

コミュニケーションエイドのための「まばたき」の検出

加納尚之 井上倫夫* 小林康浩* 井上晋* 井上公明**
米子工業高等専門学校 *鳥取大学工学部 **鳥取赤十字病院

意志伝達能力を損なった筋萎縮性側索硬化症 (ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis) 患者のための意志伝達補助装置 (CA: Communication Aids) の入力装置 (センサ) として, 時間遅れニューラルネットワーク (TDNN) を応用した意識的な「まばたき」を検出する画像入力システムを開発した. 本システムの特徴を次に示す.

- (1) 非接触型なので患者には装着の煩わしさはなく, また看護人にとっても扱いやすい.
- (2) 患者の目を開いた画像と閉じた画像の差を, 中間層の重みとして設定することにより, 学習パターン以外の類似のものも判定することができる.
- (3) 出力層は中間層とは独立に学習させることができる.

Detection of Winking for Communication Aids

Naoyuki Kanou Michio Inoue* Yasuhiro Kobayashi*
Susumu Inoue* Kimiaki Inoue**

Electronic Control Engineering, Yonago National College of Technology

*Department of Information and Knowledge Engineering, Faculty of Engineering, Tottori University

**Department of Anesthesiology, Tottori Red Cross Hospital

This paper describes an image processing system (input sensor) of CA(Communication Aids) for ALS(Amyotrophic Lateral Sclerosis) patients who lose the ability of communication. The time delay neural network (TDNN) is used to this system. The input and hidden layers of TDNN consist of 384 neurons corresponding to 24×16 dot pixels per one frame. Presence of the intentional winking is discriminated by referring to the 16 frames.

This system has three features.

- (1) Needless for careful settlement of sensors.

This system uses TV camera.

- (2) Advanced discrimination of winking.

The weight for the inputs of the hidden layer neurons are given corresponding the difference between open-eye image and close-eye image.

- (3) Independent training of the output layer neurons from the hidden layer neurons.

1.はじめに

筋萎縮性側索硬化症 (ALS : Amyotrophic Lateral Sclerosis) は、健常者と全く同じ感覚神経を持っているものの、運動神経が麻痺していくことから、末期には手・足の自由が利かないだけでなく、言葉すら発することができなくなる。そこで、このようにコミュニケーションの手段を損なった重度の身体障害者のために、意思伝達補助装置 (CA : Communication Aids)を開発している^{[9]~[14]}。これは、患者に残存している一部の機能を利用して、患者の意志を言語情報に変換し、周囲の人 (医師・看護人等)に伝えるための装置である^{[1]~[6]}。ここで、最も重要な部分は患者との接点となる入力装置 (センサ)である。これによって、CAの操作性が大きく左右される。現在使用しているセンサは、接触型センサを使用し、良好に動作している。しかし、患者の体位の交換・入浴などのとき、センサの着脱が行われ、その度に再び装着・調整の作業を行わなければならない。この作業をすべて看護人が行うことは、非常に困難である。また、接触型であるために、患者に不快感を与える。このことから、操作が簡単で、しかも、調整を自動化できる非接触型の入力装置 (センサ)の開発が望まれる。

そこで、画像処理技術と時間遅れニューラルネットワーク (TDNN)によって、患者の意識的な「まばたき」を検出することに成功し、CAを操作するための合図とする方法を開発した^{[7] [8] [12]~[14]}。これは、非接触型なので、TVカメラを患者から離れて設置し、自動制御で患者の顔を捉えることができる。また、TDNNによって、「まばたき」という一連の動作を判定することができる。しかし、この手法は患者がCAの使用を再開する都度、「まばたき」を学習することが必要であった。本報告では、3層型TDNNの出力層の重みを予め学習させ、中間層の重みは患者から目を開いた状態と閉じた状態の2枚の画像をサンプルし、エッジを抽出したものの差を重みとして設定することによって、即座に「まばたき」の判定ができる方法を開発したので報告する。

2.コミュニケーションエイド(CA)による文章作成

末期のALS患者は、自分の意志で動かすことのできる筋肉が非常に少なく、また、それを連続して動かすことにより体力を消耗してしまう。本CAは末期の重症患者の使用に供するため、入力センサ (スイッチ)はただ1個とした。図1にCAのシステム構成を示す。基本機能は大きく3つに分けられる。制御機能では、ナースコール (インターホン) やカーソルの操作速度の制御、TVのリモートコントロール (赤外LED) などを選択できる。音声出力機能では、あらかじめ登録されている文などを発声できる。文章作成機能では、日記、手紙の作成、保存、印刷、編集が可能である。これらは全てメニュー方式により選択することができる。具体的には、患者はCAの表示盤を見ながら、順次走査していくマーク (カーソル) が所望の機能のところをブリンクしたとき、わずかに動く筋肉によってセンサ (1個のスイッチ) をONする。これによって、その機能を選択することができる。

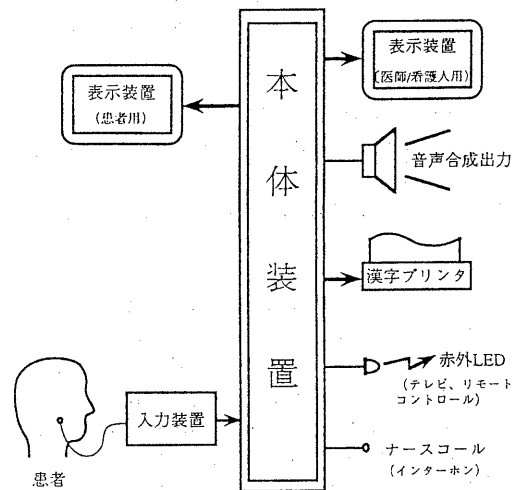


図1 CAのシステム構成

2.1.文章作成方法

文章作成は、文字盤より1文字ずつ選択することにより行う。これは文章作成に必要な文字すべてを正方形あるいは長方形の文字盤に配置し、その中で選択可能な文字の位置を示すマーク（カーソル）を縦および横に移動（走査）させて、目的の文字を選択する方法である。例えば「て」を選択したいとき、はじめに長方形のカーソルが順次左から右へシフトしていくので、「た」行のところでスイッチを押す（図2-(a)）。「た」行が確認されると、今度はカーソルが1文字ずつ上から下へシフトしていくので「て」のところでスイッチを押す（図2-(b)）。このように、1個のスイッチを2回操作するだけで、1文字を選択することができる。文章はこの操作を繰り返すことによって作成できる。

2.2.辞書検索方法

スイッチ操作回数を減らすことによって、文章作成に要する労力を少しでも軽減させることが望ましい。ここでは、入力された2文字の「ひらがな」を先頭の2音節とする文節（単語）の一覧表を候補として提示し、その中から所望の文節（単語）をカーソル移動時に選択する方法を開発した。このとき、候補文節（単語）を漢字かな混じりで登録しておけば、結果的にかな漢字変換ができたことになる。具体的には図3に示すように、最後に入力された連続する2文字（文章作成時のカーソル直前の2文字）がひらがなであるとき、この2文字を先頭の2音節とする文節（単語）を内蔵辞書より検索する。該当する文節（単語）が存在するときには、画面右側に9つまでの候補を提示する。そして、所望の候補があれば、縦横走査法によって選択することができる。これにより、1つの文字を選択する手順で複数文字からなる文節を一気に取り出せる。本法によれば、全文をひらがなで入力する必要はなく、それぞれの文節はひらがな3文字を選択する手続きで取り出すことができ、少ないスイッチ操作回数で、同じ文章を作ることができる。

あかさたなはまやら
いきしちにひみり
うくすつぬふむゆる
えけせてねへめれ
おこそとのほもよろ

(a) 横走査による「た」行の選択

あかさたなはまやら
いきしちにひみり
うくすつぬふむゆる
えけせてねへめれ
おこそとのほもよろ

(b) 縦走査による「て」の選択

図2 縦横走査法

制御	音声出力	ナースコール	2月23日 14:00
取消	あかさたなはまやら	0	*みま
改行	いきしちにひみり	1	a 見回して
編集	うくすつぬふむゆる	2	b 見直す
削除	えけせてねへめれ	3	c 見舞いに
カナ	おこそとのほもよろ	4	d 見舞いが
英字	んがざだばばわ	5	e 見舞い
記号	、ぎじちびび	6	f
機能	。くずつぶぶをゆ	7	g
日付	?げぜでべべ	8	h
終了	ーこそとほほ	9	i

友達がみま□

図3 ひらがな2文字による文章作成

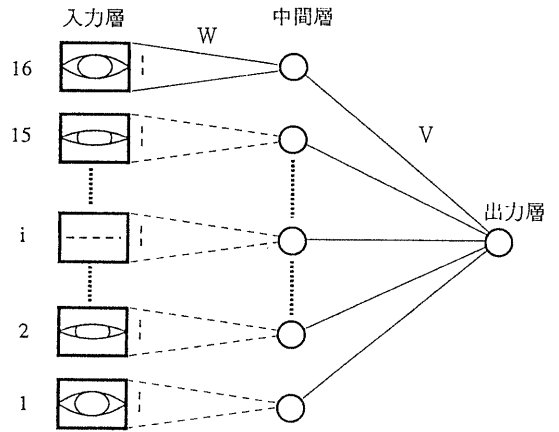
3. 「まばたき」の検出

CAは1個のセンサ(スイッチ)で、機能や文字を選択する方式であることから、「まばたき」をしたときにスイッチONと対応させることによって「まばたき」を利用して、機能や文字の選択ができ、文章作成が可能となる。

「まばたき」は一連の動作であり、しかも不規則な動きをするので、時間遅れニューラルネットワーク(TDNN)を用いた。また、無意識に「まばたき」をすることがあり、これはまぶたを閉じている時間が約0.2秒であることから、その時間がだいたい1秒以上の「まばたき」を意識的であると判定し、短いものについては何もしないように、TDNNに学習させる。

TDNNの構造を図4に示す。これは入力層、中間層、出力層の3層構造をしている。入力層は16グループに分かれ、それぞれのグループは、逐次入力される 24×16 ドットの画像のビットイメージがそのまま対応しており、384ノードからなっている。中間層は、入力層の1グループにつき1ノードとし、合計16ノードとしている。このとき他のグループとの接続は行わない。出力層は1ノードとしている。

患者はCAを使用する度に、TVカメラに向かって意識的な「まばたき」を行う。学習パターンとしては、そのときの映像からサンプルした連続する数枚の画像のエッジを抽出したものをを用いる。これをセンサ(スイッチ)ONとする基本学習パターンとして、他の学習パターンはこれより作り出す。この様子を写真1に示す。同写真(a)は、患者が適切に文字や機能を選択できるように、カーソルの動きと患者がセンサに入力するタイミングを考慮して、まぶたを閉じて約0.7秒間(10フレーム)続いているパターンであり、ONとするパターンである。同写真(e)は、判定の幅を広げるために1画面シフトしたものであり、ONとするパターンである。その他は全てOFFとするパターンであり、フレームの逆順送りなどで作り出す。



W : 中間層の重み V : 出力層の重み

図4 時間遅れニューラルネットワーク (TDNN)

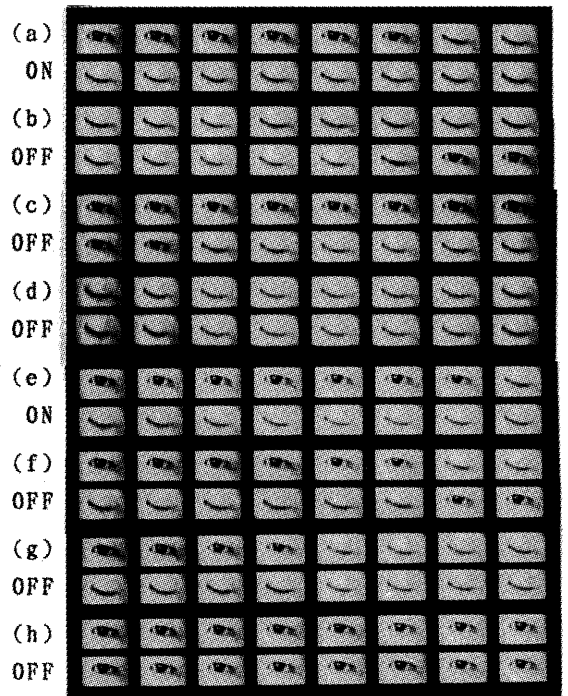


写真1 目の開閉のパターン

4. 重みの設定

中間層の重みは、患者からサンプルした画像データを基に、まぶたを開いた状態と閉じた状態のエッジ画像の差を用いて設定し、出力層の重みは乱数により初期値を設定し、一連の「まばたき」のパターンを用いて学習により求めていた。

写真1に示すように、患者からサンプルした画像の目を開いた状態と閉じた状態は、それぞれほとんど同じで、変化していない。そこで患者からは、開いた状態と閉じた状態の2枚だけをサンプルし、中間層の重みとして利用する。ここで、目を開けている画像と閉じている画像の*i*番目の画素をそれぞれ O_i 、 C_i とする。中間層の重みとして、その差 $(O_i - C_i)$ を設定する。また、各ノードの応答関数（シグモイド関数）を S とすると、中間層の*j*番目のノードの出力は $H(j) = S\{\sum O_i(O_i - C_i)\}$ 又は $S\{\sum C_i(O_i - C_i)\}$ となる。 $\sum O_i(O_i - C_i)$ 、 $\sum C_i(O_i - C_i)$ は、いわゆるパターンマッチングとみなすことができるので、前者は正の値であり、 $H(j, O_i) \approx 1$ となる。後者は負であり、 $H(j, C_i) \approx 0$ となる。すなわち、中間層で「まばたき」のパターンを判別させ、出力層で、中間層の出力結果の並び（その時間的変化）を判定させている。

中間層の出力は1又は0であり、出力層の重みは、図5に示す1、0のパターン列を使って、事前に計算しておくことができる。学習パターンとそのときの出力層の重みを図5に示す。このことにより、患者はCAを使用する度に意識的な「まばたき」をCAに学習させる必要はなく、単に目を開いた画像と閉じた画像を提示するだけで、すぐに使用できることになる。これにより、CAはより使い易いものとなる。

5. 検討

実際に被験者5人に対し、本システムを使用して文章を作成した。まず、被験者の顔面とカメラとの距離を一定(15cm)にし、文章作成をした(表1)。その結果、意識的な「まばたき」の9割以上を正しく判定することができた。誤判定は、

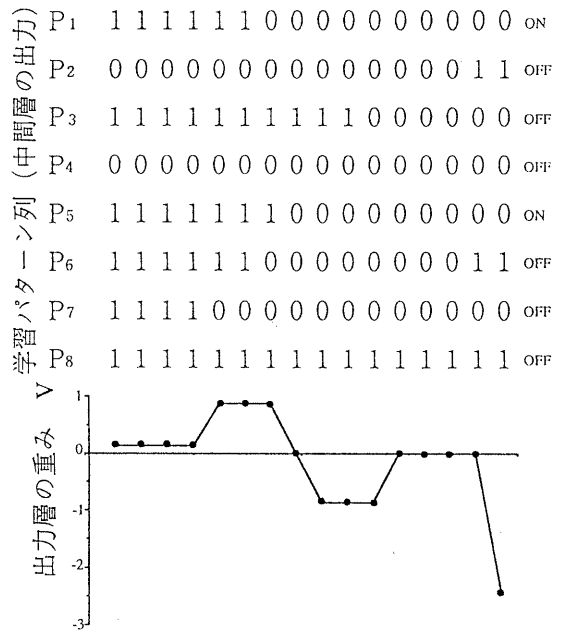


図5 中間層の出力と出力層の重み

表1 文章作成結果 (人)

被験者		距離 15 cm				
		A	B	C	D	E
意志有り	正しく判定	203	206	202	212	204
	判定されない	4	6	8	1	4
無	誤って判定	1	9	3	17	2
誤った入力数 / 正しい入力数 ×100 (%)		2.46	7.28	5.44	8.49	2.94

表2 文章作成結果 (距離)

被験者		G		
		15	25	35
意志有り	正しく判定	206	204	204
	判定されない	6	6	6
無	誤って判定	9	6	3
誤った入力数 / 正しい入力数 ×100 (%)		7.28	5.88	4.41

意識的な「まばたき」をしているのに判定しなかった場合と、何もしていないのに判定してしまった場合の2種類ある。患者から意識的な「まばたき」の動作を16フレーム以上サンプルし、学習によって重みを設定する方法に比べて良い結果を得た。これは、本方法によって、TDNNの学習パターン以外の類似のものをより正確に判定できるようになったと考えられる。ただし、被験者Dは視点の上下運動が他の人より大きく多かったので、この視点の動きをまぶたの開閉と判定している。

次に、1人の被験者に対し、カメラとの距離を変えて実験を行い、ほぼ同様の結果が得られた(表2)。そこで、距離にはあまり依存しないことがわかったので、カメラの位置制御は比較的容易であることがわかった。

6. おわりに

画像処理技術とTDNNを用いてALS患者の意識的な「まばたき」を検出し、CAを制御するための合図とする方法について述べた。具体的には、患者はCAを使用するとき、目を開けている状態と閉じている状態をTVカメラに提示するだけでよい。これによって、「まばたき」をしたときの画面の変化点(まぶたを閉じた時点)を検出する必要がなく、その場の学習も必要なくなった。

本システムのTDNNは中間層ではまぶたの開閉のパターンを、出力層では時間的変化をそれぞれ判定するように機能を分けた。さらに、中間層の重みは、患者からサンプルしたまぶたを開いた状態と閉じた状態の2枚のエッジ画像の差を設定し、これによって中間層の重みを患者個人にフィットさせることができる。また出力層の重みは事前に計算で求めておき、同じ重みを何人にも共通に使用することができる。これによって、意識的な「まばたき」を能率良く判定できる。

現在、患者が実際に本システムを使用できるように、鋭意作業を進めている。

謝辞

本報告をまとめるにあたり、鳥取大学医学部脳神経内科中島健二助教授より有益な助言を頂いた。また、(財)大川情報通信基金より研究助成金を頂いた。ここに、厚く謝意を表します。

参考文献

- [1] Perry A. R., Gawel M. and Rose F. C.: "Communication aids in patients with motor neurone disease" *British Medical Journal*, vol. 282, pp. 1690-1692, (1981)
- [2] Heckathorne C. W. and Childress D. S.: "Applying Anticipatory Text Selection in a Writing Aid for People With Severe Motor Impairment" *IEEE MICRO*, vol. 3, No. 3, pp. 17-23, June (1983)
- [3] 西川・原田他: "ALS患者との対話-筋電波形成入力による文章作成システム-" *臨床神経学*, vol. 24, No. 10, pp. 963-967, (1984)
- [4] 山田・福田: "ALS(筋萎縮性側索硬化症)患者用に試作した眼球運動による文章作成・ナースコール装置" *人間工学*, vol. 21 (特別号), pp. 98-99, (1985)
- [5] 山田・福田: "眼球運動による文章作成・周辺機器制御装置" *電子情報通信学会論文誌(D)*, vol. J69-d, No. 7, pp. 1103-1107, (1986)
- [6] 佐藤: *マンマシン・インターフェース*, 朝倉書店, pp. 135-155, (1987)
- [7] 甘利: *神経回路網の数理*, 産業図書, (1988)
- [8] 宮田: "ニューラルネットと時系列処理" *電気学会論文誌(C)*, vol. 113, No. 6, pp. 372-377, (1993)
- [9] 徳永・井上他: "筋萎縮性側索硬化症患者のための意志伝達補助装置の一構成法" *電子情報通信学会技術報告*, CAS87-26, pp. 1-8, (1987)
- [10] 井上・小林他: "コミュニケーション・エイドのためのかな-漢字変換法について" *情報処理学会研究報告*, ヒューマンインタフェイス 26-1, vol. 89, No. 72, pp. 1-8, (1989)
- [11] 井上・小林他: "ALS患者のためのコミュニケーションエイドの文章作成方法について" *情報処理論文誌*, vol. 33, No. 5, pp. 645-651, (1992)
- [12] 加納・井上他: "ALS患者のためのCAの入力方法" *情報処理学会研究報告*, ヒューマンインタフェイス 50-8, vol. 93, No. 80, pp. 57-64, (1993)
- [13] 江口・小林他: "ALS患者の瞬きの検出" *情報処理学会第47回全国大会講演論文集* 1-381, (1993)
- [14] 加納・井上他: "ニューラルネットワークによるALS患者の瞬きの検出" *情報処理第48回全国大会講演論文集* 1-405, (1994)