

脳波分析による意図および気分抽出に基づく制御システムの提案

日高 智貴[†] 白石 優旗^{††} 河合由起子[†] 奥田 次郎[†]

[†] 京都産業大学先端情報学研究科 〒603-8555 京都府京都市北区上賀茂本山

^{††} 筑波技術大学 〒305-0821 茨城県つくば市春日4丁目12

E-mail: [†]{i1358086,kawai,jokuda}@cc.kyoto-su.ac.jp, ^{††}yuhkis@a.tsukuba-tech.ac.jp

あらまし 本研究では、視覚情報なしで脳波によるアプリケーションやコンテンツの制御を行う。近年、携帯端末やカーナビといった情報機器が身近なものとなり、様々な場面で情報を取得することが可能となっている。しかし、様々な場面での情報取得により、情報を閲覧しながら操作することが多くなると同時に危険性も増している。例えば、歩行中または運転中の携帯電話の操作による事故が考えられる。そこで本研究では、視覚的に情報を得ることなく、脳波でアプリケーションやコンテンツを制御可能とするシステムを提案する。本論文では、音声案内によるユーザの意図からアプリケーションやコンテンツを起動する制御手法と、車運転時にユーザの気分により楽曲を選出し再生する制御手法の二つの制御手法を提案し、制御手法で使用する脳波判定手法について評価を行った。

キーワード 脳波, 簡易脳波計測器, 意図抽出

1. はじめに

近年、携帯端末やカーナビといった情報機器が身近なものとなり、様々な場面で情報を取得することが可能となっている。一方、様々な場面での情報取得により、情報を閲覧しながら操作するという場面も多くなると同時に危険性も増している。例えば、歩行中または運転中の携帯電話の操作による事故が考えられる。そこで、本研究では、端末上の情報を閲覧することと手を使用することの2つを必要としない情報制御可能なシステムを提案する。端末上の情報を閲覧することなく、情報を取得する手法として、音声による情報伝達が考えられる。テキストデータによる読み上げは有効であるが、画像や楽曲、3次元データ等に対する音声による説明には、それらのデータを一旦テキストデータに変換する必要がある。

手を使うことなく操作する研究として、音声や視覚等を使うことでデバイスやソフトウェアを操作する研究が行われている[1][2]。本研究では、脳波に着目し、手の代わりとして脳波を使用する。脳波により対象物を操作する研究として、柳澤ら[3][4]は脳波によりどの運動を行うか推定し、推定結果に基づいてリアルタイムに電動義手を制御可能としている。Farwellら[5]は脳波の事象関連電位であるP300を用いることで、注意を集中させた瞬間を判定し、文字入力を可能としている。これらの研究は、脳の表面に脳波電極を留置して計測することを必要としている。また、ヘッドギアやMRIといった高価で拘束性の高い機器を使用するため、一般ユーザにとっての実用性は低い。一方で、携帯型の脳波計測機器(B-Bridge社 B3Band)も開発されている。ユーザ側に提供される脳波情報としては8種類(delta, theta, low/high alpha, low/high beta, low/mid gamma)の周波数帯のパワー情報と限られており、従来機器より多くのノイズを含むが、ヘッドバンド型のため拘束性が低く安価である。本研究では、携帯型の脳波計測機器を使用し、脳波でアプリケーションやコンテンツを制御可能とするシステム

を提案する。図1にシステムイメージを示す。具体的な制御手法として、以下の二つを提案する。

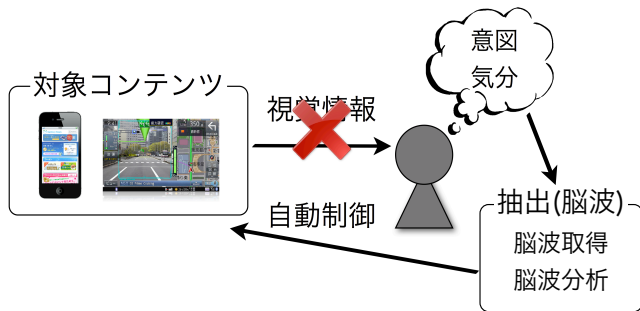
- (1) 音声案内に対するユーザ意図抽出によるコンテンツ制御
- (2) ユーザの気分抽出による楽曲選出・再生

(1)は視覚情報の代わりに音声案内を用いており、音声案内によりユーザに対してコンテンツの情報を伝える。対象は、音声で表現可能なコンテンツとしている。ユーザは、音声案内から対象コンテンツに対して思考することで、その思考(意図)を脳波から抽出し、対象コンテンツの自動制御を可能とする。(2)は音声により表現不可であるコンテンツを対象としており、(1)の音声案内といったコンテンツに関する情報はユーザに与えない。ユーザは対象でないコンテンツを閲覧しながら、対象コンテンツに対して思考することで、その思考(気分)を脳波から抽出し対象コンテンツを自動制御する。具体的には、車運転時にユーザは道路状況を見ながら楽曲について思考することで、その時の気分により楽曲を選出し再生することが可能となる。この二つの手法により、場所状況を問わず脳波からユーザの意図および気分を推定して、視覚情報なしで脳波によりコンテンツ制御を可能とすることを目指す。本論文の構築は以下の通りである。2章で関連研究を説明し、3章で提案システムについて説明し、4章で脳波計測アプリケーションについて説明する。5章で脳波データ判定手法について説明し、6章で実装について説明し、7章、8章で実験を説明し、最後に9章、10章で考察とまとめを説明する。

2. 関連研究

手の代替として脳波を使用し、デバイスやソフトウェアを操作する研究は多く行われている。

柳澤ら[3][4]は脳波によりどの運動を行うか推定し、推定結果に基づいてリアルタイムに電動義手を制御可能としている。この研究の対象は四肢麻痺患者であり、四肢麻痺患者が外部装



- (1) ユーザの意図抽出によるコンテンツ制御
- (2) ユーザの気分抽出による楽曲選出・再生

図 1 システムイメージ

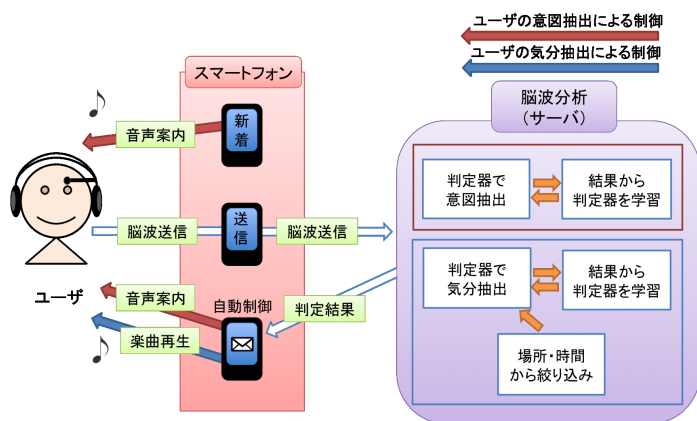


図 2 情報制御システム概要図

置やロボットハンドを脳波で操作することを目的としている。Farwell ら [5] は脳波の事象関連電位である P300 を用いることで、注意を集中させた瞬間を判定し、文字入力を可能としている。しかし、これらの対象は健常者ではない為、脳波計測や脳波分析を行う場所は病院または家といった環境が想定されている。本研究の提案システムは、対象を健常者と設定し、脳波計測器は簡易型を使用し、脳波の入出力を行うデバイスとしてスマートフォンを使用している。したがって場所を問わずシステムの利用が可能である。

脳波から意図や気分を抽出する手法として、柳澤ら [3] [4] は Support Vector Machine (SVM) を用いて、脳波から被験者の運動パターンを推定している。Chuang ら [6] は脳波同士のコサイン類似度を算出し、エラー率を用いてユーザ識別のための閾値を決定している。これらの手法を考慮することで、本研究でもユーザの意図および気分を推定できると考える。しかし、これらの研究で使用している脳波計測機器はノイズの影響が低く、細かい時間単位での計測が可能である。本研究で使用している脳波計測機器は、ノイズに大きく影響され、1 秒単位での計測が可能である。したがってこれらの研究で使用している手法を拡張し、ノイズを考慮した手法である voting 判定を提案する。

3. 提案システム

本論文では、2 つの制御手法により、脳波でアプリケーションやコンテンツを制御可能とするシステムを構築する。

図 2 にシステムの概要を示す。本システムでは簡易脳波計測機器と携帯端末を Bluetooth で接続し、携帯端末を介して脳波を計測し取得する。前提としてユーザには初期学習として、ユーザが集中する又はリラックスした時の脳波計測を行う。初期学習により構築された判定器は、サーバに格納される。

音声案内に対するユーザ意図抽出による操作は、まず携帯端末に新着メールやニュースが来たことをユーザに音声で通知する。次に、ユーザは通知された情報に対する意図(思考)を集中/リラックスの 2 値で表現し、その状態の脳波を計測する。計測した脳波は携帯端末を中継し、サーバに送信される。サーバ側は受信した脳波を判定器に入力し、出力によりユーザの状

態を判定する。判定結果に応じてアプリケーションやコンテンツを自動制御し、制御結果を音声案内によってユーザに通知する。

ユーザの気分抽出による楽曲選出・再生において、音声案内といったコンテンツに関する情報はユーザに与えない。事前にユーザの位置情報、時間を取得することでユーザの求める楽曲(コンテンツ)を絞っておく。ユーザが数秒間脳波計測を行い、ユーザの気分を反映した脳波を取得する。次に、携帯端末を中継しサーバに取得した脳波を送信し、サーバ側は受信した脳波を判定器に入力し、出力に対応した気分と事前に取得した情報によりユーザの求める楽曲を選出する。最後に、選出された楽曲を自動で再生する。

脳波の判定後に、ユーザに判定結果の定性的評価をしてもらうことで、判定器は再帰的に学習可能とする。

4. 脳波計測アプリケーション

対象コンテンツに関する情報を提示することなくユーザの意図および気分を抽出することで、手を使うことなく制御可能なシステムを構築する。本研究では、以下の 2 つを行う。

(1) 音声案内に対するユーザの意図抽出による制御

ユーザの何かを行いたいという意図は、脳波より抽出され、自動でコンテンツを制御する。ユーザの意図を抽出するために、個人に最適化した意図に関するデータパターンを取得することが必要である。

(2) ユーザの気分抽出による楽曲選出・推薦

ユーザの気分は脳波より抽出され、気分に応じた楽曲を選出・再生する。ユーザの気分を抽出するために、(1) と同様に気分に関するデータパターンを取得することが必要である。

したがって本研究では、事前に判定器を構築する。

4.1 判定器構築

判定器を構築する際に、事前にサンプルデータ取得が必要となる。サンプルデータ取得のため、脳波計測アプリケーションを開発した。(図 3)

脳波計測アプリケーションは、脳波計測機器 B3Band と Bluetooth で接続する。アプリケーションアイコンが提示される 7 秒間と休憩画像が提示される 7 秒間の脳波を計測し、アプリ



図 3 判定器構築時の脳波取得画面例

セッション終了時に計測した脳波を全てサーバへ送信する。

開発した脳波計測アプリケーションでは、説明画面を提示し (a)、アプリケーション画像が提示された場合は集中し、休憩画像が提示された場合はリラックスするように説明する。次に各選択画面を提示し (b)、B3Band と接続し、課題試行を開始する。実験開始画面 (c) では、実験中にランダムに提示される 3 つのアプリケーション画像を提示する (図 3 では Firefox、音楽プレーヤー、メール)。アプリケーションアイコンが提示されればユーザに集中させ (d)、休憩画像が提示されればユーザにリラックスさせる (e)。

4.2 簡易脳波計測機器

脳波計測機器によって頭皮上から記録される電位は、大脳皮質神経細胞の尖頂樹状突起で生じたシナプス後電位を主に反映する。シナプス後電位は数十 mV の単位であるが、頭皮上から記録される脳波の電圧は、通常数十 μV と非常に低電圧である。

脳波計測機器の電極は 10-20 法に沿った配置で装着する。10-20 法とは国際臨床神経生理学学会連合が国際標準として定めた電極配置である [7] [8]。図 4 に電極配置を示す。それぞれの部位の記号は脳部位と関連している。Fp (frontal pole: 前頭極), F (frontal: 前頭部), C (central: 中心部), P (parietal: 頭頂部), O (occipital: 後頭部), T (temporal: 側頭部), A (auricular: 耳朶) という記号と、正中線を z とし、そこから側頭部に向けて番号を付けて部位を表している。本論文では、Fp1, Fp2 および A1 を用いる。

なお脳波計測の際、瞬きをすることで脳波に影響があるということが報告されている [9] が、B3Band 本体では、瞬きによるノイを軽減する処理が施されている。

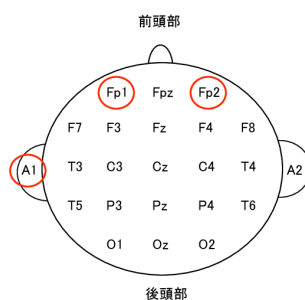


図 4 10-20 法による
脳波記録用電極の装着部位



図 5 B3Band

使用する簡易脳波計測機器は、B-Bridge 社の B3Band (図 5) である。外形は $54mm(L) \times 25mm(W) \times 17mm(H)$ 、重量は約 100g とコンパクトであり、拘束性が低い。B3Band 本体から伸びている左耳の金属部 (図 4 の A1 部分に対応) と、バンド部に電極が実装されている。このバンド部は、電極配置 Fp1 と Fp2 の箇所である (図 4 の Fp1 および Fp2)。計測手法には、左耳の金属部の端子で計測される耳朶の電位を基準とし、バンド部の端子間での電圧差を測定する双極誘導法を用いて Fp1 および Fp2 を計測する。

計測可能な脳波はリラックス度や覚醒度といった精神状態と相関があると考えられている 8 種類 (δ : 0.5 - 2.75Hz, θ : 3.5 - 6.75Hz, low- α : 7.5 - 9.25Hz, high- α : 10 - 11.75Hz, low- β : 13 - 16.75Hz, high- β : 18 - 29.75Hz, low- γ : 31 - 39.75Hz, mid- γ : 41 - 49.75Hz) の脳波指標である。

これら 8 種類の脳波指標は 0~1677215 の値をとり、毎秒 1 回取得可能である。これらの脳波指標に加えて、Attention (集中度) と Meditation (リラックス度) が算出される。これらの指標は 0~100 の値をとり、毎秒 1 回取得可能である。

5. 脳波データ判定手法

脳波データからユーザの思考や行動を抽出する手法として、一般的に 2 種類の判定手法が使用されている。1 つは、Support Vector Machine (SVM) によりユーザの思考や行動パターンを分析する。もう 1 つは、コサイン類似度により脳波同士の類似度を表し、類似度からエラー率である Half Total Error Rate (HTER) により閾値を決定する。閾値によりユーザの状態は判定される。本研究ではこれらの手法を拡張し、v-SVM (voting-SVM) と v-HTER (voting-HTER) の手法を提案する。

5.1 SVM による判定

SVM は、クラス判定において汎化能力が高いと報告されており [10]、集中とリラックスの状態の判定に SVM による判定器を用いた。構築した判定器の入力は 4.2 で述べた簡易脳波計測機器で取得可能な Attention と Meditation の指標であり、出力は集中又はリラックスの 2 出力である。取得した脳波からユーザの集中/リラックスの状態の具体的な判定方法を説明する。

判定方法は、判定器を使用し 1 秒毎に下記の式で集中又はリラックスに判定する。

$$\begin{cases} \text{集中} & \text{if } y_{1j} > y_{2j} \\ \text{リラックス} & \text{else} \end{cases}$$

集中の出力値は y_{1j} 、リラックスの出力値は y_{2j} に対応しており、どちらも 0~1 の実数値をとる。 j は脳波計測時間 n に対応する。 ($j = 1 \sim n$)

5.2 エラー率 (HTER) による閾値決定

Chuang らは、脳波に基づいた認証手法 [6] を提案しており、高い認証精度を確認している。今回提案する判定手法は、この Chuang らの手法に基づき集中とリラックスの判定器の構築を実現する。提案する判定手法の流れは、重心と各データのコサイン類似度を算出し、仮定した複数の閾値をエラー率で評価する。エラー率が最小となる閾値を判定器とする。以下では、ユーザが集中する又はリラックスした時の脳波それぞれ (集中群, リラックス群とする) を用いてユーザの状態を推定する手法について述べる。(図 6)

1. 集中群とリラックス群の各々の重心の座標 g_C, g_R を式 (1) で算出

k は集中群, リラックス群の各データ数である。 a_i, m_i はそれぞれ, Attention, Meditation の値を表す。

$$g_{C,R} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k a_i}{k}, \frac{\sum_{i=1}^k m_i}{k} \right) \quad (1)$$

2. (A) 集中群の各データ d_{1k} と重心 g_C とのコサイン類似度を式 (2) により算出
(B) リラックス群の各データ d_{2k} と重心 g_R とのコサイン類似度を同様に式 (2) により算出

$$\cos(g_{C,R}, d_{1k,2k}) = \frac{g_{C,R} \cdot d_{1k,2k}}{|g_{C,R}| |d_{1k,2k}|} \quad (2)$$

3. 2 で計算した各 k 個のコサイン類似度 (A) と (B) を閾値 $Th_{Ck,Rk}$ と仮定し、各データと各重心とのコサイン類似度を仮閾値により判定する。判定結果は *FalseAcceptanceRate* ($FAR_{Ck,Rk}$) と *FalseRejectionRate* ($FRR_{Ck,Rk}$) で評価する。

$$FAR_{Ck,Rk} = \frac{\text{正解と判定された不正解データ}}{\text{全不正解データ}}$$

$$FRR_{Ck,Rk} = \frac{\text{不正解と判定された正解データ}}{\text{全正解データ}}$$

4. 3 より $FAR_{Ck,Rk}$ と $FRR_{Ck,Rk}$ の平均 $HTER_{Ck,Rk}$ を式 (3) で算出し、集中群 (リラックス群) において、エラー率 $HTER_{Ck,Rk}$ が最小値となる $Th_{2C,R}$ を閾値として決定

$$HTER_{Ck,Rk} = \frac{FAR_{Ck,Rk} + FRR_{Ck,Rk}}{2} \quad (3)$$

5. 評価データと集中群, リラックス群の重心 $g_{C,R}$ とのコサイン類似度を算出し、コサイン類似度が 4 で決定した閾値 $Th_{2C,R}$ 以上であれば集中 (リラックス) と判定
判定順は、エラー率が低い閾値から先に評価データを判

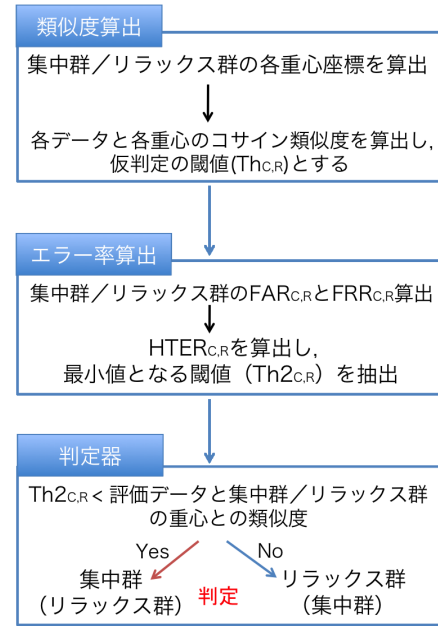


図 6 脳波データ判定手法のフローチャート

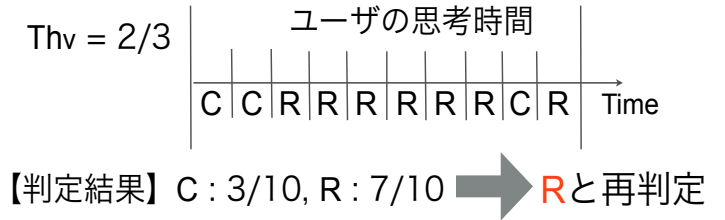


図 7 思考時間全体に対する voting 判定の例

定する。評価データと重心のコサイン類似度が閾値以上でない場合、残りの閾値で判定し、判定不能な場合、閾値に対応した状態と反対の判定を行う。

5.3 Voting 判定

提案手法は、1 秒単位で脳波を判定せず、思考時間全体で多数決方式をとることによって脳波の状態を voting 判定する。SVM で判定した結果に voting 判定を適応したものを v-SVM, HTER で判定した結果に voting 判定を適応したものを v-HTER とする。具体的な判定方法は以下の通りである。

1. SVM または HTER で脳波を 1 秒単位で判定
2. 思考時間全体の判定結果を判定条件より再判定
判定条件: 1 で得られた判定数が最大かつ得票率が Th_v 以上であれば思考時間全体をその状態と再判定

脳波判定例を図 7 に示す。集中またはリラックス状態の判定結果は C または R で表現し、条件である得票率の閾値は $Th_v = 2/3$ と設定する。音声案内があった場合、ユーザは 10 秒間集中またはリラックスすることでアプリケーションを制御する。1 秒毎に SVM または HTER で判定した結果、条件である判定数が最大であるのは R (リラックス) であり、得票率 (7/10) が $Th_v (= 2/3)$ 以上であるため 10 秒間の思考をリラックスと判定する。



図8 アプリケーション起動システム画面例

6. システムの実装

6.1 アプリケーション起動システム

ユーザの脳波から意図を抽出し、アプリケーションを起動させるシステムを開発した。開発したシステムの画面例を図8に示す。

まず、スタート画面では起動可能なアプリケーションを提示する(a)。次にアプリケーションが画面に7秒間提示され(b)、ユーザは起動したければ集中し、起動したくなければリラックスする。脳波送信画面(c)では、サーバへ脳波を送信し、構築した判定器よりユーザの意図を判定する。判定結果により、ユーザが集中していればアプリケーションを起動し(d)、リラックスしていれば次のアプリケーションを提示する(e)。なお、アプリケーションが起動されるまでアプリケーションの提示を繰り返す。

7. 予備実験

本論文では、予備実験として視覚情報ありの状態、脳波か

表1 予備実験において学習データに対する正答率

	SVM	HTER	v-SVM	v-HTER
被験者 A	65.00%	52.00%	78.33%	58.33%
被験者 B	66.33%	61.33%	71.67%	66.67%
被験者 C	71.00%	63.00%	90.00%	66.67%

らユーザの意図抽出を評価する。

7.1 判定精度の検証

提案手法によるユーザの集中又はリラックスの状態判定の判定精度を検証する。評価手順は以下の通りである。

1. ユーザの集中またはリラックス状態の脳波を7秒間計測
2. 7秒間の脳波のうち2~6秒間の5秒間を抽出
3. 脳波を取得し、集中またはリラックスとラベル付け
4. SVM および HTER による評価
5. 4 の評価結果に対して voting 判定による再評価

実験条件として、3種類のアプリケーション(メール、音楽、web)をランダムで提示し、20代男性3名の被験者3名(A, B, C)を対象にそれぞれ計測を行った。各アプリケーションの提示時間は7秒間とした。1セットの計測で、アプリケーションの提示は20回行われ、被験者が集中又はリラックスする回数はそれぞれ10回ランダムに提示する。取得した7秒間のデータのうち5秒間を判定対象データとして抽出した。これは先行研究[13]より、前に提示したアプリケーション画像を見た時の脳波が、始めの数秒に影響することを確認しているためである。2~6秒間の5秒を抽出することで、前後数秒間の影響を除去できる。1セットの計測で取得できるデータ数は、1秒毎の脳波取得が可能のため5秒×20回=100個である。判定器構築のため、計測は3セット行い、集中群およびリラックス群のデータ各150個(計300個)を計測した。計測環境は、屋内の静かな場所で行った。なお、本実験では、各個人ごとに最適化した判定器を構築する。

判定器を構築する学習データに対するそれぞれの手法による評価結果を表1に示す。被験者Aの学習データは、SVMでの正答率は65.00%で、v-SVMでの正答率は78.33%となり、HTERでの正答率は52.00%で、v-HTERでの正答率は58.33%となった。

被験者B, Cについても同様の評価を行ったところ、それぞれSVMでの正答率は66.33%, 71.00%で、v-SVMでの正答率は71.67%, 90.00%となり、HTERでの正答率は61.33%, 63.00%となり、v-HTERでの正答率は66.67%, 66.67%となった。

8. 実験

本論文では、視覚情報なしの状態、脳波からユーザの意図および気分抽出を評価する。視覚情報なしの状態は二種類あり、以下の状態での実験を行った。

- (1) 音声案内ありで、対象コンテンツと関係のない背景画像を見ている状態

対象コンテンツに関する情報がユーザに音声案内として伝え



図 9 提示する背景画像

られており、対象コンテンツと関係のない背景画像を見ている状態での意図判定精度の検証を目的とする。

(2) 音声案内なしで、対象コンテンツと関係のない背景画像を見ている状態

対象コンテンツに関する情報がユーザに一切伝えられておらず、対象コンテンツと関係のない背景画像を見ている状態での気分判定精度の検証を目的とする。

8.1 音声案内ありでの意図抽出

提案手法によりユーザの意図判定精度を検証する。実験手順は以下の通りである。

1. 背景画像を提示
2. 音声案内を再生
3. 再生後にユーザの脳波を 7 秒間計測
4. 7 秒間の脳波のうち 2~6 秒間の 5 秒間を抽出
5. 脳波を取得し、意図（集中、リラックス）毎にラベル付け
6. SVM および HTER による評価
7. 6 の評価結果に対して voting 判定による再評価

実験条件として、対象コンテンツと関係のない 4 種類の背景画像を使用した。使用した背景画像を図 9 に示す。使用した音声案内は、メールを起動しますか、音楽プレーヤーを起動しますか、ブラウザを起動しますかの 3 種類である。20 代男性 4 名の被験者（A, B, C, D）を対象にそれぞれ計測を行った。1 セットの計測で画像提示は 4 回、音声案内再生は 3 回行われる。1 セットの計測で取得可能なデータ数は 5 秒 × 4 回 × 3 回 = 60 個である。判定器構築のため、脳波計測は 6 セット行い、意図を反映した集中群およびリラックス群の脳波データ各 180 個（計 360 個）を計測した。提案手法の条件である Th_v は 2/3 とした。計測環境は、屋内の静かな場所で行った。なお、本実験では、各個人ごとに最適化した判定器を構築する。

判定器の学習データに対するそれぞれの手法による評価結果を表 2 に示す。被験者 A の学習データは、SVM での正答率は 61.11% で、v-SVM での正答率は 66.67% となり、HTER での正答率は 50.00% で、v-HTER での正答率は 50.00% となった。

被験者 B, C, D についても同様の評価を行ったところ、それぞれ SVM での正答率は 69.72%, 65.83%, 62.50% で、v-SVM

表 2 意図抽出における学習データに対する正答率

	SVM	HTER	v-SVM	v-HTER
被験者 A	61.11%	50.00%	66.67%	50.00%
被験者 B	69.72%	60.00%	88.89%	58.33%
被験者 C	65.83%	57.22%	79.17%	58.33%
被験者 D	62.50%	57.22%	72.22%	54.17%

表 3 気分抽出における学習データに対する正答率

	SVM	HTER	v-SVM	v-HTER
被験者 A	65.67%	59.67%	76.67%	71.67%
被験者 B	63.00%	50.00%	73.33%	50.00%
被験者 C	64.67%	50.00%	75.00%	50.00%
被験者 D	58.00%	51.00%	65.00%	50.00%

での正答率は 88.89%, 79.17%, 72.22% となり、HTER での正答率は 60.00%, 57.22%, 57.22% となり、v-HTER での正答率は 58.33%, 58.33%, 54.17% となった。

8.2 音声案内なしでの気分抽出

提案手法によりユーザの気分判定精度を検証する。実験手順は以下の通りである。

1. 背景画像を提示
2. ユーザの脳波を 7 秒間計測
3. 7 秒間の脳波のうち 2~6 秒間の 5 秒間を抽出
4. 脳波を取得し、見ている背景画像毎にラベル付け
5. SVM および HTER による評価
6. 5 の評価結果に対して voting 判定による再評価

実験条件として、使用した背景画像は、8.1 節と同様に図 9 の 4 種類である。気分判定時に、ファーストステップとして 4 種類の画像は 2 種類（(a), (b): 落ち着く, のんびり, (c), (d): 興奮する, 緊張する）にまとめられる。20 代男性 4 名の被験者（A, B, C, D）を対象にそれぞれ計測を行った。1 セットの計測で画像提示は 4 回行われ、データ数は 5 秒 × 4 回 = 20 個である。判定器構築のため、脳波計測は 15 セット行い、4 種類の画像を見ている状態の脳波データ各 75 個（計 300 個）を計測した。提案手法の条件である Th_v は 2/3 とした。計測環境は、屋内の静かな場所で行った。なお、本実験では、各個人ごとに最適化した判定器を構築する。

判定器の学習データに対するそれぞれの手法による評価結果を表 3 に示す。被験者 A の学習データは、SVM での正答率は 65.67% で、v-SVM での正答率は 76.67% となり、HTER での正答率は 59.67% で、v-HTER での正答率は 71.67% となった。

被験者 B, C, D についても同様の評価を行ったところ、それぞれ SVM での正答率は 63.00%, 64.67%, 58.00% で、v-SVM での正答率は 73.33%, 75.00%, 65.00% となり、HTER での正答率は 50.00%, 50.00%, 51.00% となり、v-HTER での正答率は 50.00%, 50.00%, 50.00% となった。

9. 考 察

予備実験では、視覚情報ありの状態では、脳波からのユーザの

意図抽出の精度を、SVM と HTER に加え、提案手法である v-SVM, v-HTER を用いて評価を行った。

提案手法である v-SVM での学習データに対する正答率は、どの被験者も SVM と比較して大きく改善している。この理由として、SVM での判定では、300-交差検定を用いて 1 秒毎に判定しているため、1 秒毎のノイズが大きく影響し、正答率が低下している。したがって、voting 判定が有効であり、正答率の大きな改善に繋がっていると考えられる。

v-HTER での学習データに対する正答率は、どの被験者も HTER と比較して改善している。しかし、v-SVM ほどの改善は見られていない。この理由として、HTER での判定結果が 5 秒間の中で判定の散らばりが少なかったため、v-HTER での改善が小さかったと考える。

本実験では、視覚情報なし状態において 2 つの実験を行った。脳波からユーザの気分抽出精度の評価と、脳波からユーザの意図抽出精度の評価を、予備実験と同様の手法で行った。

脳波からユーザの意図抽出精度に関して、提案手法である v-SVM での学習データに対する正答率は、どの被験者も SVM と比較して改善している。対象コンテンツを見ていない状況においても、提案手法は SVM においてのみ有効であることが考えられる。視覚情報がない場合とある場合を比較した結果、被験者 B 以外の被験者 A, C は視覚情報がない場合の正答率が低い。これは、被験者 A, C にとって、対象コンテンツを見ずに制御することは、対象コンテンツを見ながら制御することより難しいことが考えられる。したがって、ユーザが対象コンテンツを見なくても、対象コンテンツの想起がしやすいような音声案内の考慮が必要である。

脳波からユーザの気分抽出精度に関して、提案手法である v-SVM での学習データに対する正答率は、どの被験者も SVM と比較して改善している。被験者 4 人の v-SVM の結果を平均すると 72.50% となり、72.50% でユーザの気分（（落ち着く、のんびり）と（興奮する、緊張する））を抽出可能である。今後は、2 種類の気分の分類のみであると、ユーザの求めるコンテンツを絞ることは難しいため、2 種類より多い気分の分類を可能にしなければならない。

今後の課題は、SVM と HTER での正答率を上げることと、学習データの増加の 2 つである。

正答率をあげる為には、学習データの見直しが必要になると考える。HTER による閾値決定には、学習データにノイズデータが混じっている場合、各データ群の重心がノイズデータにより移動し、判定精度が低下する。SVM での判定器の構築には、学習データのノイズデータは学習データ数が多ければ、ノイズデータ除去を考慮せず識別面を決定することが可能である。また外れ値を設定する事も可能である。したがって、HTER においてのみノイズデータを取り除くことが必要である。ノイズデータを取り除く方法として、閾値決定時に再帰的に閾値を学習することによってノイズデータを取り除くことができると考える。再帰的な学習法とは、決定した閾値で学習データを評価した際に、正しく判定されなかった学習データは廃棄し、新たなデータを学習データに追加する方法である。

本実験において、学習データは 300 個取得したが、学習データがユーザの意図（集中／リラックス）の脳波パターン全てに対応できていない可能性が考えられる。したがって、学習データを増やすことが必要である。

10. ま と め

本研究では、視覚情報なしで簡易脳波計測器より取得した脳波に基づきスマートフォン上のアプリケーションやコンテンツを制御するシステムを提案した。具体的な制御手法として、意図抽出によるコンテンツ制御と気分抽出による楽曲選出・再生を提案し、制御に関する実験を行った。脳波分析として、SVM および HTER の 2 つの手法を提案手法により拡張し、構築した判定器を提案システムに応用した。実験における提案手法による評価では、学習データの評価は 4 名の被験者全て v-SVM において良好な結果を確認できた。今後は、より多くの被験者実験および判定器の精度向上を行う予定である。

謝 辞

本研究の一部は、SCOPE 若手 ICT 研究者育成型研究開発の助成によるもので、ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] 松原典行, 江上公一, 井垣宏, 仲村匡秀, 暗黙的なユーザ要求を抽出・推定するホームネットワークのための対話型音声インタフェース, 電子情報通信学会技術研究報告, 109(450), 061-066, 2010.
- [2] 阿部清彦, 佐藤寛修, 大山実, 大井尚一, 視覚による重度肢体不自由者向けコンピュータ操作支援システム, 映像情報メディア学会誌 Vol. 60, No. 12, pp. 1971~1979, 2006.
- [3] TakufumiYanagisawa, MasayukiHirata, YouichiSaitoh, Tet-suGoto, HaruhikoKishima, RyoheiFukuma, HiroshiYokoi, YukiyasuKamitani, ToshikiYoshimine, “Real-time control of a prosthetic hand using human electrocorticograms”
- [4] 平田雅之, 柳澤琢史, 松下光次郎, Shayne Morris, 神谷之康, 鈴木隆文, 吉田毅, 佐藤文博, 齋藤洋一, 貴島晴彦, 後藤哲, 影山悠, 川人光男, 吉峰俊樹, ブレイン・マシン・インターフェースによる機能支援: リアルタイムロボットアーム制御とワイヤレス完全体内埋込装置の開発, 脳神経外科ジャーナル 21(7), 541-549, 2012.
- [5] L. A. Farwell, E. Donchin, “Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials,” Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Vol.70, No.6, pp.510-523, December 1988.
- [6] John Chuang, Hamilton Nguyen, Charles Wang, and Benjamin Johnson, “I Think, Therefore I Am: Usability and Security of Authentication Using Brainwaves”, Financial Cryptography and Data Security 2013.
- [7] 柴崎浩, 米倉義晴, 脳のイメージング - 脳のはたらきはどこまで画像化できるか -, 共立出版, 1994.
- [8] 入野宏, 心理学のための事象関連電位ガイドブック, 北大路書房, 2005.
- [9] 中西功, 馬場貞尚, 脳波による個人認証の研究: 瞬きに関する

る検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 109(436), 245-246, 2010.

- [10] C. Cortes and V. Vapnik. Support Vector Networks. Machine Learning, Vol. 20, pp. 273-297, 1995.
- [11] 川上俊, 洪志勲, 大槻知明, サポートベクターマシンを用いた信号部分空間の次元拡張に基づくアレーセンサによる位置推定法, 電子情報通信学会技術研究報告. RCS, 無線通信システム 110(433), 367-372, 2011.
- [12] 高橋和彦, 簡易脳波計測装置を用いた感情識別の一考察-第3報 SVM による識別-, 日本機械学会第 12 回インテリジェント・システム・シンポジウム公開論文集, 2-210, 2002.
- [13] 日高 智貴, 増谷 直人, 木下 裕輝, 白石 優旗, 河合 由起子, 奥田 次郎, 携帯型端末を用いた脳情報に基づく情報推薦システムの提案, DEIM2013.