

組立ロボットのための回転動作を伴う作業スキルの表現

長井 達一郎[†] 荒牧 重登[‡] 近藤 禎敏^{*}

株式会社なうデータ研究所[†] 福岡大学工学部[‡] 福岡大学大学院工学研究科電子情報工学専攻^{*}

1. はじめに

近年、産業用ロボットは工場などで製品の組立や自動車のボディの塗装など様々な作業を行っている。人は製品や部品を組み立てる時、巧みな作業スキルを用いる。組立ロボットでも同様の作業スキルを持たせることで、誤差を含む部品の組み立てをスムーズに行うことが可能になると考えられる。筆者らは製品の設計情報と作業スキルから得られる組立構造から組立手順を生成し、産業用ロボットに組立作業を行わせる研究を行ってきた[1-3]。これまでに、複雑な組立作業を単純な1方向の動作とセンシングの組み合わせで表現した知的制御階層構造と呼ばれるモデリング手法の提案とその有効性を示した。本稿では、そのモデリング手法の表現を回転動作と部品の向きへのセンシングを含む組立作業に拡張し、その作業実験を行った。

2. 知的制御階層構造

本研究では、組立対象物の状態とロボットのセンサ値を定性的な値に量子化したものを用いて組立作業の状態空間を定義する。この定性的な値により、制御モードや制御方向を切替える。また、動作手順を組立の目標位置の系列ではなく、他の部品と相互作用し機能を発現する部品の部分である機能素をランドマークの系列として定義する。この手法により、力センサと位置センサを用いてロボットの作業状態を精密に監視でき、かつロボットの動作計画が可能となる。これらによって定義される状態空間と動作は知的制御階層構造として定義される。この知的制御階層構造の各レベルはFSA(Finite State Automation)の直積や接続で定義される。

知的制御階層構造は、作業対象の状態空間を位置センサおよび力センサの状態として定性的に表現したFSAを要素とし、これらを用いて構

成される動作手順を以下の4つの階層で定義する。

タスクレベル

ロボットによる組立手順をスキルレベルの動作の組合せにより定義する階層。

スキルレベル

制御方向の割り当て、制御モードの設定を行い制御系の枠組みを定義する階層。

制御スキルレベル

1方向について制御系の目標値を設定し分解可能な制御モードの設定を行う階層。

制御プリミティブレベル

フィードバックループを形成し制御系を実行する階層。

知的制御階層構造の例を図1に示す。

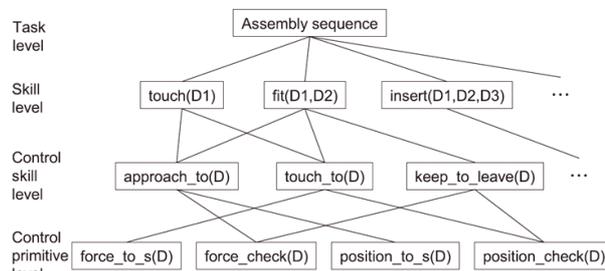


図1：知的制御階層構造の例

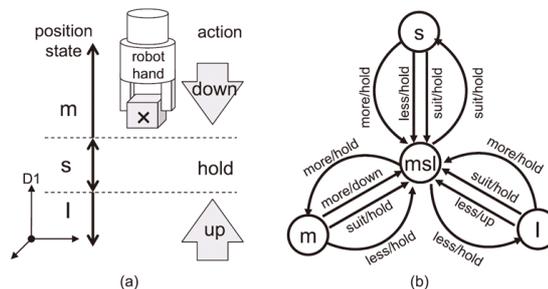


図2：制御プリミティブのFSAの例

図2の制御プリミティブレベルの位置の領域と状態の例を用いてFSAについて説明する。制御プリミティブレベルは、組立作業中のロボットハンドや作業対象物の一方向の位置または力の状態を管理する階層である。ロボットハンドもしくは作業対象物の位置または力の状態を

The representation method of task skill for robotic assembly task with rotation operation

[†]Tatsuichiro Nagai · NaU Data Institute Inc.

[‡]Shigeto Aramaki · Faculty of Engineering, Fukuoka University

^{*}Tadatoshi Kondo · Electronics and Computer Science, Graduate School of Engineering, Fukuoka University

m(過大状態), s(適正状態), l(過小状態)と定性的に定義する(図2(a)). この時のFSAは図2(b)となる. 図中のmslの状態はセンサの不定状態である. このFSAによってハンドを目標位置sに移動させる.

3. 回転を伴う組立作業

現在までに, 民生機器の機構部品を例に組立のための作業スキルの実験を行ってきた. 民生機器は基本的に作業の効率化と位置決め容易さから一方向の作業で部品の組付けができることが多い. しかし, 部品の機能や形状が複雑化し, 一方向の作業では難しい組立も存在する. その例として, 携帯電話などのバッテリーを装着する組立作業がある.

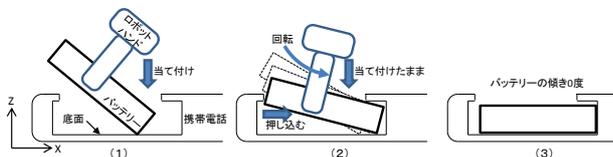


図3: バッテリー装着の組立作業例

図3に示すような携帯電話とバッテリーは, バッテリーの向きを変えずに装着することは難しい. 図のように斜めに向けて底面に突き当てて, 徐々にバッテリーを回転させながら, 横に押し込む動作が必要である. この時, バッテリーは底面から浮かさない状態を維持しつつ回転させなければならない. この時, 回転と押し付けの2方向の動作が同時に必要となる. さらに, 横に押し込む動作も併せて行う必要があり, 合計で3方向の動作で実現できる. この組立作業の終了条件は, バッテリーは底面から浮いていない状態, かつバッテリーの傾きは0度, かつ横に押し込むことが難しい状態を満たすことである.

4. 知的制御階層構造の拡張

図3の組立作業は, 2つの制御スキルに分けられる. 1つは, 回転しながら下に押し付ける制御スキル. この下という方向は, 座標系が傾いているバッテリーから見た下ではなく, 携帯電話の座標系から見た下, つまり-Z方向を指す. もう1つは, ロボットハンドやバッテリーの傾きにかかわらず, 携帯電話の座標系から見てX軸方向にバッテリーを移動させる制御スキル.

このように, ハンドでつかんでいない方の部品の座標系から見た位置や力の指定を可能にすることで, 複雑なハンドの動きに対応した複雑な位置や力の座標変換や定義を避けることがで

きる.

これまで, 1つの制御スキルレベルの動作方向は1つであったが, 今回の回転を伴う作業スキルを実現するために, 複数の動作方向で1つの監視する力の方向の定義ができるように拡張する.

拡張した制御スキルを以下に示す.

- rotate_down_to_base: 回転しながら下に押し付ける制御スキル
- touch_to_base: ハンドでつかまない部品の座標系から見て当て付ける制御スキル

この2つの制御スキルの直積で今回の作業スキルを定義可能にした.

5. 作業実験

本手法の有効性を確認するために, 拡張を行った知的制御階層構造を実装した試作システムで, 図3に示すような部品の組立作業の実験を行った. 産業用ロボットは三菱電機(株)製RV-1A, 力覚センサはニッタ(株)製IFS-67M25A15-I40を使用した. また, 実験用の部品は産業用ロボットに合わせた大きさの部品を製作し使用した. このシステムを用いて実際の部品の組立作業を行い, 拡張したモデルの有効性を確認した. 実験中の写真を図4に示す.

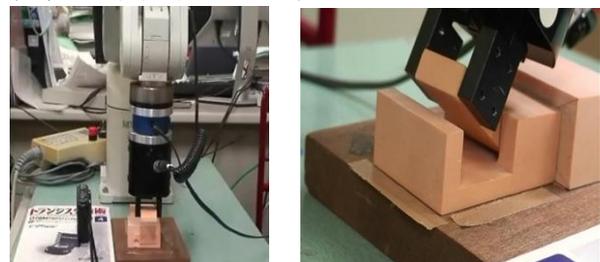


図4: 作業実験

6. まとめ

組立ロボットのための作業スキルを表現した知的制御階層構造を拡張することにより, より複雑な作業スキルの定義を可能にした. これにより, 回転動作を伴う組立作業スキルの定義を可能にした. 今後は, 拡張した知的制御階層構造で様々な組立作業を行い適用範囲を調査する.

参考文献

- [1] 月原, 長澤, 荒牧, 中田: “組立構造と作業スキルを利用した組立動作生成法”, 日本機械学会論文集, Vol60, No.578, pp.328-333, 1994.
- [2] 畑田, 長井, 荒牧: “ロボットによる組立作業スキルの実現法”, 電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, Vol61, ROMBUNNO.08-1P-03.
- [3] 長井, 荒牧: “ロボットを用いて組み立てる機構部品の表現”, 第27回日本ロボット学会学術講演会論文集, 3L2-08.