

3F-01

グラフィックスハードウェアを利用した 物体と地面の接触の痕跡の高速な生成法*

尾上 耕一† 西田 友是‡

東京大学大学院新領域創成科学研究科§

1 はじめに

近年CGの分野ではキャラクターの動作によって生じる二次的な現象(足跡、水面の変化など)が研究対象となっている。特に地面の形状変化に関しては、ブルドーザーによる地面の変形 [1] や砂・泥・雪のアニメーション [2] がある。本研究の目的は [2] と同じく柔らかい地面と物体との接触の痕跡の生成であるが、さらに [2] では実現できなかった計算のリアルタイム化も目的としている。これによりリアルタイムシミュレーション、ウォークスルーシステム、ゲームなどにも適用可能となる。

2 地面変形アルゴリズム

本稿では、地面をハイトフィールド(HF)で表現する。すなわち、正方格子で地面を表し各格子(セル)にその位置での地面の高さを記録する。地面の高さはある基準面(高さ0)からの距離とし、正の値をとる。物体も基準面より上にあることとする。このアルゴリズムでは地面の変形だけを対象としているので、物体の位置、形状、速度等は地面との衝突によっては変化しないものとする。扱える物体の種類はポリゴンで表せるもの全てである。アルゴリズム全体の流れは、(1)物体と地面との衝突判定を行う、(2)衝突範囲の地面物質が物体によって圧縮・分散される、(3)地面物質の分散によってできた急斜面をなだらかにする。アルゴリズム全体の流れは [2] と類似したものであるが、主に(1)と(3)の部分で高速化した。

2.1 物体と地面との衝突判定

まず本研究で用いた物体と地面との衝突判定法の基本的な考え方を述べる。地面を表面のみ曲面とみなして、地面と物体を地面の下から上を見上げるようにして隠面消去して描画する。このとき、物体が可視となる地

点では物体と地面が衝突していることがわかる。以上のことをOpenGLを用いてグラフィックスハードウェアを利用したZバッファ法により以下のように行う。

1. 基準面から真上を見上げるように視点を配置し、平行投影で画面の1ピクセルがHFの1セルに対応するようにセットする。
2. 地面の奥行きをデプスバッファに書き込む。
3. 2.の結果をデプスバッファに残したままZバッファ法により物体の奥行き値によって奥行き値の小さい方でデプスバッファを更新する。更新された位置に対応するステンシルバッファの値を1にセットする。

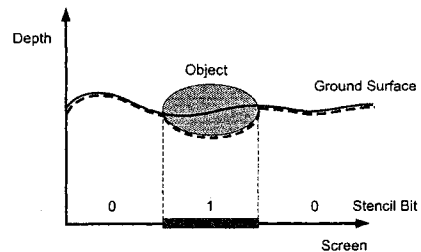


図 1: 衝突判定 (断面図)

結果として図1の横軸のように物体が地面と交差している部分のステンシルバッファの値が1となるので衝突位置がわかり、デプスバッファには地面と物体のうち低い方の奥行きが書かれている(図1の点線部)ので衝突した物体の底面の高さが得られる。

2.2 衝突地点の輪郭マップの作成

HFの各セルについての物体と地面の接触範囲の輪郭線(境界線)からの離散的な距離を輪郭値と呼び、それをHFと同じサイズの二次元の整数配列で定義したものを輪郭マップと呼ぶこととする。物体が衝突したセルについての輪郭マップの作成は次の手順で行う(結果例は図2の斜線部のセルの値)。(1)物体と衝突していないセルに0を設定する。(2)輪郭値が設定されていな

*Fast modeling of marks made by objects contacted with ground surfaces using graphics hardware

†Koichi Onoue

‡Tomoyuki Nishita

§Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

いセルが存在する間 (a) を繰り返す。(a) 輪郭値の最大値をもつセルについて、そのセルに隣接するセルのうちまだ輪郭値が設定されていないセルに最大値 + 1 をセットする。

2.3 地面の物質の圧縮・分散

物体と衝突したセルにある地面の物質は圧縮されるか周囲に分散される。分散される物質の量は $\Delta h = \alpha \Delta h'$ となる。ここで、 $\Delta h'$ は物体と地面の交差部分の高さであり、物体と衝突したセルでの HF の高さでデプスマップの値の差から求められる。また α は分散率でユーザーが指定する。輪郭マップの値が大きいセルから順に圧縮・分散処理を行い、分散される物質の量 Δh を隣接したセルで輪郭マップの値がより低いものに等しく分配される。

2.4 衝突地点の周辺の輪郭マップの作成

2.2 節で求めた輪郭マップでは物体と地面の衝突範囲以外は輪郭値 0 となっている。後述する崩落計算で使用するため衝突範囲の周辺にも 2.2 節と同様の方法で輪郭値を設定する (結果例は図 2)。

			2	1	1	2				
		2	1	0	0	1	2			
	2	1	0	1	1	0	1	2		
2	1	0	1	2	2	1	0	1	2	
2	1	0	1	2	2	1	0	1	2	
2	1	0	1	2	2	1	0	1	2	
2	1	0	1	2	2	1	0	1	2	
2	1	0	1	2	2	1	0	1	2	
2	1	0	1	2	2	1	0	1	2	
		2	1	0	0	0	1	2		
		2	1	1	1	1	2			

図 2: 輪郭マップの例 (斜線の入ったセルが物体との接触範囲。数字は輪郭値)

2.5 崩落

圧縮・分散処理の後では、物体が地面と接触している範囲の境界部分に地面の物質が蓄積され、周辺より高さが高くなる。崩落アルゴリズムでは急斜面 (隣接セル間の高さの差が大きいところ) を検出し、高い方のセルから低い方のセルに地面の物質を移すことによって滑らかにする。

圧縮・分散計算後、物体と地表面の境界部分に地面の物質が蓄積されるので、そこから周囲に向かって (輪郭値小から大へ) 各セル間の傾斜がユーザーの指定した角

度 θ より小さくなるように崩落させる。すなわち、下記の処理を En 回繰り返す (En は傾斜角 θ から経験的に決まる)。

- 輪郭値 0 から輪郭値最大のセルまで順に、各セルについて輪郭値が小さいセルの高さを減らし、隣接する輪郭値が大きいセルの高さを増やして、その結果傾斜が θ となるようにする。

崩落の方向を限定し、境界周辺のみ (輪郭値が設定されたセルのみ) 計算を行うことでセル間の高さの比較と更新の回数を大幅に減らし崩落計算を高速化できる。

3 結果とまとめ

パラメータを変えることによって雪と砂を表現した結果を図 3 に示す。雪の場合に用いたパラメータは、傾斜 $\theta = 90^\circ$ 、崩落計算の反復回数 $En = 0$ 、分散率 $\alpha = 0$ である。また砂の場合は、 $\theta = 30^\circ$ 、 $En = 5$ 、 $\alpha = 1$ である。また HF のサイズは 256×256 である。このようにパラメータを変えることによってさまざまな地面が表現できる。

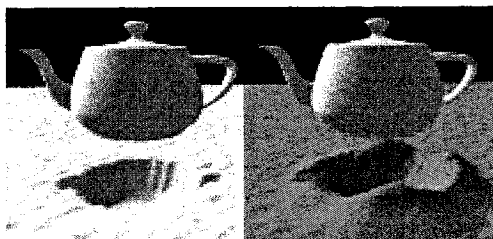


図 3: 雪と砂の場合の例 (左が雪、右が砂)

これらの例を作成する時の計算時間は CPU に PentiumIII 750MHz、ビデオカードに GeForce2MX を用いて約 0.07 秒であった。

本稿では物体と地面との接触によってできる痕跡の生成法について提案した。提案法には以下の特徴がある。(1) パラメータの設定により砂、雪などさまざまな地面が表現できる。(2) グラフィックスハードウェアを利用した高速化により、ほぼリアルタイムに表示できる。

参考文献

- [1] X. Li, et. al, SIGGRAPH'93 Conference Proceedings, pp. 361-368.
- [2] Robert W. Sumner, et. al, Computer Graphics Forum, Vol.18, No.1, pp.17-26.