

モルフォロジー演算による融雪アニメーション

Melting Snow Animation by Morphological Operation

中進 美孝† 手島 裕詞‡
Yoshitaka Nakashin Yuji Teshima

西尾 孝治† 小堀 研一†
Koji Nishio Ken-ichi Kobori

1. はじめに

コンピュータグラフィックスによる景観映像生成技術は、映像コンテンツ制作の基礎技術の一つである。その中でも自然現象の映像表現は、時間経過による形状表面や形状構造の変化を考慮する必要がある。このうち、融雪現象は、映画やCMなどの分野において利用されるものの一つであり、従来から多くの手法[1]により検証されている対象である。一般に、このような自然現象を厳密な物理法則に基づいてシミュレート[2]すると、処理コストが膨大になり実用的ではない。そこで、複雑な計算を抑えながら、自然現象のアニメーションを生成する技術が重要視されてきている[3][4]。本研究では、処理コストを軽減しながらも、融解時に発生する水分を考慮した融雪現象を表現する手法を提案する。提案手法では、モルフォロジー演算[5]に基づく規則を用いて、融雪現象の再現に特化したオペレータを設計し、融雪アニメーションの生成を試みる。

2. モルフォロジカルオペレータ

モルフォロジー演算には、minkowski-sumとminkowski-differenceという二種類の基本演算があり、両者を組み合わせることで様々なモルフォロジカルオペレータを構成する。演算には、構造要素(以下SE)と呼ばれる位置ベクトルの集合を用いる。処理対象画像をSEの全ての位置ベクトルに従って平行移動を行い、論理和をとった結果がminkowski-sum、論理積をとった結果がminkowski-differenceである。提案手法で用いるopeningオペレータは、SEの位置ベクトルを原点对称に反転させたSE_sを用いてminkowski-differenceを行い(以下erosion)、その結果に対して、SEを用いてminkowski-sumを行うものである。一方、closingオペレータは、SE_sを用いてminkowski-sumを行い(以下dilation)、その結果に対してSEを用いてminkowski-differenceを行うものである。

3. 融雪

積雪は、氷と空気の混合物である雪結晶、あるいは雪結晶がいくつか集まった雪片が堆積したものである。融雪は、熱源からの熱の伝搬により、積雪の温度が0℃以上になると氷が融解し、水になる現象である。なお、提案手法では、積雪をボクセルモデルで表現する。

3.1 熱量計算

一般に、熱は高温部から低温部へ移動するが、その移動は、伝導、対流、放射に基づいている。提案手法では、このうち、伝導と放射に着目し、以下の三つを考慮して、熱源からの積雪に与える熱量を計算する。

(1) 熱源からの伝導による熱量 Q_C

伝導とは、熱が物質中の隣接部分に伝わっていく現象のことであり、(1)式でその熱量を求める。

$$Q_C = S \times \lambda \times (T_H - T_I) / D \quad \dots (1)$$

(S:積雪を構成するボクセルの面積, λ :熱伝導率, D:熱源からの距離, T_H, T_I :熱源・雪温度)

(2) 熱源からの放射による熱量 Q_R

放射とは、一般に熱せられた物体の熱が熱線となって空气中を移動し、他の物体に熱を与える現象であり、(2)式で、その熱量を求める。

$$Q_R = \sigma \times F \times S \times (T_H^4 - T_I^4) / D \quad \dots (2)$$

(σ :ステファン・ボルツマン定数)

同式中の F は、熱源から放射される熱線の影響度合いを示す形態変数である。提案手法では、熱源より多数の粒子を空間中に飛ばし、積雪セルに到達した粒子数から、(3)式により求める。

$$F = H / N \quad \dots (3) \quad (N:発生粒子数, H:到達粒子数)$$

(3) 大気(気温)から受ける熱量 Q_S

上記の二つの熱量は、設定された熱源からの熱量であるのに対し、この熱量は熱源に依存せず、常に得られる熱量である。ここでは、単に積雪に隣接する空気に熱が伝導する形で考察し、(4)式により計算する。

$$Q_S = \lambda \times (T_H - T_I) \quad \dots (4)$$

以上の熱量を用いて、積雪を構成するボクセルが吸収する熱量を(5)式により計算する。

$$Q = \alpha Q_C + \beta Q_R + \gamma Q_S \quad \dots (5) \quad (\alpha, \beta, \gamma:実数)$$

α と β は、熱源からの伝導、放射の割合を示し、 γ は大気からの熱量の度合いを表す。いずれも0から1の範囲の実数であり、 $\alpha > \beta > \gamma$ の関係を満たす値とする。

3.2 融雪手法

提案手法では、積雪に対して、前節で示した熱量を計算することでSEの大きさを選定し、opening, closing処理を繰り返し施すことで、融雪現象を表現する。なお、提案

手法で用いるSEは、図1に示すような水滴形状を用いる。この形状は、半径 r の半球の上に、高さ $2r$ の円錐を結合した形である。また、形状の中心は、球の中心とする。この

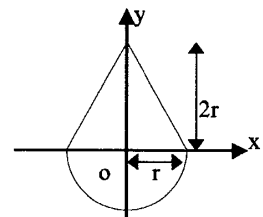


図1 SE(水滴形状)

形状をSEとする理由は、融解の際に発生する水分が、重力に従い、積雪内部を地面側へ浸透することを考慮するためである。以下に、融雪手法について述べる。

(i) ボクセルによる積雪モデルを地面上に、面熱源を任意の位置に設置する。

(ii) 積雪(以下A)の各ボクセル毎に熱量 Q を計算する。

(iii) 吸収した熱量の最大値を Q_{MAX} 、処理に用いる最大半径を R_{MAX} 、最小半径を R_{MIN} とした場合、積雪表面の

† 大阪工業大学 情報科学部 情報科学研究科

‡ 静岡理工科大学 理工学部 情報システム学科

ボクセルにおける SE 半径 R を(6)式により求める.

$$R = R_{MAX} \times Q / Q_{MAX} \quad \dots (6)$$

if ($R < R_{MIN}$) $R = R_{MIN}$

- (iv) A に対して, 図 1 の形状を SE として opening を適用し, O+ とする. その際の erosion の結果を E+ とする. E+ の 1 ボクセル外側の領域と A の交わる領域を E++ とし, erosion を施す際の半径 R を保持させる. また, E+ 計算後の mikowski-sum では, R_{MIN} の半径を用い, minkowski-sum で膨張する領域に対しても, E++ の半径値を保持させる.
- (v) O+ に対して, 図 1 の形状を原点に対して反転させた SE_s を用いて closing を適用する. この際, 地面を形状の一部とみなし, A と地面の隙間を埋めるように closing を行う. dilation 時の (SE_s)_s の大きさは, E++ の値を基に設定する. 次にその結果に対して, R_{MIN} の半径の SE_s を用いて minkowski-difference を適用する. これにより O+ の角張った部分を滑らかに膨張させる.
- (vi) 融雪処理が 2 回目以降の場合, E++ の表面を基準に, 図 1 の形状を SE として dilation を行う. その際に, 図 2 に示すように, E++ と SE_s が重なる部分に, 一定の水分値をボクセルに加算させる. これにより, 融解の際に発生した水分が積雪中に浸透する. また, 水分を多く含む雪が融けやすくなることに着目し, 繰り返し行う融雪処理の次の段階では, この水分値を加味し, (iii) の SE 半径値を大きくさせる要因とする.

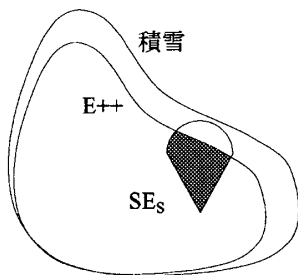


図 2 水分値加算

2 回目以降の処理では, (ii)~(vi) の処理を繰り返し施し, 融雪処理を行う. また, 形状表現時に, 水分値を保持させたボクセルには, その値によってボクセル表示時の透明度を変更し, 積雪中に浸透していく水分の様子を視覚的に再現する.

4. 実験と考察

提案手法の有効性を検証するために実験を行った. 実験環境は, Pentium4 2.6GHz, 512MB のメモリを搭載した計算機を用い, C++ 言語で実装した. 図 3 の例では, 空間の一边の解像度を 2^8 とし, 1,171,850 ボクセルで構成される雪だるま形状を定義し, 左上の方向に, $20 \times 40 \times 1$ ボクセルの面熱源を仮定した. 1 回の融雪処理においては, 熱量計算に約 2.1 秒, モルフォロジー演算に約 5.5 秒を要した. なお, この例では, 25 回の処理で雪を構成する全ボクセルが融解する. 元のデータ同図(a)と比較すると, (c)は熱源方向に多く融けた効果を確認することができる. また(c)~(f)は, (b)を元データとして繰り返し処理を適用した場合の結果である. (b)~(f)をみると, 熱源側から徐々に融解し, 雪だるまを構成する球間の窪みに対して, 雪や雪融け水で補間しながら, 分離することなく融解していく様子が確認できる.

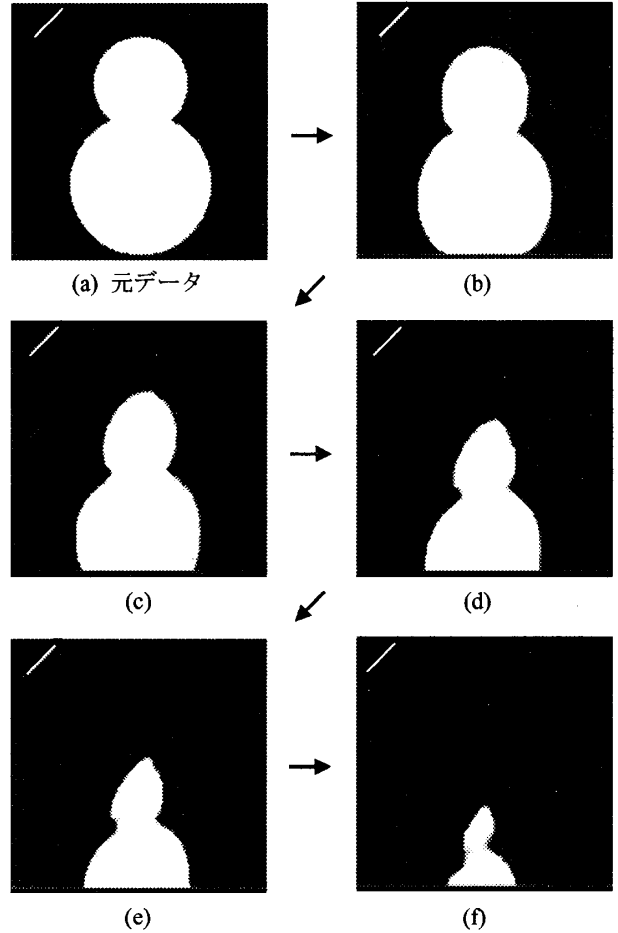


図 3 融解結果

5. まとめ

本研究では, 融解の際に発生する水分を考慮した融雪現象を再現する手法を提案した. モルフォロジカルオペレータの規則を用いて, 形状を膨張, 収縮させることで, 突起や窪み部分の変形を考慮した良好な結果を確認した. 今後の課題としては, より実世界での融解現象に近づけるために, closing の際に用いる SE の大きさの選定方法を変更し, 融解が進むにつれて, 地面上に積雪が広がるように融解させる. また, 融解が進んだ段階において, 積雪形状が崩壊していく様子も表現することも考えている.

参考文献

- [1]村岡,千葉: “融雪のビジュアルシミュレーション”,画像電子学会誌第 27 巻,第 4 号,pp.325-337,(1998)
- [2]松村,鶴野: “自然対流を考慮した氷解現象シミュレーション”,VisualComputing グラフィックスと CAD 合同シンポジウム 2005 予稿集,pp.105-109,(2005)
- [3]青木,藤代: “モルフォロジーに基づく氷解現象のビジュアルシミュレーション”,VisualComputing グラフィックスと CAD 合同シンポジウム 2000 予稿集,pp.41-46,(2000)
- [4]藤澤,三浦: “熱力学に基づく氷解現象のアニメーション”,VisualComputing グラフィックスと CAD 合同シンポジウム 2004 予稿集,pp.1-6,(2004)
- [5]小畑: “モルフォロジー”,コロナ社,pp.43-58,(1996)