

脳波を用いたスマートフォンのアプリ自動制御方式

日高 智貴^{1,a)} 王 元元^{1,b)} 河合 由起子^{1,c)} 奥田 次郎^{1,d)}

概要: 近年、脳波を扱った研究として、障害者支援のための研究が注目を集めている。これらの研究では、脳の表面に脳波電極を留置する非侵襲的な計測、ヘッドギアや MRI を用いた計測が行われている。これらの計測方法は、高密度で高精度な脳波取得が可能であるが、高価で拘束性が高い。一方、スマートフォン等の情報機器が普及しているが、画面に注力し操作する、いわゆる「ながらスマホ」による事故が問題視されている。そこで本研究では、拘束性の低い簡易脳波計測器を用いて、脳波を取得分析することで、画面に注力することなく、スマートフォンのアプリケーションをユーザの意図に応じて制御可能とする情報制御システムの構築を目指す。本論文では、簡易脳波計測器とスマートフォンを用いることで、ユーザの意図に基づいてアプリケーションを自動制御するための方式を提案し、意図を脳波から抽出する手法をさまざまな状況での精度を検証する。

EEG-based Information Control System for Smartphones

HIDAKA TOMOKI^{1,a)} WANG YUANYUAN^{1,b)} KAWAI YUKIKO^{1,c)} OKUDA JIRO^{1,d)}

Abstract: Electroencephalogram (EEG) is commonly used for recording and analyzing brain activity; it has attracted an attention for aiding disabled people, but they need to wear high restriction headgear for acquiring high quality EEG based on many standard positions, 10 to 20, on the head surface. Meanwhile, smartphones are now one of the most frequently used simple and convenient mobile devices for acquiring information, but people should operate the smartphones still using hands even though wearable devices, e.g., Google Glass, are rapidly spreading. So, why cannot you control your mobile devices by thinking? EEG has a potential to enable people to control information directly by brain activity. Your favorite song can be selected without browsing, even your smartphone in the pocket; and it can also prevent risks while driving or walking. We have developed a hands-free information controllable system of practical use for controlling applications based on user intentions by using a wearable EEG device and smartphones. In this paper, we discuss our user intention extraction method and evaluate its effectiveness in a variety of situations.

1. はじめに

近年、スマートフォンやカーナビといった情報機器が身近なものとなった。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。例として、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、アプリケーションといった端末上の情報を閲覧して

いない状態で、手を使用することなく端末上の情報を制御可能とするシステムの構築を目指す。

手を使用することなく対象を制御する研究として、音声 [1][2] や視覚 [3] 等を使用することでデバイスやソフトウェアを制御する研究が行われている。また、脳波により対象を制御する研究は、障害者の支援として注目を集めている。Hirata ら [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。しかし、これらの研究では、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

¹ 京都産業大学

Kyoto Sangyo University

a) i1358086@cc.kyoto-su.ac.jp

b) yuanw@cc.kyoto-su.ac.jp

c) kawai@cc.kyoto-su.ac.jp

d) jokuda@cc.kyoto-su.ac.jp

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[6]) 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集中度 (attention) やリラックス度 (meditation) を表す指標と限られており、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、低密度であるが拘束性の低い B3Band を用いることで、QOL (Quality of Life) を高める情報制御システムの構築を目指す。第1歩として、手の代わりとして脳波を取得分析することで、スマートフォン上のアプリケーションを自動制御する方式を提案する。本論文の貢献は、QOL のトレードオフを考慮した新たな思考に基づく情報制御方式の提案と、様々な状況下での実験を通じた脳波判別精度の検証である。

意図とは、ユーザ自身から発するものとし、元々ユーザは目的を持っており、その目的を実現するための行動のことを指す。本研究で使用する簡易脳波計測器は、集中度とリラックス度を取得することができるため、ユーザの集中またはリラックス状態の2値でユーザの意図として抽出する。ユーザが画面に注力することなく、情報を取得する方法として、音声案内を通してユーザに情報を伝達する。音声案内とは、情報を音声により表現したものである。提案手法では、あらかじめ情報の制御方法 (2値) と脳波状態 (集中, リラックス状態) を結びつけておくことで、ユーザの脳波状態を推測することにより意図する制御の自動実行が可能となる。

本論文の構成は以下の通りである。2章でアプリの自動制御方式の概要と関連研究について述べる。3章で脳波計測アプリケーションについて説明する。4章で脳波データ判定手法について説明し、5章で実験を説明し、最後に6章、7章で考察とおわりにを説明する。

2. アプリの自動制御方式の概要と関連研究

2.1 アプリの自動制御方式

本研究では、脳波から意図を抽出することによりアプリケーションを制御可能とする方式を提案する。図1に制御方式の概要を示す。本手法では簡易脳波計測器とスマートフォンを Bluetooth で接続し、スマートフォンを介して脳波を計測し取得する。事前にユーザには初期学習として、ユーザの集中又はリラックス状態の脳波計測を行う。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。

提案方式では、まずスマートフォン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。ここで通知する情報は、ユーザの利用履歴から使用頻度の高いアプリケーションを新着情報とする。次に、ユーザは通知された情報に対する行動を集中/リラックス状態の2値で表現し、そ

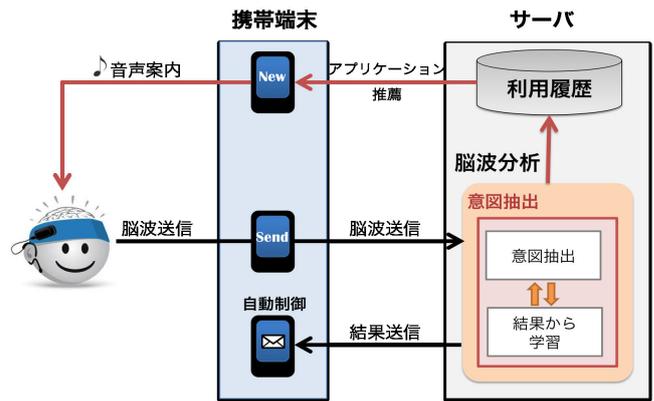


図1 制御方式の概要図

Fig. 1 System configuration diagram

の状態の脳波を計測する。計測された脳波はスマートフォンを中継し、サーバに送信される。サーバ側で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。なお、制御されたアプリケーションの情報は、利用履歴に記録される。

2.2 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 [7] 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] は脳波によって計測される事象関連電位を用いている。事象関連電位のなかでも、刺激に対する認知反応が300ミリ秒前後で発生する P300 を利用することで、四肢麻痺患者が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ため、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。本研究の制御方式は、対象を健常者と設定し、簡易型脳波計測器を使用し、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利用が可能である。

脳波からユーザの状態を判定する手法として、柳澤ら [7] 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。本研究でもこの手法を考慮することで、ユーザの脳波状態の推定が可能と考える。しかし、この研究で使用している脳波計測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器は、ノイズに大きく影響し、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判定手法を拡張し、ノイズを考慮し

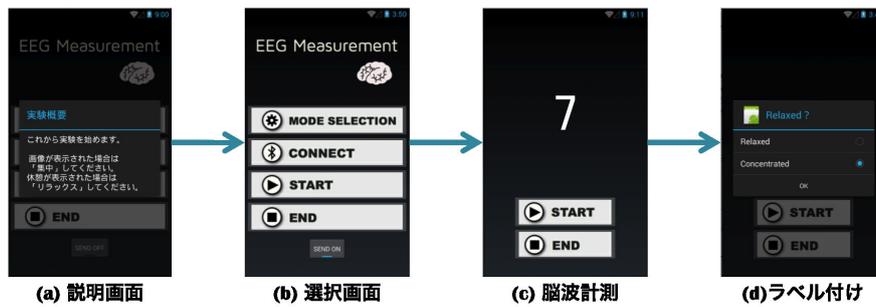


図 2 判定器構築時の脳波取得画面例

Fig. 2 Screenshot of processing flow of our application

た新たな判定手法である voting 判定を提案する。

3. 脳波計測アプリケーション

3.1 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の取得が必要となるため、スマートフォン上で脳波計測アプリケーションを開発した。脳波計測アプリケーションは、本研究で使用する簡易脳波計測機器 B-Bridge 社の B3Band と Bluetooth で接続する。計測開始ボタンを押してから 7 秒間の脳波を計測し、計測終了時に計測した脳波を全てサーバへ送信する。

図 2 に示すように、開発した脳波計測アプリケーションでは、(a) 説明画面を提示し、START ボタンを押すと 7 秒間の脳波計測を行い、全ての脳波計測が終了した場合、END ボタンを押すように説明する。(b) 次に各選択画面を提示し、B3Band と接続し、課題試行を開始する。(c) 脳波計測画面では、START ボタンにより実験が開始され、計測秒数は画面に表示される。(d) 7 秒間の計測後、ユーザは自身が集中/リラックスしたかどうかを選択し、脳波に状態のラベル付けを行う。

4. 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では、SVM を用いてユーザの思考や行動パターンの分析を行う。本研究では SVM を拡張し、v-SVM (voting-SVM) と vp-SVM (voting pattern-SVM) の判定手法を提案する。

4.1 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 [12]、SVM により構築された判定器を用いて、集中とリラックス状態を判定する。判定器は事前に取得した脳波データから 2 種類の方法で構築された。1 つは、簡易型脳波計測機器で取得可能な Attention と Meditation の指標を 1 秒毎に入力データとする方法である。出力はどちらの方法も集中またはリラックス状態の 2 出力である。

判定を行うデータが未知データであれば判定器により判定を行い、判定を行うデータが既知の学習データであれば



図 3 思考時間全体に対する voting 判定の例

Fig. 3 An example of voting in whole thought time

交差検定により判定を行う。取得した脳波からユーザの集中/リラックス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。

$$\begin{cases} \text{集中} & \text{if } y_1 > y_2 \\ \text{リラックス} & \text{else} \end{cases}$$

集中の出力値は y_1 、リラックスの出力値は y_2 に対応しており、どちらも 0~1 の実数値をとる。

4.2 Voting 判定

新たに提案する判定手法は、1 秒単位で脳波状態を判定した後、思考時間全体で多数決方式をとることで脳波の状態を voting 判定する。1 秒単位で SVM により判定した結果に voting 判定を適応したものを v-SVM とする。具体的な判定方法は以下の通りである。

(1) SVM 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 3 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 と表現し、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。1 秒毎に SVM で状態判定した結果、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。

4.3 パターン判定

パターン判定は、思考時間毎に SVM での判定結果を記録することで、被験者毎の集中またはリラックス状態の性質を考慮した判定を可能とする。具体的なパターン生成方法は以下の通りである。

- (1) 分類器を学習データにより構築
- (2) 交差検定により学習データを 1 秒ずつ判定
- (3) 判定結果を 5 秒区切りにし (voting 判定)、判定パターンを生成
- (4) パターン判定を条件により調整

条件：パターン内の正答率が 33.3% 以下かつ以下の条件式を満たす判定数であれば、パターンの判定を反転

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{判定数} \geq \left\lceil \frac{\text{データ数/計測時間}}{\text{全パターン}} \right\rceil \quad (1) \\ \text{不正解数} - \text{正解数} \geq \frac{\text{データ数/計測時間}}{\text{全パターン}} \quad (2) \end{array} \right.$$

本研究での計測時間は 5 秒間であり、5 秒間での C と R の全判定パターンは $2^5 = 32$ である。反転させる例を挙げると、データ数が 300 個で、5 秒間の判定が CR-CRC パターンである判定数が 4、正解数が 1、不正解数が 3 の正答率が 33.3% であるとする。まず、条件式の $\lceil (\text{データ数/計測時間}) / \text{全パターン} \rceil$ ($\lceil \cdot \rceil$: 小数点第一位を四捨五入) は 2 となり、判定数は 4 であるため (1) の条件は達成している。次に、不正解数 - 正解数 = 3 であり $3 > 2$ であるため、判定を C から R に反転させることで、正答率は 66.7% となる。パターンの判定を反転させることで、集中状態またはリラックス状態が判定の過半数を占めていない場合でも、被験者にとっては思考時間全体が集中状態またはリラックス状態であるという状況に対応することができる。と考える。

パターン判定は、v-SVM により思考時間全体で多数決方式で再判定が行われる際に、被験者の過去に計測した脳波データのパターンを考慮した判定を行う。v-SVM で判定時に行うため、パターン判定を vp-SVM (voting pattern-SVM) とする。

5. 評価実験

本論文では、画面に注力していない状態で、脳波からユーザの意図抽出手法の精度を検証する。本実験では、ユーザの求める情報を音声案内により通知し、画面に注力していない状態での意図抽出精度の検証を目的とする。20 代大学生の 9 名被験者 (男性 6 名、女性 3 名) を対象にそれぞれ、一般的な生活環境を想定し、人の出入りや会話が発生する研究室で脳波計測を行った。

5.1 音声案内によるユーザの意図抽出

提案した判定手法によりユーザの意図抽出精度を検証す

表 1 黒い画像提示時の意図抽出における学習データの正答率

Table 1 Results of intention extraction by presenting a black picture

	SVM	v-SVM	vp-SVM
Subject A	61.0%	68.3%	71.7%
Subject B	63.3%	73.3%	76.7%
Subject C	64.0%	71.7%	88.3%
Subject D	70.0%	85.0%	85.0%
Subject E	54.0%	63.3%	66.7%
Subject F	64.7%	76.7%	76.7%
Subject G	61.0%	75.0%	81.7%
Average	64.6%	74.6%	78.1%

る。実験手順は以下の通りである。

1. スマートフォンに背景画像 (黒い画像) 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. 1 秒毎に SVM による判定
7. 6 の判定結果に対して voting 判定による再判定

黒い画像を提示した実験では、黒い画像は被験者の集中/リラックスのしやすさに差を生じさせないために使用した。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。被験者 (A, B, C, D, 男性 4 名; E, F, G, 女性 3 名) を対象にそれぞれ計測を行った。1 セットの計測で音声案内の再生は 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 \times 3 回 = 15 個である。判定器構築のため、脳波計測は 20 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 150 個 (計 300 個) を計測した。提案した判定手法の条件である Th_v は $2/3$ とした。なお、本実験では、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判定手法による判定結果を表 1 に示す。

全ての被験者で SVM と比較して v-SVM の正答率が向上している。これは、voting 判定により 5 秒間の中に含まれているノイズデータ (集中またはリラックスしきれていないデータ) が除去されているからである。

5.2 暗算課題によるユーザの状態抽出

ユーザの意図を集中またはリラックス状態を抽出することで表現してきたが、脳波から集中状態を抽出する方法として暗算課題が行われている [14]。水原らは 2 つの脳部位を fMRI と EEG により計測し、暗算課題を行うことにより、beta 波の位相同期が現れる大脳皮質の神経ネットワークを示している。beta 波は集中に関連があるため、本論

表 2 暗算課題で意図抽出における学習データの正答率

Table 2 Results of intention extraction in a mental arithmetic task

	SVM	v-SVM	vp-SVM
Subject A	80.0%	91.7%	100.0%
Subject G	70.0%	75.0%	91.7%
Subject H	66.7%	75.0%	100.0%
Subject I	75.0%	91.7%	100.0%
Average	72.9%	83.3%	97.9%

文ではこの実験課題を利用し、集中状態を作ることが可能である暗算課題を行うことによりユーザの意図抽出精度の評価を行う。実験手順は以下の通りである。なお本実験では、被験者は閉眼状態で実験を行う。

1. 暗算開始音を鳴らす
2. 暗算課題を行わせ、脳波を7秒間計測（集中）
暗算課題：1000 から定数を減算（定数はランダムに決定）
3. 終了音を鳴らす
4. 休憩を行わせ、脳波を7秒間計測（リラックス）

実験条件として、被験者（A, H, I, 男性3名；G, 女性1名）を対象にそれぞれ計測を行った。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。1セットの計測で取得できるデータ数は、5秒×2回=10個である。計測は6セット行ったため、集中群およびリラックス群のデータ各30個（計60個）を計測した。

判定器の学習データに対するそれぞれの判定手法による判定結果を表2に示す。

- v-SVMの学習データの正答率は、他実験と同様にどの被験者もSVMと比較して改善している。被験者A, GのSVMでの正答率を5.1節の表1の結果と比較すると、データ数は異なるが高い正答率となっている。これは暗算という課題が、集中してくださいと言われて被験者が集中する課題より自身の状態を制御しやすいことがわかる。したがって、SVMやv-SVMによる脳波データの判定は有効であるが、被験者が自身の状態を制御しやすい課題を行うことや、制御しやすい環境を整えることが必要であると考えられる。
- vp-SVMの正答率は、全被験者の平均が97.9%と高い正答率である。この理由として、データ数が60個と少ないことにより、本論文で提案した反転条件は不正解なデータをほぼ反転させてしまう。そのためデータ数に応じて反転条件を変更する必要がある。

5.3 歩行中における意図抽出

手を使用することなく情報を制御するために、想定した環境における実験を行う必要がある。想定する環境は、情報閲覧可能な場所であるため、どのような場所でも使用可

表 3 歩行状態での意図抽出における学習データの正答率

Table 3 Results of intention extraction while walking

	SVM	v-SVM	vp-SVM
Subject A	80.0%	100.0%	100.0%
Subject C	61.7%	75.0%	100.0%
Subject G	70.0%	100.0%	100.0%
Average	70.6%	91.7%	100.0%

表 4 立っている状態での意図抽出における学習データの正答率

Table 4 Results of intention extraction while standing

	SVM	v-SVM	vp-SVM
Subject A	71.7%	91.7%	100.0%
Subject C	71.7%	91.7%	91.7%
Subject G	83.0%	100.0%	100.0%
Average	75.5%	94.5%	97.2%

能とする。例として歩行中にお気に入りの音楽を選曲するという状況を想定しているため、歩行しているユーザの意図抽出の精度を評価する。意図の抽出方法は、正答率の高い暗算課題で行う。5.2節で行った実験では、閉眼状態で脳波の計測を行ったが、想定環境である開眼状態で脳波計測を行った。比較のため、歩行中だけでなく、立っている状態での脳波計測も行った。

実験の手順は5.2節と同様である。実験条件として、被験者（A, C, 男性2名；G, 女性1名）を対象にそれぞれ計測を行った。1セットの計測で取得できるデータ数は、5秒×2回=10個である。計測は6セット行ったため、集中群およびリラックス群のデータ各30個（計60個）を計測した。計測は、静かで人通りの少ない屋内（A, C）と屋外（G）で歩行しながら思考してもらった。

それぞれの状態の実験結果を表3, 4に示す。

立っている状態と歩行状態での学習データの正答率を比較すると、被験者Aを除いた2名はSVMとv-SVMの両手法とも立っている状態の方が正答率が高い。これは被験者Aは異なるという点で、個人差はあるが集中またはリラックスすることは動いている方が、自身の状態の制御が難しいことがわかる。

6. 考察

6.1 実験結果

評価実験では、画面を注力していない状態において脳波からユーザの意図抽出精度の評価を行った。SVMに基づいた意図抽出精度は、暗算課題においてv-SVMまたはvp-SVMで高い正答率を確認した。しかし、目的のアプリケーションを起動するために暗算課題を行うというのは、ユーザにとって自然な課題ではない。したがって、暗算課題に代わるようなユーザの意図に関連した課題を考慮することが必要である。5.3節では、想定する環境である歩行中における意図抽出の精度を評価した。立っている状態で

の SVM の正答率の平均は 75.5% で、歩行中の SVM の正答率の平均は 70.6% と歩行中の方が正答率は低くなっている。しかし、v-SVM の正答率では、両方の状態において 90.0% 以上の正答率を示している。したがって、歩行中に意図抽出を行うことは可能であると考えられる。

6.2 今後の課題

今後の課題は、脳波から意図の抽出精度の向上と被験者の求める情報を推薦できるかの評価を行うことである。

抽出精度を向上させるためには、複数の判定手法を用い、複数の判定結果から多数決判定を行うことが考えられる。本実験において、SVM を用いて判定結果の算出を行った。今後は、判定手法を増やし、各々の判定手法による結果の多数決をとることで、抽出精度の向上に繋がると考える。

本論文で行った実験は、学習データをさまざまな評価手法により評価したものであり、実際に被験者が自身の状態をコントロールし、目的のアプリケーションを起動するという実験は行っていない。今後は、被験者のインタビューにより目的アプリケーションの起動に関する定性的評価を行う必要がある。また、スマートフォンのアプリケーション推薦の評価を行うことも必要である。

7. おわりに

本研究では、端末上の情報を閲覧していない状態で、脳波から意図を抽出することでスマートフォン上のアプリケーションを自動制御するシステムの構築を目指す。具体的な抽出手法として、音声案内によるユーザの意図抽出手法を提案した。意図抽出時における脳波状態の判定手法として、SVM による判定手法の拡張を行った。評価実験において、提案した判定手法により意図抽出を行い、黒い画像を提示した実験では v-SVM で平均 74.6%、暗算課題を行う実験では v-SVM で平均 83.3% と、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、意図抽出精度の向上を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) および JSPS 研究費基盤研究 B (26280042) の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Soda, S., Nakamura, M., Matsumoto, S., Izumi, S., Kawaguchi, H., and Yoshimoto, M., Implementing Virtual Agent as an Interface for Smart Home Voice Control, In Proc. of APSEC2012, pp. 342-345, 2012.
- [2] House, B., Malkin, J., and Bilmes, J. The voicebot: A voice controlled robot arm. In Proc. of CHI2009, pp. 183-192, 2009.
- [3] Gizatdinova, Y., Spakov, O., and Surakka, V. Face typing: Vision-based perceptual interface for hands-free text entry with a scrollable virtual keyboard. In Proc. of WACV2012, pp. 81-87, 2012.

- [4] Hirata, M., Matsushita, K., Yanagisawa, T., Goto, T., Morris, S., Yokoi, H., Suzuki, T., Yoshida, T., Sato, F., Sakura, O., Kamitani, Y., and Yoshimine, T., Motor restoration based on the brain-machine interface using brain surface electrodes: real-time robot control and a fully implantable wireless system. *Advanced Robotics*, pp. 399-408, 2012.
- [5] Farwell, L. A., Donchin, E., 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, 1988.
- [6] B-Bridge International B3 Band. <http://www.neuro-bridge.com/#!untitled/c4ty>.
- [7] Yanagisawa, T., Hirata, M., Saitoh, Y., Goto, T., Kishima, H., Fukuma, R., Yokoi, H., Kamitani, Y., Yoshimine, T., Real-time control of a prosthetic hand using human electrocorticograms, *J Neurosurg* 114, pp. 1715-1722, 2011.
- [8] Chuang, J., Nguyen, H., Wang, C., and Johnson, B., I Think, Therefore I Am: Usability and Security of Authentication Using Brainwaves, *Financial Cryptography and Data Security 2013*.
- [9] 柴崎浩, 米倉義晴, 脳イメージング - 脳のはたらきはどこまで画像化できるか -, 共立出版, 1994.
- [10] 入野野宏, 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.
- [11] 中西功, 馬場貞尚, 脳波による個人認証の研究: 瞬きに関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 109(436), pp. 245-246, 2010.
- [12] Cortes, C., and Vapnik, V., Support vector networks, *Machine Learning*, Vol. 20, pp. 273-297, 1995.
- [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.
- [14] Mizuhara, H., Wang, L.-Q., Kobayashi, K., Yamaguchi, Y., Long-range EEG phase synchronization during an arithmetic task indexes a coherent cortical network simultaneously measured by fMRI, *NeuroImage*, 27, pp. 553-563, 2005.