1306 ステレオ法を用いた自律移動ロボットの経路探索

Route Planning for Autonomous Mobile Robots Using Stereo Method

○学 松田 日嘉 (徳島大院)

正 浮田 浩行 (徳島大)

Hiyoshi MATSUDA, and Hiroyuki UKIDA

The University of Tokushima, 2-1 Minamijyousanjima-cho, Tokushima-shi, Tokushima

Key Words: Mobile Robot, Stereo Method, Epipolar Geometry

1. 緒言

近年, 多種多様な自律学習ロボットが開発されており, 様々な移動手法が考案されている. それらの多くがセンサーを多用する傾向にあるため, 本実験では装置の単純化と小型化を考え, 小型カメラ一台を用い任意のある位置, 姿勢から目標となる位置へ向かってロボットを誘導することを目的とする. また, カメラで取得する画像からの自己位置推定やステレオ法による物体の検出についても検討する.

2. ロボットの経路探索

2.1 実験概要 まず本研究で提案するロボットの経路探索方法を示す.

(1) あらかじめ与えたロボット周囲の地図画像上で現在位置を推定する.

(2) 現在位置周辺において, ステレオ法を用い障害物を検出する.

(3) 検出した障害物を地図画像上に投影し, 地図画像を更新する.

(4) 目標位置までの経路を地図画像上で探索する.

(5) 更新された地図画像を参照して経路探索を行い, 目標位置までの最適な移動方向を選択する.

(6) 経路探索によって選択した方向へロボットを移動させる.

以上を繰り返すことにより, ロボットをある出発位置からある目標位置まで自律的に誘導する.

これまではアームロボットに3眼カメラを搭載して, 上記(1)から(5)に相当するステレオ法による障害物の検出と構築された地図画像からの経路探索を行ってきた^[1]. アームロボットを利用することにより正確な移動が可能となりシミュレーションを行うには適していたが, ロボット自体が大型な上, 移動範囲が制限されるという問題がある.

そこで本研究では Fig.1 に示すように, 1 眼カメラを小型移動ロボットに搭載し, 自己位置を推定しながら自律的に目標位置へ誘導する方法について検討する. これは上記後半(6)に相当する. 現段階では1眼カメラによって目標位置まで誘導することを行っているが, 最終的には3眼カメラを搭載し障害物を検出しながらロボットの移動することを検討している.

Fig.1 Mobile Robot

2.2 画像間のエピポーラ幾何算出 ロボットの移動にはエピポーラ幾何を用いる. エピポーラ幾何とは複数の視点における相対的なカメラの位置や姿勢の情報を記述する幾何のことである. 同一カメラの場合, 移動前後の視点においてエピポーラ幾何を算出することでそのロボットの姿勢を知ることができる.

2.3 画像間の対応点抽出 エピポーラ幾何を算出するにはまず二つの視点で取得した画像(第1, 第2画像)の対応点を求める必要がある.

対応点として利用する特徴点の抽出にはハリスのコーナー検出手法を用いる. また, あらかじめガウシアンフィルタを用いて画像を平滑化しておけば誤検出を避けることができる.

対応点はこの手法によって求めた2枚の画像の特徴点周辺においてテンプレートマッチングすることで得ることができる.

2.4 対応点による位置誤差の算出 現在位置の画像と目標位置の画像の対応点を比較(誤差算出)して目標位置到達の判断や自己位置の推定を行う. 2枚の画像の対応点から得られる誤差算出には次に示す変換行列Pを用いる. このPと変換によって求めた対応点座標と実際の座標との差を位置誤差として, 目標位置到達や自己位置推定に用いる.

$$\tilde{m}'_i = P \tilde{m}_i \quad (1)$$

$$\tilde{m}_i = \begin{pmatrix} u & v & 1 \end{pmatrix}, \quad \tilde{m}'_i = \begin{pmatrix} u' & v' & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$\tilde{m}_i$ と $\tilde{m}'_i$ はそれぞれ第1画像と第2画像の対応点の齊次座標を表す.

また, この誤差の大きさを利用してテンプレートマッチングのテンプレートサイズの変更を行い, 位置が離れた2枚の画像間の対応点探索においても精度よく求めることができる.

2.5 画像間のF行列算出 F行列(Fundamental 行列)とは式(3)のようなエピポーラ方程式に含まれるエピポーラ幾何を計算するための基礎となる行列である.

$$\tilde{m}'^T F \tilde{m} = 0 \quad (3)$$

ここでFは3×3行列である. 8点以上の対応点座標による条件を加えた行列をMとし $Mf = 0$ とすると, f は $\|f\| = 1$ という条件のもとで $M^T M$ の最小固有値に対応する固有ベクトルとして求めることができる.

2.6 エピポーラ線とエピポールの算出 Fig.2のように視点 c, c' と3次元空間中の任意の点 x はその空間中に一つの平面 Σ を定義する. この平面 Σ と画像面とが交差してできる直線 l, l' をエピポーラ線と呼ぶ. また, エピポールは二つの視点を結ぶ直線が画像面と結ぶ交

点 e , e' のことである。ひとたび F 行列が求まればエピポーラ線とエピポールを求めることができる。エピポーラ線を求めるためには次式を計算する。

$$\tilde{l}' = F\tilde{m} \quad (4)$$

この l' を用いると (3) 式は $\tilde{m}'\tilde{l}' = 0$ となり、 m' が未知の変数とすると、これは第 2 画像上のひとつの直線を表す。これがエピポーラ線である。同様にして、第 1 画像上のエピポーラ線も求めることが出来る。エピポールはエピポーラ線の交点である。

Fig.2 Epipolar line and epipole

Fig.3 Relation of images

2.7 同一カメラのエピポーラ幾何と移動原理 一つのカメラを用いた画像面の関係を Fig.3 に示す。ロボットを移動させるにはこの 3 枚の画像（移動前画像 π_1 、移動後の現在位置画像 π_2 、目標位置画像 π_3 とする）のエピポーラ幾何を利用する。

具体的には、移動前画像 π_1 と移動後画像 π_2 より求めたエピポール e_{21} と移動後画像と目標画像 π_3 より求めたエピポール e_{23} に着目する。同一カメラのエピポールはそのロボットの進行方向を示す。そこで、この二つの点において e_{21} 方向から e_{23} 方向へロボットを回転させることで目標画像取得方向へロボットの姿勢を近づけることができる。続けて直進し、これを繰り返すことでロボットは目標画像取得位置へ近づく。

2.8 ロボットの移動方法 次にロボットが移動する際の詳細な流れを示す。以下の流れを、2.1 で述べた

(6) において行う。なおここで (3) の目標画像は、あらかじめ与えられているとする。

- (1) 現在位置で画像を撮影する。
- (2) ロボットを指定の方向へ移動し画像を撮影する。
- (3) 現在位置画像と目標画像の対応点、現在位置画像と移動前画像の対応点を得る。
- (4) 現在位置画像と目標画像の対応点から位置誤差を算出する。誤差が閾値以下であればこの時点で移動完了とする。

(5) 現在位置画像と目標画像、現在位置画像と移動前画像のエピポーラ幾何をそれぞれ算出する。

(6) 算出したエピポーラ幾何により目標画像方向への姿勢を得る。(2) へ戻り、これを繰り返すことによりロボットは目標画像取得位置へ誘導される。

エピポーラ幾何を算出するには画像間の対応点が求まらなければならないため、目標位置や障害物の位置の関係によっては一枚の目標画像では到達できない。そのため、一時的な目標位置までの画像を参照し、それを切り替えながら最終的な目標位置へ到達させることを検討している。

3. 実験

Fig.1 に示すカメラを搭載した移動ロボットを用いて実験を行った。Fig.4 はあらかじめ与えた目標位置の画像である。そして、Fig.6 中において四角で示す 6 つの出発点から一つの目標位置へ向けて、エピポーラ幾何を計算しながら自律的に移動させる。

Fig.5 は Fig.6 中の黒四角で示す出発位置の画像である。実験結果を Fig.6 に示す。図中の直線がロボットの移動軌跡である。また、直進移動に関しては別に自己位置推定を行った。その結果を Fig.7 に示す。直線が実際の移動、折れ線が推定位置の軌跡となっている。

Fig.4 The goal image

Fig.5 The start image

Fig.6 Trajectory of robot move

Fig.7 Location Estimation

4. 考察

エピポーラ幾何を正確に算出するには、2 枚の画像間での対応点を確実に取ることが不可欠であるが、本実験では 2.4 に示したように目標位置と現在位置の位置誤差をテンプレートサイズ変更の制御に利用することで誤検出を防いでいる。しかし、対応点座標の多少の誤差から安定してエピポーラ幾何を算出できない場合もある。

ロボットの移動においては、目標位置へ向かって制御されているが、一回の回転・移動量をより小さくすれば不安定な計算結果の影響を大きく受けることなく、移動自体もより正確なものになると考えられる。

位置誤差を利用した自己位置推定では、その移動方向などは推定できているが、実際の自己位置とは違った位置として判断してしまっている。これはあらかじめ与えておく周辺画像の取得枚数の少なさや対応点座標の誤差などによる。

5. 結言

本実験では小型カメラを搭載した移動ロボットにおける、目標位置への経路誘導について述べた。今後は、あらかじめ目標画像を取得する方法を検討する。

参考文献

- [1] 松田日嘉, 浮田浩行: 自律移動ロボットの経路探索, FIT2006 一般講演論文集, pp.157-158
- [2] 佐藤岳晴, 佐藤淳: 未公正カメラによる未公正ロボットの視覚サーボ, 電子情報通信学会論文誌 2000 年 4 月 pp.1110-1118
- [3] 佐藤淳: コンピュータビジョン—視覚の幾何—コロナ社
- [4] 奥富正敏, デジタル画像処理, CG-ARTS 協会