

脳のモデルとしてのニューラルネットワーク

目次

1	初めに	2
2	神経生理早わかり	2
3	発火率モデル	2
3.1	Feed forward model	2
3.2	RNN	2
3.2.1	RNN	2
3.2.2	Dale の原理を守った RNN	2
3.2.3	LSTM を理解する	2
3.2.4	GRU を理解する	3
4	Spiking model	3
4.0.1	rate model を Spiking model に変換する	3
4.0.2	rate model のフレームワークで Spiking model を実装する	3
5	ANN の解析方法	3
5.0.1	受容野解析	3
5.0.2	不活性化解析 (Ablation analysis)	3
5.0.3	CCA	3
5.0.4	固定点解析	3
6	脳内の神経表現の再現	3
6.1	視覚経路	3
6.2	グリッド細胞	3
7	ニューラルネットワークの学習と発達	3
8	あとがき	3

1 初めに

昨今の機械学習で大流行りしたニューラルネットワークは脳を模すと言われています。これは ANN が元々神経回路のモデルから始まったからです。しかしニューラルネットワークは脳と全く似ていないとよく批判され、ニューラルネットワークの構成要素を”人工ニューロン”と呼ばず、”ユニット”と呼ぼうという声も随分前からあります。しかし、昨今の Nature Neuroscience（神経科学のトップジャーナル）では毎月のように ANN を用いた研究成果が発表されています。要は ANN を脳のモデルとして用いることが認められているのです（※ただし、最低限の生物学的妥当性 (biological plausible) がなくてはダメ）。

このようなことから少し前の通説と最新の研究の間に意見の相違があることは明らかです。それでは最新の研究はどのようなことを取り扱っているのでしょうか。ANN はどのように捉えれば良いのでしょうか。

前置きとして宣言しますが、この本の内容は完全に信用しない方がいいです。そもそも自分のミスもありますし、好き勝手言っている節もあるためです。ただし、合っているかは別として面白いと思った話は掲載しています。

というわけで位置づけとしては、Abott 本に付け加える形で最近の論文の内容をまとめたものです。

2 神経生理早わかり

初めに神経生理学について説明しておきます。発火率コーディング (rate coding) と temporal coding がある（位相前進とか）

3 発火率モデル

3.1 Feed forward model

いよいよ NN を見ていきます。私の話で恐縮ですが、NN を正しく脳のモデルと理解するまでかなり時間がかかりました。混乱した原因は「加算」と「閾値を超えると発火」という点です。結論から先と言うと、今言われている典型的なニューラルネットワークは「発火率モデル」というものです。

まず、初めにマカロック-ピッツ (McCulloch-Pitts) から見てみます。ANN は脳のようであると言われていたが実際にはそうではない。発火率モデルとして捉えられる。ので、ミクロに見ればスパイクを出してはいないが、少しマクロにニューロンの活動のダイナミクスを見ると一致している。

3.2 RNN

3.2.1 RNN

微分方程式で書くと、

$$\tau \frac{dr}{dt} = -r + f(W^{\text{rec}}r + W^{\text{in}}u + b^{\text{rec}} + \xi)$$

これを first-order Euler approximation を用いて離散化 (time step Δt) すると、

$$r_t = (1 - \alpha)r_{t-1} + \alpha f(W^{\text{rec}}r_{t-1} + W^{\text{in}}u_t + b^{\text{rec}} + \xi_t)$$

3.2.2 Dale の原理を守った RNN

Dale の法則. この法則は現在は修正されていますが、それでも

3.2.3 LSTM を理解する

subLSTM

3.2.4 GRU を理解する

LSTM は何とか理解すると、今度は GRU という機構が出現する。この機構が全く理解できなかったが、最近になって理解した。時定数の調整。

4 Spiking model

4.0.1 rate model を Spiking model に変換する

4.0.2 rate model のフレームワークで Spiking model を実装する

5 ANN の解析方法

5.0.1 受容野解析

STA, STC など

5.0.2 不活性化解析 (Ablation analysis)

5.0.3 CCA

5.0.4 固定点解析

6 脳内の神経表現の再現

6.1 視覚経路

6.2 グリッド細胞

内側嗅内皮質等で発見されている。自己の位置を推定するために用いられていると示されている。また、視覚内においても、世界を Grid に分割しているのではという研究もある (Visual grid cell)。

7 ニューラルネットワークの学習と発達

8 あとがき

ヒトの脳の解剖をしたときには理解不能だった。