

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 12 日現在

機関番号：52201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350369

研究課題名(和文) 力覚装置を仮想現実を導入した実技教育装置の開発

研究課題名(英文) Development of practical skill education system in virtual reality by haptic

研究代表者

石原 学 (ISHIHARA, MANABU)

小山工業高等専門学校・電気電子創造工学科・教授

研究者番号：20211047

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：仮想現実を力覚を利用して実現する教材開発を行った。力覚装置のPhantom omnを2台使用するシステムで、はんだ付けを仮想現実内で実現した。これは、片手にはんだこてをもう片方にはんだを持つことではんだ付けの再現を行った。システム要素として公表されている、はんだ付けのテクニックを基に構築している。実際の運用を行った結果、作業者の手首の固定が出来ないという問題以外は好評であった。また、操作時の力配分を計測するために精密測定用にDesktopを利用した。次に、フラットパネル面にアクチュエータで変化を与えることで、凹凸の変化を与えたり、硬さを表現できることを実験から示した。

研究成果の概要(英文)：Soldering work by skilled workers and unskilled workers is also being analyzed. (1) For workers having a certain amount of experience, there is diversity of right wrist motions. (2) For beginners, various soldering iron insertion angles and motions of each wrist, and a tendency for instability are observed. (3) For skilled workers, the soldering iron insertion angle and wrist motions are stable, and soldering is completed in nearly a single operation. We examined methods of sensing roughness with haptic displays. Representation of paper quality applies to dictionaries, notebooks and other every-day items, not just calligraphy and washi paper (Japanese paper). We believe our experimental results provide elements of the basic information necessary for haptic devices to represent such roughness.

Three types of waveforms (triangle wave, square wave, and sine wave) for presenting surface roughness were achieved, and the perceptions resulting from those waveforms were investigated.

研究分野：教育工学

キーワード：インターフェイス 仮想現実 タブレット ネットワーク工学 力覚 触覚

1. 研究開始当初の背景

e-Learning については開発されて久しいが、実際のものづくりなどに対応できるシステムがない。座学で素養の教育や、英語教育に対応したりである。そこで、ものづくりを中心とした教育を受ける学生を対象に実践と創造性を兼ね備えた人材育成を考慮して、ICT 技術とネットワーク技術を利用したシステムの構築を検討が必要であった。

2. 研究の目的

ものづくりを中心とした教育を受ける学生を対象に実践と創造性を兼ね備えた人材育成を考慮して、ICT 技術とネットワーク技術を利用した e-Learning システムの構築を検討する。本研究では、ものづくりをコンピュータネットワークを通して3次元仮想現実化し、ものづくりを訓練ができるシステムの構築を考えている。場所や所を選ばずに時間も限定されないところにネットワークとコンピュータの ICT 技術の利点がある。複数の学生が協働で作業を行うなどの経験を積むことができるシステムの考案を目的としている。複数の学生が協働で作業できる3次元仮想現実を実現し各自がコンピュータ内において力覚インタフェース等の装置を利用して、ものづくりの体験ができ、ものづくりとコミュニケーションスキルの向上ができるシステムの構築を検討する。

3. 研究の方法

(1) はんだ付け訓練システム

本研究では、仮想現実下で行う作業の一例として、電気電子の初心者にとって基本となる、はんだ付け動作の訓練システムを、力覚装置を用いて開発した。

力覚インタフェースとして SensAble 社の「PHANTom omni」、システム開発には、「Microsoft Visual C++ 2008」をベースに使用し、拡張ライブラリの「OpenGL Utility Toolkit」を使用した。PC は CPU: Intel(R) Core(TM)2 CPU 6600 @ 2.40GHz, メモリ: 2.00 GB RAM, OS: Windows XP Professional である。技能伝承のために様々な動作解析が行われ、それらの応用が検討されている。本研究の対象である半田付け作業についても、熟練者と非熟練者の動作解析が行われ、その結果として①ある程度経験している者は、右手首の動作がばらついている。②初心者は半田ごての挿入角度、両手首の動作ともにばらついており、不安定である傾向が見られている。③熟練者は半田ごての挿入角度と手首動作が安定しており、さらにほぼ一回で半田付けを終わらせている。これらのことから半田ごての挿入角度、手首動作の安定、半田ごてを抜くタイミングの把握の3つが動作特徴だと示唆されている。

半田付けにおいては、基板の温め時間、抜くタイミングはすべて熱に依存している。半田の種類、半田ごての種類によって、さまざ

まな組み合わせになり、全てを把握するのは困難である。半田の種類として鉛半田、鉛フリー半田の二種類が挙げられ、現在の主流は鉛フリー半田である。しかし、半田付け作業の作業特性値が鉛半田を使用した時のものであり、さらに、高専、大学で多く鉛半田が残っているとされていることから今回の試作では、鉛半田を使用する。鉛半田は、配合比が Sn63% : Pb37% といった一般的なものを使用し、融点はこの配合比の場合、融点は 183°C となる。適切な接合温度はソルダの融点 +60~70°C となるため、はんだ作業時の適正温度はおよそ 250°C 前後と想定される。このことから半田ごての適切な温度である 350 度としたとき、半田時間は約 3 秒となる。①力覚装置二台を接続し、仮想空間内で同時に操作可能とする。これにより、二台を操作することで半田と半田ごてとして活用する。

②ビットマップ画像を読み込んで幅と高さを知ることにより、座標点に対する RGB 値を配列に格納する。それを図形作成時にマッピングすることで 3D 空間内に床及び基板を配置する。

③初心者やこのシステムに慣れていない人用の練習モードと実践モードを用意する。練習モードでは、半田付け動作をひとつずつ段階的に分けて説明することで、動作方法を覚えると同時に半田挿入のタイミング、挿入角度の判定を理解してもらう。強制的に基板から外すよう力覚装置を制御し、半田ごてを抜くタイミングの把握を覚える。また、手首を固定させるために、力覚装置を強制的に固定する制御を行う。

実践モードでは、力覚装置に常に重力方向の力を加えることで、実際の作業に近くするための重力空間とリードとランドの再現をする。

④半田が溶けるときの沈む感覚を表現するために、基板を立方体として描写するのではなく、何枚もの平面の板を重ねることで立方体を作る。一定の力を加えると力覚装置が一枚の板を通り抜けるようにすることで沈む感覚を表現している。

(2) 力覚装置による表面粗さの再現

本研究では、ペン型力覚デバイスの一つである PHANTom DeskTop を用いた擬似的な摩擦の感覚を提示し、力覚装置での触覚の閾値や主観的等価点 (PSE: point of subjective equality)、感覚特性について検討を行った。触覚での感覚器における特性と深部感覚としての知覚では異なることから、一般的には力覚系装置では摩擦等の感覚を表現することがない。しかしながら、毛筆等で和紙に書き出す時には、感覚的に摩擦があるように感じる。この部分について、PHANTom DeskTop を用いた実験を行った。

実験装置には Sensable Technologies 社の力覚インタフェースデバイス (PHANTom DeskTop E Device) (以降 PHANTom と略記)、制御用コンピュータに (Intel® Core™i5-4430

CPU @3.00GHz, 8.00GB RAM 64bit)制御用プログラムに(OpenHaptics™ toolkit v3.0)を用いた。

本実験では摩擦力での触覚の閾値と主観的等価点を測定するために、動摩擦の実験を行った。本実験での被験者数は19歳から22歳の男性10名である。測定は恒常法(constant method)を用いて行った。仮想空間の2つの物体を画面に表示し、被験者にPHANTOMを用いてそれらの物体に触れる感覚を提示し、両者を比較させる。比較には被験者の主観的な感覚差を「強い」「等しい」「弱い」の三つから選択する三件法を用いた。

実験は被験者1名毎に行った。被験者をPHANTOMの前に着席させ、ペンの部分を持つように保持させた。この際、保持方法による差異が生じないように、被験者には同じ持ち方を指示した。さらに、被験者には画面上の仮想空間にある2つの物体をそれぞれ任意の力で左右に撫でるように操作させ、両者を比較させた。

提示する2種類の刺激の一方を標準刺激(SS: standard stimulus)としこれを比較基準に、もう一方を比較刺激(CS: comparative stimulus)とし標準刺激の刺激量を中心に数種類の刺激を段階的に用意する。

本実験はSSを4.0[N]としている。SSを中心にCSを6種類等間隔で作成し、SSと同等の4.0[N]を含む7種類の刺激を提示した。

(3)外国語教育におけるデジタル教材の自動配信システムの構築と評価

本論文では、マルチメディアを利用した第2言語教育のための教育システムについて検討する。今回提案するシステムは、ブラウザを基本とした音声・映像配信システム(ポッドキャストシステム; podcasting system)および iPod Touch のようなモバイルを基本とした自動配信システムである。本研究は(i)それぞれの配信システムの構築と学習者によるそれぞれの装置に関する印象評価、(ii)マルチメディア教材のダウンロード時間が学習者に与える影響、をそれぞれ参加者からのアンケートのデータを基に統計分析する。本研究で構築したポッドキャストシステムは、高等専門学校5年生全員の109名を対象とするTOEIC対策を目的とした選択授業科目「英語演習Ⅱ」で実施した。この授業は通常の講義に加えてアルク社のネットアカデミー2というコースウェアを活用するものである。今回のプロジェクトの参加者である高専生の英語学習に関する傾向について、同年代の国立大学の大学生と比較しながら調べた。今回の高専生の英語の学習観は、基本的には単語を覚え、ボトムアップ的に言語を処理していくという傾向がより強かった。英語を使うことに対する意欲も動機づけも大学生と比べて高くなく、自信を持ってコミュニケーションができない傾向が観察できた。さらに、本授業を実施するのは5年生の前期であり、参加者の進路に関する行事等

が多く、単純に授業中や自宅学習としてTOEIC対策の問題を解かせるだけの内容では、学習意欲が持続しないものと考えた。そのため、著者たちのグループでは、積極的なコースウェアによる自学自習を促すために難易度のやさしい予習教材をポッドキャスト配信することにした。具体的には4分程度の音声や読解に関してヒントを与える映像を作成し、Podcastingを使って配信することにした。

授業形態は、授業時間内における講義とe-learningを組み合わせた「授業内ブレンディド・ラーニング」(6)の形態をとった。100分授業の半分を対面型の講義により、残りの半分をPC教室(および研究室を利用しても可とした)で、コースウェアおよびPodcastingにより学習するものとした。

(4)タブレットの表面形状作成と触覚感覚
近年のスマートフォンやタブレットPCなどのタッチインタフェースの普及により指で画面を直接操作する機会は劇的に増えている。特に凹凸感や粗さ感は、タッチスクリーン上のボタンクリックなど、入力操作に直結する触覚であるため、盛んに研究が行われている。本研究では、タッチスクリーン上で凹凸や粗さを表現するためにアクチュエータによりタッチスクリーン面を操作して、表面上に再現された刺激の相違を被験者が判別できる範囲について実験を行ったので報告する。実験システムは、Immersion社が開発したタッチスクリーンを利用した。本実験では、タッチスクリーン上を指で押されると、その刺激によってタッチスクリーンが触覚を返すシステムとなっている。

測定には恒常法を用いた。被験者には比較の基準となる触覚(標準刺激)と比較対象となるその他の触覚(比較刺激)をそれぞれ与え、両者の触覚の強さの比較をした。比較尺度には[標準刺激より弱い]、[標準刺激と変わらない]、[標準刺激より強い]の中から選択する三件法で実施した。また、実験データの解析には確率モデルを導入し、最尤法を用いてデータに対するパラメータの解析を行った。本実験装置でのパネル面の変位は、アクチュエータを用いたシステムで、入力数値により制御される。その変位は、1から10000の間の値をとっている。その値が変位の大きさとなっているが、表面からの変位としての実測値に等しい値となっていない。ここでは、入力変位の値を振幅として利用しているが対応のために実測との関係も求めている。

4. 研究成果

(1) はんだ付け訓練システム

実際の操作性について評価した。被験者は5人で、五段階評価(5:良~1:悪)を行う。評価項目は7項目あり、結果は次の通りである。(a)システムの操作性:4.0, (b)指定角度に固定できた:4.8, (c)抜き挿しのタイミングの理解:4.2, (d)手首の固定がはかれた:1.8,

(c)はんだ付け手順の理解：5，(f)重力の感覚：3.2，(g)半田の減る感覚：3.4であった。アンケートの結果、手首の固定、重力の表現、半田の減る感覚が現状の問題点としてあることがわかった。手首の固定については、力覚装置からの制御では固定できない部分が存在するため、改善が難しいものの、一方で重力の表現、半田の減る感覚については、プログラムによって、表現方法を変えることが出来るため有効な方法と考えられる。

(2) 力覚装置による表面粗さの再現
実験結果より標準刺激 SS を摩擦係数 4[N]として比較刺激 CS の段階を変化させた場合、 ± 0.6 [N]での主観的等価点は $\mu=3.6958$ であった。また、 ± 0.4 [N]では $\mu=3.7202$ であり、どちらも SS と主観的等価点の差は同程度である。しかし、弁別閾をみると、 ± 0.6 [N]での弁別閾は $Z0.75=0.52807$ 、 ± 0.4 [N]では $Z0.75=0.45493$ となっており、刺激の差で考えると ± 0.6 [N]では 0.07193 、 ± 0.4 [N]では -0.05493 と差が大きい。これらは、 0.6 [N]より刺激の変化が小さくなると、被験者の判断が鈍くなっていることを示している。標準刺激 SS を中心として、判断の正答確率が $SS > CS$ ではゆるやかに、 $SS < CS$ では急峻な変化する傾向が見られた。このことは、被験者が標準刺激を中心として比較刺激が大小同じ大きさの比較刺激であっても、対照的な反応となっていないことを示している。

(3) 外国語教育におけるデジタル教材の自動配信システムの構築と評価

教材コンテンツの難易度は学習者のレベルを反映したものであるのが望ましいとされている。コンテンツが難しいとそれを扱うシステム自体に対する評価に影響を及ぼすことは経験的事実として起こっている。最近の研究では、e-Learning 学習の前にプレテストを行いその学習結果を踏まえた教材を学習させるシステムや、英語学習の WBT において学習者各個人のレベルを反映させているものなどのように、教材の選定が学習者のレベルを反させるように決めるようなシステム設計が提案されている。これらの研究の前提は、コンテンツの難易度がシステムの評価や教育効果に影響を及ぼすという仮定のものである。しかし、本研究が想定している、授業単位時間におけるブレンディッド・ラーニング（クラス単位における ICT を活用した一斉授業の支援）を考えたときに、学習者によってレベルや動機づけにばらつきが見られるのは仕方がない。実際に、本研究においても、教材の「むずかしさ」が因子として抽出されている。しかし、コンテンツを難しいと感じているにもかかわらず、操作性に関する総合評価がタスク活動やコンテンツと独立な因子として抽出されていることは、難しい教材を用いて難しいタスクを課したとしても、それによって本システムの操作性には影響しない、つまり、使いやすさなどの特徴が出ているという興味深い結果が示されたことを

意味する。このことは、カリキュラム設計、および、システム設計の観点において大きな意味合いを持つ。つまり、多少難しい教材であったとしても、一斉授業の中で十分な説明を行った後で、e-Learning 演習を行う分には、機器の操作性についてはさほど大きな影響を受けないということである。

(4) タブレットの表面形状作成と触覚感覚
振幅では 5000 を標準刺激とした場合、主観的等価点は 5004 となる。標準刺激と主観的等価点の誤差が少ない。また、被験者が触覚の違いを感じる事が出来る振幅の閾値は 3942 から 6066 の間に存在しているといえる。しかし、振幅の変化が大きいことから、判別には十分な幅を持っていた。

本実験では、さらに振幅の変化を小さくして実験を行った。振幅の範囲を示す。比較する標準刺激は各振幅範囲の中間値とし、①②=3000、③=5000 および④=7000 としている。測定用データは以下のパラメータに設定した。(ア) 波形：三角波 (イ) 周期：10[ms] (ウ) 振動回数：1 回 (エ) 標準 Mg：3000，Mg 領域 (a)2000～4000 (b)4000～6000 (c)6000～8000 の 3 種類⑤Mg 間隔：250 および 200 とした。

実験①から④までの弁別閾を求めた結果、①から③までは弁別閾 $Z0.75=250$ から 265 程度で、④においては $Z0.75=395$ 程度であった。これらの値はメーカーの規定値を利用したもので、凹凸の変化分を実測値としては表現していない。しかし、メーカーの提供した値を基に人の弁別基準としては機能している。現在まで、メーカー規定値と表面凹凸との対応を実測している。その結果では、Mg が 4000 以下の規定値と実測値との対応が不十分であった。さらに、Mg が 4000 以上のときは振幅の変化が十分に大きく、その違いは、250 から 350 程度の範囲で判定でき、凹凸の変化分が大きな値を示していることで十分に判別できる値となっている。

次に、本システムでタブレット表面の形状を変化させた。三角波・方形波および正弦波の 3 種類に変化させることで、表面の触覚の硬さ等について実験を行った。被験者は 26 人の 18 歳から 22 歳までの男性である。比較するための刺激の大きさの規定値 Mg は 2650 とし、3 種類ともに同じ大きさの刺激とした。同じ大きさを基準として、どちらの波形が大きく感じるかを被験者に判断させた。組み合わせは次の 3 種類である。①方形波と三角波、②方形波と正弦波、③三角波と正弦波である。その結果、再現される波形の形によって、被験者は触覚の感じ方に相違があった。

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 22 件)

1. Yuichi ONO・Manabu ISHIHARA, “Instant

- Text-Based Feedback Systems--The Development of a Text-Based Feedback System and Its Potential Use in Foreign Language Teaching, ” Journal of Information Technology and Application in Education Vol. 3 Iss. 1, pp.1-8, March 2014.
2. 小野雄一・石原学・山城光雄, “工業高等専門学校での英語教育におけるモバイル機器を利用した Blended Instruction,” 電気学会論文誌 A 分冊基礎・材料・共通部門誌, 第 134 巻, 第 2 号, p.73-80 [DOI:10.1541 /ieejfms.134.73]
 3. 小野雄一・石原学・山城光雄, “外国語教育におけるデジタル教材の自動配信システムの構築と評価,” 電気学会論文誌 C 分冊電子・情報・システム部門誌, 第 134 巻, 第 1 号, p.94-101 [DOI:10.1541 /ieejjeiss.134.94]
 4. Ono, Yuichi・Ishihara, Manabu・ Onishi, Akio; Yamashiro, Mitsuo, “ Online classroom feedback system and their implementation in a foreign language presentation course in Japan , ” International Journal of Computer & Information Science (IJCIS), Vol.15, No.2, pp. 46-56, CMU Publishing Service (2014).
 5. Manabu Ishihara, Characteristic of Representing Roughness with Haptic Devices, C. Stephanidis (Ed.): HCII 2014 Posters, Part I, CCIS 434, pp. 588-593, Springer International Publishing Switzerland 2014.
 6. Yuichi Ono ・ Akio Onishi ・ Manabu Ishihara ・ Mitsuo Yamashiro, “ Voice-based computer mediated communication for individual practice to increase speaking proficiency: construction and pilot study, ” Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Volume 24, LNCS_9192, pp.115-123 [DOI:10.1007/978-3-319-20609-7_12] (2015.8)
 7. Manabu Ishihara, “Haptic Device using a Soldering Test System, Communications in Computer and Information Science, Volume 27, CCIS_528, pp.190-195 [DOI:10.1007/978-3-319-21380-4_34] (2015.8)
 8. Manabu Ishihara ・ Masashi Yoshida and Jun Shirataki, “ Characteristics of unevenness sensation by a tactile display, ” International Journal of Sensing, Computing and Control, Vol.5, No. 1, pp-44-50 (2015.6)
- [学会発表] (計 12 件)
1. 石原学, “タッチパネルの振動による触覚特性の実験と検討,” 日本音響学会 振

- 動・建築音響合同研究会 (H26.1, 旭川)
2. 石原学・小森崇史・鈴木真ノ介・久芳頼正, “仮想現実下での教材操作の視聴覚特性について,” 2016年電子情報通信学会講演論文集 (2016.3)
 3. 石原学, “触覚の刺激形状と感覚の関係,” 2015年日本機械学会年次大会 (2015.8)
 4. 原田祐樹・石原学, “力覚装置による表面粗さの提示,” ロボティクス・メカトロニクス 2015in Kyoto (2015.5)

[図書] (計 0 件)

なし

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石原 学 (ISHIHARA MANABU)

小山工業高等専門学校・電気電子創造工学科・教授

研究者番号 : 20211047