

自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおける キャプチャインタフェースの評価

北原俊¹ 小川 剛史²

概要：ウェアラブルデバイスを利用した視覚能力拡張に関する研究が盛んに行われている。ウェアラブルシステムはハンズフリーで操作できることが重要とされ、目の動作を用いたインタフェースが注目を集めている。しかし従来システムの多くは操作と機能の対応が直感的ではなかったり操作が不自然で疲労が伴うといった問題がある。そこで我々は、これまでに目元の自然なしぐさを用いた視覚拡張システムを提案してきた。本稿では、その一機能である凝視動作を用いた注視領域の部分キャプチャインタフェースに関して被験者実験により、システムの基本性能を検証し、提案インタフェースの有効性について議論する。

キーワード：視覚拡張, 拡張現実感, 入力インタフェース

Evaluation of Capture Interface of a Visual Ability Extension System Using Natural Eye Gestures

KITAHARA SHUN¹ OGAWA TAKEFUMI²

Abstract: There have been many studies on systems for augmenting human's visual ability using wearable devices. It is important to provide hands-free operations in a wearable system, and therefore, there has been considerable interest in an eye-gesture input interface. However, users cannot understand intuitively a correspondence between a function and an operation in most previous systems, and then an unnatural operation tires them. We have proposed a visual ability extension system with intuitive interface using natural gesture of the eyes. In this paper, we describe experimental results and discuss effectiveness of our capture interface using gazing.

Keywords: visual extensions, augmented reality, input method

1. はじめに

人は日常生活において外部から受け取る情報の約 80 % を視覚から得ているとも言われ、人の五感において視覚は非常に重要な役割を担っている。ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display, HMD) などのウェアラブルデバイスの開発と普及に伴い、それらを利用した人間の視覚能力拡張に関する研究が注目を集めている。ウェアラブル

システムは機器を把持する必要がないため他の作業をしながらでもシステムを利用できる大きな利点があり、視覚拡張システムにおいてもハンズフリーで操作できるインタフェースの実現が重要となる。既存研究においてはハンドジェスチャを利用したものが多く存在するが、ハンズフリーという大きな利点が失われている。そこで注目されているのが、HMD と親和性の高い視線入力を用いたインタフェースである。マウスなどのポインティングデバイスの代わりとして、視線停留や瞬目を用いることで、アイコンやメニューなどの操作を実現するシステム [1][2] が提案されている。一方、視線入力では “Midas touch problem” [3] が発生する。これは見るものすべてを金に変える能力をも

¹ 東京大学大学院工学系研究科
Graduate School of Interdisciplinary Information Studies,
The University of Tokyo

² 東京大学情報基盤センター
Information Technology Center, The University of Tokyo

つ Midas 王の神話に由来するもので、感覚器官である眼を利用すると、例えば視覚的な情報を得るための自然な停留と対象を操作するために意図的に行った停留を識別することが困難であることが知られている。また、瞬目など目の動作を利用するシステムでは、操作と機能の対応が直感的ではなかったり、操作が不自然で疲労が伴うといった問題が生じる。そこで、操作から機能が直感的に理解できることを要件として、著者らはこれまでに細目動作で操作するズームインタフェース、凝視動作で操作するキャプチャインタフェースを提案し、プロトタイプを実装した [4], [5]。これは人が見えづらいものを見るときに目を細めるということや、“目に焼き付ける”という言葉から着想を得たもので、文献 [4] では細目動作の検出精度に関する検証を行った。

本稿では、文献 [5] において提案したキャプチャインタフェースに関して被験者実験により、システムの基本性能を検証し、提案インタフェースの有効性について議論する。以下 2 章では目元の動作を利用したインタフェースに関する既存研究について紹介する。3 章では提案する視覚拡張システムの概要について述べ、4 章でプロトタイプの実装について述べる。5 章でキャプチャインタフェースの基本性能を検証するために行った実験について述べ、6 章で本稿のまとめについて述べる。

2. 関連研究

本章では、本研究の関連研究について述べる。視野拡張研究として、Orlosky らは魚眼レンズと HMD を用いて人間の視野角を拡張するシステムを提案している [6]。人間の視野角を超えた 238 度の写角の映像を魚眼レンズで撮影し、HMD に圧縮して提示することで通常よりも広い範囲を一度に見ることができる。しかし、映像を圧縮して提示しているため、物体を元の形・大きさで捉えることが難しいという問題がある。

Tremblay らは瞬目によって制御するズーム可能なコンタクトレンズを提案している [7]。これはコンタクトレンズと望遠レンズを組み合わせることで、通常の視界と 2.8 倍ズームの視界を実現し、メガネ型デバイスによって検出する意識的な瞬目でこの二つの視界を切り替えるものである。また、Peli らはメガネに小型の望遠鏡を取り付けることで、視野中心領域の部分ズームデバイスを提案している [8]。これは、小型望遠鏡による視野中心の部分ズーム映像を周辺視野に重畳することで、常に通常の視界とともに視野中心領域をズームした視界を表示するものである。

以上のように、“広く見る能力”や“遠くを見る能力”に注目した視覚拡張の研究は多く行われている。これらの研究においてはインタフェースが非常に重要で、特に HMD との親和性の高い目元の特徴量が利用されている。

谷口らは、人が意識的に行った瞬目動作を用いて音楽ブ

レイヤを操作するインタフェースを提案している [2]。瞬目は、人が意識的に行う随意性瞬目と光や風などの刺激に反応して行う反射性瞬目、それ以外の無意識に行う自発性瞬目に分類されるが、提案インタフェースでは目じりと耳の間の表皮の動きから随意性瞬目を高精度に検出している。一方、音楽プレイヤーの曲送りおよび曲戻しをそれぞれ右眼および左眼の瞬目動作に割り当てているが、アイコンを用いて利用者に操作方法を提示しても左右の瞬目を誤ってしまう利用者がいることや片眼の瞬目が困難な利用者がいることが報告されている。これは意識的な瞬目から割り当てられた動作が連想できないことや日常的には行わない不自然な動作であることが原因であると考えられる。

中村らは、拡張現実感システムにおけるアノテーションの表示量を眉間のシワの量で操作するフェーダー機能を有するインタフェースを提案している [9]。眉間のシワの寄り具合を利用することで、男女差および年齢差に関係なく操作が可能で、シームレスな情報量の制御が可能であると報告されている。さらに目に力を込めて“視る”という情報量のフェーダー操作を連想しやすい動作を用いることで意識的な操作だけでなく無意識的な感情表出による操作にも対応している。

以上のように、目元の特徴量を利用したウェアラブルインタフェースや自然な動作で操作できるインタフェースが注目されている。特に視覚拡張には自然なインタフェースが必要とされ、意識的な操作だけでなく無意識的な操作への対応も必要であると考えられる。そこで提案システムでは、対象とする操作を連想しやすく、誰でも簡単に行うことができる自然なしぐさを利用したインタフェースを実現する。

3. 視覚拡張システム

3.1 視覚拡張システム概要

本節では提案する視覚拡張システムの概要について述べる。視覚能力とは目を通して身の回りの状況を把握する能力であり、把握できる範囲を広げることが重要であると考えられる。そこで考えられるのが“遠くを見る能力”と“広く見る能力”の拡張である。高所にある看板や近づくことの難しいものを見るときなど日常生活において遠くのものを見たい場面は多くあり、“遠くを見る能力”の有用性は高いと考えられる。一方で、例えば遠くを見る能力を双眼鏡のようなズームシステムとして実現すると対象物の拡大に伴って視野が狭くなるという問題が発生する。移動する物体を見ている際には視野外に出やすく見失ってしまったり、周りの物体との距離感が把握しづらいということが問題となる。提案システムでは、注視領域のみを部分的にズームすることによって視野を狭めないズームを実現する。図 1 に想定する提示例を示す。さらに注視対象とユーザの距離に応じてズームの加速度を変更することにより、ズー



図 1 部分ズームの例



図 2 切り取り動作の例

ム動作の操作性を向上する。また“広く見る能力”の拡張に関しては、従来のアプローチとして文献[10]で行われているように魚眼レンズなどを用いて取得した広視野角の映像を提示デバイスに合わせて圧縮して表示することでひと目で広い範囲を見られるようにするというものがある。これは通常の視野の外から接近する物体など、物体の存在を検知することには適しているが、圧縮表示を用いているため物体の形状を正しく認識することは困難である。提案システムでは視野拡張のもう一つのアプローチとして注視領域のキャプチャ機能を実現している。例えば、一度には見ることができないような離れた場所に見比べたい2つのオブジェクトがあるとき、一方のオブジェクトを見ながらその様子を保存し、もう一方のオブジェクトの横に保存した映像を表示することで、2つのオブジェクトを並べて比較できる。図2に想定する提示例を示す。視野をキャプチャする際にはそのオブジェクトとユーザの距離を用い、注視距離の異なる二つのオブジェクトを見比べる場合でも隣に並べて比較できるように、距離に応じた表示サイズの調整機能を備える。これらの視覚拡張機能の操作に各機能との関係性の高い自然な動作を採用する。ズームに関しては、人は見えづらいものを見るときに目を細めるということから、細目動作を割り当てる。また、キャプチャに関しては“目に焼き付ける”という言葉からしっかり見る動作として、凝視動作を割り当てる。そしてこれらの動作に共通して、提示映像を通常状態に戻すリセット動作には閉目動作を割り当てる。

キャプチャ機能を[4]で提案した視覚拡張システムの追加機能として実装した。システム構成を図3に、開発環境



図 3 システム構成

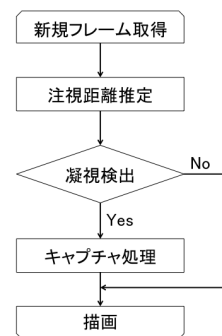


図 4 処理のフロー

を表1に示す。

3.2 キャプチャインタフェース

本節では、プロトタイプにおけるキャプチャインタフェースの実装について述べる。図4にキャプチャ機構の処理フローを示す。

3.2.1 凝視動作検出

人は何かを凝視する際には瞬目の頻度が低下することを用いて、瞬目の頻度の変化から凝視動作を検出する。まぶた表皮の運動によりフォトリフレクタがまぶたに照射した赤外光の照射強度が変動するため、その値の変化から瞬目を検出する。瞬目を行った時の計測値を図5に示す。フォトリフレクタのサンプリング周波数は50Hzである。予備実験より、瞬目の頻度は約3~4秒に1回であることがわ

表 1 開発環境

処理用 PC	Dell 社 VOSTRO 460
OS	Microsoft 社 Windows7 (64bit)
HMD	Sony 社 HMD-T3W
RGB カメラ	PointGrey 社 Flea3
レンズ	TAMRON 社 MegaPixel
フォトセンサ	ROHM 社 RPR-220
制御マイコン	Arduino 社 Arduino UNO
プログラミング言語	C++ (v6.1)
画像処理ライブラリ	OpenCV (v2.4.10)

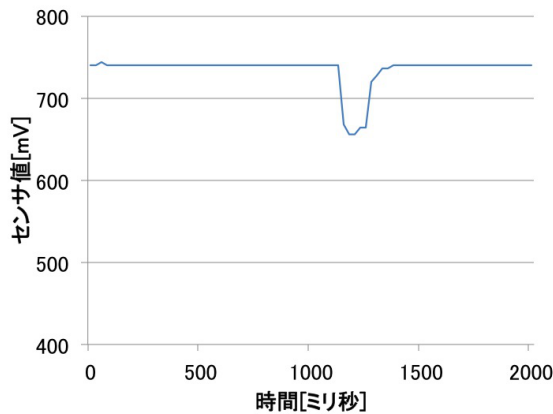


図 5 瞬目時のセンサ値

かっているため、最後の瞬目から 6 秒以上経過した場合に凝視動作であると判定する。

3.2.2 注視距離推定

相互相関係数を用いて取得した左右のフレーム間で視野中心におけるピクセル単位での対応点の探索を行う。この対応点間距離から三角測量の原理でユーザの注視距離を推定する [11]。このとき、カメラの焦点距離を f 、カメラ間の距離を l 、画像上における対応点間の距離を $|i_a - i_b|$ 、撮像素子の大きさを w 、画像の大きさを M とすると注視距離 d は次式で表される。

$$d = \frac{f \cdot l \cdot M}{w \cdot |i_a - i_b|} \quad (1)$$

3.2.3 注視オブジェクト検出

凝視動作検出時のフレームを取得し、グラフカットに基づく前景抽出 [12] により前景領域を検出する。注視オブジェクトは視野中心に存在することが多いと考えられるため、前景領域で、視野中心にあるものを注視オブジェクトとして検出する。

3.2.4 注視オブジェクト重畳表示

前節において検出した注視オブジェクトに半透明処理を施し、取得フレームに重畳して提示する。異なる距離にあるオブジェクトの大きさ比較を可能にするため、凝視動作検出時と提示時の注視距離に応じて次式で決定される倍率でスケールリングする。

$$v_{capture} = \frac{d_{capture}}{d_{now}} \quad (2)$$

ここで $v_{capture}$ 、 $d_{capture}$ 、 d_{now} はそれぞれスケールリング倍率、凝視動作検出時の注視距離、提示時の注視距離を示す。システムはユーザの凝視動作を検出後、閉目動作検出まで提示を続ける。

3.2.5 閉目動作検出

まぶた表皮の運動によりフォトリフレクタがまぶたに照射した赤外光の照射強度が変動するため、その値の変化から瞬目を検出する。閉目動作と細目動作、瞬目を行った時の計測値をそれぞれ図 5、図 6、図 7 に示す。フォトリフ

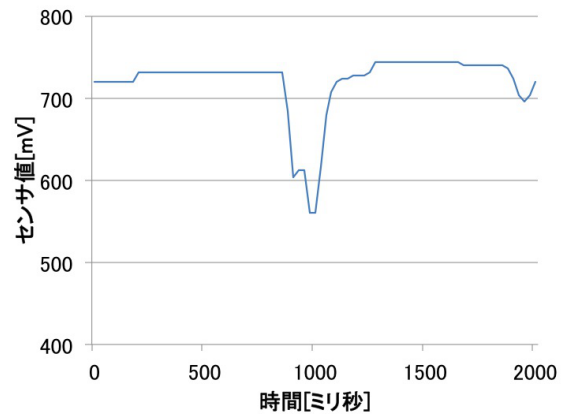


図 6 閉目動作時のセンサ値

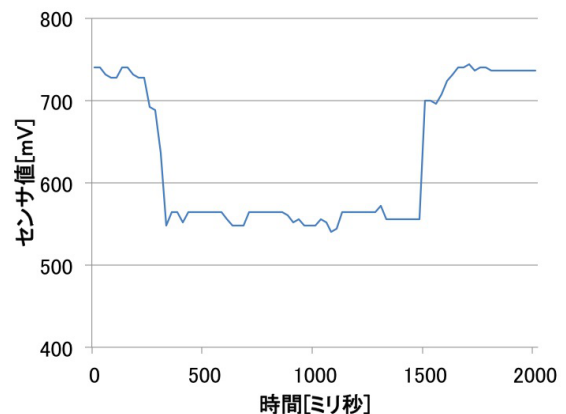


図 7 細目動作時のセンサ値

レクタのサンプリング周波数は 50Hz である。意識的に目を閉じる閉目動作と生理的な瞬目では目を開いた状態と目を閉じた状態でのフォトリフレクタの計測値の変動はそれぞれ約 80mV、約 150mV となっており、センサ値の変位で区別することが可能である。細目動作と閉目動作では、計測値の変動の大小に個人差があり、センサ値の変位で区別することが困難である。細目動作に対し、閉目動作は瞬間的な動作であることから、センサ値の変化時間に着目する。電圧変化が 300 ミリ秒以上継続した場合に細目動作であると判定し、300 ミリ秒未満であった場合に閉目動作であると判定する。

4. 評価実験

本章では、キャプチャインタフェースの基本性能について検証した実験とその結果について述べる。

4.1 実験 1

4.1.1 目的と内容

凝視動作を検出する際の時間閾値の妥当性を検証するため、人が顔を閉じずに目を開けていられる時間を測定した。被験者には、任意のタイミングで瞬目をさせ、それから可能な限り顔を閉じないように指示した。目に不快感を覚え

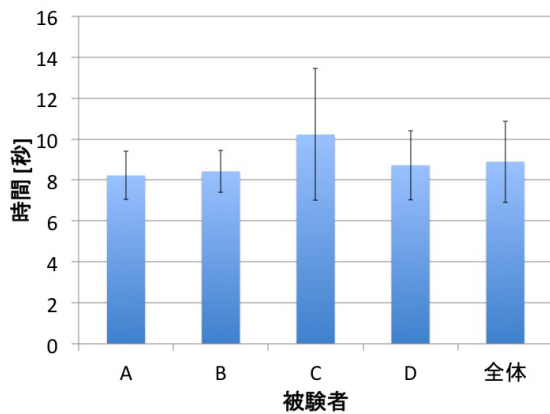


図 8 平均凝視可能時間

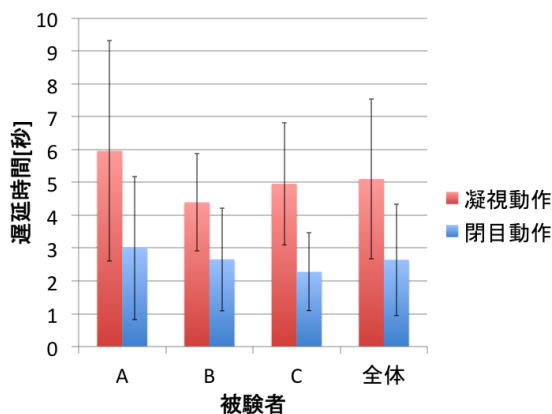


図 9 平均遅延時間

るまでの時間を測定し、その時間を凝視可能時間とした。十分な休憩を取りながら被験者 1 人あたり 5 回計測した。被験者は 22 歳から 25 歳の成人男性 4 人であった。

4.1.2 結果

図 8 に各被験者の凝視可能時間を示す。グラフ中のエラーバーは標本標準偏差を示している。各被験者とも不快を伴わずに目を開けていられる時間は 8 秒程度である。このことから瞬目間隔が 6 秒以上になった場合に凝視動作とすることはユーザへの負担が少ないことが確認できた。さらに瞬目の頻度が約 3～4 秒に 1 回であることから時間閾値を 6 秒とすることが妥当であると考えられる。

4.2 実験 2

4.2.1 目的と内容

プロトタイプにおけるキャプチャシステムの基本性能を検証するため、凝視動作、閉目動作の遅延時間を測定した。被験者に HMD を装着させ、提案システムにおけるキャプチャ、リセット機能に関して説明した。実際に凝視動作で注視領域をキャプチャする操作と閉目動作でのリセット操作を数回練習させた後に実験を行った。実験では、被験者が指示したタイミングで凝視動作によるキャプチャ操作および、閉目動作によるリセット操作を行わせた。実験者の

指示からシステムが凝視動作・閉目動作を認識するまでの時間を遅延時間とした。10 回のキャプチャ・リセット操作を 1 試行とし被験者 1 人あたり 3 試行実施した。被験者は 22 歳から 25 歳の成人男性 3 人であった。

4.2.2 結果

図 9 に平均遅延時間を示す。グラフ中のエラーバーは標本標準偏差を示している。各被験者とも指示から 5 秒程度で凝視動作を実行できている。6 秒以下である被験者に関しては最後の瞬目からある程度時間が経った後、凝視動作を行ったと考えられ、実際には瞬目間隔の時間閾値である 6 秒より短い時間で凝視動作を使用できると考えられる。また、凝視動作の認識に 2 回だけ 10 秒以上の時間を必要とした被験者が 1 人いたが、凝視動作が認識されなかった被験者はおらず、安定して凝視動作を検出できた。閉目動作に関しても同様に、どの被験者も指示から 2～3 秒後に実行できている。閉目動作の認識は、顔を閉じてから開いた時点で行っているために目を閉じている時間も遅延時間に含まれている。各被験者ともはじめの数回では閉目動作が認識されず 2～3 回の動作で認識された試行が見られたが閉目動作が認識できなかった被験者はおらず、安定して閉目動作を検出できていることがわかる。実験後の被験者からも操作に慣れた 2 セット目からは閉目動作は容易に実行でき、すぐに認識されたとの声が聞かれた。

5. おわりに

本稿では、我々が提案してきた視覚拡張システムにおけるキャプチャインタフェースの基本性能の検証を行った。キャプチャ機能には“目に焼き付ける”という言葉からしっかり見る動作として、凝視動作を割り当てることで、機能と操作の対応を直感的に理解でき、人が無意識に行ったしぐさであっても意図通りの機能が発動することを期待している。被験者実験により、凝視可能時間を計測し、6 秒間の凝視動作がユーザにとって無理のない動作であることを確認した。また、同様に凝視動作・閉目動作の反応速度を計測し、各被験者が容易に操作できることを確認した。今後は、視覚拡張システムのユーザビリティに関する評価実験を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (C)(25330227) の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 兼松真志, 高野博史, 中村清実. HMD のための非接触型目入力装置. 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティクス, Vol. 108, No. 479, pp. 163–166, 2009.
- [2] 谷口和弘, 西川敦, 宮崎文夫. こめかみスイッチ: アフォーダンスを考慮した常時装用型コマンド入力装置の設計と実装. 計測自動制御学会論文集, Vol. 46, No. 1, pp. 39–48,

- 2010.
- [3] Robert JK Jacob. Eye movement-based human-computer interaction techniques: Toward non-command interfaces. *Advances in human-computer interaction*, Vol. 4, pp. 151–190, 1993.
 - [4] 北原俊, 小川剛史. 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるズーミングインタフェース. *VR 学研報*, Vol. 20, No. CS-3, CSVC2015-24, pp. 87–92, Oct. 2015.
 - [5] 北原俊, 小川剛史. 自然なしぐさを利用した視覚拡張システムにおけるキャプチャインタフェース. *VR 学研報*, Vol. 20, No. CS-4, CSVC2015-34, pp. 21–24, Dec. 2015.
 - [6] Jason Orlosky, Qifan Wu, Kiyoshi Kiyokawa, Haruo Takemura, and Christian Nitschke. Fisheye vision: peripheral spatial compression for improved field of view in head mounted displays. In *Proceedings of the 2nd ACM symposium on Spatial user interaction*, pp. 54–61. ACM, 2014.
 - [7] Eric J Tremblay, Igor Stamenov, R Dirk Beer, Ashkan Arianpour, and Joseph E Ford. Switchable telescopic contact lens. *Optics express*, Vol. 21, No. 13, pp. 15980–15986, 2013.
 - [8] Eli Peli. Vision multiplexing: an engineering approach to vision rehabilitation device development. *Optometry & Vision Science*, Vol. 78, No. 5, pp. 304–315, 2001.
 - [9] 中村裕美, 宮下芳明. 眉間を用いた拡張現実感を制御する装置の提案. *インタラクション 2010 論文集*, pp. 177–180, 2010.
 - [10] 早田起, 岩切宗利. 周辺視野への視角外空間の表示による視野拡張に関する一検討. *情報処理学会研究報告. グラフィクスと CAD 研究会報告*, Vol. 2015, No. 10, pp. 1–5, 2015.
 - [11] 村平宏太, 田口亮. ステレオ視による高精度な奥行き情報の実時間推定 (スマートパーソナルシステム, 一般). *電子情報通信学会技術研究報告. SIS, スマートインフォメディアシステム*, Vol. 109, No. 78, pp. 31–36, 2009.
 - [12] 柴涼介, 泉泰介, 和田幸一. 分割画像のグラフカットに基づく高速かつ省メモリな画像前景抽出. *電子情報通信学会論文誌 D*, Vol. 95, No. 3, pp. 628–637, 2012.