研 究**障害者・高齢者のためのレーザポインタを用いた注視入力インターフェースの研究****An Input Interface for Disabled and Elderly
People Using a Laser Pointer Controlled by Eye Gazing**

鈴木 真(正会員), 小関義彦(学生会員), 季 林紅(学生会員), 土肥健純(正会員)

Makoto SUZUKI, Yoshihiko KOSEKI, Lin-Hong JI, Takeyoshi DOHI

Keywords

Eye-Gaze Input, Communication, Human Interface, Independent Living, Aged Society

Abstract

We have studied an interface system for disabled and elderly people to control advanced equipments such as an assisting manipulator. In our study, a laser pointer controlled by eye gazing is introduced as pointing device in real space. Since a computer screen is not familiar to elderly people, direct pointing to the interiors in his/her own room is considered as great benefit.

We attached an eye gaze measurement device and also a laser pointer to the goggle worn by the user. Because of this design, our system can be used in any direction of the head and anywhere in the room, unlike other eye-gaze interface.

In our prototype, eye gazing is measured by limbus boundary method. As the laser pointer, a laser diode is controlled by a differential gearing using two pulse motors. In the preliminary experiment, displacement of the laser spot was measured when the subjects were gazing the target point in the distance of 2m. 80% of the measured points were within 30cm from the target. This large distribution was caused by the lack of stability of measurement method. The eye gaze measurement must be improved for the practical use of our laser pointer driven by eye gazing.

1. はじめに

我が国の急速な人口構成の高齢化により、障害者や高齢者の生活を支援する様々な支援機器・用具が開発されてきている。こうした支援機器は簡便に使用できることが必要であり、現状では単機能に絞って普及技術（ローテクノロジー

一)により実現されたものが好んで使われている¹⁾。しかし今後は高齢者の在宅自立生活の推進と介護労働力の不足を背景として、適度な汎用性を持ち日常生活の様々な作業をこなす「家事支援ロボット」のような多機能システムも必要になってくると考えられる。

藤記らは寝たきり患者のために周囲の物体の把持移動を行う介助マニプレータを開発した²⁾。また斎藤らにより頸損などの身体障害者の就労支援を目的とした研究開発が行われている³⁾。

東京大学大学院工学系研究科
Graduate School of Engineering, the University of Tokyo
〒113 東京都文京区本郷7-3-1
7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113

これらのロボットの研究開発において、産業用ロボットと違い専門知識を持たない一般の人が操作するため入力インターフェースが重要であることが指摘されている。

インターフェースについては、有効に利用するためには対象者の障害内容や障害程度に応じて慎重に考慮しなくてはならず⁴⁾、身体的・心理的特性や生活状況に適した入力インターフェースを検討する必要がある。

ウォーケらは重度身体障害者用環境制御装置を開発したが、その結果インターフェースとして注視入力が極めて有効であった⁵⁾。我々はこの研究成果に基づき、障害者・高齢者の日常生活作業を支援するマニプレータシステムのための注視入力インターフェースについて研究を行っている。本論文ではインターフェースの試作とその実験的評価について述べ、実用化のための課題と有効な利用場面を考察する。

2. 日常生活支援マニプレータシステムのインターフェース

従来の産業用ロボットは工場の自動生産ラインでの利用を目的としているため、一定の動作を精度良く繰り返すことが要求されている。行うべき動作の教示は、導入時にティーチングブレイバックやオフラインプログラミングなどにより専門の技術者が行う。動作の変更が必要になることは稀であり、その変更作業も同様の方法で行われる。

しかし障害者・高齢者の日常生活支援に利用されるマニプレータシステムについては、ユーザの症状は変化すること、室内環境の小さな変更は常時起こることから、動作の細かな変更は頻繁に必要となる。そのため専門の技術者による動作変更教示は運用コスト面からみて非現実的である。

そこで日常生活支援マニプレータシステムには、利用状況の変化に自ら対応して動作する柔軟性が要求される。しかし変化していく状況の「全て」を「常に」システムが「自力で」把握するためには高度な計測・情報処理が必要であり、家庭内で簡便に使用するには適していない

と考えられる。

最も妥当な解決方法は、必要に応じて適宜ユーザの指示を仰ぐことである。即ち、通常は記憶された動作を行い、物体位置の変化に応じて簡便な手段でユーザがマニプレータシステムに動作変更の指示を行う⁶⁾。そのためには新しい物体位置を指示しうる、障害者・高齢者にとって利用しやすい入力インターフェースが必要となる。

ここで入力インターフェースを考える上で重要な高齢者の特性として、不慣れなものは使わない、即ち新たな操作技術の学習に難があることが挙げられる¹⁾。従って特別な訓練をしなくても過去の経験・知識に基づいて自然に使用できる入力インターフェースが必要である。これは障害者が使用する際にも重要である。理想的には、ユーザが自然に行う会話や視線、身振りから意図を汲み取る「ヒューマン・インターフェース」⁷⁾が要求されていると言える。

我々が必要とする機能は空間内における位置の指示であることから、入力インターフェースの手段としては「ヒューマン・インターフェース」の中でも視線の利用が挙げられる。視線即ち眼球運動は従来から障害者用のインターフェース手段の一つとして利用されてきたが、近年は眼球運動からユーザの注目点を検出する「注視入力インターフェース」が研究されている⁸⁾。これは、空間内の位置を直接的に指示する方法となるために、日常生活支援マニプレータシステムのインターフェースとして極めて有効な手段であると考えられる。

現在研究されている注視入力インターフェースは主としてコンピュータの画面を入力空間としており、ワープロ操作などに用いられている^{9,10,11)}。こうしたコンピュータの画面に対する操作は未だ抽象的・間接的であり、ユーザ、特に高齢者にとっては馴染みにくく操作習熟の障害である。

マニプレータシステムのインターフェースとして用いる場合には、入力の対象は室内に存在する様々な物体である。そこで、ユーザにとって理解しやすい実際の室内空間それ自体を入力

操作空間とし、実体そのものを注視することで指示入力を行うことを考えた。具体的な実物を対象として直接に指示入力が行えるため、操作しやすいポインティングデバイスになると考えられる。

現在広く利用されているポインティングデバイスであるマウス操作では「カーソル」で現在の指示位置を示すことでユーザへのフィードバックを行い入力操作の効率向上を図っている。ここで提案した室内空間に対する注視入力インターフェースにおいても、検出された注視点位置を随時フィードバックする必要がある、何らかの形で現実の室内空間におけるマウスカーソルに相当するものを実現する必要がある。

そこで我々はプレゼンテーションで用いられるレーザポインタを利用した¹²⁾。注視方向の検出結果に基づいてレーザポインタの照射方向を制御することで、注視点位置に合わせてレーザスポットが照射される。このレーザスポットをユーザが目視し入力操作のフィードバック情報として利用する。

具体的な利用場面では、音声入力などにより指示された物体がマニプレータシステムの記憶している位置に見つからなかった場合に、新しい物体位置を注視入力レーザポインタを用いて指示する。マニプレータシステムはレーザスポットを検出することで指示された空間内の位置を知ることになる。この注視入力レーザポインタによるマニプレータシステムへの指示の概念を図1に示す。

Fig.1 Eye Gaze Interface using Laser Pointer

3. 注視方向により制御されるレーザポインタの実現

ユーザにとって良好な操作感を実現するために、注視方向とレーザポインタを用いた指示入力は無拘束で、且つユーザの室内における位置姿勢に限定されずに利用できる必要がある。

無拘束で注視方向を計測する方法として、非接触で光学的に眼球を追跡、撮影することによる方法が考えられる。現状では、固定したCCDカメラにより赤外線照明の角膜反射像を計測する方法¹⁰⁾があるが、ユーザの頭部位置姿勢はカメラで撮影可能な狭い範囲に限定されてしまう。

そこで注視方向の計測部を頭部に装着することについて検討した。装着形態としては、眼鏡のように軽量のものであれば日常的に支障無く使用できると考えられる。この場合、注視方向が頭部を基準とした眼球方向として計測されるため、室内空間における注視方向の決定には頭部の位置姿勢をも考慮する必要がある。従来の研究ではワークステーション操作を目的として、頭部姿勢を磁気センサで計測し、眼球方向を角膜強膜反射法による眼鏡式計測部で計測することで注視方向を求める研究がある¹¹⁾。この方法では頭部姿勢の計測誤差の影響が問題となる。

ここで、レーザポインタ制御部を眼球方向計測部と同時にユーザが装着した眼鏡に取り付けることを考える(図2)。この場合、レーザポインタと眼球方向計測部は頭部を基準とした同一の座標系におかれるため、頭部の位置姿勢を計測せずにレーザスポットを注視点位置に照射

Fig.2 Uniting the Eye Gaze Measurement System and the Laser Pointer

Fig.3 The Prototype System

Fig.4 Sensing Unit using Limbus Boundary Method

Fig.5 The Laser Pointer Unit

することができ、頭部位置姿勢の計測による誤差の存在しない注視入力インターフェースが実現できると考えられる。

4. 実験システム

以上に基づき、注視方向とレーザポインタを用いた入力インターフェースを実験的に評価するためのシステムを試作した(図3)。眼球方向計測には眼球運動計測装置(竹井機器工業)

Fig.6 Differential Gearing to Control the Direction of the Laser Diode

を用いた。図4に示すように強膜反射方式による検出部をゴーグルに取り付けてあり、両眼の眼球方向を ± 20 度の範囲で同時に計測可能である。計測結果はA/D変換ボード(コンテック, AD12-8R)によりサンプリング周波数30Hzで制御用パソコン(NEC, PC-9801FA)にとりこむ。

眼球方向計測部と共用のゴーグルの中央、即ちユーザの額にあたる位置に自作したレーザポインタ装置(図5)を取り付けた。このレーザポインタ装置は小型軽量のステッピングモータ(22.5g, 40ステップ/周)2個を用い、歯車列で1/12に減速した後、図6に示す差動歯車機構によりレーザダイオード(日立, HL6711G)の方向を制御する。その基本的な性能として、レーザスポットを上下 ± 60 度、左右 ± 40 度の範囲に照射可能であり、上下0.75度、左右0.38度の分解能を有し、レーザスポットの最大移動速度は上下306.4度/秒、左右153.2度/秒である。

Fig.7 The Prototype System worn by a Subject

Fig.8 Calibration of the Laser Pointer

Fig.9 Control of the Laser Pointer based on the Measured Gazing Point

ステッピングモータの回転角度は制御ボード（インターフェース，AZI-806）を介して開ループ制御する。現在はリミットスイッチなどは用いておらず，駆動開始前に手動で原点合わせを行っている。

ユーザが装着する部分の重量は240gであり，頭部の運動を拘束しないものとなっている。製作した実験システムを装着している様子を図7に示す。

5. 指示入力操作実験と結果

製作した実験的システムを用い，レーザポインタによる操作実験を行い，指示入力の精度を測定した。眼球方向計測の較正を行った後，被験者前方に置いたターゲットを一定時間注視させた際のレーザスポット位置を記録した。

較正には既知の位置にある較正指標が必要であるため，レーザポインタを予め決めた9方向（正面方向，及び左右上下斜めについて±15度方向）に向けて順次照射したスポット位置を較正指標とした。これらを注視させた時の眼球方向計測を行い連続50サンプルを記録した。この結果から分散の大きなデータを除き，平均を求めた（図8）。得られた9組の眼球方向計測値平均と較正用レーザポインタ方向を対応させることにより，リアルタイムに計測された眼球方向に対応するレーザポインタ方向を求めた。具体的には図9に示したように，まず眼球方向の計測結果を内包する三角形領域に対し，レーザポインタ座標系において対応する三角形領域を定め，次にこれらの三角形領域間でベクトルの一次変換を行いレーザポインタの方向を算出した。以下の実験ではレーザポインタの制御はモータの速度を考慮して0.5秒毎に行った。

実験の際のレーザスポット位置の運動はビデオカメラにて記録しオフラインで解析した。ターゲットとしては40cm×40cmの正方形を用い，被験者前方200cmに配置した。図10に示すように被験者に対するターゲット方向として正面及び上下左右斜めの9方向を用い，各々の方向においてターゲットの中心点を被験者に5～10秒間注視させた際のレーザスポット位置を，0.5秒間

Fig.10 Experimental Configuration

隔で10～20点について計測した。

健常者（20代の男女）7名を被験者とし，左右の眼球についてそれぞれ3回ずつ計6回の測定を各被験者に対して行った。図11に各方向におけるレーザスポット位置の計測結果について被験者7名，各人6回（全42回）の測定データを全てプロットしたものを示す。この結果から，9個のターゲットのそれぞれについてレーザスポット位置の平均と標準偏差を求めた（図12,13）。平均をみると，レーザスポット位置の全体的な傾向として，中心のターゲットを除いて水平方向には拡大し垂直方向には下方にずれている。これは時間経過に伴い誤差が大きくなってきたことによると考えられる。また図13の分散のグラフからも，上下左右の8点に比べ，中心のターゲットでは標準偏差が小さくレーザスポットが比較的集まっていることがわかる。

そこで中心のターゲットとそれ以外についてレーザスポットの集中の度合をより明確に比較するため，ターゲットを中心とした半径5，10，15，20cmの円内に的中したレーザスポットの割合を求めた。結果を図14に示す。的中率が80%となる範囲を比較すると，正面の点については半径10cm強であるのに対し，正面以外の点については半径15cmであり，周辺であるほどの中率が低下している。しかし安定した眼球方向計測が行えた回のみを注目すると（図14中のBest Case），中心のターゲットか否かを問わず半径10cm以内での中率80%以上を示していた。

実験システムの装着感については，装着部重

Fig.11 Position of the Laser Spot in Gazing Targets (42 cases; 7 subjects)

Fig.13 Standard Deviation of the Distribution of the Laser Spot

Fig.14 Rate of Hit of the Laser Spot vs. Distance from the Target

量を主にゴーグルの鼻当ての部分で支えるため疲労の原因となり、短時間の実験では支障はないが日常的に使用するためには不十分なものであった。

6. 考 察

評価実験より注視時のレーザスポット照射範囲は200cm前方において半径15cm即ち直径30cmであり、この直径を角度に換算すれば8.6度である。用いた眼球運動測定装置の測定範囲は ± 20 度であることから、概ね 5×5 の分解能を持つことになる。簡単なメニュー選択にはこのレベルで十分であるが、室内空間での実物の指示にはより細かい分解能が必要である。今回の実験システムでは、強膜反射法による眼球方向の計測が比較的不安定であるためにこうした粗い分解能となった。現在実用化されている眼球方向計測装置は刺激の誘発による眼球運動を測定するという診断目的が主であり、十分な校正を前提とし使用時間は短時間に限られている。ここで述べたような入力インターフェースとして用いるための計測装置としては、長時間校正せずとも安定した計測が可能で高精度の計測装置の開発が必要である。

また、レーザポインタ方向の制御方法については、誤差が大きい場合にも注視点に正しくレーザスポットを追従させなくてはならない。現状では、本来の注視点から離れた位置にあるレ

ーザスポットを見ようとすることで新たな、誤ったレーザスポットの移動が誘発されてしまうといった問題がある。これは指示入力操作のための眼球運動と本来の視覚探索のための眼球運動の区別⁸⁾、即ちユーザが注視しているのが意図する目標である場合とレーザスポット位置である場合との区別という課題であり、そのための計測結果処理アルゴリズムの開発が必要である。

本論文で述べた注視入力インターフェースは寝たきりの状態にある障害者・高齢者の利用を想定している。他の利用場面としては、高齢者の在宅自立生活において杖や歩行器などを使用しており手がふさがっている場合に、家事作業等のためにマニプレータに指示を与える場合にも利用可能である(図15)。また将来的にはヘッドマウントディスプレイによる仮想現実感と組み合わせることで、新しいインターフェースへの基礎となるものである。

Fig.15 Our Interface for Independent Living of Elderly Person

7. ま と め

本論文では寝たきりの障害者・高齢者の利用を想定し、マニプレータシステムに対して室内の物体の位置変更を指示する際に自然に扱える入力インターフェースの一方法として注視方向検出を取り上げた。その実現方法として注視方向をレーザポインタで可視化することによる実空間内におけるポインティングデバイスを考案し、室内のどこにいても利用できるように眼球方向計測部とレーザポインタ制御部をゴーグル

に取り付けることとした。強膜反射方式による眼球方向計測装置とステップモータによるレーザポインタ装置を用いて実験的システムを試作した。指示入力操作実験では分解能として200cm前方で直径30cm, 即ち8.6度が得られた。分解能向上のための課題として, 眼球方向計測の安定化と, 注視点にレーザスポットを追従させるための制御方法の改良が必要であることが明らかになった。

尚, 本研究では眼球方向計測装置として東京大学最先端設備「生体機能解析研究教育設備」の眼球運動測定装置を使用した。

文 献

- 1) 石神重信: 高齢障害者と福祉機器—自立を損なわない機器のあり方—, 日本機械学会誌, 96(898), 809-812, 1993
- 2) 藤記拓也, 土肥健純, 増澤徹: 介助用小型軽量マニプレータの開発, エル・エス・ティ学会誌, 2(4), 219-225, 1989
- 3) 斎藤之男, 東博彦, 井上哲夫: 障害者支援ロボット, 日本機械学会第3回バイオエンジニアリングシンポジウム講演論文集, 14-15, 1994
- 4) 相良二郎, 奥英久: 福祉機器とヒューマン・インターフェイス, システムと制御, 29(7), 467-474, 1985
- 5) ベルトラン・ウォーケ, 土肥健純, 堀内孝, 太田裕治, 垣本映, 藤記拓也: 視線検出を利用した重度身体障害者用環境制御装置の開発, 第4回エル・エス・ティ学会大会講演予稿集, 37, 1988
- 6) 藤記拓也, 土肥健純, 堀内孝, 太田裕治: 障害者支援用マニプレータにおける制御用データベースの開発, 1989年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 261-262, 1989
- 7) Richard A. Bolt: The Human Interface [鶴岡雄二訳, マン・マシン・インターフェース進化論], パーソナルメディア, 東京, 1984
- 8) 伊藤憲治: 音声言語の支援技術, BME, 7(8), 35-49, 1993
- 9) 山田光穂, 福田忠彦: 眼球運動による文章作成・周辺機器制御装置, 電子通信学会論文誌, J69D(7), 1103-1107, 1986
- 10) T.E. Hutchinson, K.P. White Jr., W. N. Martin, K.C. Reichert, L.A. Frey: Human-Computer Interaction Using Eye-Gaze Input, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., 19(6), 1527-1534, 1989
- 11) 飯田宗夫, 伴野明: 頭部の動きを許容した注視点検出装置と指示入力への応用, 電子情報通信学会論文誌, J74DII(4), 520-527, 1991
- 12) 鈴木真, 野崎ひろみ, 太田裕治, 土肥健純: 高齢者のための視線検出による入力装置の開発, 日本機械学会第3回バイオエンジニアリングシンポジウム講演論文集, 12-13, 1994