

# 動的環境における情報共有に基づく行動決定のための主観的地図

## Subjective Map based on Shared Information for Action Selection in a Dynamical Environment

学 泉 拓 (阪大) 正 光永 法明 (阪大, 阪大 FRC)  
正 浅田 稔 (阪大, 阪大 FRC)

Taku IZUMI, Osaka University, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka  
Noriaki MITSUNAGA, Osaka University, HANDAI Frontier Research Center  
Minoru ASADA, Osaka University, HANDAI Frontier Research Center

This paper proposes a subjective map for a multiagent system to make decisions in a dynamic, hostile environment, that is, a situation in RoboCup competition. It is a map of the environment that each agent maintains regardless of the objective consistency of the representation among agents. Owing to its subjectivity, the method is not affected by other agent's information which may include not negligible errors due to dynamic changes in the environment caused by accidents such as falling down or being picked up and brought to other places by the referee. A potential field is defined on the subjective map in terms of subtasks such as ball reaching and shooting, and is dynamically updated to make a decision to act. The method is compared with a conventional sharing and no sharing methods, and the future issues are given with discussion.

**Key Words:** subjective map, multiagent, collaboration, potential field, legged robot

### 1 はじめに

マルチエージェントシステムにおいて、エージェント間の情報共有により、各エージェントは環境についてより多く知ることができると期待される。環境に関する情報共有には何らかの共通座標系が必要であり、移動ロボットの場合には環境中に固定した世界座標系がよく用いられる。観測を世界座標系で表現するためには、各エージェントは自己位置同定の必要がある。自己位置同定の誤差が十分小さい場合においては、情報共有として他のロボットが自己位置同定のために新たなランドマークとして扱うこと<sup>1)</sup>や、環境地図の生成<sup>2)</sup>が提案されている。しかし、自己位置同定の誤差は、無視できないほど大きくなることがしばしば見受けられる。

複数エージェント間の観測共有により、自己位置同定と環境情報の獲得を行う手法が提案されている<sup>3, 4)</sup>。複数ロボットが互いに観測可能であるという条件下で、互いの位置の幾何学的拘束を用い、それぞれの自己位置を同定し共有地図を生成する。複数エージェントが同時に互いに観測するため、全方位視覚を用いている。一方、通常の画角のカメラでは互いを観測できない場合も多く、こういった手法が有効な状況は限られる。

自己位置同定の曖昧さを表すため、確率表現や信念が広く用いられているが、複数ロボット間で情報を統合し正確な共有地図を生成することは一般には難しい。各エージェントの観測誤差モデルが正確である場合には、複数ロボットの情報を重み付き平均をとった共有地図を用いることで精度が向上すると期待されるが、エージェントが大きな誤差が発生したことを検出できないと、一つのエージェントの誤差が他のエージェントへ伝播してしまう。

そこで、本研究では共有地図ではなく、主観的地図を用いることを提案する。主観的地図は動的環境下のマルチエージェントシステムにおいて、各エージェントが自身の行動決定のために生成するものである。エージェント間での主観的地図の一貫性や、客観的な正しさは求めない。一方、主観的に各エージェントが生成することにより、他のエージェントの自己位置同定誤差の影響を受けない。本研究では、脚式移動ロボットによるサッカータスクにおいて、主観的地図の有効性を実験により検証する。各ロボットは、それぞれ主観的地図を基にポテンシャル場を生成し行動決定する。サッカータスクにおいてはボールを注視する必要がある。常に自己位置同定のための観測はできない。また脚式移動ロボットは、車輪

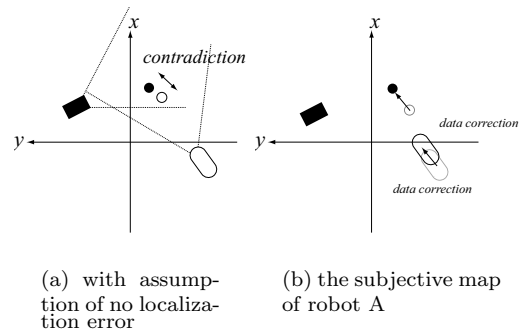


Fig.1 The objective locations, constructed map with assumption of no localization error, with averaged locations, and with subjective view.

式と比較して移動に滑りが多く、自己位置のずれが生じやすいため、主観的地図が有効であると考えられる。

### 2 主観的地図の生成

2台のロボット A, B とボールがある環境を考える。ロボットは、それぞれ自己位置同定し、ボールを注視しているが、互いを観測することはできない (Fig.1 (a))。自己位置同定誤差のために 2 台のロボットの推定したボール位置は一致しない。それぞれの推定位置  $Ax$ ,  $Bx$  の分散  $A\sigma$ ,  $B\sigma$  で重みをつけ、重み付き平均  $\hat{x} = (B\sigma Ax + A\sigma Bx) / (A\sigma + B\sigma)$  とすると、地図を共有することができるが、必ずしも正しい推定ではない。またロボット A が十分な精度で推定するとき、ロボット B が推定を誤り、誤差の分散を過小評価すると、ロボット A は共有地図を用いることで、推定を誤ることになる。主観的地図においては、自身の自己位置同定と観測を優先し、他者からの観測は自身の観測に含まれない場合に自身の観測と矛盾しないよう修正し用いる。また世界座標系での位置ではなく、観測者と対象の相対位置関係を保つことを優先する。Fig.1 (a) の場合には、ロボット A は、ボールについては自身の観測を用い、ロボット B の位置を、ボー

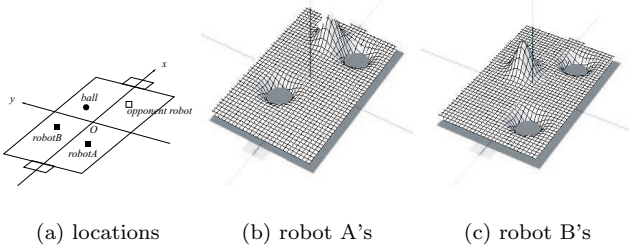


Fig.2 Object locations and potential fields of robots

ルとロボット B の相対関係を保つよう平行移動し、

$${}^A\hat{x}_Q = {}^A x_{ball}, \quad (1)$$

$${}^A\hat{x}_B = {}^B x_B + ({}^A x_{ball} - {}^B x_{ball}). \quad (2)$$

自己の主観的地図とする (Fig.1 (b)). これにより、ロボット A はロボット B の自己位置同定誤差に影響されなく、ロボット B の観測を利用できる。主観的地図は、行動決定に対し各ロボットからの相対的なオブジェクトの位置が重要なタスクにおいて、自己位置同定に大きな誤差が表れる可能性がある場合に有効であると考えられる。以下の実験においては、ロボットは主観的地図からポテンシャル場を生成し、それに従い行動決定するものとした。ポテンシャル場は、ロボット間の衝突防止のため、ロボットの位置に谷を生成した。ボールに最短のロボットはボール手前に、それ以外のロボットはボールとゴールの midpoint に山を作り、協調してボールをシュートすることを期待した (Fig.2)。

### 3 実験結果

ロボカップ 4 足ロボットリーグのフィールドとロボット 2 台を用いて実験を行った。フィールド中には 6 つのランドマークと 2 つのゴールがあり、自己位置同定に用いることができる。自己位置同定にはカーネギーメロン大学の CM-Pack'01<sup>5)</sup> を基にしたプログラムを用いた。これは複数の仮説をカルマンフィルタにより更新する手法を利用している。またフィールド上方に検証のためロボットやボールの位置を測定するためのカメラを設置した。タスクはボールをゴールにシュートすることとし、ボールがゴールに入るか 2 分が経過するまでを 1 試行とした。2 台のロボット A, B のうち、ロボット A は天井カメラを用いて自己位置同定するものとし、ロボット A の行動が、天井カメラを用いた行動決定と一致した割合を正解率とし、次の 3 つの手法を比較した。

- (a) 情報共有しない
- (b) 情報共有するが平均による地図を用いる
- (c) 主観的地図により情報共有する (提案手法)

ロボット B について通常の自己位置同定の誤差の場合と同定結果に大きな誤差を付加した場合について調べた。ロボットとボールの初期配置の違う 3 つの場合 (Fig.3) についての実験結果を Fig.4 に示す。case 1 については各 5 試行の、case 2, 3 については各 10 試行の正解率と偏差である。case 1 ではロボット A が初期にボールを観測できない位置にいるため、情報共有により顕著な正解率の向上が見られる。case 2, 3 では通常の同定誤差では平均と主観による地図に正解率に大きな差はないが、誤差が大きい場合においては、平均による地図では情報共有する場合より正解率が低下している。それに対し、主観的地図の場合には正解率が向上しており、その有効性がわかる。Fig.5 に示すポテンシャルフィールドからも両者に差のあることが分かる。

### 参考文献

[1] A. Stroupe and T. Balch. Collaborative probabilistic constraint-based landmark localization. In *Proc. of the*

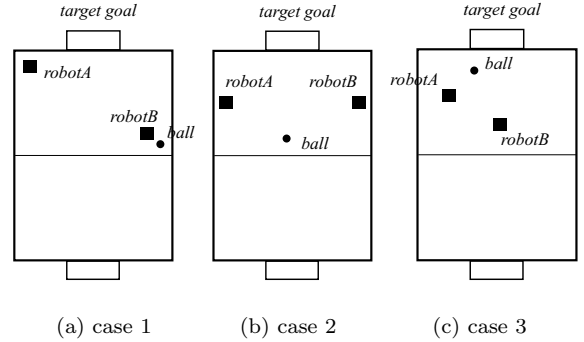


Fig.3 The initial conditions of experiments.

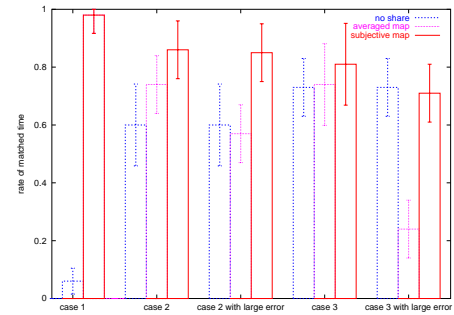


Fig.4 Comparison of the rate of time that the robot A's decision matched with the one with overhead camera

2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 447–453, 2002.

- [2] 出原, 八木, 谷内田. 複数移動ロボットにより観測された環境地図の統合. 日本ロボット学会誌, 15(3):439–447, 1997.
- [3] K. Kato, H. Ishiguro, and M. Barth. Identifying and localizing robots in a multi-robot system environment. In *Proc. of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 966–971, 1999.
- [4] T. Nakamura, A. Ebina, M. Imai, T. Ogasawara, and H. Ishiguro. Real-time estimating spatial configuration between multiple robots by triangle and enumeration constraints. In *Proc. of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2048–2054, 2000.
- [5] W. Uther, S. Lenser, J. Bruce, M. Hock, and M. Veloso. CM-Pack'01: Fast legged robot waking, robust localization, and team behaviors. In *RoboCup 2001: Robot Soccer World Cup V*, pp. 693–696. Springer, Lecture Note in Artificial Intelligence (2377), 2002.

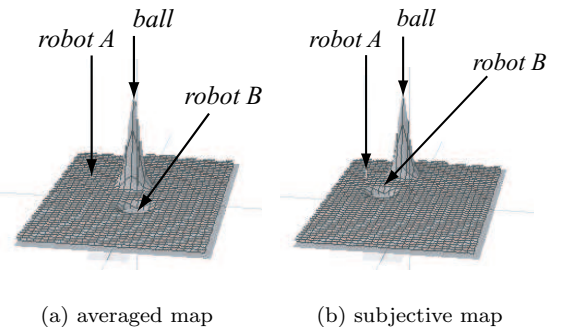


Fig.5 Robot A's potential field and positions of objects in its map at the initial condition in case 3 with large error on robot B