

3D プリンタとスキャナを用いた 実物体の物理的機能に関する進化的改善システム

秋山拓也[†] 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

人工生命の分野では、3次元造形の技術は進化実験結果の出力等に以前から利用されてきた[1]が、近年3Dプリンタやスキャナが安価で入手可能となったことから、その活用手法の研究が最近特に盛り上がりを見せている[2, 3]。

一方、3次元造形技術を一般が利用するのは敷居が高い場合がある。その理由として、3次元物体の形状をゼロから直接設計することは容易でないこと、更に、政策必需品の個人製作など、実環境での利用を想定して望みの物理的特性や機能を持った形状を設計することは容易でないことが考えられる。

そこで、本研究では、これらの問題点を解決した人工生命技術に基づく3次元計測・造形技術の新しい応用の形として、実物体の物理的機能に関する進化的改善システムを提案する。前者の問題については実物体のスキャン技術の活用、後者については物理シミュレーションによる物理特性の再現に基づく進化計算の活用による解決を図ることで、本システムのユーザは実物体の物理的機能を改善した置き換え可能な新たな物体を自動もしくは対話的に生成可能である。本稿ではそのプロトタイプ制作と予備的評価を行う。また、考案したグラフ構造とボクセル表現を組み合わせたハイブリッドな形状表現法についても評価する。

2. 提案システム概要

本システムは物体形状入力部（以下、入力部）、進化計算部（以下、計算部）、改善物体形状出力部（以下、出力部）から構成されている（図1）。ユーザは物理的な機能を改善したい実際の物体を選ぶ。入力部において、3Dスキャナ技術を用いた物体の形状計測を行うことで対象とする実物体の形状をデジタル化し、進化的計算を適用可能な遺伝子表現へ変換する。計算部では、得られた遺伝子を元に進化計算の初期集団を生成する。用途に応じて様々な環境に設定した3次元物理シミュレーションを用い、各個体の挙動を再現する。その結果に応じてユーザが設定した関数で自動的に、もしくは、ユーザが挙動を直接観察して物理的機能を対話的に評価し、集団を進化させる。出力部では、進化した形状を3Dプリンタによって出力し、新たな物体を現実世界に構築する。最後に、新たな物体を当初の物体と置き換えることで、現実世界の

物体の物理的機能を改善することができる。

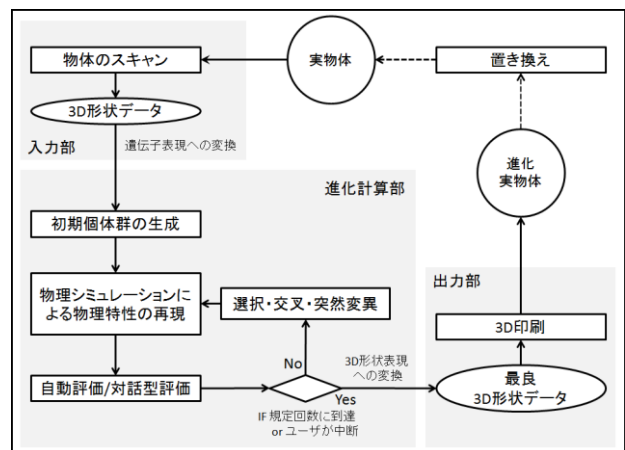


図1：提案システム概要

3. プロトタイプ制作

次のプロトタイプ制作した。入力部では、所定の位置に配置された物体の形状を、Microsoft社のKinectを用いた3Dスキャナで取得する。取得データはPoint Cloud Libraryを用いて点群化処理を行い（図2）、壁を除去する等のフィルタリングを通した後、進化計算の初期集団となる個体の遺伝子表現（後述）に変換し計算部へ渡す。

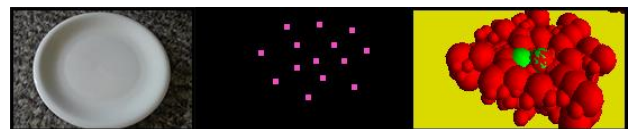


図2：3Dスキャンと遺伝子表現の例
左：対象，中：点群表現，右：遺伝子表現

計算部では、物理エンジンOpen Dynamics Engineによるシミュレーションを用いて、形状を持つ個体を遺伝的アルゴリズムにより進化させる。

今回は、形状表現として、Octomapを用いた粒度の異なる球形のボクセルの集合からなるノードを長さのある棒状のリンクで接続した。グラフ構造とボクセル表現を合わせた方法を考案し、採用した（図3）。Octomapはボクセル群を木構造で表現し、用途に合わせてボクセルを再帰的に分割可能な3D物体表現モデルである。各ノードが個別に持つOctomapの木構造と、ノード間の関係（接続の有無、距離、角度、大きさ）を

An evolutionary optimization system for physical functions of real objects using a 3D printer and scanner

[†] Takuya Akiyama, Reiji Suzuki, Takaya Arita

個体の遺伝子とすることで、物体の、マクロ・ミクロ構造、もしくは、構造とテクスチャを同時に進化可能にすることを狙った。

進化計算の各世代では、集団のすべての個体を仮想環境に同時に配置し、物理シミュレーションを並列に行う。物理機能が定量的に評価可能な場合は評価関数を設定して自動的に進化させる。好みの形状を優先して選択したり、初期個体からの極度の乖離を避けたりする場合など、定量的評価が容易でない場合はユーザが直接対話的に評価する。選択操作にはエリート保存と評価関数に基づくルーレット選択、遺伝的操作には各遺伝要素の突然変異（グラフ構造と各ボクセルツリーのノード追加・削除を含む）と交叉を採用した。

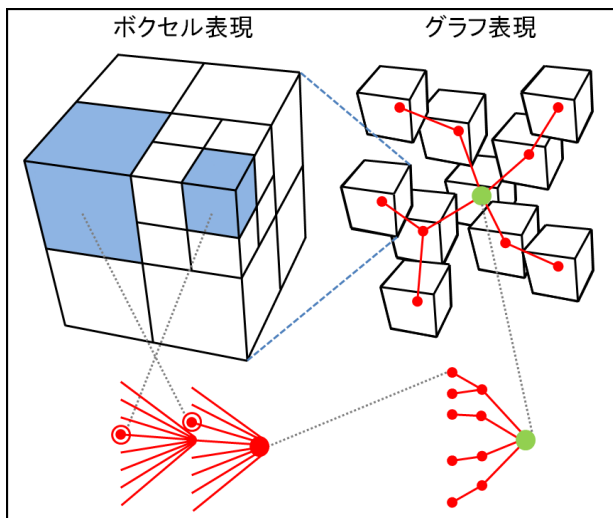


図3：形状表現

左上：ボクセル表現，右上：グラフ構造
左下：ツリー表記，右下：物体の例

出力部では、計算部から受け取った遺伝子を一旦 Standard Triangulated Language フォーマットに変換し、さらに、3DSystems 社製の 3D プリンタ Cube 用のフォーマットに変換し、出力する。

4. 評価

制作したプロトタイプの動作を確認するため、図2左の皿を、水や小さな物体をより多く保持するように改善することを想定し、試行した。皿を3Dスキャンし（図2中）、遺伝子（図2右）及び個体数30の初期集団を形成した。各個体について水に模した青い球体を上から20個落とし（図4）、一定時間経過後の各球体と個体の中心との距離の総和の逆数に比例した適応度を用いて進化させ（図5下）、最良個体を（図5左）3Dプリンタで出力した（図5右）。出来上がった物体は凸凹した縁が持ち上がった、球体をとどめやすい形をしており、構造とテクスチャの両方の進化がうまく働いたことが示唆される。また、グラフ構造、ボクセル構造単体で表現した場合よりも多様性を維持し、限られた世代でより適応的な進化が可能であることも示唆された。

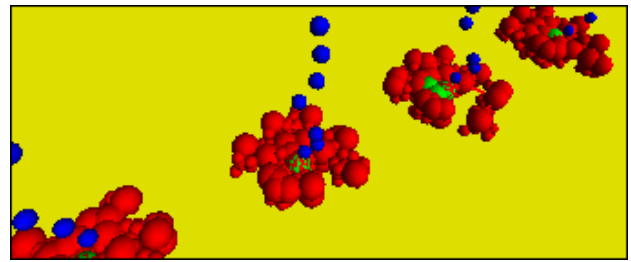


図4 評価の様子

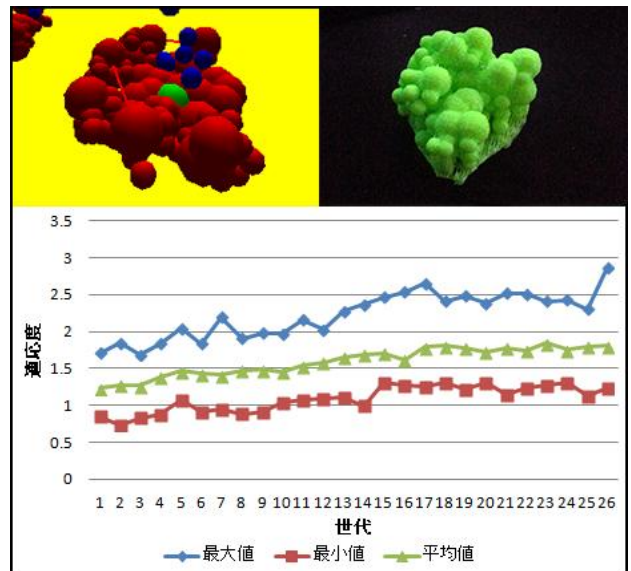


図5 評価結果

左：進化後の形状，右：印刷した実物体
下：適応度の推移

5. おわりに

本稿では、3次元造形・計測技術と人工生命手法を活用した、実世界の物体をソフトウェア上でアップデートし再び実世界に戻すシステムのプロトタイプを構築し、試行した。今後、3Dプリンタの普及による“生活必需品個人製作”の時代がやってくることが推測される。その用途は全く新しいものの創作や従来品の不満点を改良する等多岐に渡る。本システムは特に後者の方向性に应用可能である。今後は対話型進化を含む詳細な評価やより細かい形状を比較的低い計算量で扱える手法の検討などが課題である。

参考文献

- [1] Lipson, H. and Pollack J. B. (2000). Automatic design and manufacture of artificial lifeforms, *Nature* 406, 974-978.
- [2] Clune, J. and Lipson, H. (2011). Evolving three-dimensional objects with a generative encoding inspired by developmental biology, *Proceedings of the Eleventh European Conference on Artificial Life*, pp. 144-148.
- [3] Kuehn, T.J.(2012). Evolutionary fabrication: A systems of autonomous invention, *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Genetic and Evolutionary Computation Conference*, pp.579-584