

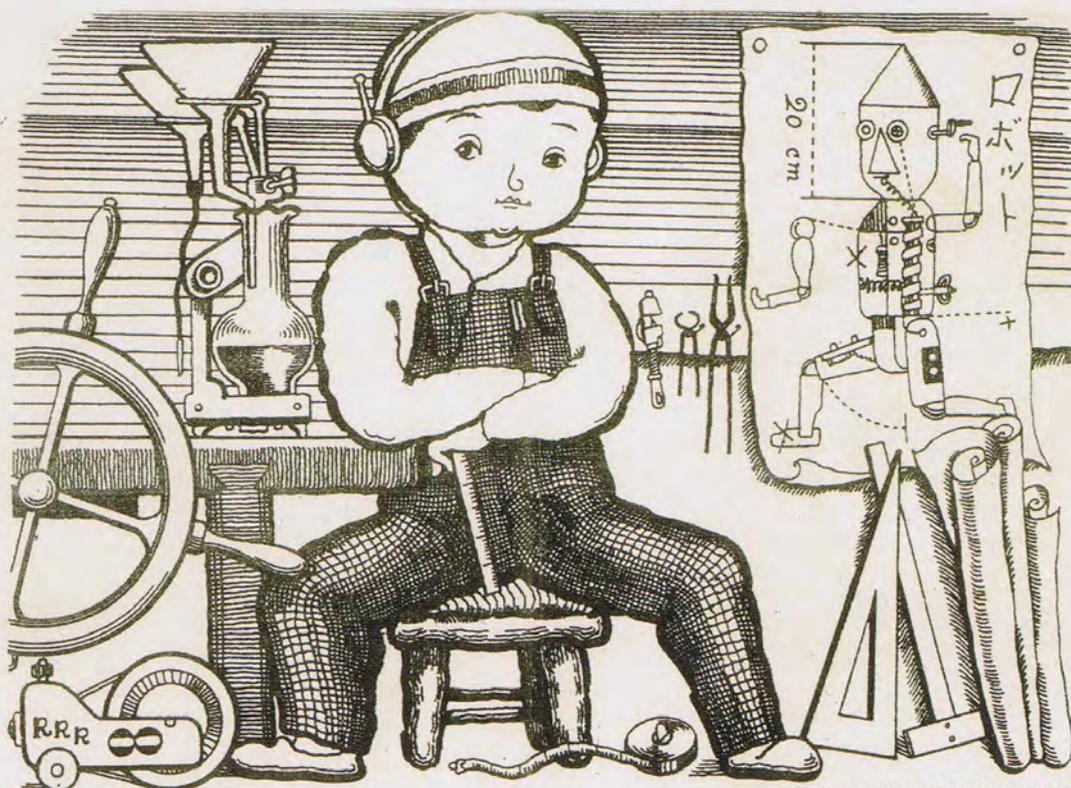
# ROBOMECH 2008 in NAGANO

CONFERENCE  
DIGEST

ROBOTICS AND MECHATRONICS FOR SUSTAINABLE INDUSTRIAL DEVELOPMENT

持続的な産業発展を支えるロボティクス・メカトロニクス

Thu. 5th ~ Sat. 7th June, 2008 ビッグハット(長野市若里多目的スポーツアリーナ)



「ハツメイハッチャン」連載予告/朝日新聞1935年

長野県が生んだ世界的童画家の武井武雄は1935年にロボットが主人公として登場する「ハツメイハッチャン」という新聞マンガの連載をはじめました。カレル・チャペックが戯曲「R.U.R.」ではじめてロボットという言葉を発表したわずか15年後のことでした。

長野県岡谷市  
イルフ童画館 <http://www.ilf.jp/>

ロボット・輸送機器・メカトロニクス・デバイス・微細加工・部品加工・設計開発・試作製作などをお手伝い！

信州諏訪の優れたものづくりを結集し  
先端技術研究開発をより高度に！

企業ネットワークによる 精密部品・研究機材製作サービス

**試作.biz** <http://shisaku.biz/>

SHISAKU BUSINESS

運営: インダストリーネットワーク株式会社 〒394-0033 長野県岡谷市南宮1-1-15 TEL.0266-21-7200



# RT コンポーネントによる再利用可能な作業スキルの実現

清水 昌幸 尹 祐根 音田 弘 安藤 慶昭 神徳 徹雄 (産総研)

## Development of Reusable Task Skills Using RT-Components

\*Masayuki Shimizu, Woo-Keun Yoon, Hiromu Onda, Noriaki Ando, and Tetsuo Kotoku (AIST)

**Abstract**—This article proposes a systematic approach to developing reusable task skills with RT-Components. First, how to modularize a task skill is discussed to improve the reusability of the skill. Then, how to realize the modularized task skill with RT-Components is described. Finally, the methodology is applied to a nut attachment task skill.

**Key Words:** Task skill, reusability, UML, RT-Component, manipulation.

### 1. 緒言

著者らのグループでは、再利用可能な作業スキルの実現に向けた研究を行っており、これまでに、異なる環境やロボットに適用可能な作業スキルの獲得方法の構築 [1] やその手法の有効性の検証 [2] などを行ってきた。しかしながら、たとえ得られた作業スキル自体が再利用可能であっても、それを容易に再利用できるフレームワークが無ければ、作業スキルが実際に再利用される機会は減少すると思われる。

本稿では、作業スキルの再利用を容易にするシステムの構築手法を提案する。初めに、再利用性を向上するための作業スキルのモジュール化手法について考える。次に、モジュール化された作業スキルを RT コンポーネントとして実現し、再利用を容易にする作業実行システムを構築する。最後に、実際の作業スキルに本手法を適用した一例を示す。

### 2. 再利用可能な作業スキルの構築

#### 2.1 作業スキルの概要

本稿では、タスクスキルトランスファー手法 [1] で獲得した作業スキルを考える。この手法では、作業スキルは以下のインピーダンスモデルで表される。

$$M(\ddot{x} - \ddot{x}_d) + D(\dot{x} - \dot{x}_d) + K(x - x_d) = f \quad (1)$$

ここで、 $x \in \mathbb{R}^6$  および  $x_d \in \mathbb{R}^6$  はそれぞれマニピュレータの手先位置・姿勢およびその平衡点位置・姿勢、 $f \in \mathbb{R}^6$  は手先に加わる力・モーメント、 $M \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$ 、 $D \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$  および  $K \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$  はそれぞれ慣性、粘性、剛性を表す行列である。

このように制御されたマニピュレータを用いて作業を行うためには、手先位置・姿勢や手先に加わる力・モーメントに基づいて平衡点位置・姿勢を適切に操作しなければならない。タスクスキルトランスファー手法では、環境やロボットに依存しない平衡点の軌道生成ルールをオペレータの実演データより獲得し、それを用いて自律的に作業を実行するシステムを提案している。

#### 2.2 再利用性向上のための作業スキルのモジュール化

物体の運動は、式 (1) に従って制御されているため、物体の挙動を決定するパラメータは、インピーダンスパラメータ ( $M, D, K$ ) および平衡点の軌道 ( $\dot{x}_d, \ddot{x}_d, x_d$ ) である。ユーザはこれらのパラメータを任意に決定できるが、一般に、インピーダンスパラメータは、扱う物体や接触する環境の特性、また、ロボットの動特性やサーボ特性などによって有効な範囲が制限されることが多い。すなわち、インピーダンスパラメータは環境やロボットの違いによる影響を受けやすいが、平衡点軌道はその影響を受けにくいと考えられる。これより、作業スキルには、環境やロボットに依存する部分とそれらに依存しにくい部分があることが類推される。もし、作業スキルをこれら二つに分割できれば、後者の再利用性は比較的高いと考えられる。

以上より、作業スキルの実行システムを以下の二つのモジュールに分割すると再利用性が向上するものと考えられる。

- インピーダンス制御モジュール
- 平衡点位置・姿勢制御モジュール

インピーダンス制御モジュールでは、与えられた平衡点位置・姿勢に対してマニピュレータの手先位置・姿勢をインピーダンス制御する。また、平衡点位置・姿勢制御モジュールでは、作業達成のための平衡点軌道を生成し、それに追従するように平衡点位置・姿勢を制御する。これらの内、後者は、平衡点の位置・姿勢のみを制御するため、環境やロボットへの依存性は低く、再利用性は高いものと推察される。

再利用可能な作業スキルを平衡点軌道の生成ルールとすると、それは環境やロボット等を抽象化した作業スキルを表していると考えられる。本稿では、このような抽象化レベルの作業スキルを作業戦略と呼び、作業戦略を再利用しやすいシステムを構築する。

#### 2.3 UML による作業戦略の表現

複雑な作業の中には、いくつかの基本作業の組み合わせから構成されているものがある。そのような作業に対するスキルには、その構成要素である基本作業に対するスキルも含まれている場合があり、その基本作業スキルをモジュール化して再利用できれば、作業スキルの再利用性がさらに向上するものと期待される。ところが、作業スキルのアーキテクチャが明確な形で提供されていなければ、その作業スキルがどのような基本作業スキルから構成されているかを分析したり、また、どの粒度で分解ができるかを検証することが困難になる。したがって、作業スキルの再利用性を向上させるためには、分析や検証がしやすい統一的な表現方法で作業スキルを表現することが望ましいと思われる。

本稿における作業スキルでは、手先位置・姿勢や手先に加わる力・モーメントに基づいて平衡点位置・姿勢が動的に決定されるため、平衡点軌道を生成する作業戦略は、状態遷移として表すことができる。状態遷移を表現する方法はいくつかあるが、近年、UML が多く用いられている。UML2.0 では、一般的な状態遷移を表すための図として状態マシン図が提供されている。作業戦略を UML 状態マシン図で表現することにより、抽象レベルでの作業スキルの理解、分析、検証が容易になり、作業戦略の再利用が促進されるものと期待される。

#### 2.4 RT コンポーネントを用いた作業実行システムの設計

本稿では、モジュールベースの開発をするために、RT ミドルウェアを用いて作業実行システムを構築する。RT ミドルウェアでは、RT コンポーネント (RTC) というモジュール単位で開発を行う。先の議論より、作業スキルの再利用性を向上させるためには、インピーダンス制御 RTC と作業戦略に基づいた平衡点軌道生成 RTC (以下、作業スキル RTC と呼ぶ) をそれぞれ作成すればよいことがわかる。インピーダンス制御 RTC は、マニピュレータのハードウェア特性などに依存するため個々のマニピュレータごとに作成しなければならないが、作業スキル RTC は、作業戦略のみで構成されているため、他のロボットに対してもそのまま再利用可能であると考えられる。

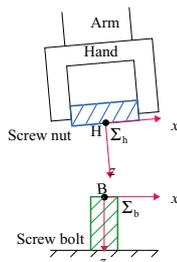


Fig.1 Nut attachment task.

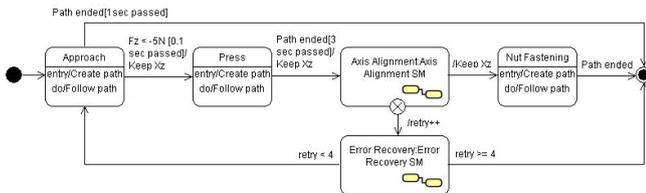


Fig.2 Nut attachment task skill.

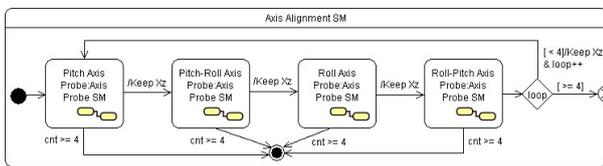


Fig.3 Axis alignment state machine.

### 3. 適用例

#### 3.1 ナット組付作業スキル

Fig. 1 に示すように、ナットをボルトに取り付ける作業を考える。この作業では、ナットとボルトの軸を一致させなければナットを締め付けることができないため、それらの軸を一致させるためのスキルが必要である。この作業スキルは、すでに作成されており [3]、ここではそれを用いることにする。以下では、この作業に対する作業戦略を UML 状態マシン図で表現したものと、RT コンポーネントを用いて構築した作業スキル実行システムを示す。

#### 3.2 作業戦略

ナット組付作業スキル全体を UML 状態マシン図で表現したものを Fig. 2 に示す。このスキルにおいて、軸合わせを表す状態はコンポジット状態となっており、そのサブマシンは、Fig. 3 および Fig. 4 で表される。また、このスキルでは、軸合わせが失敗したときのエラーリカバリ機能も実装されており、それに対応する状態マシンは Fig. 5 で表される。UML 状態マシン図を用いることにより、作業スキルのアーキテクチャが明確に表現されていることが分かる。

#### 3.3 RT コンポーネントによる作業実行システム

本稿では、作業スキルの再利用性を向上させるために、作業戦略とインピーダンス制御系を別々の RTC として実装する。作業戦略のみをモジュール化した作業スキル RTC は、ロボットに依存せず汎用的に作る事ができるが、インピーダンス制御系は、ロボットのサーボ系に依存する。

産業用マニピュレータでは、位置制御ベースのサーボ系を採用しているものが多く、インピーダンス制御を行うためには、位置制御ベースのインピーダンス制御系が必要になる。この場合、インピーダンス制御系におけるインピーダンス制御器も汎用的な形でモジュール化することができ、ロボットに依存する部分は、位置制御サーボ系の部分のみとなる。

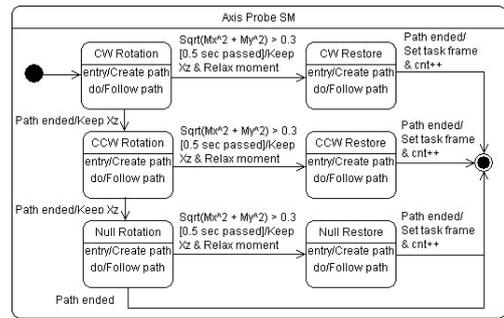


Fig.4 Axis probe state machine.

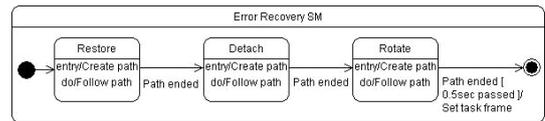


Fig.5 Error recovery state machine.

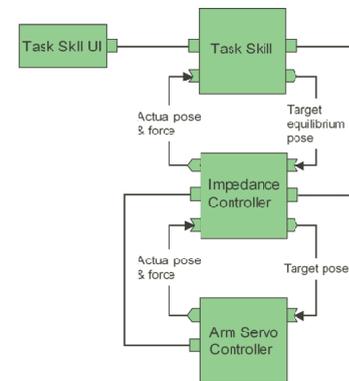


Fig.6 RTC architecture for task skills.

以上を考慮に入れて、位置制御ベースのマニピュレータに対する作業スキル実行システムを RT コンポーネントを用いて設計したものを Fig. 6 に示す。このシステムでは、作業スキル RTC およびインピーダンス制御 RTC が再利用可能なモジュールである。

### 4. 結言

本稿では、RT コンポーネントを用いた再利用可能な作業スキル実行システムを構築した。作業スキルを環境やロボットに依存しにくい部分と依存しにくい部分に分けてモジュール化することにより、作業スキルの再利用性を高める方法を提案した。また、それぞれのモジュールを RT コンポーネントで実現するためのアーキテクチャを設計した。

謝辞

本研究は、原子力委員会の評価に基づき、文部科学省原子力試験研究費により実施されたものである。

### 参考文献

- [1] 尹, 末廣, 音田, 北垣, “バイラテラル遠隔操作を利用したタスクスキルトランスファー手法”, 日本ロボット学会誌, vol.25, no.1, pp.155-165, 2007.
- [2] M.Shimizu, W.K.Yoon and K.Kitagaki, “Experimental Validation of Task Skill Transfer Approach Using a Humanoid Robot,” Proc. 2007 IEEE Int. Symp. on Assembly and Manufacturing, pp.141-146, 2007.
- [3] W.K.Yoon, T.Suehiro, H.Onda and K.Kitagaki, “Task Skill Transfer Method Using a Bilateral Teleoperation,” Proc. 2006 ICRA, pp.3250-3256, 2006.