

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K04827

研究課題名(和文) VR/AR技術を用いた学習者適応型ものづくり技能学習システムの開発

研究課題名(英文) Development of learner adaptive training system for craft skill enhanced by VR/AR technology

研究代表者

寺西 大(Teranishi, Masaru)

広島工業大学・情報学部・准教授

研究者番号：50237004

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：鉄工やすりがけの技能学習を題材に、学習者の工具の動作を接触計測して、学習者が気づきやすい形で「クセ」を特徴抽出し、これを自己組織化特徴マップ(SOM)によって分類・可視化を適応的に行う技能学習支援システムを開発した。また、動画視聴に基づく学習について、これを主体的に進めるため、タイミングに合わせて、CGによる擬人化応答で学習者にむけて関連情報を発話し、学習者の理解を促進する学習支援エージェントキャラクタを合成した低コストVR/AR環境による学習支援エージェント提示システムの基礎機能を開発した。実験の結果、同システムの機能が学習者間のインタラクションや学習意欲の向上に有効なことが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国の技術者養成を支えるイノベーターとしての資質を育み、学んだ知識と技能を社会に役立てようとする意欲を高めるために、小・中学生の段階からものづくり教育の充実が求められている。しかし現状では、そのための効果的な技能学習システムを欠いている。そのために、新しい観点や技術によるものづくり技能学習システムの開発が急務である。本研究ではこの要請に応えるべく、高度熟練者の作業を運動解析し、学習者と比較することで、形式知と暗黙知(勘やコツ・クセ)の抽出システムを開発した。また、視覚・聴覚情報を用いた仮想現実(VR)ならびに拡張現実(AR)の技術を導入した学習者適応型の技能学習システムを開発した。

研究成果の概要(英文)：A new learner adaptive training system for flat finishing skill has been developed. The system measures 4-D data of a learner's file motion and extracts motion features that the learner can recognize one's bad peculiarities easily. The features of the learners are classified certain peculiarity groups automatically and are effectively visualized peculiarity distribution by using Self Organizing Maps (SOM) technologies. A new active learning system based on motion picture materials has been also developed. The system implements low cost VR/AR learning environment by adding CG character assistant agents on the motion picture materials. The agents promote the learner understanding of the material by presenting related information with personified responses. Experimental results showed the effectiveness of the system by the fact that the system increased learners' motivations and inter-learners interaction.

研究分野：機械学習

キーワード：技能学習 技能伝承 技術教育 自己組織化特徴マップ クラスタリング モーション解析 VR AR

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1)本研究に関連する国内の研究動向及び位置づけ

イノベーターとしての資質が育まれる技術教育の充実が叫ばれ、近年、技術教育の学術団体は「①技術に関わる専門知識、②製品設計・製作の技能、③授業する力」の力量認定を始めた。しかしその認定水準に到達させるための技能学習システムは未だ開発されていない。その開発が困難な理由は、「製品製作の技能」の向上には暗黙知や学習者のクセの可視化・気づきが重要であり、従来の静止画や動画だけで構成された教材は一方向的で追体験性が乏しく、学習者に伝達させることが困難なためである。そこで、道具の操作において、運動情報と感覚情報の統合処理が不可欠である研究結果を踏まえ、運動情報と感覚情報を可視化・拡張現実化する没入型の技能学習システム開発が考えられる。そのような目的において現在、力覚・触覚情報を入出力させる力覚フィードバック装置が開発され、シミュレータによる医療訓練やスポーツ訓練などに用いられているが、これらの装置は高価であり、そのままの転用では導入コストの面でものづくり教育の現場に広く普及させることは難しく、安価な実装化が急務である。

(2)国外の研究動向及び位置づけ

先進国でも、技術教育プログラムの質の保証が課題となっており、認証評価基準に基づいたり、国家試験による評価に基づいたりするものとなっている。しかし、認証評価制度のアメリカ合衆国を実踏調査した結果、机上のアイデアは求められても、緻密な製作は求められていなかった。現在、世界的にもものづくりの現場は設計と製造の現場が遊離し、製造現場に精通した技術者はほとんど存在しないことが推察される。我が国でも製造現場の衰退が進み、熟練者の技能伝承が困難になりつつあり、運動情報を可視化・拡張現実化し科学的に伝えようとする技能学習システムの例は少なく、新しい取り組みといえる。

(3)これまでの研究成果を踏まえ着想に至った経緯

今日、我が国の小・中学生においてもものづくり嫌いが増えている。その一因として不器用意識の高まりがある。その原因に、指導者の不適切な指導によるけがや失敗があり、ものづくり学習の場において、指導者の力量不足が挙げられる。その背景には、ものづくり技能学習のための効果的な学習体験システムがないことがある。近年、教員養成大学・学部では、「製品の製作技能」を習得していない理論研究者が指導することが多く、学習者に「製品の製作技能」の暗黙知を伝えることができない実態がある。その学生たちが小・中学校の教員となって子どもたちを指導するため、子どもたちに適切な知識と技能が身につかず、ものづくりが嫌いになっていくという「負の連鎖」が始まっている。その原因改善を図ることが我が国の技術力を支える人材育成の本質であると推察する。

2. 研究の目的

我が国の技術者養成を支えるイノベーターとしての資質を育み、学んだ知識と技能を社会に役立てようとする意欲を高めるために、小・中学生の段階からものづくり教育の充実が求められている。しかし現状では、効果的な技能学習システムを欠いており、新しい観点や技術によるものづくり技能学習システムの開発が急務である。

本研究では、(1)高度熟練者の作業の運動解析を行い、学習者のそれと比較することで、自己組織化特徴マップ(SOM)による形式知と暗黙知(勘やコツ・クセ)の抽出システムを開発する。得られた知見をもとに、(2)視覚・聴覚情報を用いた仮想現実(VR)ならびに拡張現実(AR)型の技能学習システムを開発し、それらを小・中学校現場に導入できるレベルに(3)低コスト実装する。

3. 研究の方法

(1)接触計測型技能学習システムの基本機能の設計と開発

本研究では図 1 に示す技能学習システムの基本機能を、下記の方針で設計・開発する。

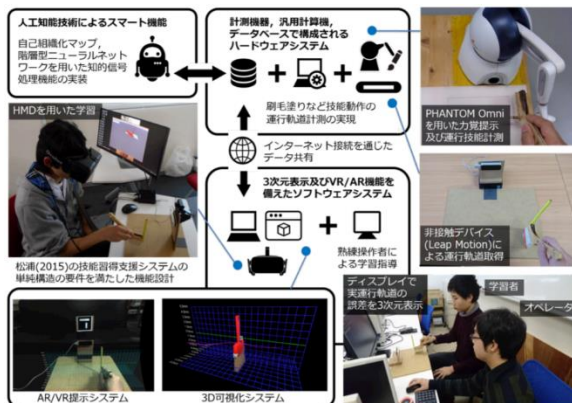


図 1. 技能学習システムの構成

技能学習システムは、入力(モニタリング)、システム内部処理・分析・戦略選択、出力(フィードバック)という単純構造で捉えることができる。接触型モーションセンサデバイスを用いた技能訓練支援システムには力覚フィードバック装置を使用し、エンコーダスタイラス部に工具を取り付ける。

(2)VR/AR による形式知と暗黙知の提示・学習方法についての検討

工具を操作する手元とその効果を仮想提示するディスプレイを交互に見るとするのは現実的ではないため、仮想提示にはヘッドマウント VR ディスプレイ(HMD)の利用を想定している。HMD に搭載したカメラにより仮想と現実を重畳表示し、実際に加工しているかのように見せることを目標とする。また本システムを開発する要因となった学習容易性及び継続学習性を支援するため、VR/AR 表示に加えてゲーム要素の導入を考えている。ゲームとして面白ければ継続学習性に寄与し、遊んでいる内に学習が進むと考えられる。たとえば、はけ塗り技能学習では、塗りの適切さに応じて VR/AR 画面でインクの色が変わるといった要素を導入し、学習容易性の向上を図る。また、適切な暗黙知の抽出計算・提示のために汎用 GPU(GPGPU)ワークステーションを導入する。

(3)システムの低コスト実現手法の開発・効果試験

上記のようにシステムの基本機能を確立したら、工具の動作を計測する高価な接触型力覚フィードバック装置を、低価格な非接触型モーションセンサデバイスに置き換えてシステムの低コスト化を図る。非接触型モーションセンサデバイスは、赤外線照射で指や工具の動きを捉えることができる反面、対象物の反射特性などで計測精度の低下が懸念される。この問題を克服するために、工具取り付けなどの装置面での工夫と、接触型装置との同時計測によるキャリブレーションなどの工夫をして、接触型装置と同程度の計測精度を維持する。また、VR/AR 表示に用いる HMD は、装着者の視界が外界と遮断されるため、転倒や衝突などの危険性が考えられる。システム完成段階では、これら HMD を、外界が視認できる眼鏡型表示装置に置き換えることも検討する。

4. 研究成果

(1)接触計測型技能学習システムの基本機能の設計と開発

システムの基本機能を、次のような方針で設計・開発した。まず入力系機能の実装と検証として、接触型モーションセンサデバイスを用いた技能訓練支援システムでは平面仕上げのための鉄工やすりがけの技能学習を題材とした実験結果から、本装置は、後述の学習方法の特徴を得るには十分な計測精度であることが確認された(図 2)。

(2)VR/AR による形式知と暗黙知の提示・学習方法についての検討

暗黙知の提示方法として、学習者の「クセ」を表わす個人特徴として、やすりがけ主方向における速度変化を特徴量として抽出し、熟練者のそれとの差分を提示することで、学習者がクセに気付きやすくなるよう工夫した。さらに、この特徴量を無境界型自己組織化特徴マップ(SOM)と自動クラスタリングの組合せにて自動分類することで、学習者集団のクセの典型パターンを大分類でき、かつ教授者が集団の傾向を把握しやすいようにするための分類・可視化を行う自己組織化特徴マップ(SOM)を導入した。また自動クラスタリング機能の見地から SOM の構造について検討し、無境界型のトーラス型 SOM や球面型 SOM の導入を進めた。また、自動クラスタリング機能についても 3 つの異なる手法を適用し、その性能比較ならびに改良を行った(図 3)。



図 2. 平面仕上げ技能習得支援システム計測部の外観

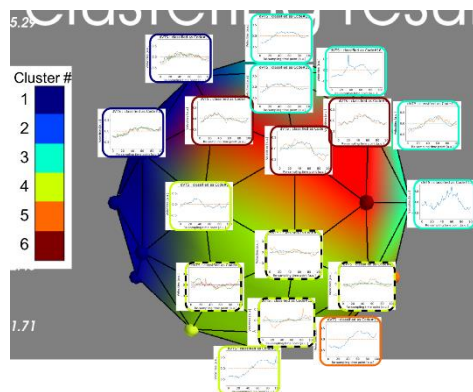


図 3. 球面 SOM によるクセの分類と可視化

動画視聴に基づく学習について、これを主体的に進めるための工夫をした。具体的には、動画コンテンツのタイミングに合わせて、CG による擬人化応答で学習者にむけて関連情報を発話し、学習者の理解を促進する学習支援エージェントキャラクタを合成した低コスト VR/AR 環境による学習支援エージェント提示システムの基礎機能を開発した。コメント機能とテロップ機能を付加実装した実験の結果、コメント機能が学習者間のインタラクシ

ョンを高め、テロップ機能が学習者の学習意欲の向上に有効なことが確認された(図 4)。

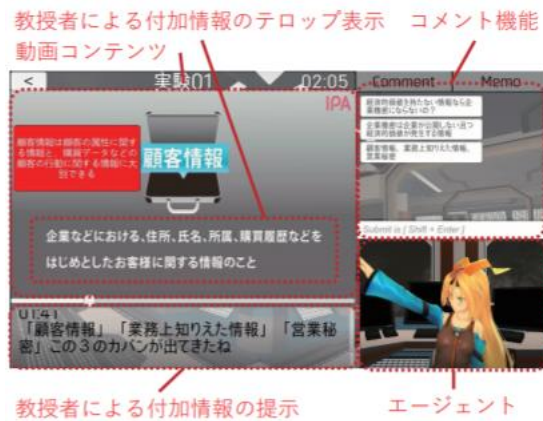


図 4. エージェントを用いた動画視聴に基づく学習システム

(3)システムの低コスト実現手法の開発・効果試験

工具の動作を計測する高価な接触型力覚フィードバック装置を、低価格な非接触型モーションセンサデバイスに置き換えてシステムの低コスト化を図るための準備を開始した。現行の非接触型モーションセンサデバイスについて、その使用環境を整えて、基本性能の計測を開始した。非接触センサで置き換えた場合の検知範囲の違い、工具位置の検出精度について調査した。その結果、検知範囲については接触型デバイスと同じ範囲をほぼカバーできるが、一部工具の角度の検出などに課題のあることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nobuto Fujimoto, Shimpei Matsumoto, Masaru Teranishi, Hidetoshi Takeno, Tatsushi Tokuyasu	4. 巻 22
2. 論文標題 Examining Efficient Instructional Methods for Computer Aided Brush Coating Skill Training System in Elementary and Secondary Education	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 265-275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-017-0355-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 寺西 大、松本 慎平、竹野 英敏	4. 巻 54
2. 論文標題 技能学習における動作センシングデータのVR提示と機械学習による特徴分類	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本設計工学会誌	6. 最初と最後の頁 648-655
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 0件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 寺西 大、松本 慎平、竹野英敏
2. 発表標題 鉄工やすり平面仕上げ動作学習における工具姿勢に基づく個人特徴分類
3. 学会等名 第62回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaru Teranishi, Shinpei Matsumoto, Nobuto Fujimoto and Hidetoshi Takeno
2. 発表標題 Peculiarity Classification of Flat Finishing Motion based on Tool Trajectory by using Self-Organizing Maps
3. 学会等名 15th International Conference on Distributed Computing and Artificial Intelligence (DCAI'18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaru Teranishi, Shinpei Matsumoto, Nobuto Fujimoto and Hidetoshi Takeno
2. 発表標題 Development of Flat Finishing Skill Training System based on Personal Peculiarity Classification of Tool Trajectory
3. 学会等名 3rd International Conference on Business Management of Technology (BMOT 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺西 大, 松本 慎平, 竹野英敏
2. 発表標題 鉄工やすり平面仕上げ技能習得支援のための工具軌道の個人特徴分類
3. 学会等名 平成30年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺西 大, 松本 慎平, 竹野英敏
2. 発表標題 トラス形自己組織化特徴マップを用いたやすりがけ技能学習時の動作傾向分類
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2018(SS12018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺西 大, 松本 慎平, 竹野英敏
2. 発表標題 トラス型自己組織化特徴マップを用いたやすりがけ技能学習時の工具軌跡に基づく特徴分類
3. 学会等名 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本慎平
2. 発表標題 人工知能技術と研究活動との接点
3. 学会等名 HiBiS AI・IoT研究部会平成30年度第1回部会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本慎平
2. 発表標題 IoTの現状と広島県で考えられる方向性
3. 学会等名 広島県情報産業協会 第1回技術委員会IoT研究部会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 関涼佑, 松本慎平
2. 発表標題 主体的な動画学習のためのエージェント利用に関する研究
3. 学会等名 2018 IEEE SMC Hiroshima Chapter 若手研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岸直哉, 関涼佑, 松本慎平
2. 発表標題 動画学習でのエージェント利用に関する実験方法の検討
3. 学会等名 日本経営システム学会イノベーション指向データ分析研究部会2018年度第3回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神垣智大, 岩本朋也, 松本慎平
2. 発表標題 STEAMによる学習教材のためのロボットシミュレータを課題としたプログラミング学習環境の構築
3. 学会等名 教育システム情報学会2018年度学生研究会発表会講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷山明日希, 関涼佑, 松本慎平
2. 発表標題 主体的な動画学習のためのエージェント提示システムの基礎開発
3. 学会等名 教育システム情報学会2018年度学生研究会発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺西 大, 松本 慎平, 藤本 宣人, 竹野 英敏
2. 発表標題 トラス型自己組織化特徴マップを用いた鉄工やすり平面仕上げ動作学習における個人特徴分類
3. 学会等名 第 61 回 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaru Teranishi, Shinpei Matsumoto, Nobuto Fujimoto and Hidetoshi Takeno
2. 発表標題 Personal Peculiarity Classification of Flat Finishing Skill Training by using Torus type Self-Organizing Maps
3. 学会等名 14th International Conference on Distributed Computing and Artificial Intelligence (DCAI'17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺西 大, 松本慎平, 竹野英敏
2. 発表標題 トラス形自己組織化特徴マップを用いた鉄工やすり平面仕上げ動作の個人特徴分類と可視化
3. 学会等名 平成 29 年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaru Teranishi, Shinpei Matsumoto and Hidetoshi Takeno
2. 発表標題 Flat Finishing Skill Training Software System Based on Personal Peculiarity Classification
3. 学会等名 The 16th International Conference on Intelligent Software Methodologies, Tools and Techniques(SoMeT-2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺西 大, 松本慎平, 竹野英敏
2. 発表標題 トラス型自己組織化特徴マップを用いた やすりがけ技能学習時の動作傾向分類
3. 学会等名 第 18 回システムインテグレーション部門講演会(SI2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaru Teranishi, Shinpei Matsumoto, Nobuto Fujimoto and Hidetoshi Takeno
2. 発表標題 Peculiarity classification of flat finishing motion for skill training by using torus type self-organizing maps
3. 学会等名 23rd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 23rd 2018) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaru Teranishi, Shinpei Matsumoto, Nobuto Fujimoto and Hidetoshi Takeno
2. 発表標題 Peculiarity Classification of Flat Finishing Motion Based on Tool Trajectory by Using Self-organizing Maps Part 2: Improvement of Clustering Performance based on Codebook Vector Density
3. 学会等名 16th International Conference on Distributed Computing and Artificial Intelligence (DCAI'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaru Teranishi, Shinpei Matsumoto and Hidetoshi Takeno
2. 発表標題 Peculiarity Classification of Flat Finishing Skill Training by using Torus type Self-Organizing Maps with Cluster Maps
3. 学会等名 4th International Conference on Business Management of Technology (BMOT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaru Teranishi, Shinpei Matsumoto and Hidetoshi Takeno
2. 発表標題 Comparative Research on SOM with Torus and Sphere Topologies for Peculiarity Classification of Flat Finishing Skill Training
3. 学会等名 28th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺西 大, 松本慎平, 竹野英敏
2. 発表標題 鉄工やすり平面仕上げ技能習得支援のための無境界型SOMによる学習者の動作特徴分類
3. 学会等名 2019年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaru Teranishi, Shimpei Matsumoto and Hidetoshi Takeno
2. 発表標題 Comparative Research on SOM with Automatic Clusterings for Peculiarity Classification of Flat Finishing Skill Training
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (SICE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺西 大, 松本慎平, 竹野英敏
2. 発表標題 平面仕上げ技能習得のための鉄工やすり速度に基づく学習者特徴の無境界型SOMを用いた分類
3. 学会等名 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2019 (SSI2019)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	松本 慎平 (Matsumoto Shimpei) (30455183)	広島工業大学・情報学部・准教授 (35403)	
研究 分担者	竹野 英敏 (Takeno Hidetoshi) (80344828)	広島工業大学・情報学部・教授 (35403)	