

視線

を用いたインタフェース

大野 健彦

NTT コミュニケーション科学基礎研究所

メディア情報研究部

takehiko@brl.ntt.co.jp

はじめに

日常生活にコンピュータが満ち溢れる時代がやってきた。パーソナルコンピュータは高性能化、低価格化が進み、職場や家庭に広く普及した。仕事においてコンピュータはかかせず、コンピュータのない生活に戻るのは困難であろう。また、家庭においても家電に高機能なコンピュータが内蔵され、複雑な作業をいろいろとこなせるようになってきた。コンピュータは強力な道具であり、日常生活のあらゆる場面においてコンピュータを利用する社会が到来しつつある。

コンピュータの普及という現象は、同時に利用者層の拡大を意味する。日常生活においてコンピュータが今後一層普及していくためには、幅広い利用者に受け入れられる必要がある。ところが、現在のコンピュータは使いこなすために複雑な操作手順を覚える必要があり、誰もがすぐに使いこなせる道具からは程遠い。うまく使いこなせない人にとっては触れるのも恐ろしい機械となってしまうのである。コンピュータはもっと人に優しくなる必要がある。いつでも、誰もが、操作方法を悩まずとも利用できるコンピュータが求められているのである。

視線を利用したインタフェース（視線インタフェース）は、このようなコンピュータを実現する可能性を持つ。人の視線は、その人の操作対象、興味、関心、意図

などを反映する。したがって、人の視線からこれらの情報を抽出することができれば、わざわざマウス等の入力デバイス进行操作せずともコンピュータを操作できるようになるかもしれない。たとえばディスプレイに目配せするとディスプレイの電源が入り、いつも見ているWorld Wide Web (WWW) のニュースが表示される。その中に気になるニュースのダイジェストがあり、じっと見ているとその記事の詳細が表示される。記事の中に意味が分からない単語があり、この単語の意味はなんだったっけ？と考えているといつの間にかその単語の横に意味が表示される。コンピュータに触れるのが苦手な人でも、これなら使えるであろう。

では、現在の技術において視線インタフェースはどこまで実現できているのだろうか。このようなインタフェースは、実現可能であろうか。そもそも視線の測定自体が難しいのではないだろうか。

本稿では、視線の持つ特徴を整理した上で、視線インタフェースを実現する上できわめて重要性の高い視線測定技術および視線インタフェースの最新事情について、筆者の取り組みを交えて紹介する。最後にまとめと今後の展望について述べる。

視線の重要性

視線インタフェースは、インタフェースのデザイン次第で、入力デバイスを明示的に操作しなくてもコンピュ

一タの操作が可能であるという特徴を持つ。

この特徴は他の入力手段にはないものである。たとえばマウスやキーボードを利用するには、手を用いて入力デバイス进行操作する必要がある。また最近使われるようになってきた音声インタフェースでは、音声で指示を与える必要がある。そのため手や音声を利用した入力手段では、まず操作方法を習得する必要がある、これが使いこなせない人を生み出す大きな要因である。

そこで、視線を用い、ユーザの意図をまさに目から読み取れば、ユーザが複雑な入力方法を取得し、コンピュータを操作するたびにその複雑な動作をすることなしに、ユーザの意図に応じてコンピュータを使うことができる。また通勤電車の中など、両手が使えず音声を出すのはばかられるという環境は多い。このような場面でも視線でコンピュータが操作できれば便利である。

以下、視線と他の入力手段の違いについてもう少し検討する。

現在普及している手で操作する入力デバイス(マウス、キーボード、タッチパネルなど)は、いずれもユーザが眼という感覚器官を経由して知覚した視覚情報に基づき、運動器官である手の制御方法を決定する。次に、決定した制御方法に基づき入力デバイスの操作を行う。また、音声インタフェースの場合は、コンピュータの発話を聴覚によって理解し、適切な音声を生成することでコンピュータの操作を行う。

一般に人の感覚器官と運動器官は別個のものであるが、感覚器官の1つとしての眼は、高い指向性を有しているため、視線を測定することでコンピュータの操作手段として利用可能である。よって視線インタフェースでは、感覚器官から視覚情報を取得する過程が、そのまま機器の操作につながる。つまり外界から情報を取得する段階と、操作のために視線を制御する段階が明確に分離されていないのである。

したがって視線を測定すれば、情報取得過程をそのままコンピュータへの入力情報として使うことが可能である。すなわち、ユーザが情報入力のために、その入力動作を考えたり、実践する必要がない。人の感覚を五感(視・聴・嗅・味・触覚)と呼ぶが、このような特徴は視覚にのみ備わっていると考えてよい。

(視線インタフェースにおける 視線測定技術)

では、視線の測定はどのような手法で行われているのであろうか。

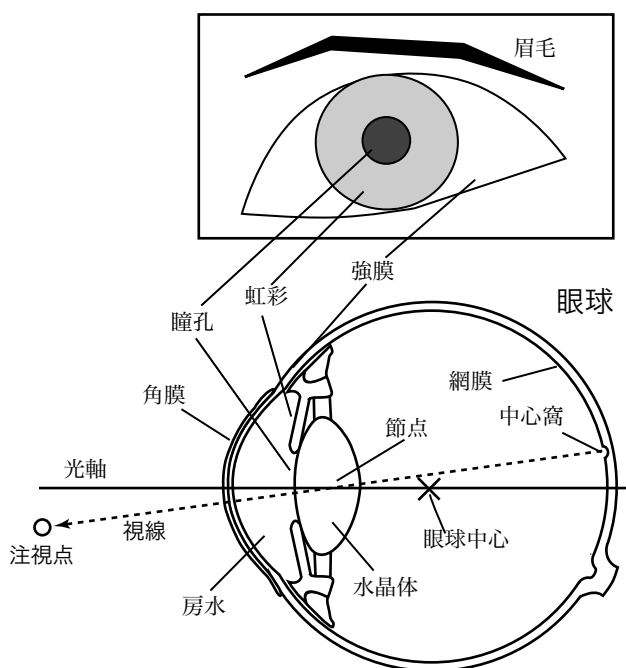


図-1 眼の構造

■ 視線とは何か

まず、眼の構造について簡単に整理する(図-1)。外界から入射した光は、角膜および水晶体の表面で屈折し、網膜に到達する。人がある1点を注視しているとき、注視している物体からきた光線は網膜内の最も解像度の高い領域である中心窩に到達する。以降、人が注視している領域を注視点、目と注視点を結ぶ直線を視線と呼ぶ。視線は視軸とも呼ばれ、厳密には注視点、節点(眼をレンズで構成された光学系であると考えたとき、どの角度から入射した光線でも入射角と出射角が等しくなる光軸上の点)、中心窩を結んだ直線として定義される。

視線測定によって得られた視線データを見ると、1箇所への停留と次の箇所へのサックード(跳躍運動)が交互に観察される。人が眼によって情報を知覚できるのは視線が停留している間であり、サックード中にはほとんど情報は得られない。サックード中はきわめて高速であり、角速度は最高700deg/s程度に達する。また、視線の停留時間は、一般には100msから300ms程度であるが、長い場合には1000ms以上になる場合もある。

眼の動きは、実際にはサックードだけでなくさまざまな眼球運動の組合せである。眼球運動の種類や視線を手がかりとした人の認知処理に関する研究例などについて文献1)にまとめてあるので、興味のある方は参照されたい。

■ 視線測定法の種類

視線測定の始まりは18世紀末にさかのぼり、コンピ

ュータの歴史より長い。これまで考案されてきた主な手法には、ペンが接続されたコンタクトレンズを装着する手法、微小なコイルをコンタクトレンズあるいは角膜表面に直接接着する手法、眼の周囲に電極を配置し、眼球運動に伴って生じる電位差を測定する手法、光電素子を利用して強膜と虹彩の境界位置を検出する手法などがある²⁾。近年はコンピュータの処理速度および画像処理技術が進歩したことから、CCDカメラやCMOSカメラ等のビデオカメラで撮影した眼球像をコンピュータで処理して視線を算出する手法が一般的である。

視線インタフェースを実現するには、ユーザへの負担が少ない視線測定装置の存在が必要条件である。しかしながらこれまでの視線測定装置は、いかに正確に視線を測定するかに主眼が置かれ、使いやすさの向上については二の次であった。そのため視線測定はユーザにとって負担の大きな作業であり、インタフェースとして日常的に利用することは非現実的であった。最近はその事情も変わりつつある。

本章では、視線インタフェースの実現に向けて視線測定装置に要求される条件を整理し、次に最新の視線測定技術を紹介する。

■視線測定技術に求められる条件

視線測定技術は、インタフェースとして利用するにあたり以下の条件を満たす必要がある。

- (1) 十分な測定精度。人が1点を見つめているとき、視線測定装置が算出した注視点は、実際に見ている点と一致して欲しい。ところが眼球の光学系はきわめて複雑であること、眼球形状には個人差があり、正確な形状の観測は困難であることなどから正確な視線を求めることは難しい。視線測定は眼球の微細な動きを観察するものであり、測定上のわずかな誤差も視線に換算すると大きな誤差につながる。
- (2) 設定の簡素化。視線測定を行ったことのある人はお分かりであろうが、視線測定はかなり手間を要する作業であり、特に個人別の初期調整は大変かつ習熟を要する。頻繁に利用するためには設定はほとんど不要となるべきである。
- (3) 頭部の自由な移動。眼をカメラで撮影する以上、眼の位置は何らかの制約を受けることになる。しかしながら極端に頭部位置の制約が厳しいと、頭部をその位置に保持することは困難である。頭部位置に関する制約は、少ないほど望ましい。

これらの条件を完全に満たした視線測定技術は、残念

ながら現在のところまだないものかなり満たしつつあり、インタフェースにも使えるようになってきている。以下に、主な視線測定技術を紹介する。なお、視線インタフェースを日常的に使うにあたり、目の中に専用のコンタクトレンズを入れたり、周囲に電極を装着するのは非現実的である。そこで以降では、ビデオカメラを利用した視線測定法を議論の対象とする。

■ビデオカメラを利用した視線測定技術

ビデオカメラを利用した視線測定技術は、カメラの設置位置によって「頭部装着型」と「非接触型」の2種類に分類することができる。

頭部装着型は、ビデオカメラをユーザの頭部に設置する測定法である。ユーザが頭部を動かしても視線測定が可能であるため、歩行中や自動車運転中の視線測定が可能である。一方、常に頭部に測定装置を装着する必要があるため、ユーザへの負担は大きい。また視線から注視対象を自動的に求めることは難しい。これは、一般に頭部装着型では頭部に風景撮影用のカメラを別途設置して、カメラの撮影画像中の注視点を求めるためである。注視対象を判別するために、磁気センサ等を用いて頭部位置を別途測定する手法も用いられるが、センサの測定誤差が発生しやすいという問題がある。

非接触型は、ビデオカメラをユーザの前方に設置して視線測定を行う手法である。ユーザは身体に何も装着する必要がない。またカメラ位置が外界に固定されているため、測定した視線からユーザが注視している対象物を判別することが容易である。一方、カメラで撮影される範囲が限定されるため、頭を動かせる範囲が著しく制限される。この問題を軽減するために、カメラ方向をユーザの頭部位置に合わせて制御する、頭部追従型の視線測定法も登場している。

頭部装着型と非接触型のいずれがよいかは用途によって異なるが、視線インタフェースとして利用するには非接触型の方が適しているであろう。

視線測定技術は、カメラの種類が近赤外線を用いるものか可視光線を用いるものかによって、さらに2種類に分類される。

近赤外線を利用する手法では、近赤外線の点光源を眼球に照射し、観察された瞳孔中心および角膜表面における反射像(第1プルキニ工像、以下プルキニ工像と略す)から視線を検出する手法が一般的である。近赤外線カメラを利用して眼球を撮影すると、虹彩は近赤外線を反射して、瞳孔に対して明るく映る(図-2(a))。そのため瞳孔と虹彩の分離は容易である。角膜および眼球は、曲率

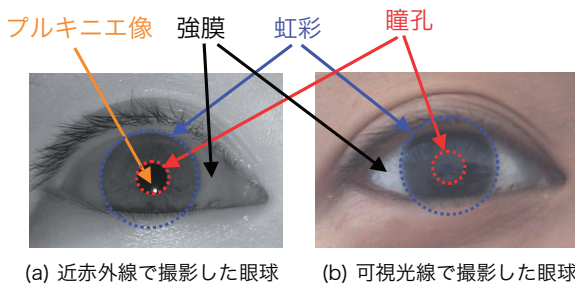


図-2 近赤外線および可視光線で撮影した眼球像

の異なる2つの球が連結した形状であり、眼球が回転すると、瞳孔中心とプルキニエ像の相対位置関係が変化する。そこで両者の相対位置関係から視線を算出する³⁾。近赤外線光源を別途用意する必要があるが、高精度な視線測定(視野角0.5~1.0度程度)が可能である。

最近では、顔のリアルタイム検出に関する研究が進歩し、可視光線を利用した視線測定法も登場してきた。可視光線を用いて眼球を撮影すると、瞳孔、虹彩および強膜が観察される(図-2(b))。瞳孔は光の透過率が高いが、眼球内部での光の反射が少ないため、暗く見える(光が正面から入射したときのみいわゆる赤目のように明るくなる)。虹彩はメラニン色素の量に応じて茶、緑、青などに見えるが、虹彩と瞳孔の区別はつきにくい場合が多い。一方、角膜の周囲に分布する強膜は白色であるため、虹彩と強膜の識別は容易である。そこで可視光線による視線測定では、撮影した眼球像から、眼の特徴点(目尻、瞼など)および虹彩を検出し、特徴点に対する虹彩の相対位置を求め、そこから視線を算出する手法が一般的である。眼球を動かすと、眼の特徴点に対して虹彩位置が相対的に変化することから、視線が得られる。一般的なビデオカメラで視線測定が可能であるが、視線方向を変化させた場合の虹彩位置変化が小さいため、近赤外線を利用する手法と比較して高精度な視線測定は難しく、測定精度は視野角2度程度である。

現在市販されている視線測定装置は、近赤外線を利用したものが主流である。国内メーカーではNAC、竹井が頭部装着型、頭部追従式の非接触型の両方を出している。また、海外ではASL、LC Technology、ISCAN等が代表的なメーカーである。これらはいずれも近赤外線を用いた視線測定法を採用している。SeeingMachinesは、ステレオカメラを利用した可視光線による視線測定装置を開発しており、近赤外線を用いた製品と比較して測定精度は低い



図-3 視線測定装置FreeGaze

ものの、屋外でも使えるなど他社製品にはない特徴を持つ。製品によってかなり使い勝手が異なるので、購入の際は必ず試用することをお勧めする。実際にいろいろな人の視線を測定してみると、精度や使いやすさも分かるのではないだろうか^{☆1)}。

さて、これら市販の製品は、前述した視線インタフェースとしての3条件のうち、(1)十分な測定精度および(3)頭部の自由な移動については及第点であるが、(2)設定の簡素化についてはまだまだ不十分である。一般に視線の測定は設定に時間を要するだけでなく、精度よく視線を測定するためには視線測定装置の取り扱いに習熟を要する。

そこで筆者らは、条件(1)を満たしつつ条件(2)を達成することを目指し、独自の視線測定装置FreeGazeを開発した³⁾。FreeGazeは近赤外線カメラを搭載しており(図-3)、瞳孔中心およびプルキニエ像から視線を求める。FreeGazeの特徴は、人の眼球形状に関する3次元モデルを用いて、観察された瞳孔像およびプルキニエ像から真の瞳孔位置およびプルキニエ像の位置を推定し、そこから視線を算出することにある。その結果、個人別に位置合わせを行う作業(個人キャリブレーションと呼ばれる)の手間が軽減され、従来は利用開始前に画面上に表示された5から20点のマーカを注視する必要があったのに対し、本手法はわずか2点でよい。また、一度個人キャリブレーションを行えば、そのデータは再利用可能であるため、次回からは個人キャリブレーションを行うことなく視線測定が可能である。また、現在は条件(3)を達成するために頭部追従型への拡張を

☆1 筆者のホームページに市販の主な視線測定装置をまとめてある。 http://www.brl.ntt.co.jp/people/takehiko/gaze_interaction/equipments.htmlを参照されたい。

進めている。

なお、条件(2)を完全に満たすにはまったく個人キャリブレーションを不要として、ただちに視線測定を行えることが理想であるが、眼球形状の個人差を観測することが困難であるため、高精度な視線測定を行う上で個人キャリブレーションを完全になくすことは難しい。

(視線を用いたインタフェース)

視線を用いたインタフェースは、ユーザが視線を利用して能動的に対象を選択する手法と、コンピュータ側がユーザの視線を観察し、観察結果に基づき作業支援を行う手法の2種類が代表的である。

■ 視線による選択作業

視線の用途としてまず思い浮かぶのが、視線によるポインティングであろう。たとえばマウスを用いてアイコンを選択するとき、マウスカーソルより先に視線はアイコンに到達している。そのため視線でアイコンを選択できれば、手をマウスに伸ばす必要もなく、選択作業はぐっと楽になりそうである。選択対象は、アイコンにとどまらず、メニュー、ボタンなどさまざまなものがある。画面上のアイコン、メニュー等を選択する作業はコンピュータを利用するあらゆる局面において発生するため、視線によって簡単に選択できればその意義は大きい。

しかしながら眼は運動器官ではないため、精密なポインティング作業には適していない。また、感覚器官としての役割も果たすため、外界から情報を取得する段階と、操作のために視線を制御する段階が明確に分離されていないことによる問題も生じる。たとえば、見たものが片端から選択されると、操作はきわめて困難になる。この問題は、見たものをすべて金に変えてしまったフリギア国のMidas王にちなんで“Midas Touch Problem”と呼ばれる。

この問題を解決するために、Jacob (Tufts Univ.) らは、メニューを一定時間注視することで選択を決定する手法を提案した。またHansen (Risø National Lab.) らは同様の手法において、ユーザが目のアイコン (EyeConと呼ぶ) を注視すると目が徐々に閉じ、ユーザに視覚フィードバックを与える手法を提案している。Zhai (IBM) らは、視線とマウスを組み合わせることで、マウスのみを利用する場合より高速な選択が可能であることを示した。大和 (奈



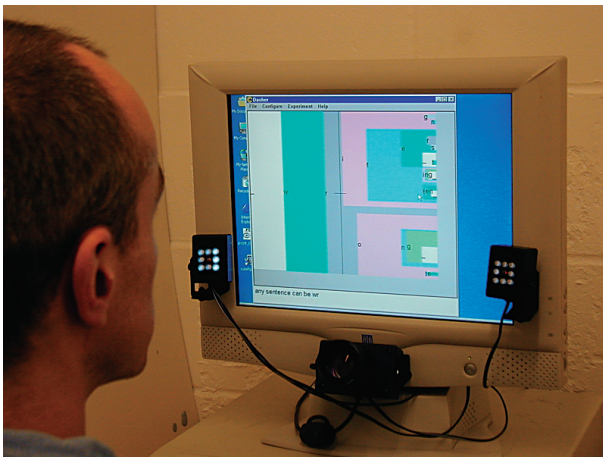
図-4 Quick Glance Selection Method

良先端大) らは、同様の手法がアイコンのドラッグアンドドロップ等にも有効であることを示した。これらの手法は、情報の知覚段階と選択段階を、時間(一定時間以上の注視)や視線以外の手法(まばたき、ボタンの押下)で分離したものである。

筆者は知覚段階と選択段階を空間で分離する手法として、メニューの情報表示領域と選択領域を分離した選択手法Quick Glance Selection Methodを提案した(図-4)。本手法では、情報表示領域を注視した場合には選択は行われず、対応する選択領域にマーカが表示される。また、選択領域を注視した場合には直ちにそのメニューが選択される。本手法はMidas Touch Problemを回避するシンプルな解法であるが、マウスと比較して高速な選択を実現しており、眼球運動の高速性を活かした選択手法となっている。

個々のオブジェクトについて明示的に選択を行うのではなく、ズームインインタフェースを用いて連続的に選択を行う手法も提案されている。Ward (Univ. of Cambridge) らが提案したDasherと呼ばれる手法は、注視個所の文字が連続的にズームすることで、視線による高速な文字入力を実現した⁴⁾。左右にスクロールするウィンドウがあり、ユーザが左を見ると右方向に、右を見ると左方向にスクロールする(図-5)。ウィンドウ右端にはAからZまでの文字が表示されており、表示された文字を注視すると画面が左方向にスクロールしながら文字付近が拡大、選択される。アルファベットの表示順序は言語情報に基づき決定されており、入力した文字列から次に選択するであろう単語を推定し、現在の注視点個所に拡大表示することで、視線移動に要する時間を短縮している。高速に入力するには習熟を要するが、次々と連続的に文字を入力可能であり、他の文字入力手法とは異なる独特の雰囲気を持つ。Dasherのホームページ^{☆2}

☆2 Dasher ホームページ: <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/dasher/>



(MacKay氏提供)

図-5 視線による文字入力法 Dasher

にはデモビデオも掲載されている。

選択作業は、誰が、どのような環境で利用するかによって要求される条件が大きく異なる。たとえば視線以外に選択手段が残されていないユーザにとっては、遅くても確実な選択手法が望まれよう。一方、コンピュータを日常的に利用するユーザにとっては、マウスより高速かつ手軽に選択可能な手法でないと、わざわざこちらを利用する意味がない。また、両手がふさがっていてマウスを使えない場面も考えられる。この場合はマウスと同程度の速度で操作できれば十分であろう。

視線による選択作業については、まだ決め手となる手法が定まっていない。今後はいろいろな場面において、利用する環境に適した手法の確立が望まれるところである。

■ 視線を利用した意図の推定

視線をインタフェースとして利用するもう1つの手法として、視線をコンピュータが観察することによってユーザの状態を推定する手法がある。つまり視線からユーザが取得している情報の種類を決定し、そこからユーザの意図や興味を推定することで、入力デバイスを明示的に操作することなくコンピュータを利用する、あるいはコンピュータがユーザの作業を支援するのである。

日常生活において、普段頻繁に行っている作業をコンピュータがさりげなく代行してくれれば、そのような作業に労力を割くことなく、主たる作業に集中することができるようになる。また、困ったときにはすかさず支援してくれれば、慣れない機械でも安心して使える。視線インタフェースは、そのような可能性を秘めている。

Salvucci (CMU) らはHMM (Hidden Markov Model) を

利用して、視線からユーザの意図を確率的に推定する手法を提案した⁵⁾。Salvucciらはこの手法を、画面上に表示されたキーボードを用いて英単語を入力するシステム、方程式を解く過程の推定などに利用している。この手法はあらかじめユーザの作業を正規文法 (regular grammar) による書き換え規則集合として表現する (プロセスモデルと呼ぶ)。また各プロセスにおける視線の対象領域を定める。たとえば "eye" という単語を入力する場合は、"e", "y", "e" の順にキーの位置を見るはずだ、という規則を定めるのである。次に観察された視線データからどのプロセスモデルに最も一致しているかをHMMによって算出する。この手法はユーザがキーの位置を正確に注視せずに多少ずれた場合でも単語の入力が可能であるという特徴を持つ。

Campbell (IBM) らは、ユーザが文書を読む場面において、視線から読解状態にあるか否かを検出する手法を提案している。この手法は視線の移動方向および距離に対して点数を算出し、一定値以上の場合に読解状態であると判定している。

高木 (東大) らは和英翻訳作業の支援環境を題材として、ユーザの「迷い」状態を自動的に検出し、適切な支援を行うシステムを提案している。ユーザが翻訳の参考として日本語で単語を入力すると、その単語を含む英文および和文の対訳コーパスが複数画面上に表示される。そしてユーザの視線がいずれのコーパス上にあるかを測定し、視線の移動パターンに対してN-Gram解析を行うことで、視線パターンとユーザの心理状態を対応付け、ユーザの「迷い」を検出している。

筆者らは英語の文書を読んでいる人の視線から、単語の理解度を推定する研究を進めている⁶⁾。本手法は文書中の各単語について、ユーザの視線に基づき、視線の移動方向、移動距離、停留時間等の属性から構成された特徴ベクトルを動的に更新する。そしてあらかじめユーザ別に生成した決定木を用いて特徴ベクトルからユーザの理解度を判定する (図-6)。この手法の応用例として、自動辞書引きシステムを試作した (図-7)。本システムは、ユーザが文書を読みながら「この単語はどれも意味が分からない」と思っていると、自動的に単語の意味を表示することで、ユーザの文書理解を促進することを目指している。

これらはいずれも視線のパターンからユーザの意図を推定しているが、推定方法はさまざまである。このような手法はまだ十分に研究が進んでおらず、どの程度有用であるかははっきりしていない。有用性を高めるには、手法の適切性、推定可能な意図の範囲、推定精度、個人

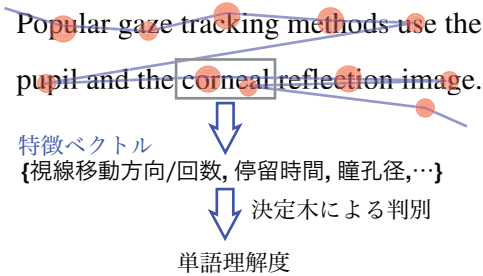


図-6 単語理解度の推定法

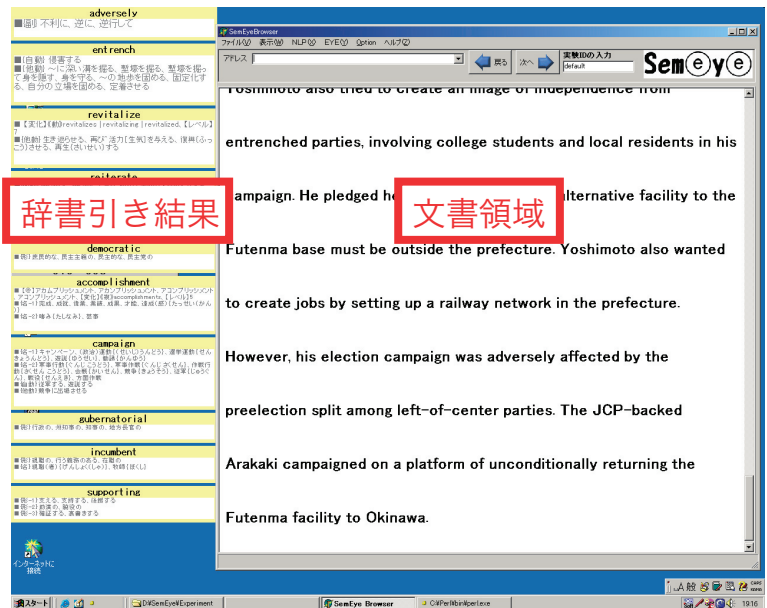


図-7 単語理解度の自動推定に基づく辞書引きシステム

差の影響などに関して、さらなる研究を進める必要がある。

また最近、シンプルかつ有効な、新しい視線の利用方法として、コンピュータがユーザの注目対象をユーザの視線から求め、必要なときにだけ応答するインタフェースも提案されている。“Attentive User Interface”と呼ばれ、参考文献7)にさまざまな事例が紹介されている。この場合、視線の測定精度は低くてもよく、簡易な視線測定装置で実現可能である。これも視線を利用したインタフェースにおける1つの可能性を示しているといえるであろう。

（ 技術的課題と将来展望 ）

視線インタフェースが日常的に利用されるようになるには、まず視線測定装置のさらなる進化が必要である。より簡単、高精度、かつ誰でも使える手法の登場が望まれるところである。測定可能な環境も、現在はディスプレイの前に座っている状態が一般的であるが、今後は緩和されていくであろう。カメラで撮影した映像から顔を検出する研究も盛んに行われているので、近い将来には頭部に何もつけることなく、部屋の中を歩き回る人の視線を測定できる日がくるかもしれない。

視線を測定できる環境が整ってくると、視線の利用方法も拡大する。複数人の視線を同時に測定できれば、興味や関心の集中する情報をコンピュータが検出することが可能となり、話題の流れを理解するコンピュータが実

現するかもしれない。そのためには、視線から（必要であれば他の情報も併用して）、ユーザの内部状態を推定する研究の一層の発展が望まれる。

また、これまで多数の視線インタフェースが提案されてきたが、その使いやすさに関する研究はほとんど行われていない。疲労感ばかりが残りマウスを使った方がよっぽど速いなどというインタフェースでは、実世界では使ってもらえないであろう。たとえばユーザが使用していることを意識せずに、望むとおりの選択作業を行うことは可能なのだろうか。ユーザビリティの観点から見た視線インタフェースの研究も今後は重要なテーマである。

相手にさっと目くばせをするだけで、こちらの意図を察して的確な動作をしてくれる、そんなコンピュータの実現を夢見て研究を進める今日この頃である。

参考文献

- 1) 大野健彦: 視線から何がわかるかー視線測定に基づく高次認知処理の解明, 認知科学, Vol.9, No.4, pp.565-579 (2002).
- 2) 古賀一男: 眼球運動実験ミニ・ハンドブック, 労働科学研究所出版部 (1998).
- 3) 大野健彦, 武川直樹, 吉川 厚: 2点補正による簡易キャリブレーションを実現した視線測定システム, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.4, pp.1136-1149 (Apr. 2003).
- 4) Ward, D.J. and MacKay, D.J.C.: Fast Hands-free Writing by Gaze Direction, Nature, Vol.418, p.838 (2002).
- 5) Salvucci, D.D. and Anderson, J.R.: Automated Eye-Movement Protocol Analysis, Human-Computer Interaction, Vol.16, pp.39-86 (2001).
- 6) 東中竜一郎, 大野健彦: 視線に基づくユーザ理解度測定法とその応用, 情処研報 2003-HI-102, pp.31-38 (2003).
- 7) Vertegaal, R.: Attentive User Interfaces, Communications of the ACM, Vol.46, No.3, pp.30-33 (2003).

(平成 15 年 2 月 18 日受付)

