

研究進捗報告

計算神経科学研究室

M2 村上敦彦

平成 26 年 12 月 18 日

1 研究背景

2 方法

本研究の方法は主に Torben-Nielsen et al[2] を参考にしている。方法の概略は、あらかじめ設定した神経細胞の機能をうまく実現する神経細胞形態を進化的アルゴリズムを用いて探索するというものである。神経細胞の形態は確率的に与えられ、その形態生成の際に用いるパラメータを進化的アルゴリズムにおける遺伝子とする。方法の概略図を以下の図 1 に示す。

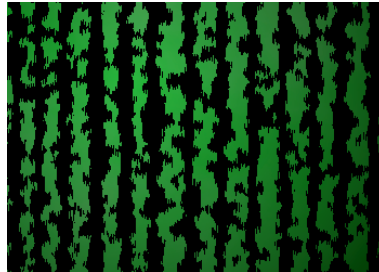


図 1: inverse approach

以下の節において、方法の詳細 (形態生成, 進化的アルゴリズム, シミュレーション) を述べる。

2.1 形態生成

2.1.1 神経細胞形態の表現方法

神経細胞の形態を計算機上で表現するために、神経細胞の形態は三次元空間上に配置された立体図形の集合として扱う。以下の図 2 に再現した神経細

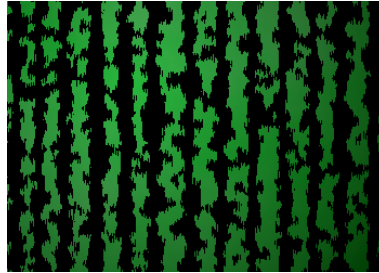


図 2: 再現された神経細胞の例

胞の例を示す. 本研究では神経細胞の細胞体および樹状突起のみを用いるので, 軸索については扱わない.

神経細胞の細胞体は球として表現し, その他の樹状突起は円柱の集合として表現する. 細胞体の直径は $25\mu m$ とした. 樹状突起を表す円柱は末端部分で他の円柱や細胞体と接しており, この部分で他と結合しているとみなす. その部分以外で複数の円柱が空間的に重なっていたとしてもその部分は結合しているとはみなさない.

細胞体と直接結合している円柱を Stem と呼び, それ以外の円柱を branch と呼ぶ. Stem から伸びる一つの樹状構造を, Stem も含めて一つの樹状突起と定義する. すなわち神経細胞はひとつの細胞体と複数の樹状突起を持つ. これらの定義を図 2 に示す.

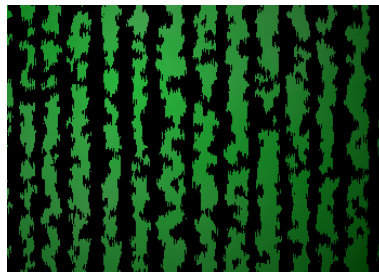


図 3: 細胞体, Stem, 樹状突起の例

神経細胞形態の生成は, 最初に三次元空間の原点に細胞体を配置しそれに個々の樹状突起を確率的に生成することで行う. 以下で単一樹状突起の生成方法を述べる.

2.1.2 単一樹状突起形態の生成方法

樹状突起の生成方法は基本的に DOL-system[1] の手法を基にしている. DOL-System はある記号の集合と, その記号の置き換え規則の集合からなる.

ひとつの樹状突起は以下の表 1 に表されるパラメータセットを持つ。このパラメータセットを用いて確率的に樹状突起が生成される。またこのパラメータセットは後に述べる進化的アルゴリズムの遺伝子でもある。

表 1: 樹状突起パラメータセット

パラメータ名	説明
Stem elevation MIEW	Stem の仰角決定に用いる平均値
Stem elevation SIGMA	Stem の仰角決定に用いる標準偏差値
Stem rotation MIEW	Stem の回転角決定に用いる平均値
Stem rotation SIGMA	Stem の回転角決定に用いる標準偏差値
Stem diameter	Stem の直径
Segment length	Stem および branch の長さ
Branch elevation MIEW	branch の仰角決定に用いる平均値
Branch elevation SIGMA	branch の仰角決定に用いる標準偏差値
Branch rotation MIEW	branch の回転角決定に用いる平均値
Branch rotation SIGMA	branch の回転角決定に用いる標準偏差値
Bifurcation α	樹状構造の分岐導入判定に用いる α 値
Bifurcation β	樹状構造の分岐導入判定に用いる β 値
Termination α	樹状構造の終端点導入判定に用いる α 値
Termination β	樹状構造の終端点導入判定に用いる β 値
K Stem conductance	Stem の Ka コンダクタンス値
K taper rate	Ka コンダクタンスの伝搬率
Ca Stem conductance	Stem の CaT コンダクタンス値
Ca taper rate	CaT コンダクタンスの伝搬率

樹状突起形態生成のアルゴリズムを以下の図 4 に示す。

1. 細胞体の配置
三次元空間の原点に細胞体を配置する
2. Stem の生成
以下の表 2 に示される形態パラメータを決定することで Stem を生成する。

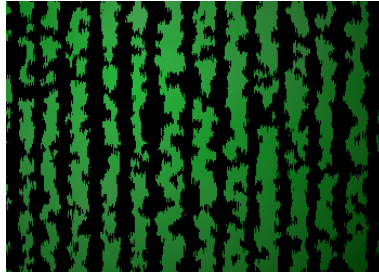


図 4: 樹状突起形態生成アルゴリズム

表 2: Stem 生成

パラメータ名	説明	確率分布	確率パラメータ (遺伝子)
length	長さ	Constant	Segment length
elevation	仰角	Gaussian	Stem elevation MIEW, Stem elevation SIGMA
rotation	回転角	Gaussian	Stem rotation MIEW, Stem rotation SIGMA

2.2 進化的アルゴリズム

2.2.1 一点交叉

2.2.2 突然変異

2.3 シミュレーション

3 結果

4 考察

参考文献

- [1] P Prusinkiewicz and A Lindenmayer. A.[1990] the algorithmic beauty of plants.
- [2] Benjamin Torben-Nielsen and Klaus M Stiefel. Systematic mapping between dendritic function and structure. *Network: Computation in Neural Systems*, Vol. 20, No. 2, pp. 69–105, 2009.