

論文2001-38CI-4-2

사건 전파그래프에 기반한 동적인 자연현상의 논리적 시뮬레이션

(A Logical Simulation of Dynamic Natural Phenomena Based on Event Propagation Graph)

朴正容 * , 朴宗憲 **

(JungYong Park and JongHee Park)

요약

본 논문은 컴퓨터를 통해 가상세계를 구축하기 위한 논리적 시뮬레이션 방법을 개발한다. 기존의 일정한 패턴으로 전개되는 게임, 유아용 교육시스템은 다수의 사용자를 가상의 공간으로 유도하여 상황을 전개하나 환경자체의 변화를 유발시키는 것에는 미흡하다. 따라서 본 논문에서는 개념적이고 논리적인 상황 변화를 가능하게 하는 가상 환경 시스템을 개발한다. 환경의 논리적인 구현은 시공간적인 상황속에서 시뮬레이션함으로써 이루어진다. 본 논문에서는 상황계층구조를 통해 시뮬레이션 가능한 상황을 정의하고 단일 사건을 정의한다. 그리고 인과관계를 세분화하여 사건 발생을 전개해 나간다. 자연 현상에서 사건은 물리법칙에 기반하여 발생하며, 현상은 사건들간의 연관성을 이용하여 표현한다. 이러한 방법은 초기 사건의 세분화 작업이 어려우나 사건의 재사용의 장점을 가져온다. 그리고 동일 패턴의 사건에서는 새로운 조건을 이용함으로써 보다 현실적이고 논리적인 상황의 구현을 가능하게 한다. 특히 자연현상에서 사건의 원천을 정의하고 객체의 생명 시간에 의한 객체의 존재유무가 사건의 주된 요인으로 취급된다. 제안하는 방법은 자연현상 중 계절의 변화에 적용하여 표현 가능함을 보인다.

Abstract

This paper develops a logical simulation method for by dyversity of situations. Most existing systems, for example, games and infant tutoring systems lead users to virtual environment with unfolding situations, but are not designed to induce the change of the environment itself. In this paper, a logically simulated environment is created by defining situations and single events based on situation hierarchy structure. We elaborate the occurrence of events by classifying the causality. The occurrence of natural phenomena is dictated by physical laws and natural phenomena are expressed as the transition of the event based on event association. Specifically we define the source of the event for natural phenomena and we consider the existence of objects as a primary factor in event occurrence. The advantages of this approach include the reuse of events, that is, different events can be generated in the same flow with fresh conditions. This allows us to implement a more practical and logical environment. A drawback to this method is the difficulty in dividing a situation into events. The proposed method was implemented in the context of the change of season among natural phenomena.

I. 서 론

* 學生會員, ** 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering Kyungpook National University)

接受日字:2000年10月23日, 수정완료일:2001年4月23日

컴퓨터를 통해 이루어진 가상세계에서의 몰입형 교육은 이상적인 학습방법으로 재론의 여지가 없다.^[1] 현재의 소프트웨어는 주어진 작업의 수행이 미리 설계된

고정된 경로만을 따라가게 되어있기 때문에 컴퓨터를 이용한 기존의 교육용 소프트웨어가 단순한 유아용에서 벗어나지 못하거나, 기존의 서적의 내용을 사용자 인터페이스만 바꾼 정도에 그치고 있는 것이 현실이다.^[2,3] 컴퓨터 게임 등에서도 단순한 동작만을 반복적으로 요구하거나, 미리 정해진 경로만을 제공하여 곧 재미가 반감하고 만다. 이러한 한계에는 근본적으로 여러 가지 요인이 있으나 그 중에서 일정한 패턴으로 상황이 전개되고, 지능이라 불리우는 핵심적인 기술의 미흡함이라 할 수 있다.^[4~6] 본 논문에서는 일정한 패턴의 상황을 보다 다양한 수준으로 시뮬레이션 할 수 있는 즉, 실세계에서 발생하는 시공간 상황을 컴퓨터 내에 논리적으로 재현하기 위한 사건의 관련성과 인과성으로 계속적으로 변화하는 환경을 구축하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 기본 접근방법으로 실세계의 반영은 객체들의 복잡성과 그들 사이의 무수한 연관관계들의 다양성과 사건의 불 예측성으로 특정 지워진다. 실세계 환경의 시뮬레이션을 위한 기본 구조는 집단화 관계로 표현될 수 있는 상황 계층구조로서 상황(situation), 사건(event), 부사건(subevent), 복합행동(composition action), 기본행동(primitive action), 함수와 절차(function and procedure)로 이루어진다. 실제적인 현실세계의 환경의 시뮬레이션을 위해 근본적인 몇 가지 해결 방법을 제안한다. 첫째로, 시뮬레이션된 상황은 결과적으로 무수한 객체들의 속성 값의 변화 즉 사건으로 이루어진다. 따라서 개념적, 논리적 실세계 반영을 위해 사건을 정의하고 사건발생의 원인과 결과를 특징에 따라 세분화하여 관련성을 규명한다. 둘째로, 논리적인 사건을 시뮬레이션 하기 위해서는 사건의 원천을 규명하고 실시간적으로 변화하는 환경을 재현한다.

마지막으로 실세계 상황 시뮬레이션을 가능하게 하기 위해서 사건 전이의 종류를 규명하여야 한다. 이를 위하여 인과성 사건의 종류를 세분화하여 복합사건과 단일 사건으로 야기되는 현상을 표현 가능하게 하고 예제에 적용한다. 제안하는 상황 시뮬레이션 방법은 사건에 기초한 사건 전파 그래프(Event Propagation Graph)로서 실세계 환경으로 대표되는 자연현상을 시뮬레이션 한다. 보다 실제적인 구현을 위해 자연현상 중에서 계절의 변화에 관련된 날씨에 대해 상황을 시뮬레이션 한다. 구현을 바탕으로 제안하는 방법을 검증한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 본 연구와 관련된 연구들을 살펴본다. 3장에서는 논리적인 가상환경을 시뮬레

이션하기 위한 상황 표현방법을 제안한다. 그리고 개념적인 상황 표현방법과 시뮬레이션을 위한 상황표현 방법을 설명한다. 4장에서는 제안된 상황 표현방법을 바탕으로 자연현상 중에서 계절의 변화를 시뮬레이션하여 검증한다. 마지막으로 5장에서는 결론과 앞으로의 연구방법에 대해서 설명한다.

II. 관련 연구

컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 된 가상공간에서 상황을 시뮬레이션하기 위해서는 자연현상에 대한 표현이 필수적이며 이와 관련된 연구는 주로 만화영화 제작, 게임등 많은 연구가 이루어져 왔다. 이러한 분야에서의 가상환경은 그래픽적인 요소에 치중하거나 단순한 변화만을 구현하였으며,^[7,8] 실제와 같은 환경의 다양한 변화를 보여주는 논리적인 환경에 대한 연구는 없었으며 단지 에이전트의 행동에 의해서 이루어진 것이다.^[3,9,10] 다시 말해 이러한 기존의 연구는 주로 시각적인 면에 효과만을 중시하였고, 실제 객체들간의 연관성과 변화하는 환경의 표현에는 연속적인 프레임의 형태의 제한된 상황만을 보여주었다.^[4] 게임과 만화영화 제작에서의 환경의 시뮬레이션 방법은 기본적으로 원하는 작업에 대한 수작업을 통하여 일정한 시간 간격으로 프레임을 재생하는 기술을 이용한다. 이러한 방법은 목적하는 환경의 시뮬레이션이 계속적으로 변화하는 경우 데이터의 양과 시간 등 소프트웨어의 재사용을 저해하는 것이다. 또한 다양한 상황 전개라는 기능을 가진 여러 멀티미디어 저작기는 상황 흐름을 설정할 수 있는 기능은 제공되나 이 또한 상황의 재현이 일회성이고 고정적인 상황을 연출하는 단점을 지니고 있다.^[10]

자연 현상의 논리적인 반영을 위해서 인과 관계에 기초한 이종의 고장 진단 시스템^[11~13]에 대한 연구를 바탕으로 본 논문의 목표인 다양한 사건의 전개에 맞게 재해석하여 구조화한다. 그리고 인과관계에 기초한 이종의 고장 진단 시스템은 자연현상을 시뮬레이션하는데 기본적인 아이디어를 제공한다.

III. 논리적 가상환경을 시뮬레이션하기 위한 상황 표현 방법.

기존의 연구가 일회성과 고정성의 상황전개를 배제

하기 위한 방법으로 먼저 실세계 환경에 대한 기본 구조를 정의한다. 실세계 환경을 시뮬레이션하기 위한 기본 구조는 집단화 관계로서 표현될 수 있는 상황 계층 구조로서 상황, 사건, 부사건, 복합행동, 기본행동, 함수와 절차로 이루어진다. 실세계 환경의 계속적인 변화와 인과적인 사건의 시뮬레이션을 위한 몇 가지 방법을 제안한다. 결국 자연 현상은 물리법칙에 기반하여 시공간 상황 속에서 인과관계에 기초하여 복합적인 사건의 발생으로 이루어진다는 것에 기초한다.

본 연구에서 제안하는 방법은 동적인 환경시스템에 관련된 현상의 원인과 모든 결과들의 관계를 명백하고 포괄적으로 표현할 수 있도록 아래의 특징들에 중점을 둔다.

1. 현상은 사건들의 집합으로 나타나고 인과 관계를 토대로 해서 표현한다.

2. 하나의 사건에서 다른 사건으로의 사건전이는 원인을 세분화, 구체화하여 사건 발생을 규명한다. 따라서 예제 도메인에서만의 적용이 아닌 일반적 사건에도 적용할 수 있도록 한다.

3. 자연현상은 일련의 사건들의 집합으로 사건들 사이의 상호 관계 특히 인과 관계를 토대로 사건들 간의 상호 연결관계로서 메시지가 전파되는 사건전파그래프(Event Propagation Graph)레벨에서 표현한다.

동적 자연환경을 표현하기 위한 방법을 종합하면 노드는 사건의 전파경로에서 마디에 해당되며 구체적으로 객체의 애트리뷰트들이다. 예지는 그것의 앞 노드와 뒷 노드의 동적 관련성을 나타내고, 새로운 사건을 발생시키는 규칙이다. 예들 들어 사건은 $O_i.attribute$ 와 $O_j.attribute$ 를 나타내는 두 노드 사이에 에지가 형성된 것으로 나타낼 수 있다. 동일 사건의 발생에서 노드의 값 즉 객체의 속성 값은 새로운 값을 가진다. 왜냐하면 동일 사건이라도 시간적인 흐름에 따라 각 노드의 속성 값이 여러 매개변수들로 되어 있기 때문에 속성 값은 항상 변화하는 값을 가진다. 이는 본 논문의 궁극적 목표인 다양한 사건의 발생으로 새로운 현상을 표현할 수 있다는 것이다. 이런 방법은 개별 사건들 간의 동적인 연결을 EPG로 표현함으로써 현실세계의 현상과 비교하여 논리적으로 가상의 환경구축이 가능하다. 결국 EPG는 사건의 원인들과 결과 사건들 간의 관련성을 인과관계에 기초하여 종합적으로 표현한다.

하나의 사건에 관련된 원인이 이전 사건의 발생에서

볼 때는 결과가 될 수 있다는 일반적이고 논리적인 개념을 이용한다. 즉 동일한 사건이 발생하더라도 사건 발생의 원인의 조건이 이전 사건의 결과 값에 따라서 새로운 사건을 발생시킬 수 있다. 결과적으로 각 사건들의 정적인 연결 관계가 아닌 동적인 관계가 가능한 표현구조 그리고 모든 결과들과 원인들 간의 연결 관련성, 의존성의 관계를 표현하는데 중점을 둔다.

1. 환경을 구성하는 상황 계층구조

동적인 가상환경의 구축은 먼저 현실세계는 사회 현상과 자연현상으로 이루어진다고 전제한다. 사회 현상에서 사건은 에이전트의 지식베이스와 현실세계의 사실파의 차이가 주요한 요인이다. 자연현상에서 사건은 인과관계에 기초한 물리법칙이 지배적인 요인이다. 구체적으로 자연현상에서 사건은 불변의 물리법칙에서 객체의 존재성 즉 객체의 속성 값들의 변화에 의한 인과관계로서 발생하며 사건 발생시 새로운 조건에 의해 발생한다. 이와는 달리 사회 현상에 사건은 에이전트가 가지는 지식-세상의 물리적 객체에 대한 사실, 환경에 대한 지식 그리고 다른 에이전트에 대한 지식-과실제 상황에서 직면하는 사실파의 차이로 발생한다. 본 논문에서는 시뮬레이션의 범위를 자연현상에서 국한시켜 사건에 기초하여 실세계의 논리적 상황을 표현할 수 있는 일반적이고 포괄적인 방법을 제안한다.

집단화 관계로서 표현할 수 있는 상황 계층구조

현실세계와 논리적으로 유사한 가상환경은 시공간 상황속에서 전개된다. 시공간 상황의 구성은 무수한 사건들의 연관성으로 이루어진다. 또한 현상은 더 이상 분해할 수 없는 단일사건을 기본원소로 하며 이를 기초로 하는 시공간적인 상황의構成을 아래의 그림1의 집단화 관계로서 표현한다.

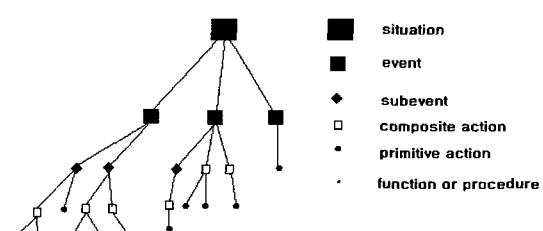
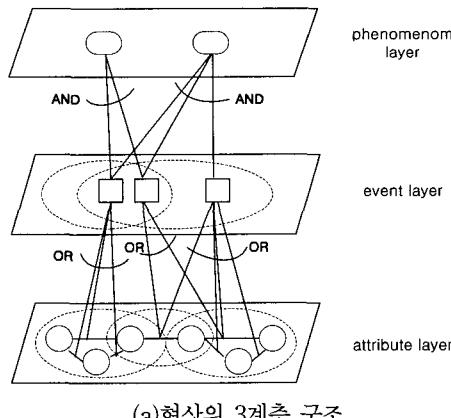
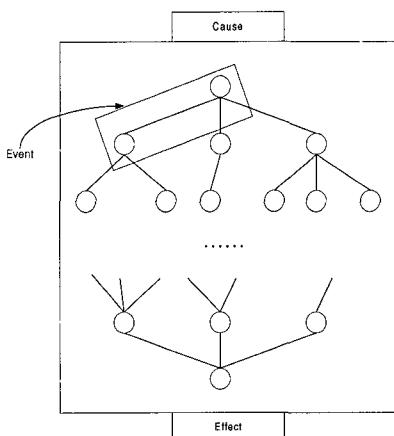


그림 1. 상황 계층구조

Fig. 1. A hierarchy of situations.



(a) Three layer of phenomenon.



(b) 인과관계로 표현한 상황 구조

(b) Situation structure using causal relation.

그림 2. 자연현상 계층구조

Fig. 2. A hierarchy of natural phenomena.

그림 1은 상황에 대한 일반적인 계층구조를 나타낸 것이다. 본 논문에서는 ‘사건’이라 하면 단일 사건을 뜻 한다. 이러한 단일 사건의 일련의 상호 연결은 현상으로 표현한다. 그리고 사건은 보다 하위의 부 사건(subevent), 복합 행동, 기본행동의 조합으로 구성한다. 복합 행동(complex action)은 객체의 동작이나 상태를 전이시키는 추상적인 개념이 포함된 행동이고 기본 행동(primitive action)은 모든 객체가 기본적으로 가지는 것이다. 이러한 기본 행동의 반복적이고 균일화된 추상적인 행동이 복합 행동이다.

그림 2의 (a)는 자연 현상에 대한 계층구조를 나타낸 것이다. 여기에는 실제적인 상황을 표현하는 현상 계층과 두 개의 노드와 하나의 에지로서 단일 사건을 표현

하는 사건 계층과 사건 발생의 요인과 결과를 제공하는 속성 계층으로 구성된다. 노드로 표현하는 속성과 이들의 연결인 에지는 규칙(rule)으로 연결한다. 즉 규칙은 두 개의 노드를 연결하여 사건을 발생시키고 일련의 사건의 발생은 현상을 유발한다. 그림 2의 (b)는 인과관계로 표현한 상황에 대한 구조로서 단일 사건은 사각형으로 표현하였으며, 상황은 이러한 단일 사건들의 상호 의존성과 영향력 즉 인과적 연결로서 발생한다. 복합사건은 여러 개별사건의 연결로 발생하며 현상의 형태로 표현 가능하다. 현실세계의 현상은 선형적인 시간축상과 특정한 공간에서 발생하며 상황은 현상의 특정한 경우이며 즉, 시간적인 흐름에서 특정한 공간에 대한 표현을 구체화한 것이 상황이다. 따라서 현상이 상황의 상위개념으로 존재한다.

2. 사건의 정의, 종류, 전이(Transition) 종류

자연 현상의 사건은 물리법칙에 기반 하여 발생하며 사건을 다음과 같이 정의한다. 사건의 아래와 같은 정의는 개념상의 정의를 위한 것이고 실제 시뮬레이션을 위한 사건 정의는 후술한다.

$$E = \langle C_p^i, C_t^i, E_n^i, Ob^i, A_c, F^i \rangle$$

사건(E)은 사건이 발생되기 위한 전제 조건(C_p^i)과 사건이 점화되기 위한 점화 조건(C_t^i), 사건 발생의 장소를 제공하는 환경(E_n^i), 사건 발생 대상이 되는 객체(Ob^i) 그리고 사건의 전이를 위한 행동(A_c), 그리고 하나의 사건의 결과로 나타나는 사건의 결과(F^i)로 구성된다.

$$\begin{aligned} C_p^i &= \{C_p^i \mid C_p^i = f_p^i(\{O_{n,s}\}, \{O_{n,space}\}, \\ &\quad \{(O_{n,space})R(O_{n,j,space})\}, \{O_{n,time}\} \dots, j=1, 2, \dots\} \end{aligned}$$

전제 조건(C_p^i)은 사건이 발생되기 위한 조건을 형성하는 것으로 객체의 상태값, 객체의 공간위치, 다른 객체와의 공간적인 관계(on, left, front 등), 객체의 시간적인 관계(객체의 생명시간 등)으로 구성된다.

$$\begin{aligned} C_t^i &= \{C_t^i \mid C_t^i = f_t^i(\{O_{n,s}\}, \{O_{n,space}\}, \\ &\quad \{(O_{n,space})R(O_{n,j,space})\}, \{O_{n,time}\} \dots, j=1, 2, \dots\} \end{aligned}$$

환경은 시공간적인 축상에서 발생하며 모든 사건의 발생을 유발시키는 무대를 제공한다.

$$E_n^i = \{Time, Space^i\}$$

객체는 객체의 id와 객체의 존재성, 속성, 규칙으로 구성한다. 이러한 객체의 구성은 객체의 존재를 사건의 출발점으로 고려함으로써 현실세계에서 발생하는 사건들과 개념적으로 유사성을 표현하기 위한 것이다.

$$Ob^i = (o-id, Exi, Attr, Rule)$$

$A_c = f(O_{n,s})$ 행동(action)은 객체의 상태를 변화시키며 사건 전이의 수단이다.

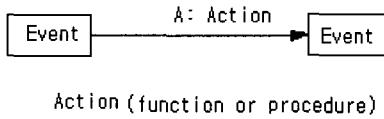


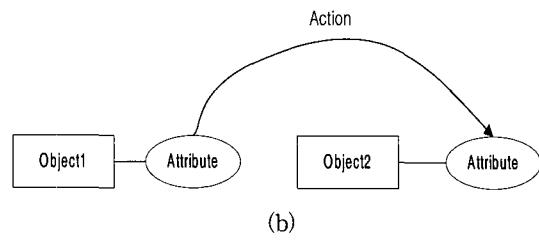
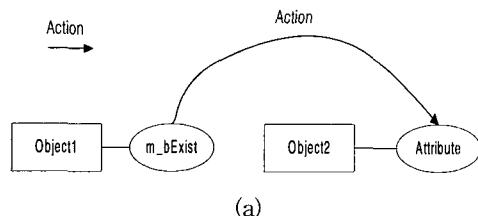
그림 3. 사건 전이

Fig. 3. Event Transition.

$$E_i^j = \{E_i^j \mid E_i^j = f(O_{i,A}), i=1,2,3,\dots\}$$

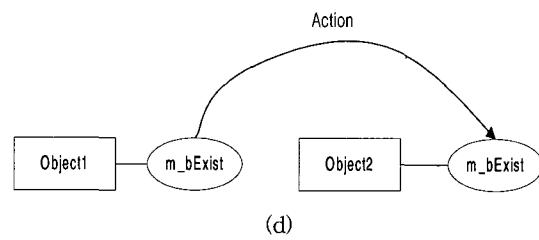
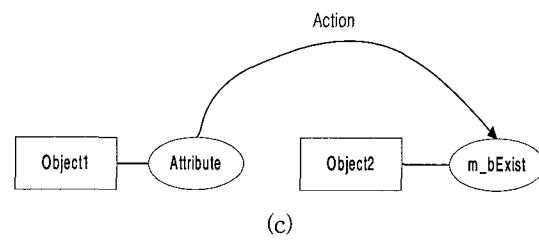
사건의 전이는 각 개별 객체의 행동(action)에 의해 발생한다. 특히 자연현상에서 사건은 객체의 존재와 속성 값의 변화로 발생하는데 객체의 존재는 속성의 하나로 간주되나 현실세계의 논리적 사건표현을 위해 존재를 속성과 분리하여 사건의 원인대상으로 보는 것이 타당하다. 왜냐하면, 이러한 사건의 전이는 기본적인 상황을 이루는데 필수적이다. 그림 4는 객체 전이를 위해서 객체 존재 유무, 객체 속성, 그리고 행동(action)의 관계를 4가지 종류로 세분화한다.

그림 4의 (a)는 한 객체의 존재가 다른 객체의 속성 값을 변화시키는 사건이고 (b)는 한 객체의 속성 값의 변화가 다른 객체의 속성 값의 변화로 유발되는 사건이다. (c)는 한 객체의 속성 값의 변화가 다른 객체의 존재유무를 유발하는 사건이다. (d)는 객체의 존재유무가 다른 객체의 존재유무를 유발시키는 사건이다.



$$E^1 = \{E_i^1 \mid E_i^1 = f(O_{i,A}), i=1,2,3,\dots\}$$

$$E^2 = \{E_i^2 \mid E_i^2 = f(O_{i,A}), i=1,2,3,\dots\}$$



$$E^3 = \{E_i^3 \mid E_i^3 = f(O_{i,A}), i=1,2,3,\dots\}$$

$$E^4 = \{E_i^4 \mid E_i^4 = f(O_{i,A}), i=1,2,3,\dots\}$$

그림 4. 사건전이의 종류

Fig. 4. The types of event transition.

자연현상에서 사건의 종류는 원시적 사건(Original event)과 유도된 사건(Derived event)으로 구분 가능하다. 원시적 사건은 객체의 존재에 의한 사건이고 유도된 사건은 원시 사건에 의해 유도된 사건이다. 예를 들어 하루의 날씨의 변화에도 태양과 달의 존재 유무가 중요한 요인이며 이는 원시적 사건이고, 이로 인한 사건의 발생은 유도된 사건이다. 본 논문에서는 이러한 사건이외에 상황의 보다 확장된 변화를 위한 원시적 사건을 조절 가능하게 하였다. 예를 들어 물리법칙에 의한 개별 사건들의 인파성으로 상황이 진행되나 사용자가 원시적 사건에 영향을 미칠 수 있는 환경변수를 조절함으로써 보다 현격한 상황 변화가 가능하다.

3. 논리적 사건을 시뮬레이션 하기 위한 인과성 사건의 정의

3장에서는 사건의 인과적 관계의 종류에 기초하여 현상을 EPG로 표현할 수 있는 방법을 제안한다. 실제적인 환경 시스템을 위해서는 모든 환경을 모델링하는 것은 실제적으로 용이하지 않다. 따라서 제안하는 표현 방법을 토대로 예제를 수학적으로 집합화한 모델로서 규격화하여 이를 바탕으로 시뮬레이션 한다.

EPG는 개별 사건들간의 동적 관련성을 표현하기 위한 것이며, 자연 현상의 발생에 대한 인과성을 표현하기 위한 구조이다. EPG는 객체의 속성들의 집합(A)인 노드와 노드사이의 동적인 연결을 위한 에지의 집합으로 구성한다. 사건은 앞 노드와 뒤 노드를 연결하는 규칙으로 구체화되며 EPG에서는 에지로서 표현한다. 에지는 각 객체들이 어떤 메시지를 받았을 때 반응하는 규칙(rule)으로 구현한다. 즉 사건은 두개의 노드와 하나의 에지로 구성한다.

그리고 최초 사건의 발생은 객체 존재로 사건이 전파하여 반복적인(cycle)경로가 형성되어 계속적인 사건이 전개된다. 결국 현상은 이러한 계속적인 사건의 파급 즉 전파로 표현가능하다. 결과적으로 이러한 반복적인 경로를 이용하는 사건의 전개는 EPG에서 반영하고자 하는 일반적인 성질이다.

먼저 인과성 사건을 정의하면 어떤 $a_i \in A$ 와 $a_j \in A$ 에 대해서 $a_j : a_i$ 는 a_i 가 실제로 a_j 를 변화시키는 원인을 제공하면 인과성 사건이라 한다. 즉 a_i 의 변화가 a_j 에 의해 초래되면 인과성 사건이다. 하나의 사건은 하나 이상의 사건원인에 의해 발생하고 하나이상의 결과들을 발생시키며 사건의 원인과 결과의 영향에 따라서 다음의 4가지 종류로 분해한다. 이러한 세분화는 인과성 사건의 발생을 규명 할 수 있으며 사건들의 연결로서 현상을 설명 가능하게 하는 수단을 제공하는 방법이다.

[정의1] 직접 인과성 사건

어떤 $a_i \in A$ 와 $a_j \in A$ 에 대해서 a_i 가 발생하면 반드시 a_i 가 원인이 되어 사건을 발생시켰다면 $a_j : a_i$ 를 직접 인과성 사건이라고 말한다.

[정의2] 간접 인과성 사건

노드 A가 노드 B와 직접 인과성 사건의 관계가 있고 노드 B는 노드 C에 직접 인과성 관계가 있으면 노드 A-B-C의 경로(path)가 형성이 된다. 이러한 'A-B-C'

의 사건을 간접 인과성 사건이라고 말한다.

[정의3] 복합 원인 인과성 사건

노드 A가 노드 B와 직접 인과성 사건의 관계가 있고 노드 C도 노드 B와 직접 인과성 사건에 있으면 이러한 관계는 복합 원인 인과성 사건이라고 말한다.

[정의4] 복합 결과 인과성 사건

노드 A가 노드 B와 직접 인과성 사건의 관계에 있고 노드 A가 노드 C에 직접 인과성 사건의 관계에 있으면 사건의 결과가 2개 이상의 노드에 영향을 미칠 때 이를 복합 결과 인과성 사건이라고 말한다.

현상을 나타내기 위해 필요한 요소는 다음과 같이 정의한다.

$$P = \{A, R, E, A_I, E_I\}$$

A : 사건 발생의 원인을 제공하는 모든 속성들의 집합
 $= \{O.a_1, O.a_2, O.a_3, \dots, O.a_n\}$

R : 속성들의 변화를 일으킬 수 있는 모든 규칙들의 집합.
 $= \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_n\}$

$E \subseteq A \times R$ 각 노드들이 에지에 의해서 다른 노드에 영향을 주는 인과성 관계

$E_I \subseteq A$ 사건발생 대상들을 설명할 수 있는 모든 속성들의 집합

$E^- \subseteq E$ 사건들 중에서 현상을 설명할 수 있는 사건들의 집합.

인과성 사건의 종류를 아래의 그림 5에서 현상을 설명하기 위하여 개별 사건으로 분해, 해석하여 현상을 설명한다. 사건들의 세분화로 현상의 표현이 가능하다는 것에 대한 타당성을 확인하기 위하여 다음의 예를 들어 설명한다.

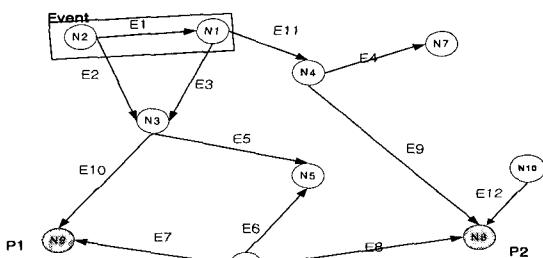


그림 5. 사건 전파 그래프의 예

Fig. 5. The example of Event Propagation Graph.

그림 5는 사건 전파 그래프의 예를 나타낸 것이고 P1, P2는 현상, N은 노드를 E는 에지를 뜻한다. 위에서 정의한 사건들을 그림5에서 구하면 다음과 같다.

집적 인과성 사건들의 집합

$$=\{(N2,E1,N1),\{N2,E2,N3\},\{N1,E3,N3\},\{N1,E11,N4\},\{N3,E5,N5\},\{N3,E10,N9\},\{N4,E4,N7\},\{N4,E9,N8\},\{N6,E6,N5\},\{N6,E7,N9\},\{N6,E8,N8\},\{N10,E12,N8\}\}$$

간접 인과성 사건들의 집합

$$=\{(N1,E11,N4,E4,N7),\{N1,E11,N4,E9,N8\},\{N1,E3,N3,E10,N9\},\{N1,E3,N3,E5,N5\},\{N2,E1,N1,E3,N3\},\{N2,E2,N3,E10,N9\},\{N2,E1,N1,E11,N4\}\}$$

복합 원인 인과성 사건들의 집합

$$=\{\{N2,E2,N3\},\{N1,E3,N3\},\{N3,E5,N5\},\{N6,E6,N5\},\{N3,E10,N9\},\{N6,E7,N9\},\{N4,E9,N8\},\{N6,E8,N4\},\{N4,E9,N8\},\{N6,E8,N8\},\{N10,E12,N8\}\}$$

복합 결과 인과성 사건들의 집합

$$=\{\{N1,E3,N3\},\{N1,E11,N4\},\{N2,E1,N1\},\{N2,E2,N3\},\{N3,E10,N9\},\{N3,E5,N5\},\{N4,E4,N7\},\{N4,E9,N8\},\{N6,E6,N5\},\{N6,E7,N9\},\{N6,E8,N8\}\}$$

현상(P1,P2)을 발생시키는 모든 사건들의 집합

$$P1=\{N2,E2,N3,E10,N9\},\{N2,E1,N1,E3,N3,E10,N9\},\{N6,E7,N9\}$$

$$P2=\{N2,E1,N1,E11,N4,E9,N8\},\{N6,E8,N8\},\{N10,E12,N8\}$$

현상(P1,P2)이 발생하는데 있어서 부수적으로 발생한 사건들의 집합

$$=\{N3,E5,N5\},\{N6,E6,N5\},\{N4,E4,N7\}$$

사건과 현상을 유발시키는 최초 원인들의 집합

$$=\{N2, N6, N10\}$$

그림 5의 예제에서 현상은 인과성 사건을 세분하여 개별 사건들로 나타내었다. 즉 구해진 결과는 현상을 시뮬레이션하는데 있어서 사건을 분해하여 원하는 상황을 설명할 수 있음을 의미한다. 즉 실세계 현상의 시뮬레이션은 사건을 원소로 분해하여 사건들간의 인과관계로 영향력을 표현할 수 있으며 노드와 에지로 구

성한 EPG로 현상의 발생원인을 설명할 수 있음을 뜻 한다.

4. 사건의 원천과 시간과의 관계

자연현상에서의 사건의 원천은 물리법칙에 기반하며 객체의 존재로서 발생한다. 즉 사건은 시간의 경과로 객체 기능의 상실로 소멸 또는 객체의 등장으로 발생한다. 객체의 기능 상실은 외부 자극에 의한 것과 객체의 생명시간에 기초한다. 예를 들어 그림6에서와 같이 객체 A, B, C가 존재할 때 객체 B와 C는 객체의 공간적인 위치를 기준 객체 A에 기반하여 추론한다. 여기에서 각각의 객체의 생명시간이 상이할 때 시간의 경과 후 객체 A가 소멸되면 그로 인해 객체 B와 객체 C가 새로운 기준객체로 추론되어져야 한다. 즉 객체의 등장과 소멸은 상황구성의 기본적인 요소이다. 이러한 객체의 존재는 자연현상에서 가장 핵심적인 사건의 원천이다. 예를 들어 태양의 존재, 달의 존재는 낮과 밤의 변화, 식물의 성장 등 현상을 발생시키는 원천이다.

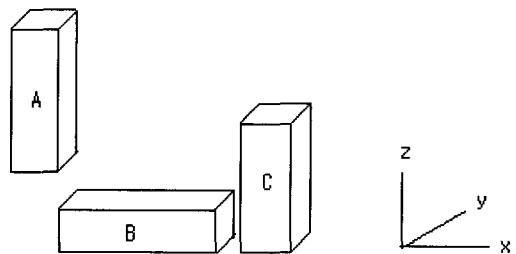


그림 6. 객체의 생명시간에 의한 존재와 사건의 원천
Fig. 6. The existence based on Object's lifetime and event source.

그림 5에서 사건과 현상을 유발시키는 최초 원인 노드(N2, N6, N10)는 객체의 존재에 의한 것이다. 이것은 그림 6의 객체의 생명시간에 의한 객체의 존재 또는 소멸에 기초한다.

제안된 방법을 종합하면 현상은 사건의 인과성에 따라 세분화하여 사건의 연관성과 의존성으로 표현가능하고 시간의 경과에 따른 노드의 값이 달라져서 새로운 사건이 발생한다. 그리고 최초 사건의 발생원인은 객체의 존재라는 것이다. 특히 현상은 부수적인 새로운 사건의 발생을 유발시키며, 사건의 경로(path)에서 마디를 거칠 때마다 노드 값이 변화하므로 발생한다. 이를 검증하기 위해서 그림 7은 자연현상의 대표적인 예 중에서 계절의 변화에 대한 시뮬레이션을 위한 것이다.

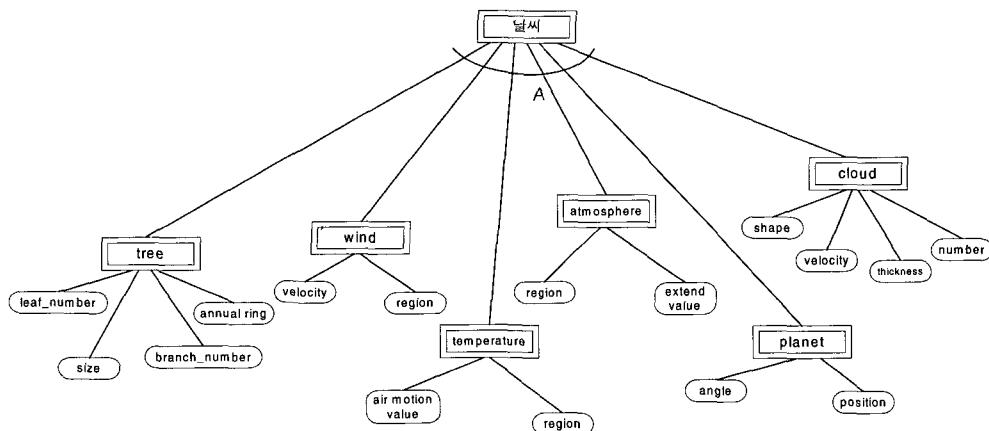


그림 7. 예제 도메인에 대한 전체 데이터베이스 스키마
Fig. 7. The overall database schema for example domain.

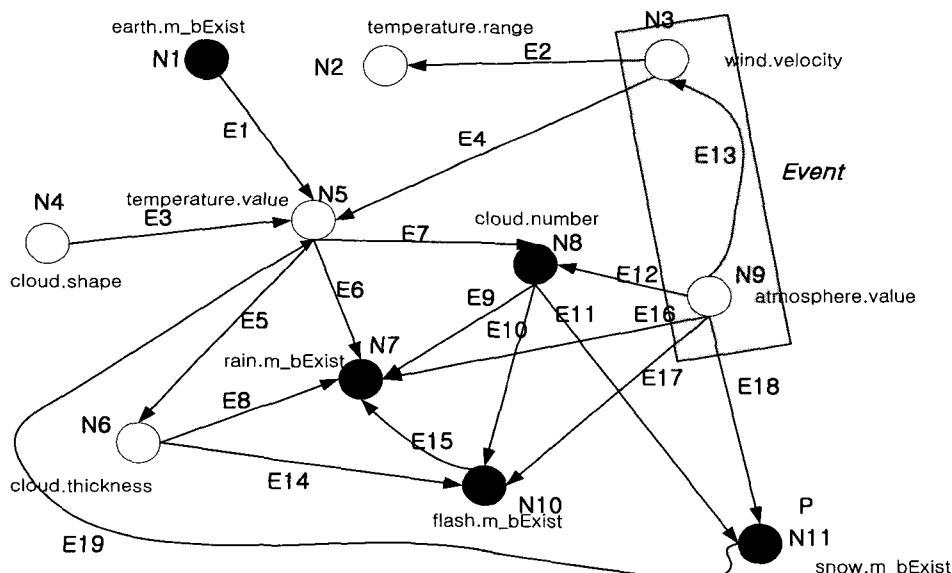


그림 8. 사건 전파 그래프에 기반한 예제
Fig. 8. An Example based on Event Propagation Graph.

그림 7을 간략히 설명하면 사각형으로 표현된 바람, 온도, 기압, 행성을 나타내는 클래스가 있으며 클래스에 연결된 원들은 각각의 클래스의 애트리뷰트가 된다.

동적인 자연 현상을 표현하기 위해서 객체의 속성들 사이의 상호 의존성의 관계를 규명하여 영향을 받는 노드들간의 관계를 정의한다. 이를 위해 그림 8의 인과 관계로 연결된 예제 도메인 원인결과 관계에서 노드들 간의 구조적인 관계가 아닌 노드와 에지로 표현되는

사건들간의 동적인 관계성을 설명한다. 이를 위해 전술한 인과성 사건의 종류에 기초하여 현상을 표현할 수 있음을 그림 8을 시뮬레이션하여 보인다. 그림 8은 그림 5의 EPG에 기초한 예제이다.

그림 8은 EPG에 기반한 예를 나타낸 것이고 사건과 현상을 나타내었으며, N은 노드를 E는 에지를 뜻한다. 3장에서 정의한 인과적 사건들을 그림8에서 구하면 다음과 같다.

집적 인과성 사건들의 집합

={(N1,E1,N5),(N3,E2,N2),(N3,E4,N5),(N4,E3,N5),(N5,E5,N6),(N5,E6,N7),(N5,E7,N8),(N6,E8,N7),(N6,E14,N10),(N8,E9,N7),(N8,E10,N10),(N8,E11,N11),(N9,E13,N3),(N9,E12,N8),(N9,E16,N7),(N9,E17,N10),(N9,E18,N11),(N10,E15,N7),(N11,E19,N5)} }

간접 인과성 사건들의 집합

={(N1,E1,N5,E5,N6),(N1,E1,N5,E6,N7),(N1,E1,N5,E7,N8),(N3,E1,N5,E5,N6),(N3,E1,N5,E6,N7),(N3,E1,N5,E7,N8),(N4,E1,N5,E5,N6),(N4,E1,N5,E6,N7),(N4,E1,N5,E7,N8),(N5,E5,N6,E8,N7),(N5,E5,N6,E14,N10),(N5,E7,N8,E9,N7),(N5,E7,N8,E10,N10),(N5,E7,N8,E11,N11),(N6,E14,N10,E15,N7),(N8,E11,N11,E19,N5),(N8,E10,N10,E15,N7),(N9,E17,N10,E15,N7),(N9,E13,N3,E2,N2),(N9,E13,N3,E4,N5),(N9,E12,N8,E9,N7),(N9,E12,N8,E10,N10),(N9,E12,N8,E11,N11),(N11,E19,N5,E5,N6),(N11,E19,N5,E6,N7),(N11,E19,N5,E7,N8)}

복합 원인 인과성 사건들의 집합

={{(N1,E1,N5),(N4,E3,N5),(N3,E4,N5),(N11,E19,N5)}, {(N5,E6,N7),(N6,E8,N7),(N8,E9,N7),(N9,E16,N7),(N10,E15,N7)}, {(N5,E7,N8),(N9,E12,N8)}, {(N6,E14,N10),(N8,E10,N10),(N9,E17,N10)}, {(N9,E18,N11),(N8,E11,N11)}}

복합 결과 인과성 사건들의 집합

={{(N3,E2,N2),(N3,E4,N5)}, {(N5,E5,N6),(N5,E6,N7),(N5,E7,N8)}, {(N6,E8,N7),(N6,E14,N10)}, {(N8,E9,N7),(N8,E10,N10),(N8,E11,N11)}, {(N9,E13,N3),(N9,E12,N8),(N9,E16,N7),(N9,E17,N10),(N9,E18,N11)}}

현상(P= N11)을 발생시키는 모든 사건들의 집합

P={(N1,E1,N5,E7,N8,E11,N11),(N4,E3,N5,E7,N8,E11,N11),(N9,E18,N11),(N9,E12,N8,E11,N11),(N9,E13,N3,E4,N5,E7,N8,E11,N11)}

현상(P)이 발생하는데 있어서 부수적으로 발생한 사건들의 집합

={(N8,E9,N7),(N8,E10,N10),(N3,E2,N2),(N5,E5,N6),(N5,E6,N7),(N9,E16,N7),(N9,E17,N10)}

사건과 현상을 유발시키는 최초 원인들의 집합

={N1,N4,N9}

반복(Cycle)적인 사건들의 집합

={ N5, E7,N8,E11,N11,E19,N5}

그림 8에서 사용된 예제에서의 EPG는 노드와 에지로서 구성한다. 전술한 바와 같이 노드는 객체 속성들의 집합이고, 에지는 노드사이의 동적인 관계성을 표현하는 규칙(rule)들의 집합이다. 예제 도메인에서의 기본 전제는 만유인력에 의한 지구 자전과 공전에 의해 모든 현상이 발생하나 시뮬레이션을 위해서는 태양과 달의 존재로서 현상이 유발된다는 것이다. 그리고 상위의 물리법칙 예를 들어 우주의 법칙 등이 있으나 실제적인 시뮬레이션을 위해서는 너무 복잡하여 본 논문의 범위를 벗어나므로 배제한다.

그림 8에서의 색깔이 있는 노드는 객체의 속성 중 존재에 의한 것을 나타내었으며 구름 객체의 number 속성이 1일 때 구름 객체의 등장을 뜻한다. 사각형은 두 개의 노드와 하나의 에지로 구성된 사건을 표현하였고 비, 눈, 구름의 생성으로 현상을 표현하였다. 현상을 발생시키는 모든 사건들의 집합 그리고 부수적인 사건의 집합은 눈에 대해서만 표현하였다. 여기에서 알 수 있듯이 현상은 객체의 등장과 사라짐 즉 객체의 존재유무에 의해 지배적인 영향력으로 작용함을 알 수 있다. 따라서 자연현상은 객체의 존재유무가 가장 근원적인 사건의 출발점이자 상황 표현의 핵심인 것이다. 그리고 현상은 그 명확한 수치적인 해석이 이루어지지 않아서 인과성 사건을 세분화하여 시뮬레이션 가능함을 보인다.

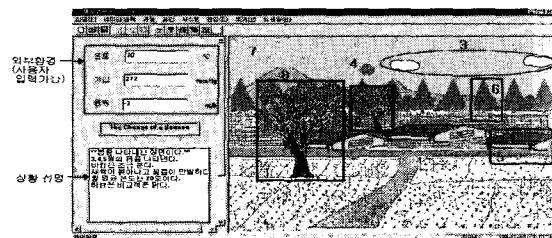
IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 실세계의 현상 중에서 계절의 변화를 Visual C++ 6.0으로 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이터는 환경의 사실적인 표현보다는 인과성 사건의 분해를 통한 인과적인 개별 사건의 표현, 원시적 사건(original event)을 사용자가 개입하여 의의의 사건을 전개할 수 있는 기능, 계속적인 변화를 유발하는 사건의 흐름에 중점을 두었다.

계절 변화의 규칙에서 지구의 자전과 공전은 계속적

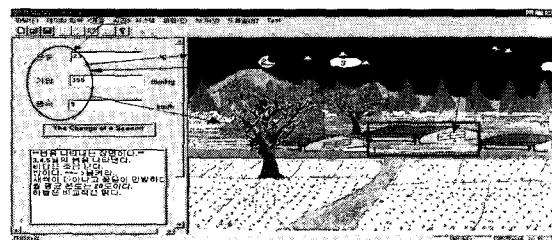
으로 변화하며 이로서 온도가 변화한다. 따라서 간접적으로 계절이 변화되었다는 것은 온도로서 알 수 있다. 시공간적인 계절의 변화는 온도, 기압, 풍속을 이용하여 계절의 존재시간이 결정되게 한다. 왜냐하면 변화하는 계절의 기간을 표현하기 위해서이다.

구체적으로 그림 9의 (a)는 계절의 변화를 나타내는 봄의 장면으로 낮의 상황을 나타낸다. 장면은 상황을 전개하기 위한 무대를 제공하며 시간 축 상에서 사건 발생에 필요한 객체들을 위한 공간을 제공한다. 사건의 원천은 태양의 존재에 의한 낮의 상황이며 그림 9의 (b)는 달의 존재에 의한 밤의 상황을 구현하였다.



(a) 낮의 상황

(a) The situation at noon



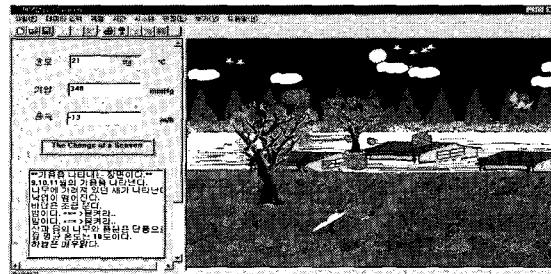
(b) 밤의 상황

(b) The situation at night

그림 9. 봄 장면

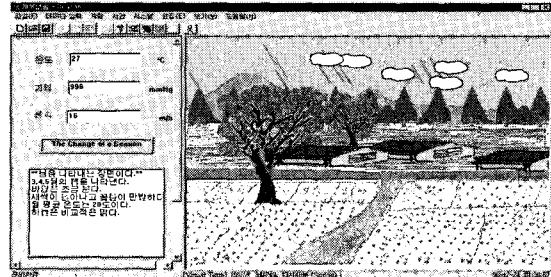
Fig. 9. Spring scene.

그림 10은 가을의 상황을 표현한 장면이며, 낙엽은 가지와 나뭇잎과의 결합력, 바람, 중력에 의해서 떨어지고 풍속에 의해서 이동 경로가 변한다. 그림 10의 (a)는 낙엽이 떨어지는 가을밤인 시공간적인 자연 현상을 나타내었으며, (b)는 비가 내리고 저온인 기상 현상을 표현하였다. 이러한 날씨의 상태가 다시 온도, 기압, 풍속에 영향으로 순환적인 사건의 발생이 가능하다. 그리고 의외의 사건 발생을 위해 사용자가 온도, 기압, 풍속을 제어함에 따라서 이에 해당하는 상황이 발생한다.



(a)낙엽의 낙하

(a) Falling leaves



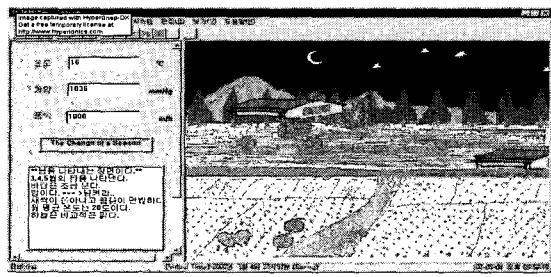
(b)기상 현상인 비

(b) Rain as the natural phenomenon

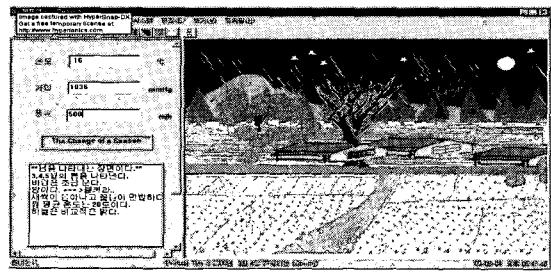
그림 10. 환경변수를 이용한 예

Fig. 10. An example using environment parameter.

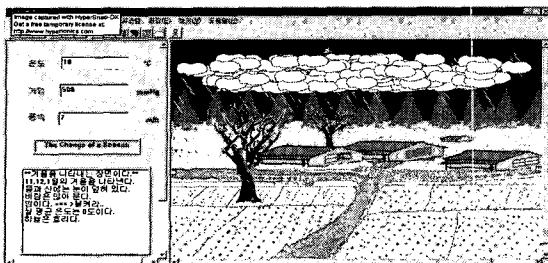
그림 11은 계절과 관계없이 나뭇잎이 떨어지는 상황이고 풍속이 강한 경우 나무와 집이 날아가는 상황, 맑은 날에 갑자기 온도와 기압을 가변시키면 번개가 발생하여 비가 내리는 뜻하지 않는 상황 등을 시뮬레이션 하였다.



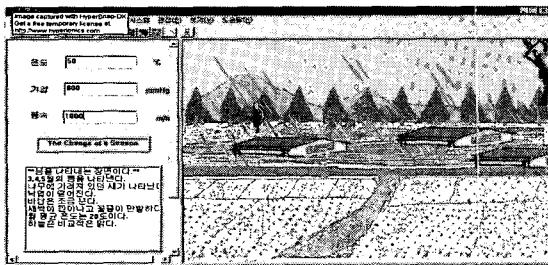
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 11. 사용자 개입에 의한 다양한 현상들
Fig. 11. Diverse Phenomena by user interrupt.

V. 결론 및 앞으로의 연구 방향.

본 논문에서는 동적인 환경을 시뮬레이션할 수 있는 논리적인 상황 표현방법을 제안하였고, 자연현상의 대표적인 예 중에서 계절의 변화를 시뮬레이션하였다. 현상에 대한 계층구조를 정의하였으며 개념적인 사건을 제안하였다. 그리고 자연현상에 대한 환경 계층적인 구조와 시뮬레이션을 위한 사건을 정의하였으며, 사건의 종류와 사건전이 그리고 인과성 사건을 세분하였다. 실제 자연현상은 인과성 사건의 세분화로 얻어지는 사건을 속성과 규칙으로 구성된 사건 전파 그래프(EPG)에서 표현하였으며 반복적인(Cycle) 경로를 형성하여 계속적인 변화가 가능하게 하였다. 결과적으로 동적인 자연 환경에 대한 시뮬레이션을 위해서 논리적인 인과 관계를 규명하였다. 특히 자연현상은 객체의 존재유무가 지배적인 영향을 미치는 것으로 정의하여 시뮬레이션하였다. 이러한 방법은 현실세계의 현상발생의 일반적이고 포괄적인 개념을 반영한 것이다. 본 논문에서는 제안하는 환경의 구축을 보다 다양한 수준의 변화를 위해서 사용자가 원시적(Original) 사건을 조절 가능하게 날씨의 매개 변수를 입력하여 새로운 현상과 사건이 발생 가능하게 하였다. 결론적으로 기존의 연구가 주로 동물, Agent 능력의 성장을 주 대상으로 여러 사

용자를 가상의 공간으로 유도하여 상황을 전개해 나가는 방법에서 생물이나 기타 날씨의 변화 즉, 환경의 변화로 상황을 유도할 수 확장된 가상환경의 가능성을 제안하였다.

컴퓨터를 이용한 보다 현격한 상황 시뮬레이터를 위해서는 자연어 처리를 통한 상황전개가 가능한 저작기의 연구가 필요하며, 사회현상의 지식구조에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Jane H. Murray, Stuart A. Malone, "The Structures of Advanced Multimedia Learning Environment: Reconfiguring Space, Time, Story, and Text," MIT Press, 1992.
- [2] Richard Angros, Jr. W.Lewis Johnson, Jeff Rickel, "Agents that Learn to Instruct," MIT, 1997.
- [3] Neil C.Rowe, Tomas P.Galvin "An Authoring System for intelligent procedural-skill Tutor," IEEE Intelligent System & their application, vol. 13, no. 11, pp. 61~69, may-june 1998.
- [4] David Franklin, "Cooperating with people: the Intelligent Classroom", Chicago, 1998.
- [5] Ravindra Krovi, Arthur C. Graesser, and William E "Agent Behaviors in Virtual Negotiation Environments," IEEE Transaction On Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Application and Reviews, vol. 29, no. 1, February 1999.
- [6] Y.Matsubara, "Virtual Learning Environment for Discovery Learning and Its Application on Operator Trainging," IEICE Transactions on Information & System, V.E80-D, N.2, 1997.
- [7] Stanley Y.P.Chien, Lucy Q.Xue, and Mathew Palakal "Task Planning for a Mobile Robot in an Indoor Environment Using Object-Oriented Domain Information," IEEE Transaction On System, Man, and Cybernetic- Part B: Cybernetics, Vol. 27, No. 6, December 1997.

- [8] Hanqiu Sun "A Relation-Based Model for Animating Adaptive Behavior in Dynamic Environments," IEEE Transaction On Systems, and Cybernetics-Part A: System and Humans, vol. 27, no. 2, March 1997.
- [9] Vijay Vasandani, and T.Govindaraj "Knowledge Organization in Intelligent Tutoring System for Diagnostic Problem Solving in Complex Dynamic Domains," IEEE Transaction On Systems, Man, and Cybernetics, vol. 25, no. 7, July 1995.
- [10] E.Ohmaye, "Simulation-Based Language Learning : An Architecture and a Multimedia Authoring Tool," Northwestern Univ, 1992.
- [11] Peng.Y and Reggia, J.A., "A Probabilistic Causal Model for Diagnostic Problem Solving - Park I : Integrating Symbolic Causal Inference with Numerical probabilistic Inference." IEEE Trans. on Systems. Man. and Cybernetics. vol. SMC-17, no.2, March/April 1987, pp. 146~162.
- [12] Luca Console and Pietro Torasso, "An Approach to the Compilation of Operational Knowledge from Causal Models." IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 22, no. 4, July/August 1987, pp. 772~788.
- [13] Bernard P. Zeigler, Tae H. Cho and Jerzy W. Rozenblit, "A Knowledge-Based Simulation Environment for Hierarchical Flexible Manufacturing." IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 26, no. 1, January 1996, pp. 81~90.

저자 소개



朴 正 容(學生會員)

1997년 2월 영남대학교 전자공학과
졸업 (공학사) 1999년 2월 경북대학
교 전자공학과 졸업(공학석사) 1999
년~현재 경북대학교 전자공학과 박
사과정 재학중. 주관심분야는 인공지
능, 데이터베이스 등임

朴 宗 慧(正會員) 第32卷 B編 第1號 參照