

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4586138号
(P4586138)

(45) 発行日 平成22年11月24日(2010.11.24)

(24) 登録日 平成22年9月17日(2010.9.17)

(51) Int.Cl.		F I			
G06T	7/00	(2006.01)	G06T	7/00	150
B25J	19/02	(2006.01)	B25J	19/02	
G06T	7/60	(2006.01)	G06T	7/60	150C

請求項の数 5 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-103991 (P2004-103991)</p> <p>(22) 出願日 平成16年3月31日(2004.3.31)</p> <p>(65) 公開番号 特開2005-292972 (P2005-292972A)</p> <p>(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)</p> <p>審査請求日 平成19年1月15日(2007.1.15)</p> <p>(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願(平成15年度通信・放送機構、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条の適用を受けるもの)</p> <p>特許権者において、実施許諾の用意がある。</p> <p>前置審査</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 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</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】 ロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボットの周囲に存在する対象物を検出するために、ロボットの周囲をセンシングしてそれぞれ異なる情報を取得する複数のセンサ、

前記各センサから出力された各センサデータを取り込む取り込み手段、

前記各センサデータに基づいて、センサ毎に、対象物が存在すると推定する、ロボット座標系の正面に対する角度を示す存在確信度分布を算出する第1算出手段、

前記センサ毎の存在確信度分布から統合存在確信度分布を算出する第2算出手段、および

前記統合存在確信度分布に基づいて、前記各センサデータを取り込むサンプリング領域を決定する決定手段を備える、ロボット。

【請求項2】

前記決定手段は、前記第2算出手段によって算出された統合存在確信度分布を正規化する正規化手段を含み、前記正規化手段によって正規化された統合存在確信度分布に基づいて、前記サンプリング領域を決定する、請求項1記載のロボット。

【請求項3】

前記決定手段は前記統合存在確信度分布が閾値を超える一部の領域を抽出する、請求項2記載のロボット。

【請求項4】

前記決定手段は、前記抽出した領域にMCMCに従ってサンプリング点を割り当て、前

10

20

記サンプリング領域はこのようにして割り当てられたサンプリング点を包含する領域である、請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載のロボット。

【請求項 5】

ロボットの周囲に存在する対象物を検出するために、ロボットの周囲をセンシングしてそれぞれ異なる情報を取得する複数のセンサを備えるロボットのプロセサを、

前記各センサから出力された各センサデータを取り込む取り込み手段、

前記各センサデータに基づいて、センサ毎に、対象物が存在すると推定する、ロボット座標系の正面に対する角度を示す存在確信度分布を算出する第 1 算出手段、

前記センサ毎の存在確信度分布から統合存在確信度分布を算出する第 2 算出手段、および

前記統合存在確信度分布に基づいて、前記各センサデータを取り込むサンプリング領域を決定する決定手段として機能させる、ロボットの対象物認識プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、対象物認識装置に関し、特にたとえば、所定領域内に存在する対象物をセンサからの検知情報に基づいて認識する、対象物認識装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来この種の装置の一実施例が、特許文献 1 に開示されている。この従来技術は、超音波センサ、イメージセンサおよび IR センサを用いて、障害物（対象物）を回避しながら、予め決められた経路で目的地に移動しようとするものである。

【特許文献 1】特開 2001-129787 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかし、対象物の検知範囲を高めるには、より多くのセンサを用いて全方位を監視する必要がある。その一方、全てのセンサからの出力の評価基準と同じにしたのでは、負担が大きすぎる。つまり、周囲に存在する対象物を認識するにあたって、全てのセンサの出力を公平に評価すると、そのセンサ出力を処理するコンピュータに多大の労力がかかり、リアルタイムの認識は不可能である。

【0004】

それゆえに、この発明の主たる目的は、対象物の認識に要するコンピュータの処理量を軽減し、対象物を頑健に認識することを可能とした、対象物認識装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

請求項 1 の発明は、ロボットの周囲に存在する対象物を検出するために、ロボットの周囲をセンシングしてそれぞれ異なる情報を取得する複数のセンサ、各センサから出力された各センサデータを取り込む取り込み手段、各センサデータに基づいて、センサ毎に、対象物が存在すると推定する、ロボット座標系の正面に対する角度を示す存在確信度分布を算出する第 1 算出手段、センサ毎の存在確信度分布から統合存在確信度分布を算出する第 2 算出手段、および統合存在確信度分布に基づいて、各センサデータを取り込むサンプリング領域を決定する決定手段を備える、ロボットである。

【0006】

領域内に存在する対象物は互いに異なる種類の複数のセンサによって検知され、複数のセンサから出力された互いに異なる種類のセンサデータは取り込み手段によって取り込まれる。第 1 算出手段は、互いに異なる種類のセンサデータに基づいて、領域内における対象物の存在の確からしさを示す複数の存在確信度分布を算出する。第 2 算出手段は、複数の存在確信度分布から統合存在確信度分布を算出する。決定手段は、統合存在確信度分布

10

20

30

40

50

に基づいて、取り込み手段によって取り込むべきセンサデータをロボット座標系における角度範囲で示すサンプリング領域として決定する。

【0007】

サンプリング領域が決められると、認識に必要な処理量が抑制される。また、対象物の統合存在確信度に基づいてサンプリング領域が決められるため、次の瞬間に重要であると予測されるセンサデータが効率よく取得でき、認識の精度が向上する。この結果、対象物を頑健に認識することができる。

【0008】

請求項2の発明は、決定手段は、第2算出手段によって算出された統合存在確信度分布を正規化する正規化手段を含み、正規化手段によって正規化された統合存在確信度分布に基づいて、前記サンプリング領域を決定する、請求項1記載のロボットである。

10

【0009】

請求項3の発明は、決定手段は統合存在確信度分布が閾値を超える一部の領域を抽出する、請求項2記載のロボットである。

【0010】

請求項4の発明は、決定手段は、抽出した領域にMCMC(Markov Chain Monte Carlo: マルコフ連鎖モンテカルロ法)に従ってサンプリング点を割り当て、前記サンプリング領域はこのようにして割り当てられたサンプリング点を包含する領域である、請求項1ないし3のいずれかに記載のロボットである。

20

【0011】

請求項5の発明は、ロボットの周囲に存在する対象物を検出するために、ロボットの周囲をセンシングしてそれぞれ異なる情報を取得する複数のセンサを備えるロボットのプロセッサを、各センサから出力された各センサデータを取り込む取り込み手段、各センサデータに基づいて、センサ毎に、対象物が存在すると推定する、ロボット座標系の正面に対する角度を示す存在確信度分布を算出する第1算出手段、センサ毎の存在確信度分布から統合存在確信度分布を算出する第2算出手段、および統合存在確信度分布に基づいて、各センサデータを取り込むサンプリング領域を決定する決定手段として機能させる、ロボットの対象物認識プログラムである。

【0012】

請求項6の発明に従うロボットは、請求項1から請求項5のいずれかの対象物認識装置を備え、共通座標系がロボット座標系であり、特定方向がロボットの正面である。

30

【発明の効果】

【0013】

この発明によれば、対象物の存在位置は、複数の部分領域に対応する部分検知情報の一部に基づいて認識される。これによって、認識に必要な処理量が抑制される。また、複数の部分領域は、対象物の存在確信度が増大するほど領域サイズが拡大するように規定される。これによって、不必要な個所の認識精度は落とし、必要な個所のみを認識精度のみを高めているので、コンピュータの処理量を増大することなく対象物を頑健に認識することができる。

【0014】

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る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

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10は、対象物である人間12を頑健に認識しかつ追跡するロボットである。

40

【0016】

この実施例で適用されるロボット10を、図2に示す外観図および図3に示す内部構成図を用いて詳細に説明する。ロボット10は、台車16を含み、この台車16の下面には、このロボット10を自律移動させる車輪18が設けられる。この車輪18は、車輪モーター

50

タ系 7 4 によって駆動され、台車 1 6 すなわちロボット 1 0 を前後左右任意の方向に動かすことができる。

【 0 0 1 7 】

台車 1 6 の上には、多角形柱のセンサ取付パネル 2 0 が設けられる。センサ取付パネル 2 0 は 3 6 個の面を有し、各々の面に超音波距離センサ 2 2 が取り付けられる。超音波距離センサ 2 2 は、取付パネル 2 0 すなわちロボット 1 0 の周囲に存在する対象物までの距離を計測するものであり、水平方向における検知範囲は 1 0 ° である。これによって、ロボット 1 0 の全方位にわたる検知が可能となる。

【 0 0 1 8 】

台車 1 6 の上には、さらに、下部が上述の取付パネル 2 0 に囲まれて、ロボット 1 0 の胴体が直立するように取り付けられる。この胴体は下部胴体 2 4 と上部胴体 2 6 とから構成され、これら下部胴体 2 4 および上部胴体 2 6 は、連結部 2 8 によって連結される。連結部 2 8 には、図示しないが、昇降機構が内蔵されていて、この昇降機構を用いることによって、上部胴体 2 6 の高さすなわちロボット 1 0 の高さを変化させることができる。昇降機構は、腰モータ系 7 2 によって駆動される。

【 0 0 1 9 】

下部胴体 2 4 の周囲には、3 つの焦電センサ 8 2 , 8 2 , 8 2 が均等な距離をおいて設けられる。焦電センサ 8 2 は熱源を検知するセンサであり、水平方向における検知範囲は左右 6 0 ° である。かかる焦電センサ 8 2 を 3 つ設けることで、全方位にわたる熱源の検知が可能となる。

【 0 0 2 0 】

上部胴体 2 6 の背面上方には全方位カメラ 3 0 が設けられ、上部胴体 2 6 の前面にはマイク 3 2 が設けられる。全方位カメラ 3 0 は、ロボット 1 0 の周囲を撮影するもので、後述の眼カメラ 5 2 と区別される。マイク 3 2 は、周囲の音、とりわけ人の声を取り込む。

【 0 0 2 1 】

上部胴体 2 6 の両肩には、それぞれ、肩関節 3 4 R および 3 4 L によって、上腕 3 6 R および 3 6 L が取り付けられる。肩関節 3 4 R および 3 4 L の各々は、3 軸の自由度を有する。すなわち、肩関節 3 4 R は、X 軸 , Y 軸 および Z 軸 の各々の軸廻りにおいて上腕 3 6 R の角度を制御できる。Y 軸 は、上腕 3 6 R の長手方向 (または軸) に平行な軸であり、X 軸 および Z 軸 は、その Y 軸 に、それぞれ異なる方向から直交する軸である。肩関節 3 4 L は、A 軸 , B 軸 および C 軸 の各々の軸廻りにおいて上腕 3 6 L の角度を制御できる。B 軸 は、上腕 3 6 L の長手方向 (または軸) に平行な軸であり、A 軸 および C 軸 は、その B 軸 に、それぞれ異なる方向から直交する軸である。

【 0 0 2 2 】

上腕 3 6 R および 3 6 L の先端には、それぞれ、肘関節 3 8 R および 3 8 L を介して、前腕 4 0 R および 4 0 L が取り付けられる。肘関節 3 8 R および 3 8 L は、それぞれ、W 軸 および D 軸 の軸廻りにおいて、前腕 4 0 R および 4 0 L の角度を制御できる。

【 0 0 2 3 】

右の肩関節 3 4 R および肘関節 3 8 R は右腕モータ系 6 6 によって駆動され、左の肩関節 3 4 L および肘関節 3 8 L は左腕モータ系 6 8 によって駆動される。

【 0 0 2 4 】

前腕 4 0 R および 4 0 L のそれぞれの先端には、手に相当する球体 4 2 R および 4 2 L がそれぞれ固定的に取り付けられる。なお、この球体 4 2 R および 4 2 L に代えて、この実施例のロボット 1 0 と異なり指の機能が必要な場合には、人の手の形をした「手」を用いることも可能である。

【 0 0 2 5 】

上部胴体 2 6 の中央上方には、首関節 4 4 を介して、頭部 4 6 が取り付けられる。この首関節 4 4 は、3 つの自由度を有し、S 軸 , T 軸 および U 軸 の各軸廻りに角度制御可能である。S 軸 は首から真上に向かう軸であり、T 軸 および U 軸 は、それぞれ、この S 軸 に対して異なる方向で直交する軸である。頭部 4 6 には、人の口に相当する位置に、スピーカ

10

20

30

40

50

48が設けられる。スピーカ48は、ロボット10が、その周囲の人に対して音声または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】

また、頭部46には、目に相当する位置に眼球部50Rおよび50Lが設けられる。眼球部50Rおよび50Lは、それぞれ眼カメラ52Rおよび52Lを含む。なお、右の眼球部50Rおよび左の眼球部50Lをまとめて眼球部50といい、右の眼カメラ52Rおよび左の眼カメラ52Lをまとめて眼カメラ52ということもある。眼カメラ52は、ロボット10に接近した人の顔や他の部分ないし物体等を撮影してその画像を取り込む。

【0027】

なお、上述の全方位カメラ30および眼カメラ52のいずれも、たとえばCCDやCMOSのように固体撮像素子を用いるカメラであってよい。

10

【0028】

たとえば、眼カメラ52は眼球部50内に固定され、眼球部50は眼球支持部(図示せず)を介して頭部46内の所定位置に取り付けられる。眼球支持部は、2軸の自由度を有し、軸および軸の各軸廻りに角度制御可能である。軸および軸は頭部46に対して設定される軸であり、軸は頭部46の上へ向かう方向の軸であり、軸は軸に直交しかつ頭部46の正面側(顔)が向く方向に直交する方向の軸である。

【0029】

首関節44は頭部モータ系70によって制御される。また、右眼球部50Rの向きは右眼球モータ系76によって制御され、左眼球部50Lの向きは左眼球モータ系78によって制御される。

20

【0030】

図3を参照して、このロボット10は、全体の制御のためにCPU54を含み、このCPU54には、バス56を介して、メモリ58,モータ制御ボード60,センサ入力/出力ボード62および音声入力/出力ボード64が接続される。

【0031】

メモリ58は、図示しないが、ROM,HDDやRAMを含み、ROMやHDDにはこのロボット10を全体的に制御するためのプログラム等の各種データが予め書き込まれている。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。なお、後述するサンプリング領域情報を保持するレジスタ58rを特に図示する。

30

【0032】

モータ制御ボード60は、たとえばDSP(Digital Signal Processor)で構成され、CPU54からの制御データに従って、右腕モータ系66,左腕モータ系68,頭部モータ系70,腰モータ系72,車輪モータ系74,右眼球モータ系76,および左眼球モータ系78を駆動する。

【0033】

なお、この実施例の上述のモータ系は、車輪モータ系74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、車輪モータ系74と同様に、直流モータであってよい。

40

【0034】

センサ入力/出力ボード62も、同様に、DSPで構成される。センサ入力/出力ボード62は、超音波距離センサ22,22,...から出力された距離データ(反射時間に関連する),全方位カメラ30および眼カメラ52の各々から出力された画像データ,および焦電センサ82,82,...から出力された熱源データを、CPU54に入力する。

【0035】

スピーカ48には、音声入力/出力ボード64を介して、CPU54から、合成音声データが与えられる。スピーカ48からは、与えられた合成音声データに従った合成音声出力される。マイク32から入力された音声データは、音声入力/出力ボード64を介して、CPU54に取り込まれる。

50

【 0 0 3 6 】

この実施例では、上述の全方位カメラ30、眼カメラ52、超音波距離センサ22および焦電センサ82を用いて、ロボット10の周囲に人間が存在する確信度分布を求める。ここで、人間の存在確信度分布とは、各センサからのセンサデータ（検知情報）に基づいて推定されるロボット周囲の人間の存在の確からしさの分布である。分布を表す変数 x は、ロボット10に固定された座標系におけるロボット10の正面に対する角度であり、 $\{x | 0, 1, 2, \dots, 360\}$ である。また、ロボット10の周囲とは、各センサの有効範囲によって決められる一定の半径の円内を指す。以下に、確信度分布の算出方法を示す。

【 0 0 3 7 】

全方位カメラ30は、ロボット10の周囲360°の画像を取得することができるセンサである。この全方位カメラ30から得られる画像データは、メモリ58に一旦取り込まれる。CPU54は、メモリ58に取り込まれた画像データに基づいてフレーム間のRGB値の差分を求め、求められた差分値から移動物体を特定し、そして特定された移動物体を評価して人間の存在確信度分布を求める。

【 0 0 3 8 】

具体的には、時刻 t における 640×480 ピクセルのカラー全方位画像に対して、各ピクセルのRGB値から時刻 $(t - 1)$ のフレームのRGB値を減算する。減算した画像に対して、値を持つピクセルの拡大・縮小を行い、ノイズを除去する。最後にラベリングを行い、その中で最も大きい領域を時刻 t における移動物体領域とする。

【 0 0 3 9 】

移動物体検出情報から求める人間の存在確信度分布は、実験によって得られたデータを元に、平均 μ_1 、分散 σ_1^2 の正規分布 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ に重み α_1 を掛けたものを仮定する。このときの存在確信度分布を表す関数 $F_1(x)$ は数1によって定義される。

【 0 0 4 0 】

【数1】

$$F_1(x) = N(\mu_1, \sigma_1^2) * \alpha_1$$

$$\mu_1 = M \theta$$

$$\sigma_1^2 = M d$$

$$\alpha_1 = 0.3 * M \text{size}$$

【 0 0 4 1 】

図4を参照して、 x 、 $M \text{size}$ 、 $M d$ 、および M はそれぞれ、ロボット座標系でのロボット10の正面からの角度、移動物体領域の大きさ[pixel]、画像中心から移動物体領域の重心までの距離[pixel]、および移動物体が存在する角度を表す。数1に示す関数 $F_1(x)$ は、図5に示す曲線を描く。

【 0 0 4 2 】

なお、ロボット10が移動すると全方位カメラ30の出力にこの移動に伴う差分が出てしまう。このため、ロボット10が移動するときは、全方位カメラ30は利用しない。

【 0 0 4 3 】

眼カメラ52では、人間の顔領域、肌色領域および人間の服の色の領域を検出する。顔の検出手法としては、Gabor filterbankを用いる。この手法は、眼カメラ52から得られたフレーム毎に顔を検出するものであり、ロボット10の動作が眼カメラ52のフレームレートに比べて十分遅い場合は、ロボット10の動作の影響を受けにくい。

【 0 0 4 4 】

肌色領域を抽出するにあたって、CPU54は、眼カメラ52から得られた画像データをメモリ58に一旦格納し、この画像データを形成する各ピクセルのRGB値をHSV値に変換し、そしてHSV空間上で求めた肌色のボクセル内のピクセルを抽出する。ノイズは、上述したピクセルの拡大・縮小によって除去する。服の色領域の抽出にあたっては、

10

20

30

40

50

顔の検出ができた際に顔の下側の一様な色情報をメモリ58から検出する。色領域抽出は肌色の場合と同じである。こうして顔・肌色・服の色の領域が抽出されると、CPU54は、かかる領域抽出情報に基づいて人間の存在確信度分布を求める。

【0045】

顔領域情報，肌色領域情報および服色領域情報からそれぞれ得られる人間の存在確信度分布を示す関数 $F_2(x)$ ， $F_3(x)$ および $F_4(x)$ は、数2，数3および数4によって定義される。

【0046】

【数2】

$$F_2(x) = N(\mu_2, \sigma_2^2) * \alpha_2$$

10

$$\mu_2 = F \theta$$

$$\sigma_2^2 = Fd$$

$$\alpha_2 = 0.5 * Fsize$$

【0047】

【数3】

$$F_3(x) = N(\mu_3, \sigma_3^2) * \alpha_3$$

20

$$\mu_3 = S \theta$$

$$\sigma_3^2 = Sd$$

$$\alpha_3 = 0.3 * Ssize$$

【0048】

【数4】

$$F_4(x) = N(\mu_4, \sigma_4^2) * \alpha_4$$

30

$$\mu_4 = C \theta$$

$$\sigma_4^2 = Cd$$

$$\alpha_4 = 0.2 * Csize$$

【0049】

これらは、移動物体領域に基づく存在確信度分布と同じく、平均 μ_2 ，分散 σ_2^2 の正規分布 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ に重み α_2 を掛けたもの、平均 μ_3 ，分散 σ_3^2 の正規分布 $N(\mu_3, \sigma_3^2)$ に重み α_3 を掛けたもの、ならびに平均 μ_4 ，分散 σ_4^2 の正規分布 $N(\mu_4, \sigma_4^2)$ に重み α_4 を掛けたものと仮定する。

【0050】

40

ここで、 $Fsize$ ， Fd ， F ， $Ssize$ ， Sd ， S ， $Csize$ ， Cd ， C は、図4に示すとおり、Gaborfilterbankによって検出された顔領域の大きさ[pixel]，画像中心から顔領域の重心までの距離[pixel]，顔が存在する角度，色抽出によって検出された肌色領域の大きさ[pixel]，画像中心から肌色領域の重心までの距離[pixel]，肌色領域が存在する角度，色抽出によって検出された服色領域の大きさ[pixel]，画像中心から服色領域の重心までの距離[pixel]，服色領域が存在する角度を表す。数2～数4に示す関数 $F_2(x) \sim F_4(x)$ も、図5に示す曲線を描く。

【0051】

ロボット10には、複数の超音波距離センサ22，22，...がリング状に配置されているため、全方位の距離情報を取得することができる。そこで、CPU54は、各々の超音

50

波距離センサ 22 から出力される距離データをメモリ 58 に書き込み、この距離データの変化を用いて移動物体がどの方向に存在するかを検出し、そして検出された移動物体情報に基づいて人間の存在確信度分布を求める。

【0052】

距離データの変化に基づく人間の存在確信度分布を表す関数 $F_5(x)$ は、数 5 によって定義される。上述した存在確信度分布と同じく、関数 $F_5(x)$ は、平均 μ_5 、分散 σ_5^2 の正規分布 $N(\mu_5, \sigma_5^2)$ に重み α_5 を掛けたものと仮定する。

【0053】

【数 5】

$$F_5(x) = N(\mu_5, \sigma_5^2) * \alpha_5$$

10

$$\mu_5 = U \theta$$

$$\sigma_5^2 = U d$$

$$\alpha_5 = 0.2 * U_{dmin} / U d$$

【0054】

ここで、 $U d$ 、 $U d_{min}$ 、 U はそれぞれ、対象物までの距離、超音波距離センサ 22 の最小計測距離、対象物が存在する角度である。図 6 に示すように、各々の超音波距離センサ 22 の検知範囲は、センサ正面を基準として水平方向において $\pm 5^\circ$ である。数 5 に示す関数 $F_5(x)$ は、図 7 に示す曲線を描く。

20

【0055】

なお、ロボット 10 の移動時には自らの移動によって距離が変化してしまう。このため、ロボット 10 が移動するときは、超音波距離センサ 22 は利用しない。

【0056】

焦電センサ 82 は赤外線の変化に反応する 2 値出力のセンサであり、熱源の移動を検出することができる。人間も熱源であることから、熱源の移動に基づき人間の存在確信度分布を求めることができる。そこで、CPU 54 は、焦電センサ 82 から出力された熱源データをメモリ 58 に一旦書き込み、この熱源データから人間の存在確信度分布を求める。熱源データに基づく存在確信度分布を表す関数 $F_6(x)$ は、実験によって得られたデータから、数 6 に示すように定義する。

30

【0057】

【数 6】

$$F_6(x) = \begin{cases} 0.3 & (-30 \leq x_p \leq 30) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

【0058】

x_p は、焦電センサ 82 の向きである。図 8 に示すように、各々の焦電センサ 82 の検知範囲は、センサ正面を基準として水平方向において $\pm 30^\circ$ である。数 6 に示す関数 $F_5(x)$ は、図 9 に示す特性を有する。

40

【0059】

なお、ロボット 10 の移動時には、自らの移動に伴って周囲の熱源も変化する。このため、ロボット 10 が移動するときは、焦電センサ 82 は利用しない。

【0060】

CPU 54 は、こうして求められた人間の存在確信度分布 $F_1(x) \sim F_6(x)$ を、数 7 によって一つの確信度分布 $F(x)$ に統合する。数 7 において、 max は、引数の値の最大値を返す関数である。たとえば、 $x = 5$ における存在確信度分布 $F_1(5) \sim F_6(5)$ のうち、 $F_4(5)$ が最大であれば、 $F(5) = F_4(5)$ となる。

50

【 0 0 6 1 】

【数 7】

$$F(x)=\max(F1(x),F2(x),F3(x),F4(x),F5(x),F6(x))$$

【 0 0 6 2 】

上述のように、存在確信度分布 $F_1(x) \sim F_5(x)$ は、メモリ 58 に格納された画像データ、距離データおよび熱源データに基づいて求められる。しかし、画像データ、距離データおよび熱源データを全方位について平等に評価したのでは、処理の負担が大きくなる。そこで、この実施例では、存在確信度が高い一部の領域を抽出し、抽出された領域に MCMC (Markov Chain Monte Carlo) アルゴリズムに従ってサンプリング点の割り当てるようにしている。次回の評価領域つまりサンプリング領域は、こうして割り当てられたサンプリング点を包含する一部の領域となる。

10

【 0 0 6 3 】

サンプリング領域の決定にあたって、CPU 54 はまず、今回求められた人間の存在確信度分布 $F(x)$ に数 8 に従う演算を施し、正規化確信度分布 $\pi(x)$ を求める。正規化確信度分布 $\pi(x)$ は、たとえば図 10 に示すように変化する。

【 0 0 6 4 】

【数 8】

$$\pi(x)=\frac{F(x)}{\sum_{i=0}^{360} F(i)}$$

20

【 0 0 6 5 】

次に、閾値 T_s を上回る角度 x を特定し、特定された角度 x に向けられたサンプリング数 s を数 9 に従って決定する。数 9 によれば、正規化確信度分布 $\pi(x)$ が高いほど、サンプリング数 s が増大する。

【 0 0 6 6 】

【数 9】

$$s=\pi(x)*1000$$

30

【 0 0 6 7 】

次回のサンプリング点 $n_i(x)$ は、数 10 に従って決定する。数 10 によれば、 s 個のサンプリング点が、注目する角度 x を中心とする $\pm 15^\circ$ の範囲でランダムに選択される。図 10 に示す領域 E に注目すると、サンプリング点は、図 11 に示す要領で決定される。

【 0 0 6 8 】

【数 10】

$$n_i(x)=x+r$$

i : 1から s までの整数

r : -15から15までの乱数

40

【 0 0 6 9 】

サンプリング領域の決定にあたっては、複数のサンプリング点を隣り合う間隔が閾値を下回るサンプリング点毎にグループ化する。間隔が閾値以上の2つのサンプリング点に注目したとき、各々のサンプリング点は、互いに別のサンプリング領域の端部を形成する。これによって、図 12 に示すように、複数のサンプリング領域が短冊状に形成される。

【 0 0 7 0 】

以上の手順により、存在確信度の高い角度の周辺ではサンプリング領域の幅が増大し、

50

存在確信度の低い角度の周辺ではサンプリング領域の幅が減少する。こうして、過去の検知データから今回どの部分をサンプリングすれば良いかが推定される。上記の処理の繰り返しによってサンプリング領域が変更され、その瞬間において重要であると予測される情報が効率よく取得される。

【 0 0 7 1 】

また、人間の存在確信度に従ってサンプリングしていくため、人間が存在しているという仮説を複数維持したままサンプリング領域を限定していくことができる。そのため、センサ処理に必要な時間が減少し、なおかつ不規則に動く人間を頑健に認識・追跡することが可能となる。

【 0 0 7 2 】

C P U 5 4 は、具体的には図 1 3 ~ 図 1 6 に示すフロー図に従う処理を実行する。このフロー図に対応する制御プログラムは、メモリ 5 8 に記憶される。なお、このフロー図に従う処理では、右眼球モータ系 7 6 , 左眼球モータ系 7 8 , 右腕モータ系 6 6 , 左腕モータ系 6 8 および頭部モータ系 7 0 が駆動されることはない。つまり、眼カメラ 5 2 は、常にロボット 1 0 の正面を向く。

【 0 0 7 3 】

まずステップ S 1 で現時点のロボット 1 0 の向きである方位 θ を取得し、ステップ S 3 で変数 t_1 に取得された方位 θ を設定する。ステップ S 5 では、各センサのサンプリング領域を初期化する。具体的には、全方位を示すサンプリング領域情報をレジスタ 5 8 r に設定する。

【 0 0 7 4 】

ステップ S 7 ではロボット 1 0 の方位 θ を再度取得し、ステップ S 9 では変数 t_1 を変数 t_2 に退避させ、ステップ S 1 1 ではステップ S 7 で取得した方位 θ を変数 t_1 に設定する。変数 t_1 および t_2 はそれぞれ、連続して取得された 2 つの方位 θ を示す。

【 0 0 7 5 】

ステップ S 1 3 では変数 t_1 および t_2 の差分を示す角度 $\Delta\theta$ を求め、ステップ S 1 5 ではレジスタ 5 8 r に設定されたサンプリング領域情報を角度 $\Delta\theta$ だけ平行移動させる。これによって、ロボット 1 0 の回転に起因するオフセットが解消される。

【 0 0 7 6 】

ステップ S 1 7 では、眼カメラ 5 2 から出力されかつメモリ 5 8 に格納された画像データに基づいて、数 2 ~ 数 4 に示す存在確信度分布 $F_2(x) \sim F_4(x)$ を仮定する。ただし、仮定する範囲は、レジスタ 5 8 r に設定されたサンプリング領域情報に従う範囲である。

【 0 0 7 7 】

ステップ S 1 9 では、ロボット 1 0 が移動中であるか否かを判別する。YES であればステップ S 2 1 に進み、NO であればステップ S 2 3 に進む。ステップ S 2 1 では、存在確信度分布 $F_1(x)$, $F_5(x)$ および $F_6(x)$ を “ 0 ” と仮定する。

【 0 0 7 8 】

ステップ S 2 3 では、全方位カメラ 3 0 から出力されかつメモリ 5 8 に格納された画像データに基づいて数 1 に示す存在確信度分布 $F_1(x)$ を仮定し、超音波センサ 2 2 から出力されかつメモリ 5 8 に格納された距離データに基づいて数 5 に示す存在確信度分布 $F_5(x)$ を仮定し、そして焦電センサ 8 2 から出力されかつメモリ 5 8 に格納された熱源データに基づいて数 6 に示す存在確信度分布 $F_6(x)$ を仮定する。仮定する範囲は、レジスタ 5 8 r に設定されたサンプリング領域情報に従う範囲である。

【 0 0 7 9 】

こうして存在確信度 $F_1(x) \sim F_6(x)$ が求められると、ステップ S 2 5 で数 7 に従って統合存在確信度 $F(x)$ を算出する。ステップ S 2 7 では統合存在確信度が最大となる角度 x_s を特定し、ステップ S 2 9 では角度 x_s が “ 0 ” となる方向への回転をモータ制御ボード 6 0 に命令する。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 0 】

ステップ S 3 1 では、角度 x_s に対応する超音波距離センサ 2 2 の測定距離 U_d を検出し、ステップ S 3 3 ではこの測定距離 U_d を閾値 T_d と比較する。そして、 $U_d < T_d$ であればそのままステップ S 3 7 に進むが、 $U_d > T_d$ であればステップ S 3 5 で差分値 " $T_d - U_d$ " が " 0 " となる方向への移動をモータ制御ボード 6 0 に命令し、その後ステップ S 3 7 に進む。

【 0 0 8 1 】

モータ制御ボード 6 0 は、ステップ S 2 9 または S 3 5 で発行された命令に従って車輪モータ系 7 4 を駆動する。回転命令が発行されたときはロボット 1 0 の向きが変化し、移動命令が発行されたときはロボット 1 0 の位置が変化する。

10

【 0 0 8 2 】

ステップ S 3 7 では統合存在確信度分布 $F(x)$ を数 8 に従って正規化し、ステップ S 3 9 ではサンプリング領域決定処理を実行する。ステップ S 4 1 では、ステップ S 3 9 で決定されたサンプリング領域を示すサンプリング領域情報をレジスタ 5 8 r に設定する。レジスタ 5 8 r が更新されると、ステップ S 7 に戻る。

【 0 0 8 3 】

ステップ S 3 9 のサンプリング領域決定処理は、図 1 6 に示すサブルーチンに従う。まずステップ S 5 1 で変数 x を " 0 " に設定し、ステップ S 5 3 で正規化確信度分布 (x) を閾値 T_s と比較する。ここで、 $(x) < T_s$ であれば直接ステップ S 5 9 に進むが、 $(x) > T_s$ であれば、ステップ S 5 5 で数 9 に従ってサンプリング数を決定し、ステップ S 5 7 で数 1 0 に従ってサンプリング点を決定してからステップ S 5 9 に進む。

20

【 0 0 8 4 】

ステップ S 5 9 では変数 x をインクリメントし、続くステップ S 6 1 では変数 x を " 3 6 0 " と比較する。そして、変数 x が " 3 6 0 " に満たなければステップ S 5 3 に戻るが、変数 x が " 3 6 0 " に達すれば、ステップ S 6 3 でサンプリング領域を決定する。具体的には、決定された複数のサンプリング点を隣り合う間隔が閾値を下回るサンプリング点毎にグループ化し、各グループが存在する領域をサンプリング領域として決定する。ステップ S 6 3 の処理が完了すると、上階層のルーチンに復帰する。

【 0 0 8 5 】

以上の説明から分かるように、ロボット 1 0 の周囲に存在する人間(対象物)は、超音波センサ 2 2 , 全方位カメラ 3 0 , 眼カメラ 5 2 , 焦電センサ 8 2 などの複数のセンサによって検知される。各センサから出力されたセンサデータ(検知情報)は、センサ入力/出力ボード 6 2 を介してメモリ 5 8 に取り込まれる。

30

【 0 0 8 6 】

C P U 5 4 は、取り込まれたセンサデータのうち複数のサンプリング領域に対応する一部のセンサデータに基づいて、人間の存在確信度の正規分布 $F_1(x) \sim F_6(x)$ を仮定する(S17, S21, S23)。

【 0 0 8 7 】

C P U 5 4 は、仮定された正規分布 $F_1(x) \sim F_6(x)$ に基づいて人間の存在位置を認識し、存在確信度が增大するほど領域サイズが拡大するように複数のサンプリング領域を規定する(S39)。

40

【 0 0 8 8 】

このように、人間の存在位置は、複数のサンプリング領域に対応するセンサデータに基づいて認識される。これによって、認識に必要な処理量が抑制される。また、複数のサンプリング領域は、人間の存在確信度が增大するほど領域サイズが拡大するように規定される。これによって、認識の精度が向上する。この結果、対象物を頑健に認識することが可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 8 9 】

【 図 1 】 この発明の一実施例の使用状態を示す図解図である。

50

- 【図 2】図 1 に示すコミュニケーションロボットの外観を示す図解図である。
 【図 3】図 1 に示すコミュニケーションロボットの内部構成を示すブロック図である。
 【図 4】全方位カメラおよび眼カメラの動作の一部を示す図解図である。
 【図 5】全方位カメラおよび眼カメラの動作の他の一部を示す図解図である。
 【図 6】超音波距離センサの動作の一例を示す図解図である。
 【図 7】超音波距離センサの動作の他の一部を示す図解図である。
 【図 8】焦電センサの動作の一部を示す図解図である。
 【図 9】焦電センサの動作の他の一部を示す図解図である。
 【図 10】ロボットの正面に対する角度と正規化存在確信度との関係を示すグラフである

10

- 。
 【図 11】サンプリング点の割り当て状態を示す図解図である。
 【図 12】サンプリング領域の割り当て状態を示す図解図である。
 【図 13】図 1 に示すコミュニケーションロボットの動作の一部を示すフロー図である。
 【図 14】図 1 に示すコミュニケーションロボットの動作の他の一部を示すフロー図である。
 【図 15】図 1 に示すコミュニケーションロボットの動作のその他の一部を示すフロー図である。
 【図 16】図 1 に示すコミュニケーションロボットの動作のさらにその他の一部を示すフロー図である。

【符号の説明】

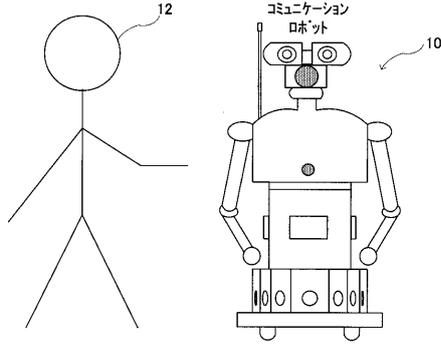
20

【0090】

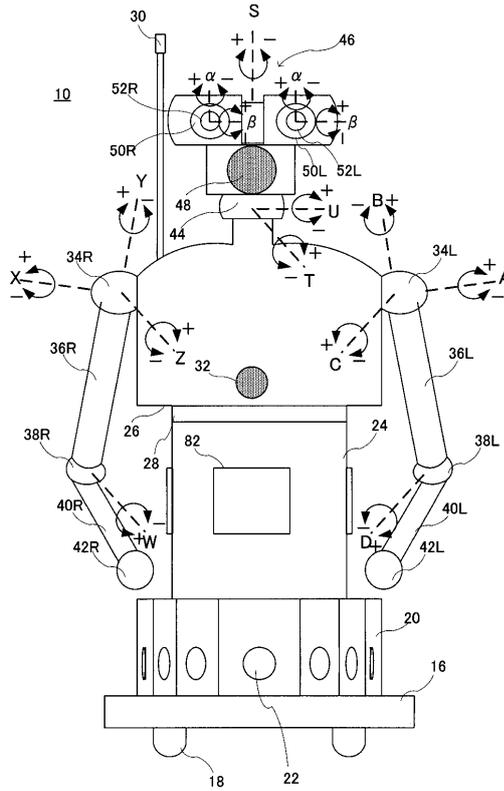
- 10 ... コミュニケーションロボット
 12 ... 人間
 22 ... 超音波距離センサ
 30 ... 全方位カメラ
 52 ... 眼カメラ
 54 ... CPU
 58 ... メモリ
 74 ... 車輪モータ系
 82 ... 焦電センサ

30

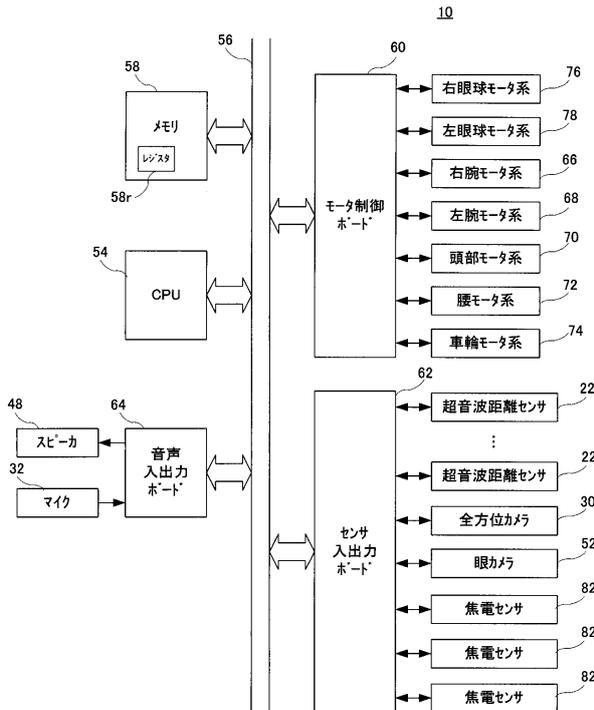
【図1】



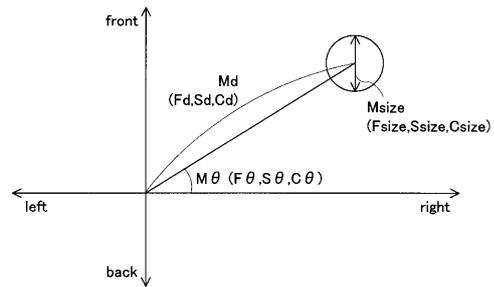
【図2】



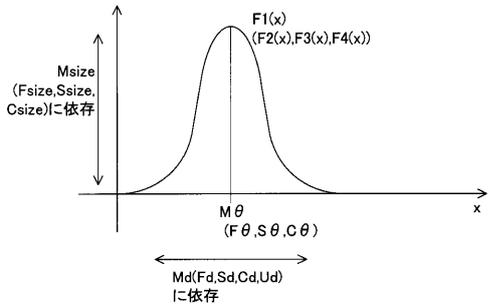
【図3】



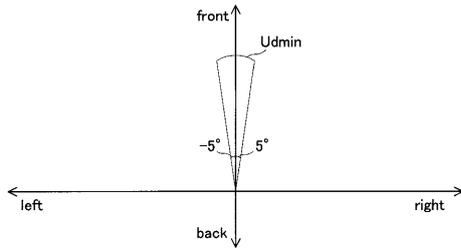
【図4】



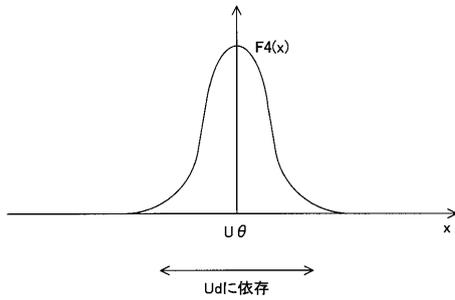
【図5】



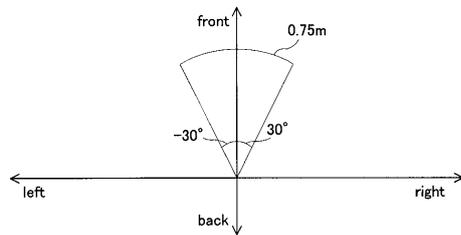
【図6】



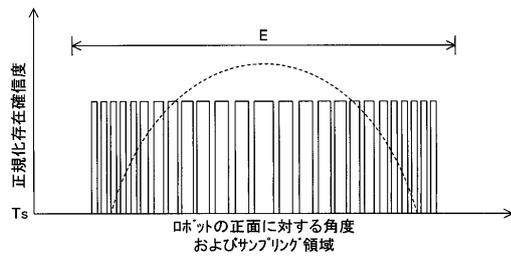
【図7】



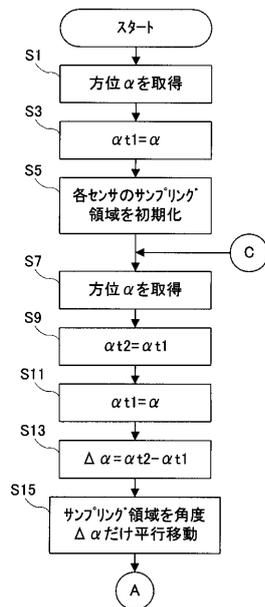
【図8】



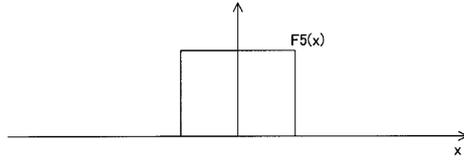
【図12】



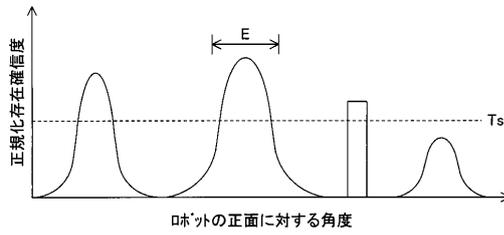
【図13】



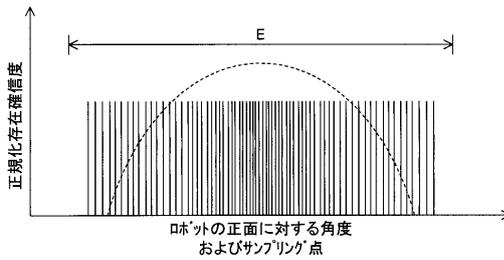
【図9】



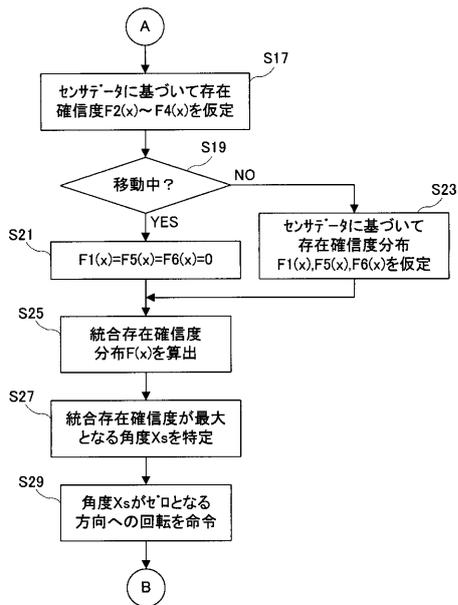
【図10】



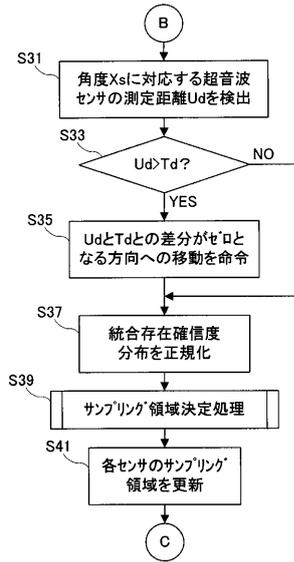
【図11】



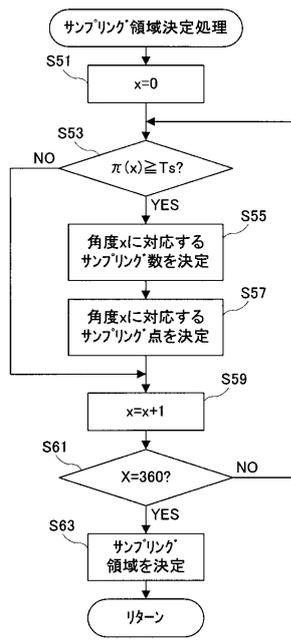
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

審査官 佐藤 実

(56)参考文献 特開2003-281549(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 7/00 ~ 7/60
B25J 19/02