

## 文テンプレートに基づく個体表現を用いた IEC の提案

## A Novel Interactive Evolutionary Computation with Sentence Template Individuals

福田 清人      森 直樹      松本 啓之亮  
Kiyohito Fukuda      Naoki Mori      Keinosuke Matsumoto

大阪府立大学 工学研究科  
Graduate school of Engineering, Osaka Prefecture University

Recently, reproduction of works based on kansei of human by the computer has become important topics in artificial intelligence field. Especially, automatic story generation is considered one of the most challenging problems because there are lots of difficulties such as validation of sentences and the consistency of story. In this research, we propose the semi-automatic story generation method based on *Interactive Evolutionary Computation (IEC)* with sentence templates. The computer simulations are carried out to confirm the effectiveness of the proposed method.

## 1. はじめに

近年、音楽や絵画など人間の感性に基づく生成物を計算機上で再現しようとする試みが、人工知能の分野で活発になされている。中でも小説の自動生成は各文の妥当性から物語全体の一貫性まで、様々な粒度の課題が存在し、最も困難な問題の一つとして注目されている。この問題に対して 2012 年 9 月、はこだて未来大学が星新一のショートショートをコンピュータで解析し、新たなショートショートを生成するプロジェクト「きまぐれ人工知能プロジェクト 作家ですよ」を開始すると発表した [1]。計算機による小説の自動生成は、人工知能や自然言語処理の多岐にわたる技術が必要なチャレンジングな課題であり、この分野の重要性は今後ますます高まると考えられる。

一方で、小説の自動生成には大きく分けて各文の妥当性、物語全体の一貫性および作品としての完成度という 3 つの課題があり、これらすべてを考慮した研究は十分には進んでいないのが現状である。作品としての完成度については、最終目標であるため現時点では考慮は難しいが、残り 2 つの基本的な課題についても小説の自動生成を考える場合には必須でありながら、十分な成果が得られているとはいえない。文の妥当性に関しては、人手で作成された文を利用することで、意味の通じる文が生成できるようになりつつあり、筆者らも限定状況下における解説文生成システム「なめ工房」を提案してきた [2]。しかしながら、このシステムでは事前に人手で作成した文テンプレートを使用するため、多様な文を生成するために非常に大きなコストがかかってしまう。また、なめ工房は 1 文のみを生成するシステムであり、小説のように複数の文から構成された文章を生成できないという問題点もある。

以上の点を背景に、本研究では文の妥当性と多様性を考慮しながら対話型進化型計算 (Interactive Evolutionary Computation, IEC) [3] [4] により文章を自動生成する手法を提案する。今回は、ウェブ上の小説投稿サイト [5] から取得した文章から作成した文章テンプレートを利用した IEC による文章生成システムを提案する。また提案手法を各文の妥当性、文章中の文の多様性および文章全体としての整合性という 3 つの観点から評価することで、提案手法の有効性を示す。

以下に本研究の構成を示す。第 2 章で従来研究について述べ、第 3 章で進化型計算について説明する。第 4 章で提案手

法について説明する。第 5 章で数値実験について述べ、最後に第 6 章でまとめと今後の課題について述べる。

## 2. 従来研究

計算機による文章の作成については多くの研究がなされている。例えば対話文の自動生成手法に関しては、チャットの対話ログから適切な応答文を抽出するログ型、あらかじめテンプレートとして用意された応答パターンに適宜単語を代入することで応答文を生成するテンプレート型、n-gram モデルを用いて応答文を生成する n-gram 型の 3 種類に分類できることが報告されている [6]。テンプレート型に関してはテンプレートを置換する語に関連度の高い語を用いることで、適切な応答文を生成できることが報告されている [7]。

また、提案中の限定状況下における解説文生成システム「なめ工房」では、解説文に対話型進化型計算を適用することで、ユーザの嗜好を考慮した解説文の生成が可能であるという特徴がある。

## 3. 進化型計算

進化型計算 (Evolutionary Computation, EC) [8] は探索に生物進化のダイナミクスを取り入れた手法の総称である。

## 3.1 対話型進化型計算

本研究では、EC の中でも人間との相互作用を考慮した対話型進化型計算 (Interactive Evolutionary Computation, IEC) [3] [4] と呼ばれる手法を用いる。IEC とは人間の評価系そのものを評価関数に導入した手法であり、ユーザの嗜好を考慮した評価をシステムに導入できるという利点を持つ。

## 3.2 熱力学的遺伝アルゴリズム

本研究では文の妥当性と多様性のバランスを制御しながら進化させることを考えるため、IEC において熱力学的遺伝アルゴリズム (Thermodynamical Genetic Algorithm, TDGA) [9] を利用した。

## 3.2.1 自由エネルギー最小化原理

温度  $T$  で熱平衡状態にあるシステムでは、状態の定常分布は自由エネルギー

$$F = \langle E \rangle - HT \quad (1)$$

を最小にする分布になることが知られており、これを自由エネルギー最小化原理と呼ぶ。ここで、 $\langle E \rangle$  はシステムの平均エネ

連絡先: 福田 清人, 大阪府立大学 工学研究科, 〒599-8531 堺市中区学園町 1-1, E-mail: fukuda@ss.cs.osakafu-u.ac.jp

ルギー,  $H$  はエントロピーである. GA の観点からは, (1) 式の右辺第一項はシステムがエネルギー最小化 (GA における適応度の最大化) という目的を追求する項, 第二項はシステムの状態の多様性を維持する項と解釈でき, これらを温度  $T$  をパラメータとして調和させたものと考えられる. TDGA は, 自由エネルギー  $F$  を最小化するように各世代で個体群を選択することによって, 明示的な多様性の制御を可能とした遺伝アルゴリズムである.

### 3.2.2 熱力学的遺伝アルゴリズムの概要

TDGA では個体群の多様性をエントロピーとして明示的に評価し, 個体群をその自由エネルギーが最小化となるように選択するルールを用いている. この選択は熱力学的選択ルールと呼ばれる [9]. 従来の選択ルールと同様に低いエネルギー  $E$  (高い適応度) を持つ個体は, (1) 式の自由エネルギーの右辺第一項の効果によって生き残る可能性が高くなる. 一方, 個体群において希少な遺伝子を多く持つ個体は, エントロピー  $H$  を高くするので, (1) 式の右辺第二項に寄与することにより自由エネルギーを減少させるため, やはり生存に有利な個体となる.

## 4. 提案手法

本研究では, IEC に基づく文章の生成システムを提案する. 提案システムでは人間の評価が必要となるため, 文は自動生成するが厳密には文章全体としては半自動生成となる.

### 4.1 基本方針

IEC による文の自動生成を考える場合, 以下の点を考慮する必要がある.

**遺伝子型** IEC における個体の遺伝子型表現方法.

**表現型** 遺伝子型から具体的な文である表現型への変換方法.

**選択** IEC における個体の選択方法.

**適応度** IEC における個体の適応度の定義.

これ以外にも, 最終的に得られた文章の総合的な評価が必要であるが, 今回の提案手法においては総合評価は考慮しないものとした.

以下では上記項目それぞれについて今回の実装方法を示す.

### 4.2 遺伝子型表現

提案手法における遺伝子型表現はユーザから入力された単語を使用するか否かに関するビット列で表現した.

### 4.3 表現型

提案手法では, 遺伝子型によって決められる使用単語とあらかじめ用意した文テンプレートを組合せて個体の表現型である文を生成する. 1 つの遺伝子型に対して文テンプレートが異なる複数の文を生成できるため, 遺伝子型と表現型の対応は 1 対多となる. また, 膨大な文テンプレートの作成コストを削減するために, 自動生成した文テンプレートと単語のカテゴリを利用して文を自動生成している. 以下に文テンプレートの生成手法および単語個体と文テンプレートの合成方法を示す.

#### 4.3.1 文テンプレートの生成

本研究では小説投稿サイト「小説を読もう！」[5] から取得した小説から文テンプレートを機械的に自動生成する. 以下に文テンプレートの生成アルゴリズムを示す.

1. 小説は通常, 連続した文章から構成されているため, 「。」 「?」 「!」 を区切りとして 1 文に分割する.

表 1: カテゴリ分類一覧

カテゴリ名	例	カテゴリ名	例
人	学生, ...	場所-施設	ビル, ...
組織・団体	政府, ...	場所-施設部位	天井, ...
動物	犬, ...	場所-自然	山, ...
植物	桜, ...	場所-機能	上, ...
動物-部位	手, ...	場所-その他	都市, ...
植物-部位	葉, ...	抽象物	思考, ...
人工物-食べ物	パン, ...	形・模様	円, ...
人工物-衣類	ズボン, ...	色	赤, ...
人工物-乗り物	自転車, ...	数量	複数, ...
人工物-金銭	給料, ...	時間	今日, ...
人工物-その他	鉛筆, ...	姓名	鈴木, ...
自然物	石, ...	地名	東京, ...

2. 1 で取得した文を形態素解析にかけ形態素列を得る. 形態素解析には, JUMAN [10] を利用した.
3. 形態素列の中から品詞が「形式名詞」, 「副詞的名詞」以外の名詞および付随している接頭辞, 接尾辞を抽出する.
4. 1 で抽出された名詞のカテゴリを取得する. 表 1 にカテゴリの分類を示す. これは, JUMAN で得られるカテゴリ分類に姓名と地名を加えたものである.
5. カテゴリで対応する部分を置換することで文テンプレートを生成する.
6. 2 ~ 5 の操作を取得した文のうち, 名詞の数が 1 ~ 5 個となっている文に適用する. これは, 文を生成する際に置換する部分が多すぎると, 意味が通じない文が生成される確率が大きくなるためである.

#### 4.3.2 遺伝子型から表現型への変換方法

提案手法では, ユーザの入力単語集合から作られた遺伝子型と事前に作成した文テンプレートから表現型である文を自動生成する. このため個体の表現には, 単語情報と文テンプレート情報の 2 つが必要となる. 以下に文を自動生成するアルゴリズムを示す.

1. ユーザからの入力単語を得る. ユーザからの単語入力数を  $N$  とする. このとき個体の遺伝子長は  $N$  となる. 今回は  $N = 4$  とし, 入力単語に名詞のみを許容した.
2. 入力に対して JUMAN を用いて各単語のカテゴリを得る. このカテゴリは, 文テンプレートを生成した際に利用したカテゴリ分類と同様のものを利用する.
3. IEC における遺伝子型表現に基づきユーザからの入力単語から使用する単語情報を得る.
4. 使用する単語数と等しい数だけ置換された文テンプレート集合のなかから, 入力とまったく同じカテゴリを持つものを抽出し, 候補文テンプレート集合  $\mathbf{T}_c$  とする.
5.  $\mathbf{T}_c$  に対してカテゴリを入力単語と置換することで候補文集合  $\mathbf{T}_g$  を生成する.
6.  $\mathbf{T}_g$  から妥当性が高い順に最大  $S$  個を生成文とする. 今回は  $S = 5$  としたため, 一つの個体から 5 個の異なる表現型が生成される.

ここで、文の妥当性について考察する必要がある。本研究では文の妥当性を、文が一般的に意味を通じる文であるかどうかを表す尺度とし、妥当性が高ければその文は意味を通じる文であると定義する。

#### 4.3.3 文の妥当性

本研究では文の妥当性をサポートベクターマシン (Support Vector Machine, SVM) を用いて定量的に評価する。提案手法で用いる SVM では、生成文に基づく入力データを入力すると、生成文が妥当である (正クラス, +1) か妥当でない (負クラス, -1) かの二値に分類する。SVM のライブラリには LIBSVM [11] を使用した。以下に文の妥当性を定量的に評価するアルゴリズムを示す。

1. 上記の文生成アルゴリズムを用いて作成した文候補からランダムに文を選択し、その文について、人手で意味を通る文であれば、正クラス、意味が通らない文であれば負クラスというようにクラス分けし、訓練データとする。品詞 3-gram および名詞、動詞の Bag of Words を素性ベクトルとした。
2. 訓練データを用いて分割数  $n$  の交差検定で学習した  $n$  個の SVM を作成する。また、交差検定で得られた  $i$  個目の SVM の識別率を  $R_i$  とする。
3. 求めたい文  $s$  を作成した SVM で分類しクラス  $c_{si}$  を得る。
4.  $s$  に対して妥当性  $V_s$  を以下の式で求める。

$$\alpha_i = \begin{cases} 1 & (c_{si} = 1) \\ 0 & (c_{si} = -1) \end{cases} \quad (2)$$

$$V_s = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha R_i}{R_i} \quad (3)$$

5.  $V_s$  が設定した閾値以上であれば、文  $s$  は妥当な文であるとする。

#### 4.4 選択方法

提案手法では、ユーザに提示する文に関する選択と遺伝子型に関する選択の 2 種類が存在する。ユーザに提示する文に関する選択とは、候補文集合  $\mathbf{T}_g$  からユーザに提示する提示文集合  $\mathbf{T}_s$  を選択することであり、各遺伝子型について、生成された文の中から最も適応度が高い文を  $\mathbf{T}_s$  に含めることである。次に、遺伝子型に関する選択では多様性を考慮した熱力学的選択を用いている。文の適応度については以下に詳述する。

#### 4.5 適応度

提案種では表現型である文の適応度と IEC における個体の適応度の 2 種類が存在する。各遺伝子座における文  $s, s'$  の適応度  $f_s, f_{s'}$  は以下の式で表現される。ここで  $s$  は  $\mathbf{T}_s$  に含まれる文であり、 $s'$  は含まれない文である。

$$f_s = f_y \quad (4)$$

$$f_{s'} = \begin{cases} \frac{d(s, s')}{f_x} f_y & (f_x \neq 0) \\ d(s, s') f_y & (f_x = 0) \end{cases} \quad (5)$$

$$(6)$$

ここで、 $f_x, f_y$  は文  $s$  を二次元マップ上にマップしてもらうことで得られるユーザの主観的な評価値であり、 $0 \leq f_x \leq$

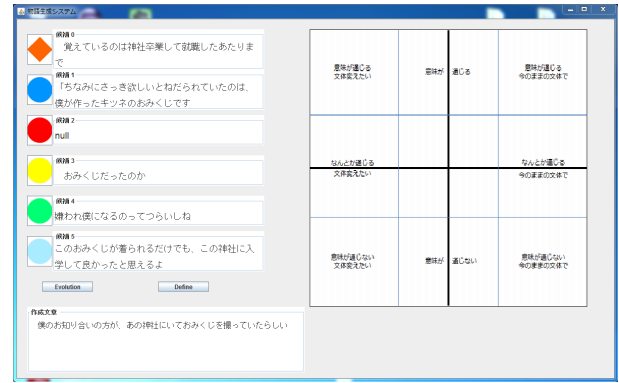


図 1: GUI 画面

$1, 0 \leq f_y \leq 1$  である。また、 $d(s, s')$  は文  $s$ , および文  $s'$  のジャロ・ウィンクラー距離 (Jaro-WinklerDistance) であり、 $0 \leq d(s, s') \leq 1$  である。

また、IEC における個体  $i$  の適応度  $f_i$  は以下の式で表現される。

$$f = \begin{cases} \frac{N_{ci}^g}{S_i} \sum_{s \in \mathbf{T}_{gi}} f_s^i & (N_{ci} \neq 0) \\ \frac{1}{S_i} \sum_{s \in \mathbf{T}_{gi}} f_s^i & (N_{ci} = 0) \end{cases} \quad (7)$$

ここで、 $S_i$  は個体  $i$  から生成される文数、 $g$  は世代数であり、 $N_{ci}$  はの現世代以前に一度も選ばれたことがなく、現世代で初めて選ばれた単語の個数である。

## 5. 実験

提案手法の有効性を調べるために、提案手法を GUI の形で実装し、各文の妥当性、文の多様性、文章としての完成度といった 3 つの観点から評価した。図 1 に提案手法の GUI 画面を示す。

### 5.1 実験概要

提案手法の有効性を調べるために、5 名の被験者に対して予備実験をした。以下に実験方法について示す。

1. 被験者に提案手法を用いて文章を生成してもらう。
2. 生成された文章に対して、各文の妥当性、最良文の妥当性、文の多様性、文章の完成度の 3 つの評価項目について 5 段階評価で評価してもらう。
3. その評価や提案手法について被験者に聞き取り調査をする。

表 2 に実験条件を示す。

### 5.2 結果・考察

表 3 に被験者ごとの生成された文章を、表 4 に各評価項目の平均評価値を示す。

表 3, 4 を見ると、最良文の妥当性の平均評価値が 4.4 と高く、「瑞鷺だけが神社じゃないさ」や「おみくじ、はいっ」など高い妥当性を持つと考えられる文が生成できていることがわかる。しかしながら、候補文集合  $\mathbf{T}_g$  に含まれる文の中には人間が見た場合、妥当でないにも関わらず SVM により妥当性が高いと判別してしまっている例も散見された。これは、SVM の素性ベクトルに関する考慮が不十分であったと考えられる。また、文の多様性に関する評価平均値は高い値にはならなかつ

表 2: 実験条件

世代数	3
個体数	6
表示文数	6
選択	熱力学的選択
温度 $T$	10
SVM のカーネル	線形カーネル
分割数 $n$	3
妥当性の閾値	0.6
入力単語	「僕」「神社」「キツネ」「おみくじ」

表 3: 被験者ごとの生成文章

被験者	生成文章	
1	1 文目	神社に出ると無数のキツネが飛んでいた
	2 文目	僕は急いでそれをおみくじに戻し、 神社から逃げ帰った
	3 文目	瑞鷺だけが神社じゃないさ
2	1 文目	僕は急いでそれをおみくじに戻し、 神社から逃げ帰った
	2 文目	僕だってそうしたい
	3 文目	「おみくじ、そうだったの
3	1 文目	僕は急いでそれをおみくじに戻し、 神社から逃げ帰った
	2 文目	神社に出ると無数のキツネが飛んでいた
	3 文目	「おみくじ、はいっ」
4	1 文目	僕、キツネ
	2 文目	おみくじだったのか
	3 文目	僕、キツネ
5	1 文目	僕は急いでそれをおみくじに戻し、 神社から逃げ帰った
	2 文目	僕のおみくじはピコピコ反応してますよ
	3 文目	キツネのおみくじが見たい

た。これは各遺伝子型について表現型である文を最大 5 文と少ない文数にしてしまったこと、多様性を制御するための温度  $T$  の最適化が不十分であったことなどが挙げられる。文章の完成度に関して、各文の妥当性よりも高い評価を得ている。これは IEC によってユーザの嗜好を考慮していること、妥当性の高い文が存在し、ユーザに提示できていることなどが挙げられる。

また、提案手法に関する聞き取り調査の結果、以下のような意見が得られた。

- 評価項目がわかりにくい。妥当性や多様性の定義が曖昧。
- 文を生成するのに時間がかかり過ぎている。

これらの意見から、インタフェースをいかに使いやすくするか時間経過によって評価が変化しないような高速な文生成アルゴリズムといったものが、被験者からの正確な評価を得るために、必要不可欠なものであるといえる。

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、IEC に基づく文の妥当性と多様性を考慮した文の自動生成システムについて提案し、予備実験で提案手法の有効性を示した。今後の課題としては生成された文章の定量的

表 4: 平均評価値

評価項目	平均評価値
各文の妥当性	2.6
最良文の妥当性	4.4
文の多様性	2.6
文章の完成度	2.8

な評価、文の妥当性評価に用いた SVM の詳細な評価、各パラメータの評価、IEC のインターフェースの改良、物語の一貫性を計算機のみで機械的に保つ手法の提案などが挙げられる。特に、物語の一貫性を機械的に維持することは小説の自動生成を考えるうえで必須となる要素であり、現在は物語を連続した状態遷移と定義し、状態遷移に従った文を生成していくことで物語の一貫性を維持できるのではないかと考えている。また IEC の個体表現において、単語と文テンプレートを個別に扱っているが、それらを 1 つの遺伝子型に統合することも重要な課題である。本研究は、日本学術振興会科学研究補助金基盤研究 (C) (課題番号 22500208) の補助を得て行われたものである。

## 参考文献

- [1] きまぐれ人工知能プロジェクト 作家ですのよ: <http://www.fun.ac.jp/kimagure-ai/>
- [2] 福田清人, 森直樹, 松本啓之亮: 限定状況下における文生成システムの提案, 第 57 回システム制御情報学会研究発表講演会, 337-3 (2013)
- [3] 高木英行, 畷見達夫, 寺野隆雄: 対話型進化計算法の研究動向, 人工知能学会誌, 13(5), 692-703 (1998)
- [4] Shinya Henmi, Shino Iwashita, and Hideyuki Takagi. Interactive evolutionary computation with evaluation characteristics of multi-iec users. *IEEE Int, Conf, on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2006)*, pages 3475-3480 (2006)
- [5] 小説を読もう!: <http://yomou.syosetu.com/>
- [6] 高橋瑞希, Rafal Rzepka, 荒木健治: Web 検索と単語 n-grm モデルを用いた文生成手法の性能評価, 言語処理学会第 16 回年次大会論文集, 391-394 (2010)
- [7] 吉村枝里子, 土屋誠司, 渡部広一: 会話システムにおける常識理解に基づく連想応答手法, 情報科学技術フォーラム講演論文集, 自然言語・音声・音楽, 303-306 (2009)
- [8] D. E. Goldberg: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley (1989)
- [9] 森, 吉田, 喜多, 西川: 遺伝アルゴリズムにおける熱力学的選択ルールの提案; システム制御情報学会論文誌, Vol. 9, No. 2, pp. 82-90 (1996)
- [10] 日本語形態素解析システム JUMAN: <http://nlp.ist.i.kyoto-u.ac.jp/index.php?JUMAN>
- [11] LIBSVM: <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>