

部品エージェントを用いたマニピュレータ間のモジュール交換 Exchange of modules among robot manipulators using part agents

精密工学専攻 45号 福増悠貴
Yuuki Fukumashi

1. 序論

現在、環境問題を解決するために環境への負荷の少ない循環型社会への移行が求められている。しかし循環型社会が推進する 3R の中でリユースはリサイクルに比べ環境に与える効果が大きい⁽¹⁾があまり普及していない。その原因としてはリユース品の機能や性能がどのくらい劣化しているか、また残りの寿命はどのくらいかなどがユーザから見えにくい点にある。すなわちリユースを普及させるためには、製品を構成する部品の使用履歴を記録し管理する、部品の使用状況から劣化の進展や故障を予想する、必要に応じてユーザに部品交換を提案するなどの機能を持つシステムが望まれる。

これらの機能を実現するためにネットワークエージェントと RFID を用いた部品エージェントシステムを開発している。既往研究では部品エージェントの動作に基づく部品のライフサイクルシミュレーションを行ってきた⁽²⁾。本研究では実際にこのシステムを運用する際に生じる課題や得られる効果を明らかにするため、実際に部品エージェントシステムを導入したロボットを製作し、ロボット間の部品交換実験を行うことをめざす。本論文は、実際にロボット間の部品支援を行うために必要な課題の解決を目的とする。すなわち、部品エージェントに基づく部品交換システムの提案、ロボットの連続稼働による劣化の進行を推定する方法の実装、および部品支援に対応するマニピュレータの設計、製作である。

2. 部品エージェントシステム

部品の劣化や故障を予測するためには、その部品の生産から廃棄までのライフサイクルを管理する必要がある。その仕組みとして提案している部品エージェントシステムの構想を Fig. 1 に示す。部品エージェントは管理対象の部品個々に割り当てられているネットワークエージェントである。ネットワークエージェントはプログラム単体での自律的な処理の実行とネットワーク上の移動ができるため、ネットワークに接続されていればどこでも製品や部品の状態を把握することができる⁽³⁾。RFID 技術に基づく電子タグもしくは通信機能を有するマイクロコントローラを部品作成時に部品に取り付け、部品が廃棄されるまで部品とネットワーク上の部品エージェントを繋げることで、部品のライフサイクル全体にわたって部品の情報を管理できる。それゆえ部品エージェントは製造工場、販売所、ユーザ、廃棄といった部品のライフサイクルの各ステージで、ステージに対応した挙動を実現できる。本研究ではそれらのステージの中でユーザに製品が使われているステージを想定している。部品エージェントシステムには部品のリユース活動を促進するために、集めた部品

の情報から部品の劣化状態や使用状況などを考慮して、他の部品エージェントと連携を行い、部品のリユースをユーザに提案する機能がある。本研究ではこの機能を実現したマニピュレータロボットを製作し、マニピュレータ間でモジュール部品のリユースを行うことを目的としている。

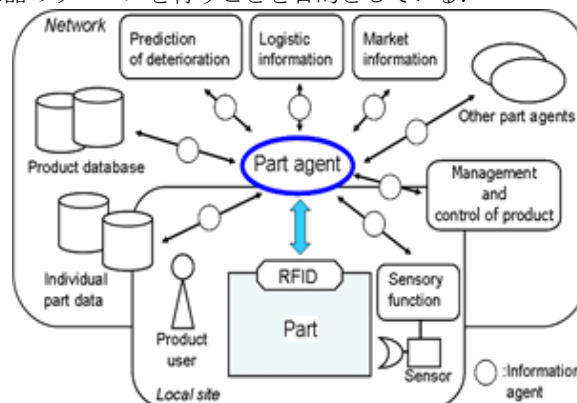


Fig. 1 The part agent system

3. モジュール交換システム

部品エージェントの機能を用いて、モジュールの劣化及び故障の予測や部品エージェントシステムのシミュレーションを考慮してモジュールのリユース提案を行うシステムを開発している。本章では、モジュール構造のマニピュレータを対象にモジュール交換を実現するために構築するシステムとモジュール交換方法について述べる。このシステムを用いて、シミュレーションに基づいて今まで提案された部品エージェントによるリユース方法を評価する実験を行うこともできる。

Fig. 2 にモジュール交換システムの概略図を示す。使用する製品は複数のモジュール部品によって構成し、それぞれのモジュールには RFID タグを取り付ける。これらのタグによってモジュールの識別と1つのモジュールにつき1つ割り当てられている部品エージェントとの関連付けを行う。製品を制御するためにコンピュータを用意する。このコンピュータは製品を制御する機能の他にモジュールに取り付けられたセンサの値を収集してモジュールの状態を把握するために使用する。またこの制御コンピュータは収集した情報をネットワーク上のデータベースおよびモジュールに対応する部品エージェントに送信する。部品エージェントは送られてきた情報やデータベースの情報に基づいて対応するモジュールの劣化状態を予測する。そして劣化の進行度に応じて他の部品エージェントと連携してリユース相手のモジュールを選択する。リユース相手が見つかったら劣化したモジュールが所属している製品のコンピュータがユーザにリユースを

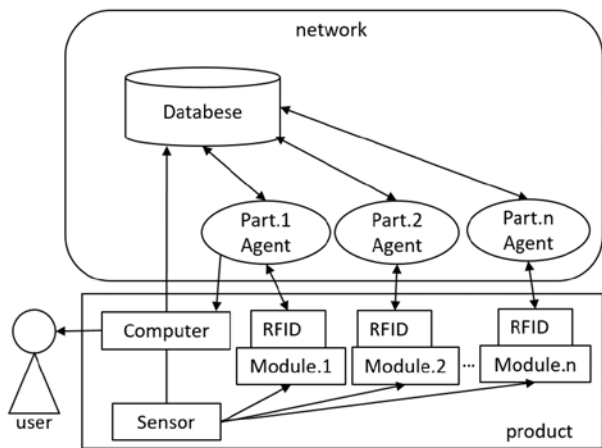


Fig. 2 Module replacement system

提案する。

Fig. 3 にモジュール交換の流れを示す。部品エージェントはコンピュータから送られてきたモジュールの情報に基づいてモジュールの劣化を推定する。部品エージェントが既定よりも高いモジュールの劣化を推定すると、それ以上劣化を進行させないために、そのモジュールが所属しているマニピュレータに対して停止指令を送り、次に他の部品エージェントと連携して交換先モジュールの作業量や交換されるモジュールの劣化進行度などを考慮して交換相手となる適切なモジュールを探す。交換相手のモジュールが見つかったら、コンピュータを介してユーザにモジュールの交換を提案する。部品エージェントを用いてこのようにモジュールの管理とユーザサポートを行うことでモジュールの再利用を促進する⁽⁴⁾。

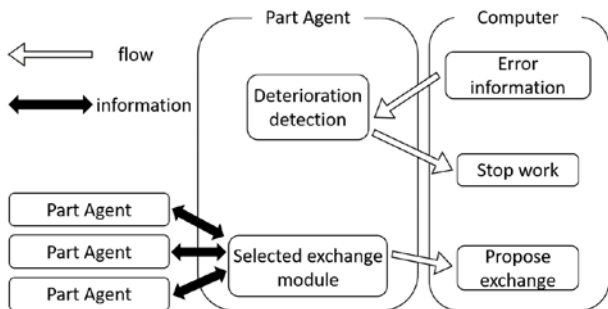


Fig. 3 Flow of module replacement

4. 制御量に基づく劣化の推定実験

4.1 劣化推定実験の目的

マニピュレータのモジュール交換ではその過程で部品エージェントの機能の一つであるモジュールの劣化推定をする必要がある。そのため本研究では機械工学的に現象を調べることができるマニピュレータを対象とした。本研究ではマニピュレータの制御情報を用いてマニピュレータの劣化を推定する。作業負荷による摩擦などが原因でマニピュレータの関節が劣化していくと、規定の動作のために必要なモータのトルクが増えると考えられる。そこでマニピュレータの劣

化から来る外乱によるモータへの電力制御量の増加を確認する実験を行った。本章ではこの実験とその結果について報告する。

4.2 劣化推定実験システムの構成

この実験では一自由度の簡単なマニピュレータを用いて実験を行った。Fig. 4 に使用した一自由度マニピュレータのモデルを示す。このマニピュレータはモータとリンクとポテンショメータの3個の部品で構成されるシンプルなマニピュレータである。リンクは200[mm]の長さがあり、20[mm]おきに穴が開いている。この穴に重りを差し込むことでモータにかかる負荷を変えることができる。モータの最大トルクは1122[$gf \cdot cm$]である。

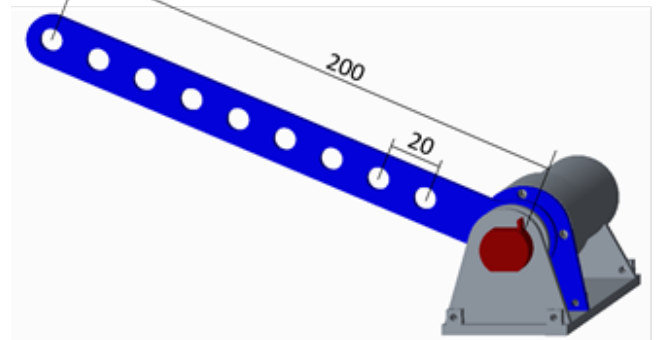


Fig. 4 Model of manipulator with one degree of freedom

Fig. 5 に実際の実験の様子を示す。このマニピュレータを制御するためにマイクロコントローラ（以下 Arduino）とモータドライバ（東芝製, TA7291P）そしてコンピュータを使用した。

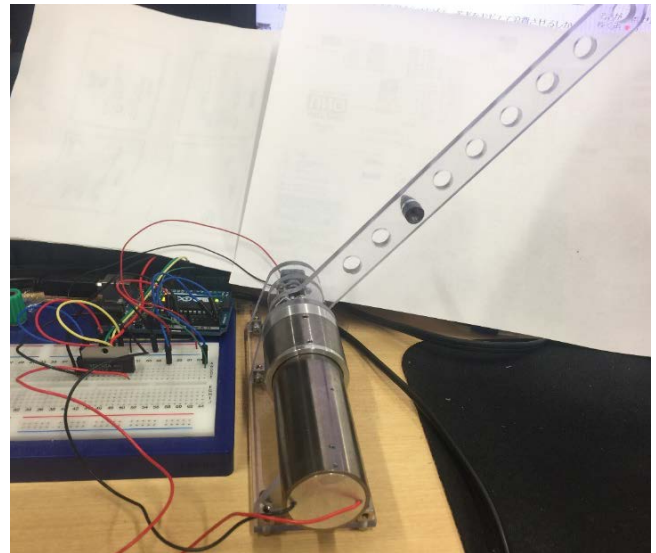


Fig. 5 Manufactured manipulator with one degree of freedom

Fig. 6 にこの実験のシステム構成を示す。コンピュータがマニピュレータの制御計算と操作インターフェース、Arduino がモータドライバの制御とポテンショメータからの角度取得を担当している。Arduino はコンピュータからのシリアル通信を用いた指示に従い PWM 波形を生成してモータドライバに出力する。この PWM 波形の duty 比でモータの出

力を操作する。Arduino はまたポテンシオメータからの電圧を読み取りコンピュータに送る。コンピュータはそれをマンピュレータの角度情報に変換してマンピュレータのフィードバック制御をおこなう。Fig. 7 にこの実験で用いたマンピュレータの制御計算のブロック線図を示す。角度の入力に対してマンピュレータの角度をフィードバックしてPID制御と重力補償制御を行う。重力補償制御はマンピュレータの姿勢による重力の影響を補償する。

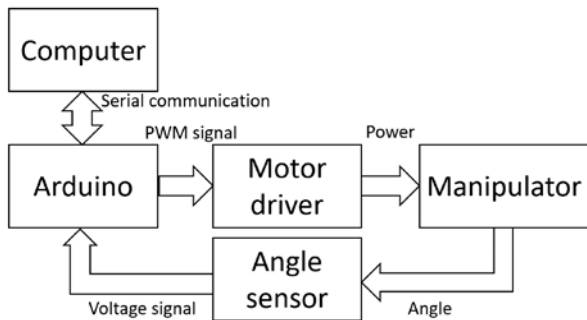


Fig. 6 Connection among devices

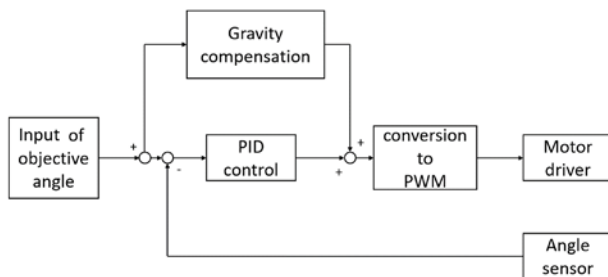


Fig. 7 Control block diagram of the manipulator

4.3 実験条件と結果

劣化推定実験の方法と条件について説明する。まずアームの角度を0度(水平)にしてそこから0.5秒おきにアームの目標角度を1度ずつ上昇させる。次にアームの目標角度が90度(垂直)になったら0.5秒おきにアームの目標角度を1度ずつ下降させる。再び目標角度が0度になった時点で再び0.5秒おきに角度を上昇させる。このサイクルを繰り返す。実験中は目標角度、現在角度、各PID成分、出力を常に記録する。この実験での負荷は、中心から二つ目の穴に重りを挿入した(最大トルク 282: [gf・cm])。

この実験を14時間行った。Fig. 8 に実験開始直後の出力の値を示す。縦軸は出力したPWM波形のduty比である、アームを起す方向は負の方向であるので出力も負方向に出ている。横軸は実験を開始してから時間を示す。今回の実験では出力のピーク値に注目したところ、実験開始直後の出力のピーク値の平均は約19.3%であった。次にFig. 9 に実験から14時間後の出力の値を示す。出力のピーク値の平均は約20.2%であった。この実験結果から実験開始直後に比べて14時間後の結果は同じ作業をしているにもかかわらず4.6%の出力上昇が確認できた。この後実験を停止して実験装置を確認したところモータの接手部分が摩耗して穴が広がっているのが確認できた。この出力上昇は接手の摩耗により増加し

た遊びによるものと考えられる。このことからマンピュレータの出力上昇による劣化の検出が確認できた⁽⁵⁾。モジュール交換実験ではマンピュレータの出力のピーク値を確認してモジュールの劣化を判断する。

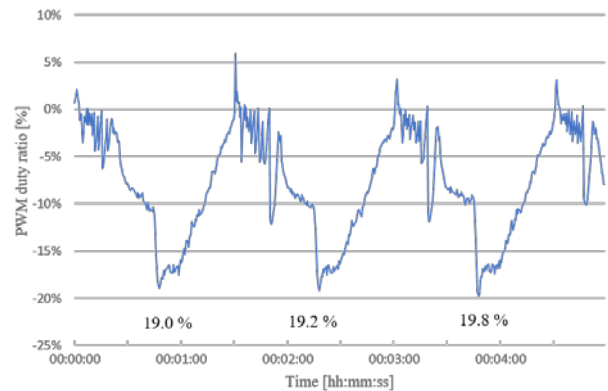


Fig. 8 Control output at the start of the experiment

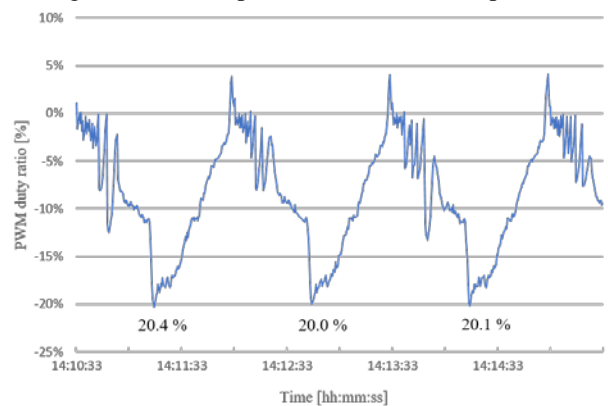


Fig. 9 Control output at 14 hours after starting the experiment

5. モジュール交換マンピュレータ

5.1 モジュール交換の手法

本研究では10台のロボットを使ったモジュール交換実験を行う。ここではその実験について説明する。まず10台の簡単なマンピュレータロボットを用意する。このマンピュレータは4個のモジュール部品で構成されており、本実験ではモジュールを部品として扱う。各モジュールには部品エージェントを割り当てる。これらのマンピュレータに同時に物の運搬作業を行わせ劣化を発生させる。この時、ロボットに行わせる運搬物の質量を変えるなど作業内容に差を付けることで劣化の進行速度に差がつくようにする。また10台のマンピュレータをモジュール交換するグループとしないグループの2つのグループに分ける。2つのグループの作業内容は同じとする。モジュール交換はグループ内で行う。モジュールの劣化つまりこの実験では制御量のピーク値が規定の値を超えたら、ピーク値の低い他のモジュールと交換する。このモジュール交換を行う規定の値はマンピュレータの作業量とモジュールのポジションを考慮して決定する。モジュール交換するグループでは、ピーク値がそのポジションの規定の値を超えるまで作業と交換を繰り返し行い、交換できなくなった時点でそのモジュールが所属するマンピュレータを停

止させる。交換しないグループでは規定の値を超えたモジュールが出た時点でそのモジュールが所属するマニピュレータの作業を停止させる。最終的に全てマニピュレータが停止した時のグループ全体を通した作業量を比較して、部品エージェントシステムの評価を行う。

5.2 モジュール交換用マニピュレータ

モジュール交換に対応するマニピュレータについて説明する。Fig. 10 にマニピュレータの機構図を示す。

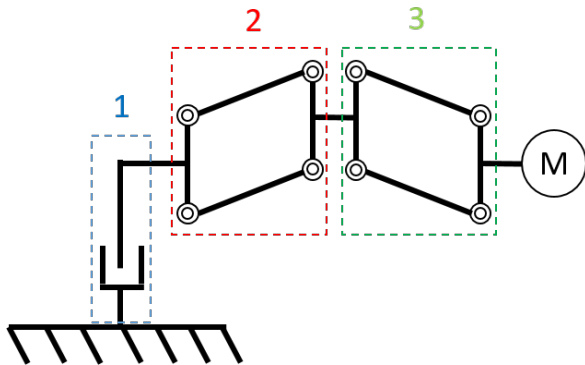


Fig. 10 Schematic plan of the manipulator

このマニピュレータは簡単な3自由度構造のマニピュレータであり、2つの四節リンク構造を持っているので手先の姿勢は常に変わらなくなっている。以後1番をベースモジュール、2番と3番をリンクモジュール、Mの部分を手先モジュールと呼ぶ。手先モジュールは物を運搬するために運搬物を保持する機能がある。Fig. 11 にマニピュレータのモデルを示す。



Fig. 11 Model of modularized manipulator

このマニピュレータの手先モジュールは電磁石になっており磁性のある物を持てるようになっている。実験では磁性のある金属球を運搬物とする。Fig. 10 の2番3番に該当するリンクモジュールは全く同じモジュールとなっている。これによりモジュール間でお互いに交換可能になるため交換の機会を増やすことができる⁽⁴⁾。基本的に本実験ではこのリンクモジュールを交換の対象とする。Fig. 12 に実際に制作したマニピュレータを示す。このマニピュレータを10台制作しモジュール交換実験を行う。

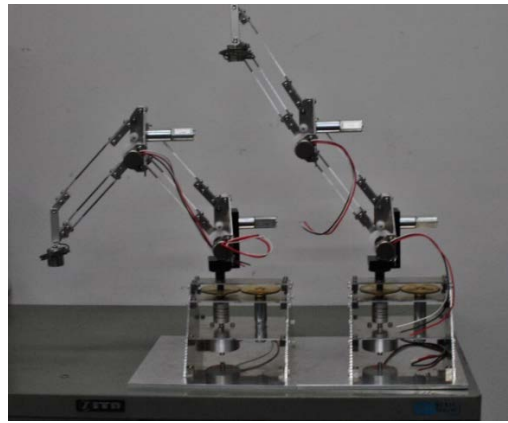


Fig. 12: Modularized manipulators

6. 議論

これまで説明してきたモジュール交換システム、劣化推定実験、モジュール交換マニピュレータの問題点と今後の展望について述べる。現状のモジュール交換システムでは部品エージェントのネットワーク上を移動する機能が無いため全てのライフサイクルのステージで使うことはできない。将来的にはネットワークエージェントを用いてモジュール交換を行うべきである。劣化推定実験では一自由度リンクを使って実験したが、3自由度でやる場合は関節の箇所によって負荷が変わるので劣化の進行度を定量的に測ることはできない。3自由度マニピュレータはそれ自身でまた劣化マップを作る必要がある。モジュール交換マニピュレータは10台全て手作りなので品質にバラつきがある恐れがある。そこで最初に軽い作業を行い出力のピーク値を各部品エージェントに記録する必要がある。

7. 結論

部品エージェントシステムを用いた機械部品のリユースの方法について提案した。機械部品の劣化の検知手法を簡単なマニピュレータを用いた実験で確かめた。機械部品のモジュール化してモジュール交換を行うしくみを提案し、複数台のモジュール化したマニピュレータ間でモジュール交換を行うしくみを考案した。モジュール交換に対応するマニピュレータを開発した。

参考文献

- (1) 環境省_使用済製品等のリユースの促進について <http://www.env.go.jp/recycle/circul/reuse/index.html> (2016/09/29 閲覧)。
- (2) 田中淳, 平岡弘之, “部品エージェントに支援される部品個体のライフサイクルシミュレーション～部品リユースを促進する要因～”, 精密工学会春季大会, pp. 665-666, 2009.
- (3) 堀井一樹, 平岡弘之, “部品エージェントによるユーザ間部品交換支援”, 精密工学会春季大会, pp. 927-928, 2012.
- (4) 福増悠貴, 平岡弘之, 部品エージェントを用いた部品交換-実験システムの構築-, EcoDePS2016, pp. 101-102, 2016.
- (5) Yuuki Fukumashi, Atsushi Nagasawa, Yoshinori Fukunaga, Hiroyuki Hiraoka, Exchange of modules among robot manipulators using part agents, EcoDesign2017, A7-2.