

게임에서 FSM-기반 확률 추정을 이용한 캐릭터의 행동제어

김형일[†], 윤현님^{**}

요 약

게임에서 캐릭터들의 행동제어는 게임 디자이너에 의해 결정되는 것이 일반적이다. 게임 디자이너에 의한 캐릭터의 행동제어는 정형화되어 있기 때문에 게임 사용자의 다양한 기대에 부응하지 못한다. 일반적으로 캐릭터의 행동제어에 사용되는 방식은 규칙기반이며, 규칙기반 중에 가장 많이 활용되는 방식이 FSM(finite state machine)이다. 그러나 규칙기반에 의한 행동제어는 게임의 흐름을 단순하게 만들며, 단순한 게임의 흐름에 게임 사용자는 쉽게 실증을 느낀다. 본 논문에서는 캐릭터의 행동제어에 FSM-기반 확률 추정을 적용하여 다양한 행동이 발생되도록 하는 캐릭터의 행동제어 기법을 제안한다.

The Control of Character's Behavior by Using FSM-Based Probability Estimation in Games

Hyungil Kim[†], Hyunnim Yoon^{**}

ABSTRACT

The control of character's behavior in games is determined by game designers. One of the popular method used in the control of character's behaviors is rule-based. The rule-based control of behavior makes the flow of play simple and boring. In this paper, we propose an efficient method of controlling character's behaviors which can generate various actions of characters by using probability estimation applied to the character's behaviors.

Key words: FSM(유한상태기계), Probability Estimation(확률 추정), Character(캐릭터), Games(게임)

1. 서 론

게임의 장르는 크게 아케이드(arcade), 어드벤처(adventure), 롤 플레이잉(role playing), 시뮬레이션(simulation) 등으로 나눌 수 있다. 각 장르마다 고유한 특성이 있으며, 장르에 따른 게임 환경의 요소들은 각각 다르다. 그리고 게임 환경의 요소들은 게임 산업이 발전하면서 게임 사용자의 기대에 부응하기 위해 기하급수적으로 증가되었다[1]. 게임 사용자에게 흥미를 부여하기 위한 게임 환경의 요소들 중 연

구가 시급히 필요한 분야는 캐릭터의 행동제어이며, 캐릭터의 특성은 게임의 장르에 따라 큰 차이를 나타낸다. 여러 장르의 게임에서 활용되는 게임 캐릭터들은 크게 게임 플레이어가 제어하는 플레이어 캐릭터(player character, PC)와 컴퓨터가 제어하는 자율 캐릭터(non-player character, NPC)로 나눌 수 있다.

특히, 자율 캐릭터는 게임에 흥미를 부여할 수 있는 중요한 요소로 작용한다. 자율 캐릭터는 게임 플레이어에게 긴장감을 주며, 자율 캐릭터의 다양한 상황 전개는 게임 사용자를 게임의 진행에 몰입시킨다.

※ 교신저자(Corresponding Author) : 윤현님, 주소 : 경기도 안성시 풍도읍 만정리 349-6번지(456-719), 전화 : 031) 650-7252, FAX : 031)650-7250, E-mail : yhnim@ans.ac.kr
접수일 : 2005년 1월 18일, 완료일 : 2005년 7월 22일

[†] 동국대학교 컴퓨터공학과 IT분야 교수요원
(E-mail : hikim@dongguk.edu)

^{**} 안성여자기독교대학 인터넷미디어과 교수

자율 캐릭터의 지능적 행동은 게임 플레이어에게 게임에 흥미를 느끼게 하는 중요한 요소로 작용하며, 자율 캐릭터의 자연스러운 다양한 행동 변화는 게임 플레이어에게 인간과 게임을 하는 것과 같은 착각을 일으키게 한다[2]. 그러나 자율 캐릭터의 행동제어는 쉬운 작업이 아니며, 자연스러움을 느낄 수 있도록 행동 변화를 발생시키는 것은 더욱 어려운 작업이다.

일반적으로 게임 디자이너는 게임 개발 초기에 규칙기반 방식으로 캐릭터의 행동 특성을 결정한다. 규칙기반 방식을 활용하는 이유는 규칙의 생성과 수정이 용이하기 때문이며, 규칙을 프로그래밍화하기도 수월하기 때문이다. 게임 디자이너가 캐릭터의 행동 특성을 결정할 때 많이 활용하는 방식 중의 하나는 FSM (finite state machine)이며, FSM은 상태 전이 규칙으로 상태가 변화되는 규칙기반 방식의 일종이다.

FSM의 핵심 요소로는 상태와 상태 전이가 있으며, FSM은 상태와 상태 전이를 이용하여 캐릭터의 행동 특성을 간단하고 명료하게 나타낼 수 있는 장점이 있다[3]. 그러나 이와 같은 장점은 복잡한 캐릭터의 특성이 필요한 경우에 단점으로 작용된다[4]. 즉, 복잡한 제어를 요구하는 캐릭터의 행동을 FSM을 활용하여 정의 내릴 경우 게임 디자이너는 캐릭터의 특성에 합당한 모든 규칙들을 결정하여야 하기 때문에 복잡한 특성을 소유한 캐릭터의 행동제어는 게임 디자이너에게 어려움으로 작용한다. 게임 디자이너가 복잡한 캐릭터의 특성을 생성하여도 게임 플레이어는 동일한 게임을 여러 번 수행할 경우 변화되지 않는 캐릭터의 행동에 지루함을 느낀다[5].

FSM을 이용한 자율 캐릭터의 행동제어에 변화를 주는 방법으로 상태에 확률을 적용하는 방법이 있다. 상태에 확률을 적용함으로써 다양한 상태로 변화될 수 있는 가능성이 자율 캐릭터의 행동에 내포된다. 그러나 상태에만 확률을 적용하게 되면 상태 전이에 대한 조건이 포함되지 않게 됨으로써 캐릭터의 행동에 부자연스러움이 나타날 수 있으며, 이와 같은 문제점은 전이 조건이 무시된 확률이 적용되었기 때문이다.

캐릭터가 특정한 상황에서 상태 전이에 영향을 미치는 요소를 상황 요소라 하며, 상황 요소는 자율 캐릭터의 상태 전이에 큰 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다. 이와 같은 상황 요소를 무시하고 상태 전이에 확률을 적용하면 자율 캐릭터의 자연스러운 행

동 변화를 얻어낼 수 없다.

본 논문에서는 자율 캐릭터의 행동제어에 상황 요소의 확률분포를 이용하여 상태 전이를 결정하는 상태 전이에 대한 예측 추정 기법을 제안한다. 상황 요소들의 유사도와 상태 전이 확률을 이용한 상태 전이 예측 기법을 자율 캐릭터의 행동제어에 활용함으로써 자연스러운 행동제어를 생성할 수 있다.

2. 관련 연구

게임의 수요는 전 세계적으로 빠르게 증가하고 있다[6-8]. 게임의 수요 증가는 다양한 사용자의 기대가 발생한다는 것을 의미하며, 다양한 사용자의 기대에 부응하기 위해서는 자연스런 행위를 발생시킬 수 있는 정교한 자율 캐릭터 행동제어를 설계하여야 한다. 자율 캐릭터들은 게임에서 다양한 역할을 수행하며, 게임의 수요가 증가됨에 따라 자율 캐릭터의 중요성이 증가되고 있다[9]. 자율 캐릭터의 중요성이 증가되는 이유는 게임에서 자율 캐릭터는 게임 플레이어와 경쟁하거나 협업하는 역할을 수행하기 때문이다. 그러나 자율 캐릭터의 설계는 게임 분야에서 어려운 작업 중에 하나이다[10]. 그러나 자율 캐릭터의 중요성이 부각된 것은 그리 오래되지 않았으며, 이와 같은 이유는 게임이 발전하면서 가장 많이 부각된 분야는 그래픽스나 디자인 분야이었기 때문이다. 또한 자율 캐릭터의 행동제어를 자연스럽게 하기 위해서는 인공지능 분야에서 활용되는 기법들이 적용되어야 하는데, 게임산업에 종사하는 연구원들의 대다수가 그래픽스를 연구하는 사람들이라는 것에서도 원인을 찾을 수 있다. 여러 원인으로 자율 캐릭터의 행동제어에 대한 연구는 정체되어 있으며, 아직도 중요한 분야이면서 활성화는 이루지 못한 분야가 자율 캐릭터의 행동제어 분야이다.

일반적으로 게임 캐릭터의 행동제어에 활용되는 방식은 규칙기반 방식으로 가장 많이 활용되는 방식은 IF-THEN 규칙과 FSM이며, 이 중에서도 IF-THEN 규칙이 가장 많이 활용되어 왔다[11]. 규칙기반 방식은 이해하기 쉬우며, 규칙의 생성 및 갱신이 수월하다. 그러나 이와 같은 규칙기반 방식 또한 게임의 규모가 커짐에 따라 많은 규칙이 필요하였으며, 방대한 행동 규칙은 컴퓨터에 부담으로 작용하기도 한다. 이와 같은 컴퓨터 부담을 해결하기 위해 게임 개발자들

은 사용자의 시각에 나타나지 않는 자율 캐릭터는 역할을 수행하지 않게 하는 방법을 사용하여 컴퓨터 부담을 경감시키기도 한다.

Nameee 등[12]은 여러 종류의 자율 캐릭터들이 게임 플레이어의 시야에 존재하지 않을 경우에도 자율 캐릭터의 고유한 행동을 수행하는 것과 같이 시스템에 기록한다. 그리고 게임 플레이어와 대면할 경우 시스템에 기록한 정보를 이용하여 게임 플레이어가 자율 캐릭터가 중지되었다는 것을 느끼지 못하도록 자연스럽게 자율 캐릭터의 행위를 재개시키거나 자율 캐릭터의 행동을 선택하도록 하여 게임 진행을 원활하게 하는 자율 캐릭터의 행동제어 메커니즘을 제안하였다. Nameee 등 자율 캐릭터를 게임 플레이어의 행위에 단순한 반응을 나타내는 반응형, 특정한 목적을 수행하는 목적형, 반응형과 목적형을 혼합한 혼합형으로 나누었으며, 각각의 자율 캐릭터의 행동 제어에는 IF-THEN 규칙을 활용하였다. 자율 캐릭터의 행동제어에 IF-THEN 규칙을 활용함으로써 다양한 행동 규칙을 생성할 수 없는 단점이 있다.

Robert 등[13]은 자율 캐릭터의 행동제어를 위해 자율 캐릭터를 동기, 분류, 행동의 세 가지 모듈로 계층적으로 구성하는 방법을 제안하였으며, 제안된 방법은 자연스런 행동의 세기(정도)를 발생시킬 수 있다. Robert 등은 MMORPG(massively multi-player online role playing game) 게임에서 적합한 자율 캐릭터의 행동 선택을 위해 제시한 방법은 MHiCS(modular and hierarchical classifier system) 방법으로 각 자율 캐릭터들을 동기(motivation), 행동 선택을 위한 분류(classifier), 행동(action) 모듈로 구성하며, 세 가지 모듈은 동기, 분류, 행동 순으로 계층적으로 구성된다. 즉, 감지된 정보에 따라 동기의 상태를 결정하고, 동기의 상태에 따라 행동을 선택하며, 선택된 행동에 따라 행동의 세기 등을 결정하는 구조로 되어 있다. 동기와 분류 모듈은 IF-THEN 규칙들을 이용하여 다음 상태를 결정한다. 다양한 행동 세기에는 장점이 있을 수 있으나 MHiCS 또한 IF-THEN 규칙을 기반으로 하기 때문에 새로운 환경에 대응하지 못하는 구조이다.

Mateas 등[14]은 자율 캐릭터들의 반응 행동계획 언어인 ABL(a behavior language)을 제안하였으며, 여러 캐릭터의 행동을 제어하기 위해 ABL을 이용하였다. ABL은 외부 신호를 받아들이는 감지 기관에 대한 일반화된 메커니즘을 제공하며, 활성 행동 트리

인 ABT(active behavior tree)를 제공하고, 현재의 ABT 위치에 외부에서 감지된 실시간 상태들을 반영하여 수정할 수 있는 기능 등을 제공한다. 그러나 ABT 메커니즘은 게임 프로그래머가 캐릭터 제어에 전적인 관여를 하여야 하는 단점이 있다.

게임의 크기가 커지고 게임 캐릭터의 상호작용이 복잡해지면서 규칙기반 방식만을 활용하여 게임 규칙을 생성하게 되면 게임 규칙들이 올바르게 구현되었는지 검증하기란 쉬운 일이 아니며, 게임을 출시하기 전에 이러한 문제들을 찾아내는 것 또한 어려운 작업이다. 그러나 실제 게임을 진행하면서 진행 결과가 게임 규칙을 벗어나는 가를 확인하는 것은 그다지 어렵지 않다. 이와 같은 문제의 근간에는 규칙기반 방식이 존재하기 때문이다. 그러나 정형화된 규칙기반 방식을 활용하여 다양한 게임 규칙을 생성시키면 검증하기 어려운 복잡한 게임 규칙이 발생될 수 있다.

DeLap 등[15]은 대규모의 다중 사용자 게임에서 실시간 검사 시스템을 활용하여 자율 캐릭터를 포함한 게임 규칙에 위배되는 경우를 탐지하는 기법을 제안하였으며, 제안된 기법은 실시간 감시를 통해 게임 규칙의 문제점을 탐지한다. 예를 들면 게임 캐릭터의 돈과 체력 등을 일정한 시간 간격으로 검사하며, 검사하는 시간 간격 안에 벌어들일 수 있는 돈과 체력들의 최대값을 임계값으로 미리 설정하여 게임의 실시간 검사에서 캐릭터의 돈이나 체력이 갑작스럽게 증가 또는 감소하였을 경우 게임 규칙의 문제점으로 간주한다. 이와 같이 캐릭터의 행동 규칙에 대해 감시가 필요한 이유는 캐릭터의 행동제어를 규칙기반 방식에 의존하기 때문이다. 복잡한 게임 구조에서 단순한 구조의 규칙기반 방식만을 이용하여 다양한 캐릭터의 행동제어를 발생시키기 위해서는 많은 종류의 규칙 생성이 필요하며, 많은 종류의 규칙 생성은 올바른 행동 규칙 검증에 어려움을 발생시키게 된다.

본 논문에서는 캐릭터의 행동제어에 FSM 기반 확률 추정 기법을 사용하여 캐릭터의 특성을 유지하면서 새로운 상황에 대해 자연스럽게 대처할 수 있는 방법을 제안한다.

3. FSM

3.1 FSM의 생성과 활용

1900년, 독일의 수학자 힐버트(Hilbert)는 모든 수

학 명제들은 무모순성, 결정가능성, 완전성이라는 형식체계 내에서 공리를 이용하여 형식적으로 증명할 수 있다고 주장하였다. 즉, 유한(finite) 형식과 절차에 의한 유한적 형식화 방법을 통하여 수학 명제를 증명할 수 있다는 것이다. 그러나 힐버트의 형식논리학은 괴델(Gödel)과 처치 Church의 결정불가능성(undecidability)에 대한 연구로 한계를 드러냈다.

그 후, 힐버트와 괴델의 증명으로부터 튜링(Turing)은 증명 불가능한 명제와 증명 가능한 명제의 구별에 관해 연구하여 계산 가능성 이론(computability theory)이라는 수리논리적 형식체계를 발표하였다. 그리고 튜링기계(turing machine)라는 추상적 기계 개념을 제시하였다[16].

튜링기계는 이론적으로 생각할 수 있는 계산은 어떤 것도 수행할 수 있는 기계를 의미한다. 튜링기계는 무한한 길이의 테이프(tape)와 그 테이프에 기록된 기호를 판독하는 판독기(scanner)로 구성된다. 테이프는 여러 칸으로 나누어지고 각각의 칸은 공란이나 일정한 종류의 기호로 채워지게 된다. 튜링기계의 연산은 테이프에 대하여 오른쪽으로 이동, 왼쪽으로 이동, 지우기, 프린트라는 네 가지 동작(move)이다. 이러한 간단한 연산만으로 기계는 이항(binary) 코드 내에서 표현될 수 있는 어떠한 계획이나 프로그램도 수행할 수 있다는 것이다. 즉, 과제를 수행하기 위해 필요한 단계들을 명백하게 표현할 수 있다면, 단순히 지시(instruction)를 수행하고 테이프를 판독하는 튜링기계에 의해 모든 알고리즘이 프로그래밍 되어 수행될 수 있다는 것이다[16]. 튜링기계는 상태기계(state machine)에 대한 시초가 되었으며, Huffman[17]과 Moore[18] 그리고 Mealy[19]에 의해 FSM으로 발전하였다[20].

FSM이 활용되는 분야는 컴퓨터의 근간이 되는 이론인 만큼 디지털 논리회로(digital logic gate), 컴파일러(compiler), 인공지능(artificial intelligence) 등이다.

디지털 논리회로에 대한 FSM의 예로는 컴퓨터를 들 수 있다. 컴퓨터는 디지털 논리회로의 결집체이면서 튜링기계와 거의 흡사한 구조를 지니기 때문이다. 컴퓨터에는 유한개의 레지스터와 기억장치들이 사용되며, 이 장치들의 값을 변화하기 위한 명령이 제공된다. 즉, 레지스터와 기억장치들의 기록 상태가 컴퓨터의 상태를 의미하며, 연산 명령은 입력값을 의

미한다[21].

언어학자 촘스키(Chomsky)는 언어를 생성규칙의 형태에 따라 네 종류의 문법으로 구분하였다. 그 중 정규 언어란 네 가지 문법 형태 중 가장 간단한 형태인 정규 문법(regular grammar)에 의해 생성될 수 있는 언어이다. 이 정규 언어의 문자열을 입력으로 받아 그 문자열이 정규 언어에 속하면 'yes'를 답하고 그렇지 않으면 'no'를 답하는 기능을 수행하는 인식기가 FSM의 한 형태이며, 이것을 유한오토마타(finite automata)라 한다[22].

FSM의 역사적 배경에서 알 수 있듯이, 힐버트와 튜링의 연구는 지식체계를 부호화하고 논리화하는 인공지능의 논리학적 근간이 되었다[16]. 일반적으로 인공지능에서 FSM의 바탕이 되는 것은 규칙(rule)이며, 규칙들의 연결 관계를 명료하게 시각화시킬 수 있는 가장 좋은 도구가 FSM이다.

특히, FSM은 자원 관리의 편리성으로 게임 내에서 발생하는 상황에 반응하게 되어있는 자율 캐릭터의 행동제어와 같은 게임 인공지능 분야에서 널리 활용되며, FSM은 게임 속에서 다양하게 적용될 수 있다. 예를 들면 FSM을 전체 게임 세계를 관리하는 기반 구조에 적용하거나 자율 캐릭터의 감정 또는 행동에 대한 결정에 적용할 수 있다.

3.2 FSM의 상태 전이

FSM은 유한한 상태(state)들의 집합이라 할 수 있으며, 이러한 유한한 상태들은 전이(transition)에 의해 상태 변화가 발생한다. 상태는 전이를 기준으로 현재 상태와 출력 상태로 구분될 수 있으며, 현재 상태에서 출력 상태로 전이되도록 유도하는 작용을 하는 것을 입력이라 한다. 일반적으로 현재 상태는 상태 전이 규칙에 의해 출력 상태로 전이되는 방식을 따른다.

예를 들어 자율 캐릭터가 예술품 전시관에서 예술품을 관람한다고 가정하면 자율 캐릭터는 관심도가 높은 예술품만을 관람하게 될 것이다. 본 가정에서 캐릭터의 상태를 휴식, 탐색, 대기, 관람, 감동이라 가정하고, 캐릭터의 상태 전이에 대한 입력을 감상 욕구, 관심도, 대기시간, 체력, 감상 만족도이라 가정하자. 그러면 자율 캐릭터의 상태 전이는 감상 욕구, 관심도, 대기시간, 체력 상태, 감상 만족도에 따라 결정된다.

그림 1은 FSM을 이용한 자율 캐릭터의 예술품

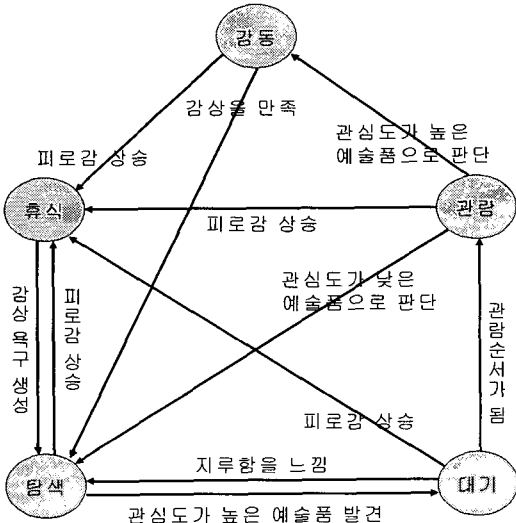


그림 1. 예술품 관람에 대한 상태 전이도

관람에 대한 상태 전이도이다. 그림 1에서 나타난 것은 자율 캐릭터가 예술품 전시관에서 예술품을 관람하는 과정에서 발생될 수 있는 유한한 상태를 결정하여 상태 전이를 나타낸 그림이다.

그림 1에 나타난 바와 같이 자율 캐릭터는 예술품 전시관에서 관심도가 높은 예술품을 탐색하고 다니게 되며, 관심도가 높은 예술품을 발견하였을 경우에는 관람을 위해 순서를 기다리고, 관람순서가 되면 예술품을 관람한다. 그러나 대기시간이 길어지면 체력이 저하되어 자율 캐릭터는 휴식을 원하게 된다. 이 경우 자율 캐릭터는 예술품 관람을 포기하고 대기 상태에서 휴식 상태로 전이하게 되며, 상태 전이에 작용한 입력은 피로감이 된다. 휴식 상태에서 체력을 보강하여 예술품 감상에 대한 욕구가 생성되면 자율 캐릭터는 예술품 관람을 위해 전시관을 탐색하게 된다. 탐색 상태에서 관심도가 높은 예술품을 확인한 자율 캐릭터는 관람순서를 기다리는 대기 상태로 전이한 후 관람순서가 되면 예술품을 관람하는 관람 상태로 전이된다. 예술품 관람 시 관람 대상이 되는 예술품을 관심도 낮은 예술품으로 판단하게 되면 다른 예술품 관람을 위해 탐색 상태로 전이되거나 관람 대상이 되는 예술품을 관심도가 높은 예술품이라 판단하면 감동 상태로 전이된다. 감동 상태에서 자율 캐릭터는 예술품 감상에 만족을 느낄 때까지 감동 상태를 유지하게 되고, 감상에 대한 만족을 느끼게 되면 다른 예술품 관람을 위해 탐색 상태로 전이되거

나 체력 저하로 인해 휴식 상태로 전이된다.

그림 1에 나타난 상태 전이도는 상태 전이 규칙을 기반으로 한다. 상태 전이 규칙에 나타난 상태들은 현재 상태와 출력 상태로 구분할 수 있으며, 현재 상태에서 출력 상태로 전이되는 원인은 현재 상황에 대한 입력에 따른다. 그림 1에서 화살표의 시작 지점은 현재 상태가 되고, 화살표의 종료 지점은 출력 상태가 된다. 현재 상태에서 출력 상태로 전이될 경우 화살표에 나타난 입력에 따라 상태 전이가 결정된다.

표 1은 예술품 관람에 대한 상태 전이 규칙을 나타낸 표이며, 그림 1에 나타난 상태 전이도의 기반 규칙이 된다.

자율 캐릭터의 상태는 표에 나타난 상태 전이 규칙에 의해 결정되며, 전이 규칙에 작용하는 요소는 입력에 따른다. 이와 같은 상태 전이 규칙들은 자율 캐릭터가 지능을 소유한 캐릭터와 같이 행동하는 것을 목적으로 한다. 캐릭터의 행동에 대한 정밀한 묘사를 위해서는 정밀한 묘사를 가능하게 하는 다양한 상태 전이 규칙들을 생성하여야 한다. 그러므로 게임 디자이너가 복잡한 특성을 소유한 자율 캐릭터의 상태 전이 규칙을 모두 생성한다는 것은 거의 불가능한 작업이다.

표 1. 예술품 관람에 대한 상태 전이 규칙

현재 상태	입력	출력 상태
휴식	감상 욕구 생성	탐색
탐색	피로감 상승	휴식
탐색	관심도가 높은 예술품 발견	대기
대기	피로감 상승	휴식
대기	지루함을 느낌	탐색
대기	관람순서가 됨	관람
관람	피로감 상승	휴식
관람	관심도가 낮은 예술품으로 판단	탐색
관람	관심도가 높은 예술품으로 판단	감동
감동	피로감 상승	휴식
감동	감상을 만족	탐색

4. 상태 전이에 대한 확률 추정 기법

초기의 게임에서는 FSM의 적용만으로도 게임 사용자들에게 큰 호응을 얻을 수 있었으나, 게임은 점차 장르가 다양해지고 게임 사용자들의 요구 또한 다양

해져 간단한 FSM의 적용만으로 게임 사용자의 기대에 부응할 수 없는 상황이 되었다. 그러나 FSM은 여전히 자율 캐릭터의 행동제어에 활용되고 있으며, 명료한 규칙 생성 방법으로 자율 캐릭터의 행동제어에 좋은 도구로 활용될 수 있는 기법임에는 확실하다.

본 논문에서는 자율 캐릭터의 상태 전이에 상황 요소의 확률분포를 이용하여 상태 전이를 예측할 수 있도록 상태 전이에 대한 확률 추정 기법을 제안한다. 캐릭터의 상태 전이에 확률 추정 기법을 적용함으로써 지능적 자율 캐릭터를 생성할 수 있으며, 게임 디자이너는 자율 캐릭터의 행동 규칙을 편리하게 생성할 수 있다.

지능적 자율 캐릭터라 함은 여러 가지 상황에서 다양한 행위를 나타낼 수 있는 지능화된 캐릭터라 할 수 있으며, 지능적 자율 캐릭터는 게임의 진행 상황에 따라 게임 플레이어가 납득할 정도의 자연스러운 행동 변화를 기반으로 한다.

예를 들어 예술품 전시관에서 예술품을 관람하는 자율 캐릭터들이 남성과 여성으로 나뉜다고 가정하면 남성 자율 캐릭터는 여성 자율 캐릭터보다 오랜 시간을 탐색을 하더라도 피곤함을 덜 느껴야 한다. 그리고 자율 캐릭터에 직업 요소가 가미되면 예술가의 직업을 소유한 자율 캐릭터는 사업가인 자율 캐릭터보다 높은 예술품 판단 능력이 소유되어 있어야 한다. 그러므로 자율 캐릭터가 가지는 특성에 따라 상황 요소의 활용 정도는 서로 달라야 한다.

본 논문에서는 자율 캐릭터의 행동제어에 FSM 기반 확률 추정 기법을 적용함으로써 자율 캐릭터의 행동제어를 자연스럽게 생성하였으며, FSM 기반 확률 추정 기법은 상황 요소를 기반으로 상태 전이에 대한 확률을 추정함으로써 새로운 사례(상황)가 발생되었을 경우 자연스러운 상태 전이를 발생시킨다. FSM 기반 확률 추정 기법은 새롭게 발생한 사례에 대한 상황 요소와 과거에 발생한 사례에 대한 상황 요소의 유사도를 측정된 후, 과거에 발생한 사례들의 상태 전이 확률을 상황 요소 유사도와 결합하여 다음 상태를 결정한다.

상태 전이에 대한 확률 추정은 다음과 같이 계산된다. 먼저 확률 추정에 사용되는 기호를 정의하고, 확률 추정 기법에 대해 설명한다.

게임 상황에서 발생할 수 있는 상태(state)를 S라 정의하고, 발생할 수 있는 모든 상태는 네 가지로 가

정하며, 상태에서 발생할 수 있는 속성들은 총 여섯 가지로 가정한다. 기존의 사례 중에 i 상태(S_i)에서 j 상태(S_j)로 전이된 경우를 $S_{i,j}$ 라 하고, i 상태(S_i)에서 다음 상태를 결정하지 못한 경우를 $S_{i,x}$ 라 가정한다. 그러므로 새로운 사례는 발생한 상태만 존재하고 전이될 상태는 미결정으로 남기 때문에 미결정된 다음 상태를 x 상태로 정의한다. i 상태(S_i)에서 발생한 새로운 사례 $S_{i,x}$ 의 다음 상태인 x 상태를 결정하는 기법이 상태 전이에 대한 확률 추정 기법이다.

기존(과거) 사례 $S_{i,j}$ 와 새로운 사례 $S_{i,x}$ 의 유사도(similarity)를 $Sim(S_{i,j}, S_{i,x})$ 라 하고, 기존 사례 $S_{i,j}$ 에서 발생한 상황 요소를 $\langle 0,0,1,1,1,1 \rangle$ 이라 가정하자. 상황 요소에 나타난 '0'은 상황 요소가 발생되지 않은 것을 의미하고, '1'은 상황 요소가 발생된 것을 의미한다. 즉, 기존 사례의 상황 요소 $\langle 0,0,1,1,1,1 \rangle$ 는 여섯 가지의 상황 요소들 중에 네 가지의 상황 요소만이 발생한 것이고, 이와 같은 네 가지의 상황 요소가 i 상태(S_i)에 발생할 경우 j 상태(S_j)로 전이된다는 것을 의미한다.

새로운 사례 $S_{i,x}$ 의 상황 요소를 $\langle 0,0,0,0,1,1 \rangle$ 이라 가정할 경우 기존 사례 $S_{i,j}$ 와 새로운 사례 $S_{i,x}$ 의 동일한 상황 요소가 발생한 빈도(frequency)를 $A.freq(S_{i,j} \cap S_{i,x})$ 라 한다. 기존 사례 $S_{i,j}$ 에서 발생한 상황 요소가 $\langle 0,0,1,1,1,1 \rangle$ 이고, 새로운 사례 $S_{i,x}$ 의 상황 요소가 $\langle 0,0,0,1,1,1 \rangle$ 일 때 동일한 상황 요소가 발생한 경우는 다섯 번째와 여섯 번째 상황 요소가 되므로 동일한 상황 요소 발생 빈도는 2가 되어 $A.freq(S_{i,j} \cap S_{i,x})=2$ 이다. 그리고 기존 사례 $S_{i,j}$ 에서 발생한 상황 요소가 $\langle 0,0,1,1,1,1 \rangle$ 이므로 발생한 상황 요소들은 첫 번째와 두 번째를 제외한 네 가지 요소들이므로 발생한 상황 요소 빈도는 4가 되어 $A.freq(S_{i,j})=4$ 이다. 이와 같은 경우 기존 사례 $S_{i,j}$ 와 새로운 사례 $S_{i,x}$ 의 유사도 $Sim(S_{i,j}, S_{i,x})=0.5$ 이고, 유사도 공식은 (1)과 같다.

$$Sim(S_{i,j}, S_{i,x}) = \frac{A.freq(S_{i,j} \cap S_{i,x})}{A.freq(S_{i,j})} \quad (1)$$

i 상태에서 j 상태로 전이할 확률(probability)을 $Prob(S_{i,j})$ 라 정의하며, 상태 전이 확률은 (2)와 같다. $T.freq(S_{i,j})$ 는 i 상태에서 j 상태로 전이가 발생한 사례의 빈도를 뜻하며, $T.freq(S_i)$ 는 j 상태로 전이가 발생한 모든 사례의 빈도를 나타낸다. 즉, i 상태에서

j 상태로 전이할 확률 $Prob(S_{i,j})$ 은 j 상태로 전이가 발생한 모든 사례들에 대한 i 상태에서 j 상태로 전이가 발생한 사례들의 확률을 의미한다. 예를 들어 j 상태로 전이를 발생시킨 사례들의 빈도가 14이고, i 상태에서 j 상태로 전이를 발생시킨 사례들의 빈도가 5인 경우 $Prob(S_{i,j}) = \frac{5}{14} = 0.36$ 이다.

$$Prob(S_{i,j}) = \frac{T.freq(S_{i,j})}{T.freq(S_i)} \quad (2)$$

새로운 사례가 i 상태에서 발생하였을 경우 i 상태에서 j 상태로 전이할 확률 추정(probability estimation)을 $PE(S_{i,j})$ 라 정의하며, 상태 전이에 대한 확률 추정은 (3)과 같다. i 상태에서 j 상태로 전이할 확률 추정 $PE(S_{i,j})$ 에서 $\Sigma[Sim(S_{i,j}, S_{i,r}) \cdot Prob(S_{i,j})]$ 은 새로운 사례 $S_{i,j}$ 가 발생한 i 상태에서 새로운 사례와 i 상태에서 j 상태로 전이한 유사성을 소유한 기존 사례 $S_{i,r}$ 의 유사도와 i 상태에서 j 상태로 전이할 상태 전이 확률을 곱한 것이다. 이와 같은 계산을 유사성을 나타내는 모든 기존 사례들에 적용하여 누적한 후, 유사성을 나타내는 모든 기존 사례의 총수 n으로 나누어 새로운 사례 $S_{i,j}$ 가 i 상태에서 j 상태로 전이할 확률을 추정한다. 즉, 상태 전이에 대한 확률 추정은 특정한 입력 상태에 영향을 주는 상황 요소를 기반으로 입력 상태와 출력 상태의 확률을 이용하여 새로운 상황 요소가 발생하였을 경우 출력 상태를 결정한다. 상태 전이에 대한 확률 추정은 유사도가 높고 상태 전이에 대한 발생 확률이 높은 사례에 높은 확률값이 나타난다.

$$PE(S_{i,j}) = \frac{\Sigma[Sim(S_{i,j}, S_{i,r}) \cdot Prob(S_{i,j})]}{n} \quad (3)$$

상태 전이에 대한 확률 추정 $PE(S_{i,j})$ 는 특정한 입력 상태에 영향을 주는 상황 요소를 기반으로 입력 상태와 출력 상태의 확률을 이용하여 새로운 상황 요소가 발생하였을 경우 출력 상태를 결정한다. 상태 전이에 대한 확률 추정은 사례에 대한 상황 요소 유사도가 높고 상태 전이 발생 확률이 높은 사례에 높은

확률을 나타내며, 상태 전이에 대한 확률 추정을 적용함으로 자율 캐릭터는 새로운 상황에 처해도 상황 요소에 기반하여 자연스러운 행동을 결정할 수 있다.

표 2에 새로운 사례의 확률 추정치에 대한 계산 방법을 간단한 예제로 나타내었으며, 새로운 사례에 대한 확률 추정치 계산 방법에 대한 설명은 다음과 같다.

예를 들어 i 상태에서 새로운 사례($S_{i,j}$)의 상황 요소 벡터 <0,0,0,0,1,1>가 발생되고, i 상태에서 전이될 수 있는 상태는 j 상태와 k 상태만 있다고 가정하자. 그리고 새로운 사례의 상황 요소 벡터가 j 상태의 상황 요소 벡터들과 유사성을 나타내는 경우는 총 두 가지만 있고, 새로운 사례의 상황 요소 벡터와 유사성을 나타내는 두 가지 사례의 상황 요소 벡터와의 유사도는 각각 80%라 가정한다. 그리고 i 상태에서 j 상태로 전이가 발생한 전이 발생 빈도는 3이고, i 상태에서 j 상태로 전이가 발생할 확률을 30%라 가정한다. 이 경우 i 상태에서 j 상태로 전이할 확률 추정치 $PE(S_{i,j})$ 는 0.16이다. 새로운 사례의 상황 요소 벡터가 k 상태의 상황 요소 벡터들과 유사성을 나타내는 경우는 총 네 가지만 있고, 새로운 사례의 상황 요소 벡터와 유사성을 나타내는 네 가지 사례의 상황 요소 벡터와의 유사도는 각각 10%라 가정한다. 그리고 i 상태에서 k 상태로 전이가 발생한 전이 발생 빈도는 5이고, i 상태에서 k 상태로 전이가 발생할 확률을 50%라 가정한다. 이 경우 i 상태에서 k 상태로 전이할 확률 추정치 $PE(S_{i,k})$ 는 0.04이다. 이와 같은 결과로 새로운 사례($S_{i,r}$)는 i 상태에서 j 상태로 전이된다.

표 3은 예술품 전시관에서 자율 캐릭터가 예술품을 감상하는 것을 예로 하여 자율 캐릭터가 현재 상태(S_3 상태)에서 음악, 의자, 음악, 대기시간, 탐색시간, 체험이라는 상황 요소의 존재 또는 활용 유·무에 따라 상태 전이의 발생을 예제로 나타낸다.

사례 14(Case_14)를 예를 들어 설명하면 사례 14의 상황 요소 벡터는 6차원으로 <1,1,0,0,0,0>이고, 상태 전이 벡터는 4차원으로 <0,0,0,1>이다. 상황 요소 벡터 <1,1,0,0,0,0>은 자율 캐릭터가 현재 상태(S_3)

표 2. 새로운 사례의 확률 추정

i 상태에서 새로운 사례($S_{i,r}$)의 확률 추정치 계산	
i 상태에서 j 상태로 전이할 확률 추정치 $PE(S_{i,j})$	$PE(S_{i,j}) = [(0.8 \cdot 0.3) \cdot 2] / 3 = 0.16$
i 상태에서 k 상태로 전이할 확률 추정치 $PE(S_{i,k})$	$PE(S_{i,k}) = [(0.1 \cdot 0.5) \cdot 4] / 5 = 0.04$

표 3. 예술품 전시관에서 자율 캐릭터의 상태 전이

현재 상태(S ₃)	상황 요소						상태 전이			
	음식	의자	음악	대기 시간	탐색 시간	체험	S ₃ →S ₀ (S _{3,0})	S ₃ →S ₁ (S _{3,1})	S ₃ →S ₂ (S _{3,2})	S ₃ →S ₄ (S _{3,4})
Case_01	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
Case_02	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
Case_03	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0
Case_04	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0
Case_05	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
Case_06	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Case_07	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Case_08	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
Case_09	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0
Case_10	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
Case_11	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0
Case_12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Case_13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Case_14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
합계	5	6	2	5	3	9	8	9	3	5
확률	0.16	0.19	0.06	0.16	0.09	0.28	0.57	0.64	0.21	0.36

에서 음식을 제공 받았고 의자를 사용한 바 있다는 것을 의미하며, 대기시간과 탐색시간은 길지 않았고 예술품에 대한 체험 경험은 없다는 것을 의미하는 상황 요소 벡터이다. 상태 전이 벡터 <0,0,0,1>은 전이된 상태가 S₄라는 것을 의미한다. 즉, 사례 14는 자율 캐릭터가 현재 상태(S₃)에서 <1,1,0,0,0>인 상황 요소가 발생되었을 경우 <0,0,0,1>인 상태 전이 벡터가 발생되었다는 것을 의미하므로 자율 캐릭터는 해당 상황 요소가 현재 상태(S₃)에서 발생하였을 경우 S₃ 상태에서 S₄ 상태로 전이한다는 것을 나타낸다.

상황 요소에서 음식은 제공되는 경우와 제공되지 않는 경우가 발생할 수 있으며, 음식 요소는 자율 캐릭터가 음식을 섭취할 수 있는 경우를 발생시켜 자율 캐릭터가 에너지를 보충할 수 있게 하는 요소이다. 상황 요소에서 음악은 음악이 연주되는 경우와 음악이 연주되지 않는 경우만이 존재한다. 예를 들어 예술품 전시관에서 아름다운 음악이 연주되는 상황이 전개되면 자율 캐릭터는 안정감을 찾을 수 있게 되어 긴 순서를 참아 낼 수 있게 된다. 전시관에서 특정 예술품을 감상하기 위해서 줄을 서고 있을 경우 의자라는 요소가 존재한다면 쉬면서 순서를 기다릴 수 있기 때문에 피로감의 누적이 적게 된다. 탐색시간이

나 대기시간이 길게 되면 캐릭터의 피로감은 증가된다. 자율 캐릭터가 감상하였던 작품을 다시 감상하게 되면 감동을 느끼기 보다는 다른 예술품을 감상하기 위해 탐색을 시도하게 되며, 이와 같은 상황을 나타낼 수 있는 요소는 체험이다.

표 3에 나타난 상황 요소들의 값은 상황 요소의 발생 유·무만을 나타낸다. 상태 전이에 나타난 S₃→S₀(또는 S_{3,0})는 S₃ 상태에서 S₀ 상태로 전이되는 것을 나타내는 것으로 화살표의 시작 지점은 현재 상태를 나타내고 화살표의 종료 지점은 전이된 출력 상태를 나타낸다.

표 3에 나타난 예제에서 자율 캐릭터는 14가지의 사례를 가지고 있으며, 각각의 사례들은 자율 캐릭터가 특정 상황에서 상태 전이가 발생되었을 경우 상황 요소들의 발생 유·무를 나타낸다. 표 3에 나타난 사례에 따르면 자율 캐릭터는 S₃ 상태에서 각 요소들이 발생한 확률은 음식이 19%, 의자가 22%, 음악이 6%, 대기시간이 16%, 탐색시간이 9%, 체험이 28%로 나타난다. 그리고 상태 전이 확률은 S₀가 36%, S₁이 43%, S₂가 0% 그리고 S₄가 21%로 나타난다.

표 3에 나타난 사례들을 전제로 하여 자율 캐릭터에 새로운 사례의 상황 요소 벡터가 <0,0,1,1,1,1>로

입력되었다 가정하고, 새로운 사례를 Case_15라 가정하자. 이와 같은 상황에서 상태에 확률을 적용한 상태 기반 전이 확률 기법과 본 논문에서 제안한 상황 요소 기반 확률 추정 기법을 비교하면 다음과 같다.

FSM에서 상태에 확률을 적용한 경우 Case_15는 S₁으로 전이될 확률이 가장 높으며, S₀로 전이될 확률은 S₁으로 전이될 확률보다 작다. 즉, 현재 상태 S₁에서 출력 상태로 S₁이 채택될 확률은 43%이고, S₀가 채택될 확률은 36%이다.

상황 요소 기반 확률 추정 기법을 이용하여 새로운 사례 Case_15의 상태 전이를 결정하면 다음과 같다. 출력 상태 S₀에 포함된 사례는 Case_01, Case_02, Case_03, Case_04, Case_05이다. Case_01과 새로운 사례 Case_15와는 대기시간, 탐색시간, 체험이라는 활용 요소가 동일하게 활용되었으므로 3/4만큼 유사한 경우이다. 상태 S₃에서 상태 S₀로 전이될 수 있는 확률은 전체 전이 총수가 14이므로 36%이다. 그러므로 상태 전이에 대한 확률 추정 $PE(S_{3,0})$ 는 (4)에 의해 0.198이 된다. 그리고 (4)와 동일한 방법으로 상태 전이에 대한 확률 추정 $PE(S_{3,1})$ 를 구하면 0.143이 된다. 상태 S₃에서 상태 S₂로 전이될 확률 추정은 $PE(S_{3,2})$ 로 계산하면 0이 되고, S₃ 상태에서 S₄ 상태로 전이될 확률 추정은 $PE(S_{3,4})$ 로 계산하면 0이 된다. 그러므로 S₃ 상태에서 발생한 새로운 사례 Case_15는 S₃ 상태에서 S₀ 상태로 전이된다.

$$PE(S_{3,0}) = \left[\left(\frac{3}{4} \cdot 0.36 \right) + \left(\frac{2}{4} \cdot 0.36 \right) \cdot 4 \right] / 5 = 0.198 \quad (4)$$

일반적으로 자율 캐릭터의 상태 전이는 상황 요소들에 의해 결정되며, 상황 요소들의 활용 정도는 자율 캐릭터의 특성을 나타낸다. 상황 요소의 발생 가능 정도를 확률분포에 적용함으로써 자율 캐릭터의 특성을 유지시키면서 행동제어를 자연스럽게 유도할 수 있으며, 상태 전이 사례를 기반으로 자율 캐릭터의 행동을 학습시킴으로써 다양한 상황에 대처할

수 있다.

본 논문에서 제안한 상태 전이에 대한 확률 추정 기법을 자율 캐릭터의 상태 전이에 적용함으로써 자율 캐릭터는 새로운 상황에 대처할 수 있으며, 상황 학습을 수행할 수 있다. 즉, 자율 캐릭터의 다양한 행동제어와 학습을 위해 상태 전이에 대한 확률 추정을 적용함으로써 자율 캐릭터 고유의 특성을 유지하면서 새로운 상황에 대한 캐릭터의 행동을 제어할 수 있다. 상태 전이에 대한 확률 추정 기법은 새로운 사례가 발생되었을 경우 기존의 사례들과 유사도를 계산하고, 기존의 사례에서 나타난 상태 전이 확률을 이용하여 상태 전이를 결정한다.

5. 성능 실험

5.1 실험 방법

실험에 사용한 데이터는 가상 데이터로 상태가 전이될 수 있는 경우는 총 다섯 가지로 한정하였으며, 각 상태에서 발생할 수 있는 상황 요소들은 여섯 개로 한정하였다. 총 다섯 가지의 상태 전이가 발생하고 각 상태에는 여섯 개의 상황 요소들이 존재하므로 총 상황 요소의 종류는 삼십 가지이다. 이와 같이 생성한 가상 데이터의 일부를 표 4에 나타냈었다.

표 4에 나타난 상황 요소는 앞서 설명한 바와 같이 총 삼십 가지로 이루어지며, 각 요소의 값들은 블리언 형식의 값을 지닌다. 상태 전이도 상황 요소와 동일하게 블리언 형식의 값을 지닌다.

실험 데이터에 대한 설명을 간단한 예를 들어 설명하면 다음과 같다. 실험 데이터는 상황 요소와 상태 전이 부분으로 나눌 수 있으며, 상황 요소는 30차원의 벡터로 표현된다. 예를 들어 상황 요소 벡터가 <1,0, ..., 0>일 경우 '1'은 상황 요소가 발생(사용)되었다는 의미이고, '0'은 상황 요소가 발생(사용)되지 않았다는 의미이다. 실험 데이터의 상황 요소 벡터에

표 4. 실험 데이터의 예

사례	상황 요소	상태 전이
Case_001	1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, ..., 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0	1, 0, 0, 0, 0
Case_002	0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, ..., 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0	0, 0, 1, 0, 0
:	:	:
Case_099	0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, ..., 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 1, 0
Case_100	1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, ..., 0, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0, 1

포함된 상태 전이 벡터는 5차원으로 구성되며, 상태 전이 벡터에서 '1'은 특정 상태로 전이가 발생한 것을 의미하고, '0'은 특정 상태로 전이가 발생하지 않은 것을 의미하므로 상태 전이 벡터는 오직 하나의 상태 전이에만 '1'이 발생될 수 있다. 예를 들어 실험 데이터의 100개의 사례가 S_0 상태(현재 상태)에서 발생한 사례라 하고, S_0 상태에서 전이가 가능한 상태가 S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 상태(출력 상태)라 가정하면 상태 전이 벡터 $\langle 1, 0, 0, 0, 0 \rangle$ 은 S_0 에서 S_1 으로 상태가 전이 되었다는 것을 의미하므로 $S_{0,1}$ 로 표현 된다.

실험 데이터에 속한 총 사례의 수량은 100개이며, 각각의 사례들은 랜덤하게 생성되었다. 실험 데이터는 학습과 테스트를 위해 두 개의 집단으로 나뉜다. 실험 데이터의 90%는 훈련 데이터로 학습을 수행할 때 활용되며, 훈련 데이터에서 제외된 10%의 데이터는 테스트 데이터로 활용된다.

일반적으로 게임 상황에서 상태 전이가 발생할 경우 상황 속성들은 상태에 종속적일 경우가 많다. 예를 들어 예술품 전시관에서 자율 캐릭터가 관람 상태에서 휴식 상태로 전이할 경우 활용될 요소 중에 성별이나 체력은 상태 전이에 중요한 요소로 작용될 수 있으나, 대기 상태에서 발생하는 대기시간은 현관람 상태에서는 의미 없는 요소이다. 이와 같은 게임의 실제 상황을 고려하여 본 실험에서는 상태에 포함된 상황 요소들이 상태에 종속적이지 않게 발생할 경우와 상태에 종속적으로 상황 요소들이 발생될 경우를 나누어 실험하였다.

상황 요소가 상태에 종속적인 경우의 실험을 위해 30개의 상황 요소가 5개의 상태에 종속적이라도 하고 랜덤하게 상황 요소들을 생성하여 실험 데이터 생성하였다. 상황 요소의 상태 종속 정도는 100%(각 상태에 포함된 여섯 가지의 모든 요소들이 해당 상태에서 발생)로 제한한 경우, 83%(각 상태에 포함된 한 가지 요소가 모든 상태들에 독립적으로 발생)로 제한 경우, 그리고 66%(각 상태에 포함된 두 가지 요소가 모든 상태들에 독립적으로 발생)로 제한한 경우로 나뉜다. 특정 상태에서 발생할 수 있는 요소의 총 가지 수가 여섯 가지이므로 하나의 요소가 모든 상태에서 독립적으로 발생된다면 상황 요소의 상태 종속도는 5/6이므로 83%가 되고, 두 가지 요소가 독립적으로 발생된다면 상황 요소의 상태 종속도는 4/6이므로 66%가 된다. 그리고 상황 요소가 상태에

독립적인 경우의 실험을 위해 상태에 종속적이지 않게 상황 요소를 랜덤하게 생성하여 실험 데이터를 생성하였다. 그러므로 상태에 독립적인 상황 요소가 발생한 실험 데이터에서 상황 요소의 상태 종속도는 0/6이므로 상태 종속 정도는 0%가 된다.

모든 실험 데이터에서 상태 전이 벡터를 생성할 경우 발생 가능한 다섯 개의 상태 전이에 대한 확률을 40%~0% 사이에서 랜덤하게 발생시켜 상태 전이 벡터를 생성하였다. 상태 전이 벡터 생성 시 모든 상태 전이에 대한 확률 총합은 100%를 넘지 못하도록 제한하였다.

실험에서는 본 논문에서 제안한 상태 전이에 대한 확률 추정 기법과 FSM에서 많이 활용하는 상태 전이에 확률을 적용한 상태 기반 전이 확률 기법을 비교 실험하였다. 두 기법 모두 실험 데이터의 90%에 해당하는 훈련 데이터를 학습을 위해 사용하고, 실험 데이터의 10%에 해당하는 테스트 데이터를 이용하여 정확도 측정을 수행하였다.

상태 전이에 대한 정확도 측정은 적중률(hit ratio)을 활용하였으며, 적중률 측정 방법은 다음과 같다. 테스트 데이터에 소속된 사례의 상태 전이 벡터를 모두 '0'으로 바꾼 후, 두 기법으로 각각 해당 사례가 어는 상태로 전이되는지 예측하여 상태 전이 벡터를 생성하고, 원시 상태의 상태 전이 벡터와 예측된 상태 전이 벡터가 동일한지 판단하여 동일한 경우에는 적중(hit)하였다고 판단한다. 적중률을 (5)에 나타내었다.

$$Hit\ ratio = \frac{total\ number\ of\ hits}{total\ number\ of\ tests} \quad (5)$$

5.2 실험 결과

표 5는 상황 요소의 상태 종속도에 따른 실험 결과이다. 표 5에 나타난 상태 기반 전이 확률 기법과 상황 요소 기반 확률 추정 기법의 실험 결과를 분석하면 다음과 같다.

상황 요소가 상태에 100%로 종속적인 경우 상태 기반 전이 확률 기법은 32%의 적중률을 나타내고, 상황 요소 기반 확률 추정 기법은 91%의 적중률을 나타내어 본 논문에서 제안한 상황 요소 기반 확률 추정 기법이 59% 더 높았다. 이와 같은 결과가 발생하는 이유는 게임에서 발생하는 상태 전이는 상태에

서 발생하는 상황 요소에 의해 결정되는 것이 일반적이기 때문에 상황 요소 기반 확률 추정이 상태 기반 전이 확률 기법보다 우수한 성능을 나타내는 것이다.

상황 요소가 상태에 83% 종속적인 경우의 실험에서 상황 요소 기반 확률 추정 기법의 적중률이 73%, 상태 기반 전이 확률 기법의 적중률이 35%를 나타내어 상황 요소 기반 확률 추정 기법이 38% 더 높게 나타났다. 상황 요소가 상태에 100% 종속인 경우에 비해 83% 종속적인 경우에 상황 요소 기반 확률 추정 기법이 낮은 성능 향상을 나타내는 이유는 각 상태에서 발생하는 여섯 개의 상황 요소들 중에 하나의 요소가 상태에 종속적이지 않게 발생되었기 때문이다.

상황 요소가 상태에 0% 종속적인 경우는 상황 요소와 상태가 독립적으로 발생하는 것을 의미하므로 상황 요소가 상태에 전혀 의존적이지 않다는 것을 의미한다. 상황 요소가 상태에 독립적으로 발생한 경우 상태 기반 전이 확률 기법은 31%의 적중률을 나타냈고, 상황 요소 기반 확률 추정 기법은 42%의 적중률을 나타내었다. 상황 요소 기반 확률 추정 기법이 상태 기반 전이 확률 기법에 비해 11%의 성능 향상을 나타냈지만, 100% 종속 실험과 성능 향상을 비교해 보면 성능이 48%정도 낮아졌다. 이와 같은 실험 결과가 발생하는 이유는 상황 요소들이 상태에 독립적으로 발생되어 상황 요소와 상태 전이의 관계성이 존재하지 않기 때문이다. 일반적으로 게임상에서 상태 전이가 발생할 경우 상황 요소가 상태에 종속적이지 않는 경우는 거의 발생할 수 없으며, 상황 요소가 상태에 독립적으로 발생하게 되면 게임의 사실성이 떨어지는 문제가 발생된다. 그러므로 상황 요소의 상태 종속도가 0%인 경우는 실제의 게임에서 발생하지 않는다.

그림 2는 상황 요소의 상태 종속도에 따른 적중률 결과를 나타낸다. 결과를 보면 상태 기반 전이 확률 기법은 상황 요소의 상태 종속도에 따라 큰 변화가

발생되지 않았다. 이와 같은 결과가 발생하는 이유는 상태 기반 전이 확률 기법은 상태 전이의 발생 확률에 의존하여 새로운 사례의 상태 전이를 예측하기 때문이다. 상황 요소 기반 확률 추정 기법은 상황 요

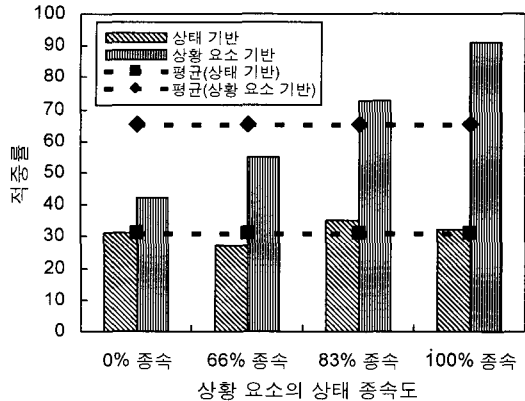


그림 2. 상황 요소의 상태 종속도에 따른 적중률

소의 상태 종속도가 높아감에 따라 적중률의 향상이 크게 나타난다. 종속도에 따른 모든 실험 구간에서 상황 요소 기반 확률 추정 기법이 상태 기반 전이 확률 기법에 비해 높은 적중률을 나타냈으며, 평균 적중률 또한 상황 요소 기반 확률 추론 기법이 65.25%를 나타내어 상태 기반 전이 확률 기법의 31.25%보다 34%의 성능 향상을 나타냈다.

본 논문에서 제안한 상태 전이에 대한 확률 추정 기법(상황 요소 기반 확률 추정 기법)을 자율 캐릭터의 상태 전이에 적용함으로써 자율 캐릭터는 새로운 상황에 대처할 수 있으며, 상황 학습을 수행할 수 있다. 즉, 자율 캐릭터의 다양한 행동제어와 학습을 위해 상태 전이에 대한 확률 추정을 적용함으로써 자율 캐릭터 고유의 특성을 유지하면서 새로운 상황에 대한 캐릭터의 행동을 제어할 수 있다. 상태 전이에 대한 확률 추정 기법은 새로운 사례가 발생되었을 경우

표 5. 상황 요소의 상태 종속도에 따른 적중률

상황 요소의 상태 종속도							
100% 종속		83% 종속		66% 종속		0% 종속(100% 독립)	
상태 기반 전이 확률 기법	상황 속성 기반 확률 추정 기법	상태 기반 전이 확률 기법	상황 속성 기반 확률 추정 기법	상태 기반 전이 확률 기법	상황 속성 기반 확률 추정 기법	상태 기반 전이 확률 기법	상황 속성 기반 확률 추정 기법
hit ratio =32%	hit ratio =91%	hit ratio =35%	hit ratio =73%	hit ratio =27%	hit ratio =55%	hit ratio =31%	hit ratio =42%
성능 향상 : △59%		성능 향상 : △38%		성능 향상 : △28%		성능 향상 : △11%	

기존의 사례들과 유사도를 계산하고, 기존의 사례에서 나타난 상태 전이 확률을 이용하여 상태 전이를 결정한다.

6. 결 론

FSM은 유한 상태와 상태의 전이를 이용한 기법으로 간단하고 명료한 규칙화로 자율 캐릭터의 행동 제어에서 활용도가 높은 기법이다. 그러나 이와 같은 FSM은 사용의 편리성은 따르지만 다양한 행동제어에는 효과적이지 못하다. 게임에서 자율 캐릭터는 다양한 상태에 직면하게 되며, 다양한 상태에서 자연스럽게 행동제어는 복잡한 규칙 생성을 요구하게 된다.

이와 같은 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 캐릭터의 행동에 영향을 주는 상황 요소의 확률분포를 이용하여 상태 전이를 예측할 수 있도록 상태 전이에 대한 확률 추정 기법을 제안한다. 상태 전이에 대한 확률 추정 기법은 사례 유사도와 상태 전이 확률을 구하여 계산된다. 사례 유사도는 새롭게 입력된 사례의 상황 요소와 기존 사례들의 상황 요소의 유사도를 활성화된 요소를 기반으로 계산한다. 상태 전이 확률은 기존의 사례에 나타난 상태 전이 확률분포를 기반으로 계산한다.

상황 요소의 상태 종속도가 높아질수록 상태 전이에 대한 확률 추정 기법은 높은 정확도를 나타낸다. 이와 같은 결과가 발생하는 이유는 상태 전이에 대한 확률 추정 기법은 상황 요소와 상태의 관계성이 높을수록 행동제어에 대한 효과가 뛰어나기 때문이다. 일반적으로 게임에서 자율 캐릭터의 상태 전이는 상태 요소와 관계성이 높기 때문에 상태 전이에 대한 확률 추정 기법은 자율 캐릭터의 행동제어에 효과적으로 적용될 수 있다. 또한 상태 전이에 대한 확률 추정 기법이 적용된 자율 캐릭터는 기존 사례에 존재하지 않는 새로운 상황에 대처할 수 있으며, 학습을 수행함으로써 다양한 행동제어를 자율적으로 만들어 낼 수 있는 장점이 있다.

게임에서 상황 요소들은 상태와의 관계성뿐만 아니라, 상황 요소와도 관계성을 나타낼 수 있다. 또한 상황 요소들은 상황 요소들끼리 계층성을 나타낼 수도 있다. 향후 연구는 상황 요소들의 관계성과 계층성을 이용한 지능형 자율 캐릭터에 관한 연구이다.

참 고 문 헌

- [1] 김기현, 김상욱, "3차원 게임에서 객체들의 상호 작용을 디자인하기 위한 제어 기법," *한국정보처리학회 논문지*, Vol. 4, No. 5, 1997.
- [2] 이경록, 김인철, 이재호, "온라인 컴퓨터 게임에서 지능형 NPC 구현을 위한 제어구조," *한국정보과학회 학술발표논문집*, Vol. 29, No. 1, 2002.
- [3] P. Hong, M. Turk, and T. Huang, "Gesture modeling and recognition using finite state machines," *Fourth IEEE International Conference*, pp. 410-415, 2000.
- [4] M. Kavakli and J. R. Thorne, "A Cognitive Modelling Approach To Capturing the Context of Complex Behaviour in Gameplay," *Proceedings of the First International Conference on Information Technology & Applications*, 2000.
- [5] S. Rabin, *AI Game Programming Wisdom*, Charles River Media, 2002.
- [6] N. Ducheneaut and R. J. Moore, "The social side of gaming: a study of interaction patterns in a massively multiplayer online game," *Proceedings of the ACM conference on Computer-Supported Cooperative Work*, 2004.
- [7] J. Krikke, "South Korea Beats the World in Broadband Gaming," *MultiMedia of the IEEE*, Vol. 10, No. 2, 2003.
- [8] S. L. Whang and G. Y. Chang, "Lifestyles of Virtual World Residents, Living in the on-line game, "Lineage," *International Conference on CYBERWORLDS*, 2003.
- [9] 김인철, 이재호, "3차원 가상환경에서 동작하는 지능형 에이전트의 구조와 경로 찾기 행위," *한국정보처리학회 논문지/B*, Vol. 10, No. 1, 2003.
- [10] J. H. Hong and S. B. Cho, "Evolution of emergent behaviors for shooting game characters in Robocode," *Proceedings of the 2004 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Vol. 1, pp. 634-638, 2004.
- [11] A. Khoo and R. Zuber, "Applying inexpensive AI techniques to computer games," *Intelligent*

Systems of the IEEE, Vol. 17, No. 4, 2002.

[12] B. M. Namee and P. Cunningham, "A Proposal for an Agent Architecture for Proactive Persistent Non Player Characters," *Proceedings of the 12th Irish Conference on AI and Cognitive Science*, 2001.

[13] G. Robert, P. Portier, and A. Guillot, "Classifier Systems As 'ANIMAT' Architectures For Action Selection In MMORPG," *Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Games and Simulation*, 2002.

[14] M. Mateas and A. Stern, "A Behavior language for story-based believable agents," *IEEE Intelligent Systems of the IEEE*, Vol. 17, No. 4, 2002.

[15] Margaret DeLap, Björn Knutsson, Honghui Lu, Oleg Sokolsky, Usa Sammapun, Insup Lee, and Christos Tsarouchis, "Is runtime verification applicable to cheat detection?," *Proceedings of ACM SIGCOMM 2004 workshops on Net-Games'04: Network and system support for games*, 2004.

[16] 한광희, *인지 과학(마음, 언어, 기계)*, 학지사, 2000.

[17] D. A. Huffman, "The Synthesis of Sequential Switching Circuits," *Journal of the Franklin Institute*, 1954.

[18] E. F. Moore and C. E. Shannon, "Reliable circuits using less reliable relays," *Journal of the Franklin Institute*, 1956.

[19] G. H. Mealy, "A Method for Synthesizing Sequential Circuits," *Bell System Technical*

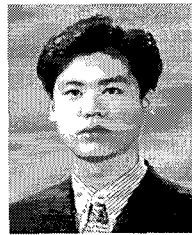
Journal, 1995.

[20] R. P. Grimaldi, *Discrete and Combinatorial Mathematics : An Applied Introduction*, Addison Wesley, 1994.

[21] S. Prata, *Artificial Life*, Macmillan Computer Pub., 1993.

[22] 오세만, *컴파일러 입문*, 정익사, 1996.

[23] R. V. Hogg and E. A. Tanis, *Probability and Statistical Inference*, 6th Ed., Prentice Hall, 2001.



김형일

1996년 ~ 1998년 (주)경기은행
 2001년 동국대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
 2004년 동국대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
 2005년 ~ 현재 동국대학교 컴퓨터공학과 IT분야 교수요원

(정보통신부)

관심분야: 게임, 지능형 에이전트, 기계학습, 데이터마이닝, 정보검색



윤현님

1996년 ~ 1999년 (주)유니파이크리아
 2000년 동국대학교 컴퓨터교육(교육학석사)
 2003년 동국대학교 정보통신공학과(박사수료)
 2001년 ~ 현재 안성여자기능대학

인터넷미디어과 교수

관심분야: 게임, 멀티미디어, XML, 그리드, 분산 및 네트워크 컴퓨팅