

課題名 (タイトル) :

MTRNN を用いた ECoG 信号の再構成

利用者氏名 : 小松 三佐子

所属 : 和光研究所 脳科学総合研究センター
心と知性への挑戦コア/動的認知行動研究チーム

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

皮質脳波 (ECoG) は脳の表面に留置した電極によって計測された脳活動である。頭皮上から記録した脳波に比べ信号の精度が高く、脳に電極を埋め込む手法に比べ信号の安定性に優れていること、侵襲度の低さなどから、ブレイン・マシン・インターフェース(BMI)の情報源として近年注目を集めている。ECoG 信号から BMI を操作するために必要な情報を取り出すために、線形回帰 (Pistohl et al., 2008; Schalk et al., 2008)、サポート・ベクター・マシン (Yanagisawa et al., 2009)、人工ニューラル・ネットワーク (Cornwell et al., 2004) など様々な手法が提案されている。しかしながらこれらは何れも、動物やヒトの腕の位置といった BMI の操作に使用する情報と ECoG 信号との間のマッピングを抽出することを目的としており、ECoG 信号の基盤となる脳内のメカニズムについては着目していない。

本研究ではこの脳内メカニズムに焦点を当て、ECoG 信号を生成する基盤である神経活動と行動の円環的因果律 (circular causality) を抽出することを目標とする。さらに、行動が神経回路のダイナミクスから生成されるならば、神経活動と行動の circular causality を再現できれば、数秒後の行動を予測することも可能になると考えられ、その手法の確立を目指す。

ECoG 信号から神経活動と行動の circular causality を抽出するために、本研究では Multiple Time-scale Recurrent Neural Network (MTRNN) を用いる。MTRNN は申請者の所属する谷研究室で提唱しているモデルであり、谷研究室では、ネットワークとロボットの行動・環境の変化との間の circular causality が MTRNN 内部に

獲得されることをロボット実験において示してきた (Yamashita and Tani, 2008)。

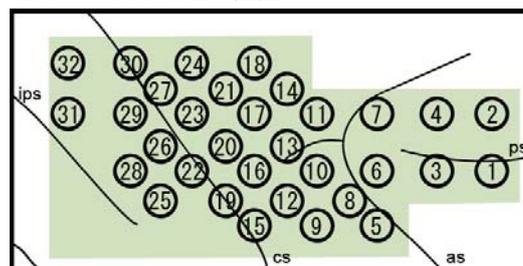
MTRNN はいくつかの局所回路からなり、その局所回路が時定数に応じた動的状態をネットワーク内部に獲得することで、MTRNN は複雑な時空間ダイナミクスを再現できる (図 1)。ネットワークの学習はロボットの感覚入力と運動出力を教示データとしてネットワークに与え、通時的逆伝搬 (BPTT) (Rumelhart et al., 1986) を用いてネットワークのシナプス荷重を変更することで行われる。

本研究では、サル脳の多点計測された ECoG 信号および同時に計測された動物の行動データを教示データとして用い、MTRNN 上に神経回路のダイナミクスを再構成する。

2. 具体的な利用内容、計算方法

理化学研究所適応知性研究チームより到達運動課題実行中のサルの ECoG 信号およびサルの手先位置の提供を受けた。ECoG 信号を入力、手先位置をネットワークモデルの出力の教示データとして用い、シナプス荷重および時定数を学習させることでネットワーク上に神経回路のダイナミクスを再構成する。

図 1. ECoG 電極の位置



シミュレーションに用いた MTRNN モデルは上部回路と下部回路からなり、下部回路のユニットが運動出力ユニットとの結合を持つ。50-80Hz

のバンドパスフィルターを適応した ECoG 信号の強度を計算し、前頭前野および前頭眼野の ECoG 信号 (図 1、1-8 チャンネル) を上部回路、それ以外を下部回路への入力とした。出力ユニットの活動は対応する教示データの手先位置と比較され、尤度を最大化するようにネットワークのシナプス荷重および時定数を通時的逆伝搬 (BPTT) (Rumelhart et al., 1986) を用いて変更された。データは全部で 15 分あり、そのうちはじめの 10 分をネットワークのシナプス荷重および時定数の学習に用い、残りの 5 分をモデルの評価に用いた。乱数の初期値を変えて 100 回のシミュレーションを行った。

3. 結果

50-60Hz の ECoG 信号を入力、500 ミリ秒後の手先位置を出力として MTRNN の学習を行い、学習に用いていない ECoG 信号から 500 ミリ秒後の手先位置を高い精度で予測することに成功した (図 2)。

100 回のシミュレーションを行ったところ、ネットワークは学習に用いていないデータについても入力された皮質脳波より 500 ミリ秒先のサルの腕の位置を予測することができた (correlation coefficient = 0.61 ± 0.05 , Mean \pm SD)。また、下部コンテキストユニットの時定数の中央値は 2.10 (IQR, 1.18 to 12.25) であり、上部コンテキストユニットの時定数の中央値 (median value = 13.58; IQR, 1.08 to 27.23) に比べて小さかった。この結果は谷研究室で得られたロボット・シミュレーションにおいて出力部に近いネットワークの時定数が小さくなるという結果 (Yamashita and Tani, 2008) と一致している。

4. まとめ

500 ミリ秒先の手先位置が十分な精度で予測できることは、MTRNN が BMI アプリケーションの基盤となり得る可能性を示している。しかしながら、ネットワークの非線形ダイナミクスにより予測が可能になったという結論を導くためには、今後、同じデータを用いて線形回帰などで手先位置の予測を行った結果と比較する必要がある。

また、現在の課題では MTRNN モデルの重要な特徴を生かしていない可能性が高い。MTRNN モデルの最大の利点はネットワークの階層的なダイナミクス、すなわち、上部回路が下部回路を制御することで複雑な認知行動を実現可能な点であるが、現在の課題では餌の提示と動物の行動がほぼ対応しているため、感覚運動変換のマップを作っただけに過ぎず、上部回路が不必要である可能性を否定できない。したがって、MTRNN を用いる利点を主張するためには内因によって行動が変化する課題が必要である。

5. 今後の計画・展望

内因によって行動が変化する課題として、社会行動課題を用い、ECoG 信号からサルの手先位置を予測するシミュレーションを行う。社会行動課題では社会的文脈に依存して運動出力が異なるため、ECoG が記録された領野間に階層的な構造が存在するならば、MTRNN 上にその階層的ダイナミクスを抽出できるのではないかと考えている。その過程で、ECoG 信号が記録された前頭前野、運動前野、一次運動野、頭頂葉といった脳領野間の機能結合を推定する。

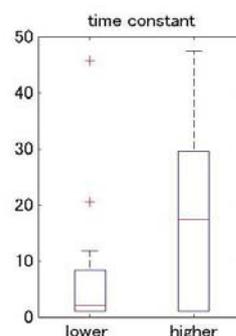
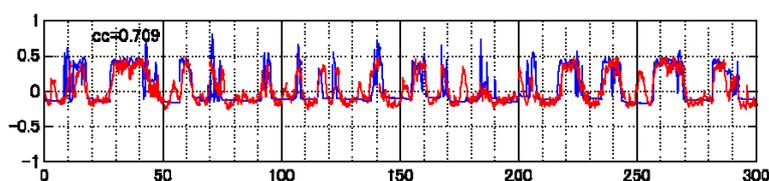


図 2. 左図) 予測した軌道の例。サルの手先位置 (青) とネットワークの出力 (赤)。右図) 学習によりネットワークに獲得された時定数の分布。下部ネットワークの時定数は上部ネットワークよりも小さい。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容

平成 22 年度中、申請者は到達運動課題遂行中のサルの前頭皮質から手先位置の予測シミュレーションを行った。50-60Hz のバンド・パス・フィルターを適応した前頭皮質波を入力、500 ミリ秒後の手先位置を出力として MTRNN の学習を行い、学習に用いていない前頭皮質波から 500 ミリ秒後の手先位置を高い精度で予測することに成功した。

しかしながら、このときの課題は目の前の餌を取って食べるという単純な到達運動課題であったため、運動野の限局されたチャンネルのみで手先位置の予測が可能であり、多数の領域の相互作用から行動が生じるメカニズムを検証するためにはもっと複雑な課題が必要であった。そのような課題として来年度は、社会的文脈に基づく到達運動課題に着目してシミュレーションを行う予定である。

まず、社会行動課題実行中のサルの手先位置を MTRNN を用いて予測可能であることを RICC を利用したシミュレーションにより示す。次に、学習により獲得されたネットワークの内部状態を解析する。社会的文脈の違いは、運動に先立ってネットワーク内部に異なるアトラクターとして表現されていることが期待されるが、そのことを、位相図などにより明らかにする。また、シナプス結合の仕方や時定数の分布を調べることで、前頭皮質波を記録した局所領域の機能表現、局所領域間の階層性などを明らかにする。

平成 22 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議、学会などでのポスター発表】

研究者 小松三佐子、Zenas C. Chao、柳川透、藤井直敬、谷淳

題名 Prediction of one dimensional hand trajectories from electrocorticograms in a monkey using Multiple Timescale Recurrent Neural Network

会議名 第 33 回日本神経科学大会

場所 神戸コンベンションセンター 神戸

年月 2008.7.9 ~ 2008.7.11

【その他】

研究者 Misako Komatsu, Toru Yanagawa, Naotaka Fujii, Jun Tani

題名 Prediction of monkey's behavior under different social situations from monkey ECoGs using Recurrent Neural Network

会議名 Riken BSI Retreat 2010

場所 ホテルヘリテージ 埼玉

年月 2010.9.14 ~ 2010.9.15

※下線は発表者