

## 細胞分化アルゴリズムを適用したニューラルネットワーク

## A Neural Network with Cell Differentiation Algorithm

吉信 真之

Masayuki YOSHINOBU

This paper describes a new computational model of a neural network that applying a cell differentiation algorithm and its application example. In a lot of previous works, to optimize a neural network with genetic algorithm, phenotypes are applied as a genotype in a direct encoding method. However, this causes a geometric progression of the calculation amount in making combinations of genotypes. On the other hand, a body of real multi-cellular organisms is constructed by cells' mutual interaction without such a calculation problem. By applying the knowledge by researches about physical behaviors of cell differentiation, the parameters of each node in a neural network can be regulated by the mutual interaction of nodes through the behaviors of virtual molecules so as proteins and enzymes etc., and a neural network with more nodes as a phenotype can be constructed with less information of genotypes with reproducibility.

## 1. はじめに

より効率的な処理を行う仕組みを有するニューラルネットワーク(以下 NN)を構成するため、今日様々な試みが行われている。近年では遺伝的アルゴリズム(以下 GA)を用いて NN の最適化を図る方法などが試みられているが、本稿ではその試みの一つとして、遺伝的アルゴリズムに加えて、更に細胞の分化するアルゴリズムを取り入れた間接コード化による GA によって最適な NN のパラメータを探索する方法とその事例について述べる。

## 2. 現状におけるGAを適用したNNの課題

一般に GA によって NN のパラメータの最適化を図る際に、遺伝型と表現型についてその区別はなされておらず、表現型をすなわち遺伝型として用いる直接コード化によって交叉や突然変異などの処理が行われている。その場合、表現型がそのまま遺伝型として扱われるため、ネットワークの規模が大きくなるに従い遺伝情報も併せて大きくなってしまふことや、交叉を行うに際しいずれの部分について交叉させるかを適宜設定する必要が生じるなど探索効率に課題がある。

## 3. 細胞分化アルゴリズム

一方、実際の多細胞生物においては、交叉などの遺伝的な処理は単細胞である受精卵の時点で行われ、その後の細胞分裂を経て、タンパク質やペプチド、酵素等の分子や各種イオンを通じた細胞の相互作用によって細胞が分化し、細胞接着タンパク質などが関与することでその構造を形成し、また種の選択においては、その表現型に淘汰圧がかかることによって適応度の高い種が選択されている。

幹細胞から細胞が分化するアルゴリズムは金子らによる参考文献[金子 03]に詳しく、遺伝型に比し情報量が多い表現型が再現性を有しつつ得られること、また、仮想の細胞モデルを用いるという点で NN と近似しているという特徴を有している。

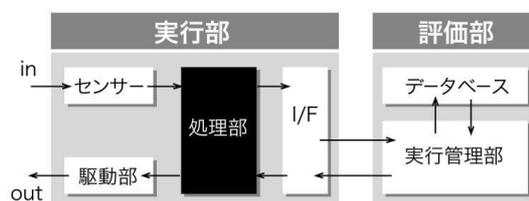


図1:システム構成図

そこで、前述の NN モデルの課題を補うことを狙いとして細胞の分化するアルゴリズムを適用した NN のモデルの例を以下のセクションにて述べる。

## 4. 細胞分化アルゴリズムを適用した NN

## 4.1. 概要

細胞の分化するアルゴリズムを適用して目的とする NN の構造を探索する方法として、NN を利用したパターン処理を行うシステムの事例を述べる。なお、本事例では特に用途は限定していない。

細胞内の分子は DNA を含め相互に反応することで新たな分子を生成しつつも、分子の反応ネットワークによってその恒常性を保っているが、細胞分化の過程において細胞の数が分裂によって増加していくと、細胞内の分子の数量の推移に変化が生じる[金子 03]。本事例ではこの細胞内の分子の数量の推移が変化する特徴を利用する。

本探索方法では、NN のノードを仮想的な細胞として、また、遺伝型を遺伝情報として扱い、表現型は淘汰圧をかける際に用いることで期待する NN の初期値を探索するものとする。

## 4.2. システム構成

本システムでは、任意の環境下において、センサーにより動作環境を感知し、NN によって最適な動作を実施する実行部と、実行部に対する基本設定を行うとともに、実行部の動作結果を評価する評価部にて構成する。

連絡先: 吉信 真之, m.yoshinobu89vn@gmail.com

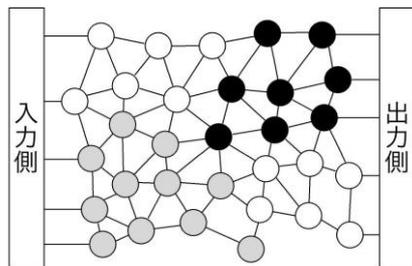


図2: 処理部

ノードの分化を円形内の表示の違いで表現している。

実行部は、細胞分化アルゴリズムを適用した NN(処理部)および入力部と出力部、そして評価部との情報交換を行うインターフェイスを有しており、外部環境からの入力をセンサーにて受け、処理部で演算を行い、その結果を駆動部に出力する。

評価部は、実行部に対して NN の初期設定を行うとともに、任意の動作期間を一区切りとして動作後の実行部の動作内容について評価した評価情報を個体の評価としてデータベースに保持し、複数回、または複数回の実行部のそれぞれの評価情報を管理することにより、もっとも有効な動作を実行する初期設定を導き出す処理を行う。

処理部は、仮定の培地とノードによって構成される NN を有しており、培地とノードには仮定の分子が分布している。

細胞の分化するアルゴリズムの詳細については参考文献に詳しいため、本稿では省略する。

仮定分子はあらかじめ複数種類の相互に作用する反応確率の異なる分子を定義しておき、その反応確率により仮定の触媒分子を介した相互反応によって別な仮定分子を生成する。

また、これらの仮定分子はその種類と数量によって他のノードとの接続重み、発火閾値、不能期など NN に利用されるパラメータのほか、細胞接着分子に類した細胞間の距離を調整するパラメータや、細胞膜に存在する分子やイオンの流入を制御するチャネルタンパクなどのパラメータを設定するものとする。

仮定細胞であるノードは内部に仮定分子を有しており、仮定分子が仮定の細胞膜を通して流入・流出するが、仮定分子は培地に持続的に追加されるため、多くの種類の仮定分子が分子濃度高い培地側から分子濃度の低いノード内へ流入する。ノード内の仮定分子数が一定数量を超えたときに細胞分裂するものとする。

#### 4.3. 生成手順

まず、実行部の仮定の培地に仮定分子およびノードを配置し、個体の初期状態とする。

培地に仮定分子を供給すると、仮定分子は細胞膜を通してノード内に流入する。前述のように、ノード内の仮定分子の数量が増えることでノードは細胞分裂してその数を増やす。

ノード内の仮定分子は相互に反応して別な仮定分子の生成を繰り返すが、ノードの数量が増加すると、ノード内の仮定分子の数量の推移のパターンが変わり、また培地に存在する仮定分子の濃度と相互に作用してノードは分化する。このようにして内部状態の性質が異なるノードが生成される。仮定分子は NN に利用されるパラメータの調整を行うため、各ノード内の仮定分子の数量の傾向が変化することから、独自の初期状態を持つネットワークが形成される。

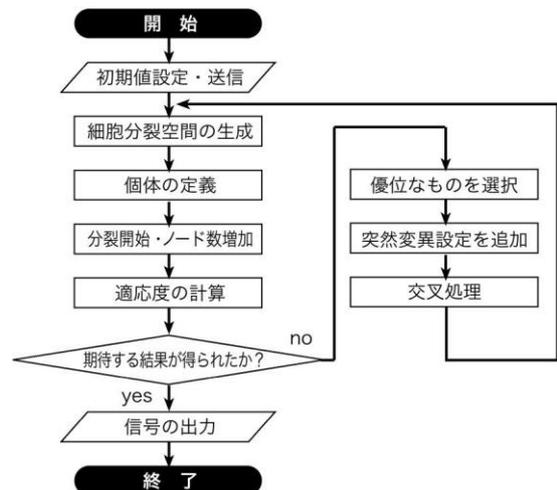


図3: 実行フローチャート

形成されたネットワークについて評価部で評価を行い、期待する結果の得られるネットワーク構造となっていれば、その状態をネットワークのパラメータとして出力し、探索を終了する。期待した結果が得られなければ、優位な個体を選択し、初期状態について突然変異や交叉等の遺伝的アルゴリズムによる処理を加えて新規に初期状態を生成し、期待する結果が得られるまでこれまでの手順を繰り返す。

以上の手順によって目的とするネットワーク構造を探索する。

#### 5. まとめ

直接コード化手法による GA を適用した NN に比べて、交叉等の遺伝的計算処理による探索の計算量を抑えて効率的に目的とするネットワーク構造を探索する事が可能な方法として、NN に細胞分化アルゴリズムを適用する方法とその事例について述べた。

本方法では細胞分化アルゴリズムを用いるため、そのプロセスについて計算量が増加してしまうなどの課題を有しているが、分子生物学や生物・神経組織の形態形成に関する研究も多くなされている。これらの知見を活用することで更なる効率化や具体的な応用が可能と考える。

#### 参考文献

- [金子 03] 金子邦彦：生命とは何か，東京大学出版会，2003.
- [古澤 02] 古澤力：Origin of Multicellular Organisms as an Inevitable Consequence of Dynamical Systems, THE ANATOMICAL RECORD 268:327-342, 2002.
- [古澤 06] 古澤力：Morphogenesis, plasticity and irreversibility Int. J. Dev. Biol. 50: 223-232, 2006.
- [Alberts 01] Bruce Alberts：Molecular Biology of The Cell 4th edition, Garland Pub, 2001.
- [藤本 10] 藤本仰一：空間パタン形成の遺伝子ネットワーク進化的理論 — ネットワーク構造と機能の対応づけ, 生物物理 50, 18-22., 2010.