

蟻メタファに基づいた「普遍創造性エンジン」プロトタイプにおける文脈利用手法

 吉本卓矢[†] 鈴木麗璽[†] 有田隆也[†]

 名古屋大学大学院 情報科学研究科[†]

1 はじめに

創造性は、例えば、新しさ、意外さ、価値の3つを持つアイデアやモノを生み出す能力と定義される(Boden[1])ように、価値概念と密接なものと考えられており、従来研究でも、人間の主観的評価に強く依存して扱われてきた。一方で、創造性の高い作品の自動生成の実現には、人間の評価に依存しない方法論を経由したほうが近道である可能性もある。Dorinらは、創造性から主観的側面をいったん排除して、“既存の枠組みでは低確率でしか生成されないパターンを比較的高い確率で生成する枠組みを導入・使用すること”と定義している[2]。ここで枠組みとは、確率的な生成プロセスに用いられる確率分布自体を表す。

我々は、Dorinらの創造性の概念に則り、現実世界からリアルタイムで入力されるデータ列に逸脱に基づく創造性を付加して出力し続ける概念構成「普遍創造性エンジン(Universal Creativity Engine, UCE)」を提案している[3]。UCEは、1) 随時変化していく世の中を捉えることができる“リアルタイム性”、2) 入力データ列で更新した枠組みからの逸脱と共に、自身が出力したデータ列も枠組みに取り込み逸脱させる“2種類の逸脱に基づく創造性”、3) 現実世界のデータを抽象的かつ統一的な形で内部モデル上に蓄えることで様々な離散的なデータ列を扱うことが出来る“表現の普遍性”、という3つの特徴を持つ。

西尾らが作成した蟻メタファに基づくプロトタイプ UCE-ANT[3]では、入力した旋律と歌詞から逸脱したものを生成することに成功している。ただ、各内部層はAnt System[4]における仮想フェロモンで表現される状態遷移層一枚で構成されており、データ列の持つ文脈を利用することが難しい。そこで本研究では、各内部層を文脈ごとに分けて多重化し、更に文脈遷移を受け持つメタ層を導入して多層化する。入力データ列の文脈変化はエントロピーで検知する。旋律層を対象として多重化・多層化した実験を行い、文脈を利用しつつ創造性が付加された旋律が生成されることを示す。

2 UCE-ANT

西尾らの提案した UCE-ANT は、Ant System[4]におけるフェロモン分布で枠組みを表現することで、人間の脳の創造プロセスを模した概念的構成である。

図1に UCE-ANT の内部表現を示す。フィールド上の各ノードはデータの最小要素を表し、有向リンクはノードとノード間の向きのあるつながりの強さを表す。フィールド上では、リフレクターアント(以下 RfA)とパフォーマーアント(以下 PfA)がノードからノードへとフェロモンをリンクに分泌しながら移動する。このとき、ノード*i*から*j*へのリンク*ij*におけるRfAの出したフェロモン量 T_{ij} 、PfAのフェロモン量 t_{ij} は以下の式で更新される。

$T_{reflect}, t_{perform}$ はフェロモンの分泌量を表す定数とする。

$$T_{ij} \leftarrow T_{ij} + T_{reflect} \quad (21)$$

$$t_{ij} \leftarrow t_{ij} + t_{perform} \quad (22)$$

フェロモン量は以下の式に従い徐々に蒸発していく。 p_a, p_b は蒸発率を表すパラメータ($0 \leq p_a, p_b \leq 1$)である。

$$T_{ij} \leftarrow (1 - p_a) \times T_{ij} \quad (23)$$

$$t_{ij} \leftarrow (1 - p_b) \times t_{ij} \quad (24)$$

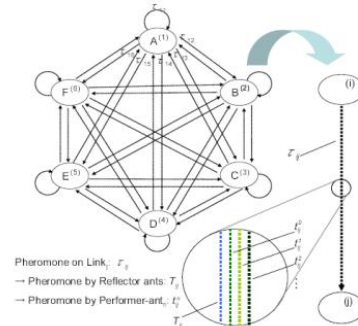


図1: UCE-ANTの内部表現

RfAは、入力されたデータ列に従って移動することで、現在の枠組みをフェロモン分布として構築する。なお、対応するノードがない入力があった場合は、それに対応する新規ノードを追加する。ただし、フィールド上のノード数が最大値に至った場合は、フィールド上で最も使用頻度が少ないノード(繋がっているリンクのフェロモンの合計値が最も小さいノード)と入れ替えられる。PfAはフェロモン分布に従ってネットワーク上を移動し、ノードが表現するものを出力する。PfAがノード*i*にいる時に移動先としてノード*j*を選択する確率は、以下の式で求められる。 N_i はノード*i*に接するリンクの数で、 ϵ はPfAのランダム選択率($0 < \epsilon < 1$)である。

$$P_{ij} = \frac{T_{ij} + t_{ij}}{\sum_{k=1}^N (T_{ik} + t_{ik})} (1 - \epsilon) + \frac{\epsilon}{N} \quad (25)$$

このとき $T_{ij} + t_{ij}$ を用いることで、入力・出力データの両方を枠組みに取り込み、ランダム選択による2種類の逸脱がなされる。

3 文脈利用のための拡張

入力するデータの文脈を利用し、構造的に取り扱うための拡張として、文脈ごとにフィールドを多重化し、文脈遷移を担当するメタ層を導入して多層化する。図2は拡張した UCE-ANT の概要である。UCE-ANTのフィールドを複数配置し多重化した層を1次層とし、各フィールドは異なる文脈(音符列のパターン)の枠組みに対応する。また、1次層上の各フィールドに1対1で対応するノードからなるフィールドは文脈遷移を担当する2次層とする。2次層上のRfAが1次層の枠組みのエントロピー増加から検知した文脈変化に応じてノード間を移動すると共に、1次層上のRfAもフィールド間を遷移することで、文脈を利用したデータ列を出力する。

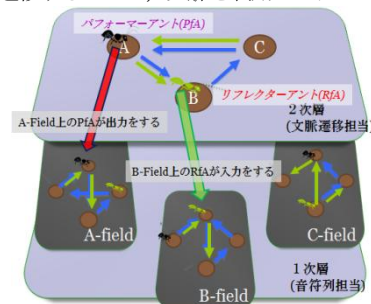


図2: 拡張した UCE-ANT の概要

UCE-ANTは任意のデータ列を入力出力可能だが、本稿では楽曲の音符列を用いる。具体的には、1次層の各ノードは音符1つの高さ(ステップ数)を持ち、RfAは入力された音符に対応したノードへ移動しながらフェロモンを分泌する。PfAは各ノードが持つ音符のステップ数(長さ)分の音符を演奏した後、式(25)に従い

A method for utilizing the context information in a prototype of Universal Creativity Engine based on the metaphor of ant
[†] Takuya Yoshimoto, Reiji Suzuki and Takaya Arita
 Graduate School of Information Science, Nagoya University

移動する。また、1次層上のフィールドには、フィールドにおけるリンク上のフェロモン量のエントロピー H_{Field} が定義されている。

$$H_{Field} = -\sum_k P_{ik} \times \log_2 P_{ik}, P_{ik} = \frac{T_{ij}}{\sum_k T_{ik}} \quad (3.1)$$

類似した音符列が入力されると、 H_{Field} の値は低く維持されるが、文脈変化によってこれまでと大きく異なる音符列が入力されると H_{Field} の値は著しく上昇する。その変化を感知してフィールド遷移を行うことで、文脈ごとにデータの入力を分けることが可能となる。

システムの動作は、仮状態遷移フェイズと状態遷移フェイズを繰り返すことからなる。仮状態遷移フェイズでは、仮想的に1次層全てのフィールドに対し現在から順次入力を続け、各フィールドの H_{Field} が閾値 K を超えるまでにかかる入力ステップ数 StM_{Field} をそれぞれのフィールドについて求める。 StM_{Field} が大きいほど現在の入力とその枠組に沿っていることを表すのを利用し、その中で最大のステップ数を $STMax$ として次の条件に応じて2次層上のRfAの移動先を決定し、状態遷移フェイズに移る。

1. $STMax \geq S_{min}$ のとき、 $STMax$ となる1次層上のフィールドに対応するノードをRfAの移動先とする。
2. $STMax < S_{min}$ のとき、2次層上に新しくノードを作り、そのノードをRfAの移動先とする。
3. $STMax$ の計算途中で入力ステップ数が S_{max} に至ったとき、その時点で計算を切り上げ、 $STMax = S_{max}$ として、その1次層上のフィールドに対応するノードをRfAの移動先とする。複数のフィールドで起こった場合はランダムに選択する。

これらは、RfAは基本的に入力と枠組みが最も一致したフィールドに移動するが、ステップ数 $STMax$ を S_{min} 以上 S_{max} 以下に留めることで、文脈1つが長すぎず短すぎないようにすることを表している。

状態遷移フェイズでは、2次層のRfAが移動先ノードに移動すると同時に、移動先ノードに対応する1次層フィールドにおいてのみ、仮状態遷移フェイズで行なった $STMax$ ステップ分の入力によるフェロモン量の更新を反映させる。これと並列にPfAによるデータ出力も行う。2次層の各ノードはPfAの滞在期間を表す変数 $Duration$ を持つ(初期値0)。まず、現在の2次層のRfAが存在するノードの $Duration$ の値を $STMax$ に更新する。次に、2次層のPfAは自身が存在するノードにその $Duration$ だけ滞在した後、フェロモン分布に応じてノードを移動することを $STMax$ ステップに至るまで繰り返す。その間、2次層PfAが滞在するノードに対応する1次層上のフィールドにおいて、1次層PfAが移動しデータを出力(音符を演奏)する。

4 評価と解析

本研究では、エントロピー H_{Field} に基づく文脈遷移で、RfAによる入力が文脈ごとに分類されていくのかを実験した。パラメータとして、 $T_{reflect} = 0.5$, $t_{perform} = 0.1$, $p_a = 0.01$, $p_b = 0.05$, $\varepsilon = 0.01$, 1次層ノード最大値 $Node1M = 4$, 2次層ノード最大値 $Node2M = 3$, $S_{min} = 4$, $S_{max} = 20$, $K = 2.2$ を用いた。入力する楽曲の音符列として、童謡きらきら星の音符列を用いる(図3)。なお、上部の数字と背景の色分けは同じ旋律を2小節単位でグループ分けしたものである。



図3：きらきら星音符列

入力の際は、図3の音符列を繰り返すものとした。図4は、RfAの入力が1次層上のどのフィールドに入力されたのかを各フィールドの H_{Field} の推移と共にグラフ化したものである。



図4：1次層入力フィールドの切り替わりと H_{Field} (エントロピー)の推移

なお、図中の上部の数字と背景色は図3の各旋律に対応付けている。図4から、入力データの文脈の変化を反映して、2次層にA,B,Cの3つのノードが順に生成され、同時にそれぞれに対応する1次層のフィールド(A-Field, B-Field, C-Field)を生成し、データが繰り返し入力されている。各フィールドは受け持つ旋律パターンが分かっている。A-Fieldには主に③の旋律が入力されており、B-Fieldには主に①の旋律が入力されている。C-Fieldには、①の旋律の途中から②の旋律の途中までが入力されている。典型的な分け方とは異なる文脈が反映されており、興味深いといえる。また、時間の経過と共に当初は高かったエントロピーの値が低い値で安定化していることが分かる。それぞれのフィールド上に同じメロディーの入力が繰り返されることで、フィールドの旋律のパターンが安定することを示しているといえる。

図4の入力を行った際の各1次層上のフィールドにおいてPfAが出力した音符列の典型例を図5に示す。

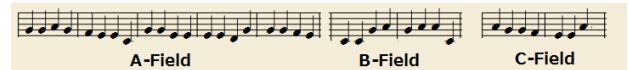


図5：PfAが出力した音符列典型例

各フィールドから出力されたパターンを見ると、A-Fieldでは、③の旋律における“ソ ソ ファ ファ ミ ミ レ”の特徴や、B-Fieldでは①の旋律における“ド ド ソ ソ ラ ラ ソ”の特徴、C-Fieldでは①から②にかけての“ラ ラ ソ ファ ファ ミ ミ”の特徴を見て取ることができ、各フィールドに文脈ごとに分けて入力されて構築された枠組みを元に逸脱した旋律が生成されていることが分かる。2次層のPfAの状態遷移について、明確ではないが入力を繰り返すうちにA→C→Bの遷移が増加する傾向が示唆された。これは入力される旋律の順序を反映したものと推測される。

5 おわりに

本研究では、蟻メタファに基づいた普遍創造性エンジンプロトタイプ UCE-ANT において、入力するデータの文脈を利用し、構造的に取り扱う為の拡張として、文脈ごとにフィールドを多重化し、文脈遷移を担当するメタ層を導入した。結果、取り込まれる枠組みのエントロピー変化に基づいてうまく文脈変化が抽出され、文脈を利用した旋律が生成されることを確認した。今回の拡張は対象を旋律としたが、歌詞など任意のデータ列に関しても普遍的に利用可能である。

参考文献

- [1] Margaret A. Boden, *The Creative Mind: Myths and Mechanisms* (second edition), Routledge, London, 2004.
- [2] Alan Dorin and Kevin B. Korb, A New Definition of Creativity, *Proc. of the 4th Australian Conference on Artificial Life (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5865)*, pp. 11-21, 2009.
- [3] Kenta Nishio and Takaya Arita, Universal Creativity Engine: Real-Time Creation of Melody and Lyrics Based on the Ant System, *Proc. of the 17th International Symposium on Artificial Life and Robotics*, pp. 642-645, 2012.
- [4] M. Dorigo, V. Maniezzo and A. Colomni, The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B*, Vol. 26, No. 1, pp. 29-41, 1996.