

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4942733号
(P4942733)

(45) 発行日 平成24年5月30日 (2012. 5. 30)

(24) 登録日 平成24年3月9日 (2012. 3. 9)

(51) Int. Cl.	F I
B 2 5 J 13/08 (2006. 01)	B 2 5 J 13/08 A
B 2 5 J 5/00 (2006. 01)	B 2 5 J 5/00 E

請求項の数 12 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2008-335345 (P2008-335345)	(73) 特許権者	304039548
(22) 出願日	平成20年12月26日 (2008. 12. 26)		コリア・インスティテュート・オブ・サイ
(65) 公開番号	特開2009-190164 (P2009-190164A)		エンス・アンド・テクノロジー
(43) 公開日	平成21年8月27日 (2009. 8. 27)		大韓民国, ソウル 136-791, ソン
審査請求日	平成20年12月26日 (2008. 12. 26)		ブックーク, ハウォルゴクードン, 39-
(31) 優先権主張番号	10-2008-0013832		1
(32) 優先日	平成20年2月15日 (2008. 2. 15)	(74) 代理人	110000338
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		特許業務法人原謙三国際特許事務所
		(74) 代理人	100147485
			弁理士 杉村 憲司
		(74) 代理人	100134005
			弁理士 澤田 達也
		(74) 代理人	100151677
			弁理士 播磨 里江子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ステレオ映像装置で形成されたカメラ部と、ロボット移動経路周囲の地図、該地図上の個別物体の局所特徴点及び該個別物体を含む周辺環境の局所特徴点が格納されたデータベース部と、前記カメラ部で獲得した映像情報を用いて自身の位置を推定する位置演算部とを有するロボットの自己位置推定方法であって、

前記カメラ部でロボット周囲の映像を獲得する第1工程と、

前記位置演算部で前記カメラ部が獲得した映像から局所特徴点を抽出して前記データベース部に格納された局所特徴点と比較することで前記カメラ部が獲得した映像内の個別物体を認識し、該個別物体の局所特徴点のカメラ座標系位置値と該個別物体を含む周辺環境の局所特徴点のカメラ座標系位置値を生成する第2工程と、

前記位置演算部で前記データベース部に格納されている地図及び前記第2工程の結果に基づいて前記ロボットの位置を推定する第3工程とを含み、

前記第3工程は、

前記データベースに格納された地図から前記第2工程で認識した物体が1つ以上含まれているノードを前記ロボットが位置し得る候補ノードとして選定する候補ノード選定工程と、

前記第2工程で生成された前記位置値を用いて選定された全ての前記候補ノードに対する前記ロボットの暫定位置を計算する暫定位置計算工程と、

計算された前記暫定位置を初期位置値として選定された全ての前記候補ノードにパーテ

10

20

ィクルフィルタリング技法を適用して前記ロボットの位置を推定する位置推定工程とを含んでなることを特徴とするロボットの自己位置推定方法。

【請求項 2】

前記暫定位置計算工程では下記の式 1 と式 2 を用いて前記ロボットの前記暫定位置を計算し、

前記位置推定工程では最終重み値を計算してパーティクルフィルタリング技法に適用し、サンプルが最も多く収斂されたノードのサンプルのみで下記の式 8 を行って前記ロボットの位置を推定することを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの自己位置推定方法。

〔式 1〕

$${}^N_R T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_z)\cos(\theta_y) & \cos(\theta_z)\sin(\theta_y)\sin(\theta_x) - \sin(\theta_z)\cos(\theta_x) & \cos(\theta_z)\sin(\theta_y)\cos(\theta_x) + \sin(\theta_z)\sin(\theta_x) & t_x \\ \sin(\theta_z)\cos(\theta_y) & \sin(\theta_z)\sin(\theta_y)\sin(\theta_x) + \cos(\theta_z)\cos(\theta_x) & \sin(\theta_z)\sin(\theta_y)\cos(\theta_x) - \cos(\theta_z)\sin(\theta_x) & t_y \\ -\sin(\theta_y) & \cos(\theta_z)\sin(\theta_z) & \cos(\theta_z)\cos(\theta_z) & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

10

20

$$X=t_x, Y=t_y, Z=t_z$$

$$\theta_y = a \tan 2 \left(\sqrt{r_{31}^2 + r_{32}^2}, r_{33} \right)$$

$$\theta_z = a \tan 2 \left(r_{23} / \sin(\theta_y), r_{13} / \sin(\theta_y) \right)$$

$$\theta_x = a \tan 2 \left(r_{32} / \sin(\theta_y), -r_{31} / \sin(\theta_y) \right)$$

〔式 2〕

$${}^N V_i = {}^N_R T {}^R P_i$$

30

(ここで、 ${}^R P_i$ と ${}^N V_i$ はそれぞれ同一物体及び同一物体を含む周辺環境の局所特徴点に対するカメラ座標系の位置値、環境地図中心座標系の位置値であり、 ${}^N_R T$ はこの 2 つの位置値の同次変換行列であり、前記ロボットの位置は $(x, y, z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$ で表すことができる。)

〔式 8〕

$$[s] = \sum_{n=1}^{n_s} \pi_i^{(n)} s_i^{(n)}$$

40

(ここで、 $[S]$ は推定された前記ロボットの位置であり、 $s_i^{(n)}$ は仮定できる前記ロボット位置のサンプルであり、 $\pi_i^{(n)}$ はサンプル $s_i^{(n)}$ の繰り返しステップ t における重み値であり、 n_s はランダムサンプルの総数を意味する。]

【請求項 3】

前記第 3 工程は、

前記データベースに格納された地図から前記第 2 工程で認識した物体が 1 つ以上含まれているノードを前記ロボットが位置し得る候補ノードとして選定する候補ノード選定工程と、

50

前記第2工程で生成された位置値を用いて選定された全ての前記候補ノードに対する前記ロボットの暫定位置を計算する暫定位置計算工程と、

前記候補ノードの中から最終候補ノードを選択する最終候補ノード選択工程と、

前記最終候補ノードに対する前記ロボットの暫定位置を初期位置値として前記最終候補ノードにパーティクルフィルタリング技法を適用して前記ロボットの位置を推定する位置推定工程と

を含んでなることを特徴とする請求項1に記載のロボットの自己位置推定方法。

【請求項4】

前記暫定位置計算工程では下記の式1と式2を用いて前記ロボットの前記暫定位置を計算し、

10

前記位置推定工程では最終重み値を計算してパーティクルフィルタリング技法に適用し、下記の式8を行って前記ロボットの位置を推定することを特徴とする請求項3に記載のロボットの自己位置推定方法。

[式1]

$${}^N T_R = \begin{bmatrix} \cos(\theta_z)\cos(\theta_y) & \cos(\theta_z)\sin(\theta_y)\sin(\theta_x) - \sin(\theta_z)\cos(\theta_x) & \cos(\theta_z)\sin(\theta_y)\cos(\theta_x) + \sin(\theta_z)\sin(\theta_x) & t_x \\ \sin(\theta_z)\cos(\theta_y) & \sin(\theta_z)\sin(\theta_y)\sin(\theta_x) + \cos(\theta_z)\cos(\theta_x) & \sin(\theta_z)\sin(\theta_y)\cos(\theta_x) - \cos(\theta_z)\sin(\theta_x) & t_y \\ -\sin(\theta_y) & \cos(\theta_z)\sin(\theta_x) & \cos(\theta_z)\cos(\theta_x) & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

20

$$X=t_x, Y=t_y, Z=t_z$$

$$\theta_y = a \tan 2\left(\sqrt{r_{31}^2 + r_{32}^2}, r_{33}\right)$$

$$\theta_z = a \tan 2\left(r_{23} / \sin(\theta_y), r_{13} / \sin(\theta_y)\right)$$

$$\theta_x = a \tan 2\left(r_{32} / \sin(\theta_y), -r_{31} / \sin(\theta_y)\right)$$

30

[式2]

$${}^N V_i = {}^N T_R {}^R P_i$$

(ここで、 ${}^R P_i$ と ${}^N V_i$ はそれぞれ同一物体及び同一物体を含む周辺環境の局所特徴点に対するカメラ座標系の位置値、環境地図中心座標系の位置値であり、 ${}^N T_R$ はこの2つの位置値の同次変換行列であり、前記ロボットの位置は $(x, y, z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$ で表すことができる。)

40

[式8]

$$[s] = \sum_{n=1}^{n_s} \pi_i^{(n)} s_i^{(n)}$$

(ここで、 $[s]$ は推定された前記ロボットの位置であり、 $s_i^{(n)}$ は仮定できる前記ロボット位置のサンプルであり、 $\pi_i^{(n)}$ はサンプル $s_i^{(n)}$ の繰り返しステップtにおける重み値であり、 n_s はランダムサンプルの総数を意味する。]

【請求項5】

前記最終候補ノードは、前記候補ノードに対して下記の式12により求められたノード

50

近接重み値のうち最も大きな値を有するノードであることを特徴とする請求項 3 に記載のロボットの自己位置推定方法。

[式 1 2]

$$\pi_V^{(N_k)} = \frac{\pi_E^{(N_k)} + \pi_F^{(N_k)} + \pi_D^{(N_k)}}{\sum_{k=1}^{n_N} (\pi_E^{(N_k)} + \pi_F^{(N_k)} + \pi_D^{(N_k)})}$$

$$= \frac{1}{3} (\pi_E^{(N_k)} + \pi_F^{(N_k)} + \pi_D^{(N_k)})$$

10

(ここで、 $\pi_V^{(N_k)}$ はノード N_k に対する前記ロボットのノード近接重み値であり、 $\pi_E^{(N_k)}$ はノード N_k の物体存在重み値であり、 $\pi_F^{(N_k)}$ はノード N_k の物体-環境特徴重み値であり、 $\pi_D^{(N_k)}$ はノード N_k の物体-環境距離重み値であり、 n_N は候補ノードの個数である。)

【請求項 6】

前記最終重み値は、前記ロボットがどのノードの近くに存在するかを示すノード近接重み値 $\pi_V^{(N_k)}$ と、前記ロボットが認識した物体及びその物体を含む周辺環境の 3 次元特徴点とノードに存在する同一物体及びその物体を含む周辺環境の 3 次元特徴点間の距離差によるサンプル $s_i^{(n)}$ の 3 次元特徴点重み値 $\pi_p^{(n)}$ を下記の式 1 3 のように統合して計算することを特徴とする請求項 2 又は 4 に記載のロボットの自己位置推定方法。

20

[式 1 3]

$$\pi^{(n)} = \frac{\pi_p^{(n)} \times \pi_V^{(N_k)}}{\sum_{k=1}^{n_N} \sum_{n=1}^{n_s} (\pi_p^{(n)} \times \pi_V^{(N_k)})}$$

30

(ここで、 $\pi^{(n)}$ は最終重み値であり、 n_N は候補ノードの個数である。)

【請求項 7】

前記ノード近接重み値 $\pi_V^{(N_k)}$ は、下記の式 12 により決定されることを特徴とする請求項 6 に記載のロボットの自己位置推定方法。

[式 12]

$$\pi_V^{(N_k)} = \frac{\pi_E^{(N_k)} + \pi_F^{(N_k)} + \pi_D^{(N_k)}}{\sum_{k=1}^{n_N} (\pi_E^{(N_k)} + \pi_F^{(N_k)} + \pi_D^{(N_k)})}$$

$$= \frac{1}{3} (\pi_E^{(N_k)} + \pi_F^{(N_k)} + \pi_D^{(N_k)})$$

10

(ここで、 $\pi_V^{(N_k)}$ はノード N_k に対する前記ロボットのノード近接重み値であり、 $\pi_F^{(N_k)}$ はノード N_k の物体存在重み値であり、 $\pi_E^{(N_k)}$ はノード N_k の物体-環境特徴重み値であり、 $\pi_D^{(N_k)}$ はノード N_k の物体-環境距離重み値であり、 n_N は候補ノードの個数である。)

【請求項 8】

前記物体存在重み値 $\pi_E^{(N_k)}$ は、下記の式 9 により計算されることを特徴とする請求項 7 に記載のロボットの自己位置推定方法。

20

[式 9]

$$\pi_E^{(N_k)} = \frac{n(E^{(R)} \cap E^{(N_k)})}{\sum_{k=1}^{n_N} n(E^{(R)} \cap E^{(N_k)})} = \frac{n_E^{(R \cap N_k)}}{\sum_{k=1}^{n_N} n_E^{(R \cap N_k)}}$$

(ここで、 $\pi_E^{(N_k)}$ はノード N_k の物体存在重み値であり、 $E^{(R)}$ は前記ロボットが認識した物体の集合であり、 $E^{(N_k)}$ はノード N_k に存在する物体の集合であり、 $n_E^{(R \cap N_k)}$ はロボットが認識した物体とノード N_k に存在する物体のうち同一物体の個数である。)

30

【請求項 9】

前記物体—環境特徴重み値 $\pi_F^{(N_k)}$ は、下記の式 10 により計算されることを特徴とする請求項 7 に記載のロボットの自己位置推定方法。

[式 10]

$$\pi_F^{(N_k)} = \frac{n(F^{(R)} \cap F^{(N_k)})}{\sum_{k=1}^{n_N} n(F^{(R)} \cap F^{(N_k)})} = \frac{n_F^{(R \cap N_k)}}{\sum_{k=1}^{n_N} n_F^{(R \cap N_k)}}$$

(ここで、 $\pi_F^{(N_k)}$ はノード N_k の物体—環境特徴重み値であり、 $F^{(R)}$ は前記ロボットが認識した全ての物体の局所的特徴点とその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の集合であり、 $F^{(N_k)}$ はノード N_k に含まれている物体の局所的特徴点とその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の集合であり、 $n_F^{(R \cap N_k)}$ は前記ロボットが認識した全ての物体及びその物体を含む周辺環境の局所的特徴点とノード N_k に存在する物体のうち前記ロボットが認識した物体と同一物体及びその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の間でマッチされた局所的特徴点の個数である。)

【請求項 10】

前記物体—環境距離重み値 $\pi_D^{(N_k)}$ は、下記の式 11 により計算されることを特徴とする請求項 7 に記載のロボットの自己位置推定方法。

[式 11]

$$\pi_D^{(N_k)} = \frac{(1 + \bar{d}^{(N_k)})^{-1}}{\sum_{k=1}^{n_N} (1 + \bar{d}^{(N_k)})^{-1}}$$

$$\bar{d}^{(N_k)} = \frac{1}{n_F^{(N_k \cap R)}} \sum_{f=1}^{n_F^{(N_k \cap R)}} d_f^{(N_k)}$$

(ここで、 $\pi_D^{(N_k)}$ はノード N_k の物体—環境距離重み値であり、 $d_f^{(N_k)}$ は前記ロボットが認識した物体及びその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の 3 次元値を候補ノードの同一物体及びその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の 3 次元値で補間し、補間された局所的特徴点の 3 次元値と候補ノードの同一の局所的特徴点の 3 次元値間の距離差である。)

【請求項 11】

360°より小さな視野角を有し、ステレオ映像装置で構成されたカメラ部と、前記カメラ部を一定角度ずつ回転させることができる回転装置と、ロボット移動経路周囲の地図、該地図上の個別物体の局所特徴点及び該個別物体を含む周辺環境の局所特徴点を格納しているデータベース部と、前記カメラ部で獲得した映像情報を用いて自身の位置を推定する位置演算部とを有するロボットの自己位置推定方法であって、

前記カメラ部が一定方向のロボット周囲の映像を獲得する第 1 工程と、

前記位置演算部において前記カメラ部が獲得した映像内で認識した物体がない場合には前記回転装置を駆動してカメラを回転させた後、他の方向の映像を獲得する過程を、獲得

10

20

30

40

50

された映像で局所特徴点を抽出して前記データベース部に格納された局所特徴と比較することで認識した個別物体が存在するまで繰り返し、認識した個別物体の局所特徴点のカメラ座標系位置値と該個別物体を含む周辺環境の局所特徴点のカメラ座標系位置値を生成する第2工程と、

前記位置演算部で前記データベース部に格納された地図から前記認識された物体が1つ以上含まれているノードを前記ロボットが位置し得る候補ノードとして選定する第3工程と、

前記位置演算部で前記候補ノードの優先順位を決定する第4工程と、

前記位置演算部で前記候補ノードに含まれている物体と前記ロボット間の距離及び最優先順位物体を計算する第5工程と、

前記位置演算部で前記回転装置を用いてカメラ部を回転させて前記候補ノードの最優先順位物体を確認する第6工程と、

前記位置演算部で前記第6工程で前記最優先物体が確認されたノードにパーティクルフィルタリング技法を用いて前記ロボットの位置を推定する第7工程とを含むロボットの自己位置推定方法。

【請求項12】

前記第6工程は、前記候補ノードの最優先物体が認識できなければ、前期回転装置で前記カメラ部を回転させて前記第4工程での該当候補ノードのうち、次の優先順位の候補ノードの最優先物体を確認することを特徴とする請求項11に記載のロボットの自己位置推定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は移動ロボットが、基準座標が与えられた動作環境内でロボット自ら自身の位置を推定 (e s t i m a t i o n) する方法に関し、移動ロボットが環境内の個別物体をビジョンセンサにより認識し、認識された物体と認識された物体を含む周辺環境情報を、与えられたマップに基づいて分析して自身の位置を推定する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、産業用ロボットから始まったロボットは、近年は任意の環境でも動作できる知能ロボットの形態へとその応用領域を拡大している。このような知能ロボットとしては、掃除ロボットをはじめ、警備ロボット、危険物探知ロボット、家事ロボット及び教育ロボットなどが挙げられる。このようなロボットが与えられた環境で人間にサービスを提供するためには、ロボット走行技術の確保は必須であり、その中でロボットが自己位置を推定しなければならない自己位置推定 (S e l f - l o c a l i z a t i o n) 技術は核心的な要素となっている。

【0003】

このようなロボットの自己位置推定技術は、基本的に地図に基づいて行われるため、ロボットが利用する地図表象 (r e p r e s e n t a t i o n) がいかなる方式で構成されているかと、利用するセンサによって多様に変化し得る。近年の技術の展開は、地図 (マップ) は通常格子地図のような数値的地図上に位相的 (t o p o l o g i c a l) 地図を結合して用い、センサは、レーザ及び超音波センサからビジョンセンサにシフトしているが、これはビジョンセンサが距離情報だけでなく、映像に基づいて色相、物体の識別及び人の識別などのような豊富な追加情報を提供することもできることから、その使用が広がっている。

【0004】

このようなビジョンセンサ基盤の物体認識技術に基づいてロボットの自己位置を推定しようとした従来技術は、以下の通りである。

【0005】

韓国特許としては、物体にアクティブタグを付けてこれをビジョンセンサで認識し、こ

10

20

30

40

50

れにより、物体とロボット間の位置を測定するための特許（下記の特許文献1参照）と、ビジョン基盤の移動ロボットの位置制御システムに関する特許（下記の特許文献2参照）がある。前者はロボットが移動する経路にある物体に人工的タグを付着しなければならないという不便があり、後者はビジョンセンサがロボットに付着されず、環境に付着されて単にロボットのみを認識してその位置を推定する方式であるので、環境によってビジョンセンサが必要になり、多数のビジョンセンサを設置しなければならないという短所があった。

【0006】

海外特許としては、米国のビジョンセンサにより自己位置推定とマップの実現を同時に行う特許（下記の特許文献3参照）技術が代表的である。しかしながら、この特許技術も環境でビジョンセンサを用いて物体単位で認識を行わず、3次元上の局所的特徴点を抽出してこれに基づいて自己位置を推定することで、後の環境変化の要因に対処できる手段を喪失して基本的にレーザセンサを利用するのと大きく変わらないという短所があった。

【0007】

そして、公開された論文のうち、本特許と類似した技術は、以下の通りである。

【0008】

日本のYutaなどが物体認識に基づいて物体中心の位相的地図を構成し、ロボットの位置はそのような物体を1つずつ認識すると同時に、ロボットが動きながら、他の物体を認識してロボットの位置を推定する方法を提示した（下記の特許文献4参照）。このような方法は、ロボットの自己位置推定方法において局所的位置追跡（local localization tracking）に該当する方法であって、ロボットが任意の位置に突然動かされたり、局所的位置推定に失敗したりするので、新たにロボットの位置を推定しようとする全域的自己位置の推定には適用し難いという問題点があった。

【0009】

韓国のパク・スヨンらが室内環境を局所領域中心の位相的地図として表象し、各局所領域に含まれている物体を認識してロボットが位置する局所領域を取得し、その局所領域に定義された局所座標系に対するロボットの位置を計算する方法を提示した。このような方法は、ロボットの位置が認識された物体の3次元情報のみを用いて計算されるので、認識された物体の3次元情報の数が少ない場合には、計算された位置が不正確になり得るという問題点があった。

【特許文献1】韓国公開番号10-2006-0102389号

【特許文献2】韓国公開番号10-2005-0062713号

【特許文献3】米国特許US7015831号

【非特許文献4】M. Tomoyo and S. Yuta, "Object-based localization and mapping using loop constraints and geometric prior knowledge," International Conference on Robotics and Automation, pp. 862~867, 2003.

【非特許文献5】S. Park, M. Park, and S.-K. Park, "Vision-based Global Localization for Mobile Robots with an Object Entity-based Hybrid Map," International Conference on Advanced Robotics, pp. 761~766, 2007.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明は前記事情に鑑みてなされたものであって、その目的は、ロボットの環境認識のための物体と物体を含む環境情報が予め位相学地図形態で3次元情報と共に格納されている状態でビジョンセンサによって環境内の物体認識を行い、物体が認識される場合に、物体と物体を含む環境の3次元情報を用いてロボットの自己位置を推定する方法を提供する

ことにある。

【0011】

また、本発明の他の目的は、ビジョンセンサによる物体認識時間はロボットの走行中に位置推定に適用し難いという前提の下で、ロボットが環境の個別的物体を認識し、それに基づいて位置を推定するようにしてロボットが停止している位置で全域的な位置推定を行うロボットの自己位置推定方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

前記目的を達成するために、本発明では第1の側面として、ステレオ映像装置で形成されたカメラ部と、ロボット移動経路周囲の地図が格納されたデータベース部と、前記カメラ部で獲得した映像情報を用いて自身の位置を推定する位置演算部とを有するロボットの自己位置推定方法であって、前記カメラ部でロボット周囲の映像を獲得する第1工程と、前記位置演算部で前記カメラ部が獲得した映像内の個別物体を認識し、個別物体の局所特徴点と個別物体を含む周辺環境の局所特徴点のカメラ座標系位置値を生成する第2工程と、前記位置演算部で前記データベース部に格納されている地図及び前記第2工程の結果に基づいてロボットの位置を推定する第3工程とを含むロボットの自己位置推定方法が提示され、

10

【0013】

第1の側面において、前記第3工程は、前記データベースに格納された地図から前記第2工程で認識した物体が1つ以上含まれているノードをロボットが位置し得る候補ノードとして選定する候補ノード選定工程と、前記第2工程で生成された位置値を用いて選定された全ての候補ノードに対するロボットの暫定位置を計算する暫定位置計算工程と、計算された暫定位置を初期位置値として選定された全ての候補ノードにパーティクルフィルタリング技法を適用してロボットの位置を推定する位置推定工程を含んでなることを特徴とし、

20

【0014】

第1の側面において、前記第3工程は、前記データベースに格納された地図から前記第2工程で認識した物体が1つ以上含まれているノードをロボットが位置し得る候補ノードとして選定する候補ノード選定工程と、前記第2工程で生成された位置値を用いて選定された全ての候補ノードに対するロボットの暫定位置を計算する暫定位置計算工程と、候補ノードの中から最終候補ノードを選択する最終候補ノード選択工程と、最終候補ノードに対するロボットの暫定位置を初期位置値として最終候補ノードにパーティクルフィルタリング技法を適用してロボットの位置を推定する位置推定工程とを含んでなることを特徴とし、

30

【0015】

第2の側面として、360°より小さな視野角を有し、ステレオ映像装置で構成されたカメラ部と、前記カメラ部を一定角度ずつ回転させることができる回転装置と、ロボット移動経路周囲の地図を格納しているデータベース部と、前記カメラ部で獲得した映像情報を用いて自身の位置を推定する位置演算部とを有するロボットの自己位置推定方法であって、

40

【0016】

前記カメラ部が一定方向のロボット周囲の映像を獲得する第1工程と、前記位置演算部において前記カメラ部が獲得した映像内で認識した物体がない場合には前記回転装置を駆動してカメラを回転させた後、他の方向の映像を獲得する過程を獲得された映像で認識した個別物体が存在するまで繰り返し、認識した個別物体の局所特徴点と個別物体を含む周辺環境の局所特徴点のカメラ座標系位置値を生成する第2工程と、前記位置演算部で前記データベース部に格納された地図から前記認識された物体が1つ以上含まれているノードをロボットが位置し得る候補ノードとして選定する第3工程と、前記位置演算部で候補ノードの優先順位を決定する第4工程と、前記位置演算部で候補ノードに含まれている物体とロボット間の距離及び最優先順位物体を計算する第5工程と、前記位置演算部で前記回

50

転装置を用いてカメラ部を回転させて候補ノードの最優先順位物体を確認する第6工程と、前記位置演算部で前記第6工程で最優先物体が確認されたノードにパーティクルフィルタリング技法を用いてロボットの位置を推定する第7工程とを含むことを特徴とするロボットの自己位置推定方法が提示され、

【0017】

第2の側面において、前記第6工程は候補ノードの最優先物体が認識できなければ、前記回転装置でカメラ部を回転させて前記第4工程での該当候補ノードのうち、次の優先順位の候補ノードの最優先物体を確認することを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

10

本発明による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法によれば、環境内の個別物体をステレオビジョンセンサにより認識し、それに関する3次元情報だけでなく、その周辺環境の3次元情報を共に用いることで、ロボットの正確な位置を推定できるという効果を奏する。また、任意に位置が変化する物体（例えば、人間、椅子）が多い一般的な環境において更に正確な位置推定を行えるという効果がある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、実施形態を通じて本発明による物体認識及び周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定システムと方法について更に具体的に説明する。

20

【0020】

図1は、本発明による物体認識及び周辺環境情報に基づいて自己位置を推定するロボットの構造図である。

【0021】

本発明による物体認識及び周辺環境情報に基づいて自己位置を推定するロボットは、図1に示すように、カメラ部100と、ロボット本体200と、ロボット移動部300とを含んで構成される。

【0022】

前記カメラ部100は、ロボットの位置を推定するための手段であって、ステレオ映像入力装置で構成される。

30

【0023】

前記カメラ部100は、一定範囲の視野角を有するカメラを用いてもよく、全方向の視野角を有するカメラを用いてもよい。但し、一定範囲の視野角を有するカメラを用いる場合には、図1に示すように、カメラを一定角度ずつ回転させることができるパン／チルト装置110を追加してカメラを回転させることで、全方向の映像入力を受けることができる。

【0024】

前記パン／チルト装置110は、水平に左右回転するパンニング（Panning）と、上下にうなづく動作であるティルティング（tilting）が可能な回転装置である。

40

【0025】

ロボット本体200は、外部動作を行うための機械アームであるマニピュレータ210が外部に装着され、内部にロボット移動経路周囲の地図が格納されたデータベース部（図示せず）と、前記カメラ部100から入力される映像情報を前記データベース部に格納された地図と照合して物体を認識し、ロボットの自己位置を推定する位置演算部（図示せず）とを含む。

【0026】

前記データベース部に格納された地図は予め位相学的地図形態に製作され、地図上の各物体の3次元位置及び物体を含む周辺環境の局所特徴点の3次元位置と共に格納される。

【0027】

50

ロボット移動部 300 は、ロボットを移動経路に沿って移動させる構成であって、輪やキャタピラをはじめとしてロボットの本体を移動させることができるあらゆる装置を用いることができる。

【0028】

図 2 は、本発明による物体認識及び周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法を示す基本順序図である。

【0029】

本発明による物体認識及び周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法は、図 2 に示すように、カメラ部 100 から映像の入力を受ける映像入力工程 S110 と、前記映像入力工程 S110 で入力された映像内の個別物体を認識し、また個別物体の 3 次元位置及び物体を含む周辺環境の局所特徴点の 3 次元位置情報を生成する物体認識及び情報抽出工程 S120 と、ロボットの位置推定手段が前記物体認識及び情報抽出工程 S120 で抽出された情報を用いて予め登録されている物体基盤の地図に基づいてロボットの位置を推定するロボット位置推定工程 S130 とを含む。従って、本発明では基本的にまず環境内の個別物体を認識し、これに基づいて物体と物体を含む周辺環境の 3 次元距離情報を抽出してロボットの位置を推定するといえる。

【0030】

本発明においては、局所特徴点の集合により物体認識を行うが、カメラ部 100 を用いて獲得した環境映像から局所特徴点を抽出し、この特徴点と、前記データベース部に格納された物体モデルの局所特徴点とを比較する方法を用いる。

【0031】

図 3 は、ロボットが認識した物体 410 と認識された物体を含む周辺環境 400 を示す。 ${}^R P_i$ は、図 4 に示すように、物体と物体を含む周辺環境の局所特徴点とカメラ部 100 との間の 3 次元距離値であり、 ${}^N V_i$ は、図 5 に示すように、図 4 での物体及び物体を含む周辺環境の局所特徴点と環境地図中心座標系との間の 3 次元距離値であり、 ${}^R P_i$ と ${}^N V_i$ との関係は、図 6 に示す通りである。

【0032】

このような 2 つの距離値の同次変換行列は、下記の式 1 でのように、 ${}^N_R T$ で表すことができ、これらの間の関係式は、下記の式 2 の通りである。

【0033】

10

20

30

従って、ロボットが任意の位置で ${}^R P_i$ を計算することができ、また環境地図中心に認識された物体と、物体を含む周辺環境の距離情報 ${}^N V_i$ を知っていれば、式2を通じて ${}^N T$ を推定することができ、それからロボットの位置を式1によって推定することができる。3次元空間上の任意の位置であれば、そのロボットの位置は $(x, y, z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$ で表すことができ、一定の平面上で動作するロボットであれば、 $z=z_c$ 、 $\theta_x=\theta_y=0$ になり、ロボットの位置を決定する変数は (x, y, θ_z) になる。従って、対応する局所特徴点が3点以上であれば、式2で ${}^N T$ を決定することができる

10

[式1]

$${}^N T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_z)\cos(\theta_y) & \cos(\theta_z)\sin(\theta_y)\sin(\theta_x) - \sin(\theta_z)\cos(\theta_x) & \cos(\theta_z)\sin(\theta_y)\cos(\theta_x) + \sin(\theta_z)\sin(\theta_x) & t_x \\ \sin(\theta_z)\cos(\theta_y) & \sin(\theta_z)\sin(\theta_y)\sin(\theta_x) + \cos(\theta_z)\cos(\theta_x) & \sin(\theta_z)\sin(\theta_y)\cos(\theta_x) - \cos(\theta_z)\sin(\theta_x) & t_y \\ -\sin(\theta_y) & \cos(\theta_z)\sin(\theta_x) & \cos(\theta_z)\cos(\theta_x) & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

20

$$X=t_x, Y=t_y, Z=t_z$$

$$\theta_y = a \tan 2\left(\sqrt{r_{31}^2 + r_{32}^2}, r_{33}\right)$$

$$\theta_z = a \tan 2(r_{23}/\sin(\theta_y), r_{13}/\sin(\theta_y))$$

$$\theta_x = a \tan 2(r_{32}/\sin(\theta_y), -r_{31}/\sin(\theta_y))$$

[式2]

$${}^N V_i = {}^N T {}^R P_i$$

30

【0034】

前記ロボット位置推定工程S130でロボットの位置を推定するのに用いられる地図は、ロボット本体200のデータベース部に格納された地図であって、図7に示すように、ロボットの走行経路を中心とした位相学的地図である。

【0035】

図7において、A、B、Cなどがノードに該当し、各ノードは独立した基準座標系を有しており、各ノードを連結するエッジは各ノード座標系の相対的な距離情報を有している。ところが、このような環境地図を考慮すれば、ロボットが物体1つのみを認識してその物体内部の局所特徴点とその物体周辺環境の局所特徴点のみを有してロボットの位置を推定するようになれば、2つ以上の物体に基づいて位置を推定するよりは不正確になってしまうことが分かり、特に、ロボットの回転角度の誤差が大きくならざるを得ないことが分かる。従って、本発明では複数の物体認識に基づいてロボットの位置を推定する。

40

【0036】

また、位相学的地図基盤と物体認識中心の位置推定を行う場合、図7に示すように、特定の物体が特定のノードでのみ観測されるのではない。例えば、物体-a、物体-b及び物体-cなどはノード-Lとノード-Nでいずれも観測可能である。

【0037】

即ち、これは物体が観測されることが、ロボットがどのノードの近傍に存在するかを示

50

すとは限らないため、物体の位置を特定させる基準ノードを決定しなければならないという問題もある。本発明ではこのような位置推定の方法を以下のようなパーティクルフィルタリング (M. Isard and A. Blake, "Conditional density propagation for visual tracking," International Journal of Computer Vision 29 (1), pp. 5~28, 1998) 技法を適用して解決する。

【0038】

図8は、パーティクルフィルタリングに基づいた位置推定方法を示す順序図である。

【0039】

このようなパーティクルフィルタリングに基づいた位置推定方法は、図8に示すように、サンプリング工程S210と、誤差計算工程S220と、重み値計算工程S230と、繰り返し条件確認工程S240と、位置推定工程S250とを含む。

【0040】

前記サンプリング工程S210は、特定物体が観測されれば、該当物体を観測できる所にロボットが存在すると推定されるので、該当物体を観測できるロボットの位置に対して、これをランダムサンプリングして生成する工程である。

【0041】

前記サンプリング工程S210で繰り返しステップをt、ランダムサンプルの番号をnとすれば、

- ・ t = 1 である場合 (開始初期)

[式3]

$$s_i^{(n)} = (x, y, \theta)^{(n)}$$

ここで、 $n = 1 \sim n_s$ である。 n_s は、ランダムサンプルの総数を意味する。

- ・ t > 1 である場合、

直前のステップ step t - 1 のサンプル集合 $\{s_{i-1}^{(n)}, \pi_{i-1}^{(n)}, c_{i-1}^{(n)}\}$ から現在の繰り返しステップ t の新しいサンプル集合 $\{s_i^{(n)}, \pi_i^{(n)}, c_i^{(n)}\}$ を以下の通り選択する。ここで、 $\pi_i^{(n)}$ はサンプル $s_i^{(n)}$ の繰り返しステップ t における重み値であり、 $c_i^{(n)}$ は累積重み値である。

(a) 均一確率分布による任意の数 $r \in [0, 1]$ を生成する。

(b) $c_{i-1}^{(j)} \geq r$ に対する最も小さな j を探す。

(c) $s_i^{(n)} = s_{i-1}^{(j)}$ に設定し、下記の式4のように定義する。

[式4]

$$s_i^{(n)} = (x_n, y_n, \theta_n)^{(n)}$$

前記誤差計算工程S220は、前記サンプリング工程S210で生成された位置サンプルにロボットの移動による動作誤差とビジョンセンサの測定誤差及び物体認識のエラーなどにより発生する誤差範囲を下記の式5を用いて適用する工程である。

10

20

30

40

[式5]

$$s_i^{(n)} = A s_i^{(n-1)} + B w_i^{(n)}$$

ここで、Aはロボットの動的モデルを示す。しかし、ロボットは停止状態で位置推定を行うので、 $A = 1$ に設定する。 $B w_i^{(n)}$ は、ビジョンセンサの測定誤差と物体認識のエラーなどにより発生するロボット位置測定誤差である。

【0042】

10

前記重み値計算工程S230は、前記誤差計算工程S220で予測した位置に対するランダムサンプルの重み値を下記の式6に基づいて求める工程である。

ここで、式の右辺は仮定されたサンプル位置を正確な位置であると仮定し、環境地図から得た物体の位置と、センサにより得られた測定値との類似側度を設定して得ることができ、その値は $\sum_n \pi_i^{(n)} = 1$ になるように正規化できる。

[式6]

$$\pi_i^{(n)} = p(d_i | s_i^{(n)})$$

20

これと共に累積重み値 $c_i^{(n)}$ を計算する。

[式7]

$$c_i^{(1)} = 0$$

$$c_i^{(n)} = c_i^{(n-1)} + \pi_i^{(n)}$$

【0043】

前記繰り返し条件確認工程S240は、サンプリング工程S210と、誤差計算工程S220と、重み値計算工程S230が一定条件を満たす間に繰り返し行われたかを確認する工程であり、繰り返し条件は均一な一定回数(T)になることもでき、前記式6でサンプルのうちの最も大きな重み値を有するサンプルの重み値がある閾値(例えば、正規化された場合、0.9)以下であるという条件を用いることもでき、また前記2通りの方法をORで組み合わせてT回繰り返したか、最も大きな重み値を有するサンプルの重み値がある閾値(例えば、正規化された場合、0.9)以上であれば、繰り返し実行を停止させることもできる。

30

【0044】

前記位置推定工程S250は、サンプルがサンプリング工程S210と誤差計算工程S220と重み値計算工程S230をT回繰り返すようになれば、サンプルが1つの候補位置に収束するので、重み平均を用いてその位置を下記の式8のように推定する工程である。

40

。

[式8]

$$[s] = \sum_{n=1}^{n_t} \pi_t^{(n)} s_t^{(n)}$$

ここで、 $[S]$ は推定されたロボットの位置であり、 $s_t^{(n)}$ は仮定できるロボット位置のサンプルであり、 $\pi_t^{(n)}$ はサンプル $s_t^{(n)}$ の繰り返しステップ t における重み値である。

10

【0045】

図9は、本発明の第1実施形態による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法を示す順序図である。

【0046】

本発明の一実施形態による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法は、カメラ部100に装着されるセンサが全方向ステレオビジョンセンサである場合の実施形態であって、図9に示すように、全方向環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S310と、物体認識工程S320と、認識された物体が1つ以上存在する候補ノード選定工程S330と、全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S340と、全ての候補ノードにサンプリングしてパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムを行う工程S350と、最適ノード及び最適ノードに対するロボットの2次元位置確定工程S360とを含む。

20

【0047】

前記全方向環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S310は、カメラ部100がロボット周囲の全方向環境映像及びそれに対してステレオビジョンの基盤の下で距離情報を獲得する工程である。

【0048】

前記物体認識工程S320は、位置演算部が前記全方向環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S310で獲得した全方向環境映像から物体及び物体を含む周辺環境の局所特徴点を抽出し、抽出された局所特徴点の3次元位置値（カメラ座標系基準）をステレオ距離情報を用いて求め、ロボット本体200のデータベース部に格納されている物体モデルの局所特徴点と比較して物体を認識する工程である。

30

【0049】

前記認識された物体が1つ以上存在する候補ノード選定工程S330は、位置演算部がデータベース部に格納された地図において前記物体認識工程S320で認識された物体が1つ以上含まれているノードをロボットが位置し得る候補ノードとして選定する工程である。

【0050】

前記全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S340は、位置演算部が全ての候補ノード座標系に対するロボットの暫定位置を計算し、計算されたロボットの位置を用いてノード近接重み値を計算する工程である。

40

【0051】

前記全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S340で計算されるロボットの暫定位置は、前記式1と式2から求めることができ、マッチされた局所の特徴点が3点以上であれば、最小二乗法を用いて計算を行う。

【0052】

このとき、式2の ${}^N_R T$ はノード座標系{N}に対するロボット座標系{R}のpose関係 $(x, y, z, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$ を示す記号になる。

50

【0053】

このように得られた暫定位置は、次の工程のパーティクルフィルタリングによって最終的に正確な位置を推定するための初期位置値として用いられる。

【0054】

前記全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S340で位置演算部は式6に該当する重み値のうち、基本的に認識された物体と物体を含む周辺環境を基準にロボットがどのノードの近くに存在するかを示すノード近接重み値 $\pi_v^{(N_k)}$ を計算する。

10

【0055】

前記ノード近接重み値は、物体存在重み値、物体－環境特徴重み値、及び物体－環境距離重み値を用いて計算される値であり、このうち、物体－環境距離重み値を計算するのに各候補ノードに対するロボットの3次元位置が用いられる。

【0056】

前記物体存在重み値は、候補ノードに含まれている物体のうち、ロボットが認識した物体と重なる数によって変化する重み値であり、下記の式9により計算される。

[式9]

$$\pi_E^{(N_k)} = \frac{n(E^{(R)} \cap E^{(N_k)})}{\sum_{k=1}^{n_N} n(E^{(R)} \cap E^{(N_k)})} = \frac{n_E^{(R \cap N_k)}}{\sum_{k=1}^{n_N} n_E^{(R \cap N_k)}}$$

20

ここで、 $\pi_E^{(N_k)}$ は候補ノード N_k の物体存在重み値であり、 n_N は候補ノードの個数である。 $E^{(R)}$ はロボットが認識した物体の集合であり、 $E^{(N_k)}$ は候補ノード N_k に存在する物体の集合であり、 $n_E^{(R \cap N_k)}$ はロボットが認識した物体と候補ノード N_k に存在する物体のうち同一物体の個数である。

30

【0057】

前記物体－環境特徴重み値は、候補ノードに格納された物体モデルの局所特徴点とその物体を含む周辺環境から抽出した環境モデルの局所特徴点をロボットが認識した物体とその物体を含む周辺環境の局所特徴点のマッチング程度（マッチされた局所特徴点の個数など）による重み値であり、下記の式10により計算される。

[式 1 0]

$$\pi_F^{(N_k)} = \frac{n(F^{(R)} \cap F^{(N_k)})}{\sum_{k=1}^{n_N} n(F^{(R)} \cap F^{(N_k)})} = \frac{n_F^{(R \cap N_k)}}{\sum_{k=1}^{n_N} n_F^{(R \cap N_k)}}$$

ここで、 $\pi_F^{(N_k)}$ は候補ノード N_k の物体-環境特徴重み値であり、 $F^{(R)}$ はロボットが認識した全ての物体の局所的特徴点とその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の集合であり、 $F^{(N_k)}$ は候補ノード N_k に含まれている物体の局所的特徴点とその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の集合である。 $n_F^{(R)}$ はロボットが認識した全ての物体の局所的特徴点とその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の総数、 $n_F^{(R \cap N_k)}$ はロボットが認識した全ての物体及びその物体を含む周辺環境の局所的特徴点と候補ノード N_k に存在する物体のうち、ロボットが認識した物体と同一物体及びその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の間でマッチされた局所的特徴点の個数である。

10

【 0 0 5 8 】

前記物体-環境距離重み値は、ロボットが認識した物体及びその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の3次元値を候補ノードの同一物体及びその物体を含む周辺環境の局所的特徴点の3次元値で補間 (f i t t i n g) し、補間された局所的特徴点の3次元値と候補ノードの同一の局所的特徴点の3次元値間の距離差であり、下記の式 1 1 により計算される。

20

[式 1 1]

$$\pi_D^{(N_k)} = \frac{(1 + \bar{d}^{(N_k)})^{-1}}{\sum_{k=1}^{n_N} (1 + \bar{d}^{(N_k)})^{-1}}$$

$$\bar{d}^{(N_k)} = \frac{1}{n_F^{(N_k \cap R)}} \sum_{f=1}^{n_F^{(N_k \cap R)}} d_f^{(N_k)}$$

30

ここで、 $\pi_D^{(N_k)}$ は候補ノード N_k の物体-環境距離重み値であり、 $d_f^{(N_k)}$ は補間された局所的特徴点の3次元値と候補ノードの同一の局所的特徴点の3次元値間の距離差である。

【 0 0 5 9 】

前記ノード近接重み値は、ロボットのその候補ノードに対する近接程度を示す重み値であり、前記式 9、1 0、1 1 により計算された物体存在重み値、物体-環境特徴重み値、物体-環境距離重み値を統合して、下記の式 1 2 により計算される。

40

[式 1 2]

$$\pi_V^{(N_k)} = \frac{\pi_E^{(N_k)} + \pi_F^{(N_k)} + \pi_D^{(N_k)}}{\sum_{k=1}^{n_N} (\pi_E^{(N_k)} + \pi_F^{(N_k)} + \pi_D^{(N_k)})}$$

$$= \frac{1}{3} (\pi_E^{(N_k)} + \pi_F^{(N_k)} + \pi_D^{(N_k)})$$

ここで、 $\pi_V^{(N_k)}$ はノード N_k に対するロボットのノード近接重み値である。

【 0 0 6 0 】

50

全ての候補ノードにサンプリングしてパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムを行う工程 S 3 5 0 は、位置演算部が前記全ての候補ノードに対するロボットの 3 次元位置計算工程 S 3 4 0 で計算された暫定位置に対して図 7 に示すパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムのうち、サンプリング工程 S 2 1 0 と、誤差計算工程 S 2 2 0 と、重み値計算工程 S 2 3 0 と、繰り返し条件確認工程 S 2 4 0 を行い、正確な位置推定に必要な最終重み値を計算する工程である。

【0 0 6 1】

前記全ての候補ノードにサンプリングしてパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムを行う工程 S 3 5 0 でパーティクルフィルタリング方法を適用することにおいて、前記全ての候補ノードに対するロボットの 3 次元位置計算工程 S 3 4 0 で計算されたノード近接重み値 $\pi_V^{(N_k)}$ とロボットが認識した物体及びその物体を含む環境映像の 3 次元特徴点と候補ノードに存在する同一物体及びその物体を含む環境映像の 3 次元特徴点間の距離差によるサンプル $s_i^{(n)}$ の 3 次元特徴点重み値 $\pi_P^{(n)}$ を下記の式 1 3 のように統合してサンプル $s_i^{(n)}$ の最終重み値 $\pi^{(n)}$ を求める。

[式 1 3]

$$\pi^{(n)} = \frac{\pi_P^{(n)} \times \pi_V^{(N_k)}}{\sum_{k=1}^{N_k} \sum_{n=1}^{N_n} (\pi_P^{(n)} \times \pi_V^{(N_k)})}$$

10

20

【0 0 6 2】

前記 3 次元特徴点重み値を求めるためには、一応候補ノード N_k に対するランダムサンプル $s_i^{(n)}$ の位置を以下の通り 3 次元同次変換行列 (3 D) の形態で示す。

$${}_{S_n}^{N_k}T = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n & 0 & x_n \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n & 0 & y_n \\ 0 & 0 & 1 & z_c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

30

【0 0 6 3】

そして、ロボットが認識した物体及びその物体を含む環境映像の 3 次元特徴点 ${}^R P_i$ を下記の式 1 4 を用いて以下の通り候補ノード N_k に対する値に変換する。

[式 1 4]

$${}^{N_k}P_i = {}_{S_n}^{N_k}T {}^R P_i$$

【0 0 6 4】

その後、前記式 1 4 のように変換された 3 次元特徴点 ${}^{N_k}P_i$ と、候補ノード N_k に存在する同一物体及びその物体を含む環境映像の 3 次元特徴点 ${}^{N_k}V_i$ 間の距離差を下記の式 1 5 により計算する。

[式 1 5]

$$d_i = \| {}^{N_k}V_i - {}^{N_k}P_i \|$$

【0 0 6 5】

40

ロボットが認識した物体及びその物体を含む周辺環境の3次元特定点と候補ノードに存在する同一物体及びその物体を含む周辺環境の3次元特徴点間の距離差によるサンプル $s_i^{(n)}$ の3次元特徴点重み値 $\pi_p^{(n)}$ を下記の式16により計算する。

$$\begin{aligned} \text{[式16]} \\ \pi_p^{(n)} &= \frac{(1 + \bar{d}^{(n)})^{-1}}{\sum_{n=1}^{n_F} (1 + \bar{d}^{(n)})^{-1}} \\ \bar{d}^{(n)} &= \frac{1}{n_F} \sum_{i=1}^{n_F} d_i \end{aligned}$$

10

ここで、 n_F はロボットが認識した全ての物体及びその物体を含む周辺環境の局所の特徴点と候補ノード N_k に存在する物体のうち、ロボットが認識した物体と同一物体及びその物体を含む周辺環境の局所の特徴点の間でマッチされた局所の特徴点の個数である。

【0066】

前記最適ノード及び最適ノードに対するロボットの2次元位置確定工程S360は、図8に示す位置推定工程S250と同じ工程でサンプルが最も多く収斂されたノードのサンプルのみで前記式8を行ってロボットの位置を推定する工程である。

20

【0067】

図10は、本発明の第2実施形態による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法を示す順序図である。

【0068】

本発明の第2実施形態による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法は、カメラ部100に装着されるセンサが全方向ステレオビジョンセンサであり、ロボットの属する最終ノードを予め定める場合の実施形態であって、図10に示すように、全方向環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S410と、物体認識工程S420と、認識された物体が1つ以上存在する候補ノード選定工程S430と、全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S440と、最終候補ノード選定工程S450と、最終候補ノードにサンプリングしてパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムを行う工程S460と、最適ノード及び最適ノードに対するロボットの2次元位置確定工程S470とを含む。

30

【0069】

全方向環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S410と、物体認識工程S420と、認識された物体が1つ以上存在する候補ノード選定工程S430と、全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S440は、前記第1実施形態の全方向環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S310と、物体認識工程S320と、認識された物体が1つ以上存在する候補ノード選定工程S330と、全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S340と同一であるので、詳細な説明は省略する。

40

【0070】

最終候補ノード選定工程S450は、前記全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S440で計算されたノード近接重み値が最も大きなノードを最終候補ノードとして選定する工程である。

【0071】

前記最終候補ノードにサンプリングしてパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムを行う工程S460は、位置演算部が前記最終候補ノード選定工程S450で選択された最終候補ノードに図8に示すパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムのうち、サンプリング工程S210と、誤差計算工程S220と、重み値計算工程S230と繰り返し条件確認工程S240を行い、正確な位置を推定するのに必要な最終重み値を計算する工

50

程である。

【0072】

前記最適ノード及び最適ノードに対するロボットの2次元位置確定工程S470は、前記最終候補ノード選定工程S450で選択され、前記最終候補ノードにサンプリングしてパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムを行う工程S460で最終重み値が計算されたノードに前記式8を行ってロボットの位置を推定する工程である。

【0073】

図11A及び図11Bは、本発明の第3実施形態による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法を示す順序図である。

【0074】

本発明の第3実施形態による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法は、カメラ部100に装着されるセンサがステレオカメラが360°ではない一定の視野角を有するステレオカメラである場合にロボットの位置推定時間を短縮するために、環境で2つの物体を認識する方法に基づいてロボットの位置を推定する実施形態であって、図11A及び図11Bに示すように、任意の一方向の環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S510と、物体認識工程S515と、認識された物体があるかを確認する工程S520と、認識された物体が1つ以上存在する候補ノード選定工程S525と、全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S530と、候補ノードの優先順位計算工程S535と、候補ノードに含まれている物体のロボットに対する位置計算及び優先順位計算工程S540と、最優先順位候補ノードの最優先順位物体を眺める工程S545と、その方向の環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S550と、物体認識工程S555と、認識された物体が最優先順位物体と一致するかを確認する工程S560と、次の優先順位候補ノードの最優先順位物体を眺める工程S562と、最終ノードにサンプリングしてパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムを行う工程S565と、最終ノードに対するロボットの2次元位置確定工程S570とを含む。

【0075】

前記任意の一方向の環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S510は、カメラ部100が向かっている方向の環境映像及びそれに対してステレオビジョンの基盤の下で距離情報を獲得する工程である。

【0076】

前記物体認識工程S515は、位置演算部が前記任意の一方向の環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S510で獲得した環境映像から物体及び物体を含む周辺環境の局所の特徴点を抽出し、抽出された局所特徴点に対する3次元位置値（カメラ座標系基準）を、ステレオ距離情報を用いて求め、ロボット本体200のデータベース部に格納された物体モデルの局所特徴点と比較して物体を認識する工程である。

【0077】

前記認識された物体があるかを確認する工程S520は、位置演算部が前記物体認識工程S515で認識された物体があるかを確認し、認識された物体がなければ、パン／チルト装置110を動作してカメラ部100を回転（panning）させて他の方向に向かうようにする工程である。

【0078】

前記認識された物体が1つ以上存在する候補ノード選定工程S525は、位置演算部が前記データベース部に格納された地図において前記物体認識工程S515で認識された物体が1つ以上含まれているノードをロボットが位置し得る候補ノードとして選定する工程である。

【0079】

前記全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S530は、前記全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S340と同一であるので、詳細な説明は省略する。

10

20

30

40

50

【0080】

前記候補ノードの優先順位計算工程S535は、前記全ての候補ノードに対するロボットの3次元位置計算工程S530で計算されたノード近接重み値の値によってそれぞれノードの優先順位を計算する工程である。

【0081】

前記候補ノードに含まれている物体のロボットに対する位置計算及び優先順位計算工程S540は、位置演算部が、ロボットが認識した物体を除いて、前記認識された物体が1つ以上存在する候補ノード選定工程S525で選択された候補ノードに含まれている物体のロボットに対する位置を計算して、ロボットの暫定位置から最も近い物体を検証物体として定める工程である。

10

【0082】

前記最優先順位候補ノードの最優先順位物体を眺める工程S545は、位置演算部がパン／チルト装置110を動作して前記候補ノードに含まれている物体のロボットに対する位置計算及び優先順位計算工程S540で選択された検証物体があると予測される方向にカメラ部100を回転させる工程である。

【0083】

前記最優先順位候補ノードの最優先順位物体を眺める工程S545は、位置推定部はパン／チルト装置110を用いてカメラを水平に左右回転するか、上下にうなづく動作を行うことができる。

【0084】

20

前記その方向の環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S550は、カメラ部100が向かっている方向の環境映像及びそれに対してステレオビジョンの基盤の下で距離情報を獲得する工程である。

【0085】

前記物体認識工程S555は、位置演算部が前記その方向の環境イメージ及びステレオ深さ情報獲得工程S550で獲得した環境映像から局所の特徴点を抽出し、ロボット本体200のデータベース部に格納された最優先順位物体の物体モデルの局所特徴点と比較して物体を認識する工程である。

【0086】

前記認識された物体が最優先順位物体と一致するかを確認する工程S560は、位置演算部が前記物体認識工程S555で認識された物体と前記候補ノードに含まれている物体のロボットに対する位置計算及び優先順位計算工程S540で選択された検証物体を比較して一致すれば、その候補ノードを最終ノードとして選定する工程である。

30

【0087】

次の優先順位候補ノードの最優先順位物体を眺める工程S562は、位置演算部が前記認識された物体が最優先順位物体と一致するかを確認する工程S560で認識された物体と最優先順位物体が一致しなければ、前記候補ノードの優先順位計算工程S535で現在カメラ部100が向かっているノードの次の順位の優先順位を受けた候補ノードの前記候補ノードに含まれている物体のロボットに対する位置計算及び優先順位計算工程S540で計算された検証物体にカメラ部100を移動させる工程である。

40

【0088】

即ち、例えば、候補ノードがA、Bの2つであり、優先順位がA、Bである場合に、最優先順位ノードはAとなる。既に認識された物体を除いたノードAに属する物体がa1、b1、c1であり、物体の優先順位がa1、b1、c1であれば、ロボットはa1があると予測される方向に顔を向け、物体認識を行う。もし、物体a1が認識されない場合、その次の優先順位である候補Bに属する最優先順位物体を見るように顔を向け、物体認識を行うようにする。

【0089】

前記最終ノードにサンプリングしてパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムを行う工程S565は、位置演算部が前記認識された物体が最優先順位物体と一致するかを確

50

認する工程 S 5 6 0 で選定された最終ノードに図 8 に示すパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムのうち、サンプリング工程 S 2 1 0 と、誤差計算工程 S 2 2 0 と、重み値計算工程 S 2 3 0 と、繰り返し条件確認工程 S 2 4 0 を行い、正確な位置を推定するのに必要な最終重み値を計算する工程である。

【0090】

前記最終ノードに対するロボットの 2 次元位置確定工程 S 5 7 0 は、前記認識された順位が最優先順位物体と一致するかを確認する工程 S 5 6 0 で選択され、前記最終ノードにサンプリングしてパーティクル・フィルタリング・アルゴリズムを行う工程 S 5 6 5 で最終重み値が計算されたノードに前記式 8 を行ってロボットの位置を推定する工程である。

【0091】

以上、添付の図面を参照して本発明の実施形態を説明したが、本発明の属する技術分野において通常の知識を有する者は、本発明がその技術的思想や必須な特徴を変更することなく、他の具体的な形態に実施できるということが理解できる。従って、以上で記述した実施形態は全ての面で例示的なものであり、限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

【0092】

【図 1】本発明による物体認識及び周辺環境情報に基づいて自己位置を推定するロボットの構造図である。

【図 2】本発明による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法を示す基本順序図である。

【図 3】本発明によるロボットが認識した物体と認識された物体を含む周辺環境概念図である。

【図 4】本発明によるロボット中心の物体認識及び物体位置、認識された物体を含む周辺環境位置概念図である。

【図 5】本発明による環境中心の物体位置及びその物体を含む周辺環境位置概念図である。

【図 6】本発明によるロボット中心の物体及び認識された物体を含む周辺環境位置と環境中心の物体及びその物体を含む周辺環境位置間の関係図である。

【図 7】本発明による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法で用いられる位相学的地図を示す例示図である。

【図 8】パーティクルフィルタリングに基づいた位置推定方法を示す順序図である。

【図 9】本発明の第 1 実施形態による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法を示す順序図である。

【図 10】本発明の第 2 実施形態による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法を示す順序図である。

【図 11A】本発明の第 3 実施形態による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法を示す順序図である。

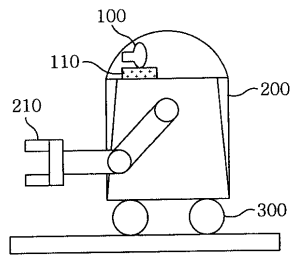
【図 11B】本発明の第 3 実施形態による物体認識及び認識された物体を含む周辺環境情報に基づいたロボットの自己位置推定方法を示す順序図である。

10

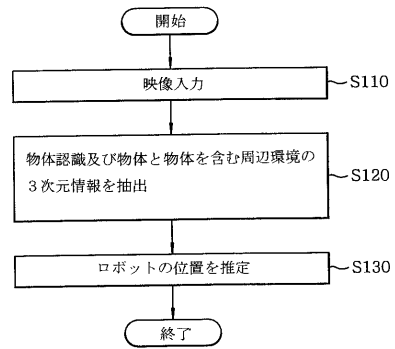
20

30

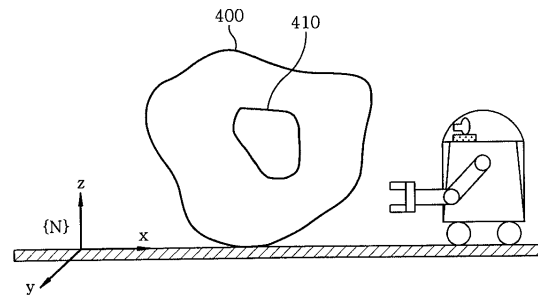
【図 1】



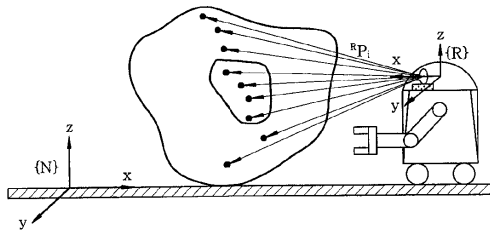
【図 2】



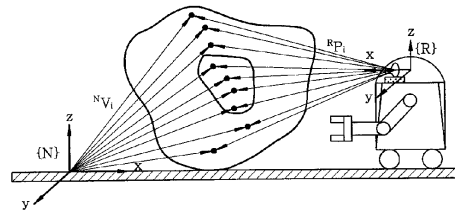
【図 3】



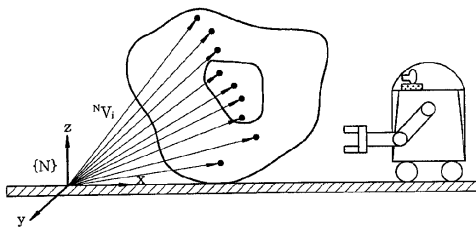
【図 4】



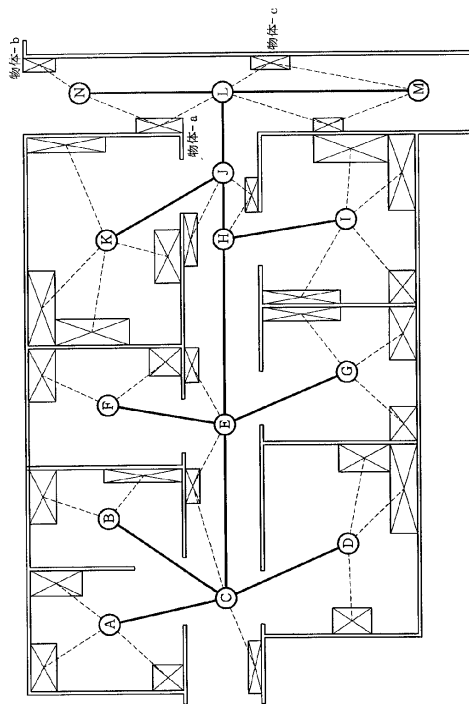
【図 6】



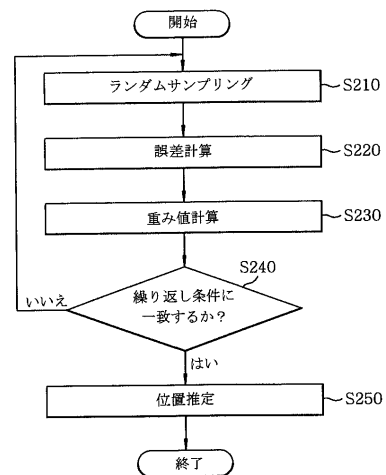
【図 5】



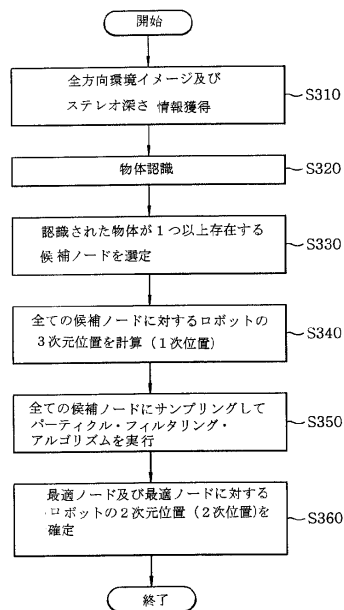
【図 7】



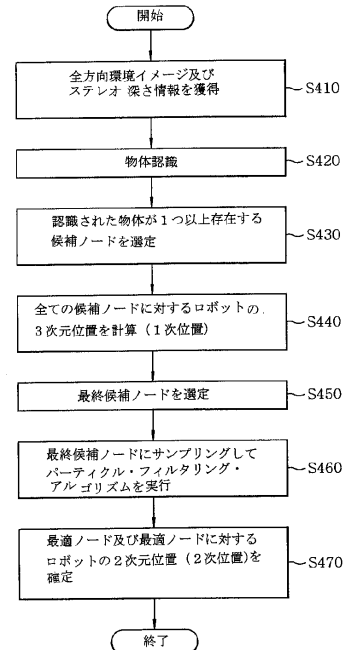
【図 8】



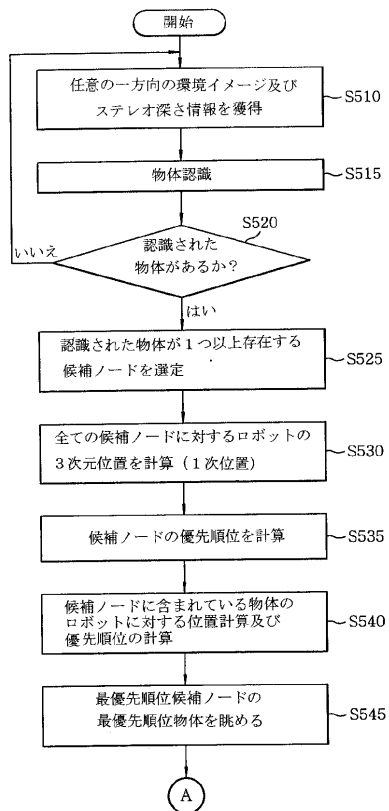
【図 9】



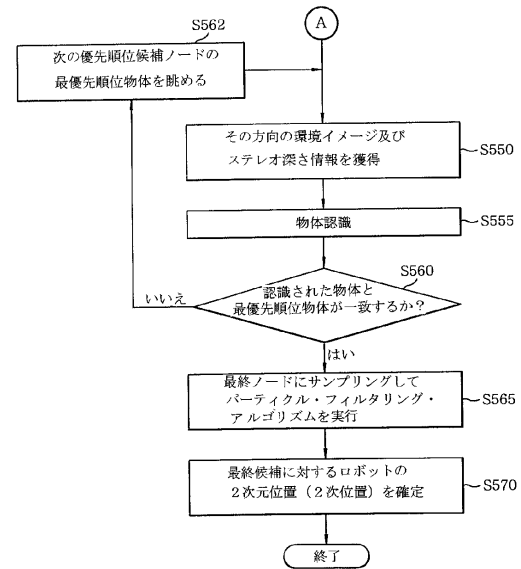
【図 10】



【図 1 1 A】



【図 1 1 B】



フロントページの続き

(72)発明者 朴 聖 基

大韓民国ソウル特別市道峰區雙門4洞現代A p t . 2 0 1 - 1 1 0 4

(72)発明者 朴 薺 ▲庸▼

大韓民国京畿道富川市梧亭區遠宗1洞2 9 9 - 3 東洋住宅2 - 1 0 2

審査官 金丸 治之

(56)参考文献 特開平0 7 - 2 0 0 7 7 7 (J P , A)

特開2 0 0 6 - 2 0 9 6 4 4 (J P , A)

特開2 0 0 7 - 3 1 6 9 6 6 (J P , A)

特開2 0 0 8 - 0 1 4 7 4 2 (J P , A)

特開2 0 0 4 - 3 2 6 2 6 4 (J P , A)

特開2 0 0 8 - 0 8 3 0 4 5 (J P , A)

特開2 0 0 6 - 1 9 2 5 6 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)

B 2 5 J 1 3 / 0 8

B 2 5 J 5 / 0 0