

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年11月15日(15.11.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/207292 A1

- (51) 国際特許分類:
G06T 7/70 (2017.01) *G06T 7/00* (2017.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/017721
- (22) 国際出願日: 2017年5月10日(10.05.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 富士通株式会社(FUJITSU LIMITED)
[JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 村上 亮(MURAKAMI, Ryo); 〒2118588
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 伊東 忠重, 外(ITO, Tadashige et al.);
〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号 丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 16階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,

(54) Title: TARGET OBJECT RECOGNITION METHOD, DEVICE, SYSTEM, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 対象物認識方法、装置、システム、プログラム

【図7】

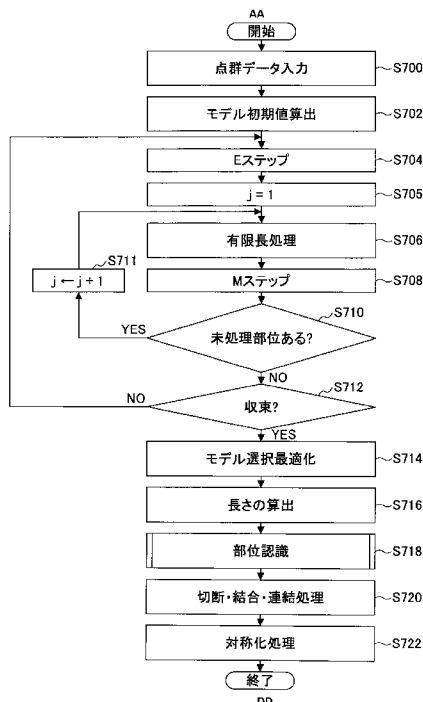


FIG. 7:
S700 Point group data input
S702 Model initial value calculation
S704 E step
S706 Finite length processing
S708 M step
S710 Any unprocessed sites?
S712 Convergence?
S714 Model selection optimization
S716 Length calculation
S718 Site recognition
S720 Cutting/bonding/coupling
S722 Symmetrization
AA Start
DD End

(57) Abstract: Provided is a target object recognition method executed by a computer and including: acquisition of point group data relating to a target object having a plurality of joints, from a sensor that obtains three-dimensional position information; application processing whereby a geometric model having an axis is applied to each of a plurality of locations in the point group data and the position and axial direction of each of the plurality of geometric models applied to the point group data are derived; and recognition of at least either three joints in the target object or two joints in the target object,



ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

said three joints in the target object being associated to each of at least one first geometric model among the plurality of geometric models applied to the point group data and said two joints in the target object being associated to a target object skeleton spanning two second geometric models among the plurality of geometric models applied to the point group data.

(57) 要約: 3次元の位置情報を得るセンサから、複数の関節を有する対象物の表面に係る点群データを取得し、前記点群データに、軸を有する幾何モデルを複数の個所で別々に当てはめ、前記点群データに当てはまる複数の幾何モデルのそれぞれの位置及び軸方向を導出する当てはめ処理を行い、前記当てはめ処理の結果に基づいて、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、1つ以上の第1幾何モデルのそれぞれに対応付けられる前記対象物の3つの関節、及び、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、2つの第2幾何モデルにわたる前記対象物の骨格に対応付けられる前記対象物の2つの関節、のうちの少なくともいずれか一方を認識することを含む、コンピュータにより実行される対象物認識方法が開示される。

明 細 書

発明の名称：対象物認識方法、装置、システム、プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、対象物認識方法、対象物認識装置、対象物認識システム、及び対象物認識プログラムに関する。

背景技術

[0002] 3次元の位置情報を得るセンサから得られる点群の各位置情報を含む点群データであって、1シーンの点群データに基づいて、所与の幾何モデル（円柱や円錐など）をフィッティングして、点群データに係る物体の部位を検出する技術が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 非特許文献1：堀内英一による「シングルスキャン点群データのための半形状幾何学モデル」、日本ロボット学会誌 Vol. 32, No. 8, pp.721 (2014)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、上記のような従来技術では、複数の関節を有する対象物に係る点群データに基づいて、対象物の関節又は骨格を精度良く認識することが難しい。例えば、関節を有する対象物の場合は、関節で繋がる2つの部位が真っ直ぐに伸ばされていると、1つの部位として認識される虞があり、該2つの部位を繋ぐ関節の位置を精度良く認識することが難しい。また、例えば人の肩や股関節に係る骨格は、幾何モデルを用いたフィッティングだけでは精度良く認識できない骨格（隠れた骨格）となる。

[0005] そこで、1つの側面では、本発明は、複数の関節を有する対象物に係る点群データに基づいて、対象物の関節又は骨格を精度良く認識することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一局面によれば、3次元の位置情報を得るセンサから、複数の関節を有する対象物の表面に係る点群データを取得し、前記点群データに、軸を有する幾何モデルを複数の個所で別々に当てはめ、前記点群データに当てはまる複数の幾何モデルのそれぞれの位置及び軸方向を導出する当てはめ処理を行い、前記当てはめ処理の結果に基づいて、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、1つ以上の第1幾何モデルのそれぞれに対応付けられる前記対象物の3つの関節、及び、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、2つの第2幾何モデルにわたる前記対象物の骨格に対応付けられる前記対象物の2つの関節、のうちの少なくともいずれか一方を認識することを含む、コンピュータにより実行される対象物認識方法が提供される。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、複数の関節を有する対象物に係る点群データに基づいて、対象物の関節又は骨格を精度良く認識することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]一実施例による対象物認識システムの概略構成を模式的に示す図である。

[図2]対象物認識装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

[図3]対象物認識装置の機能の一例を示すブロック図である。

[図4]関節モデルの一例の説明図である。

[図5]EMアルゴリズム部124による導出結果を模式的に示す図である。

[図6]長さ算出部128による半値全幅による決定方法の説明用の概略フローチャートである。

[図7]対象物認識システム1の全体動作の一例を示す概略フローチャートである。

[図8]部位認識処理の一例を示す概略フローチャートである。

[図9A]対象物認識システムによる処理の説明図である。

[図9B]対象物認識システムによる処理の説明図である。

発明を実施するための形態

- [0009] 以下、添付図面を参照しながら各実施例について詳細に説明する。以下、特に言及しない限り、「あるパラメータ（例えば後述のパラメータ θ ）を導出する」とは、「該パラメータの値を導出する」ことを意味する。
- [0010] 図1は、一実施例による対象物認識システム1の概略構成を模式的に示す図である。図1には、説明用に、対象者S（対象物の一例）が示されている。
- [0011] 対象物認識システム1は、距離画像センサ21と、対象物認識装置100とを含む。
- [0012] 距離画像センサ21は、対象者Sの距離画像を取得する。例えば、距離画像センサ21は、3次元画像センサであり、空間全体のセンシングを行って距離を計測し、デジタル画像のように画素毎に距離情報を持つ距離画像（点群データの一例）を取得する。距離情報の取得方式は任意である。例えば、距離情報の取得方式は、特定のパターンを対象に投影してそれをイメージセンサで読み取り、投影パターンの幾何学的な歪みから三角測量の方式により距離を取得するアクティブステレオ方式であってもよい。また、レーザー光を照射してイメージセンサで反射光を読み取り、その位相のずれから距離を計測するTOF（Time-of-Flight）方式であってもよい。
- [0013] 尚、距離画像センサ21は、位置が固定される態様で設置されてもよいし、位置が可動な態様で設置されてもよい。
- [0014] 対象物認識装置100は、距離画像センサ21から得られる距離画像に基づいて、対象者Sの関節や骨格を認識する。この認識方法については、後で詳説する。対象者Sは、人や人型のロボットであり、複数の関節を有する。以下では、一例として、対象者Sは、人であるものとする。対象者Sは、用途に応じて、特定の個人であってもよいし、不特定の人であってもよい。例えば、用途が体操等の競技時の動きの解析である場合、対象者Sは、競技選手であってもよい。尚、用途が、体操やフィギュアスケート等の競技時のような激しい動き（高速かつ複雑な動作）を解析する場合、距離画像センサ21

は、好ましくは、図 1 に模式的に示すように、対象者 S の 3 次元形状に近い点群データが得られるように、複数個設置される。

[0015] 対象物認識装置 100 は、距離画像センサ 21 に接続されるコンピュータの形態で実現されてもよい。対象物認識装置 100 と距離画像センサ 21 との接続は、有線による通信路、無線による通信路、又はこれらの組み合わせで実現されてよい。例えば、対象物認識装置 100 が距離画像センサ 21 に対して比較的遠隔に配置されるサーバの形態である場合、対象物認識装置 100 は、ネットワークを介して距離画像センサ 21 に接続されてもよい。この場合、ネットワークは、例えば、携帯電話の無線通信網、インターネット、World Wide Web、VPN (virtual private network)、WAN (Wide Area Network)、有線ネットワーク、又はこれらの任意の組み合わせ等を含んでもよい。他方、対象物認識装置 100 が距離画像センサ 21 に対して比較的近傍に配置される場合、無線による通信路は、近距離無線通信、ブルーツース（登録商標）、Wi-Fi (Wireless Fidelity) 等により実現されてもよい。また、対象物認識装置 100 は、異なる 2 つ以上の装置（例えばコンピュータやサーバ等）により協働して実現されてもよい。

[0016] 図 2 は、対象物認識装置 100 のハードウェア構成の一例を示す図である。

[0017] 図 2 に示す例では、対象物認識装置 100 は、制御部 101、主記憶部 102、補助記憶部 103、ドライブ装置 104、ネットワーク I/F 部 106、入力部 107 を含む。

[0018] 制御部 101 は、主記憶部 102 や補助記憶部 103 に記憶されたプログラムを実行する演算装置であり、入力部 107 や記憶装置からデータを受け取り、演算、加工した上で、記憶装置などに出力する。制御部 101 は、例えば CPU (Central Processing Unit) や GPU (Graphics Processing Unit) を含んでよい。

[0019] 主記憶部 102 は、ROM (Read Only Memory) や RAM (Random Access Memory) などであり、制御部 101 が実行する基本ソフトウェアである OS

やアプリケーションソフトウェアなどのプログラムやデータを記憶又は一時保存する記憶装置である。

[0020] 補助記憶部 103 は、HDD (Hard Disk Drive) などであり、アプリケーションソフトウェアなどに関連するデータを記憶する記憶装置である。

[0021] ドライブ装置 104 は、記録媒体 105、例えばフレキシブルディスクからプログラムを読み出し、記憶装置にインストールする。

[0022] 記録媒体 105 は、所定のプログラムを格納する。この記録媒体 105 に格納されたプログラムは、ドライブ装置 104 を介して対象物認識装置 100 にインストールされる。インストールされた所定のプログラムは、対象物認識装置 100 により実行可能となる。

[0023] ネットワーク I/F 部 106 は、有線及び／又は無線回線などのデータ伝送路により構築されたネットワークを介して接続された通信機能を有する周辺機器と対象物認識装置 100 とのインターフェースである。

[0024] 入力部 107 は、カーソルキー、数字入力及び各種機能キー等を備えたキーボード、マウスやスライスパット等を有する。入力部 107 は、音声入力やジェスチャー等の他の入力方法に対応してもよい。

[0025] 尚、図 2 に示す例において、以下で説明する各種処理等は、プログラムを対象物認識装置 100 に実行させることで実現することができる。また、プログラムを記録媒体 105 に記録し、このプログラムが記録された記録媒体 105 を対象物認識装置 100 に読み取らせて、以下で説明する各種処理等を実現させることも可能である。なお、記録媒体 105 は、様々なタイプの記録媒体を用いることができる。例えば、CD-ROM、フレキシブルディスク、光磁気ディスク等の様に情報を光学的、電氣的或いは磁氣的に記録する記録媒体、ROM、フラッシュメモリ等の様に情報を電氣的に記録する半導体メモリ等であってよい。なお、記録媒体 105 には、搬送波は含まれない。

[0026] 図 3 は、対象物認識装置 100 の機能の一例を示すブロック図である。

[0027] 対象物認識装置 100 は、データ入力部 120 (取得部の一例) と、クラ

スタリング部 122 と、EM アルゴリズム部 124（当てはめ処理部の一例）と、モデル最適化部 126 と、長さ算出部 128 とを含む。また、対象物認識装置 100 は、更に、部位認識部 130 と、骨格整形部 132（認識処理部の一例）と、出力部 134 とを含む。各部 120 乃至 134 は、図 2 に示す制御部 101 が主記憶部 102 に記憶された 1 つ以上のプログラムを実行することで実現できる。尚、対象物認識装置 100 の機能の一部は、距離画像センサ 21 に内蔵されうるコンピュータにより実現されてもよい。また、対象物認識装置 100 は、幾何モデルデータベース 140（図 3 では、“幾何モデル DB”と表記）を含む。幾何モデルデータベース 140 は、図 2 に示す補助記憶部 103 により実現されてよい。

[0028] データ入力部 120 には、距離画像センサ 21 から距離画像（以下、「点群データ」と称する）が入力されるとともに、使用する関節モデルが入力される。点群データは、上述のとおりであり、例えばフレーム周期毎に入力されてよい。また、複数の距離画像センサ 21 が用いられる場合は、点群データは、複数の距離画像センサ 21 からの距離画像の集合を含んでよい。

[0029] 使用する関節モデルは、対象者 S に係る任意のモデルであり、例えば、複数の関節と、関節間の骨格（リンク）とで表されるモデルである。本実施例では、一例として、図 4 に示すような関節モデルが用いられる。図 4 に示すような関節モデルは、頭部が 1 つ、胴部（胴体部）、両腕部、及び両脚部がそれぞれ 3 つの関節を持つ 16 関節モデルであり、頭部は両端が関節として規定され、その他は両端及び中点の 3 つが関節として規定される。具体的には、関節モデルは、16 個の関節 $a_0 \sim a_{15}$ と、関節間を繋ぐ 15 個の骨格 $b_1 \sim b_{15}$ （又は「部位 $b_1 \sim b_{15}$ 」とも称する）とからなる。尚、理解できるように、例えば関節 a_4 、 a_7 は、左右の肩の関節であり、関節 a_2 は、頸椎に係る関節である。また、関節 a_{14} 、 a_{15} は、左右の股関節であり、関節 a_0 は、腰椎に係る関節である。このような関節モデルでは、股関節に係る骨格 b_{14} 、 b_{15} や、肩の関節に係る骨格 b_4 、 b_7 は、後述の幾何モデルを用いたフィッティングだけでは精度良く認識できない骨

格（以下、「隠れた骨格」とも称する）となる。尚、以下の説明において、関節や部位に関する位置関係について、「祖先」とは、体の中心に近い側を指し、「子孫」とは、体の中心から遠い側を指す。

[0030] クラスタリング部122は、データ入力部120に入力される点群データをクラスタリングして、クラスター毎にフィッティングを行って初期あてはめ結果（後述の幾何モデルを用いたフィッティングに用いる初期値）を取得する。クラスタリング手法としては、Kmeans++法などを用いることができる。尚、クラスタリング部122に与えられるクラスター数は、手動による入力でもよいが、骨格モデルに応じた所定数が用いられてもよい。骨格モデルに応じた所定数は、例えば、骨格モデルに係る部位の総数から、隠れた骨格に係る部位の数を引いた値である。即ち、図4に示す16関節（15部位）モデルの場合、4部位が隠れた骨格となるため、最初のクラスター数である所定数は”11”である。この場合、クラスタリングによるフィッティング結果に応じて、モデルの一部が棄却される。棄却方法としては、モデルで説明できる点群データの数の期待値である事後分布のデータ和に対して閾値を設定し、閾値以下のモデルを棄却する方法が用いられてよい。棄却数が決まると、クラスタリング部122は、再びそのクラスター数でフィッティングを行うことで、後述の幾何モデルを用いたフィッティングに用いる初期値を得ることができる。

[0031] 尚、変形例では、クラスタリング部122に代えて、機械学習部が用いてフィッティングに用いる初期値が取得されてもよい。この場合、機械学習部は、データ入力部120に入力される点群データに基づいて、15部位についてラベル分け（部位認識）を行う。機械学習方式としてランダムフォレストを用い、特徴量として注目画素と周辺画素の距離値の差が使用されてもよい。また、距離画像を入力として各画素のマルチクラス分類(Multi-class Classification)を行う方式であってもよい。また、ランダムフォレストの場合でも距離値の差以外の特徴量を使ってもよいし、特徴量に相当するパラメータも含めて学習を行う深層学習(Deep Learning)を用いてもよい。

- [0032] EMアルゴリズム部124は、データ入力部120に入力される点群データと、幾何モデルデータベース140内の幾何モデルと、クラスタリング部122で得たフィッティングの初期値とに基づいて、EMアルゴリズムによりパラメータ θ を導出する。クラスタリング部122で得たフィッティングの初期値を用いるのは、EMアルゴリズムではある程度、解に近い初期値を与えることが有用であるためである。初期値は、部位数 M や、後述のパラメータ θ に係る初期値である。幾何モデルデータベース140内の幾何モデルは、例えば円柱であり、以下では、主に円柱である場合について説明する。他の幾何モデルの可能性は後述する。
- [0033] EMアルゴリズム部124は、点群データ x_n が幾何モデルの表面に最も集まるようパラメータ θ を決定する。点群データ x_n は、3次元の空間座標 (x, y, z) で表現される N 個の各点（例えば位置ベクトル）の集合 $(x_1, x_2, \dots, x_N)$ である。この場合、例えば空間座標の x 成分及び y 成分は、画像平面内の2次元座標の値であり、 x 成分は、水平方向の成分であり、 y 成分は、垂直方向の成分である。また、 z 成分は、距離を表す。
- [0034] パラメータ θ は、部位 m ($m=1, 2, \dots, M$)に係る幾何モデル（ここでは円柱）の太さ（径） r_m 、部位 m に係る幾何モデルの位置 c_m^0 と向き e_m^0 、及び、分散 σ^2 の4つある。尚、部位 m とは、幾何モデルごとの点群データの部位（一部）であり、幾何モデル及びそれに伴い対象者 S の部位に対応付けられる部位である。部位 m は、対象者 S の2部位に同時に対応付けられる場合もある。例えば、対象者 S が肘を伸ばしている状態では、肘の関節から手首の関節（子孫側の関節）までの部位（図4の部位b6や部位b9）と、肘の関節から肩の関節（先祖側の関節）までの部位（図4の部位b5や部位b8）とが一部位 m となりうる。
- [0035] r_m 及び σ^2 は、スカラーであり、 c_m^0 及び e_m^0 は、ベクトルである。また、 e_m^0 は、単位ベクトルとする。即ち、 e_m^0 は、円柱の軸の向きを表す単位ベクトルである。また、位置 c_m^0 は、円柱の軸上の、任意の点の位置に係る位置ベクトルである。尚、円柱の軸方向の長さ（高さ）は不定とされる。ま

た、幾何モデルの向き $\mathbf{e}_m^0$ は、幾何モデルの軸方向と同じ概念である。

[0036] 点群データ $\mathbf{x}_n$ と部位 m の表面残差 $\varepsilon_m(\mathbf{x}_n, \theta)$ (表面に垂直な方向の差) がガウス分布であることを仮定すると、幾何モデル全体は以下の通り表現できる。

[0037] [数1]

$$p(\mathbf{x}_n) = \frac{1}{M(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \sum_{m=1}^M \exp\left(-\frac{\varepsilon_m(\mathbf{x}_n, \theta)^2}{2\sigma^2}\right)$$

ここで、 $p(\mathbf{x}_n)$ は、点群データ $\mathbf{x}_n$ の混合確率分布モデルであり、上述のように、 σ^2 は、分散であり、 M は、クラスタリング部 122 で得たクラスタ数が用いられる。このとき、対応する対数尤度関数は、以下のとおりである。

[0038] [数2]

$$E(\theta, \sigma^2) = N \ln M(2\pi\sigma^2)^{1/2} - \sum_{n=1}^N \ln \sum_{m=1}^M \exp\left(-\frac{\varepsilon_m(\mathbf{x}_n, \theta)^2}{2\sigma^2}\right)$$

ここで、 N は、データ数 (1 フレームに係る点群データに含まれるデータ数) である。

[0039] 数2 は、混合ガウスモデルの対数尤度関数であるため、EM アルゴリズム等を用いることができる。本実施例では、EM アルゴリズム部 124 は、EM アルゴリズムに基づいて、対数尤度関数を最大化するパラメータ θ 及び分散 σ^2 を導出する。

[0040] 部位 m に係る幾何モデルが円柱であるとき、表面残差 $\varepsilon_m(x_n, \theta)$ は、次の通り表現できる。尚、ベクトル間の符号 “ $\times$ ” は外積を表す。

$$\varepsilon_m(x_n, \theta) = | (x_n - e_m^0) \times e_m^0 | - r_m$$

但し、本実施例では、線形化のため、表面残差 $\varepsilon_m(x_n, \theta)$ は、数 2 の中での指数部分が二乗の差となるように表現され、具体的には以下のとおりである。

[0041] [数3]

$$\varepsilon_m(x_n, \theta) = \frac{|(x_n - c_m^0) \times e_m^0|^2 - r_m^2}{\sigma}$$

EM アルゴリズムは、知られているように、期待値を算出する E ステップと、期待値を最大化する M ステップの繰返しである。

[0042] E ステップでは、EM アルゴリズム部 124 は、以下の事後分布 p_{nm} を計算する。

[0043] [数4]

$$p_{nm} = \frac{\exp(-\varepsilon_m(x_n, \theta)^2 / 2\sigma^2)}{\sum_{m=1}^M \exp(-\varepsilon_m(x_n, \theta)^2 / 2\sigma^2)}$$

M ステップでは、EM アルゴリズム部 124 は、以下の期待値 $Q(\theta, \sigma^2)$ を最大化するパラメータ θ 及び分散 σ^2 を導出する。尚、M ステップでは、事後分布 p_{nm} は定数として扱われる。

[0044]

[数5]

$$Q(\theta, \sigma^2) = \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M p_{nm} \varepsilon_m(x_n, \theta)^2 + \frac{P}{2} \ln \sigma^2$$

ここで、 P は、事後分布 p_{nm} のデータ和の全部位和（以下、「事後分布 p_{nm} のデータ和の全部位和」とも称する）であり、以下のとおりである。

[0045] [数6]

$$P = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M p_{nm}$$

期待値 $Q(\theta, \sigma^2)$ の分散 σ^2 による偏微分から、期待値 $Q(\theta, \sigma^2)$ を最大化する分散 σ^2 の推定値 σ^2_* は、以下のとおりである。

[0046] [数7]

$$\sigma_*^2 = \frac{1}{P} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M p_{nm} \varepsilon_m(x_n, \theta)^2$$

この推定値 σ^2_* を数5の式に代入すると、以下のとおりである。

[0047]

[数8]

$$Q(\theta, \sigma^2) = \frac{P}{2} \left\{ 1 - \ln P + \ln \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M p_{nm} \varepsilon_m(\mathbf{x}_n, \theta)^2 \right\}$$

パラメータ θ の各要素 (r_m 、 c_m^0 、及び e_m^0) に関して、太さ r_m の推定値 r_{*m} は、以下の通り、直接的に最小化が可能である。

[0048] [数9]

$$r_{*m}^2 = \langle |(\mathbf{x}_n - \mathbf{c}_m^0) \times \mathbf{e}_m^0|^2 \rangle_p$$

ここで、数9における表現 $\langle \rangle_p$ について、事後分布 p_{nm} を用いた平均操作であり、任意のテンソルないし行列 A_{nm} に対して、以下の通りとする。

[0049] [数10]

$$\langle A_{nm} \rangle_p \equiv \frac{1}{\sum_{n=1}^N p_{nm}} \sum_{n=1}^N p_{nm} A_{nm}$$

向き e_m^0 の推定値 e_{*m}^0 は、点群データの主成分であることに着目すると、主成分分析に基づいて導出できる。即ち、向き e_m^0 の推定値 e_{*m}^0 は、以下の分散共分散行列 σ_{xx} の最も固有値の大きい固有ベクトルの向きとして求めることができる。

[0050] [数11]

$$\sigma_{xx} = \langle (\mathbf{x}_n - \langle \mathbf{x}_n \rangle_p) (\mathbf{x}_n - \langle \mathbf{x}_n \rangle_p)^T \rangle_p$$

尚、数10に示す平均操作により、 m については和をとっていない。従って、 $\langle \mathbf{x}_n \rangle_p$ は、部位 m に対する依存性を有し、部位 m に係る幾何モデル（円柱）の重心（中心）に対応する。同様に、分散共分散行列 σ_{xx} も部位 m に固有であり、部位 m に係る幾何モデル（円柱）の向きに対応する。

或いは、期待値 $Q(\theta, \sigma^2)$ は、パラメータ θ の各要素（ r_m 、 c_m^0 、及び $\mathbf{e}_m^0$ ）に関して非線形であるので、向き $\mathbf{e}_m^0$ は、線形近似により導出されてもよい。具体的には、微小回転による更新式は、ノルムが保存される態様で規定され、以下のとおりである。

[0051] [数12]

$$\mathbf{e}_m^0 \rightarrow \mathbf{e}_m^0 + \Delta \mathbf{e} \times \mathbf{e}_m^0$$

ここで、 $\Delta \mathbf{e}$ は、微小回転ベクトルである。このとき、 $\Delta \mathbf{e}$ の推定値 $\Delta \mathbf{e}_*$ は、数8の式を $\Delta \mathbf{e}$ で微分することで得られ、以下のとおりである。

[0052] [数13]

$$\Delta \mathbf{e}_* = -\frac{1}{2} \mathbf{B}_m^{-1} \langle a_{nm} \mathbf{b}_{nm} \rangle_p$$

ここで、 B_m の逆行列は、以下の通りであり、

[0053] [数14]

$$B_m^{-1} = (We_m^{0T}) \langle (x_n - \langle x_n \rangle_p)(x_n - \langle x_n \rangle_p)(x_n - \langle x_n \rangle_p)^T (x_n - \langle x_n \rangle_p)^T \rangle_p^{-1} (We_m^{0T})^T$$

数14における W は、以下の通りである。

[0054] [数15]

$$W \equiv (e_2 e_1^T - e_1 e_2^T)$$

尚、数14や数15において（以下も同様）、 T は、転置を表す。数15において、 e_1 及び e_2 は、向き e_m^0 に対して直交する単位ベクトルである。

また、数13における a_{nm} や b_{nm} は、以下のとおりである（図4に示した関節 $a_0 \sim a_{15}$ や骨格 $b_1 \sim b_{15}$ の表記とは無関係である）。

[0055] [数16]

$$a_{nm} \equiv |(x_n - \langle x_n \rangle_p) \times e_m^0|^2 - r_m^2$$

[0056]

[数17]

$$\mathbf{b}_{nm} \equiv (\mathbf{x}_n - \langle \mathbf{x}_n \rangle_p) \cdot \mathbf{e}_m^0 (\mathbf{x}_n - \langle \mathbf{x}_n \rangle_p) \times \mathbf{e}_m^0$$

よって、向き $\mathbf{e}_m^0$ の推定値 $\mathbf{e}_{*m}^0$ は、以下の通りである。

[0057] [数18]

$$\mathbf{e}_{*m}^0 = \mathbf{e}_m^0 - \frac{1}{2} (\mathbf{B}_m^{-1} \langle a_{nm} \mathbf{b}_{nm} \rangle_p) \times \mathbf{e}_m^0$$

このとき、太さ r_m の推定値 r_{*m} を数8の式に代入し、位置 $\mathbf{c}_m^0$ の偏微分から、位置 $\mathbf{c}_m^0$ の推定値 $\mathbf{c}_{*m}^0$ は、以下の通り、直接的に導出可能である。

[0058] [数19]

$$\mathbf{c}_{*m}^0 \times \mathbf{e}_{*m}^0 = \sigma_{yy}^{-1} \sigma_{y^2y} / 2$$

ここで、共分散行列 σ_{yy} の逆行列、及び、ベクトル σ_{y^2y} (下付き「 y^2y 」)、以下のとおりである。

[0059]

[数20]

$$\sigma_{yy}^{-1} = W\sigma_{xx}^{-1}W^T, \sigma_{xx} = \langle (x_n - \langle x_n \rangle_p)(x_n - \langle x_n \rangle_p)^T \rangle_p$$

[0060] [数21]

$$\sigma_{y^2y} \equiv \langle (|x_n \times e_{*m}^0|^2 - \langle |x_n \times e_{*m}^0|^2 \rangle_p)(x_n \times e_{*m}^0 - \langle x_n \times e_{*m}^0 \rangle_p) \rangle_p$$

尚、上記の場合、EMアルゴリズム部124は、まず、位置 c_m^0 の推定値 c_{*m}^0 を求めてから、太さ r_m の推定値 r_{*m} を求めることになる。

[0061] 尚、変形例では、例えば他の計測によって対象者Sの形状情報を所持している場合などでは、パラメータ θ のうちの太さ r_m は、ユーザにより手入力されてもよいし、形状情報に基づいて自動的に設定されてもよい。この場合、EMアルゴリズム部124は、パラメータ θ のうちの残りの要素（位置 c_m^0 及び向き e_m^0 ）を導出することになる。尚、他の計測は、事前の精密な計測であってもよいし、並行して実行されるものであってもよい。

[0062] モデル最適化部126は、EMアルゴリズム部124が一の部位に対して複数種類の幾何モデルを用いてフィッティングを実行する際、実行した複数種類のうちの、フィッティングの際のあてはまりが最も良好な種類の幾何モデルを導出する。

[0063] 複数種類の幾何モデルは、円柱以外の幾何モデルとして、円錐、台形柱、楕円柱、楕円錐、及び台形楕円柱のうちの少なくともいずれか1つに係る幾何モデルを含む。但し、一の部位に係る複数種類の幾何モデルは、円柱を含まなくてもよい。また、一の部位に係る複数種類の幾何モデルは、部位ごと

に異なってもよい。また、一部の特定の部位については、複数種類の幾何モデルを用いずに、単一の固定の幾何モデルが使用されてもよい。

[0064] 例えば、EMアルゴリズム部124は、まず、円柱の幾何モデルを用いて、各部位に対するフィッティングを行う。次いで、EMアルゴリズム部124は、ある部位に係る幾何モデルを、円柱から他（例えば円錐等）に切り替え、同部位に対するフィッティングを行う。そして、モデル最適化部126は、対数尤度関数の最も大きな幾何モデルを、あてはまりが最も良好な種類の幾何モデルとして選択する。モデル最適化部126は、対数尤度関数の最も大きな幾何モデルに代えて、事後分布のデータ和の全部位和が最も大きな幾何モデルを、あてはまりが最も良好な種類の幾何モデルとして選択してもよい。

[0065] 円錐の場合、表面残差 $\varepsilon_m(x_n, \theta)$ は、以下の通り表現されてよい。

[0066] [数22]

$$\varepsilon_m(x_n, \theta) = |(x_n - c_m^0) \times e_m^0| |n_m \times e_m^0| - (x_n - c_m^0) \cdot e_m^0 n_m \cdot e_m^0$$

ここで、位置 c_m^0 は頂点位置に対応し、向き e_m^0 は、中心軸の単位ベクトルである。また、ベクトル n_m は、円錐の表面上のある1点における法線ベクトルである。

[0067] 台形柱の場合、表面残差 $\varepsilon_m(x_n, \theta)$ は、円錐の場合と同様であってよい。即ち台形柱の場合、円錐の一部に対して分布を規定することで表現できる。

[0068] 楕円柱の場合、表面残差 $\varepsilon_m(x_n, \theta)$ は、以下の通り表現されてよい。

[0069]

[数23]

$$\varepsilon_m(\mathbf{x}_n, \theta) = \frac{|(\mathbf{x}_n - \mathbf{c}_m^0) \times \mathbf{e}_m^0 - d_m \mathbf{n}_m'| + |(\mathbf{x}_n - \mathbf{c}_m^0) \times \mathbf{e}_m^0 + d_m \mathbf{n}_m'| - 2a_m}{\left| \frac{(\mathbf{x}_n - \mathbf{c}_m^0) \times \mathbf{e}_m^0 - d_m \mathbf{n}_m'}{|(\mathbf{x}_n - \mathbf{c}_m^0) \times \mathbf{e}_m^0 - d_m \mathbf{n}_m'|} + \frac{(\mathbf{x}_n - \mathbf{c}_m^0) \times \mathbf{e}_m^0 + d_m \mathbf{n}_m'}{|(\mathbf{x}_n - \mathbf{c}_m^0) \times \mathbf{e}_m^0 + d_m \mathbf{n}_m'|} \right|}$$

ここで、 d_m は、焦点距離であり、 a_m は、断面の楕円の長軸の長さであり、 $\mathbf{n}_m'$ は、長軸方向の単位ベクトルである。尚、同様に、位置 $\mathbf{c}_m^0$ は軸上の位置に対応し、向き $\mathbf{e}_m^0$ は、楕円柱の軸（軸方向）の単位ベクトルである。

[0070] また、楕円錐の場合、表面残差 $\varepsilon_m(\mathbf{x}_n, \theta)$ は、以下の通り表現されてよい。

[0071]

[数24]

$$\begin{aligned} \varepsilon_m^2(x_n, \theta) &= |x_n - c_m^0|^2 - \frac{\left\{ (x_n - c_m^0) \cdot e_m^0 \cos \psi_{m1} + |(x_n - c_m^0) \times e_m^0| \sqrt{\sin^2 \psi_{m1} - (\sin^2 \psi_{m1} - \cos^2 \psi_{m1} \tan^2 \psi_{m2}) \left(\frac{(x_n - c_m^0) \times e_m^0}{|(x_n - c_m^0) \times e_m^0|} \cdot n'_m \right)^2} \right\}^2}{1 - (\sin^2 \psi_{m1} - \cos^2 \psi_{m1} \tan^2 \psi_{m2}) \left(\frac{(x_n - c_m^0) \times e_m^0}{|(x_n - c_m^0) \times e_m^0|} \cdot n'_m \right)^2} \end{aligned}$$

ここで、 ϕ_{m1} 及び ϕ_{m2} は、それぞれ長軸及び短軸方向への傾斜角である。また、同様に、位置 c_m^0 は頂点位置に対応し、向き e_m^0 は、中心軸の単位ベクトルである。

[0072] また、台形柱と円錐との関係と同様、台形楕円柱の場合、表面残差 $\varepsilon_m(x_n, \theta)$ は、楕円錐の場合と同様であってよい。

[0073] ここで、長さが無限として定式化されている円柱や楕円柱などの幾何モデルを用いる場合、Eステップでは、EMアルゴリズム部124は、好ましくは、有限長処理を行う。有限長処理は、点群データ x_n のうちの、所定の条件を満たすデータについてのみ事後分布 p_{nm} を算出し、他のデータについては事後分布 p_{nm} を0とする処理である。有限長処理は、部位 m に無関係なデータの混入を防ぐための処理であり、所定の条件は、部位 m に無関係なデータを排除できるように設定される。これにより、実際には関係ないはずの点群データが解析に影響を及ぼすことを抑制できる。所定の条件を満たすデータは、例えば、以下の式を満たすデータであってよい。

[0074] [数25]

$$\{(x_n - \langle x_n \rangle_p) \cdot e_m^0\}^2 < (\alpha l_m^0)^2$$

ここで、 l_m^0 は、部位 m に係る入力長さであり、 α はマージン（例えば1.2）である。数25によれば、点群データのうちの、幾何モデルの中心（又は中心位置、以下同じ）からの軸方向の距離が所定距離（ $= \alpha l_m^0$ ）以上のデータに対し、事後分布が0とされる。入力長さ l_m^0 は、手入力することも可能であるし、他の計測によって得られる対象者 S の形状情報に基づいて設定されてもよい。

[0075] 長さ算出部128は、長さが無限として定式化されている円柱や楕円柱などの幾何モデルがEMアルゴリズム部124によって利用された場合に、幾

何モデルの中心から端部までの長さ（部位 m の中心から端部までの長さ）に対応する長さパラメータ l_m を導出する。例えば、長さ算出部 128 は、部位 m の長さパラメータ l_m を、分散共分散行列 σ_{xx} を用いて以下の通り算出してもよい。

[0076] [数26]

$$l_m = C e_m^{0T} \sigma_{xx} e_m^0$$

尚、 C は、定数倍の補正值である。

[0077] 或いは、長さ算出部 128 は、部位 m の軸方向に沿った点群データの分布態様に基づいて、部位 m の長さパラメータ l_m を導出してもよい。具体的には、長さ算出部 128 は、部位 m の長さパラメータ l_m を、半値全幅による決定によって算出してもよい。半値全幅とはデータが多いところと比べて、データ数が半分になるところまでの区間を指す。長さ算出部 128 は、部位 m の「切れ目」を見つけることで長さパラメータを導出する。即ち、長さ算出部 128 は、部位 m を、向き e_m^0 に係る軸方向を法線とする輪の態様で軸方向に沿って細かく輪切りにして、その中に含まれるデータ数をカウントし、所定の閾値以下になったところを「切れ目」と規定する。具体的には、半値全幅による決定では、所定の閾値は、カウント値の最大値の半分であるが、カウント値の最大値の 0.1 倍のような半分以外の値であってもよい。

[0078] ここで、図 5 及び図 6 を参照して、長さ算出部 128 による半値全幅による決定方法の一例を具体的に説明する。

[0079] 図 5 は、EM アルゴリズム部 124 による導出結果（幾何モデルによるフィッティング結果）を模式的に示す図であり、図 6 は、長さ算出部 128 による半値全幅による決定方法の説明用の概略フローチャートである。

[0080] 図 5 では、頭部及び胴部がそれぞれ 1 つずつの円柱でフィッティングされて

おり、両腕部及び両脚部が、それぞれ片方ずつ、1つずつの円柱でフィッティングされている。図5では、対象者Sの腕部が部位mである場合について代表して、部位mの長さパラメータ l_m (l_m^+ 及び l_m^-)の算出方法について説明する。尚、図5に示すように、ここでは、腕部は、肘の関節が伸ばされているため、EMアルゴリズム部124により1つの部位として認識されている(1つの幾何モデルで当てはめられている)。

[0081] ステップS600では、長さ算出部128は、 $n=1$ に設定する。 n の意義は後述する。

[0082] ステップS602では、長さ算出部128は、点群データ x_n のうちの、次の条件を満たすデータの数のカウントする。

[0083] [数27]

$$\langle x_n \cdot e_m^0 \rangle_p < x_n \cdot e_m^0 < \langle x_n \cdot e_m^0 \rangle_p + \Delta l_m \quad \text{かつ} \quad p_{nm} > S_m$$

$\langle x_n \cdot e_m^0 \rangle_p$ は、部位mの中心に対応する。 Δl_m は、輪切りの幅(軸方向 e_m^0 に沿った幅)に対応し、例えば $0.01 l_m^0$ である。尚、 l_m^0 は、上述のように、部位mに係る入力長さである。 S_m は、事後分布 p_{nm} に対する閾値であり、例えば0.1である。

[0084] ステップS604では、長さ算出部128は、ステップS602で得たカウント数に基づいて、基準値Crefを設定する。例えば、長さ算出部128は、ステップS602で得たカウント数を、基準値Crefとして設定する。

[0085] ステップS606では、 n を"1"だけインクリメントする。

[0086] ステップS608では、長さ算出部128は、点群データ x_n のうちの、次の条件を満たすデータの数のカウントする。即ち、長さ算出部128は、 Δl_m だけずらした次の区間において、次の条件を満たすデータの数のカウント

する。

[0087] [数28]

$$\langle \mathbf{x}_n \cdot \mathbf{e}_m^0 \rangle_p + (n-1)\Delta l_m < \mathbf{x}_n \cdot \mathbf{e}_m^0 < \langle \mathbf{x}_n \cdot \mathbf{e}_m^0 \rangle_p + n\Delta l_m \quad \text{かつ} \quad p_{nm} > S_m$$

ステップS 6 1 0では、長さ算出部1 2 8は、ステップS 6 0 8でカウントしたデータ数が、基準値C r e fの所定数倍（例えば0. 5倍）以下であるか否かを判定する。判定結果が”Y E S”の場合は、ステップS 6 1 2に進み、それ以外の場合は、ステップS 6 0 6からの処理を繰り返す。

[0088] ステップS 6 1 2では、長さ算出部1 2 8は、現在のnの値を用いて、部位mのうちの、中心から子孫側の端部までの長さパラメータ l_m^+ を、 $n\Delta l_m$ として算出する。即ち、 $l_m^+ = n\Delta l_m$ として算出する。

[0089] ステップS 6 2 0～ステップS 6 3 2では、長さ算出部1 2 8は、逆方向（祖先側）に進むことで、同様の考えた方で、図5に示す部位mのうちの、中心から祖先側の端部までの長さパラメータ l_m^- を算出する。

[0090] 尚、変形例として、長さ算出部1 2 8は、次の通り、部位mの長さパラメータ l_m を算出してもよい。

[0091] [数29]

$$l_m \equiv \min_{n \in N_m} |\mathbf{x}_n \cdot \mathbf{e}_m^0 - \langle \mathbf{x}_n \cdot \mathbf{e}_m^0 \rangle_p|$$

ここで、 N_m は、以下で定義されるnの部分集合であり、ある閾値 p_m^{th} より事後分布 p_{nm} が小さいnの集合である。

[0092]

[数30]

$$N_m \equiv \{n | p_{nm} < p_m^{\text{th}}\}$$

閾値 p_m^{th} は、例えば、以下の通りである。

[0093] [数31]

$$p_m^{\text{th}} = \frac{1}{2} \max_n p_{nm}$$

これは、部分集合 N_m は、点群データ x_n のうちの、部位 m に属さないデータの集合を表す。従って、長さ算出部 128 は、部分集合 N_m のうちの、中心からの距離（数29の $|x_n \cdot e_m^0 - \langle x_n \cdot e_m^0 \rangle_p|$ ）が最小となるデータに基づいて、部位 m の長さパラメータ l_m を算出していることになる。

[0094] 部位認識部 130 は、部位 m のパラメータ（ r_m 、 c_m^0 、及び e_m^0 ）の導出結果と、部位 m の長さパラメータ l_m の導出結果とに基づいて、部位認識処理を行う。部位認識処理は、部位 m と対象者 S の各部位（図4の各部位 $b_1 \sim b_{15}$ 参照）との対応関係を認識することを含む。

[0095] ここで、部位 m の長さパラメータ l_m の導出結果及び c_m^0 及び e_m^0 の導出結果によれば、部位 m の中心（ $= \langle x_n \cdot e_m^0 \rangle_p$ ）からの長さパラメータ l_m^+ 、 l_m^- に基づいて、部位 m の軸上の端部（長さパラメータ l_m を決める端部）の位置を導出できる。具体的には、部位 m の軸上の端部の位置 ξ_m^0 は、以下を満たす。

[0096]

[数32]

$$\xi_m^0 = e_m^0 \times (c_m^0 \times e_m^0) + (\xi_m^0 \cdot e_m^0) e_m^0$$

このとき、数32の右辺第2項は、祖先側の端部と、子孫側の端部とで以下の通りとなる。

[0097] [数33]

$$\xi_m^0 \cdot e_m^0 = \begin{cases} \beta \langle x_n \cdot e_m^0 \rangle_p - l_m^- & \text{先祖側の端部(関節点)} \\ \beta \langle x_n \cdot e_m^0 \rangle_p + l_m^+ & \text{子孫側の端部(関節点)} \end{cases}$$

ここで、 l_m^+ は、上述のように、部位mの中心（ $= \langle x_n \cdot e_m^0 \rangle_p$ ）からの子孫側への長さパラメータであり、 l_m^- は、部位mの中心からの祖先側への長さパラメータであり、上述のように長さ算出部128により算出される。

β は、定数であり、例えば1であってよい。

[0098] 以下の説明で、「関節点」とは、関節に係る代表点（関節に係る位置を表す点）を指し、このようにして導出できる部位mの端部（位置）も関節点に対応する。また、以下の説明で、部位m*（*は、任意の記号）は、パラメータ（ r_m 、 c_m^0 、及び e_m^0 ）が得られた部位m（ $m=1, 2, \dots, M$ ）のうちの特定の部位を表す。部位認識部130は、太さ r_m を利用して、主部位を識別する。主部位は、太さが最も大きい部位であり、本実施例では、対

象者Sの胴部である。

[0099] 部位認識部130は、最も太い部位、又は、太さの差が所定値未満でありかつ隣接する2つの1番目と2番目に太い部位を、対象物の主部位として認識する。具体的には、部位認識部130は、1番目に大きい部位m1と2番目に大きい部位m2との間の差が所定値未満である場合は、部位認識部130は、いずれの部位m1、m2も胴部として識別する。所定値は、部位m1、m2の太さの差に対応した適合値である。他方、1番目に大きい部位m1と2番目に大きい部位m2との間の差が所定値以上である場合は、部位認識部130は、1番目に大きい部位m1だけを、胴部（部位b1+部位b2）として識別する。この場合、部位認識部130は、部位m1に対して、「切断フラグ」を設定する。切断フラグの意義は後述する。これにより、例えば、図4において、対象者Sの姿勢に応じて、部位b1及び部位b2が真っ直ぐ伸びている場合でも、部位b1及び部位b2を、部位m1及び部位m2に係る胴部として認識できる。

[0100] 部位認識部130は、主部位（胴部）を識別すると、胴部の底面近傍にある関節点を判定（識別）する。胴部の底面に対しては、部位認識部130は、胴部の底面側の端部の位置に設定される微小な円柱（あるいは楕円柱や台形柱など）内に、胴部側の端部の位置が属する2つの部位m1、mrを特定する。尚、微小な円柱の高さは所定の値が使用されてもよい。そして、部位認識部130は、部位m1、mrを、左脚部に係る部位（図4の部位b10又は、部位b10+b11参照）と右脚部に係る部位（図4の部位b12又は、部位b12+b13参照）として認識する。

[0101] 部位認識部130は、左脚部に係る部位m1を識別すると、部位m1における胴部から遠い側の端部の位置に設定される球（以下、「連結球」とも称する）内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位が存在するか否かを判定する。尚、連結球の径は所定の値が使用されてもよい。そして、連結球内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位m12が存在する場合は、部位認識部130は、部位m1を、左脚部の腿b10として認識し、部位m12

を、左脚部の脛 b 1 1 として認識する。他方、連結球内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位が存在しない場合は、部位認識部 1 3 0 は、部位 m l を、左脚部の腿と脛の双方を含む部位として認識する。この場合、部位認識部 1 3 0 は、部位 m l に対して、「切断フラグ」を設定する。これにより、例えば、図 4 において、対象者 S の姿勢に応じて、部位 b 1 0 及び b 1 1 が真っ直ぐ伸びている場合でも、部位 b 1 0 及び b 1 1 を、左脚部に係る部位として認識できる。

[0102] 同様に、部位認識部 1 3 0 は、右脚部に係る部位 m r を識別すると、部位 m r における胴部から遠い側の端部の位置に設定される球（連結球）内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位が存在するか否かを判定する。尚、連結球の径は所定の値が使用されてもよい。そして、連結球内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位 m r 2 が存在する場合は、部位認識部 1 3 0 は、部位 m r を、右脚部の腿 b 1 2 として認識し、部位 m r 2 を、右脚部の脛 b 1 3 として認識する。他方、連結球内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位が存在しない場合は、部位認識部 1 3 0 は、部位 m r を、右脚部の腿と脛の双方を含む部位として認識する。この場合、部位認識部 1 3 0 は、部位 m r に対して、「切断フラグ」を設定する。これにより、例えば、図 4 において、対象者 S の姿勢に応じて、部位 b 1 2 及び b 1 3 が真っ直ぐ伸びている場合でも、部位 b 1 2 及び b 1 3 を、右脚部に係る部位として認識できる。

[0103] また、部位認識部 1 3 0 は、主部位（胴部）を識別すると、胴部の側面近傍にある関節点を判定（識別）する。部位認識部 1 3 0 は、胴部の軸方向（主軸）の側面にあり、かつ頭部側の面から最も近い 2 関節点を左右の腕部の根本の関節点（肩の関節に係る関節点）として識別する。例えば、部位認識部 1 3 0 は、胴部の側面における薄いトーラス（円柱に係るトーラス）内に含まれる関節点を、腕部の根本の関節点として識別する。尚、トーラスの厚さなどは所定の値が使用されてもよい。そして、部位認識部 1 3 0 は、左右の腕部の根本の関節点を含む部位 m l h, m r h を、左手に係る部位（図 4

の部位 b 5 又は、部位 b 5 + b 6 参照) と右手に係る部位 (図 4 の部位 b 8 又は、部位 b 8 + b 9 参照) として認識する。

[0104] 部位認識部 130 は、左手に係る部位 m l h を識別すると、部位 m l h における胴部から遠い側の端部の位置に設定される球 (連結球) 内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位が存在するか否かを判定する。なお、連結球の径は所定の値が使用されてもよい。そして、連結球内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位 m l h 2 が存在する場合は、部位認識部 130 は、部位 m l h を、左手の上腕部 b 5 として認識し、部位 m l h 2 を、左手の前腕部 b 6 として認識する。他方、連結球内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位が存在しない場合は、部位認識部 130 は、部位 m l h を、左手の上腕部と前腕部の双方を含む部位として認識する。この場合、部位認識部 130 は、部位 m l h に対して、「切断フラグ」を設定する。これにより、例えば、図 4 において、対象者 S の姿勢に応じて、部位 b 5 及び b 6 が真っ直ぐ伸びている場合でも、部位 b 5 及び b 6 を、左手に係る部位として認識できる。

[0105] 同様に、部位認識部 130 は、右手に係る部位 m r h を識別すると、部位 m r h における胴部から遠い側の端部の位置に設定される球 (連結球) 内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位が存在するか否かを判定する。なお、連結球の径は所定の値が使用されてもよい。そして、連結球内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位 m r h 2 が存在する場合は、部位認識部 130 は、部位 m r h を、右手の上腕部 b 8 として認識し、部位 m r h 2 を、右手の前腕部 b 9 として認識する。他方、連結球内に、胴部に近い側の端部の位置を有する部位が存在しない場合は、部位認識部 130 は、部位 m r h を、右手の上腕部と前腕部の双方を含む部位として認識する。この場合、部位認識部 130 は、部位 m r h に対して、「切断フラグ」を設定する。これにより、例えば、図 4 において、対象者 S の姿勢に応じて、部位 b 8 及び b 9 が真っ直ぐ伸びている場合でも、部位 b 8 及び b 9 を、右手に係る部位として認識できる。

[0106] 骨格整形部 1 3 2 は、骨格整形処理として、切断処理、結合処理、及び連結処理を行う。

[0107] 切断処理は、一の部位を、2つの更なる部位に分離する処理である。分離対象の部位は、部位 m のうちの、上述の切断フラグが設定された部位である。尚、切断処理の対象となる部位に係る幾何モデル（即ち上述の切断フラグが設定された部位に係る幾何モデル）は、第 1 幾何モデルの一例である。切断フラグが設定された部位は、例えば上腕部と前腕部（図 4 の部位 b_5 及び b_6 参照）のような、真っ直ぐ伸ばした状態であるときに幾何モデルによる当てはめで一の部位として認識された部位である。切断処理は、このような本来 2 部位からなる部位を、2つの更なる部位に分離する。パラメータ θ の各要素（ r_m 、 c_m^0 、及び e_m^0 ）のうち、2つの更なる部位の r_m 及び e_m^0 は、そのままである。他方、骨格整形部 1 3 2 は、2つの更なる部位の c_m^0 の間の関節の位置（即ち、切断フラグが設定された部位の中間の関節点）を、数 3 2 に従って求める。中間の関節点の場合は、数 3 2 の右辺第 2 項は、以下の通りである。尚、中間の関節点の導出には、 c_m^0 及び e_m^0 の導出結果が用いられる。

[0108] [数 34]

$$\xi_m^0 \cdot e_m^0 = \beta \langle x_n \cdot e_m^0 \rangle_p \quad \text{中間の関節点}$$

上述のように、 β は、定数であり、例えば 1 であってよい。 $\beta = 1$ の場合は、部位 m の中心（ $= \langle x_n \cdot e_m^0 \rangle_p$ ）が、本来 2 部位からなる部位 m の中間の関節点を表すことになる。或いは、 β は、他の計測によって得られる対象者 S の形状情報に基づいて設定されてもよい。

[0109] このようにして切断処理によれば、部位 m が、本来 2 部位からなる部位を含む場合でも、2つの更なる部位に切断して、3つの関節点を導出できる。

従って、例えば脚部が伸ばされて肘や膝が真っ直ぐ伸びている場合でも、切断処理によって3つの関節点を導出できる。

[0110] 結合処理は、隠れた骨格で繋がる2つの部位 m の位置 c_m^0 、向き e_m^0 、及び長さパラメータ l_m に基づいて、2つの部位 m にわたる直線に対応付けられる対象者 S の隠れた骨格を導出する処理である。具体的には、結合処理は、隠れた骨格を、所定の2つの部位 m に係る2関節点間を結ぶ直線として生成する処理である。尚、結合処理の対象となる所定の2つの部位 m に係る幾何モデルは、第2幾何モデルの一例である。隠れた骨格とは、図4を参照して上述したように、股関節に係る骨格 $b14$ 、 $b15$ や、肩の関節に係る骨格 $b4$ 、 $b7$ がある。股関節に係る骨格 $b14$ については、結合処理の対象となる2関節点は、部位 $b1$ の底面側の関節点 $a0$ と、部位 $b10$ の胴部側の関節点 $a14$ とが対応する。また、股関節に係る骨格 $b15$ については、所定の2関節は、部位 $b1$ の底面側の関節点 $a0$ と、部位 $b12$ の胴部側の関節点 $a15$ とが対応する。肩の関節に係る骨格 $b4$ については、所定の2関節は、部位 $b2$ の頭部側の関節点 $a2$ と、部位 $b5$ の胴部側の関節点 $a4$ とが対応する。肩の関節に係る骨格 $b7$ については、所定の2関節は、部位 $b2$ の頭部側の関節点 $a2$ と、部位 $b8$ の胴部側の関節点 $a7$ とが対応する。

[0111] このようにして結合処理によれば、関節モデルが隠れた骨格を含む場合でも、結合処理により隠れた骨格（リンクに対応する直線）を導出できる。尚、隠れた骨格に係る直線の方法は、隠れた骨格に係る部位 s の向き e_s^0 として利用されてもよいし、直線上の位置は、隠れた骨格に係る部位 s の位置 c_s^0 として利用されてもよい。

[0112] 連結処理は、異なる部位に係る幾何モデルから導出できる同じ関節に係る関節点（共通の関節点）を、1つの関節点に統合（連結）する処理である。例えば、連結対象の関節点は、例えば上述した連結球内の2つの関節点（図4の関節 $a5$ 、 $a8$ 、 $a10$ 、 $a12$ に係る関節点）である。このような腕部及び脚部に係る連結処理は、切断フラグが設定されない場合に実行される。また、他の連結対象の関節点は、首の関節点に係り、頭部の幾何モデルと

胴部の幾何モデルの両方から得られる2つの関節点（図4の関節a2に係る関節点）である。また、他の連結対象の関節点は、太さ r_m が1番目に大きい部位m1と2番目に大きい部位m2とをそれぞれ胴部として識別した場合において、部位m1と部位m2との間の関節点（図4の関節a1に係る関節点）である。即ち、胴部に係る連結処理は、切断フラグが設定されない場合に実行される。

- [0113] 連結処理は、単にいずれか一方の関節点を選択する処理であってもよい。或いは、2つの関節点の平均値を利用する方法や、2つの関節点に係る2つの部位のうち、事後分布のデータ和が大きい方の部位の値を利用する方法、事後分布のデータ和で重み付けした値を利用する方法などであってもよい。
- [0114] 骨格整形部132は、骨格整形処理として、好ましくは、更に、対称化処理を行う。対称化処理は、本来実質的に左右対称な部位に対して、パラメータについても左右対称に補正する処理である。本来実質的に左右対称な部位は、例えば左右の腕部や、左右の脚部である。例えば左右の腕部（左右の脚部についても同様）について、骨格整形部132は、パラメータ θ のうちの太さ r_m と、長さパラメータ l_m について、事後分布のデータ和の最も大きい方に統一してよい。例えば左脚部に係る事後分布のデータ和が右脚部に係る事後分布のデータ和よりも大きい場合、左脚部に係る太さ r_m と長さパラメータ l_m に、右脚部に係る太さ r_m と長さパラメータ l_m を補正する。これにより、左右の対称性を利用して、太さ r_m や長さパラメータ l_m の精度を高めることができる。
- [0115] 出力部134は、表示装置等（図示せず）に、対象者Sの骨格情報（図3では、“認識結果”と表記）を出力する。例えば、出力部160は、フレーム周期ごとに、略リアルタイムに、対象者Sの骨格情報を出力してもよい。或いは、対象者Sの動きの解説用などでは、出力部160は、非リアルタイムで、骨格情報を時系列に出力してもよい。骨格情報は、関節a0～a15の各位置を特定できる情報を含んでもよい。また、骨格情報は、骨格b1～b15の位置や、向き、太さを特定できる情報を含んでもよい。骨格情報の用

途は任意であるが、次のフレーム周期における同骨格情報の導出に利用されてもよい。また、骨格情報は、最終的には、体操等の競技時の対象者Sの動きの解析に利用されてもよい。例えば体操の競技時の対象者Sの動きの解析では、骨格情報に基づく技の認識や技の定量化（得点など）が実現されてもよい。また、他の用途としては、作業者を想定する対象者Sの動きを解析して、ロボットプログラムに利用されてもよい。或いは、ジェスチャーによるユーザインターフェースや、個人の識別、熟練技術の定量化などに利用することもできる。

[0116] 本実施例によれば、上述のように、幾何モデルを用いてフィッティングを行って得られる結果に対して、切断処理が実行される。これにより、例えば対象者Sの胴部や腕部、脚部のような、関節で繋がる2つの部位が真っ直ぐに伸ばされている場合でも、該2つの部位を繋ぐ関節を精度良く認識できる。即ち、幾何モデルを用いたフィッティングだけでは一部位としてしか認識できないような状況下（本来は2つの部位が一部位としてしか認識できないような状況下）でも、2つの部位を繋ぐ関節を精度良く認識できる。また、本実施例によれば、上述のように、幾何モデルを用いてフィッティングを行って得られる結果に対して、結合処理が実行される。これにより、幾何モデルを用いたフィッティングだけでは精度良く認識し難い隠れた骨格についても精度良く認識できる。このようにして、本実施例によれば、対象者Sの点群データに基づいて、対象者Sの関節又は骨格を精度良く認識できる。

[0117] 次に、図7以降の概略フローチャートを参照して、本実施例による対象物認識システム1の動作例について説明する。

[0118] 図7は、対象物認識システム1の全体動作の一例を示す概略フローチャートであり、図8は、部位認識処理の一例を示す概略フローチャートである。図9A及び図9Bは、図7の処理等の説明図である。図9A及び図9Bには、ある一時点（一シーン）に係る点群データ x_n がそれぞれ示されている。

[0119] ステップS700では、データ入力部120に、ある一時点に係る点群データ x_n が入力される。

- [0120] ステップS702では、クラスタリング部122は、ステップS700で得た点群データ x_n に基づいて、幾何モデルを用いたフィッティングに用いる初期値を取得する。クラスタリング部122の処理（初期値の取得方法）の詳細は上述のとおりである。
- [0121] ステップS704では、EMアルゴリズム部124は、ステップS700で得た点群データ x_n と、ステップS702で得た初期値とに基づいて、EMアルゴリズムのEステップを実行する。EMアルゴリズムのEステップの詳細は上述のとおりである。
- [0122] ステップS705では、EMアルゴリズム部124は、 $j = 1$ に設定する。
- [0123] ステップS706では、EMアルゴリズム部124は、 j 番目の部位 j （ $m = j$ ）について有限長処理を行う。有限長処理の詳細は上述のとおりである。
- [0124] ステップS708では、EMアルゴリズム部124は、ステップS704で得たEステップの結果と、ステップS706で得た有限長処理結果とに基づいて、 j 番目の部位 j （ $m = j$ ）についてEMアルゴリズムのMステップを実行する。EMアルゴリズムのMステップの詳細は上述のとおりである。
- [0125] ステップS710では、EMアルゴリズム部124は、未処理部位が有るか否か、即ち $j < M$ であるか否かを判定する。未処理部位が有る場合は、ステップS711を経て、ステップS706からの処理を繰り返す。未処理部位が無い場合は、ステップS712に進む。
- [0126] ステップS711では、EMアルゴリズム部124は、 j を”1”だけインクリメントする。
- [0127] ステップS712では、EMアルゴリズム部124は、収束したか否かを判定する。収束条件としては、例えば、対数尤度関数が所定の値以下であることや、対数尤度関数の移動平均が所定の値以下であることなどが使用されてもよい。
- [0128] ステップS714では、モデル最適化部126は、モデル最適化処理を行

う。例えば、モデル最適化部126は、今回の使用した幾何モデルに係る事後分布のデータ和の全部位和を算出する。そして、事後分布のデータ和の全部位和が所定基準値未満である場合は、EMアルゴリズム部124に幾何モデルの変更を指示して、ステップS704からステップS712の処理を再度実行させる。或いは、モデル最適化部126は、今回の使用した幾何モデルに係る事後分布のデータ和の全部位和の如何にかかわらず、EMアルゴリズム部124に幾何モデルの変更を指示して、ステップS704からステップS712の処理を再度実行させる。この場合、モデル最適化部126は、事後分布のデータ和の全部位和が最も大きな幾何モデルを、あてはまりが最も良好な種類の幾何モデルとして選択する。

[0129] ステップS714までの処理が終了すると、図9Aに示すように、点群データ x_n に対して当てはめられた複数の幾何モデルに係るパラメータ θ (r_m 、 c_m^0 、及び e_m^0) が得られる。図9Aに示す例では、点群データ x_n に対して当てはめられた6つの幾何モデルM1～M6が概念的に示される。幾何モデルM1は、対象者Sの頭部に係る幾何モデルであり、幾何モデルM2は、対象者Sの胴部に係る幾何モデルであり、幾何モデルM3及びM4は、対象者Sの両腕部に係る幾何モデルであり、幾何モデルM5及びM6は、対象者Sの両脚部に係る幾何モデルである。図9Aに示す例では、幾何モデルM1～M6は、全て円柱である。

[0130] ステップS716では、長さ算出部128は、点群データ x_n と、ステップS714までの処理で得られるパラメータ θ とに基づいて、各幾何モデル（幾何モデルM1～M6参照）の長さパラメータ l_m を導出する。長さパラメータ l_m を導出することは、上述のように、部位 m の中心に対して、長さパラメータ l_m^+ 及び長さパラメータ l_m^- を導出することを含む。

[0131] ステップS718では、部位認識部130は、部位認識処理を行う。部位認識処理は、上述のとおりであるが、一例の手順については、図8を参照して後述する。

[0132] ステップS720では、骨格整形部132は、ステップS718で得た部

位認識処理結果等に基づいて、切断処理、結合処理、及び連結処理を行う。骨格整形部 132 は、切断フラグが設定された部位については切断処理を行う。切断処理の詳細は上述のとおりである。また、結合処理は、上述のとおりであり、股関節に係る骨格 b14、b15 や、肩の関節に係る骨格 b4、b7 に係る各直線を導出することを含む。また、連結処理の詳細は上述のとおりである。

[0133] ステップ S720 までの処理が終了すると、図 9B に概念的に示すように、切断処理に係る各関節の位置や、隠れた骨格等が導出される。

[0134] ステップ S722 では、骨格整形部 132 は、ステップ S704～ステップ S712 で得られる事後分布のデータ和に基づいて、対称化処理を行う。対称化処理の詳細は上述のとおりである。

[0135] 続いて、ステップ S718 における部位認識処理を図 8 を参照して説明する。

[0136] ステップ S800 では、部位認識部 130 は、太さ r_m について、1 番目と 2 番目に太い部位の差が所定値以上であるか否かを判定する。判定結果が“YES”の場合は、ステップ S802 に進み、それ以外の場合は、ステップ S804 に進む。

[0137] ステップ S802 では、部位認識部 130 は、太さ r_m が 1 番目に大きい部位 m_1 を胴部（真っ直ぐ伸びた胴部）として識別し、部位 m_1 に対して切断フラグを設定する。例えば、図 9A に示す例では、幾何モデル M2 が対応付けられる部位は、2 番目に太い部位との差が所定値以上である 1 番目に太い部位 m_1 となり、切断フラグが設定されることになる。尚、このようにして部位 m_1 に切断フラグが設定されると、図 7 のステップ S720 にて部位 m_1 に対して切断処理が実行されることになる。

[0138] ステップ S804 では、部位認識部 130 は、太さ r_m が 1 番目に大きい部位 m_1 と 2 番目に大きい部位 m_2 とを、胴部として識別する。

[0139] ステップ S806 では、部位認識部 130 は、頭部を認識する。例えば、部位認識部 130 は、部位 m_1 の上面近傍の部位 m_h を、頭部として認識す

る。例えば図9 Aに示す例では、幾何モデルM 1 が対応付けられる部位が頭部として認識されることになる。

[0140] ステップS 8 0 8では、部位認識部1 3 0は、胴部の底面近傍に左右の脚部を認識する。即ち、部位認識部1 3 0は、上述のように、胴部の底面近傍に左右の2関節点を各脚部の根本の関節点として識別し、該2関節点を有する部位 m_l 、 m_r を、左右の脚部に係る部位と認識する。

[0141] ステップS 8 1 0では、部位認識部1 3 0は、ステップS 8 0 8で認識した左右の脚部に係る部位 m_l 、 m_r の末端側（胴部から遠い側）に、他の部位 m_{l2} 、 m_{r2} に係る関節点が存在するか否かを判定する。この際、部位認識部1 3 0は、左右の脚部についてそれぞれ別に判定する。判定結果が”Y E S”の場合は、ステップS 8 1 2に進み、それ以外の場合は、ステップS 8 1 4に進む。

[0142] ステップS 8 1 2では、部位認識部1 3 0は、ステップS 8 0 8で認識した左右の脚部に係る部位 m_l 、 m_r を、腿部として認識するとともに、ステップS 8 1 0で認識した他の部位 m_{l2} 、 m_{r2} を、脛部として認識する。尚、この場合、図7のステップS 7 2 0にて、部位 m_l 、 m_{l2} に対して連結処理が実行され、部位 m_r 、 m_{r2} に対して連結処理が実行されることになる。

[0143] ステップS 8 1 4では、部位認識部1 3 0は、ステップS 8 0 8で認識した左右の脚部に係る部位 m_l 、 m_r を、真っ直ぐ伸びた脚部であると認識し、部位 m_l 、 m_r に対して切断フラグを設定する。尚、このようにして部位 m_l 、 m_r に切断フラグが設定されると、図7のステップS 7 2 0にて部位 m_l 、 m_r に対してそれぞれ切断処理が実行されることになる。

[0144] ステップS 8 1 6では、部位認識部1 3 0は、胴部の上側（脚部から遠い側）の左右の側面に左右の腕部を認識する。即ち、部位認識部1 3 0は、上述のように、胴部の側面における薄いトラス内に含まれる2関節点を各腕部の根本の関節点として識別し、該2関節点を有する部位 m_{lh} 、 m_{rh} を、左右の腕部に係る部位と認識する。

- [0145] ステップS 8 1 8では、部位認識部1 3 0は、ステップS 8 0 8で認識した左右の腕部に係る部位 $m \mid h$, $m r h$ の末端側（胴部から遠い側）に、他の部位 $m \mid h 2$, $m r h 2$ に係る関節点が存在するか否かを判定する。この際、部位認識部1 3 0は、左右の腕部についてそれぞれ別に判定する。判定結果が”Y E S”の場合は、ステップS 8 2 0に進み、それ以外の場合は、ステップS 8 2 2に進む。
- [0146] ステップS 8 2 0では、部位認識部1 3 0は、ステップS 8 1 6で認識した左右の腕部に係る部位 $m \mid h$, $m r h$ を上腕部として認識するとともに、ステップS 8 1 8で認識した他の部位 $m \mid h 2$, $m r h 2$ を、前腕部として認識する。尚、この場合、図7のステップS 7 2 0にて、部位 $m \mid h$, $m \mid h 2$ に対して連結処理が実行され、部位 $m r h$, $m r h 2$ に対して連結処理が実行されることになる。
- [0147] ステップS 8 2 2では、部位認識部1 3 0は、ステップS 8 1 6で認識した左右の腕部に係る部位 $m \mid h$, $m r h$ を、真っ直ぐ伸びた腕部であると認識し、部位 $m \mid h$, $m r h$ に対して切断フラグを設定する。尚、このようにして部位 $m \mid h$, $m r h$ に切断フラグが設定されると、図7のステップS 7 2 0にて部位 $m \mid h$, $m r h$ に対してそれぞれ切断処理が実行されることになる。
- [0148] 図7及び図8に示す処理によれば、ある一時点（一シーン）に係る対象者Sの点群データ x_n に基づいて、対象者Sの関節又は骨格を精度良く認識することが可能となる。尚、図7及び図8に示す処理は、フレーム周期ごとに繰り返し実行されてもよいし、次のフレームに対しては、前回のフレームで得たパラメータ θ 及び分散 σ^2 や前回のフレームで用いた幾何モデルを利用して、次のフレームに係るパラメータ θ 等が導出されてもよい。
- [0149] 以上、各実施例について詳述したが、特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された範囲内において、種々の変形及び変更が可能である。また、前述した実施例の構成要素を全部又は複数を組み合わせることも可能である。

[0150] 例えば、上述した実施例では、点群データ x_n がすべて幾何モデル表面近傍に存在するとして定式化してきたが、点群データ x_n にはノイズなども含まれる。そのような表面から離れたデータが混入すると、Eステップの事後分布が数値不安定となり正しく計算されない場合がある。そこで、分布 $p(x_n)$ には、以下のように、ノイズ項として一様分布が追加されてもよい。

[0151] [数35]

$$p(x_n) = \frac{1-u}{M(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \sum_{m=1}^M \exp\left(-\frac{\varepsilon_m(x_n, \theta)^2}{2\sigma^2}\right) + \frac{u}{N}$$

ここで、 u は任意の重みである。このとき、事後分布は以下のように修正される。

[0152] [数36]

$$p_{nm} = \frac{\exp(-\varepsilon_m(x_n, \theta)^2/2\sigma^2)}{\sum_{m=1}^M \exp(-\varepsilon_m(x_n, \theta)^2/2\sigma^2) + u_c}$$

ここで、 u_c は、以下の通り定義される。

[0153] [数37]

$$u_c \equiv (2\pi\sigma^2)^{1/2} u M / (1-u) N$$

これにより、分母に u_e が導入され、数値不安定が解消される。尚、Eステップのみの変更であり、Mステップはそのままよい。

符号の説明

- [0154] 1 対象物認識システム
 - 2 1 距離画像センサ
 - 1 0 0 対象物認識装置
 - 1 0 1 制御部
 - 1 0 2 主記憶部
 - 1 0 3 補助記憶部
 - 1 0 4 ドライブ装置
 - 1 0 5 記録媒体
 - 1 0 7 入力部
 - 1 2 0 データ入力部
 - 1 2 2 クラスタリング部
 - 1 2 4 EMアルゴリズム部
 - 1 2 6 モデル最適化部
 - 1 2 8 長さ算出部
 - 1 3 0 部位認識部
 - 1 3 2 骨格整形部
 - 1 3 4 出力部
 - 1 4 0 幾何モデルデータベース

請求の範囲

- [請求項1] 3次元の位置情報を得るセンサから、複数の関節を有する対象物の表面に係る点群データを取得し、
- 前記点群データに、軸を有する幾何モデルを複数の個所で別々に当てはめ、前記点群データに当てはまる複数の幾何モデルのそれぞれの位置及び軸方向を導出する当てはめ処理を行い、
- 前記当てはめ処理の結果に基づいて、
- 前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、1つ以上の第1幾何モデルのそれぞれに対応付けられる前記対象物の3つの関節、及び、
- 前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、2つの第2幾何モデルにわたる前記対象物の骨格に対応付けられる前記対象物の2つの関節、
- のうちの少なくともいずれか一方を認識することを含む、コンピュータにより実行される対象物認識方法。
- [請求項2] 前記第1幾何モデルの軸方向の中心から端部までの長さに対応する長さパラメータを導出することを更に含み、
- 前記第1幾何モデルに対応付けられる3つの関節を認識することは、前記第1幾何モデルの前記長さパラメータの導出結果に更に基づく、請求項1に記載の対象物認識方法。
- [請求項3] 前記第1幾何モデルに対応付けられる3つの関節を認識することは、前記第1幾何モデルの軸方向の中心に基づいて前記3つの関節のうちの中間の関節の位置を導出し、前記第1幾何モデルの軸上にありかつ前記第1幾何モデルの前記長さを決める両端部の各位置に基づいて前記3つの関節のうちの残りの2つの関節の位置を導出することを含む、請求項2に記載の対象物認識方法。
- [請求項4] 前記当てはめ処理は、事後分布の導出を伴う反復的な演算に基づき、

前記中間の関節の位置は、前記第 1 幾何モデルの軸方向の中心に対応し、

前記中間の関節の位置を導出することは、前記点群データの各点と前記第 1 幾何モデルの軸方向との内積に対して、事後分布を用いた平均操作を行うことを含む、請求項 3 に記載の対象物認識方法。

[請求項5] 前記 2 つの第 2 幾何モデルの軸方向の中心から端部までの長さに対応する長さパラメータを導出することを更に含み、

前記骨格に対応付けられる 2 つの関節を認識することは、前記 2 つの第 2 幾何モデルの軸方向の前記長さパラメータの導出結果に更に基づく、請求項 1 に記載の対象物認識方法。

[請求項6] 前記骨格に対応付けられる 2 つの関節を認識することは、前記 2 つの第 2 幾何モデルのそれぞれの軸上にありかつ前記長さを決める端部の位置に基づいて、前記 2 つの関節の位置を導出することを含む、請求項 5 に記載の対象物認識方法。

[請求項7] 前記当てはめ処理は、事後分布の導出を伴う反復的な演算に基づき、

前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのそれぞれの軸方向の中心から端部までの長さに対応する長さパラメータを導出し、

前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのそれぞれについて、軸方向に垂直な方向の太さを導出又は取得し、

前記当てはめ処理の結果と、前記長さパラメータの導出結果と、前記太さの導出結果又は取得結果とに基づいて、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルと、前記対象物の各部位との対応関係を認識することを更に含む、請求項 1 に記載の対象物認識方法。

[請求項8] 前記長さパラメータを導出することは、前記複数の幾何モデルのそれぞれごとに、前記当てはめ処理の結果と、前記点群データと、事後分布とに基づいて、幾何モデルの軸方向に沿った前記点群データの分布態様を評価することを含む、請求項 7 に記載の対象物認識方法。

[請求項9] 前記対応関係を認識することは、前記複数の幾何モデルのうちの、2番目に太い幾何モデルとの前記太さの差が所定値以上である1番目に太い幾何モデルを、又は、前記太さの差が所定値未満である1番目と2番目に太い幾何モデルを、前記対象物の主部位に対応付けることを含み、

2番目に太い幾何モデルとの前記太さの差が所定値以上である1番目に太い幾何モデルが、前記対象物の主部位に対応付けられた場合、前記第1幾何モデルは、前記対象物の主部位に対応付けられた該幾何モデルを含む、請求項7又は8に記載の対象物認識方法。

[請求項10] 前記対象物は、人、又は、人型のロボットであり、
前記主部位は、胴部であり、

前記対応関係を認識することは、前記複数の幾何モデルのうちの、前記胴部の軸方向に最も位置に近い幾何モデルを、前記対象物の頭部に対応付けることを含む、請求項9に記載の対象物認識方法。

[請求項11] 前記対応関係を認識することは、前記複数の幾何モデルのうちの、前記胴部の軸方向で前記胴部に対して前記頭部とは逆側の位置を持つ2つの幾何モデルを、前記対象物の左右の脚部にそれぞれ対応付けることを更に含み、

前記左右の脚部に対応付けられた前記幾何モデルのうちの少なくともいずれか一方が、前記胴部に対応付けられた幾何モデル以外の他の幾何モデルと隣接していない場合、前記第1幾何モデルは、前記左右の脚部に対応付けられた前記幾何モデルのうちの、前記他の幾何モデルと隣接していない幾何モデルを含む、請求項10に記載の対象物認識方法。

[請求項12] 前記左右の脚部に対応付けられた前記幾何モデルのそれぞれに関する事後分布のデータ和に基づいて、前記左右の脚部に対応付けられた前記幾何モデルのうちの、該データ和の小さい方に係る前記太さ又は前記長さパラメータを、該データ和の大きい方に係る前記太さ又は前

記長さパラメータに基づき補正することを更に含む、請求項 11 に記載の対象物認識方法。

[請求項13] 前記 2 つの第 2 幾何モデルは、前記胴部に対応付けられた前記幾何モデルと、左又は右の前記脚部に対応付けられた前記幾何モデルとを含み、前記骨格に対応付けられる 2 つの関節は、前記脚部の根本の関節と、前記胴部における前記脚部側の関節である、請求項 11 に記載の対象物認識方法。

[請求項14] 前記対応関係を認識することは、前記複数の幾何モデルのうちの、前記胴部の軸方向に対して垂直な側でありかつ前記頭部に対して 1 番目と 2 番目に近い位置を持つ 2 つの幾何モデルを、左右の腕部にそれぞれ対応付けることを更に含む、

前記左右の腕部に対応付けられた前記幾何モデルのうちの少なくともいずれか一方が、前記胴部に対応付けられた幾何モデル以外の他の幾何モデルと隣接していない場合、前記第 1 幾何モデルは、前記左右の腕部に対応付けられた前記幾何モデルのうちの、前記他の幾何モデルと隣接していない幾何モデルを含む、請求項 10 に記載の対象物認識方法。

[請求項15] 前記左右の腕部に対応付けられた前記幾何モデルのそれぞれに関する事後分布のデータ和に基づいて、前記左右の腕部に対応付けられた前記幾何モデルのうちの、該データ和の小さい方に係る前記太さ又は前記長さパラメータを、該データ和の大きい方に係る前記太さ又は前記長さパラメータに基づき補正することを更に含む、請求項 14 に記載の対象物認識方法。

[請求項16] 前記 2 つの第 2 幾何モデルは、前記胴部に対応付けられた前記幾何モデルと、左又は右の前記腕部に対応付けられた前記幾何モデルとを含み、前記骨格に対応付けられる 2 つの関節は、前記腕部の根本の関節と、前記胴部における頭部側の関節である、請求項 14 に記載の対象物認識方法。

- [請求項17] 前記当てはめ処理の結果と、前記長さパラメータの導出結果とに基づいて、隣接する2つの前記幾何モデルのそれぞれの軸上にありかつそれぞれの軸方向の前記長さを決める両端部のうちの、隣接する前記幾何モデルに近接する側の端部の各位置を導出し、導出した該端部の各位置に基づいて、該2つの幾何モデル間に対応付けられる関節の位置を導出することを更に含む、請求項7～16のうちのいずれか1項に記載の対象物認識方法。
- [請求項18] 前記当てはめ処理は、前記幾何モデルの表面に前記点群データが集まるようにパラメータを導出する処理を含み、
前記パラメータは、前記幾何モデルの位置、軸方向、及び前記幾何モデルの表面に対する前記点群データの表面残差がガウス分布するときの分散を含む、請求項1～17のうちのいずれか1項に記載の対象物認識方法。
- [請求項19] 前記幾何モデルは、円柱、円錐、台形柱、楕円柱、楕円錐、及び台形楕円柱のうちの少なくともいずれか1つに係り、
前記当てはめ処理は、2種類以上の前記幾何モデルを用いて実行され、
前記当てはめ処理の結果は、当てはまりが最も良好な種類の前記幾何モデルに基づく、請求項18に記載の対象物認識方法。
- [請求項20] 前記当てはめ処理は、前記点群データに含まれるノイズを一様分布でモデル化することを含む、請求項18又は19に記載の対象物認識方法。
- [請求項21] 前記当てはめ処理は、EM (expectation-maximization) アルゴリズムに基づく、請求項18～20のいずれか1項に記載の対象物認識方法。
- [請求項22] 前記当てはめ処理は、EMアルゴリズムのEステップにおいて、前記点群データのうちの、前記幾何モデルの軸方向の中心からの軸方向の距離が所定距離以上のデータに対し、事後分布を0にすることを含

む、請求項 2 1 に記載の対象物認識方法。

[請求項23]

3次元の位置情報を得るセンサから、複数の関節を有する対象物の表面に係る点群データを取得する取得部と、

前記点群データに、軸を有する幾何モデルを複数の個所で別々に当てはめ、前記点群データに当てはまる複数の幾何モデルのそれぞれの位置及び軸方向を導出する当てはめ処理を行う当てはめ処理部と、

前記当てはめ処理の結果に基づいて、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、1つ以上の第1幾何モデルのそれぞれに対応付けられる前記対象物の3つの関節を認識すること、及び、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、2つの第2幾何モデルにわたる前記対象物の骨格に対応付けられる前記対象物の2つの関節を認識すること、のうちの少なくともいずれか一方を行う認識処理部とを含む、対象物認識装置。

[請求項24]

3次元の位置情報を得るセンサと、

前記センサから、複数の関節を有する対象物の表面に係る点群データを取得する取得部と、

前記点群データに、軸を有する幾何モデルを複数の個所で別々に当てはめ、前記点群データに当てはまる複数の幾何モデルのそれぞれの位置及び軸方向を導出する当てはめ処理を行う当てはめ処理部と、

前記当てはめ処理の結果に基づいて、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、1つ以上の第1幾何モデルのそれぞれに対応付けられる前記対象物の3つの関節を認識すること、及び、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、2つの第2幾何モデルにわたる前記対象物の骨格に対応付けられる前記対象物の2つの関節を認識すること、のうちの少なくともいずれか一方を行う認識処理部とを含む、対象物認識システム。

[請求項25]

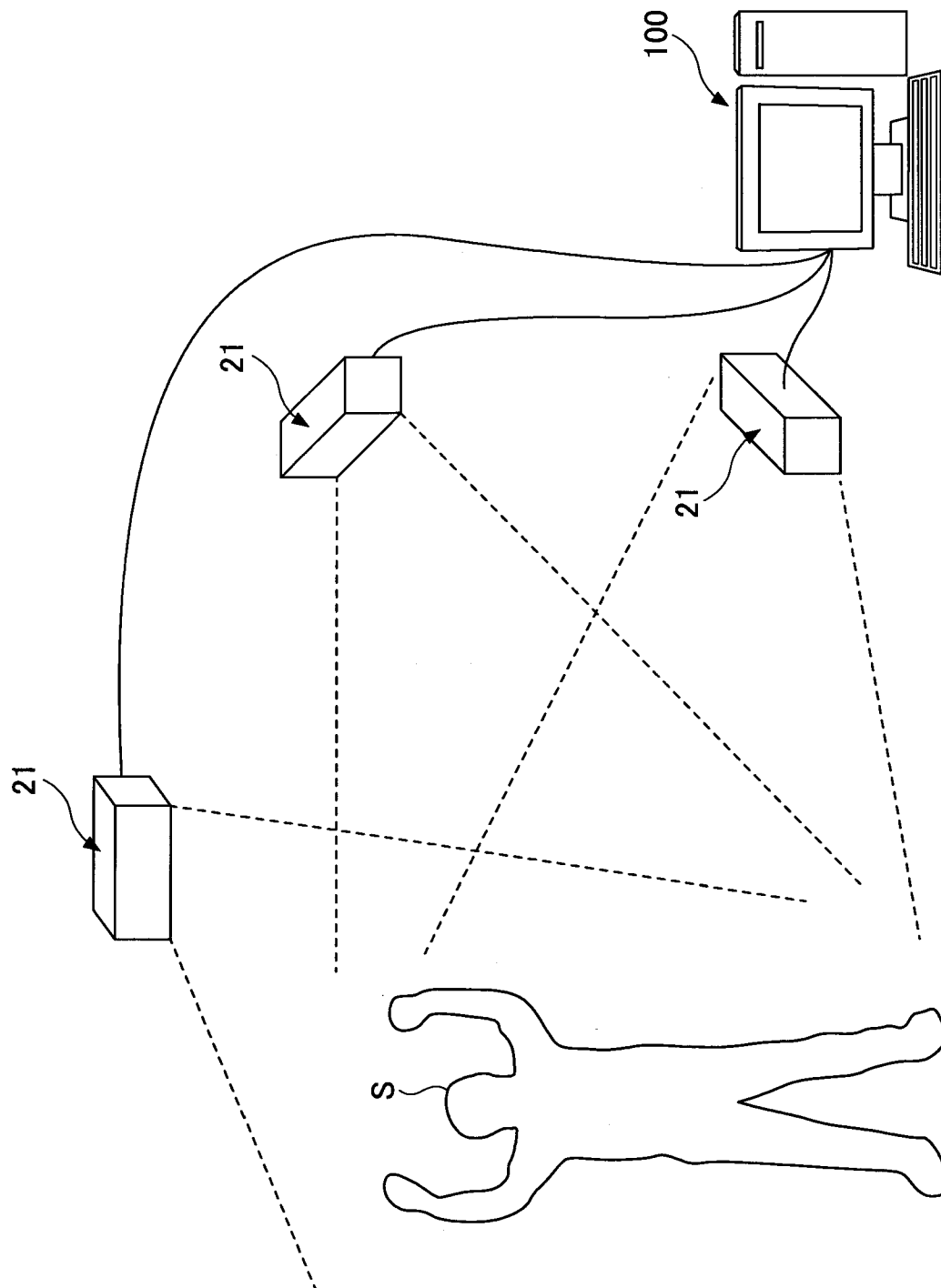
3次元の位置情報を得るセンサから、複数の関節を有する対象物の表面に係る点群データを取得し、

前記点群データに、軸を有する幾何モデルを複数の個所で別々に当てはめ、前記点群データに当てはまる複数の幾何モデルのそれぞれの位置及び軸方向を導出する当てはめ処理を行い、

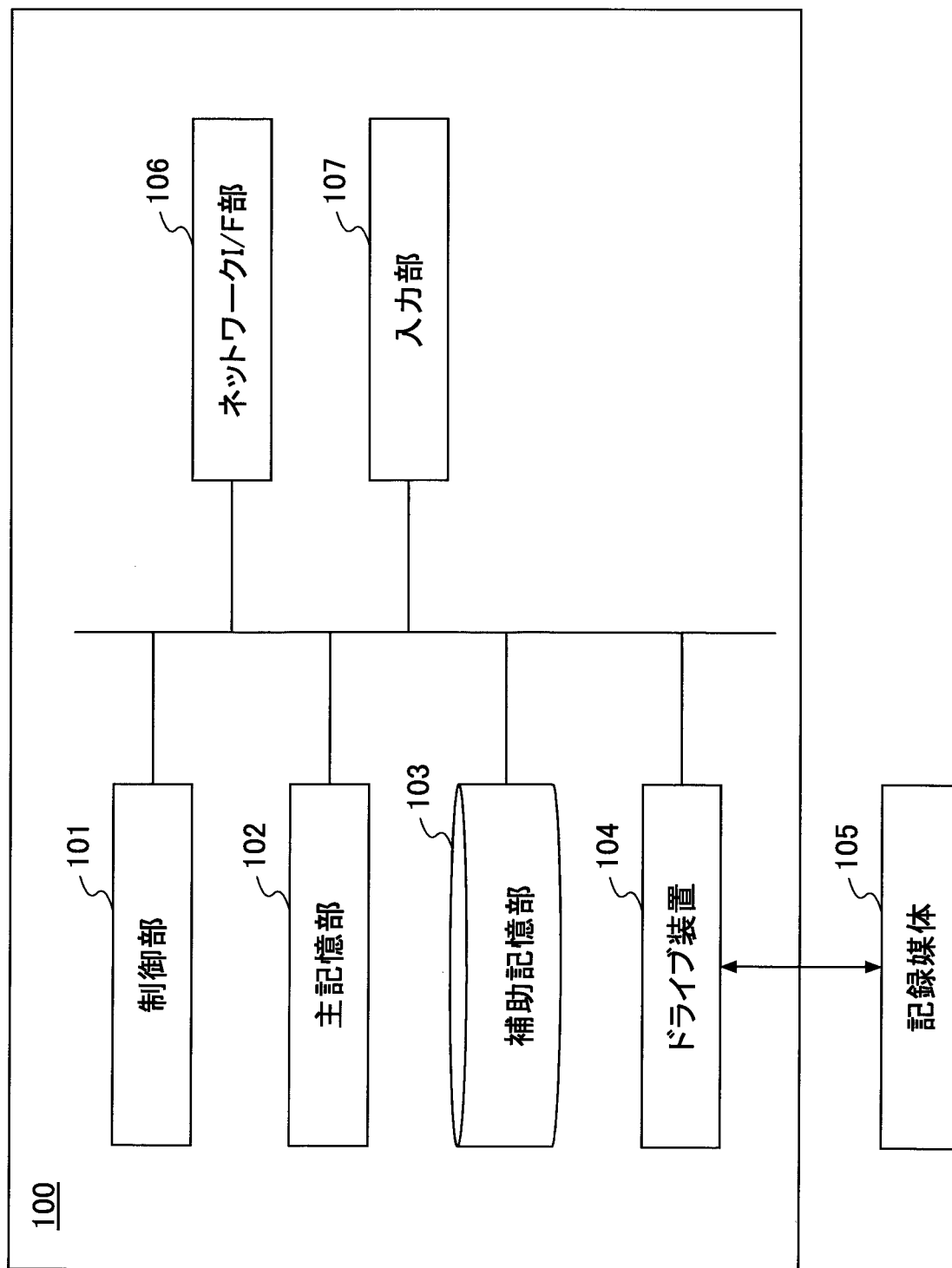
前記当てはめ処理の結果に基づいて、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、1つ以上の第1幾何モデルのそれぞれに対応付けられる前記対象物の3つの関節を認識すること、及び、前記点群データに当てはまる前記複数の幾何モデルのうちの、2つの第2幾何モデルにわたる前記対象物の骨格に対応付けられる前記対象物の2つの関節を認識すること、のうちの少なくともいずれか一方を実行する、

処理をコンピュータに実行させる対象物認識プログラム。

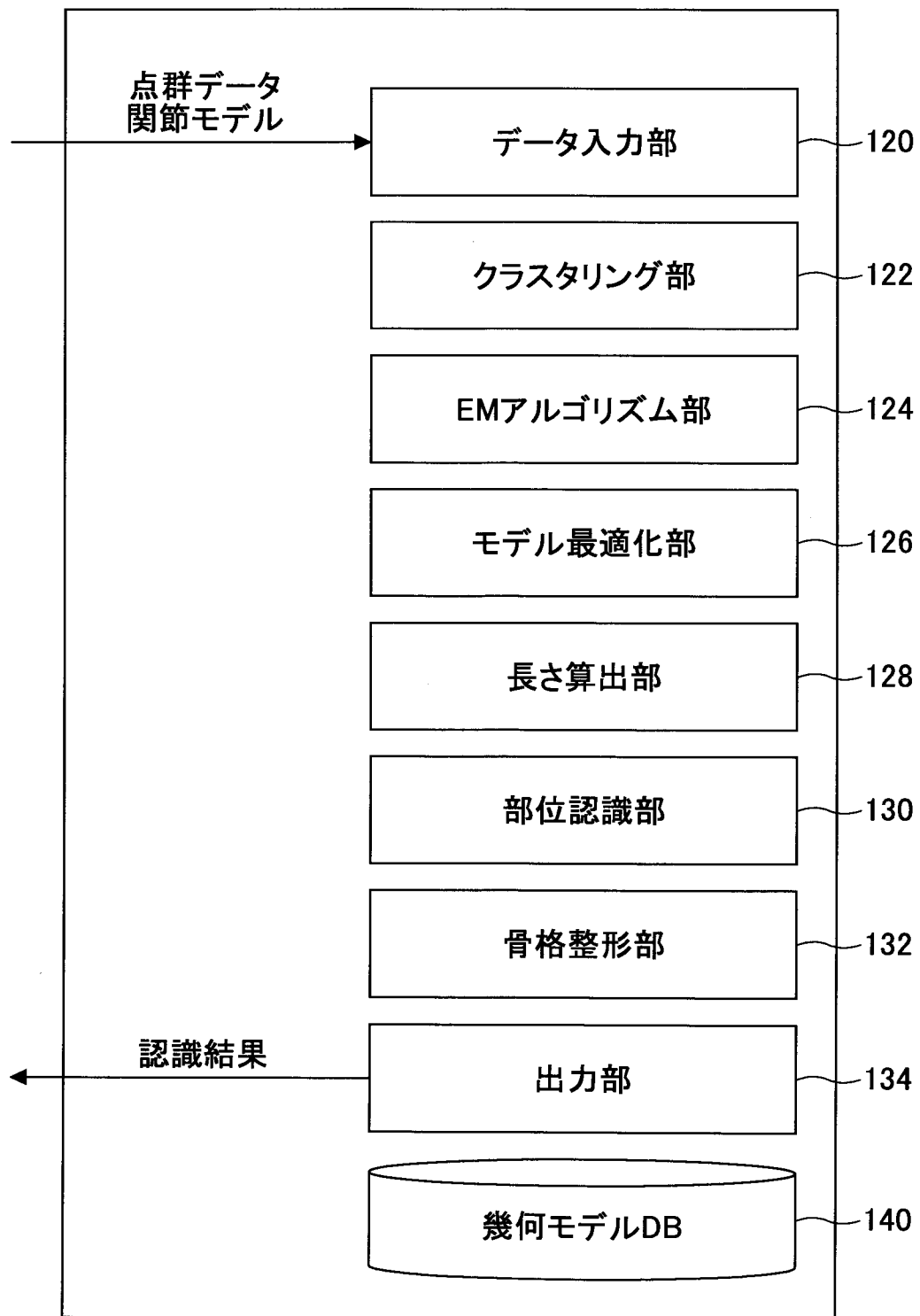
[図1]



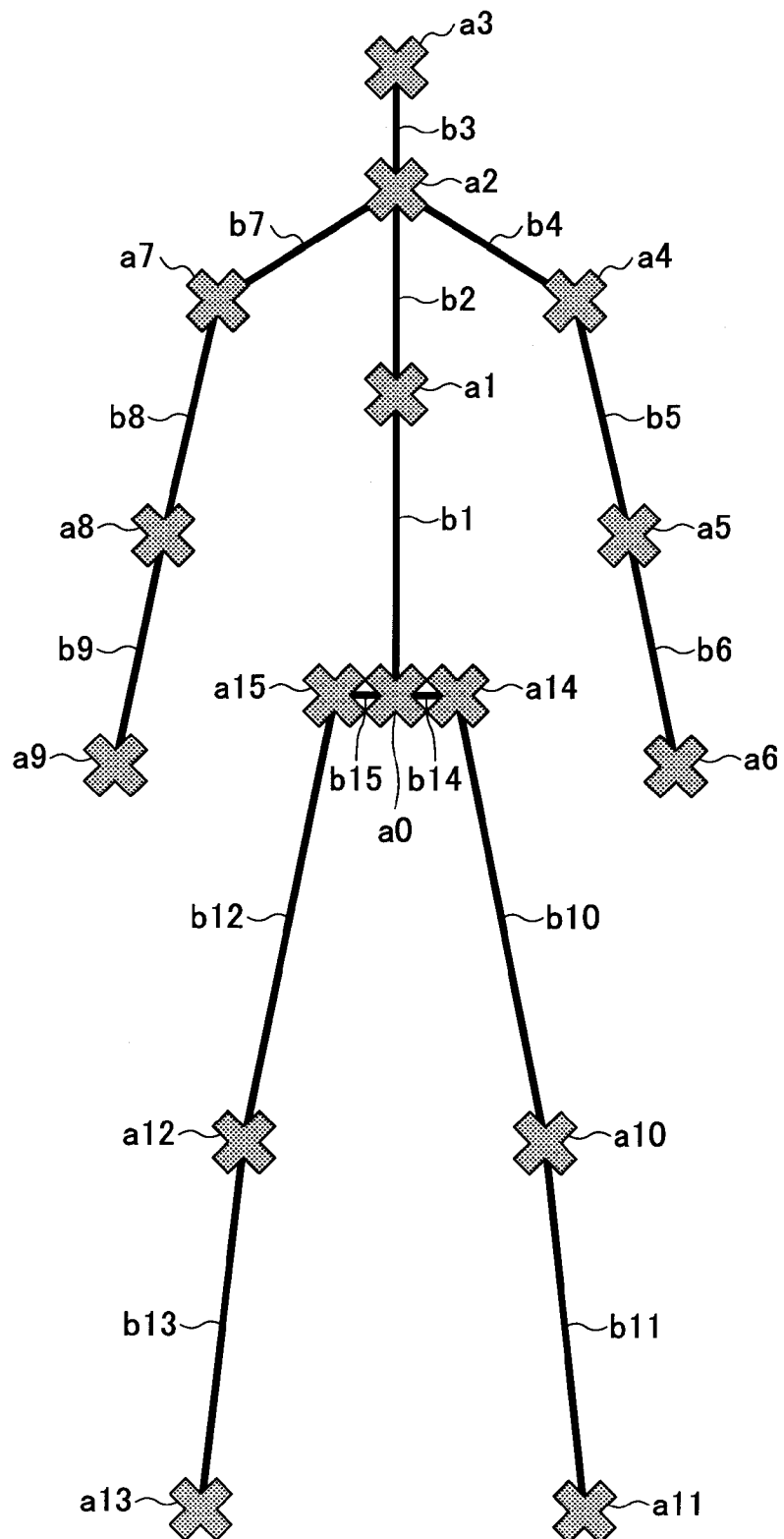
[図2]



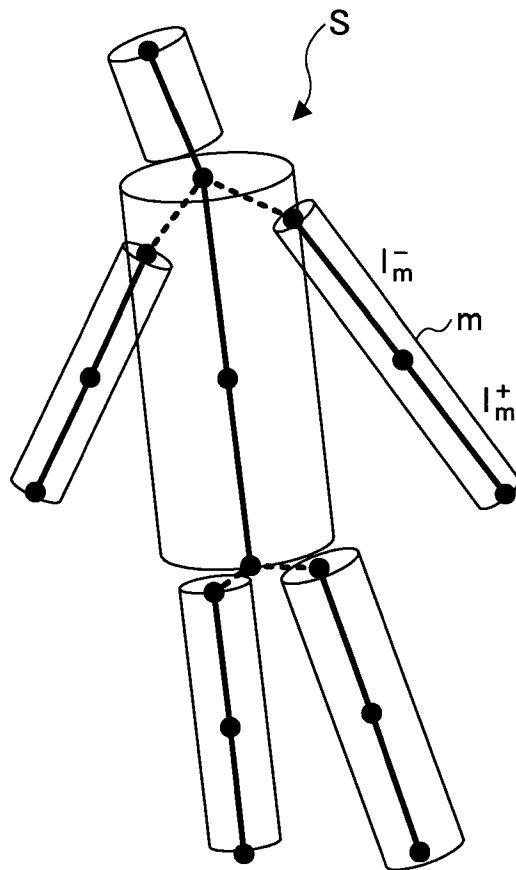
[図3]



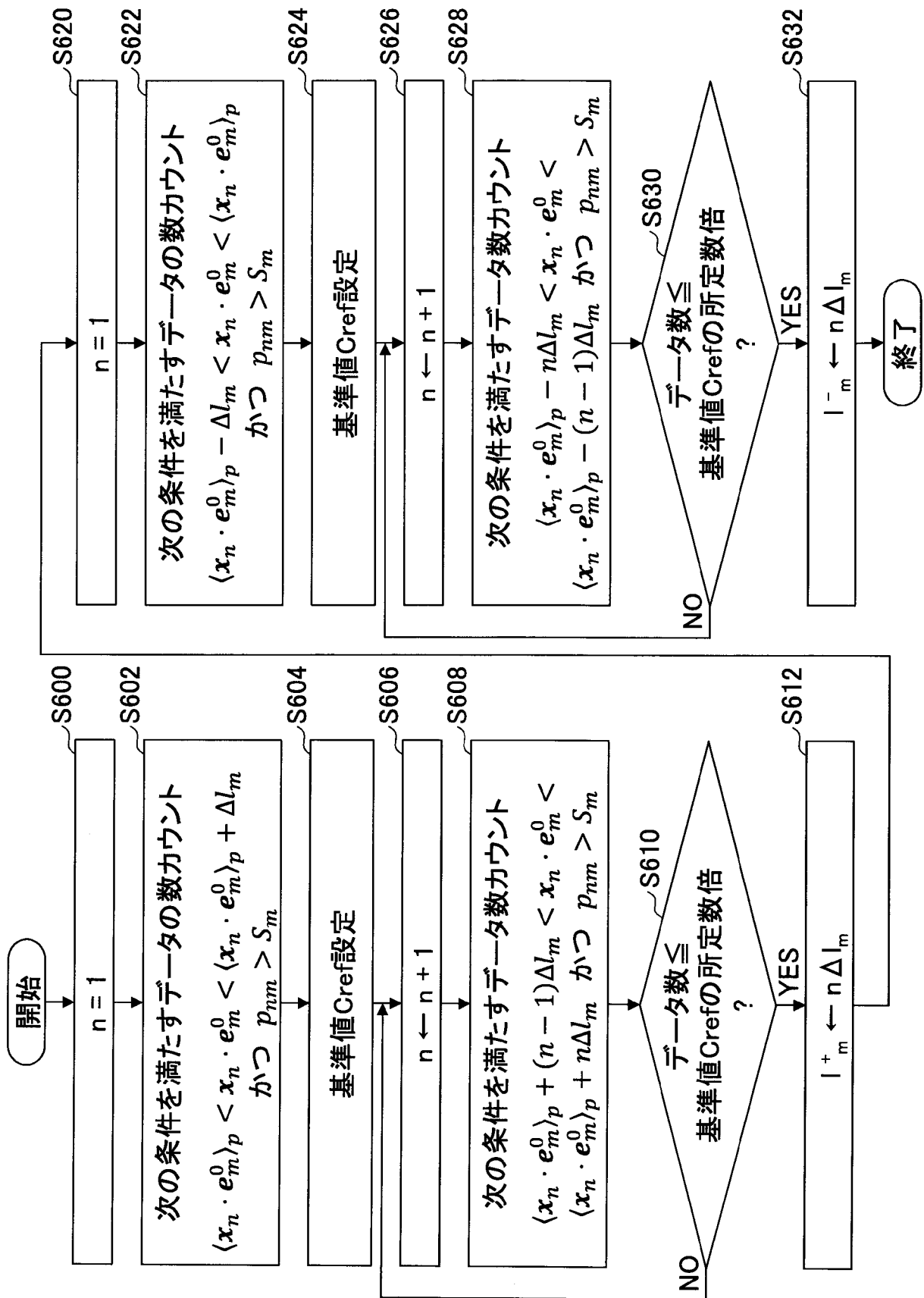
[図4]



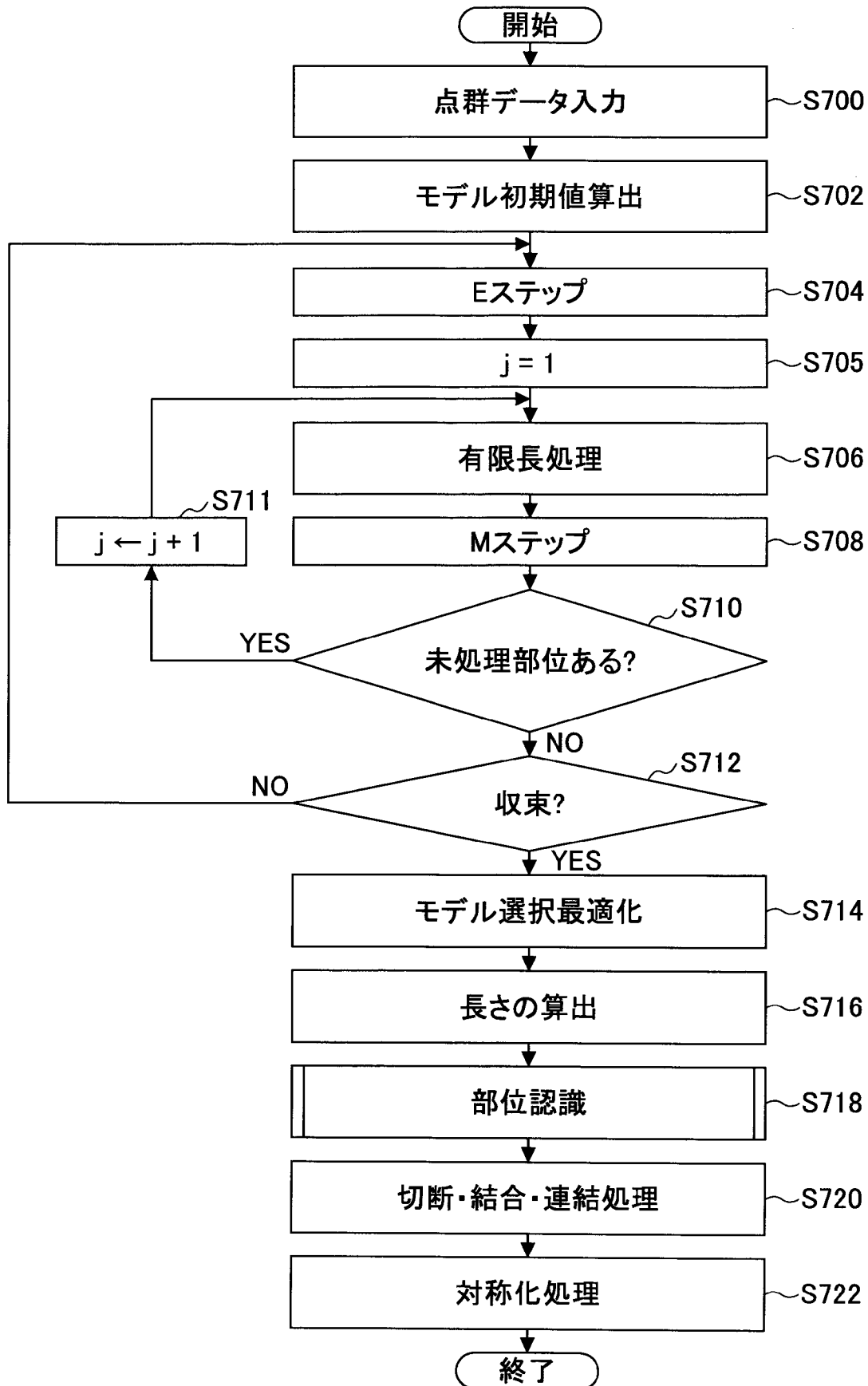
[図5]



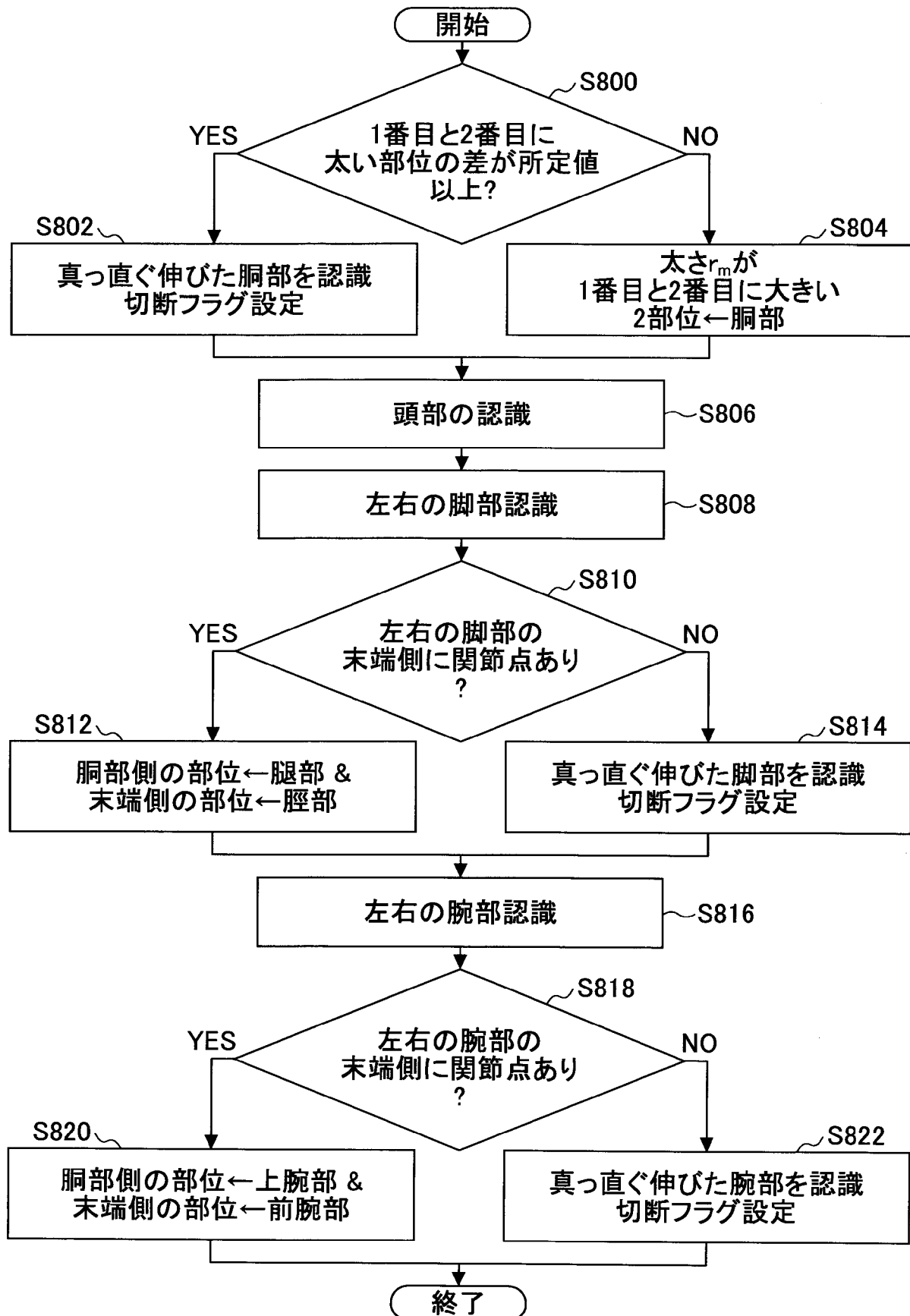
[図6]



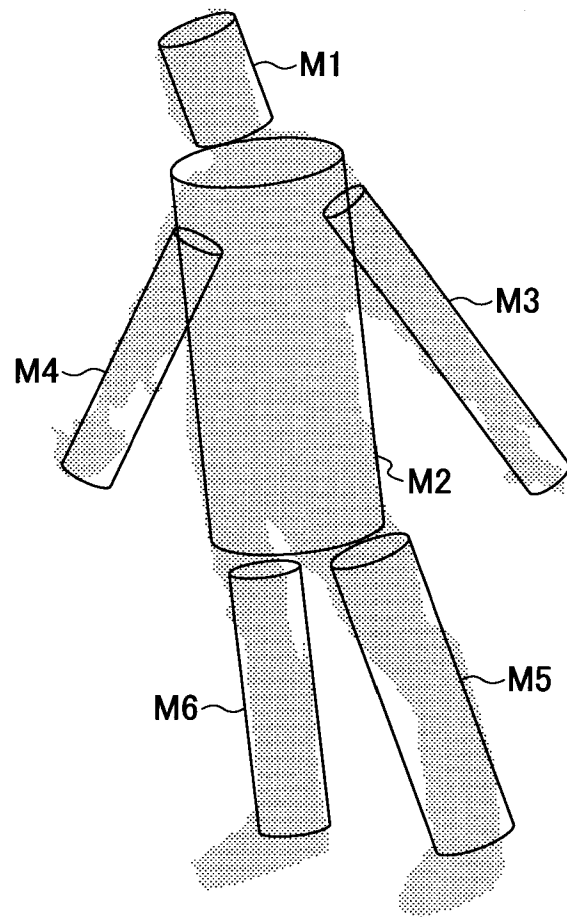
[図7]



[図8]



[図9A]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/017721

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T7/70(2017.01)i, G06T7/00(2017.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T7/70, G06T7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2015-102913 A (Canon Inc.), 04 June 2015 (04.06.2015), paragraphs [0012] to [0043]; fig. 7 (Family: none)	1, 5-6, 23-25 18-22 2-4, 7-17
Y	Eiichi HORIUCHI, "Hemi-form Geometric Models for Single-scan 3D Point Clouds", Journal of the Robotics Society of Japan, 15 October 2014 (15.10.2014), vol.32, no.8, pages 57 to 66	18-22
A	WO 2012/046392 A1 (Panasonic Corp.), 12 April 2012 (12.04.2012), paragraphs [0029] to [0044], [0106] to [0119] & US 2013/0230211 A1 paragraphs [0080] to [0095], [0158] to [0178] & CN 103155003 A	1-25

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 August 2017 (07.08.17)

Date of mailing of the international search report
15 August 2017 (15.08.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06T7/70(2017.01)i, G06T7/00(2017.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06T7/70, G06T7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2015-102913 A（キヤノン株式会社）2015.06.04, 段落 [0012] - [0043]、図7（ファミリーなし）	1, 5-6, 23-25
Y		18-22
A		2-4, 7-17
Y	堀内 英一，シングルスキャン点群データのための半形状幾何学 モデル，日本ロボット学会誌，2014.10.15，第32巻 第8号， pp. 57-66	18-22

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07.08.2017

国際調査報告の発送日

15.08.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

板垣 有紀

5 H

4 4 5 2

電話番号 03-3581-1101 内線 3531

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2012/046392 A1 (パナソニック株式会社) 2012. 04. 12, 段落 [0 0 2 9] – [0 0 4 4]、[0 1 0 6] – [0 1 1 9] & US 2013/0230211 A1, 段落 [0 0 8 0] – [0 0 9 5]、[0 1 5 8] – [0 1 7 8] & CN 103155003 A	1-25