

Title	数理ニューロンモデルを使った下オリーブ核における 情報伝達効率向上に関する基礎研究
Author(s)	高沢, 千裕
Citation	
Issue Date	2008-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/4323
Rights	
Description	Supervisor:徳田功, 情報科学研究科, 修士

数理ニューロンモデルを使った下オリーブ核における情報伝達効率向上に関する基礎研究

高澤 千裕 (610052)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2008 年 2 月 7 日

キーワード: 下オリーブ核, μ -モデル, フィードバック誤差学習, 小脳.

1 はじめに

脳の機能は人間の行動や認知を制御することである。特に小脳は運動制御において重要な役割があることが知られている。また、小脳の構造は比較的単純であり学習による小脳の可塑性を調べることで学習モデルが提案されてきた。

小脳における内部モデル仮説は川人らによって提案され、生理実験等における検証が活発に行われている。内部モデルにおける学習としてはフィードバック誤差学習が代表的であり、この中で下オリーブ核は誤差信号を登上線維へ伝送する主要器官であると想定されている。しかし、下オリーブ核ニューロンは発火頻度が低いことが知られてるため、十分な情報を含んだ誤差信号を伝搬する事ができるのか疑問視されてきた。

Schweighofer らは生理データに基づいた小脳の神経回路モデルを構築し、下オリーブ核ニューロン同士の非同期的発火によるカオスの振る舞いが、ネットワーク全体として効率的な情報伝搬を可能にして、学習の効果を高めていることを提案した。

そこで本研究は、 μ -モデルの発火頻度を調節した下オリーブ核ニューロンネットワークモデルでの非同期的発火による誤差情報伝搬と、リアプノフ指数によるカオスの振る舞いを関連づけてシミュレーションして Schweighofer らの仮説の検討を行った。

2 ニューロンモデル

本研究は自由度が低く取り扱いやすい2変数モデルである μ -ニューロンモデルを使う。下オリーブ核ニューロンは発火頻度が1–2 [Hz]と非常に低い。そこで、時定数 τ を μ -モデルに導入し μ -ニューロンモデルの発火頻度を下オリーブ核の発火頻度に合わせた。ニューロン同士は一次元結合の周期的境界条件を想定した。

3 誤差情報伝搬の評価

下オリーブ核は誤差信号を伝搬する器官であることが想定されている。本研究は、入力と出力の平均発火率の相関によって誤差信号伝搬に有効な結合強度領域を評価する。また、結合強度領域におけるカオスの高さを評価するためリアプノフ指数を計算した。さらに、ニューロン同士が非同期発火している結合強度領域をニューロン同士の相関により判断する。

これらの結果から、ニューロン同士が非同期的に発火している結合強度領域においてリアプノフ指数が高く、誤差情報伝搬が有効な結合強度領域が存在することを確認した。これにより Schweighofer らの仮説を検証することができた。しかし、同じ評価による結果から、Schweighofer らの仮説を確認した結合強度領域よりもさらに低い結合強度領域において、リアプノフ指数が低いにも関わらず誤差情報伝搬に有効である結合強度領域があることが確認できた。これにより、Schweighofer らの仮説とは異なる誤差情報伝搬に有効な結合強度領域があることが示唆された。そのため、Schweighofer らの仮説と同じ結合強度領域と Schweighofer らの仮説とは異なる結合強度領域について検討を行う。

4 非一様なニューロンモデルでの評価

現実には存在するニューロンは完全に一様ではない。そこで、個々のニューロンが非一様な発火特性である場合を想定して誤差情報伝搬に有効な結合強度領域を評価する。個々のニューロンを非一様な発火特性にするため、 μ -モデルの発火特性を決める定数 μ を $\mu \pm (\mu \times 5\%)$ と $\mu \pm (\mu \times 10\%)$ の乱数によって決定した。これにより、3章で確認できた2つの結合強度領域における誤差情報伝搬に有効な結合強度領域とリアプノフ指数の関係に変化がおこるのか検討する。

この結果、個々のニューロンが非一様な場合でも3章で確認することができた誤差情報伝搬に有効でリアプノフ指数が高い結合強度領域を確認し、これとは異なるリアプノフ指数が低いにも関わらず誤差情報伝搬に有効な結合強度領域について確認した。

5 ロバスト性の評価

小脳学習を効果的に行うためには正確な誤差信号を伝搬する必要がある。ニューロンがノイズの影響を受にくいことは正確な誤差信号を伝搬する上で重要な評価尺度であると考えられる。そこで、誤差信号伝搬に有効な結合強度領域とロバスト性の関係について検討するため μ -モデルの個々のニューロンにノイズを加えた場合を想定して誤差情報伝搬に有効な結合強度領域を評価した。

この結果、Schweighofer らの仮説のよる結合強度領域よりも Schweighofer らの仮説と異なる結合強度領域のほうがロバスト性を保持することが示された。

6 発火タイミングの評価

サロゲートデータとは、 μ -モデルのシミュレーションによって得られたオリジナルスパイクデータから時系列の一部の統計量を保存するように作ったスパイクデータである。Schweighofer らの仮説と異なる結合強度領域のオリジナルスパイクデータとサロゲートデータを比較することで、この結合強度領域の誤差情報伝搬の評価の高さがタイミングによって起こっているのか検討を行うことができる。

この結果から、Schweighofer らの仮説と異なる結合強度領域の誤差情報伝搬の評価高さは発火のタイミングの影響が関係していると考えられる。

7 まとめ

本研究は、自由度が低く取り扱いやすい2変数モデルである μ -ニューロンモデルにより Schweighofer らの仮説の検証をおこなった。その結果、Schweighofer らの仮説を確認できたが、これとは異なる結合強度領域において誤差情報伝搬に有効な結合強度領域が確認された。そのため、ニューロンが非一様な発火特性を持つ場合の検討、ロバスト性の評価、Schweighofer らの仮説と異なる結合強度領域の発火のタイミングについて考察をおこなった。4つの結果を通し、誤差情報伝搬における Schweighofer らの仮説と異なる結合強度領域の有効性を示唆することができた。

今後の課題としては Schweighofer らの仮説と異なる結合強度領域の誤差情報伝搬が μ -ニューロンモデルのみによるものなのかどうか検討する必要がある。また、小脳学習のモデルであるフィードバック誤差学習に組み込むことで、結合強度領域による誤差情報伝搬と小脳学習について検討できると考えられる。

参考文献

- [1] N. Schweighofer, k. Doya, H. Fukai, J. Vianney, T. Furukawa, M. Kawato, "Chaos may enhance information transmission in the inferior olive", The National Academy of Sciences of the USA, vol.101 no.13, pp.4655-4660, 2004
- [2] I. Tsuda, H. Fujii, S. Tadokoro, T. Yasuoka, Y. Yamaguti, "Chaotic Itinerancy as a Mechanism of Irregular Changes Between Synchronization and Desynchronization in a Neural Network", WSPC/INSTRUCTION FILE TF.JIN, May, 31, 2004