

脳情報復号化にもとづくコミュニケーション技術の研究開発 (062107013)

Development of communication technologies based on neural decoding

研究代表者

神谷之康 株式会社国際電気通信基礎技術研究所
Yukiyasu Kamitani Advanced Telecommunications Research Institute International

研究期間 平成 18 年度～平成 20 年度

概要

われわれは大量の情報をさまざまな物理的制約を超えて伝達する技術を手に入れている。しかし、人間の内的なメッセージは身体運動を通してしか発信することができず、筋骨格系や発声器官の制約が情報通信にとって大きなボトルネックとなっている。大量の情報が距離を超えて行き交う情報化社会において、身体の制約を取り除く手段は、人類の生活様式に重大な変化をもたらしうる技術革新の可能性を秘めている。本研究課題では、ヒトの脳内情報表現を脳計測信号から解読（復号化）する技術を開発し、復号化情報によるロボット制御・通信を実装する。これらの開発を通して、脳を直接介した新しいコミュニケーションのための基礎技術の確立を目指す。

Abstract

Advanced communication technologies have allowed us to send and receive massive messages beyond time and space. However, our communication is largely constrained by our body, only through which we can send out our internal messages. In the highly information-driven society, communication tools that can free us from the body would have a great potential for innovation. In this project, we develop neural decoding methods that read out human neural representations, and build robot control and communication systems based on decoded information.

1. まえがき

近年、ヒトの脳を傷つけることなく計測する技術（非侵襲的脳計測技術）が大きく進歩し、人間の認知活動・情報処理にかかわる脳内過程が明らかにされてきた。非侵襲的脳計測は「脳活動から心を読む」技術と謳われてきたが、これまでの研究では、認知活動にともなって生じる脳活動を解剖学的にマッピングするアプローチが中心で、脳活動からその人の心の状態を解読する手法の研究は進んでいない。脳活動を、感覚入力や心理状態を表現する「符号(コード)」とみなす現代システム神経科学の考え方にもとづくと、従来のアプローチは「符号化」の側面のみに注目する方法論であったといえる。

本研究課題では、従来のアプローチとは逆に、非侵襲的脳計測信号パターンから認知状態や意図を解読、すなわち、「復号化」する技術の開発を進めた。機能的磁気共鳴画像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI)、脳磁場計測 (magnetoencephalography, MEG)、および、皮質脳波 (electrocorticogram, ECoG) から得られる多チャンネル信号を機械学習アルゴリズムを用いて効率的に復号化する手法を開発し、従来の手法では検出不可能な、詳細な脳情報の解読を目指した。

復号化された情報はさまざまな形で利用することができる。特に、脳活動を計測しながらリアルタイムに復号化を行うことにより、ヒトの認知状態や意図を身体運動や言語を介さずに外部に伝達することが可能となる。古くから、脳波等を用いてコマンドを伝達する「ブレイン・コンピュータ (マシン)・インターフェース」の研究が行われてきたが、この技術は使用者による脳波のコントロールにもとづくもので、フィードバックを通じた長時間のトレーニングを要する。一方、本研究課題で開発する復号化技術は、自然な脳活動から心理状態を解読するものであり、ヒトが脳活動のコントロールを学習する必要はない。復号化情報を利用した新たなコミュニケーション技術は、運動出力器官に障害のある患者や高齢者にとって有用であるばかりでなく、健常者の日常的なコミュニケーション形態に大きな変革をもたらす可能性がある。

このようなコミュニケーション技術の実用化に向けた

第一段階として、本研究課題では、大型の高性能脳計測装置 (fMRI, MEG) を用いた概念実証実験を行った。また、平成 19 年度からは、大阪大学脳神経外科と共同で、低侵襲であるが高精度の信号が得られる皮質脳波

(ECoG) を用いた解析、システム構築もプロジェクトに加えた。具体的には、脳計測装置からえられる信号をリアルタイムで処理、復号化するアルゴリズムを開発し、復号化された情報を用いたコンピュータ・ロボット制御、遠隔通信の実現を目指した。

2. 研究内容及び成果

以下に本研究課題の主要な成果をリストする。

1) fMRI を用いたリアルタイム復号化システムを構築し、脳活動から手の動きの情報を読み取り、ロボットに模倣させる実験に成功した。これは、被験者のトレーニングを必要とせず、自然な手の動きに関連する脳活動を利用する世界初の非侵襲型ブレイン・マシン・インターフェースである (図 1)。

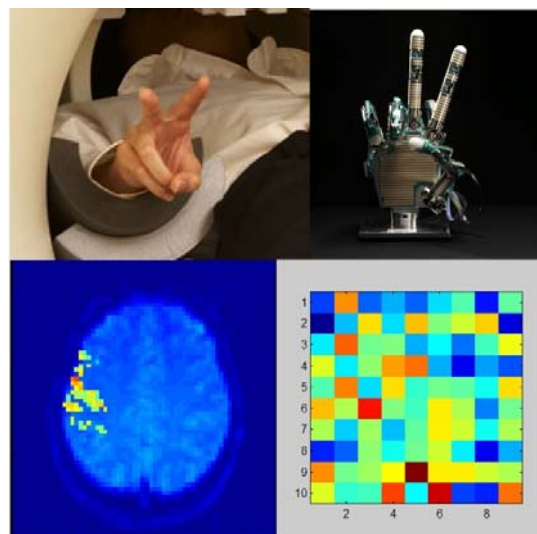


図 1 fMRI 信号の復号化にもとづくブレイン・マシン・インターフェース

2) fMRI 計測から得られる大量のデータから復号化に最適な画素の組み合わせを自動的に選択し判別を行うアルゴリズムを開発した。数理的手法としては類似のものが提案されているが、fMRI データに適用し、多変量脳活動パターンを考慮した特徴選択の有効性・重要性を示したのは、この研究が初めてである。

3) 2) の自動的画素選択・判別アルゴリズムを応用して、脳活動パターンから見ている図形を画像として再構成する方法を開発した。これは、少数のカテゴリへの分類を行う従来の復号化手法と異なり、任意の図形を画像として再構成するものである。脳活動パターンの学習に用いていない幾何学図形やアルファベットの形の再構成に成功したほか、見ている映像を動画として再構成することに初めて成功した (図 2)。

4) MEG を用いたオフライン復号化手法を開発し、主観的な知覚状態を数百ミリ秒〜1 秒のオーダーで予測することに初めて成功した。同様の研究は過去に fMRI を用いて行われてきたが、血流変化を計測する fMRI の制約で、5 秒〜10 秒程度のオーダーでしか復号化できなかった。今回、時間精度が高い MEG の特徴を活かし、すばやく変化する知覚状態を時間遅れなく復号化することが可能となった。さらに、自発的に生じる知覚状態の変化のタイミングを 1.5 秒程度の誤差で正確に予測することに成功した。このような試み自体が世界的にも例がなく、ヒトの主観的経験と脳活動ダイナミクスを探るアプローチとして期待される。

5) リアルタイム MEG 復号化システムを構築し、100 ms 以下の遅れで復号化結果を出力させることに成功した。現在は、このシステムを用いて、復号化結果を被験者にフィードバックしながら、視覚刺激に対する脳活動を被験者自身がコントロールできるかどうかを調べる予備実験を進めている。このようなリアルタイム MEG システムを利用した研究は世界でも例が少なく、今後、新しい実験パラダイムを切り開くことが期待される。

6) ECoG を用いたオフライン復号化解析から、脳溝内電極が上肢の運動を復号化するのに有効であることを初めて示した。さらに、実際の運動を伴わない運動イメージや運動開始前の意図、準備状態の解釈 (「先読み」) が可能なことが、オフライン解析から示された。

7) リアルタイム ECoG 復号化システムを開発し、ロボットハンドの制御に成功した。fMRI によるロボット制御システムの欠点であった時間遅れを克服し、数百ミリ秒のオーダーの時系列信号から遅延がほとんどないロボット制御を実現することができた。

3. むすび

本研究課題では、低侵襲・非侵襲脳計測信号を介して自然な脳情報を解読する「人に優しい」脳コミュニケーション・チャンネルの開発を目指し、そのための基礎技術を開発した。本研究課題で開発したシステムは、情報通信技術として役立つのみならず、ヒトの脳内情報表現を探る上で有効なツールとなる。また、リアルタイム復号化システムにより、脳と環境の間に人工的な閉回路を構築することができ、脳と環境のダイナミクスを、よりコントロールされた条件の下で調べることが可能となる。

脳情報復号化技術は、情報通信や神経科学以外の研究領域にも広範な波及効果をもつと考えられる。まず、復号化される主観的な認知内容を定量化、データベース化することにより、マーケティングや意識調査に利用することが可能となり、脳情報を利用したデータマイニング研究が進展することが考えられる。また、復号化情報を運動指令とするロボット制御の研究、ロボットとヒトの融合技術の開発が加速する可能性がある。さらに、本研

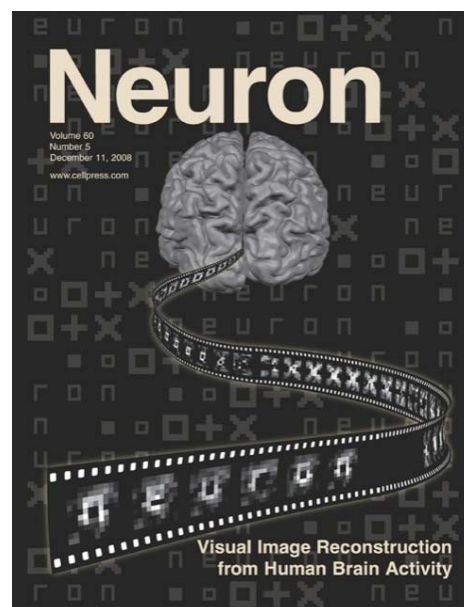


図 2 本研究課題の成果が採用されたニューロン誌の表紙デザイン

究課題で行った概念実証実験の成果が、脳計測技術の需要を高め、日常的な情報端末としても使える軽量脳計測デバイスの開発を促すことが期待される。

【誌上発表リスト】

- [1] O. Yamashita, M. Sato, T. Yoshioka, F. Tong, and Y. Kamitani, “Sparse estimation automatically selects voxels relevant for the decoding of fMRI activity patterns”, Neuroimage vol.42 No.4 pp1414-1429 (2008 年 10 月 1 日)
- [2] Y. Miyawaki, H. Uchida, O. Yamashita, M. A. Sato, Y. Morito, H. C. Tanabe, N. Sadato, and Y. Kamitani, “Visual image reconstruction from human brain activity using a combination of multiscale local image decoders.”, Neuron vol.60 pp915-929 (2008 年 12 月 10 日)
- [3] T. Yanagisawa, M. Hirata, D. Shibuya, H. Kishima, Y. Saitoh, A. Kato, Y. Kamitani, and T. Yoshimine, “Neural decoding using gyral and intrasulcal electrocorticograms”, Neuroimage vol.45 No.4 pp1099-1106 (2009 年 1 月 1 日)

【申請特許リスト】

- [1] 木村真弘、岡部達哉、神谷之康、澤島康仁、環境調節システム、環境調節方法、環境調節プログラム、日本、2007 年 8 月 27 日

【受賞リスト】

- [1] 神谷之康、日本神経回路学会研究賞、“脳情報復号化とマインド・リーディング”、2006 年 9 月 20 日

【報道発表リスト】

- [1] “脳から知覚映像を読み出す 〜ヒトの脳活動パターンから見ている画像の再構成に成功〜ニューロン誌 12 月 11 日号掲載予定 (表紙デザインに採用) -”, 2008 年 12 月 9 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

- [1] http://www.atr.jp/html/topics/press_060526_j.html
- [2] http://www.atr.jp/html/topics/press_081211_j.html