

京都大学	博士 (工 学)	氏名	王 磊
論文題目	Studies on Interactive Knowledge Acquisition and Reuse for Teaching Industrial Robots (産業用ロボットの教示のための対話型知識獲得と再利用に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、熟練作業者によるロボット教示作業を効率化し、かつ教示作業に関する知識の再利用性・継承容易性にも配慮することで、ロボットと人間の双方に知の循環を可能にするためのシステム設計法に関する内容で、7つの章から構成されている。</p> <p>まず、1章で研究背景と論文の目的、論文構成と概要について述べている。多品種少量・変量生産に対応するための新しい生産スタイルとして注目されているロボットセル生産方式について概説している。そして、頻繁な機種切替えのニーズや多様な部品供給形態にフレキシブルに対応するためのセットアップ時のロボットへの作業教示の煩雑さとそれに要する時間の長大化が、生産リードタイム短縮のための障壁になることを指摘し、ロボット教示に要する手間を極力抑え、ロボット稼働による生産を迅速に立ち上げることの必要性についてまとめている。さらに、ロボット教示に時間を要している原因として、類似作業に対して逐一教示が必要なこと、さらにプレイバックモードで頻繁にプログラム修正を要すること、の2点を挙げ、これらを解消するためのシステム化の課題について述べている。また本論文で扱うアセンブリング作業について、その骨格構造とロボット教示に要する知識の分類についてまとめている。</p> <p>2章では本論文で用いた機械学習ならびに推論のための手法として、演繹学習 (EBL: Explanation-Based Learning) の手法と事例ベース推論 (CBR: Case-Based Reasoning) の手法について述べ、本論文の目的達成のために両手法を融合した新たな学習システムの必要性について言及している。このシステムによる問題解決のプロセスは、例題からの学習によりアセンブリングに必要な知識を獲得するためのフェーズと、獲得された知識の再利用によって新規のアセンブリング課題を解決するためのフェーズの2つに分けられ、前者をEBLの手法で、後者をCBRの手法により実現するものである。</p> <p>続いて3章では、2章で紹介した学習システムを組み込んだ、産業用ロボットの教示のための対話型知識獲得と再利用のためのシステムの提案を行なっている。本システムは、特定の作業課題に対して熟練教示者により作成されたロボットコマンド・シーケンスを入力として取り込み、システム内にあらかじめ用意されている生産設備・加工対象部品に関する情報や制約条件群と入力とを照合し、どのような制約がどういう状況下で優先づけられているか、どのように動的に制約の緩和が熟練者の中で行われているのかを説明づけ、この説明を一般化することで、別課題にも適用可能な一般化知識を自動獲得し、獲得した知識に基づいてロボットの動作プログラムを自動生成するシステムである。とくに、熟練者の教示例からの知識獲得のための手法として、これまでに提案されている演繹学習手法において、獲得すべき知識の表現レベルの規範として、セル生産ロボット固有の操作性規範を導入し、異機種のロボットによる実行可能性や、教示者にとっての獲得される知識の可読性 (可解釈性) に関する制約を新たに導入した手法を提案し、ロ</p>			

ボットによるアセンブリ作業を例とした知識獲得を実験結果とともに示している。

4章では、前章で提案した改良型の演繹学習手法を用いて、熟練教示者が教示作業時に用いている知識について、一般的なアセンブリ作業の階層的なモジュール構造に着目し、教示例以外の新規な教示作業課題に対して、獲得した知識を効率的に再利用していくために、教示例から学習すべき部分的作業を選別し、より再利用性の高いアセンブリ戦略の知識として選択的に一般化して獲得していくための手法を提案している。また一般的なアセンブリ作業を階層的に構造化表現し、各階層での抽象度のレベルに応じた知識のモジュール表現を考案し、獲得された知識を効率的に再利用できるようにするための知識の組織化について言及している。さらに、ロボットセル化に伴うチョコ停（設備が自動運転中に突然停止する故障で、オペレーターが容易に復帰させることが出来る故障）の発生時に、熟練作業者がプログラムを修正することでエラーから復旧させる際に行なうエラーリカバリのためのロボット教示の事例から、チョコ停回避のための汎用的かつ戦略的な作業計画に関する知識を獲得するための手法を提案し、実験結果とともに示している。

5章では、前章までに提案した学習手法により、システムが獲得した知識について、その後の新たな教示課題に対して効率的に知識を利用できるようにするための方法についての提案を行なっている。このために事例ベース推論の手法を導入し、新規の教示事例に対して、学習済みの教示事例との類似性を評価し、前章の手法によりモジュール型知識として獲得されている知識要素の適用可能な範囲を自律的に判断することで、複数の学習済み事例から、さまざまな知識を適宜組み合わせるための手法について提案し、プレーカボックスのアセンブリ作業の例題により実証している。とくに、完全に照合する学習済みの教示事例が見いだせない場合に、照合の条件を適宜緩和することで過去の参照事例の範囲を適応的に変化させて対応するための手法の提案を行なっている。

6章では、本論文のまとめとして、提案したシステムの有効性と将来展望について考察し、システム内に獲得される知識が単調に増加することに伴ってもたらされる副作用について整理し、本システムがこのような学習効用問題（learning utility problem）の解消に向けても有効であることについて考察している。さらに、製品の設計と製造の工程間での知識の共有の必要性について言及し、提案システムを介して、教示作業に要する知識を人から人へと伝承することができるだけでなく、製品の設計者と製造者の間での知識の共有促進にも寄与できることについて述べている。

7章は、最後のまとめであり、本論文で得られた成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、熟練作業者によるロボット教示作業を効率化し、かつ教示作業に関する知識の再利用性・継承容易性にも配慮することで、ロボットと人間の双方に知識の共有と再利用を可能にするシステムに関する内容で、7つの章から構成されている。

まず、1章で研究背景について述べた後、2章では本論文で用いた機械学習ならびに推論のための手法として、演繹学習の一つである説明による学習 (EBL: Explanation-Based Learning) の手法と事例ベース推論 (CBR: Case-Based Reasoning) の手法を概説し、両手法を融合した新たな学習システムの提案を行なっている。

続いて3章では、2章での提案に沿って、産業用ロボットの教示のための対話型知識獲得と再利用のためのシステムの提案を行なっている。本システムは、特定の作業課題に対して熟練教示者により作成されたロボットコマンド・シーケンスを入力として取り込み、システム内にあらかじめ用意されている生産設備・加工対象部品に関する情報や制約条件群と入力とを照合する。そしてシステムが、どのような制約がどのような状況下で優先づけられているか、どのように動的に制約の緩和が熟練者の中で行われているのかを説明づけ、この説明を一般化することで、新規の教示課題に対しても適用可能な一般化知識を自動獲得し、これを用いてロボットの動作プログラムを自動生成する。獲得知識の表現レベルの規範として、セル生産ロボットに固有な操作性規範を新たに導入し、異機種ロボットによる実行可能性や、教示者にとっての獲得される知識の可読性 (可解釈性) に関する制約を充足する表現での知識獲得手法を提案し、ロボットによるアセンブリ作業を例として実験結果とともに示している。

4章では、一般的なアセンブリ作業の階層的なモジュール構造に着目し、教示例以外の新規な作業課題に対して、獲得した知識を効率的に再利用していくために、教示例から学習すべき部分的作業を選別し、より再利用性の高いアセンブリの戦略的知識として選択的に一般化して獲得していくための手法を提案している。さらに、教示のプレイバック時に生産設備が停止してしまうようなエラーの発生時に、熟練作業者がプログラムを修正することでエラーから復旧させる際に行なうエラーリカバリ操作を教示事例として学習する手法を提案し、実験結果とともに示している。

5章では、前章までに提案した学習手法により、システムが獲得した知識について、その後の新たなアセンブリ課題に対して効率的に知識を利用できるようにするための方法に関する提案を行なっている。このために事例ベース推論の手法を導入し、新規の教示事例に対して、学習済みの教示事例との類似性を評価し、前章の手法によりモジュール型知識として獲得されている知識要素の適用可能な範囲を自律的に判断することで、複数の学習済み事例からの知識を適宜組み合わせるための手法について提案し、新規な教示課題に対して適応的に知識を組織化できることを例題により実証している。6章では、提案したシステムの有効性と将来展望について考察し、本システムが、教示知識の人から人への伝承のみならず、設計と製造をシームレスに繋げるための知識共有にも寄与することについて述べている。7章はまとめである。

以上本論文は、当該分野において新規性のある提案とその有効性確認のために試作システムによる実証実験を合わせて行なっており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年8月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。