

平成23年 5月 31日現在

機関番号： 82401
研究種目： 若手研究(B)
研究期間： 2009～2010
課題番号： 21700375
研究課題名(和文)
皮質多領域における高次認知機能の解明とブレインマシンインターフェイスへの応用
研究課題名(英文) Decoding decision making and planning signal from multiple cortical areas for a cognitive-based brain-machine interface
研究代表者
Chao Zenas (CHAO ZENAS)
独立行政法人理化学研究所・適応知性研究チーム・研究員
研究者番号： 30532113

研究成果の概要(和文)：

本プロジェクトの目的は、サルにおける意思決定や計画、その二つを合わせた場合の高次脳内信号を、ECoG信号を用いてデコードする事である。プロジェクトの期間中、我々は128チャンネルのECoG電極のインプラントに成功し、これまで報告された中で、最も広範な領域を覆うことができた。加えて、新しいECoGを基とするデコーディングシステムを確立し、ECoG信号は、高次意図的運動や、視覚および聴覚的過程、社会的推理力といった高次認識機能において、豊富な情報を含んでいることを立証した。

研究成果の概要(英文)：

My main objective is to decode high level brain signals for decision making and planning, and their integration, by using electrocorticographic (ECoG) signals in monkeys. During the project duration, we successfully implanted 128-channel ECoG arrays in monkeys, covering the widest area that had been reported. We also established a novel ECoG-based decoding system and demonstrated that ECoG signals carry rich information for high-dimensional intended movements, visual and auditory processing, and high-level cognitive functions, such as social reasoning.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：神経科学・神経科学一般

キーワード：ブレインマシンインターフェイス、皮質電図、デコード、意思決定、計画

1. 研究開始当初の背景

近年の科学的・技術的進歩は、ブレインマシンインターフェイス (BMI) の発達を促進し、特に人工神経の手段としては、目覚ましい発展を遂げた。運動野の神経活動記録がデコードされ、ヒトやヒト以外の霊長類の人工肢や、モニターのカースルを動かすといった簡単なタスクを、実験環境下で行う事が可能となった人工神経 BMI デバイスのプロトタイプも報告されている。しかし、多くの研究は、運動野においての下流シグナル制御によるリアルタイム意図的運動（そのうちほとんどが手軌跡である）の抽出に焦点を当てており、高次認識信号が人工神経にデコード可能か否かについての検討は、まだ十分でない。下流アクチュエータや特定のエフェクタに有効な運動指令を用いるのではなく、高次認識信号を用いてのデコードは、新しい認識を基とする BMI に繋がる可能性がある。様々な認識レベルでの要素やそれらの複合をデコードすると、目的を達成するために必要な低次計算の遂行に、“かしこい”外部装置を用いる事ができる。つまり、“キッチンへ行ってコーヒーを作る”といったタスクは、その意図と、実際に“行って”“作る”といった運動指令を実際に行う事なく計画する、といった抽象レベルに導く事ができる。高次認識信号のデコードは、認識過程におけるそれぞれの構造や、構造全体の知見を提供し、認識を基とする BMI は今後、低次運動指令が欠損もしくは不十分である場合のバイパス機能を有する可能性も秘めている。

2. 研究の目的

認識に基づいた BMI の開発のため、連続動作を含む目標志向行動中に発生する 2 つの高次認識過程のデコードに焦点をあてる；1 件目は、どのように段階的意思決定が、目的を達成するための行動中に行われているのか、2 件目は、連続動作は、どのように実際の動作の前に計画されているのかに焦点をあてる。

1. “自由選択”タスクにおける *1-step action* の意思決定：複数の皮質領域に焦点を広げ、実験者から指示を受けない自由選択タスク中の、意図／意思決定の回路の理解をより深める試みを行う。この自由選択というアプローチにより、*nuanced judgment* の役割や意思決定中の期待について解明する事が出来る。
2. *連続行動の計画*：目的を達成する方法をサル自身が計画するといった、高次の計

画に関連している複数の皮質領域信号を、どのようにデコードするか検討する。

3. 研究の方法

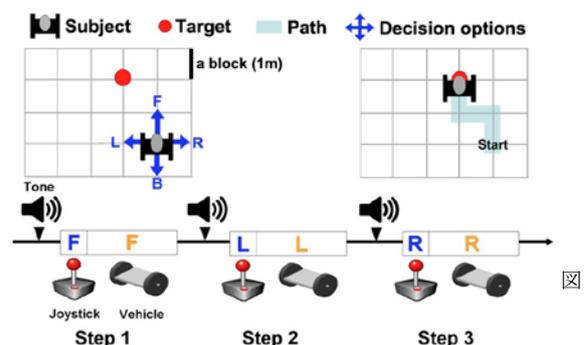
サルと二輪自動車をつなぐインターフェイスを構築する (図 1)。この二輪自動車は、サル自身がジョイスティックを使って操縦したり、オンラインデコードにより作成された運動指令を使って、操縦する事が可能である。このシステムを用いることにより、2 つの異なる、しかし関連した目標志向行動のタスクを試みる。ひとつは、自由選択タスク下の段階的意思決定のデコード (目的 1) と、もう一つは連続動作の計画 (目的 2) である。デコードされた意思決定と計画の信号を用いて運動マップを作成し、認識に基づく BMI の制御に用いる。



図 1. 模式的な認識に基づく BMI: 運動指令は、オンラインデコードや該当の運動マップによって作成されている。

目的 1 :

自由選択タスク中の段階的意思決定を、意思に基づく BMI を用いてデコードする : ECoG 電極のインプラント前に、4 頭のサルに意思決定のタスクのトレーニングを行う (図 2)。トレーニング後、実験用にカスタマイズした電極 (片側あたり 64 チャンネル) をインプラントする。この電極は、自由選択タスクへの関連が報告されている、前頭前皮質 (PFC)、頭頂皮質、体性感覚皮質 (S1) 付近により多くのチャンネルが集まっている構造をしている。全ての ECoG 信号は、チャンネルあたり 1kHz のサンプリングレートで記録され、128 チャンネル Cerebus™ data acquisition system を用いて、バンドパスフィルターにて 5-200Hz が除去されることで、リアルタイム BMI の特徴がまとめられる。



図

2. 目的指向の段階的意思決定タスク：1m 幅の道(灰色の線)が基盤の目状に描かれた移動実験エリアのスタート地点から開始する。実験を開始すると、ランダムに交点(目標地点、図上では赤い丸)が選択される。トレーニングの初期の段階では、少ない操作回数で目標地点に到達出来る。トーン音(goの合図)でサルに初めの決定を行う合図をする(第1段階)。次のステップでは、4つの違う道(2ビット)が可能である：ジョイスティックを前(F)、後(B)、左(L)、右(R)に動かす事ができる。ジョイスティックを動かすと、意思決定した方向に、自動車(1ブロック移動する。1-1.5秒後、再びトーン音が鳴り、サルに次の決定を促す合図をする(第2段階)。もし、連続20トライアルの成功率が偶然の確率よりも著しく高い場合、目標地点は以前よりも多くステップを踏まなければ行けない場所へ移動される。

2つの異なる特徴を用いて、皮質信号のdynamicを検討する。(1) 活性ベースの測定。scalogramを用いて、時間に対する周波数領域表現を評価する。加えて、電流密度の再構築(CDR)を行い、脳信号の発生領域を推定する。(2)、接続性ベースの測定。Granger causality(GC)とpartial directed coherence(PDC)を用いて、時間と周波数領域の異なる電極から記録された信号の双方向的な因果関係を定量化する。

目的2：連続動作の計画のデコードと、計画に基づくBMIを用いて、デコード可能な計画の最高数を評価する：意思決定タスクのトレーニングを済ませたサルは、図3のような、より複雑な計画を必要とするタスクを行うためのトレーニングをする。

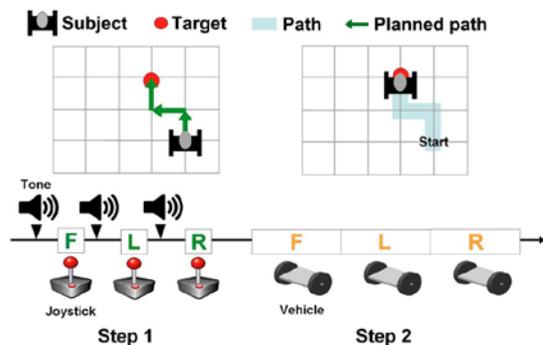


図3 目的指向の段階的動作計画タスク：意思決定タスクとの主な違いは、連続した意図的な動作が全ての動作の前に決定されている事である。開始の信号がサルに与えられ、サルはスタート地点に居ながらにして、今後の動作を1つずつ決めて行く(第1段階)。計画が終わると、二輪自動車は計画された通りに動く(第2段階)。サルは、計画したルートが目標地点に到達した時にだけ、報酬を得ることができる。意思決定のタスクと同じように、トレーニングの初期段階では、スタート地点と目標地点のステップは最少値に設定し、成功率の上昇に伴い、目標地点をこれまでよりも1ブロックずつ遠くに設定する。

目的1に記述してあるデコード測定と同じ手法を用いる。ジョイスティックの操作という同じ要素によって計画が決定づけられているが、計画を立てるといふ複雑性は、目的1で行う2ビットの意思決定よりも大き

く上回る。

4. 研究成果

サル脳内にインプラントした ECoG 電極配列を通して、記録だけでなく、刺激の投与の両方が可能となる、長期双方向性のインターフェイスを開発した。

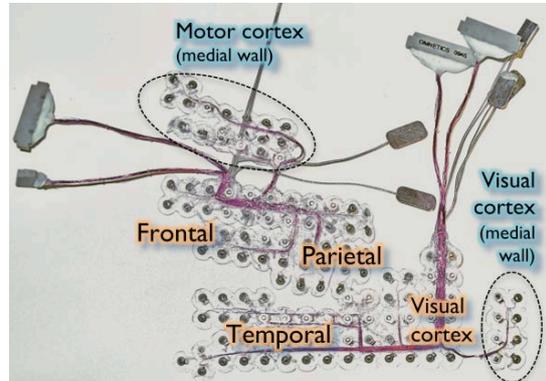


図4 128チャンネルのECoG電極：これまでのECoGでの記録において、最も広範な領域を覆う初のプロトタイプである。

また、新しいECoGを基としたデコーディングパラダイムを開発し、次のデコードに成功した：1) 視覚的/聴覚的認識 2) 高次意図的な腕及び眼球運動(図5) 3) 社会的認知のような高次認知機能。我々のECoGデコーダーの性能は、すでに存在しているSUAベースのシステムに匹敵しており、さらに安定性と耐久性においては、何ヶ月にも渡って保たれる事から、ECoGの方が遥かに優れている事が証明された。加えて、デコードモデルは、神経活動の空間と時間の統合について示し、この知見により、脳がどのように感覚情報や運動指令のエンコードを処理し、認知機能がどのようにこれらの調整を担うかを明らかにした。

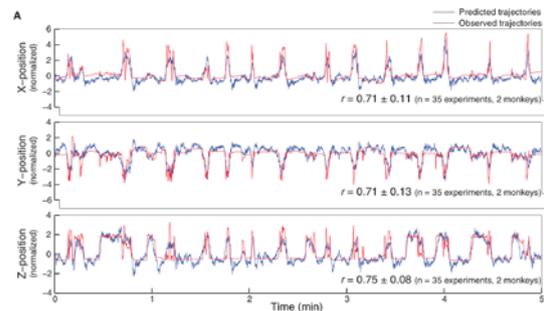


図5 PLS regressionによる手の三次元位置の非同期性デコード：5分間のvalidation session中のX-, Y-, Z-位置予測の代表的な例。予想値(青)と実際値(赤)の間にある相関係数の平均値(r)により、軌跡位置が示されている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Chao ZC, Nagasaka Y, Fujii N (2010). "Long-term asynchronous decoding of arm motion using electrocorticographic signals in monkeys." *Frontiers in Neuroengineering* 3:3. doi:10.3389/fneng.2010.00003. 査読有

[学会発表] (計 13 件)

① Combe E, Suzuki K, Chao ZC, Fujii N. "Facing a threat in a 3D environment: evaluation of the impact of depth perception on the emotional state by skin conductance and near infrared spectroscopy." 33rd Annual Meeting of the Japanese Neuroscience, Kobe, Japan, September 3, 2010.

② Nagasaka Y, Chao ZC, Hasegawa N, Notoya T, Fujii N. "Unintentional synchronization of forearm in Japanese monkeys." 70th Annual Meeting of the Japanese Society for Animal Psychology, Tokyo, Japan, August 27-29, 2010.

③ Nagasaka Y, Chao ZC, Hasegawa N, Notoya T, Fujii N. "Synchronization of Unintentional Behavior in Japanese Monkeys." 7th International Conference on Cognitive Science (ICCS), Beijing, China, August 20, 2010.

④ Shimoda K, Chao ZC, Nagasaka Y, Fujii N. "Decoding of continuous 3D hand trajectories with epidural electrocorticographic signals in the Japanese macaque." 7th International Conference on Cognitive Science (ICCS), Beijing, China, August 20, 2010.

⑤ Nagasaka Y, Chao ZC, Hasegawa N, Notoya T, Fujii N. "Unintentional synchronization of forearm movements in primates." Summer workshop of Comprehensive Brain Science Network, Sapporo, Japan, July 27-30, 2010.

⑥ Nagasaka Y, Chao ZC, Hasegawa N, Notoya T, Fujii N. "Unintentional synchronization of forearm movements in monkeys." 4th Meeting for Motor Control Studies, Okazaki, Japan, May 29, 2010.

⑦ Chao ZC, Nagasaka Y, Fujii N. "Long-term asynchronous decoding of multiple motor parameters using electrocorticographic signals in monkey." 39th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, Chicago, IL, USA, October 19, 2009.

⑧ Suzuki K, Chao ZC, Fujii N. "Decoding abstract symbols by near-infrared spectroscopic signals." 39th Annual Meeting of the Society for Neuroscience, Chicago, IL, USA, October 19, 2009.

⑨ Chao ZC, Nagasaka Y, Fujii N. "Long-term asynchronous decoding of intended hand and eye positions using electrocorticographic signals in monkey." 32nd Annual Meeting of the Japanese Neuroscience, Nagoya, Japan, September 17, 2009.

⑩ Suzuki K, Chao ZC, Fujii N. "Single-trial decoding of abstract symbols by near-infrared spectroscopic signals." 32nd Annual Meeting of the Japanese Neuroscience, Nagoya, Japan, September 17, 2009.

⑪ 柳川透, 長坂泰勇, Chao ZC, 藤井直敬. "同期における位相角度の分布に基づく領野間の関係性の推定." 生理学研究所 第3回 Motor Control 研究会, May 30, 2009.

⑫ Nagasaka Y, Chao ZC, Hasegawa N, Notoya T, Fujii N. "Unintentional motor synchronization in Japanese monkeys." 33rd Annual Meeting of the Japanese Neuroscience, Kobe, Japan, September 17, 2009.

⑬ Chao ZC, Nagasaka Y, Fujii N (Apr 29- May 2, 2009). "Long-term asynchronous decoding of 3D hand trajectories using electrocorticographic signals in primates." Proc. 4th Int. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (EMBS) Conf. Neural Eng., p263-266.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

C h a o Z e n a s (CHA0 ZENAS)

独立行政法人理化学研究所・適応知性研究チ
ーム・研究員

30532113

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者