

로드맵 기반 경로에서의 그룹 이동 시물레이션

유건아^{1†} · 조수진² · 김경혜²

Simulating Group Movement on a Roadmap-based Path

Kyeonah Yu · Sujin Cho · Kyung-Hye Kim

ABSTRACT

The roadmap-based planning is a path planning method which is used widely for a goal-directed movement in Robotics and has been applied to the world of computer animation such as computer games. However it is unnatural for computer characters to follow the path planned by the roadmap method as it is performed in Robotics. Flocking which is used for realistic and natural movements in computer animation enables character's movement by using a few simple rules without planning unlike the roadmap method. However it is impossible to achieve a goal-directed movement with flocking only because it does not keep states. In this paper we propose a simulation method which combines planning based on the road map with reactive actions for natural movements along the path planned. We define and implement steering behaviors for a leader which are needed to follow the trajectory naturally by analysing characteristics of roadmap-based paths and for the rest of members which follow the leader in various manners by detecting obstacles. The simulations are performed and demonstrated by using the implemented steering behaviors on every possible combination of roadmap-based path planning methods and models of configuration spaces. We also show that the detection of obstacle-collisions can be done effectively because paths are planned in the configuration space in which a moving object is reduced to a point.

Key words : Computer game, Road map-based path planning, Steering behaviors, Group movement

요 약

로드맵 기반 계획은 목표 지향적인 이동을 위해 로봇틱스 분야에서 많이 사용되는 경로 계획 방식이며 최근 컴퓨터 게임과 같은 컴퓨터 애니메이션 세계에서 많이 응용되고 있다. 그러나 컴퓨터 캐릭터가 로드맵 방식으로 계획된 경로 이동을 기존의 로봇틱스 분야와 같은 방식으로 하면 자연스럽게 보이지 않는 단점이 있다. 컴퓨터 애니메이션 분야에서 실제적이고 자연스러운 이동을 가능하게 하는 플로킹은 로드맵과는 달리 계획에 의존하지 않고 몇 가지 규칙만으로 빠르게 캐릭터의 이동을 가능하게 하지만 상태를 갖지 않으므로 목표 지향적인 이동은 불가능하다. 그러므로 본 논문에서는 로드맵에 의해 경로를 계획하고 계획된 경로를 그룹이 자연스럽게 이동하도록 반응적 행동과 결합하여 시물레이션하는 방법을 제안한다. 이를 위해 로드맵 기반 경로의 특징을 분석하여 그룹의 리더가 자연스럽게 궤적을 추종하는데 필요한 조타 행동들과 나머지 멤버들이 주변 장애물 상태를 파악하면서 다양한 방법으로 리더를 따르도록 하는 조타 행동을 정의하고 구현하도록 한다. 구현된 조타 행동들을 이용하여 로드맵 기반 계획 방법들과 형상공간 모델링의 가능한 조합에 대해 이동 시물레이션하고 결과를 보여준다. 또한 경로 계획이 움직이는 물체는 점을 환산한 형상공간에서 이루어져 장애물 충돌 감지를 효과적으로 할 수 있음을 보여준다.

주요어 : 컴퓨터 게임, 로드맵 기반 경로 계획, 조타 행동, 그룹 이동

*본 연구는 2010년도 덕성여자대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었다.

접수일(2011년 10월 11일), 심사일(1차 : 2011년 12월 2일),
게재 확정일(2011년 12월 6일)

¹⁾ 덕성여자대학교 컴퓨터학과

²⁾ 덕성여자대학교 전산정보통신학과 석사과정

주 저 자 : 유건아

교신저자 : 유건아

E-mail : kyeonah@duksung.ac.kr

1. 서 론

로봇틱스 분야의 대표적인 경로 계획 방식인 로드맵 기반 계획(roadmap-based planning)은 로봇 자유공간의 연결성을 로드맵으로 나타내고 이를 위상학적 그래프로 나타내어 경로 계획에 반복적으로 사용하는 방식을 말한

다(Latombe, 1991) (LaValle, 2006). 일단 로드맵이 생성되면 시작점과 목표점을 로드맵에 연결하고 A*나 다익스트라와 같은 그래프 탐색을 통해 쉽게 경로를 찾을 수 있다는 장점이며 로봇틱스 분야 이외에 컴퓨터 게임 등의 가상현실 구현에도 많이 이용되고 있다(Bayazit 등, 2004). 그러나 컴퓨터 게임 환경은 로봇 세계와는 여러 가지 차이를 보이는데 실제 로봇이 움직이는 환경보다 복잡하며, 로봇처럼 하나의 캐릭터가 움직이는 경우도 있지만 다수의 캐릭터가 무리지어 움직이는 경우가 많고 기계적인 움직임보다 현실감 있는 움직임이 중요하다는 것이 대표적인 차이점들이다. 즉, 기존의 로봇틱스 분야에서는 하나 혹은 적은 수의 로봇이 로드맵에서 계획된 경로를 궤적으로 하여 정확하게 이동하는 것이 주된 목표였으나 컴퓨터 게임에서 이와 같은 구현 방식으로 시뮬레이션하면 자연스럽게 보이지 않게 되는 것이다. 일반적으로 컴퓨터 게임이나 애니메이션에서 캐릭터들의 무리 이동은 조타 행동(steering behaviors)으로 대표되는 반응적 행동(reactive behaviors)으로 시뮬레이션 된다. 숙고형(deliberative) 계획 방식인 로드맵과는 달리 맵을 구성하지 않고 몇 가지 간단한 규칙만으로 빠르게 캐릭터의 이동을 가능하게 하는 방식은 실제적이고 동적이고 자연스러운 이동을 가능하게 한다고 알려졌지만(Reynolds, 1999) (Alt 등, 2004) 캐릭터들이 목표 위치를 갖고 전역적으로 움직여야 할 필요가 있는 경우에 지능적으로 보이기에 불충분하다. 본 논문에서는 목표 지향적인(goal-directed) 이동의 자연스러운 구현을 위해 로드맵에서 계획된 전역 최적 경로를 다수의 캐릭터가 자연스럽게 이동하도록 반응적 행동과 결합하여 시뮬레이션하는 방법을 제안한다. 즉, 경로 계획을 위한 첫째 단계에서는 로드맵 방식으로 최적 경로를 구하고 두 번째 단계에서는 이 경로를 기반으로 실제적인 이동을 위해 조타 행동들을 이용하여 캐릭터들을 제어한다. 이 접근 방식은 기존 로봇틱스에서 로봇의 이동을 위해 보편적으로 채택하고 있는 경로 계획(path planning)과 경로 추종(path following) 두 단계 접근 방식(Dapper 등, 2007)과 유사하지만 기존 방법과 두 번째 단계에서 차이가 난다. 로봇틱스 분야에서는 이동 로봇의 센싱과 구동 방식에 따라 PID 제어기 등을 통해 경로를 따라가기 위해 구동에 필요한 적절한 신호를 생성하는 것이 중요했던 것과는 달리 본 논문에서 다루는 컴퓨터 그래픽 분야의 그룹 이동의 경우에는 센싱과 구동 오차가 없어서 개별 제어는 비교적 간단하지만 그룹의 구성원들이 하나의 경로를 따라 자연스럽게 이동해야 할 필요가 있는 것이다. 본 논문에서는 그룹의 자연스러운 이동을 위한 조타 행동

을 리더와 나머지 멤버들로 나누어 구현한다. 로드맵 기반 경로의 특징을 분석하여 그룹의 리더가 자연스럽게 계획된 경로의 궤적을 추종하는데 필요한 조타 행동을 정의하고 나머지 멤버들은 주변 장애물 상태를 파악하여 다양한 방법으로 리더를 따르도록 하는 조타 행동을 정의하고 구현한다. 구현된 조타 행동들을 이용하여 로드맵 기반 계획 방법들과 형상 공간 모델링의 가능한 조합에 대해 이동 시뮬레이션하고 결과를 보여준다. 또한 경로 계획이 움직이는 물체는 점으로 환산한 형상공간에서 이루어져 장애물 충돌 감지를 효과적으로 할 수 있음을 보여준다. 본 논문의 구성은 2장에서는 그룹 이동 시뮬레이션을 다룬 관련 연구들에 대해 살펴보고 3장에서는 기존의 로드맵과 플로킹의 분석에 따라 연구 방법을 제시하며 4장에서는 제안된 로드맵 기반 경로에서의 그룹 이동 방법을 설명하며 5장에서는 시뮬레이션 결과를 보여주고 6장에서 맺음말로 마친다.

2. 관련 연구

그룹 이동을 시뮬레이션하는 대표적인 방법(Reynold, 1987)의 조타 행동이다. 이 논문에서는 각 개체들이 지역적 규칙에 따라 행동하는 보이드 모델을 제안하고 NPC(Non-Player Character)들의 움직임이 자연스럽게 영리하게 보이도록 하였다. (Reynold, 1987)의 방법은 창발적(emergent) 행동으로 다른 캐릭터를 향한 움직임, 장애물 회피, 대형에 머무르는 등의 간단한 목표를 성취하는데 충분하지만 전역적인 계획이 필요한 경우에는 최적해를 찾지 못하고 바람직하지 않은 결과를 초래할 수 있기 때문에 이를 보완하기 위한 많은 연구들이 있었다. (Alt 등, 2004)에서는 이를 위해 상위 레벨의 AI 시스템을 도입하여 두 단계 시스템으로 조타 행동을 이용할 것을 제안하였다. 상위 레벨에서는 NPC의 목표를 받아 어떤 조타 행동을 사용할 것이며 어느 장소로 이동하거나 피해야 할지를 결정하고 하위 레벨에서는 선택된 조타 행동이 실행되는 방식으로 하였다. (Amor 등, 2006)에서는 가중치 기반 휴리스틱을 이용하여 상위 레벨 목표를 성취하는데 필요한 조타 행동들을 중재하는 방법을 제안하였으며(Dapper 등, 2007)에서는 주어진 경로를 여러 가지 요소를 고려하여 다양하게 움직이도록 하는 수치해(numeric solution)에 기반한 방법을 제안하여 조타 행동에 의해 흥미롭고 복잡한 인간의 행동을 생성하였다. (Silveira 등, 2008)에서는 대형을 갖춘 그룹이 움직이도록 조타 행동을 제어하는 알고리즘을

제안하였다. 대형(formation)이 주어지면 첫 번째 단계에서는 개개의 캐릭터에 대한 지역적 제어로 조정하고 그 다음 단계로는 전체를 하나로 경로 계획을 수행하는 두 단계이며 대형에 대해 인력(attractive force), 장애물에 대해서는 척력(repulsive force)를 적용하는 포텐셜장(potential field)을 이용하여 대형을 유지 혹은 변형하며 경로를 따라 이동하도록 하였다. 이와 같은 방법들은 캐릭터들이 지역적 정보에 의존하여 행동을 하기 때문에 국부적 최적(local optimum)에 빠져 전체적으로 우회하는 경로로 이동을 하게 되고 특히 장애물이 많은 지역에서는 꼼짝 못하게 되는 경우가 발생하는 것이 단점이다.

이와 같은 단점을 보완하기 위해서 전역적 이동 계획과 연계하는 방법들이 제안되었다. (Kuffler, 1998)에서는 전역 계획과 경로 추종의 두 단계 계획으로 캐릭터들의 움직임을 시뮬레이션하는 방법을 제안하였는데 그룹 이동에 필요한 조타 행동을 제시하는데 이용한 것이 아니라 기존의 로봇틱스에서와 유사하게 개개의 멤버들의 행동을 제어하는 방법을 제시하였다.

(Bayazit 등, 2002)에서는 기존의 플로킹을 보완하기 위해 처음으로 전역 맵을 사용할 것을 제안하였다. 기존의 조타 행동에서 보다 복잡한 행동이 가능하도록 규칙 기반 로드맵을 사용하였는데 로드맵 링크의 가중치를 이용하여 다른 그룹 멤버의 행동을 도울 수 있도록 하여 그룹 이동을 자연스럽게 만들었다. 이 논문은 본 연구에서 사용하고자 하는 로드맵에 기반하였으나 그룹 행동을 위한 전역적 계획에 사용한 것이 아니고 개별적인 복잡한 행동을 효과적으로 지원하기 위해 사용되었다. (Kamphuis 등, 2005)에서는 그룹이 이동할 수 있는 공간을 확보하기 위해 중앙축(medial axis)를 경로로 이용하는 복도맵 방식(corridor map method)를 제안하고 이 맵에서 구한 경로를 백본 경로로 하여 포텐셜장을 이용하여 지역적으로 캐릭터들을 조타하였다. 이 방식은 장애물을 피하기 위해 캐릭터들이 항상 길 중앙에 위치하며 비현실적인 행동을 보이는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해(Karamouz 등, 2009)에서는 복도를 이용하되 기존에 정의된 포텐셜장의 힘을 보다 다양하게 확대하여 정의하여 자연스러운 이동 경로가 생성되도록 보완하였다. 본 연구에서는 복도를 정의하지 않는 일반 로드맵 방식들에 대해서도 유사한 결과를 얻어 자연스러운 시뮬레이션이 가능하도록 할 것이다.

3. 연구 배경 및 연구 방법

로드맵은 로봇 자유공간에서 가능한 경로를 나타내는 연결 그래프이다. 로드맵 방식으로 경로를 계획하는데는 노드와 링크를 어떻게 정의하느냐에 따라 여러 가지 방법이 있다. 가장 대표적인 방식이 가시성 그래프(visibility graph, Vgraph)와 보로노이 다이어그램이고 이를 변형한 일반화 가시성 그래프(generalized Vgraph, GVgraph) (Yu, 2006)나, VV-컴플렉스(complex) (Wein 등, 2005)등이 있는데 공통적으로 자유공간위에 노드와 정의하고 이를 연결하는 링크를 정의하여 연결 그래프를 위상학적으로 구성하고 실제 경로는 그래프 탐색을 통해 구할 수 있다. 여기서 로봇의 자유공간이라 함은 일반적으로 로봇을 점(point)으로 표현하고 주변 환경을 구성하는 장애물들을 그에 따라 확장하여 표현한 형상공간(configuration space) 상의 자유공간을 의미한다. 형상공간은 로봇과 장애물과의 기하학적인 관계를 명확하게 표현해 주며 그 위에 해결하고자 하는 운동계획문제를 사상하여(mapping) 답을 구할 수 있게 해준다(Latombe, 1991). 물체를 움직이는 점으로 환산하여 표현하는 형상공간에서 운동을 계획하면 부피가 있는 물체가 충돌없이 움직이도록 계획하는 것보다 훨씬 간단할 뿐만 아니라 컴퓨터 기하학을 이용하여 보다 체계적이고 알고리즘적인 접근을 보장한다는 장점이 있다. 그림 1은 움직이는 캐릭터를 다각형과 원형으로 각각 모델링했을 때 생성된 형상공간을 보여준다.

경로 이동을 위해 기존의 로봇틱스 분야에서 개발된 방식을 사용하는 컴퓨터 게임도 있지만 컴퓨터 게임 분야

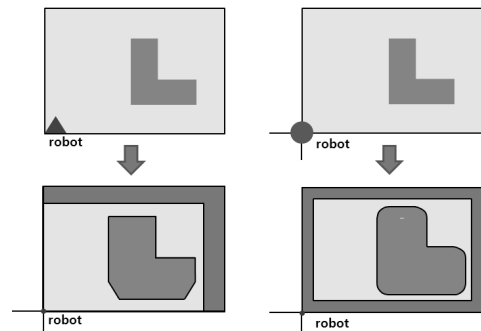


그림 1. 다각형과 원형 모델 로봇의 형상공간

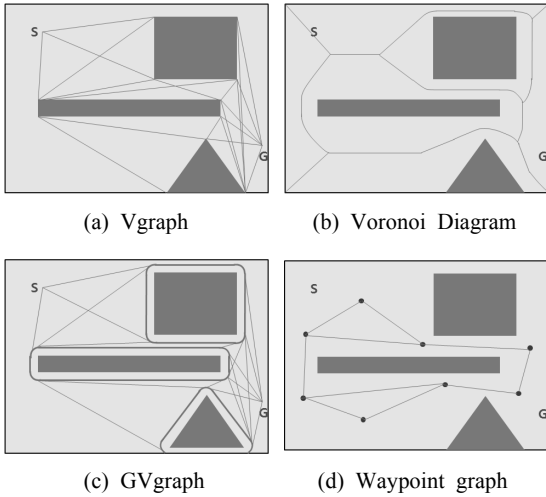


그림 2. 로드맵 방식 예

에서 많이 사용되고 있는 방식은 웨이포인트 그래프이다. 웨이포인트 그래프는 레벨설계자가 임의로 작업공간에 웨이포인트를 지정하고 서로 보이는(visible) 웨이포인트들을 연결한 연결 그래프이다. 그림 2는 소개된 방식들의 예를 보여준다.

이와 같이 다양한 특성을 가진 로드맵 방식들의 공통 점을 추려보면 로드맵 기반 경로 계획은 첫째, 전역적으로 계획되어 캐릭터나 무리의 이동에 중심이 되는 백본 경로를 제공한다. 둘째는 자유 공간이 그룹이 이동하는 공간을 가정하고 있지 않다. 셋째는 링크의 연결로 이루어져 방향 전환이 빈번하게 일어나게 된다. 이와 같은 관찰을 통해 로드맵 기반 경로를 그룹이 추종하기 위한 기본 방법론을 다음과 같이 제안한다.

- 1) 리더는 백본 경로를 따라간다. - 싱글 에이전트의 자연스러운 이동 방법을 제안한다.
- 2) 나머지 멤버는 조타 행동에 의해 제어한다. - 항상 된 플로킹 방법을 제안한다.
- 3) 링크가 연결되는 부분의 자연스런 동작을 위한 조타 행동을 정의한다.

플로킹은(Reynolds, 1987)에서 처음 등장한 기법으로 자동화된 캐릭터들의 무리가 새떼나 물고기떼 등과 비슷한 집단 행동을 보이도록 만들기 위한 몇 가지 규칙을 제시하고 이와 같은 집단 움직임을 컴퓨터에서 구현한 것이다. 이 규칙들을 조타 행동(steering behavior) 규칙이라고 부르며 플로킹은 다음과 같은 4가지 기본 조타 행동으로

구현되었다.

- **분리(Separation)**는 각각의 보이드가 주변의 다른 보이드들과 충돌하지 않도록 방향을 돌리도록 조정하는 조타행동이다.
- **응집(Cohesion)**은 보이드들이 하나의 무리로써 모이게 하기 위하여 보이드가 주변 보이드들의 평균 위치 쪽으로 방향을 돌리게 조정하는 조타 행동 기법이다.
- **정렬(Alignment)**은 보이드들이 모인 무리가 마치 하나의 보이드처럼 움직이게 하기 위하여, 하나의 보이드가 주변 보이드들과 같은 방향 벡터를 유지하도록 보이드의 행동을 조정하는 조타 행동 기법이다.
- **장애물 피하기(Obstacle avoidance)**는 보이드에게 혼잡한 환경에서 장애물을 피할 수 있도록 궤도를 바꿀 수 있는 행동을 말한다.

오리지널 플로킹은 상태없는 알고리즘으로 구현된다. 즉, 보이드들은 무리에 대한 정보를 가지지 않고 매 순간마다 자신의 주변을 평가하여 다음 행동을 결정하며 무리에 대한 정보는 전혀 가지고 있지 않다. 따라서 다른 무리 행동 알고리즘에 비해 메모리 요구량이 매우 적은 임기응변적인 행동이다. 위의 4가지 기본 행동들을 적절히 조합하여 무리가 어디로 가는지에 대해서는 전혀 알지 못하지만 모든 보이드들은 장애물과 적들을 피하면서 다른 보이드들과 보조를 맞춰서 유동적으로 이동하게 된다. 본 논문에서는 그룹 멤버들이 다양한 조타 행동을 경우에 따라 선택하여 백본 경로를 따라 자연스럽게 이동할 수 있도록 최소한의 상태를 가지도록 수정한다.

4. 로드맵 기반 그룹 경로 추종 구현

그룹은 동일한 물리적인 공간에서 공통 목적을 가지고 행동하는 개개의 집단으로 정의된다(Silveira, 2008). 그룹 이동에서는 공통 목표를 향해 비슷한 속도로 같은 길을 따라 이웃과의 적당한 거리를 유지하거나 대형을 유지하는 등의 일련의 규칙을 보여야 한다. 로드맵 기반 경로를 자연스럽게 따라가도록 리더를 위한 조타 행동들을 정의하고 그를 따르는 나머지 멤버들에 대한 플로킹 방법을 소개한다.

4.1 리더의 경로추종

“캐릭터의 이동경로가 자연스럽게”를 정의하면 같은

배경에서 사람이라면 택했을 경로와 유사한 경로로 이동하는 것을 말한다(Wein 등, 2005). 이와 같은 경로의 특징을 종합해 보면 첫째, 짧은 경로를 두고 크게 우회하지 않으며, 둘째 장애물들로부터 어느 정도의 간격(clearance)을 두고 움직이며, 셋째 턴(turn)을 할 때에는 완만하게(smooth) 한다는 것이다. 로드맵의 특성상, 주어진 노드와 링크내에서는 최단 경로나 근사 최적 경로를 구하기 때문에 계획된 경로는 첫 번째 조건을 만족한다고 할 수 있다. 그러므로 링크는 그냥 따라가면 되고 이동하면서 보완이 필요한 부분은 ‘간격’과 완만한 ‘방향전환’이다. 로드맵의 링크는 직선, 원의 호, 포물선(보로노이 다이어그램에서 점과 직선 사이에 생기는 꺾적) 등의 3종류인데 이들 위에서 등속 운동이 가능하도록 구현한다. 간격은 그룹의 이동에 적절하도록 정해지며 양의 오프세팅(positive offsetting)으로 구현된다. 완만한 방향전환은 링크의 제자리에서 방향을 바꾸는 것이 아니라 연결 부분이 완만한 곡선을 이루면서 방향전환이 일어나도록 링크의 연결 부분을 곡선화함으로써 구현된다. 이외에 오프세팅과 완만한 방향전환으로 인해 링크 이탈이 생기는 경우에 장애물 충돌이 발생하는가 감지하는 조타행동도 필요하다. 각각의 조타 행동을 간단히 정리하면 다음과 같다.

① 링크 추종(link-following)

링크를 따라가는 행동은 등속 운동으로의 구현이 중요하다. 직선형태의 경로가 시작되는 노드와 다음 노드의 좌표를 통해 해당 직선의 방향 벡터를 계산하고, 속도에 따라 일정한 간격으로 나누어 다음 위치로 이동하면 간단하게 구현된다. 원 형태의 경로 이동으로 표현하면 평면 극좌표(polar coordinate)에서의 원의 중점에 대한 식 ($x = r\cos\theta, y = r\sin\theta$)을 이용하여 θ 값을 변화시킴으로써 등속 운동이 쉽게 구현된다. 포물선의 경우에는 균일하지 않기 때문에 기울기에 따라 기울기가 작은 부분은 x값으로 구간을 나누고 기울기가 큰 부분은 y값으로 구간을 나누어 등속 운동과 유사한 결과를 유도한다.

② 오프세팅(offsetting)

노드가 장애물 모서리인 경우에 간격을 확보하는 행동이다. 외향 법선(outward normal) 방향으로 주어진 간격만큼 오프세팅하여 새로운 노드 좌표를 계산하고 확장된 장애물의 경계선을 따라 이동한다(그림 3(a)). 오프세팅 간격은 그룹의 크기에 맞추어 결정하며 결과는 모서리가 원의 호로 대체된다. 간격을 보장하기 위해 로드맵에 통로(corridor)를 확보하거나 일반화 가시성 그래프를 이용

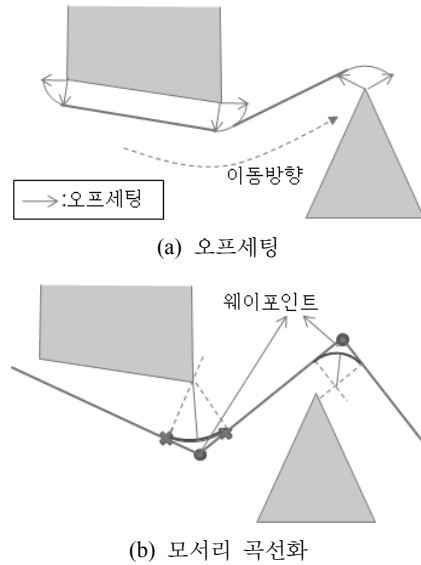


그림 3. 오프세팅과 모서리 곡선화 방법

하는 기존의 경우에 비해 계획된 경로상의 노드에 대해서만 오프세팅 하는 출력-감수성(output-sensitive) 방식으로 빠른 실행을 위해 효율적인 방법이다.

③ 곡선화(smoothing)

링크의 접점이 장애물의 모서리가 아닌 경우에는 두 링크의 연결 부분을 곡선화하여 완만하게 방향전환할 수 있도록 한다. 연결된 두 링크에 주어진 간격만큼 떨어진 점을 설정하여 연결되는 링크의 방향으로 법선을 세워 교차점을 중심으로 하는 호를 이용하는데 이 방법은 두 링크의 연결이 예각을 이루지 않는다는 가정하에 회전의 중심을 빨리 구할 수 있고 그림 3(b)와 같이 이루는 각에 따라 직경이 다른 원호를 링크에 연결하게 된다. 곡선화 방법으로 널리 알려진(Pinter, 2001)에서 일정한 회전 반경(turning radius)을 사용하는 것보다 자연스러운 결과를 제공한다.

④ 장애물 충돌 감지(collision- detecting)

오프세팅이나 곡선화에 의해 수정되는 경로로 이동하는 경우에는 장애물 충돌 감지 기능이 발동된다. 단위 동작들의 실행은 시간-이산(time-discrete)적이므로 매 프레임마다 리더의 진행 방향으로 현재 속도에 비례해서 얻은 감지선으로 장애물과의 충돌을 감지할 수 있다. 충돌이 감지되면 장애물이 감지선을 벗어날 때까지 장애물의 경계를 따라 이동한다.

4.2 그룹 멤버의 경로추종

본 논문에서 그룹의 자연스러운 이동은 대형(formation)을 지어 이동하는 경우처럼 자리가 정해진 이동도 아니고 반면에 보이드의 움직임처럼 완전 무작위 행동도 아니다. 기본적으로 그룹 멤버들은 리더가 전역적으로 계획된 경로를 따라가고 있으므로 리더를 목표로 플로킹 행동을 하는 것으로 이동 동작을 설계한다. 기존의 플로킹과의 차이는 상태에 따라 다른 행동을 한다는 것이다. 상태가 없이 임기응변적인 행동으로 빠른 행동을 보장하던 플로킹의 장점을 유지하기 위해서는 상태를 최소로 기억하고 빠른 이동을 가능하게 하는 것이 중요하다.

각 멤버들은 그림 4(a)와 같이 리더로 향하는 방향 벡터를 축으로 속도에 비례하는 감지선을 이용해 상태의 변화를 알아낸다. 본 논문에서는 형상공간 장애물을 이용하기 때문에 기존의 플로킹을 포함한 조타 행동에서 장애물과의 충돌을 감지하기 위해 사용하던 감지상자가 필요하지 않아 장애물 충돌 검사가 훨씬 빠르게 진행될 수 있다.

감지선은 다음 프레임의 멤버의 위치를 나타내서 감지선이 장애물과 교차하지 않으면 그대로 리더추종을 하고, 감지선과 장애물이 교차하면 그림 5의 그룹 행동 방법을 결정하는 규칙에 따라 다른 형태의 이동을 한다.

그림 4(b)~(d)는 이동 형태의 예를 보여준다. (b)는 리더추종에 의해 진행되는 경우이고 (c)와 (d)는 감지상자에 장애물이 감지된 경우의 이동 형태이다. 감지상자에 장애물이 감지되면 그룹이 이동하기에 적절한 간격이 보장되지 않다는 의미이므로 리더는 그대로 진행하되 그룹은 리더가 추종하는 링크로 접근해서 (c)와 같이 좁은길 통과하기 방식으로 이동하거나 감지된 장애물이 작으면 그룹을 분할(splitting)하여 (d)와 같이 이동한다. 분할된 멤버들은 장애물의 따라 이동하는데 단, 대형이 흩어지면 안 되는 경우에는 마찬가지로 좁은길 통과하기 방식으로 이동한다. 장애물의 크기와 대형 유지 여부는 레벨 설계자의 기준에 따라 주어진다. 자율적인 NPC의 행동을 위해 이와 같은 행동 결정들이 설계자에 의해 주어지지 않고 실행 결과에 따라 학습하도록 하기 위해서는 그림 5의 트리를 의사 결정 트리(decision tree)로 학습에 의해 생성하도록 하면 된다.

5. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 방식은 그림 4의 같은 시뮬레이션을 위해 펜티엄, 윈도우 XP 환경에서 자바로 구현하였고 공개소스인 2D 셀-기반 맵 에디터 상에 임포트하여 결과를 나타내었다. 본 연구에서 사용한 맵에디터는 배경이 128*128의 정사각형 타일로 나뉘고 각각의 타일은 16*16의 도트(dot)로 이루어진 셀-기반이다. 장애물이 셀 단위로 생성되어 장애물의 경계선에 정점(vertex)가 많이 생기므로 이러한 부분을 볼록 껍질(convex hull)로 단순화하여 (O'Rourke, 1998) 근접한 경계선을 추정하여 이용하였다.

시뮬레이션은 로드맵과 형상공간의 가능한 조합에 대해 제안한 방법을 적용하여 실행되었다. 가시성그래프의 경우에는 장애물의 경계가 링크가 되어 캐릭터를 모델링하는 방식이 전체 경로 계획과 이동 시뮬레이션에 큰 영향을 주므로 다각형 모델과 원형 모델 두가지 형상공간에 대해 시뮬레이션하였고 보로노이 다이어그램은 장애물에서 동일한 거리에 떨어진 링크들의 모임이므로 형상공간 장애물에 관계없이 같은 형태의 링크를 갖기 때문에 원형 경우에 대해서만 시뮬레이션만 하였다. 웨이포인트의 경우에도 레벨 설계자에 의해 노드가 지정되

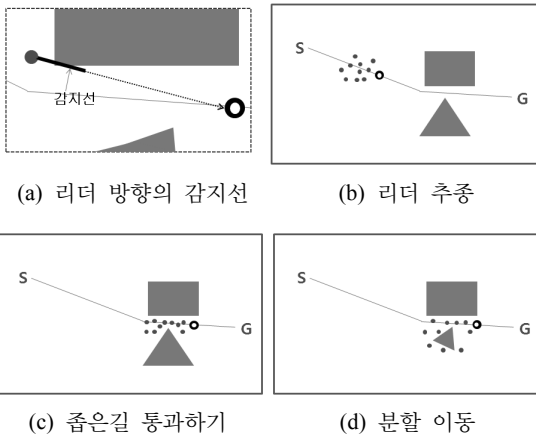


그림 4. 감지선에 의한 장애물 감지와 3가지 이동 형태

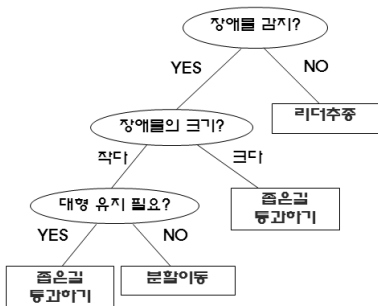


그림 5. 상태 변화에 따른 그룹 조타 행동 결정을 위한 트리

므로 제공되는 형상공간 장애물에 관계없이 웨이포인트 그래프가 생성되므로 마찬가지로 한가지 시뮬레이션만 하였다.

시뮬레이션 1. 가시성 그래프와 다각형 모델

움직이는 캐릭터를 다각형으로 모델링한 경우, 그림 6과 같이 다각형 형상공간 장애물로 확장된다. A*나 다익스트라와 같은 최단 경로 계획 알고리즘에 의해 구해진 백본 경로는 시작점과 목표점을 나타내는 X들을 이은 실선과 같다. 백본경로는 자유공간상의 링크와 장애물 모서리 링크의 연결로 이루어져 있으므로 실제 이동은 링크추종(선분)→오프세팅→링크추종(원호)·장애물 충돌감지의

반복으로 이루어진다. 이와 같은 실행 결과로 실제 이동 경로는 점선과 같다.

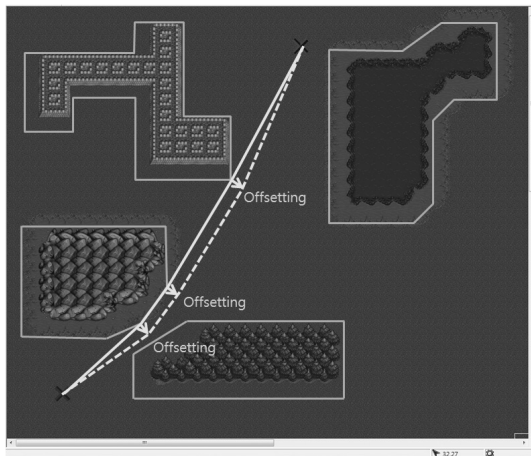
시뮬레이션 2. 가시성 그래프와 원형 모델

움직이는 캐릭터를 원형으로 모델링한 경우, 그림 6(b)와 같이 일반화 다각형 형상공간 장애물로 확장된다. 그림 6(a)와 마찬가지로 백본 경로는 실선으로, 실제 이동 경로는 점선으로 표시되어 있다. 백본경로는 자유공간상의 링크와 원호의 연결로 이루어져 있는데 오프세팅은 장애물의 꼭지점으로부터 직접 이루어져 실제 이동은 마찬가지로 링크추종(선분)→오프세팅→링크추종(원호)·장애물 충돌감지의 반복으로 이루어진다.

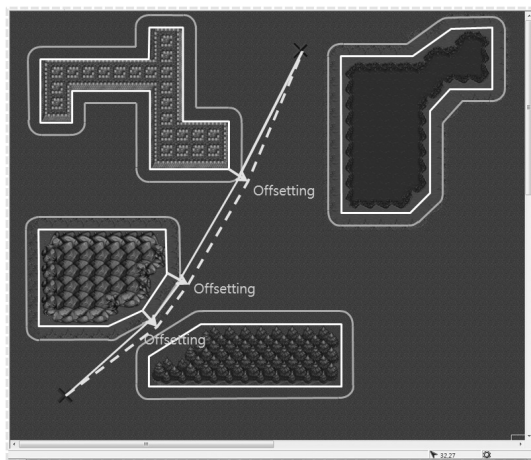
그룹 전체를 커버하는 형상공간을 생성하지 않고 개별 캐릭터의 형상공간에서 경로 계획을 하는 것의 이유를 그림 7의 예에서 보여준다. 그림 6(b)가 리더만을 고려하여 형상공간으로 변환한 경우이고 그림 7은 그룹 전체가 이동하기 위해 필요한 간격을 지름으로 한 원형 모델로 형상공간을 생성한 경우이다. 그림 7에서는 자유공간의 일부가 블로킹되어 우회하는 경로가 최단 경로로 찾아지는 것을 볼 수 있다. 그러므로 본 논문에서 제안한 방식과 같이 리더만 고려하여 전역 경로를 계획하면 최단 경로를 찾을 수 있기 때문에 이와 같은 문제를 해결할 수 있는 것이다.

시뮬레이션 3. 보로노이 다이어그램

보로노이 다이어그램의 링크는 장애물들로부터 가장 멀리 떨어진 중간점들로 이루어져 있으므로 오프세팅을 하면 항상 다른 장애물로 가까워지는 결과를 가져온다.



(a) 다각형으로 모델링된 경우



(b) 원형으로 모델링된 경우

그림 6. 가시성 그래프에 의해 계획된 경로와 실제 이동 경로

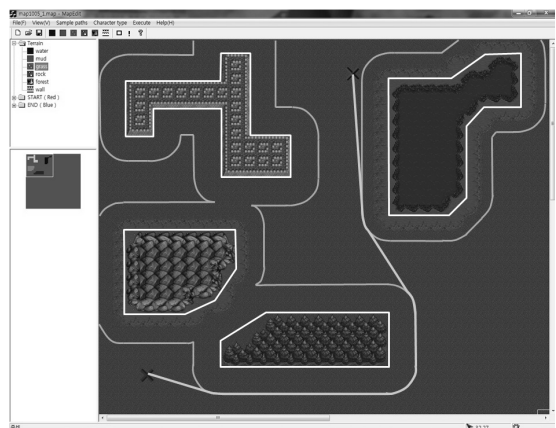


그림 7. 그룹 전체를 모델링한 경우의 형상공간과 최단 거리

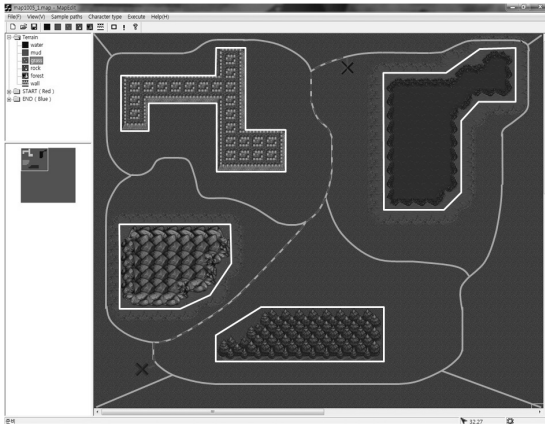


그림 8. 보로노이 다이어그램에 의해 계획된 경로와 실제 이동 경로

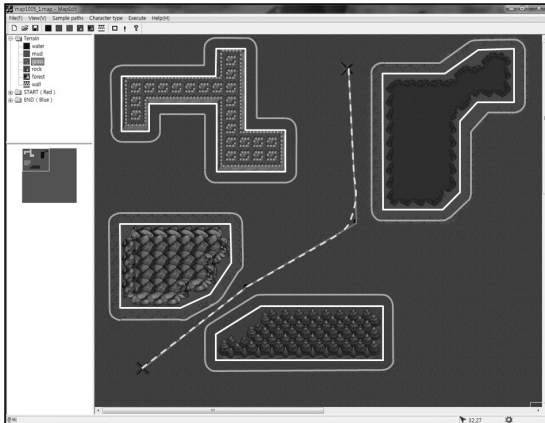


그림 9. 웨이포인트 그래프에 의해 계획된 경로와 실제 이동 경로

그러므로 리더는 오프세팅없이 링크만 따라가게 된다. 즉 선분과 포물선 링크추종을 반복하게 되며 실제 이동 경로는 그림 8의 점선과 같다. 그룹 이동에 부족한 공간은 그룹 이동시에 감지선을 이용하여 감지되게 된다.

시뮬레이션 4. 웨이포인트 그래프

웨이포인트 그래프는 레벨 설계자가 임의로 설정한 노드를 연결하여 백본경로가 생성되는데 그림 9는 하나의 예를 보여준다. 웨이포인트 그래프상의 백본경로는 선분 링크의 연결로만 이루어지게 되는데 링크의 연결 부분을 곡선화하여 이동 경로를 취하게 된다. 그러므로 실제 이동은 링크추종(선분)→곡선화→링크추종(원호)·장애물 충돌감지의 반복으로 이루어진다. 이와 같은 실행 결과로

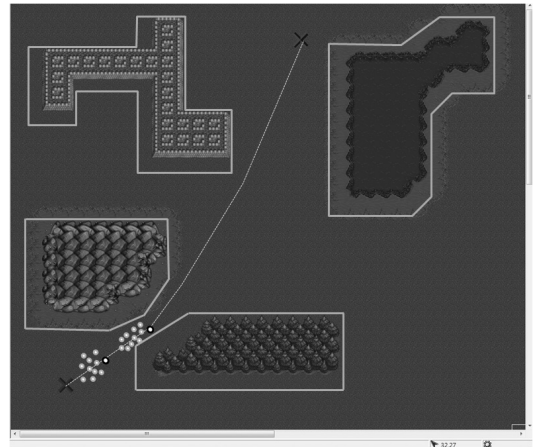


그림 10. 가시성그래프에 의해 계획된 경로를 그룹이 이동하는 모습

표 1. 이동 시뮬레이션에 걸린 시간(단위:msec)

장애물 개수	감지 상자에 의한 충돌 감지 경우	감지선에 의한 충돌 감지 경우	
		형상공간 변환	이동 시뮬레이션
3	1517	1.41	790
5	1823	2.34	958
7	2037	3.28	1058
9	2330	4.22	1144

실제 이동 경로는 점선과 같다.

그림 10은 가시성 그래프에서 리더가 제안된 방식대로 추종할 때 그룹 멤버들의 이동중인 두 프레임을 보여준다. 좌측 하단의 X에서 출발하여 초기에는 리더 추종 방식으로 주어진 대형을 자연스럽게 유지하며 무리지어 이동하다가 장애물과의 간격이 충분하지 않은 링크를 따라가기 위해 장애물을 감지한 멤버들이 링크를 향해 좁혀 이동하는 모습을 나타낸다. 그룹 멤버들의 이동 방식은 로드맵의 종류와는 상관이 없어 다른 종류의 로드맵에 대해서도 유사한 결과를 보인다.

로드맵위에 조타 행동에 의한 그룹의 이동이 시뮬레이션될 때 가장 시간이 많이 소요되는 부분은 장애물과의 충돌을 감지하는 과정이다. 그림 6-9에 걸쳐 소개된 로드맵 방식들은 움직이는 물체를 점으로 환산한 형상공간에서 정의되었으므로 이와 같은 충돌 감지 시간을 줄일 수 있다. 즉, 기존에는 캐릭터의 경계 반경을 가로로, 캐릭터의 속도에 비례한 변을 세로로 하여 생성한 감지 상자를 이용하여 장애물과의 충돌을 감지하였는데 형상공간에서

는 감지 상자 대신에 속도에 비례한 선분으로 이용하여 다각형과의 교차 검사 과정을 선분과의 교차로 줄일 수 있었다. 이는 시간복잡도 측면에서는 동일하지만 실제 시간상으로는 표 1과 같은 이득을 볼 수 있었다. 원래 문제를 형상 공간으로 변환하는데 추가로 소요되는 시간이 있으나 장애물 충돌 감지는 프레임마다 이루어지기 때문에 전체 시뮬레이션 시간에 미치는 영향은 크지 않아 평균 1.95배의 속도 향상을 볼 수 있었다.

6. 결 론

본 논문에서는 자연스러운 그룹의 이동을 구현하였다. 기존의 플로킹에 기반한 그룹 이동이 지역적인 이동 제어에만 국한하여 NPC의 움직임이 지능적으로 보이지 않던 단점을 로드맵 방식을 이용하여 리더의 경로를 전역적으로 계획함으로써 보완하고 나머지 멤버들은 리더를 기준으로 확장된 플로킹을 실행하여 기존 플로킹의 장점인 빠르기를 크게 희생하지 않고 계획된 경로를 따라갈 수 있었다. 움직이는 캐릭터를 점으로 환산한 형상공간을 이용함으로써 감지 상자를 이용하는 대신 감지선을 이용하여 장애물과의 충돌을 체크하는 과정이 효과적으로 이루어질 수 있었다. 또한 제한한 방법이 위치를 나타내는 노드와 노드 사이에 링크로 이루어진다는 의미에서 게임 분야에서 많이 사용되는 웨이포인트 그래프도 이 범주에 포함시킬 수 있어 제한한 방법의 게임 활용 범위가 넓다고 할 수 있었다.

그러나 보로노이 다이어그램에서는 꺾임 현상이 그대로 남아 있고 가시성 그래프에서 오프세팅에 의해 장애물이 가까워지는 현상을 발생하는 등의 보완할 부분이 남아 있으며 그룹 이동의 경우에는 다른 행동의 종류나 선택의 기준 등이 레벨 설계자에 의해 임의로 정해져서 다양한 상황을 커버하도록 확장해야 하는 여지가 남아있다. 향후에는 레벨 설계자의 기준으로 정한 행동 분류를 기계학습을 통해 자동화하고 포텐셜장 등을 통해 더욱 다양한 행동을 보일 수 있도록 하는 연구가 진행될 것이다.

참 고 문 헌

- Alt, G. and King, K. (2004), "Intelligent Movement Animation for NPCs", *AI Game Programming Wisdom 2*, Charles River Media, pp. 269-279.
- Amor, H. B. and Murray, J. and Obst, O. (2006), "Fast, Neat, and Under Control: Arbitrating Between Steering Behaviors", *AI Game Programming Wisdom 3*, Charles River Media, pp. 221-232.
- Bayazit, O. and Lien, J. M. and Amato, N. M. (2002), "Better group behaviors using rule-based roadmaps", In *Proc. Int. Workshop on Algorithmic Foundations of Robotics*.
- Dapper, F. and Prestes, E. and Nedel, L. P. (2007), "Generating Steering Behaviors for Virtual Humanoids using BVP Control", In *Proceedings of Computer Graphics International (CGI)*, pp. 105-114.
- Kamphuis, A. and Rook, M. and Overmars, M. (2005), "Tactical Path Finding in Urban Environment", In *Proceedings First International Workshop on Crowd Simulation*, pp. 51-60.
- Karamouzas and Geraerts, R. and Overmars, M. (2009), "Indicative routes for path planning and crowd simulation", *Proceedings of the 4th International Conference on Foundations of Digital Games*.
- Kuffler, Jr. J. J. (1998), "Goal-directed navigation for animated characters using real-time path planning and control", In *Proc. of CAPTECH '98 : Workshop on Modelling and Motion Capture Techniques for Virtual Environments*, Springer-Verlag.
- Latombe, J. C. (1991), *Robot Motion Planning*, Kluwer Academic Publishers.
- LaValle, S. M. (2006), *Planning Algorithms*, Cambridge University Press.
- O'Rourke, J. (1998), *Computational Geometry in C*, Cambridge Press.
- Pinter, M. (2001), "Towards more realistic pathfinding", *Game Developer Magazine*, April.
- Reynolds, C. W. (1987), "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model", *Computer Graphics*, pp. 25-34.
- Reynolds, C. W. (1999), "Steering Behaviors for Autonomous characters", *Game Developer Conference*.
- Silveira, R. and Prestes, E. and Nedel, L. P. (2008), "Managing Coherent Groups", *Computer Animation and Virtual Worlds*, 19(3-4), pp. 295-305.
- Wein, R. and Berg, V. D. and J. P. and Halperin, D. (2005), "The Visibility-Voronoi Complex and Its Applications," In: *Proc. European Workshop on Computational Geometry*, pp. 151-154.
- Yu, K. (2006), "Finding a Natural-Looking Path by Using Generalized Visibility Graphs", *PRICAI-2006*, pp. 170-179.



유 견 아 (kyeonah@duksung.ac.kr)

1986 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 학사
1988 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 석사
1995 미국 USC Computer Science 박사
1996~현재 덕성여자대학교 컴퓨터학과 교수

관심분야 : 인공지능, 로봇 알고리즘, 연산 기하학



조 수 진 (cho2460@duksung.ac.kr)

2011 덕성여자대학교 컴퓨터공학부 학사
2011~현재 덕성여자대학교 전산정보통신대학원 석사과정

관심분야 : 인공지능, 게임 프로그래밍



김 경 혜 (kkroong@duksung.ac.kr)

2011 덕성여자대학교 컴퓨터공학부 학사
2011~현재 덕성여자대학교 전산정보통신대학원 석사과정

관심분야 : 인공지능, 패턴인식