

Wii リモコンを用いた直観的な 落雷アニメーション生成手法の開発

西 祐貴^{1,a)} 床井 浩平^{2,b)}

概要: 本稿では、ユーザーが指定した任意の二点間に落雷アニメーションを生成するビジュアルシミュレーション手法を提案する。二点間の指定には、Wii リモコンを用いる。これは、直感的に落雷現象を操作している体験の提供を目標とし、本稿ではそのために必要な手法を提案する。提案手法は、ラプラス方程式で求めた空間の電位勾配に基づいた雷の進展確率によって大まかな経路を生成し、Perlin Noise を用いて放電経路の微細なブレを再現する。雷の形状は、雷の一つの節をビルボードポリゴン上にレンダリングし、realtime glow の手法により光の散乱を表現するグロー効果を付与する。また、雷を線光源と仮定することで、空間に存在する他オブジェクトのライティングを行った。この手法により、雷の発生と経路をユーザーが対話的に制御し、それによる光学的効果をシーン中にリアルタイムに付与することができた。

キーワード: Wii リモコン, コンピュータグラフィックス, ゲームエフェクト, リアルタイムレンダリング

Development of a Technique to Generate a Lightning Animation Using Wii Remote

YUKI NISHI^{1,a)} KOHE TOKOI^{2,b)}

Abstract: This paper proposes a method for visual simulation of generating a lightning animation between the two points specified by the user. To specify between two points, we use the Wii remote control. It is possible to present the sense of operating the intuitive lightning phenomena. The proposed technique determines the potential gradient of the simulation space from the Laplace equation and generate a rough discharge path of the lightning by the progress probability. After that, this technique adds the fluctuation using Perlin noise in the generated path. The shape of a segment of the lightning is rendered using textured billboard polygon. Then a glow effect is added to the whole lightning shape by the realtime-glow technique. In addition, this technique also calculates the shading of the scene caused by the lightning. This technique allows the user to interactively control the path of generating lightning, and add the visual effect of the lightning to the scene in the real-time. The purpose of this study is an application of the interactive applications and video games, VFX in the post-production stage of the video production process.

Keywords: Wii Remote, Computer graphics, Game effect, Real time rendering

1. はじめに

雷を切ったと言われる雷切やモーゼが海を割ったという自然現象を圧倒する伝説が古くから存在し、近年の映画やゲームなどのエンターテインメント作品にも自然現象を掌握し、コントロールする存在が数多く登場する。このことから、大規模に現象をコントロールするという事柄は、何ら

¹ 和歌山大学大学院システム工学研究科
Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

² 和歌山大学
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

a) yuyua1172@icloud.com

b) tokoi@sys.wakayama-u.ac.jp

かのエンターテインメント性があると推測できる。このような大規模な現象のコントロールは、現在ではコンピュータグラフィックスを用いることで擬似的に再現可能である。その際に、物理シミュレーションが用いられることがある。

エンターテインメント分野での応用を目的として物理シミュレーションを利用する場合、観測者に不自然さを感じさせないだけの精度や正確性をシミュレーションによって確保したうえで、映像を制作した人の意図が映像を見る人に伝わるかどうかことが重要となる。そのためには、誇張表現などの様々なデザイナーによる演出をビジュアルシミュレーション結果に反映する必要がある。また、そのビジュアルシミュレーションには、デザイナーの試行錯誤に耐えるだけの対話性が確保されていなければならない。

本研究では、ユーザーに直感的に落雷現象を操作する感覚を提示するためのビジュアルシミュレーション手法の開発を行った。提案手法は、ユーザーが Wii リモコンを用いて入力した情報とシーンの情報をもとに落雷のビジュアルシミュレーションをリアルタイムに実行し、インタラクティブに落雷アニメーションを生成する。提案手法の実装には Unity5 を用いた。提案手法によって作成した雷放電の様子を図 1 に示す。

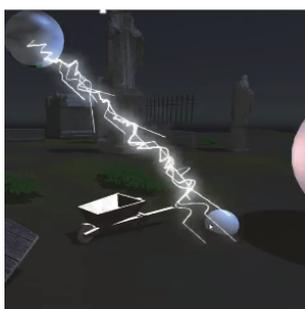


図 1 生成した雷放電の様子

2. 関連研究

物理シミュレーションを映像表現に利用したものとして、破壊シミュレーションを利用した米岡の作品 [1] がある。これは、現象を再現し、それを制御することにより迫力のある演出に成功している。コンピュータグラフィックスによって描画された自然現象と観測者のインタラクションをテーマにしたものでは、Team Lab の Flower Walk [2] や Flutter of Butterflies Beyond Borders [3] などがある。本研究では、描画されている現象にユーザーが介入するのではなく、ユーザーの Wii リモコンの入力に合わせて現象を描画する。任天堂の Wii リモコンはスクリーン上に描画を行う際のインターフェースやポインティングデバイスとして広く使われている。Interactive High-contrast Visual Generation Using Hybrid Laserraster Projecton [4] では、あらかじめ投影されたトロコイド映像にレーザーを重ねて

描画する際のインターフェースとして使用された。本研究では、シーン上の場所を指し示すためのポインティングデバイスとして用いる。

対話的な物理シミュレーションを映像表現に応用したものとしては、NVIDIA が視覚効果用に開発したパーティクルベースのビジュアルシミュレーション技術 FleX [6] や、佐藤らの Incompressibility-Preserving Deformation for Fluid Flows Using Vector Potentials [7] がある。これらの手法は、シミュレーションのリアルタイムな制御が可能であり、ユーザーの多様な入力に対応することで様々な演出を作成できる。また、狐塚が開発した Sparta [5] は手書きで炎や水などのエフェクトを制御することができる。

インタラクティブな落雷アニメーションを視覚効果に応用する場合、ユーザーの入力と電位勾配を利用した放電経路の生成、雷によるグローの再現、雷の状態遷移に対する表現、雷による周囲のライティングをリアルタイムで行うことが必要である。

放電現象をモデル化して CG で可視化したものに、Physically Based Animation and Rendering of Lightning [8] や、Visual Simulation of Lightning [9] がある。この手法は、放電現象の正確な再現に成功した。インタラクティブな放電現象のシミュレーションとしては、松山らが Real-time animation of spark discharge [10] を提案している。この手法は、Sosorbaram らの DBM (Direct Breakdown Model) [11] を GPU を用いて解くことにより高速に放電経路を計算し、realtime glow [16] の手法を用いてグローを再現することによりインタラクティブな放電アニメーションを生成した。

落雷現象をリアルタイムに再現するものに、NVIDIA の Real time lightning rendering [12] がある。この手法は確率的 L-System によって生成した放電経路に沿ってビルボードにより雷形状を描画した後に realtime glow [16] を用いてグローを再現することでリアルタイムに落雷アニメーションを生成している。田中らは、スクリーンをなぞることで自由な稲妻を作成するビジュアルシミュレーション手法 [13] を開発した。これは、雷の状態遷移も考慮したインタラクティブな落雷のビジュアルシミュレーションを可能とした。

これらに対し、提案手法は物理的根拠を持ち、落雷現象として現実的な見かけをもちながら、ユーザーによるインタラクティブな制御が可能で、光源としての機能をもつ落雷アニメーションの生成が可能である。

3. 提案手法

3.1 電位勾配の設定

提案手法は、まず空間を八分木空間分割手法によって分割し、シーンの各オブジェクトがどのセルに属するかを算出する。次に、空間分割を行った各セルに電位 ϕ のデータを持たせる。オブジェクトが属しているセルや、その子空間

に属するセルがあれば、そのセルの電位を $\phi = +1$ に設定する。そして、ユーザーが起点に指定したポイントを内包するセルの電位を $\phi = -1$ に設定し、終点に指定したポイントを内包するセルの電位を $\phi = +1$ に設定する。

これらの条件から、全てのセルにおける電位 ϕ を求める。境界と起点、終点以外は電荷が存在しないとすると、大気中の電位はラプラス方程式 (1) に基づく。上式を 3 次元正方格子で差分化すると、式 (2) に変形できる。

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \phi_{i,k,j} = \frac{1}{6} & (\phi_{i+1,k,j} + \phi_{i-1,k,j} \\ & + \phi_{i,k+1,j} + \phi_{i,k-1,j} \\ & + \phi_{i,k,j+1} + \phi_{i,k,j-1}) \end{aligned} \quad (2)$$

この差分方程式を、連立一次方程式の解法として利用されるガウス・ザイデル法 [14] を用いて解いて、全てのセルにおける電位 ϕ を求める。図 2 は、八分木の最も小さいセルを電位 ϕ の大きさに基づいて色分けして表示したものである。オブジェクトが存在するセルとその周りに電位勾配が生まれていることを示している。電位が $\phi = +1$ に近ければ近いほどセルの赤みが増している。

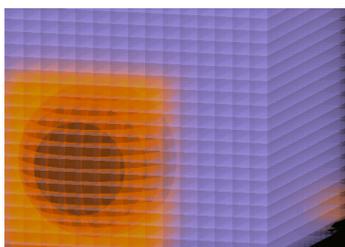


図 2 可視化した電位勾配

3.2 放電経路の決定

Stepped Leader による放電経路はステップ状に形成されることから、提案手法では、段階的に放電経路を決定していく。雷の先端となる節から終点へのベクトルを中心として、任意の高さ h 、半径 r を持った円錐を決定する。これを探索円錐と定義する。探索円錐内に存在するセルの中からランダムにセルを選択する。

選択したセルの中から、最も進展確率 p_i の高いセルに向かって長さ l だけ進む。提案手法では、正規乱数を用いることで進む長さにばらつきを持たせた。これを繰り返して行くことで、大まかな放電経路を決定する。セルの進展確率 p_i は、L.Niemeyer らのモデルにもとづき、[11] 式 (3) によって計算する。

$$p_i = \frac{(\phi_i)^\gamma}{\sum_{j=1}^n (\phi_j)^\gamma} \quad (3)$$

ここで、 γ は調整値である。

また、次に進むセルを決定する際に同じ進展確率を持つセルが存在すれば、この時に枝分かれが行われる。提案手法における放電経路決定の概念図を図 3 に示す。

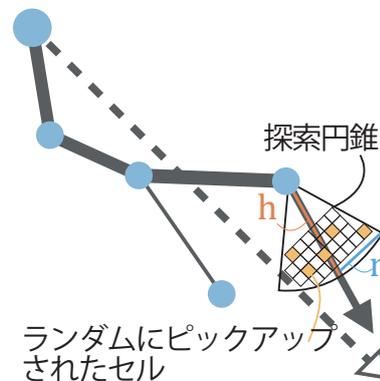


図 3 放電経路決定のモデル

3.3 ノイズによるブレの付加

前章によって大まかな経路を決定した後、Perlin Noise[15] を用いて細かいブレを付加する。本研究では、Perlin Noise における Resolution, Frequency, Octaves のパラメータをユーザーが任意に変更することによって、雷の解像度を変更することができる。

3.4 雷のレンダリング

提案手法では、ビルボードポリゴンを用いて雷をレンダリングした。レンダリングした雷に、光の散乱によって起こるグロー効果を付与する。本研究では、James らによる real-time glow[16] を用いて雷が大気を照らすグロー効果を再現した。

3.5 雷によるライティング

提案手法では、雷を一つの線光源と仮定して、西田らの線光源モデル [17] を用いてシーンのライティングを行った。線光源とは、ダイポール場光源が並んだものとして定義されている。点 \mathbf{Q} における輝度 E を求めるための式は式 (4) のようになる。

$$E = \int_0^1 \frac{\cos \phi \cos \theta}{|\mathbf{R}(t)|^2} L(t) dt \quad (4)$$

ここで、 $L(t)$ は端点から $\mathbf{P}(t)$ における線光源の長さで、 $\mathbf{R}(t)$ は式 (5) で求められる。

$$\mathbf{R}(t) = \mathbf{P}_0(1-t) + \mathbf{P}_1 t - \mathbf{Q} \quad (5)$$

3.6 提案手法の状態遷移

提案手法では、落雷の状態遷移をの3つの段階に分けてそれぞれの段階における経過時間をパラメータとしてコントロールできる。Stepped Leader は稲妻のビルボードポリゴンのみを描画する。Return Stroke の段階ではこれに加え、グロー効果を付与して、雷が周囲を照らす様子を描画する。グロー効果の範囲と線光源の光の強さを増減させるための割合を式 (6) のように定義した。これは、シンセサイザーで減衰系の音を再現する際のモデル (Attack 時間 + Release 時間) に倣ったものである [18]。ここで、 $IP(t)$ はグローの範囲と光の強さの割合、 t は Return Stroke 段階の経過時間、 RT は Return Stroke 段階にかかる時間である。

$$IP(t) = \begin{cases} 2(1 - e^{-\frac{t}{RT}}) & (t \leq \frac{1}{4}RT) \\ 2(e^{-\frac{t}{RT}}) - 0.5 & (t > \frac{1}{4}RT) \end{cases} \quad (6)$$

また、残光状態を表現するために、グロー効果や線光源の光の強さが0になった後、ビルボードでレンダリングした雷の α 値を式 (7) によって減少させていく。こちらは、シンセサイザーの Release 時間を模したモデル [18] となっている。ここで、 $\alpha(t)$ はビルボードポリゴンの α 値、 t は残光時間の段階における経過時間、 E_T はパラメータとして設定した残光段階にかかる時間である。

$$\alpha(t) = 1 - (1 - e^{-\frac{t}{E_T}}) \quad (7)$$

提案手法によって作成した落雷の状態遷移図を5に示す。

4. 実験

本研究が提案する手法を用いることで表示解像度 1920×1080 にフレームレート 30fps を保ったまま落雷のアニメーションを描画することができた。本研究が作成した雷の形状と実際の雷形状との比較を図4に示す。

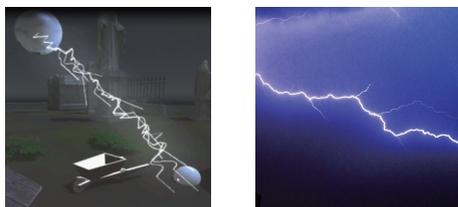


図4 作成した雷形状 (左) と実際の稲妻の形状 (右)

実際の雷と比べると、節点の角度が鋭くなった。また、ユーザーの始点と終点の入力に対応し、現実ではありえない進展をしている落雷アニメーションが生成できたことを図6に示す。ユーザーの入力を含めたシミュレーション空間の電位勾配に基づいて放電経路を生成しているため、ユーザーが入力した電位勾配よりも急な勾配が近くに存在

すると、急な勾配に沿って雷が進展することを観察できた。その様子を図7に示す。

他にも、雷が枝分かれした際の進展方向の中心となるベクトルを、現在の先端からユーザーが指定した終点までのベクトルとするか、枝分かれした時のベクトルとするかユーザーが選択できるようにした。これにより、直線的な雷と樹木状に広がる雷の2種類を描画できた。その様子を図8、図9に示す。最後に、シミュレーションに使用した計算環境、計算時間、および任意に設定したパラメータ群を、表1、2、3、4に示す。

表1 実験環境。

CPU	Intel®Core™i7-4790K
Clock	4.0GHz
Memory	16GB
Operating system	Windows8(64bit)
Graphics Card	NVIDIA GeForce GTX 750 Ti

表2 経路制御に関するパラメータ。

空間分割の深さ	6*1
探索円錐の半径 r	1
探索円錐の高さ h	起点から終点までの長さの 1/7
進展確率の調整値 γ	1

表3 Perlin Noise に関するパラメータ。

Resolution	50
Frequency	2.02
Octaves	4

表4 アニメーションに関するパラメータ。

Stepped Leader の時間	0.18 秒
Return Stroke の時間	0.39 秒
残光の時間	0.3 秒

5. おわりに

提案手法を用いることで、ユーザーが指定した二点間に落雷アニメーションを生成することが可能となった。本研究が提案した手法を用いることで直感的な現象の操作体験を得ることができるかどうかということについては、聴覚や触覚を含めた包括的な考察や主観評価実験が必要になる。その場合、映像表現の評価において、ほとんど知覚されないことがない現実の落雷現象と比較することは重要ではない。作成した落雷アニメーションによってユーザーが迫力のある落雷現象として知覚できるかどうか重要であり、それにより映像効果として有用かどうか評価される。

また、提案手法では各セルの電位勾配によって雷の進展

*1 最も小さいセルの個数が $32 \times 32 \times 32$ 個

を決定している。つまり、各セルの電位勾配をユーザーが自由に変更できるシステムを開発することで、より任意の経路を形成することができる。

このほか、図4に示すように節点の角度が鋭いことも課題である。これは雷一つ一つの節の間を調整するパラメータを加え、節から節までの間を短くすることで解決できると考えられる。

描画における課題は、第一に線光源による影を生成し、シーンに存在する他の光源による影に干渉することである。また、雷は一つの線光源として定義するのではなく、線光源の集合として定義することが望ましい。しかし、線光源のモデルを積分を用いて数値的に計算を行うと計算量が膨大となってしまう、リアルタイムに描画することが不可能となる。このために、多数の線光源が存在してもリアルタイムに描画できるように線光源のモデルを解析的に解く手法を開発する必要がある。

他にも、コンピュータグラフィックスならではの独自表現を追求し、映像表現の一つとして有用性を高めることが必要であると考えている。その一例として、Liquid-Lightning[19]のような雷の破壊表現をインタラクティブに行うを想定している。大規模な自然現象を破壊するという体験の提示を目指す。

参考文献

- [1] 米岡 馨, FXTD Reel 2012
<https://vimeo.com/51583899>, 2012.
- [2] チームラボ/teamLab, Flower Walk / フラワーウォーク
<http://www.team-lab.net/all/products/flowerwalk.html>, 2014.
- [3] チームラボ/teamLab, Flutter of Butterflies Beyond Borders / 境界のない群蝶
<http://www.team-lab.net/all/art/butterflies.html>, 2015.
- [4] Osama Halabi, Kenta Motomura, Norishige Chiba. SpiroRasLaser:An Interactive Visual Art System Using Hybrid Raster-Laser Projection , International Journal of Arts and Technology (IJART), Inderscience Publishers, Vol. 4, No. 4, pp. 373-391, (2011).
- [5] 狐塚 諒太, 「Sparta」CGの炎や煙を直感的に作れる世界で最初の手書きアプリ,
<http://camp-fire.jp/projects/view/237>, 2011.
- [6] FleX , NVIDIA:<https://developer.nvidia.com/flex>
- [7] Syuhei Sato and Yoshinori Dobashi and Yonghao Yue and Kei Iwasaki and Tomoyuki Nishita : Incompressibility-Preserving Deformation for Fluid Flows Using Vector Potentials , The Visual Computer , Vol31,No.6,pp.959-965,2015
- [8] T. Kim and M.C. Lin. Physically based animation and rendering of lightning. Proceeding PG '04, pp. 267-275, 2004.
- [9] Todd Reed and Brian Wyvill. Visual simulation of lightning. Proceeding SIGGRAPH '94, pp. 359-364, 1994.
- [10] Katsutsugu Matsuyama, Tadahiro Fujimoto, and Norishige Chiba. Real-time animation of spark discharge. Visual Comput, Vol. 22, pp. 761-771,2006
- [11] L Niemyer, L. Piertronero, and H. J. Wisemann. Fractal dimension of dielectric breakdown. Phys. Rev. Lett, Vol. 52, pp. 1033-1036, 1984.
- [12] NVIDIA. Real time lightning rendering.
<http://www.youtube.com/watch?v=aFmvwmGcbNY>, 2014.
- [13] Junya TANAKA, Kouki ITOH, and Tsukasa KIKUCHI. Controllable lightning shape and impression evaluation. Proceedings of NICOGRAPH International, 2011.
- [14] 谷萩隆嗣. 連立1次方程式の新しい反復解法アルゴリズム. 電子通信学会論文誌 (D), pp. 1392-1399,1983.
- [15] Ken Perlin. Making noise. GDCHardCore on Dec 9, 1999.
- [16] Greg James, JohnO' Rorke. Real-time glow. In GPU Gems, pp. 293-310. NVIDIA, 2004.
- [17] 西田友是, 中前栄八郎. 線光源により照射された三次元物体の陰影表示. 情報処理学会論文誌, Vol. 23, No. 4, 1982.
- [18] Miller Puckette. The Theory And Techniques Of Electronic Music. Wspc, 2007.
- [19] Kevin Gautraud. Liquid-Lightning v2,
<http://vimeo.com/116483979>.

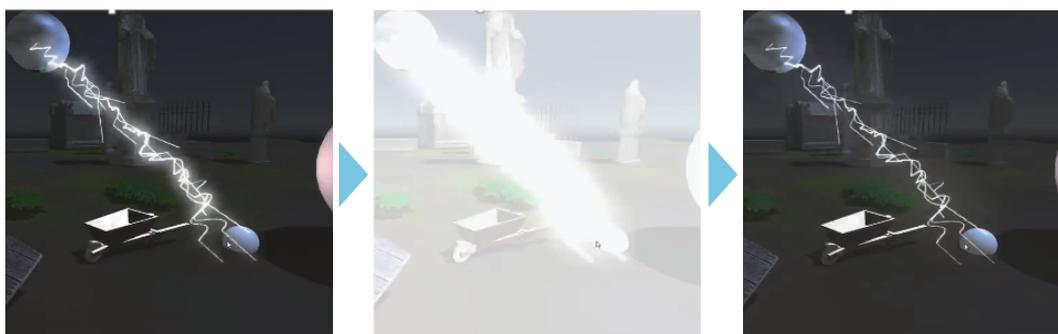


図 5 生成した雷放電の状態遷移図



図 6 右下から左上に進展する雷



図 7 オブジェクトの方向へ進展する雷



図 8 直線に近い形状の雷



図 9 樹木状に近い形状の雷