

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300041

研究課題名（和文） 操作を触覚的に疑似体験させる技術によるユーザインターフェイスの設計効率向上

研究課題名（英文） Improvement of usability and efficiency of user interface design by virtual manipulating space with tactile feedback

研究代表者

熊澤 逸夫 (KUMAZAWA ITSUO)

東京工業大学・像情報工学研究所・教授

研究者番号：70186469

研究成果の概要（和文）：

本課題では、ロボット技術の進歩と共に性能が画期的に向上したセンサとアクチュエータからなる制御システムを、触覚に情報を提示する手段として利用して、仮想的な世界で任意の形状をした仮想上のハンドヘルド機器を操作する触感を感じさせ、さらにボタンやスイッチに触った触感や操作する感触を上記アクチュエータで指に加える力を通じて再現する技術を開発してきた。そうした中で、近年、スマートフォンやタブレット端末等、タッチパネルをユーザインターフェイスとして利用したハンドヘルドデバイスが急速に普及していることから、最終年度の平成24年度には、タッチパネル上で触感を生成するデバイスを付加したユーザインターフェイスについて、操作を触覚的に疑似体験させることにより操作性を向上する方法を併せて研究した。具体的には、タッチパネルを動かして操作中の指に触覚的フィードバックを加えるアクティブ型のデバイスと、ゴムの弾性を利用して操作中の指に触感を付加するパッシブ型のデバイスを多数試作して、その効果を評価した。その結果、開発したデバイスは、触感が不足しているタッチパネルに触覚フィードバックを効果的に付加し、触感を疑似体験させることでユーザインターフェイスの操作性を向上できることが明らかになった。当成果は、平成25年3月に国際会議 VR2013 で発表し、IEEE の Computer Society からベストデモ賞を受賞した。

研究成果の概要（英文）：

This project has been developing tactile feedback techniques that can present realistic and assistive tactile information in a virtual manipulation space to improve the usability and the design of touch panel based handheld devices. The virtual manipulation space is developed so that the users can experience a realistic operation through the tactile information given to their fingers while they are manipulating the virtual handheld devices. The system consists of sensors to detect finger movement and actuators to generate the tactile information. The tactile information takes the form of force or displacement. And, with the tactile feedback generated by the actuators, the users can feel the repulsive force and the friction against their operation. The stiffness, the texture and the 3D shape of the touching surface can be also represented by displacement of the touch surface moved by the actuators. The proposed techniques are applied to the touch panel based devices such as the smart phones or the tablets. With the tactile information generated by the proposed techniques, the computer aided design can deal with the aspects concerning touch in addition to the conventional shape. And the usability of the touch panel based user interface is shown to be improved. The time consuming process of prototyping would be improved as the design concerning the shape and the touch can be conducted in the virtual space. In order to improve the responsiveness of the tactile feedback and simplify the system, we also introduced passive tactile feedback devices and evaluated their effectiveness by making many prototypes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2011年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2012年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
年度			0
年度			0
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ、触覚フィードバック、ユーザーインターフェイス、操作性、タッチパネル、CAD

1. 研究開始当初の背景

携帯電話、タブレット型コンピュータ等の機器では、タッチパネルやカメラ、加速度センサ等の多様なセンサが搭載され、それらを用いて、従来のキーボードに代わる新しい情報入力方法が使われるようになったが、現状では、こうしたセンサが人間にとって真に操作しやすい入力方式を与えているとは言い難く、特にタッチパネルやカメラでは操作内容を触覚的に確認できないことが、誤入力とストレスを生じている原因になっていた。そのため多くの研究者によって、多様なセンサ操作性向上に生かす方法や触覚情報を導入する方法が模索されているが、人にとっての使いやすさは試作して評価してみなければ分からないことから、多数回の試作が必要となり、最適な手法を見つけるまでに多大の時間とコストが必要となっていた。この時間とコストを軽減することが、操作性に優れたハンドヘルド型端末を開発する上での極めて重要であった。

2. 研究の目的

こうした背景のもとで、本研究では、多様なセンサを最適に組み合わせて使用方法と触覚フィードバックの有効な導入法を見出すため、触覚情報提示デバイスと**Human Factor**を評価するための仮想操作空間を構築し、入力デバイス、ユーザーインターフェイスの設計開発能率を向上し、さらには理想的な入力方式を発見することを目的としてきた。ハンドヘルド型端末に搭載することを想定して小型、低消費電力の触覚情報提示装置を開発して、押圧に対する反発力、指を滑らした時のざらつき感、表面の3次元形状を錯覚させるように、指で触れるタッチパネル表面を動かすアクティブ型の触覚情報提示装置と、ゴムの弾力性を利用して、反発力を生成するパッシブ型の触覚情報提示装置を組み合わせて、遅延なく、快適な触感を生成することを目指した。

3. 研究の方法

本研究課題では、実際に触ってみなければ

その効果が分からない、触覚情報提示装置を研究対象としていたため、多数回の試作を繰り返して、被験者を通じて試作したデバイスを評価しながら、最適な触覚情報提示装置の機構と形態を見出すことになった。そうしてタッチパネルを操作する指の運動に応じて、短い遅延時間で快適な触覚情報を生成して指に加えられるように試作した触覚情報提示装置、及びそれを利用して指の運動に連動して様々な触覚刺激を指に加えて、仮想世界で触覚フィードバックを感じながら多様な操作を体験できるようにシミュレータ（仮想操作空間において様々な触感を伴う操作を体験できるようにしたユーザーインターフェイス開発環境）を開発した。ただし、このシミュレータは、近年爆発的に普及しているスマートフォンやタブレット型コンピュータ等のハンドヘルド型の端末上で各種の触感を再現するものとした。このシミュレータを用いれば、実際の世界で試作をしなくとも、仮想のハンドヘルド型デバイスを仮想世界で様々な操作して、操作に対する触覚フィードバックを確認して、操作性を評価できるようになる。そしてそれにより、時間とコストのかかる実端末の試作を避けて、仮想の世界で低コスト、短時間にハンドヘルド型端末を開発できるようになる。本課題では、このシミュレータのための触覚情報提示装置とそれを制御するプログラムに重点をおいて、研究を行った。

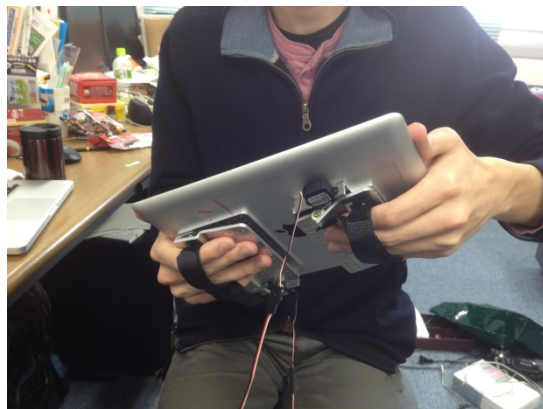
まず触覚情報提示装置については、アクチュエータ（モータ）を用いてタッチパネルを動かしてタッチパネルに触れている指に反力を加えたり、凹凸感を感じさせたりすることで触覚情報を提示するアクティブ型触覚情報提示装置と、ゴム部材の弾力性や指への接触を通じて触覚情報を提示するパッシブ型触覚情報提示装置を開発した。それぞれ様々な試作デバイスを制作したが、代表的なものを図3-1と図3-2に示す。

図3-1(a)の装置では、タブレット端末を乗せる台が上下に動くことで、台に乗ったタブ

レット端末が丸ごと動いて、端末のタッチパネルに触れている指に触覚情報を提示する。台とタブレット端末併せた重量は1.2Kgであり、これだけの質量のあるものを大きな加速度で素早く動かすために機構上の工夫が必要である。本課題では、独自の工夫として、偏心ボールベアリングを利用した図3-3の機構によって、安価なDCサーボモータを使用しながら十分な動作加速度を実現した。図3-1(b)には(a)と同じコンセプトをハンドヘルド型の端末に対して実現した装置を示す。この装置では、タブレット端末の背面に実装されたウイング上デバイスの羽根がパタパタ動いて、羽根の上に乗せた指を動かすことで、(a)の場合と同様に、表面のタッチパネルに触れる指に触覚情報を提示することができる。この実装例でも、面の硬さや3次元形状、そして木目の細かさ等の触覚情報を表現することが可能である。



(a)



(b)

図3-1 アクティブ型触覚情報提示装置の試作例（本試作装置で様々な触感を再現するデモは国際会議VR2013で発表、IEEE Computer Societyからベストデモ賞を受賞した）

(a) ステージ型、(b) ハンドヘルド型

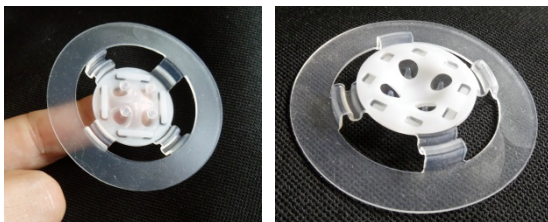


図3-2 パッシブ型触覚情報提示装置の試作例（アクティブ型デバイスでは表現できない、クリック感や凹凸感、突起の当たる感触などを表現する）

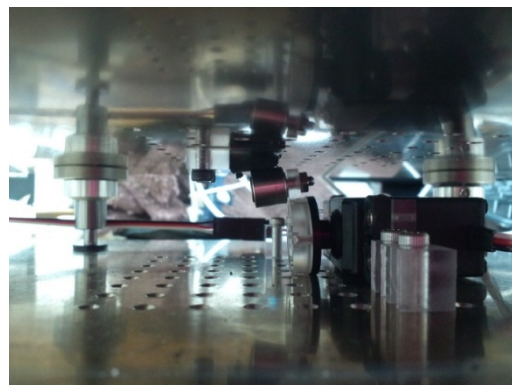
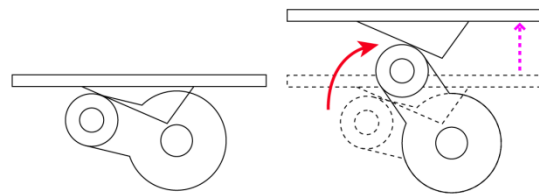


図3-3 偏心ベアリングを用いた低コスト、高トルク、高効率、円滑な駆動機構

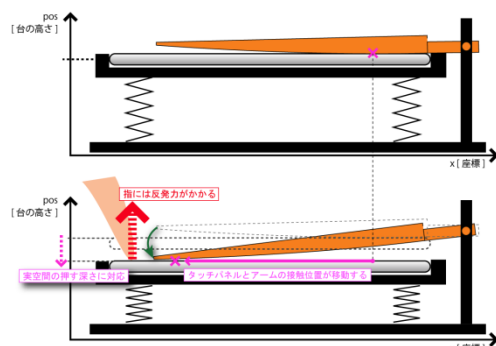




図 3-4 タッチパネル面に指に押圧力を加えた時に微小に上下動する面の変位量を検出する機構

図 3-2 にはモータを使わずにゴム素材の形状や弾性だけで指に触覚情報を提示するパッシブ型のデバイスの制作例を示す。現状のアクチュエータには、大きなトルクを出すモータや大きな駆動量を持つピエゾ素子などいずれも大きさや重量が大きくなり、起動時に十分な加速度を得ようとする大電流が必要になるなどの問題点がある。加速度が不十分であると、触覚情報の提示に遅延が生じて、表面の硬さや形状、木目の触感が不自然になってしまう。そこで図 3-2 に示すようなゴム素材で表す触覚情報とアクチュエータで動かすタッチパネルの上下動を組み合わせ、アクチュエータ単独では表現が困難な微妙な触覚情報を表現することを試みた。

図 3-3 には、図 3-1 の触覚情報提示装置で用いた独自のステージ及びウィングの駆動機構を示す。バッククラッシュによって動作に遅延を生じるギアの使用を避けて、回転する偏心ベアリングを用いて直接ステージやウィングを駆動している点が特徴となっており、簡易、安価な機構で高精度、高速、強力な駆動を可能としている。

また図 3-4 に示す導電素材で構成した湾曲アームを用いて、押圧によるタッチ面の微小な変位を検出し、精緻に触覚フィードバックをコントロールすることにより、指からタッチパネルに加える操作に対して、面の硬さやテクスチャー（木目のざらつき感）、表面の 3 次元形状のリアルな触感を再現した。特別なセンサなしにタッチパネルのマルチタッチセンサ機能を利用して、変位時に湾曲した導電体のタッチパネルとの接触点が移動

することを利用して、変位量を高精度に検出する点に独自の工夫がある。

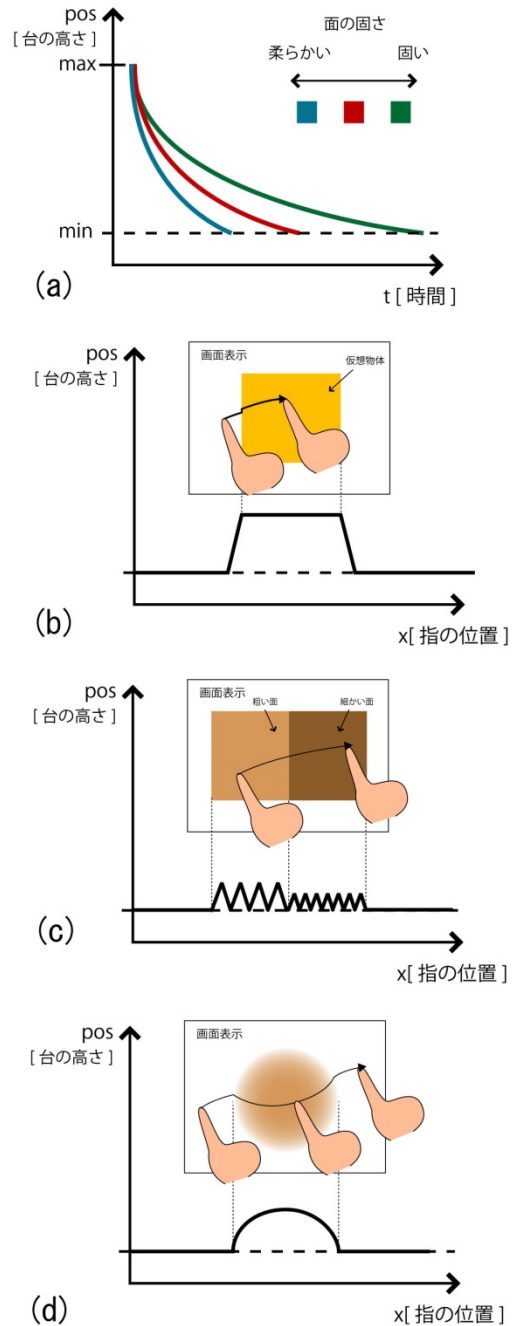


図 3-5 タッチパネル上の指の運動に連動してタッチパネル面を上下に駆動することで、様々な触感を表す原理：(a)面の硬さを表現するための駆動パターン、(b)台形状の 3 次元形状を表すための駆動パターン、(c)面表面の木目（テクスチャー）を表すための駆動パターン、(d)半球状の 3 次元形状を表すための駆動パターン

図 3-5 には、図 3-1 に示す触覚情報提示装置で様々な触感を生成するためのタッチ面変位パターンを示す。(a)では時間軸に対し

て面の高さを変化させるパターンを示すが、それぞれのパターンによって面を押し込む際に面の硬さの感覚を変えて表示することができる。(b)と(d)はそれぞれ台形と半球の3次元形状を感じさせる際に、指の接触位置に応じて面の高さを変位させるパターンを示す。また(c)には、指の接触位置に応じて面の高さを異なる周期で振動させることによって異なる木目の細かさを触覚的に感じさせるための変位パターンを示す。

4. 研究成果

以上の研究方法によって得られた本課題の成果は以下の通りである。

- (1) 近年広く普及しているスマートフォンやタブレット型端末のタッチパネル上で、様々な触感を再現する触覚情報提示技術を開発した。触感の表現能力は、定量的に評価することが難しく、被験者に実際に操作して貰って定性的に評価することが必要である。本成果は、当研究分野において最大の国際会議である IEEE VR2013 においてデモを行い、数多くの来場者に実際に装置に触れて貰い、感想を得ることで定性的な評価を行った。その結果、本装置の優れた触覚情報表現能力が認められ、IEEE Computer Society からベストデモ賞が授与された。
- (2) 通常のタッチパネルは面に平行な指の運動しか検出できないが、本研究課題では、図 3-4 に示す機構によって、垂直方向の運動を簡易、低コストに検出することを可能とした。この機構により、指でタッチパネル面を押圧する際の面の微小降下量を精密に計測し、押下量に応じてアクチュエータの駆動量やトルクを制御することによって、快適な触覚情報を生成できるようになった。
- (3) 本課題の触覚情報提示装置を実現するためには、高速、高トルク、低消費電力、小型、軽量のアクチュエータが求められるが、現在、これらの特徴を兼ね備えたアクチュエータは存在しない。そこで本課題では、図 3-2 に示すようなパッシブ型の触覚情報表示用ゴム部材によって、ボタンを押す際の突起の感触やクリック感を付加することで、アクチュエータの能力の不足を補うようにした。それによって、スマートフォンに装着できる小型軽量の触覚情報表示装置で、高速に明瞭な触覚情報を生成することを可能とした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

- (1) Vsevolod Yugov and Itsuo Kumazawa: Online Boosting Algorithm Based on

Two-Phase SVM Training, ISRN Signal Processing, ID 740761(2012)

- (2) Mitsuhiro Joken, V-ris Jaijongrak and Itsuo Kumazawa: Input on Touch Panel by Using Passive Tactile Feedback Device, Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technology for Embedded Systems, pp. 23-30(2013)
- (3) Itsuo Kumazawa and Ryo Koizumi: An actuated stage for a tablet computer: generation of tactile feedback and communication using the motion of the whole tablet, Proceedings of the 20th IEEE Virtual Reality Conference (VR 2013), RD-006, pp. 173-174(2013) (IEEE Computer Society ベストデモ受賞)
- (4) 田村 理乃, 村山 淳, 平田 幸広, 佐藤 誠, 原田 哲也: タブレットPCのための力覚インタフェースSPIDAR-tabletの張力計算方法の開発とその評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 13, No. 4, pp283-290(2011)
- (5) 田村 理乃, 村山 淳, 平田 幸広, 佐藤 誠, 原田 哲也: 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, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp363-366(2011)
- (6) 赤羽 克仁, 高見 豪, 佐藤 誠: フレームの可動機構を持つワイヤ駆動多指型ハプティックインタフェースの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 3, pp441-448, 2011)
- (7) 玄 政祐, 熊澤 逸夫, 佐藤 誠: AR技術を用いた小型機器の操作性評価: SPIDAR-Handシステムによるボタン特性の事前評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp189-200(2011)
- (8) Anusha Jayasiri, Katsuhiko Akahane, Makoto Sato: Feeling the Motion of Object in a Dynamic Image Sequence through Haptic Interface, International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer2012), pp. 19-26(2012)
- (9) Anusha Jayasiri, Katsuhiko Akahane, Makoto Sato: Haptic Rnederin of Dynamic Image Sequence Using String based Haptic Device SPIDAR, Joint Virtual Reality Conference of ICAT-EGVE-EuroVR (2012)
- (10) Kikuo Asai, Norio Takase, Makoto Sato: Supprting Haptic Interaction or Compatibility of Molecular Docking in

Visualizing Molecular Structures,
3DSA2012 (The 4th International
Conference on 3D Systems and
Applications), pp.430-434(2012)

- (11) Yan Zhu, Tatsuya Koyama, Tatsuro
Igarashi, Katsuhito Akahane, Makoto
Sato: Development of Inner Strings
Haptic Interface SPIDAR', The 21st
International Conference on
Artificial Reality and Telexistence,
pp.135(2011)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

熊澤 逸夫 (KUMAZAWA ITSUO)

東京工業大学・像情報工学研究所・教授

研究者番号：70186469

(2) 研究分担者

佐藤 誠 (MAKOTO SATO)

東京工業大学・精密工学研究所・教授

研究者番号：50114872