

스마트기기 게임에 적합한 실시간 번개 시뮬레이션 연구

박성배, 오규환

아주대학교 미디어학과 IE Lab

{kyosky, drghoh}@ajou.ac.kr

A Study on Real-Time Lightning Simulation for Smart Device

SungBae Park, GyuHwan Oh

IE Lab, Media Department, Ajou University

요 약

본 논문에서는 스마트기기에 적합한 실시간 번개 시뮬레이션을 제시한다. 물리학에 기반을 가지는 Dielectric Breakdown Model을 근사하여 스마트기기 환경에서 실시간 구현이 가능한 번개 경로 결정 알고리즘을 제시하며, 여러 개의 번개를 동시에 그리고 실시간으로 렌더링 할 수 있는 방법을 제시한다. 마지막으로 번개의 경로를 실시간으로 수정할 수 있는 방법을 제시하여 유저와 실시간 상호작용이 가능하게 한다. 본 논문에서 제시한 번개 시뮬레이션은 스마트기기 환경에서 번개가 주 요소인 게임에서 사용이 될 것으로 판단된다.

ABSTRACT

In this paper, we show a real-time lightning simulation for smart device game. Our proposed method uses physically based Dielectric Breakdown Model to similar real world lightning path and we simplify the algorithm for real-time simulation in smart device. In addition, the rendering process can render multiple lightning and can real-time render in smart device. Finally, our lightning can support interactive with user. The simulation method will be effectively useful for a game that needs a real-time simulation as its game element in smart device environment.

Keywords : lightning, simulation, lightning render(번개, 낙뢰, 시뮬레이션, 번개 렌더링)

Received: Jul. 22, 2013 Accepted: Aug. 12, 2013
Corresponding Author: GyuHwan Oh(Ajou University)
E-mail: drghoh@ajou.ac.kr

© The Korea Game Society. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1598-4540 / eISSN: 2287-8211

1. 서 론

1.1 문제 제기

자연현상 중 하나인 번개에 대해 PC환경에서 많은 시뮬레이션 방법들이 제시되었다. 그러나 기존의 PC환경에서의 번개 시뮬레이션 기반은 번개를 사실적으로 표현하기 위해 물리적인 관점에서 접근하여 번개의 경로 탐색, 사실적인 번개 렌더링을 모두 고려하여 알고리즘을 구현하였다. [Fig. 1]은 이러한 이론을 토대로 PC환경에서 구현된 번개 시뮬레이션의 일종[1]으로 위의 방법으로 구현된 알고리즘은 매우 복잡하기 때문에 그와 비례하여 많은 연산을 요구하여 스마트기기에서 실시간 번개 시뮬레이션을 구현 할 수 없다. 또한 유저와의 인터랙티브한(Interactive) 상호작용을 지원하지 않기 때문에 인터랙티브 미디어나 게임에서 사용하기에 적합하지 않다.



[Fig. 1] Lightning Simulation Based on Physics (Left : Actual Lightning, Right : Lightning Simulation)

기존 스마트기기에서 사용되는 번개는 게임에서 종종 사용된다. [Fig. 2]는 ‘ZEUS - Lightning Shooter’, ‘ZEUS DEFENSE’, 그리고 ‘GOD STRIKE’의 게임에서 사용된 번개이다. 그러나 ‘ZEUS - Lightning Shooter’를 비롯하여 대부분의 게임들이 다양한 번개 효과를 구현하였지만 단순한 2D 이미지 프레임 애니메이션으로 구현하여 번개의 형태가 미리 정의되어 있으며, 번개가 떨어

지는 위치를 제외한 유저와의 인터랙티브한 상호작용을 지원하지 않는다. 이런 부족한 표현은 번개 효과가 주 요소인 게임에 부족한 기획요소를 제공할 뿐만 아니라 단순한 형태를 반복적으로 보여줌으로써 게임에 몰입하는 것을 방해한다.



[Fig. 2] Games Using The Effect of Lightning (From Left to ZEUS-Lightning Shooter, ZEUS DEFENSE, GOD STRIKE)

1.2 연구 목표

본 논문에서는 다음과 같은 목표를 수행한다. 첫째, 실제 번개의 경로를 참고하여 단순한 이미지 프레임 애니메이션 기반보다 개선된 번개 경로 알고리즘을 제시한다. 둘째, 개선된 번개 경로 알고리즘을 이용하여 스마트기기에서 실시간 번개 렌더링 기법을 제시한다. 셋째, 번개의 경로를 유저가 실시간으로 변경하여 보다 개선된 유저와의 상호작용을 지원한다. 넷째, 본 논문에서 사용된 번개 시뮬레이션을 실제 샘플에 적용하여 검증한다.

1.3 선행 연구

1984년 Niemeyer[2]는 Dielectric Breakdown Model(DBM)을 제시하였다. 이 모델은 물리학을 기반으로 절연파괴(Dielectric Breakdown)현상을 설명한다. DBM 모델은 공간을 격자(Grid)로 나눈다. 이때 초기조건으로 전위(Electric Potential)을 결정하는데 절연 파괴가 시작되는 격자는 0의 값을 가지며 끝나는 위치는 1의 값을 가진다. 이후 라플라스 방정식(eq. 1)을 이용하여 나머지 격자의 전위를 결정한다.

$$\nabla^2\Phi = 0. \text{ where } \Phi: \text{전위(Electric Potential)} \quad (\text{eq. 1})$$

그 후 절연과피가 진행 중인 격자(번개의 경로)와 인접한 격자를 후보 격자로 지정하여 (eq. 2)를 이용하여 각 후보 격자가 새로운 절연과피 경로(번개 경로)로 선택될 확률을 구한다. i, j 는 2D 격자상의 좌표이다.

$$p(i, j) = \frac{\Phi_{i,j}^\eta}{\Phi_{total}^\eta} \quad (\text{eq. 2})$$

where $\Phi_{total}^\eta = \sum_{i \in x} \Phi_i^\eta$, x : 모든 후보 격자

각 후보 격자의 확률에 의거해 새로운 절연과피 경로를 선택한 후 선택된 경로가 끝나는 위치에 도달할 때 까지 (eq. 1)을 이용하여 전위필드를 갱신하며 다시 새로운 절연과피 경로를 선택한다. η 는 조절인자로 크면 번개의 잔가지가 적어지며 0에 가까울수록 전위와는 상관없는 모양이 결정된다. 또한 η 이 약 3.3일 경우 실제 번개와 같은 fractal dimension인 1.34을 가지는 것이 확인되었다[3].

1994년 Todd Reed[4]가 제시한 번개 경로 결정 방법은 관찰에 기반하여 번개의 경로를 결정하였다. 각 번개의 Line Segment끼리 평균 16도 표준편차 0.1이라는 관측에 의해 알려진 사실에 의해 번개의 경로를 결정하며, 가우스 분포를 이용한 ray tracing기법을 이용하여 번개를 렌더링하였다. 이 방법은 $O(n)$ (n : 번개를 이루는 Line Segment의 수)의 시간으로 번개의 경로를 결정할 수 있지만 ray tracing기법의 렌더링으로 인해 많은 시간이 소요되며 실제 번개와 물리학에 기반을 두지 않기 때문에 실제 번개와 다른 결과를 얻는다.

Batjargal Sosorbaram[5]는 DBM 모델을 수정하여 번개의 경로를 결정하였으며, 볼륨 렌더링에 의해 번개를 렌더링 하였다. 잔가지가 많이 발달하는 경향이 있다.

Teodore Kim[1,6]은 2004년 DBM을 Conjugate Gradient 기법으로 구현하였으며, 사실적인 번개 렌더링을 위해 Atmospheric Point Spread Function(APSF)을 이용하여 번개를 렌더링 하였

다. 또한 2007년에는 쿼드트리 자료구조를 접목하여 더욱 빠른 번개 경로 결정 알고리즘을 제시하여 실제 번개와 유사한 수준의 결과를 얻었다. 그러나 실시간에 못 미치는 번개 경로 결정 알고리즘과 초단위의 시간이 필요한 렌더링 기법은 개선될 여지가 있다.

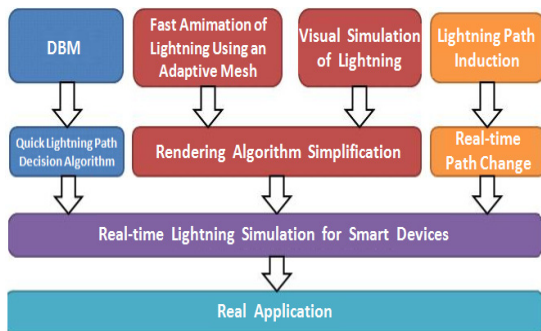
2013년 Perare[7]은 기존 DBM에서는 고려하지 않은 상향 연결 선도(Upward Connected Leader)[8]을 고려하여 개선된 DBM을 제시하였다.

1.4 연구 접근 방법

실제 번개와 비슷하게 표현하기 위한 방법으로 는 T. Kim[6]의 접근방법이 가장 적합하다. 실제 번개의 경로와 유사한 경로를 제작할 수 있는 L. Niemeyer[2]의 DBM을 사용하였으며, 빠른 연산 속도를 위해 Conjugate Gradient 기법과 F. Losasso[9]가 물과 연기를 시뮬레이션 하기 위한 옥트리 자료구조를 이용하여 빠른 번개 경로 결정 알고리즘을 제시하였다. 또한 번개 렌더링을 위하여 Narasimhan[10]이 제시한 APSF함수를 이용하여 더욱 사실적인 렌더링 기법을 제시하였다. 하지만 이 방법을 그대로 적용하기에는 몇 가지 문제가 있다. 우선 번개 경로 결정 알고리즘은 스마트기기와 같은 하드웨어의 성능이 부족한 환경에서 사용하기에는 연산이 너무 복잡하며, 한 장면을 렌더링 하기 위한 소요 시간이 초 단위의 시간을 필요하여 실시간 구현에 문제가 있다. 위의 방법 대신에 사용할 수 있는 방법은 물리적 기반이 아닌 Reed, Todd[4]이 제시한 기법이나 이미지 프레임 애니메이션 기반 기술이 있다. 그러나 이 기법들은 실시간 유지와 인터랙티브한 상호작용을 구현하기에 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 스마트기기 게임에 적합한 실시간 번개 경로를 결정하기 위한 방법으로 L. Niemeyer[2]이 제시한 DBM을 실시간 시뮬레이션에 맞게 개선하는 방법을 마련한다. 그 후 번개 렌더링을 위하여 T. Kim[6]의 기법과 Reed, Todd[4]에서 제시한 기법을 참고하여 실시간 번개 렌더링

을 구현할 수 있는 방법을 제시한다. 또한 인터랙티브를 위해 번개 경로 유도 기법을 제시하며, 이를 이용하여 실시간 번개 경로 변경 기법을 제시한다. 마지막으로 이렇게 제작된 번개 시뮬레이션을 샘플 게임에 적용하여 본 논문의 목표인 스마트기기 게임에 적합한 실시간 번개 시뮬레이션의 구현이 제대로 되었는지 평가한다. [Fig. 3]은 본 연구의 접근 방법을 간단하게 도식화 한 것이다.



[Fig. 3] The Overall Process

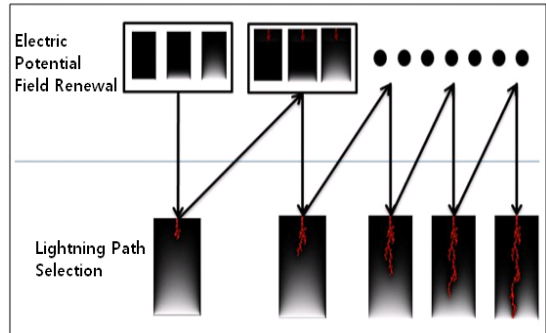
2. 본 론

본 논문이 제시하는 스마트기기 게임에 적합한 실시간 번개 시뮬레이션은 번개 경로 결정 알고리즘에 의해 번개의 경로를 결정하며, 그 결과를 이용하여 번개 렌더링을 진행한다. 이후 번개 경로 유도 또는 번개 경로 변경 알고리즘을 이용하여 실시간 인터랙션을 구현한다.

2.1 번개 경로 결정 알고리즘

기존의 연구인 DBM[2]는 전위 필드 갱신과정과 번개 경로 선택 과정이 반복적으로 적용하여 번개의 경로를 결정한다. 전위 필드 갱신 과정에서는 Conjugate Gradient와 같은 기법을 이용하여 라플라스 방정식의 해를 근사하여 전위 필드를 갱신한다. 이후 번개 경로 선택과정에서는 각 격자의 전위 값에 영향을 받아 번개 경로 격자를 선택하며,

새로운 경계조건 하에서 다시 전위 필드 갱신 과정을 반복한다. [Fig. 4]는 번개의 경로가 선택되는 과정을 나타낸다.



[Fig. 4] DBM Lightning Path Selection Process

DBM[2]을 기반으로 쿼드트리 자료구조를 사용한 T. Kim[7]의 번개 경로 결정 기법은 스마트기기(iPod 4세대)에서 평균 0.8725초가 소요되어 실시간 시뮬레이션에는 적합하지 않다. 두 과정 중 전위 필드 갱신과정의 시간 복잡도는 Conjugate Gradient 기법 사용 시 $O(G^{1.5})$ (G : 격자 크기)이며, 번개 경로 선택 과정의 시간 복잡도는 $O(g)$ (g : 후보 격자의 수, $g \ll G$)이다. 그러므로 전위 필드 갱신 과정의 단순화가 필요하다.

빠른 전위 필드 갱신을 위해 본 논문의 번개는 구름과 지상 사이의 번개로 한정한다. 해당 가정하에서 본 논문은 관찰을 통해 전위필드의 값들의 특징을 분석하며, 그 특징을 반영하는 빠른 전위 필드 갱신 알고리즘을 제시한다.

2.1.1 전위 필드의 특징

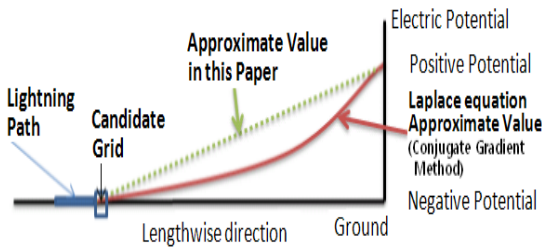
[Table 1]은 구름과 지상 사이의 번개의 전위 필드의 Conjugate Gradient 기법을 사용한 근사값이다. 회색격자는 경계 조건을 나타낸다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 전위필드는 아래쪽으로 내려갈수록 전위의 값이 증가하며 중심에서 외각으로 이동할수록 전위의 값이 감소하는 특징을 가진다(격자를 벗어나는 위치의 전위는 0이라 가정한다).

[Table 1] Conjugate Gradient Method Approximate Solution

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.01 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.02 |
| 0.05 | 0.07 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.07 | 0.05 |
| 0.12 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.22 | 0.20 | 0.12 |
| 0.24 | 0.38 | 0.44 | 0.46 | 0.44 | 0.38 | 0.24 |
| 0.47 | 0.64 | 0.70 | 0.71 | 0.70 | 0.64 | 0.47 |
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

2.1.2 빠른 전위 필드 갱신

빠른 전위 필드 갱신 알고리즘의 첫 번째 과정은 앞에서 살펴본 2가지 전위 필드 특징 중 우선 첫 번째 특징인 아래로 내려갈수록 전위의 값이 증가하는 특징을 근사하기 위해 [Fig. 5]와 같이 경계조건과 외곽조건을 기준으로 세로축 선형복간을 통해 아래쪽으로 내려갈수록 전위의 값이 증가하는 특징을 근사 한다. 이때 선형복간의 기준이 되는 2개의 격자가 모두 경계조건인 격자를 사용한다면 기준 격자라 정의한다.



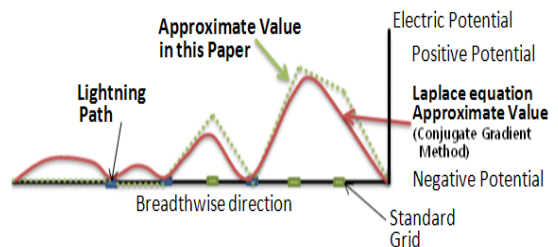
[Fig. 5] First Processes : Quick Electric Potential Field Algorithm

[Table 2]는 첫 번째 과정을 수행한 후 전위 필드의 값이다. 본 결과는 아래로 내려갈수록 전위 값이 증가하는 특징을 만족한다.

[Table 2] The Results of the First Approximation Process

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.14 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.14 | 0.14 |
| 0.29 | 0.29 | 0.00 | 0.17 | 0.00 | 0.29 | 0.29 |
| 0.42 | 0.42 | 0.00 | 0.33 | 0.00 | 0.42 | 0.42 |
| 0.57 | 0.57 | 0.25 | 0.50 | 0.25 | 0.57 | 0.57 |
| 0.71 | 0.41 | 0.50 | 0.67 | 0.50 | 0.41 | 0.41 |
| 0.86 | 0.86 | 0.75 | 0.83 | 0.75 | 0.86 | 0.86 |
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

두 번째 과정으로는 앞에서 살펴본 전위 필드 특징 중 구 번째 특징인 가운데에서 외곽으로 갈수록 전위가 감소하는 특징을 근사하기 위해 첫 번째 과정의 결과를 이용하여 [Fig. 6]과 같이 연계조건, 외곽조건 그리고 기준격자를 기준으로 가로축에 따라 선형복간을 한다.



[Fig. 6] Second Processes : Quick Electric Potential Field Algorithm

[Table 3]은 두 번째 과정을 수행한 후 전위 필드 값이다. 본 결과는 중심에서 외곽으로 이동할수록 전위값이 감소하는 특징을 만족한다.

[Table 3] The Results of the Second Approximation Process

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.08 | 0.16 | 0.25 | 0.50 | 0.25 | 0.16 | 0.08 |
| 0.17 | 0.33 | 0.50 | 0.67 | 0.50 | 0.33 | 0.17 |
| 0.25 | 0.50 | 0.75 | 0.83 | 0.75 | 0.50 | 0.25 |
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

세 번째 과정은 앞선 과정의 결과를 섞는 과정이다. 앞에서 구한 결과를 매개변수 t에 의지해 선

형보간한다. 이때 t 는 유저가 지정하는 매개변수로 t 로 모양을 변화 시킬 수 있다. [Table 4]는 세 번째 과정 후의 전위 필드를 나타낸다.

[Table 4] The Results of the Third Approximation Process($t = 0.15$)

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 0.03 | 0.03 | 0.00 | 0.17 | 0.00 | 0.03 | 0.03 |
| 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.33 | 0.00 | 0.04 | 0.04 |
| 0.13 | 0.21 | 0.25 | 0.50 | 0.25 | 0.21 | 0.13 |
| 0.22 | 0.37 | 0.50 | 0.67 | 0.50 | 0.37 | 0.22 |
| 0.31 | 0.54 | 0.75 | 0.83 | 0.75 | 0.54 | 0.31 |
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

마지막 과정으로 앞의 3가지 과정을 통해 근사 후 Successive Over Relaxation(SOR) Method를 실시간 계산이 가능한 수준에서 최대한 사용하여 값을 더욱 정교하게 보완한다. [Table 5]는 SOR 기법을 2회 반복했을 때 나타나는 결과이다.

[Table 5] SOR Method : Results of Two Times

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 0.03 | 0.03 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.03 | 0.03 |
| 0.06 | 0.08 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.08 | 0.06 |
| 0.12 | 0.21 | 0.25 | 0.30 | 0.25 | 0.21 | 0.12 |
| 0.24 | 0.37 | 0.47 | 0.51 | 0.47 | 0.37 | 0.24 |
| 0.47 | 0.66 | 0.70 | 0.74 | 0.70 | 0.63 | 0.47 |
| 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

빠른 전위 필드 갱신 기법은 아래쪽으로 내려갈 수록 전위의 값을 증가하는 특징과 중심에서 외곽으로 이동할수록 전위의 값을 감소하는 특징을 만족한다. [Table 1]과 비교하면 전체적으로 증가된 값을 가지는데 이는 본문의 1,2과정에서 항상 본 논문의 근사값이 Conjugate Gradient Method의 근사값보다 크기 때문이다. 또한 [Table 5]의 빨간 영역은(번개의 뒷 영역) 가장 부정확한 값을 가지지만 번개는 아래로 내려오는 특징과 번개의 경로로 선택될 확률이 낮은 지역으로 시뮬레이션에 크게 영향을 미치지 않는다. [Fig. 7]은 빠른 전위 필드 갱신 알고리즘의 전체 과정이다.

Quick Electric Potential Field Renewal Algorithm

```
// 아래 방향으로 전위의 값을 증가(수직 방향 선형 보간)
grid1 = Linear_InterpolationHeight(initial_grid)
```

```
// 외곽으로 전위의 값을 감소(수평 방향 선형보간)
grid2 = Linear_InterpolationWidth(grid1)
```

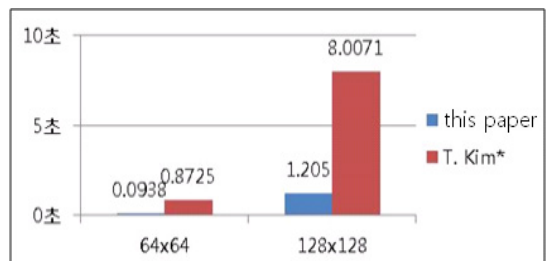
```
// 위 과정의 결과를 변수 t에 의해 선형보간
grid3 = Linear_InterpolationValue(grid2, t)
```

```
// Successive Over Relaxation기법을 이용하여 값 보정
For some count
    grid_final = Successive_Over_Relaxation(grid3)
```

[Fig. 7] Quick Electric Potential Field Renewal Algorithm

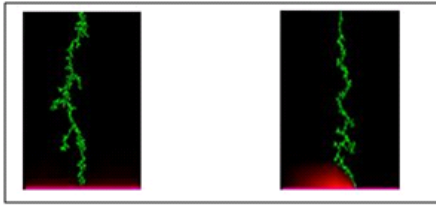
2.1.3 번개 경로 알고리즘 결과

본 논문에서는 앞에서 구한 빠른 전위 필드 갱신 알고리즘과 선행연구 DBM[2]의 번개 경로 선택과정을 이용하여 번개 경로 알고리즘을 구현하였다. [Fig. 8]은 테스트기기(iPod 4세대)에서 본 논문의 결과와 쿼드트리 자료구조를 이용한 T. Kim[6]의 결과를 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 소요시간이 현격하게 줄어 실시간 시뮬레이션이 가능하다.



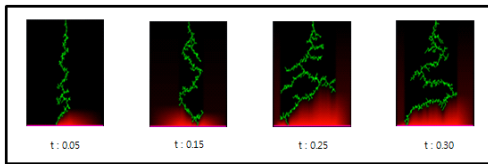
[Fig. 8] Comparison of Lightning Path Algorithm's Processing Time

[Fig. 9]은 각 T. Kim[6]과 본 논문의 번개 경로 결정 알고리즘으로 구한 번개 경로를 결과로, T. Kim[5]의 결과와 뚜렷한 차이가 존재하지 않는다.



[Fig. 9] Comparison of Lightning Path Algorithm (Left : T. Kim's, Right : Our Proposed Method)

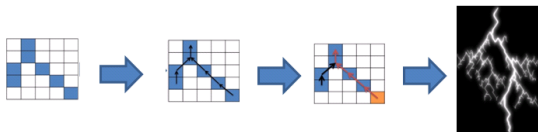
본 논문의 빠른 전위 필드 갱신 과정 중 매개변수 t 를 클수록 좌우 움직임이 커진다. 이는 t 가 커지면 첫 번째 과정의 비중이 점차 커지며 이로 인해 번개의 경로는 수직보다는 수평으로 움직이려는 성질을 가진다. [Fig. 10]는 이를 나타낸다.



[Fig. 10] The Lightning Shape on The Parameter T

2.2 렌더링

실시간 번개 렌더링을 위해 선행연구 T.Kim[6]와 Todd Reed[4]을 참고하여 구현하였다 [Fig. 11]은 T. Kim[6]이 제시한 렌더링 과정이다.

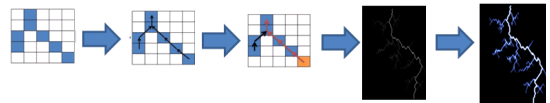


[Fig. 11] Rendering Process of T.Kim's Paper

우선 번개 경로 결정 알고리즘에 의해 번개 경로가 결정되면 해당 경로를 지나는 그래프를 생성한다. 그 후 엣지(Edge)는 2가지 분류로 나누는데 메인채널(Main Channels)은 땅에서 구름으로 이어지는 경로에 포함된 모든 엣지이며, 나머지 엣지는 주변채널(Secundary Channels)에 포함된다. 메

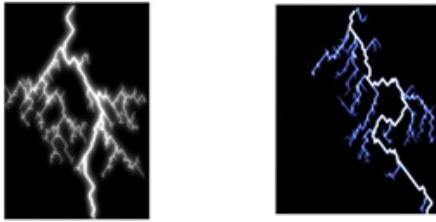
인채널은 고정된 밝기를 가지며 주변채널은 메인채널에서 떨어질수록 점점 작아지는 밝기를 가진다. 마지막으로 APSF를 이용해서 만든 필터를 그래프와 Convolution하여 픽셀의 색을 결정한다. 실제 번개와 흡사한 렌더링을 할 수 있지만 APSF를 이용한 Convolution과정은 $O(n^2f^2)$ (n : 화면 해상도 한 축 길이, f : 필터 한 축 길이)의 시간 복잡도를 가진다.

본 논문에서는 이를 개선하여 T. Kim[6]의 그래프 구축 및 메인채널과 주변채널 분리 및 밝기 결정 과정은 그대로 사용하며 이 후 렌더 텍스처에 그래프를 렌더링 한다. 이때 Todd, Reed[4]가 관측에 의해 알려진 메인채널의 두께는 주변채널의 두께의 2배라는 사실을 바탕으로 메인채널의 두께는 주변채널의 2배가 되도록 렌더링한다. 마지막으로 Todd, Reed[4]가 ray tracing 기법에서 사용한 가우스 블러 필터를 그래픽 하드웨어에서 하나의 패스에서 사용할 수 있는 수준으로 적용하여 번개 렌더링을 수행한다. [Fig. 12]는 본 논문의 렌더링 과정이다.

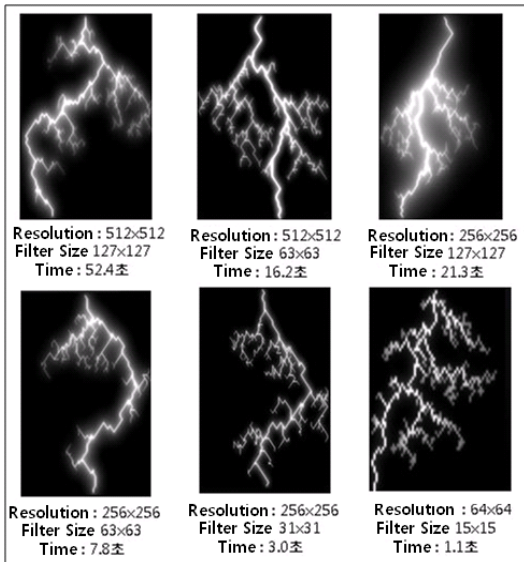


[Fig. 12] Rendering Process of Our Proposed Method

[Fig. 13]은 테스트기기(iPod 4세대)에서 본 논문의 결과와 T. Kim[6]의 결과를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 T. Kim[6]의 결과에 비해 Flow Effect가 본 논문의 결과에서는 거의 나타나지 않는다. 그러나 메인채널의 너비 조정을 이용하여 T.Kim[5]과 비슷한 메인채널과 주변채널의 너비를 가지는 것을 볼 수 있다. 또한 [Fig. 14]에서 볼 수 있듯이 테스트 기기에서 T. Kim[6]의 결과는 초 단위의 시간이 필요하지만 본 논문의 렌더링 기법은 초당 16프레임으로 렌더링이 가능하다.



[Fig. 13] Rendering Results
(Left : T. Kim's, Right : Our Result)



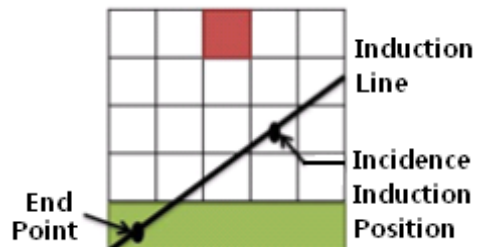
[Fig. 14] Rendering process of T.Kim's Paper

2.3 번개 경로 유도 및 변경

T. Kim[6]은 번개가 갈 수 없는 영역의 격자의 전위값을 0으로 설정하여 번개의 경로를 제한했다. 그러나 위의 방법은 번개의 도착지점은 설정할 수 있어도 실시간 번개 경로 변경 및 번개의 입사각을 지정할 수는 없다. 또한 각 영역을 일일이 설정해야 하므로 상당히 번거로운 초기화를 진행해야 했다. 본 논문에서는 간단한 위치 정보 2개를 이용하여 번개의 도착지점과 입사각을 설정할 수 있는 번개 경로 유도 알고리즘을 제시한다. 또한 이를 이용하여 실시간 번개 경로 변경 알고리즘을 구현한다.

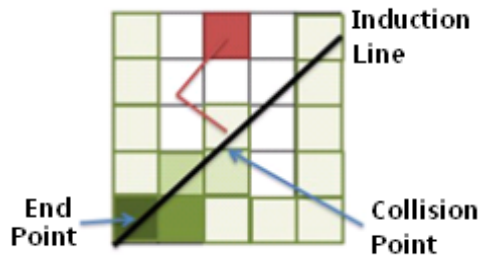
2.3.1 번개 경로 유도

번개 경로 결정 알고리즘을 실행하기에 앞서 [Fig. 15]와 같이 도착점과 경로 입사 유도 위치를 지정한다. 이 두 점을 지나는 선을 유도 직선이라 정의하며 경로 결정 알고리즘을 이용하여 번개의 경로가 유도 직선에 충돌 할 때까지 번개의 경로를 선택한다.



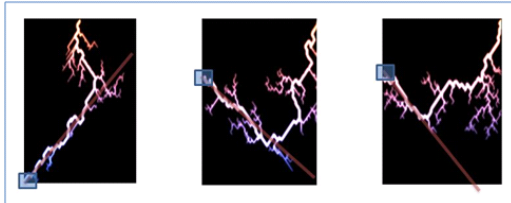
[Fig. 15] Induction Line (Red Grid : Starting Point of Lightning, Green Grid : Ground)

번개의 경로가 유도 직선에 충돌 했다면 [Fig. 16]과 같이 도착점부터 충돌점까지 점점 작아지는 고정된 전위값(본 논문 1.0 ~ 0.1)을 배치하여 경계조건에 포함한다. 또한 외곽에 인접한 격자 중 상단을 제외한 모든 격자들을 작은 고정된(본 논문 0.1) 전위값을 배치하여 경계조건에 포함시킨다. 이렇게 수정된 전위 필드를 이용하여 번개 경로 알고리즘을 실행해 번개의 경로가 도착점에 도착할 때까지 번개의 경로를 선택한다.



[Fig. 16] Change of Electric Field (Red Grid : Starting Point of Lightning, Green Grid : Deepen Colors is Higher Electric Potential)

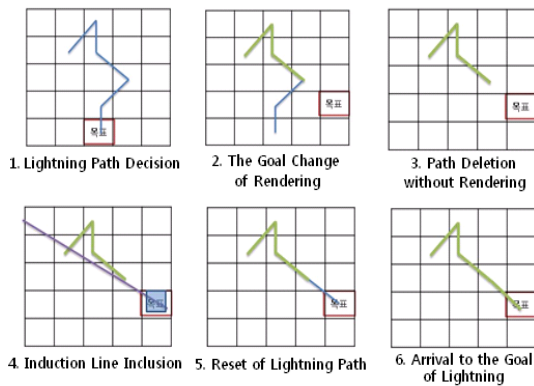
[Fig. 17]은 번개 경로 유도 알고리즘의 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 유저는 번개의 도착 지점과 입사각을 지정할 수 있다.



[Fig. 17] Result of Lightning Induced Path
(Blue Box : End Point, Red Line : Induction Curve)

2.3.2 번개 경로 변경

번개 경로 변경은 번개가 렌더링 되는 도중 번개의 경로를 번개 경로 유도 기법을 이용하여 변경한다. 미리 번개의 경로를 결정하며 번개가 렌더링 되는 중 번개의 목표가 변경되면 렌더링 되지 않은 모든 경로를 제거하며 마지막으로 렌더링 되는 위치부터 목표까지 유도 직선을 산입한 후 경로 결정 알고리즘을 실행해 번개의 경로를 재설정한다. 이 후 새롭게 추가된 번개 경로를 점점 렌더링하여 실시간으로 번개의 경로를 변경할 수 있다. [Fig. 18]은 전체적인 과정을 나타낸다.

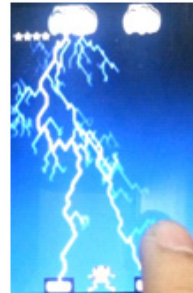


[Fig. 18] Change of Electric Path

(Blue Line : Lightning Path without Rendering,
Green Line : Lightning Path with Rendering)

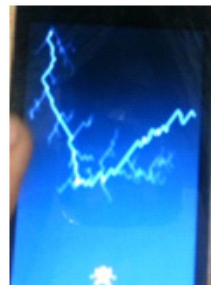
2.4 샘플 프로그램 구현

위에서 제시한 기법을 테스트기기(iPod 4세대)의 샘플에 적용하였다. 첫 번째 샘플은 임의의 위치에서 번개가 생성되어 임의의 위치로 번개가 내려치며 유저는 개구리를 움직여 번개를 피하는 게임이다. 본 게임에서 동시에 최대 3개의 번개를 시뮬레이션 했으며 평균 15프레임으로 렌더링이 가능하여 실시간 게임에 적합하다. [Fig. 19]는 첫 번째 샘플의 플레이 장면이다.



[Fig. 19] A Play Image of First Sample

두 번째 샘플은 항상 번개는 고정된 개구리를 향해 내려치며 유저는 번개를 드래그하여 [Fig. 20]과 같이 번개의 경로를 수정하여 개구리를 지키는 게임이다. 이와 같이 실시간 유저와 인터랙티브한 상호작용을 지원하여 번개를 주 소재로 활용한 게임을 기획 할 수 있다.



[Fig. 20] A Play Image of Second Sample

각 샘플의 플레이 동영상은 아래 URL에서 찾을 수 있다.

샘플1 : http://www.youtube.com/watch?v=_m_xgbBWiuWs

샘플2 : <http://www.youtube.com/watch?v=XlgsDEiWmzs>

3. 결 론

본 논문의 목표는 스마트기기 환경에서 기존 이미지 프레임 애니메이션 기반의 번개에 비해 개선된 번개 시뮬레이션을 제작하며, 유저와의 실시간 인터랙티브한 상호작용을 지원하는 방법을 제안하는 것이다. 스마트기기에 적합한 실시간 번개 시뮬레이션을 제작하기 위한 방법으로 절연과파 현상을 물리적으로 접근한 DBM[2]과 번개를 렌더링 하기 위한 방법으로 관찰에 의한 번개를 렌더링한 Reed, Todd[4]의 기법을 이용해 DBM의 라플라스 방정식의 해를 번개의 특성에 맞게 근사하여 실시간 번개 경로 결정 알고리즘을 구현했으며, T. Kim[6]의 기법과 Reed, Todd[4]의 렌더링 기법을 단순화 하여 그래픽 하드웨어상에서 실시간 렌더링을 구현하였다. 구현된 번개 시뮬레이션은 실제 번개와 완전히 흡사하지는 않지만 기존의 스마트기기에서 구현된 번개 보다 더욱 사실적으로 번개를 표현 할 수 있으며, 스마트기기에서 실시간으로 시뮬레이션 할 수 있다. 또한 실시간 유저와의 인터랙티브한 상호작용을 지원하여 기존 번개 시뮬레이션에서 표현할 수 없는 다양한 기획적인 요소를 가능하게 하였다.

REFERENCES

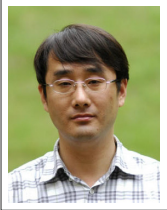
- [1] T. Kim and M. Lin, "Physically Based Modeling and Rendering of Lightning", Proc. Of pacific Graphics 2004, pp. 267-275, 2004.
- [2] L. Niemeyer, L. Pietronero, and H. J. Wiesmann, "Fractal Dimension of Dielectric Breakdown", Physical Review Letters, vol. 52, pp. 1033-1036, 1984.
- [3] A.A. Tsonis, "A Fractal Study of Dielectric Breakdown in the Atmosphere", In : Scaling, Fractals and Non Linear Variability in Geophysics(eds. D. Schertzer and S. Lovejoy), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 157-174.
- [4] Reed, Todd and Wyvill, Brian, "Visual Simulation of Lightning", Proc. Of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 359-364, 1994.
- [5] Sosorbaram, Batjargal et al, "Visual Simulation of Lightning Taking into Account Cloud Growth", Proc. Computer Graphics International 2001, pp. 89-95. 2001.
- [6] T. Kim and M. Lin, "Fast Animation of Lightning Using an Adaptive Mesh", Visualization and Computer Graphics, Volume 13, pp. 390-402, 2007.
- [7] Perera, MDN and Sonnadara, DUJ, "Fractal Nature of Simulated Lightning Channels", Sri Lankan Journal of Physics, Volume 13. pp. 9-25, 2013
- [8] M. A. Uman and Ephlip Krider, "Natural and Artificially Initiated Lightning", SCIENCE, Volume 246, pp. 457-464, 1989,.
- [9] F. Losasso 2 others, "Simulating Water and Smoke with an Octree Data Structure", ACM Transactions on Graphics, Volume 23, pp. 457-462, 2004.
- [10] Narasimhan, Srinivasa G and Nayar, Shree K, "Shedding Light on the Weather", 2003 IEEE Computer Society Conference on, vol 1. pp. 665-672, 2003.



박 성 배 (SungBae Park)

2011 8월 아주대학교 미디어학부 학사
2011년 9월-현재 아주대학교 미디어학부 석사과정

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스



오 규 환 (GyuHwan Oh)

1998년 8월 한국과학기술원 전산학과 박사
2000년 12월-2005년 2월 (주)빅슨 게임 개발 실장
2005년 3월-2009년 2월 아주대학교 미디어학부 조교수
2009년 3월-현재 아주대학교 미디어학부 부교수

관심분야 : 온라인 게임 기획, 실시간 컴퓨터 그래픽스
