

군중의 경로 추적 행동 Path Following Behavior of Crowd

이지현
LG 전자 S/W&S 센터

Yi Ji-hyeon
LG Electronics S/W&S Center

요약

컴퓨터 애니메이션을 이용한 군중 장면은 영화나 게임에서 자주 등장한다. 군중의 보행동작을 생성하기 위해 기존의 기술들은 주로 군중의 각 개체들의 행동을 모델링하여 접근하였다. 하지만, 군중의 규모가 커질수록 모든 개체를 개별적으로 제어하기는 어려워진다. 따라서 대규모 군중의 경우 개체별로 행동을 모델링하기보다 집단별로 모델링하여 보다 직관적으로 군중을 제어할 수 있다. 본 논문에서는 집단의 경로 추적 행동을 시뮬레이션하기 위한 집단 역장 모델을 제안한다. 집단은 같은 목적, 즉 같은 경로를 따라 무리지어 행동하는 개체들의 모임으로 정의된다. 또한 집단의 무리짓는 행동은 정렬, 응집, 분리의 세 가지 특징으로 규정지을 수 있다. 집단 역장 모델을 통해 이러한 집단의 특징들을 보존하면서 개체 간의 충돌을 자연스럽게 회피할 수 있다. 제안한 기술을 통하여, 사용자는 나란히 늘어난 집단에서 동그랗게 뭉쳐진 집단까지 원하는 형태의 경로 추적 애니메이션을 생성할 수 있다.

Abstract

Computer-animated crowd scenes are often observed in computer games and feature films. The common way to model locomotion of large human crowds is to employ agent based methods where the behavior of each person is independently modeled. But for large crowds, it is difficult for a user to control all the individuals using individual behavior model. Instead, crowd behaviors can be controlled more intuitively at the group level than at the individual level.

In this paper, we present the group force field model to simulate path following behavior for groups. A group is a set of characters who have the same goals, i.e. the same path to follow. We also define three characteristics of grouping behavior: alignment, cohesion, and distribution. Our group force field model preserves these characteristics while avoiding collisions. By using our model, user can generate desired group behaviors from line-up behavior to lumped one.

I. 서론

사람들이 밀집한 거리나 전장과 같이 대규모의 군중이 등장하는 장면은 영화, 게임 등의 영상 매체에서 흥미와 감동을 유발한다. 군중 장면은 그 규모나 비중에 점차 커지고 있는 추세이나, 실제로 이를 제작하기 위해서는 대규모의 인력과 막대한 비용, 시간이 소요되므로, 최근에는 컴퓨터 애니메이션을 통해 군중 장면을 생성하고 있다.

일반적으로 군중 시뮬레이션은 개체의 개별적인 행동을 제어함으로써 장면을 생성한다. 군중은 주변 환경이나 다른 개체들로부터 얻은 정보와 자신의 상태, 목적을 바탕으로 스스로 행동을 결정하는 개체들의 모임이므로 이러한 모델링은 다당하다. 이 패러다임에 따라 각 개체별로 목적, 행동 및 행동 규칙을 설정함으로써 군중을 제어할 수 있다.

하지만, 군중의 규모가 커지면 모든 개체를 개별적으로 제어하기는 어려워진다. 각 개체들을 다 제어할 수 있다 하더라도, 개체들의 행동이 모인 군중 장면이 어떠할지 예측하기는 어렵

다. 이를 해결하기 위해 사용자가 각 개체별이 아닌, 더 큰 단위, 즉 집단별로 제어할 수 있는 환경을 제공할 필요가 있다.

본 논문에서 집단은 단순히 여러 개체의 모임이 아니라, 같은 목적에 따라 무리지어 행동하는 개체들의 모임으로 정의한다. 따라서 사용자가 한 집단에게 경로를 추적하는 행동을 부여하면, 자동으로 집단의 구성원들이 같은 경로를 따라 무리지어 이동하도록 만드는 것이 본 논문의 목적이다.

여러 개체들이 같은 경로를 추적 한다고 해서 반드시 무리지어 이동한다는 보장은 없다. 특히, 복잡한 환경에서는 처음에 한 무리를 이루고 있던 개체들이라도 충돌 회피 등을 위해 진행 방향을 수정하면서 여러 무리로 나뉠 수 있다. 4장에서는 복잡한 환경에서도 개체들이 무리지어 이동할 수 있도록 김도한 등[7]의 역장 모델을 개선한 집단 역장 모델을 제안한다.

II. 관련 연구

본 논문은 집단의 이동을 다루고 있으므로, 군중 시뮬레이션

과 밀접한 관련이 있다. 그래픽스 분야에서 가장 먼저 군중의 시뮬레이션을 다룬 사람은 Reynolds로, 지역적인 정보에 기반하여 동물들이 무리지어 이동할 수 있음을 보였고[19], 이를 확장하여 자율적으로 행동하는 개체들의 스티어링 행동 (steering behavior)을 제안하였다[20].

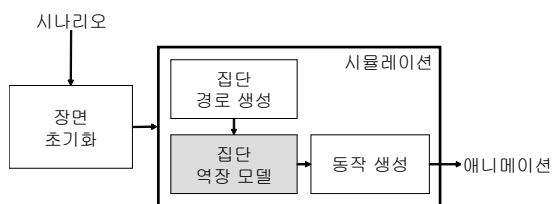
보행자 역학 분야에서 Helbing 등[5]은 일반적인 경우와 패닉 상황에서의 보행자를 시뮬레이션하기 위한 social force model을 제안하였다. 김도한 등[7]은 이를 변형하여 사건 구동 패러다임에 적합한 역장 모델을 개발하였으며, 본 논문의 집단 역장 모델은 이를 개선한 것이다. 유체 역학에 기반한 Continuum Crowds[22]에서는 연속체 역학에 기초하여 동적 포텐셜 필드를 이용한 실시간 군중 모델을 제안하였다.

Brogan 등[1]은 집단의 행동을 모델링하기 위해 개개인이 집단의 속도, 이웃 개체들과 주변 장애물을 바탕으로 계산한 위치로 이동하도록 하는 알고리즘을 제안하였다. Musse 등[16]은 개체 간의 관계를 정립하기 위해 사회학적인 모델을 적용하였으며, Funge 등[2]은 행동 역학뿐만 아니라 지식, 학습 등의 인지적인 측면까지 모델링한 방식을 제안하였다. Shao 등[21]은 인지 모델에 보행자의 시야 정보와 경로 계획을 추가하였다.

충돌 회피에 관한 연구로는, 행동 모델을 이용한 방법[23], 개체들의 밀도를 이용한 방법[15], 그리드에 기반한 방법[12], 입자들 간의 작용력을 모델링하는 방법[4], Bayesian 결정 과정을 이용하는 방법[14], 시간이 따라 크기가 변하는 경계 (time varying bound:TVB)를 이용한 방법[7, 8] 등이 있다. TVB를 이용하면 충돌 시간을 예측할 수 있으므로 사건 구동 방법에 적합하며, 본 논문에서도 이를 이용하였다.

광역적인 경로 계획을 위한 대표적인 방법으로는 그래프 기반 기법[10]과 정적인 포텐셜 필드[3]를 이용하는 방법이 있다. Li 등[11]은 지도자-추종자 모델을 가정하여, 지도자에 대해서만 경로를 계획함으로써 광역 계획의 비용을 줄였다. Kamphuis와 Overmars[6]는 경로 계획을 확장하여 개체들이 응집성을 가지도록 하였다. 본 논문에서는 그래프 기반 방법을 이용하였다.

III. 시뮬레이션 시스템



▶▶ 그림 1. 시스템 구조도

본 논문에서 사용한 시스템은 장면 초기화 모듈과 행동 시뮬레이션 모듈로 구성된다(그림 1). 먼저 시나리오에 따라 장면을 구성하고 시스템을 초기화하면, 사건 구동 방법[7]에 기초한 시뮬레이션이 시작된다. 시뮬레이션은 집단의 경로 생성, 집단 역장 모델을 이용한 개체별 경로 수정 및 보행 동작 생성의 세 단계로 이루어지며, 그 결과로 최종 애니메이션이 생성된다.

장면 초기화 모듈은 시나리오를 입력으로 받아 시뮬레이션에 필요한 초기화를 수행한다. 시나리오는 연출할 장면을 구성하고 개체 및 집단의 행동을 설정하기 위한 도구로 스크립트를 통해 기술되며, 본 논문에서는 범용 스크립트 언어인 Lua[13]를 이용하였다. 이 단계에서는 집단 경로 생성을 위해 장면 초기화 시 공간을 분할하고 A* 검색을 하여 분할된 공간 사이의 모든 경로를 계산해둔다.

집단 경로 생성 단계에서는 사용자가 입력한 경로를 이용하거나, 초기화 단계에서 계산해둔 경로를 참고하여 집단의 경로를 실시간으로 생성한다. 집단의 경로가 생성되면, 경로 추적 행동이 구성원에게 전파되며, 각 개체들이 집단 경로를 근사하며 추적하는 행동을 수행하게 된다.

개체의 동작 생성은 매 프레임 수행되며, 집단 역장 모델을 이용하여 계산된 힘을 바탕으로 개체의 속도와 위치를 갱신하고 그에 따른 동작을 [9, 17]을 이용하여 생성한다.

집단 역장 모델은 [7]의 역장 모델을 확장하여 집단의 무리짓는 특성을 추가한 것으로 4장에서 자세히 설명하고, 여기에서는 [7]의 역장 모델을 간략히 설명한다. 역장 모델은 보행자가 마치 외력을 받고 있는 것처럼 행동한다는 보행자 역학에 기반하여, 한 개체에 가해지는 힘을 여러 작용력-추진력, 억제력, 회피력-의 합력으로 수리적으로 모델링한 것이다.

$$f_k = f_k^d + \sum_j w_{k,j} f_{k,j}^b + \sum_j w_{k,j} f_{k,j}^a \quad (1)$$

$$w_{k,j} = \max(v_k \cdot \hat{d}_{k,j}, 0) \quad (2)$$

추진력(driving force, f_k^d)은 희망 방향으로 이동하려는 힘이고, 억제력(braking force, $f_{k,j}^b$)은 이웃 개체(j)를 향한 속력을 조절하여 충돌을 방지하려는 힘이며, 회피력(avoiding force, $f_{k,j}^a$)은 진행 방향을 바꾸어 충돌을 피하려는 힘이다. 가중치 $w_{k,j}$ 는 개체 j 로 인한 작용력이 차지하는 비율이다. v_k 는 개체 k 의 속도이고, 두 개체의 위치가 각각 x_k, x_j 일 때,

$$d_{k,j} = x_j - x_k, \hat{d}_{k,j} = \frac{\|d_{k,j}\|}{d_{k,j}} \text{이다.}$$

IV. 집단 역장 모델

기존의 역장 모델을 이용하면 개체들이 회피력에 의해 수정된 방향으로 이동하여 집단 분리 현상이 발생할 수 있고 환경이 복잡할수록 이는 더 심화된다. 이러한 현상을 해결하기 위하여 집단의 무리짓는 특성을 유지하는 힘인 집단력(grouping force, f_k^g)을 추가한 집단 역장 모델을 제안한다.

$$f_k = f_k^d + \sum_j w_{k,j} f_{k,j}^b + \sum_j w_{k,j} f_{k,j}^a + f_k^g \quad (3)$$

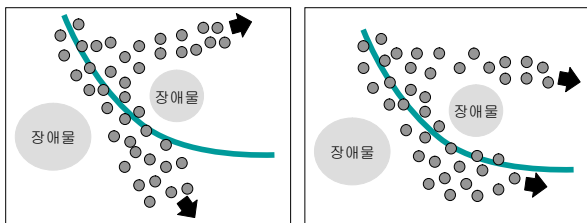
집단의 무리짓는 특성은 정렬, 응집, 분리의 세 가지로 나타낼 수 있다. 정렬은 이웃 개체들과 비슷한 속도로 이동하려는 특성으로 집단에 통일성을 부여한다. 응집은 집단에서 떨어진 개체들이 다시 집단에 합류하려는 특성으로, 집단의 경계를 형성하고 개체들이 경계 안에 존재하게 한다. 분리 특성은 구성원들이 경계 내부에서 고른 분포를 갖고, 소규모 집단을 형성하지 않도록 한다. 개체 k 에 작용하는 집단력 f_k^g 는 다음과 같이 정의된다.

$$f_k^g = f_k^{ali} + f_k^{coh} + f_k^{sep} \quad (4)$$

우변의 항들은 집단의 특성을 나타내는 작용력들로, 각각 정렬력(f_k^{ali}), 응집력(f_k^{coh}), 그리고 분리력(f_k^{dis})이다. 정렬력과 분리력은 주변 개체와의 관계를 이용하여 계산되므로 지역적인 성격을 띠는 반면, 응집력은 집단의 중심을 고려하므로 광역적인 성격을 가진다.

1. 정렬력

추진력에 의해 각 개체는 경로의 접선 방향을 희망 방향으로 설정하므로 인접한 개체들은 비슷한 방향을 갖는다. 하지만 복잡한 환경에서는 충돌 회피를 위해 속도를 조정하여 인접한 개체들도 서로 다른 속도를 가질 수 있으며, 이는 집단이 분리되는 계기가 된다.



▶▶ 그림 2. 정렬 특성
(좌)Reynolds의 방법 (우)본 논문의 방법

Reynolds는 주변 개체들의 평균 속도를 희망 속도로 설정하여 정렬 특성을 부여하였다[19, 20]. 이 경우, 주변 개체들은 비슷한 방향을 가지지만 경로 추적이라는 원래의 목적을 잃을 수 있다(그림 2 (좌)). 따라서, 집단 구성원들이 비슷한 속도로 이동하도록 국지적으로 정렬력을 더하여 정렬 특성을 갖게 한다(그림 2 (우)).

$$f_k^{ali} = c^{ali} \left(\frac{\sum_j w_{k,j}^{ali} v_j}{\sum_j w_{k,j}^{ali}} - v_k \right) \quad (5)$$

$$w_{k,j}^{ali} = \begin{cases} 1 - \frac{dist_{k,j}}{G} & \text{if } dist_{k,j} < G, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (6)$$

정렬력 f_k^{ali} 는 주변 개체들의 거리에 따른 가중 평균 속도를 이용한다. c^{ali} 는 조절 상수이고, $w_{k,j}^{ali}$ 는 두 개체 사이의 거리가 가까울수록 큰 값을 갖는 가중치이다. $dist_{k,j}$ 는 반지름을 제외한 두 개체 k, j 사이의 실제 거리이고, G 는 정렬력 f_k^{ali} 가 적용되는 범위이다.

2. 응집력

무리지어 있는 개체들과 주변 환경 사이에는 가상의 경계선이 있는 것처럼 보여, 개체들을 하나의 집단으로 인식하게 한다. 그러나 복잡한 환경에서는 집단을 이루고 있던 개체들이 흩어져 본래의 경계를 잃을 가능성이 높아진다. 응집력은 집단의 경계에서 벗어난 개체를 본래의 집단으로 합류시켜, 개체가 집단 경계 내에 존재하려는 경향을 갖게 한다.

집단의 경계는 집단 중심으로부터의 거리 C 로 결정되며, 집단의 영역은 집단의 중심을 따라 반지름 C 인 원이 쓸고 간(swept) 영역이다. 개체들은 추진력에 의해 경로 주변에 존재하므로, 추적하고자 하는 경로의 일부분을 집단의 중심으로 근사할 수 있다. 경로 $P\{x_1, \dots, x_n\}$ 에 대해, 집단 중심은 경로 $\tilde{P}\{x_a, \dots, x_b\}$, $a \geq 1, b \leq n$ 이다. 개체 k 와 가장 가까운 \tilde{P} 상의 점을 x_c 라 할 때, 응집력 f_k^{coh} 는 다음과 같이 정의된다.

$$f_k^{coh} = c^{coh} \max(\|d_{k,c}\| - C, 0) \hat{d}_{k,c} \quad (7)$$

c^{coh} 는 조절 상수이고, 응집력의 방향 $\hat{d}_{k,c}$ 는 개체 k 에서 경로 상의 점 x_c 로 향하는 방향이며, 크기는 집합 영역의 경계로부터 개체까지의 거리와 같다.

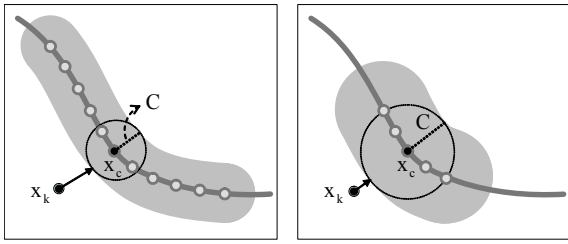


그림 3. 집단의 영역과 응집력

\bar{P} 의 길이와 C 는 각각 집단의 진행 방향과 그 수직 방향으로 퍼지는 정도를 조절하며, 이 둘이 만드는 영역(그림 3)은 Kamphuis 등[6]이 말한 수송 경로(corridor)와 유사하나, 내부에 장애물을 포함할 수 있다는 점에서 차이가 있다.

3. 분리력

개체들은 주변 환경에 따라 진행 방향을 수정하며 이동하는데, 이로 인해 집단의 영역 내에서 소규모 집단을 형성할 수 있다. 정렬 특성에 의해 이웃한 개체는 비슷한 속도를 가지므로, 한 번 형성된 소집단이 지속되어 집단의 분리로 인식될 수 있다. 따라서, 개체들이 적정 거리를 유지하게 하여 소규모 집단의 생성을 억제하는 분리 특성이 필요하다.

$$f_k^{dis} = -c^{dis} \nabla \rho(x_k, z_k) \tag{8}$$

분리력은 주변 개체들의 확률밀도 함수로 나타낼 수 있다. $\nabla \rho$ 는 밀도가 높은 방향을 가리키는 기울기 벡터이다. 개체 k 에 작용하는 분리력 f_k^{dis} 는 고른 분포를 위해 밀도가 낮아지는 $-\nabla \rho$ 방향으로 작용한다. c^{dis} 는 조절 상수이다.

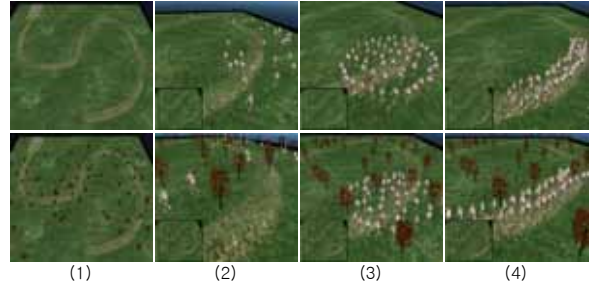
주변 개체들의 밀도는 파젠 윈도우(Parzen window) 방법 [18]을 이용하여 근사하였다. 주변 개체들의 (x, z) 좌표를 $(x_1, z_1), (x_2, z_2), \dots, (x_N, z_N) \in R^2$ 이 라고 할 때, 2차원 파젠 윈도우는 다음과 같이 정의된다.

$$\rho(x, z) = \frac{1}{N} \sum_j W(x - x_j, z - z_j) \tag{9}$$

$$W(x, z) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + z^2}{2\sigma^2}\right) \tag{10}$$

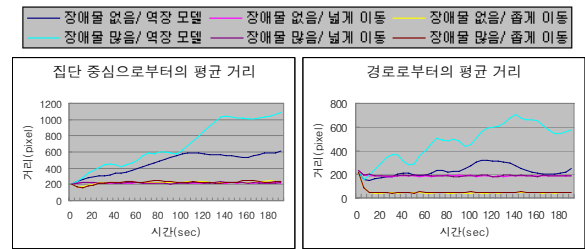
W 는 확률핵(stochastic kernel)으로 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 2차원 가우시안 함수를 사용한다. 원하는 분리 특성을 얻기 위해서는 σ 의 선택이 중요한데, 실험적으로 개체의 반지름 크기정도가 적당하였다.

V. 실험 결과



▶▶ 그림 4. (1)초기 배치 (2)역장모델 (3)(4) 집단 역장 모델

본 논문에서는 Intel Pentium^R 4 3.0GHz CPU, 2GB RAM, ATI RadeonTM X800 XT VGA를 사용하였다. 실험은 장애물이 없는 환경과 장애물이 많은 환경에서, 기존의 역장 모델과 집단 역장 모델을 비교하는 방식으로 진행하였다. 또한, 집단 역장 모델 실험 시 집단의 폭을 조절하여 비교하였다.



▶▶ 그림 5. 정렬 및 응집 특성

그림 5는 시뮬레이션이 진행됨에 따라 집단 중심으로부터의 평균거리와 경로로부터의 평균 거리가 어떻게 변했는지 보여준다. 이는 각각 집단이 차지하는 영역의 크기와 개체들이 경로를 얼마나 잘 따라 이동하였는지 나타내는 지표이다. 기존의 역장 모델은 시간이 지남에 따라 개체들이 많이 흩어져 경로에서도 멀어지고 집단의 크기도 커졌으나, 집단 역장 모델을 이용한 경우는 일정한 집단 크기를 유지하며 경로를 따라 이동하였음을 알 수 있다.

[표 1] 분리 특성(단위:pixel)

	역장 모델	집단 역장 모델	
		넓게 이동	좁게 이동
장애물 없음	1st nearest	97.78	41.89
	2nd nearest	146.31	46.65
	3rd nearest	188.72	59.29
장애물 많음	1st nearest	88.50	41.74
	2nd nearest	144.73	47.11
	3rd nearest	200.97	59.80

마지막으로 각 개체들의 분리 특성을 확인하기 위해, 각 개체로부터 가장 가까운 개체와 두 번째, 세 번째로 가까운 개체와의 거리 평균을 측정해보았다(표 1). 이 값들이 비슷할수록 개체들이 고른 분포를 가진다. 집단 역장 모델을 사용하면 기존 역장 모델보다 개체들 간 거리 분포차가 적어 고른 분포를 가진다.

VI. 결 론

본 논문에서는 경로를 따라 이동하는 군중을 시뮬레이션하기 위해 사건 구동 방식에 기반한 시뮬레이션 시스템을 제안하였으며, 이를 통해 사용자는 같은 행동을 할 여러 개체를 묶어 집단 단위로 제어할 수 있다. 또한, 집단의 무리짓는 특성을 정렬, 응집, 분리로 규정하고 이를 수리적으로 모델링한 집단 역장 모델을 제안하고, 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

현재의 역장 모델은 개체 간의 상호 작용만을 고려하나, 집단끼리의 상호 작용이나 계층적인 구조에서 상위위 계층 간의 상호 작용도 고려한다면 좋은 연구가 나올 것으로 기대된다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] D. Brogan and J. Hodgins, "Group Behaviors for Systems with Significant Dynamics", *Autonomous Robots*, pp.137-153, 1997.
- [2] J. Funge and X. Tu and D. Terzopoulos, "Cognitive Modeling: Knowledge, Reasoning and Planning for Intelligent Characters", *SIGGRAPH '99*, pp.29-38, 1999.
- [3] S. Goldenstein and M. Karavelas and D. Metaxas and L. Guibas and E. Aaron and A. Goswami, "Scalable nonlinear dynamical systems for agent steering and crowd simulation", *Computers and Graphics*, Vol.25, No.6, pp.983-998, 2001.
- [4] L. Heigeas and A. Luciani and J. Thollot and N. Castagné, "A Physically-Based Particle Model of Emergent Crowd Behaviors", *Graphicon*, 2003.
- [5] D. Helbing and I. J. Farkas and T. Vicsek, "Simulating dynamic features of escape panic", *Nature*, pp.407:487-490, 2000.
- [6] A. Kamphuis and M. H. Overmars, "Finding paths for coherent groups using clearance", *SCA '04*, pp.19-28, 2004.
- [7] H. K. Kim and L. Guibas and S. Y. Shin., "An Event-Driven Approach to Crowd Simulation with Example Motions", *Technical Report 2003-186*, KAIST EECS, 2003.
- [8] H. K. Kim and L. Guibas and S. Y. Shin., "Efficient Collision Detection among Moving Spheres with Unknown Trajectories", *Algorithmica*, 2005.
- [9] T. Kwon and S. Y. Shin, "Motion Modeling for On-Line Locomotion Synthesis", *SCA '05*, pp.29-38, 2005.
- [10] F. Lamarche and S. Donikian, "Crowd of virtual humans: a new approach for real time navigation in complex and structured environments", *Computer Graphics Forum*, Vol.23, No.3, pp.509-518, 2004.
- [11] T. Y. Li and Y. J. Jeng and S. I. Chang, "Simulating virtual human crowds with a leader-follower model", *Proc. of 2001 Computer Animation Conference*, pp.93-102, 2001.
- [12] C. Loscos and D. Marchal and A. Meyer, "Intuitive Crowd Behaviour in Dense Urban Environments using Local Laws", *TPCG '03*, pp.122, 2003.
- [13] Lua, <http://www.lua.org/>
- [14] R. A. Metoyer and J. K. Hodgins, "Reactive Pedestrian Path Following from Examples", *CASA '03*, pp.149, 2003.
- [15] S. R. Musse and C. Babski and T. Capin and D. Thalmann, "Crowd modeling in collaborative virtual environments", *VRST '98*, pp.115-123, 1998.
- [16] S. R. Musse and D. Thalmann, "A model of human crowd behavior: Group inter-relationship and collision detection analysis", *Computer Animation and Simulation '97*, pp.39-51, 1997.
- [17] S. I. Park and H. J. Shin and T. H. Kim and S. Y. Shin, "On-line motion blending for real-time locomotion generation", *Computer Animation and Virtual Worlds*, Vol.15, pp.125-138, 2004.
- [18] E. Parzen, On estimation of a probability density function and mode, *Ann. Math. Stat.* 33, pp.1065-1076, 1962.
- [19] C. W. Reynolds, "Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model", *Computer Graphics* 21(4), pp.25-34, 1987.
- [20] C. W. Reynolds, "Steering Behaviors For Autonomous Characters", *Conference Proc. of the 1999 Game Developers Conference*, pp.763-782, 1999.
- [21] W. Shao and D. Terzopoulos, "Autonomous pedestrians", *SCA '05*, pp.19-28, 2005.
- [22] A. Treuille and S. Cooper and Z. Popovic, "Continuum crowds", *ACM Trans. Graph.*, Vol.25, No.3, pp1160-1168, 2006.
- [23] X. Tu and D. Terzopoulos, "Artificial fishes: physics, locomotion, perception, behavior", *SIGGRAPH '94*, pp. 43-50, 1994.