

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18700228  
 研究課題名 (和文) ファジィシステム設計のための設計者の評価に基づく進化型多目的最適化手法の開発  
 研究課題名 (英文) Evolutionary Multiobjective Optimization Algorithm with Designer's Evaluation for Fuzzy System Design  
 研究代表者  
 能島 裕介 (NOJIMA YUSUKE)  
 大阪府立大学・大学院工学研究科・助教  
 研究者番号：10382235

## 研究成果の概要：

数値情報からの知識抽出やシステムのモデリングにおいて、ファジィシステムと進化型多目的最適を用いた手法を適用することで、異なる精度と複雑さを持つファジィシステムを同時に複数獲得することができる。本研究では、この手法を拡張し、解の探索過程に設計者或いは使用者の評価 (選好) を取り入れた対話に基づく進化型多目的最適化手法の開発を行った。開発した手法をパターン識別問題、時系列情報の言語化、交通システムの解析等に応用した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,800,000	0	1,800,000
2007 年度	900,000	0	900,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	270,000	3,870,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ファジィ理論

## 1. 研究開始当初の背景

数値情報からの知識抽出やシステムのモデリングにおいて、ファジィルールに基づくシステム (以下、ファジィシステム) と進化計算のハイブリッド手法が広く適用されているが、進化計算により獲得されたファジィシステムの精度と複雑さには、一般にトレードオフの関係が存在する。近年、このトレードオフに着目し、異なる精度と複雑さを持つファジィシステムを手法の 1 回の実行で、数多く獲得することができる進化型多目的最適化手法が注目されている。しかし、設計者或いは使用者が、獲得した複数のファジィシ

ステムの中から実際に使用するシステムを選択することに関しては、ほとんど議論されていない。また、獲得したファジィシステムの中に設計者が要求する精度と複雑さを持つファジィシステムが存在している保証は無い。

## 2. 研究の目的

本研究では、解の探索過程に設計者の評価を取り入れた対話に基づく進化型多目的最適化手法の開発を行う。

設計者の評価を取り入れるにあたり、考慮すべき点として、第一に評価にかかわる設計

者の負担があげられる。設計者の評価を取り込めば取り込むほど、設計者が要求するファジシステムに近づくことができるが、設計者の負担が増えることで、適切な判断ができなくなる可能性がある。また、関連する問題点として、設計者が評価すべき候補解の選択の方法を考える必要がある。現在の評価は、過去に提示された候補解との相対的な優越関係によるものであり、提示される順番に依存して解の評価が変わる可能性がある。また新たな解の提示により、設計者の選好が変化することが考えられる。

以上のことから本研究では、なるべく設計者に負担をかけずに、解の探索の段階で逐次的に設計者の選好を反映できるフレームワークの開発を行う。また、使用者が対話的に操作できるように進化計算の高速化も必要になる。そこで高速化の基礎研究と並列分散型の遺伝的ファジシステムの開発も行う。

### 3. 研究の方法

(1) 使用者の選好情報を組み込んだ多目的遺伝的ファジシステム手法の開発

二段階のファジシステム設計手法である多目的遺伝的ファジルール選択手法に、使用者の選好情報の組み込みを行う。図1に、多目的遺伝的ファジルール選択の概略を示す。

第一段階では、数値データからファジルールを抽出する。条件部にはファジ集合を用い、結論部にはクラスや実数値を用いる。異なる分割の複数のファジ集合を条件部に用いるため、非常に多くのファジルールが抽出可能となる。ただし、あまり数値データに適合していないルールも存在することから、ルールの信頼度と支持度を計算し、信頼度と支持度の高いルールのみを候補ルールとして抽出する。

第二段階では、候補ルールの組合せ最適化を進化型多目的最適化を用いて行う。ファジルール集合の精度の最大化（エラーの最小化、或いは正答率の最大化）とそのファジルール集合の複雑性の最小化（ルール数の最小化）を同時に行うことで、精度と複雑性の異なる複数の非劣なファジルール集合を獲得することができる。例えば、パターン識別問題を知識獲得と考えると、精度は劣るが非常に少ないルール数で構成された単純な知識から、高精度でルール数の多い複雑な知識まで獲得できる。前者は一般的な使用者が好む知識であり、後者は専門家が好む知識であると考えられる。

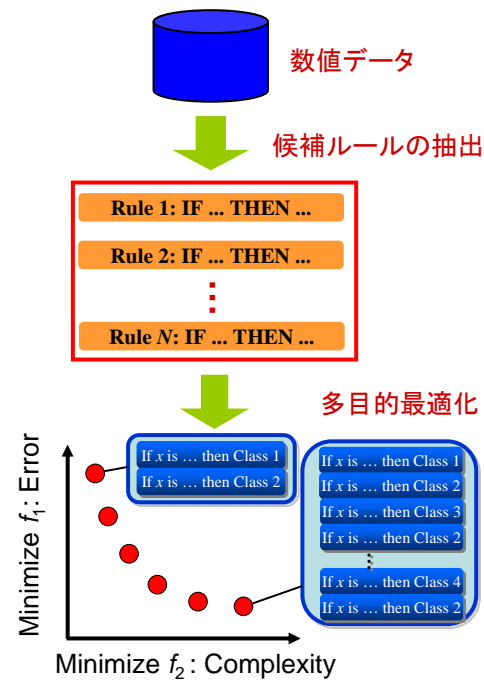
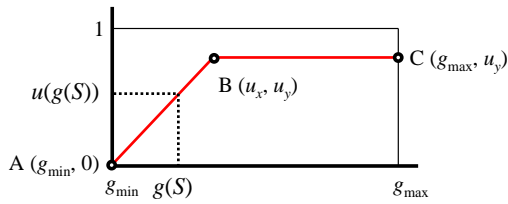


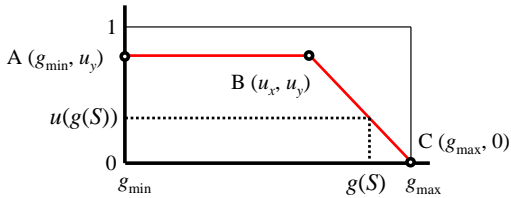
図1 多目的遺伝的ファジルール選択

本研究では、多目的遺伝的ファジルール選択に使用者の選好を組み込む。第二段階の多目的最適化において、使用者の選好を考慮した選好関数を3番目の目的関数として扱い、使用者の選好の最大化を同時に行う。選好関数は、精度と複雑性、解釈可能性に関する評価基準を入力とした満足度関数に基づき構成される。図2に個々の評価基準に対する満足度関数を示す。 $g(S)$ は、評価基準であり、満足度関数を介することで、その達成度を計算できる。複数の評価基準に対して、達成度が計算され、その平均により選好関数の値を決定する。本研究では、図2中の点Bの座標を使用者自身が、探索途中で逐次的に手動で変更することにより、どの評価基準をどの程度優先するかを決定することが可能となる。

図3に、提案する対話型多目的進化計算の基本的なフレームワークを示す。探索アルゴリズムを一定期間稼働させ、得られた候補解を使用者に提示する。使用者は、候補解とその解の評価基準値を確認し、満足度関数を修正する。修正した満足度関数を基に選好関数を構成し、再度、探索アルゴリズムにより候補解を探索する。これを繰り返すことで、使用者は自らの選好を具現化し、最終的には、使用者自身が好む解を獲得できる。



(a) 最小要求レベル設定関数



(b) 最大要求レベル設定関数

図2 満足度関数

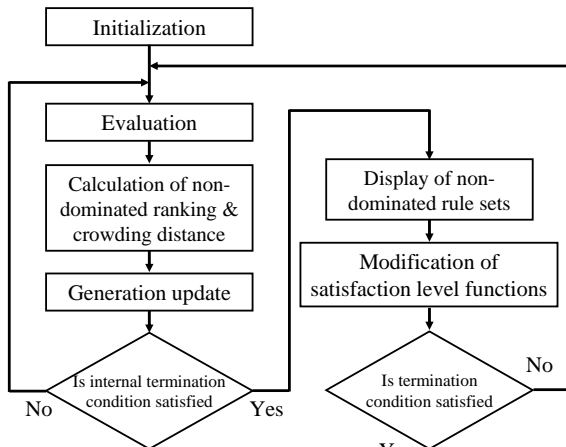


図3 対話型多目的進化計算手法の流れ

(2) 並列分散実装による遺伝的ファジィシステムの高速化

遺伝的ファジィルール選択の高速化を目的として並列分散実装を提案する。提案手法は、パターン識別問題において、候補解集合と学習用データの両者に対してCPUの数だけ分割し、一定世代毎に部分個体群と部分データ集合の組合せを入れ替えるものである。

概念図を図4に示す。候補ルールの抽出をサーバーCPUで行い、ルールの組合せ最適化をクライアントCPUで行う。特徴としては、個体群と学習用データの分割を同時に行うことで、クライアントCPUの数の2乗に比例して高速化されるという点にある。

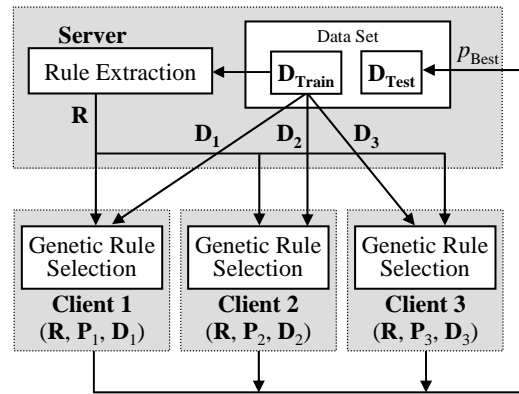


図4 並列分散型遺伝的ルール選択

4. 研究成果

(1) パターン識別問題への応用

UCI Machine Learning Repository から入手可能な Pima Indian Diabetes データからの知識獲得に応用した。識別器(知識)に対する使用者の評価基準として、知識の精度、ルール数、ファジィ集合の分割数、条件部に用いる属性数、ルールの被覆度の平均、ルールの信頼度の平均を用いた。開発したインタフェースのプロトタイプを図5に示す。



図5 対話型知識獲得インタフェース

例えば、満足度関数を図6にした場合は、図7に示すようなルール集合が知識として獲得された。知識に用いられる属性数が非常に少なく抑えられていることが確認できる。満足度関数の Attr. に対応する。

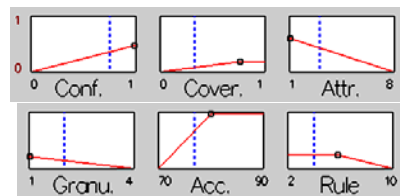


図6 満足度関数の例

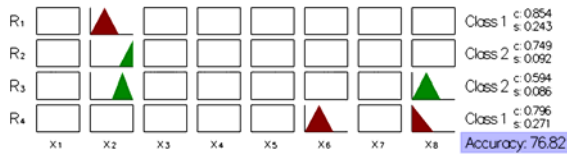


図7 使用者の選好関数値が最大となった知識 (ファジィルール集合)

獲得されたルール集合を解釈すると、

- ・ 血漿グルコース濃縮に関する値 ( $x_2$ ) が小さい場合は、糖尿病ではない。
- ・ 血漿グルコース濃縮に関する値がより大きければ、糖尿病である。
- ・ 年齢 ( $x_8$ ) がより若く、肥満度指数が小さければ糖尿病ではない。

という単純な知識が獲得できている。またその正答率は76,82%になっている。

## (2) 時系列データの言語化への応用

図8に示す都市圏の土地価格の変化を言語的に表現することを試みた。

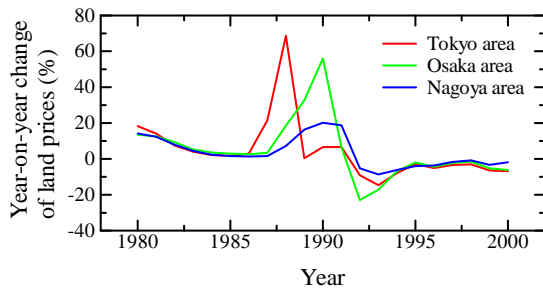


図8 3都市圏における土地価格の変化

使用者の評価基準として、最大二乗誤差、条件部集合の重複度、総二乗誤差、ルール数の4つを用いた。開発したインタフェースを図9に示す。

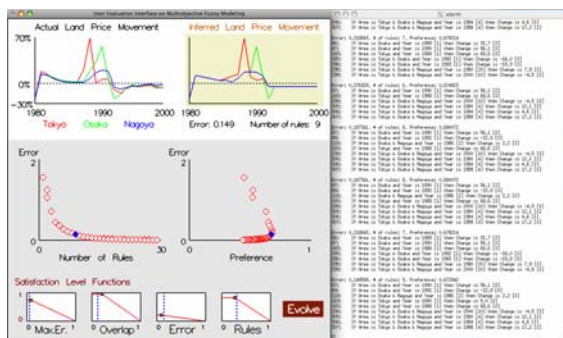


図9 時系列情報の言語化インタフェース

実際の時系列データとファジィルール集合で現された結果、さらに、多目的最適化における非劣解の表示、ルール集合のテキスト表示などを可能とした。

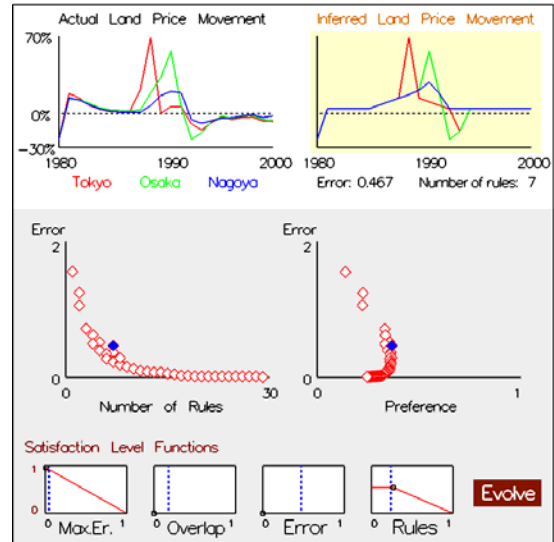


図10 実験結果の例

図10に一例を示す。下段の満足度関数の設定は、使用者の最大二乗誤差とルール数最小化への選好を表している。結果として得られたルール集合のうち選好関数値が高いものを上段に表示している。左側がもとの時系列データで、右側がファジィルール集合により推論された時系列である。

表1 獲得されたルール集合の例

Area	Year	Change %
Osaka	1990 [1]	56.1
Osaka	1992 [1]	-22.9
Tokyo	1988 [1]	68.6
Tokyo & Osaka	1993 [1]	-15.9
Osaka & Nagoya	1990 [2]	28.4
Tokyo & Osaka & Nagoya	1988 [4]	17.2
Tokyo & Osaka & Nagoya	-	4.3

表1に、図10で示されている推論された時系列を構成するルール集合を示す。三角型のファジィメンバーシップ関数を用いており、年の値はメンバーシップ関数の中央値、括弧内はメンバーシップの範囲を表す。全体的な傾向を表すルールと、1990年頃の大きな変化を表すルールで構成されている。

## (3) 交通システムの解析への応用

自動車の渋滞問題を解決する方法として、近年注目され始めている車車通信技術の有効性をシミュレーションで確認することを目的とし、対話型知識獲得手法を適用した。

図11に示す交通道路網に対して、車車通信の有効な場所や状況を調べた。なお、交通



道路網は、セルラーオートマトンで表現した。シミュレーションでは、300 台の車にランダムで出発地点と目的地点を与え、車車通信を利用して渋滞が起こっていない道を通るように意思決定を交差点ごとに行わせた。全ての車に対して、交差点での意思決定時に近傍の道路情報をデータとして記録した。その記録した情報を基に、どのような状況下で車車通信が有効に機能するのかを調べた。

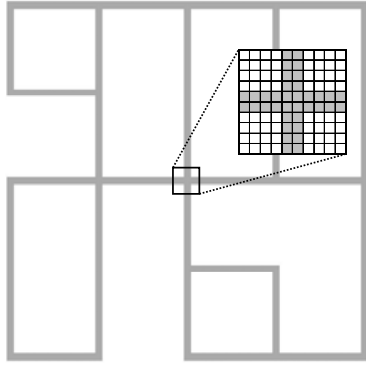


図 11 交通シミュレータの道路網

図 12 にユーザーインターフェースを示す。使用者の評価基準としては、パターン識別への適用と同様の 6 つの基準を用いた。

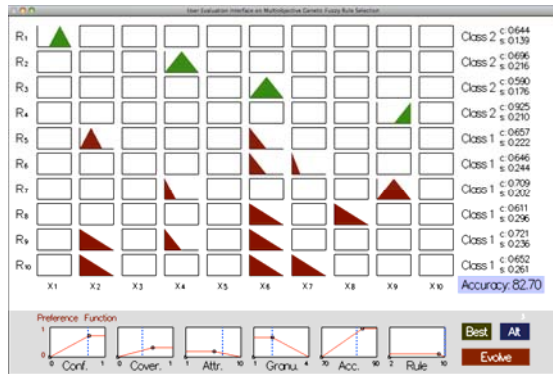


図 12 ユーザーインターフェース

#### (4) 並列分散実装の効果の確認

多目的最適化問題を加重和適応度関数を用いた場合の並列分散実装の効果を確認した。数値実験には、UCI Machine Learning Repository からダウンロード可能でかつ、パターン数の多いデータを利用した。実験には、4 つの CPU コアを持つワークステーションを活用した。

実験結果の一例として、表 2 に Pendig data (16 属性, 10992 パターン, 10 クラス) に対する結果を示す。学習用データに対する正答率、評価用データに対する正答率、識別器に含まれるルール数、計算時間が示されている。Type 0 が非並列実装 (通常の実装), Type 1

から Type 4 が並列分散実装である。Type 1 では、部分データ集合の変更は行われていない。Type 2, 3, 4 では、それぞれ 100 世代, 10 世代, 毎世代ごとに部分データ集合の対応を変更している。

表 2 Pendig data に対する実験結果

	Train	Test	Rules	Time
Type 0	80.89	80.30	40.40	23:42:41
Type 1	<u>80.28</u>	79.74	32.10	3:09:24
Type 2	80.76	80.30	27.75	3:09:21
Type 3	<u>80.66</u>	80.01	29.50	3:26:32
Type 4	<u>70.27</u>	<u>70.28</u>	315.30	14:07:36

下線は、正答率に関して非並列と比較して統計的に有意な差があったときの結果を示している。表 2 から、Type 2 において、学習用および評価用データに対して、非並列の場合と有意な差のない正答率が、およそ 8 分の 1 の計算時間で得られていることがわかる。

多目的最適化への拡張や、対話型進化計算への適用は今後の課題である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. Y. Nojima, H. Ishibuchi, and I. Kuwajima, "Parallel distributed genetic fuzzy rule selection," *Soft Computing*, vol. 13, no. 5, pp. 511-519, March 2009
2. Y. Nojima and H. Ishibuchi, "Incorporation of user preference into multiobjective genetic fuzzy rule selection for pattern classification problems," *International Journal on Artificial Life and Robotics* (採録決定).

[学会発表] (計 3 件)

3. Y. Nojima and H. Ishibuchi, "Interactive genetic fuzzy rule selection through evolutionary multiobjective optimization with user preference," *Proc. of 2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multi-Criteria Decision-Making*, pp. 141-148, Nashville, USA, March 30-April 2, 2009.
4. Y. Nojima, Y. Hamada, and H. Ishibuchi, "Application of interactive fuzzy data mining to the analysis of inter-vehicle communication in traffic simulations," *Proc. of 5th International Conference on Sciences of Electronic, Tech-*

*nologies of Information and Telecommunications*, (CD-ROM 11 pages) Hammamet, Tunisia, March 22-26, 2009.

5. Y. Nojima, I. Kuwajima, and H. Ishibuchi, "Data set subdivision for parallel distributed implementation of genetic fuzzy rule selection," *Proc. of 2007 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 2006-2011, London, UK, July 23-26, 2007.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

能島 裕介 (NOJIMA YUSUKE)

大阪府立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：10382235

