

法線の平滑化を用いた液体の描画手法

高橋 勤

土井 章男

岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

1. はじめに

リアルタイム・グラフィックスでは水や煙の表現に粒子モデルが用いられる。粒子の描画についてはポイントスプライト(Point Sprite)法^[Lengyel2003]が広く用いられており、水しぶきや煙など光の散乱が高い物質の表現に適用される場合が多い。

液体を写実的に表現するには表面の屈折や反射について計算する必要がある。この表現には環境マップを用いたレンダリングが行われるが、ポイントスプライト法は表面の法線を考慮していないため液体を表現するには不十分である。

液体表面の描画については3次元ボリュームデータからMC(Marching Cubes)法^[Alan1992]により等値面を生成した後に、そのポリゴンを描画する手法がある。しかしながらMC法は計算コストが高く、また粒子モデルから計算するにはボリュームデータの生成が必要になる^[Fujimoto2004]ため対話性に不利な点が多い。

MuellerらはSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)を基にした粒子モデルによる流体シミュレーションにおいてSurfel^[Pfister2000]を用いた境界面の描画を行ったが、各Surfelに与える法線の取得にColor-fieldと呼ばれる3次元のスカラ場を必要とした^[Mueller2003]。

これらの手法は空間中に存在する全ての境界面を描画する場合に有効である。しかしながら厳密な形状を必要としない場合、全ての境界面は必要でなく、視点に最も近い境界面のみ描画するのが効率的である。

そこで本研究ではボリュームデータを生成せずに、ポイントスプライト法の拡張から法線の平滑化により液体を表現する手法を提案する。

2. 提案手法

2.1. 概要

提案手法は3段階の工程を経て最終的な画像を得る。第1段階では最終的な陰影処理に必要な法線や表面位置をテクスチャマップとして保存する。第2段階では生成した法線マップに平滑化処理を行う。第3段階では平滑化した法線マップから法線を取得して陰影処理を行う。

2.2. 法線マップの生成

実際に陰影処理を行うには、ピクセル毎に表面位置と法線が必要である。ポイントスプライト法では視点方向のポリゴンを置くため、物体の輪郭部における法線を得ることが出来ない。そこで本稿では各粒子に球体を近似したポリゴ

ンを配置する。個々の球体の面は陰面消去により球群の面となる。この球群の面についてピクセル単位における法線をテクスチャバッファに保存する。また後の陰影処理のためワールド座標系における表面の位置も別のテクスチャに保存する。これらのテクスチャについて、球面以外の領域におけるテクセルは零ベクトルとする。

この時の法線マップを図1に示す。図のRGB成分は法線ベクトルのXYZ成分に対応している。

2.3. 法線の平滑化

生成した法線マップは球群表面の法線である。そのため近接する球との間に存在する溝を示す法線が存在する。この溝を消去するために法線マップに対してフィルタリングを行う。

フィルタリングとは、あるテクセルの位置

(p_s, p_t) を中心とする幅 $N+1$ テクセルの矩形

領域 g から新たなテクセル g' を得る操作である。実際に行うフィルタリングは原画像から、除去する性質によって変える必要がある。本稿では、まだ最適なフィルタの設計を行っていない。そこで簡単のためにローパスフィルタの一種である平均値フィルタを用いた。ただし法線が零ベクトルである場合はフィルタリングを行わない。

$$g'(p_s, p_t) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=-N/2}^{N/2} \sum_{j=-N/2}^{N/2} g(p_s+i, p_t+j)$$

最後に法線を正規化してテクスチャバッファに保存する。この時の法線マップを図2に示す。

2.4. 陰影処理

これまでの段階によって得た法線マップ及び表面位置マップから、ピクセル単位の法線と表面位置を取得して陰影処理を行う。ただし法線が零ベクトルである場合は陰影処理を行わない。また透過や周囲の映り込みを表現する場合は、あらかじめ環境マップを用意する。実際に陰影処理を行った結果を図3に示す。

3. 実装

テクスチャに対する任意のフィルタリングや、テクスチャマップから法線及び表面位置を取得する陰影処理を行うにはGPUにおけるシェーディング言語の利用が有効であるため、本稿ではOpenGL及びCg言語を用いて実装した。

第1段階における法線マップ及び表面位置マップ

A rendering method for liquid using smoothed normal.
Tutomu Takahashi, g031z095@edu.soft.iwate-pu.ac.jp
Akio Doi, doia@edu.soft.iwate-pu.ac.jp

Iwate Prefectural University, Faculty of Software and Information Science

の生成では浮動小数点数バッファを利用し、第3段階ではスクリーンの縁に合わせた矩形のポリゴンを介して、生成した法線マップ及び表面位置マップを用いて陰影処理を行うのが望ましい。

4. 評価

平滑化による効果を見るため、第1段階、第2段階で得られた法線マップから水平方向に並ぶ一部分を取り出す。表示を簡単にするため、任意の正規化されたベクトルと各法線との内積をとり、グラフにしたのを図4と図5に示す。隣接テクセル間において内積の差が大きければ、その領域は溝や輪郭として認識される。図4では球体間における細かい溝のために内積の差が大きい領域が多く存在するが、図5では平滑化により細かい溝が除去され、大域的に滑らかに変化する法線が得られている。

しかしながら単純な平滑化処理は全てのエッジを除去するため、形状の認識に必要なエッジが消失する場合がある。またフィルタリング範囲の不足により、視点に近い球体同士の溝が十分に除去できなかった。

5. まとめ

本稿では粒子モデルによる液体の描画について、各粒子に球体を与えた後にスクリーン座標における法線の

平滑化を行うことで、境界面の描画を行った。これによりポリウムデータを必要とせずに液体表現が可能となった。

しかしながら平均値フィルタによる平滑化ではエッジのボケが顕著であることや、球体間の溝が十分に除去できない問題がある。そのため、この問題を解決するフィルタリングの設計が必要であると思われる。

謝辞

本研究にあたり、粒子データを提供して頂いた岩手大学の千葉則茂先生に感謝致します。

参考文献

- [Alan1992] Alan Watt etc., Advanced Animation and Rendering Techniques, Addison Wesley, 1992
- [Fujimoto2004] 藤本 忠博 他, ポイントグラフィックス概説, 芸術科学論文誌 Vol.3 No.1, 2004
- [Lengyel2003] Eric Lengyel, The OpenGL EXTENSIONS GUIDE, Charles River Media Inc., 2003
- [Mueller2003] Matthias Mueller etc., Particle-Based Fluid Simulation for Interactive Applications, ACM SIGGRAPH / Eurographics Symposium on Computer Animation 2003, 2003
- [Pfister2000] Hanspeter Pfister etc., Surfels: Surface Elements as Rendering Primitives, SIGGRAPH, pp.335-342, 2000

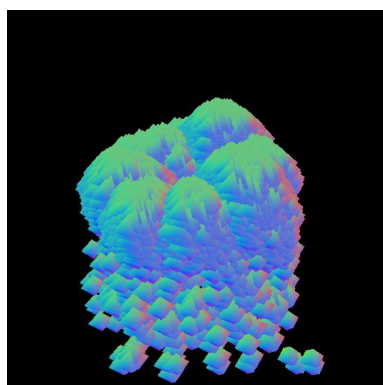


図1: 平滑化前の法線マップ

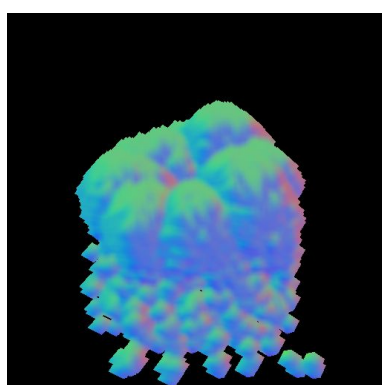


図2: 平滑化後の法線マップ

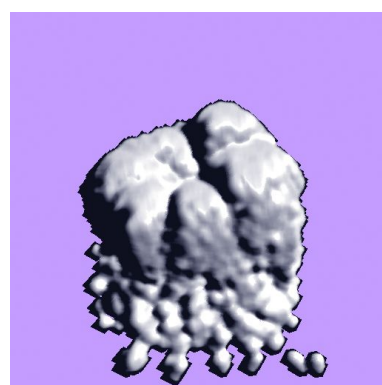


図3: Phong ライティングモデルによる陰影処理の結果

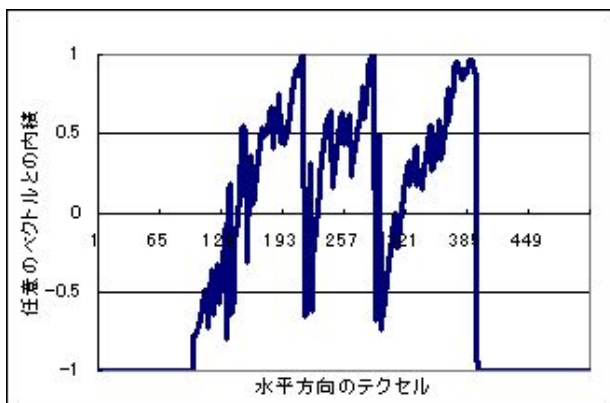


図4: 平滑化前における法線の変化

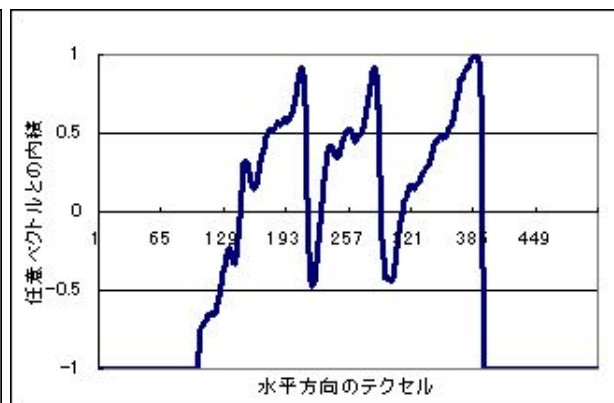


図5: 平滑化後における法線の変化