

I-006

ステレオビジョンを用いた自律移動ロボットの自己位置同定 Location Identification Algorithm by Using Stereo Vision

倉本 健介*
Kensuke Kuramoto

伊藤 彰則*
Akinori Ito

鈴木 基之*
Motoyuki Suzuki

牧野 正三*
Shozo Makino

1. はじめに

現在ではロボットは工場のみならず、社会一般に進出しようとしており、このような状況でロボットが働く場合、自律的に移動できるということが極めて重要な意味を持つようになる。ロボットの自己位置同定方法として最近注目を浴びているのは、位置同定に視覚を用いる方法である [2]。視覚を用いることにより、特別な装置を利用することなく、ロボット単独で機能を実現できることがその利点である。本研究では、ステレオビジョンによる距離画像および、3次元記憶を用いた自己位置同定方法を提案する (図 1)。

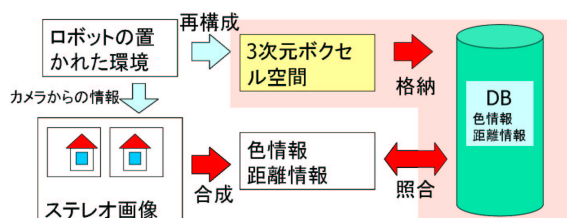


図 1: システムのブロック図

すなわち、ロボットは周囲の地形情報を 3次元ボクセルデータとして記憶し、カメラから得られた視界情報（色、距離データ）と、地形情報から合成した視界情報を照合することで自己位置同定を行う。その利点として、一度 3次元データを獲得してしまえばそこから任意の視界情報を合成できるため、自己位置同定精度の限界値が高いことがあげられる。本報告では、計算機シミュレーションにより、以上のアルゴリズムの有効性について検討する。

2. 片側区間分割 DP マッチングによるステレオ画像からの距離情報取得

ステレオマッチングのための左右の画像の対応点を求める方法として、本研究では片側区間分割 DP マッチングを利用した [3]。片側区間分割 DP マッチングとは、左右のカメラから得られた画像に関して、片側の画像を区間分割し、区間ごとに対応を求めるといった方式である。この方法を用いることにより、伸縮に強い DP マッチングの対応付け [1] を用いつつ、左右の画像で見え方が逆転する領域などへの対応が図れる。また、オクルージョン問題に対しては、DP による対応スコアからオクルージョン区間の抽出を行い、その区間に関しては直前の区間から外挿することによって情報を補完する。以上の操作により、単調連続 DP に比べてシャープで精度の高い画像を得ることができる (図 2-図 4)。

アルゴリズムの評価を行うため、大量の CG 画像に対する定量評価実験を行った。

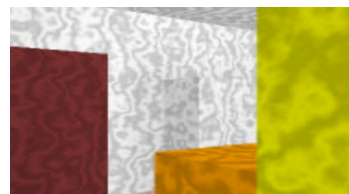


図 2: CG 画像の例



図 3: 単調連続 DP による距離画像



図 4: 片側区間分割 DP による距離画像

まず、計算機上に仮想空間を構築し、仮想空間上にカメラを置いたステレオ画像を CG によって再現した。カメラの位置と方角をランダムに設定した 300 組のステレオ画像を生成し、それぞれに対して片側区間分割 DP と全体 DP によって距離画像を求め、誤差の大きさを検討した。各々の方法について、全体としての平均、及び、距離の変化の大きい部分と小さい部分について誤差を調べた。画像のあるピクセルに対し、その左右各 8 ピクセルの間で距離が 32cm 以上変化する部分を「変化大領域」として定義し、それ以外を「変化小領域」とした。「変化大領域」には壁や柱などのエッジ部分などが多く含まれる。

その結果を表 1 に示す。区間分割を行った方が、特に距離の変化の大きい部分で精度が向上することが読み取れる。

表 1: 定量評価実験

	片側区間分割 DP	単調連続 DP
全体の平均	17.90cm/pixel	19.85cm/pixel
変化大領域	33.90cm/pixel	69.00cm/pixel
変化小領域	17.58cm/pixel	18.83cm/pixel

3. ステレオビジョンを用いた自己位置同定方法

3.1 ロボットが持つマップ情報の構造

2次元のマップデータを重ねることによって 3次元データを構成している。ロボットは自分が持つマップデータ

*東北大学大学院工学研究科

と、視界情報とをマッチングすることにより自己位置を同定する。

3.2 カメラの配置

カメラは、ロボットの前後に二組のステレオカメラを搭載するものとする。これは、カメラが一組だった場合、ロボットが壁際や障害物の直前にいる場合などに有効な情報が得られないためである。

3.3 マップと視界情報のマッチング

ステレオ画像から得られた色情報と距離情報を用いて、自己位置同定実験を行った。実験は計算機上にて行い、マップデータに関してはあらかじめ正しい情報が与えられているものとする。

3.3.1 スコアの算出

自己位置同定の方法としては、カメラから得られた画像と、ロボットが内部に持つ三次元のマップデータから再現された画像の照合によって行う。すなわち、仮想空間上の視点のうち、カメラからの入力との差のスコア (RGB 及び距離 D) が最も小さいものを選び、ロボットの自己位置を推定する (式 1)。マップから再現されたデータを R_m, G_m, B_m, D_m カメラから得られたデータを R_s, G_s, B_s, D_s とすると、

$$Score = |R_m - R_s| + |G_m - G_s| + |B_m - B_s| + |D_m - D_s| \quad (1)$$

実際には、カメラからの視界情報は解像度 320×8 として処理しており、それぞれのピクセルごとにスコアを算出し、その平均値を求めている。

3.3.2 多重解像度解析

以上のスコアをマップ上の全ての点について計算するのは計算量が非現実的なものとなる。そのため、多重解像度解析を用いることで計算量を現実的なレベルとしている。

アルゴリズムとしては、まずマップを粗いメッシュに分割し、初期の候補とする。そして、各メッシュごとに仮想の視界情報を構築し、それを現在カメラから得られている視界情報と照合する。

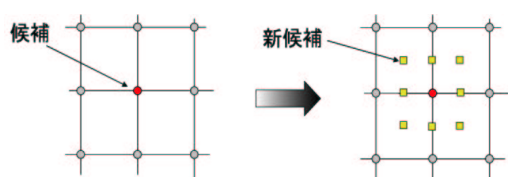


図 5: 新たな候補の生成

このとき、マッチングスコアの小さいものから上位 100 を選び、候補地点を絞り込み、その周囲のメッシュを再分割し、新たに候補に加える (図 5)。これを、メッシュを段階的に細かくしながら繰り返し、位置を絞り込んでいく。

また、カメラから得られる視界データに関して多解像度解析を行っている。最初の段階では距離情報、色情報ともに解像度 1、すなわち平均値を利用し、メッシュの分割にともなって段階的に解像度を細かくすることで効率的なマッチングを行う。

表 2: 自己位置同定の実験条件

マップサイズ	512 × 512 × 16
初期メッシュ分割	32 × 32
初期角度分割数	16
使用特徴量	距離および色 (Normalized RGB)
サンプル数	150 箇所

表 3: 自己位置同定実験結果

	区間分割	単調 DP	距離情報非使用
x 平均誤差	9.78	11.9	18.8
y 平均誤差	6.90	7.32	15.8
角度平均誤差	7.76	8.9	8.1
半径 8cm 円内	80.0 %	64.7 %	22.0%

実験条件を表 2 に示す。マップサイズは 512 ピクセル × 512 ピクセル × 8 レイヤーであり、これによって 512cm × 512cm × 256cm の部屋をあらわしている。色情報は陰影の影響を抑えるため、規格化して利用している。なお、ステレオマッチング方法に関しては単調連続 DP マッチングと片側区間分割 DP マッチングを用いて比較を行った。また、距離情報を用いないで色情報のみを利用して自己位置同定を行った場合についても調べた。

4. 実験結果

この実験条件によって実験を行った結果を表 3 に示す。半径 8cm 円内というのは、正解位置から 8cm 以内の結果が得られた確率である。誤差 8cm 以内に 80% が集中しているにもかかわらず、平均誤差が大きいのは、距離的に大きく離れた、良く似た地形の部分にマッチングしてしまう場合が存在するためである。これは、実ロボットでは、前回の位置同定結果を参照することなどである程度緩和できると思われる。

全体として良好な結果が得られていることが分かると共に、距離情報を用いることの有効性、片側区間分割 DP マッチングの有効性が示せた。

5. まとめ

本論文では、ステレオ画像により色情報と距離情報を用いることで精度の高い自己位置同定が可能であることを示した。今後は全方位カメラを利用するなど、より情報量を増やすことにより、ロバストかつ精度の向上を試みたいと考えている。

参考文献

- [1] 大田 友一, 正井康之, 池田克夫, “動的計画法によるステレオ画像の区間対応法”, 信学論, vol. J68-D, no. 4, pp. 554-561, April, 1985
- [2] 間所 洋和, 佐藤 和人, 石井 雅樹, “視野画像列を用いた世界像の獲得と自己位置の推定”, 信学論 D-II Vol. J83-D-II, No. 12, pp. 2587-2596, 2000 年 12 月
- [3] 倉本健介, 伊藤彰則, 鈴木基之, 牧野正三, “領域分割を用いた DP マッチングによるステレオ画像からの対応点検出”, 情報通信技術フォーラム一般講演論文集第 3 分冊, pp. 85-86, 2002