスタ内の要素数である。そして、擬似t2統計量の値が大きく変化するクラスタ数が適切なクラスタ数Cの候補である。

40

【0071】

【数2】

$$pseudo\ t2 = \left[ \frac{WR - WP - WQ}{WP + WQ} \right] (NP + NQ - 2) \quad \dots(2)$$

【0072】

つまり、この実施例では、対人距離と擬似t2統計量とに基づいて、以下の条件でクラスタ数Cを決定する。

50

## 【 0 0 7 3 】

1. クラスタ間距離が固体距離 ( 7 0 c m ) 以上となるクラスタ数を、分割するクラスタ数の候補とする。候補がない場合には、クラスタ数を 1 とする。

## 【 0 0 7 4 】

2. 1. で選ばれた候補の中から、クラスタ間距離が公的距離 ( 1 1 0 c m ) 以下となるクラスタ数を、分割するクラスタ数の候補とする。候補がない場合には、クラスタ間距離が最も大きくなるクラスタ数を分割数とする。

## 【 0 0 7 5 】

3. 選択された候補の中で、擬似 t 2 統計量の変化量が正の方向に最も大きく変化しているクラスタ数を、分割クラスタ数の候補とする。

10

## 【 0 0 7 6 】

ステップ S 5 1 でこのようにして適切なクラスタ数 C を決定した後、コンピュータ 1 4 は、ステップ S 5 3 で、そのクラスタ数 C と各クラスタに含まれる反応点 ( 要素 ) の数  $P_i$  (  $i = 1, \dots, C$ 。ただし、 $P_1, P_2, \dots, P_C$  とする。 ) とを状態推定プログラムの次に実行すべきステップ ( 図 7 : ステップ S 3 7 ) に送信する。つまり、図 1 に示すデータメモリ 1 5 b に、クラスタ数 C および各クラスタに含まれる反応点の数  $P_i$ 、さらに必要に応じてクラスタの重心位置をクラスタデータとして記憶する。

## 【 0 0 7 7 】

図 7 に戻って、ステップ S 3 7 で、このようにして計算しあるいは決定したクラスタ数 C と各クラスタに含まれる要素の数  $P_i$  とに基づいて、各クラスタが「かたまりクラスタ」であるのか「はぐれクラスタ」であるのかを決定する。ただし、「かたまりクラスタ」とは、第 1 クラスタのことであり、第 2 クラスタを意味する「はぐれクラスタ」に比べて、より多数の反応点 ( 要素 ) で構成されるクラスタである。逆にいえば、「はぐれクラスタ」は「かたまりクラスタ」に比べて少数の要素で構成されているクラスタと定義できる。このようなクラスタ判別ステップは、具体的には、図 1 0 に示す手順で実行される。

20

## 【 0 0 7 8 】

図 1 0 の最初のステップ S 6 1 でオペレータによる停止命令を検出しなければ、コンピュータ 1 4 は、続くステップ S 6 3 において、上述のクラスタリング結果、すなわち、クラスタデータを受信したかどうか判断し、“ N O ” なら受信するまで待つ。“ Y E S ” なら、次のステップ S 6 5 で、( 3 ) 式に基づいて、最も反応点 ( 要素 ) 数の多いクラスタが全反応点の a % 以上であるかどうか判断する。ただし、この判断式を含むすべての判断式は、最も要素数の多いクラスタが全要素数の a % 以上であるとき、要素数が全要素数の b % 以下となるクラスタを「はぐれクラスタ」の候補とし、かつ、すべての「はぐれクラスタ」の要素数がすべての「かたまりクラスタ」の要素数の c % 以下となるように考慮した結果であることを予め理解されたい。

30

## [ 数 3 ]

$$P_c \leq m ( a / 1 0 0 ) \quad \dots (3)$$

このステップ S 6 5 の判断結果が“ N O ” であるとき、最も要素数の多いクラスタが全要素数の a % 以上ないので、ステップ S 6 7 でコンピュータ 1 4 は、すべてのクラスタが「かたまりクラスタ」であると判定する。

40

## 【 0 0 7 9 】

次に、ステップ S 6 5 で“ Y E S ” の判断をしたとき、最も要素数の多いクラスタが全要素数の a % 以上あるので、コンピュータ 1 4 は、続くステップ S 6 9 において、( 4 ) 式に基づく判断を行う。

## [ 数 4 ]

$$P_1 \leq m ( b / 1 0 0 ) \quad \dots (4)$$

そして、このステップ S 6 9 で“ N O ” を判断したとき、要素数が全要素数の b % 以下ではないので、コンピュータは、ステップ S 7 1 で、すべてのクラスタは「かたまりクラスタ」であると判定する。

## 【 0 0 8 0 】

50

ステップS 6 9で“ Y E S ”を判断したときには、コンピュータ1 4は、次のステップS 7 3で( 5 )式を満たす最大の $i$ を $H$ (はぐれ)とし、続くステップS 7 5で( 6 )式を満たす最小の $i$ を $K$ (かたまり)として、ステップS 7 7における判断式( 7 )に基づく判定を実行する。ただし、 $C$ はクラスタ数である。

[ 数 5 ]

$$P_i = m(b/100) \quad (i = 1, 2, \dots, C) \dots (5)$$

[ 数 6 ]

$$P_i = m(b/100) \quad (i = 1, 2, \dots, C) \dots (6)$$

[ 数 7 ]

$$P_H = P_K(c/100) \dots (7)$$

10

コンピュータ1 4がステップS 7 7で“ N O ”を判断したとき、「はぐれクラスタ」の要素数がすべての「かたまりクラスタ」の要素数の $c\%$ 以下とはならないので、次のステップS 7 9で、すべてのクラスタは「かたまりクラスタ」と判定する。また、ステップS 7 7で“ Y E S ”の判断をしたときには、「はぐれクラスタ」の要素数がすべての「かたまりクラスタ」の要素数の $c\%$ 以下であるので、コンピュータ1 4は、続くステップS 8 1において、( 5 )式を満足するクラスタを「はぐれクラスタ」と判定し、それ以外のクラスタを「かたまりクラスタ」と判定する。

【 0 0 8 1 】

このようにして、ステップS 6 7, S 7 1, S 7 9およびS 8 1で各クラスタについてそれらが「かたまりクラスタ」であるのか「はぐれクラスタ」であるのかの種類判定を行ない、コンピュータ1 4は、その判定結果(各クラスタの種類)をクラスタデータとしてステップS 8 3すなわち、図7のステップS 3 9で、集団状態推定プログラムに送信する。つまり、図1のデータメモリ1 5 bに格納する。

20

【 0 0 8 2 】

集団状態推定プログラムはこの判定結果(クラスタの種類)に基づいて、集団状態推定動作(ステップS 7 : 図5)を実行する。集団状態推定プログラムは、具体的には図1 1に詳細に示されるが、この実施例では、基本的に、図1 3に示すような3つの場合にまず分類し、最終的に[ 集団状態1 ] [ 集団状態1 2 ]に分類して推定する。

【 0 0 8 3 】

図1 1の最初のステップS 9 1で、コンピュータ1 4は、データメモリ1 5 bに格納されているクラスタデータの各クラスタの種類を参照して、「かたまりクラスタ」が1つだけ存在するかどうか、判断する。“ Y E S ”なら、図1 3に示す「1つのかたまりクラスタ」という区画に含まれる集団状態のいずれかであり、次のステップS 9 3で、コンピュータ1 4は、「はぐれクラスタ」があるかどうか判断する。ステップS 9 3で“ N O ”が判断されると、「かたまりクラスタ」が1つで「はぐれクラスタ」がない、たとえば、いわゆるひとかたまりの集団状態であるので、コンピュータ1 4は、このような集団状態を「集団状態1」と定義し、そのときの集団状態を集団状態1と推定する。

30

【 0 0 8 4 】

ステップS 9 3で“ Y E S ”が判断されると、先のステップS 9 1で“ Y E S ”が判断されているので、そのとき部屋1 0 1(図2)には、オブジェクトとしてのロボット1 0と1つの「かたまりクラスタ」と1つ以上の「はぐれクラスタ」があるということを意味し、図1 3で示す集団状態2, 3および4のいずれかであることがわかる。そこで、ステップS 9 5で、コンピュータ1 4は、クラスタデータや反応点データなどを参照して、「はぐれクラスタ」、「かたまりクラスタ」およびオブジェクト(ロボット1 0)の位置関係、特に「はぐれクラスタ」がオブジェクトすなわちロボット1 0に対して、「かたまりクラスタ」より近いかどうかでいずれの集団状態であるかを特定する。

40

【 0 0 8 5 】

「はぐれクラスタ」の状況を判定するステップS 9 5の詳細が図1 2に示されるが、この図1 2を参照して、ステップS 1 1 1で、コンピュータ1 4は、「はぐれクラスタ」が「かたまりクラスタ」よりロボット1 0(オブジェクト)の近くにいるかどうか判断する

50

。“YES”なら、その「はぐれクラスタ」に「+近はぐれ」とラベルを付す。ステップS11で“NO”と判断したら、次にコンピュータ14はステップS113で、「はぐれクラスタ」が「かたまりクラスタ」よりオブジェクトの遠くにいるかどうか判断する。“YES”ならその「はぐれクラスタ」に「+遠はぐれ」とラベルを付し、“NO”なら近くも遠くもないという意味で「+はぐれ」というラベルを付す。

【0086】

このようにして、図12では、オブジェクトから最も距離が近い反応点が「はぐれクラスタ」に属する場合「+近はぐれ」と判定し、オブジェクトから最も距離が遠い反応点が「はぐれクラスタ」に属する場合「+遠はぐれ」と判定し、それ以外の場合「+はぐれ」と認定する。

10

【0087】

図13を参照すればわかるように、「かたまりクラスタ」が1つでかつ「+近はぐれ」とラベルが付された1つの「はぐれクラスタ」があるときには、そのときの集団状態は「集団状態2」である。「かたまりクラスタ」が1つでかつ「+遠はぐれ」とラベルが付された1つの「はぐれクラスタ」があるときには、そのときの集団状態は「集団状態3」である。そして、「かたまりクラスタ」が1つでかつ「+はぐれ」とラベルが付された1つの「はぐれクラスタ」があるときには、そのときの集団状態は「集団状態4」である。このようにして、ステップS91で“YES”を判定したとき、つまり1つだけの「かたまりクラスタ」が存在するとき、コンピュータ14は、集団状態1, 2, 3または4を推定する。

20

【0088】

ステップS91で“NO”が判断されると、「かたまりクラスタ」が2つ以上あることを意味し、コンピュータ14は、次のステップS97で、それぞれの「かたまりクラスタ」とロボット10（オブジェクト）との距離が等しいかどうか判断する。「かたまりクラスタ」の中で最もオブジェクトに近い点とオブジェクトとの距離を $d_i$ とする。この距離 $d_i$ の最大値を $d_{imax}$ 、最小値を $d_{imin}$ としたとき、(8)式を満足すれば、各「かたまりクラスタ」とオブジェクトとの間の距離は等しい（等距離）と判定する。ただし、 $D$ は閾値を示す定数である。

[数8]

$$d_{imax} - d_{imin} < D \quad \dots(8)$$

30

ステップS97で“YES”と判断すると、コンピュータ14は次にステップS99で、「はぐれクラスタ」があるかどうか判断する。“NO”と判断した集団状態は、ロボット10（オブジェクト）に対して等距離の2つの「かたまりクラスタ」があるという集団状態であるので、図13で「複数のかたまりクラスタ（距離均等）」と区画された中の1つの集団状態、「集団状態5」である。

【0089】

ステップS101でコンピュータ14は、先のステップS95と同様に、「はぐれクラスタ」、「かたまりクラスタ」およびオブジェクト（ロボット10）の位置関係で集団状態を分類する。

【0090】

40

図13を参照すればわかるように、「かたまりクラスタ」が2つでかつそれらの「かたまりクラスタ」のオブジェクトからの距離が等しくてしかも「+近はぐれ」とラベルが付された1つの「はぐれクラスタ」があるときには、そのときの集団状態は「集団状態6」である。ロボット10から等距離の2つ「かたまりクラスタ」がありかつ「+遠はぐれ」とラベルが付された1つの「はぐれクラスタ」があるときには、そのときの集団状態は「集団状態7」である。そして、距離均等の2つの「かたまりクラスタ」と「+はぐれ」とラベルが付された1つの「はぐれクラスタ」とがあるときには、そのときの集団状態は「集団状態8」である。このようにして、2つの距離均等の「かたまりクラスタ」があるとき、すなわち、ステップS97で“YES”を判断したとき、コンピュータ14は、集団状態5, 6, 7または8を推定する。

50

【 0 0 9 1 】

ステップ S 9 7 で “ N O ” が判断されるということは、オブジェクト（ロボット 1 0 ）からの距離が不均等な 2 つの「かたまりクラスタ」が存在するということを意味している。そして、次のステップ S 1 0 3 で、コンピュータ 1 4 は「はぐれクラスタ」があるかどうか判断する。“ N O ” と判断した集団状態は、ロボット 1 0 （オブジェクト）に対して不等距離の 2 つの「かたまりクラスタ」があるという集団状態であるので、図 1 3 で「複数のかたまりクラスタ（距離不均等）」と区画された中の 1 つの集団状態、「集団状態 9 」である。

【 0 0 9 2 】

ステップ S 1 0 3 で “ Y E S ” が判断されると、コンピュータ 1 4 は、ステップ S 1 0 5 で、先のステップ S 9 5 および S 1 0 1 と同様に、「はぐれクラスタ」、「かたまりクラスタ」およびオブジェクト（ロボット 1 0 ）の位置関係で集団状態を分類する。

10

【 0 0 9 3 】

図 1 3 を参照すればわかるように、「かたまりクラスタ」が 2 つでかつそれらの「かたまりクラスタ」のオブジェクトからの距離が等しくなくてしかも「+近はぐれ」とラベルが付された 1 つの「はぐれクラスタ」があるときには、そのときの集団状態は「集団状態 1 0 」である。ロボット 1 0 から距離不均等の 2 つ「かたまりクラスタ」がありかつ「+遠はぐれ」とラベルが付された 1 つの「はぐれクラスタ」があるときには、そのときの集団状態は「集団状態 1 1 」である。そして、距離不均等の 2 つの「かたまりクラスタ」と「+はぐれ」とラベルが付された 1 つの「はぐれクラスタ」とがあるときには、そのときの集団状態は「集団状態 1 2 」である。このようにして、2 つの距離不均等の「かたまりクラスタ」があるとき、すなわち、ステップ S 9 7 で “ N O ” を判断したとき、コンピュータ 1 4 は、集団状態 9 , 1 0 , 1 1 または 1 2 を推定する。

20

【 0 0 9 4 】

このシステムで推定可能な 1 2 の集団状態と各クラスタの状態とを表 1 で一覧できるようにした。

【 0 0 9 5 】

【表 1】

状態	内容
1	ひとかたまり
2	ひとかたまり+近はぐれ
3	ひとかたまり+遠はぐれ
4	ひとかたまり+はぐれ
5	複数かたまり (距離均等)
6	複数かたまり (距離均等) +近はぐれ
7	複数かたまり (距離均等) +遠はぐれ
8	複数かたまり (距離均等) +はぐれ
9	複数かたまり (距離不均等)
10	複数かたまり (距離不均等) +近はぐれ
11	複数かたまり (距離不均等) +遠はぐれ
12	複数かたまり (距離不均等) +はぐれ

30

40

【 0 0 9 6 】

ここまでで、図 1 に示す実施例の集団状態推定システム 1 0 0 において、ロボット 1 0 （オブジェクト）と同じ閉空間 1 0 1 内に存在する人間の集団状態を正しく推定できることを説明した。そして、このようにして推定した集団状態 1 - 集団状態 1 2 のいずれかを示すデータ（集団状態データ）は、図 5 のステップ S 9 で、時刻データとともに、データメモリ 1 5 b に格納される。それとともに、この集団状態データおよび時刻データは、コ

50

ンピュータ14が推定した集団状態を利用する装置、実施例ではロボット10に送信される。ロボット10では、そのようにして受信した集団状態データを自身のデータメモリ66bに一時的にストアする。なお、実施例では、集団状態データには、集団状態のデータだけでなく、各クラスタの位置(重心)データやそれらに含まれる反応点の位置データなども含むように意図している。したがって、集団状態データを参照すれば、そのときの集団状態だけでなく、「かたまりクラスタ」や「はぐれクラスタ」の個数や位置のデータ、および各反応点(要素)の個数や位置のデータがすべてわかるのである。

【0097】

図14は、コンピュータ14から、コンピュータ14が推定した集団状態のデータ(集団状態データ)を受信したロボット10が実行する集団注意制御動作の一例を示すフロー図である。ここで、この図14を参照して集団注意制御の一例を説明する。

10

【0098】

図14の最初のステップS121でオペレータによる停止命令を検出しなければ、ロボット10のプロセッサ62は、続くステップS123において、コンピュータ14から送信される集団状態データを受信したかどうか判断し、“NO”なら受信するまで待つ。“YES”なら、次のステップS125で、たとえば、データメモリ66bに設定されている注意制御フラグAを「0」にリセット(A=0)する。なお、この注意制御フラグAは、それがリセットされているときロボット10が集団に対して集団注意制御を実行する必要があることを示し、リセット(A=1)されているときたとえば、注意を向けた人に道案内や展示説明などの集団注意制御以外のサービスを提供すべきことを示す。

20

【0099】

ステップS127で、ロボット10のプロセッサ62は、データメモリ66bにストアしている集団状態データを参照して、「はぐれクラスタ」があるかどうか判断する。つまり、そのとき受信した集団状態データが図13に示す「集団状態1」、「集団状態5」および「集団状態9」以外を示す集団状態データであるかどうか判断する。ステップS127で“YES”の判断をしたとき、ロボット10のプロセッサ62は、ステップS129において、ロボット10の周囲に存在する人間に対して、「はぐれクラスタ」の解消を呼びかける音声メッセージ、たとえば、『みなさん、集まってください。』のような音声メッセージをスピーカ54(図3,図4)から出力して、終了する。

【0100】

30

ステップS127で“NO”が判断されたとき、つまり、そのときの集団状態データが図13に示す「集団状態1」、「集団状態5」および「集団状態9」のいずれかを示す集団状態データである場合、続くステップS131において、ロボット10のプロセッサ62は、「複数かたまり(距離不均等)」の状態、すなわち、「集団状態9」の状態かどうか判断する。“YES”なら、続くステップS133で、ロボット10のプロセッサ62は、「複数かたまり(距離均等)」の状態、すなわち、「集団状態5」の状態になるか、もしくは「ひとかたまり」になるような音声メッセージ、たとえば、『みなさん、こちらに寄ってください。』のような音声メッセージをスピーカ54から出力して、終了する。

【0101】

ステップS131で“NO”が判断されたとき、つまり、集団状態データが図13に示す「集団状態1」および「集団状態5」いずれか以外を示す集団状態データである場合、続くステップS135において、ロボット10のプロセッサ62は、ロボット10と各人との間の距離を計算し、各「かたまりクラスタ」毎に、ロボット10と人間との距離の分散を求める。そして、ロボット10のプロセッサ62は、次のステップS137で、上で計算した分散がD以上になる「かたまりクラスタ」が存在するかどうか、つまり、各「かたまりクラスタ」のなかで人間すなわち反応点が分散しているかどうか判断する。“YES”なら、たとえば、『みなさん、まとまってください。』のような音声メッセージを出力し、「かたまりクラスタ」がまとまるように呼びかけ、終了する。

40

【0102】

ステップS137で“NO”の判断をしたとき、ロボット10のプロセッサ62は、ステ

50

ップS 1 4 1に進み、このステップS 1 4 1で、必要に応じて、たとえば、『みなさん、もう少し離れてください。』あるいは『みなさん、もう少し近くに来てください。』『みなさん、こっち向いてください。』とか『みなさん向こう（または右または左など）を見てください。』などという適宜の音声メッセージを出力することで集団注意制御を実行して、ロボット10と人間との間の距離や人々の顔の向きなどを一斉に制御する。

【0103】

ただし、上述のような音声メッセージによる以外に、たとえば、モータ制御ボード68に制御データを出力することによって右腕モータ78や左腕モータ80（いずれも図4）を制御して、右腕または左腕で「指さし」動作を行って、集団注意制御を行うようにしてもよい。あるいは、モータ制御ボード68に制御データを出力することによって頭部モータ82（図4）を制御して、「首かしげ」動作を行って、集団注意制御を行うようにしてもよい。さらには、モータ制御ボード68に制御データを出力することによって右眼球モータ74および左眼球モータ76（図4）を制御して、「目配せ」動作を行って、集団注意制御を行うこともできる。つまり、集団注意制御は任意の音声やジェスチャで実行することができる。

10

【0104】

ステップS 1 4 1で集団注意制御を行った後には、ロボット10のプロセッサ62は、ステップS 1 4 3で注意制御フラグAを再びセット（A = 1）して、プロセスを終了する。

【0105】

この実施例によれば、コンピュータ14で集団状態を正しく推定できるので、ロボット10はそのときの集団状態に適合した集団注意制御を適正に行うことができる。

20

【0106】

なお、上述の実施例ではコンピュータ14が集団状態を推定し、その集団状態推定動作によって得られた集団状態データをコンピュータ14からロボット10に転送し、ロボット10がその集団状態に応じた集団注意制御を行うものとして説明した。しかしながら、コンピュータ14はロボット10に単に床センサ18の反応点データ（座標データ）を送るだけで、ロボット10自身がその座標データを用いて上で説明したアルゴリズムに従って集団状態を推定するようにしてもよいことは勿論である。

【0107】

実施例でロボット10がその周囲の人間に対して集団注意制御を実行したが、逆に、ロボット10ではなく、コンピュータ14やあるいは他の装置や手段で、推定した集団状態に応じて集団注意制御を実行することもできる。

30

【0108】

上述の実施例では、コンピュータ14が推定した集団状態のデータを用いてロボット10（あるいは他の装置、手段）が集団注意制御を行う実施例について説明した。しかしながら、集団状態の推定結果はこのような集団注意制御以外に、たとえば、図15にフロー図を示すアクティブセンシングなどにも有効に利用できる。

【0109】

図15の最初のステップS 1 5 1でオペレータによる停止命令を検出しなければ、ロボット10のプロセッサ62は、続くステップS 1 5 3において、コンピュータ14から送信される集団状態データを受信したかどうか判断し、“NO”なら受信するまで待つ。“YES”なら、次のステップS 1 5 5で、たとえば、データメモリ66bに記憶されている集団状態データを参照して、そのとき「はぐれクラスタ」があるかどうか判断する。つまり、そのとき受信した集団状態データが図13に示す「集団状態1」、「集団状態5」および「集団状態9」以外を示す集団状態データであるかどうか判断する。“YES”のとき、ロボット10のプロセッサ62は、次のステップS 1 5 7で、自身はその「はぐれクラスタ」に注目したいかどうか判断する。たとえば、コンピュータ14によって「はぐれクラスタ」を注目すべき指令がロボット10に与えられているときなど、ステップS 1 5 7で“YES”となり、次のステップS 1 5 9に進む。

40

【0110】

50



ステップS 1 5 9では、集団状態データに含まれる「はぐれクラスタ」の重心位置を示す位置データを参照して、その位置の方向に眼カメラ60が向くように、モータ制御ボード68に制御データを送り、眼球モータ74, 76を駆動する。つまり、「はぐれクラスタ」の位置に対してセンシングを行う。

【0111】

ステップS 1 5 5およびS 1 5 7でともに“NO”と判断したとき、ロボット10のプロセッサ62は、次のステップS 1 6 1において、そのときの集団状態データを参照して、複数の「かたまりクラスタ」が存在するかどうか、判断する。「はぐれクラスタ」がなくて複数の「かたまりクラスタ」がある集団状態は、集団状態1か集団状態5か集団状態9のいずれかである。したがって、このステップS 1 6 1では結局、集団状態1, 集団状態5および集団状態9のいずれかであるかどうか判断していることになる。“NO”なら、そのときの集団状態は集団状態1(1つの「かたまりクラスタ」だけが存在する。)であり、ロボット10のプロセッサ62は、続くステップS 1 6 3で、上述の方法と同様にして眼カメラ60を制御して、その「かたまりクラスタ」の位置に対してセンシングを行う。

10

【0112】

ステップS 1 6 1で“YES”の判断をしたときには、そのときの集団状態は、集団状態5か集団状態9のいずれかであり、続くステップS 1 6 5でロボット10のプロセッサ62は、それぞれの「かたまりクラスタ」とオブジェクト(ロボット10)との距離が一定化どうか、つまり、集団状態5かどうか判断する。集団状態5であるとき、ロボット10のプロセッサ62は、集団状態データに含まれるクラスタデータを参照して、ステップS 1 6 7で、2つの「かたまりクラスタ」のうちどちらか人数の多い「かたまりクラスタ」に対してセンシングを行う。

20

【0113】

ただし、ステップS 1 6 5で“NO”の判断をしたとき、つまり、集団状態が「9」のときには、ステップS 1 6 9で、コンピュータ14は、集団状態データに含まれるクラスタ位置データに基づいて、ロボット10に近いほうの「かたまりクラスタ」をセンシングする。

【0114】

この実施例によれば、コンピュータ14で集団状態を正しく推定できるので、ロボット10はそのときの集団状態に適合したアクティブセンシングを適正に行うことができる。

30

【0115】

なお、上述の実施例ではコンピュータ14が集団状態を推定し、その集団状態推定動作によって得られた集団状態データをコンピュータ14からロボット10に転送し、ロボット10がその集団状態に応じたアクティブセンシングを行うものとして説明した。しかしながら、コンピュータ14はロボット10に単に床センサ18の反応点データ(座標データ)を送るだけで、ロボット10自身がその座標データを用いて上で説明したアルゴリズムに従って集団状態を推定し、その上でアクティブセンシングをするようにしてもよいことは勿論である。

【0116】

逆に、ロボット10によってではなく、コンピュータ14あるいは他の手段や装置で、推定した集団状態に応じたアクティブセンシングを実行することもできる。

40

【0117】

また、アクティブセンシングの手法も、カメラを向けるだけでなく、カメラの解像度を变化させる方法、あるいはその方向に音声マイクを向けて音声を高感度で取得するなど任意の方法が考えられる。

【0118】

上述の実施例ではロボット10を取り巻く人間の集団状態を集団状態1 12のいずれかであるか推定するようにした。しかしながら、図16 18に示すこの発明の他の実施例に従って、分類すべき集団状態をたとえば、「整然とした」状態または「雑然とした」状態の2種類だけとし、それによって種々の制御、たとえば、集団注意制御などに適用する

50

ことも考えられる。ただし、「整然とした」状態とは、人々がロボットを中心にして集まり、かつ多くの人間にロボットが情報提供を行うのに適した状態をいい、「雑然とした」状態とは、人間がロボットを中心を集まっていない状態やロボットが人々に対して情報提供を行う上で適していない状態のことである。

【0119】

2分類の実施例においても、基本的には、システムは図1に示す構成をとり、図3および図4に示すロボット10を用い、図2に示すように配置した多数の床センサを用いてロボットや人間の位置情報を取得する。そして、上述の方法と同様の方法でクラスタリングを行い、それによって種々の特徴量を求め、その特徴量をたとえば、SVM (Support Vector Machine) (Christianini, J., Shawe-Taylor, J.著(大北剛訳)「サポートベクターマシン入門」、共立出版2005)のような2状態分類器で上記2つの状態に分類する。ただし、この実施例では、SVMはコンピュータ14が持っているものとし、ロボット10はコンピュータ14が判別した2状態のデータを受け取り、集団注意制御などのように種々のサービスを人間に対して提供する。

10

【0120】

図16を参照して、最初のステップS171でオペレータによる停止命令を検出しなければ、コンピュータ14は、続くステップS173において、ロボット10の位置情報を用いて床センサからロボット10の反応を消去する。これは床センサ18の反応点がロボットのものか人間のものを混同しないようにするための工夫であるが、先の実施例と同様に、このステップを省略してもよい。

20

【0121】

次のステップS175で、コンピュータ14は、先に図8を参照して詳細に説明したと同じ手法を用いて床センサに対する反応点をクラスタリングする。ただし、説明は繰り返さない。

【0122】

続くステップS177で、コンピュータ14は、床センサの反応点数の割合FNを(9)式に従って、計算する。

[数9]

$$FN = m / n \quad \dots (9)$$

ただし、nは床センサの総数(図2)であり、mは反応している点数である。

30

【0123】

続くステップS179でコンピュータ14は、各クラスタC1-Ccを構成する反応点(要素)とロボット10との間の距離平均 $\mu_i$  ( $i = 1, \dots, c$ )を計算する。ただし、cはクラスタ数である。

【0124】

ロボット10に対して集団が扇状に並んでいるときの模式図である図17に示す、クラスタAに属する反応点数をl(エル)としたとき、クラスタAに属する反応点をA1, ..., Alとする。それぞれの反応点は先に説明したようにx-y座標で表される。反応点の座標をA1x, A1y, ..., Alx, Alyとし、ロボット10の座標をRx, Ryとすると、ロボット10と反応点A1との距離Dist(A1)は(10)式で与えられる。

40

【0125】

【数10】

$$Dist(A1) = \sum_{i=1}^l \sqrt{(Rx - A1x)^2 + (Ry - A1y)^2} \quad \dots (10)$$

【0126】

そして、クラスタAとロボット10との距離平均 $\mu_A$ は、(11)式で算出できる。

【0127】

【数 1 1】

$$\mu A = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \text{Dist}(Ai) / l \quad \dots(11)$$

【0 1 2 8】

次のステップ S 1 8 1 で、コンピュータ 1 4 は、ステップ S 1 7 9 で求めた距離平均の標準偏差  $\sigma_i$  ( $i = 1, \dots, l$ ) を、(12) 式に従って計算する。つまり、クラスタ A とロボットとの距離平均の標準偏差  $\sigma_A$  は(12)式で計算できる。

【0 1 2 9】

10

【数 1 2】

$$\sigma A = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^l (\mu A - \text{Dist}(Ai))^2 / l \right)} \quad \dots(12)$$

【0 1 3 0】

ついで、コンピュータ 1 4 は、ステップ S 1 8 3 で、各クラスタの重心を計算する。ただし、前述のように重心データがクラスタデータに含まれている場合には、このステップ S 1 8 3 を省略できる。クラスタ A の重心を図 1 7 に示す。クラスタ A の重心  $G(CA)$  は(13)式を使って計算される。

20

【0 1 3 1】

【数 1 3】

$$G(CA)_x = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l Aix / l$$

$$G(CA)_y = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l Aiy / l \quad \dots(13)$$

【0 1 3 2】

30

さらにコンピュータ 1 4 は、ステップ S 1 8 5 で、ロボット 1 0 の正面方向と各クラスタの重心との角度  $\theta_i$  ( $i = 1, \dots, l$ ) を計算する。角度  $\theta_A$  (図 1 7) は(14)式で与えられる直線の角度となる。

【0 1 3 3】

【数 1 4】

$$Y = \frac{Rx - G(CA)_x}{Ry - G(CA)_y} \quad \dots(14)$$

【0 1 3 4】

床センサの総反応点数  $m$  およびクラスタ数  $C$ 、ならびに上述の各ステップで計算した  $F$ 、 $N$ 、距離平均  $\mu_i$ 、その標準偏差  $\sigma_i$ 、クラスタの重心  $G_i$  および角度  $\theta_i$  などのすべてのデータは、そのつど、コンピュータ 1 4 のデータメモリ 1 5 b (図 1) に特徴量を示すデータとして記憶され保持される。

40

【0 1 3 5】

したがって、図 1 8 のステップ S 1 9 1 では、データメモリ 1 5 b からこれらのデータを取得することで、実行される。つまり、この実施例で SVM を用いて 2 分類判別モデルを作成するために、床センサの総反応点数  $m$ 、クラスタ数  $C$ 、クラスタを構成する反応点とロボットとの距離平均  $\mu_i$ 、その標準偏差  $\sigma_i$ 、クラスタの重心  $G$  とロボット正面との角度  $\theta_i$  の各特徴量を教師データとして用いる。距離平均、標準偏差、角度に関しては反応点が多い上位 3 つのクラスタに対してそれぞれ求めたため、特徴量は、計 1 1 個 (=

50

$1 + 1 + (3 \times 3)$  ) である。

【0136】

図17において、クラスAを構成する反応点数 $l$  (エル)、1個目の反応点 $A_1$ とロボットとの距離を $Dist(A_1)$ とすると、ロボットとクラスAを構成するすべての反応点との距離平均 $\mu_A$ は上述の(11)式で表される。そして、ロボットとクラスAのすべての反応点との距離平均の標準偏差 $\sigma_A$ は、上述の(12)式で表される。ロボットの正面方向とクラスAの重心との角度 $\theta_A$ は図17に示すとおりである。

【0137】

床センサの総反応点数とクラス数は、ロボットの周辺にどれだけ人間や集団が存在しているかを表して、距離平均 $\mu$ 、標準偏差、角度 $\theta$ は、集団がロボットに対してどのような形になっており、またどのような位置関係にあるかを表している。これらの特徴量を教師データとして用いることで、2分類判別モデルを作成し、他の実施例での集団状態推定を行う。

10

【0138】

発明者等の実験では、駅の構内に床センサを敷設し、その上にたとえば、図3に示すようなRobovie (商品名)のようなコミュニケーションロボットを置き、駅の利用者がロボットと自由に相互作用を行えるようにしておいた。

【0139】

ロボットの周囲に存在する人々の集団状態を評定する者に対して映像を提示するために、6台のカメラでこの実験の様子を録画し、その映像、ロボットの位置、角度、床センサの出力などはすべてデータベース16 (図1)に保存した。

20

【0140】

実験では、ロボットの周囲に複数の人間が集まる状況が多数観察された。それらの状況の中には、人々がロボットの周囲に扇状に並ぶ場面や、人々が縦列に並ぶ場面が混在していた。

【0141】

このような実験で取得したデータから、教師データを作成した。まず、録画した映像を観察し、ロボットと相互作用している人間が2秒以上静止している場面の切り出しを行った。切り出した177場面の映像を2人の評定者に提示し、「整然とした」か「雑然とした」のどちらかの状態に分類させた。評定者らには「整然とした」状態がロボットが情報提供を行う上で望ましい状態であることを予め伝えておいた。

30

【0142】

2人の評定者の判断の一致度合いを測る尺度として統計量を用いた。統計量は、一般に、2人の評定者間の一致度を測る尺度として用いられ、 $\kappa = 0.40$ であれば中程度の、 $\kappa = 0.60$ であればかなりの一致を示すとされている。実験を通じて算出した統計量は $0.49$ であった。

【0143】

評定者間で意見が異なった場面数は44であった。また、意見が一致した場面の中から特徴量を計算するに必要な床センサ出力が欠落していたものを省くと、「整然とした」状態の数が36、「雑然とした」状態の数が72であった。そのうち実験の1週目で獲得した18の「整然とした」状態と36の「雑然とした」状態とを教師データの作成に利用した。

40

【0144】

教師データの作成には、上述の特徴量を用いるが、「雑然とした」状態の教師データ作成には、各場面における1秒分の床センサ出力を利用して特徴量を計算した。「整然とした」状態は「雑然とした」状態の半分(36に対する18)であることから、データ数を等しくするために、各場面における2秒分の床センサ出力を利用して特徴量を計算した。

【0145】

また、床センサの出力をx軸方向、y軸方向、x-y軸方向にそれぞれ反転させることで、ダミーデータを作成した。これらの手順を経て、実験で用いた最終的な教師データの

50

数は各状態ともに720となった。

【0146】

判別モデルの性能を検証するためのテストデータには、実験の2週目で取得した計54データを用い、それらのデータに対して教師データ作成時と同様に、ダミーデータを作成することで、最終的なテストデータは各状態とも720になった。

【0147】

SVMを用いて2状態判別モデルを作成するためのライブラリとして、LIBSVM (Chang, C.C., and Lin, C.J., "LIBSVM: Introduction and Benchmarks," <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>)を用いた。このライブラリは各種パラメータを変えることによって、判別モデルの性能を変化させることができる。そこで実験では、 $\gamma$ 、Cost、Weightの3パラメータを表2に示す範囲内でそれぞれ変化させ、教師データに対する集団状態推定精度が平均で90%程度に収まるものを判別モデルとして採用した。判別率が100%になるパラメータも設定可能であるが、過学習による汎化性能の低下を防ぐために、そのモデルは利用しないこととした。

10

【0148】

【表2】

	最小値	最大値	増加量
$\gamma$	1	2	1
Cost	10	100	10
Weight	-2	2	1

20

【0149】

上述のようにして設計した2状態判別モデルによって教師データを判別した結果、「整然とした」状態を87.9%、「雑然とした」状態を93.2%の精度で推定することができた。この判別モデルのパラメータは、 $\gamma = 2$ 、Cost = 100、Weight = 2であった。

【0150】

このような手順で作成したモデルによる教師データとテストデータの推定精度は、テストデータでは「整然とした」状態を84.6%、「雑然とした」状態を76.3%の精度で推定できた。

30

【0151】

このようにして、図18のステップS193で、上述の2分類判別モデルを用いてそのときの特徴量から、「整然とした」状態か「雑然とした」状態か判別できる。そして、このような判別結果(集団状態データ)をコンピュータ14からロボット10に送信する。

【0152】

そして、そのような集団状態データを受信したロボット10は、そのときの集団状態に応じて、たとえば集団注意制御の仕方など、その振る舞いを変更することができ、より円滑な集団との相互作用を実現できる。なお、集団注意制御の具体的な方法は任意で、ロボット10が音声やジェスチャで行なう場合のほか、コンピュータ14や他の手段もしくは装置が他の媒体を用いて行なう場合も考えられる。また、同様に、このように推定した2つの状態に応じて、たとえばロボット10、コンピュータ14などによって上述のようなアクティブセンシングを施すことができる。

40

【0153】

なお、上述の実施例ではいずれも、オブジェクトやその周囲の人間の位置データを取得するために床センサを用いた。床センサはオクルージョンや環境光の変化などの外乱による影響を受けないので安定した動作が期待できる点で優位であるが、その他に、部屋101の天井に設けた天井カメラで撮影した画像データからロボットや人間の位置を特定するようにしてもよく、パッシブタグを各人が持ち、部屋101内に分布して受信機を配置す

50

ることによっても（あるいはその逆でも）、人間の位置を検出することができる。

【0154】

さらに、実施例ではオブジェクトがコミュニケーションロボット10である場合について説明した。しかしながら、オブジェクトとしては、他に、たとえば博物館などでの展示物など、人間と同一平空間にありかつ人間の集団がその周囲に存在する可能性のある、任意の物、人などが考えられる。

【図面の簡単な説明】

【0155】

【図1】図1はこの発明の集団状態認識システムの一実施例を示す図解図である。

【図2】図2は図1の実施例が適用される閉空間（部屋）とそれに敷設した床センサ（ $S_1, \dots, S_n$ ）を示す図解図である。

【図3】図3は図1の実施例に含まれるコミュニケーションロボットの外観を正面から見た図解図である。

【図4】図4は図1に示すコミュニケーションロボットの電氣的な構成を示すブロック図である。

【図5】図5は図1の実施例のコンピュータ14における集団状態推定動作を示すフロー図である。

【図6】図6は図5におけるステップS5（反応点のx-y変換）の動作を詳細に示すフロー図である。

【図7】図7は図5におけるステップS7（集団状態推定）の動作の一部を詳細に示すフロー図である。

【図8】図8は図7におけるステップS35（クラスタリング）の動作を詳細に示すフロー図である。

【図9】図9はクラスタリングの際のクラスタ間距離を示す図解図である。

【図10】図10は図7におけるステップS37（クラスタ分類）の動作を詳細に示すフロー図である。

【図11】図11は図5におけるステップS7（集団状態推定）の最後の動作を詳細に示すフロー図である。

【図12】図12は図11において「はぐれクラスタ」が「+近はぐれ」、「+遠はぐれ」、「+はぐれ」のいずれに該当するかを決定する動作を示すフロー図である。

【図13】図13は図11に示す集団状態推定プログラムによって推定した状態と「かたまりクラスタ」や「はぐれクラスタ」の関係を示す図解図である。

【図14】図14はコンピュータ14から集団状態データを受信したロボット10が実行する集団注意制御の動作の一例を示すフロー図である。

【図15】図15はコンピュータ14から集団状態データを受信したロボット10が実行するアクティブセンシングの動作の一例を示すフロー図である。

【図16】図16はこの発明の他の実施例においてコンピュータ14が特徴量を計算するときの動作の一例を示すフロー図である。

【図17】図17はクラスタの重心とロボットの正面方向との角度を図解する図解図である。

【図18】図18は図16で取得した特徴量を2状態判別モデルで判別するときの動作を示すフロー図である。

【符号の説明】

【0156】

- 100 ... 集団状態推定システム
- 101 ... 部屋（閉空間）
- 10 ... コミュニケーションロボット
- 14, 62 ... コンピュータ
- 15a, 66a ... プログラムメモリ
- 15b, 66b ... データメモリ

10

20

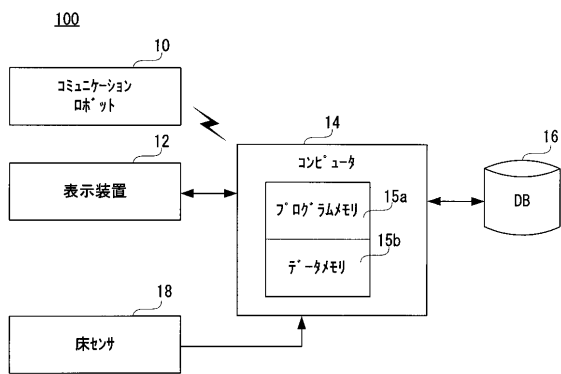
30

40

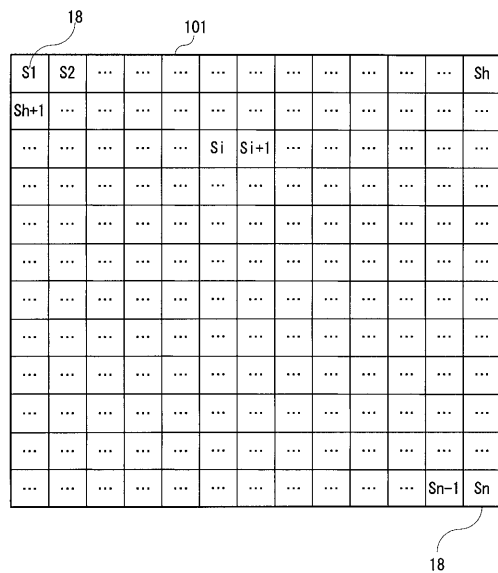
50

1 8 ...床センサ

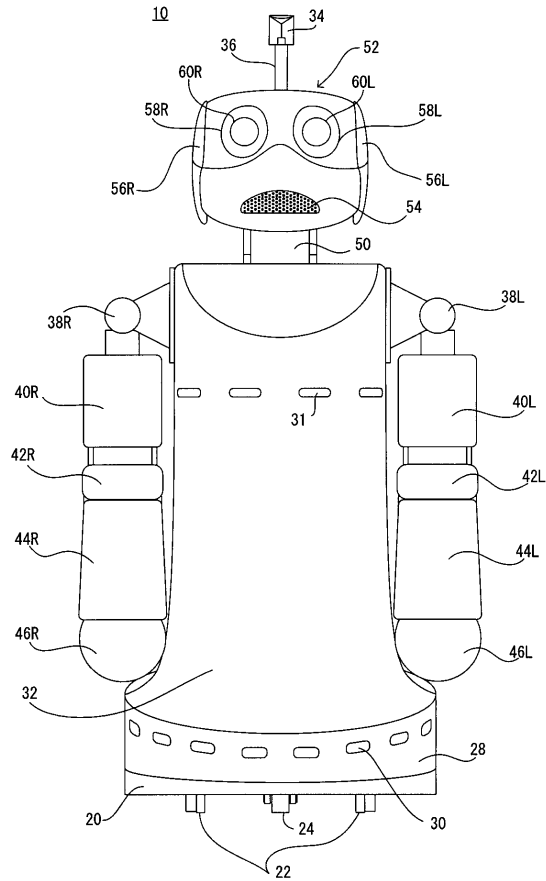
【図1】



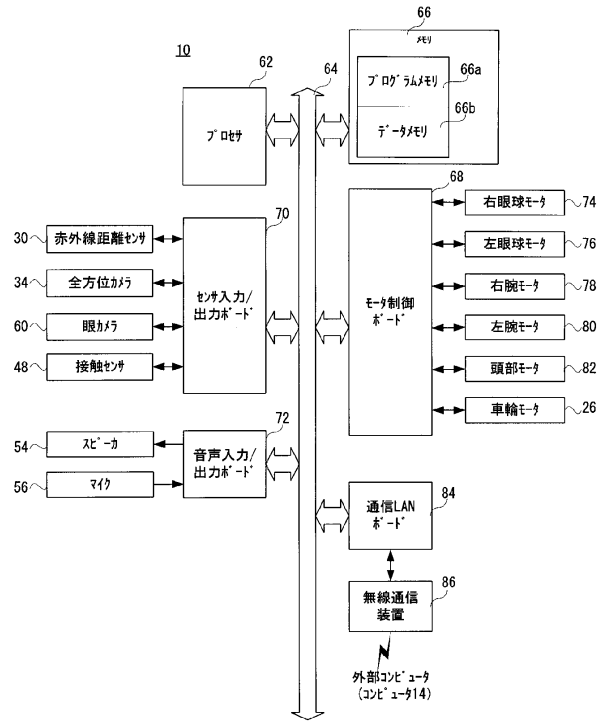
【図2】



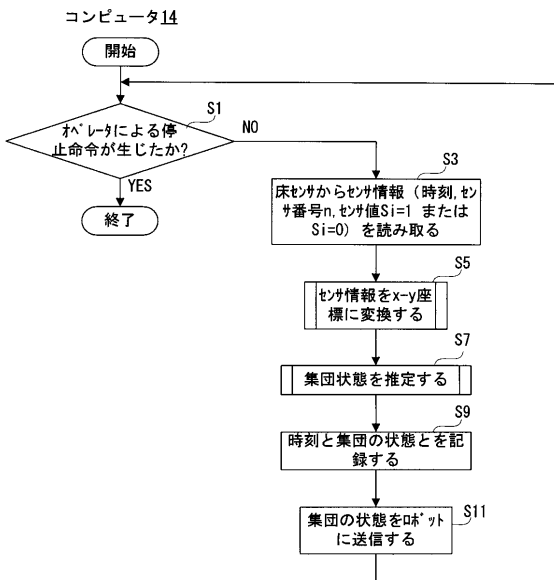
【図3】



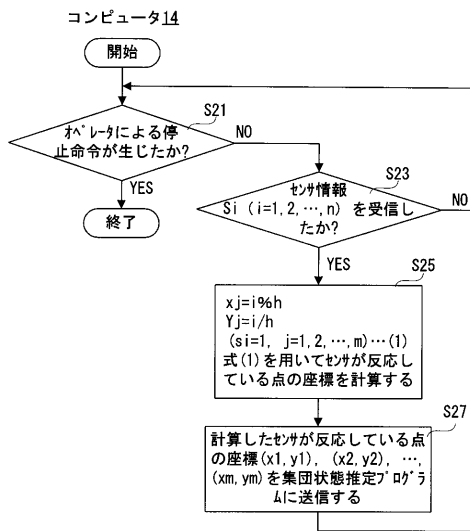
【図4】



【図5】

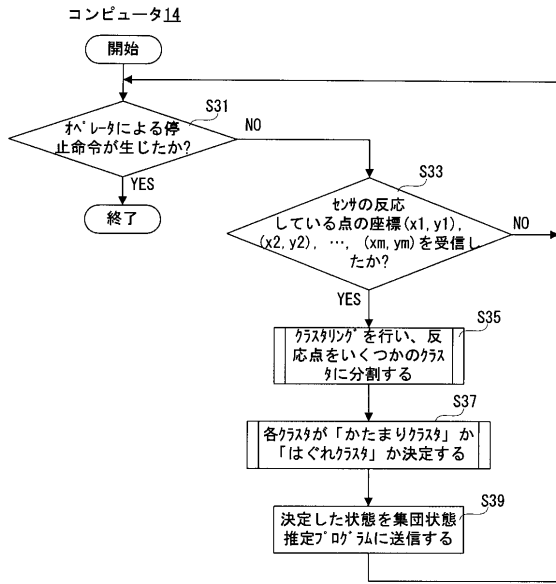


【図6】

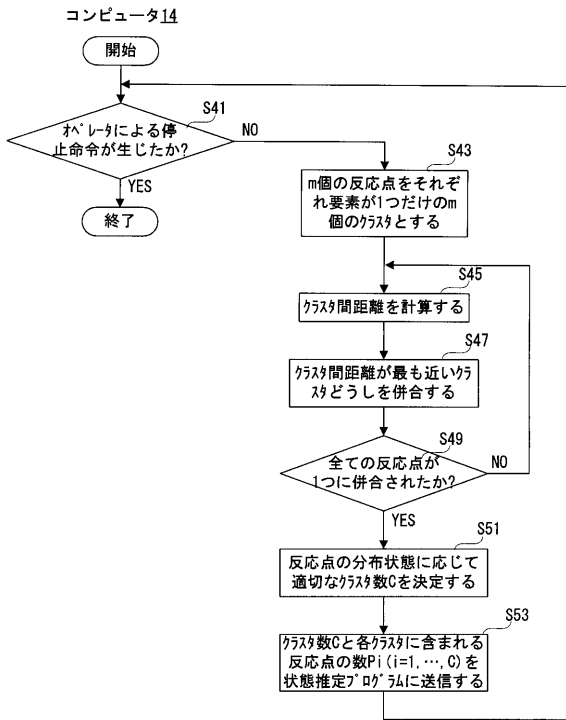




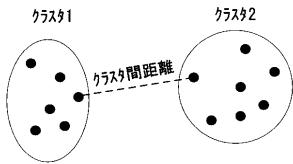
【図7】



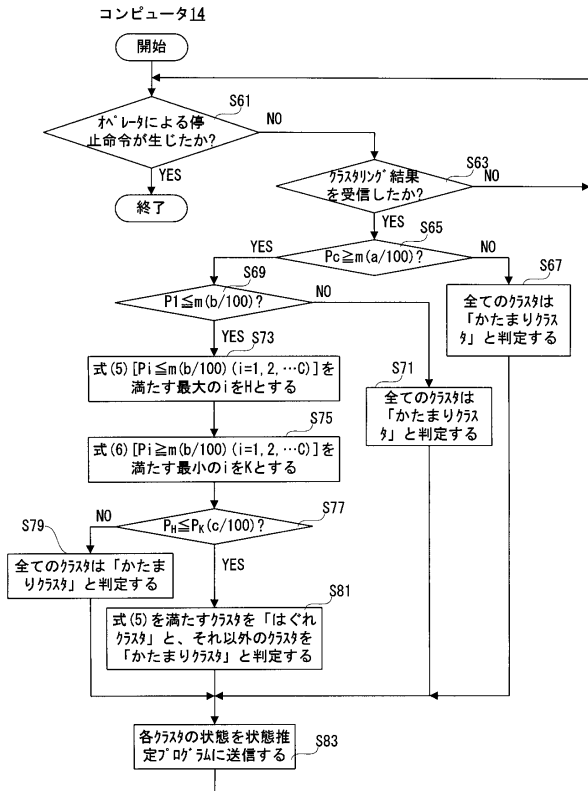
【図8】



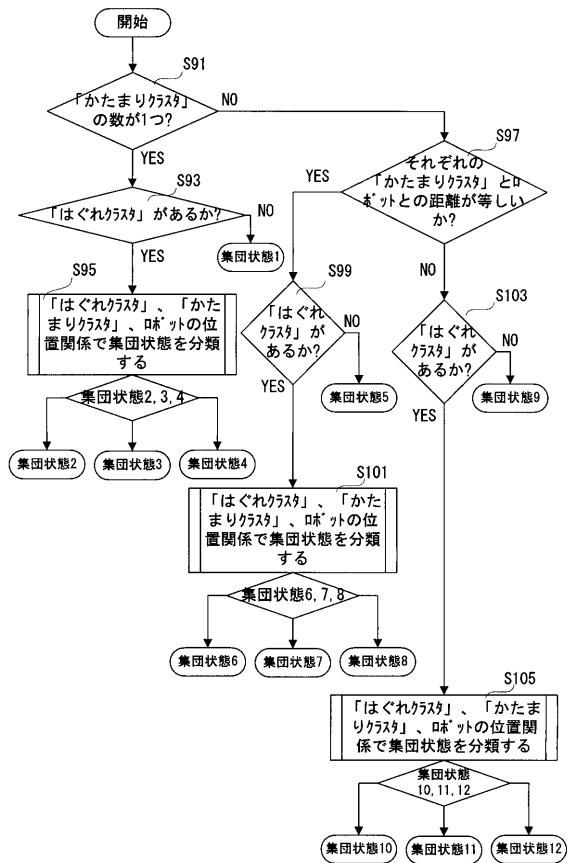
【図9】



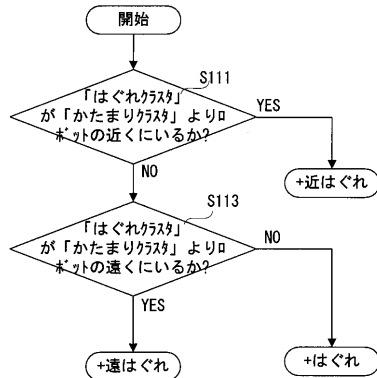
【図10】



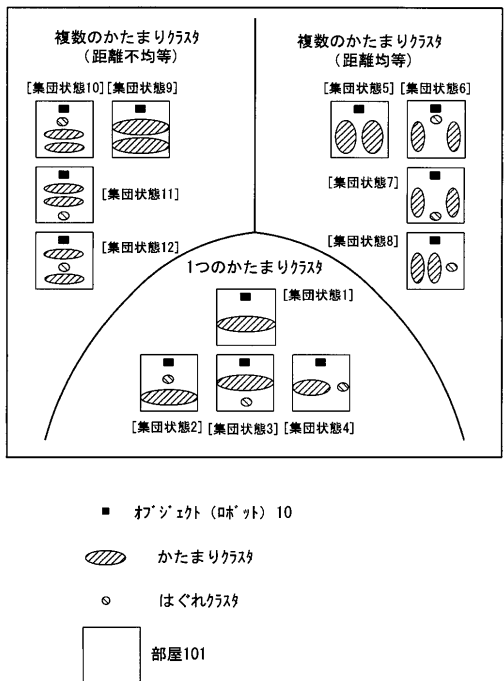
【図11】



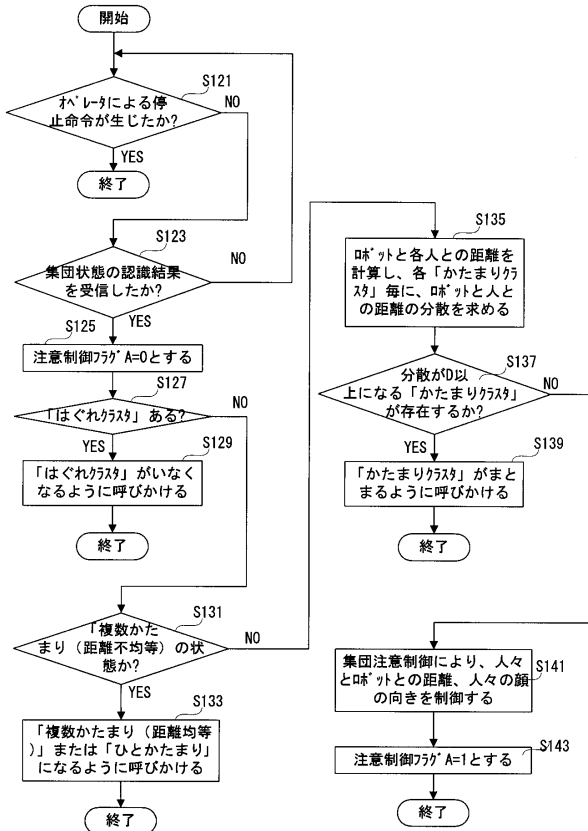
【図12】



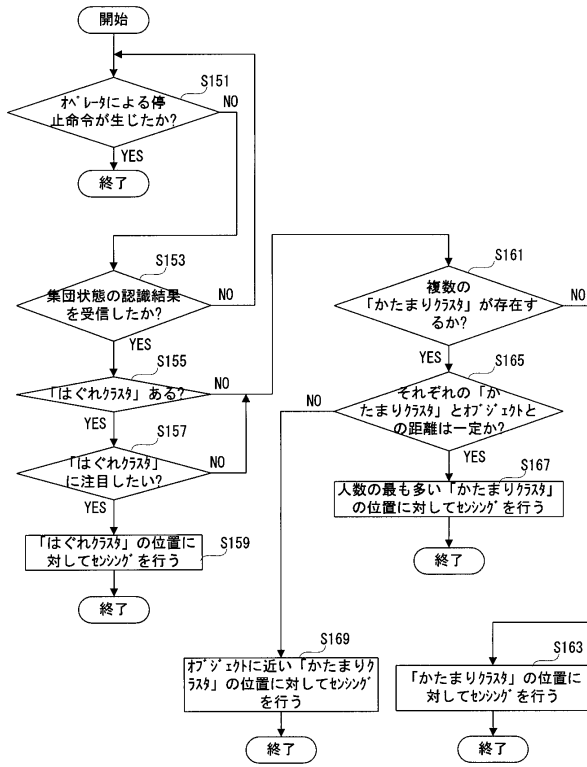
【図13】



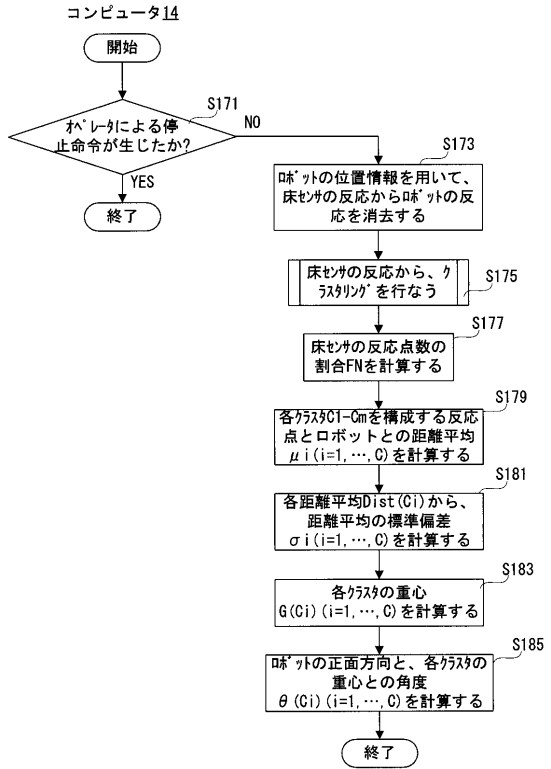
【図14】



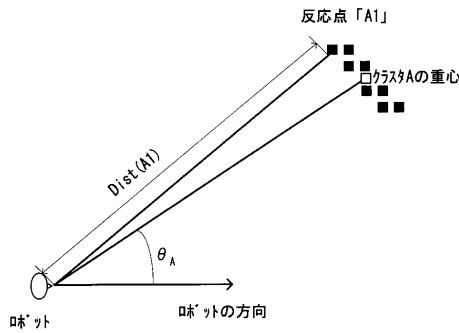
【図15】



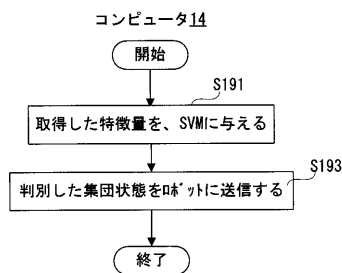
【図16】



【図17】



【図18】



## フロントページの続き

- (72)発明者 神田 崇行  
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
- (72)発明者 萩田 紀博  
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

審査官 新井 寛

- (56)参考文献 特開平10-260485(JP,A)  
特開平06-160507(JP,A)  
特開平08-161292(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G06N 3/00