

# 観測時間と履歴を考慮した情報量に基づく 移動ロボットの行動決定のための効率的観測

光永 法明, 浅田 稔

大阪大学大学院 工学研究科 知能機能創成工学専攻

Efficient observation strategy for decision making based on information criterion  
accounting for observation time and history

Noriaki Mitsunaga and Minoru Asada

Dept. of Adaptive Machine Systems, Graduate School of Engineering Osaka Univ.

**Abstract**— This paper proposes a method of efficient observation that enables a robot with a limited visual angle to make decisions considering the observation time and history without explicitly localize itself in the environment. Since global positioning from the 3-D reconstruction of landmarks is generally time-consuming and prone to errors, the robot makes decisions depending on the appearance of landmarks. Based on the information criterion, the robot can determine which landmark to observe and to make decisions efficiently.

**Key Words:** decision tree, information criterion, quadruped, sensor space segmentation

## 1. はじめに

移動ロボットには視覚センサが搭載されることが多いが、視覚センサを効率よく使うには能動視覚が重要となる。能動視覚の一つである注視によりシーンの理解など視覚の問題が解きやすくなることは多く報告されており、タスクに応じた選択的注視法が求められている<sup>2)</sup>。

移動ロボットの自己位置同定を目的として観測位置計画<sup>3)</sup>や、移動ロボットの能動観測<sup>1)</sup>などが提案されているが、注視選択は考慮されていない。また必ずしも行動決定には自己位置を必要としない。阪口<sup>6)</sup>は注視の逐次計画を提案しているが、状態推定を目的とした手法である。我々は、自己位置の同定や状態推定ではなく行動決定のための、効率的な観測を行う行動決定法を提案している<sup>4) 5)</sup>。しかし、観測にかかる時間の考慮が欠けている、過去の観測の利用は観測モデルに頼っているが、観測モデルの生成が困難な場合があるといった問題があった。

そこで本報告では、観測時間、観測モデルに頼らない過去の観測結果の利用について考慮した、注視制御のためのセンサ空間の分割と行動決定木の生成法を提案する。自己位置の同定のための観測ではなく、行動決定のための効率的な観測を実現する。

## 2. 提案手法

ロボットや環境、与えられるデータ等に関して以下のように設定する。1) ロボットの視野角が限られており、行動決定に必要な情報が瞬時には得られない。2) ランドマークが配置されており、カメラを振り視野を拡大することにより、行動決定に十分な情報が得られる。3) 教示などにより、視野を拡大した際に観測されるランドマークと、その観測の際にとるべき行動(トレーニングデータ)が与えられる。また行動決定に必要な情報は一定ではなく、状況に応じて変化する。

## 2-1 観測による情報量

行動の種類を  $r$ 、トレーニングデータの数を  $n$  とする。行動  $j$  をとった回数を  $n_j$  とすると、各行動  $j = 1, \dots, r$  の生起確率  $p_j$  は、 $p_j = n_j/n$  である。このときの  $p$  のエントロピー  $H_0$  は、 $H_0 = -\sum_{j=1}^r p_j \log_2 p_j$  である。ランドマーク  $i$  が  $(\theta_{Lk}, \theta_{Uk}]$  の範囲(観測窓)に観測されるか否かが分かったときの事後生起確率を求める。ランドマーク  $i$  が  $(\theta_{Lk}, \theta_{Uk}]$  に観測された回数を  $n_{ik}^I$ 、観測されたときに行動  $j$  をとった回数を  $n_{ikj}^I$ 、 $n_{ik}^I = \sum_j n_{ikj}^I$  とすると、範囲内に観測される場合の事後生起確率は、 $p_{ikj}^I = n_{ikj}^I/n_{ik}^I$  となる。同様に、観測されなかった場合に行動  $j$  をとった回数を  $n_{ikj}^O$ 、 $n_{ik}^O = \sum_j n_{ikj}^O$  とし、観測されない場合の事後生起確率  $p_{ikj}^O$  を求める。 $n_{ik} = n_{ik}^I + n_{ik}^O$  として、このときのエントロピーを計算すると、

$$H_{ik} = -\sum_{x=\{I,O\}} \frac{n_{ik}^x}{n_{ik}} \sum_{j=1}^r (p_{ikj}^x \log_2 p_{ikj}^x) \quad (1)$$

となり、それぞれの観測による情報量は、 $I_{ik} = H_0 - H_{ik}$  である。情報量が大きいランドマーク  $i$ 、観測窓  $k$  ほど、行動に関する曖昧さが減少する。範囲の上下限  $\theta_{Lk}$ 、 $\theta_{Uk}$  は、各ランドマーク  $i$  についてトレーニングデータ中に含まれる方位の midpoint を候補とする。

## 2-2 観測時間の考慮

観測に要する時間が観測窓によらず一定の場合には、行動に関する情報量により行動決定木を生成すればよい。この木のノードの観測を繰り返すことで最短観測時間で行動を決定できる。しかし、観測時間が観測窓により異なると、最短観測時間となるとは限らない。そこで前の観測対象の次にその観測対象を観測する場合にかかる時間を  $T$  とし、単位時間辺りに得られる情報量(情報量速度)  $i_{ik} = I_{ik}/(T + T_C)$  を用いる。

### 2.3 同一行動状態の生成

同一行動状態の生成は次のように一度行動決定木を生成することで行う。

1. 行動に関する情報量速度  $i_{ik}$  を全てのランドマーク  $i$ , 観測窓候補  $k$  について計算する。
2.  $i_{ik}$  を最も大きくする  $i, k$  の組により, トレーニングデータを, ランドマーク  $i$  が観測窓  $[\theta_{Lk}, \theta_{Uk})$  内に観測された場合と, そうでない場合に分ける。
3. 行動が決定できるまで 1 から繰り返す。

行動決定木の葉には行動が記されている。この行動決定木の根から観測窓を順に観測することが, 記憶を持たない場合の観測戦略となる。また, この分割により得られた行動決定木の各葉 (同一行動状態) にたどり着く条件 (観測窓) を記録しておく。

### 2.4 行動決定木の生成

記憶を持つ場合の行動決定木の生成では, 行動に関する情報量ではなく行動状態に関する情報量を計算する。以下が行動決定木の生成法である。

1. 同一行動状態に関する情報量速度  $i_{ik}$  の最も大きい  $i, k$  の組を求める。
2. 一時刻前の同一行動状態によりトレーニングデータを 2 組に分けた場合に, 最も情報量の大きくなる分け方を求める。この情報量を  $T_C$  で割った値を情報量速度とする。
3. 1, 2 の情報量速度を比較し, 大きい方の分割法でトレーニングデータを分ける。
4. 同一行動状態が決定できるまで 1 から繰り返す。

### 2.5 行動決定

行動決定は次のように行う。

1. 現在までに観測した方向について, 各観測窓にランドマークが入っているか, 否かにより, 観測確率を 1 または 0 とする。未観測方向の観測窓については観測確率を 0.5 とする。
2. 観測確率と一時刻前に計算した各同一行動状態である確率を用いて行動決定木の各葉への到達確率を計算する。同じ行動を示す複数の葉への到達確率の和を, その行動をとるべき確率とする。
3. 特定の行動が閾値を越えていれば, その行動をとる。現在どの同一行動状態にあるか識別出来なくてもよい。閾値を越えていなければ, 木の根に近い観測窓の未観測方向を観測し, 1 から繰り返す。

## 3. 実験結果

実験環境を Fig.1 に示す。RoboCup SONY 脚式ロボットリーグのフィールドである。ゴール前 (図の印) にボールをおき, フィールドの中央 3 点 (フィールド中央の  $\times$  印) から開始してボールをゴールにいれるタスクを行った。画像情報としては, ロボットに対するランドマークの水平方向の角度, ボールの水平・垂直方向の角度と面積を用いた。中央 3 点から行動を開始しての教示を各 5 回ずつ行いトレーニングデータとした。このトレーニングデータより生成された注視窓を, 情報量を用いた場合と情報量速度を用いた場合について Fig.2 に示す。情報量速度を用いることにより, 観測時間が考慮され正面 (上から 2 段目中央) に近い観

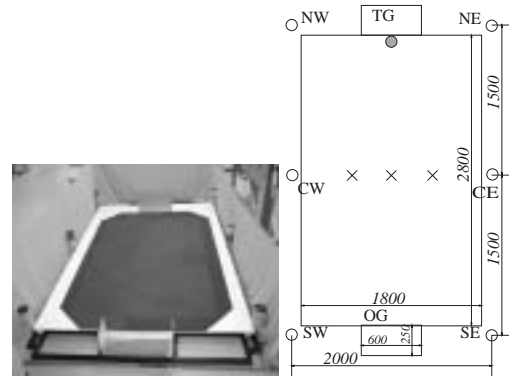


Fig.1 実験環境 (RoboCup 脚式ロボットリーグのフィールド)

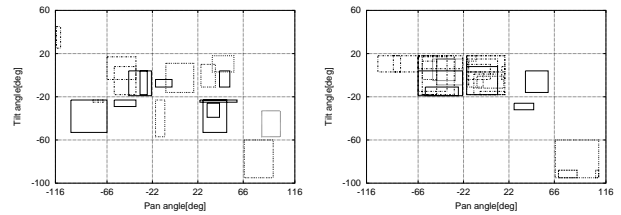


Fig.2 情報量を用いた場合 (左) と情報量速度を用いた場合 (右) に生成された注視窓

Table 1 行動決定木の大きさ, 観測方向数, 観測時間の期待値の比較

	ノード の数	木の 深さ	葉の 数	観測 方向	観測 時間 [s]
情報量	23	8	12	4.0	2.4
情報量速度	37	13	19	3.0	1.9
提案手法	39	12	20	2.0	1.1

測窓が多くなっている。Table 1 に, 木の大きさ, 観測方向数, 観測時間の期待値の比較を示す。情報量速度, 同一行動状態の利用により観測時間が減少する。

### 参考文献

- 1) W. Burgard, D. Fox, and S. Thrun. Active mobile robot localization. In *Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1997.
- 2) 石黒. 注視に基づくロボットの視覚. 日本人工知能学会誌, 10(4):500-506, 1995.
- 3) 文, 三浦, 白井. 不確かさを考慮した観測位置と移動のオンライン計画手法. 日本ロボット学会誌, 17(8):1107-1113, 1999.
- 4) 光永, 浅田. 移動体の意思決定のための情報量基準による観測戦略. 第 5 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 351-356. 2000.
- 5) 光永, 浅田. 情報量による小型 4 脚ロボットの行動と観測の効率的決定. 第 18 回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, pp. 815-816. 日本ロボット学会, 2000.
- 6) 阪口. 動きの予測を伴う能動的認識のアルゴリズム. 日本ロボット学会誌, 12(4):708-714, 1994.