

# 집단 행동 제어를 위한 가이드 에이전트 모델\*

강세민\*, 강영민\*\*, 조창식\*\*\*

동명대학교 컴퓨터미디어공학과\*, 동명대학교 게임공학과\*\*, 한국전자통신연구원\*\*\*,  
{semins, ymkang}@tu.ac.kr, cscho@etri.re.kr

## Guide Agent Model for Controlling Flock Behavior

Semin Kang<sup>○\*</sup>, Young-Min Kang<sup>\*\*</sup>, Chang-Sik Cho<sup>\*\*</sup>

Dept. of Computer Media Engineering, TongMyung University<sup>\*</sup>

Dept. of Computer Game Engineering, TongMyung University<sup>\*\*</sup>

ETRI<sup>\*\*\*</sup>

### 요 약

본 논문은 더욱 실제적이고 효과적인 양 떼 물이 시뮬레이션을 위해 양과 셰퍼드 에이전트의 모델링에 새롭게 추가돼야 할 기법을 제안한다. 본 논문에서 다루는, 핵심문제는 추격자-도망자 모델을 어떻게 모델링 할 것인가 하는 것이다. 기존의 연구에서는 시뮬레이션 중 양 떼가 흩어져 시뮬레이션의 사실성과 효과적 셰퍼딩에 문제점이 발생했다. 이에 본 연구는 더욱 실제적이며 또한 효과적인 양 떼 물이 시뮬레이션을 위해 추격자-도망자 상황에서 양과 셰퍼드가 양 떼 무리를 흐트러트리지 않고 무리를 유지하도록 하는 기법을 제안한다. 양이 물이를 당하는 중에 무게중심 쪽으로 받는 힘을 추가하고 셰퍼드가 셰퍼딩 지점으로 이동할 때 우회경로 모델을 따라 둘러 감으로써 양 떼를 가로질러 버리거나 하는 일이 발생하지 않도록 했다. 그 결과 양 무리가 흩어지는 것을 막을 수 있었다.

### 1. 서 론

지금까지 멀티에이전트에 관한 연구가 활발히 진행돼 왔다. 그러나 소수의 가이드 에이전트를 이용해 다수의 에이전트 집단을 특정 위치로 이동시키는 것을 시뮬레이션 하는 연구는 많이 이뤄지지 않았다. 좌표계에서 소수의 에이전트를 이용해 다수의 에이전트를 원하는 위치로 이동시키는 문제를 집단행동 컨트롤이라고 한다. 이러한 집단행동 컨트롤은 대규모 행사의 출입관리나 해양 오염물질 제거 활동의 시뮬레이션 등 다양한 분야로의 응용 가능성이 매우 높다. 이런 높은 응용 가능성 때문에 로봇틱스나 컴퓨터 애니메이션의 분야에서 몇몇 연구자들이 집단행동 컨트롤 문제를 모델링하

는 연구를 진행해 왔다. 그 중 최근의 연구로는 Jih Ming Lien의 연구가 대표적이다. Jih Ming Lien은 양과 셰퍼드를 모델링하여 안정적이고 확장 가능한 집단행동 컨트롤 모델을 만들고자 했다. 그러나 Jyh Ming lien을 비롯한 집단행동 컨트롤과 관련된 일련의 연구들에는 몇 가지 한계가 있었다.

기존 연구는 집단행동 컨트롤을 위해 도망자-추격자 모델을 사용한다. 추격자-도망자 모델은 추격자 에이전트는 도망자 에이전트를 쫓고 도망자 에이전트는 추격자 에이전트를 피해 달아나는 에이전트 모델이다. 기존 연구에서 가장 두드러지는 한계 중 하나는 컨트롤 당하는 에이전트의 집단이 집단을 유지해야 한다는 특성을 고려하지 않은 도

\* 본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업[1003518, 실시간 스트리밍 기반의 게임 서비스 기술]의 일환으로 수행되었습니다.

망자- 추적자 모델을 사용하고 있다는 것이다. 양 떼를 시뮬레이션 하는 경우 도망자 집단이 무리를 유지하도록 하는 게 매우 중요하다. 먼저 사실성의 관점에서 양들은 무리를 벗어나지 않으려는 경향이 강하다. 그래서 셰퍼드에 의해 물이를 당하는 상황에서도 무리를 벗어나지 않고 무리가 하나의 더미형태로 움직인다. 그리고 효과적인 셰퍼딩의 관점에서 보더라도 셰퍼드는 양 떼 무리를 흩어지지 않게 해야 최소의 움직임으로 양들을 목표 지점까지 이동시킬 수 있다.

이에 본 연구는 실제적이고 효과적인 양 떼 물이 시뮬레이션을 위해 기존연구의 양과 셰퍼드 모델링에서 간과한 부분들을 살펴보고 개선 방안에 대해 설명하고자 한다.

## 2. 관련연구

본 연구에서 관심이 있는 것은 소수의 셰퍼드 에이전트를 이용해 다수의 양 에이전트를 원하는 방향으로 안내하는 집단행동 컨트롤이다. 몇몇의 연구가 장애물이나 에이전트를 더하는 것을 통해 군중에 일어나는 변화를 연구했다. Brenner 등은 재난상황에서 장애물을 더하는 것이 군중에게 어떤 영향을 주는지를 RoboCup을 위해 실험했다.[1] Schubert와 Suzic은 군중을 컨트롤하기 위한 최적의 장애물 배치를 알아내기 위해 진화알고리즘을 사용하는 연구를 했다. [8] Yeh 등은 일시적인 장애물로서 기능하는 에이전트를 추가하여 군중의 움직임을 컨트롤 하는 방법을 연구했다.

로보틱스 분야에서도 군중을 어떻게 컨트롤 할 것인가에 대한 몇몇 연구가 있었다. Schultz 등은 길안내 로봇이 길안내 행동을 학습하기 하도록 하는 진화알고리즘을 사용한 연구를 수행했다. [7]Funz 등은 공룡 티-렉스가 랩터를 쫓아가는 것을 시뮬레이션 했다. Porter 등은 단순한 환경에서 세 개의 에이전트가 하나의 에이전트를 안내하는 것을 시뮬레이션 했다,

선행 연구들 중 Jyh Ming Lien은 우리와 마찬가지로 양과 셰퍼드 에이전트를 이용하여 집단 행

동 컨트롤을 시뮬레이션 하고 있다. Jyh Ming은 그리드를 사용하여 장애물이 있는 상황에서 대규모의 에이전트를 효과적이고 안정적으로 셰퍼딩하는 기법을 제안한다. 하지만 시뮬레이션 결과에서 양들이 쉽게 흩어져버려서 사실성을 잃고 있으며 셰퍼드들도 셰퍼딩 포인트로 가는 도중에 양 무리를 흐트러뜨리는 결과를 보이고 있다.

## 3. 기존 연구의 한계 및 개선 방향

관련된 여러 연구에서 양 떼 에이전트들이 일반적인 Boids모델에 따라 움직이도록 설계되었다. 사실적인 양 떼 시뮬레이션을 추구한다면 양 떼 에이전트의 움직임이 적어도 다음의 두 조건을 만족시켜야 할 것이다.

그 첫 번째 조건은 양들이 매우 소극적으로 움직여야 한다는 것이고 두 번째 조건은 양들은 셰퍼드의 위협이 있더라도 쉽게 무리를 벗어나지 않아야 한다는 것이다.

왜냐하면 실제 양 떼의 움직임을 살펴보면 양들은 가능한 자신의 위치에서 다른 위치로 이동하지 않으려 하며 셰퍼드의 위협에 대한 반응으로써 움직여야 하는 경우엔 양 떼가 하나의 전체 덩어리로서 변형되고 이동하는 것처럼 보일 정도로 무리를 흐트러트리지 않는 범위에서 이동하기 때문이다.

하지만 여러 연구의 결과로 제시된 시뮬레이션에서는 양들이 실제 양 떼의 모습과는 다르게 지나치게 활발하게 움직이며 셰퍼드가 다가갈 경우 너무 쉽게 무리를 이탈해 버리는 모습을 보인다. 정렬(alignment), 제동(damping) 등이 모델링 돼 있다고 밝히고 있지만 실제 양의 행동의 시뮬레이션 결과라고 납득할 만큼 제대로 작동하지는 못하고 있는 것이다.

Jih Ming Lien의 연구는 실제적인 모델링 측면뿐 아니라 효과적인 집단행동 컨트롤의 측면에서도 문제점이 있다. 간단히 말해 셰퍼드가 양 떼를 몰기 위해 적절한 위치로 이동하는 경로는 최단거리를 따르지 않으며 오히려 우회하는 경로여야 한

다는 것이다. 셰퍼드가 이동해야 하는 위치는 셰퍼드와 양의 위치에 의해 결정된다. 그런데 셰퍼딩 목표지점이 결정된다고 해서 셰퍼드가 순간이동을 통해 셰퍼딩을 위한 목표지점으로 갈 수 있는 것은 아니다. 그렇기 때문에 셰퍼드가 셰퍼딩 목표지점으로 이동하는 과정에서 셰퍼딩 목표지점 자체가 바뀔 수 있는 것이다. 따라서 셰퍼드가 셰퍼딩 목표지점으로 이동하는 동안 양들에게 영향을 줘서 셰퍼딩 목표지점이 바뀌는 것을 최소화하는 방법이 필요하다. 즉 셰퍼드가 양들을 우회해서 셰퍼딩 목표지점으로 이동하는 적절한 우회모델이 필요한 것이다.

Jih Ming Lien의 연구 결과를 살펴보면 셰퍼드 에이전트 수가 증가할 경우 놀랍게도 군중을 목표지점으로 완벽히 몰고 갈 확률이 셰퍼드 에이전트가 하나일 때보다 오히려 떨어지는 것으로 나타난다. 이는 셰퍼드들 간의 협력시스템이 구성되지 않았기 때문이기도 하겠지만 적절한 우회모델이 없어서 셰퍼드가 수가 많아질 경우 셰퍼드들이 각각의 셰퍼딩 지점으로 가는 과정에서 하나의 양 때 무리를 여러 무리로 흩어지게 하는 일이 생기기 때문이기도 하다.

지적인 바와 같이 Jih Ming Lien 등의 기존 연구에는 실제적이지 않은 양의 움직임과 효율적이지 않은 셰퍼드의 움직임이라는 두 가지의 문제점이 있다. 서로 다른 이 문제는 사실 한 가지의 문제를 나타내고 있는데 그것은 흩어져서는 안 되는 양 때 무리가 흩어진다는 것이다. 이를 해결하기 위해서는 양과 셰퍼드의 행동이 새롭게 모델링되어야 한다. 우선 좀 더 사실적인 시뮬레이션을 위해 양들이 셰퍼드를 회피할 때에 무조건적으로 셰퍼드의 반대방향으로 회피하는 것이 아니라 양 때의 무게중심으로부터 일정거리 이상 떨어지지 않도록 하는 것이 필요하다. 그리고 좀 더 효과적인 셰퍼딩을 위해 셰퍼드가 셰퍼딩 목표지점으로 가는 도중에는 양들에게 영향을 주지 않도록 하는 우회경로 모델을 적절히 구성해야 할 것이다.

다음 장에서는 기존의 문제점들이 개선된 양 때 물이 에이전트 모델링기법에 대해 설명하고자 한다.

#### 4. 유인(attraction)과 우회(Detour) 모델

우리는 이 연구에서 양은 더 사실적으로 움직이고 셰퍼드는 더 효과적으로 움직이는 집단행동 컨트롤시뮬레이션을 위해 도망자-추격자 모델에서 양 때가 흩어지지 않도록 하는 기법을 제시하려고 한다. 그러기 위해서 기존 연구의 에이전트 모델보다 양은 무리를 벗어나지 않으려는 경향이 더 강해야 하며 셰퍼드의 움직임은 적절한 우회경로 모델을 따라야 한다고 지적했다.

우리가 제안하는 방법은 유인과 우회 모델이다. 이 방법을 통해서 양은 무리를 벗어나지 않으려 할 것이고 셰퍼드는 양때 무리를 흐트러뜨리지 않을 것이다. 양은 더욱 실제적으로 움직일 것이며 셰퍼드는 더 효율적인 방법으로 양 때를 몰고 갈 것이다.

우선 양 에이전트의 움직임에 대해 살펴볼 것이다. 우리의 방법에서 양들은 분리, 정렬, 응집, 회피, 제동의 다섯 가지 규칙에 따라 움직이며, 각각은 다음을 의미한다.

- 분리(separation) - 에이전트는 다른 에이전트와의 충돌을 피하려고 한다.
- 정렬(alignment) - 에이전트는 이웃한 에이전트들의 평균적인 방향으로 향하려고 한다.
- 응집(cohesion) - 에이전트는 이웃한 에이전트들의 평균적인 위치로 가고자 한다.
- 회피(avoidance) - 에이전트는 인접한 셰퍼드를 피하려고 한다.
- 제동(damping) - 다른 힘이 없다면 에이전트의 속도는 점점 줄어든다.

다음으로 셰퍼드 에이전트의 움직임을 살펴 볼 것이다. 셰퍼드는 양 때를 목표지점으로 가장 잘 몰고 갈 수 있는 위치를 찾는 탐색과 적절한 우회경로를 통해 그 위치로 옮겨가는 우회(detour) 두 가지의 행동을 한다.

#### 4.1 양 에이전트의 움직임

우리의 방법에서 양들은 앞서 언급한 다섯 가지 규칙을 모두 따른다. 이때, 분리, 정렬, 응집은 일반적인 보이드(boids)모델을 따른다. 하지만 양 떼의 흩어지지 않으려는 강한 경향과 움직임을 최소화 하는 수동적 경향을 표현하기 위해 회피 동작을 수정하였다.

##### 4.1.1 개선된 회피(avoidance) 동작

일반적인 보이드 모델과 동일하게 어떤 양 (sheep) S와 이 양을 쫓는 셰퍼드(shepherd) SP와의 거리가 임계치  $\theta$ 보다 가까우면 S는 SP에서 S로 향하는 방향으로 힘  $f_r$ 를 받아 SP와의 거리가  $\theta$ 보다 커지게 된다. 그리고 S가 받는 힘  $f_r$ 의 크기는 SP와의 거리에 반비례한다.

만약 양 에이전트가 셰퍼드의 반대방향 쪽으로만 도망간다면 양 떼 무리는 쉽게 흩어져 버릴 것이다. 하지만 실제 양들은 그렇게 쉽게 흩어지지 않는다. 무리를 이탈하지 않도록 하기 위해서는 셰퍼드가 양 떼를 밀어내는 힘 외에 다른 방향을 향하는 힘 역시 추가되어야 함을 의미한다. 그 힘은 회피 동작을 수행하는 양이 무리의 중심 쪽으로 유인되는 힘이다. 이 힘을 통해 양 떼 에이전트는 실제 양 떼의 움직임과 같이 변형되어 이동하는 하나의 덩어리처럼 보일 수 있게 된다.

##### 4.1.2 유인(attraction)을 고려한 회피 모델

유인은 응집과 비슷해 보인다. 그러나 응집 규칙에 의해 양들에게 주어지는 힘은 어떤 상황에서는 존재하며 힘의 강도가 세지 않아 셰퍼드 에이전트로부터 달아나려는 양 에이전트를 양 떼 무리 쪽으로 유인하기에는 너무 약하다. 반면 유인 모델은 회피 규칙을 따를 때 즉, 특정 양 에이전트가 셰퍼드의 위협을 받을 때만 존재하는 힘이며 응집에 비해서 상대적으로 더 강해서 회피 중의 양 에이전트가 셰퍼드를 벗어나 자연스럽게 무리 쪽으로

유인될 수 있게 한다.

양 에이전트와 셰퍼드 에이전트 사이의 거리가 셰퍼드의 영향권 보다 가까울 경우, 양 에이전트는 셰퍼드 반대방향으로 향하려는 힘  $f_r$ 뿐 아니라 양 떼의 무게중심을 향한 힘  $f_c$ 도 함께 받는다. [그림 1]

유인의 방향은 양 떼의 무게중심방향이어야 하므로 문제는 유인의 크기를 어떻게 결정하는가이다. 양이 무게중심에서 멀어질수록 유인 힘의 크기는 강해져야 한다. 즉, 유인의 크기는 양과 무게중심사이의 거리에 비례한다. 따라서 양이 무리로부터 벗어날수록 커지지만 무한히 커지지는 않으며 유인 힘의 최고치  $f_c^{max}$ 를 넘을 수 없다.

유인 힘인  $f_c$ 는 양과 양 떼의 무게 중심사이의 거리가 0인 경우 0이 되고 일정거리 이상 멀리 떨어지는 경우  $f_c^{max}$ 가 된다. 우리는  $f_c$ 가 가질 수 있는 최고값  $f_c^{max}$ 에서 양과 양떼의 무게중심 간의 거리  $u$ 에 반비례하여 0에서  $f_c^{max}$ 사이의 값을 가지는  $f_a$ 를 뺀 값을  $f_c$ 로 취하였다. 이 때 지수함수를 이용하여 거리에 반비례하여 0~1사이의 값을 취하는 자연스러운 값을 얻을 수 있었다.  $f_a$ 를 구하는 방법을 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$f_a = f_c^{max} e^{\frac{-1}{ku}} \quad (\text{식 1})$$

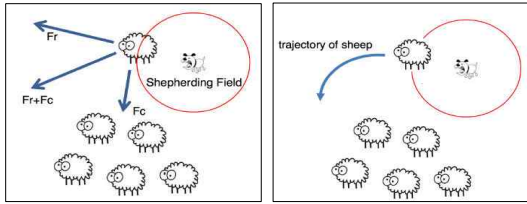
이때  $k$ 는 유인의 특성을 제어하는 매개 변수이다. 유인 힘  $f_c$ 는 다음과 같다.

$$f_c = f_c^{max} - f_a \quad (\text{식 2})$$

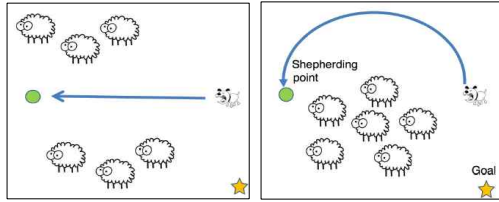
#### 5. 셰퍼드 에이전트의 움직임

앞에서 지정한 바와 같이 셰퍼드가 이동해야 하는 위치는 셰퍼드와 양의 위치에 의해 결정된다. 그런데 셰퍼딩 목표지점이 결정됐다고 해서 셰퍼드가 순간이동을 통해 셰퍼딩을 위한 목표지점으로 이동할 수 있는 것은 아니다. 그렇기 때문에 셰퍼드가 셰퍼딩 목표지점으로 이동하는 과정에서 양

들의 위치에 영향을 주게 되고 결국 셰퍼딩 목표지점 자체가 바뀔 수 있다. [그림 2]



(a) 양에 가해진 힘 (b) 양의 회피 경로  
[그림 1] 양 에이전트가 받는 힘과 회피 경로



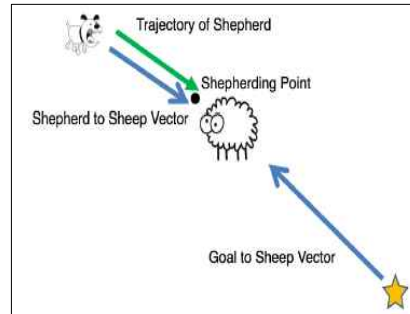
(a) 최단 경로 (b) 우회 경로  
[그림 2] 셰퍼드의 양몰이 경로

따라서 셰퍼드가 셰퍼딩 목표지점으로 이동하는 동안 양들에게 영향을 줘서 셰퍼딩 목표지점이 바뀌는 것을 최소화하는 방법이 필요하다. 만약 목표지점까지 가는 도중 양 떼들에게 영향을 주지 않도록 하기 위한 우회모델이 없다면 양 떼를 흐트러뜨리거나 하는 의도하지 않은 결과를 초래할 수 있다. 그러므로 목표지점이 설정되면 그 곳으로 가기 위해 적절한 우회경로를 찾는 것이 반드시 필요하다.

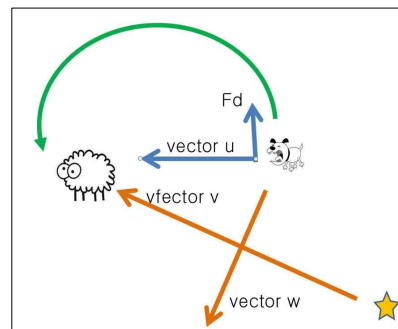
## 5.1. 우회(detour) 경로 모델

셰퍼드가 이동해야 하는 위치는 셰퍼드와 양 그리고 목표지점 사이의 위치 관계에 의해 결정된다. 만약 셰퍼드에서 양을 향한 벡터와 골 지정에서 양을 향한 벡터가 서로 반대방향을 보는 경우[그림 3] 우회는 거의 필요하지 않다. 그러나 그 두 벡터가 비슷한 방향을 바라보는 경우[그림 4]에는 많은 우회가 필요하다. 우회를 하지 않지 않는다면 양을 목표지점으로 몰기 위한 셰퍼드의 이동 행

위가 오히려 양을 목표지점에서 멀리 도망가게 하는 행위가 될 수 있기 때문이다.



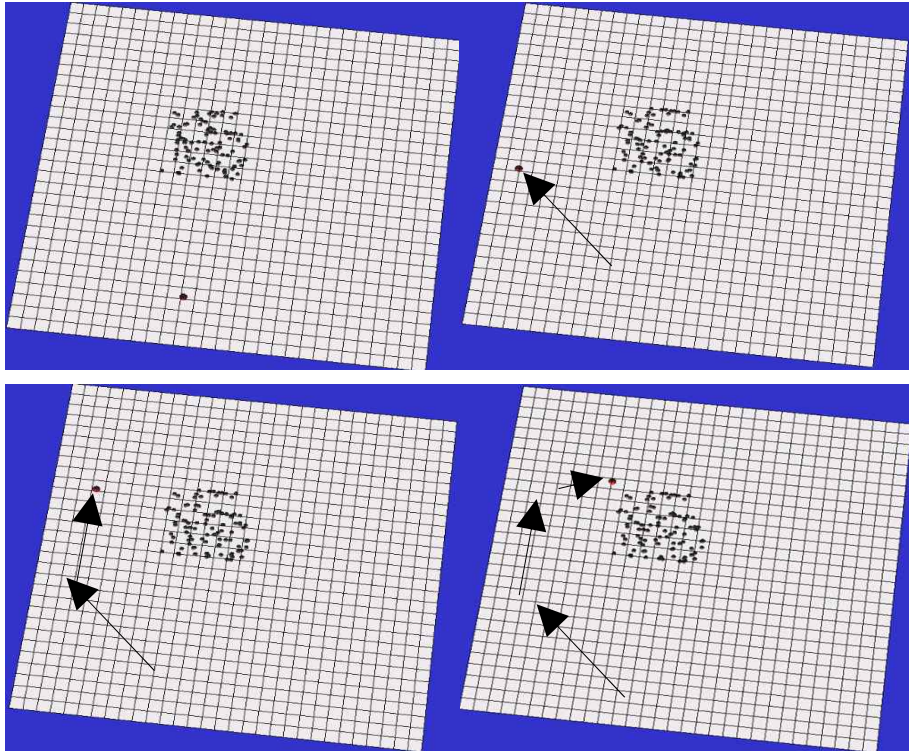
[그림 3] 우회가 필요 없는 경우



[그림 4] 우회가 필요한 경우

우회를 위해서는 셰퍼드가 셰퍼딩 포인트를 향한 힘에 우회를 위한 힘을 더해줘야 한다. 이때 우회를 위해 더해줘야 하는 힘  $f_d$ 는 셰퍼드에서 셰퍼딩 포인트를 향한 벡터에 수직이다. 문제는 오른쪽으로 수직인지 왼쪽으로 수직인지인데 이는 목표지점에서 양을 향한 벡터에 수직인  $w$ 와 셰퍼드에서 양을 향한 벡터  $u$ 를 내적 하여 나온 값의  $+$ ,  $-$  부호를 통해 결정할 수 있다.

[그림 5]에서 보듯이 셰퍼드에서 양을 향한 벡터  $u$ 와 골 지정에서 양을 향한 벡터  $v$ 가 서로 반대방향을 보는 경우 우회는 거의 필요하지 않으므로  $f_d$ 는 작아지게 된다. 그러나  $u, v$  두 벡터가 비슷한 방향을 바라보는 경우에는 많은 우회가 필요하므로  $f_d$ 가 커지게 된다. 이를 표현하기 위해 벡터  $u$ 와  $v$ 를 정규화 하여 두 벡터의 내적 값의 크기  $f_d$ 의 크기가 비례하도록 했다.



[그림5] 우회경로를 통한 세퍼드의 이동 결과

## 7. 실험결과

본 논문의 기법을 구현하기 위해 사용한 시스템은 Mac OS X 운영체제를 사용하는 2.4GHz intel 3 CPU, 4Gb RAM, NVIDIA 320m 그래픽 카드의 컴퓨터이다.

에이전트의 모양은 구 형태를 사용했으며 양 에이전트의 수는 200 세퍼드의 수는 1로 하였다. 세퍼드의 위치를 랜덤하게 초기화하여 실험한 결과 세퍼드의 위치가 양 떼의 내부로 초기화 되지 않은 경우에는 세퍼드가 양 무리의 외곽으로 적절히 우회함으로써 세퍼딩 포인트로 가는 도중 양 떼의 위치를 변화시키는 경우를 발생시키지 않았다.

실험을 통해 우리는 우리의 우회경로 모델을 통해 세퍼드가 양 떼를 호트러트리지 않고 세퍼딩 포인트로 이동하는 것이 가능함을 확인했다.

[그림 5]은 우회경로모델을 통해 세퍼드가 세퍼딩 지점으로 가는 도중 양 떼에 영향을 주지 않으며 이동하는 모습을 포착한 이미지이다.

## 8. 결론

본 논문은 양 떼 물이 시뮬레이션에서 양 떼의 무리를 유지하는 것이 필요함을 지적하고 그것이 가능하도록 하는 기법에 대해 제안하였다.

본 논문에서 제안한 기법은 양이 받는 여러 힘 중에 유인이란 무리의 무게중심을 향하는 힘을 더하고 세퍼드는 최단경로가 아닌 우회경로를 통해

세퍼딩 포인트로 이동함으로써 시뮬레이션 중 양 떼가 제각각 흩어지는 것을 막도록 한다.

제안된 기법은 흩어지지 않으려는 양 떼의 속성을 구현할 수 있도록 해 시뮬레이션의 사실성을 높여줄 뿐만 아니라 세퍼딩 과정에서 양 떼를 흐트러뜨리지 않도록 해서 세퍼딩이 효과적으로 이뤄질 수 있도록 한다.

Volume 6 , pp763~768 1996

[8] Shubert , J, Shuzic, R, "Decision support for crowd control: Using Genetic algorithm with simulation to learn control strategies", Military Communications Conference 2007, pp.1~7, 2007

## 참고문헌

- [1] Branner.M. Wiejermas. N, "Simulating and controlling civilian crowds in robocup rescue", Proceeding of Robocup 2005: Robocup Soccer World Cup4 2005
- [2] Darre3n P, Naomi. E, "Pursuit and Evasion: Evolutionary Dynamics and Collective Motion", proceeding of AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, 2010
- [3] Funze, J, Tu, X "Cognitive modeling: knowledge reasoning and planning for intelligent characters, Computer Graphics, pp 29~38, 1999
- [4] Jyh Ming Lien, Joseph, F, Christopher, 패. "Scalable and Robust: Shepherding via deformable shapes", Lecture Note in Computer Science, 2010
- [5] Porter, M , Meeden, L "Heterogeneity in co-evolved behavior of mobile robot, The emergencies of specialists, pp 1337~1343, 2001
- [6] Sevan G. Jordan. B, "Coevolving Communicative Behavior in a linear pursuer-evader game", proceeding of the Fifth international Conference on Simulation of Adaptive Behavior, 1998
- [7] Schultz, A,C Graffenstette, J.J Adams, W "Robo-shepherd: Learning complete robotic behaviors" Robotics and Manufacturing: Recent Trends in Research and Applications,