

(様式5)

学位論文要旨

西暦 2024年 9月 26日

学位申請者
(阿部 雅樹) 印

学位論文題目

エネルギー波表現のリアルタイムレンダリングに関する研究

学位論文の要旨

近年、アニメーションや映画、ビデオゲームといった創作コンテンツ上で3次元コンピュータグラフィックス(以下3DCG)を用いた様々な表現が開発・利用されている。人体の写実的表現や光学効果による場面演出、流体物質の運動等多岐に渡り3DCG技術が活用されている。特に映画やゲームといったコンテンツ上では、エフェクトと呼ばれる視覚効果が用いられている。こうした視覚効果はVisual Effects (VFX)と呼ばれ、コンテンツ内の状況やシーンを彩る手段として発展してきた。映画とゲームはどちらも描画したいシーンを構築した後、実際の映像として描画を行う。映画とゲームではコンテンツの性質上の違いがあり、映画では映像を視聴者へ届ける一方向的なメディアであり、シーンの描画に数分から数時間、あるいは数日かける事が可能である。対してゲームはユーザー側からのインタラクションによって描画すべき映像が変化する双方向的メディアである。その為、シーンの描画には非常に高速な、1秒間に数十回の映像描画が必要となる。前者の映像描画に多量の時間をかけることができる方針をプリレンダリング、後者の素早く映像描画を行う必要がある方針をリアルタイムレンダリングと呼び、映像制作においては異なる技術体系や考え方となる。

ゲームにおけるエフェクトには、ゲーム内の出来事をユーザーへ伝達する際の伝達効率を向上する説明的役割、シーン内の出来事を装飾し盛り上げる演出的役割が有り、総じてゲームコンテンツの魅力向上を目的とする役割である。説明的役割例として、キャラクターが有利な状態へ移行した際に特別な光を発する、ゲーム内UI上で選択しているボタンを強調する等が挙げられる。演出的役割例として、キャラクターが敵に目掛けて魔法を照射する、攻撃が当たったら大きな爆発を付加する、場面全体にカメラの効果を加える等が挙げられる。ゲームエフェクトは大別して2種類ある。ポストプロセス・エフェクトとパーティクル・エフェクトである。ポストプロセス・エフェクトは、画面全体に対して視覚効果を付与する手段である。シーン全体に霧をかけ神秘的な雰囲気を演出したり、光の当たり方をシミュレートし昼間から夕方にかけての時間変化を一瞬に切り替える演出を行うなどの利用方法がある。パーティクル・エフェクトは、キャラクターや建物といったオブジェクトと同様にゲーム内シーン中に存在する物(オブジェクト)としての視覚効果である。炎や水・雷といった自然現象、魔法や光線といった架空現象等を、そのシーン中に存在するオブジェクトとして表示する。近年において視覚効果オブジェクトとしてのエフェクトを作成するツールは、パーティクルという粒子を基本単位とする事が多い為、俗にパーティクル・エフェクトと呼ばれている。多量のパーティクルの集合体で流体的なエフェクトそのものを表現する利用方法や、パーティクルの位置座標にアニメーションテクスチャを配置する等、エフェクト素材の発生位置としての

利用方法がある。ただし、現在においても矩形ポリゴンや球体といったプリミティブ形状を用いてエフェクトを配置する技法も一般的である。その為、本研究ではこのシーン中に存在する視覚的効果の事を単に「エフェクト」と呼称する。

アニメーションやビデオゲームといった創作コンテンツ上で、エネルギーの塊が強く発光、形状変化するといった現象はアクションや格闘を主題としたコンテンツ内ではよく見かけ、攻撃方法の1つや特殊効果として広く用いられている。1960年代の特撮映像作品において既に光線の表現方法として確認できる。キャラクターの体内から溢れ出る超常的な力を対戦相手に目掛けて放出する事で攻撃している様子を映像化し、そうした表現が後に漫画やアニメーションといったコンテンツへ影響を及ぼしたものと見られている。近年の日本国内において、このような創作表現は愛好家の間で「エネルギー波」と呼ばれるようになった。ビデオゲームにおいては、攻撃における特殊効果全般をエフェクトという用語で表現し、エフェクトの代表例としてエネルギー波表現が含まれている。国外においても、アニメーションやCGの中でのVFXとして、エネルギー波表現は一般的な表現対象であると認識されている。その他にも、炎や雷・水といった自然現象を元にした創作的な攻撃描写も総じてエフェクトと呼ばれるが、本研究では漫画やアニメーション作品で多用されているエネルギー波表現に焦点を当てて取り扱う。本研究では、慣例に倣いこれらの特殊視覚効果をエネルギー波と呼称し、「空間中のエネルギーの密度が高い場所が強く発光する」「形状変化を伴いながらある地点に向かって移動する」現象と定義する。エネルギーとは空間中に存在するエネルギー波を構成する要素で、3次元空間上に分布し、密度が高い部分が強く発光するものとする。

3次元のビデオゲーム内において、エネルギー波を表現する為に用いる技術で現在一般的なものは、テクスチャ表現である。1枚の矩形ポリゴンで表現するビルボードテクスチャでは、エネルギー波を単一の2次元画像として事前に複数枚用意し、プレイヤーの視点変更などに応じて画像を回転・切り替える事で、1つのエネルギー波を表現している。また、球体や円柱形などのプリミティブ形状に対してテクスチャを貼り付けることでエネルギー波を表現する場合もある。テクスチャ表現はデータ容量が非常に軽く、リアルタイム描画性に優れているが、事前に用意したテクスチャ画像のみで表現を行うため、3次元空間中のエネルギー分布状態を考慮していない。そのため、プレイヤー視点を動的に任意に変更した場合、その視点から見たエネルギー波の光の強さや形状を正確に表現することは不可能となる。

ポリゴンなどの境界表現以外で、3次元空間中のエネルギー分布状態を表現するデータ構造で代表的なものはボクセルを用いたボリュームデータ表現である。ボリュームデータとは任意の3次元空間を一定の領域でサンプリングした集合データであり、個々をボクセルと呼称する。ボリュームデータは物体の内部構造や濃淡、煙等の不定形自然現象を表現する場合に適当なデータ構造である。ボクセル毎にシミュレート結果を事前計算しておき形状全体を表現する。必要に応じて事前計算結果を呼び出して使用する事が基本である。高精細な表示が可能であるが、その分データ容量が肥大化する傾向に有り、数値積分など計算コストの高い表示処理を求められる。近年ではGPUを用いた高速な表示手法が数多く研究されているが、インタラクティブなコンテンツ内等で使用するには、データ容量や使用状況に制限がかかる事が多い。ゲーム等の創作コンテンツではしばしば、炎や雷、水といった自然現象を模してエフェクトを作成する。こういった不定形自然現象に対してユーザー制御を目的とした研究は多岐に渡る。しかし近年では物理挙動ベースのシミュレーションが多く、コンテンツ内でエフェクト形状の再計算を伴う表現を想定した場合は計算コストが高い傾向にあり、ゲーム内では事前計算した結果を再生する利用方法が主流である。

本研究ではビデオゲームにおけるエネルギー波表現に着目し、空間中の稠密なエネルギー分布状態を高速にレンダリングする手法構築を目的とする。ゲームエフェクトの既存表現技術では、主に空間中に粒子の集合体を配置し、粒子位置にエネルギー波を構成するアニメーションテクスチャを複数パーツ組み合わせる事でエネルギー波表現を行っている。事前に手の込んだアニメーションテクスチャやパーティクルの運動を設定し、ゲームプレイ中に作成済みのデータを再生する方法が主流となる。その為、作成済みエフェクトに対するインタラクティブ性は低い傾向にある。本研究では、球体や螺旋といった形状関数を用いてエネルギーの分布状態を基底する事で、ゲーム制作工程における事前素材作成無しにエネルギー波描画を行う。関数を用いてエネルギー波形状を画面の描画処理毎に計算し直す事で、パラメー

タやカメラ視点変更といったユーザーからのインタラクションに対応した出力結果をリアルタイムに更新可能となる。本研究では基礎的な形状に特化した解析的積分手法と、曲線的な形状に対応可能な数値的積分手法を提案する。球体等の単純形状を示す関数を被積分関数とした場合、原始関数が初等関数の組み合わせで表現可能となる為、積分区間が自明であれば積分値が解析的に求まる。曲線といった複雑な形状を示す関数が被積分関数の場合、原始関数を求める事が困難になる為、数値積分を用いてエネルギー分布状態を計算する。こうしたエネルギー波の分布状態を表す関数を予め基底し、カメラから見た関数値を描画処理毎に計算し直す。カメラ視点がどの位置にあってもエネルギー分布が連続的に存在する為、空間的に隙間のない稠密なエネルギー波分布を描画可能となる。各積分手法には得手不得手な点が存在するが、両手法とも既存のテクスチャ表現やパーティクル表現に比べ、エフェクトの見た目に関するテクスチャデータ作成やアニメーション設定といった事前作業が不要となる。ボリュームデータ表現も分布状態の動的変化には不向きであるという点から、空間中の稠密なエネルギー分布状態を動的に調節可能な本提案手法はエネルギー波表現に適している。

以上の目的を達成する提案手法を開発し、各種描画結果より本手法の有用性を検証した。

備 考

1. 要旨は4000字程度にまとめること。
2. 本様式により、ワープロで作成することを原則とする。
3. 用紙はA4版 上質紙を使用すること。