C-05

# 遺伝子の値をﾌｧｼﾞｨ数に拡張した GA のﾆｭｰﾛｴﾎﾞﾘｭｰｼｮﾝへの応用

## Neuroevolution by Genetic Algorithm with Fuzzy-valued Genotype

**岡田 英彦**
Hidehiko Okada

## 1．はじめに

著者はこれまでに，解の遺伝子表現形（genotype）の値としてファジィ数を利用できるように進化計算手法のプロセスを拡張する方法を提案している[1]．本論文では，提案手法の 1 つであるファジィ GA（FGA）を用いて，ファジィ数結合強度を持つファジィニューラルネット(FNN)[2]の進化的学習を試みる．

## 2．ファジィ数結合強度を持つニューラルネット

本研究で用いるニューラルネットは，文献[2]で提案された FNN である．この FNN は，3 階層のフィードフォワード型であり，結合強度としきい値がファジィ数の値をとる．FNN の構造を図 1 に示す．簡単化のため，FNN の出力層ユニット数は 1 とする．

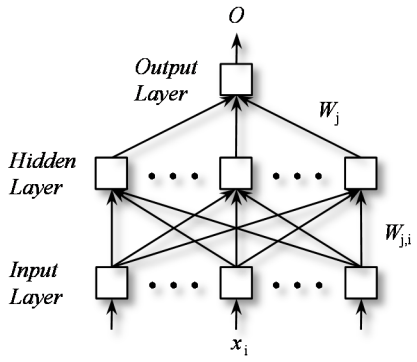



図 1: ファジィニューラルネットの構造[2]

この FNN は，実数入力ベクトル $\boldsymbol{x}$ を受け取り，ファジィ数出力値 $O$ を，式(1)-(5)に基づいて計算する．

入力層：

$$o_i = x_i. \tag{1}$$

中間層：

$$Net_j = \Sigma_i W_{j,i} o_i + \Theta_j, \tag{2}$$

$$O_j = f(Net_j). \tag{3}$$

出力層：

$$Net = \Sigma_j W_j O_j + \Theta, \tag{4}$$

$$O = f(Net). \tag{5}$$

式(1)-(5)において，$x_i$, $o_i$ は実数であり，$Net_j$, $Net$, $W_{j,i}$, $W_j$, $\Theta_j$, $\Theta$, $O_j$, $O$ はファジィ数である．簡単化のため，文献[2]ではこのファジィ数として対称三角型ファジィ数が用いられており，本稿でも同様とする．対称三角型ファジィ数のメンバーシップ関数は，図 2 のように，中心 $c$ と幅 $w$，もしくはサポート集合の下限 $L$ と上限 $U$ によって規定できる．

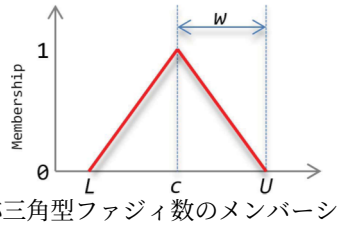



図 2: 対称三角型ファジィ数のメンバーシップ関数

ユニット内部関数 $f(x)$にはシグモイド関数 $f(x) = 1/(1+e^{-x})$ を用いる．この $f(x)$によるファジィ数入力値からファジィ数出力値へのマッピングを図 3 に示す．図 1 の FNN のフィードフォワード計算の詳細は文献[2]を参照されたい．

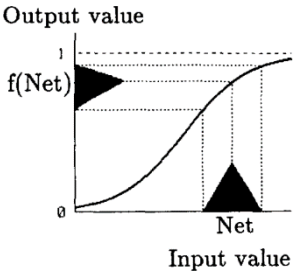



図 3: 中間層・出力層ユニットにおける入出力関係[2]

## 3．ファジィ GA

FNN の入力層ユニット数を $n$（$i = 1, 2, \ldots, n$），中間層ユニット数を $m$（$j = 1, 2, \ldots, m$）とすると，$W_{j,i}$ の数は $mn$，$W_j$ の数は $m$ であり，結合強度の数は $mn+m$ である．さらに，ユニットしきい値の数は $m+1$ である．したがって，FNN に含まれる結合強度およびしきい値の総数は $mn+2m+1$ である．本研究が提案するファジィ GA は，この $mn+2m+1$ 個のファジィ数を genotype の値として用いる．genotype を $\boldsymbol{X} = (X_1, X_2, \ldots, X_D)$と表すと，$D = mn+2m+1$ であり，$X_1, X_2, \ldots, X_D$ の値は，対応する結合強度もしくはしきい値がとるファジィ数である．$X_1, X_2, \ldots, X_D$ は，それぞれ，上限と下限，もしくは中心と幅によって規定できる．つまり，$X_i = [x_i^L, x_i^U]$ もしくは $X_i = (x_i^c, x_i^w)$であり，$x_i^L, x_i^U, x_i^c, x_i^w$ は $X_i$ の下限，上限，中心，幅を表す．

著者らが提案した FGA のプロセス構成は，従来の実数 GA と共通である（図 4）．ただし，解の初期化，適合度評価，子個体生成の方法が，ファジィ数 genotype を扱うことができるように拡張される．

ある 2 つの親個体の genotype を $\boldsymbol{X}_a$, $\boldsymbol{X}_b$ とし，これらの親個体から，交叉によって生成される子個体の genotype を $\boldsymbol{X}_z$ とする．ここで，$\boldsymbol{X}_z = [X_{z,1}, X_{z,2}, \ldots, X_{z,D}]$，$X_{z,i}$ は対称三角型ファジィ数であり，$\boldsymbol{X}_a$, $\boldsymbol{X}_b$ も同様である．このとき，$X_{a,i}$, $X_{b,i}$ の上・下限値もしくは中心・幅に対して実数 GA の交叉手法（例えばブレンド交叉[3]）を適用し，$X_{z,i}$ の上・下限値もしくは中心・幅を決定する[1]．ただし，上限値<下限

京都産業大学 コンピュータ理工学部, Faculty of Computer Science and Engineering, Kyoto Sangyo University

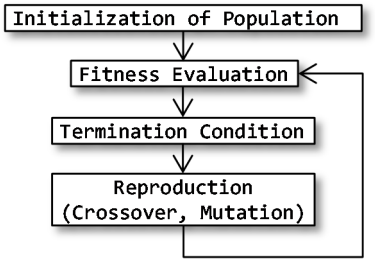


図 4: ファジィ GA のプロセス構成

値となった場合や幅<0 となった場合には，上限値≧下限値もしくは幅≧0 となるよう，値を修正する[1].

## 4．ニューロエボリューションへの応用

進化計算アルゴリズムを用いたニューラルネットの学習はニューロエボリューションと呼ばれている[4]．文献[2]の FNN を対象としたニューロエボリューションの試みとして，FGA を応用した．実験で用いたファジィ目標関数 $F(x)$ の例を図 5 に示す．この $F(x)$は実数入力 $x$ に対して 対称三角型ファジィ数を出力する関数であり，図 5 の F0.0L／F0.0U／F1.0 が，ファジィ数 $F(x)$の下限（$F(x)^L$）／上限（$F(x)^U$）／中心（$F(x)^c$）をそれぞれ表している．ここで，

$$F(x)^L = 0.2\sin(2\pi x) - 0.1x^2 + 0.4 \quad (6)$$

$$F(x)^U = 0.2\sin(2\pi x) + 0.1x^2 + 0.6 \quad (7)$$

$$F(x)^c = (F(x)^L + F(x)^U)/2 \quad (8)$$

である．

FNN は中間層ユニット数：10 とし，FGA は，集団サイズ：500，世代数：2000，交叉方法：ブレンド交叉（α=0.5），トーナメントサイズ：25，エリート保存数：10，突然変異率：1.0%，genotype の値の表現方法：中心・幅モデルとして実験を行った．進化的に生成された FNN のうち誤差最小の FNN が出力したファジィ関数を図 6 に示す．また，学習後の FNN が入力値 $x$=0.2 および $x$=0.8 に対して出力したファジィ数を図 7 に示す．図 6 および図 7 より，学習後の FNN は図 5 の目標関数をよく近似できていることがわかる．

## 5．まとめ

本稿では，著者が提案したファジィ GA[1]を用いてファジィ NN[2]の進化的学習を試みた．実験の結果，学習後の FNN は目標のファジィ関数をよく近似できていることがわかった．

今後の課題として，他の目標関数や，ニューロエボリューションとは異なる他の最適化問題への提案手法の適用が挙げられる．

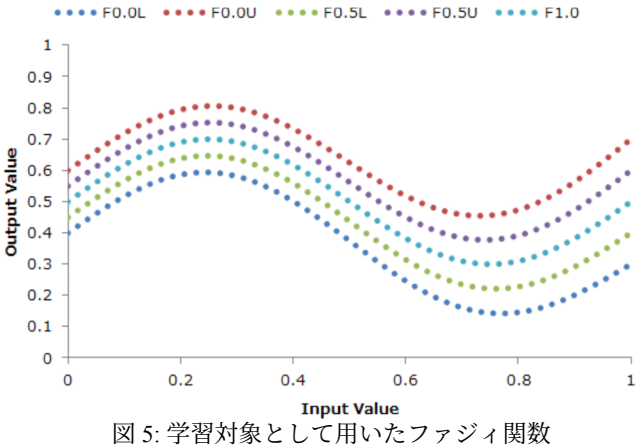


図 5: 学習対象として用いたファジィ関数

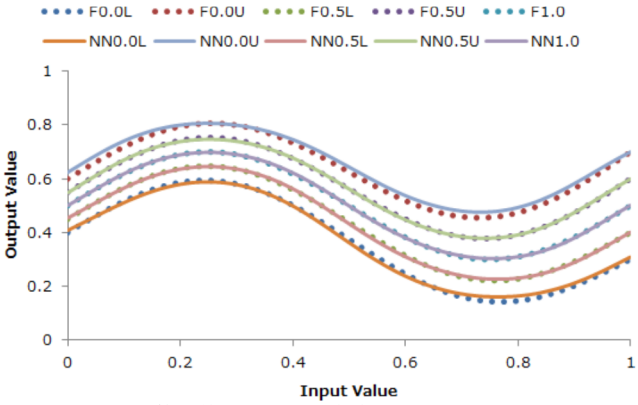


図 6: 学習後の FNN が出力したファジィ関数

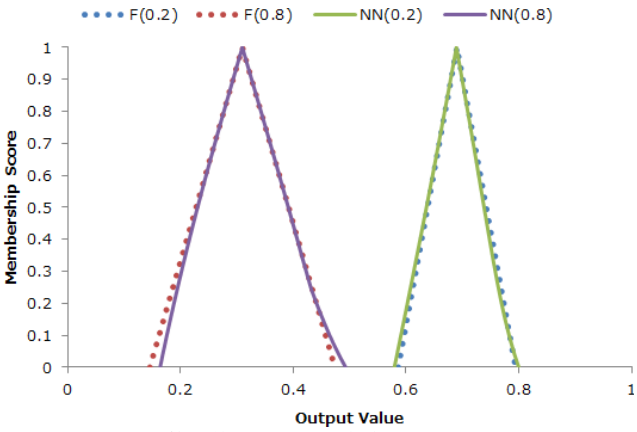


図 7: 学習後の FNN が出力したファジィ数

### 参考文献

[1] H. Okada, Proposal of fuzzy evolutionary algorithms with fuzzy valued genotypes, *Proc. of International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology (SICE Annual Conference 2012)*, pp.1538-1541, 2012.

[2] H. Ishibuchi, H. Tanaka and H. Okada, Fuzzy neural networks with fuzzy weights and fuzzy biases, *Proc. of IEEE International Conferences on Neural Networks*, pp.1650-1655, 1993.

[3] L.J. Eshelman and J.D. Schaffer, Real-coded genetic algorithms and interval-schemata, in D.L. Whitley (ed), *Foundation of Genetic Algorithms 2*, pp.187-202, 1993.

[4] X. Yao, Evolving artificial neural networks, *Proc. of the IEEE*, 87(9), 1423-1447, 1999.