

学術論文

眼電図を用いた目視点判別方法の検討

A Distinguish Method of Visual Contact Point using EOG

竹田 幸市^{*1}, 佐々木 実^{*1}(正員), 伊藤 聡^{*1}

Kouichi TAKEDA, Minoru SASAKI (Mem.), Satoshi ITO

This paper presents a distinguish method of visual contact point using EOG. The visual contact point derives from the vector sum of the vertical and horizontal components of the peak EOG voltage. In this method, the visual contact point can be distinguished the visual contact direction. Moreover, derivation of a visual contact angle is able to perform. The rate of distinguish method of the visual contact point direction is over 75% to 95%. The presented method is better than the previous one and easy to apply for the man machine interface.

Keywords: EOG, visual contact point, visual direction, visual angle, distinguish method, man-machine interface.

1 序論

国立社会保障・人口問題研究所の 2010 年の人口統計資料の発表によると, 2010 年における日本の高齢化率は 22.57%と世界第 1 位となっている[1]。このため, 高齢者の機能障害などが深刻な問題となってきた。又, 高齢者だけでなく, 交通事故, 労働災害等の理由による機能障害者も増加傾向にあり, 日常生活が困難になる人も少なくない。このような高齢者, 障害者の介護及び支援が必要となっている。

そこで, 障害者, 高齢者の身体機能の補助を目的とした, 生体信号を利用したマン・マシンインターフェースの開発が現在盛んに行われている[2-6]。

本研究では数多くの生体信号の中でも眼球運動に伴って発生する眼電図を取り上げた。眼電図を用いる理由は

- (1)眼球運動は重度肢体不自由者でも比較的最後まで随意運動として残るため, より多くの障害者を支援できる可能性がある[7]。
- (2) 眼球運動は高速に長時間動かしても疲労が少なく, 使用者への負担軽減ができる[8-9]。
- (3)機械を動かしたい方向に見るという操作は感覚的に扱いやすく, 多くの利用者に適応できる[8]。
- (4)眼電は計測が比較的容易であり, 安価にシステムを構築できる[8]。

以上の 4 点がその理由として挙げられる。

連絡先: 佐々木 実, 〒501-1193 岐阜市柳戸 1 番 1, 岐阜大学工学部人間情報システム工学科,
e-mail: sasaki@gifu-u.ac.jp

^{*1}岐阜大学

眼電図の発生機序であるが, 角膜は網膜に対して陽性に荷電しているため, 眼球運動に伴い眼窩周囲に微小な電位変動が生じることを利用している[10]。この電位変動を交流増幅したものが交流眼電図となる。この交流眼電図の問題点は, 注視している時の絶対的な位置が測定できないことが挙げられる。

このため交流眼電図を用いた諸研究及び先行研究では目視点直接を判別するのではなく, 眼球運動をしたかどうかを, 使用者の入力意思として検出し, その際の注視点が注視領域のどの領域にあるかを判別するというような領域判別や, 目視点を水平方向や, 上下左右方向のみに限定して測定するといったように, 方向を限定した目視点の判別が一般的に行われてきた。

本研究では方向に縛られることのない, 目視点判別の方法の提案とその有用性についての検討を行った。

2 先行研究

2.1 フィルタ処理

Fig.1 は眼電図の生データである。交流眼電図は図のようにノイズの影響により小刻みに振動しており, これは眼電図を用いて目視点の判別を行う際, 誤判別の原因となり得る。そのため, 以下のような伝達関数で示すようなローパスフィルタをかけることで眼電図の平滑化を行った。

$$H(s) = \frac{4\pi^2 f^2}{s^2 + 4\pi f \cos(\frac{\pi}{4}) + 4\pi^2 f^2} \quad (1)$$

ここで f はカットオフ周波数のことで, 先行研究[1]

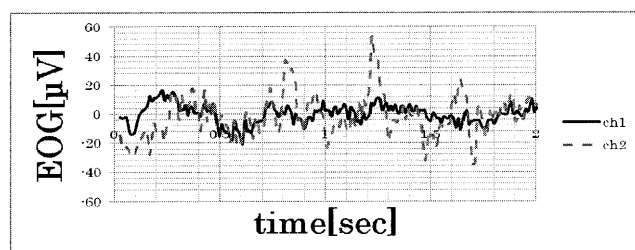


Fig. 1 EOG.

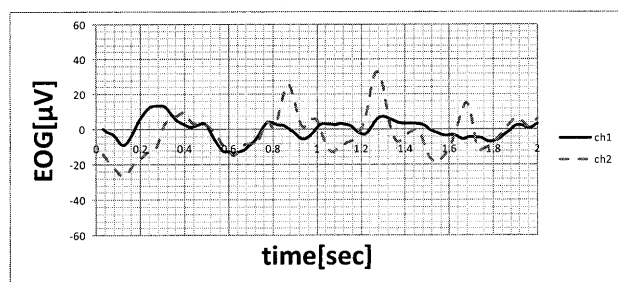


Fig. 2 Filtered EOG.

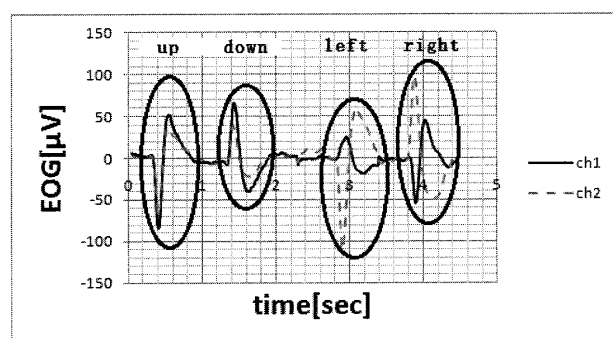


Fig. 3 EOG data.

により 6 Hz に設定すると最も良く平滑化できることが明らかになっている[4]。Fig. 2 をローパスフィルタにかけた図を Fig. 3 に示す。

以下、実験では全てこのローパスフィルタをかけたデータを扱う。

2.2 目視点の判別法

Fig. 3 は上下左右のそれぞれの方向を向いたときの眼電図である。ch1, ch2 のそれぞれの眼電位のピーク値の正負の符号により目視方向を次のように判別した。

上 : ch1 マイナス ch2 マイナス
 下 : ch1 プラス ch2 プラス
 右 : ch1 プラス ch2 マイナス
 左 : ch1 マイナス ch2 プラス

このようなピーク値の正負の組み合わせで方向を判別した。また、目視方向別に目視角度と眼電図の積分値との間にそれぞれ次のような関係式が成り立つことが

先行研究により明らかとなった[4]。なお、積分値の導出には、時間間隔を 0.01 秒とする台形積分を用いて導出を行った。

$$V_{\text{integral}} = 4.96\theta_{\text{upper}} + 0.47 \quad (2)$$

$$V_{\text{integral}} = 29.37\theta_{\text{under}} - 42.01 \quad (3)$$

$$V_{\text{integral}} = 4.32\theta_{\text{right}} + 2 \quad (4)$$

$$V_{\text{integral}} = 2.98\theta_{\text{left}} + 3.12 \quad (5)$$

V_{integral} : 眼電位の積分値

θ_{upper} : 上方向の目視角度

θ_{under} : 下方向の目視角度

θ_{right} : 右方向の目視角度

θ_{left} : 左方向の目視角度

このような関係式から上下左右の 4 方向の目視方向判別と、各方向における目視角度の算出を行ったが、判別方向が 4 方向に限定されてしまう。

3 実験装置

生体信号検出装置と言っても、その種類は多数有り、取得する生体信号によっても異なってくる。本研究では、眼電位(EOG)を研究の対象としている為、目の周りの生体信号取得を目的とすることから Fig. 4 で示した株式会社脳機能研究所製 ESA-16 感性スペクトル解析装置 Ver.1.0 を用いる。

また、今回の実験では下の Fig. 5 に示されるように、

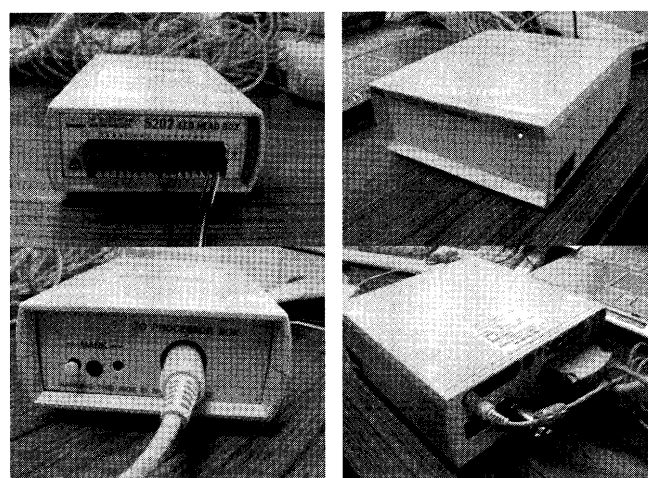


Fig. 4 Head Box(left) and Processor Box(right).

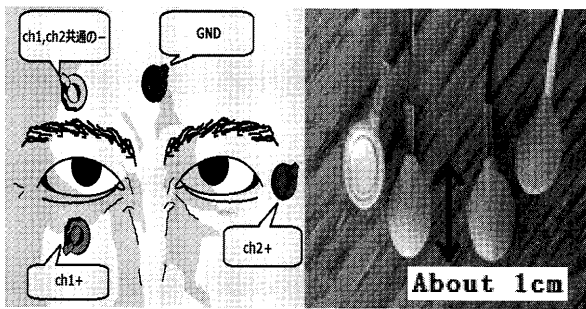


Fig. 5 Electrode position and An electrode.

4 つの電極を用いて測定を行う。電極は図に示されるように、直径が約 1 cm の皿電極を用いた。

電極はそれぞれ、ch1+, ch2+, ch1 及び ch2 共通のマイナス電極、GND の四つに分かれており、Fig. 5 で示されるように、額中央に GND、右目下に ch1 のプラス電極、右目上に ch1, ch2 共通のマイナス電極、左目尻に ch2 のプラス電極をそれぞれ取り付けることで測定を行う。

4 目視点判別の方法

先行研究では上下左右の 4 方向における目視点の判別を行った。しかし、実際の眼球運動は上下左右の 4 方向だけでなく、あらゆる方向に運動することが可能である。また、眼電図を用いたマン・マシンインターフェースの開発を考える時、目視点を方向に縛られず判定することは必須と言える。

そのため、今回新しく提案する方法では目視点を方向により縛られることなく判別する方法を考えた。その方法を次に述べる。

4.1 目視方向の判別法

目視点を二次元座標上で表現するために ch1, ch2 に対応する二つのベクトルを考え、その二つのベクトルの和で表わされるベクトルを目視点の方向ベクトルとすることを考える。

ここで、2.2 章で示したような関係が ch1 と ch2 の間にあるのでその関係を補間するような次の 2 つベクトル($\vec{C1}$, $\vec{C2}$)を考える。そのベクトルを Fig. 6 に示す。 $\vec{C1}$, $\vec{C2}$ の成分を表わすとそれぞれ次のようになる。

$$\vec{C1} = (1, -2.5) \quad (6)$$

$$\vec{C2} = (-2.5, -1) \quad (7)$$

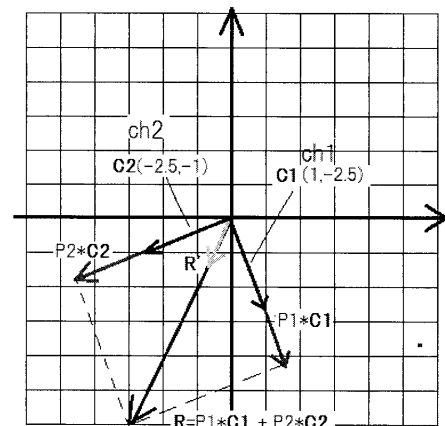


Fig. 6 Vector of ch1 and ch2.

眼球運動をした際に表れる ch1, ch2 のそれぞれの眼電位のピーク値を P1, P2 とすると、

$$\vec{C1}' = \vec{C1} \times P1 \quad (8)$$

$$\vec{C2}' = \vec{C2} \times P2 \quad (9)$$

$$\vec{R} = \vec{C1}' + \vec{C2}' \quad (10)$$

$$\vec{R}' = \frac{\vec{R}}{|\vec{R}|} \quad (11)$$

上の式により求められる $\vec{R}'$ ベクトルを目視点の方向ベクトルとして利用することを考える。

4.2 目視角度の判別法

眼電図から目視角度を判別する方法として、次の 3 つの値と目視角度との関係を求める。

まず一つ目に眼電図のピーク値と目視角度の関係を調べる。次に、眼電図の積分値と目視角度の関係を調べる。最後に眼電図の面積と目視角度の関係を調べる。

この 3 つの関係式の中で線形近似式と、得られた値が最も収束しているものを、目視角度の判別式として利用することにした。

5 実験方法

今回新たに提案した目視点判別の方法の有効性を検討するために次のような実験を行った。

5.1 目視方向の有効性の検討

Fig. 7 のように、4.1 で説明した目視方向判別の有効性を検討するため、上下左右及び斜め方向へ眼球運動

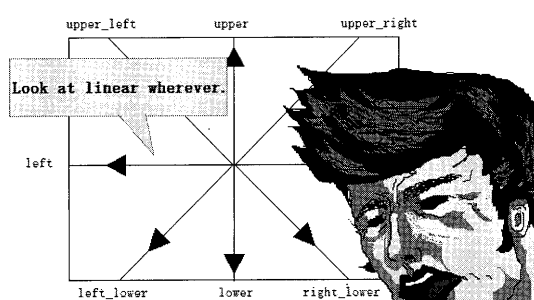


Fig. 7 Experiment outline chart.

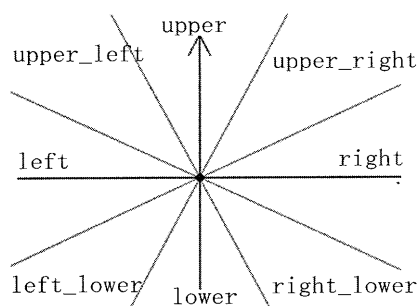


Fig. 8 A visual domain.

を行った際の目視方向の判別率を求めた。判定方法は下の Fig. 8 のように、目視点座標を 8 つの空間に分割し、目標とする眼球運動の方向の空間に目視点があるとき、正答とし、それ以外を誤答とする。今回は、各方向 50 回ずつの測定を行い、このときの判別率を調べた。

5.2 目視角度の判別式の導出

Fig. 9 のように上下左右及び斜めの 8 方向で、目視角度が 20° 、 30° 、 40° となるように計 24 カ所ポイントを取り、それぞれのポイントへ眼球を移動させた時のピーク値、積分値、面積をそれぞれ測定した。このとき、目視角度とそれぞれの値が最も良い線形関係となるものを目視角度の判別式として利用する。(積分値、面積の値は ch1, ch2 の二つの値の合計を用いた。)

なお、積分値と面積の値の計算は次のように行った。

Fig. 10 のように ch1, ch2 それぞれ区分求積法で計算を行い、各チャンネルの合計値を判別に用いた。なお、各区間の幅は、サンプリング時間である $0.01[s]$ とした。

積分値と面積の違いとしては、積分値は波形の正負によって正負両方の値をとりうるが、面積は波形の正負によらず常に正の値しかとらないという違いがある。

5.3 目視点判別の有効性の検討

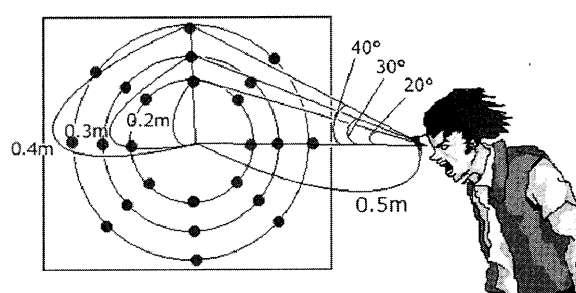


Fig. 9 Experimental methodology.

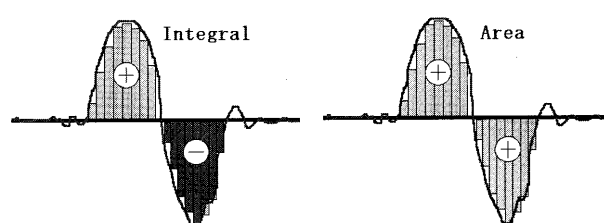


Fig. 10 Calculation method.

目視角度、目視方向の 2 つの判別により目視点の判別を行い、その有効性を検討する。実験方法は先ほどの 5.2 の実験と同様にして、上下左右及び斜めにおける目視角度が 20° 、 30° 、 40° となる点を目視した際の目視方向及び目視角度の誤差が、どれくらいになるかを調べた。

6 実験結果

6.1 目視方向の判別方法の結果

Table 1 を見ると分かるように、左下の判別率は 62 % とあまり良くないが、その他の方向の判別率は 75 ~ 95 % 以上とかなり高い判別率を得た。左下の判別率が悪くなった主な原因として、電極の設置位置が悪かったことが考えられる。他には、ch1, ch2, から得られる眼電位の値に大きな差異があることなどが考えられる。この改善策として、ch1, ch2, の 2 つの眼電位を正規化する方法などが考えられる。

全体の判別率は 82.5 % と、高い判別率を示しているので方向判別については問題ないと考えられる。

6.2 目視角度の判別式の導出結果

目視角度とピーク値、積分値、面積のそれぞれの値をプロットした図を Fig. 11 ~ Fig. 13 に示す。

この結果から分かるように、面積と目視角度との間に最も良い線形関係を導き出すことができた。このときの近似式は次のようになる。

Table 1 Distinction rate.

Direction	Measurement frequency					Distinction rate [%]
	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	
right	8	9	8	7	6	76
upper_right	9	9	10	10	10	96
upper	7	10	9	9	8	86
upper_left	9	8	8	9	8	84
left	9	10	10	10	10	98
left_under	4	5	5	8	9	62
under	9	8	8	8	9	84
right_under	5	8	8	8	8	74
Total Distinction rate						82.5

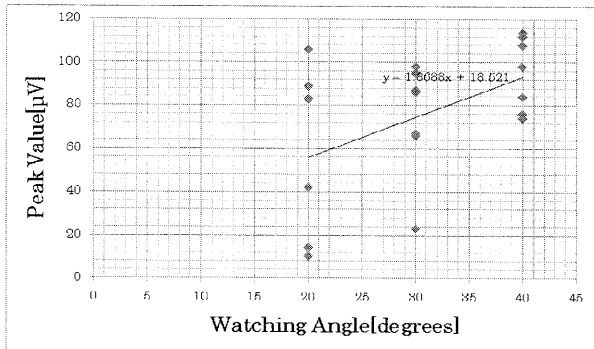


Fig. 11 Watching angle and peak value.

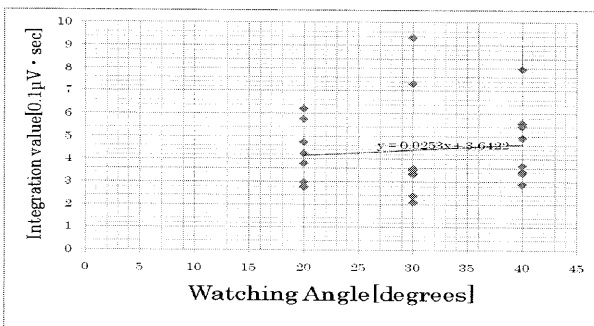


Fig. 12 Watching angle and integration value.

$$\theta_{eye} = \frac{S_{ch1+ch2} - 6.5}{0.7} \quad (12)$$

θ_{eye} : 目視角度

$S_{ch1+ch2}$: ch1, ch2の面積の合計

この近似式を用いて目視角度の判別を行うことにする。

6.3 目視点の判別方法の結果

6.2, 6.3 において導出を行った目視方向の判別と目視角度の判別方法を組み合わせることで目視点の判別を行った。この二つの判別法を用いて判別された目視

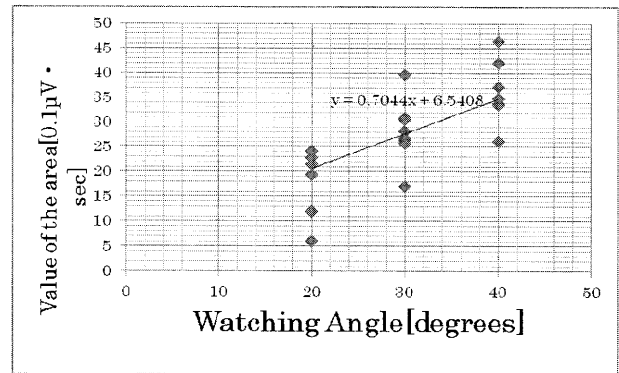


Fig. 13 Watching angle and area of EEG.

Table 2 Difference with watching angle.

Watching Direction	Watching Angle [degrees]	Measured Watching Angle [degrees]	Error [degrees]
left	20	16.8	-3.2
	30	21.2	-8.8
	40	30.3	-9.7
left_lower	20	23.6	3.6
	30	32.4	2.4
	40	39.3	-0.7
lower	20	20.6	0.6
	30	34.6	4.6
	40	38.8	-1.2

点の目視角度と目視方向それぞれの誤差がどの程度になるか求めた。その結果の一部を次の表に示す。

この表を見て分かるように、誤差は概ね 4~10 度、大きい場合は 20~30 度となる。8 方向の判別に限定すれば、4~10 度程度の誤差であれば、許容できるが 20 度以上の誤差は実際の目視角度とかなりの差異があり、判別にかんがりの影響を与えてしまうと思われる。

しかし、目視角度の大小関係と、算出された目視角度の大小関係は維持されており、また目視方向によってはほとんど誤差のない方向も存在した。このことから、現状の方法で十分精度の良い目視点の判別が行えるのではないかとと思われる。また、目視点判別の精度をより上げるためには、目視方向別に近似式を導入することができれば、さらに精度のよい判別ができるのではないかと考えられる。

7 結論

本研究はマンマシンインターフェースへの利用として眼電図を用いた目視点の判別を行った。

目視方向については、10~20 度の誤差があるものの、この程度の誤差であれば目視方向の判別には問題なく使えるものと考えられる。上下左右と斜めにおける目視角度が 20, 30, 40 度の計 24 パターンにおいては、概ね判別が可能であることが明らかになった。

Q1 Are you busy?	Back	Decision	Advance
	No		Yes
	May be No	I don't know	May be Yes

Fig. 14 Developing application.

現在この眼電を用いて、図のように質問に対する答えを、表示されたメニューの中から眼球運動により選択し答えるようなアプリケーションの作成を行っている。このアプリケーションのメニューは多くとも 8 つあれば十分であり、最低でも 8 方向の方向判別ができれば入力信号として利用可能であるため、本研究での判別手法は十分有効であると考えられる。またそれだけでなく、8 方向×3 段階の判別が行うことができる本研究の判別方法を用いることで、さらに発展したアプリケーションへ応用が可能になると期待できる。

今回の実験では単一の被験者のみについてしか実験を行っていないが、眼電位は個人差によりその値の多少の大小があるものの、眼球の網膜と角膜の電位差を利用して測定しているため、一般的に出力される波形の特長については、ほとんど同様の結果が得られる。これは、その他の眼電に関する研究論文における出力眼電図がほとんど同様の特長であることから明らかである。このため、本研究で提案した目視点の判別の手法を使うことで、本研究に限らず目視点の判別が行えると考えられる。その際、目視点を判別する際の二つのベクトル C1, C2 のパラメータは被験者の眼電位の大小により変更することでより高い判別率を得ることができるであろう。また、目視角度と眼電図の面積との間にある程度の線形関係があることが明らかになったが、この二つの間の関係式は、個人差による出力眼電位の大小により異なるであろう。目視角度を算出する際には、個人によりこの関係式を独自に算出する必要がある。一般的に生体信号は、個人差及び測定した際の体調等の被験者の内部パラメータにより出力されるデータは常に変動する。このため判別式、関係式等の個人におけるキャリブレーションは避けては通れない問題である。本研究で示した推定式は其中でも最も普遍性が見られたものを提示したが、それでも本研究における手法を用いて目視点の判別を行う場合は、

測定前のキャリブレーションは必須であると考えられる。

(2011 年 4 月 15 日受付, 2011 年 10 月 5 日再受付,
2011 年 10 月 15 日再々受付)

参考文献

- [1] 佐々木実, 尾関直哉, 伊藤聡, 野方文雄, EOG を用いたマン・マシンインターフェイスに関する基礎検討, 第 22 回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム講演論文集, pp. 314-319, 2010.
- [2] 濱田祐矢, 佐々木実, 石田篤史, 伊藤聡, EMG・EOG 信号を用いたサーボシステムの開発, 日本 AEM 学会誌, Vol. 16, No. 1, pp. 38-43, 2008.
- [3] CHOI KYOUNG HO and MINORU SASAKI, Optimal filtering of EEG signals with several gestures, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, Vol. 24, No. 3, 4, pp. 235-246, 2006.
- [4] Choi KYOUNGHO and Minoru SASAKI, Mental Task Recognition by NN with Artificial Immune System, 日本 AEM 学会誌, Vol. 12, No. 3, pp. 218-226, 2004.
- [5] Choi Kyoung ho and Minoru Sasaki, Mental Task discrimination by Neural networks with Wavelet transform based on Artificial immune system, *Journal of Microsystem Technologies*, Vol. 11, No. 8-11, pp. 933-942, 2005.
- [6] Choi Kyoung ho, Eiji Wada, Minoru Sasaki, Yasunori Tanaka and Masashi Nakamura, Development of an integrated eye-tracking interface for useful display construction, *Proceedings of the International Conference on Mechatronics and Information Technology*, Cheong Pung, Korea, pp. 388-391, December 4-6, 2003.
- [7] 方文珊, 板倉直明, 交流増幅眼電図を用いた視線入力インターフェースにける連続眼球移動量測定の評価-胸膜反射法との比較-, 電子情報通信学会技術研究報告 WIT, Vol. 106, pp. 41-42, 2006.
- [8] 太田拓臣, 板倉直明, 坂本和義, 廣瀬卓, 交流眼電図を用いた視線入力インターフェース, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 103, pp. 37-38, 2003.
- [9] 坂本和崇, 板倉直明, 交流眼電図式眼斜め方向移動を用いた多選択型視線入力インターフェース (ヒューマンコンピュータインタラクション), 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 92, pp. 189-190, 2009.
- [10] 加納慎一郎, 吉信達夫, 星宮望, 交流眼電図を用いたメニュー選択型インターフェースの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 105, pp. 33-34, 2006.