

身体図式獲得のための相互感覚地図の学習

吉川 雄一郎 (大阪大学), 浅田 稔 (大阪大学), 細田 耕 (大阪大学)

Cross Modal Map Learning for Body Scheme Acquisition

Yuichiro Yoshikawa (Osaka Univ.), Minoru Asada (Osaka Univ.), Koh Hosoda (Osaka Univ.)

Abstract: Building a robot which acquire *body scheme/body image* by itself is one of the most interesting issues which aims to build an intelligent robot and understand human intelligence. In the existing work, the robot designer gives the explicit representation of the robot body and needs to re-calibrate it when it has to adapt itself to the changes in its bodies or the environment. In this paper, we propose a method for cross modal map generation which learns constancy of the correlation among multi-modal sensors. The generated map could be regarded as a representation of body surface. A preliminary experiment is shown and future issues are discussed.

1 はじめに

ロボットにタスクを与える際、従来のロボティクスでは設計者が定義した座標系でタスクが表現された。しかし、その座標系とロボットのセンサ・モータ系の関係は設計者によって校正されなければならないため、常に適切なものであるとは限らないという問題があった。これに対し、ロボット自身が運動とセンサ情報に基づいて構成した座標系でタスクを表現するというアプローチが考えられる。このとき、ロボットが行動する際に必要となる自身の身体を表象を、構成した座標系でどのように獲得するかが一つの課題となる。また、人間の身体についての表象は身体図式と呼ばれ、そのしくみについて様々な研究 [1, 2] がある。しかし、その構造や獲得過程についてはまだ明らかでなく、身体図式を獲得するロボットの実現によって、構成論的モデルを提案できる可能性がある。

Yoshikawa et al. [3] は、自分を触る経験 (ダブルタッチ) を通じて、視覚、触覚、固有感覚の相互感覚地図の学習によって身体表面の触覚センサの受容野と視覚パターンを対応づけることで、身体表面についての身体図式を獲得する手法を提案している。しかし、視覚パターンの分節化は設計者が行っており、完全にセンサ情報のみから身体図式の構成は実現されていない。また Fitzpatrick and Metta の研究 [4] で適用されているように、画像内で動物体が自身の身体のみであるという仮定の下で、画像上のオプティカルフローと運動の相関を利用して身体を発見する手法がある。しかし、この仮定を満たすためには、設計者がカメラの運動に寄与する自由度とそうでない自由度を分節化する必要があった。

そこで本研究では、自身のセンサ情報しか用いることができないという仮定の下での身体図式の獲得を目的とし、そのはじめの課題として、注意対象が身体であるか否かを識別する問題を扱う。本稿では、センサ様式間の

時間経過に対する不変性が身体図式を表現するという考えから、表現の構造として視覚と固有感覚の相互感覚地図を導入し、これの学習により身体/非身体の識別を実現する手法を提案する。

2 相互感覚地図の学習

ステレオカメラを持つ m 自由度のロボットを考える。左カメラの中心領域を注視領域とし、注視領域の視差を d 、ロボットの姿勢を $\theta \in \mathbb{R}^m$ とする。ロボットがある姿勢 θ をとったとき、もし注視領域に身体がある場合には、異なる環境においても同じ視差 d となる (Fig. 1 参照)。一方、注視しているのが身体でない場合には、異なる環境では異なる d となる。この性質を利用すると、ある θ について時間経過に対して常に一定の d をとる部分が身体、そうでない部分が非身体であると言える。

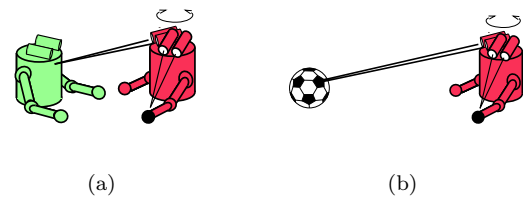


図 1: The invariance/variance among the disparity and the posture in different environments ((a) and (b)).

そこで、時間経過に対する不変性を発見するための構造として、姿勢を表現するノード群と視差を表現するノード群の全結合ネットワーク (相互感覚地図) を導入する。各ノードは対応するセンサ情報ベクトルを受け取り、代表ベクトルとの距離に応じて活性度 a_i を出力する。ノード i から j へのシナプス強度 w_{ij} は

$$\tau \dot{w}_{ij} = -w_{ij} + ca_i a_j \quad (1)$$

のように更新する．ここで τ は学習の時定数， c は学習率である．式 (1) の更新則により，シナプス強度は

$$w_{ij} = cE\{a_i a_j\} \quad (2)$$

に収束する [5]．ここで $E\{x\}$ は x の平均値を表わす．従って，ロボットを動的な環境下で移動させながら様々な姿勢をとらせて，相互感覚地図を学習させると，同じ姿勢 θ のときに必ず見える身体についての視差との結合が強められる．すなわち，ある姿勢のノードが視差のノードと結合しているか否かで，注視領域が身体か否かを知ることができる．

3 実験

ステレオカメラヘッド，アーム，移動台車からなるロボット (Fig. 2a) を用いて相互感覚地図の学習を行った．ただし，人間が解釈可能な実験結果を得るため，アームは適当な姿勢で固定し，ロボットの姿勢の自由度をステレオカメラヘッドのパン/チルトの 2 つのみとした ($\theta = [pan, tilt]^T \in \mathbb{R}^2$)．カメラヘッドの可動域を 20×15 個に，視差 d の一次元空間を 15 個に量子化し，それぞれを代表ベクトルとするノードの全結合ネットワークを用いる (Fig. 3)．



(a) The allocentric view (b) The egocentric view

図 2: The testbed.

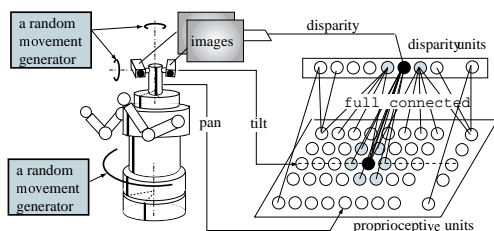


図 3: An overview of the system.

移動台車とカメラヘッドにランダムな入力を与え，約 6 分間学習を行なわせた．学習後の姿勢のユニットを一つ選んで発火させたとき，結合を通して最も活性化した

視差ユニットの代表ベクトルをカメラヘッドの関節角の関数として示す (Fig.4)．ロボットの視野 (Fig. 2b) の腕と胸に対応する部分に視差ユニットとの結合が残っていることが読み取れる．従って，身体を表わす相関を学習できたと言える．

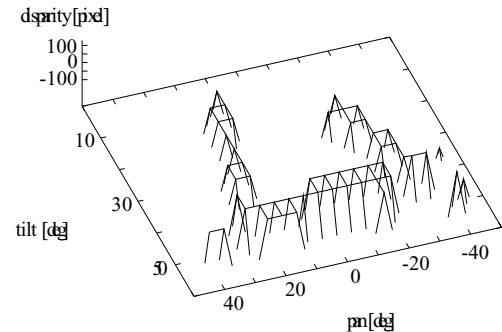


図 4: Activations of the disparity node of the acquired map.

4 おわりに

本稿では，相互感覚地図の学習により視覚/固有感覚間の時間経過に対する不変性を発見することで，注視領域が身体か否かを識別可能であることを示した．注視領域を接触領域におきかえても同様の識別が可能であると考えられる．身体部位の同定，ダブルタッチによる視覚/触覚の関係の発見，獲得した身体図式の利用が今後の課題である．

謝辞 本研究は科学技術振興事業団の戦略的基礎研究推進事業「脳を創る」中村プロジェクトの援助を受けた．

参考文献

- [1] V. S. ラマチャンドラン, サンドラ・ブレイクスリー, 山下篤子=訳. 脳のなかの幽霊. 角川書店, 1999.
- [2] A. Iriki, M. Tanaka, and Y. Iwamura. Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurons. *Neuroreport*, Vol. 7, pp. 2325–2330, 1996.
- [3] Y. Yoshikawa, H. Kawanish, M. Asada, and K. Hosoda. Body scheme acquisition by cross map learning among tactile, image, and proprioceptive spaces. In *Proc. of the 2nd int. Workshop on Epigenetic Robotics*, pp. 181–184, 2002.
- [4] P. M. Fitzpatrick and G. Metta. Toward manipulation-driven vision. In *Proc. of the 2002 IEEE/RSJ int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 43–48, 2002.
- [5] 甘利俊一. 神経回路網の数理-脳の情報処理様式-, 神経細胞の学習理論. 産業図書, 1978.