

# 眼球運動を用いた ALS 患者用コミュニケーションシステム

## A communication system for ALS patients using eyeball movement.

片田 貴学† 田中 幹也† 水上 嘉樹† 若佐 裕治† 岡野 仁‡  
Takanori Katada Kanya Tanaka Yosiki Mizukami Yuji Wakasa Hitoshi Okano

### 1. まえがき

ALS (筋萎縮性側索硬化症) は国の特定疾患に指定された進行性神経疾患で、手足の麻痺から始まり病状が進むと発声も呼吸も困難となり、医師・看護師や家族とのコミュニケーションに支障をきたすようになる。ALS では運動神経は侵されるが、感覚、自律神経、頭脳は衰えず特に眼球運動は比較的末期まで温存される。このため眼球運動を利用した様々なコミュニケーションシステムが開発されている。このうち患者の QOL を考えると CCD カメラとパソコン(PC)を用いた非接触型のシステムが有望であり、筆者らも瞬きを用いたコミュニケーションシステムを提案している<sup>1)</sup>。これは PC 画面上に意志伝達項目を順次提示し患者の所望の項目で瞬きをすればその項目が選択され表示されるというものである。このシステムは臨床応用で有用性が確認されているが、意志表示項目の提示に時間がかかりすぎ患者の QOL の点で問題があった。このため患者が PC 画面上の意志伝達項目を注視しただけで選択・表示できるシステムが開発されてきたが、装置の調整や特定の照明条件が必要であり実用性で問題があった<sup>2),3)</sup>。このための本稿では、CCD カメラと PC のみを用いた非接触の視線入力型コミュニケーションシステムを提案する。このシステムでは視線方向の検出が鍵になるが、そのための3つの手法とそれらを組み合わせた2つの手法を示し、実験によりその有用性を検証する。

### 2. システムの構成

本システムは、Fig. 1 に示すように 1 台の PC とビデオ CCD カメラにより構成される非接触型コミュニケーションシステムである。患者は、ディスプレイ上の区画された意志表示項目を注視することにより意図する項目を選択・表示することができる。

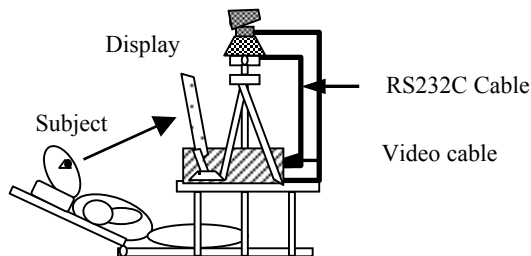


Fig. 1 System composition.

#### 2.1 システムの概要

本システムでは、PC の上部に備え付けられた CCD カメラから患者の顔画像をビデオキャプチャボードを経由して PC に取り込み画像処理により視線方向の検出を行う。

† 山口大学工学部

‡ 広島県立東部工業技術センター

画像処理によって得られた計算結果より患者の注視している領域を推定する。室内の照明条件は、通常の天井蛍光灯による明るさで十分である。また、システムの使用開始時にキャリブレーションを行う必要があるが、PC 画面上の区画を順次点滅させ、それを患者が目で追って眼球の位置を記録し視線方向決定の基準データを取得する簡単なものである。

#### 2.2 コミュニケーションスクリーン

PC 画面は Fig. 2 のように 12 分割され、各分割領域には ALS 患者の意思表示項目が提示されている。この画面を以下コミュニケーションスクリーンと呼ぶ。患者は意図する項目を目で注視し選択することになる。2 秒以上の注視が行われた時点で注視であると認識しその項目を選択し表示する。



Fig. 2 Communication screen.

#### 2.3 視線方向検出法

本システムでは、コミュニケーションスクリーンの意思表示項目を注視している患者の視線方向を検出することにより所望の意思表示項目が選択される。このための視線方向検出としてテンプレートマッチングを用いた方向別画像相関法 (Method I)、黒画素領域検出法 (Method II) および虹彩領域のエッジに着目したエッジ特徴点検出法 (Method III) の 3 つの方法を提案する。これらの手法を単独で用いた場合、明るさの変化に弱い、検出精度の個人差が大きいなどの問題点がある。このため視線方向判定のロバスト性を向上するため、これらの 3 手法より得られる個々の視線方向検出結果に対して多数決を行い最終的な視線方向を決定する多数決判定法 (Method IV)、および 3 手法により得られる眼球の移動距離を用いて視線方向を決定する加算距離判定法 (Method V) の 2 手法を提案する。

##### 2.3.1 方向別画像相関法 (Method I)

キャリブレーション時に、目周辺画像 (160×80pixels) を方向別にテンプレートとして登録しておく (Fig. 3)。目の位置は、ピラミッド構造を用いた高速テンプレートマッチングによって検出される。検出された目の位置に、登録しておいた方向別テンプレートを用いてマッチングを行

い、最も高い相関を与える方向画像より視線方向を決定する。またこの時、方向別テンプレート画像と入力画像の濃度値の誤差  $D_c^{(n)}$  ( $0 < n \leq N$ :  $N$  は分割数) を記録する、 $D_c^{(n)}$  は次式を用いて求められる。

$$D_c^{(n)} = \frac{\sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^l \sqrt{(f_i^{(n)} - g_i)^2}}{m \times l} \quad (1)$$

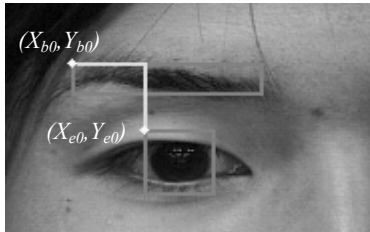
ただし、 $f_i^{(n)}$  はテンプレート画像、 $g_i$  は入力画像、 $m$ ,  $l$  は画像の水平方向の大きさ、垂直方向の大きさである。



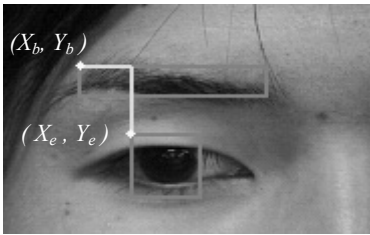
Fig. 3 Template image of 12 directions.

### 2.3.2 黒画素領域検出法 (Method II)

瞳孔を含む虹彩領域 (以下、虹彩領域) をテンプレート画像として登録し (60×60pixels), 目の位置を拡大した画像 (入力画像) に対してテンプレートマッチングを行い、虹彩領域の位置を決定する (Fig. 4)。この時、頭部のわずかな動きによって虹彩領域の位置が変化し、視線方向検出に誤差が生じてくるため、眼球運動に対して変化の少ない眉左上に基準点をとった。原点 (基準点) と虹彩の相対距離の変化により視線方向を検出する。



(a) Template image



(b) Input image

Fig. 4 Iris-of-eye fluttery by high-speed template matching.

Fig. 4(b)より黒目を含んだテンプレートの左上端座標を  $(X_e, Y_e)$  とする。眉毛付近に取ったテンプレートの左上端座標を  $(X_b, Y_b)$  とする。この2点間の距離を  $L_x, L_y$  とすると、以下のようになる。

$$\left. \begin{aligned} L_x &= |X_b - X_e| \\ L_y &= |Y_b - Y_e| \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

方向別視線画像の登録時に登録しておいた方向別の  $L_x^{(n)}$ ,

$L_y^{(n)}$  ( $0 < n \leq N$ :  $N$  は分割数) と比較し、最小の重みつきシティブロック距離を与える  $n$  番目の項目を視線方向として採用する。本システムでは重度の ALS 患者を対象としており、CCD カメラの入力画像内から目や眉がはみ出してしまふような頭部の大きな動きは考慮しないが、頭部の微妙な動きによって視線方向の検出に誤差が生じることは十分に考えられる。そこで  $L_x, L_y$  以下の補正項を加えることにより頭部の移動量を補正している。補正項は以下のようにして求まる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta L_x &= (X_{b0} - X_b) / X_c \\ \Delta L_y &= (Y_{b0} - Y_b) / Y_c \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで  $X_c, Y_c$  は定数であり実験的に求めるものとする。視線方向を求めると共にテンプレート画像と入力画像の眉と黒目間の重み付きシティブロック距離の誤差  $D_k^{(n)}$  ( $0 < n \leq N$ :  $N$  は分割数) を記録する。 $D_k^{(n)}$  は次式を用いて求められる。

$$D_k^{(n)} = 2^{-1} \times |L_x^{(n)} - L_x + \Delta L_x| + |L_y^{(n)} - L_y + \Delta L_y| \quad (4)$$

ただし  $L_x^{(n)}, L_y^{(n)}$  は方向別に登録した眉毛と黒目間の相対距離である。

### 2.3.3 エッジ特徴点検出法 (Method III)

目と眉を含んだ入力画像 (320×240pixels) より目周辺領域の画像をテンプレートマッチングにより抜き出す。この時の画像サイズは 120×80pixels である (Fig. 5)。まずエッジ検出を容易にするために前処理として画像を強調し、その後 3×3 pixels のメディアン・フィルタを用いてエッジ情報を保存した平滑化を行い虹彩領域と白目領域及び瞼との輝度の差を明確にした (Fig. 6)。この段階でエッジ検出を行うと黒目と瞼下部の間に光の反射によって白い境界が作られてしまい検出が困難となる。そこで各画素の全てを3倍とするコントラストの変換によって肌色や白目領域はすべて白く変換する (Fig. 7)。肌色領域も白く変換することで虹彩と瞼との境界がより強調されエッジ検出が容易となる。次にソーベル・フィルタを水平方向、垂直方向の各々分けて用い虹彩の左右両端および虹彩と瞼の接辺を検出する。つづいて Fig. 8 に示されるように斜め方向に近傍する 9pixels 程度の輝度の合計が最大になる座標を虹彩の左右両端  $X_r, X_l$  とする。つぎに既に得られた  $X_r, X_l$  の中点に着目しこの中点の垂直方向上に水平方向に近傍する 9pixels 程度の画素の合計が最大値を与える点を瞼との接点  $Y_v, Y_b$  とする (Fig. 9)。これら4点の中心座標を黒目中心座標として採用する。

ここで、Method II の黒画素領域検出法と同様に眉毛付近に取ったテンプレートの左上端座標と得られた黒目中心座標とのシティブロック距離  $LE_x, LE_y$  を求め視線方向を検出する。視線方向を求めると共にテンプレート画像と入力画像の眉と黒目中心間の重み付きシティブロック距離の誤差  $D_e^{(n)}$  ( $0 < n \leq N$ :  $N$  は分割数) を記録する。 $D_e^{(n)}$  は次式で求められる。

$$D_e^{(n)} = 2^{-1} \times |LE_x^{(n)} - LE_x + \Delta L_x| + |LE_y^{(n)} - LE_y + \Delta L_y| \quad (5)$$

上式において  $LE_x^{(n)}, LE_y^{(n)}$  はテンプレート画像における眉と黒目中心間の相対距離  $LE_x, LE_y$  は入力画像における眉と黒目中心間の相対距離である。

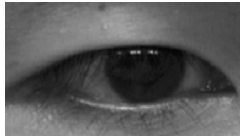


Fig. 5 Input image.

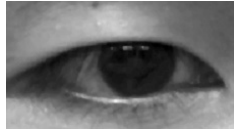


Fig. 6 Median processing image.



Fig. 7 Translated image.



Fig. 8 Vertical edge detection with sobel filter.

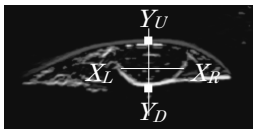


Fig. 9 Horizontal edge detection with sobel filter.

### 2.3.4 多数決判定法 (Method IV)

この手法では Method I ~ III のそれぞれで得られる視線方向を多数決で判定する。まず Method I ~ III で得られる視線方向を  $Ed_c, Ed_k, Ed_e$  とすると、この 3 つの結果で多数決を行い視線方向を決定している。例外として 3 つとも違う視線方向を示した場合、Method I ~ III の中で最も精度の良い Method I の結果を視線方向として採用する。

### 2.3.5 加算距離判定法 (Method V)

この手法は Method I ~ III それぞれで得られる誤差  $D_c^{(n)}, D_k^{(n)}, D_e^{(n)}$  に着目し、視線方向検出を行う方法である。まず  $D_c^{(n)}, D_k^{(n)}, D_e^{(n)}$  に重みを付けて足し合わせる。ここで  $D_c^{(n)}$  は濃度値の誤差、 $D_k^{(n)}$  は眉左上座標と黒目領域の左上座標とのシティブロック距離の誤差、 $D_e^{(n)}$  は黒目中心座標と眉左上座標のシティブロック距離の誤差である。これらの値に重みをつけて視線方向別に合計して得られる  $L^{(n)}$  ( $0 < n \leq N$ :  $N$  は分割数) が最小となる方向を視線方向とする。 $L^{(n)}$  は次式で求められる。

$$L^{(n)} = k_2 \{ (1 - k_1) D_k^{(n)} + k_1 D_e^{(n)} \} + (1 - k_2) D_c^{(n)} \quad (6)$$

ここで  $k_1, k_2$  は定数でその値は実験的に求める。

## 3. 実験

7 人の被験者に対して視線方向検出実験を行った。被験者は椅子に座り頭部の大きな動きを防ぐために簡易固定して実験を行った。被験者の目と PC 画面の距離は 80cm、

CCD カメラとの距離は 90cm とした。室内の照明条件は通常の天井に備え付けられた蛍光灯の明るさのみである。PC 画面を 12 分割し、各分割領域を見つめた時の眼球の動きを各提案手法によって、正しく視線方向が検出可能であるか確認を行った。まず、視線方向検出の指標となる方向別視線画像の登録を行うために、PC 画面の各区画を順次点滅させ、それを目で追ってもらい、視線方向判定用に基準となる画像の記録を行った。その後、提案手法の評価をするために 210 回ランダムに区画を点滅させ、点滅する区画を目で追う作業を繰り返してもらいその時の点滅位置と視線方向を測定した。実験結果を Fig. 10 に示す。図において横軸は各視線方向判定手法 I から V をとり、縦軸は各判定手法の 7 人の正答率の平均値を示している。ここで述べる正答率とは、点滅位置と視線方向が一致した確率である。この図より単独の視線方向判定手法の平均正答率は Method I で 90[%]、Method II で 88[%]と比較的高く、Method III では 63[%]とかなり低くなっている。これに対してこれらの手法を組み合わせた Method IV の平均正答率は 92[%]、Method V の平均正答率は 95[%]となっており組み合わせ手法ではロバスト性が向上していることが解る。

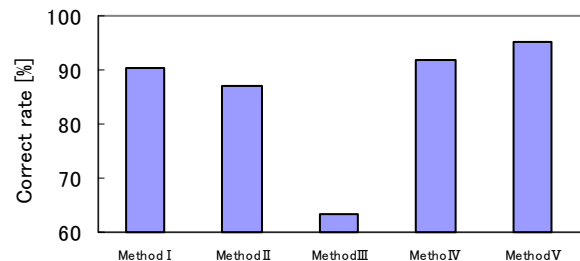


Fig. 10 Results of experiment.

## 4. あとがき

本稿では、ALS 患者用のコミュニケーションシステムを提案した。本システムでは意思伝達項目を患者が注視することにより意思表示ができるため、QOL の向上に寄与できると考えられる。また、システムのハードは市販の CCD カメラと PC のみで構成できるため安価で提供できる点も特徴である。今後の課題として ALS 患者が PC の汎用ソフトを使用できる手法の開発を考えている。

### 参考文献

- 1) K. Takeshita, A. Uchibori, T. Satoh, K. Tanaka and S. Uchikado, "A communication system for ALS patients using eye blink," International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 18, pp. 3-10, 2003.
- 2) 西内信之, 柴田碧, 高田一, "画像処理による非接触視線検出法の研究," 日本機械学会論文集(C編)64巻 620号, pp. 121-127, 1998.
- 3) 竹上健, 後藤敏行, "角膜反射像と虹彩輪郭情報を併用した視線検出法," 電子情報通信学会論文誌, D-I Vol. J82, pp. 1295-1303, 1999.