

複数観測戦略を有する移動ロボットのナビゲーション計画

Navigation Planning Of Autonomous Mobile Robot With Multiple Observation Strategies

○藤田和俊[†] 朝倉弘崇[†] 山下淳[†] 金子透[†] 三浦憲二郎[†] 浅間一[‡]
[†]静岡大学工学部機械工学科 [‡]東京大学人工物工学研究センター

Kazutoshi FUJITA[†] Hirotaka ASAKURA[†] Atsushi YAMASHITA[†]
Toru KANEKO[†] Kenjiro T. MIURA[†] Hajime ASAMA[‡]

[†]Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University [‡]RACE, The University of Tokyo

We propose a new navigation planning method for autonomous mobile robots with multiple observation strategies. The robot estimates its position by observing landmarks with two active cameras. The robot chooses the optimal landmark-observation strategy depending on the number and the configuration of visible landmarks in each place. The effectiveness of our proposed method is shown through experiments.

Key Words: Navigation, Mobile Robot, Landmark, Planning

1 はじめに

自律移動ロボットが目的地まで移動する際に、ロボットの現在位置を正確に知るための自己位置同定が重要となる。

視覚による自己位置同定は、ロボットにランドマークの大きさや位置の情報を事前に与え、ランドマーク観測からロボットとランドマークの相対位置を求めることで実現される。

多くの研究では、視覚による自己位置同定を1つの観測法(例えばステレオ観測など^{[1])}で行い、その観測精度を高めることを目的としている。しかし、観測法を変えることによって同時に多くのランドマークを観測ができれば、得られる情報量が増え、それに伴い精度が向上する場合がある。

そこで本研究では、自己位置同定を行う観測法を複数採用する。そして、それぞれの観測戦略のうち、高精度である最適な観測を選定するナビゲーション計画を立てる。ここで高精度とは、カメラの読み取り誤差によって生じる自己位置同定の誤差が少ないことを意味する。

2 提案する3つの観測戦略

前提条件として、ランドマークを設置する高さは一定であり形状は一定の大きさの円であるとし、ロボットには予めFig.1に示すランドマーク半径 r 、ランドマーク i の世界座標系での位置 (x_i, y_i) を与えてあるとする。これによりランドマーク i, j 間の距離 d_{ij} は既知となる。ランドマークはそれぞれ区別できるものとし、壁に貼り付けてあるため裏からは観測できないとする。またロボットにはカメラを2台設置してあるものとし、独立に方向を変えることができる(Fig.2)。

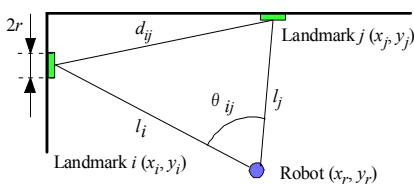


Fig.1 Observation



Fig.2 Robot

自己位置同定は、ランドマークを観測することにより、ロボットからランドマーク i までの距離 l_i 、ランドマーク i, j とロボットのなす角度 θ_{ij} を算出し、ロボットの位置 (x_r, y_r) を同定する。距離 l_i はランドマークの半径 r と画像中でのランドマークの大きさの比より、角度 θ_{ij} は画像中でのランドマーク i, j の中心位置から求めることができる。

1台のカメラがランドマーク i を観測して距離 l_i を算出した場合、2台が共にランドマーク i を観測して算出した時に比べて精度が劣る。しかし、2台のカメラが独立にランドマーク i, j を観測すると得られる情報量が増える。

そこで本研究では、同時に観測できるランドマークの数に応じた観測戦略を提案する。

視野内に入るランドマークが1つの時の観測戦略は、ステレオ観測を用いる。この観測はランドマーク1つあれば行うことができるので汎用性が高い。

ランドマークが2つの時の観測戦略は、2点灯台観測を用いる。この観測は2つのカメラの角度が大きい時、良い精度で自己位置同定を行うことができる。

ランドマークが3つの時の観測戦略は、3点灯台観測を用いる。この観測は自己位置同定が一意に定まり、高精度で行うことができる。

以下でそれぞれの観測戦略の原理について説明する。

2.1 ステレオ観測

ステレオ観測は、1つのランドマークを観測し、ランドマークまでの相対距離と、ランドマークの形状の傾きから自己位置同定を行う方法である(Fig.3)。

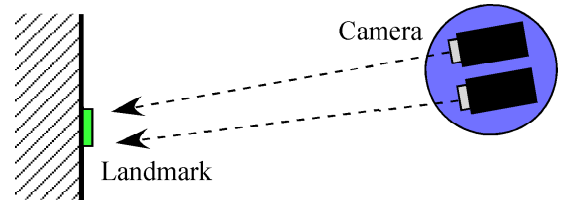


Fig.3 Strategy (a)

カメラの画像から三角測量の原理を使い、ランドマークの3次元座標を求める。これよりロボットの位置を同定する。

2.2 2点灯台観測

2点灯台観測は、2つのランドマークの観測から、距離 l_i と角度 θ_{ij} を求め、自己位置同定を行う観測法である(Fig.4)。ここでランドマーク i はランドマーク j に比べロボットから近い位置にあるとする。

この観測法では各カメラが異なるランドマークを観測することになり、半径 r とカメラの画像でのランドマークの大きさの比により距離 l_i, l_j が算出される。

このときカメラの読み取り誤差を考えると、ロボットまで

の距離が近いランドマーク j はランドマーク i に比べ画像の分解能が高く誤差が小さい。また角度 θ_{ij} は、カメラの奥行き情報である距離 l_i に比べ誤差の影響が少ない。従ってより正確である距離 l_j 、角度 θ_{ij} 、距離 d_{ij} から距離 l_i を求める。

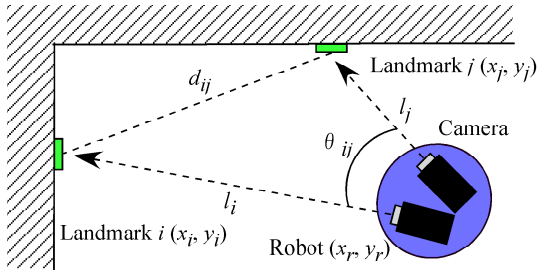


Fig.4 Strategy (b)

これにより、ランドマーク i の位置から距離 l_i 離れた場所にロボットが位置していることが分かる。従ってランドマーク i の位置 (x_i, y_i) を中心として半径 l_i の円上にロボットの位置 (x_r, y_r) が存在することになり、ランドマーク i とロボットの位置の関係は式(1)により表される。

$$(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2 = l_i^2 \quad (1)$$

同様にランドマーク j とロボットの位置の関係式を求めることができる。この2組の関係式により、ロボットの位置はランドマーク i, j の円の交点に限定される。円の交点は2点となるが、デッドレコニングなどによるロボットの移動履歴から1点に定めることができる。

2.3 3点灯台観測

3点灯台観測は、3つのランドマークの観測から、角度 θ_{ij} 、 θ_{jk} を求め、自己位置同定を行う方法である(Fig.5)。

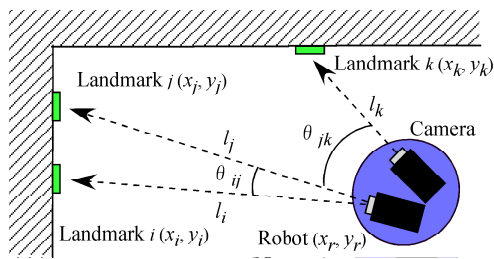


Fig.5 Strategy (c)

ランドマーク i, j の位置 (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 、角度 θ_{ij} とロボットの位置 (x_r, y_r) の関係は式(2)より表すことができる。

$$\tan^{-1} \frac{y_j - y_r}{x_j - x_r} - \tan^{-1} \frac{y_i - y_r}{x_i - x_r} = \theta_{ij} \quad (2)$$

同様に、それぞれのランドマーク i, j, k とロボットの位置の関係式を求めることができる。これらの関係式よりロボットの位置を同定することができる。

3 ナビゲーション計画

本研究では、提案した3つの観測戦略を併用する。そして、自己位置同定を行う場所で、3つの観測戦略のうち観測精度が最も良い最適観測を選択する。

最適観測の選定には、まずどのランドマークが観測可能かを調べる。ロボットがランドマークを裏側から観測する時や、ロボットとランドマークの間に障害物が存在するときはランドマークを観測することができない。

また、画像には通常誤差が生じる。しかし、異なるランド

マークや異なる観測戦略では、画像誤差の自己位置同定への影響に違いがある。この誤差の影響が少ないものが、観測精度が良いと言える。

そこで、ランドマークの画像に位置 $(\pm \Delta u, \pm \Delta v)$ 、大きさ $\pm \Delta s$ だけ誤差が発生したと仮定する(Fig.6)。この誤差を含む画像からそれぞれの観測戦略と観測可能なランドマークを組み合わせ、自己位置同定を行う際の誤差を算出する。この誤差が最小となる観測をその観測地点での最適観測とする。

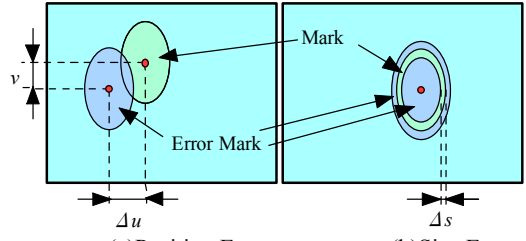


Fig.6 Image Error

これをロボットが移動する経路上のすべての場所で行い、最適観測のナビゲーション計画を立てる。

4 シミュレーション結果

Fig.7のような環境下においてロボットの経路を与え、シミュレーションを行った。ここでFig.7においてI~VIはランドマークを示す。(a)~(c)はその地点での最適観測となる観測戦略を表す。また①~⑤の場所での最適観測方法を(a)~(c)で、視野方向を扇形で示す。

観測地点③ではすべての観測法を行うことができたが、もっとも精度が良い観測法は3点灯台観測であった。しかし、3点灯台観測は他の場所では観測できなかった。2点灯台観測の誤差は近いランドマークまでの距離とカメラの角度に依存するため、カメラ角度が大きいときは2点灯台観測、角度が大きいときはステレオ観測が最適観測となった。

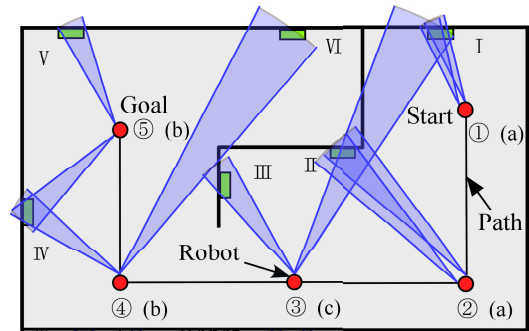


Fig.7 Simulation Result

5 おわりに

最適な自己位置同定を目的として、3つの観測戦略を提案し、最適な観測となるナビゲーション計画を立てた。シミュレーション結果より、ロボットの経路上で最適な観測を選定することができた。

今後は最適観測の結果を用いて実機移動ロボットのナビゲーションを行う。

参考文献

- 1) 城殿清澄, 三浦純, 白井良明: “誘導による移動経験に基づく視覚移動ロボットの自律走行”, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.8, pp1003-1009, 2001.