

論文内容の要旨

博士論文題目 製造業向けロボットを智能化する
自律システムアルゴリズムの研究

氏名 野田 哲男

(論文内容の要旨)

製造業分野では少品種大量の製品を高品質にライン生産してきたが、2000年代に入って多様化する市場ニーズに応えるため、人の知能をより積極的に援用する人セル生産方式を導入した。しかし人セル生産方式の生産能力はライン方式に比して低位で、作業者スキル由来の品質ばらつきは直近の課題であり、中長期的には労働問題および生産人口減少問題と無縁ではない。そこで本研究では、ライン方式と人セル方式のそれぞれのメリットを集めたセル生産ロボット方式を実現するためのロボット知能化技術に取り組んだ。市場ニーズの激変に対峙する選択肢を増やし、なにより景気にあわせて人を切るのではなくスイッチを切る方法を提供したいと考えた。その研究過程においてロボットが備えるべき知能として、とりわけ自律性が重要なことがわかった。本論文では製造業向けロボットに自律性を付与するシステムアルゴリズムを開発したことを述べた。

本研究全体を特徴づける独自性は、上述のごとくの志にもとづいて、そもそも何がどうなっていたらよいのかを原理原則に立ち返って探究していること、この考えにもとづきロボット知能化技術を器用なロボットを創るために使うのではなく、ロボットを使った生産システムのエンジニアリングコストを削減するために使っていることにある。

まず、人の自律性を特徴づける試行錯誤による習熟について、これを『未知の目的関数の最適化問題』であると定式化して解く独自の「能動型探索アルゴリズム」を提案した。このチャレンジングな問題設定に対してアルゴリズムを組み立て、その計算の中で、その試行で得られるであろう情報量・情報が得られないリスク量を同時に考慮して次の試行を最適化することにした。実戦的な例題を用いた実証実験の結果、熟

練者の調整で動作時間 1045.33[ms]のロボット軌道が、約 56%の 590.22[ms]に短縮したこと、さらに熟練者による加工機制御パラメータ調整などの同種の困難性を持つ問題への水平展開に成功した。

次に、組立工程で切望されるバラ積み状態の部品供給を解決するための自律システムアルゴリズムに取り組んだ。これはロボット学にとって『ランダム・ビン・ピッキングと呼ばれる未解決の古典的難題』そのものである。従来はこれを一つの大問題として解こうとしていたのに対し、複数の小問題に分割して解くというシステム解法と、その中で作業計画の試行錯誤を実行する「持ち替えグラフアルゴリズム」を提案した。これらの方法は、既に有りそうで実は無かった解き方である。また、実行可能解を網羅的に算出することに加え、システム設計のフロントローディングに利用することもエンジニアリングコストの削減に寄与する。実証システムにおいて、数[g]から数 10[g]の質量の実際の小型電機製品を構成する 11 種類以上の金属およびプラスチックの部品を、最速 2 秒台後半の時間間隔で指定された姿勢に整列せしめ、新規部品の追加に要するエンジニアリング時間は部品一つ当たり 0.5 日であることを確認した。

(論文審査結果の要旨)

本研究は、製造業が直面する課題の決を研究動機とし、次世代生産システムのキーテクノロジー確立を目指して、ライン方式と人セル方式のそれぞれのメリットを集めたセル生産ロボット方式を提案している。その中でロボットが備えるべき知能のうち自律性が重要なことをつきとめ、製造業向けロボットに自律性を付与するシステムアルゴリズム2種を開発、実証システムでその効果を確認している。本論文の主な成果は、以下に要約される。

1. ロボット知能化技術を器用なロボットを実現するために使うのではなく、ロボットシステムのエンジニアリングコスト削減のために使ったことは提案性がある。また、人が困難な課題に直面したとき試行錯誤で解決する行動が自律性の本質であると考え、これをアルゴリズム化しロボットに実装して物理作用としての実体化に取り組んでいる。
2. 試行錯誤を繰り返して習熟する行動を、未知の目的関数の最適化問題と定式化した上でこれを解くための「能動型探索アルゴリズム」を考案した点は提案性がある。同アルゴリズムの中で、次の試行で得られるであろう情報量と情報が得られないリスク量を同時に考慮して迅速に最適化を進行させる点には独創性がある。ロボット軌道の改良ほか、同様の試行錯誤が必要な複数の事例に水平展開し、具体的な数値により効果を確認していることから、有用性がある。
3. ロボット学にとっての長年の課題であったバラ積み状態の部品供給についての一般解を例示したことには提案性がある。その解法として、複数の小問題に分割して解くシステム解法と、作業計画の試行錯誤を実行する「持ち替えグラフアルゴリズム」は独創的である。実証システムにおいて、実際の製品を構成する部品を整列していること、従来手法との性能比較を実施していることで、有用性が確認できる。

以上のように、本論文はロボット学上の長年の課題を解決するとともに、製造分野において世界中で模索が続けられている次世代生産システムのための産業用ロボットの進歩に貢献している。よって本論文は、博士(工学)の学位論文としての価値があるものと認める。