

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月20日現在

機関番号：11201
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2011～2012
課題番号：23650038
研究課題名（和文） 立体表面上で動作するセルオートマトンと全方位プロジェクション技術の開発
研究課題名（英文） Development of Cellular Automata Executable on 3D-object Surface and Multi-directional Projection Technique
研究代表者 千葉 則茂（CHIBA NORISHIGE） 岩手大学・工学部・教授 研究者番号：40171946

研究成果の概要（和文）：

全方位投影型プロジェクションマッピングを支援するための以下のようなアルゴリズム開発を行った。

- (1) ポリゴン表面上に一様な六角形セル配置を求めるための点群の一様な分布を生成する運動シミュレーションアルゴリズム
- (2) 六角形セル空間で動作する典型的な2次元アニメーションアルゴリズムとして、波紋と魚群の遊泳シミュレーションアルゴリズム
- (3) 実物体表面に一致する映像投射のためのカメラを使用しないプロジェクタの位置・姿勢推定と映像変形アルゴリズム

研究成果の概要（英文）：

We developed the following algorithms for supporting multi-directional projection mapping:

1. A motion simulation algorithm for finding uniform distribution of point cloud to generate uniform arrangement of hexagonal cells on a 3D-model surface;
2. Algorithms for simulating spreading ripples and swimming fishes as typical 2D-animation algorithms in hexagonal cellular space;
3. Algorithms for estimating projector position and posture without using a camera and for deforming images, usable to project images consistently on a 3D-object surface.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 情報学・メディア情報学・データベース

キーワード： プロジェクションマッピング, 六角形セル空間, 物体表面アニメーション, 六角形セルオートマトン, 群れのアニメーション

1. 研究開始当初の背景

CGは、これまでの平面スクリーンに投影される人工映像の生成技術から、近年ではインタラクション技術、コンピュータビジョン技術、モバイルネットワーク技術の発展と共に、仮想現実感（VR）、複合現実感（MR）、および

実物体に投影することの多い拡張現実感（AR）などの構成技術としても発展してきている。また、映像投影や表示の大型化の進展に伴い、インタラクティブアートや映像インスタレーション、プロダクトデザインや景観シミュレーションなどの（準）実サイズでの

デザインシミュレーション、ビルの壁面を利用したプロジェクションマッピングやデジタルサイネージなどの応用分野が拡大している。いずれにおいても、実空間と仮想空間を協調させ、一つの表現空間を構成する時代にさしかかっている。本研究はこのような技術動向およびコンテンツ制作に貢献するものである。

2. 研究の目的

本研究では、全方位投影型プロジェクションマッピングを支援する以下のような技術を目的とした。全方位プロジェクションマッピングは、物体表面上に映像を投影し、通常は視点独立な表現を行うため、コンテンツ制作には表面上で動作するアニメーション技術や、アニメーション生成時の物体モデルと仮想カメラの相対的な関係と、実物体とプロジェクタの相対的な関係を一致させ、物体表面形状に適合する映像投影を行う技術が必要となる。

- (1)ポリゴン表面上に一樣な六角形セル分布を求める方法
- (2)典型的な2次元アニメーションアルゴリズムの六角形セル空間への実装法
- (3)実物体表面に一致する映像の投映法

3. 研究の方法

(1) 研究の方法

これまで、セルオートマトンによる波紋生成アルゴリズムや、粒子ベースシミュレーションに関する経験をベースに上記目的(1)と(2)の技術開発に取り組んだ。また、(3)についてはイメージベースグラフィックスやコンピュータビジョンにおける基礎技術をもとに取り組んだ。

(2) 研究体制

これまで協力して研究を進めることが多く、またイメージベースグラフィックスを専門として、カメラと物体の相対的な関係の計算に詳しい藤本忠博准教授を連携研究者として、またプログラミングスキルの高い大学院学生をプログラム開発やプログラム実験のための研究協力者として推進した。

(3) 研究設備

プロジェクションマッピングという普及技術の開発という目的から一般的なPCを用いて研究を進めた。なお、保有PCに加え、1台購入して進めた。

4. 研究成果

本研究により、以下のような成果が得られた。

- (1)ポリゴン表面上に一樣な六角形セル分布を求める方法について

ポリゴンモデル表面上に一樣に分布する

点群配置が可能になれば、六角形セル空間の生成(ボロノイ領域分割)が期待できる(図1)。なお、六角形セルとなるかどうか不明な点もあるが、必ずしも正六角形となることを求めてはいないので、可能性が期待できる。

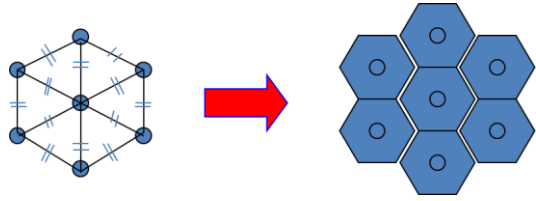


図1. 一樣な分布をする点群が作る六角形セル

①ポリゴン表面上での近傍点探索

同一ポリゴン上の2点間の距離は容易に求められる。しかしながら、異なるポリゴン上にあるときには工夫を要する。基本的には、展開図上で距離の評価を行うことが考えられる。ここでは、次項で述べる斥力による運動シミュレーションを行うのが目的である。

(図2)ので、着目している点の近傍点を探索することが問題となる。そのため、データ構造として、ポリゴンを点として、共通稜線での隣接関係を定義する隣接リストP(グラフPとも呼ぶ)を用意すると探索が容易になる(ウイングドエッジ構造も使える)。また、近傍点の効率的な探索のためには、ポリゴンをバケットとしたバケットソートにより点群を管理することができる。ポリゴン内の点の座標は重心座標で表しておく、考えやすい。

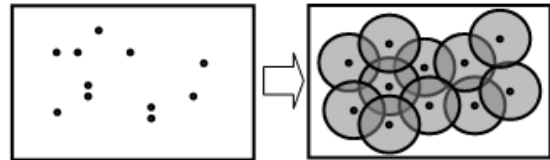


図2. 斥力シミュレーションのイメージ

a. 近傍点の探索アルゴリズム: ポリゴンは3角形として説明する(図3)。

Step.1 近傍ポリゴンの探索: 点が属するポリゴンから、ポリゴン全体が斥力範囲を超えるまで、グラフPにおける幅優先探索を行い、近傍ポリゴンを列挙する。

Step.2 近傍ポリゴン上にある点との距離計算(斥力計算): 近傍ポリゴン内で、着目点から出る全てのパスについて以下のことを調べる。

Step.2-1 距離計算可能性テスト: パス上のポリゴンの展開を求める。

Step.2-2 パス上のポリゴンに存在する全ての点について以下のことを調べる。

Step.2-2-1 着目点とその点を結ぶ線分が、ポリゴンの展開上にあれば、その線分の長さとその点までの距離とする。

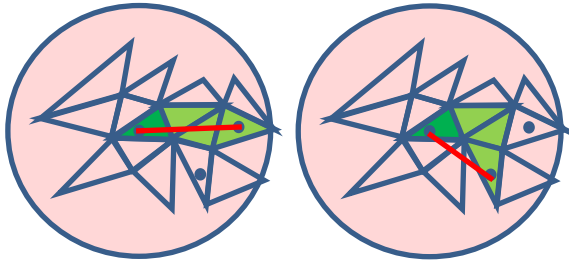


図3. 展開による距離の評価 (左は正しい評価ができる例で, 右は評価ができない例)

b. 斥力による運動シミュレーション

a で求めた質点同士の距離をもとに斥力を算出し, 質点の座標を更新するために斥力による運動シミュレーションを行う.

c. ポリゴンの幅優先探索による六角形セルの構築

運動シミュレーションの結果, 六角形セルを構築するために必要な一様に分布する点群が得られる. この点群に対して, 各点の近傍6点を見つけるために, バケットソートのバケット (ポリゴン) に関する幅優先探索を適用する.

②実験

トーラス上で運動シミュレーションを行い検討した. 最終的に収束させたい斥力範囲を六角形セルの一边の長さとするれば, 1つの六角形セルの面積を求められる. 全体の面積に対する六角形セルの面積比で与える最適な質点数が得られる.

シミュレーションにおいては, 斥力範囲や, シミュレーションの Δt を, 手動で変更できるようにした. また, 斥力分布については, 距離に比例して小さくなる, ガウス分布のように小さくなる, 分子間力のように引力部分を含む, などが考えられるが, 今回は最初のもので行った (図4).

また, 場合によっては, 図5のように, 穴が空いたままで終了してしまうこともあった. 現在は, 全点群を同時に移動させる方法を探っているが, 逐次型の移動方法をとるとバランスが崩せるかも知れないと考えている.

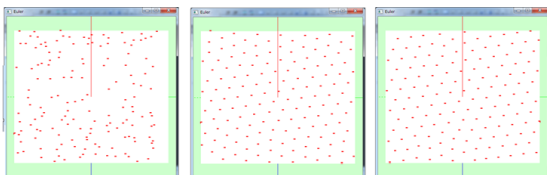


図4. シミュレーションの例

(2) 典型的な2次元アニメーションアルゴリズムの六角形セル空間への実装

今回は, 典型的な例として, セルオートマ

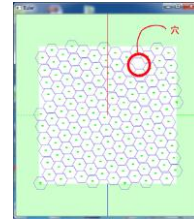


図5. “穴”ができる例.

トンによる波紋生成アルゴリズムと, 魚群の遊泳アルゴリズムの実装を行い, 六角形セル空間の有効性を示した.

①波紋生成アルゴリズム

正方セルオートマトンによる, 水圧の差によりセル間の水量が移動するアルゴリズムを六角形セルに拡張し, トーラス上で行ったシミュレーション例を図6に示す.

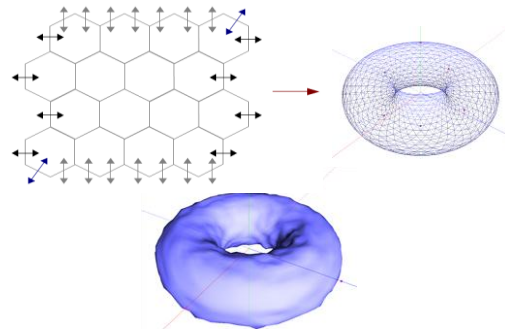


図6. 波紋生成セルオートマトンの実装

②魚群の遊泳アルゴリズムの六角形セル空間への実装

ここでは, 近傍の魚と近づきすぎると回避行動を, 適度な距離にあると同調行動を, 離れすぎの場合には求心行動を行う Boid モデルを六角形セル空間で実装した (図7).

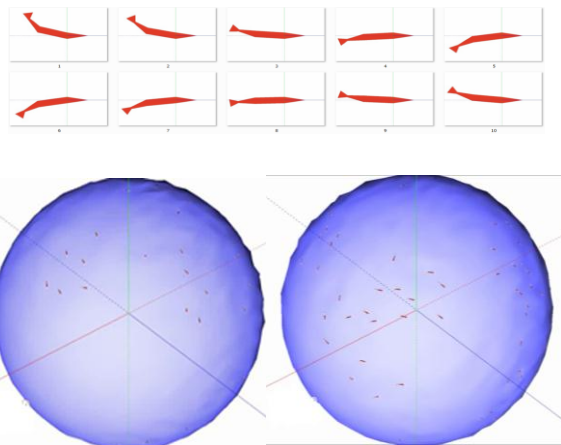


図7. 魚群の遊泳アルゴリズムの球体上への実装

(上: 魚の運動, 下: 遊泳アニメーション)

魚は、胴体とひれを動かして運動するようなモデルにしてあるが、その運動による水への影響と、水からの力を得るなどの相互作用を考慮することは残されている。本魚群アニメーションのビデオはホームページに掲載してある。

(3) 実物体表面に一致する映像の投映法

全方位マルチプロジェクタの構築について、各プロジェクタ位置・姿勢を求める実用的な方法として、プロジェクタからポイントを投影することにより特徴点を指定することに基づく、カメラを用いない方法をインプリメントした。また、開発手法の効果を確認するために、立方体を組み合わせた立体へのビデオ映像の投影を試みた(図8, 9)。

しかしながら、いろいろな試行を行う中で、実物体と投影像との一致には手動での調整が欠かせないことが分かった。これについては、画像全体への変形を与えるためのビルボードとテクスチャマッピングを利用した手法を開発して利用した。なお、これを汎用化し、投影像生成時の仮想カメラと実物体への投影時のプロジェクタの位置・姿勢が一致せずとも適用可能な、物体表面の平面単位での投影像の歪み補正ツールの開発が有効であるという知見が得られた(図10)。



図8. 2台のプロジェクタによる投影の様子

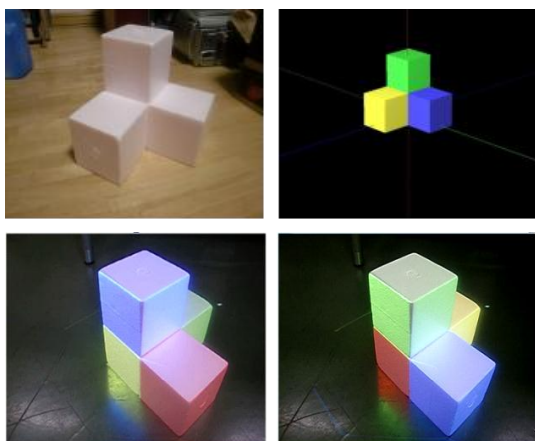


図9. 実物体の面に一致した投影の例(左上: 実物体, 右上: 画像生成に使用した3次元モデル, 下: 面の色彩を変えながらレンダリングした画像の投影)

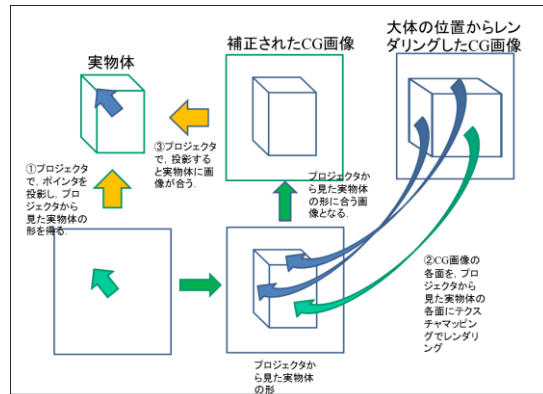


図10. 物体表面の平面単位での投影像の歪み補正ツールの機能概念図

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計7件)

- ①後藤龍哉, 佐藤広之, 藤本忠博, 千葉則茂, 立体表面上で動作するアニメーションの生成法(Ⅱ), 平成24年度第4回芸術科学会東北支部研究会, 日本大学工学部(福島県), [24-04-04], 2013. 3. 28
- ②佐藤広之, 千葉則茂, ポリゴンモデル表面への6角形セル空間の生成法, 平成24年度第3回芸術科学会東北支部研究会, 東北工業大学(宮城県), [24-03-04], 2012. 11. 23
- ③後藤龍哉, 千葉則茂, 6角形セル空間における魚群遊泳アニメーション, 平成24年度第3回芸術科学会東北支部研究会, 東北工業大学(宮城県), [24-03-05], 2012. 11. 23
- ④後藤龍哉, 高橋良輔, 藤本忠博, 千葉則茂, 立体表面上で動作するアニメーションの生成法(Ⅰ), 平成23年度第2回芸術科学会東北支部研究会, 八戸ポータルミュージアムはっち(青森県), [23-02-03], 2012. 3. 27
- ⑤高橋良輔, 千葉則茂, プロジェクションマッピングのための実用的映像投影技術, 平成23年度第1回芸術科学会東北支部大会, 岩手大学(岩手県), [23-01], 2012. 1. 6
- ⑥後藤龍哉, 千葉則茂, ビルディングプロジェクション向きマルチプロジェクタ技術, 平成23年度第1回芸術科学会東北支部大会, 岩手大学(岩手県), [23-02], 2012. 1. 6
- ⑦千葉則茂, プロジェクションマッピング試行報告, 平成23年度第1回芸術科学会東北支部研究会, 岩手大学(岩手県), 2011. 11. 25

[その他]

以下のWebサイトに球面上での魚群と波紋のアニメーションを掲載している:

<http://www-cg.cis.iwate-u.ac.jp/lab/chosentekihouga.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千葉 則茂 (CHIBA NORISHIGE)

岩手大学・工学部・教授

研究者番号：40171946

(2) 連携研究者

藤本 忠博 (FUJIMO TADAHIRO)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：00312512