

モジュール間干渉検出機構を用いた複数ロボットのための 複数タスクの動的割り当て

加藤龍憲，内部英治，細田耕，浅田稔
大阪大学大学院

Dynamic Task Assignment in a Multiagent/Multitask Environment based on Module Conflict Resolution

Tatsunori Kato, Eiji Uchibe, Koh Hosoda and Minoru Asada
Osaka University

Abstract— It is promising to coordinate multiple tasks in order to cope with larger and more complicated tasks. This paper proposes a method to resolve a conflict between the modules through the processes of module execution. Based on the module conflict resolution, the robot can select the appropriate module with respect to the priority. In addition, we apply the module conflict resolution to a multiagent environment. As an example task, a soccer game is selected to show the validity of the proposed method. Real experiments are shown, and a discussion is given.

Key Words: dynamic task assignment, multiagent environment, module conflict resolution

1. はじめに

動的な環境でロボットが与えられた目的を自律的に達成することは、ロボットの実用化の意味の上でも非常に重要である。さらに、複数のタスクを扱うことのできる手法を開発することは非常に重要である。そのために、各タスクに対応するモジュールを準備し、それを利用することが考えられる。各モジュールは一つのタスクを達成することだけを考えればよいから、プログラミングが容易になるなどの利点がある。

Kuniyoshi²⁾ は観察に基づく協調し、様々な協調行動を実現したが、モジュール間の干渉は事前に設計者が考慮する必要があった。そのため、新規にモジュールを追加するのが困難であるという問題がある。Fontán and Mataric¹⁾ はロボットの空間的な作業領域を動的に分割し、それぞれに対してロボットを割り当てる手法を提案した。しかし、ロボット間の相互作用は必然的に減少する。また、作業領域の分割は多大な知識を要する。

本研究では時変な環境において複数のタスクを複数のロボットに動的に割り当てる手法を提案する。現在実行中のモジュールが達成されているモジュールの達成度を下げる場合、実行中のモジュールは干渉するモジュールとみなし、それを無視して次のモジュールを選択する。提案手法を複数ロボット環境に適用する。例題となるタスクとして、複数のロボットを含む簡単なサッカーゲームを選択し、提案手法を適用し本手法の有効性を検証する。提案手法に基づき、2台のロボットが状況に応じて役割を変更しながら守備行動を達成できることを示す。

2. 動的なタスク割り当て

2.1 モジュールの構成要素

各モジュール $m_k \in \mathcal{M}$ は二つの関数を持つ。一つは行動政策 $f_k(x)$ であり、もう一つはタスク達成度 a_k ($0 \leq a_k \leq 1$) である。 $a_k = 1$ のとき、そのタスクは達成されているとみなす。モジュールの部分集合 \mathcal{M}_a を

$$\mathcal{M}_a = \{m_i | a_k = 1\}.$$

と定義する。この部分集合に含まれるモジュール $m \in \mathcal{M}_a$ はすでに達成されているため、あらためて実行する必要は無い。

達成度とは別の指標として、あらたに

$$e_i(t) = \begin{cases} 1 & m_i : \text{現在選択中のモジュール} \\ a_i(t) & \text{それ以外,} \end{cases}$$

を定義する。以降、 e_i を実行度と呼ぶ。 e_i は 0 から 1 の間の値をとるスカラーである。実行度は次のような意味を持つ。例えば、 $e_i = 1$ で $a_i \neq 0$ である場合、ロボットは i 番目のタスクを実行しようとしているが評価関数を最小化できていない状況を指している。

2.2 モジュール間干渉検出機構

一台のロボットで与えられた複数のタスクを達成することは理想的ではあるが、状況に応じては同時に達成できないモジュールが存在する可能性がある。そこで、自律的にモジュール間の干渉を検出する機構を開発する必要がある。

モジュール m_i と m_j の間の干渉を検出するために、ここでは e_i と a_j の相関を利用する。相関の差分 $\Delta r(m_i, m_j)$ はモジュール m_i の実行度がモジュール m_j の達成度を与える影響の度合いを示している。モ

ジュール $m_j \in M_a$ と干渉状態にあるモジュールの集合を

$$M_c = \{m_i | \Delta r(m_i, m_j) < 0, m_j \in M_a\}.$$

と定義する．

残りのモジュールを，次に実行すべき候補モジュールとして

$$M_{ca} = M - M_a - M_c,$$

と定義する．ロボットはモジュールの集合 M_a , M_c , M_{ca} を状況の変化に応じて更新し，できるだけ多くのタスクを達成するように振舞う．

2.3 複数ロボット環境への拡張

前節で述べた方法では M_c に属するモジュールは実行されないままである．複数ロボット環境に拡張して， M_c に属するモジュールを別のロボットに割り当てることを考える．ここで，

- 各ロボットは同じモジュールの集合 M を持っている，
- 各ロボットは互いに別のロボットのタスク達成度を観測することができる，

といったことを仮定する．

各ロボットは他者の達成度を観測できるので，あるタスクに関して自分よりも他者の達成度が高い場合には，他者にそのタスクを委任することができる．

3. タスクと想定

提案手法を2台の移動ロボットによる簡単なサッカーゲームに適用し，有効性について検証した．環境はボール，二つのゴールから構成されている．また，ボールやゴールの大きさは RoboCup の中型リーグのルールに従った．

ロボットに与えられる複数タスクは，自陣ゴールを守備することである．各移動ロボットは左右輪を独立に制御することができ，一つの全方位視覚センサを持つ．

この実験では，4種類のモジュール (m_1) ボールを蹴る，(m_2) シュート可能な位置へ移動する，(m_3) ボールをブロックする，(m_4) 自陣ゴールへ戻る，を準備した．これらのモジュールの行動政策は，単純なサーボイングで実装されている． m_4 が最優先されるモジュールである．これらのモジュールは，実際の RoboCup でこのゲームに利用している．

4. 実環境における実験結果

実際のロボットを用いて，提案手法がどのように作用するかを示す．ロボット間の通信は無線 LAN によって実現した．Fig.1 に実環境において獲得されたロボットの行動例を示す．図中において，黒いロボットを r_0 ，白いロボットを r_1 と呼ぶ．Fig.1 (a) において，右側にいるのが r_0 である．

使用している全方位センサは解像度が粗いため，遠距離の物体の観測に失敗することが見られた．この場合，モジュールを実行することができない．このような失敗にもかかわらず，2台のロボットが相補的に

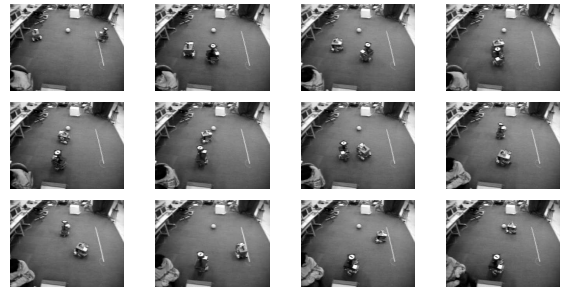


Fig.1 Obtained behavior in the real environment

動することで，ゴール守備行動を達成することができた．実験結果の詳細については，当日報告する．

5. 考察

本論文では，複数タスクを扱うために複数のモジュールが与えられた場合，モジュール間の干渉状態を自律的に検出し，できるだけ多くのタスクを達成できるように効率的にモジュールを各ロボットに割り当てる方法を提案した．簡単なサッカーゲームに適用し，状況に応じてロボットが役割を交代しながらタスクを達成できることを示した．

本手法では，ロボット間の通信は各タスクの達成度だけであり，非常に制限している．そのような条件下でもロボットは結果的に役割を分担することができた．そこで，今後の方針として，ロボットやモジュールの個数を増やして，より多様な状況のもとで実験することが考えられる．また，ロボット間でタスク達成度を観察と行動から推定する方法を開発することである．
謝辞

本研究は，日本学術振興会 未来開拓学術研究推進事業「分散協調視覚による動的3次元状況理解」プロジェクト (課題番号 JSPS-RFTF96P00501) の補助を受けた．

参考文献

- 1) M. S. Fontán and M. J. Matarić. Territorial multi-robot task division. *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, 14(5):815–822, 1998.
- 2) Y. Kuniyoshi. Behavior Matching by Observation for Multi-Robot Cooperation. In *International Symposium of Robotics Research*, 1995.