

제한된 공간에서 조종력을 이용한 다중에이전트의 집단행동 시뮬레이션*

조성현*, 이재문**

홍익대학교 게임학부*, 한성대학교 멀티미디어공학과**

scho@hongik.ac.kr, jmlee@hansung.ac.kr

Group Behavior Simulation of Multi-Agents by Using Steering Forces in an Enclosed Space

Sung Hyun Cho*, Jae Moon Lee**

School of Games, Hongik University*

Dept. of Multimedia Engineering, Hansung University**

요 약

가상세계에서 다중 에이전트들의 집단행동을 사실적으로 시뮬레이션하는 것은 중요하다. 대부분의 기존 연구가 개방된 공간에서의 집단행동에 초점 맞춘 반면, 본 논문은 제한된 공간에서 조종력을 이용한 집단행동에 대하여 연구한다. 에이전트들은 제한된 공간에서 하나의 공동 목적지를 가지며, 다른 에이전트와 충돌을 피하면서 목적지로 이동하여야 한다. 이러한 환경에서 세 가지 가능한 에이전트 모델을 제시 하였으며, 각 모델에 필요한 여섯 가지 조종력도 제안하였다. 제안된 모델의 올바름을 보이기 위하여 모델들을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과는 벽들과 출입구에 따라 각 에이전트가 목적지에 도착하는 시간은 달랐지만, 단순히 조종력만을 사용하는 제안된 모델들이 제한된 공간에서 잘 동작하는 것을 보였다.

ABSTRACT

It is important to realistically simulate group behaviors of the multi-agents in virtual worlds. While most researchers have focused on their group behaviors in an open space, this paper studies their group behaviors by using steering force in an enclosed space. Agents have a common target and should move towards it in an enclosed space while avoiding collision with other agents. Under those environments, three possible models of agents are proposed and the six steering forces needed in each model are also proposed. In order to show the correctness of the proposed models, they were simulated. Our simulation results showed that the proposed models only using steering forces operate well in the enclosed space although it requires a different period of time for each agent to arrive at its target depending on the walls and doors.

Keywords : Simulation, Flock Behaviors, Steering Force, Enclosed Space, Agent

접수일자 : 2010년 11월 15일 일차수정 : 2010년 12월 20일 심사완료 : 2011년 01월 03일

교신저자(Corresponding Author) : 이재문

※ 이 논문은 2008학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

※ 본 연구는 2010년 한성대학교 교내연구비 지원과제임.

1. 서 론

집단행동은 다수의 에이전트들이 자율적으로 움직일 때 나타나는 행동을 말한다[1,2,3,4]. 이러한 집단행동은 영화나 게임 등에서 장면의 사실성을 증대시키거나 현실적으로 제작하기 어려운 장면을 시뮬레이션 하는데 사용된다. 집단행동은 기술적으로 파티클 시스템, 무리 짓기, 군중 애니메이션으로 발전되어 왔다[5].

파티클 시스템, 무리 짓기 등은 대부분 개방된 공간에서 많이 연구되어 왔다[1,2,4,5]. 이것은 무리에 속하는 에이전트들이 대부분 야외와 같이 개방된 환경에 존재하고 따라서 이들에 대한 시뮬레이션도 이러한 환경에 적합하도록 연구되어 왔다. 군중 애니메이션에 대한 연구는 그 대상이 인간이므로 집단행동 자체에 많은 지능이 부여된다는 가정하에 연구되었다[3,6,7,8]. 에이전트들은 단순히 무리를 짓기보다는 주어진 환경에 능동적으로 반응한다. 따라서 이들에 대한 연구의 대부분은 개방된 자유 공간보다는 도시 거리 등 부분적으로 제한된 공간을 대상으로 연구되어 왔다.

본 논문은 건물내부, 지하도 등 제한된 공간에서 무리 짓기와 같은 에이전트들의 집단행동을 시뮬레이션하는 연구이다. 건물 내부와 같이 제한된 공간은 다수의 벽과 출입구로 구성되어 제한된 공간을 형성한다. 이러한 환경에서 다수의 에이전트들이 특정 목적지로의 이동을 시뮬레이션 하는 것이다. 이러한 연구 결과는 폐쇄 공간에서 동물들의 행동이나 학교 등 사람이 많은 공공건물에서 특정 상황에서 사람들의 행동을 시뮬레이션 하는데 활용될 수 있다.

2장에서는 기존의 연구와 제한된 공간에 적합한 세 가지 에이전트 모델을 제시하며, 3장에서는 제시된 모델에 필요한 조종력을 제안한다. 4장에서는 제안된 힘을 바탕으로 세 가지 에이전트 모델에 따른 시뮬레이션 결과를 설명하고, 5장에서 결론을 논한다.

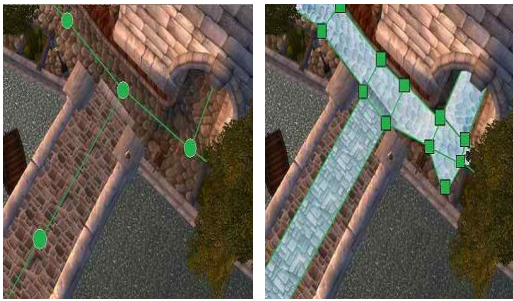
2. 제한된 공간에서 에이전트 모델링

2.1 관련 연구

게임과 같은 가상세계에서 에이전트들의 이동은 크게 두 가지 방향으로 연구되어 왔다. 하나는 무리 짓기와 같이 대규모 무리들의 자연스런 집단행동에 대한 연구이고, 다른 하나는 NPC와 같은 캐릭터들의 지능적인 움직임에 대한 연구이다. 전자는 대규모 에이전트들의 이동이므로 대부분 야외와 같은 제한이 없는 개방된 공간을 대상으로 하는 반면, 후자의 경우 대체로 게임 공간 등과 같이 부분적으로 제한된 공간을 대상으로 한다.

[2]에서 제안된 집단행동은 다수의 무리들에 공통으로 적용되는 조종력에 기반하여 이동한다. 조종력은 선택된 목적지에 도착하기 위하여 필요한 힘을 의미한다. 이러한 조종력의 계산은 장애물과 같은 주변 환경적인 요인뿐만 아니라 다른 에이전트들의 영향도 고려하여야 한다. [2]에서 제시한 조종력은 크게 분리, 결합 및 정렬힘으로 정의하였고, [1]에서는 에이전트들 사이에 미치는 조종력을 세 가지 영역을 나누어 적용하였다. 이러한 다중 에이전트들의 집단행동에 대한 연구가 야외와 같은 개방 공간에서는 잘 적용되나, 건물 내부와 같은 제한된 공간에서는 잘 적용되지 않는다[9]. 이것은 제한된 공간에서는 주변에 이웃 에이전트들 외에 추가로 벽, 출입구 등의 영향이 고려되어야 하기 때문이다.

게임 등에서는 NPC의 지능적 이동을 위하여 다양한 부가적인 정보를 사용한다. 대표적으로 그리드 기반 방법, 항로 그래프(Waypoint Graph), 항해 메시 등이 있다[7,8]. 그리드 기반 방법은 A^* 알고리즘을 사용할 수 있도록 공간을 그리드로 분할하고 A^* 알고리즘을 적용하여 얻은 결과에 따라 에이전트들을 이동하도록 하는 것이다. 이 방법은 그리드의 데이터 때문에 공간이 크거나 에이전트 수가 많은 경우 속도가 느려지는 단점이 있다[7,8].



(a) 향로 그래프 (b) 향해 메시
[그림 1] 향로 그래프와 향해 메시의 예시

대안으로 [그림 1](a)과 같이 에이전트가 이동할 수 있는 경로를 게임 설계자가 미리 그래프로 표시하는 것이다. 이 방법 역시 대규모 게임의 경우 속도 문제를 야기하며 또한 많은 에이전트들이 지그재그로 움직이는 부자연스러움이 관찰된다. 향해 메시 방법은 게임 공간에서 걸어 다닐 수 있는 영역을 표시하는 폴리곤들로 분할한다. [그림 1](b)은 5개의 영역으로 구성된 향해 메시의 예이다. 게임 공간의 정적 영역을 메시로 표현하여, 에이전트는 단지 동적 장애물들에 대한 충돌만 고려하면 된다. 그리드 맵과 유사하게 향해 메시는 에지들을 공유하는 셀들로 구성한다. 그러므로 에이전트의 경로는 A^* 알고리즘으로 찾고, 그리드 방법과 같이 동일한 환경의 에이전트들에 대하여 부자연스러운 경로를 생성한다. 이러한 단점과 더불어 대부분의 경우 적용되는 에이전트의 수가 제한적이다.

2.2 에이전트 모델링

본 논문은 제한된 공간에서 대규모 무리들의 집단행동에 대하여 시뮬레이션 한다. 즉, [1,2]에서 연구된 개방된 공간에서의 집단행동에 대한 시뮬레이션을 건물 내부와 같은 제한된 공간에 적용하는 것이다. 따라서 제한된 공간에서 존재하는 벽, 출입구 등의 영향을 집단행동에 적용하여야 한다. 이러한 시뮬레이션의 결과는 학교, 지하철 역사와 같은 제한된 공간이지만 다수의 사람들이 존재하는 환경에서 돌발 상황 등을 시뮬레이션 하는데 활용

될 수 있다.

제한된 공간에서 무리들의 집단행동을 시뮬레이션하기 위하여 에이전트들을 그들의 지능에 따라 세 가지로 모델링 하였다. 각 모델들은 기본적으로 무리를 지어서 이동한다. 제안한 모델들은 시각적으로 인지할 수 있는 정보 외에 어떠한 정보도 갖지 않는다. 즉, 이것은 시각적으로 탐지할 수 있는 벽과 장애물은 본능적으로 탐지하여 피할 수 있는 반면, 앞에서 언급한 A^* 알고리즘에 의한 경로 탐색, 향로 그래프 등의 정보를 얻지 못한다. 이것은 보다 자연스러운 시뮬레이션을 하기 위함이다.

- 모델1: AM_1

이 모델의 에이전트들은 공간 내 제한된 영역에서 생성되고, 주변에 존재하는 벽은 인식하나 최종 목적지의 위치는 알지 못한다. 즉, 목적지를 알지 못하는 상태에서 공간 내 임의지역에서 배회하다 우연히 목적지에 도달하면 제한된 공간을 탈출하게 된다. 이 모델은 곤충과 같은 하등동물들의 집단행동에 대한 모델링으로 사용될 수 있다.

- 모델2: AM_2

모델2는 모델1의 능력에 더하여 최종 목적지를 알고 있다. 따라서 이 모델은 공간내의 어떤 지점에서도 목적지를 향하여 움직이려고 노력한다. 이러한 모델은 화재와 같은 긴박한 상황에서 짐승, 사람들의 행동에 대한 모델링으로 사용될 수 있다.

- 모델3: AM_3

모델3은 모델2의 능력에 더하여 출입구(door)를 인식하는 능력이 있다. 공간 내 임의의 지점에서 시각적으로 인식할 수 있는 모든 출입구를 인식할 수 있으며, 또한 인식할 수 있는 출입구가 다수인 경우에는 가장 가까운 출입구를 인식할 수 있는 능력도 있다. 이러한 모델은 학교, 지하철 역, 건물의 1층 등 비교적 사람들이 바

빠게 움직이는 환경에서 사람들에 대한 모델링으로 사용될 수 있다.

3. 에이전트의 조종력

3.1 단위 조종력의 모델링

이 장에서는 앞에서 언급한 세 가지 모델에 필요한 조종력을 제안한다. 임의의 에이전트를 x 라 할 때 $p(x)$ 및 $v(x)$ 는 에이전트 x 의 위치 및 속도에 대한 벡터이다. 상기 세 가지 모델에 필요한 조종력은 벽 피하기 힘($F_w(x)$), 집단행동에서 에이전트끼리의 충돌을 회피하기 위한 분리 힘($F_s(x)$), 에이전트끼리 동일한 방향으로 움직이려는 정렬 힘($F_a(x)$), 에이전트들끼리 무리를 이루려는 결합 힘($F_c(x)$), 목적지로 이끌리는 인력 힘($F_g(x)$) 및 출입구로 향하는 인력 힘($F_d(x)$)으로 구성한다. 본 연구에서는 공간 내 존재하는 움직이지 않은 물체, 즉 장애물은 모두 벽으로 고려하였다. 다음은 각 힘에 대한 정의이다.

- 벽 피하기 힘

벽 피하기 힘은 에이전트가 공간상에서 움직일 때 특정 거리 이내로 벽에 가까이 가는 경우 벽과 충돌하지 않기 위하여 벽으로부터 멀어지려는 힘을 말한다. 에이전트 x 와 가장 가까운 벽의 위치를 $w(x)$ 라 하면 다음과 같은 힘으로 정의한다.

$$F_w(x) = \begin{cases} c_d \frac{p(x) - w(x)}{|p(x) - w(x)|} & \text{if } c_d > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{식 1})$$

여기서 c_d 는 $(d_s - |p(x) - w(x)|)$ 이다. d_s 는 에이전트가 벽 피하기 힘의 생성 없이 벽에 접근할 수 있는 최소 거리이다. 따라서 (식 1)에서의 힘

은 에이전트가 벽으로부터 d_s 보다 멀리 떨어져 있는 경우에는 힘이 작용하지 않으나, d_s 이내로 들어오는 경우 벽에 가까울수록 더 큰 힘이 작용한다. 따라서 적절한 d_s 값의 선택은 매우 중요하다. 이 값이 큰 경우에는 벽으로부터 충돌은 안전하나 비교적 좁은 통로(넓이가 $2d_s$ 이하)는 에이전트의 크기에 관계없이 에이전트가 통과하지 못하게 되고, 이 값을 너무 작게 설정하면 다른 힘(분리 힘 등)들에 의하여 벽속으로 침투하는 현상이 발생한다.

- 분리 힘

분리 힘은 이웃 에이전트와 충돌하지 않도록 적당한 거리를 유지하려는 힘이다. 따라서 이 힘의 계산에서는 영향을 주는 이웃 에이전트들을 고려하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 일정한 거리 이내에 존재하는 모든 에이전트를 이웃 에이전트들로 정의한다. $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ 를 에이전트 x 의 이웃 에이전트들이라고 가정하자. 이때 분리 힘 $F_s(x)$ 는 이웃과 멀어지려는 힘으로 [2]에서 처럼 다음과 같이 정의한다.

$$F_s(x) = \sum_{i=1}^k \frac{1}{|p(x) - p(x_i)|^2} \frac{p(x) - p(x_i)}{|p(x) - p(x_i)|} \quad (\text{식 2})$$

$\frac{p(x) - p(x_i)}{|p(x) - p(x_i)|}$ 는 단위 벡터로 이 힘의 방향을 의미하며, $\frac{1}{|p(x) - p(x_i)|^2}$ 은 이 힘이 두 에이전트 사이의 거리의 제곱에 반비례 한다는 것을 의미한다. 따라서 두 에이전트 사이의 거리가 충분히 멀다면 이 힘은 매우 작을 것이며, 그 반대의 경우는 매우 큰 힘으로 나타난다.

- 정렬 힘

이 힘은 이웃 에이전트들과 같은 방향으로 움직이려는 힘으로 [2]에서 같이 정의한다.

$$F_a(x) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{v(x_i)}{|v(x_i)|} \quad (\text{식 3})$$

여기서 $v(x_i)$ 는 에이전트 x_i 의 속도 벡터를 의미한다. $\frac{v(x_i)}{|v(x_i)|}$ 는 에이전트의 속도에 대한 단위 벡터이므로 에이전트의 방향 벡터와 같다. 그러므로 이 힘은 이웃 에이전트들에 대한 방향 벡터의 합에 대한 평균과 같다.

- 결합 힘

이 힘은 이웃 에이전트들과 떨어지지 않으려는 힘이다. 이 힘은 분리 힘과 반대되는 힘이다. [1]에서는 에이전트 사이의 거리에 따라 두 힘이 상호 배제적으로 적용되도록 하였다. 그러나 본 논문에서는 [2]에서 제한한 것과 같이 이웃 에이전트들의 위치 중심으로 이끌리는 힘으로 정의한다.

$$F_c(x) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k p(x_i) \quad (\text{식 4})$$

- 목적지로 이끌리는 힘

에이전트의 모델에 따라서는 목적지를 인식할 수 있는 능력이 있다. 이러한 에이전트들은 본능적으로 목적지로 이동하려는 힘이 작용하는 것으로 모델링 하였다. 자연에서 이러한 예는 제한된 공간에서 빛이 들어오는 경우 무의식적으로 그 빛이 들어오는 방향으로 움직이는 현상이나, 연어 떼들이 어미가 되어 태어난 곳으로 회귀하는 현상이 이 경우에 속한다고 할 수 있다. 본 논문에서는 모든 에이전트들의 목적지를 공간내의 한 위치 $g(x)$ 로 제한한다. 따라서 그 힘을 다음과 같이 정의한다.

$$F_g(x) = \frac{g(x) - p(x)}{|g(x) - p(x)|} \quad (\text{식 5})$$

- 출입구로 이끌리는 힘

에이전트의 모델에 따라서 에이전트의 위치에서 육안으로 출입구를 인식할 수 있는 능력이 있다. 에이전트 x 가 주변에 있는 출입구들 중에서 인식한 출입구의 중심 위치를 $d(x)$ 라 할 때 출입구로 이끌리는 힘은 다음과 정의한다.

$$F_d(x) = d_{\pm} \frac{d(x) - p(x)}{|d(x) - p(x)|} \quad (\text{식 6})$$

(식 6)에서 d_{\pm} 는 부호를 나타내는 상수이다. 에이전트가 에이전트의 방향에 관계없이 이끌리는 힘만 받는 경우 출입구를 중심으로 끊임없이 진동하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 부자연스런 현상을 제거하기 위하여 에이전트가 출입구를 향하는 경우에는 이끌리는 힘($d_{\pm} = +1$)을 받게 하고 출입구를 지나쳐 출입구의 반대 방향을 향하는 경우에는 밀리는 힘($d_{\pm} = -1$)을 받게 하는 것이다. 복수의 출입구가 동시에 찾아지는 경우에 대해서는 가장 가까운 출입구의 힘만 반영한다.

3.2 에이전트에 적용되는 힘

시간 t 에서 하나의 에이전트에 적용되는 힘은 에이전트 모델별로 다르게 표현될 수 있으나 아래와 같이 적절히 상수의 값을 조종함으로써 하나의 힘으로 표현할 수 있다.

$$F(x) = \sum_i c_i F_i(x) \quad (\text{식 7})$$

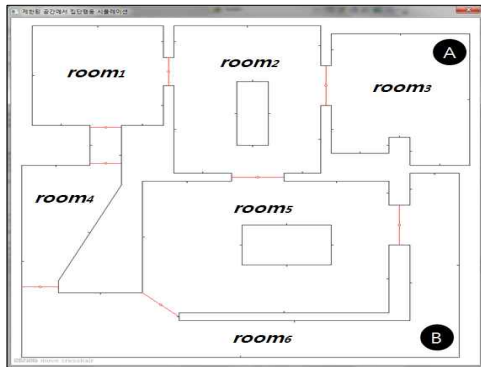
여기서 $c_i, i \in \{w, s, a, c, g, d\}$ 는 각 힘들의 상대적 가중치를 나타내는 상수이다. 이러한 값들은 다양한 시뮬레이션을 통하여 측정될 것이다. 또한 앞에서 정의한 모델별로 적용되는 힘을 구별하기 위하여 이러한 상수 값을 사용할 수 있다. 즉, 앞에서 언급한 AM_1 의 경우 c_g 와 c_d , AM_2 의 경우 c_d 를 0으로 설정하면 된다.

에이전트에 가해지는 이러한 힘 $F(x)$ 는 뉴턴의 제2 운동법칙에 따라 가속도로 나타난다. 즉, $F(x) = m(x)a(x)$ 이다. 여기서 $m(x)$, $a(x)$ 는 각각 에이전트 x 의 질량과 가속도를 표시한다. 본 논문에서는 모든 에이전트들은 동일한 질량을 갖는 것으로 가정한다. 따라서 조종력으로 부터 $a(x)$ 을 구할 수 있으므로 두 개의 연속된 프레임의 시간을 t_i, t_{i+1} 라 할 때 에이전트의 속도와 위치는 다음과 같이 계산한다. 여기서 $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ 이다.

$$\begin{aligned} v(x)_{t_{i+1}} &= v(x)_{t_i} + a(x) \Delta t \\ p(x)_{t_{i+1}} &= p(x)_{t_i} + v(x)_{t_{i+1}} \Delta t \end{aligned} \quad (\text{식 8})$$

4. 시뮬레이션

본 연구에서 제안한 에이전트의 모델링이 올바르게 동작하는지 확인하기 위하여 이들을 구현하였고, 2D의 제한된 공간에서 이들의 집단행동을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션의 목적은 본 논문에서 모델링한 에이전트들에 대한 다양한 계수들의 적절한 값을 찾고, 모델링된 에이전트들이 올바르게 동작하는지를 시험하는 것이다.



[그림 2] 시뮬레이션을 위한 폐쇄 공간

시뮬레이션의 구현은 비주얼 스튜디오 9를 사용하였고 구현에서 사용된 컴퓨터 언어는 C/C++이

다. 시뮬레이션을 위한 폐쇄공간은 [그림 2]와 같이 구성하였다. 폐쇄공간의 전체 크기는 900x900 픽셀로 구성하였으며, 6개의 방으로 분할되었다. 각 방은 출입구가 있어 다른 방들과 연결되어 있다. [그림 2]에서 $room_i$ 는 방을 의미하며, 방과 방 사이에 라인은 출입구를 의미한다. [그림 2]에는 총 8개의 출입구가 존재하며, A와 B는 에이전트들이 찾아가야 하는 목적지이지만, 실험에 따라서 A 또는 B 중 하나만 목적지로 설정된다. 시뮬레이션에서 각 모델별로 다양한 수의 에이전트들을 생성하여 최종적으로 사라질 때 까지 걸리는 시간을 측정함으로써 각 모델별 지능의 정도를 비교한다.

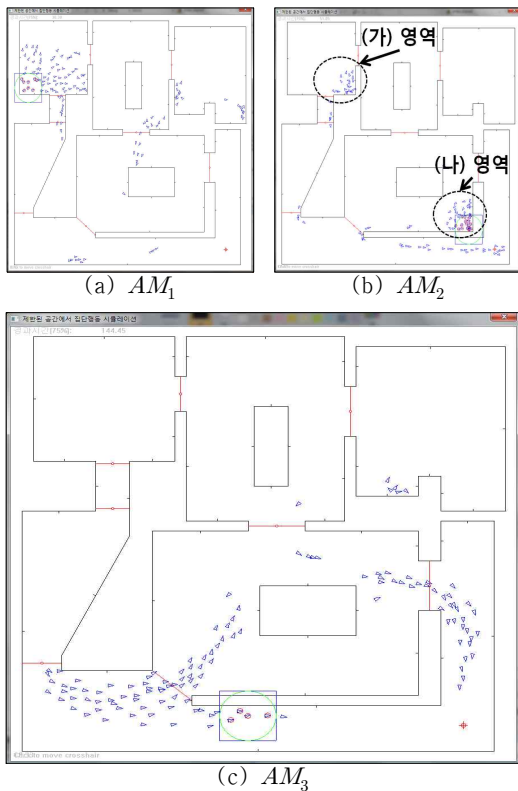
[표 1] 모델별 조종력의 상대적 가중치

가중치 모델	c_w	c_s	c_a	c_c	c_g	c_d
AM_1	5	2	1	2	0	0
AM_2	5	2	1	2	3	0
AM_3	5	2	1	2	3	3

시뮬레이션을 하기 위해서 제안한 에이전트 모델에 상관없이 (식 7)에 표기된 다양한 조종력에 대한 상대적 가중치 값의 측정이 필요하다. [표 1]은 각 모델별로 측정된 상대적 가중치에 대한 값이다. 상수 값들은 가장 자연스러운 집단행동을 나타내는 값들로 많은 실험을 통하여 측정된 값이다. (식 1)에서 d_s 는 에이전트의 크기의 3배로 하였다. 즉, 시뮬레이션에서 에이전트의 크기를 10픽셀로 하였고, 따라서 d_s 을 30 픽셀로 하였다.

[그림 3]은 목적지를 B로 설정하고 모델별로 128개의 에이전트를 사용한 시뮬레이션에서 임의의 순간에 대한 장면이다. 초기 128개의 에이전트들은 $room_1$ 에서 일시에 생성되어 집단행동을 시작하도록 하였다. [그림 3](a)을 통하여 알 수 있듯이 AM_1 의 경우 부분적으로 무리를 지어 임의로 방황하는 모습을 관찰할 수 있었다. 이것은 AM_1 은 출입구와 목적지에 대한 어떠한 정보도 갖지 않기

때문에 어디로 이동하여야 할지를 모르기 때문이다. AM_2 의 경우 목적지의 위치를 알고 있고, 따라서 (식 5)의 힘을 지속적으로 받게 되어 목적지(우측 하단)로 이동하려 한다. 따라서 AM_1 의 경우보다 훨씬 빨리 목적지에 도달할 수 있으나 [그림 3](b)에서 표시된 “가” 또는 “나” 영역에서 빠져 나오지 못하는 경우가 발생하였다. 이것은 목적지로 이끌리는 힘과 벽으로부터 밀리는 힘이 균형을 이루어 어떤 곳으로도 이동하지 못하고 그곳에서 끊임없이 진동하면서 머무는 것이다. [그림 3](c)은 AM_3 에 대한 장면으로 자연스러운 이동이 관찰되었다.



[그림 3] 모델별 시뮬레이션 결과

[표 2]는 모델별로 에이전트 수를 2~128까지 변화시키며 에이전트들이 목적지에 도달하는데 걸리는 시간을 측정하였다. 시뮬레이션에 따라서 목

적지는 [그림 2]에서 보인바와 같이 A 또는 B로 설정하였고, 측정을 위한 최대 시뮬레이션 시간은 100초로 제한하였다. 이것은 AM_1 및 AM_2 의 경우 영원히 도착하지 못하는 에이전트가 존재할 수 있기 때문이다.

[표 2] 모델별 도착 비율에 따른 실행시간(초)

모델		도착 비율					
		10 %	30 %	50 %	70 %	90 %	
목적지 A	AM_1	2	101				
		8	93	94	101		
		32	88	101			
		128	74	101			
	AM_2	2	11	11	11	12	12
		8	9	10	10	13	17
		32	9	10	12	15	17
		128	10	13	15	17	20
	AM_3	2	10	10	10	15	15
		8	9	9	10	13	17
		32	9	10	10	13	18
		128	9	12	15	22	26
목적지 B	AM_1	2	101				
		8	66	78	95	101	
		32	75	96	101		
		128	50	90	101		
	AM_2	2	101				
		8	101				
		32	42	82	101		
		128	21	26	92	101	
	AM_3	2	38	38	38	43	43
		8	27	33	38	43	59
		32	17	34	41	55	80
		128	15	18	41	45	68

[표 2]에서 100초가 지나도 도착한 에이전트의 비율이 주어진 도착 비율에 못 미치는 경우에 101초로 표기하였다. 모든 측정은 10번의 실험을 반복하여 측정된 시간을 평균한 값이다. 모든 실험에서 에이전트들의 생성 위치는 $room_1$ 으로 제한하였으나, $room_1$ 내에서의 생성되는 위치는 랜덤 함수를 이용하였다. 또한 각 도착 비율에 따른 도착 에이전트 수는 「 전체에이전트수*도착비율/100 」으로 계산하였다. 예를 들어, 2개의 에이전트와 10%의

도착 비율에 대한 시간은 1개(= $\lceil 2*10/100 \rceil$)의 에이전트가 도착할 때까지의 시간을 측정하는 것이다.

[표 2]에서 AM_1 의 경우 어떠한 경우에도 70% 이상의 에이전트가 목적지로 도달하지 못한다는 것을 알 수 있다. 이것은 대부분의 에이전트들이 단순히 $room_1$ 주변에서만 집단행동을 하면서 원거리로 이동하지 않기 때문이다. 이 모델은 제한된 공간에 갇힌 벌레들의 집단행동과 매우 유사함을 관찰할 수 있었다.

AM_2 의 경우 $room_1$ 에서 목적지 A에 도달하는 과정은 쉽게 예측 가능하다. AM_2 는 목적지를 알고 있기 때문에 생성 초기부터 목적지로 이끌리는 힘을 지속적으로 받고 있다. 따라서 목적지로 가는 길목에 수직으로 가로막는 장벽이 없는 한 목적지에 도달할 가능성이 높다. [표 2]는 AM_2 의 경우에 목적지 A에는 쉽게 도달하지만, 목적지 B에 도달하는 것은 어렵다는 것을 보여준다. AM_2 는 목적지로부터 지속적인 이끌림은 받으나 출입구에 대한 정보가 없으므로 목적지로부터 이끌리는 힘과 수직되는 장벽이 있는 경우 그 장벽으로부터 탈출하는 것이 쉽지 않다. 따라서 [그림 3](b)의 “가”와 “나” 영역에서 끊임없이 진동하면서 머물고 있는 것이 관찰되었다. 이 모델의 행동은 동물 농장 등에서 우리에 갇혀 있는 동물들의 집단행동과 유사하다.

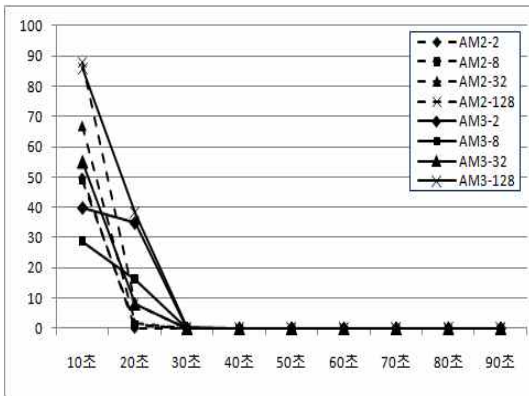
AM_3 은 목적지에 대한 정보 및 장벽으로 가려지지 않는 출입구에 대한 정보도 아는 것으로 가정하였다. 따라서 목적지가 보이지 않은 경우에도 출입구의 정보를 이용하여 대부분의 에이전트들이 방을 쉽게 탈출할 수 있음을 관찰할 수 있었다. 목적지 A에 비하여 목적지 B에 도달하는 시간이 2배 이상 소요되는 것은 목적지 A보다 목적지 B가 더 멀고 복잡한 경로를 가진 것이 가장 큰 원인이지만, 또 다른 이유는 $room_1$ 에서 생성된 에이전트들이 $room_1$ 의 하단 출입구를 통과하여 $room_6$ 의 우측 상단에 도착하였을 때 50% 이상의 에이전트들이 [그림 3](c)의 왼쪽 하단에 보이는 것처럼 목적

지 B로 바로 이동하지 않고 $room_5$ 로 우회하여 이동하기 때문이다. 이것은 AM_3 이 [표 1]에서와 같이 c_g 와 c_d 의 가중치 값은 같으나 목적지보다 출입구가 더 가까이 있어 출입구로 더 많은 힘을 받기 때문에 에이전트들이 우회하게 된다. 그럼에도 불구하고 $room_5$ 로 우회하지 않고 바로 목적지로 이동하는 에이전트들이 관찰되었는데 이것은 분리의 힘에 의하여 일부 에이전트들이 밀려나기 때문이다.

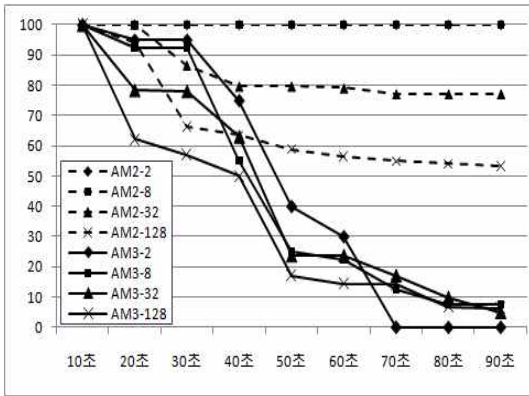
특이한 점은 목적지가 B일 때 에이전트 수가 적은 경우보다 많은 경우 더 빨리 목적지에 도착한다는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 에이전트의 수가 적은 경우 소수의 에이전트 집단이 많고 이들이 큰 집단으로부터 분리되어 이동하는 경우에 도착하는 시간이 많이 걸리기 때문으로 관찰되었다. 예를 들어 2개의 에이전트만 생성하는 경우 이들은 $room_1$ 내의 임의의 지역에 생성되므로 때로는 이들이 이웃 에이전트 반경보다 멀리 떨어져 있어 두 에이전트로 구성된 하나의 집단을 이루기보다는 하나의 에이전트로 구성된 두 개의 집단을 형성할 가능성이 높다. 반면 100개 이상의 에이전트들을 $room_1$ 내에서 생성할 때에는 비록 임의의 위치에 생성할지라도 이들은 100개의 에이전트들로 구성된 하나의 집단이 될 가능성이 높다. 따라서 하나의 집단으로 구성된 후자의 경우가 더 빨리 도착할 수도 있는 것이다. 이러한 현상은 현실 상황과 매우 유사하다고 판단된다. 즉, 다수의 무리가 서로의 지식을 공유하면서 협업하여 이동할 때 쉽게 목적지를 찾을 수 있는 것과 유사한 현상이라고 하겠다.

[그림 4]는 [표 2]와 동일한 실험 조건에서 시간별 도착 비율을 측정한 결과이다. 그래프의 단순함을 위하여 AM_1 은 측정에서 제외하였다. 그래프에서 x 축은 소요된 시간을 의미하며, y 축은 목적지에 도착하지 못한 에이전트의 비율을 나타낸다. [그림 4](a)는 목적지 A에 대한 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 AM_2 , AM_3 모두 30초 이내에 모든 에이전트들이 목적지에 도착함을 알 수

있다. [그림 4](b)는 목적지 B에 대한 그래프이다. AM_3 의 경우 90% 이상의 에이전트들이 80초 이내에 도착하는 것으로 관찰되나, AM_2 의 경우 50% 이상의 에이전트들이 90초가 지나도 도착하지 못하는 것으로 관찰되었다. 이는 앞서 언급하였듯이 많은 에이전트들이 [그림 3](b)의 “가”와 “나” 영역에서 머물고 있기 때문이다. [그림 4]에서 AM_2 -2가 잘 보이는지 않은 이유는 AM_2 -8과 겹치기 때문이다.



(a) 목적지 A



(b) 목적지 B

[그림 4] AM_2 , AM_3 의 미도착 비율 비교

5. 결 론

게임 공간과 같은 가상세계에서 다중 에이전트들에 대한 사실적 시뮬레이션은 중요하다. 다중 에이전트들의 집단행동에 대한 대부분의 연구가 개방된 공간을 대상으로 연구된 반면, 본 논문에서는 제한된 공간에서 다중 에이전트들의 집단행동에 대한 시뮬레이션을 연구하였다.

제한된 공간에 적합한 세 가지 에이전트 모델을 제시하였으며, 이들에 대한 여섯 가지 조종력을 제안하였다. 제안한 모델들이 올바르게 동작하는지를 검증하기 위하여 하나의 제한된 공간에서 이들의 집단행동을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션의 결과로부터 제한된 공간에서 조종력만으로도 제안된 모델이 잘 동작한다는 것을 알 수 있었으나, 개방 공간과 달리 제한된 공간에서의 집단행동은 공간을 구성하는 벽과 출입구의 구성 및 목적지의 거리에 따라 도착 비율 및 도착 시간이 다르다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Iain D. Couzin, Jens Krause, Richard James, Graeme D. Ruxton and Nigel R. Franks, "Collective Memory and Spatial Sorting in Animal Groups", J. theory Biol., 2002.
- [2] Mat Buckland, "Programming Game AI by Example", ISBN 1556220782, Wordware Publications, 2005.
- [3] Wei Shao and Demetri Terzopoulos, Autonomous Pedestrians, Eurographics/ ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, 2005.
- [4] Jae Moo Lee, "An Efficient Algorithm to Find k-Nearest Neighbors in Flocking Behavior", Information Processing Letters, 2010.
- [5] 이재문, 엄종석, "다중 에이전트에 기반한 집단행동의 기술 동향", 한국멀티미디어학회지, 제 12권, 제4호, 2009.
- [6] Pan Xiaoshan, Han C S, Law K H. A

multi-agent-based simulation framework for the study of human and social behavior in egress analysis, In: Proceedings of the ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering. American Society of Civil Engineers, 2005.

- [7] I. Karamouzas, R. Geraerts, and M. Overmars, "Indicative routes for path planning and crowd simulation," in FDG '09: Proceedings of the 4th International Conference on Foundations of Digital Games, 2009.
- [8] Ioannis Karamouzas, Jiri Bakker and Mark H. Overmars, "Density Constraints for Crowd Simulation," International IEEE Consumer Electronics Society Games Innovation Conference, 2009.
- [9] 권성민, 이제호, 배셀라, 이재문, 정인환, "제한된 공간에서 집단행동 시뮬레이션," 2010년 한국게임학회 추계학술발표대회, 2010.



조 성 현 (Cho, Sung Hyun)

1978년 서울대학교 계산통계학과(학사)
1980년 서울대학교 계산통계학과(석사)
1995년 UCLA 컴퓨터과학과(박사)
1996년-현재 홍익대학교 게임학부 교수

관심분야 : 게임프로그래밍, 게임인공지능, 게임물리



이 재 문 (Lee, Jae Moon)

1986년 한양대학교 전자공학과(학사)
1988년 한국과학기술원 전기및전자공학과(석사)
1992년 한국과학기술원 전기및전자공학과(박사)
1994년-현재 한성대학교 멀티미디어공학과 교수

관심분야 : 기계학습, 게임프로그래밍, 감성컴퓨팅