

共有知識に基づく実世界エージェントの協調機構

Mediation mechanism based on shared knowledge for real-world agents

武田 英明 岩田 浩司 鷹合 基行 沢田 篤史 西田 豊明

Hideaki Takeda Koji Iwata Motoyuki Takaai Atsushi Sawada Toyoaki Nishida

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

Abstract: In this paper, we propose a framework for cooperation among heterogeneous real-world agents based on shared ontologies. Ontologies give a background of knowledge to share among agents, that is, systems of concepts are defined which are used to communicate to each other. We present three different ontologies, namely, ontologies for object, space, and action. Based on these ontologies, we then show mediation mechanism to generate action sequences for agents from given tasks. We realized and verified our mediation mechanism by applying task planning for mobile robots and computer-controlled instruments. Our framework is appropriate for cooperation among heterogeneous real-world agents because of (1) adaptiveness for environments and agents, (2) implicit representation of cooperation, and (3) integration of information and real-world agents.

1 はじめに

近年のコンピュータ技術の急速な発展に伴い、より高機能なコンピュータを搭載した機器が我々の生活の中にはいつてくるものと思われる。その際、そうした機器が人間や他の機器とどう協調していくかが問題になる。本研究ではこの人間と機械の協調作業空間構築のために自律的エージェントによる協調について考察する。ここでは協調をエージェント間のオントロジー共有ととそれに基づくタスクの仲介によって実現する。

2 実世界エージェントの協調のための知識

ここでは、協調作業空間を構成するロボットや計算機制御機器をエージェントとしてモデル化する。一つのタスクを複数のエージェントによって行なわせるためには、お互いの行為が理解できなければならない。このためにエージェント同士がコミュニケーションを行なうことが考えられる。複数のエージェントがお互いの行為を理解し合うには、単にコミュニケーションのプロトコルや言語が共通であるだけでは不十分で、概念の体系を共有する必要がある。この概念の体系をオ

ントロジーと呼ぶ。

人工知能におけるオントロジーはこれまで主に情報エージェントの問題に適用されてきており、それはエージェントが操作する対象のオントロジーであった [2][3]。しかし、この対象のオントロジーだけでは実世界エージェントのコミュニケーションの実現には不十分である。実空間で複数のエージェントが共存するには、空間の概念を共有する必要がある。さらにお互いの行為を理解しなければ協調作業はできないので、行為の概念も共有する必要がある。

2.1 対象に関する概念

共有すべき対象に関する概念は対象の分類 (taxonomy) と対象の属性の概念の 2 種類である。しかし、エージェントの物理的構造や情報処理能力の違いによって、理解できる対象は異なってくる。対象分類においては is-a 関係を用いて対象を階層的に記述する。ここで抽象度の高い対象は多くのエージェントに共有されるが、より具体的な対象の理解はエージェントの能力に依存する。共通な対象の属性として、位置、色、重さなどがある。このうち位置としては現在位置とよくある場



図 1: 移動型ロボット Kappala の外観

所 (デフォルト位置) がある。対象の属性も同様に異なる抽象度で記述する。

2.2 空間に関する概念

空間に関する概念も共有すべきものであるが、これもエージェントの能力によってその記述が異なってくる。例えば、地図示された経路をもとに移動するエージェントにとってはその経路が空間の記述であるし、相対的な位置しか理解しないエージェントもありうる。ここでは、共有のための空間概念として以下の2つを用意した。

- 前置詞表現：対象と前置詞で対象からの相対的位置を示す。ここでは、at, on, in, in-front-of, behind, to-the-right-of, to-the-left-of の7つを用意した。例えばエージェント A の前ならば (in-front-of agent-a) と表現する。
- 行為表現：特定の行為が実現できる位置を、行為と対象の組合せで表現する。例えばエージェント 1 とエージェント 2 が出会う場所 (meetpoint agent-1, agent-2) と表現する。実際の位置は行為の主体のエージェントによって異なるが、行為の達成という意味では十分である。

2.3 行為に関する概念

行為の概念は行為の名前と主体や起点や終点などの行為に関わる属性で定められる。また行為間の関係は行為の分解関係として記述される。行為も同様にエージェントの能力によって理解可能な範囲が異なってくる。

2.4 共有概念と非共有概念

以上で見てきたように、ここでの概念の共有とは、それぞれのオントロジー (概念の体系) においてすべてが共有されるという意味ではなく、それぞれにエー



図 2: 棚エージェントの外観

ジェントのオントロジーに共通するものがあるという意味である。

実際には各エージェントのオントロジーはエージェント独自の表現であり、そこでの概念をを共通の表現の概念に関連づけていることで、オントロジーの共有を行なっている。

3 タスクの仲介

これらの概念を用いて与えられたタスクを複数のエージェントの一連の行為として変換するタスクの仲介について述べる。ここではタスクは行為記述として与えられるものとする。

タスクの仲介のための処理は以下の4つである。

1. 対象属性の補完 行為で表現されたタスクに含まれていない対象の属性を補完する。これは対象オントロジーに基づく。
2. エージェントの割当 各行為を実行可能なエージェントを探し、割り付ける。このためには各エージェントがどのような行為実行能力を持っているかを予め知っておく必要がある。このための知識がエージェント能力知識であり、対象・空間・行為のオントロジーの概念を用いて記述される。
3. 行為分解 行為を複数の別の行為に分解する。このための情報は行為のオントロジーにある行為間の関係である。この際に分解された行為間には属性の値の共有という形で制約がつけられる。
4. エージェント・オントロジーへの変換 1 から 3 の処理の結果として得られるエージェント毎の行為記述を各エージェントが理解する記述に変換する。

エージェントの割当と行為分解は同時に行なわれる。すなわち、ある行為が与えられた時、その行為を実行できるエージェントがあればエージェントの割当を行なうし、なければその行為を分解して、また割当を試みる。全ての行為に対するエージェントの割当が完了した時終了する。

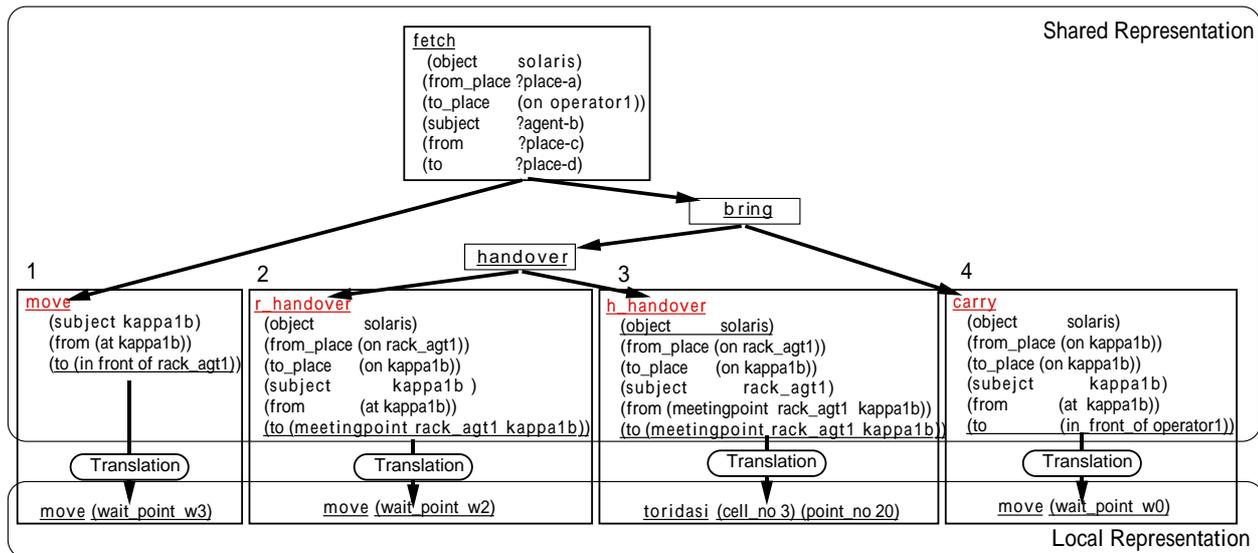


図 3: 行為 fetch の仲介

4 実装と実験

これまで述べてきた方法を実際の実世界エージェントに適応した方法及び結果について述べる。

4.1 実世界エージェント

以下の4つの異なる実世界エージェントを用いた。
移動型ロボット (Kappa1a) 6自由度の2本のアーム、2自由度の複眼のCCD、超音波センサ、赤外線センサなどを持つ移動型ロボットである(図1参照)。移動には地図に基づく方法とコマンドを用いる方法がある。アームはマスター・スレーブあるいはコマンドによって動かすことができる。また無線Ethernetにつながった計算機を搭載しており、全てのセンサ値およびコマンドに対するインタフェースを有している。

移動型ロボット (Kappa1b) アームを持たないことを除き Kappa1a に同じ。

棚エージェント 計算機からの指令で棚の任意の位置のものを取り出すあるいは収納することができる棚(図2参照)。

ドアエージェント 計算機の指令で開閉するドア。

4.2 エージェント化

全ての実世界エージェントは KQML エージェントとしてモデル化した。すなわち、エージェントは KQML メッセージを送受する [1]。実際の実装には実世界エージェントは KQML 処理サブエージェント、データベース・サブエージェント、ハードウェア・サブエージェントに分けて行なっている。これはエージェントの機能を搭載型計算機と他の計算機で分担するためである。

また、同じく KQML のよる情報エージェントとしてイメージ処理エージェント、対象データベース・エージェント、ユーザインタフェース・エージェントを用意した。

仲介の機能はメディエータというエージェントとして実装した。なお、対象オントロジーは対象データベース・エージェントが管理し、メディエータはこのエージェントに問い合わせる。

4.3 例

ここでは人間、ロボット、棚、机、椅子などが存在する部屋での動作について考察を行なった。

4.3.1 取り出しタスク

ユーザが棚にあるもの (Solaris のマニュアル) が欲しいといった場合を考える。まず、すなわち、

```
((fetch (object Solaris)))
```

というタスクを与えられた時、メディエータは行為オントロジーを参照して、

```
((fetch (object Solaris)(from_place ?place-a)
(to_place (at operator1))(subject ?agent-b)
(from ?place-c)(to ?place-d)))
```

とし、さらにこのうち対象オントロジーを参照すること可能な属性値を埋める。次に行為 fetch を実現するエージェントがいるか調べ、いないので行為 fetch を行為 move と bring に分ける。このうち bring はされに分解され、最終的には r-handover、h-handover、carry に分けられる。このうち、move、r-handover、

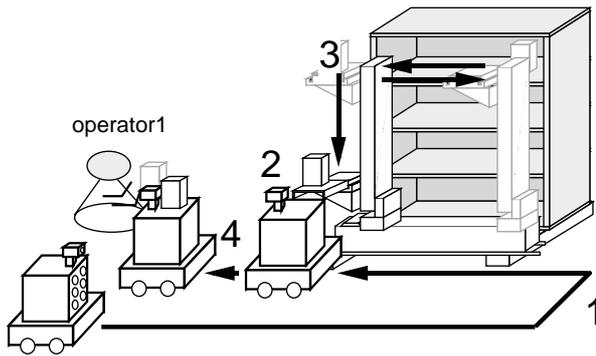


図 4: 行動 fetch のための動作 (1)

carry はエージェント Kappa1b に割当てられ、handover は棚エージェントに割り付けられる。図 3 に生成された行為列を示す。この結果行なわれたエージェントの動作を模式的に示したものが図 4 である。図中の数字は図 3 の行為の番号に対応する。

4.3.2 位置がわからない対象の取り出しタスク

タスクの記述が同様であるので、メタデータも同様に処理しようとするが、対象データベースエージェントが現在位置を知らないため、move と bring に分解しようとするとう失敗する。このとき次の分解候補 search と fetch を試す。行為 search はデフォルト位置（この場合棚）を用いて対象の現在位置を探し、対象データベースを更新する。この場合、カメラを持ったエージェントが棚が見える位置に移動して (move)、その対象を認識する (find) ことで、発見する（図 6 参照）。行為 find では画像処理エージェントも利用する。全体として Kappa1b は図 5 に示す行動をする。

5 まとめ

本研究では実世界エージェントが協調するための、3 種類のオントロジーの提案とそれに基づくタスクの仲介方法について述べた。本研究での方法は、次の面で利点があると思われる。

環境やエージェントへの適応性 共有オントロジーを用いて環境やエージェントを記述するので、異なる環境や新しいエージェントの追加に対して容易に対応できる。

非明示的な協調 エージェント間の協調は行為の分解知識とエージェントの能力知識を利用した結果として実現している。このため利用できるエージェントが変化した時でも、そのときの状況に合わせて協調作業を生成できる。

情報エージェントと実世界エージェントの統合 実世界エージェントを情報エージェントの枠組みを用いてモデル化したので、両者のコミュニケーション

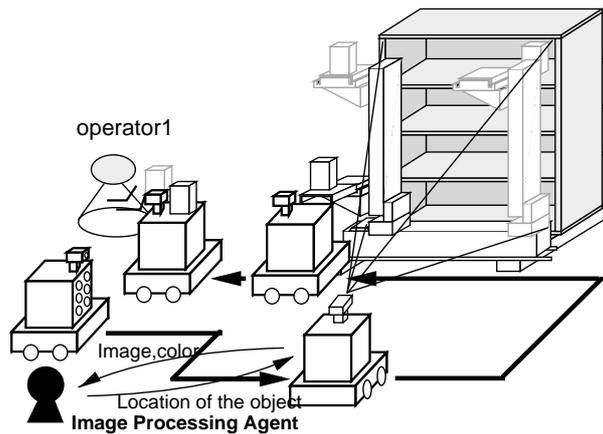


図 5: 行動 fetch のための動作 (2)

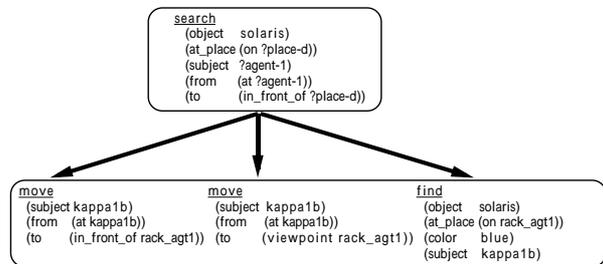


図 6: 行動 search の仲介

は容易に実現することができる。

今後はオントロジーの整備を進めるとともにより複雑なタスクへの適用などを行なっていく予定である。

参考文献

- [1] Tim Finin, Don McKay, Rich Fritzson, and Robin McEntire. KQML: An information and knowledge exchange protocol. In Kazuhiro Fuchi and Toshio Yokoi, editors, *Knowledge Building and Knowledge Sharing*. Ohmsha and IOS Press, 1994.
- [2] Thomas R. Gruber. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. Technical Report KSL 93-4, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, 1993.
- [3] Hideaki Takeda, Kenji Iino, and Toyooki Nishida. Agent organization and communication with multiple ontologies. *International Journal of Cooperative Information Systems*, Vol. 4, No. 4, pp. 321–337, December 1995.