

젊음 에너지를 이용한 가상세계에서의 다양한 식물의 성장 모델링

권 정 우[†] · 박 종 희^{††}

요 약

식물을 모델링 한 기존의 시스템들은 시각적인 사실성에 초점을 맞추어 연구되어졌다. 그러나 환경적인 요소를 고려하지 않은 식물 모델링은 가상세계에서의 식물에 대한 논리적 사실성을 감소시켜 사용자들의 몰입감을 떨어뜨린다. 본 논문에서는 환경과 상호작용하는 식물 성장에 초점을 맞추어 다양한 환경에서 식물의 성장을 시뮬레이션 하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 온톨로지에 기반한 식물 객체의 구조를 살펴보고 젊음 에너지를 이용한 식물의 성장률을 계산하는 방법을 제시한다.

Modeling of Plant Growth based on Juvenile Energy in Virtual Environment

Jeong-Woo Kwon[†] · Jong-Hee Park^{††}

ABSTRACT

Most of the plant models based on L-system or particle systems have focused on visual shape of plant. However, the interaction between the plant and its environment in virtual environment will make the plant more natural in diverse situations so that users will be immersed in system. To this end we structure the plant object organized in an ontology, introduce calculating method of plant growth rate based on juvenile energy.

키워드 : 식물성장(Plant Growth), 젊음 에너지(Juvenile Energy), 가상 환경(Virtual Environment)

1. 서 론

현실 세계에는 많은 객체들이 존재한다. 그 중 식물은 어디에서나 쉽게 볼 수 있는 객체로서, 자연 환경을 구성하는 생명이 있는 가장 기본적인 객체 중 하나이다. 그러므로 실세계를 모델로 하는 가상 세계에서도 식물은 없어서는 안 될 필수적인 객체로서 모델링되어야 한다.

지금까지 가상현실에 대한 연구는 사용자에게 실제 모습과 비슷하게 보여주는 것에 많이 치중했었다. 하지만 가상세계가 더 현실적이고 실세계와 비슷하기 위해서는 가상세계에 존재하는 모든 객체들이 주어진 자극에 대해 주어진 반응을 하는 수동적인 객체가 아닌 내부적 및 외부적 자극에 대해 능동적으로 반응하는 객체가 되어야 한다. 즉, 규칙(rule)기반의 인과관계에 따라서 각 객체들이 주어진 자

극에 대해 반응해야 하며 실세계와 비슷하게 다양한 현상이 발생할 수 있어야 한다. 가상세계에 존재하는 식물 또한 마찬가지이다. 가상세계에 존재하는 식물은 가상세계를 이루는 기본적인 객체로서 가상세계가 좀 더 실세계와 비슷하게 보이려면 식물의 모습이 실세계와 비슷해야 할 뿐만 아니라 식물의 성장 또한 실세계와 같이 다양하게 일어나야 한다.

기존의 식물 모델링은 컴퓨터 그래픽스 분야에서 많이 다루어져왔다. 1968년 Lindenmayer는 식물의 구조를 표현하는데 일반적으로 적용되는 framework으로 L-system을 소개했다[1, 2]. L-system은 문자열 재적용 메커니즘으로서 식물의 가지와 같이 복잡한 형태의 구조를 표현하기에 적합하다[3]. 이로 인해 L-system을 이용한 많은 식물 모델들이 등장했다. L-system외에도 particle을 기반으로 하는 식물의 모델들도 개발되었다. Particle을 기반으로 하는 모델들은 식물의 조직을 particle로 나누어서 각 particle이 햇빛의 방향이나 장애물 등을 감지하여 성장의 방향을 결정하는 system이다[1].

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2003-00011941-0) 지원으로 수행되었음.

† 정 회 원 : 경북대학교 대학원 전자공학과

†† 정 회 원 : 경북대학교 전자공학과 교수

논문접수 : 2004년 8월 28일, 심사완료 : 2005년 1월 12일

하지만 이러한 모델들은 실세계와 같은 식물의 다양한 환경에서의 다양한 성장을 표현하는데 한계가 있다. L-system은 단순히 반복적으로 식물의 형태를 표현하였기 때문에 몇 가지의 정해진 형태의 식물밖에 표현 할 수 없고 식물과 환경사이의 상호작용 메커니즘이 없기 때문에 환경의 영향을 받아 성장하는 식물의 다양성을 표현하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 들어 식물이 환경과 상호작용할 수 있는 Open L-system과 같은 여러 모델들이 나오고 있다. 하지만 Open L-system 또한 식물의 모습을 표현하는데 있어 햇빛의 방향이나 중력의 방향 등 한정된 형태의 상호작용만 할 수 있는 문제를 가지고 있다 [4].

Particle system을 기반으로 하는 식물의 모델들은 L-system을 기반으로 하는 식물의 모델들보다 비교적 쉽게 식물이 환경과 상호작용 하면서 자라는 다양한 성장을 표현할 수 있다는 장점은 있지만 바람이 세게 불어 식물의 가지가 부러진대거나 식물에 불이 붙어 재가 된다거나 하는 정성적 변화들(qualitative changes)은 표현하기 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 가상환경에서 식물 성장이 실세계에서의 식물의 성장과 같이 다양하게 표현 될 수 있는 식물의 모델을 제안하고자 한다. 즉 가상세계에서 식물이 환경적인 요소들과 태어나면서 가지는 특성들로 인해서 햇빛을 잘 받지 못하여 성장이 제대로 이루어지지 않은 경우라든지 반대로 식물의 성장이 너무 빠르게 일어난다든지 하는 식물 성장의 다양성을 목표로 한다. 식물을 모델링 하는데 있어 L-system처럼 식물의 모양이나 형태 보다는 식물의 성장에 초점을 맞추으로써 가상세계의 식물이 단지 수동적인 배경으로서 역할에 그치지 않고 주어진 자극에 적절히 반응하는 능동객체로서 역할을 하게 한다. 이렇게 함으로 가상세계는 좀 더 실세계와 비슷하여지고 사용자들도 가상세계에 대해 좀 더 많은 신뢰성을 가질 수 있고 가상세계에 몰입할 수 있을 것이다. 이를 위해 먼저 식물의 종류, 생명주기 등 식물이 태어나면서 가지는 특성들을 설계하고 햇빛, 물 등 가상환경으로부터 받게 되는 환경적인 요소들을 함수로 표현한다. 이렇게 하기 위해 본 논문에서는 젊음 에너지[5]를 이용한 식물의 생명주기를 표현하고 환경적인 영향으로 인한 식물의 성장률을 계산한다. 각각의 식물은 자신의 내부적 유전정보와 환경적인 요소로 인해 자신만의 성장률을 가지게 되며, 젊음 에너지에 따라 성장하게 된다 [5].

본 논문은 다음과 같이 구성되어진다. 2장에서는 식물을 모델링한 L-system 및 particle system 등 기존의 연구를 살펴본다. 3장에서는 식물의 클래스 계층구조를 통해 식물을 구성하는 특성들에 대해서 설계한다. 4장에서는 젊음 에너지를 이용한 식물의 생명주기를 살펴보고 환경적인 요소를 받아들이는 식물의 성장률을 계산한다. 마지막으로 5장에서는 설계된 성장모델을 구체적인 예제를 통해 구현한다. 그리고 추후 더 연구할 과제에 대해 살펴보기로 한다.

2. 관련 연구

2.1 L-systems

식물을 modeling하는데 있어서 가장 대표적인 방법이 L-system이다. L-system은 1968년 Lindenmayer에 의해서 소개되었으며 후에 Prusinkiewicz에 의해서 확장되었다[3]. L-system은 일종의 프랙탈로서 특별히 식물의 성장과정을 모델링하기 위해서 개발한 수학적인 모델로 기본적으로 병렬적인 문자열의 재적용 메커니즘이다[4]. 이런 L-system은 식물의 구조를 쉽게 표현할 수 있는 장점이 있어서 널리 사용되고 있는 system이다. 초기에는 환경적인 요소와의 상호작용 없이 초기 문자열로부터 생성 규칙의 반복적인 적용에 의해 식물을 모델링 하였다. 그래서 식물의 모습은 실제와 비슷하게 표현할 수 있지만 항상 똑같은 모양으로만 식물의 모습이 표현되었고 환경적인 요소를 고려하지 못하였기 때문에 실제 식물이 자란 모습과는 차이가 있었다. 그래서 최근에는 식물의 모습을 좀더 실제적으로 표현하기 위해서 햇빛과 중력 등 환경적인 요소와의 상호작용을 통해 식물의 굴성을 고려한 모습을 표현하는 Open L-system들이 등장하고 있다[1, 6]. 예를 들어, Radomir와 Przemyslaw는 L-system을 사용해서 식물의 모습에 환경적인 요소를 고려해 주기 위해, 식물과 환경을 각각 독립적인 process로 구분하여 환경적인 변화가 식물에게 영향을 주고 식물의 변화가 또다시 환경에 영향을 주는 형태로 모델링 하였다 [3]. 하지만 L-system은 너무 복잡해서 작은 하나의 식물을 구현하기 위해서도 많은 수의 production rule이 필요하고 조그마한 error가 발생하더라도 detection 하기 어려운 단점이 있다[1]. 또한 환경과 상호작용을 할 수 있게 하는 Open L-system들도 식물의 성장을 표현하기보다 식물의 모습을 좀 더 실제적으로 표현하기 위해 굴성을 고려하고 있으므로 식물의 다양한 성장을 표현하기에는 한계가 있다.

2.2 Particle Systems

식물을 모델링하는데 있어서 또 다른 방법은 Particle system을 기반으로 하는 것이다[4]. Particle system은 식물의 조직에 해당되는 것들은 module이라는 기본적인 unit으로 구분하여 각 module들이 성장하도록 만든 system이다 [1]. 하지만 particle system도 L-system과 마찬가지로 처음에는 환경과의 상호작용은 배제되어 있었다. 그러다가 덩굴식물을 모델링하는 방식에 particle system이 사용되어지면서 각 particle들이 주위의 환경을 감지(sense)할 수 있고 그에 따라 식물의 성장 방향이 결정되어지는 등 식물의 성장에 있어서 환경과 식물의 상호작용이 더해졌다[7].

또 다른 particle system을 기반으로 하는 system은 AMAP가 있다. AMAP는 식물을 particle로 나누고 이 각각의 particle들이 자신만의 행동(behavior)을 가지고 있어서 땅으로부터 물을 빨아들일 수 있고 햇빛이 비추야 광합성을 할 수 있는 등 환경과 상호작용을 하면서 식물의 성장을 할 수 있다[7]. 하지만 이런 particle system도 환경과 식물의 상호

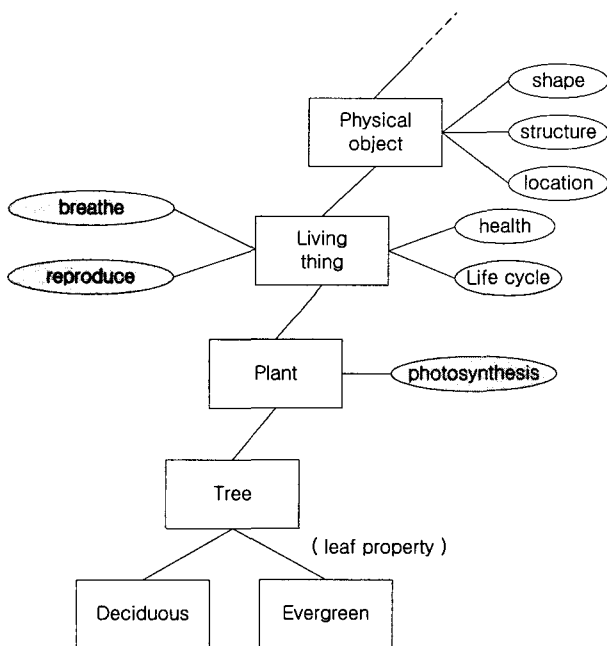
작용을 표현할 수 있다는 장점은 있지만 같은 종류의 식물에 대해서 다양한 성장을 보여줄 수 없고, 식물이 불에 타서 더 이상 식물로서 역할을 할 수 없는, 즉 단순한 물질(material)로 변하는 등의 정성적인 변화(qualitative change)에 대해서는 표현할 수 없다는 단점이 있다.

3. 식물의 구조

가상세계에 존재하는 식물은 하나의 물리적인 객체로서 자신만의 속성(attribute), 활동(action) 등을 가지며 가상세계에서 일어나는 많은 이벤트들로 인해 주위의 다른 객체들과 서로 상호작용을 하면서 다양하게 성장한다[8]. 본 논문에서는 이러한 식물 성장의 다형성을 표현해 주기 위해 객체의 속성과 활동들을 나타내어 주는 지식 베이스인 온톨로지(ontology)를 이용 할 것이다. 온톨로지를 이용하여 식물의 클래스 계층구조를 구성하고 식물의 기본적인 속성과 활동을 정의 하며 식물을 정성적 변화에 대해서도 표현할 수 있도록 한다.

3.1 식물의 계층구조

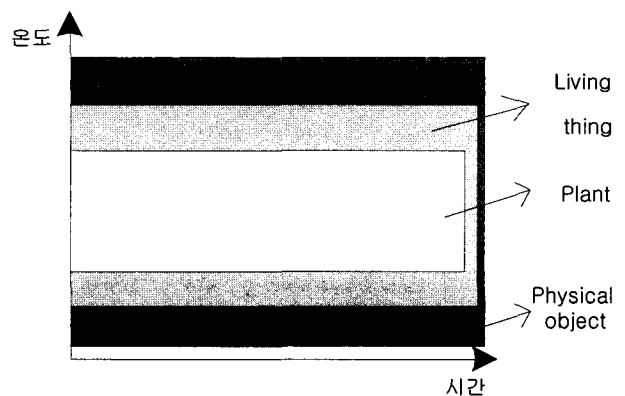
가상세계에 존재하는 식물은 기본적으로 물리적인 객체로서 모양, 색깔, 크기 등의 속성을 가지며, 생명이 있는 객체로서 호흡, 번식 등의 활동들과 씨앗에서 묘목, 묘목에서 나무로 성장하는 생명주기(life cycle)를 가진다. 그리고 식물은 다른 생명이 있는 객체들과 달리 식물이기 때문에 가지는 광합성, 열매 맺기 등의 활동들도 가진다[9, 10]. 아래의 (그림 1)은 식물이 가지는 이러한 특성들을 온톨로지를 기준으로 하여 만든 식물에 관련된 클래스 계층구조의 일부이다.



(그림 1) 식물에 관련된 클래스 계층구조 부분

(그림 1)과 같이 식물을 계층적으로 모델링하는 것은 가상세계에서 식물이 정성적인 변화를 했을 때 식물을 실제 상황과 비슷하게 표현할 수 있는 장점이 있다. 예를 들어 식물이 죽었을 경우, 식물은 자신의 형태나 색깔 등 자신이 가지고 있던 속성들은 그대로 가지고 있지만 더 이상 광합성(photosynthesis), 생식(reproduce), 호흡(breathe)같은 활동 등을 할 수 없게 된다. 그렇기 때문에 가상세계에서도 식물이 죽게 되면 온톨로지에서도 식물이 plant에서 물리적 객체로 degenerate되어 식물이 가지고 있던 활동들을 잃어버리게 해야 한다. 이렇게 식물을 클래스 계층구조를 이용하여 모델링하는 것은 가상세계에서 일어나는 많은 이벤트들에 대해서 식물의 정성적 변화를 보여줄 수 있다.

식물의 성장이 실제세계와 더욱 비슷하게 보이려면 식물이 가지는 속성(attribute)들이나 활동들은 어떤 특정한 범위안의 값에서만 의미를 갖도록 해야 한다. 즉, 식물이 가지고 있는 속성들이나 활동들이 특정한 범위가 넘어서게 되면 더 이상 그 활동을 할 수 없거나 의미가 없다는 것이다. 예를 들어, 온도의 경우 식물은 성장을 하기 위한 최소온도와 최대온도를 갖는다[11]. 그래서 본 논문에서는 식물이 받아들이는 각각의 환경적인 요소에 생명 범위(vital range)를 정의 한다. 생명 범위는 식물이 성장하기 위한 환경적인 요소의 범위이다. 즉, 가상세계의 식물은 광합성을 하거나 열매를 맺고 꽃을 피우기 위해서는 식물이 받아들이는 각각의 환경적인 요소가 생명 범위 안에 들어가야 한다. 이러한 환경요소의 생명 범위는 클래스에 따라 달라져야 한다. 즉 식물로서 받아들이는 환경적인 요소로서의 생명 범위와 living thing으로서의 생명 범위는 다르다. (그림 1)의 클래스 계층구조에서 상위 클래스는 하위 클래스보다 넓은 범위의 생명 범위를 갖는다.



(그림 2) 클래스에 따른 온도의 범위

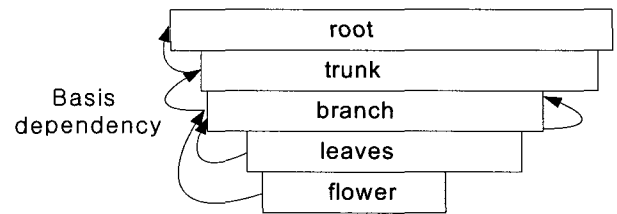
(그림 2)는 식물이 받아들이는 환경적인 요소 중 하나인 온도에 따른 각 객체에서의 생명 범위를 보인 것이다. 식물의 경우 광합성을 하기 위한 온도의 생명 범위가 있다. 만약에 온도가 이 생명 범위를 넘게 된다면 식물은 더 이상 광합성을 할 수 없게 되고 성장할 수 없다. 하지만 living thing으로서 호흡과 생식은 할 수 있다. 온도가 더 올라가

서 living thing으로서의 생명 범위를 넘게 된다면 식물은 더 이상 생명을 유지 하지 못하며 단순히 물리적 객체로서 존재한다. 이렇게 각 클래스 사이의 생명 범위를 둠으로써 가상세계에 존재하는 각각의 객체를 더욱 실세계와 비슷하게 모델링 할 수 있다.

3.2 식물의 연결성

식물은 뿌리, 줄기, 가지, 잎 등의 구성요소(element)들이 생물학적으로 연결된 복합 객체(composite object)이다. 즉, 식물은 뿌리와 줄기가 물리적으로 연결되어 있어야 하며 줄기와 가지, 가지와 그 가지에 붙어 있는 작은 가지들도 물리적인 연결을 가져야 한다. 또한 식물은 단순히 각각을 연결하는 물리적인 연결성뿐만 아니라 각각의 객체들이 가지고 있는 물, 영양분등 생명활동에 필요한 요소들을 자신과 물리적인 연결성이 있는 객체들에게 전달할 수 있는 생물학적인 연결도 가지고 있어야 한다. (그림 3)은 이런 식물을 구성하는 객체들에 대한 의존성(dependency)을 보여준다. 화살표의 꼬리부분은 연결성을 가지는 호스트 객체(host object)를 나타내고 화살표의 머리 부분은 거주 객체

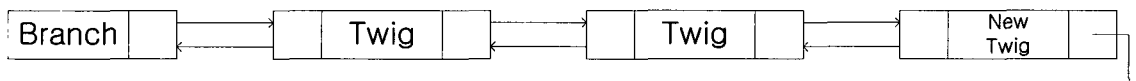
(inhabitant object)를 가리킨다.



(그림 3) 식물을 구성하는 요소들의 의존성

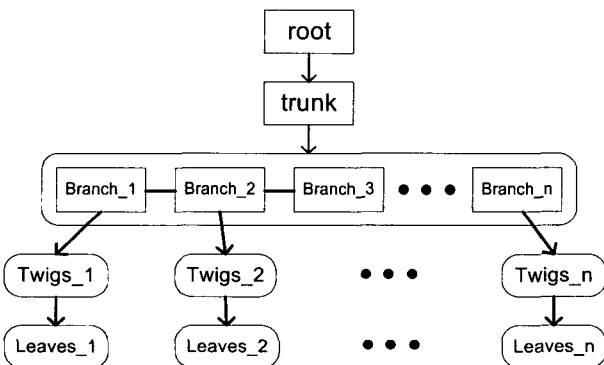
이러한 생물학적인 연결은 물리적인 연결에 의존한다. 즉, 식물을 구성하는 각각의 요소들은 물리적인 연결성이 없으면 생물학적인 연결성을 가질 수 없다는 것이다. 그러므로 물리적인 연결이 끊어진 객체는 더 이상 생명체로서의 역할을 하지 못하며, 앞에서 언급한 클래스 계층구조에서 물리적 객체로서의 특성만 가지게 된다.

이러한 식물의 연결성을 표현하기 위해 본 논문에서는 (그림 4)와 같이 식물을 구성하는 각 요소들이 서로에 대한 연결(link)를 가지고 있게 한다.



(그림 4) 가지들의 연결구조

즉 가지는 자신에게 붙어 있는 잔가지에 대한 연결을 가지고 있고 잔가지 또한 자신이 호스트 객체인 가지에 대한 연결과 자신에게 붙어 있는 잔가지에 대한 연결을 모두 가지고 있다. 이렇게 함으로써 가지가 가지고 있는 물이나 영양분을 잔가지에게 전달할 수 있고 잔가지가 가지고 있는 영양분을 가지나 다른 잔가지에게 전달 할 수 있게 된다. 이러한 식물의 연결구조는 (그림 5)와 같다.



(그림 5) 식물의 연결 구조

식물을 구성하는 각각의 요소들이 가지는 연결들은 정성적인 변화가 일어나거나 물리적인 연결성이 없어지게 되면 그 연결이 끊어진다. 예를 들어 바람이 아주 세게 불어서 바람의 세기가 가지와 잔가지 사이의 물리적인 연결성의

크기보다 더 세게 되어 가지와 잔가지 사이의 물리적인 연결성이 끊어져버리게 된다면 가지는 부러지게 되며 그들이 가지고 있는 연결도 끊어지게 된다. 또한, 한 가지에 붙어 있어서 그 가지가 더 이상 생명체로서 역할을 하지 못하고 단지 물리적인 객체로서의 역할밖에 하지 못한다면 즉, 가지의 정성적 변화가 일어날 때도 그 가지가 가지고 있는 연결은 끊어지게 된다. 이렇게 연결이 끊어진 구성요소는 다른 구성요소로부터 더 이상 물, 영양분등 생명활동에 필요한 요소들을 공급받지 못하기 때문에 생명체로서의 역할을 하지 못한다.

이렇게 각 식물의 연결성을 양방향 연결로 표현하는 것은 식물의 정성적인 변화 뿐 아니라 식물의 성장에 대해서도 식물이 외부 환경으로부터 받아들이는 물이나 햇빛 등을 자신과 연결되어 있는 다른 구성요소에게도 보내줄 수 있기 때문에 식물의 성장을 적절히 표현할 수 있다.

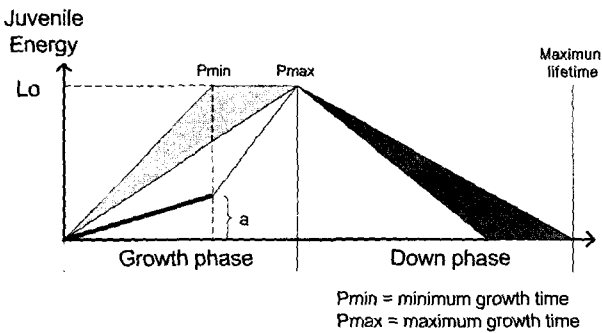
4. 성장 모델링

본 논문에서는 식물의 다양한 성장을 모델링하기 위해서 우선 식물이 태어나면서부터 자신의 생명주기를 시작하고 자신의 생명주기를 따라서 성장하도록 모델링한다. 그리고 식물은 성장하면서 다양한 환경의 변화에 영향을 받도록 설계한다. 예를 들어, 온도가 낮은 지역보다 높은 지역에서 식물의 성장이 잘 이루어지고 비가 적게 오는 지역보다 많

이 오는 지역에서 식물이 더 잘 성장한다. 본 논문에서는 이러한 환경의 영향을 받는 식물의 성장을 모델링하기 위해 젊음 에너지를 이용하여 식물의 생명주기를 나누고 식물의 성장률을 결정한다.

4.1 젊음 에너지

본 논문에서는 젊음 에너지를 식물을 성장 할 수 있는 하는 에너지라고 정의한다. 즉, 젊음 에너지가 있어야만 성장 할 수 있는 것이다. 그리고 본 논문에서는 이 젊음 에너지를 이용하기 위해 식물의 전체적인 디자인은 미리 DNA에 주어져 있다고 가정한다[5]. 예를 들어, 식물의 최대 생명 기간(maximum life span)은 미리 정해져 있고 환경이 이상적인 상태가 아니라면 환경의 영향으로 인해 줄어든다. 식물의 생명주기는 크게 성장단계와 쇠퇴 단계로 나누어진 다. 성장 단계는 최소 성장 시간과 최대 성장 시간 사이의 어느 점에서 끝나게 되며 성장 단계가 끝나면 바로 쇠퇴 단계로 들어가게 된다. (그림 6)은 젊음 에너지에 따른 식물의 생명주기를 나타낸 것이다.



(그림 6) 식물의 생명주기 모델링

(그림 6)에서 Pmin은 최소 성장 시간이고 Pmax는 최대 성장 시간이다. L0는 초기의 젊음 에너지 값이며, a는 Pmin 일 때의 최소 젊음 에너지 값이다. 즉, 그래프에 굵은 선은 젊음 에너지가 이 굵은 선 밑으로 떨어지면 더 이상 식물은 살 수 없음을 나타낸다.

아래의 식은 각 시간에 따른 젊음 에너지를 구하는 식이다.

$$L(t) = L(t - \Delta t) + (L_0 / P_{max} + p) \times \Delta t$$

여기서 p는 식물이 환경적인 요소에 의해서 영향을 받아서 생기는 젊음 에너지의 변화율이다. p는 환경적인 요소에 의해서 결정되며, 식물이 자라는 환경이 이상적인 경우는 p 값이 거의 '0'에 가까워지며 식물의 성장시간은 최대 성장 시간에 가까워진다. p의 값이 양일 때에는 식물은 이상적인 경우보다 성장속도가 빨라지지만, 성장시간은 이상적인 때 보다 줄어든다. 반대로 p의 값이 음일 때에는 식물이 햇빛이나 물 등을 나무의 성장에 필요한 환경적인 요소를 잘 받아들이지 못한 상태가 되므로 나무의 성장은 둔화되며

성장시간도 단축된다.

이렇게 환경적인 요소로 인해 젊음 에너지의 감소정도와 성장시간이 변화됨에 따라 식물의 성장 상태를 이상적인 상태뿐만 아니라 식물이 빨리 자라거나 잘 자라지 못하는 등 다양한 식물의 성장을 표현할 수 있다.

4.2 식물의 성장률

현실 세계와 마찬가지로 가상세계에서의 식물의 성장은 시간적인 요소에 영향을 받는다. 식물의 성장에 필요한 여러 가지 요소들 즉 수분, 햇빛은 순간적인 현재 값 뿐 아니라 과거의 값에도 영향을 받을 수 있다. 따라서 이러한 요소들을 정확하게 반영하기 위해서 본 논문에서는 일정한 시간동안 식물이 받아들인 양을 고려하도록 moving average를 사용한다.

환경적인 요소의 moving average를 구하는 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{\text{Environmental factor}(t_{curr})} = \int_{t_{curr} - \text{window size}}^{t_{curr}} f(t) \times \text{Environmental factor}(t) dt$$

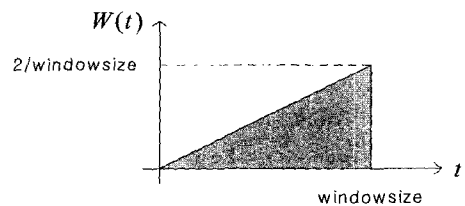
$\overline{\text{Environmental factor}(t_{curr})}$: 환경적인 요소의 moving average,

t_{curr} : 가상환경의 현재 시간

window size : moving average의 window size,

$w(t)$: environmental factor의 가중치를 나타내는 함수

$w(t)$ 는 환경적인 요소의 시간적 가중치를 나타낸 함수이다. 현재 시간에 받아들이는 환경적인 요소가 이전에 받아들인 환경적인 요소보다 식물의 성장에 더 많은 영향을 미치기 때문이다. 예를 들면 일주일 전에 흡수한 수분의 양보다 지금 흡수하는 수분의 양이 식물의 광합성이나 성장에 더 많은 영향을 줄 것이다. 그러므로 이 시간적 가중치 함수는 이전시간보다 현재 시간의 값이 더욱 커야하며 적분한 값은 '1'이 되어야 한다. 또한 window 크기만큼의 구간에만 값이 있어야한다. 그러나 실제적인 가중치 함수를 정확하게 표현하는 것은 매우 어려운 일이므로 본 논문에서는 (그림 7)과 같이 환경적인 요소의 시간적 가중치 함수를 선형함수로 가정한다.



(그림 7) 환경요소의 가중치 함수

식물의 성장률을 계산하기 위해서는 환경적인 요소의

moving average값과 함께 환경적인 요소의 참조(reference) 값이 필요하다. 예를 들어 식물이 받아들이는 물의 양을 moving average값으로 계산한다고 할지라도 그 양의 어느 정도로 식물에 영향을 미치는지는 알 수 없다. 또한 식물이 받아들이는 환경적인 요소는 물 뿐만 아니라 햇빛, 온도 등 많은 요소들을 받아들이기 때문에 그들 사이에 연관성을 정확히 표현하기가 어렵다. 즉, 물의 moving average값과 햇빛의 moving average값은 서로 어떤 영향을 미치는지는 알기 어렵다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 식물이 받아들이는 각각의 환경적인 요소에 대해 참조 값을 정하고 식물이 받아들이는 환경적인 요소의 moving average와의 비율을 통해 식물이 받아들이는 환경적인 요소가 어느 정도 식물의 성장에 영향을 미치는지를 판별 할 것이다.

$$ef_r = \frac{\overline{ef} - ef_{ref}}{ef_{ref}}$$

- ef_r : environmental factor ratio
- \overline{ef} : moving average of environmental factor
- ef_{ref} : 참조 value of environmental factor

식물의 성장은 환경적인 요소에 영향을 받을 뿐만 아니라 식물개체의 DNA에 있는 유전적인 정보에도 영향을 받는다. 예를 들어 같은 환경에 있는 같은 종의 식물이라 하더라도 각각의 개체마다 온도에 영향을 많이 받는지 햇빛의 영향을 많이 받는지 다르다. 이는 식물이 싹이 나기 전인 씨앗의 상태에서 벌써 정해져 있는 것이다. 본 논문에서는 이러한 정보 식물의 DNA에 이미 정해져 있다고 가정한다.

식물의 성장률을 결정할 때 이러한 DNA에 있는 정보도 고려되어야 한다. 그러기 위해 환경적인 요소와 moving average의 비율에 DNA정보를 계수로 곱해서 성장률을 결정 할 것이다.

$$\text{성장률}(G) = d_1 \times ef_{r_1} + d_2 \times ef_{r_2} + \dots + d_n \times ef_{r_n}$$

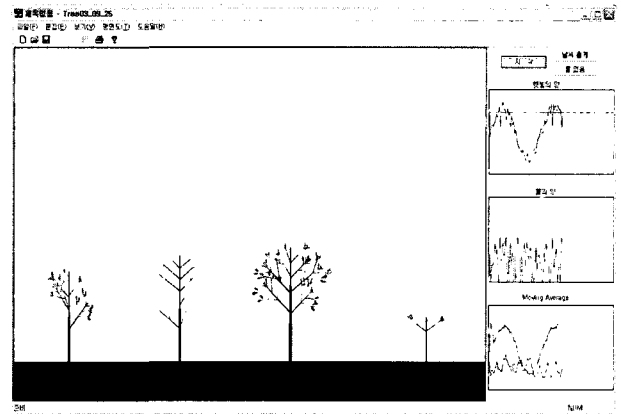
d_i : coefficient, ef_{r_i} : environmental factor ratio

위의 식과 같이 성장률은 식물의 성장에 영향을 미치는 각각의 환경적인 요소가 식물의 성장에 얼마나 영향을 미치는지를 알려주는 d_i 와 식물이 받아들이는 환경적인 요소의 moving average와 참조 값의 비율을 곱한 것들의 합으로 결정한다.

5. 구현 및 실험결과

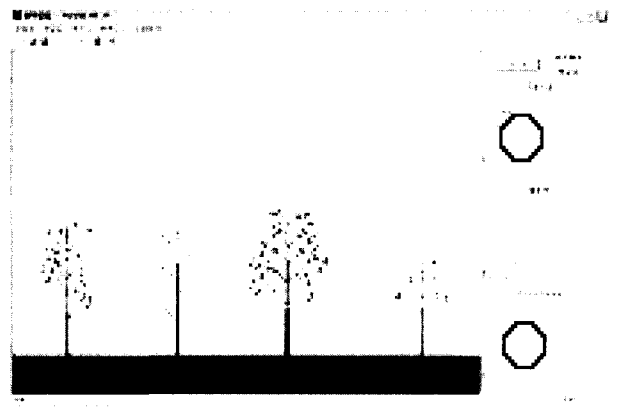
제안되어진 모델을 통해 침엽수와 활엽수를 구현하여 환경이 변함에 따라 각 성장의 다양성을 보이고자 한다. 구현은 Windows 환경에서 Visual C++를 사용하였다.

(그림 8)은 정상적인 환경에서의 나무의 성장을 보여준다. 오른 편에 있는 그래프는 차례로 햇빛의 양, 물의 양, 그리고 햇빛과 물의 moving average를 나타낸다. 식물의 환경은 온대지역을 기준으로 했으며 햇빛의 양은 1년을 주기로 싸인(sine) 함수를 기준으로 랜덤(random)함수를 이용해서 변화(variation)를 주었고 물의 양도 랜덤 값을 이용하였다. 화면에 나오는 나무는 모두 4그루이며 첫 번째와 세 번째, 네 번째 나무는 활엽수이고 두 번째 나무만이 침엽수이다. 그리고 네 번째 나무는 다른 나무들보다 늦게 심어져서 화면에서는 크기가 작게 보이고 있다. 각 나무는 자신의 젊음 에너지를 따라서 성장하게 되어 있으며 환경의 영향을 따라 젊음 에너지가 영향을 받고 식물의 성장률도 바뀌게 된다.

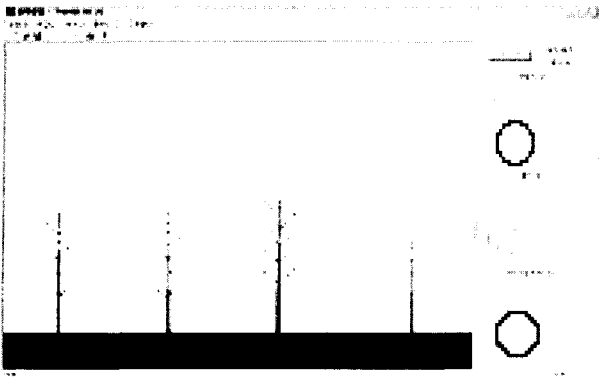


(그림 8) 정상적인 환경에서의 나무의 성장

(그림 9)과 (그림 10)은 계절에 따른 나무의 성장 변화를 보여준다. (그림 9)처럼 햇빛의 양이 어느 정도 이하로 떨어지게 되면 그에 따라 기온도 떨어지게 되고 활엽수의 잎은 단풍이 들게 된다. 이때 햇빛의 양은 moving average를 기준으로 한다. (그림 10)처럼 햇빛의 양이 그 보다 더 떨어지게 되면 활엽수의 잎은 다 떨어지게 될 것이다. 그러나 침엽수는 아직 잎이 붙어있다. 침엽수의 경우 잎이 온도의 영향을 거의 받지 않기 때문이다.

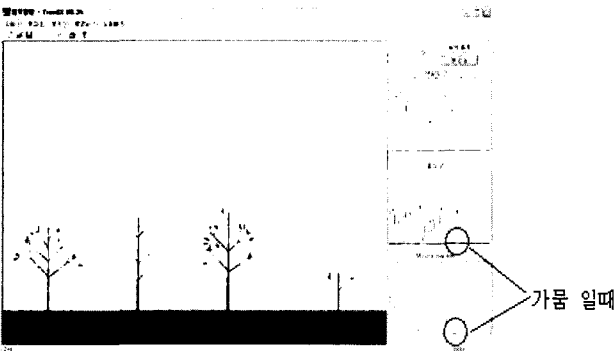


(그림 9) 단풍이 든 모습



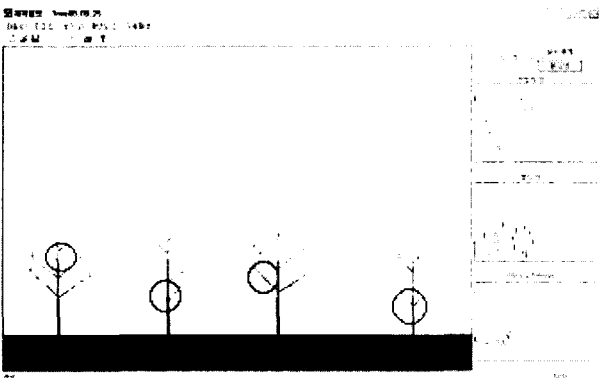
(그림 10) 잎이 진 모습

(그림 11)은 물의 양이 부족해 가뭄이 일어난 상황을 보여준다. 가뭄이 일어나면 나무는 성장을 멈추게 되고 작은 가지나 잎부터 말라죽게 된다. 말라죽은 가지는 검은 색으로 표시 되고 죽은 잎은 떨어지게 된다.



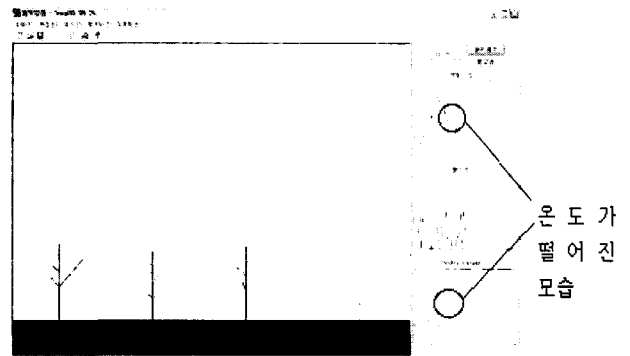
(그림 11) 가뭄으로 시든 모습

(그림 11)처럼 일정한 시간 동안 비가 오지 않으면 나무에 물이 공급되지 않기 때문에 나무의 젊음 에너지가 점점 감소하게 된다. 그러다가 각 가지의 젊음 에너지가 가지가 살 수 있는 최소 젊음 에너지보다 더 작게 되었을 경우 가지는 더 이상 생명체로서 살아가지 못하고 물리적인 객체로 변하게 된다.

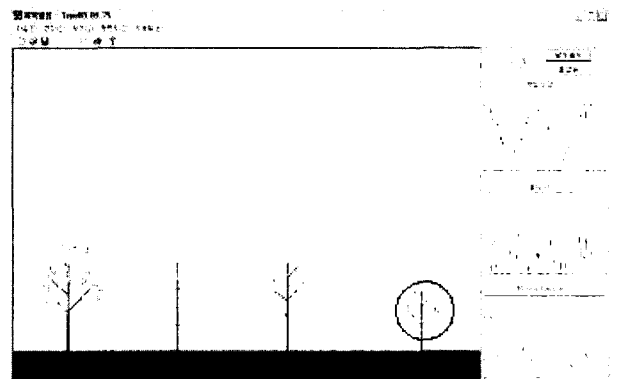


(그림 12) 가뭄 이후의 성장 모습

이렇게 죽은 가지는 나무의 줄기에 물리적인 연결성은 가지게 되지만 생물학적 연결성은 잃어버리게 된다. 즉, 나무에 붙어는 있으나 영양분을 공급받거나 공급하지 못한다. 그러나 아직 몇몇의 가지는 말라 죽었지만 나무의 뿌리와 줄기는 살아있기 때문에 가뭄의 시기가 지나면 또다시 새로운 가지들이 생겨나게 되고 그에 따라 새로운 잎이 생기고 광합성도 하게 된다. 그러므로 나무는 계속해서 살아가게 된다. (그림 12)의 동그라미에 있는 가지들은 가뭄으로 인해 죽은 가지들을 나타낸다.



(그림 13) 온도가 갑자기 떨어진 모습



(그림 14) 냉해를 입은 나무의 모습

(그림 13)과 (그림 14)는 온도가 갑자기 떨어져 냉해를 입게 되는 식물을 표현한 것이다. (그림 13)처럼 갑자기 온도가 떨어지게 되면 나무의 성장이 둔화하게 되는데 이것은 나무의 젊음 에너지에 영향을 미칠 뿐 아니라 식물의 성장률에도 영향을 미치게 된다. (그림 14)은 온도에 의해 냉해를 입은 식물의 성장을 표현한 것이다. 냉해를 입은 나무는 다른 나무와 달리 나무의 가지도 적어질 뿐 아니라 나무의 크기 또한 작아지며 나중에 열매도 잘 맺지 못하는 결과를 가져온다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 실세계에서 일어나는 다양한 식물의 성장 모

습을 가상세계에서도 표현 할 수 있는 식물을 모델링 하고자 한다. 이로 인해 가상세계내의 다양한 이벤트가 발생할 경우 그에 따라 식물의 성장에 사실성을 높이고 사용자에게 흥미와 몰입감을 주고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 클래스 계층구조를 바탕으로 상속을 받아 식물의 특성(property)과 속성(attribute)을 정의했다. 또 식물의 성장의 다양성을 보여주기 위해 젊음 에너지를 이용하여 식물의 성장단계와 쇠퇴단계로 구분하고 식물의 성장률을 계산함으로써 식물의 다양성을 표현하였다. 또한 식물의 연결성을 고려하여 식물의 생물학적인 연결이 끊어졌을 때에는 더 이상 식물로서 역할을 하지 못하게 하는 제약조건도 주었다.

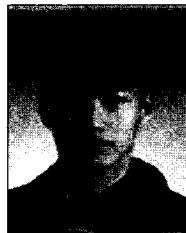
이런 식물 모델링의 장점은 가상세계에서 일어나는 다양하고 예측하기 어려운 상황에서도 식물의 성장을 표현할 수 있다는 것이다. 즉 정상적인 환경 속에서의 식물의 성장뿐 아니라 가상세계의 온도가 아주 높거나 낮거나 반대로 너무 낮은 경우 등 가상환경의 다양한 변화와 예측하지 못한 상황에서도 식물의 성장을 논리성 있게 표현할 수 있다. 또한 식물의 종류나 그에 따른 성장 법칙만 조절해 줌으로써 다양한 종류의 식물을 쉽게 모델링 할 수 있다.

하지만 본 논문에서는 식물의 정성적 변화에 대해서 자세히 다루지 않았으며 식물의 성장률을 계산하기 위해서 단지 햇빛과 물밖에 고려하지 못했다. 따라서 향후 식물의 정성적 변화를 위해 식물의 온톨로지에 대한 연구와 정성적 변화에 대한 규칙에 대한 연구가 필요하다. 또한 제시되어진 모델은 각각의 식물이 따로 떨어져 있을 경우만을 고려하였을 뿐 식물이 모여 숲을 이루는 등 그룹(group)으로 있을 때의 특성을 고려하지 못했다. 따라서 이러한 식물이 그룹을 이룰 때 식물이 받는 영향을 고려하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Bedrich Benes and Erik Uriel Millan, "Virtual Climbing Plants Competing for Space," Proceedings of Computer Animation, pp.33-42, 2002.
 [2] <http://rics.cie.cau.ac.kr/kiss98/edu/html>
 [3] J. Weber and J. penn, "Creation & Rendering of Realistic Trees," Proceedings of SIGGRAPH 1995, pp.119-128, 1995.

[4] Radomir Mech and Przemyslaw Prusinkiewicz, "Visual models of plant interacting with their Environment," Proceedings of SIGGRAPH 1996, pp.397-410, August, 1996.
 [5] Park, J., "The Lives of the Physical Objects," Tech. report #8, AIMM., Kyungpook National Univ., 2001.
 [6] P. Prusinkiewicz, M. Hammel, and E. Mjolsness, Animation of plant development. In SIGGRAPH 1993, pp.351-360, 1993.
 [7] B. Benes, Visual Simulation of Plant Development with respect to Influence of Light. In Computer Animation and Simulation 1997, Springer Computer Science, Springer-Verlag wien New York, pp.125-136, 1997.
 [8] 조진영, "가상 환경에서 solar radiation과 wind이벤트의 시뮬레이션", 경북대학교 석사학위논문, 2002.
 [9] Park, J., "Modeling physical entites," Tech. report #10, AIMM., Kyungpook National Univ., 2002.
 [10] Park J., "Modeling of Environment for Event on the earth," Tech. report #11, AIMM lab., Kyungpook National Univ., 2002.
 [11] Kingsley R. Stern, Introductory Plant Biology, 9th ed., McGraw-Hill, 2003.



권 정 우

e-mail : zen98@ee.knu.ac.kr
 2002년 경북대학교(공학사)
 2004년 경북대학교(공학석사)
 현재 경북대학교 전자공학과 박사과정
 관심분야 : 인공지능, 가상현실



박 종 희

e-mail : jhpark@ee.knu.ac.kr
 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