

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 29 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01084

研究課題名(和文) タブレット端末とポータブルな力覚デバイスによる仮想実験環境と学習支援システム

研究課題名(英文) Virtual Laboratory and Learning Support System based on Smart Device and Haptic Interface

研究代表者

松原 行宏 (Matsubara, Yukihiro)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：30219472

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：タブレット端末を用いて、初等力学(特に滑車の題材)の学習に焦点をあてた学習者自らが発見的学習行為を行える学習支援システムや仮想実験環境の設計を試みた。また発見的学習を促すための一つの要素として「力覚」に注目し、タブレット端末上で仮想実験が行えることを重要視した。具体的に、定滑車3個、動滑車3個までが扱えるプロトタイプシステムが完成し、実践ならびに評価実験を行った結果、一定の学習効果が認められた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focused on “smart device and haptic interface”, and proposed VR based experience-oriented interactive learning environment (ILE) which enable the learner to construct the experiment space freely. We selected “the pulley and primitive dynamics knowledge” as the learning domain, and developed the prototype systems, which learner can use at most three fixed pulleys and at most three movable pulleys. Through the practical study and experiment, we evaluated the several prototype systems and summarized the characteristics of the each system.

研究分野：知識工学, 教育工学

キーワード：教育工学 人工知能 バーチャルリアリティ 力覚提示デバイス タブレット端末

1. 研究開始当初の背景

ヒトが学習を行うのは直面した事象に関してそれは何故そのようになるのかといった知的な好奇心、即ち内発的動機に基いている側面があることが言われている。内発的動機に基づく学習行為は極めて本質的であり学習支援システムにおいて近年あらためて注目されている。このような内発的動機を喚起するために、従来から学習者自らが仮説を立て、それを色々な手段を用いて検証・確認したり、新たな仮説をたてたりすることにより理解を深めていく「発見的学習」の方法が注目されている。そこでICTを用いて発見的学習を支援することは極めて重要であり多くのシステムが提案されている。また近年のVR技術の発展により、リアリティを持たせたシミュレーションシステムの開発が可能となり、これは発見的学習のサポートツールとして有益である。用意された題材(環境)に対して、学習者がパラメータの設定や行為を行うことにより、対象世界の振る舞いを観察して仮説を検証することができる。これらのシステムはパーソナルコンピュータを用いて開発されており、学校等ではPC教室などに配置されているデスクトップ型PCやノート型PC等で利用できつつある。

一方、近年はAndroidタブレットやiPadなどのタブレット端末やタブレットPCが注目を集めており、パーソナルコンピュータの本体やディスプレイ、キーボードやマウスなどが全て一体化されていること、画面上を指でタッピングしたりなぞったりするだけでシステムへの入力(意思伝達)が可能であることなど可搬性や操作の容易性、直感的なわかりやすさなどから、教育現場で注目されている。この点に着目して総務省ではフューチャースクール推進事業等でモデル校を選定して、タブレット端末を用いた学習教育活動の展開を図っており、また多くの研究者がタブレット端末上で活用できるコンテンツの開発を試みている。しかしながら、「発見的学習」に着目して学習者が能動的に活動する仮想実験環境の開発や、実際の力覚を提示して仮想実験を体験することができるシステムの開発はまだ見当たらない。

2. 研究の目的

そこで本研究課題では、タブレット端末を用いて学習者自ら発見的学習行為が行える学習支援システムや仮想実験環境のプラットフォームの設計、特に理科・初等力学に焦点をあてプロトタイプシステムの設計を試みた。また「発見的学習」を行うために初等力学における実際の実験を再現するため人間の触覚の中でも「力覚」を伴わせてタブレット端末上で仮想実験が行えることを重要視し、そのシステムの基本的設計ならびにプロトタイプシステムの開発と評価を目的とした。

3. 研究の方法

本研究課題では、前述した研究目的を達成するため、以下の項目を重点的に検討・開発した。

- (1) タブレット端末への力覚提示デバイスの導入方法の検討
- (2) タブレット端末で初等力学「滑車を用いた力のはたらきと仕事」の題材に関するVR実験室の検討、ならびに学習者が自由に実験環境を設計できるためのメカニズムの検討
- (3) 基本システムの設計(自由に設計することが可能なプロトタイプシステムの検討(定滑車2個、動滑車1個))
- (4) 教育実践用プロトタイプシステムへの拡張(定滑車3個、動滑車3個)
- (5) 実践の実施とシステムの定量的評価

4. 研究成果

- (1) タブレット端末への力覚提示デバイスの導入方法の検討

タブレット端末への力覚提示デバイスの導入として田中らの研究(田中, 佐藤, 原田ほか: タッチパネルのための力覚インタフェース SPIDAR-tablet とその力覚計算方法の開発, 日本VR学会論文誌, 16(3), pp.363-366, 2011.)を参考にした。これに基づき、さまざまなタイプのタブレット端末へ適用可能な反力デバイス(力覚提示デバイス)を制作し、タブレット端末とのデータ通信、一体化させた設置の方法を構築した(図1)。

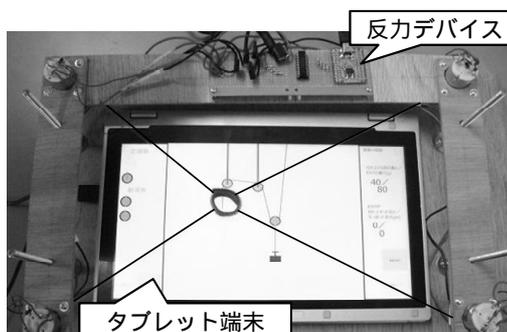


図1 力覚提示デバイスの作成

- (2) タブレット端末で初等力学「滑車を用いた力のはたらきと仕事」の題材に関するVR実験室の検討、ならびに学習者が自由に実験環境を設計できるためのメカニズムの検討

平成24～26年度の基盤研究において、定滑車や動滑車、おもり、糸、天井や床の設定等を表現したARマーカを自由に机の上に配置してそれを簡易カメラで撮影することによってコンピュータでそれをリアルタイ

ムに解釈し、学習者が想定した滑車の仮想実験環境を構築することを可能とした。本研究課題では、平成27年度にタブレット端末の画面上にある定滑車や動滑車を指でドラッグしながら仮想実験環境内の画面に適切に配置することにより、学習者が想定していた滑車システムの体験を可能とするメカニズムを構築した。また画面内に実現した滑車システムの糸を、その画面の上で直接操作する形態で実際に糸を指先で引っ張る方向に計算式通りの力を感じさせることができるようになった。そのための仕組みとして、具体的には図2に示すモジュールを構築した。

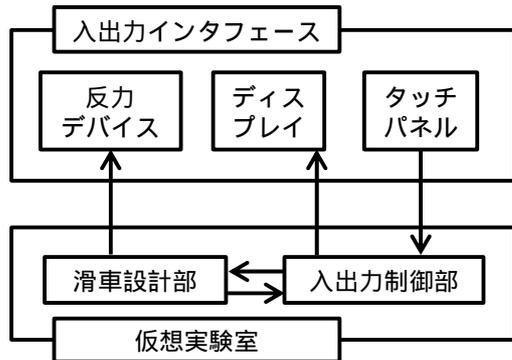


図2 VR実験室のフレームワーク

(3) 基本システムの設計（自由に設計することが可能なプロトタイプシステムの検討（定滑車2個、動滑車1個））

平成27年度は上述のフレームワークを構築し、第1ステップの基本システムとして、定滑車2個、動滑車1個の組み合わせにおいて、自由に配置して設計することが可能となるプロトタイプシステムを完成させた(図3)。その際、オブジェクトをどの位置においても接続関係が一意に決定して動作するように工夫し、また最終的には同じ配置状況になるとしてもオブジェクト（滑車）を配置する順序が異なっても正確に認識できるようなメカニズムを構築した。また機能評価実験により正確に動作することを確認した。

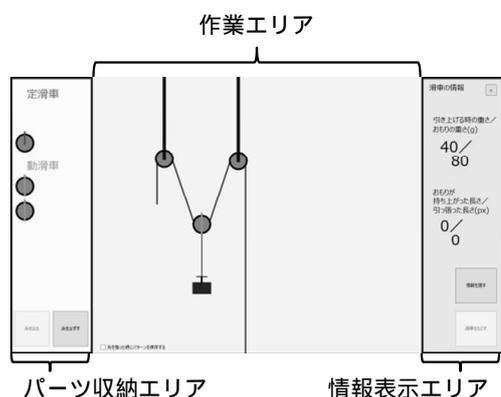


図3 構築したシステム: タブレット画面上での滑車の配置と滑車実験環境の例

(4) 教育実践用プロトタイプシステムへの拡張（定滑車3個、動滑車3個）

平成27年度で、第1ステップの基本システムとして、定滑車2個、動滑車1個の組み合わせで動作するシステムの設計と実装が完成した。そこで平成28年度は、そのシステムを、定滑車3個、動滑車3個まで扱えるように拡張を行った。拡張システムが完成したので、原理的にはそれ以上の個数の滑車も扱えるようになった。現在中学校や高等学校で使用されている教科書等を調査すると、例題や練習問題として扱われている問題は、定滑車3個、動滑車3個までで表現できるよう扱われているので、完成したシステムにより一定範囲の課題に対応できるようになった。

(5) 実践の実施とシステムの定量的評価

平成28年度ではプロトタイプシステムを拡張し、実際の学習場面で活用できるように一定数の定滑車と動滑車を扱えるように開発した。これにより実践研究を行う準備が完了した。そこで平成29年度は大学生を被験者として評価実験を行った。具体的には1) 実物の滑車キットを用いて実験するケース、2) 平成24～26年度の基盤研究で完成したシステムの利用、3) 本研究課題で開発したシステムの利用、を設定して比較を行った。その結果、3) 本研究課題での提案システムでは2)と比べて1)の実物の滑車キットでのケースに近い学習者の動作、感覚を伴う体験ができることを確認できた。また1)と比べて3)ではユーザビリティに優れ、多くの学習課題を短時間で能動的に取り組めることが確認でき発見的学習を支援できることが示唆された。中高生を対象とした実践は実現できなかったが、評価実験により一定の効果が認められたので今後は実践的な利用と評価への展開が可能になった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計6件)

河野貴範, 松原行宏, 岡本勝: 力覚及び擬似力覚提示機能を持つ漢字学習支援システムに関する研究, 日本教育工学会論文誌, Vol.41, No. Suppl, pp.77-80, 査読有, 2018-02.

京極瑞生, 岡本勝, 松原行宏: ヘッドマウントディスプレイと速度制御型インターフェースを用いたドップラー効果の仮想体験学習手法, 日本感性工学会論文誌, Vol.16, No.3, pp.379-386, 査読有, 2017-09.

石村司, 岡本勝, 松原行宏: スマートフォンを用いた無機化学のAR型仮想実験

環境の開発, 教育システム情報学会誌, Vol.34, No.3, pp.274-279, 査読有, 2017-07.

岡本勝, 松原行宏: 拡張現実感技術を用いた仮想環境での無機化学学習支援手法, 画像ラボ, Vol.27, No.9, pp.17-23, 査読有, 2016-09.

檜谷直樹, 岡本勝, 松原行宏: タブレット PC とポータブルな反力デバイスを用いた滑車の仮想実験環境, 教育システム情報学会誌, Vol.32, No.3, pp.220-225, 査読有, 2015-07.

松原行宏: タブレット端末と力覚提示デバイスの融合による学ぶツール, 人工知能学会誌, Vol.30, No.4, pp.490-493, 査読有, 2015-07.

[学会発表](計22件)

中野美登里, 松原行宏, 岩根典之, 岡本勝: モバイル環境におけるメンタルローテーション課題のためのAR型学習支援システム, JSiSE Research Report, Vol.32, No.7, pp.31-37(Web), 2018-03.

岡本勝, 松原行宏: 非接触モーションキャプチャ技術を用いたトレーニングプロセスの検討, 人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B509-05, pp.23-26, 2018-03.

M.Okamoto, T.Ishimura, Y.Matsubara: AR-based Inorganic Chemistry Learning Support System using Mobile HMD, Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education (ICCE2017), pp.511-513, 2017-12. (Christchurch, NZ)

T.Kono, Y.Matsubara, M.Okamoto: Kanji Learning Support with Feedback based on Haptic and Pseudo-Haptic, Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education (ICCE2017), pp.499-501, 2017-12. (Christchurch, NZ)

M.Nakano, Y.Matsubara, M.Okamoto, N.Iwane: Augmented Reality based Learning Support System for Mental Rotation, Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education (ICCE2017), pp.487-489, 2017-12. (Christchurch, NZ)

加藤智也, 松原行宏, 岡本勝, 岩根典之: 反発係数と物体の運動を題材とした力覚を伴うゲーム型学習支援システム, 信学技報, ET2017-41, Vol.117, No.256, pp.5-8, 2017-10.

岡本勝, 松原行宏: VR/AR技術を用いたHMD型仮想化学実験学習支援環境, 人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B506-01, pp.1-4, 2017-03.

國村圭太, 岡本勝, 松原行宏: タブレット PC を用いた滑車の仮想実験環境における比較実験を考慮したインタフェースの提案, 信学技報, ET2016-67, Vol.116, No.351, pp.5-10, 2016-12.

谷口昂平, 岡本勝, 松原行宏: 実画像を用いた仮想環境における避難経路探索に関する検討, 信学技報, ET2016-66, Vol.116, No.351, pp.1-4, 2016-12.

岡本勝, 石村司, 松原行宏: モバイル型AR無機化学学習支援環境を用いた学習過程の検証, 人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B505-04, pp.16-19, 2016-11.

T.Ishimura, M.Okamoto, Y.Matsubara: Smartphone Based Inorganic Chemistry Learning Support System using AR Approach, Proceedings of the 13th International Conference on Industrial Management (ICIM2016), pp.502-508, 2016-09. (Hiroshima, Japan)

M.Kyogoku, M.Okamoto, Y.Matsubara: Development of Velocity Control-Based Interface for Virtual Doppler Effect Experience, Proceedings of the 13th International Conference on Industrial Management (ICIM2016), pp.509-515, 2016-09. (Hiroshima, Japan)

京極瑞生, 岡本勝, 松原行宏: HMDを活用したドップラー効果学習支援環境の構築と検証, 人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B504-01, pp.1-4, 2016-7.

松原行宏, 山田直輝, 岡本勝: 学習支援システムにおけるタブレット PC と力覚提示デバイスの有効性, 日本人間工学会誌, Vol.52, Supplement, pp.184-185, 2016-6.

山田直輝, 松原行宏, 岡本勝: 複数のタブレット端末とポータブルな力覚提示デバイスを用いた力学の学習支援システム, 人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B503-03, pp.12-17, 2016-3.

國村圭太, 岡本勝, 松原行宏: タブレット PC と力覚提示デバイスを用いた滑車の仮想実験環境 -比較実験と自由配置における学習過程-, 信学技報, ET2015-124, Vol.115, No.492, pp.171-174, 2016-3.

岡本勝, 石村司, 松原行宏: 簡易HMDを活用した学習支援システムの検討, 人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B502-02, pp.5-8, 2015-11.

松原行宏: 新しいデバイス技術を用いた学習支援の可能性に向けて, 信学技報, ET2015-46, Vol.115, No.285, pp.17-20, 2015-10.

三島拓也, 岡本勝, 松原行宏: 重畳表示映像の速度調整を考慮したAR型テニススキル学習支援手法の提案, 信学技報,

ET2015-35 ,Vol .115, No.223, pp.19-24,
2015-9.

山田直輝,松原行宏,岡本勝:タブレット間通信とポータブルな力覚提示デバイスを用いた力学学習支援システム-力覚体験時の知覚効果の検証-,人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B501-01, pp.1-4, 2015-7.

- 21 京極瑞生,岡本勝,松原行宏:ドップラー効果を題材とした速度制御型仮想実験環境の構築,信学技報,ET2015-18, Vol.115, No.74, pp.43-48, 2015-06.
- 22 岡本勝,松原行宏:拡張現実感技術を用いた理科学習支援環境,日本教育工学会研究報告集, Vol.JSET15-2, pp.1-4, 2015-05.

〔図書〕(計1件)

人工知能学会監修,松原行宏,岡本勝,分担執筆:人工知能学事典,15-1 教育における仮想現実/人工現実,共立出版, 2017-08.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等: なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

松原 行宏 (MATSUBARA YUKIHIRO)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 3 0 2 1 9 4 7 2

(2)研究分担者: なし

(3)連携研究者: なし