

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300048

研究課題名(和文) ペン・指の入力特性に適した次世代ユーザインタフェースの創成

研究課題名(英文) Development of next generation user interface through pen and touch properties

研究代表者

任 向実 (Ren, Xiangshi)

高知工科大学・工学部・教授

研究者番号：00287442

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,800,000円、(間接経費) 4,740,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ペン・指入力それぞれの特性を生かしたUser Interface (UI) designに関する基盤的研究であり、自然かつ効果的なペン・指UI designの研究に寄与することを目指し、多次元情報分布と融合、ペン・指の定量的な比較評価、ペン・指と触感情報のインタラクションを実験的に解明し、ペン・指タッチ入力を用いた携帯電話・情報入力端末すべての製品のUI研究および応用のための有用な知見を提供している。

研究成果の概要(英文)：The aim of this project is to provide a systematic body of empirical knowledge as a basis for the future research and design of digital pen and finger, touch-based applications. This project presents a series of experiments that systematically investigate and quantify i) pen input modality natural use profiles and the co-variations between pen input modalities, ii) the differences and similarities between finger and pen gestures, and iii) the application of haptic input and output modalities to expand the bandwidth between humans and computers in pen and finger touch-based interfaces. The results and conclusions shown in this project will contribute to the field of pen and finger touch-based interaction in the areas of human computer interaction design, and will benefit future studies that aim to improve pen and finger touch-based interactions.

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：ヒューマンコンピュータインタラクション ペンインタラクション タッチインタラクション ジェスチャ入力

1. 研究開始当初の背景

Cloud Computing, Mobile Computing, Ubiquitous Computing 時代を目前にし、ペン・指(タッチ)を使用する入力装置が一般家庭にまで入り込んで広く利用されるようになった。昨今、ペン入力を用いた PC や電子ブックに加えて、入力画面を指でタッチするだけで操作できる、マルチタッチ入力技術が多方面から注目を集めている。例えば、Apple 社の iPhone、Microsoft 社の Surface と TouchWall、マルチタッチ入力をサポートした「Windows 7」「Windows 8」などである。このようにデジタル機器の世界ではペン・指タッチパネルによる新しいユーザインタフェースが主流になっており、携帯電話だけでなく PC にも大きな影響を与えつつある。

しかし、現段階のタッチ入力技術の多くはペン先または指先のひとつの座標点のみを利用するものであり、“人間-コンピュータ”コミュニケーション処理能力は限定されている。ペンの特有の多次元情報(筆圧、傾き、方位など)、指の多次元情報(面積、形状、指の向き)、ペン・指の操作面上(タブレット面上)の触感情報(硬さ、摩擦力、温度など)を活用することができれば、“人間-コンピュータ”コミュニケーションの処理能力は格段に向上し、より自然なユーザインタフェースが生まれると考える。

2. 研究の目的

本研究は、ペン、指、および触感による多次元情報特性を実験的に調査し、ペン・指による UI デザインに必要な基盤技術の確立を目指すものである。

3. 研究の方法

ペン・指(タッチ)ユーザデザインに役立つガイドラインを提供するため、本研究では、次の3つ課題について、被験者による様々なペン・指入力操作に関する実験的な調査を行った。

(1) ペン多次元情報の分布および次元間の関連性に関する実験的調査

①ペン多次元情報(筆圧、傾き、方位など)の制御できる区分を測定した。また、ペンを自然に操作面上に置くと、およびペンの自然な操作(例えば、描画と文字入力など)をするときの、よくまたは稀に使用される多次元情報の分布、多次元情報間の共変動(covariation)を調べた。

②得られた結果は mode-switching 機構の確立の基礎となる。ここでの Mode-switching とは、ペン一本でインク操作(文字・描画入力)とジェスチャ操作(コマンド入力)の間の切り替える方式を指す。本研究では、5種類の

mode-switching 技法をもちいて、その有用性を、PDA と Tablet PC 上で実験的に調査した。

(2) 指とペンによるストロークジェスチャ入力に関する比較評価実験

①ペン・指タッチベースのコンピュータの基本タスク(描画、文字入力、ジェスチャ)をする際に、ペンまたは指のそれぞれが得意した操作を実験的に明らかにするのが目標である。研究の第一段階として、まず、ペンまたは指のそれぞれが得意したストロークジェスチャ操作を実験的に調査した。

そのため、本研究では、定性的と定量的にストロークジェスチャを難易度などにより3つの種類(12個ジェスチャ)を分類した。そのうえ、ペンと指によるストロークジェスチャについてさまざまな特徴(入力時間、サイズ、形状距離、対称性など)を実験により系統的に調査した。

②指によるジェスチャー・文字入力のための最適な枠サイズも実験的に調べた。①の研究をするため、統一な大きさのジェスチャを入力する必要があるため、適切な入力用の枠サイズを求める必要がある。

③Flick と Ring という2種類のスクロール操作を文書閲覧という基本的なスクロールタスクを用いて、指(人差し指と大指)とペンのそれぞれで、比較評価した。

(3) ペン・指と触感情報

本研究は、効果かつ自然なペン・指インタフェースを開発するために、タッチデバイス(タブレット)面上の触感(テクスチャ)とペンを握る姿勢(Hand posture)を対象にも研究した。

①操作面の材質(硬さ、摩擦力、振動の強弱など)の、ペン・指操作のパフォーマンスおよび利用者の快適性への影響を明らかにするのが目標である。研究の第一段階として、まず、タッチデバイス(タブレット)面上の触感(テクスチャ)がペン操作のパフォーマンスにどのような影響があるかを調査した。

そのため、材質の摩擦係数の高いもの(紙など)から低いもの(plastic など)の5数種を選出した。選出した5種類の材質を用いて、ペンのそれぞれについて各材質上でのパフォーマンスを調査した。

具体的には、Steering タスク(pull-down menu などのような、一定の幅をもつトンネルを沿って開始点から終点までの連続操作)、ジェスチャ入力を用いた実験を実施した。各材質のユーザ操作のパフォーマンス(操作時間とエラー率など)に及ぼす影響と被験者の好みから総合的に吟味した。

②ペンコンピュータ操作のひとつ、トラッキ

ング（ホバー）状態について、マルチモードルフィードバック（視覚、聴覚と触覚、およびこれらの組合せ）の効果について、様々な条件（一・二次元 Fitts ポインティングタスク、直接・間接入力デバイス、フィードバックの位置）を用いて比較調査した。

③手のペンデバイスを握る面積情報、位置情報、およびタブレットの傾き情報などによる実世界での表現ツールについても、研究考案した。

4. 研究成果

情報通信端末の利用者の数と層が急速に増え、その利用形態も多様化している。手のひらサイズの携帯端末（iPhone など）、タブレット型パソコン、さらに、大画面のホワイトボードに表示されたオブジェクトを老若男女誰でもがペンまたは直接手や指で操作することができるマルチタッチインタフェースの時代が到来している。

本研究の成果は、情報通信端末のヒューマンコンピュータインタラクションに関わるもので、情報通信端末の進展に貢献できること、情報通信端末における中枢技術の一つである、ペン・指タッチ入力方式に貢献可能であること、ペン・指操作に関する効果的なインタラクションの実現とそれを用いた研究および応用のための有用な知見を提供していることなど、ヒューマンコンピュータインタラクションの発展に直接的に貢献するものである。

(1) ペン多次元情報の分布および次元間の関連性に関する実験的調査

本研究で得られた知見はペン属性を用いたペンユーザインタフェースのデザインに有益である。

①各属性の良く使用される区間、稀に使用する区間、属性間の関連性を明らかにした。また、方位が筆圧より mode switching に有効であること、筆圧と方位の組み合わせがほかの組み合わせ組より優れていることを明らかにした。

②Mode switching の実験では、“pressing button”の方式は Tablet PC と PDA の両者において総合的にパフォーマンスが優れていることが判った。

(2) 指とペンによるストロークジェスチャ入力に関する比較評価実験

本研究は、ペン入力と指入力のジェスチャを定量的に比較評価し、タッチインタフェースへのデザインに有用なガイドランを提供している。

①ペンと指によるストロークジェスチャの

実験では、その両者の相違を明らかにした。例えば、ジェスチャ入力時間がほぼ同じに対して、サイズ比は異なる。また、ストロークジェスチャの分類を提示し、その分類に基づいた評価技法を提案した。本研究の最大の貢献は、従来のペンに適したストロークジェスチャが指操作に適切であるか否かを実験的に解明した点である。

②ジェスチャ・文字入力のための最適な枠サイズは、枠はみ出しの長さ、入力時間、入力スピード、サイズ比、アンケートなどの、定量的および定性的な評価指標で 2.5cm × 2.5cm に決定した。

③Flick と Ring との比較実験では、立位または歩きながらのスクロール操作では、3種の入力手法のいずれにしても、Flick が Ring より優れている。立位するとき、ペンと大指においては、長いスクロール操作では、Ring が Flick より操作時間が短かった。

(3) ペン・指と触感情報

本研究は、触感モダリティをペン・指ユーザインタフェースに組み込むなどで、自然なインタラクションを増幅させることを示し、未来のペン・指インタラクションデザインに有用な知見を提供している。

①タブレット操作面の材質を用いた実験では、(a) 平滑表面ほど操作エラーが起りやすいこと、どの実験タスク (Steering タスク、ジェスチャ入力) においても、操作時間が長い、(b)異なるテクスチャが利用者の満足度に影響を及ぼすこと、(c)紙テクスチャの操作パフォーマンスが最も高いこと、を明らかにした。

②ペントラッキング（ホバー）状態の実験では、(a)触覚+視覚が操作の正確さを向上したこと、(b)聴覚が有効でないこと、(c)触覚フィードバックが入力用の手やデバイス側を避けること、(d) ホバー状態が直接入力デバイスに有用であること、を明らかにした。

③手の運動感覚（姿勢）情報を用いた、連続ハンドグリップ認識アルゴリズムを提案した。これは手がペンデバイスを握る姿勢をさまざまな入力ツールを表現できるものである。本研究は、実世界のツールを表現した12種類のツールを開発しその有効性を実証した。本研究から、手の運動情報を活かせば、自然およびシームレスなインタフェースの表現に利用できることを示した。

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5件)

1. Tu, H., Ren, X., Tian, F., and Wang, F. (2014). Evaluation of Flick and Ring Scrolling on Touch-based Smart Phones, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 30, No.8, pp.643-653, Taylor & Francis (SCI). DOI:10.1080/10447318.2014.907017
 2. Sun, M., Ren, X., Tu, H. and Tian, F. (2014). An Investigation into the Relationship between Texture and Human Performance in Steering and Gesture Input Tasks, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 30, No.8, pp.654-662, Taylor & Francis (SCI). DOI:10.1080/10447318.2014.907020
 3. Tu, H. and Ren, X. (2013). Optimal Entry Size of Handwritten Chinese Characters in Touch-based Mobile Phones, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 29, No.1, pp. 1-12, Taylor & Francis (SCI). DOI:10.1080/10447318.2012.668130
 4. Sun, M. and Ren, X. (2011). Investigating the effects of multimodal feedback through tracking state in pen-based interfaces, *Behaviour & Information Technology*, Vol.30, No.6, pp.727-737. (SCI) DOI:10.1080/0144929X.2011.566938
 5. Ren, X. and Zhou, X. (2011). An Investigation of the Usability of the Stylus Pen for Various Age Groups on personal digital assistants, *Behaviour & Information Technology*, Vol.30, No.6, pp.709-726. (SCI) DOI:10.1080/01449290903205437
- [学会発表] (計 11 件)
1. Sun, M., Ren, X., Zhai, S. and Mukai, T. (2012). An Investigation of the Relationship between Texture and Human Performance in Steering Tasks, *Proceedings of APCHI 2012 (Vol.1, long talks, August 28 – 31, Matsue, Japan)*, ACM Press, pp.1-6.
 2. Tu, H., Wang, F., Tian, F. and Ren, X. (2012). A Comparison of Flick and Ring Document Scrolling in Touch-based Mobile Phones, *Proceedings of APCHI 2012 (Vol.1, long talks, August 28 – 31, Matsue, Japan)*, ACM Press, pp.29-34.
 3. Tu, H., Yang, X., Wang, F., Tian, F. and Ren, X. (2012). Mode Switching Techniques through Pen and Device Profiles, *Proceedings of APCHI 2012 (Vol.1, long talks, August 28 – 31, Matsue, Japan)*, ACM Press, pp.169-176.
 4. Hayashi, Y., Tu, H. and Ren, X. (2012). An Empirical Investigation into Differences and Similarities between Age-related Stroke Gestures, *Proceedings of APCHI 2012 (Poster)*, p.631.
 5. Okamoto, M., Tu, H. and Ren, X. (2012). Experimental Analysis of Pen and Finger Gestures in Mobile Environments, *Proceedings of APCHI 2012 (Poster)*, p.689.
 6. Kusuba, M., Tu, H. and Ren, X. (2012). Investigation of Usable Gestures for Elder People with User-defined Approach, *Proceedings of APCHI 2012 (Poster)*, p.719.
 7. Mizobata, R., Tu, H. and Ren, X. (2012). User-defined Motion Gestures, *Proceedings of APCHI 2012 (Poster)*, pp.783-784.
 8. Tu, H., Ren, X. and Zhai, S. (2012). A Comparative Evaluation of Finger and Pen Stroke Gestures, *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2012, 5- 10 May 2012, Austin, Texas)*, ACM Press (ISTP, ACM), pp. 1287-1296.
 9. Xin, Y., Bi, X. and Ren, X. (2012). Natural Use Profiles for the Pen: An Empirical Exploration of Pressure, Tilt, and Azimuth, *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2012, 5- 10 May 2012, Austin, Texas)*, ACM Press (ISTP, ACM) , pp. 801-804.
 10. Sun, M. Cao, X., Song, H., Izadi, S., Benko, H., Guimbretiere, F., Ren, X., and Hinckley, K. (2011). Enhancing Naturalness of Pen-and-Tablet Drawing through Context Sensing, *Proceedings of the ACM Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS 2011, 13- 16 Nov 2011, Kobe, Japan)*, ACM Press (ISTP, ACM), pp. 83-86.
 11. Soukoreff, W., Zhao, J. and Ren, X. (2011). The Entropy of a Rapid Aimed Movement: Fitts' Index of Difficulty versus Shannon's Entropy, *Proceedings of the 13th IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT 2011, September 5-9, 2011, Lisbon, Portugal)* (ISTP,EI,ACM), pp. 222-239.
- [その他]
ホームページ等
<http://xrenlab.com/chci/research-projects>
6. 研究組織
(1)研究代表者
任 向実 (REN, Xiangshi)
高知工科大学・工学部・教授
研究者番号 : 00287442