

平成22年4月1日現在

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19681017

研究課題名(和文) 遠隔ユーザビリティ評価に基づく眼球注視インタフェースの開発

研究課題名(英文) Development of gaze-based interface based on remote usability evaluation

研究代表者

青木 洋貴 (AOKI HIROTAKA)

東京工業大学・大学院社会理工学研究科・准教授

研究者番号：00322090

研究成果の概要(和文)：

視線によるシステム入力を可能とする「視線入力技術」を利用したインタフェースにおいて、ユーザとシステムの間で行われるインタラクションの分析・評価を行い、これに基づきユーザビリティ(使い勝手)の高い眼球注視インタフェース設計に結び付けていくための体系的な設計・評価方法論を構築した。この方法論の妥当性評価を目的とした適用研究を実施し、その成果を利用した眼球注視インタフェースを実装した。さらに、方法論を拡張し臨床工学技士の業務における眼球インタラクションの分析への適用を通して、提案する方法論の有用性も示した。

研究成果の概要(英文)：

A series of analysis methodology, which includes analyses of interaction between a user and gaze-based system, was developed. The analysis methodology enables us to obtain insights about how gaze-based systems should be designed/improved from usability views. In feasibility studies in which the developed methodology was applied, a prototype of gaze-based interface having text entry function was implemented. Additionally, the extended version of the methodology was successfully applied to gaze-interaction in medical engineers' works.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2008年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：人間工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 社会システム工学・安全システム

キーワード：眼球注視インタフェース, ユーザビリティ, 習熟プロセス, インタラクション評価

1. 研究開始当初の背景

視線による入力は、重度の身障者に対して

IT を介したスムーズな意思疎通や社会活動参加の実現を可能とすることから、その適用

可能性が期待されていた。このような技術を、技術オリエンテッドではなく、ユーザの観点から真に使いやすい形で効果的に用いていくこと、すなわち使い勝手が高い形での入力を実現するといった、この技術を活用していくためのうまいやり方が求められていた。

視線入力技術をユーザから見ると、以下のような問題がある。それは、(i)視線を入力として用いることは、日常の活動とは大きく異なる不自然な行動であり、特別な入力方式が必要になること、そして(ii)視線入力を実現するためのシステム、機器は利用・運用に際して専門知識が必要であったり、あるいは購入には高額のコストが必要であるなど、費用的・技術的に大きな障壁がある、という2点をあげることができた。本研究は、(i)の問題点に着目し、視線を入力として用いる際の人間行動特性を明らかにし、これを設計に生かしていくといった、視線入力技術を活用していくための「利用技術」の発展に寄与することを動機として実施したものである。

2. 研究の目的

本研究は、視線入力を行う際の人間行動特性を明らかにするための分析を、ユーザが通常使っている状況(コントロールされた実験室環境とは異なる状況)において実施するという遠隔ユーザビリティ評価実現に資するために、眼球インタラクション(眼球注視インタフェースにおけるユーザとシステムのインタラクションを示す)における人間の視覚・認知特性を明らかにする方法論を構築することを目的とした。その方法論について妥当性をチェックし、その過程で得られた成果をまとめて眼球注視インタフェースを実装し、これに対する想定ユーザを含むユーザによる検証・評価を実施することも目的としている。さらに、研究の進行とともに新たな着眼点を得た結果、眼球インタラクションの評価方法を他のドメインにも適用し、その拡張性・有用性を検討することも目的としたこととした。

3. 研究の方法

以下に挙げる点を達成していくことを通して、本研究を推進した。

- (1) 眼球インタラクション評価に用いることができる測定指標、それらの適用可能性(適用の前提条件、限界)、妥当性(指標自体の精度)、そして指標間の関係性を評価する。
- (2) 眼球インタラクションにおける眼球運動の特徴とその影響要因を検討する。
- (3) 通常の使用状況に特有な、眼球注視インタフェース導入における具体的な問題点とその要因を調査する。
- (4) 上記の調査・検討に基づく、眼球注視イ

ンタフェース設計・導入に対するガイドラインを策定する。

(5) 想定するユーザが使用可能な眼球注視インタフェースをインプリメントする。

(6) 眼球インタラクションを対象とした分析アプローチの拡張可能性を評価する。

4. 研究成果

(1) 眼球インタラクションを評価するために、ユーザの眼球運動に基づき文字入力のパフォーマンスを評価するための表1に示す新しい測定指標を考案した。これらの指標は、コンピュータ画面上の仮想的なキーに対してある一定時間以上の注視をすることによってそのキーを押すという、注視停留時間を入力のキューとして利用した眼球注視インタフェースに対して適用が可能なものである。これらの指標の詳細な定義については、本研究報告書「5. 主な発表論文等」の雑誌論文①にあるので、そちらを参照されたい。以下にこれらの定義について、簡単に説明する。

●Premature Exits rate: ユーザが入力を意図したキーについて、入力するために必要となる連続した注視停留時間(アクティベートタイムと称する)に満たず、他のキーに視線を動かしてしまったという事象が発生した頻度。このような事象の発生回数を、所望の入力に必要な最低のキー入力回数で割ることにより算出する。

●Erroneous Selections: ユーザが入力を意図していないキーについて、誤って入力したことにより、最終的に誤った入力が確定してしまった事象が発生した頻度。このような事象の発生回数を、所望の入力に必要な最低のキー入力回数で割ることにより算出する。

●Activation During Scanning: ユーザが入力を意図していないキーについて、誤って入力してしまった事象(ただし上記のErroneous Selectionsに該当する事象は除く)が発生した頻度。このような事象の発生回数を、所望の入力に必要な最低のキー入力回数で割ることにより算出する。

●Attended Keys Per Character: 入力の作業中にユーザが認知したキーの数。このようなキーの数を、所望の入力に必要な最低のキー入力回数で割ることにより算出する。

指標が意味する内容について簡潔に示すために、これらの指標の概要について、表1にまとめる。これらの指標は、遠隔ユーザビリティ評価を実現するために必要となる、眼球注視インタフェースにより入力した情報をなるべく利用しない(すなわちユーザのプライバシーを尊重する)という条件を満たした上で算出することが可能となるように考

案したものである。眼球注視インタフェースの使用におけるパフォーマンスとの対応を評価するために、実際の入力パフォーマンス（ここでは入力スピードについて例示する）と、新たな測定指標間の関係について検討した(表1 右側参照)。本研究で実施した実験により得られたデータに基づき相関係数を算出してみた結果、よく対応していることがわかり、これらの指標をパフォーマンス指標として用いることができるとの結果を得ることができた。さらに、これらの中でユーザが入力した情報をもっとも利用せずに済む、汎用性が高い指標である「Attended Keys Per Character (AKPC)」が、実際の入力パフォーマンスとよく対応しており、この測定指標が遠隔ユーザビリティを実現する上できわめて有望なものであることがわかった。

表1 新たな測定指標の概要

指標	意味	入力スピードとの相関
Premature Exits rate	適切な注視が入力に至らない度合	-0.426**
Erroneous Selections	誤った入力が発生する度合	-0.525**
Activation During Scanning	意図しない入力が発生する度合	-0.525**
Attended Keys Per Character	入力キーに対して注意が向けられる度合	-0.757**

**： p<0.01

(2) 眼球インタラクションにおける眼球運動の特徴と、それに影響を与える要因間の関係を詳細に検討した結果、特に顕著な要因は習熟であった。すなわち、眼球インタラクションを初めて実施する時にはパフォーマンスには個人差が大きく、また非常に悪いパフォーマンス（たとえば低い入力効率など）を示す。しかしながら、きわめて短期間の使用経験で習熟が可能であり、その後のパフォーマンスは劇的に改善するというものである。

図1は、前項(1)で説明した「Attended Keys Per Character (AKPC)」によって測定されるパフォーマンスを例に、習熟に伴いパフォーマンスが改善されていく過程を示したものである。ここでは横軸に、入力文章（1つの文章について約20文字程度を含む）をとり、縦軸に指標 AKPC の平均値をプロットしたものである。ここで見られる習熟の速度はきわめて速いものであり、眼球注視インタフェースの有用性を示しているとともに、また実際の導入における適切なインストラクション

の必要性を示唆するものでもあった。

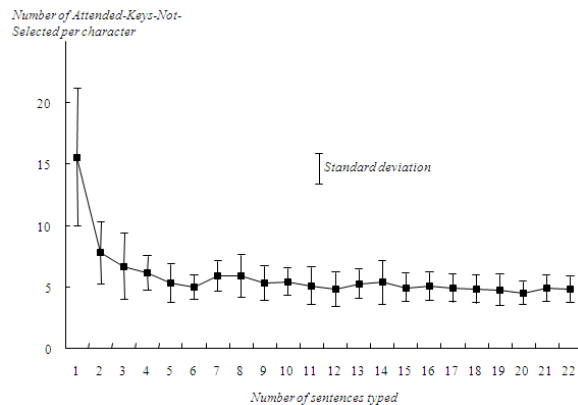


図1 習熟に伴う眼球インタラクションにおけるパフォーマンスの改善 (Attended Keys Per Character の例)

(3) ここで想定している典型的なユーザは、障がいにより、マウスやキーボードなどの通常の入力が困難な方である。このようなユーザの典型として、ALS の患者の方々に依頼をし、眼球注視インタフェースについて可能である範囲で使用していただき、意見をいただいた。なお、このような方々はきわめて重い障がいがありその度合いは様々であること、また体力的な制限など、数多くの制約の下で実施したために、体系的な調査にはなっていない。得られた意見から、主に以下のような問題点があることがわかった。

- インタフェースで用いる言葉はシンプルにすること。
- 新しい入力手段であるために、手順が若干わかりにくい。
- 画面に突然表示されるものがあり、うっとうしい（眼球操作のために必要なもの）。
- キャリブレーションにおいて、点の移動速度が速すぎる。ユーザの症状に対応して調整できた方がよい。
- 目の動きが困難である場合が多いため、画面内で表示位置等も変更できた方がよい
- セッティングに関して、ベッドで横たわっている患者の顔の前で固定できるような設置具が必要だが、現状ではできない。また、上半身を起こすことは、患者へ大きな負担になることから、一般には現状のやり方では困難である。

以上の諸点については、以下の項(5)で説明する現時点での眼球注視インタフェースに対して、今後も改善を継続的に加えていく予定である。

(4) 本研究で構築した測定指標を用いた調査・分析を総合することにより、眼球注視インタフェースの導入に関して以下のガイド

ラインを得ることができた。

●眼球注視インタフェースの入力画面について、眼球による入力手段を導入する前に、他の入力手段により十分に理解をしておく。

●なるべくシンプル・単純な入力コマンドにより、「眼球による入力」自体の習熟を実現しておくこと。

●指標 Premature Exits rate に対応する入力エラーは、特に習熟初期に頻繁に発生するが、これはごく短期間のうちに（本研究の実験では、文章を5つ程度入力する期間）劇的に減少する。この事実をあらかじめユーザに伝えることで、初心者ユーザをエンカレッジすること。

●眼球注視インタフェースにおける重要な設計変数である「入力コマンドが実行されるまでの時間」は、パフォーマンスに大きな影響を与えている。上記の③で説明した入力エラーが減少した状態に初心者ユーザが達したときに、この値を適切なものに設定する必要がある。本研究の実験では、500-900 ミリ秒程度の時間が適切であった。

●きわめて短期間での習熟が見込まれる眼球注視インタフェースではあるが、習熟初期ではきわめてパフォーマンスが悪い。このことから初心者ユーザは眼球注視インタフェースに嫌悪感を覚えることがしばしば見られる。図1に示した習熟曲線をひな形としたパフォーマンス記録用紙を準備し、各初心者ユーザのパフォーマンスをプロットしていくことで、習熟過程にあるユーザにフィードバックを与えることが、眼球注視インタフェースの円滑な導入に有効な手段となる。

(5) 本研究で得られた成果を活用し、眼球による入力により文字入力、電子メールの制御、そして一部 Web の閲覧を可能とする眼球注視インタフェースをインプリメントした。このインタフェースの使用風景を図2に示す。



図2 眼球注視インタフェースの使用風景

このインタフェースは、以下の Web サイトからダウンロードして使用することが可能となっている。

http://www.cogain.org/wiki/Gazetalk_Japanese

(6) 本研究では眼球インタラクション分析に対するアプローチ方法が、重要な学術的貢献の1つと位置づけることができる。このアプローチ方法について、眼球注視インタフェース以外の対象に対する拡張性について評価した。その対象として、医療における臨床工学技士の業務における眼球インタラクションをとりあげた。

図3は、(1)で説明した測定指標 AKPC の概念を拡張し、臨床工学技士の作業内容に合致する形で定義し直した新たな測定指標 Mean number of fixations per key information source を用いた分析の一例を示している。この測定指標は、作業を遂行するために重要となる情報に対して、どれだけ注意を向けているのか、その度合いを表現するものである。この測定指標については、本研究成果報告書「5. 主な発表論文等」の学会発表②に説明があるので、そちらを参照されたい。ここでは、新人の臨床工学技士2名が就職し業務を開始した直後から、透析機器の操作に対する習熟の過程を、上記の指標により4ヶ月にわたって評価している。この分析から、たとえばこれら2名の新人技士でも習熟の過程は大きく異なっていることがわかるとともに、十分な習熟に至る前に慣れ・思い込みが発生している可能性があるといった示唆を得ることができた。ここでの分析をまとめることで、これらの拡張された測定指標に基づき安全教育上の問題の発見に向けた着眼点を得るための手順・考え方について示すことができた。

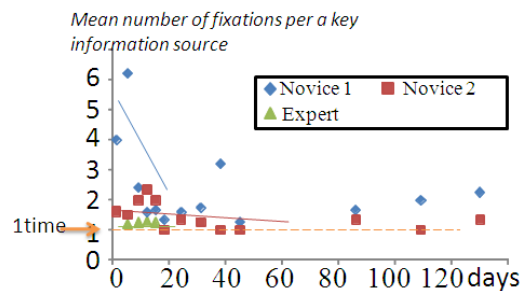


図3 拡張した眼球インタラクションの測定指標に基づく臨床工学技士業務の習熟過程分析の例

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 3 件)

① Hiroataka Aoki, John Paulin Hansen and Kenji Itoh: Learning gaze typing: What are the obstacles and what progress to expect?, Universal Access in the Information Society, Vol. 8, No. 4, pp. 297-310, 2009, 査読有り.

② 青木洋貴, 伊藤謙治, 木下昌之: 印刷広告閲覧における視覚的注意に与えるスタイル要素の影響分析, 人間工学, Vol. 44, No. 1, pp. 22-36, 2008, 査読有り.

③ Hiroataka Aoki, John Paulin Hansen and Kenji Itoh: Learning to interact with a computer by gaze, Behaviour and Information Technology, Vol. 27, No. 4, pp. 339-344, 2008, 査読有り.

[学会発表] (計 5 件)

① 青木洋貴, 鈴木聡, 伊藤謙治: 臨床工学技士の作業への IE・人間工学アプローチの適用, 第 47 回日本人工臓器学会大会予稿集, 第 46 回日本人工臓器学会大会予稿集, p. S-72, 2009 年 11 月 14 日, 査読有り.

② Hiroataka Aoki, Kenji Itoh, Yasuko Tomizawa, Toru Matayoshi and Ryohei Yozu: Application of eye tracking approach to medical domain -Eye-tracking analysis of skilled performance in pump-oxygenator artificial heart-lung machine operation-, Proceedings of the 15th European Conference on Eye Movement, August 25, 2009, Southampton, UK, 査読有り.

③ 青木洋貴, 富澤康子, 伊藤謙治, 又吉徹, 鈴木聡: 眼球運動解析アプローチに基づく人工心肺を用いた体外循環技術における熟練技能分析の試み, 第 46 回日本人工臓器学会大会予稿集, p. S-152, 2008 年 11 月 29 日, 査読有り.

④ Hiroataka Aoki and Kenji Itoh: Eye tracking analysis of effects of key styling factors on visual attention during reading of printed advertising, Proceedings of the 2nd International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, Las Vegas, USA, July 16, 2008 (CD-ROM), 査読有り.

⑤ 青木洋貴, 伊藤謙治: 認知タスクの連続実施における眼球運動の基礎的特性, 日本人間工学会第 49 回大会講演集, pp. 358-359, 2008 年 6 月 15 日, 査読なし.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 洋貴 (AOKI HIROTAKA)

東京工業大学・大学院社会理工学研究科・准教授

研究者番号: 00322090

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし