

修士論文要旨
脳波測定装置を用いた電動車椅子の走行制御

(知能情報システム学) 谷口真哉

1. 緒言

人間が機械を制御する手法として、手や足を使わずに生体情報を直接利用したシステムの研究が近年広く行われており、障害者や高齢者のためのシステム構築への応用が期待されている。その中でも特に注目を浴びているのが脳波 (EEG) の利用であり、一般的には、頭部に装着した複数の電極から脳波を測定し、特徴を解析して、被験者が意図した制御を実現する。例として、左右に移動することをイメージすることで電動車椅子を移動させる研究[1]などが発表されている。しかし脳波を利用したシステムは、対象となる脳波を測定する装置が高価であることや、電極の装着・脱着に手間取るものが多く、実用化に向けてまだまだ多くの問題が残っている。

そこで本研究では、安価で、装着・脱着が容易な簡易型脳波測定装置を用いた電動車椅子の走行制御を試みる。走行制御で利用する波形は額より検出される EEG に現れる瞬目 (まばたき) の波形である。瞬目波形は本来はノイズとして除去されるが、その波形が特徴的であることや、被験者が意識して発生させることができる点を利用して、瞬目を発進・停止等の制御スイッチとして使用し、電動車椅子の前後左右への自由自在な制御の実現を目的とする。

2. 脳波測定について

本研究で用いる脳波測定装置である”Brain Builder Unit”を図 1 に示す。額に装着されるセンサーバンドには電極が固定されており、図 2 に示すように国際 10-20 電極法の Fp1、Fp2 より 1 チャンネルの信号として脳波信号を検出する。

装置は、受け取った信号を増幅し、バンドパスフィルタ (0~23 Hz) にかかけ、サンプリング周波数 128 Hz、量子化ビット数 16 bit でデジタル信号に変換した後、内蔵のマイクロプロセッサにおいて、EEG、EMG (筋電位) を求め、RS-232C ポートを通じて PC に転送する。例として、図 3 に本研究で用いた脳波測定装置で検出した EEG 波形例を示す。



図 1 脳波測定装置外観

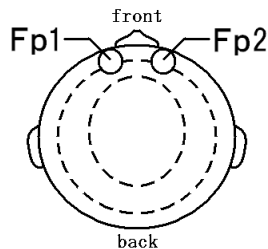


図 2 電極接触位置

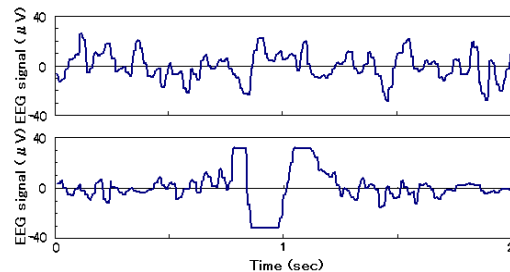


図 3 通常時 (上) と瞬目時 (下) の EEG

図 3 で示した波形は、被験者が着席し、リラックスした状態で測定を行った場合の EEG 信号であるが、下の図では測定時間 1 秒付近で低周波数帯の大きな波が正→負→正の方向に連続して現れている。この特徴的な波形は被験者が瞬目を行ったときに検出される波形であり、開眼状態における測定では、瞬目や視線移動などの眼球の動きが EEG に影響を及ぼすことを示している。図 3 において、瞬目波形はサイン波の上部および下部が切り取られたような波形をしているが、それは出力電圧値の範囲が $-31.5 \sim 31.2 \mu V$ という装置の仕様によるものであり、電圧がその幅を超える波の部分は正しく表示されず、限界値が連続したフラットな波形として出力されるためである。

人間は生理的行動として瞬目を行うが、瞬目は意識的なものと無意識的なものに分けられる。そのどちらも EEG 中では大きな波として現れるが、意識的な瞬目は無意識的な瞬目に比べて低周波、つまり時間幅の大きな波として現れることが多い、そこで本研究では、EEG に顕著に表れやすい瞬目波形のうち、意識的な瞬目の波形に着目し、電動車椅子の制御スイッチとして利用することとした。

3. ニューラルネットワークによる瞬目認識

本研究では、瞬目波形を認識するための手法として、中間層が1層の階層型ニューラルネットワーク (NN、図4) を用いた。各層のユニット数は、入力層が EEG データ 0.5 秒分の 64 個、出力層が学習用データに合わせて5個、中間層は32個とした。中間層、出力層で用いるユニットの活性化関数はシグモイド関数を用い、5種類の学習用データそれぞれに対応して0~1の値を出力する。

学習用データには、瞬目時に現れる特徴的な波形のうち、電圧出力値の正方向の限界の $31.2 \mu\text{V}$ が連続した状態から、負方向の限界である $-31.5 \mu\text{V}$ へ急激に変化するポイント、つまりフラットな波形が急落しだす時点からのデータ 64 個分を用いた。測定 EEG の波形データ中、その条件を満たす波形が現れたときに、図5に示すようにその時点からの64個分のデータをターゲットとして NN を適用する。そして最も大きな値を出力するユニットに対応した学習データの波形に、ターゲットとする EEG の波形が似ているとし、瞬目が発生したと推定する。ここで、いずれの出力値も閾値以下の場合には瞬目ではないとする。閾値は予備実験より 0.8 とした。なお、結合荷重の学習には、バックプロパゲーション法 (BP 法) を用いた。

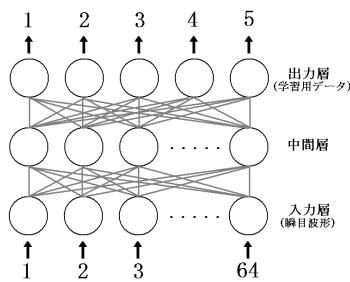


図4 NNの仕組み

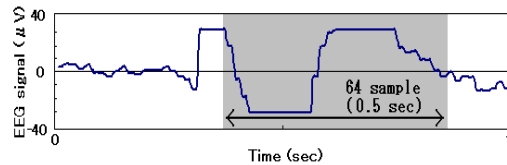


図5 EEG中のターゲット領域

4. 電動車椅子について

本研究で使用する電動車椅子の外観を図6に示す。通常、電動車椅子の制御はジョイスティックコントローラが出力する電圧によってなされるが、本研究では PC から同様の電圧を出力することにより電動車椅子の制御を行う。出力信号は前後方向操作と左右方向操作の2つの電圧出力値からなり、それぞれ $0\text{V} \sim 3.71\text{V}$ の範囲で D/A 変換カードを介して電動車椅子の制御部に電圧を出力することで PC からの制御が可能となる。

本研究では NN により認識した瞬目を、電動車椅子の制御スイッチとして用いる。処理の流れを図7に示す。電動車椅子は図8に示す制御方法により、前進、停止、右回転、左回転の制御が行われる。例えば、瞬目を1回認識したとき電動車椅子が前進中であれば停止させる。なお、図における2回連続とは、2回の瞬目の時間間隔が1.0秒以内のことを指す。



図6 電動車椅子外観

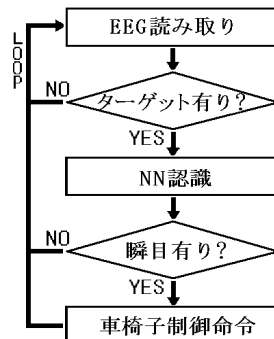


図7 処理の流れ

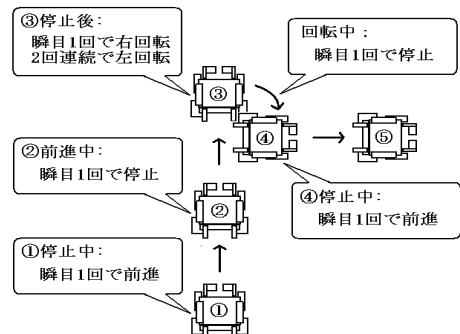


図8 瞬目による電動車椅子の制御方法

5. 実験

実験環境として、ノート PC は Compaq nx6120 (CPU:Pentium M 2 GHz,メモリ:1 GB,日本 HP 製)、OS に WindowsXP、脳波測定装置は Brain Builder Unit (脳力開発研究所製)、電動車椅子は MC2000 (SUZUKI 製)、D/A 変換カードは AD12-8 (CONTEC 製)、プログラム言語として Visual C++ 6.0 を使用し、京都府立大学第一体育館にて実験を行った。

①瞬目認識実験

瞬目波形は振幅、時間幅がともに大きく、特徴的ではあるが、EEG は生体情報のため、個人差が現れる可能性がある。そこで、被験者共通の NN 学習用データを用いた場合と被験者別に学習用データを作成した場合のそれぞれについて評価実験を行った。

まず、5 人の被験者が共通の学習用データを用いた場合の瞬目認識実験を行った。準備として被験者は脳波測定装置のセンサーバンドを額に装着し、耳たぶにアース線をクリップで留めておく。この実験での学習用データは、筆者が過去の測定から得たさまざまな瞬目波形から任意に 5 種類選択したものをを用いることとした。被験者には「意識的に、強い瞬目をしてください」と指示を与えた上で自由なタイミングで瞬目をしてもらい、同時にキーボードの適当なキーを押してもらおう。システム構成上、被験者の瞬目から認識まで約 2 秒かかるが、キーが押された時間と、EEG 内での瞬目が認識された時間が同時の場合、正しく瞬目が認識できていると考えることができる。これを 1 試行として、被験者には 50 試行してもらい、意識的な瞬目の認識率を求めた。

次に、使用した共通の学習用データ 5 種類のうち、閾値を超えた回数の多い NN 出力ユニットに対応する学習用データを上位 3 種類を残し、残り 2 種類を除き、新たに実験から得た被験者の瞬目波形を加えた 5 種類で被験者用の学習用データとして、同じ実験を行った。これら 2 つの実験の結果を表 1 に示す。

表 1 瞬目認識実験結果

被験者 \ 認識率	共通学習用データ	被験者別学習用データ
A	42 % (21/50)	82 % (41/50)
B	86 % (43/50)	96 % (48/50)
C	68 % (34/50)	84 % (42/50)
D	62 % (31/50)	96 % (48/50)
E	58 % (29/50)	76 % (38/50)

いずれの被験者も、個別に作成した学習用データを用いた実験が、共通の学習用データを用いた実験よりも瞬目の認識率が高いことが確認された。これは、瞬目時の波形に NN のターゲットとなる特徴が見られることがあっても、波の振幅や時間幅の大きさの傾向が被験者ごとに異なることが大きな要因であると考えられる。この実験により、NN を用いた瞬目の認識に被験者ごとに作成した学習用データを用いることが有効であることが示された。

②車椅子制御実験 1

作成した被験者用の学習用データを用いて、実際に電動車椅子に乗った状態での電動車椅子の制御実験を行った。制御命令は停止時に瞬目を認識すれば前進し、前進中に瞬目を認識すれば停止するという、前進・停止の 2 種とした。図 9 左に示すようにスタート地点から発進し、チェックポイントで停止した後、ゴール地点で停止することを目的とし、1 人 5 回試行してもらった。この実験での誤動作の回数を表 2 に示す。なお、表において、誤認識とは被験者が命令を出していないが瞬目であると認識したことを指し、未認識とは被験者が命令を出したが瞬目が認識されなかったことを指す。スタート、ゴール、チェックポイントは 150 cm 四方とし、全長 105 cm、全幅 60 cm の電動車椅子が十分に収まる大きさとした。

③車椅子制御実験 2

次に、図 9 右に示す経路で実験を行った。ゴールへ到達することを目的とするのは先の実験と同じであるが、チェックポイントを 2 つに増やし、停止後の左右回転を制御に加えた。被験者には 5 分間練習の時間を与えた後、1 試行の制限時間を 10 分として 5 回試行してもらった。この実験での誤動作の回数を表 3 に示す。

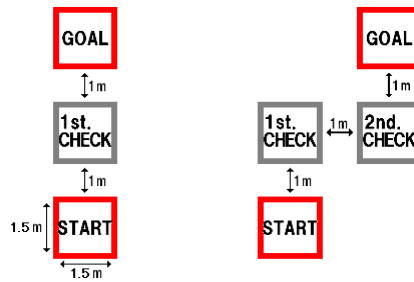


図9 各実験で用いる経路（左:実験1、右:実験2）

表2 車椅子制御実験1における誤動作

被験者	誤認識数					未認識数				
	1試行	2試行	3試行	4試行	5試行	1試行	2試行	3試行	4試行	5試行
A	2	1	0	1	0	1	2	2	1	0
B	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0
C	1	1	0	1	0	2	2	3	0	0
D	0	0	0	0	1	0	1	3	3	1
E	1	0	1	1	2	2	0	0	0	0

表3 車椅子制御実験2における誤動作

被験者	ゴール到達数	誤認識数					未認識数				
		1試行	2試行	3試行	4試行	5試行	1試行	2試行	3試行	4試行	5試行
A	5	2	0	2	1	1	4	2	2	1	1
B	5	4	2	2	0	1	2	0	1	0	0
C	3	0	2*	0*	1	1	3	14*	9*	10	8
D	5	1	0	1	0	1	6	0	6	5	0
E	5	5	3	0	1	2	1	1	5	0	5

* 制限時間内に到達できなかった試行であることを示す

実験1と2を合わせた全50試行のうち、誤認識と未認識がともに0回であるのは8試行しかなく、誤動作なしで電動車椅子を制御することが難しいことがわかった。誤認識は無意識的な瞬目や視線移動による眼球の動きにより発生し、未認識はターゲット領域内の負方向の波と正方向の波の時間幅の大きさやその比が学習データから大きく外れていることにより発生することが要因として考えられる。

しかし、試行を重ねるうちに誤動作の回数が減り、実験実施後のアンケートでは瞬目による電動車椅子操作に慣れを感じてきたと回答する被験者もあり、試行を重ねて、制御方法に慣れることによって誤動作を減らせる可能性が見出せた。

6. 結言

本研究では、脳波測定装置で測定されたEEGから瞬目を認識し、電動車椅子を制御する手法を提案した。今後は認識精度の向上と、電動車椅子の操作性の向上、意識的な瞬目と無意識的な瞬目を明確に区別する手法について検討していく。

参考文献

- [1] 田中一男,松永和之,堀滋樹,“移動ロボットの脳動制御”,電気学会論文誌,Vol.124,No.3, pp.890-896,2004