

4 Evaluations of Fonts

4.1 Subjects and Methods

Subjects are three males whose ages are from twenty-two to twenty-four years old. They have no difficulty in their tactile sense.

The tactile display system was used as an experiment device to present the font sets. The four font sets that are used in this evaluation are as follows:

- (1) The capital alphabets: twenty-six characters shown in Figure A-1
- (2) Arabic numerals: ten characters shown in Figure A-1
- (3) The symbols standardized in ASCII code: thirty-one characters shown in Figure A-2
- (4) Above three font sets and the small alphabet: ninety-three characters in total

Processes of an evaluation are as follows:

- (1) The subject put on the eye mask.
- (2) All characters of the font set were presented to subject once. The tester told the subject the correct name of the character to let the subject know all characters of the font set.
- (3) All characters of the font set were presented to subject at random. The subject answered the name of the font. The time from presenting the font until the subject replying the answer was measured. The tester let the subject know the correct answer after the subject replied the answer.
- (4) Above process was repeated five times.

All answers of the subjects were recorded and all the time required to answer was measured. Since the subjects were not instructed how to touch the tactile display, they were able to use any fingers.

4.2 Results and Discussion

Figure 3 shows the evaluation results of the font recognition in the case of capital alphabets. As shown in the figure, the percent correct answer of the both subjects is more than ninety percent. However, the average time required to answer showed about two times longer in the subject A than the subject B.

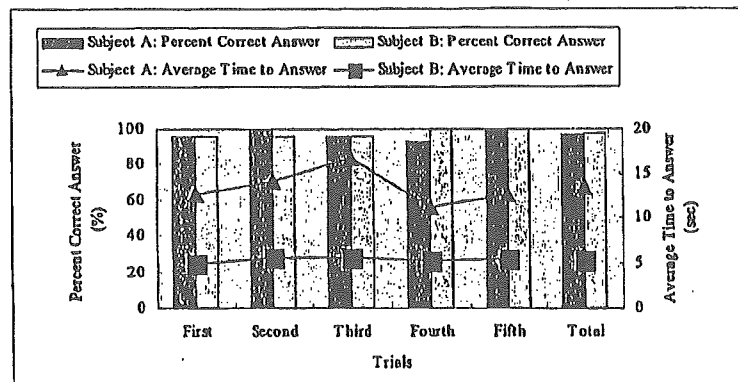


Fig. 3. Evaluation Results of the Font Recognition in the Capital Alphabet.

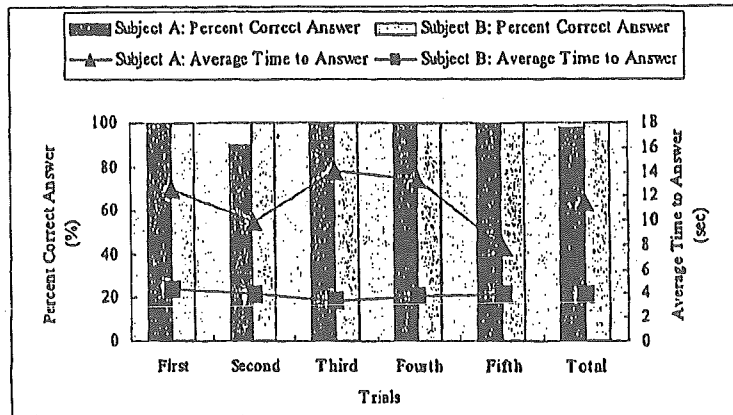


Fig. 4. Evaluation Results of the Font Recognition in Arabic Numerals.

Figure 4 shows the evaluation results of the font recognition in the case of Arabic numerals. The percent correct answer of the both subjects is almost 100%.

Figure 5 shows the evaluation results of the font recognition in the case of symbols. The percent correct answer of the subject B is close to 100%. On the other hand, that of the subject C is under 90% in average. With the regard to the contents of the mistakes, subject C tended to confuse in brackets, for example he mistook the square bracket for the round bracket twice. He also mistook the round bracket for the angle bracket. These mistakes of subject C occupy 41% of all mistakes.

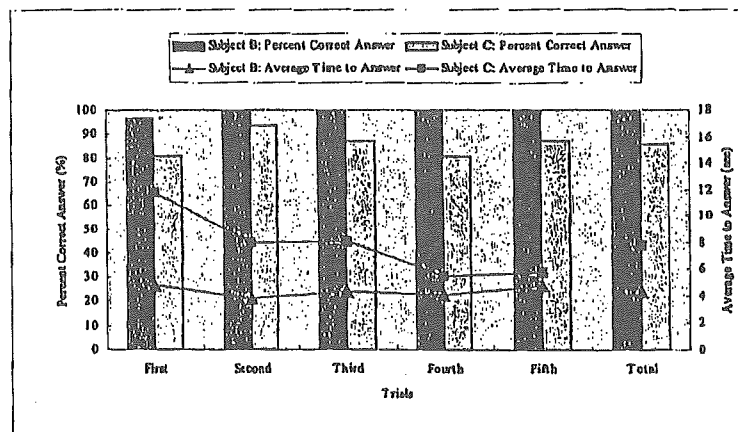


Fig. 5. Evaluation Results of the Font Recognition in Symbols.

Figure 6 shows the evaluation results of the font recognition in the case of all characters. Though the number of all characters is ninety-three, the percent correct answer in total is more than 90% for both in subject B and in subject C. This result shows that it is enough to understand the displayed characters using our tactile display system. However, some researchers reported that the function of the tactile sense deteriorates

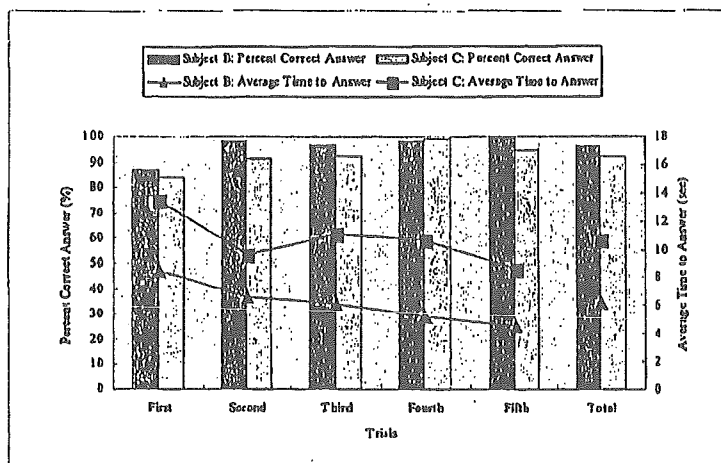


Fig. 6. Evaluation Results of the Font Recognition in All Characters.

with aging (3), (4). Our previous study also shows that the recognition ability of the tactile fonts of the elderly is lower than that of the young. It also shows the learning effect of the elderly is lower than that of the young (5). Since the subjects in this report include the elderly, other measurements including a special training program will be needed.

The reason why the correct answer of subject C shown in Figure 6 is higher than that of Figure 5 is seemed to be because Subject C has had a few experiences before this evaluation tests. The other subjects were also able to confirm the correct answer on each process. It is suggested that the recognition ability of subject C increased by learning effect while performing the evaluation tests.

With the regard to the contents of the mistakes, the results show as follows. Subject B mistook "B" for "8" twice. Subject B also mistook "D" for "0" twice. The other mistakes of subject B were once. Subject C mistook "S" for "5" twice. Subject C also mistook "D" for "O" twice and "O" for "c" twice. The other mistakes of subject C were once. It is supposed that we need to improve the design of several fonts that are observed conspicuous mistakes.

References

1. T. Watanabe and M. Kobayashi: Prototypes of the electronic tactile drawing system for blind persons, TVRSJ, Vol.7, No.1, pp.87-94, 2002. (In Japanese)
2. M. Shinohara, Y. Shimizu and A. Mochizuki: Three-dimensional tactile display for the blind, IEEE Transactions Rehabilitation Engineering, Vol.6, No.3, pp.249-256, 1998.
3. D. Kenshalo: Somesthetic sensitivity in young and elderly humans, Journal of Gerontology, Vol.41, No.6, pp.732-742, 1986.
4. J. Stevens: Aging and spatial acuity of touch, Journal of Gerontology, Vol.47, No.1, pp.35-40, 1992.
5. M. Sakajiri, K. Ito, S. Okada, H. Tomita and T. Ifukube: A development of the tactile display system to show the characters for individuals who are deaf-blind, Journal of Human Interface Society, Vol.5, No.4, pp.455-464, 2003. (In Japanese)

Appendix

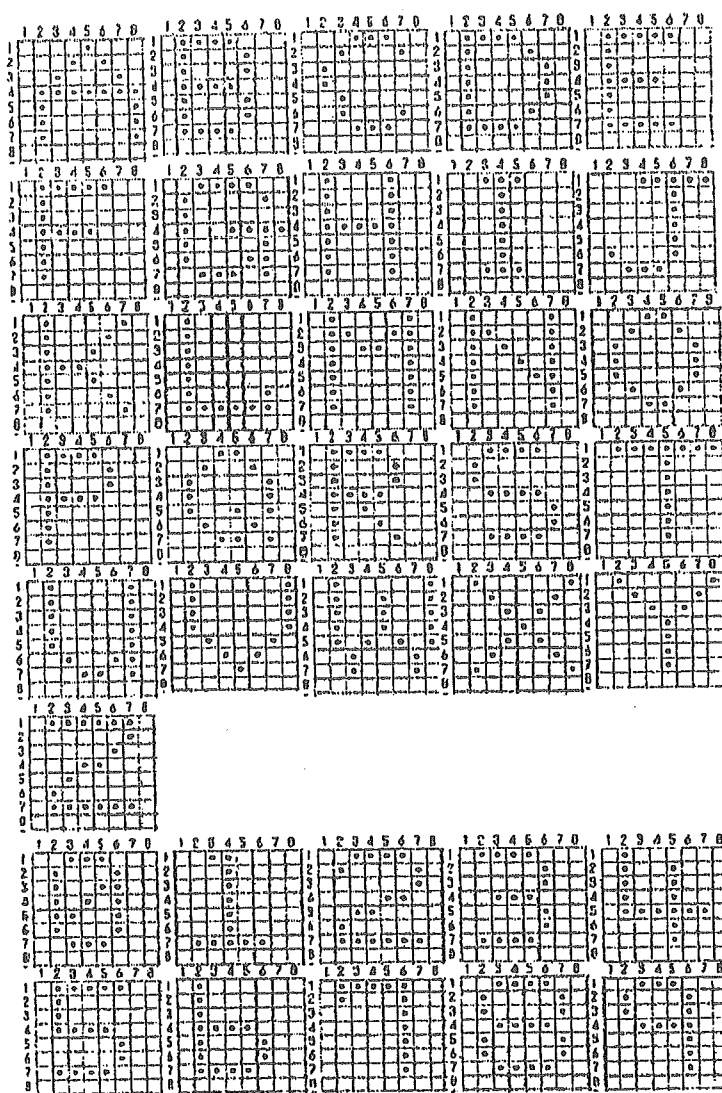


Fig. A-1. This figure illustrates "A", "B", "C", "D", "E", "F", "G", "H", "I", "J", "K", "L", "M", "N", "O", "P", "Q", "R", "S", "T", "U", "V", "W", "X", "Y", "Z", "0", "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8" and "9".

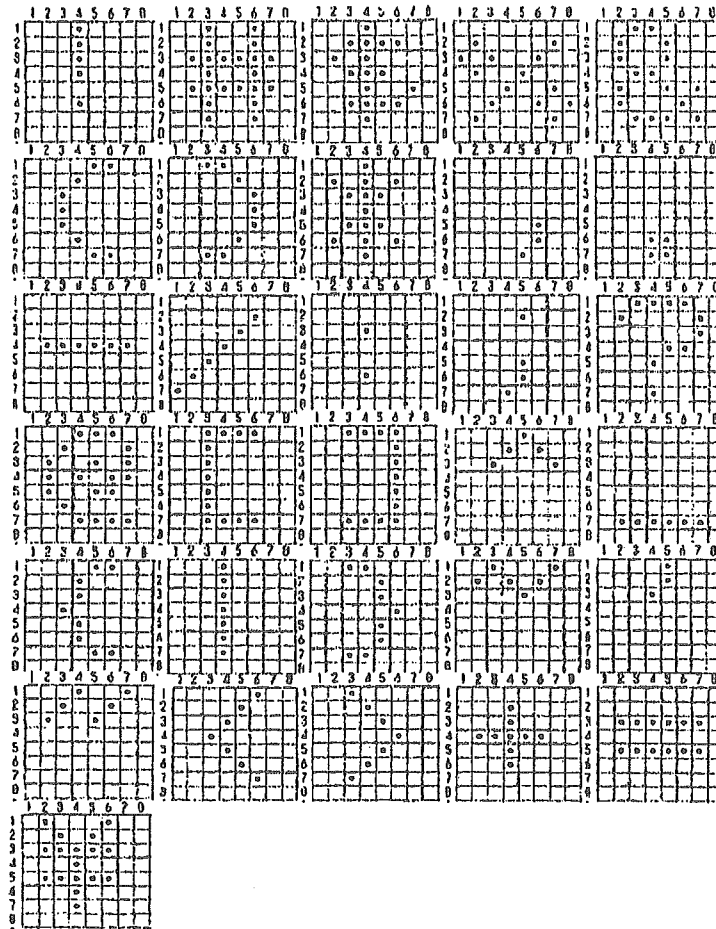


Fig. A-2. This figure illustrates "!", "#", "\$", "%", "&c", "(", ")", ":", ";", "<", ">", "+", "=", and "\".

カナ呈示による盲ろう者向けパソコン利用支援機器について

Assistive Technology in the use of a PC for the DeafBlind

国立身体障害者リハビリテーションセンター 研究所 伊藤 和幸

NHK 放送技術研究所 坂井 忠弘 障害者職業総合センター 坂尻 正次

キーワード：盲ろう者，(視覚聴覚重複障害)，触読カナ文字，点字，指点字

1. はじめに

視覚障害者がパソコンを使用する際、視覚障害により文字やグラフィックなどのビジュアルな情報は利用できないため、これらを音声や点字出力に替えるスクリーンリーダーを使用することになる。点字は非常に効率の良い情報取得手段であるが、その習得率は高いものではなく^{[1]-[2]}、受傷が後天的、高齢時の場合には習得率はさらに低下することが予想され、音声の利用が主流になっていると考えられる。視覚機能に加えて聴覚機能にも重複して障害をもつ盲ろう者の場合には、音声の利用も困難であり、現状でパソコンを使用するためには点字出力を触読して、その内容を理解するしかない。しかし、点字の取得率が低いこと等からも、点字出力が整備されていれば万全であるとはいえない。本報告では、点字利用が困難な盲ろう者向けのパソコン利用支援機器について紹介するとともに、盲ろう者の様々な障害特性に対応できるようなパソコン利用支援システム構築に向けての提案を行う。

2. 盲ろう者の状況

盲ろう者の障害特性は、障害程度(全盲・弱視、全ろう・難聴の組み合わせ)、受傷時期や順序(先天・中途盲ろう、盲ベース、ろうベース)、周囲の教育環境などにより多様性を示しており、取得してきたコミュニケーション手段にも様々な方法がある^{[3]-[4]}。例えば、カナの概念をもとに掌や背中に書かれた文字を理解する手書き文字の利用、手話を触ることで理解する触手話の利用、点字の6点を両手の6指に割り当てる指点字の利用、等の方法がある。手書き文字は習得が比較的容易であり、中途盲ろう者の多くがこの手段を用いている。また、指点字や触手話などの他の方法を利用できる盲ろう者でも、通訳者が不在の場合にはこの手段を用いることが多い。指点字を利用できれば高度なコミュニケーションを行うことができるが、盲ろう者及び通訳者に相当の訓練が必要となる。

3. 支援機器の概要

点字出力による支援機器は整備されているため、点字以外の手段についての支援を行う。当研究所では点字の代わりに文字そのものの形を触覚ディスプレイに表示し、それらを触読して文字を読むカナ呈示ディスプレイシステムを開発している。文字入力については、携帯電話式のキーボード代用装置を開発している。これらはいずれも標準のMS-Windows環境で動作し、一般的なアプリケーションが実行できる。以下、その概要について説明する。

障害者職業総合センターでは、視覚障害者用のMS-Windows画面読み上げソフトウェア(スクリーンリーダー:95Reader^[5], WinVoice^[6])を開発している。これらは点字出力機能を備え、点字ディスプレイの内容を確認することで視覚障害者や盲ろう者の利用が可能となっている。本研究では、点字出力機能が強化されたWinVoiceをカナ呈示用に改良し利用した。出力の内容は点字出力と同等であり、触読対象が点字から触覚ディスプレイ上のカナ文字へ代替されたと考えればよい。但し、図1のように点字とは異なり、カナ呈示では清音に濁点・半濁点を付属させて、視覚的に文字を見るのと同じ形式でカナを表現している。

カナ呈示用の触覚ディスプレイには、KGS社製のピンディスプレイSC-5(1セル8×8ピン、ピン間隔3mmピッチ)を利用し、離散的な点の集合として1セル(合計64ピン)で1文字のカナを表現する場合と4セル(16×16ピン、合計256ピン)で表現することを考えている^[3]。図2左側に示すのは、1文字を8×8ピンで表現し、10文字分の文字情報を呈示した出力機(W265×D220×H110mm)である。中央には携帯電話入力方式のキーボード代用装置用のスイッチがある。WinVoice上では、カナ呈示機は出力機の一つとして設定される。WinVoiceからは10文字分のカナASCIIコードがシリアル送信されるので、カナ呈示機では保持しているカナフォントに対応させてディスプレイ上にカナを表示する。

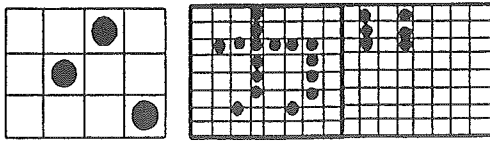


図1 「ガ」の点字出力とカナ表示による表現例

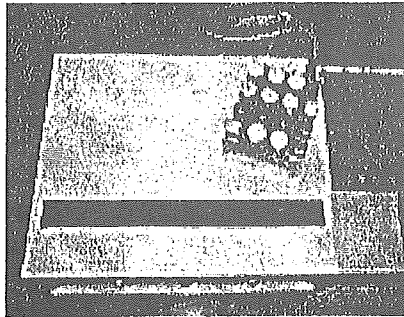


図2 カナ表示機の概要(下部がカナ表示部)

パソコンへの標準的な入力デバイスはキーボードであり、視覚障害を伴う場合にはブラインドタッチもしくはキーボード上の6つのキーを利用した6点入力により行うが、これらを習熟するには障害者に限らず相当量の練習が必要となるため、習熟までの練習量ができる限り少ない入力方法の提案が必要となる。

近年、携帯電話やPDAなどの普及から標準のフルキーボードを用いない入力方式が幾つか提案されているが^[7]、これらをそのまま盲ろう者が利用するのは困難であると予想される。そこで本システムでは、携帯電話入力方式に加えて確定操作で入力が完了する機能をカナ表示機に内蔵している。つまり、「あ」行に対するキーを2回押すと「イ」が、「さ」行に対するキーを4回押すと「セ」が入力候補として提示され、確定キーを押すとその文字がパソコンに入力される方式である。「ガ」や「ピ」等の濁音、半濁音は「カ」「ヒ」を候補にした後「°」キーを押すと濁音「ガ」、半濁音「ピ」が候補として呈示される。パソコンへのキー入力は、カナ表示機に内蔵したキーボード代用装置からUSB経由で行っている。

4. カナ表示以外の手段による支援機器構想

盲ろう者の障害特性は様々であるため、WinVoiceからの出力を様々な形態で利用できるアプリケーションの開発も並行して行った。WinVoiceでは図3実線のようにシリアル出力(ComX 経由)された内容を点字出力専用機(出力機1)で出力している。出力機1への出力内容を別な形態で利用するには、PC2 パソコンもしくは専用ハード機で解析し、出力機2へと出力することになる。今回の開発では、WV_NR名のアプリケーションを作成し、起動すると

ComX 経由と同じ内容がこのアプリケーションに転送される。ここで出力機に合わせた処理を行い、ComXX 経由で出力することでシステム全体のコンパクト化を図った。

例えば、出力機2に指点字機を想定すれば、WV_NR.exe 上では1行分の文字情報を保持しているので、1文字ごとに出力時間間隔を調整することができる。利用者の読み取り能力によっては一定時間ごとの出力ではなく、利用者の文字送り操作により1文字ずつ出力を確認しながら読むことも可能である。文脈情報によっては文字ごとの呈示時間を変化させたり、プロソディ情報を付加することもアプリケーション上で可能となる。出力機は、カナ表示や指点字に限らず、手書き用のロボットが実用化されれば利用者の選択肢は広がるものと考えられる。

なお、今回開発したWV_NR.exeに関するソースは公開可能なので、適宜ご連絡いただきたい。様々な支援機器の開発へと活用していただければ幸いである。

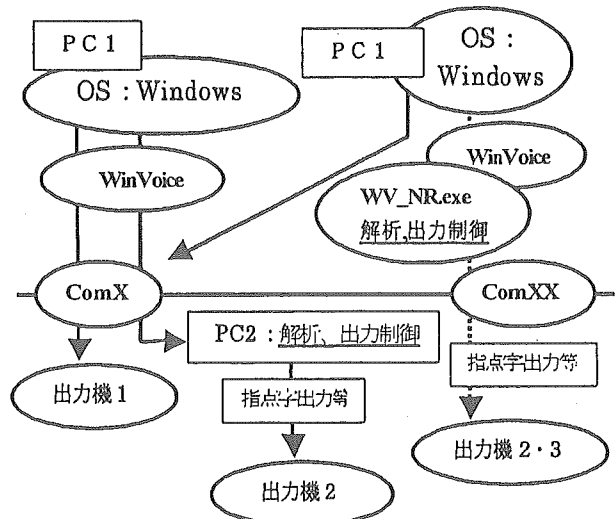


図3 様々な出力制御が可能な支援機器の構想

参考文献

[1] http://www1.mhlw.go.jp/toukei/h8sinsyou_9/1-3.html
 [2] <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2002/08/h0808-2c1.html>
 [3] 視覚と聴覚の重複障害者の就労を支援するためのコミュニケーション支援機器に関する研究」報告書、日本障害者雇用促進協会 障害者職業総合センター、調査研究報告書 No.46, 2002
 [4] 坂尻他：多様な障害特性に応じた盲ろう者用コミュニケーション支援機器の開発、ヒューマンインタフェース2002, pp.427-430, 2002
 [5] <http://www.ssct.co.jp/barrierfree/95reader>
 [6] <http://www.nbs.co.jp/>
 [7] 増井：携帯端末の残入力手法、ヒューマンインタフェース学会誌, Vol. 4, No. 3, pp.131-144, 2002

注視中の拡大表示機能付き視線マウスインタフェース

伊藤 和幸*¹

Eye-Gaze Mouse Interface with Gaze Point Magnifier

Kazuyuki Itoh*¹

Abstract – This paper describes an eye-gaze mouse interface and pointing assistant method, which is developed on normal MS-Windows operating system. On this system mouse cursor is moved to eye-gaze point, so a user can utilize his/her eye movement as a mouse-pointing device. Mouse click, drag and another button are located on the screen and these works are executed when these buttons are gazed. And gazing area is magnified only in the gazing condition as an assistant method. As near around gazing point is magnify, it is easy to move mouse cursor precisely to desired icon or menu button. Particularly it is notable in the case when a small button like minimize or close button should be selected.

Keywords : eye gaze, direction of eye gaze, mouse pointing, mouse cursor, magnifier

1. はじめに

人間の視線は人の意思を反映し興味のある個所へと移動するため、装置への入力手段（マンマシン・インタフェース）として利用する研究が盛んに行われている^{[1]-[7]}。また、重度障害者向けには視線入力式の意味伝達装置として開発研究^{[1],[2],[5]}、市販化されているものがある^{[8]-[11]}。これらの環境では、ボタンやメニューサイズは固視微動などの視線移動や装置の精度を考慮して、大きく、かつ間隔をあけて配置されるなど、視線インタフェースに特化した GUI が採用されている。しかし、視線の動きはパーソナル・コンピュータ（以下パソコン）を利用するような一般的な環境下でのマウスポインティング操作にも応用できると予想される。視線の移動速度は手の動きに比べると格段に速いため^[12]、マウスポイントの移動を手動マウスで行うのではなく、オブジェクトを見つめることでポイントを移動させるインタフェースは操作の手順としてごく自然な流れであろう。現在、脳波等の計測により意思が反映されてポイントが移動するようなシステムは実現困難なため、視線を利用する方がより現実的である。

視線によるマウスポインティングシステムを標準の MS-Windows 環境下において利用する際の問題の一つは、標準的に表示されるボタンやメニューなどのサイズが小さいためにポイントを目的のオブジェクトへと正確に移動できず、誤選択を起こす可能性が高いことである。視線入力向けに特化した GUI 環境では、オブジェクトサイズに余裕を取ることでこの問題を解決しているが^{[5],[8],[9]}、MS-Windows の汎用性を生かしきれないことになる。

そこで本研究ではこれらの問題を解決するべく、視線とマウスの移動を連動させた視線によるマウスポインティングシステムを標準的な MS-Windows 環境内で開発したうえで、ポインティングの操作性を向上するためのインタフェースの実現を目指している。そのためには、視線の注視状態を検出した時点でその注視個所付近を拡大表示し、ボタンなどのオブジェクトサイズを大きくする方法によりポインティング作業を容易にする手法を提案する。拡大表示は注視状態を検出した際における一時的なものであるため、視線入力向けの GUI のようにボタンやメニューサイズを初期状態から拡大しておく必要がなく、操作効率の低下を防止することができる。しかも、本提案における拡大表示は視線入力向けに特化した GUI 上でなく標準の MS-Windows 環境上において行うため、汎用のアプリケーションが利用可能となっている。

本稿では以下、2章において視線の特徴を考慮した上で視線マウスインタフェースの設計について、3章において評価実験の内容について記述する。さらに、4章において結果および考察を記述し、5章においてまとめを行う。

2. 視線マウスの概要

市販されている視線検出装置を利用し、視線入力を行うアプリケーション例は、障害者向けの意思伝達用、実験用ともにオブジェクトサイズに余裕をとり、専用の GUI を用いることで誤選択による疲労の軽減を図っている^{[2]-[5],[7]}。また、視点の存在するボタンやターゲットの表示色を変えるなどして操作性を向上させている。表示の時間間隔は装置の性能（サンプリング速度および表示性能）に依存するが、追従性（視線移動に対して算出されたポイントが直ぐに反映される）にストレスを感じさせないためには、

*1: 国立身体障害者リハビリテーションセンター 研究所

*1: Research Institute, National Rehabilitation Center for People with Disabilities

100msec 程度の表示間隔が採用されている^{[3],[6]}.

本研究における視線によるマウスポインティングシステムは Windows アプリケーション (OS は Windows98) として開発し, CRT 上の視点検出, 視線状態 (移動と注視) の判断とマウスドライバを介した注視点へのマウスポイントの移動, クリック・ドラッグ等に対応したボタンを注視することによる各操作, を実行する. さらに, 注視個所へのマウスポイント移動と注視個所を中心とした拡大表示の処理とをアプリケーション内で行う.

マウス操作はマウスドライバを追加開発することで行っているため, 視線を利用していても各種のマウス操作手順は通常の操作と同一で, 標準のマウスと視線マウスのどちらからでも操作可能である.

2. 1 視線検出装置

本研究では MS-Windows 環境の GUI を利用するため, MS-Windows 上でシステムを構築でき, CRT 上の視点位置データをアプリケーション内で処理できる機種 (図 1, ISCAN 社製 RK-726, 視線検出専用の PCI ボード利用, 60Hz でサンプリング) を利用した. 視線検出は角膜反射法を採用し, 赤外光を光源として得られた画像から角膜上の反射点と瞳孔の中心点を求め, CRT 上の基準点による校正作業後 CRT 上の視点を算出する. 角膜反射法により顎台等で頭部を固定する必要はないが, 後述の実験ではヘッドレストにより頭部の動きが少なくなるように工夫した.

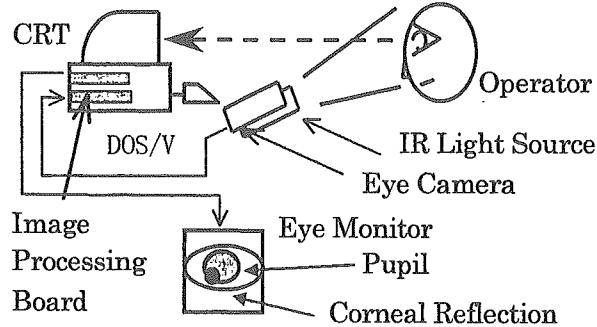


図 1 視線マウスシステムの概要

Fig.1 Schematic diagram of eye mouse system

2. 2 視線とマウスポイントの連動

本研究では, 視線は固視微動を含め常に動いており両者を常に連動させると画面が見にくくなること, ターゲットのない個所にも視点が移動すること, などを考慮して, 画面上のマウスポイントは視線の移動に対応してサンプリングごとに移動するのではなく, 注視状態の検出と同時にその注視個所へと移動することとした.

注視状態の検出には視点の移動速度に閾値を設定し, 視線の状態を移動と注視に分離して判断した. 閾値の設定は先行研究を参考に^[19], $V=5^\circ/\text{sec}$ 以下の速度が T1 秒持続した時点を注視状態の検出とした. 従って, ある個所を

見つめて T1 秒経過すると, その注視個所へとマウスポイントが移動する. また, 2.3 節で記述するように, ポイントの移動と同時にその箇所を中心とした拡大表示を行う. T1 以後は T2 秒ごとに注視点にポイントを移動させ, T1 秒経過後の初回の移動で目的箇所のポイントが移動しない場合でも拡大表示の範囲内でポイント位置を微調整できることとした. 図 2 に, サンプリングごとの視線状況および T1 後の拡大表示のタイミング, T2 ごとのマウスポイント移動の概略を示す. T1, T2 の値はともにアプリケーション上で 0.1 秒単位での数値入力により変更を可能としているが, 初期状態では T1 は 150×150 ドットを $5^\circ/\text{sec}$ で移動させた時間とした. 15 インチのディスプレイで視距離を 60 cm 程度とすると, $T1 \approx 0.92$ 秒 (設定では 0.9 秒) となる. T2 は 1.0 秒とした.

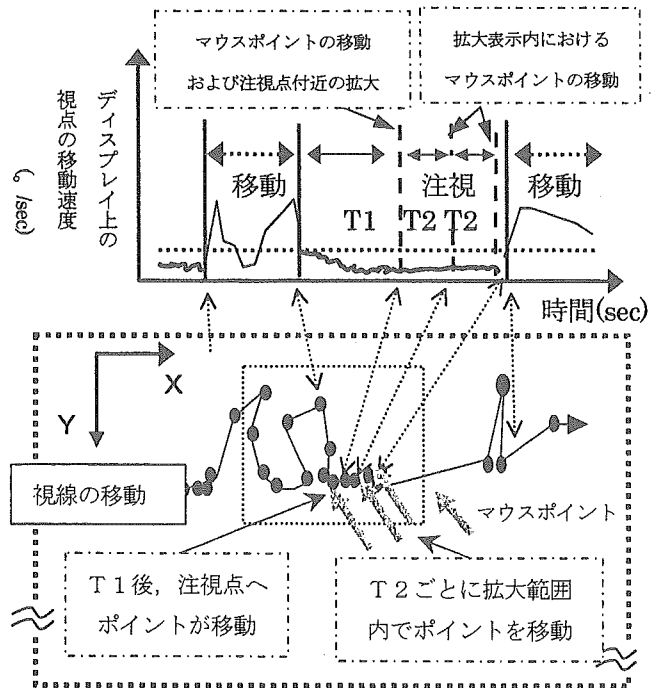


図 2 サンプリング毎の視線状況 (上: 移動速度, 下: 実線=画面上の視点の移動) とポイントの移動

Fig.2 Eye and mouse point movements

2. 3 注視点におけるマウスポイント付近の拡大表示

視線によりボタンやメニューを選択するシステムにおいて, 画面上に表示するオブジェクトの大きさや間隔は, 固視微動の範囲や装置の性能 (空間分解能) に依存する. 1 辺数ドットのボタンを見つめる場合の視線検出と数 10 ドットの場合とでは, 後者の検出誤差が少ないことは明らかであろう. 図 3 左側で示すように, 選択ボタンが大きく表示されていれば視線の検出精度が悪くても目的のオブジェクトをポインティングすることは可能だが, 選択ボタンが小さい場合には高い精度が要求される. MS-Windows 環境では画面のプロパティから, アイコンサイズ, アイコン

の縦横の間隔、スクロールバー、アクティブタイトルバー（最小・最大化、閉じるボタンに反映）、メニュー・プルダウンメニュー等のサイズを変更し、大きく表示することができる。しかし、あまりに大きな値による設定は画面全体の表示に影響し、図3右側で示すように、精度に合わせて初期から大きく表示すると表示できるボタン数は限られ、操作性の低下が予想される。

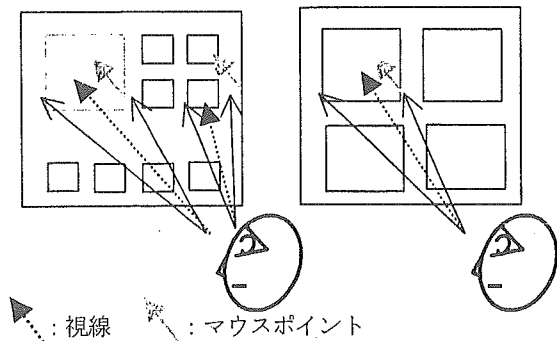


図3 部分的な拡大表示の模式図（左は部分的な拡大表示、右は拡大後と同じ大きさでボタンを配置した場合）

Fig.3 Button arrangements and partial magnifying

そこで本研究では、注視個所へのマウスポイントの移動と同時にポイント個所を拡大表示する機能を付加した。初期状態では選択ボタンが小さく表示されていても、注視状態を検出した時点で拡大表示を行うことで、前述した問題の解決を図ることとした。また、注視点付近以外の画面は視野には入っているものの注目されているわけではなく、注視されていなければ拡大表示の必要がないことも部分的な拡大表示ができる要因として考えた。

拡大表示は図4のように注視個所を中心に設定した範囲（A1の範囲： $D \times D$ ドット、 D の値は変更可）を拡大率 n （ $n=2$ または 4 、 2×2 倍、 4×4 倍）で表示する。 $n=2$ とすれば $D \times D$ の範囲（A1）が $2D \times 2D$ の範囲（A2）に拡大表示されるため、要求される検出精度は拡大前を N とすれば拡大後には $2N$ でよいことになる。

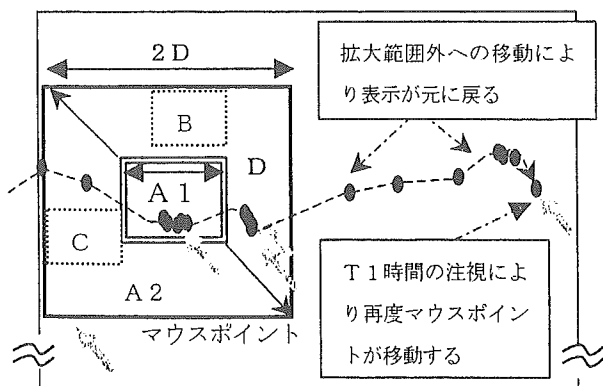


図4 拡大表示の模式図（ $n=2$ の場合）

Fig.4 Mouse Pointing Area Magnify

$T1$ 秒の注視でポイントが移動し表示が拡大された後は、拡大表示した範囲内に視点が存在する間は表示内容を変更せず、初回の移動で目的個所にマウスポイントが移動しない場合には、 $T2$ 秒ごとに注視位置を微調整することで正確なポインティングを行うこととする。初期の表示状態への復元は、拡大表示範囲外へ視線が移動して再度 $T1$ 秒以上の注視状態が検出された時点、またはクリック等の操作が完了した時点で行い、新たな注視点を中心として拡大表示が実行される。

今回提案した部分的な拡大表示の影響としては、 $T1$ の設定時間によっては選択を意識しなくても視線が停留するような場合（内容をおおまかに閲覧するような場合）でも表示が拡大されること、拡大表示の中心付近にあるオブジェクト（図4のBやC）が拡大表示により隠されること、が挙げられる。隠れたオブジェクト（BやC）へマウスポイントを移動するためには、現状の仕様では一旦拡大表示範囲以外で視線を停留させて表示を初期化した後、再度目的のオブジェクトを注視する必要がある。

2. 4 操作ボタンの注視によるマウス操作

マウスの操作にはポインティングだけではなく、クリック、ダブルクリック、ドラッグ等がある。これらの操作を視線で行うには、注視状態の検出と同時にその個所においてクリック等の操作を行う方法が提案されているが^{[14]-[15]}、マウス操作は必ずしも設定した一操作（例えば左クリック）だけではないことに加え、操作を目的とした注視とそうでない場合の注視との区別が困難である。そこで、無用な誤操作を回避するために、各操作に対応するボタンを表示し、それらを注視することで操作を実行する。

図5下部に配置した各ボタンが、クリック操作（左右クリック、左右ドラッグ、左右ダブルクリック）、視線によるマウス操作の停止/再開、アプリケーションの終了に対応する。注視条件はマウスポイントの移動と同一で、各ボタンを $T1$ 秒注視すると割り当てられた操作が実行される。アイコンの選択によるアプリケーションの起動を1例とすると、アイコンを $T1$ 秒見つめることでマウスポイントをアイコン上に移動させ（正確に移動しない場合には拡大表示の範囲内で $T2$ 秒ごとにポイント位置を微調整して）、図5下部に示した左クリックボタンを $T1$ 秒注視することで左クリックが実行されアプリケーションが起動する。

各ボタン上に視線が検出されている際には、視覚的なフィードバックを行うためにサンプリング毎にそのボタンを枠囲いしている。また、ボタン表示範囲は十分広いため、拡大表示は行っていない。左クリックボタンは使用頻度が高いため、若干の視線移動で選択できるように拡大表示の脇（図5では右脇）に追加して表示し、このボタンを $T1$

秒注視することでも左クリックを実行することとした。図5の中央と左上に、拡大表示の例と左クリックボタンを示す。注視点が画面右側の場合には、左クリックボタンは拡大表示の左脇に表示される。

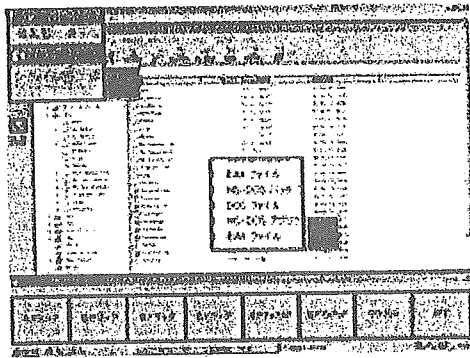


図5 注視による拡大表示とマウス操作ボタンの配置
Fig.5 Magnifying and mouse button

3. システムの使用評価

Windows 操作に慣れており視覚に特に異常のない健常者3名に協力してもらい、操作評価実験を行った。

ボタンやメニューの選択、スクロールバー操作はシングルクリックによる実行（ポイントの移動+左クリックで実行）とした。実験に先立ち、被験者には1~2分程度練習してもらい、ポイントの移動と拡大表示の概要を理解してもらうとともに、被験者が操作しやすいと感じる主観的な意見をもとに実験者が T1, T2 時間を調整した。両設定とも時間設定を短くすると、目的のオブジェクトを正確に見つめる前にポイントが移動し拡大表示されるため、微調整が必要となり、これらの負担なく操作するためには各被験者とも初期設定より長めとなった。

表示条件は、画面のプロパティより「アクティブタイトルバー」（サイズ=40, 20）、「スクロールバー」（40, 20）、「メニュー・選択項目」（「プルダウンメニュー」も同じ、40, 20）の表示状態についてサイズ大小の2条件に加え、それぞれの状態において拡大表示（拡大率 $n = 2$ ）の有無を併せた計4条件で、同一のキャリブレーション状態において、適宜休憩を入れながら大サイズの拡大あり→なし、小サイズの拡大あり→なし、と徐々にサイズが小さくなる順序で操作評価を行った。アイコンサイズ=20 とすると表示が小さくなりすぎ実用的でないため、両サイズとも40とした。なお、大サイズにおける非拡大時と小サイズにおける2倍の拡大サイズは同一である。

画面の表示は、アクティブタイトルバー右上端の「最小化」「閉じる」ボタンがサイズ40で約40ドット、スクロールバーの横幅が40ドット、メニュー・プルダウンメニューの縦横幅が27×71ドットとなり、視距離60cmで15インチディスプレイを利用した場合には、視角は約1.25°、

1.25°, 0.83×2.19°となる。サイズ20では、これらの値がそれぞれ約20ドット、20ドット、22×71ドット、視角はそれぞれ約0.63, 0.63, 0.68×2.19°となる。マウス操作用のボタンは130×115ドットで4.06×4.69°となる。

評価の対象とした操作は表1に示す計17タスクで、実験者の指示に従い連続的に行った。括弧内の数字は作業終了までに必要となる注視回数で、表2内のタスク名のセルにもその数値を示す。例えばタスク5では、アイコンの注視と左クリックボタンの注視で計2回となる。実験中はCRT画面をビデオ撮影し、その映像をもとに実験後に作業時間の計測、注視回数のカウントを行った。

表1 操作タスクの内容

Table 1 Operation tasks for evaluation

タスク No.	操作の内容
1-4	アイコンの移動（左上→右下, 左下→右上, 右下→左下, 右上→左上）（4回, 各アイコンの注視+左ドラッグボタンの注視+移動先ポイントの注視+左クリックボタンの注視）
5, 7	アプリケーションの起動（2回, 中央のアイコン注視+左クリックボタンの注視）
6	アプリケーションの終了（2回, 「閉じる」ボタンの注視+左クリックボタンの注視）
8	メニューバー「ファイル」の選択（2回, 「ファイル」の注視+左クリックボタンの注視）
9	プルダウンメニュー「終了」の選択（2回, 「終了」の注視+左クリックボタンの注視）
10	ブラウザの起動（2回, 中央のアイコン注視+左クリックボタンの注視）
11, 12 14, 15	スクロールバー操作2回（4回, スクロールバーの注視+左クリックボタンの注視を各2回）
13, 16	リンク先の選択（2回, リンク先の注視+左クリックボタンの注視）
17	「戻る」の選択（2回, メニューバー「戻る」の注視+左クリックボタンの注視）

4. 実験結果及び考察

表2に T1, T2 の設定時間と実験結果を示す。マウスボタン（左クリック・左ドラッグ）の選択作業では、表示範囲が大きく全被験者のすべてのタスクにおいて T1 時間による1回の注視で選択が終了しているため、操作性の評価は各タスクにおけるアイコンやボタン、スクロールバーなどのオブジェクトへポイントが移動するまでの注視回数とした。注視回数が多くなるのは各オブジェクトへ正確にポイントを移動するのに微調整を必要とするためである。

誤選択率は、マウスボタンは表示が大きく1回の注視で選択が終了するため、これを除き、目的のオブジェクトへポイントを移動させる作業のうち正確に移動しなかった割合を示す。被験者A・サイズ大・拡大有・タスク6では、T1による注視が1回、T2ごとの注視が3回（3回目で正確に移動）、左クリックボタンの注視1回で作業が終了（注視回数は計5回）するため、T1およびT2ごとの注視4回のうち3回は正確な移動に失敗したことになり、3/4が誤選択率となる。表2内最終行の値は全タスクにおける失敗回数、注視回数をそれぞれ加算し、全失敗回数/全注視回数として算出した。

表2における注視回数により、全被験者とも選択オブジェクトを大きく表示するほど微調節せずにポインティング作業を終了している事がわかる。また、どの被験者も表内の作業時間（タスク1開始からタスク17終了までの時間）で全タスクを終了しているが、表示を大きくした方が短時間で終了しており、拡大表示の効果がうかがえる。

アイコンはサイズ40であれば範囲が広いので、ほぼ初回の注視によりポイントの移動が可能である。被験者Aでは、画像の四隅に対しては精度が悪く、中央のアイコンは初回でポインティングできたものの、周辺アイコンでは複数回の微調整作業が必要となっている（タスク1~4）。

「閉じる」ボタン、メニューバー、スクロールバー、「戻る」のポインティングについては、ボタンが小さいためどの被験者でも複数回の微調整作業が必要とされた。特に「閉じる」ボタンは小さいため、他のタスクに比べ微調整

作業回数が多くなった。メニューバー、スクロールバーは横長か縦長であるため、「閉じる」ボタンほどの困難さはなく、数回の微調整作業でポインティングが可能であった。

大サイズの非拡大時と小サイズの拡大時では画面上の大きさが同一であり、両者の差（大きなアイコンの注視を除き、小サイズ時における注視回数が大サイズ時と比べ1回多い）には拡大表示によりサイズが等しくなるまでの初回の注視作業回数がそのまま反映されている。従って、拡大表示までに1回の注視作業が必要になるものの、部分的であっても拡大表示を行えばその操作性は予め大きく表示していた場合の操作性と変わらないといえる。結果として、初期に表示するアイコンやボタンの数を増やすことができると考えられ、開発目的は達成できたといえる。

実験後の被験者の内省報告からは、「注視した個所へ正確にマウスポイントが移動すれば問題ないが、移動しない場合には微調整が必要となり疲労が増す」、「初期から大きな表示サイズの方が負担は少ないが、拡大表示機能があれば何とか操作できた」との報告があったため、GUIを特化していないとはいえ、全体の作業効率を考慮に入れた上で初期表示をできるだけ大きくする必要があろう。

今回の評価実験では各タスクを連続して行ったため、選択を意識しない箇所では表示が拡大したり、目的のオブジェクトが拡大表示により隠蔽されることはなかったが、時間をかけて閲覧するような作業内容によってはT1・T2の値を利用者自身で変更できる機能や、拡大表示機能のON/OFFを選択できるようなボタンを用意する必要もあろう。

表2 実験結果（各タスクにおいて目標のオブジェクトにポイントが移動するまでの注視回数）

Table 2 Results

被験者, T1, T2 サイズ	A: T1=1.2, T2=1.0秒				B: T1=1.3, T2=1.2秒				C: T1=1.3, T2=1.2秒			
	サイズ大		サイズ小		サイズ大		サイズ小		サイズ大		サイズ小	
拡大の有無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無	有	無
タスク1 (4)	1	1	4	7	1	1	1	1	2	2	2	4
タスク2 (4)	1	2	3	3	1	1	2	3	1	1	2	3
タスク3 (4)	2	4	5	7	1	1	1	1	2	2	2	2
タスク4 (4)	1	2	3	4	1	1	1	1	2	2	2	2
タスク5 (2)	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1
タスク6 (2)	4	5	6	10	2	3	4	5	2	2	3	4
タスク7 (2)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3
タスク8 (2)	2	3	3	7	2	2	3	4	2	3	4	6
タスク9 (2)	3	4	5	8	1	1	2	2	2	2	3	4
タスク10 (2)	1	1	2	5	1	1	1	1	1	1	2	2
タスク11 (4)	3	3	4	5	1	1	2	3	1	1	2	5
タスク12 (4)	1	1	2	2	2	3	4	5	1	1	2	3
タスク13 (2)	1	1	1	1	2	2	3	4	1	1	2	3
タスク14 (4)	2	2	3	5	1	1	1	1	1	1	2	3
タスク15 (4)	2	2	3	4	2	3	4	4	1	1	2	3
タスク16 (2)	1	1	2	3	2	2	3	3	1	1	2	5
タスク17 (2)	2	4	5	8	2	3	3	5	2	2	3	4
作業時間(秒)	207	241	367	431	194	230	263	316	229	231	311	397
誤選択率(%)	48.5	59.5	70.2	80.2	39.3	46.9	58.5	66.0	39.3	41.4	59.5	72.1

5. ま と め

標準のMS-Windowsの操作環境においてGUIを特化することなく、視線のみでポインティングとクリック操作などのマウス操作が可能となるシステムを開発した。さらに注視点のみを拡大表示することで確実なポインティング操作が可能となった。注視点付近を拡大する方法を用いると、初期画面において全てのボタンを大きく表示する必要がないため、表示するボタン数を増やすことができるうえに、視線検出精度が高くない場合に対しても有効であると考えられる。一般的に装置の性能と価格は比例するため、性能が多少劣ったシステムの利用が可能であれば、全体のコスト減も期待できる。

今回開発したシステムでは、ポインティングの微調整とクリックなどの操作全てを視線により行うこととしたが、細かなポインティング調整は視線の利用よりも手動マウスによる操作の方が有利であることが先行研究により示されている^{[7],[16]}。本研究でも、小さなボタンをポインティングするタスクでは、初期表示を大きく、さらに拡大表示を行ったとしても複数回の注視作業が必要となっているため、効率面（操作時間の短縮、確実性の向上）という意味では初回の注視によりポイントの移動と拡大表示を行い、その後はマウス操作によりポインティングを行う方が有効であろう。したがって、現状のシステムが有効となるのは手動のマウスが利用できない環境、もしくは手動マウスの他に入力デバイスを追加したい環境であると考えられる。手指の機能に制限のある障害者（高位の頸髄損傷者や筋萎縮性側索硬化症患者（ALS患者）、筋ジストロフィー患者など）が利用する場面も想定できるが、障害者向けにはニーズの高い意思伝達用アプリケーションの開発が先行しており、汎用性のあるWindows環境での利用に対するニーズを十分調査した上で今後慎重に対応していきたい。

さらなる課題としては、WindowsXPなどの新規OSへの対応、できる限り低価格な視線検出装置の開発（頭部の動きの許容を含める）、クリック等の操作や細かなマウスポイント制御の手動/注視操作の切り替え機能や拡大/非拡大表示の切り替え機能の追加、利用場面に応じたT1・T2時間設定変更の簡易化、等が挙げられる。CPUパワーの向上やメモリの大容量化等、パソコンの性能は日々進歩しているため、専用の画像処理ボードを利用しなくとも視線の検出が可能になることも考えられる。より使いやすい視線マウスインタフェースの構築に向けて努力したい。

参 考 文 献

[1] John,R. and Francis,C. : An Eye Movement Communication-Control System for the Disabled;IEEE Trans. on Biom. Eng., Vol.,

37, No.12, pp.1215-1220, (1990)

[2] 落合, 石松, 高見, 松井: 目の動きを利用した身障者用文字入力装置の試作; 日本機械学会論文集(C編), 63巻, 609号, pp.140-144, (1997)

[3] 大野: 視線を用いた高速なメニュー選択作業; 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.602-612, (1999)

[4] 大和, 門田, 高田, 他: 視線によるテキストウィンドウの自動スクロール; 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.613-622, (1999)

[5] 伊藤, 数藤, 伊藤部: 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; 信学論(D), J83-D-I, No.5, pp.495-503, (2000)

[6] Sivert,L., Jacob,R., : Evaluation of Eye Gaze Interaction; Proc. CHI'200, pp.281-288, (2000)

[7] 大和, 門田, 松本, 他: 一般的なG U I に適した視線・マウス併用型ターゲット選択方式; 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.6, pp.1320-1329, (2001)

[8] <http://www.med.shimadzu.co.jp/index.html>→Products

[9] <http://www.t-works.co.jp/9100.html>

[10] <http://www.eyegaze.com/indexdis.htm>

[11] <http://www.eyecan.ca/>

[12] 古賀: 眼球運動実験ミニ・ハンドブック, (財) 労働科学研究所出版部, (神奈川), 1998

[13] 福田, 渡辺: 外界から情報を得るときの目の動き—注視点の定義; ヒューマンスケープ, pp.106-118, 日科技連出版社, (東京) 1996

[14] Hansen, J., Allan, W. and Peter, R., : Eye-gaze control of multimedia systems, Symbiosis of Human and Artifact; Vol.20A, Elsevier Science, pp.37-42, (1995)

[15] Jacob,R. : What you look at is what you get: Eye movement-based interaction techniques; Proc. CHI'90, ACM Press, pp.11-18, (1990)

[16] Shumin,Z., Carlos,M., Steven,L.: Manual and Gaze Input Cascaded(MAGIC) Pointing; Proc. CHI'99, pp.246-253, (1999)

(2002年10月21日受付, 2003年3月12日再受付)

著 者 紹 介

伊藤 和幸 (正会員)



平成3年北海道大学大学院工学研究科(生体工学専攻)修士課程修了。現在、国立身障者リハセンター研究所福祉機器開発部に勤務。身体障害者用のコミュニケーション機器の研究・開発に従事。電子情報通信学会、ヒューマンインタフェース学会などの会員

ビデオキャプチャによる眼球運動計測および環境制御への応用

伊藤 和幸^{*1}

Image Processing and Eye Movement Tracking System with Video Capture
Kazuyuki Itoh^{*1}

Abstract — In this report we describe about new ECS (environment control system) for persons with severe physical disabilities that utilized video capture system and image processing application. The system get eye image through video capture card and this image is processed on a windows application. Image processing application tracks iris and measures its X-Y gravity positions relative for a reference point, even if the operator's head moves. This iris position is utilized as a switch for ECS. A Werdnig-Hoffmann patient whose voluntary movement is only his eyes uses this system as a TV controller. A power switch of TV and channel can be control by himself. When he looks at it power switch is on, and when he rotates his eyeball TV channel is up.

Keywords : persons with severe physical disabilities, video capture, eye movement, ECS

1. はじめに

重度の肢体不自由者が社会生活において直面する大きな問題は、移動とコミュニケーションである。移動に関する問題とは、現在の公共交通機関や施設における車いすのアクセス問題（車いす対応のエスカレータ・トイレ等が設置されない）を例として挙げれば容易に想像できよう。

コミュニケーションに関する問題は、介助者からの問いかけを理解することはできても、身体障害により意思を伝える手段を失っているために障害者自身による主体的な意思伝達ができないことを示し、発声障害（または、気管切開）により会話ができない、症状の進行や神経筋疾患などにより稼働する身体部位（指の動きや呼吸、瞬きなど）に制限が生じ、筆談や文字盤への指差しができない、等の状況が例に挙げられる。こうした場合には、何らかの身体動作を YES/NO の意思表示に対応させ、介助者が障害者の意思を推測することになるが、問いかけの中に障害者の意思を反映できるものがなければ、意思の疎通にはおのずと限界が生じる。十分な意思疎通を行うためには、随意的に動く身体部位を検討し、何らかのコミュニケーションエイド（意思伝達装置や環境制御装置）へ能動的に入力できるシステムを構築する必要がある。

その意味で、眼球運動は比較的最後まで随意運動が残りのため装置への入力手段として利用されることの多い部位である。現状では、眼球運動の検出精度により 1 スイッチへ入力として走査選択式装置などへ利用するものから^[1, 2]、高精度に視線検出を行ったうえで文字やアイコンを見つめるだけで直接的に選択する視線入力方式のものが提案されている^[3-6]。しかし、1 スイッチ制御では機器の設置コストに対する操作効率の悪さが、一方、検出

精度を高め入力効率を良くした視線入力装置では装置セッティングの困難さ・高額な価格などが実用に結びつかない原因となっている。

本研究では実用性を重視し、Werdnig-Hoffmann（ウェルドニヒーフマン）症患者自身による環境制御（テレビの制御）システムの開発を目的に、患者の随意的な眼球運動の検出、装置設定の簡易化、家族またはリハビリ専門職が行う操作の簡易化を行った。具体的には、市販されている比較的安価なビデオキャプチャシステムを用いて患者の顔面付近の画像を撮影し、左右への目の動きと回旋運動を検出して電源・チャンネルの制御へと連動させた。

システムは、Microsoft Windows を OS としたアプリケーションとして開発し、画像の取り込み・ファイル化および画像処理により眼球運動を計測するアプリケーションと、このアプリケーションから転送された値をもとにテレビリモコンを制御する 2 つのアプリケーションで構成した。ビデオキャプチャ機器には PC カードタイプを活用することでノートパソコンが利用でき、システムの簡易化が実現した。眼球運動計測やリモコン制御用の各種設定操作は、家族やリハビリ専門職が行うことを想定し、全てアプリケーション上で行うことで操作の煩雑さを軽減した。

以下、2 章でビデオキャプチャによる眼球運動計測処理について述べ、3 章において装置の設置概要と環境制御用の処理方法について述べる。さらに 4 章において臨床評価の結果について記述し、5 章においてまとめを行う。

2. 患者の状況と眼球運動計測

2.1 眼球運動計測について

眼球運動を意思伝達に結びつけるためには、利用者が何処を見ているか（＝視線）を検出する必要がある。人の視線を検出する試みはそう新しい話題ではなく、マン・マシンインタフェースへの利用を目的に、既に 19 世紀の後半より視線検出技術が研究されている^[7]。計測方法として

*1: 国立身体障害者リハビリテーションセンター 研究所

*1: National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

は、EOG法^[8]、強膜反射法^[9]、角膜反射法^[10, 11]等が提案されている。これらの計測手法では、計測器を装着するか眼球付近にカメラを設置し拡大撮影することで高精度な視線検出を可能としている。

一方、可視光下で撮影した画像を用いた視線検出方法が幾つか提案されており、眼球付近を撮影した画像から虹彩(黒目)を検出して視線を推定する方法と^[12, 13]、あらかじめ様々な方向を向いた眼球画像とのテンプレートマッチングにより視線を推定する方法^[14]に分類される。これらの計測手法では、計測器の設置は適度な照明装置とカメラだけなので比較的簡易に視線の計測ができるが、精度はさほど期待できない。

また、工業用の画像センサ(KEYENCE社製、CV100:モノクロ、512*480画素、など)を利用すると、取り込んだ画像内でサーチエリアを設定し、そのエリア内で眉毛と虹彩をパターンとして認識することで、その相対的な中心位置から大まかな視線の検出が可能となる^[15, 16]。しかし、その利用には、レンズの絞りまたはCCDカメラのシャッター速度調整→画像取り込み→画像上でのサーチエリア設定→エリア内のパターン登録、の各操作が初期設定時に必ず必要となり、操作用のコンソールボタンの数は少ないものの(上下左右の移動ボタンと決定ボタン)、そのために操作手順が階層化されていることから、複雑な機械操作に抵抗のある家族や看護師からは敬遠されがちである。

2.2 導入対象となる患者の病室における制限事項

- 病室における制限事項と患者の状況は以下のとおりで、
- ・患者には計測器を装着できない:本研究における対応以前に、装置の設置が簡易なEOGによる眼電スイッチを検討した時期もあったが、導電ペーストによるかぶれを避けるため利用しなくなった。計測器の装着も避けたいという希望がある。
 - ・ベッドの周辺には計測器を設置できない:各種診断や理学療法、痰の吸引などの介護があり、介護者の作業負担を増やさないことを念頭に、一時的であってもベッド周辺には計測器を設置しないことが望ましい。
 - ・病室が狭く、デスクトップPCを置くスペースがない。
 - ・患者の随意運動は眼球運動のみで、瞬きはできない:意思の伝達は、問いかけに対してYESの場合には眼球を回旋させ(右回り)、NOまたは思案中であれば回旋させないことで行う。
 - ・患者及び家族のニーズ:視線入力による文字入力を行うよりは、テレビの制御を患者自身で行えるようにしたいことが挙げられる。これらを前提にしてシステム構成、計測器の設置等について検討した結果、
 - ・病室内スペースの都合上、デスクトップ機は利用できず、画像処理ボードを用いた高度な眼球運動計測は不可能となる。そこで、ノートパソコンの使用を前提とし、ビデオキャプチャ・カードを利用して眼球運動計測をソフトウェア的に行う必要がある。

- ・ベッド周辺にカメラを設置できないことから、離れた位置に設置した望遠レンズ+CCDカメラにより顔面付近を撮影し視線検出を行うこと、
- ・ズームレンズとパンティルトコントローラにより撮影個所の位置調整を簡易化すること、
- ・介護負担を減らすために、計測アプリケーションにおける調整項目は簡易に、且つできるだけ少なくすること、を考慮する必要性があった。

本研究では数個のスイッチ制御が目的であり、高精度な計測精度の追求よりは実用性を重視する。数個のスイッチ制御であればEOG法も有力だが、前述の理由により採用できないため、可視光下で撮影した顔面付近の画像から虹彩と眉毛の重心位置を検出し、これらの相対的な位置関係を大まかな視線として推定することで環境制御に結びつける方法を採用した。望遠(=遠距離撮影が可能)・拡大撮影(=精度の向上)と患者の動きによるカメラ位置の調整頻度とはトレードオフの関係にあり、眼球付近を拡大撮影すれば精度の向上が期待できるが、患者の動きに対してカメラ位置を頻繁に調整する必要があり実用的でないために撮影範囲は顔面全体とした。

以下、眼球運動計測に関する画像処理アプリケーションについて記述する。

2.3 ソフトウェア的な眼球運動計測処理

本研究では眼球運動計測をMicrosoft Windowsのアプリケーション上でソフトウェア的に、且つ簡便な操作で行うことで、システムの簡易化と介護負担の軽減を目標とする。つまり、眼球運動計測とテレビリモコン制御用の処理を同一のパソコン上で行うことでシステムの簡易化を図るとともに、介護者の操作負担を考慮して各種操作が簡易に行えるようにした。

眼球運動計測アプリケーションは、OSとしてMicrosoft Windows98SE、画像取り込みのデバイスドライバとしてVfW (Video for Windows)ドライバ、開発環境にはVisual C++を用いて新規に開発した。ビデオキャプチャ・カード(HITACHI MSVCC03)を活用することでノートパソコンが利用でき、装置が簡易化する。眼球運動計測用の画像処理に必要な仕様は以下のとおりで、

1) ビデオキャプチャ・カードによる画像の取り込み

アプリケーションの起動、または一時停止後の再開操作とともに画像(640*480画素)を取り込み、アプリケーション上に表示するため、画像表示用のモニタを別途接続する必要がなくなる(図1)。現状ではテレビの制御に必要な処理速度(10Hz)とソフト的な処理速度の限界との関係で15FPS(flame per second)によるサンプリングで取り込み及び処理を行う。

2) 処理範囲の設定

画像処理はソフトウェア処理で行うため、CPUへの負担を軽減させるために処理範囲を制限する。現状のサンプリ

ング速度では3箇所(図2では眼球及び眉毛付近, 右下部)における処理が可能だが, 本システムでは2箇所(眼球と眉毛)での計測値を用いる. 各処理フレームとも範囲の変更はマウスによるドラッグ操作で行う. ドラッグ&ドロップによるフレーム全体の移動も可能である. また, フレーム間の距離をロックすることで各フレームの相対位置を保ったまま移動することも可能である.

3) グレースケール化および2値化

取り込んだ画像を256階調のグレースケールに変換後, 閾値により2値化し, 閾値以上の画素のみ表示する(図3). 閾値の調整はフレーム毎に行う. 数値はキーボードより直接入力するか, マウスによるスクロールバーで操作する. 画像の明るさが変化した際に閾値の設定を頻繁に起こさないための工夫は4章の後半にて記述する.

4) ラベリング処理

処理対象のパーツについてラベリングを行う. 処理フレームごとに画素数によるマスクサイズ(Mmin, Mmax)を設定して, 該当するパーツ(Mmin < M < Mmax)のみラベリングし, 設定サイズより小さいパーツ(虹彩の左にある目頭の影)や大きいパーツは処理対象から除外する. マスクサイズの変更は3)と同様である.

5) 形状分析

ラベリングされた各パーツの重心(X, Y座標), 画素数を算出する(図4). ラベリング処理同様, 重心を中心としたサークルサイズ(Smin, Smax)を設定することで, 該当するパーツ(Smin < S < Smax)のみ抽出する. したがって, サイズ外のパーツ(右上の髪の毛など)は処理対象から除外される. また, 処理されたパーツの一つに対して自動追従を実行すると, フレーム内のパーツ位置が一定となるように処理フレーム範囲が自動的に移動される. 従って, 眉毛を自動追従しておくことで, 頭部の位置がCCDカメラに対して変動してもある程度は画像内で自動対応ができる. サークルサイズの変更は3)と同様である.

6) 処理結果の転送

形状分析で処理された各値をTVリモコン制御用アプリケーションへ転送する.
となる.

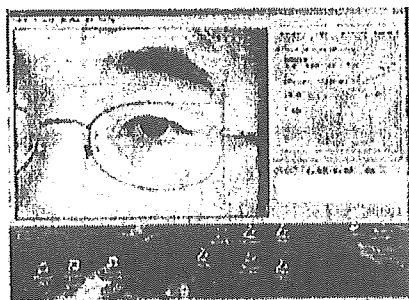


図1 画像処理アプリケーションの起動
Fig.1 Image Processing Application

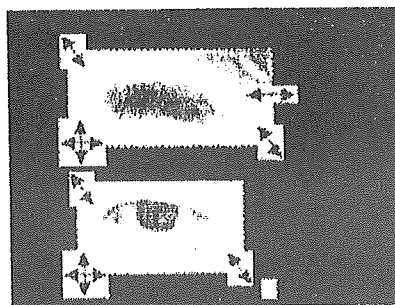


図2 処理フレームの設定

Fig.2 Arrangement of Frame for Image Processing

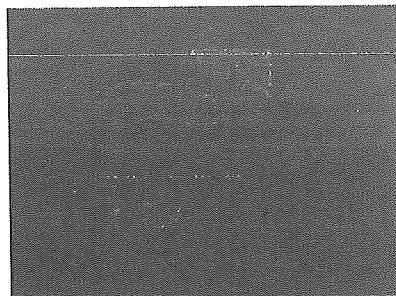


図3 2値化処理

Fig.3 Binary processing

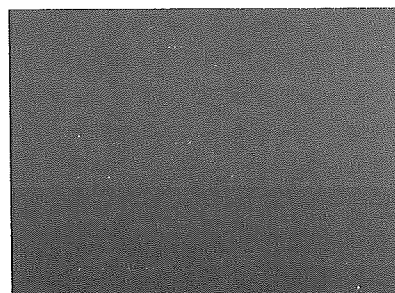


図4 形状分析

Fig.4 Analysis of Shape

画像処理結果の概要を図5に示す. 環境制御用アプリケーションには, 眉毛の重心(X_0, Y_0), 虹彩の重心(X_i, Y_i), 各パーツの画素数値が転送され,
 $dX = X_0 - X_i, dY = Y_0 - Y_i$
が相対値となり, 大まかな視線の推定に利用できる.

計測箇所を1箇所にして虹彩の重心位置のみ算出し, 画像上の基準点(例えば左上隅)との相対値により視線を推定すると, カメラに対する頭部の動き(本人の随意的な動きはないが, 様々な処置(オムツ代え, 痰の吸引など)やベッドでの診察時に動く)と眼球の動きの区別がつかず, 患者の意思は正確に反映されない結果となる. 眉毛の重心位置も同時に計測し相対位置を検出すれば, 同一の点を見ている限りはほぼ同値の相対値が得られるため, 頭部の変動にも対応が可能となる. また, 眼球の回旋運動も計測できるため, 制御チャンネルを増やすことも可能となる.

一旦調整した各設定値(3つのフレーム毎に, 処理範囲,

2 値化の閾値, ラベリングマスクサイズ, サークルサイズ) は全てテキストファイルに保存され, 次回のアプリケーション起動時に反映される. そのため, 使用環境が前回の利用時とほぼ同じであれば各設定値を調整する必要はほとんどなく, 2 値化の閾値調整だけですむ場合もある.

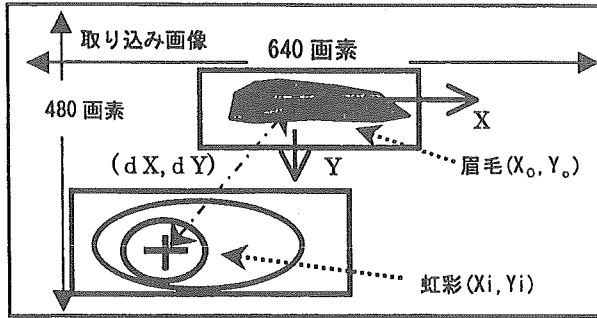


図5 画像処理結果の概要

Fig.5 Result of image processing

3. 装置の設置概要とリモコン制御用アプリケーション

3.1 装置の設置概要

図6に装置の設置概要を, 図7に病室内における機器の配置概要を示す. テレビを見る際には, 本人に確認後, 仰臥位のまま頭部をテレビに向ける. 顔はテレビに対して完全には正対せず, 若干横目でテレビを見る状態となる. 患者の顔面付近は, ベッドから2m程度離れた棚上に設置した CCD カメラ(床上高約2.2m程度)で撮影すると, ほぼ正面からの撮影となり, かつ, 日々の診察や介護を妨げることがなくなる. しかし, 診察などのために患者と CCD カメラの間に人が立つと適切な画像が得られなくなるため, その場合にはリモコン制御は行わないこととする.

リモコン制御機 (PATLITE PHC-100+学習リモコン) は RS-232C 経由でパソコンと接続し, 本システムの利用時にテレビの正面に設置する. CCD カメラ (WAT-308A 1/30 万画素, 1/2inch, ビデオ信号出力) はパンティルトコントローラに取り付け, 電動操作で撮影個所の位置調整を行う. CCD カメラには変換アダプタにより1眼レフ用のズーム式望遠レンズを取り付け, 画像の取り込み範囲を容易に変更できるようにしている. パソコンは Pentium III 633MHz, メモリ 128MB のノート型を利用した. 眼球計測もパソコン上で行うため省スペース化が実現できた.

パンティルトコントローラの操作スイッチをパソコン横に配置することで, 介護者の操作は全てパソコン周辺で行うことが可能となる.

3.2 テレビリモコン制御用アプリケーション

テレビリモコン制御用のアプリケーションも独自に開発し, 画像処理アプリケーションから転送された虹彩と眉毛それぞれの重心座標値を10Hzで取り込み, 順次パツ

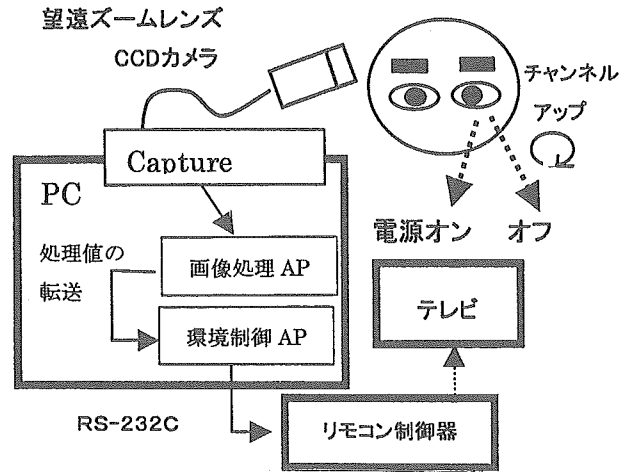


図6 臨床での装置の設置概要

Fig.6 Arrangement of measurement equipment

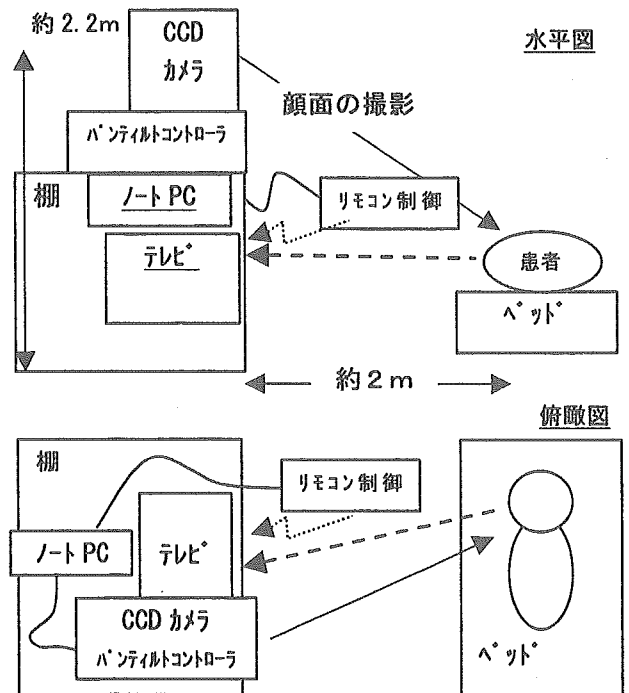


図7 装置の配置概要

Fig.7 Arrangement of measurement equipment

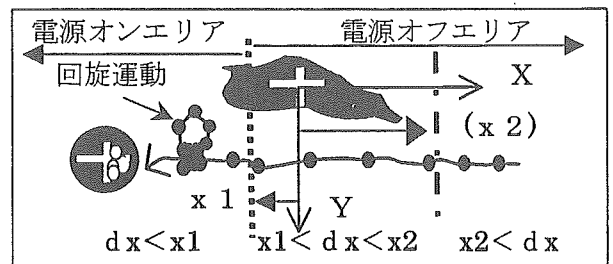


図8 エリア設定の一例と虹彩(視線)の移動(利用者が左を見た後, 最終的に右を見ている状態)

Fig.8 An example of area setting and movement of an iris

ア内でその値を更新しながら、2chの(テレビ電源とチャンネル操作)制御を行うこととする。電源を操作するには、テレビを見ている状態と見ていない状態の眉毛と虹彩の相対値(=大まかな視線方向)を検出し、図8のようにX方向の境界値(x1)による電源オンエリア(テレビを見ている状態)とオフエリア(見ていない状態)を設定する。x1の調整は左右カーソルキーで値を変更する方式としたので、一般的な眼球運動計測で行うような複数の基準点を見つけるキャリブレーション操作は不要である。大幅に変更するときには、キーボード入力により数値を直接入力することもできる。

電源スイッチは、オンエリアに虹彩が設定時間(例えば2.0秒)以上得られていればオン、得られなければオフすることとする。時間設定は100msec単位で行い、図8中の黒円(虹彩中は白丸)はサンプリング毎の虹彩の重心点を示す。眼球の動きがなくなれば、重心の移動はほとんどなくなる。設定時間の経過後に機器の制御を行うこととしたのは、画像の取り込み状態による出力値のちらつき、瞬間的な眼球の移動(サッカー)等を電源操作のための動きとはみなさないようにするためであり、テレビから目をそらして周りを見回しても、設定時間内に再度テレビを見れば電源はオフされないこととなる。

境界値x1の値はシステム利用時の顔の向きに合わせて調節するが、ベッド上の患者の体位置がほぼ同じであれば、大幅な変更はない。x2の境界値を設定すれば、テレビの電源をオフするとともに、他の家電機器の制御を行うことも可能となる。Y方向についても境界値を設定すれば制御チャンネルを増加できるが、患者の眼球運動(上下移動)能力を見極めた上でニーズと対応させる必要がある。

また、テレビを見ながら眼球を回旋することでチャンネルをアップさせる機能も付加した。眼球が回旋したことを判定するには、1回の回旋行為が1秒以内で終了するため、連続する10点の虹彩の座標値につきX、Y各方向の最大移動量(dX、dY)と移動軌跡による描画面積(A)を算出し、各値が設定範囲内($dX_{min} < dX < dX_{max}$, $dY_{min} < dY < dY_{max}$, $A_{min} < A < A_{max}$)であった時点回旋と認識させた(図9)。

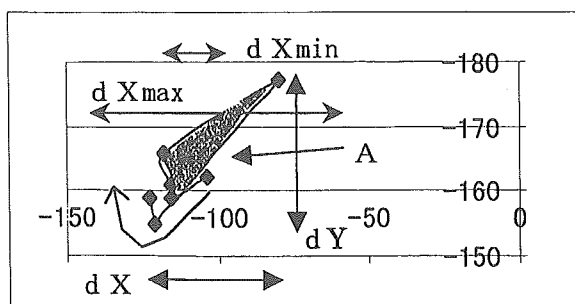


図9 虹彩の移動軌跡(1.0秒間)

Fig.9 Movement trace of an iris

dXmin, dYmin, Aminの設定は、チャンネル変更を意図しない眼球運動に対する誤動作を排除するために、また、dXmax, dYmax, Amaxの設定はサッカーや画質の状態による急激な移動量の変化に対応するために設定している。本システムでは回旋の方向も判断できるため、今後練習により左回りの回旋運動ができればチャンネルダウンに対応させることも可能である。これらの設定値は制御用アプリケーション内で入力し、画像処理アプリケーションと同様にファイルに保存して次の起動時に反映する。

4. 臨床結果及び考察

ほぼ1年半にわたり、本システムが患者に対して適応できるかどうかを検討した。システム起動時には、患者はテレビを見ている状態と見ていない状態を示せばよいので、x1の設定は比較的容易に行うことができた。調整操作もカーソルキーにより値を微調整するだけなので介護者に負担を感じさせることなく受け入れられた。また、テレビを見る際には、伏し目がちになることはほとんど無かったため、電源のオンオフに関しては満足いく結果となった。

しかし、dXmin, dXmax, dYmin, dYmax, Amax, Aminの設定には試行錯誤が経験された。外出や行事への参加などで疲労していた際など、患者のYESの意思となる眼球回旋運動の大きさが利用場面において異なるため、チャンネルを操作しているつもりでもアプリケーション側がリジェクトする場面があり、患者のモチベーションを高めながら調整を行う必要があった。ある程度大きな回旋運動を意識しなければチャンネルの制御ができないことを患者にも理解してもらいながらも、利用開始時に回旋運動の大きさを計測することで各設定値を自動設定し、以後の調整が不必要になるように変更できれば、より使いやすいシステムとなろう。但し、適切な設定ができていない場合には意思通りのチャンネル制御が可能となり、母親とチャンネル争いをする場面も多く見受けられた。電源とチャンネルの操作が頻繁におこる場面では制御アプリケーションの誤動作を疑ったが、患者自身で制御できることが楽しく、確認すると「意図的に電源の操作・チャンネルの変更をしていた」とのことで、本人の意思で制御できることの重要性が再認識された。

本システムの導入による心理的な効果としては、患者自身のチャンネル変更が可能であるため、患者自身が満足することの他に、「1~2時間程度であってもベッドサイドから離れられる」という介護者のコメントから、介護側にも大きな効果があったと考えられる。

アプリケーションの調整にかかる負担については、初期設定に要する時間が短いこと、操作が分かりやすいことに対して評価が高かった。処理に必要な各設定値が保持されて次回へ反映されるため、起動時には必要箇所のみ変更す

ればよい点についても評価が高かった。処理範囲の変更に関しても、表示された画像を確認して眉毛と虹彩部分に処理範囲を移動させることになるが、ドラッグ&ドロップにより調整できることが有効であった。頭部が動いても、小さな動きに対してはフレーム内の眉毛位置の自動追従機能(5.形状分析)で対応でき、対応できない場合にはフレームロック機能(2.処理範囲の設定)により眉毛と虹彩の処理範囲を同時に移動できる点にも高い評価が得られた。

外出後などでベッド上の位置が大きく変わり CCD カメラの撮影範囲内に入らない場合には、パンティルトコントローラで調整したが、通常の利用時にはアプリケーション上の調整で十分であり、操作性は良好であると考えられる。望遠レンズのズーム調整を頻繁に行うことはなかったが、適度な焦点距離の短焦点レンズがない場合には有効で、病室内で配置替えを行う場合には迅速な対応が可能である。

一方、本システムにおいて適切な処理結果を得るためには、2値化処理における閾値の設定を適切に行う必要がある。病室内では実験室内のような安定した光源を利用できないために、患者の視線方向や利用の時間帯(天候による室内の明るさ)によっては、図10のように閾値以上の部位が目尻付近にも出現し、頻繁に調整を行う必要がある。システム導入初期には単純に重心位置を算出していたために、正しい虹彩の重心位置を算出できないことから未操作(電源がオンされない)につながる場面も経験された。

そこで、図11のように画像上の閾値以上の画素を垂直方向へ積分して水平方向のヒストグラムを求め、その最大値個所からヒストグラムの谷となる個所を検索し、谷個所から最大値方向の画像を虹彩とみなし、重心を求める処理へと変更した。この程度の処理であれば、サンプリング速度には影響はなかった。図11のヒストグラムでは中央部分が谷となり、左側の山部分が虹彩となる。この処理を加えて虹彩の重心を算出した結果を図12に示す。

ヒストグラムを利用した処理の効果を検討するために、同一の2値化閾値のもとで眼球運動を連続的に3時間程度(午後2時-5時)計測し、虹彩の重心位置が正しく算出されるかどうかをチェックした。長時間にわたり同一の閾値で正常な処理が行われるのならば、2値化の調整頻度が減少し、結果的に介護者にかかる作業負担を軽減できる。

結果を表1に示す。表中左側には経過時間とその間の顔面付近の明るさ(lux)の平均値を示す。総移動回数は患者がテレビから目をそらして図10, 12のような画像が得られた回数、正処理数は図12のように虹彩の重心が正しく算出された回数、誤処理は図10のように正しく算出されない回数を示す。

22-108分間は診察及び理学療法による計測の中断、および患者が睡眠したためテレビを見ていない状態である。ヒストグラムを利用して処理を行うと、0-6, 171-182間では虹彩の重心を正確に算出することができるが、表中

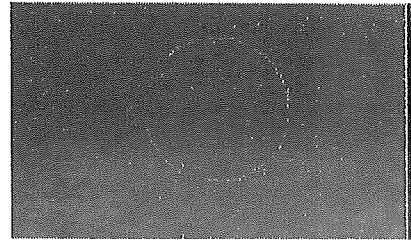


図10 虹彩以外の部分も閾値以上になる場合
Fig.10 Gravity was deviated from the iris center

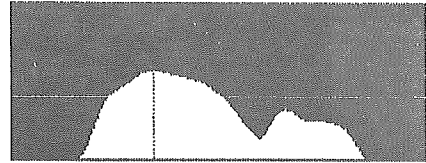


図11 閾値以上の画素によるヒストグラム表示
Fig.11 Histogram

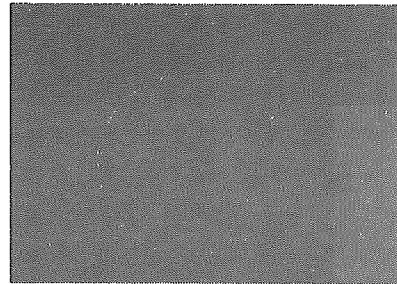


図12 ヒストグラム利用時の虹彩重心位置検出
Fig.12 Center of iris gravity with histogram

斜線で示したように15-22, 108-123間はヒストグラムを利用しているにもかかわらず誤処理がみられる。これは、図13のようにヒストグラム中に谷個所が検出されないことから算出された重心が正しい位置からずれたためである。原因は、痰の吸引によりこの間の顔の向きが他の時間とは若干異なっていたことが影響した。こうした際には最大値個所を中心に虹彩個所を推定することになるが、全ての場合に対して正しい重心位置が得られないことも念頭においてリモコン制御を行う必要がある。

3時間の評価時間内には、天候の変化(晴れ-曇り)と時間経過による日照量により室内の明るさが変化した。谷個所が検出できれば2値化閾値を変更しなくても対応が可能であり、新規に追加した機能として有効であったと考えられる。本システムでは、各処理をソフトウェア的に行うため、サンプリング速度との兼ね合いでどの程度の機能追加が有効かを考慮する必要がある。精度を高めるためにさらに複雑な処理を追加すると処理速度が犠牲になり、トータルでの操作性が悪くなることを念頭に追加する機能を考慮していく必要がある。

表1 ヒストグラム処理の有無による処理結果

Table 1 Handling result by presence of histogram

経過時間 (分)と明るさ (lux)	ヒストグラム 処理	総移動 回数(回)	正処理 (回)	誤処理 (回)
0-4 (350)	有	11	11	0
4-6 (260)	有	21	21	0
6-12(360)	無	14	0	14
12-15(350)	無	87	0	87
15-22(340)	有	<u>89</u>	<u>68</u>	<u>21</u>
108-123(330)	有	<u>20</u>	<u>12</u>	<u>8</u>
123-125(300)	無	24	0	24
161-171(260)	無	41	0	41
171-182(250)	有	78	78	0

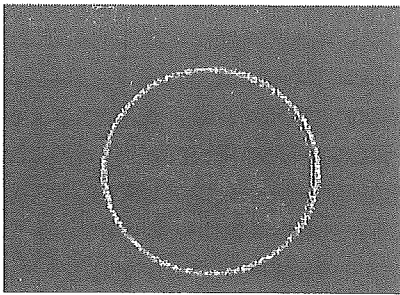


図13 ヒストグラムに谷個所が得られない状態

Fig.13 Valley point is not provided in histogram

本研究で対象とした患者については幾つかの制約条件は存在したものの、褥そう予防のための体位交換の頻度が少ないことや患者の体位変化が少ないことから、撮影範囲の調節に手間取ることなく眼球運動計測が可能となり、環境制御システムの実現に結びつけることができた。

また、瞬きも無いことから、回旋運動の検出においても有利な条件が揃っていたと考えられる。体位交換が頻繁な場合にはカメラの位置調節にかなりの労力が必要となることが予想される。複数のカメラを切り替えながら利用するなど、その場での最善策を探る必要がある。当然ながら、臨床評価例を増やすことで他患者に対しても有効なシステムとなりうるかどうかを検討することが重要である。

本システムに必須なハード機器は、ビデオキャプチャ・カード、ビデオ信号出力の CCD カメラ、カメラ用レンズ、ノートパソコン、リモコン制御機であり、ノートパソコンを除けば合計しても約 10 万円程度で入手可能である。望遠ズームレンズやパンティルトコントローラは患者の室内状況に応じて調達すればよく、カメラの設置状況によっては望遠ズームレンズを用いる必要はなくなる。パンティルトコントローラは、調整の度合いが少なければ天体観測用赤道儀を応用し手動操作することでも十分であろう。

テレビだけでなく複数の家電製品を制御する場合には、多機能型の学習リモコン (HAL Crossam II+ など) を利用することになるが、環境制御アプリケーションには制御機能を追加する必要がある。

5. まとめ

比較的安価なビデオキャプチャ機器を利用し、簡易な構成で重度身体障害者の自発的な意思表示を補助するシステムを構築することが可能となった。今回のケースでは眼鏡を利用していないので問題にはならなかったが、可視光下における画像の利用にはレンズにおける反射や映りこみが画質に大きく影響することも課題の一つである。また、OS としてほぼ標準となってきた Microsoft Windows XP 上で動作するアプリケーション (ドライバは WDM: Windows Driver Model) での開発も課題である。

パソコンや周辺機器の性能は飛躍的に進歩しており、今後は Ver2.0 の USB インタフェースや CameraLink (デジタルによる画像入力) などが利用できると予想される。更なるシステムの高機能化・簡易化も視野に入れ、臨床例を増やしながらか評価を継続していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 山田, 福田: 眼球運動による文章作成・周辺機器制御装置, 信学論 (D), Vol. J69-D, No. 7, pp. 1103-1107, 1986
- [2] 落合, 石松, 他: 目の動きを利用した身障者用文字入力装置の試作, 日本機械学会論文集 (C編), 63 巻, 609 号, pp. 140-144, 1997
- [3] John, R. and Francis, C.: An Eye Movement Communication-Control System for the Disabled, IEEE Trans. on Biom. Eng., Vol., 37, No. 12, pp. 1215-1220, (1990)
- [4] 伊藤, 数藤, 伊福部: 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; 信学論 (D), J83-D-I, No. 5, pp. 495-503, (2000)
- [5] <http://www.med.shimadzu.co.jp/index.html> → Products
- [6] <http://www.eyegaze.com/indexdis.htm>
- [7] Young L. and Sheena D.: Survey of Eye Movement Recording Methods, Behav. Res. Methods & Instrum., 7, 5, pp. 397-429, 1975
- [8] 久野, 八木, 他: EOG を用いた視線入力インタフェースの開発, 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp. 1455-1462, 1998
- [9] Mitsuho M and Tadahiko F.: Quantitative Evaluation of Eye Movements as Judged by Sight-Line Displacements, SMPTE Journal, pp. 1230-1241, 1986
- [10] 奥山: 角膜反射による眼球運動の測定, VISION, Vol. 3, No. 2, pp. 81-88, 1991
- [11] 伴野, 飯田, 小林: 画像処理による非接触視線検出法に関する一検討, 電子情報通信学会秋季全国大会, D-I-121, 1988