

情報意味論

コネクショニズム connectionism

櫻井彰人
慶應義塾大学工学部

今日は

- ニューラルネットとは (or コネクショニズム or PDP Parallel Distributed Processing)?
- ニューロンと関係あるのか?
- 何ができるのか?
- どうやってできるのか?
- 人間の認知とどう関係するのか?

ニューロンとは?

- “There is no such thing as a typical neuron”,
Arbib, 1997

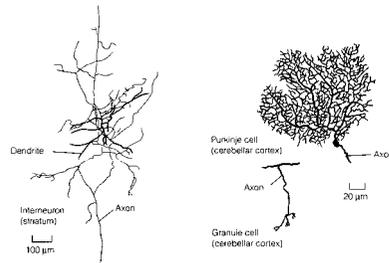


Fig. 1. The morphologies of three common types of neuron. The full length of the axons is not shown. The bifurcating axon of the granule cell extends for several millimeters in each direction. Note how the axon of the interneuron branches extensively.

多分典型的なニューロン

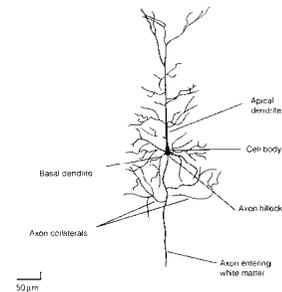
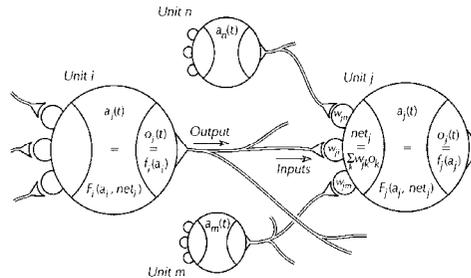


Fig. 1. Key features of a neuron. A drawing of a pyramidal cell showing the distribution of neurites (dendrites and axon).

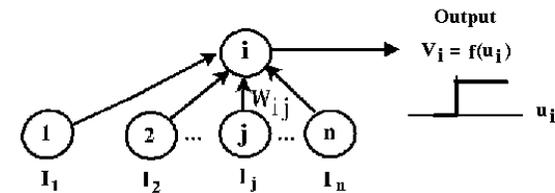
モデルニューロンのネットワーク

- ニューロンの単純化した数学的モデルが考えられた
...



処理系としてのニューロン

- 個々のニューロンは、入力値をある関数に従って処理する
- 初期のモデルは階段関数を用いた。現在では、シグモイド関数を用いることが多い



ニューロンにヒントを得た情報処理

- ニューラルネットは、ニューロンにヒントを得た情報処理モデルというべき
- 脳について知りえたことより、大幅に簡化されているのが、普通 - とはいえ、イノベーションはしばしば脳研究から、例:
 - Spiking neural nets

ニューロンにヒントを得た情報処理

- ニューラルネットモデルは、超並列
 - 単純な処理装置の大量接続
- 記号処理とは異なった情報処理が行える
 - 異なる原始機能 (実行が容易) が使える

McCulloch and Pitts

- Warren S. McCulloch and Walter Pitts (1943) "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5: 115-133.



- ニューロンの非常に単純化した(しかし数学的な)モデル
- もしニューロンがこのようであれば、任意の関数が計算できることを示した
- けれども、学習は...?

Donald Hebb

- Donald O. Hebb (1949) "The Organization of Behavior", New York: Wiley
- "What fires together, wires together"
- 生物学的には首肯できる
- 今でも用いられることがある(普通は使わない)、「ニューロン間の結合荷重は、その活動の相関に依存して変化する」という一般的な概念は、広く用いられている。

パーセプトロン Perceptron

- Rosenblatt, F. (1957). "The perceptron: A perceiving and recognizing automaton (project PARA).", Technical Report 85-460-1, Cornell Aeronautical Laboratory.
- Rosenblatt, F. (1962). "Principles of Neurodynamics.", Spartan Books, New York.

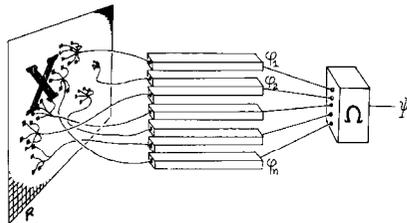


FIGURE 1. The one-layer perceptron analyzed by Minsky and Papert. (From *Perceptrons* by M. L. Minsky and S. Papert, 1969, Cambridge, MA: MIT Press. Copyright 1969 by MIT Press. Reprinted by permission.)

パーセプトロン

- 何ができるか?
 - 文字(アルファベット)認識
 - いくつかのパターン認識課題(形の認識等.)
 - しかも、パーセプトロン学習規則は、それが解くことができる全ての課題について、解を発見することができる、と証明できる

The Perceptron

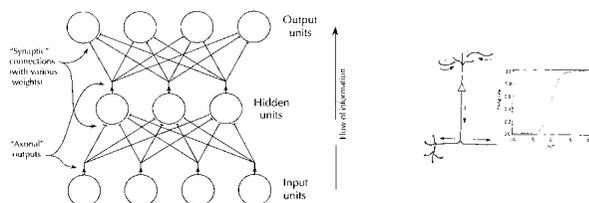
- 何ができないか?
 - パリティ
 - 結合性
 - XOR 問題
 - 線形分離可能でない問題
- Marvin L. Minsky and Seymour Papert (1969), "Perceptrons", Cambridge, MA: MIT Press
- McCulloch & Pitts ニューロンのネットワークは Turing 機械と等価; でも 'それで?':
 - 学習させる方法知らない
 - 予想: 任意のネットワークを学習させるアルゴリズムは、単に、存在しない

PDP

- この本のせいで、この分野の研究が20年遅滞したという...
- 転機: D.E. Rumelhart, J.L. McClelland, eds., "Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition", MIT Press, 1986.
 - 論文の集成, 数学的なものから哲学的なものまで
 - うまくいった実験結果をたくさん示している一方:
 - 誤差逆伝播学習アルゴリズム back propagation learning algorithm: 結局のところ多くのニューラルネットワークの学習を可能とした.
 - [実は、類似の技法は、この間、発見されていた (Amari 1967; Werbos, 1974, "dynamic feedback"; Parker, 1982, "learning logic") ので、再発見という言葉が適していよう。しかし、この分野を再出発させたことは大きな成果である。]

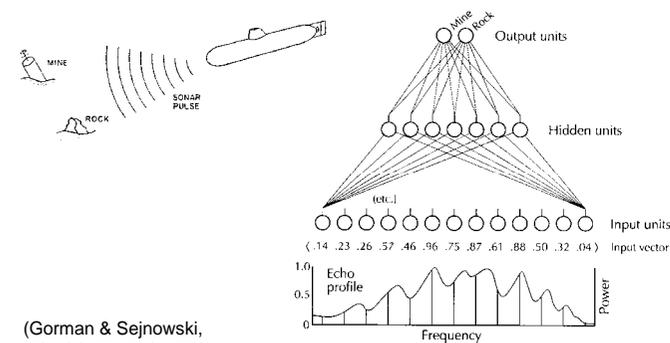
Back Propagation

- 適用範囲: multi-layer 'feed-forward' (only) networks:



- 結合荷重は、誤差を逆伝播したものに比例して修正される...

何ができるか?



(Gorman & Sejnowski, NC 1(1), 75-89 (1988))

実装は問題になるか?

- Feldman (BBS, 8(2), 265-313, 1985): *The 100-step program constraint* (別名 '100-step rule')
- ニューロンは遅い, 一つのニューロンの動作が何であっても, 人間の日々のタスクを完遂するには, 100個以上のその動作を(直列には)行うだけの時間はない
- ニューロンは超並列を用いて, この問題を解決しているように思える(原理的には可能. 例えば, $\sim 10^{10}$ 個のニューロンがあるし, それぞれが $\sim 10^3$ 個程度の(他の素子への)結合を持っている

心理学の対象はどのレベル?

- Rumelhart & McClelland は, 心理学的データ(記憶、言語等)が関係するのは:
 - 性能, ノイズや他の悪条件のもとでの性能低下, ある特定の問題は難しいかやさしいか, どの問題が早く解けてどの問題は時間がかかるか, 情報はどう表現されているか, 等々
- しかし, 両者は, ニューラルネットワーク研究も全く同じ問題を対象としていると論じている. 少なくとも, ニューラルネットワークと心理学とは同じアルゴリズムレベルの議論をしていると言う事はできる. すなわち, 我々が何をやっているかではなく, どうやっているか, という問題である.

レベルはいくつあるか?

- Marr の3レベルは単純化しすぎであろう, Rumelhart and McClelland も Churchland and Sejnowski も, 複数レベルを考慮する必要があるとしている:
 - 生物化学的
 - 細胞膜
 - 単細胞
 - 神経回路
 - 脳のサブシステム
 - 脳のシステム
 - 脳地図
 - 中枢神経システム全体

画像の出典

- A. Longstaff (2000), "Instant Notes: Neuroscience", Oxford: BIOS Scientific
- J. Haugeland (1997) ed., "Mind Design II", Cambridge, MA: MIT Press
- D. Rumelhart & J. McClelland (1986) eds., "Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition"
- W. Lycan (1999) ed., "Mind and Cognition: An Anthology", Oxford: Blackwell
- <http://heart.cbl.utoronto.ca/~berj/ann.html>