

学位論文題名

セル構造オートマトンに基づく形状
モデリングとその応用に関する研究

学位論文内容の要旨

計算機の性能の向上・パーソナルコンピュータの普及に伴い、コンピュータグラフィックス(CG)が益々身近なものとなってきている。映画・ゲームなどでは実写と区別がつかないCGが盛んに用いられている。CGの作成において、物体を写実的に表示するレンダリング技術が重要なのはもちろんであるが、物体の形状を定義する形状モデリングは、表示させたい物体の形状を生成するのに必要不可欠であり、最適なモデリング手法を用いることで対象とする物体をより効率的に生成できるなど、もっとも重要な部分である。

形状モデリングは、表現する対象によって2次元モデルと3次元モデルに分けることができる。CADなどに代表される幾何学的制約に基づく製品設計は前者、CSGによる3次元形状の作成は後者の代表的な手法である。この他にも数多くの手法が提案されているが、それらのほとんどはモデリング手法そのものと実際に物体が表示される空間とは概念的に分離されており、物体が表示される空間は受動的な役割のみを有する。

これに対し、対象空間(ピクセル空間またはボクセル空間)そのものに能動的機能を与えその中に形状モデリングの手法を埋め込むアプローチが考えられる。すなわち、各セル(ピクセルまたはボクセル)を自律的な処理要素としてとらえ、それらの間での局所的な情報のやりとりを通して対象空間全体で直接形状モデリングを実現する手法である。この場合、対象空間は単なる受動的なメモリではなく、それ自体が処理機能を有する能動的空間といえることができる。このアプローチは、対象空間をセル構造オートマトンとみなすことに等しい。

以上のような背景から本論文では、複数の自律的な処理要素がそれぞれ能動的に処理を行うことで形状モデリングを実現する手法を提案した。最初に、幾何図形の基本要素である「点」と「直線」に注目し、個々の点が平面上を自律的に移動することにより直線の生成を行う自律的直線生成モデルを構築した。1つの点を1つのエージェントととらえ、エージェント群による最適化問題のパラダイムを適用し直線生成を実現した。次に、ピクセル空間を2次元セル構造オートマトンとみなし、幾何学的制約を考慮した図形生成をすべてピクセル空間上で行う宣言的図形生成モデルを構築し、ソフトウエアシミュレーションを行い生成モデル論としての可能性を検証した。さらに、ボクセル空間に3次元セル構造オートマトンを配置し、各ボクセルに物理法則には基づかない単純な変形規則を埋め込んだ能動的ボクセル空間で自由形状モデリングを行う仮想粘土モデルを構築した。本仮想粘土モデルに基づく仮想粘土細工システムのプロトタイプを作成し、自由形状モデリングに対する仮想粘土モデルの有効性を確認した。

本論文は、以下の6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景となる事項について述べ、本研究の目的について論じた。

第2章では、セル構造オートマトンの定義およびその特徴について述べ、従来行われてきたセル構造オートマトンに関する基礎的研究やその応用に関する研究例を紹介した。また、本研究に関連するマルチエージェント・幾何学的制約に基づく図形生成・形状モデリングの分野について基礎的事項を述べ、それぞれにおける従来の研究例を紹介した。

第3章では、幾何図形の最も単純なプリミティブである「点」と「直線」に焦点をあて、個々の点の自律的な移動により直線を生成する自律的直線生成モデルを提案した。個々の点を平面上を自律的に移動する1つのエージェントととらえ、直接的な相互通信を伴わないエージェント群による最適化問題のパラダイムである Gur Game を応用して直線生成を実現した。エージェントの振る舞いは有限状態オートマトンで規定され、環境から与えられる報酬に従って独立に状態遷移を繰り返す。オートマトンの状態数や問題サイズの相違による直線の生成具合をシミュレーション実験により調べ、「点」による直線生成・幾何図形生成の可能性・Gur Game パラダイムの直線生成に対する応用の問題点について検証した。

第4章では、ピクセル空間を能動的な処理要素とみなしその中に本質的な図形生成機能を埋め込み、それぞれのピクセルの自律的な動作により幾何図形を生成する並列図形生成モデルを提案した。2次元セル構造オートマトンをピクセル空間に対応付け、各ピクセルがそれぞれ能動的な処理を行うことで幾何学的制約を考慮した宣言的図形生成を実現した。与えられた幾何学的制約を局所写像のシーケンスに翻訳する 2-forest 伝播アルゴリズムについて解説し、その局所写像を用いた幾何学的制約の充足から図形生成までの一連の過程の詳細を説明した。提案モデルは、幾何図形の描画空間であるピクセル空間と幾何学的制約のソルバーをセル構造オートマトンの枠組みの中で融合するものである。最後にソフトウェアシミュレーションによるプロトタイプシステムを構築し、三面図生成への応用の可能性など本モデルの有効性を検証した。

第5章では、コンピュータグラフィックスの発展に伴い重要性を高めている3次元自由形状モデリングにセル構造オートマトンを適用したモデリング手法を提案した。モデリングの空間を3次元離散ボクセル空間とし各ボクセルにごく単純な変形規則を与えたオートマトンを埋め込むことにより、処理機能を内包したボクセル空間において自由形状モデリングを実現する。自由形状の対象としては粘土を取り上げた。変形の際力の伝搬は考慮せず、形状変形を空間的密度分布の均一化の観点から考え局所的な均一化の繰り返しにより全体的な形状変形を行う。実験により、変形に要する時間は対話的操作に十分堪えうる速度であることが確認され、仮想粘土の挙動は実際の粘土の挙動を十分想起させるものであった。さらにモデルに含まれるパラメータと変形の関係について実験的に調べ、その性質を考察した。また、応用として仮想粘土細工システムのプロトタイプを構築し実際に対話的に変形操作を行い、本仮想粘土モデルの自由形状モデリングに対する有効性を確認した。

第6章では、結論として本研究における成果を総括するとともに、今後に残された課題について論じた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 本 強
副 査 教 授 佐 藤 義 治
副 査 教 授 宮 本 衛 市
副 査 助 教 授 高 井 昌 彰

学 位 論 文 題 名

セル構造オートマトンに基づく形状 モデリングとその応用に関する研究

コンピュータグラフィックスの生成において、モデリング、特に物体の形状を生成する形状モデリングはもっとも基本的かつ重要な手順である。従来の形状モデリングにおいては、形状生成手続きが生成に必要な形状データを計算し、それを元に形状が構築される。すなわち、形状データは受動的なものであり、生成手続きとは分離されている。

これに対し本論文では、生成手続きと形状データを融合する、従来とは異なったアプローチの下で形状生成モデルを構築しており、プロトタイプによる実験などを交えてその実現可能性を示している。本研究の主要な成果は以下の点に要約される。

- (1) 2次元ピクセル空間にセル構造オートマトンを適用し、制約充足機能を埋め込んだ能動的ピクセル空間において幾何学的制約に基づく図形生成モデルを構築している。ピクセル空間と幾何学的制約のソルバーをセル構造オートマトンの枠組みで融合し、幾何学的制約の充足から図形描画までをプロトタイプにより実現し、モデルの実現可能性を明らかにしている。
- (2) 3次元ボクセル空間にセル構造オートマトンを適用し、塑性変形機能を埋め込んだ能動的ボクセル空間において粘土を題材とした自由形状モデリングを実現している。空間的密度分布の均一化の観点から形状変形を捉え、仮想粘土の挙動を実験により確認するとともに応用として仮想粘土細工システムを構築し、仮想粘土モデルの自由形状モデリングに対する可能性を明らかにしている。

これを要するに、著者は形状モデリングにおいて、能動的空間における形状生成モデルの構築に関する新知見を得たものであり、画像工学の発展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。