
등고선을 이용한 가상환경 시뮬레이션에서의 이벤트 표현

Simulation of Events Using Contour Map in the Virtual Environment

오규열, 박종희

경북대학교 대학원 전자공학과 정보통신공학전공

Kyu-Yol Oh(yhkong@ee.knu.ac.kr), Jong-Hee Park(jhpark@ee.knu.ac.kr)

요약

대부분의 멀티미디어 시스템들의 환경은 수동적인 배경으로 이루어진다. 그러나 가상환경에서 실세계 시뮬레이션에 있어서 지형은 바람이나 비, 구름과 같은 많은 이벤트에 영향을 미친다. 그러므로 지형과 기상 현상 모델링은 현실적인 가상환경을 시뮬레이션 하기 위하여 필요하다. 이러한 모델링에서는 높이와 지역정보 뿐만 아니라 온도와 습도와 같은 환경적 요소도 중요하다. 하나의 이벤트는 전제조건, 절차, 결과로 이루어지며, 이벤트의 결과가 다른 이벤트의 전제조건을 만족하는 형식의 인과관계를 통하여 여러 가지 이벤트들이 발생하게 된다. 본 논문에서는 등고선을 이용하여 자연현상 시뮬레이션에서 환경이 되는 개체들의 범위와 속성들을 표현하고 이를 통해 자연현상 이벤트를 표현하는 방법을 제시한다.

■ 중심어 : | 등고선 | 가상환경 | 시뮬레이션 |

Abstract

In most multimedia systems, the environment is considered as a passive background. In virtual environment simulating real world, however, terrain affects many events such as wind, rain, cloud. Therefore, it is necessary to model terrain and meteorological phenomenon in order to simulate realistic virtual environment. In those modeling, not only height and location information but also environmental factors such as temperature and humidity are important. An event is composed of many activities and subevents based on causality and consists of precondition, procedure and effects. Each part of an event is formulated in terms of a number of parameter variables, which correspond to its associated factors on existence or states of entities and relation. This paper represents terrain and environmental factor using contour map. Moreover, we define various events and their procedures in terms of causality in virtual environment.

■ keyword : | Contour Map | Virtual Environment | Simulation |

I. 서론

일반적으로 가상현실(virtual reality)은 컴퓨터를 이

용해 가상환경을 만들고 그 환경 내에서 3차원의 의사 체험을 가능하게 하는 기술로 알려져 있다. 그러나 엄밀히 말하면 가상현실은 공간적, 물리적 제약에 의해 현실

세계에서는 직접 경험하지 못하는 상상의 세계를 현실과 같이 만들어 낸다. 자신이 바로 그곳에 있는 것처럼 느낄 수 있는 가상공간(Cyber space)의 세계를 지칭한다. 현재의 연구는 주로 사람의 눈, 즉 시각으로 인지할 수 있는 컴퓨터 그래픽 부분의 발전이 많이 이루어져 사진과 눈으로 분간이 되지 않을 정도의 높은 정밀도를 만들어 낼 수 있는 수준까지 이르러 있다.

가상현실에서 사실적인 환경을 표현하기 위해서는 지형 모델링과 그것을 바탕으로 한 기상 현상 모델링이 필요하다. 지형 모델링이란 지형 상에서 관측된 지형 정보로부터 컴퓨터 그래픽스의 시각화 기법인 표면 모델링 기법을 이용하여 지형을 형상화 하는 것을 말한다. 지형 모델링을 하기위한 지형 자료로는 주로 수치고도모델(DEM: Digital Elevation Model)을 사용한다[1]. 수치고도모델을 이용한 지형 모델링의 방법은 사각 그리드(Regular Grid)에 의한 방법과 DEM 데이터에서 중요한 의미 점(산꼭대기, 웅덩이, 계곡 등)을 추출하여 불규칙 삼각망의 형태로 구성된 TIN(Triangle Irregular Network)에 의한 방법으로 구분된다[1]. 기상 현상에 관한 연구는 GCM(General Circulation Model)과 MIS(Meteorological Information System)에서 주로 다루어지고 있다. 특히 대기 대순환 모형인 AGCM(Atmospheric General Circulation Model)은 일종의 계산과정을 사용하여 대기연구, 장기 기후 예측 등의 작업에 사용되고 있다[2]. 또한 지구 대기 모델은 미분방정식을 기반으로 한 FEM(Finite Element Method) 또는 FDM(Finite Difference Method)와 같은 수치 해석 기법으로 모델링 되어져왔다[3].

하지만 위와 같은 모델들은 각각 시각적으로 실제와 유사한 환경을 제공하는 반면 통계적 자료를 바탕으로 하기 때문에 각각의 현상들의 인과관계에 대한 연구가 부족하다. 또한 지형과 대기 현상간의 상호 작용에 관한 고려, 환경 내에 존재하는 에이전트(agent)에 관한 고려가 없으므로 환경 모델 자체로서만 각각의 의미가 있을 뿐 전체적인 가상 환경을 구성하지는 못한다.

본 논문에서는 가상 환경 내에서의 지형을 등고선(Contour Map)으로 모델링하고 환경 내에서 발생할 수 있는 이벤트들을 인과관계에 근거하여 구성한다. 인과관

계에 바탕을 둔 이벤트 표현은 시각적인 모델링뿐만 아니라 논리적 모순이 없는 가상환경을 구성하는 기초가 된다. 또한 격자 형태의 환경 변수가 가진 단점을 보완하기 위해 등고선 형태로 환경 속성들이 변화하는 양상을 모델링하여 일시적인 상태의 표현을 가능하게 한다.

본 논문의 2장에서는 가상 환경, 기상 현상 시뮬레이션, 가상환경에서의 공간 분할에 관한 기존의 연구를 살펴보고, 3장에서는 가상 환경의 구성요소와 등고선을, 4장에서는 자연 환경 내에서의 이벤트의 전개 양상들을, 5장에서는 결론 및 앞으로의 연구방향을 제시한다.

II. 관련 연구

1. 가상현실 및 게임에서의 가상 환경 표현

가상현실의 목적은 공간적, 물리적 제약에 의해 현실 세계에서는 직접 경험하지 못하는 상상의 세계를 현실과 같이 만들어 사용자가 바로 그곳에 있는 것처럼 느낄 수 있게 만드는 것이다. 이를 위해서 기존의 가상환경에 대한 연구는 시각적으로 얼마나 현실과 유사한 환경을 만들어 줄 수 있는지에 초점을 맞춰왔다. 가상현실에서 지형을 표현하기 위한 방법으로는 높이 맵(height map)을 사용할 수 있다[6]. 높이 맵은 규칙적인 격자 형태로 정렬된 높이 값의 2D배열로써 격자에 있는 각 (x,y) 위치마다 z 의 값을 저장하고 이 z 값이 (x,y) 위치에 있는 지형의 높이를 나타낸다. 전체 테이블에 보다 작은 데이터 크기를 사용할 수 있게 하기 위해 z 정보는 일반적으로 부호 없는 바이트로 저장된다. 따라서 0이 가장 낮은 지형이고 255가 가장 높은 지형이다. 이는 [0,255]범위로 지형 데이터의 격자를 만든다. 미국 지질 조사소(USGS)는 이 방법을 사용하여 DEM 파일포맷으로 미국의 지형 정보를 제공한다.

게임에서 지형뿐만 아니라 캐릭터를 표현하기 위한 방법으로 LOD(Level Of Detail)를 사용하다[5]. 3차원 모델들은 일반적으로 모델링 툴을 이용하여 제작된 데이터이거나, 실제 사물을 스캔한 데이터들이다. 이런 경우 대부분 불필요한 데이터가 많고, 또 렌더링 시에 작은 크기로 나타나는 경우 불필요하게 거대한 데이터를

처리해야 하는 등 여러 이유로 보다 작은 크기의 데이터가 필요한 경우가 많다. 사용자의 필요에 맞게 적절한 크기의 모델 데이터를 사용하는 것을 LOD라고 한다. 이 방법은 시각적으로 사실적인 가상 환경을 구성할 때 필요이상으로 많은 다각형들이 사용되어 시스템의 속도가 저하되는 것을 개선하기 위해서 개발되었다.

가상세계를 좀 더 사실적으로 보이게 하기 위해서는 정밀한 사물표현도 필요하지만 빛, 연기, 구름 등의 비정형 객체에 대한 모델링도 필요하다. 기존의 연구에서는 이러한 비정형 객체를 표현하기 위하여 파티클 시스템(Particle System)을 사용했다. 파티클 시스템은 입자 하나하나를 분자(particle)로 표현하고 전체적인 비정형 객체를 분자의 집합으로 표현한다. 객체의 모양을 표현하기 위해서는 레이-트레이싱 알고리즘(ray-tracing algorithm)을 사용하는데 이는 모든 픽셀(pixe)에 대한 색을 계산해서 이미지를 생성한다[6]. 이 시스템은 외부 영향에 의한 다양한 변화를 표현할 수 있다는 장점을 가지고 있지만 과도한 계산에 의해 고성능의 시스템을 필요로 한다는 단점을 가지고 있다.

2. 가상현상 시뮬레이션

지구 내에서의 가상 환경은 GCM(General Circulation Model)과 MIS(Meteorological Information System)에서 주로 연구되고 있다. GCM은 지구 내에서의 가상 현상의 변화를 표현하는 방법으로 복잡한 대규모 대기 운동을 계산할 수 있는 수치모델(numerical model)이다[7]. GCM의 목적은 대기의 구성요소를 변수로 하여 그 변화를 계산함으로써 미래의 기후를 예측하는 것이다. GCM은 여러 개의 더 작은 모델들로 구성되어 있는데 이러한 소 모델들은 대기와 해양 사이의 열 교환 같은 특정대기 혹은 해양현상을 다루고 있다. 특히 대기 순환을 표현하기 위해서는 대기대순환모형(AGCM, Atmospheric General Circulation Model)이 사용된다. 지구대기는 그 과정을 실험실에서 혹은 대기를 대상으로 직접 실험하는 것이 불가능하기 때문에, AGCM이라는 일종의 계산과정을 사용하여 대기 연구, 장기 기후예측 등의 작업을 수행한다. 수치 계산에 의한 대기 순환의 모의는 20세기 중반부터 본격

화되어 오늘날에는 대기과학, 특히 대규모, 장시간의 기후를 연구하는 기후역학 분야에 있어서는 없어서는 안 될 중요한 도구가 되었다. 물론 현재의 GCM은 대기를 실제 그대로 모사해내지는 못하는데, 이는 연산력(computing power), 해상도, 물리과정 모수화의 불완전성 등에 기인하고 이를 고치기 위해서 많은 면에서 개선의 노력이 지속되고 있다.

MIS는 GIS(Geographic Information System)의 한 분야로서 인공위성의 영상분석에 의한 기상변동 추적 및 장기간 일기예보, 기상정보의 실시간 처리, 태풍경로 추적 및 피해를 예측 하는데 활용된다. 하지만 이런 시스템들은 통계에 의한 수치들을 기반으로 한 정확한 예측을 목적으로 하기 때문에 가상현실 내에서 에이전트와의 상호작용에 대해서는 고려하지 않고 있다. 본 논문의 목적은 가상현실에 있는 에이전트에게 현실과 비슷한 다양한 현상을 제공하는 것이다. 자연 현상내의 이벤트들에 관련된 요소들을 가지고 복잡한 계산을 하기 보다는 주요 요소들만을 가지고 이벤트들의 상호 작용에 중점을 두어 시스템을 구성 할 것이다.

3. 가상 환경 모델링에서의 공간 분할

기존의 가상환경 모델링에서는 공간의 효율적인 분할을 위해 기구를 정삼각형(equilateral triangles), 정사각형(squares), 육각형(hexagons)으로 나누고 나누어진 각각의 영역을 격자 형태의 볼류메트릭 텍스처(volumetric Textures)로 나누어서 표현했다[8]. 이러한 방법은 System의 복잡도를 줄인다는 장점이 있지만 공간사이의 상호작용을 표현하는 것에 대한 고려가 적어 공간사이의 상호작용에 중점을 둔 공간객체(Space Object)의 개념이 도입되었다[9]. 공간 객체란 물리적 객체의 생성과 함께 관계 지어지는 공간을 분할된 객체로 정의 하고 이렇게 분할된 공간객체격자에 환경속성을 둔다. 공간 객체는 그 내부에 환경속성을 포함함으로써 온도나 습도 등의 공간적인 속성의 차이를 표현할 수 있다. 또한 일반 객체들의 좌표들을 공간객체 내부의 좌표에 일치시킴으로써, 공간 내에서 활동하는 객체들과의 상호작용을 보다 쉽게 표현할 수 있다[10]. 하지만 공간객체는 격자라는 고정된 형태는 여러 가지 문제를 야

기한다. 예를 들면 보다 세밀한 묘사가 필요한 경우 해상도(resolution)를 증가시켜야 하는데 해상도의 증가는 시스템의 복잡도를 증가시킨다. 이를 해결하기 위하여 필요한 부분만의 해상도를 증가시키고 다른 부분의 해상도는 감소시키는 방법이 있지만[11], 원의 형태로 된 객체들의 경우 정확한 모양을 표현하는 것이 불가능하고 촛불과 같이 한 점에서 원형으로 퍼져가는 환경 속성들을 표현하는데 어려움이 있다.

III. 가상 환경의 구조

1. 물리적 개체

가상 환경은 물리적 개체(Physical Entity)들의 집합이다. 물리적 개체는 시공간상에 존재하는 모든 객체들을 의미한다. 물리적 개체는 물리적 객체(Physical Object), 재료(Material), 물리적 개념(Physical Concept)으로 구성된다[12]. 물리적 객체는 형태를 가진 모든 객체를 의미한다. 물리적 객체는 하나 혹은 그 이상의 재료로 이루어지고 특히 하나 이상의 재료로 이루어진 물리적 객체를 혼합 객체(Composite Object)라 한다. 물리적 객체는 내부 혹은 외부 외부적인 요인으로 인해 자신의 고유한 특성을 잃었을 경우 재료 상태로 돌아간다. 물리적 개념은 속성(attribute)과 활동(activity)을 가진다. 속성은 온도, 모양, 위치, 부피, 질량 등과 같이 물리적 객체 전체를 서술하는 서술적 속성(Descriptive Attribute)와 비열, 열 흡수율, 빛 반사율과 같이 물리적 객체의 재료가 가지는 고유의 속성(Inherent Attribute)로 나누어진다. 활동은 자신의 상태를 변화 시키거나 주위 환경 요소에 의해 영향을 주고받는 행위를 나타낸다[13]. 물리적 객체는 활동을 통해 다른 물리적 개체들과 상호 작용하여 그들의 속성을 변화시키고 자신의 속성도 변화하게 된다. 재료는 세상을 구성하는 가장 기본적인 물질이다. 재료는 절대로 사라지지 않고 단지 자신의 모양이나 상태를 변화시킨다. 물리적 객체와 재료는 공간에서 한 영역을 차지하게 되고 이 영역은 다른 객체와 공유할 수 없는 유일한 영역이 된다[14]. 물리적 개념은 빛, 소리, 에너지 등과 같이 물리적 성질은 가지고 있지

만 눈에 보이지 않고, 공간을 차지하지 않는 것을 말한다. 이들은 재료나 물리적 객체에 의해서 발생되어 저서 여러 가지 자연현상들의 원인, 결과가 된다.

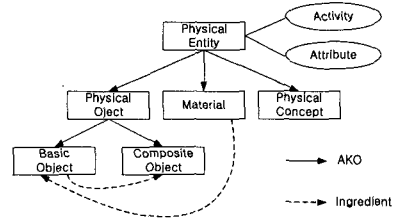


그림 1. 물리적 객체의 구조

2. 이벤트

이벤트는 하나 혹은 그 이상의 객체들과 그들의 행동들을 포함하여 일관된 규칙에 의해 시공간상에서 발생하고 결과를 생성한다. 여기서 일관된 규칙(Rule)이란 규칙과 제한을 말한다. 규칙은 물리 법칙을 바탕으로 구성되며 이벤트에 속한 객체들의 속성 값을 변화시키는 기반이 되고 제한은 자연 환경에서의 속성 값의 정상적인 도메인이 된다. 그런데 하나의 이벤트안에서의 속성 값들의 변화는 속성 값들의 발산을 초래할 수 있다. 속성 값의 발산이란 규칙이 적용되는 도중 시간이 지나면서 특정 속성 값이 계속하여 증가하거나 감소함으로써, 제한을 벗어나는 것을 말한다. 속성 값의 발산을 막기 위해서는 이벤트들 사이의 상호작용을 통하여 하나의 이벤트의 규칙이 다른 이벤트 내에 있는 환경속성의 발산을 막는 방향으로 설계되어야 한다. 이는 이벤트들이 독자적으로 존재하기 보다는 상호 종속적, 보완적인 관계로 존재함을 의미한다. 이벤트는 전제조건(Precondition), 절차(Procedure), 결과(Effect)의 세 부분으로 구성된다[15]. 각각의 특징은 다음과 같다.

2.1 이벤트 전제조건 부분

전제조건은 이벤트가 실행되게 하는 전제조건이다. 전제조건 부분은 이벤트가 발생하기 위해서 이벤트내의 객체의 속성 값이 가져야할 조건을 정의해 주는 역할을 하고, 이벤트가 발생하기 위해서는 특정 시간, 특정 공간에 특정 객체가 반드시 존재해야 한다는 존재에 관한

제한(Existential Constraint)를 포함한다.

2.2 이벤트 절차 부분

절차는 실제 이벤트 내에서 발생하는 현상들을 물리적 법칙에 기반 한 규칙들이 인과관계에 맞게 실행되도록 배치하는 부분이다. 규칙들의 인과 관계란 하나의 규칙도 전제조건부와 결론을 가지고 있어서 결론이 다른 규칙의 조건을 만족시키면 연쇄적으로 규칙들이 실행되도록 하는 것이다. 절차는 이러한 규칙들 뿐만 아니라 다른 이벤트들로 구성되어 질 수도 있다. 이벤트내의 변화는 항상 시간에 따른 변화를 수반한다. 따라서 절차 부분에서는 시간에 관한 고려가 필수적이다.

2.3 이벤트 결과 부분

결과는 절차 과정에서 생긴 변화 모두를 포함한다. 어떤 환경 속성의 변화는 절차의 중간에 발생하고 더 이상 절차에 영향을 주지 않을 수도 있는데 결과는 이러한 변화들과 절차가 끝나고 나타나는 최종 변화까지의 모든 것을 가리킨다. 또한 정적인 변화와 동적인 변화 모두를 포함한다.

3. 개체들과 이벤트들 사이의 관계

개체와 이벤트 사이의 관계는 [그림 2]와 같이 정리할 수 있다.

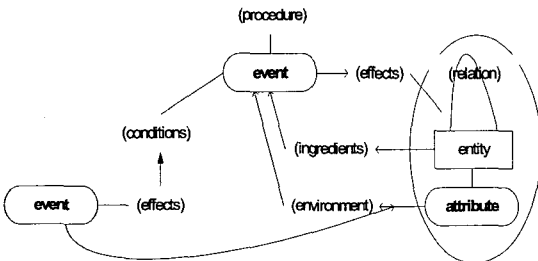


그림 2. 개체와 이벤트 사이의 전체적인 관계

[그림 2] 에서 보는 바와 같이 이벤트는 전제조건, 절차, 결과를 가지고 있고, 이전 이벤트의 결과가 다른 이벤트의 전제조건의 원인이 된다. 또한 이벤트의 결과는 개체에 영향을 준다.

4. 등고선

4.1 기본 등고선

등고선은 2차원 상에서 3차원을 표현해 줄 수 있는 유용한 도구로써 지형 모델링에 많이 이용되고 있다. 등고선은 하나의 중심점을 가지고 이 중심점을 기준으로 같은 비율을 가지고 크기가 증가해 가는 타원들로 구성할 수 있다[16].

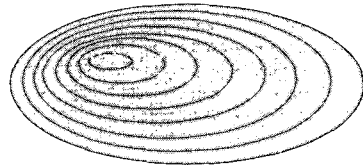


그림 3. 원뿔 형태의 등고선

기존의 연구에서 이렇게 구성된 등고선을 가상 환경에서의 지형 표현에 적용하여 Contour Map상의 임의의 점에서의 높이를 구하고, 그 점에서 기울기가 가장 낮은 방향으로 이동하는 최단거리를 구하는 방법들에 대한 연구가 이루어 졌다. 본 논문에서는 등고선으로 지형을 표현하는 방법 이외에도 환경 속성의 변화를 등고선으로 정의 하는 방법을 제시해 보고자 한다.

등고선으로 섬이라는 지형을 표현할 경우 육지와 바다의 경계면은 타원에 바탕을 둔 곡선 형태가 된다. 공간을 격자의 형태로 나누는 기존의 연구에서 곡선으로 된 경계면을 정확하게 표현 해 줄 수 없다. 이를 해결하기 위해서 경계 부분만의 해상도를 높이는 방법을 사용하고는 있지만 이 방법 역시 근본적인 해결책은 될 수 없다. 따라서 지형의 등고선에 동일한 형태의 환경 변수에 대한 등고선을 덮어 환경 변수의 변화를 표현해 주는 방법을 사용할 수 있다. 먼저 지형 등고선의 최 하단 모양과 같은 크기의 타원을 정의한다. 그리고 이 타원을 기본으로 하여 환경 변수에 대한 등고선을 생성한다. 환경 변수 등고선의 간격은 각각에 관련된 규칙 내에 있는 물리 법칙에 의해 정의된 함수들을 이용해서 결정된다. 환경 변수에 대한 등고선은 객체들 사이의 경계영역에서만 활발하게 변화하므로 일시적인 상태를 표현하는데 있어서도 장점이 있다. 객체들 사이의 경계 영역 표

현 외에도 환경 변수의 변화를 표현 하는 것에 있어서도 유용하다. 예를 들어 운동장에 모닥불을 피우는 경우에 열에너지는 모닥불을 중심으로 원형으로 퍼져가게 된다. 이때 모닥불을 중심으로 한 온도 변화에 관한 등고선을 그려주면 모닥불 주위의 온도변화를 효과적으로 표현 할 수 있다. 그런데 다양한 객체들이 존재하는 가상현실에서는 각각의 객체들의 환경속성에 대한 등고선이 겹치는 경우가 발생하게 되고 이 경우 자신이 속한 등고선에 해당되는 속성 값들을 중첩시켜 줌으로써 임의의 위치에서의 환경 속성 값을 구할 수 있다.

4.2 등고선의 확장

환경 변수를 표현하는 등고선에서 기존의 형태는 수직 방향의 속성 값 변화는 표현해 줄 수 있지만 수평방향으로는 모두 동일한 값을 가진다. 따라서 등고선을 구성하는 타원의 양쪽이 다른 속성 값을 가질 경우 이를 표현하는 것이 불가능하다. 이를 해결하기 위해서 등고선을 구성하는 타원을 16개로 나누어서 각각의 상호작용을 표현해 주는 방법을 사용한다. 여기서 타원을 더 많은 수로 나누어 더 자세하게 표현을 해도 된다. 하지만 우리는 16개로 나누어 사용하도록 하겠다.

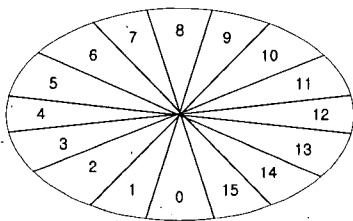


그림 4. 등고선을 구성하는 타원의 분할

타원 내부의 부채꼴들은 각각의 환경 변수 값들을 가지고 있다. 이들은 등고선상의 상하의 타원들뿐만 아니라 인접한 부채꼴들과도 상호 작용하여 자신의 환경 변수 값들을 결정하게 된다. 이를 이용하는 구체적인 예는 뒷부분에서 다루기로 한다.

IV. 가상 환경 내에서의 이벤트의 전개

1. 태양 복사 이벤트

지구에서 발생하는 대부분의 자연 현상들은 태양에서 방출된 태양에너지로부터 시작된다. 태양 에너지는 강수, 바람, 기후 같은 자연 현상들의 일차적인 원인이 될 뿐만 아니라 생물을 존재하게 하는 근원적인 요소가 된다. 따라서 태양 복사 에너지는 자연 현상에서 가장 중요하고 기본적인 것이다. 태양 복사 이벤트는 다음과 같은 구조를 가진다.

[전제조건]

entities : existence of the sun

relations : nuclear fusion of the sun

[절차]

지구의 형태는 원으로 이루어져 있지만 태양과 지구 사이의 거리가 대단히 멀기 때문에 태양에서 지구로 도달하는 태양 복사 에너지는 지구에 수직으로 입사한다고 볼 수 있다. 지구는 태양에 대하여 23.5도 기울어져 자전하기 때문에 낮, 밤의 변화와 위도에 따른 계절의 변화가 발생한다. 위도와 시간에 따라 지구가 받아들이는 태양 복사 에너지의 양은 다음과 같이 수식화 할 수 있다.

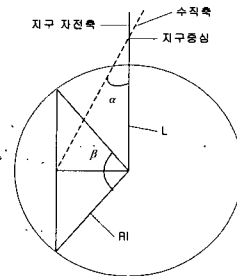
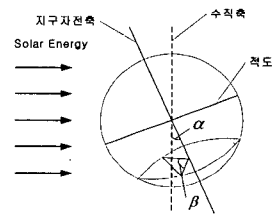


그림 5. 태양 복사

태양을 향해 23.5도 기울어진 지구를 [그림 5]와 같이 정의 했을 때, 태양 복사 에너지 값을 계산할 해당 위도의 지점에서 하나의 원을 그릴 수 있다. [그림 5]는 이 원을 따로 그려준 것이다. 이 원과 지구 중심축이 만나는 점을 기준으로 지구의 중심으로 선분을 그리고 그 선분과 수직하는 방향으로 두 개의 직선을 그리면 하나의 이등변 삼각형을 그릴 수 있다. 그것이 아래의 삼각형이다. 이 삼각형에서 변은 위도에 따른 지구 반지름을 나타내고 각 b는 해당 위도에서 태양 복사 에너지를 공급 받는 영역, 즉 낮을 나타낸다. 또한 지구중심과 해당 위도의 원의 중심, 원의 중심에서 이등변 삼각형으로 내린 선분과 만나는 점으로 위쪽 삼각형을 구성할 수 있다. 여기에서 L은 해당 위도의 중심과 지구 중심 사이의 거리이고 각 a는 지구의 기울어진 정도, 즉 적위이다. 위의 삼각형에서 다음의 값들을 구할 수 있다.

a : 지구의 기울어진 축의 각도 (-23.5 ≤ a ≤ 23.5)
 θ_l : 위도

위도에 따른 지구 반지름 :

$$r = 6000 \cdot \cos \theta_l \quad (1)$$

위도에 따른 원의 중심과 지구의 중심 사이의 거리 :

$$l = 6000 \cdot \sin \theta_l \quad (2)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{\tan a \cdot 6000 \cdot \sin \theta_l}{6000 \cdot \cos \theta_l} \right) \quad (3)$$

일조 시간 :

$$\text{daylight} = 24 \cdot \frac{360 - 2\beta}{360} \quad (4)$$

태양에서 지구까지 도달하는 태양 복사 에너지를 E₀라고 하면,

태양 복사 에너지 :

$$E = E_0 \cos(\theta_l - a) \sin \frac{\text{time}}{\text{daylight} \times 2} \cdot 2\pi \quad (5)$$

(if sin < 0 then E = 0,

if hour > light-hour then E = 0)

[결과]

entities : Object

states : + Object.temperature ∝ specific heat

2. 가열 이벤트

태양 복사 에너지가 지표나 바다에 도달하면 지표와 바다는 그 비열에 따라서 온도가 상승한다. 밤에 되어 태양 복사 에너지의 공급이 끊어졌을 경우 비열에 의해서 온도가 감소한다. 육지는 바다보다 비열이 작으므로 쉽게 온다가 올라가고 떨어지게 된다. 이는 해풍, 육풍이 부는 원인이 된다. 가열의 구조는 다음과 같다.

[전제 조건]

entities : existence of solar radiation energy
 existence of object

[절차]

object.temperature ∝ solar radiation energy

object.temperature ∝ 1 / specific heat

태양 복사에 의한 지표면에서의 에너지의 변화율을 때라고 가정하자. 지표면에 태양 복사 에너지가 도달하면 지표면은 에너지를 흡수하게 되고 이 외에 공기 중으로 방출되는 에너지도 존재하게 된다. 공기 중에 방출되는 에너지는 지표면과 공기의 온도 차이에 비례하여 온도차가 클수록 더 많은 에너지를 방출하게 된다. 따라서 지표면에서의 에너지 변화율을 다음과 같이 정의 할 수 있다[13].

$$E_p = E - k_a (T_p - T_a) \quad (\text{단, } T_p \geq T_a) \quad (6)$$

$$T_p = \int_t^{t+\Delta T} \frac{E_p}{k_p} dt + T_{p0} \quad (7)$$

E : 태양 복사 에너지

E_p : 지표면의 온도, T_a : 공기의 온도

k_p : 지표면의 비열, k_a : 공기의 비열

지표면 이외에 바다에서도 위의 수식이 동일하게 적용 된다.

[결과]

entities : +temperature

3. 전도 이벤트

전도는 두 객체가 접촉되어 있을 때 온도가 높은 물체의 분자가 큰 운동 에너지를 갖고 빠른 속도로 운동하여 온도가 낮은 물체의 분자에 충돌하면서 고온 물체의 에너지가 저온 물체로 이동하는 현상이다. 예를 들면 육지와 바다가 인접해 있는 부분, 초원과 사막이 인접해 있는 부분에서 전도가 발생한다. 기존의 환경 모델링에서는 인접부분에서 발생하는 전도 현상을 고려하지 않고 서로 다른 두 객체 자체의 온도 변화만을 다루어 왔다. 전도가 발생하는 이 인접부분은 일시적인 상태가 발생하는 지점이 된다. 전도 이벤트의 구조는 다음과 같다.

[전제 조건]

entities : existence of two or more objects
states : existence of temperature difference between tow objects

[절차]

두 객체 사이의 전도는 다음의 수식으로 표현할 수 있다.

$$H(t+\Delta t) = H(t) + I\Delta t \quad (8)$$

H(t) : 시간 t에서의 열에너지

I : 열 흐름(Thermal Current)

Δt : 단위시간(또는 delay time)

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad R = \frac{\Delta x}{kA} \quad \Delta T = \frac{\Delta x}{kA} I \quad \Delta T = RI \quad (9)$$

ΔQ : 열에너지의 변화량 k : 열전도도 A : 단면적
 ΔT : 온도차 R : 열저항 Δx : 객체사이의 거리

$$I = \frac{\Delta T}{R} \quad R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots \quad (10)$$

Req : 평균 열 저항

단위시간 동안의 열에너지 변화량 :

$$I\Delta t = \sum \frac{\Delta T}{R_{eq}} \Delta t \quad (11)$$

[결과]

entities : -temperature(hotter temperature),
-temperature(colder temperature)

4. 바람 이벤트

기압의 차이로 기압이 높은 곳에서 낮은 곳으로 흘러 가는 공기의 흐름을 바람이라 한다. 그런데 지표부근의 바람은 기압경도력, 전향력, 마찰력, 원심력이 동시에 작용하므로 공기의 운동은 매우 복잡한 양상을 띠게 된다. 본 논문에서는 다른 힘들은 배제하고 기압경도력에 의한 바람의 생성만을 다루기로 한다. 기압경도력은 두 지역 간의 기압 차이에 의해 생기는 힘으로써 그 크기는 두 점 사이의 기압차에 비례하고 거리에 반비례한다. 기압의 차이는 기온의 차이에 의해서 발생한다.

[전제 조건]

entities : existence of difference of atmospheric pressure

[절차]

바람의 세기는 다음의 수식에 따르고 바람의 방향은 기압의 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 분다.

$$T \times P^k = 2058.48 \quad \Delta P = \left(\frac{2058.48}{\Delta T} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (12)$$

$$\Delta V = \frac{\Delta P}{F_p \cdot \Delta n} \quad F_p = \frac{1}{2\omega\rho \sin\Phi} \quad (13)$$

T : 온도(화씨) P : 기압 k : 0.2857

ΔV : 풍속 ΔP : 기압차

ω : 지구 자전 각속도 ρ : 대기의 밀도 Φ : 위도

[결과]

entities : wind from area of higher atmospheric pressure to area of lower atmospheric pressure

5. 증발 이벤트

증발은 액체 또는 고체 상태의 물이 기체상태의 물로 변화하는 과정이다. 지표면에서 발생하는 증발은 지표면의 물의 양을 줄이고 대기의 수증기 양을 증가시킨다. 증발에 영향을 주는 요소로는 태양복사, 지구복사, 대기와 지표면의 온도, 지표면에서의 풍속, 지표면에서의 공기의 상대습도 등이 있다. 본 논문에서는 이들 요소 중 대기와 지표면에서의 온도, 지표면에서의 공기의 상대습도를 고려하여 증발 이벤트를 정의한다. 또한 증발 과정에서 발생하여 지표면의 열에너지를 감소시키는 기화

열을 계산한다.

[전제 조건]

entities : existence of water on the plain
 humidity of air above plain < 100%

[절차]

증발 이벤트는 다음의 수식들로 정의할 수 있다. 여기에서 상대습도는 일반적으로 우리가 사용하는 습도를 포화수증기량은 포화상태의 공기 속에 들어있는 수증기량을 나타낸다. 식에서와 같이 포화수증기량은 공기의 온도에 비례하고 상대습도는 공기의 온도 T_a 의 영향을 받아 온도가 높아지면 상대습도가 낮아지고, 온도가 낮아지면 상대 습도가 높아지는 성질을 갖는다.

$$H(T_a) = \frac{VC}{VC_s(T_a)} \quad (14)$$

H(T_a):상대습도, VC:수증기량
 VC_s(T_a):포화수증기량

이제 증발량을 계산해보자. 증발량은 물의 온도와 대기에서 필요로 하는 수증기량의 비율에 따라서 결정된다. 물의 온도가 높을수록 증발량은 증가하고 증발은 상대습도가 100%를 넘지 않는 한도에서 이루어진다. 물의 온도에 의한 요소는 다음과 같이 계산한다.

$$\tau(T_w) = \frac{T_w - T_L}{T_H - T_L} \quad (T_L \leq T_w \leq T_H) \quad (15)$$

$$\tau(T_w) = 1 \quad (T_w > T_H), \tau(T_w) = 0 \quad (T_w < T_L) \quad (16)$$

τ : 온도factor, T_w : 시간에 대한물의온도
 T_H : 최고 물의온도, T_L : 최저 물의온도
 상대 습도가 1이 되기 위해 필요한 수증기량의 비율을 계산해 보면,

$$y = 1 - H(T_a) \quad (17)$$

y :공기에서 필요로 하는 수증기량의 비율
 위의 식에서 이용하는 현재의 증발량을 계산할 수 있다.

$$EC = \tau(T_w) y WC_c \quad (18)$$

EC : 물의 증발량, WC_c : 단위부피당 현재물의 양
 증발 과정에서 발생하는 증발 에너지는 다음과 같이 나타난다.

$$EH = kEC \quad (19)$$

EH:증발에너지, k:단위질량당 기화열
 위 식을 가열 이벤트의 지표면에서의 에너지 변화율 식에 대입하면 증발로 인한 물의 에너지 감소와 공기의 에너지 증가를 계산 할 수 있다.

[결과]

entities : -water.temperature, +air.temperature
 variations of humidity
 variations of the evaporative capacity

6. 구름 이벤트

구름은 대기가 상승하다가 이슬점 이하에 이르렀을 때 대기 중의 수증기가 응결되어 형성된다.

[전제 조건]

state : ascent of air
 temperature of air \leq dew point

[절차]

지표면에서 상승하는 불포화 공기는 단열 팽창하여 1°C/100m(건조 단열 감율)씩 온도가 감소하고 이때 이슬점은 0.2°C/100m 씩 감소한다. 대기가 상상하는 도중에 수증기가 응결하여 처음으로 구름이 생기기 시작하는 높이를 상승 응결 고도라 하며 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$h = 125(T - T_d) \quad (20)$$

상승 응결고도를 지나면서부터 구름이 생성되고 이때 포화된 공기의 온도는 0.5°C/100m씩 감소한다.

[결과]

entities : generation of cloud

7. 비 이벤트

비는 구름 속에 존재하는 물 입자가 0.5mm 이상이 되었을 때 지구 중력에 의해서 지표면으로 떨어지게 되는 현상이다. 본 논문에서는 대기 중의 수증기량을 계산하여 수증기량이 100%가 되었을 때 비 이벤트가 발생하게 된다.

[전제 조건]

entities : existence of cloud
Saturation vapor > 100%

[절차]

state : downfall of water

[결과]

entities : +amount of water on plain
-Saturation vapor
disappear of cloud

8. 이벤트들 사이의 인과관계

지금까지 정의한 이벤트들의 상호작용은 [그림 6]으로 나타낼 수 있다. 태양 복사 이벤트는 모든 자연 현상의 근원이 되는 이벤트로 전제 조건이 존재하지 않는다. 태양 복사에 의해 발생한 태양에너지가 지표면에 도달하면 가열을 발생시킨다. 지표면의 비열에 따라서 발생하는 온도 차이는 전도와 증발을 발생시키고 온도 차이에 의한 기압의 차이는 바람을 생성시킨다. 또한 증발에서 증발된 공기가 상승하면 구름의 전제조건이 되고 응결된 입자가 커지면 비가 발생한다. 비에서 발생한 비는 지표의 온도를 낮추므로 가열에 영향을 주고 지표에 떨어진 물은 증발에 필요한 요소가 된다.

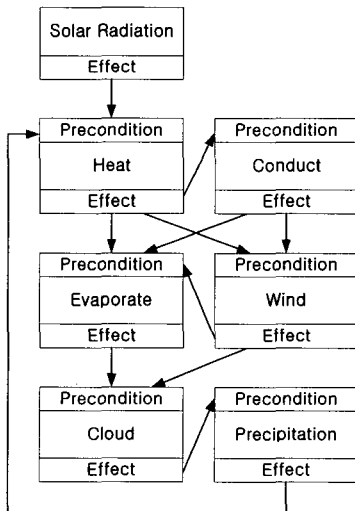


그림 6. 이벤트들 사이의 인과 관계 그래프

9. 분할된 등고선의 적용

4.2에서 제시한 타원의 분할을 적용하기 위해서 하나의 상황을 가정한다. [그림 7]과 같이 태양이 아침부터 저녁까지 산을 넘어가는 동안의 산의 각 위치에서의 환경 변수 값들을 정의 할 경우 태양이 A에 위치한 경우와 B에 위치한 경우 양쪽 면은 서로 다른 환경 변수 값을 가진다. 하지만 기존의 등고선은 수평 성분의 환경 변수 값의 변화만 표현할 수 있을 뿐 그림과 같은 수직 성분의 변화는 표현하지 못한다. 태양 복사 에너지는 수직 성분뿐 아니라 수평 성분의 값들까지 모두 고려되어야 하므로 등고선의 분할을 이용하여 이를 나타낼 수 있다. 구체적인 수식은 다음과 같이 표현한다.

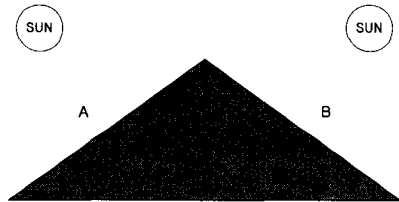


그림 7. 태양과 산의 상호작용

[수직 성분의 표현]

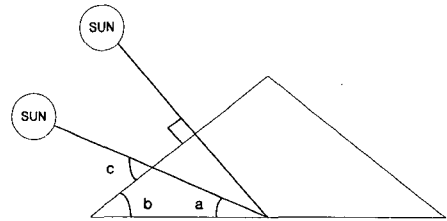


그림 8. 태양 복사 에너지의 수직성분

[그림 8]에서 각 a는 태양과 지표면 사이의 각도, 각 b는 산과 지표가 이루는 각도, 각 c는 태양과 산이 이루는 각도를 나타낸다. 태양 복사 에너지의 양이 E_0 라고 할 때 $c=a+b$ 가 되고 이점에서의 태양 복사 에너지는

$$E_h = E_0 \times \sin(a + b) \quad (21)$$

가 된다. 이 경우 산과 태양의 각도가 수직이 될 때 입사하는 태양 복사 에너지의 양은 최대가 된다.

[수평성분의 표현]

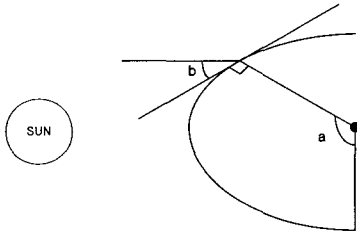


그림 9. 태양 복사 에너지의 수평성분

[그림 9]는 좌측에서 태양이 존재하는 경우 타원의 좌측에서 받는 태양 복사에너지를 나타낸 것이다. 각 a는 타원 상에서의 위치를 표시해주는 각도 이고 각 b는 그 점에서의 접선과 태양 복사 에너지 사이의 각도를 나타낸다. $b=180-a$ 로 나타낼 수 있으므로 전체 태양 복사 에너지를 E_0 라고 할 때 이 점에서의 태양복사 에너지는

$$E_v = E_0 \times \sin(180 - a) \quad (22)$$

가 되고, 타원의 왼쪽 끝점에서 최대 값을 가진다. 따라서 한 점에 도달하는 태양 복사 에너지 E는

$$E = \frac{1}{2} (E_h + E_v) \quad (23)$$

가 된다.

V. 구현 및 실험 결과

앞에서 제시한 이벤트의 흐름을 바탕으로 실제적인 가상 환경을 구현할 수 있다. 본 논문에서의 시뮬레이션 시스템은 Visual C++6.0을 이용하여 구현하였다. 기본적인 가상환경은 [그림 10]과 같다.

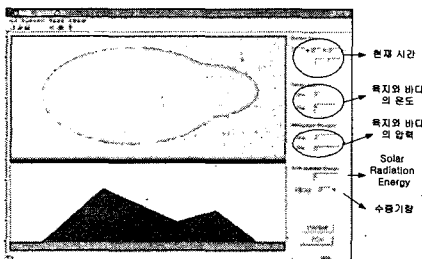


그림 10. 시뮬레이션 화면

[그림 10]에 제시된 환경은 위도 35°, 경도 45°에 위치한 점을 표현하였다. 그림에서의 위쪽 화면은 등고선을 이용하여 높이가 있는 지형을 표시 한 것이다. 등고선 부분은 육지를 나타내고 주변의 나머지 부분은 바다를 나타낸다. 아래쪽 화면 등고선을 옆에서 본 측면도를 표시하고 있다. 역시 육지를 제외한 나머지 부분은 바다를 표현한다. 화면의 오른쪽은 실시간으로 변화하는 환경 속성 값들을 보여준다.

시뮬레이션이 시작되는 출발점은 2005년 4월 1일 06시로 설정하였다. 시뮬레이션이 시작되면 현재 시간에서의 태양 복사 에너지가 계산되고 육지와 바다의 비열에 따라 가열 이벤트에 의해 각각의 온도가 상승하는 것을 오른쪽 창에서의 환경 속성 값들의 변화를 통해 확인할 수 있다. 또한 온도 변화에 따라 기압이 계산되고 증발 이벤트에 의해서 대기 중의 수증기량이 계산된다. 대기 중의 수증기량이 일정 이상이 되면 구름 이벤트를 발생시킨다. 구름 이벤트의 발생은 [그림 12]에서 확인할 수 있다.

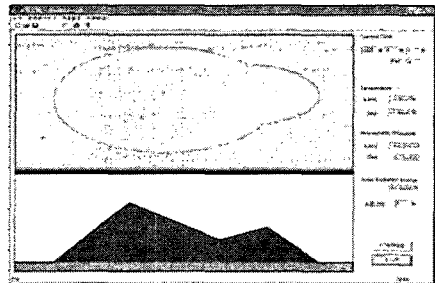


그림 11. 환경 속성 값들의 변화

생성된 구름은 시간이 지남에 따라 점점 더 많은 수증기를 포함하게 되고 포함하는 수증기량이 많아질수록 점점 더 진한 먹구름이 된다. 수증기량이 100%가 되면 비 이벤트가 발생하여 비가 내리게 되고 구름이 포함하는 수증기량은 감소하게 된다. 구름이 포함하는 수증기량이 '0'이 되면 구름은 사라지고 다시 대기의 수증기량이 증가하는 것을 볼 수 있다.

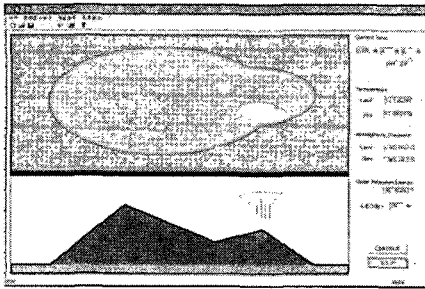


그림 12. 구름의 생성

육지와 바다사이의 기압차는 바람을 발생시킨다. 이 는 주간에는 바다에서 육지로 해풍이 불고 야간에는 육 지에서 바다로 육풍이 부는 해륙풍의 원인이 된다. [그 립 13]의 위쪽 화면에서 해륙풍의 방향과 세기를 볼 수 있다. 지금 시간은 낮 시간으로서 바다에서 육지 방향으 로 해풍이 불고 있음을 확인 할 수 있다. 그림의 아래쪽 화면에 나타나는 구름은 바람의 방향과 세기에 따라서 움직이게 된다.

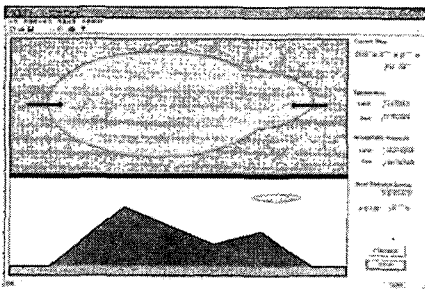


그림 13. 바람의 표현

환경 등고선을 이용하여 육지와 바다 사이의 온도 변 화를 표현 할 수 있다. [그림 14]는 밤 시간의 육지와 바 다의 온도 분포를 환경 등고선을 이용하여 나타낸 것이 다. 밤에는 바다의 온도가 육지의 온도보다 높으므로 바다 부분이 육지보다 진한 색으로 표현됨을 확인 할 수 있다. 그리고 낮이 되면 육지의 온도가 바다의 온도 보다 높아지는 것을 확인할 수 있다. 또한 육지에서는 고도가 높아질수록 기온이 낮아지므로 지형 등고선과 비슷한 형태로 온도가 점진적으로 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

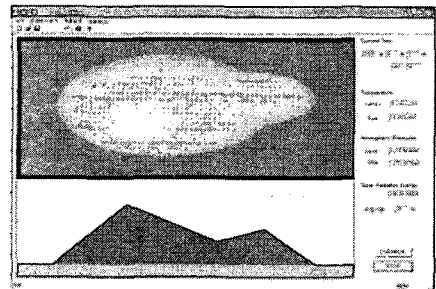


그림 14. 온도 등고선

등고선상의 하나의 타원에서 태양 복사 에너지의 수 직, 수평 방향 성분에 의한 온도 분포 값을 [그림 15]에 서 볼 수 있다. 그림은 태양이 산의 좌측에 위치하고 있 을 때의 온도 분포를 나타낸 것이다. 타원 그림은 온도 값을 알고자 하는 타원을 나타내고 그 위의 숫자들은 타 원 위 16 방향 각각의 온도 값을 나타낸다. 이 결과에 의 해 타원에서 좌측의 온도 값이 우측의 온도 값 보다 큼 을 확인 할 수 있고 태양 복사 에너지의 수평 성분으로 인해 좌우 끝의 온도 값이 다른 부분보다 높음을 알 수 있다.

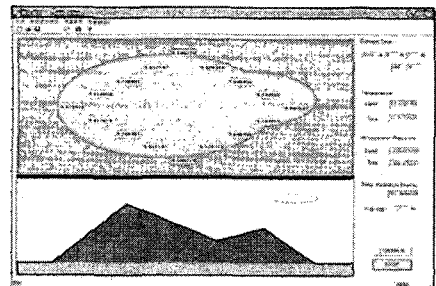


그림 15. 타원에서의 온도 분포

VI. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 가상 환경을 모델링하기 위하여 가상 환경을 구성하는 요소들을 정의하였다. 특히, 가상 환경 에서 발생하는 이벤트들의 논리적인 상호작용을 표현하 기 위하여 각각의 이벤트들을 전제조건, 절차, 결과로 나누어 정의하고, 각 이벤트 사이의 인과 관계를 나타내

었다. 또한 등고선을 이용하여 지형을 구성하고 각 이벤트에서 에서 발생하는 환경 속성들의 변화 또한 등고선으로 구성하였다.

등고선을 이용한 환경 속성 표현은 기존의 격자 형태의 공간 분할 방법에 비해 여러 장점을 가진다. 격자 형태의 공간 분할은 원형의 객체의 경계 영역을 검출해 내기가 어려워 해상도를 높이는 방법을 사용하지만 이는 또 다른 문제들을 발생시킨다. 등고선은 등고선으로 구성된 지형에서 환경 속성의 변화 값을 표현하기에 용이하고 한 점에서 원형으로 변화하는 환경 속성의 표현에도 장점이 있다. 그러나 등고선은 수직으로 변화하는 값들의 표현에는 용이하지만 수평으로 변화하는 값들의 표현에는 한계가 있으므로 등고선을 구성하는 타원들을 분할함으로써 수평성분의 표현을 가능하게 하였다.

앞으로의 연구에서는 본 논문에서 표현된 이벤트들 이외에 좀 더 다양한 이벤트들이 정의 되어 상호 작용할 수 있는 시스템이 구현 되어야 한다. 또한 능동적으로 활동하는 에이전트에 대한 연구가 더해져서 가상 환경 내에 에이전트가 존재하고 에이전트와 환경이 서로 영향을 주고받는 가상환경 모델링이 필요하다.

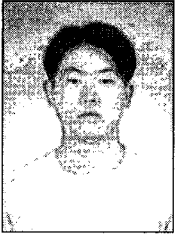
참고 문헌

- [1] P. Audenino, L. Rognant, J. M. Chassery, and J. G. Planes, "Fusion strategies for high resolution urban DEM," IEEE/ISPRS Joint Workshop, Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Vol.2, No.1, pp.90-94, 2001.
- [2] <http://blog.naver.com/vkffudfl/100023221717>
- [3] http://kin.naver.com/db/detail.php?dclid=11&dir_id=110203&eid=TNNWMCBhYwvQU6CtBc6wffXAEIBBJvTE
- [4] G. Snook, *Real-Time 3D Terrain Engines using C++ and DirectX 9*, CHARLES RIVER MEDIA. INC, 2002.
- [5] M. Deloura et.al, *Game Programming Gems*, CHARLES RIVER MEDIA. INC, 2001.
- [6] T. Nishita, "Modeling and rendering of various natural phenomena consisting of particles," *Computer Graphics International* 2001. Proceedings, Vol.1, No.19, p.149, 2001.
- [7] M. Bruse and H. Fleer, "Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model," *Environmental Modelling and Software*, Vol.13, No.1, pp.373-384, 1998.
- [8] D. A. Randall, T. D. Ringler, R. P. Heikes, P. Jones, and J. Baumgardner, "Climate modeling with spherical geodesic grids," *Computing in Science & Engineering*, Vol.4, No.5, pp.32-41, 2002.
- [9] 박종희, 김노순, "가상세계 구축을 위한 환경모델링", 정보과학회 추계학술대회, 제27권, 제2호, pp.266-268, 2000.
- [10] 우영욱, *스크립트를 이용한 가상 세계에서의 자연 현상처리방법의 개발*, 경북대학교 석사학위논문, 2001.
- [11] F. Neyret, "Modeling, animating, and rendering complex scenes using volumetric textures," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.4, No.1, pp.55-70, 1998.
- [12] J. Park, *Modeling physical entities and their associated relationships in the cyber world*, Kyungpook National Univ., AIMM Lab., 2002.
- [13] J. Cho, *Simulation of solar radiation and wind events in the virtual environments*, Masters Thesis, Kyungpook Nat'l Univ, 2003.
- [14] J. Park, *A logical simulation of spatio-temporal situations*, Tech. report #2, AIMM lab., Kyungpook Nat'l Univ, 2000.
- [15] J. Park, *Modelling the natural event in spatio-temporal context*, Kyungpook National Univ., AIMM Lab, 2004.
- [16] 김태환, *가상 환경 구축을 위한 Primitive Components 개발*, 경북대학교 석사학위논문, 2004.

저자 소개

오 규 열(Kyu-Yol Oh)

준회원



- 2003년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
 - 2005년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- <관심분야> : 인공지능, 가상현실

박 종 희(Jong-Hee Park)

정회원



- 1979년 : 서울대학교(공학사)
 - 1981년 : 한국과학원(공학석사)
 - 1990년 : Univ. of Florida(공학박사)
 - 현재 : 경북대학교 전자공학과 교수
- <관심분야> : 멀티미디어 응용, Computer Aided Education, CAD/CAM, 지능형 정보 시스템, 분산 데이터 처리 시스템