

ユーザインタフェース研究特集 —ケータイの新たなカタチ—

常時装用インタフェースの実現を目指した
イヤホンによる視線検出技術

ウォークマン[®]*1の登場以来、イヤホンを装着しての音楽鑑賞は日常生活の一部となっている。携帯型音楽プレーヤの操作は主にリモコンを使って行われるが、両手に荷物を持っているなど、手が使えない場面での操作は困難であった。そこでイヤホンの位置から眼の動きを検出し、出力装置でしかなかったイヤホンに入力機能を付与することを試み、実現可能性を検証するためのプロトタイプ製作を行った。このイヤホンを用いれば、手や声を使えない場面でも、ハンズフリーかつボイスフリーでの入力が可能となる。

先進技術研究所 まなべ ひろゆき 真鍋 宏幸
ふくもと まさあき 福本 雅朗

1. まえがき

視線あるいは眼の動きは、日常生活の中で利用できるインタフェース手段として有効である。例えば、ハンズフリー入力や、注視による素早いポインティングなどが可能となる。しかし、視線をインタフェースとして利用する試みは、障がい者向けなど限定された状況を想定したものとどまっている。

従来の視線計測デバイスは、高精度な計測が可能である反面、ユーザの移動を制限する、顔面をデバイスが覆う、視野の一部を遮るなどの問題があった。日常生活での使用を考

えた場合、計測精度の向上より、むしろ装着の簡便さや日常生活を阻害しないことが重要だと考えられる。

すでに筆者らは、大型のヘッドホンを用いて視線検出が可能であることを示してきた[1]。さまざまな種類のヘッドホンで視線検出を行えるようになれば、ユーザの選択肢を広げることができる。そこで今回は、イヤホンを用いた視線検出を試みた。

本稿ではまず、外耳道およびその近傍からのEOG (Electrooculogram) 計測が可能であり、Kalman フィルタ*2を用いたドリフト低減手法が有効であることを示す。次に、イヤホ

ン型プロトタイプを製作し、眼を動かすだけで入力が可能であることを示す。

2. 従来技術

2.1 視線検出手法

視線検出手法には、光学的・物理的・電気的手法が知られている。角膜反射法*3、強膜トラッカー法*4などの光学的手法が一般的であるが、利用場所の制約を受ける、視野の一部が遮られるという課題がある。物理的手法には、サーチコイル法*5などがあるが、ユーザの負担が大きい。

これらに対して電気的手法は、眼

*1 ウォークマン[®]: ソニー(株)の登録商標。
*2 Kalman フィルタ: 雑音が含まれた観測値からシステムの状態を推定する手法の1つ。
*3 角膜反射法: 近赤外光を照射し、角膜での反射(プルキニエ像)を検出すること

で視線を計測する手法。
*4 強膜トラッカー法: 近赤外光の反射を利用し、角膜および強膜の境界を検出することで視線を計測する手法。
*5 サーチコイル法: 角膜にコイルを装着することで視線を計測する手法。

球に存在する網膜角膜電位（網膜側を負、角膜側を正とする常在電位）を眼球近傍に貼付した電極で検出し、視線を推定する手法で、EOG法と呼ばれている。その原理を図1に示す。図1は、上方から見た頭部の模式図であり、眼球と左右の耳に配置された電極および眼球を動かしたときの電位変化を示している。ユーザが正面を向いている場合は、電極Aと電極Bとの間に電位差は生じない（図1(a)）。左を向いた場合は、角膜が左側に、網膜が右側に移動するため、電極Aは電極Bに対して正の電位となる（図1(b)）。右を向いた場合は、反対のことが起こる（図1(c)）。このため、左右の電極の電位差を検出することで、視線方向を計測することができる。電位差が直接視線方向に対応するため、通常は直流アンプが用いられる。視線の垂直成分は電極を眼球の上下に配置すれば得られる。なお、図1には2個の電極しか示されていないが、差動増幅を行うためにアース電極が別に必要である。

EOG法は比較的簡便で計測範囲が広いと、主に医療分野で用いられている。また、視野が遮られないという特徴がある。しかし、通常のEOG法では、電極を眼球近傍の上下左右に配置するため、目の周囲が複数の電極で覆われてしまい、日常生活での利用は困難であるという課題があった。

2.2 ヘッドホンを用いた取組み

眼球近傍に電極を配置するのは、高い信号対雑音比で眼球運動の水平／垂直成分に対応したEOGを得るためであり、電極を眼球から遠い位置に配置しても、十分な品質のEOGを計測できれば、電極で顔を覆うことなく視線を検出することができる。

そこで筆者らは、ヘッドホンを用いた視線入力インタフェースを提案してきた[1]。これは耳周辺にのみ配置した電極を用いて視線検出を試みたものである。提案手法を用いれば、ヘッドホンを装着するだけで、注視したビジュアルタグの読取りや、視線の動きによる音楽プレーヤの操作などが可能となる。製作したプロトタイプを写真1に示す。

3. イヤホンを用いた外耳道からの視線計測

3.1 EOG計測実験

イヤホンなど、より小型のヘッドホンを用いて視線検出ができれば、ユーザの選択肢を広げることができる。イヤホンを用いて視線計測を行う場合に問題となるのは、デバイスを小型化することよりも、むしろ電極が眼球から遠くなることにある。また、デバイスが小型化すると、電極を配置できる場所が厳しく制限されるようになることも問題となる。

まず、問題を明らかにするために、外耳道およびその近傍からEOG計測を行った。外耳道近傍は

皮膚表面が複雑な形状をしているため、通常の電極を利用することはできない。そこで、被験者の耳の形状に合わせて4カ所に塩化銀インクを塗布した耳型電極を製作し、電極として利用する（写真2）。左右の耳型電極を装着し、視線を動かしたときの



図1 EOG法の原理



写真1 大型ヘッドホン型プロトタイプ

EOG（以下、イヤホンEOG）を図2に示す。これは、視線を右、左に最大限に動かした後、水平方向に15度間隔で配置した7個のターゲットを、順に注視していったときのEOG計測結果である。視線を最大限に動かしたときのEOGの振幅は、約 $250\mu\text{V}$ であった。この値は、電極を耳たぶに配置した場合と同等であるが、通常のEOGでの約 $1,300\mu\text{V}$ 、大型ヘッドホン装着部位での約 $650\mu\text{V}$ と比べると、減衰している。一方、視線を垂直方向に動かした場合には、電位変化が微弱なため、観測するのは困難であった。これは、垂直成分を検出可能な位置に電極を配置できないためである。

次に、イヤホンEOGにおける時間経過に伴う直流レベルの変化（ドリフト）を図3に黒線で示す。これは、視線を右、左と最大限に動かした後、正面のターゲットを約4分間注視し続け、再び右、左と視線を動かしたときのEOGを示している。製作した耳型電極には、左右それぞれに3個の導出用電極が備わっていて、右用には写真2のとおりアース電極も加えた4個の電極が設けられているため、 3×3 で9通りの電極ペアから9種類のイヤホンEOGが得られる。

1点を注視し続けている領域を見れば分かるように、ドリフトが発生している。それぞれのEOGでドリフトの大きさや向きは異なる。しかし多くの場合、数十秒で視線が最大限動いたときと同程度に直流レベルが変化してしまっており、ドリフト

の影響は大きい。

3.2 視線推定を行ううえでの課題

これらの結果から、イヤホン装着部からEOG計測を行うことは可能であるが、振幅が減少するため、ドリフトが相対的に大きくなるという課題が明らかとなった。

ドリフトの主な原因は、電極の電極電位や分極特性であると考えられているが、ドリフトのみを取り除くことは難しい。1つの方法として、ハイパスフィルタの適用が挙げられるが、滑動性眼球運動^{*6}もドリフトと同時に取り除かれてしまう。また、定期的に直流レベルを補正（キャリブレーション）していく方法もあるが、注視ターゲットを提示する提示デバイスを持ち歩く必要があり、日常的に利用することは難しい。また図3から分かるように、複

数のイヤホンEOGにはドリフトが小さいものが含まれる。そのようなEOGを選び、直接利用することが考えられる。しかし、計測値はドリフトと視線の動きに伴う変化の和となるため、単純に計測値の大小だけでは選択できない。

3.3 ドリフト低減手法

この課題に対し筆者らは、複数の電極から得られる多数のEOGに、Kalmanフィルタを適用する手法を



写真2 右耳用の耳型電極

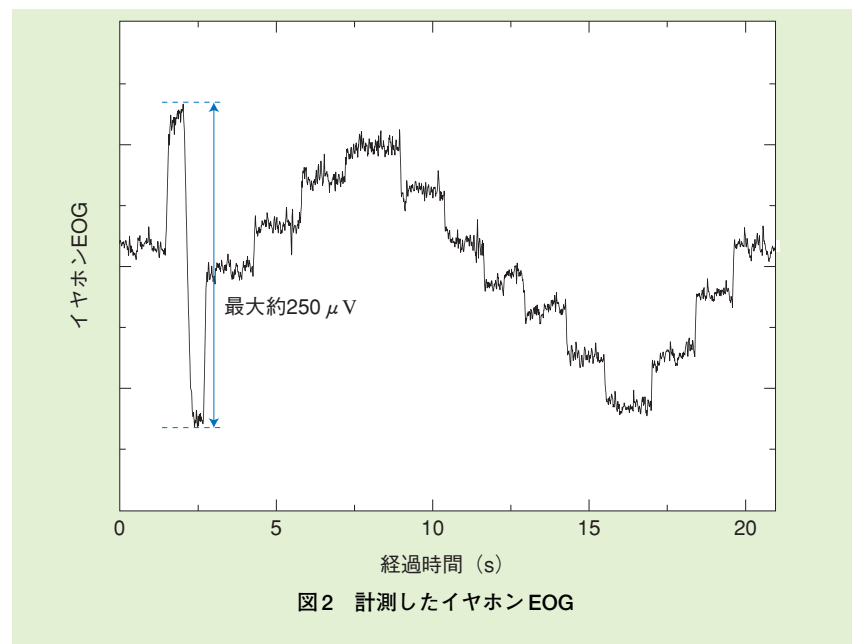


図2 計測したイヤホンEOG

*6 滑動性眼球運動：動く対象物を注視しているときに起こる滑らかな眼球運動。読書中などでは、サッケードと呼ばれる素早い眼球運動の繰返しが起こる。

提案している。1対の電極から得られる $EOG_i(t)$ は、視線方向を表す2次元ベクトル $x(t)$ 、視線方向からEOGへの変換行列 Z_i 、ドリフトを含めたノイズ成分 $e(t)$ を用いて、次式のように表すことができる。

$$EOG_i(t) = Z_i \cdot x(t) + e(t) \quad (1)$$

ここで、 $\Delta EOG_i(t) = EOG_i(t) - EOG_i(t-1)$ とし、さらに $\Delta EOG(t) = \{\Delta EOG_1(t), \dots, \Delta EOG_n(t)\}^T$ とすれば、

$$\Delta EOG(t) = Z \cdot \Delta x(t) + \Delta e(t) \quad (2)$$

となる。ここで、Kalmanフィルタを用いれば、観測値である $\Delta EOG(t)$ から $\Delta x(t)$ を求めることができる。視線方向 $x(t)$ は、 $\Delta x(t)$ を加算すればよい。本手法を写真1の大型ヘッドホン型プロトタイプに適用した場合、ドリフトの低減、視線の水平／垂直成分の分離が可能であった。

本手法を適用することで、イヤホンEOGのドリフトも低減できると考えられる。そこで、 $x(t)$ を視線の水平成分のみの1次元ベクトルに変更し、適用を試みた。

視線推定結果を図3に赤線で示す。本手法を適用した場合、視線方向は-1から1に正規化されるため、推定結果の振幅と、イヤホンEOGの振幅とがほぼ一致するように表示している。ドリフトが低減しており、本手法がイヤホンEOGにも有効であることが分かった。さらに、滑動性眼球運動など、滑らかな視

線の動きを検出できることも確認できた。

4. イヤホンを用いた視線入力によるアプリケーション

4.1 イヤホンへの実装

Kalmanフィルタを適用しドリフト

を低減できた結果を基に、インイヤホン型のプロトタイプを製作した(写真3)。イヤホンの外周部に円盤状の銀-塩化銀電極を配置し、筐体内部にEOG用のプリアンプとスピーカを内蔵している。左右に3個ずつある電極のうちの2個がEOG導出用(残りの1個はアース

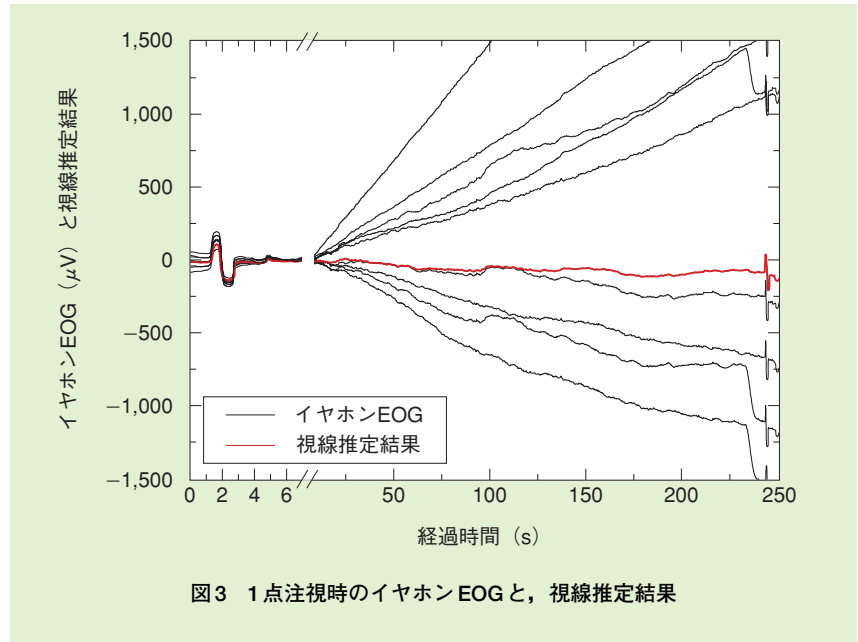


図3 1点注視時のイヤホンEOGと、視線推定結果



写真3 インイヤホン型プロトタイプ

もしくはリファレンス用)である。イヤホンからの出力は外部の直流アンプで増幅された後、PCで処理される。

4.2 アプリケーションの検討

ヘッドホン型プロトタイプでは、推定した視線と、カメラで撮影した画像を使って、ユーザが注視した対象物を特定することなどが可能であった[1]。しかし、イヤホン型プロトタイプでは、視線の垂直成分を検出できないことや、カメラの実装が困難であるため、同様のアプリケーションは難しい。

一方で、イヤホンという「出力デバイス」(情報をユーザに伝える)に、「入力デバイス」(ユーザの意図を検出する)の機能を付加した、と考えることもできる。イヤホンを装着するだけで、一連の入出力操作が完結するので、小型で常時装用が容易であるという利点を活かした、今までにない新たなアプリケーションが実現できる。

今回、視線の動きで音楽プレーヤ

や携帯電話の操作を行うデモンストレーションを構築し、各種展示会(CEATEC JAPAN 2009, Mobile World Congress 2010など)で公開した。本デモンストレーションでは、右から左、左から正面などの特定の視線の動きを操作コマンドに割り当てることで、10種類程度の操作をハンズフリーで行える。日常生活のさまざまな場面で使用できるが、特に荷物で手が使えない、手が汚れているなどの場面で有効である。なお、視線の動きと操作コマンドの割当ては任意であり、ユーザが自由に設定できる。

このほかにも、周囲の雑音の影響を受けないハンズフリー入力、閉眼時でも視線を検出できることを利用した他人に気付かれにくい入力、などへの応用もできる。また、近年注目されているAR (Augmented Reality) など、日常生活を拡張する際の入出力インタフェースとしても、有効であると考えられる。

5. あとがき

日常生活への視線入力インタフェ

ースの導入を目的とし、イヤホンを用いた視線検出を試みた。イヤホン装着部で得られるEOGから、視線の水平成分の推定が可能である。また、複数のEOGにKalmanフィルタを適用することで、ドリフトが低減される。さらに、イヤホンに電極を組み込み、音楽プレーヤをハンズフリーで操作できることを確認した。

今回製作したプロトタイプでは、円盤状の電極を使用しており、電極位置も固定されている。そのため、ユーザごとに異なる耳形状に対応できず、使用できるユーザが限られている。また、計測が行えたユーザであっても、複数の電極を安定して皮膚に接触させることは難しかった。今後、バネ性をもたせるなど、電極構造を改良していき、日常生活の中に視線入力インタフェースを導入していきたい。

文 献

- [1] H. Manabe and M. Fukumoto: "Full-time Wearable Headphone-Type Gaze Detector," Extended abstracts of CHI 2006, pp.1073-1078, Apr. 2006.