

F-017

人工生態系モデルにおける個体の実行時間割り当て方法について

Method of Allocating the Execution Time of the Individual in Artificial Ecosystem Models

片野 剛[†] 大坪 紘一[‡] 植田 佳典[†]
 Takeshi Katano^{††} Kohichi Ohtsubo^{‡‡} Yoshinori Ueda^{††}

1. はじめに

人工生命研究の中心テーマに人工生態系モデルがある。人工生態系モデルとは、計算機内の生物個体を表わすプログラムの集合体が突然変異や淘汰の機能により生命特有の現象を創発する系であり、生命の起源や進化、多様性などの様々なテーマを構成論的に研究することができる [1]。実際の生命現象を模擬するシミュレーションではなく、生命の本質を計算機上に創り出すことが人工生態系モデル研究の目的である。

人工生態系モデルの先駆的研究に Tierra モデルがある [2, 3]。Tierra モデルでは自分自身をコピーするだけの単純なプログラムが多様なプログラムに進化していき、プログラム間に複雑な社会関係(生態系)が観察されるようになる。Tierra モデルよりもさらに多様な進化を狙って拡張が行われたものに Network Tierra モデルがある [4, 5]。Network Tierra モデルではネットワークによる環境の複雑化と個体プログラム(デジタル生命)の多細胞化(並列化)が行われた。

多様な進化を狙って拡張が行われたが、Network Tierra モデルでは期待されたような結果を得ることはできていない。その原因となっているのは、ネットワークに接続されたそれぞれの環境の偏りが大きすぎ、拡張されたネットワークによる環境の複雑性が活かされた進化が促されないことにあると考えられる。

本研究では人工生態系モデルにおけるデジタル生命の多様性を高めることを目的として、新しい実行時間割り当て方法を提案する。

2. 人工生態系モデル

2.1 Tierra

Tierra は独自のマシン語を処理する仮想マシンであり、仮想 CPU とメモリから構成されている(図 1)。仮想マシンによって実行されるプログラム 1 つがデジタル生命 1 個体に相当し、それぞれの個体が仮想 CPU を持っている。実行は時分割で順次に行われる。論理的には複数のプログラムは並列実行される。

Tierra 仮想マシンの特徴は 2 つある。1 つは超 RISC 型の命令セットである。Tierra では複数の命令セットが提案されているが、最も基本的な命令セットでは、各命令は 5 ビットで表され、32 個の命令がある。2 つ目の特徴はテンプレートアドレッシングと呼ばれるアドレス指定方式である。これはジャンプ先のアドレスを直接的、相対的に指定するのではなく、指定したパターンに一致す

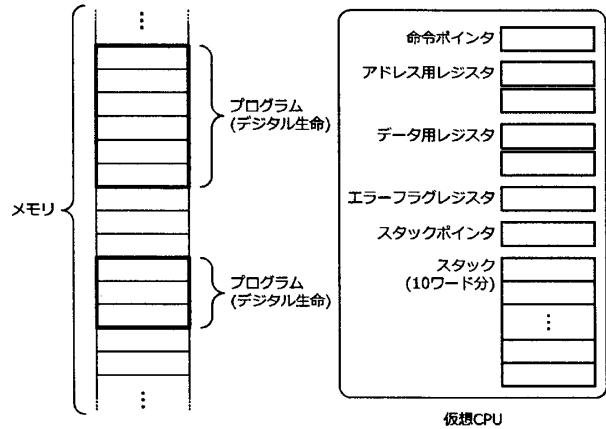


図 1 Tierra 仮想マシン

るパターンをメモリ上の現在のアドレスに近い順に検索し、一致したパターンが見つかった場所にジャンプする方式である。これらの特徴が複雑な生態系が出現するシステムの要因となっている。

Tierra の実行は、人の手で作成した最初の祖先にあたるプログラムを 1 つメモリ上に配置し、開始される。このプログラムは自分自身のコードを他のメモリ領域にコピーすることを繰り返すだけのものである。コピーされた子に相当するプログラムも親プログラムと同様に自身のコードを他のメモリ領域にコピーすることを繰り返す。コピーが繰り返され、使用メモリ領域がある一定の割合に達したら、長く実行されているプログラムを終了させ、そのメモリ領域を解放する。また、メモリ領域中からランダムに選ばれたビットを反転させたり、コピーするデータのランダムな位置のビットが反転したりといった、突然変異が行われる。このようなメカニズムにより、より効率的なプログラムに進化したり、近隣プログラムの一部を利用したり、利用し返したりするような複雑な生態系が創発する。

2.2 Network Tierra

Tierra にネットワーク化と多細胞化(並列化)の拡張を行ったものが Network Tierra である。デジタル生命の複雑性を高めるためには、環境もそれに応じた複雑性を持つ必要があると考えられることから、デジタル生命が活動する環境を複数用意し、それぞれの環境を接続して、ネットワーク化している。物理的にはネットワークに接続されたコンピュータ群で構成される。さらに、多細胞化(並列化)が導入され、デジタル生命は生殖細胞(生殖スレッド)と知覚細胞(知覚スレッド)から構成されるように拡張された。生殖スレッドは通常の Tierra 同様に自身のコピーを行うスレッドであり、知覚スレッドはより良い環境を求めて移動先の環境を探すスレッドである。

[†] 東洋大学大学院工学研究科情報システム専攻

[‡] 東洋大学工学部情報工学科

^{††} Department of Open Information Systems Graduate School of Engineering, Toyo University.

^{‡‡} Department of Information and Computer Sciences, Toyo University.

3. 提案内容

Network Tierra による実験はインターネット上で行われたが、群を抜いて性能の良いコンピュータがあったことにより、一部のコンピュータに個体が集まってしまい、他の環境へ移動する方向へ進化しにくい傾向があったと指摘されている。また、多細胞化に関しても多様化とは反対に単細胞（単一スレッド）に陥る傾向が観察されている。

他の環境へ移動する方向へ進化しにくいことはコンピュータの性能差が環境の特徴を決定付ける要因として大きすぎるのが原因だと考えられる。単一スレッドに陥る傾向があることと合わせて考えると、移動することへの進化圧などと比較して効率良く自己複製することへの進化圧が相対的に強すぎるにより、自己複製効率化のために少ない命令数で自己複製だけができる方向へ進化してしまい、多い命令数で多様な能力をもった方向へ進化しにくい状況が生まれていると予想される。自己複製以外の進化圧、特に移動の進化圧を高める方法として新しい実行時間割り当て方法を提案する。

3.1 従来の実行時間割り当て方法

Network Tierra をはじめとした人工生態系モデルにおける時分割サイズは(1)式によって求めることができる。 S は時分割サイズ、 I は時分割サイズの計算対象となる個体の大きさ（命令数）、 p は環境の特徴パラメータである。

$$S = I^p \quad (1)$$

(1)式から分かるように $1 < p$, $1 > p$, $1 = p$ に応じて CPU 時間の割り当ての特徴を変化させることができる。しかし、いずれにしても時分割サイズは個体の大きさのみに依存して決定される。

3.2 提案する実行時間の割り当て方法

従来の方法では環境中の個体数が増えてもすべての個体に必ず実行時間が割り当てられる。しかし、実行時間をデジタル生命が活動するために必要なエネルギー源だと考えれば、1つの環境内に多数の個体が集まった場合には実行時間の割り当てが行われない個体が現れるほうが自然である。

つまり、個体の活動により環境が変化し、環境の変化が個体の活動に影響を与えるような実行時間の割り当て方法が自然に思われるということである（図2）。

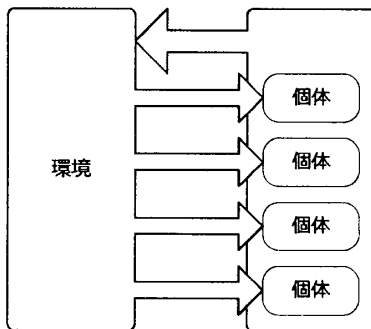


図2 個体と環境の関係

そこで(2)式で時分割サイズを決定することを提案する。

$$S = I^p \times \text{環境の状態} \quad (2)$$

例えば、環境内に存在しているすべての個体の命令数の合計と対象個体の命令数の比を使って(3)式のように環境の状態を与えることができる。 I_{all} は環境内に存在している個体すべての命令数の合計である。

$$S = I^p \frac{I}{I_{all}} \quad (3)$$

また、全メモリサイズに対する全個体のメモリ使用量の比を環境の状態として与えてもよいかもしれない。

いずれの場合にしても、1つの環境に多数の個体が集中するほど割り当てられる時分割サイズが小さくなるため、他の環境へ移動することへの進化圧が強くなるのではないかと考えられる。Network Tierra の場合であれば、移動への進化圧が強まるということは多細胞化への進化圧が強まるということでもあり、より多様な個体が現れることが期待できる。

4. まとめ

本論文では、人工生態系モデルにおける各プログラムの実行時間の割り当て方法として、実行環境の状態と各プログラムの関係に注目した割り当て方法を提案した。

今後は提案した実行時間の割り当て方法を Network Tierra をベースとした人工生態系モデルに実装し、他の実行環境への移動や並列化等、プログラムの多様性にどのような影響があるのかを従来方法と比較していく予定である。

参考文献

- [1] 有田隆也, "人工生命", 医学出版, 2002.
- [2] T.S.Ray, "An Approach to the Synthesis of Life", Artificial Life II, pp.371-408, 1992.
- [3] T.S.Ray, "Evolutionary Approach to Synthetic Biology", Artificial Life, Vol.1, No.1/2, pp.179-209, 1993.
- [4] T.S.Ray, "Selecting Naturally for Differentiation", Proc. of the 2nd Annual Conference on Genetic Programming 1997, pp.414-419, 1997.
- [5] T.S.Ray and J.Hart, "Evolution of Differentiated Multi-threaded Digital Organisms", Artificial Life VI, pp.295-304, 1998.