

J_005

ビルボードを用いた効率的な降雨シーンのレンダリング手法

An Efficient Method Using Billboards for Rendering Rainy Scene

吉田 有希†

土橋 宜典†

山本 強†

Yuki Yoshida

Yoshinori Dobashi

Tsuyoshi Yamamoto

1. まえがき

近年、コンピュータ・グラフィックスを用いて自然現象を表現する手法が数多く研究されている。より写実的な降雨シーンの表現においては個々の雨粒に対して光の反射や透過などの計算を行う必要があり、ゲームなどリアルタイム性を求められるアプリケーションへの応用は難しい。そこで、前処理において、雨滴の軌跡の画像を作成してテクスチャとして記憶しておく。そして、画像生成においては、ビルボードと呼ばれる仮想平面にこのテクスチャをマッピングして表示することにより、効率的に降雨シーンの画像を生成する手法を提案する。

2. 従来研究

降雨景観作成の従来手法としては、背景画像と雨滴の軌跡の合成を行う Starik らの手法[1]や、軌跡の描画を簡略化したモデルを用いた山本らの手法[2]がある。

Starik らの手法では、視点との距離に応じた雨滴の軌跡のアニメーションを描画し、背景画像との合成を行う。また、別のプロセスにおいて背景の輝度を変化させることで雨によるシーンの明るさの変化を表現している。しかし、この手法では背景の奥行きを考慮していないため、奥行きのある背景に適用した場合、すべての領域に均一に雨滴の軌跡が描画され、不自然な画像になる。また、視点が変わらないアニメーションにしか対応できないため実用的ではない。

山本らの手法では、視界に入る領域のみを雨滴の存在領域とし、3次元空間内における視点近傍のみ雨滴の軌跡の計算を行うことで簡略化を行っているが、Starik らの手法と同様にモデルの奥行きによる部分的な雨滴の量の違いが考慮されていない。

これらの問題を解決するため、シミュレーション空間全体に雨滴を表す大量のパーティクルを生成することで奥行きを考慮した降雨景観画像の生成を行う。しかし、大量のパーティクルをレンダリングすることは極めて計算コストが高い。そこで、3次元空間中にビルボードを配置することで効率化を図る。

提案手法では、空間中に存在する複数の雨滴の軌跡を1枚の画像として、降雨強度毎に作成しておく。これにより、降雨強度が変化して雨滴の数が増えても描画するビルボードの数は変わらないために計算時間が雨滴の数に依存しないという特徴がある。

3. 提案手法

提案手法は、大きく前処理と毎フレーム処理の2つに分けられる。

†北海道大学 大学院情報科学研究科
Graduate School Information Science and Technology,
Hokkaido University

まず、前処理において、降雨強度および粒径ごとに $1m^3$ 空間中に存在する雨滴の軌跡を描画したテクスチャを生成する。そのため、降雨強度、雨滴の粒径毎に $1m^3$ 空間中に存在する雨滴の数を求め、アニメーションのフレームレートを30フレーム毎秒とした場合に30分の1秒間に移動する距離の計算を行う。計算結果をもとに雨滴の軌跡を描画し、スクリーンに平行投影したものをテクスチャとして保存しておく。生成したテクスチャは、3.2節においてビルボードにマッピングするためのテクスチャとして用いる。ここで、降雨強度、粒径が同じ場合に全て同一の画像を用いると、生成されたアニメーションにおいて繰り返しパターンが知覚され不自然なものになるので、降雨強度、粒径毎に乱数により雨滴の位置を変化させたテクスチャを複数枚用意する。

毎フレーム処理では、シミュレーション空間内に前処理で作成したテクスチャをとってマッピングしたビルボードを一定間隔で配置し、ビルボードを落下させることにより雨滴の軌跡のアニメーションを生成する。

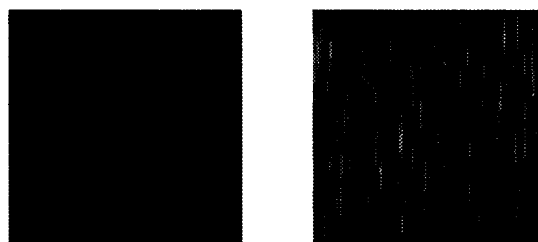
3.1 前処理

一般的に、雨では降雨強度は $0mm/h$ から $90mm/h$ 、また、粒径は $0.10mm$ から $3.00mm$ の範囲の値をとることが知られており、これらを等間隔に離散化した値を降雨強度、粒径として用いる。

まず、ある降雨強度における $1m^3$ 中の粒径毎の雨滴の数の分布を Marshall-Palmer 分布を用いて計算する[3]。

次に、粒径毎に落下速度の計算を行う。落下速度は雨滴の終端速度とし Stokes の抵抗法則より計算する。以上により得られた粒径毎の雨滴の個数と速度より、30分の1秒間に移動する軌跡を線分として $1m^3$ に相当する空間内に描画する。

以上の処理によって描画した雨滴の軌跡をスクリーンに平行投影した結果を画像として保存する。図1に生成したテクスチャの例を示す。



粒径 1[mm] 降雨強度 1[mm/h] 粒径 1[mm] 降雨強度 50[mm/h]
図1 異なる降雨強度による雨滴の軌跡の画像

3.2 毎フレーム処理

ここでは、ビルボードの描画と移動をビルボードが地面に衝突するまで繰り返し、雨滴の軌跡のアニメーション表示を行う。

初期状態として、降雨領域として設定した3次元空間内に等間隔にビルボードを配置しておく(図2)。ビルボード

として、前処理において作成したテクスチャ画像の縦横比に合わせた長方形のポリゴンを用いる。

毎フレームでの、各ビルボードのレンダリング処理は以下ようになる。まず、ビルボードの面が視点からビルボードの中心へ向かうベクトルの水平成分に垂直になるように回転する。次に、前処理で作成したテクスチャ画像をビルボードにマッピングして描画する。これらの処理を空間に敷き詰められた全てのビルボードに対し行うことで、雨滴の軌跡の画像を生成する。また、ビルボードを描画する際には混合処理を行い、テクスチャ画像における雨滴の軌跡部分のみ背景と合成されるようにする。

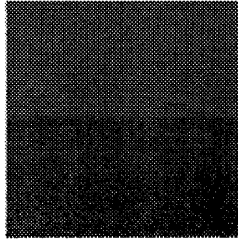


図2 ビルボードの配置

全てのビルボードを描画した後に、ビルボードを鉛直方向下向きに移動させる。それぞれのビルボードにマッピングされているテクスチャは単一の粒径に対応しているの、それに従ってビルボードを落下させる距離を3.1節において算出した雨滴の落下速度から決定する。なお、本稿では風などによって雨が鉛直方向以外の速度成分を持つ場合は考えない。

ビルボードの上端が降雨領域の下端を超えると着地したと判定する。着地したと判定されたビルボードの位置は降雨領域の上端に再初期化され、再び描画と移動を繰り返すことで雨滴の軌跡のアニメーションを生成する。

なお、再初期化時に降雨強度、粒径毎に複数用意されているテクスチャからランダムに1枚を選び、マッピングに使用する。これにより、軌跡を常に同じパターンで描画することによる視覚的な不自然さを解消する。

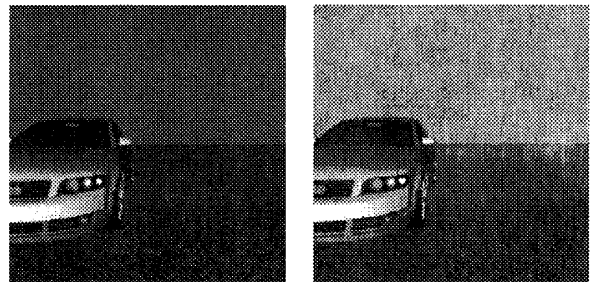
4. 実装結果

提案手法を用いて降雨景観画像を生成し、実験を行った。なお、実験に用いた計算機の環境は、CPU : Pentium4 3GHz, VGA : Geforce2MX, グラフィックス API には OpenGL を用いた。また、実行条件は以下の通りである。

雨滴の粒径には、0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 2.25, 2.50, 2.75 mm の11種類、降雨強度には、1, 10, 20, 30, 40, 50 mm/h の6種類を想定し、降雨強度、粒径毎に、異なる3枚の計198枚のテクスチャを生成した。降雨領域には $20 \times 20 \times 20 m^3$ の空間を設定し、領域内にモデルを設置する。前処理に要した時間は16秒、毎フレーム処理における描画速度は0.5フレーム毎秒であった。

降雨強度を1, 50 mm/hとしたときの適用結果をそれぞれ図3(a)および(b)に示す。降雨強度により景観の違いが表現されている。次に、降雨強度を50 mm/hとし雨滴の軌跡のみ描画した画像と背景との単純な合成を行った例と、提案手法により奥行きによる雨滴の量の違いを表現した例を図4(a)および(b)に示す。図4(a)に示すように、単純な合成では、奥行きが考慮されていないため、全体に均一に軌跡が描画されてしまっている。一方、提案手法を用いること

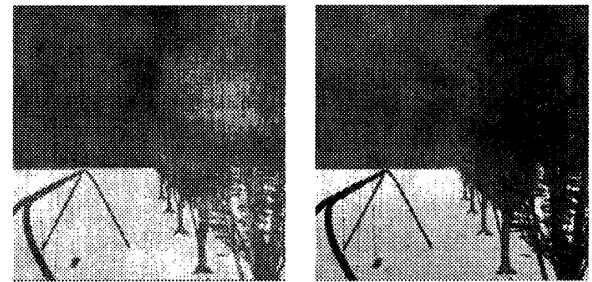
で、図4(b)に示すように、奥行きに応じた濃淡の変化が表現され、適切な表示が行われている。



(a) 降雨強度 1 mm/h

(b) 降雨強度 50 mm/h

図3



(a) 単純な合成

(b) 提案手法

図4

5. まとめと今後の課題

本稿では、モデルの奥行きを考慮した降雨景観における雨滴の軌跡のアニメーションを表現する手法を提案し、適用例によってその効果を確認した。

今後の課題の一つとしては、テクスチャ作成時の雨滴の軌跡の表現があげられる。Kshitizらの研究[4]によると、実際の雨滴は複雑に形状を変化しながら落下するため、線分での表現では不十分である。また、照光も考慮した手法に拡張する必要もある。

参考文献

- [1] Sonia Starik, Michael Werman, "Simulation of Rain in Videos," Texture Workshop ICCV. 2002
- [2] 山本 庸弘, 多田村 克己, 田淵 義彦, "視野変化をリアルに表現可能なCGによる降雨アニメーション生成手法の開発," 2003 画像電子学会年次大会学生セッション pp137-138
- [3] Marshall, J.S. and W.M. Palmer : Distribution of Raindrops with size. J., Meteor., Vol.5, pp.165-166, 1948
- [4] Kshitiz Garg, Shree K. Nayar, "Photorealistic Rendering of Rain Streaks," Proc. SIGGRAPH 2006 (to appear).