

意味的制御知識を利用したロボットプランニングと実行モニタリング

Robot Planning and Execution Monitoring Using Semantic Control Information

田中 秀幸*1 矢入 健久*1 町田 和雄*1
 Hideyuki Tanaka Takehisa Yairi Kazuo Machida

*1 東京大学 先端科学技術研究センター

Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

We propose a framework which utilizes semantic control information to realize rational planning and monitoring by autonomous robots. We constructed a prototype of the framework including ontology which defines vocabularies used to describe the task world. Semantic metadata are annotated to robot plans. Using the annotations and reusable knowledge, the system can derive semantic information about robot actions. Such semantic descriptions will provide rational constraints which are useful for planning and monitoring.

1. はじめに

ロボットが動的かつ不確定な現実環境で自律作業を行なうためには、高度なロボットプランニングと実行モニタリングの技術が必要である。そのためには洗練されたロボットプランの表現と利用が不可欠である。しかし最近のシステムにおいても、ほとんどのプラン表現は形式的処理によるプラン生成を最優先に設計されており [Beetz 03], 実世界でのタスク実行やモニタリング, 学習などの局面において真に必要な情報を引き出せるものとなっていない。

我々は、ロボット知能化の重要な側面として「合理的なプランニング」に着目し、この基盤となるのがプランに付随する意味的な制御知識であると考えている [Tanaka 06]。これらは設計者の頭の中にあるプランの背景知識または plan rationale [Polyak 98] というべきものであり、従来は十分には利用されてこなかった。こうした意味的情報を活用することで、ロボットは自身の行動をより高次レベルで理解し、不測の事態に対するプランニングの際の合理的指針を得ることができると考えている。

本研究は、ロボットシステムにおいて意味的情報を利用するための枠組みを提案し、プロトタイプを構築してロボット制御における活用法の検討と効果の検証を行なうものである。今回はその最初のステップとして、ロボットのアクションを意味的に記述するフェーズのテストを行なった。

2. 意味的情報の利用

例えば積み木世界のタスクにおいて「block」や「hand」等のオブジェクトや「力」「運動」等の物理量は、ロボットがセンサーで直接知覚可能な概念であり意味的情報ではない。これに対し、「上下関係」「運搬する」「障害物」等の概念は、文脈や視点に応じて定まるものであり、これらが意味的情報となる。

ロボットが意味的情報を利用するためには、プラン表現に用いられる語彙を人間の有する概念世界とリンクさせ、物理世界と抽象世界の概念を対応させる必要がある。なぜなら、意味的な概念や情報は、すべて抽象世界すなわち人間の脳で生起するものだからである (図 1)。

我々はそのためのアプローチとしてオントロジー工学 [Mizoguchi 03] を応用し、タスク世界の概念や知識を、オント

連絡先: 田中秀幸, 東京大学 先端科学技術研究センター, 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 14 号館 209, hide@space.rcast.u-tokyo.ac.jp

ロジーで定義された語彙によって記述する。現在我々は, Relation, Role, Function といった概念を中心にタスク世界のオントロジーを構築中である (詳細は別紙 [Tanaka 06] 参照)。

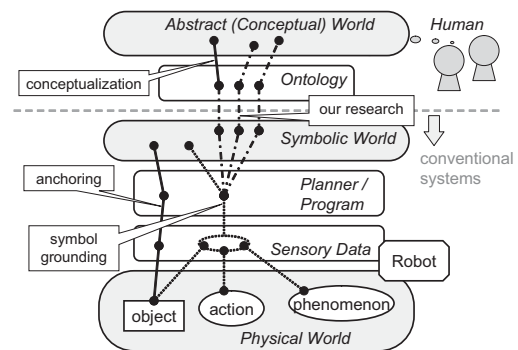


図 1: 物理世界と概念世界のリンク

3. ロボットプランの意味的記述と利用

ロボットプランには設計者の意図や目的が含まれている。そのため、ロボットの動作は「振舞い (物理パラメータの時間変化) をある目的の下で解釈したもの」である「機能概念 [Kitamura 99]」の観点で記述することができる。我々は、コマンド (振舞いを駆動する命令) に注釈 (機能概念を提供するメタデータ) を付加する形式でプラン表現を行なう。図 2 は、積み木タスクにおける Hand の「直線運動コマンド」の例である。「Hand が地点 PointU1 に移動 (MoveTo) する」という機能概念の注釈によってプランに意味的制御知識が付加されている。

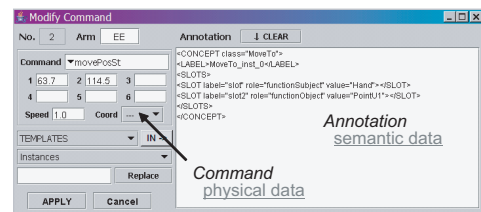


図 2: コマンドと注釈によるプラン表現

図 3 にシステム構成を示す。通常時, Robot は CDB のコマンドのみによって制御されるが, 予せぬ事象が発生した場合はコマンドに付加された注釈を参照し, STM (タスク世界の

知識を記述するモジュール) に現在実行中の動作について意味的記述を展開する。それらを用いて IE による診断推論と PL による復旧プランニングが行なわれる。このように、システム依存のコマンド系列にメタデータを付加し、それにより意味的な自動機械処理を行なう枠組みは、セマンティックウェブのアプローチに似ている。

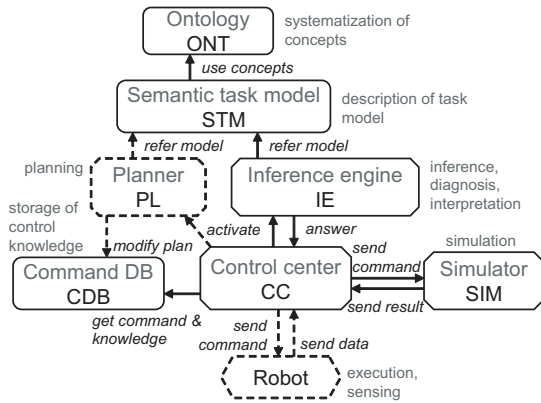


図 3: システム構成

4. 意味的制御知識の記述

上述のような情報処理の第一ステップとして、ロボットの動作を意味的知識として展開するテストを行なった。簡単な積み木タスクのシミュレーションにより、「Hand が直線運動コマンドを実行中に予期せぬ力を検出して緊急停止した」という状況を想定して行なった。図 4 は構築したシステムプロトタイプ GUI である。

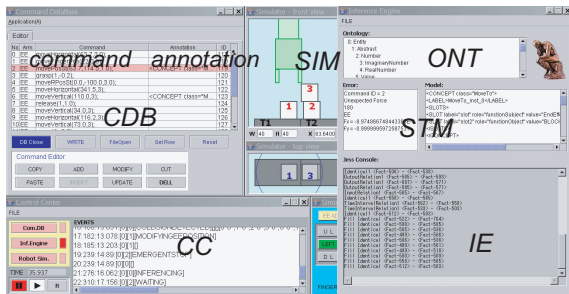


図 4: システムプロトタイプの GUI

4.1 意味的記述の展開

ロボットは、緊急停止後、以下のような手順で実行中の動作について意味的記述を展開する。

1. 実行中のコマンドの注釈を取得する
2. ONT を参照し、注釈記述に関連する記述のテンプレートを STM にコピーする
3. 各テンプレート中のスロットを、概念制約に基づき再帰的に展開する
4. 展開した記述にスロット間の制約を反映する
5. 各スロットに実際の値を入れ、この動作についての意味的インスタンスモデルとする

図 2 のようなプラン記述に対し、意味的制御知識を STM に展開した場合の様子を図 5 に示す。これらは Jess (Java Expert System Shell) [Hill 03] 上の fact として記述されるが、この記述展開により、3 つの fact に相当する注釈記述が 104 の fact に展開された。このように、ONT で定義された共有可能な概

念記述を再構成することで、動作に関する意味的な情報を含んだ表現が可能になる。

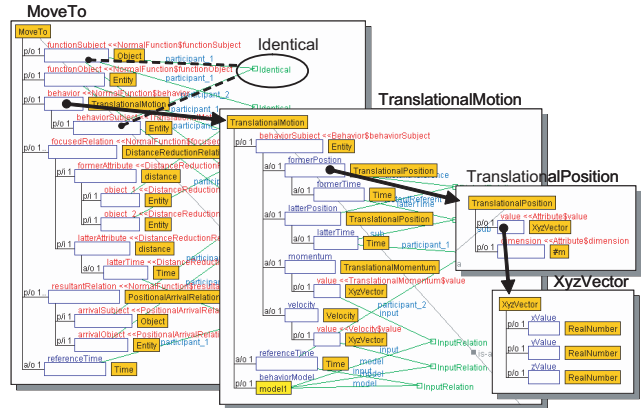


図 5: 動作の意味的記述展開 (MoveTo 概念の場合)

5. 今後の展望

意味的制御知識には、動作の物理的コマンドに加え、「動作の目的」「関連するオブジェクト」「本質的な振舞い」「前提・終了条件」といった情報が含まれている。これらの情報は、プランニングやモニタリングの際、合理的かつ妥当な推論を行なうための重要な制約および指針を提供すると考えられる。また、これらの知識は、機械、人間双方に可読で共有可能な語彙を組み合わせることで表現できるため、異種ロボット間での知識共有や人間への説明機能などの実現に貢献するものといえる。

今後は、膨大な意味的情報を用いてロボットプランニングやモニタリングにとって有用な情報を引き出し、それを利用するための技術開発に取り組む予定である。その際、推論の複雑さとプラン表現力との間のトレードオフが考慮すべき課題となると考えられる。

参考文献

[Beetz 03] Beetz, M. Ed.: A roadmap for research in robot planning, European Network of Excellence in AI Planning (PLANET) [PDF] Available: <http://www9.in.tum.de/research/tcu/roadmap.pdf> (2003).

[Hill 03] Hill, E. F.: Jess in Action, Manning Publications (2003)

[Kitamura 99] Kitamura, Y and Mizoguchi, R.: An Ontology of Functional Concepts of Artifacts, AI Technical Report 99-01, I.S.I.R., Osaka University (1999)

[Mizoguchi 03] Mizoguchi, R.: Tutorial on ontological engineering - Part 1: Introduction to Ontological Engineering, New Generation Computing, OhmSha & Springer, Vol. 21, No. 4, pp. 365-384 (2003)

[Polyak 98] Polyak, S. T. and Tate, A.: Rationale in planning: causality, dependencies, and decisions, Knowledge Engineering Review, Vol.13(3), pp. 247-262 (1998)

[Tanaka 06] Tanaka, H., Yairi, T and Machida, K: Utilization of Semantic Information for Robust Task Execution by Autonomous Robots, Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3166-3171 (2006)