

手指障害者のための非接触型入力インターフェースの開発

比嘉 広樹*・堂上 高司*

A Development of Noncontact Input Interface for People with Disabilities of the Fingers

Hiroki HIGA,* Takashi DOJO*

Abstract A noncontact input interface using image processing for people with disabilities of the fingers, such as rheumatism, collagen disease, and osteoarthritis, has been developed. The input interface is simply composed of a CCD camera and PC. Taken with the CCD camera, the fingers were appropriately detected using image processing in this paper. An on-screen keyboard and control box were also made. In order to evaluate a performance of the input interface, three healthy subjects input some example sentences using it. From the experimental results, it was clear that the beginners could directly input them in Microsoft Word without any difficulty, and the input characteristics with the least error were experimentally shown in this paper.

Keywords: human interface, noncontact input device, image processing, CCD camera.

1. はじめに

2005 年末のわが国におけるインターネット利用人口は約 8,529 万人と推定されており、パソコン（以下、PC）の世帯普及率は 68.3%、一世帯当たりの保有台数は 1.0 台となっている[1]。またウェブ閲覧、電子メールを始め、ネットオークションや電子掲示板、ブログなど、インターネットを介した PC の利用用途は多様化している。特に、ブログや SNS（Social Networking Service）などのコミュニケーションツールを利用することにより、情報の閲覧を主目的としていたインターネット利用者が自ら情報を発信する傾向を強めているように思われる。

ところで PC の入力装置に着目すると、一般的にキーボードやマウスが用いられているが、これらは健常者用に設計されているため、障害者、特に前腕に何らかの障害のある人々にとって必ずしも利用しやすいものとはなっていない。またマウスポインタを操作する行為において、通常視線をディスプレイに向けてマウスポインタを追うが、実際に操作しているのはマウスの方である。そのため、注視の対象とは別のマウスを操作して、PC 内部で変換された

マウスポインタを注視するという入力法では障害者[2]や高齢者にとってしばしば困難を伴う。

障害者のための PC 用の入力装置として、例えば、視線入力[3, 4]、下顎運動と舌運動を併用したもの[5]、顔の特徴を利用したカメラマウス[6]などがある。これらの入力装置では、重度の肢体不自由者や高位頸髄損傷者、脳性麻痺者を対象にしており、手指の運動がある程度できるものの、キー押下時に痛みを生じたり、手指の関節の変形で通常のキーボードやマウスの使用が困難である患者を対象にした入力装置の研究はあまり見受けられない。

以上のような背景の下、リウマチ性疾患や膠原病、変形性関節症などが原因で手指に障害のある人々を対象として、著者らは非接触、安価でかつ特別なキャリブレーションを必要としない入力インターフェースを開発した。具体的には、CCD カメラを用いて手指の動画データを取得し、画像処理によって手指を抽出するプログラムとオンスクリーンキーボード及びコントロールボックスを作製した。本稿では、同入力インターフェースの概要とその評価のための文字入力実験結果を述べ、本入力インターフェースの有効性を示す。

2. システム概要

2.1 基本構成

画像処理を用いた非接触型入力インターフェースのシステム構成を図 1 に示す。本システムは手指画像を取得するための CCD カメラと画像処理を行うための PC（モニタを含む）から構成されており、高価な画像処理専用のボード

2007 年 4 月 16 日受付, 2007 年 9 月 5 日改訂, 2008 年 1 月 11 日再改訂

Received April 16, 2007; revised September 5, 2007, January 11, 2008.

* 琉球大学工学部電気電子工学科

Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

を必要としない。操作方法は、ユーザが肘を固定した状態でモニタ上に表示したキー（枠）を離れた場所から手指で指すだけである。その手指を CCD カメラによって取得して画像処理により抽出し、手指のある部位が特定の枠内に重なると、制御命令や文字に関する入力処理を行うシステムである。

2.2 手指の画像処理

手指を画像中から取得するための画像処理の手順は次のとおりである(図2)。CCD カメラから手指の原画像を読み込み、取得画像 1 フレームにつき、YIQ 表色系変換処理、二値化処理、ラベリング処理、オープニング処理を行った。

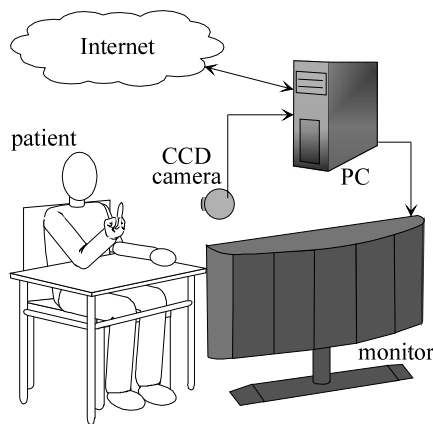


図 1 入力インターフェースのシステム構成 Fig. 1 System configuration of input interface.

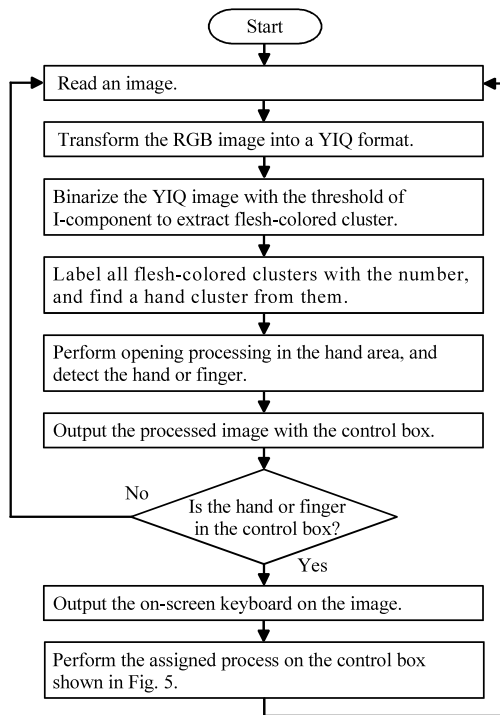


図 2 画像処理の流れ Fig. 2 Flowchart of image processing.

YIQ 表色系とは輝度 (Y) の 1 軸と色差 (I, Q) の 2 軸、計 3 軸で表現される表色系である。ヒトの目に色差を区別しやすい肌色に近い色と、区別しにくい寒色系があり、YIQ 表色系では前者の色を I 成分、後者の色を Q 成分としている。本研究で検出の対象としている手指には肌色成分が多いため、YIQ 表色系に変換後、I 成分を持つ画像データにしきい値を設定して二値化し肌色が濃い領域を取得した。その後、ラベリング処理を行い複数の独立した領域から手指の領域を取得した。

2.3 オンスクリーンキーボード

本入力インターフェース使用時のスクリーンショットの一例を図 3 に示す。同図左側には CCD カメラより取得した手指画像上に 50 音順配列のキーボードと手指先の位置を特定するためのコントロールボックスを重ね合わせた図、右側には既存のアプリケーションの一例として Word (Microsoft 社) を表示している。画像上に表示する 50 音順配列 (5 行 12 列) のキーボード (図 4) をオンスクリーンキーボードと呼ぶことにする。本キーボードには、日本語 50 音、濁点、半濁点、句読点などを配置し、左側 2 列に促音と拗音、記号などを配置して入力時間の短縮を図っている。プログラミング上、2 次的に示している図 4 のキーボードは最下端の文字が最上端の文字に、最左端の文字が最右端の文字に連続した構造になっている。

コントロールボックスと制御命令の割り当てを図 5 に示す。ここで、各領域内の番号①~⑨は便宜上の番号、その他の数値は各領域の大きさ (単位はピクセル) を表す。①~⑨以外の領域に手指先がある場合には④と同様に静止状

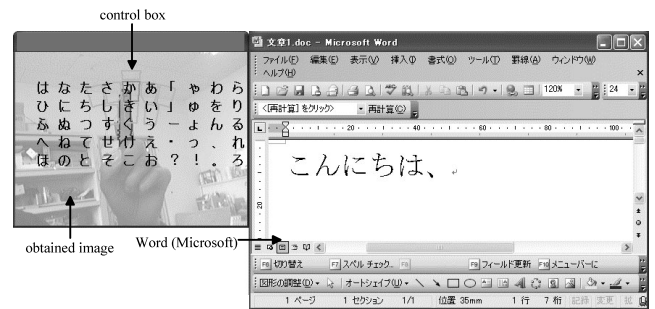
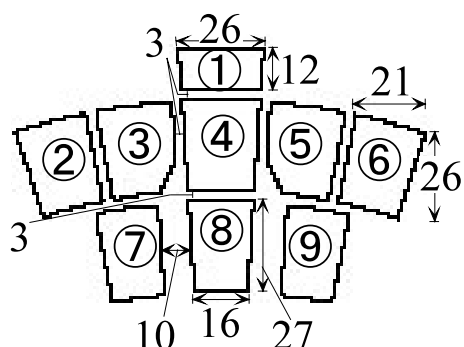


図 3 入力インターフェースのスクリーンショット Fig. 3 Screenshot of noncontact input interface.

「	っ	わ	ら	や	ま	は	な	た	さ	か	あ
」	や	を	り	ゆ	み	ひ	に	ち	し	き	い
一	ゆ	ん	る	よ	む	ふ	ぬ	つ	す	く	う
・	よ	、	れ	ゝ	め	へ	ね	て	せ	け	え
?	!	。	ろ	ゝ	も	ほ	の	と	そ	こ	お

図 4 50 音順配列のキーボード Fig. 4 Japanese syllabary keyboard.



① enter key, ② left arrow key with movement speed of v_2 , ③ left arrow key with movement speed of v_1 , ④ resting position, ⑤ right arrow key with movement speed of v_1 , ⑥ right arrow key with movement speed of v_2 , ⑦ back space key, ⑧ down arrow key with movement speed of v_1 , ⑨ space key

図5 コントロールボックス

Fig. 5 Control box. Unit of numerical values in the figure is pixel.

態とし、この領域内に手指先を入れるとオンスクリーンキーボードを表示して文字入力が可能できるように設定した(図2)。ユーザの上肢における可動域の制限を考慮し、肘を台上に置き、手指—カメラ間距離を40 cmとして手指と手首を固定した場合、肩関節の内旋・外旋と肘関節の屈曲・伸展の可動域が各々 $\pm 7^\circ$ と $\pm 5^\circ$ となるようにコントロールボックスを設計した。オンスクリーンキーボードの行数より列数の方が多い構造上の理由により、その左右方向の移動に関しては2段階の移動速度($v_1 < v_2$)を設け、領域④の静止状態から離れるにつれてその移動速度が大きくなるようにした。上下方向の移動に関しては下向きの移動のみとした。⑦-⑧間と⑧-⑨間を広くとり、④から⑧へ手指先を移動する際に領域⑦や⑨に誤って入ることを避けた。入力した文字を左から右へ表示するため、Back Spaceの一文字消去を左下に配置した。英文字入力では頻繁に使用するスペースキーを領域⑨に割り当てた。かな漢字変換の際には、同領域を次候補選択として使用した。誤入力を避ける目的で、選択した文字の決定を領域①に割り当てた。

本入力インターフェースでは、コントロールボックスに手指先を入力すると画像処理により手指に点をプロットし、この点を各領域に入れることでそれぞれに割り当てた制御命令を実行する。例えば、文字入力の場合には、左右と下の矢印キーを操作し、入力したい文字を領域④に入れ、領域①のEnterキーを入力して文字の入力を行う。ここでは連続入力を避けるために領域①、⑦、⑨に関しては1回の入力度で1度だけ実行するようにした。初期状態では、図4の「あ」の列を領域①、④、⑧の位置に表示し、文字の検索時間を短縮する理由により文字決定後に第1行目(「あ」「か」「さ」「た」「な」…)が最上段に自動的に移動

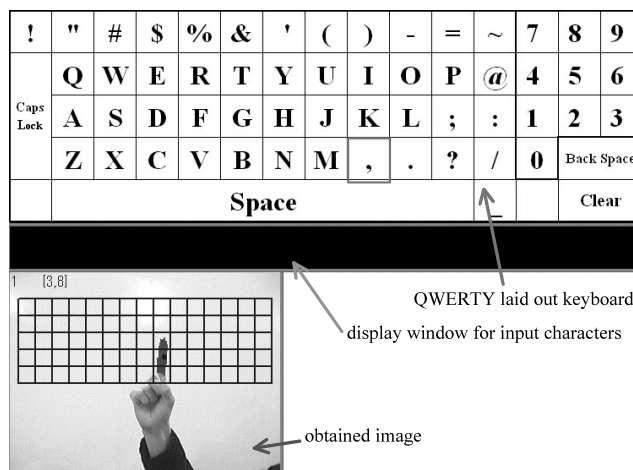


図6 先行研究[8]の入力インターフェースのスクリーンショット
Fig. 6 Screenshot of input interface previously proposed[8].

するように設定した。ユーザに提示する画像上には5行10列の文字のみを表示し、ユーザの視認性に配慮した。文献[4]によると、すべての文字を表示した場合としない場合とでは一定時間内における入力文字数にほとんど差が出なかった。よってすべての文字を表示しなくても入力の操作性には影響を及ぼさないと考えられる。

手指先にプロットする点の座標 (x, y) を次式で定義し、手指先端から10ピクセル下方に点をプロットした。

$$(x, y) = (bx + (r - 10) \cos \theta, by + (r - 10) \sin \theta) \quad (1)$$

ここで、 bx, by はそれぞれ水平、垂直方向における手指の重心座標、 r は重心から指先までの距離、 θ は水平方向と重心—手指先線分とのなす角度を表す。手指を半屈曲させた場合、あるいは握りこぶしの場合でも、式(1)に従って屈曲した手指を追従するように設定を行った。後者の場合には、第2指のPIP関節付近に点がプロットされる。

2.4 肘を固定しない場合のシステム

以上は肘を固定して手指を動かすことを想定した。これに対して、先行研究[7, 8]ではオンスクリーンキーボードを固定し、肘を固定せずに手指を移動して文字を選択・入力する方式を検討した。そのスクリーンショットの一例を図6に示す。上からキーボード、入力文字を表示する窓、CCDカメラによって取得した画像を表す。画像上にはキーボードの枠数と同数(但し、スペースキー、Back Spaceキー、Clearキー、Caps Lockキーには複数個の枠をまとめて同一の機能を持たせた)の枠(5行15列)を表示している。肘を固定しないシステムでは、手指を枠内に入れると、その枠に相当するキーボード上の文字を方形のカーソルで囲み、選択した文字上で手指を屈伸すると文字を決定するように設定した。同システムと本稿で提案する(肘を固定する)システムとの比較については考察で述べる。

3. 実験方法

実験系の外観図を図 7 に示す。CCD カメラ (QV-4000R, Logicool 社; USB バスパワー駆動式で、外部電源不要) を用いて健常被験者 3 名 (平均年齢 23 歳, 男性 2 名, 女性 1 名) の利き手側の手指の画像データをフレームレート毎秒 30 フレーム, 解像度 320×240 ピクセルで取得した。CCD カメラと手指との距離を 40 cm とし, PC には Celeron 1.4 GHz 搭載機, OS には Windows Xp, 文字入力先のアプリケーションソフトには Word 2003 を使用した。

実験の手順は以下のとおりである。まず被験者にコントロールボックスに関する説明を行った後, テーブル上に肘を置いてもらい, 第 2 指を伸展させたときに手指先が図 5 の領域①に入るように CCD カメラの角度を調整した。次に, 練習のための例文「今日は, すがすがしい」(10 文字) を被験者に提示し, 本入力インターフェースを用いて Word に同例文を 3 回入力してもらった。続いて, 表 1 に示す例文 (a) のみを被験者に提示して Word に 5 回入力してもらい, 各々の例文入力に要する所要時間と誤入力の回数を測定した。例文 (b) と (c) に関しても同様にして入力所要時間と誤入力回数を測定した。例文を変更する際には 10 分間の休憩を設けた。表 1 に示す「ストローク数」を, かな漢字変換のためのスペースキー入力回数及び濁点や記号などの入力回数を含めた例文入力に要する決定入力回数と定義した。

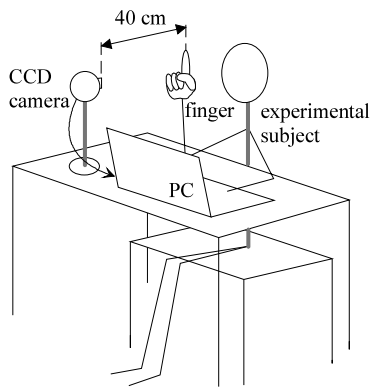


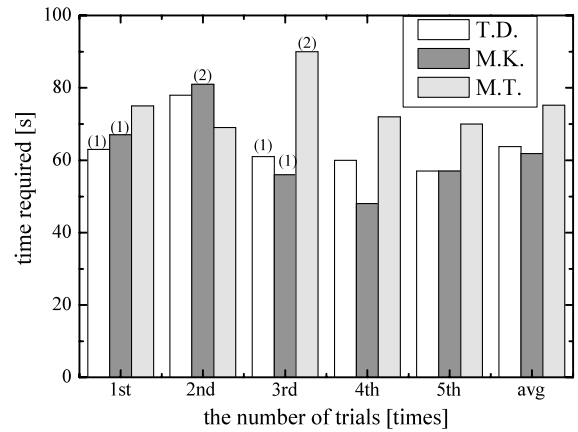
図 7 実験システム
Fig. 7 Experimental setup.

表 1 例文
Table 1 Example sentences.

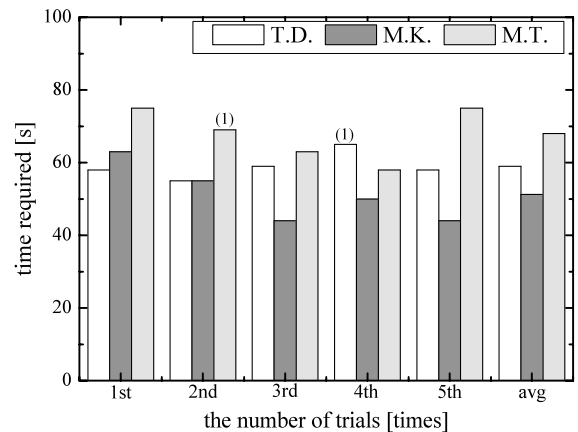
example sentences	number of characters	number of stroke
(a) お元気ですか?	7	11
(b) メールありがとう	8	10
(c) また会いましょう	8	9

4. 実験結果及び考察

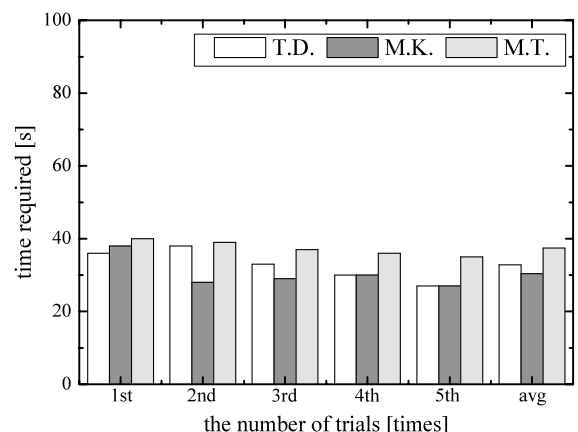
本入力インターフェースを用いた文字入力の実験結果を図 8 に示す。同図中における括弧内の数字は誤入力を行った



(a)



(b)



(c)

図 8 それぞれの例文における測定結果

- (a) 例文 (a) の場合
- (b) 例文 (b) の場合
- (c) 例文 (c) の場合

Fig. 8 Experimental results of time required.

- (a) In the case of example sentence (a)
- (b) In the case of example sentence (b)
- (c) In the case of example sentence (c)

た場合の回数を表す。被験者 T.D. (本システムの製作者) 以外は本システムを初めて使用したが、適切なかな漢字変換も含め、すべての例文を Word に入力することができた。被験者 M.K. の平均入力所要時間はすべての例文入力において製作者 T.D. を上回った。同被験者の場合、例文 (a) の 2 回目の入力時に最も入力所要時間を要したが、これは誤入力文字を Back Space により削除し再度入力し直すことを 2 度 (2 文字) したためである。被験者 M.T. の場合、例文 (a) の 3 回目に入力所要時間が最大となったが、これも 2 文字の訂正を行ったためである。被験者 M.K. と M.T. は各々 2 文字訂正したが、入力所要時間に 9.0 s の差が生じた。実験終了後の被験者の主観的な意見によると、被験者 M.K. は文字を訂正する際、文字を 1 字戻すという意味で左側に配置した領域⑦を直感的に入力できたのに対し、被験者 M.T. は文字を消去する方法を考えたとのことであった。この文字訂正時の躊躇の有無が入力所要時間に差が生じた原因と考えられる。各被験者の 1 文字当たりの入力に要する平均時間を図 9 に示す。3 名の被験者で 1 文字当たりの平均入力所要時間に大きな差は見られなかった。以上より、本システムを用いるために特別な訓練を必要とせず、初めて使用しても入力所要時間が製作者とほとんど変わらないことが分かった。

例文 (c) を入力した場合が最も短時間で入力できた。この理由を明らかにするために、使用したキーボード (図 4) における各例文の文字距離を計算した。その結果を表 2 に示す。但し、初期状態を「あ」とし、上下左右方向 1 つ隣への移動距離を 1 とした。表 2 より例文 (c) の文字距離が最短であることが分かった。例文 (a) ~ (c) では入力ストローク数がほとんど変わらないが、例文 (c) における入力所要時間が 2/3 程度になったのはオンスクリーンキーボードにおける文字距離が短かったためであると考えられる。誤入力という観点から見ると、例文 (a) の場合には被験者 M.K. で最大となり 1.27%、例文 (b) の場合には被験者 T.D.

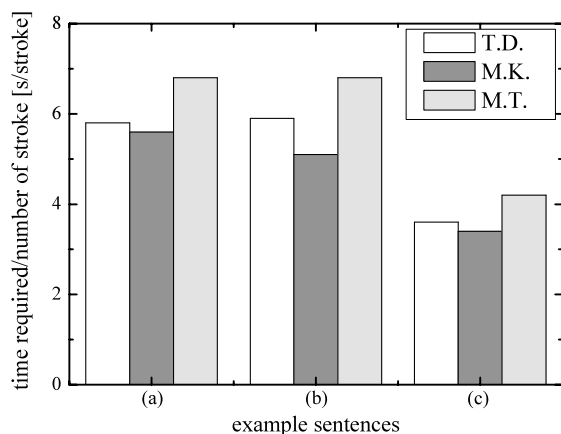


図 9 1 文字当たりの平均所要時間

Fig. 9 Average times required per a character input.

と M.T. で最大 0.30%、例文 (c) の場合にはすべての被験者において 0% であった。この結果より、誤入力の非常に少ない入力インターフェースが設計できたと考えられる。

本稿で提案する入力インターフェースの水平方向、垂直方向における手指の移動範囲と先行研究 [7, 8] との比較を表 3 に示す。前者では、図 5 の領域②の左端から領域⑥の右端までの水平方向と、領域①の上端から領域⑧の下端までの垂直方向に手指を移動させる際に必要な移動距離を表す。先行研究の結果と比較すると、本稿の入力インターフェースでは移動範囲が上下左右ともに約 1/3 以下になっており、面積比では 88.8% 低減した。よって、本システムを用いることで、上肢の可動域に大きな制約を有する患者でも利用できると考えられる。この改善点に加え、画像処理をコントロールボックスの周辺 (画像 1 フレームに対する 28% が処理される) のみ行うという設定により、結果的に背景ノイズによる影響も抑えられた。

本入力インターフェースを用いると、手指の 0 ~ 5 本の認識 [7] が良好に行えること、介護支援用ロボットアーム [8] の制御が可能であること、半屈曲時や全屈曲時でも前述した第 2 指のみの伸展時と同様の入力特性が得られること、Word 以外のメモ帳や Powerpoint などのアプリケーションソフトでも文字を入力できることを実験的に確認している。特に前者 3 つの機能より、環境制御のための入力装置、例えば部屋の照明、カーテンの開閉、ベッドのリクライニング操作、テレビやビデオの電源やチャンネル操作などの入力装置としても十分応用可能であると考えられる。その上、高性能な PC や画像処理専用ボード、高解像度のカメラなどの高価なハードウェアに依存せず、30 万画素程度の USB カメラを所有する PC ユーザが利用できる非常に安

表 2 例文の文字距離

Table 2 Distance between characters on each example sentence.

example sentences	vertical direction	horizontal direction	total
(a)	25	27	52
(b)	17	40	57
(c)	7	28	35

表 3 手指の移動範囲の比較

Table 3 Comparison between moving ranges of the previous work and of the proposed method in this paper.

	moving range of finger [cm]	
	previous work [8]	the proposed method in this paper
vertical direction	14	5
horizontal direction	35	11

価なシステムであることと、カメラを用いた一般の眼球運動検出装置に必要とされる使用前のキャリブレーションが不要であり、使用する観点からもユーザにやさしい仕様となっていることが本入力インターフェースの特長である。

本稿では、かな漢字変換を必要とする日本語入力の実験結果を示したが、先行研究[8]ではPCのキーボードと同じQWERTY配列のキーボードを用いてアルファベットが入力できることを確認しており、それを用いることにより本論文で提案する入力インターフェースでもアルファベットの入力が可能となる。近年、障害者自らウェブページを作成し情報を発信しているウェブサイトを多く見かける。本インターフェースの利用はリウマチ性疾患などが原因で手指に障害のある人々のQOLの向上に寄与するだけでなく、デジタル・デバイドによる情報格差を解消する一解決法になりうると考えられる。

5. ま と め

本稿では、手指の動画データを取得し、画像処理によって手指を抽出する非接触型の入力インターフェースを製作し、その評価実験を行った。その結果、本入力インターフェースを用いるとWordなどの既存のアプリケーションに文字入力が行えること、その使用には特別な訓練が不要であること、そして誤入力もほとんど生じないことを実験的に示した。今後の課題として、リウマチ性疾患患者など手指の動きに障害がある対象者による本入力インターフェースの評価が挙げられる。

謝辞 本研究の一部は独立行政法人科学技術振興機構地域イノベーション創出総合支援事業「シーズ発掘試験」による援助を受けた。記して感謝する。

文 献

1. 総務省編: 情報通信白書. 行政, 東京, 2006, pp. 17-43.
2. 伊藤英一, 大橋正洋: 高位頸髄損傷者用ペン型ポインティングデバイスの開発. インタラクシオン予稿集 1997, pp. 119-126.

3. 伊藤和幸, 伊福部 達: ビデオキャプチャ画像処理による視線検出及び意思伝達装置への応用. 電子情報通信学会論文誌. **J88-D-1**(2): 527-535, 2005.
4. 伊藤和幸, 数藤康雄, 伊福部 達: 重度肢体不自由者向けの視線入力式コミュニケーション装置. 電子情報通信学会論文誌. **J83-D-1**(5): 495-503, 2000.
5. 新川拓也, 河内了輔: 下顎運動と舌運動を併用したヒューマンインターフェース. 生体医工学. **44**(1): 94-100, 2006.
6. Cloud R, Betke M, Gips J: Experiments with a Camera-Based Human-Computer Interface System. Proc of the 7th ERCIM Workshop on "User Interfaces for All," UI4ALL 2002, Paris, 2002, pp. 103-110.
7. 堂上高司, 比嘉広樹, 西原 賢, 仲村郁夫: 手指形状の特徴を利用した入力インターフェースの検討. 2005年度電気学会・電子情報通信学会合同講演会論文集, 沖縄, 2005, pp. 39-42.
8. Higa H, Dojo T, Nishihara S, and Nakamura I: A Study on Input Interface Using Hand-finger Shape (2nd Report). Proc of ITC-CSCC 2006 (CD-ROM). Chiang Mai, 2006, pp. III-33-III-36.

比嘉 広樹 (ヒガ ヒロキ)

1992年琉球大学工学部電子・情報工学科卒業。1994年同大学院修士課程電気・情報工学専攻修了。1997年東北大学大学院博士後期課程電子工学専攻修了。同年琉球大学工学部電気電子工学科助手、2006年同大助教授、2007年同大准教授、現在に至る。博士(工学)。機能的電気刺激の制御命令入力法を中心に、福祉工学・生体電子工学に関する研究に従事。

日本生体医工学会, IEEE, IFESS, 電子情報通信学会各会員。



堂上 高司 (ドウジョウ タカシ)

2006年琉球大学工学部電気電子工学科卒業。2008年同大学院博士前期課程電気電子工学専攻修了。同年九州電力(株)に入社、現在に至る。在学中、画像処理および画像認識を利用したヒューマン・インターフェースに関する研究に従事。

電子情報通信学会会員。

