

# 複数観測戦略を有する自律移動ロボットのセンシング計画

藤田和俊 朝倉弘崇 山下淳 金子透 三浦憲二郎 (静岡大学工学部機械工学科)

本論文では、複数の観測戦略を備えた自律移動ロボットの新しいセンシング計画を提案する。ロボットは2台の独立に動くカメラを備え、ランドマーク観測により自身の位置を求める。ロボットは、複数観測戦略の中から各場所に応じた最適観測を選定する。提案した手法の有効性はシミュレーションにより示された。

## 1. はじめに

自律移動ロボットが目的地に移動する際、ロボットの位置を正確に知る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<sup>[1]</sup>）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方法を複数採用する。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センシング計画を立てる。ここで高精度とは、カメラによる画像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台設置しており、独立に方向を変えることができるとする。

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 $\theta_{ij}$ 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

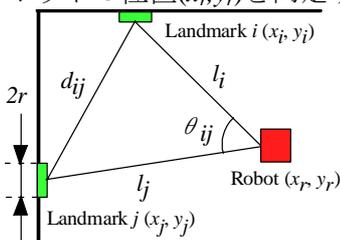


Fig.1 Observation

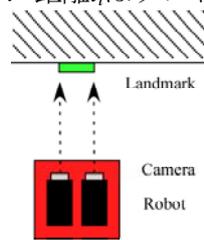


Fig.2 Strategy (a)

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 $\theta_{ij}$ 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台のカメラでランドマーク $i$ を観測して距離 $l_i$ を算出した時、2台のカメラで観測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。

視野内にランドマークが1つある時、ステレオ観測を用いることができる。これは1つのランドマークを観測すれば行うことができるので汎用性が高い。

視野内にランドマークが2つある時、2点灯台観測を用いることができる。これは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えられる。

視野内にランドマークが3つある時、3点灯台観測を用いることができる。遠いランドマークを観測しても、高精度な自己位置同定ができる。

以下でそれぞれの観測戦略の原理を説明する。

### 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.2)。

カメラの画像から視差を考慮して、ランドマークの3次元座標を求め、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 $l_j$ と角度 $\theta_{ij}$ を求め、自己位置同定を行う方法である(Fig.3)。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

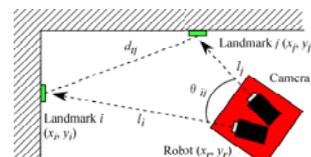


Fig.3 Strategy (b)

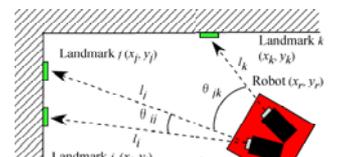


Fig.4 Strategy (c)

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 $\theta_{ij}$ 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 $\theta_{ij}$ 、距離 $d_{ij}$ から距離 $l_i$ を求める。

これにより、ランドマーク*i*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 $(x_r, y_r)$ が存在するので、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。この2組の関係式より、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 $\theta_{ij}$ 、 $\theta_{jk}$ を求め、自己位置同定を行う(Fig.4)。

ランドマーク*i*、*j*の位置 $(x_i, y_i)$ 、 $(x_j, y_j)$ 、角度 $\theta_{ij}$ とロボットの位置 $(x_r, y_r)$ の関係は式(2)より表される。

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

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できる。

### 3. センシング計画

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、障害物がランドマークを遮る時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、画像誤差による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 $\pm \Delta r$ だけ誤差が発生したと仮定する。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、自己位置同定を行い、ロボットの位置と姿勢を算出する。

次に誤差が最小となる最適観測を決定する。最適観測は、可能な各観測戦略の位置と姿勢の誤差を評価することで選定できる(Fig.5)。ここで問題となることは、位置と姿勢の単位が異なり同時に評価できないことである。そこで姿勢の誤差を、誤差のある姿勢で次の観測地点まで移動した際の位置の誤差に変換する。これにより位置誤差と姿勢誤差を同時

に評価でき、誤差が最小となる観測がその地点での最適な観測となる。

これをロボットが移動する経路上のすべての観測地点で行い、最適なセンシング計画を立てる。

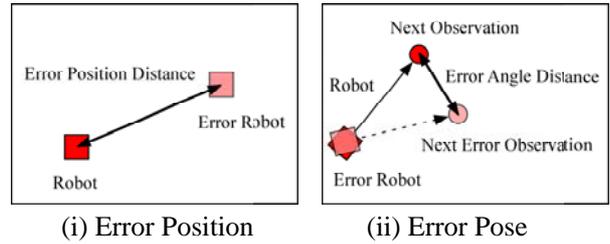
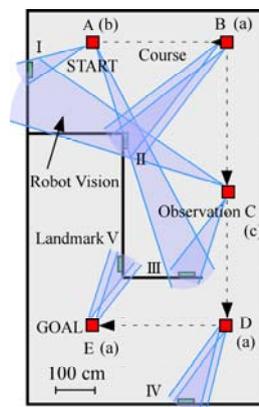


Fig.5 Estimation of Error

### 4. シミュレーション結果

シミュレーションを行った結果をFig.6に示す。Fig.6においてI~Vはランドマークを、(a)~(c)はその地点の最適観測となる観測戦略を表す。またA~Eの地点での最適観測を(a)~(c)で、視野方向を扇形で示す。

観測地点C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戦略は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、カメラ角度が大ききときは2点灯台観測、角度が小さいときはステレオ観測が最適観測となった。



地点	観測	マーク	誤差
A	a	I	14.3 cm
	b	I III	4.8 cm
	c		
B	a	II	25.9 cm
	b	I II	30.5 cm
	c		
C	a	III	23.7 cm
	b	I III	9.3 cm
	c	I II III	0.5 cm
D	a	IV	17.8 cm
	b		
	c		
E	a	V	2.2 cm
	b	IV V	3.5 cm
	c		

Fig.6 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、最適な観測となるセンシング計画を立てた。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。

今後はセンシング計画の結果を用いて、実機の移動ロボットに適用する。

### 参考文献

- 1) 城殿, 三浦, 白井: “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.