

# 異種ロボット間でのトポロジカル地図の翻訳に関する研究

Translating topological maps between heterogeneous robots.

金崎弘文\*<sup>1</sup>      堀浩一\*<sup>2</sup>  
Hirofumi Kanazaki      Koichi Horii

\*<sup>1</sup>\*<sup>2</sup> 東京大学大学院工学系研究科  
School of Engineering, The University of Tokyo

In this paper, we propose a map translation method within the framework of the language game. Heterogeneous robots can not use the same map, because they are equipped different sensors and can not recognize the same geographical features or objects. A map translation method is necessary for heterogeneous robots to share spatial knowledge with each other. We assume that robots have probabilistic topological maps. We implemented our methods on a heterogeneous robot simulation. It is shown that two heterogeneous robots learn probabilistic topological maps and the one can estimate the position of the other. This means they can translate maps and are prepared to share spatial knowledge.

## 1. はじめに

近年、人間の生活環境内で活動する自律移動ロボットの開発が相次いでいる。将来的には、家庭・オフィス内や都市空間において複数の異種ロボットがさまざまな活動を行い、またそれらのロボットが単独で作業するだけでなくロボット同士が互いに通信し協調して作業するようになると考えられる。さらに、ロボットと人間が協調作業を行うことも期待される。

ロボット同士やロボットと人間が同一環境内で協調して行動するには、移動経路や作業場所を指示するために環境のモデルとしての地図を共有しておくことが不可欠である。従来、個別のロボットが環境のモデルとしての地図を自律的に獲得する研究はSLAM(Simultaneous Localization and Mapping)と呼ばれ盛んに研究されている。しかし、個別のロボットを対象とするのみで、センサやアクチュエータが異なるロボット同士でのコミュニケーションや、他のロボットでの地図の再利用を前提とする研究はない。

本稿では、環境認識能力の異なるロボット間で環境のモデルである地図を相互に変換する手法を提案する。地図を相互に変換することによって、センサやアクチュエータの異なる異種ロボットが同一環境内で協調作業を行ったり、あるロボットの獲得した地図を別のロボットで再利用することができるように考えられる。

## 2. トポロジカル地図

トポロジカル地図とは、グラフ構造で環境を表現するモデルであり、局所的な特徴のある場所がノードとして抽象化され、ノード間を移動するための行為はアークで表現される。占有グリッド地図が空間の各座標における障害物の存在確率で地形をモデル化するのとは比べ、トポロジカル地図はより抽象度の高い環境モデルである。

個別のロボットにおけるSLAMに関する研究が行われる一方で、各ロボットが装備するセンサの種類や精度、取り付け位置、およびロボットが環境中のオブジェクトを認識する能力などの違いによって、ロボットが利用可能な地図が異なるという問題がある。このことは、あるロボットが獲得した地図データ

を別のロボットでそのまま利用することができないことを意味する。したがって、ロボット同士で地図を相互に変換するメカニズムが必要となる。

## 3. 提案手法

### 3.1 言語ゲームによる辞書の構築

環境中のオブジェクトを識別する能力が異なるロボットがトポロジカル地図を相互に変換し空間に関する知識を共有するために、言語ゲームの枠組み [Steels 97] を用いる。

トポロジカル地図を対象とした言語ゲームの手順は次の通りである。

1. ロボットが互いを確認できる距離に接近することによって言語ゲームを開始する。
2. 両ロボットはトポロジカル地図を用いた自己位置推定結果\*<sup>1</sup>を互いに送信する。
3. 両ロボットは、自らの自己位置推定結果と、相手の位置推定結果の対応関係を学習する。本研究では、この段階で獲得された符号の対応関係を辞書と呼ぶ。
4. 環境内を巡回しながら手順 2、3 を繰り返す。

本研究では辞書のモデルとして多項分布  $P(q_{B,j}|q_{A,i}) = \frac{n(q_{B,j} \cap q_{A,i})}{n(q_{A,i})}$  を用いる。

### 3.2 辞書を用いた相手位置推定

トポロジカル地図と辞書を用いて相手の位置を推定する問題を考える。これは、協同作業が必要な場合などに、あるロボット (以下、 $R_A$ ) が別のロボット (以下、 $R_B$ ) を呼び寄せる状況で解くべき問題である。

前節で述べた言語ゲームでは、受信する相手位置の符号を出力記号とし、自分の位置を隠れ状態とする隠れマルコフモデルのパラメータを学習していると解釈することができる。したがって、 $R_B$  は  $R_A$  から現在位置およびその場所に到達するまでの経路に関する符号列を受信することによって、 $R_A$  の位置が自分のトポロジカル地図上のどこに対応するかを推定することができる。復号化にはビタビアルゴリズムを用いる。

\*<sup>1</sup> 自己位置推定結果は、ロボットの位置をトポロジカル地図のモデルを用いた符号化したものと解釈できる。

連絡先: 金崎弘文, 知能工学研究室, 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学先端科学技術研究センター, TEL: 03-5452-5289, FAX: 03-5452-5312, kanazaki@ai.rcast.u-tokyo.ac.jp

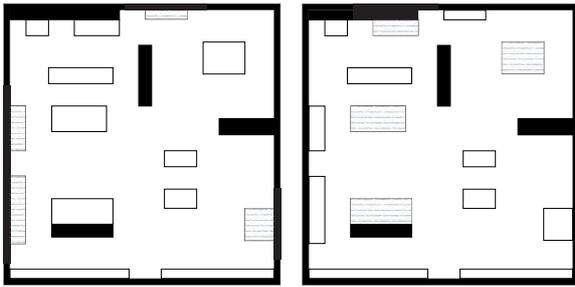


図 1: 物体識別能力の違い (左:  $R_A$ , 右:  $R_B$ )

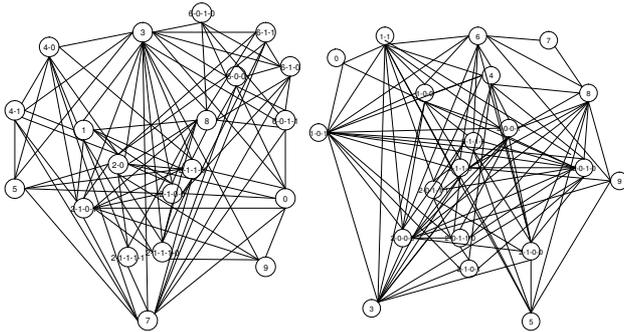


図 2: トポロジカル地図 (左:  $R_A$ , 右:  $R_B$ )

## 4. 実験

### 4.1 トポロジカル地図

図 1 に示す環境をシミュレータ上に作成して実験を行った。ロボットの大きさを  $1 \times 1$  とし、環境の大きさを  $50 \times 50$  とした。ロボットの観測値は、全方位観測したときの各物体の見かけの大きさとした。ロボットは観測された物体から任意の 1 つを選択して接近する行為を繰り返す。異種ロボットを模擬するために、2 台のロボットで物体の識別能力に違いがあるという設定を行った。図 1 の模様付きの物体は、それぞれのロボットが識別できない同一属性の物体であることを示している。

トポロジカル地図の学習には Yairi らの方法 [Yairi 02] を用いた。図 2 に、学習されたトポロジカル地図を示す。

### 4.2 位置推定

$R_A$  が図 3 の経路を移動したときに、 $R_B$  が  $R_A$  から受信する符号を用いて  $R_A$  の位置を推定する実験を行った。図 4 では、 $R_A$  から受信する位置情報符号の数が増えるにつれて、推定の精度が上がっていることがわかる。また、図 5 では、 $R_A$  の位置が  $R_B$  のトポロジカル地図上ではノード 8 に対応していることが分かる。

## 5. おわりに

本稿では、環境を抽象化した離散的なモデルであるトポロジカル地図と言語ゲームを組み合わせ、異種ロボット間で空間に関する情報を共有する枠組みを提案した。シミュレーションによる実験では、環境認識の異なるロボットであっても言語ゲームを繰り返すことによって構築されたモデル変換のための辞書を用いて、相手位置を推定し空間に関する情報の共有が可能であることを示した。

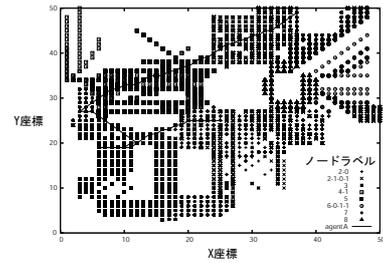


図 3:  $R_A$  の移動軌跡および各地点とトポロジカル地図のノードの対応関係

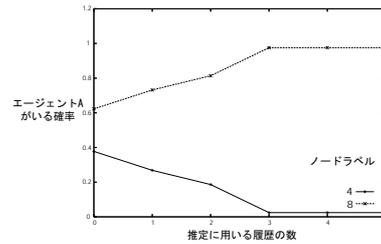


図 4:  $R_B$  による  $R_A$  の位置推定

今回の実験では、相手位置の推定のみであり実際のナビゲーションを行っていない。ナビゲーション能力の評価を今後行う必要がある。また、ロボットの環境識別能力と獲得したトポロジカル地図の定量的性質との関係や、言語ゲームに与える影響に関する分析は今後の課題である。

## 参考文献

- [Steels 97] Steels, L. and Vogt, L.: Grounding adaptive language games in robotic agents, The Forth European Conference on Artificial Life (ECAL '97), pp.474 - 482, 1997.
- [Yairi 02] Yairi, T., Togami, M., Hori, K.: Learning Topological Maps from Sequential Observation and Action Data under Partially Observed Element, Proceedings of 7th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI 2002), pp.305 - 314, 2002.

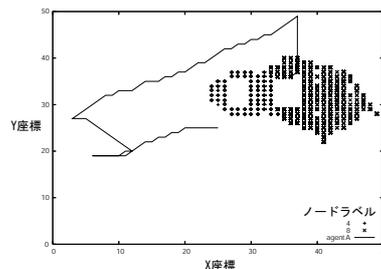


図 5:  $R_B$  による  $R_A$  の位置推定