

平成22年 6月 1日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19500084

研究課題名(和文) フルCG悪天候ドライブシミュレータ実現のためのプロトタイプ開発

研究課題名(英文) Development of the prototype built by computer graphics for realizing the drive simulation under bad weather

研究代表者

多田村 克己 (TADAMURA KATSUMI)

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：30236533

研究成果の概要(和文)：

コンピュータグラフィックスにより生成した画像を用いて、降雨や降雪などの悪天候も含んだドライブシミュレーションを実現するための現実感の高い景観画像を高速に生成する手法を開発した。具体的には、現実感の高い降雨景観の高速表示に関する手法(風の影響を考慮可能な降雨軌跡表現手法、ガラス面上を流れる水滴の高速表現手法、周辺の映り込みを考慮した水滴の高速描画手法、物体表面に衝突した水滴により生じる水はねの表現手法)及び降雪景観の表現手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：

We developed the fast generation method of the highly-realistic landscape images which is to realize all-weather driving simulator by using computer generated images. We focused on generating the realistic scene of bad weather such as raining and snowing. Concretely, they are expression of the water-streak due to raindrop on the windshield, the road illuminated by headlight in rainy night with high-dynamic range, the water splash due to raindrops and the falling snow.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：コンピュータグラフィックス、バーチャルリアリティ、シミュレーション、フォトリアリスティックレンダリング、自然現象

1. 研究開始当初の背景

CGの分野において、動きを含めた雨粒の写実的な表現に関する研究はほとんどない状況であった。これは、雨粒の大きさ・形状、落下速度、風向・風速、光の反射・屈折、散

乱・吸収などの物理法則に忠実に基づく運動・光学モデルは、非常に複雑になり、かつ計算コストが膨大になることが容易に想像できたことと、品質がそれほど要求されないものに対しては、セルアニメーションで行わ

れているような、落下する白色の粒子を単純にスーパーインポーズすることで十分表現可能であり、品質が要求される映画のような場合は、計算コストと人手をかけてそれらしく見せればよいと考えられていたためである。しかし、ウォークスルーシミュレータやドライブシミュレータなどの3次元仮想空間中を動き回るシミュレータを考えると、降雨にも奥行き方向の現実感が要求されるため、前述のスーパーインポーズの手法は採用できないのは自明である。また、これらのシミュレータでは、利用者の操作に応答可能なリアルタイム処理が求められるため、計算コストと現実感のバランスの取れた手法の考案が必要であった。

天候・気象を考慮した屋外景観の表現のための手法という点からは、晴天、曇天時の照明効果、雲や積雪のリアルな表現手法が多数提案されていた（例えば、雲の表現に関しては、Miyazaki R, Dobashi Y, Nishita T, A Fast Rendering Method of Clouds Using Shadow-View Slices. In: Computer Graphics and Imaging, pp. 93-98 (2004), 降雪後の景観の表現に関しては、Fearing P., Computer Modeling of Fallen Snow. In: Proceedings of SIGGRAPH2000, pp. 37-46 (2000)). 研究開始当初の時点でCGだけで景観画像を生成するフルCGシステムにおける降雨表現に関する研究は、雨に濡れた路面の表現手法(Nakamae E, Kaneda K, Okamoto T, Nishita T., A Lighting Model Aiming at Drive Simulators. Computer Graphics, 24(4), pp. 395-404 (1990)), 車のフロントガラスにおける雨粒の運動表現手法(Kaneda K, Ikeda S, Yamashita H., Animation of Water Droplets Moving Down a Surface. The Journal of Visualization & Computer Animation, 10(1), pp. 15-26. (1999)), 雨粒により生じる水溜りの波紋の高速描画手法(Krueger J, Westermann R., Linear Algebra Operators for GPU Implementation of Numerical Algorithms, Transactions on Graphics, 22(3), pp. 908-924 (2003))など、降雨の副次的な現象に対象が限られていた。また、別の観点から、降雨時の遠景を表現するための照明計算モデル(青島, 柴崎, 高木, 村井, 主に気象による景観の変化の再現を目的とした景観シミュレーション, 写真計測とリモートセンシング, 34(6), pp. 4-16 (1995))が提案されていたが、これらはすべて降雨自体の表現に関する研究ではなかった。さらに、ユーザがパラメータとして降雨強度や雨粒の大きさを変化させることが可能な、CGによる降雨軌跡をビデオ撮影された景観に追加する手法(Starik, S. & Werman, M, Simulation of Rain in Videos, Proceedings of Texture 2003, pp. 95-100 (2003))が提

案されていた。しかし、これは、いわゆるビデオ用のスーパーインポーズの域を出るものではなかった。

2. 研究の目的

本研究では、研究期間内に以下の5点を明らかにすることを目的とした。(1)通常視野外のフルCGで、ドライブシミュレータの視野移動速度に対応可能な降雨表現手法、(2)降雨により生じる副次的な効果(シミ、水溜り、水はね、波紋)の簡易表現手法、(3)(1)、(2)をリアルタイム処理可能とする高速アルゴリズム、(4)シーンを近景と中・遠景に分類し、それぞれ異なる手段により降雨を表現するための手法の考案、(5)コンピュータグラフィックス用に開発されたハードウェアを活用して高速化を実現する手法の開発を行い、課題の抽出とその解決方法の考案。

3. 研究の方法

研究開始時点で開発中のプログラムは、主としてウォークスルーでの利用を想定した手法であり、特に個別の雨粒落下軌跡が観察可能であることを意識していた。しかし、ドライブシミュレータでの利用を考えると、個別の雨粒軌跡やそれにより物体表面上に生じる変化の描画は、高速移動中の場合ほとんど意味をなさない。そこで、ドライブシミュレータに適用可能な移動速度範囲(静止から時速100km程度まで)に対応可能な、視点移動速度により異なる降雨軌跡表現手法と、降雨により生じる物体表面における反射率変化の簡易表現手法の開発を重点的に行い、機能的に満足なものが出来上がった時点で、リアルタイム処理可能とするためにアルゴリズムの改良を行う方法を採用した。

視野の高速移動に対応可能な手法の考案に際しては、実際に雨天時に高速道路や一般道で走行した映像を撮影し、それを分析して、何を表現すべきかを明確にした上で具体的な手法の開発に着手した。降雨により生じる物体表面における反射率変化の簡易表現手法については、雨の降り始めに生じるシミのモデルに加えて、コンクリートの路面が、雨粒によりできたシミの部分が一旦暗くなった後、水溜りができて空が写りこむようになると再び明るく見えるようになる過程を簡易に表現するための、反射率と水分含有量に関するモデルを考案し、これらの実装を完了した。

降雨・降雪画像は、背景描画、物体表面描画、雨粒もしくは雪片描画の大きく三つのパスから構成される手順でアニメーション用のフレーム画像を生成する。背景描画パスでは、降雨・降雪の無い完全曇天の画像、すなわち降雨の効果を付加するためのベースとなる画像を生成する。ここでは、完全曇天時

の画像を作成し、隠面抽出の結果得られるデプス画像と、レンダリング結果である色情報(ベース背景画像)をそれぞれ記憶する。それと並行して、画像生成の際に利用した視野情報(カメラモーション)を記憶しておく。これら以後の処理での基本となるデータ生成には、市販の3次元CGソフトパッケージを利用している。具体的には、カメラモーションを含めた降雨・降雪の影響の無いアニメーションシーケンスすべての情報を、予め前処理として作成している。

次の物体表面描画パスでは、基本データベースの情報を利用して、物体表面に落ちる雨粒の位置を計算し、その地点に雨粒が落ちたことにより生じる視覚的な効果、およびその点を含む領域の水分量移動の計算を行い、1フレームの時間に落下する雨粒についての計算が終了した時点での水分量の情報と、背景描画パスで生成したベース背景画像を基にして、降雨・降雪による物体表面の変化を付加した降雨・降雪考慮背景画像を生成する。ここで、物体表面における水分量は、アニメーション中に含まれるすべての物体を対象にして記憶すると、複雑なシーンにおいては膨大なメモリを消費するため、詳細な変化を描画する必要のある視点近傍のみ精度の高い情報を記憶しておき、視点から離れるにつれ解像度が落ちるようにLOD(Level of Detail)制御を工夫してデータベースを構成している。

最後の、雨粒・雪片描画パスでは、視点近傍に限定して発生したそれぞれの雨粒もしくは雪片の当該フレームにおける落下軌跡を計算する。このとき、基本データベースの情報を利用して物体に遮蔽される部分を抽出する。そして、雨粒・雪片の3次元空間中の位置と降雨・降雪考慮背景画像のデータを利用して、降雨・降雪軌跡を描画した最終画像を生成する。

物体表面描画パス及び雨粒・雪片描画パスに関して、それぞれ視野高速変化を可能にする手法を検討した。前者は、ハンディカム等で撮影した実写画像の解析を十分に行った後、視野移動速度に対応して、描画単位が「個」から「群」に切り替わることで描画単位を大きくしてフレーム当たりの降雨表現に要する処理時間を安定化するような、雨粒追跡・描画モデルを考案することにした。後者は、まず、1台のコンピュータ上で物体表面描画パスと雨粒描画パスを別々のプロセスとして生成してプロセス間通信により全体の処理をシームレスに行えるように改造する方針を立てた。降雨の影響を考慮した物体表面の描画から最終画像作成までを高速に行うために、グラフィックス用のハードウェア(GPU)を有効活用する手法を考案すること

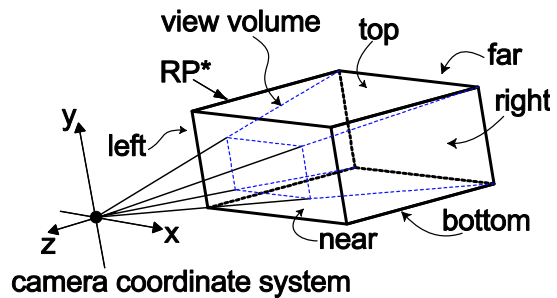
とし、まずシングルマシンでどの程度の性能が得られるかを検討することにした。

4. 研究成果

(1)通常視野用のフルCGで、ドライブシミュレータの視野移動速度に対応可能な降雨および降雪表現手法の開発

①視点移動や周辺環境の局所的な変化を反映可能な降雨落下軌跡の表現手法の開発

風の影響、降雨密度と強度、及び雨粒の色(明るさ)に関して、それぞれの時間的・空間的な局所性を表現可能な簡易なモデルを考案することにより、シーンごとに異なる周囲環境の状況をそのまま反映した降雨景観画像生成を実現した。さらに、図1に示す視野に外接する平行六面体の内部にのみ軌跡を追跡する雨粒を発生する方法を考案した。これを有効活用して、風の影響やカメラの動きの速度にほとんど影響されない、雨粒の発生から消滅までの軌跡追跡モデルを考案することにより、降雨が複雑な動きをする場合でも安定した計算負荷の下で生成可能とした。



* RP: rectangular parallelepiped for drawing trajectory of raindrop

図1 落下軌跡を追跡する雨滴の存在範囲を示す平行六面体

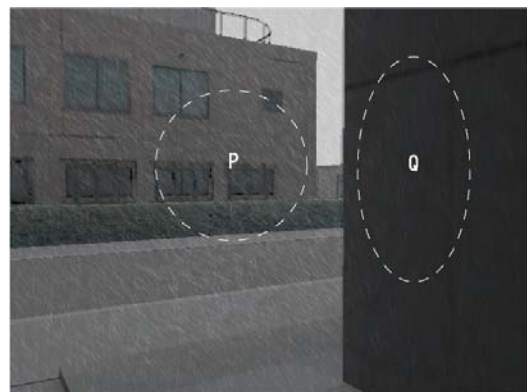


図2 局所的な風の影響を考慮可能な降雨軌跡表現

開発した手法により、局所的に全く雨脚の異なる風の吹く高層ビルの谷間や、間歇的に

通り過ぎる雨脚の強い部分の表現など、降雨の現実感に欠かせない要素を表現可能とした。図2は、開発した手法を適用して生成した降雨アニメーションのフレームシーケンス画像である。図中の破線で囲んだ二つの領域PとQにおける降雨軌跡の違いが、今回開発した手法で表現可能になった。図3は、ドライブシミュレータには欠かせない高速走行時の降雨軌跡表現効果を示したものである。前方に移動しながら、視野を動かした場合も自然な降雨を表現可能である。以上の研究で得られた成果を、雑誌論文[6]で公表している。



図3 自動車での走行(時速 40Km)シミュレーション画像

②降雪の表現

コンピュータグラフィックスによる局所的な風の影響を考慮した雪片の落下運動モデル、積雪のための衝突検出、および降雪と連動した簡易積雪モデルを開発した。降雪は、雪片の形状が複雑であること、時間的、空間的に変化する風の影響を受ける。これに対して、時間的、空間的に変化する風の影響を考慮して現実感の高い落下軌跡を表現可能な、雪片の落下運動モデルを考案した。さらに、デプスマップを用いて雪片と障害物との衝突検出を行い、その時用いたデプスマップを応用して、積雪開始時のうっすら白い状態を表現可能な簡易積雪表現モデルを考案した。図4は、積雪のある写真画像を背景として、開発した局所的な風の影響を考慮した手法により発生した落下雪片を合成して作成した降雪アニメーションのフレームシーケンス画像である。以上の研究で得られた成果を、学会発表[5, 10]で公表している。

(2)降雨により生じる副次的な効果(ガラス面上を流れる水滴、水溜り、水はね)の簡易表現手法の開発

①ガラス面上を流れる水滴の表現

ガラス面上を流れる水滴の表現に関して開発されてきた従来法に基づき、この現象を効率よく描画するための二つの手法を考案

した。一つは、非隣接グリッドに中心が位置する水滴間の衝突検出および融合表現を行う粒子ベースの水滴運動モデルであり、もう一つは、環境マッピング機能、フレームバッファ機能、ポイントスプライト機能に基づいた水滴形状の高速レンダリング手法である。図5は、開発した手法を利用して生成したガラス面上を流れる水滴落下軌跡群を表したアニメーションのフレームシーケンス画像である。表示対象の水滴、水流すべてを半球の集合として考えることにより、運動モデルの単純化やグラフィックス用ハードウェアの利用を可能にすることができた。以上の研究で得られた成果を、学会発表[8]および雑誌論文[7]で公表している。



図4 風の影響を考慮した降雪の表現



図5 ガラス面上を流れる水滴の表示例

②降雨の量を反映した保水状態の管理及びそれに基づく水はねの表現

落下してくる水滴の大きさや衝突面の材質と状態および保水量を反映可能な水はねモデルを考案するため、それらの条件を複数組み合わせさせた水はね発生実験を行い、高速度撮影カメラを用いて撮影した。映像を分析した結果を基に、以下の3点を特徴とする小さい計算コストで十分な視覚的效果を得る事ができる簡易水はねモデルを考案した。(1)物体表面の材質と保水状態を反映させた水はねパターンを生成可能。(2)重力と空気抵抗の影響を考慮した水はねの軌道計算が可能。(3)落下水滴の入射方向を反映させた水はねを生成可能。視野変化を伴うアニメーションにおいて、エリアシングを抑え、かつ効率よ

く水はねを表現するために、図6に示すように詳細に表現する視点近傍用の描画と、水はねのアニメーションをテクスチャとしてマッピングして表現する遠景用の描画の二種類を用意し、中間の部分では両方の描画を行う手法を開発した。図7は、開発した手法を利用して生成した水はねのみを表示したアニメーションのフレームシーケンス画像である。以上の研究で得られた成果を、学会発表[1, 4, 6]で公表している。

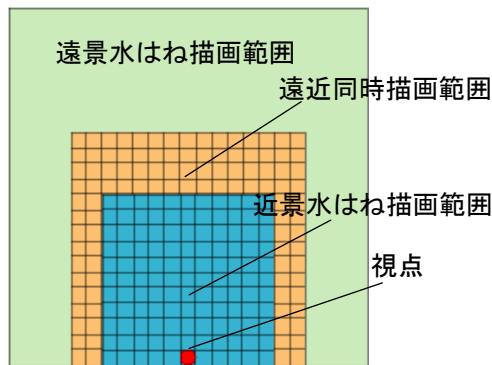


図6 視点位置を基準にした水はね LOD(表示精度制御)モデル



図7 アスファルト路面上の水はね表示例

(3)リアルタイムアニメーションを実現可能とするための高速アルゴリズムおよびグラフィックス用のハードウェアを活用した高速化手法の開発

(1), (2)のいずれの手法も、高速化処理実現のために何らかの手段を講じている。基本的には、視点近傍の表現に計算コストを集中させ、遠方にはテクスチャを駆使した表現を行う。また、テクスチャマッピングはそれぞれの表現において、グラフィックスハードウェアの能力を引き出しやすいポイントスプライトを利用可能にする手法を考案した。また、本研究テーマ遂行中に得られたグラフィックスハードウェア活用の知見は、別の分野にも応用可能であり、主に画像処理の分野に応用して成果を得た。以上の研究で得られた成果を、学会発表[1, 4, 6, 7, 8]および雑誌論文[1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9]で公表して

いる。

(4)降雨及び降雪を含む景観画像を自然に画面に表現する手法の開発

降雨や降雪のある夜間におけるドライブシミュレータ用の画像は、ヘッドライトに照射された高輝度の部分とそうでない部分との輝度差が大きく、大きいダイナミックレンジが必要になる。夜間の降雨・降雪景観を表現するために適したダイナミックレンジを制御する手法を開発した。また、落下する雨滴をスロー再生しても現実感を失わずに表現可能なように、背景の映り込みを考慮した雨滴を高速に生成可能な手法を開発した。以上の研究で得られた成果を、学会発表[2, 8, 10]および雑誌論文[1]で公表している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

① Marcos Slomp, Matthew Johnson, Toru Tamaki, Kazufumi Kaneda, "Photorealistic Real-time Rendering of Spherical Raindrops with Hierarchical Reflective and Refractive Maps," Proc. of I3D; ACM SIGGRAPH Symposium Interactive 3D Graphics and Games (2010).

②松田純一, 三輪智也, 松田憲, 水上嘉樹, 多田村克己: "認証情報を埋め込んだ印刷帳票用地紋の生成手法", 画像電子学会誌, 第38巻, 第5号, pp.599-607 (2009).

③ Y. Mizukami and K. Tadamura: "GPU implementation of deformable pattern recognition using prototype-parallel displacement computation", 画像電子学会誌, 第38巻, 第4号, pp.356-364 (2009).

④ J. Matsuda, T. Miwa, K. Matsuda, Y. Mizukami, and K. Tadamura: "A Method for Embedding Information into Printed Documents using Dot Pattern Watermarking", Proceedings of The 24th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2009), pp. 1487-1490 (2009).

⑤ 水上嘉樹, 多田村克己: "汎用グラフィックプロセッサを用いたオプティカルフロー計算", 画像電子学会誌, 第37巻, 第4号, pp.428-435 (2008).

⑥ Y. Mizukami, K. Sasaki, and K. Tadamura: "Realistic Rain Rendering", Proceedings of 3rd International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP2008), pp. 273-280 (2008).

⑦ S. Takenaka, Y. Mizukami, and K. Tadamura :” A Fast Rendering Method for Water Droplets on Glass Surfaces” , Proceedings of The 23rd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2008), pp. 13-16 (2008).

⑧ Y. Mizukami, and K. Tadamura :” Optical Flow Computation on Compute Unified Device Architecture ” , Proceedings of 14th International Conference on Image Analysis and Processing, Vol.1, pp. 179-184 (2007).

⑨ Y. Mizukami, K. Nagata, T. Miwa, A. Osa, H. Miike, and K. Tadamura :” A scene rendering method with modified perspective close to subjective impression” , Proc. IEVC2007, 3-B5, CD-ROM (2007).

[学会発表] (計 11 件)

① 竹田恭平, 水上嘉樹, 玉木 徹, 金田 和文, 多田村 克己, ” 水滴落下により生じる水はね表現手法-物体表面の保水状態の反映-” , 画像電子学会 第 246 回研究会, pp. 33-39 (2009).

② Matthew W. Johnson, Marcos Slomp, Toru Tamaki, Kazufumi Kaneda, ”Photorealistic Real-time Rendering of Spherical Raindrops with Hierarchical Reflective and Refractive Maps”, Visual Computing/グラフィックと CAD 合同シンポジウム 2009 予稿集, (2009).

③ 三好孝治, 木戸孝宣, 湯尻照, 多田村克己, ” 屋外構造物のフォトリアリスティックレンダリング用光源としての色度を考慮した全天空輝度分布測定法の検証” , 第 42 回照明学会全国大会予稿集, p. 116(2009).

④ 竹田恭平, 水上嘉樹, 玉木徹, 金田和文, 多田村克己, ” 水滴落下により生じる水はね表現手法-物体表面における保水状態の反映” , 2009 年度画像電子学会第 37 回年次大会予稿集, S1-3 (CD-ROM) (2009).

⑤ 木下理恵, 水上嘉樹, 多田村 克己, ” コンピュータグラフィックスによる降雪表現手法の開発” , 画像電子学会 第 237 回研究会, pp. 179-184 (2008).

⑥ 竹田恭平, 渡邊陽奈, 水上嘉樹, 金田和文, 多田村克己, ” 水滴落下により生じる水はねモデル開発” , 2008 年度画像電子学会第 36 回年次大会予稿集, S. 3-4 (CD-ROM) (2008).

⑦ Matthew Johnson, 玉木 徹, 金田 和文, 水上 嘉樹, 多田村 克己, ” High Speed Rendering Method for Complex Scenes” , 平

成 20 年度電気・情報関連学会中国支部大会講演論文集, p.93 (2008).

⑧ 竹中秀一, 水上嘉樹, 金田和文, 多田村克己, ” CG によるガラス面上を流れる水滴表現手法の開発” , 2007 年度画像電子学会第 35 回年次大会予稿集, pp. 67-68 (2007).

⑨ 島田洋輔, 玉木徹, 金田和文, 多田村克己, ” 降雨アニメーションにおける輝度ダイナミックレンジの拡張に関する検討” , 2007 年度画像電子学会第 35 回年次大会予稿集, pp. 69-70 (2007).

⑩ 木下理恵, 水上嘉樹, 多田村克己, ” コンピュータグラフィックスによる降雪表現手法の開発-” , 平成 19 年度電気・情報関連学会中国支部大会講演論文集, p. 299 (2007).

⑪ 島田洋輔, 玉木徹, 金田和文, 多田村克己, ” 降雨アニメーションにおける輝度ダイナミックレンジの拡張に関する検討” , 平成 19 年度電気・情報関連学会中国支部大会講演論文集, p. 301 (2007).

[図書] (計 1 件)

① 画像電子情報ハンドブック, 東京電機大学出版局, 2008 分担執筆(第Ⅱ編第3章3.1 隠面消去), pp.191-198 (全 1000 ページ).

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.vc.kde.yamaguchi-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

多田村 克己 (TADAMURA KATSUMI)

山口大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：3 0 2 3 6 5 3 3

(2) 研究分担者

金田 和文 (KANEDA KAZUFUMI)

広島大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：3 0 1 8 5 9 4 6

水上 嘉樹 (MIZUKAMI YOSHIKI)

山口大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：6 0 3 2 2 2 5 2

(3) 連携研究者

なし