

# 모션 패치 기반 군중 시뮬레이션 생성 Crowd Simulation based on Motion Patches

\*윤민지<sup>1</sup>, 현경렬<sup>2</sup>, #이제희<sup>3</sup>

\*M.Yoon<sup>1</sup>, K. Hyun<sup>2</sup>, #J. Lee(jehee@mrl.snu.ac.kr)<sup>3</sup>

서울대학교 컴퓨터공학과

Key words : Crowd simulation, human motion, interaction, motion capture

## 1. 서론

다수의 캐릭터들이 상호작용을 하는 시뮬레이션을 생성하는 것은 최근 떠오르는 그래픽스 분야의 연구 주제 중 하나이다. 시뮬레이션 생성 시, 상호작용 중인 캐릭터들 사이의 시공간적 위치가 잘 맞물려야하므로 모션들에 대한 세밀한 조정이 요구되는 어려움이 있다. 이에 대해 우리는 상호작용하는 캐릭터들로 이루어진 밀집된 군중을 자동으로 만들어내는 알고리즘을 제안한다. 우리는 여러 캐릭터가 상호작용을 하며 만드는 하나의 에피소드를 기본 단위로 삼아 이를 하나의 모션패치로 모델링한다. 그 후, 모션 패치들을 시공간 상에서 타일링하는 방식으로 문제를 해결한다. 우리는 이 알고리즘을 통해 모션의 다양성과 캐릭터간 상호작용의 시공간적 밀도의 측면에서 현재 애니메이션 기술이 생성해 낼 수 있는 것보다 더 뛰어난 군중 시뮬레이션을 생성해냈다.

## 2. 모션 패치

우리는 캐릭터들간의 상호작용을 모션패치로 모델화 하여 짧은 시간 동안 일어나는 캐릭터들 사이의 운동으로 설명한다. 모션 패치는 타일링 시에 유연하게 대처하기 위해 변형을 허용한다. 모션 패치의 변형은 크게 경로 변형과 전신 모션 수정, 두 개의 순서로 이루어진다. 이때, 한 모션 패치내의 경로들은 캐릭터간 선형 제약 조건 (linear interpersonal constraints)에 의해 어느 정도 제한된 변형만이 이루어진다. 두 패치의 적절한 변형을 통해 한 패치에서 다른 패치로 입구와 출구를 매치시키면 특정 캐릭터가 부드럽게 이동할 수 있다.

## 3. 모션 패치 생성

주어진 모션 데이터 원본에서 타일링에 사용할

모션 패치를 생성하기 위해서 다음과 같은 세 단계의 작업을 거친다. 먼저 원본 군중 데이터로부터 에피소드를 식별한다. 에피소드란 복수의 캐릭터간의 중요하거나 일상적이지 않은 사건을 의미한다. 우리는 접촉, 근접성, 동시성의 세 가지 기준으로 원본 모션 데이터에서 에피소드를 찾는다. 다음으로, 식별된 하나의 에피소드 내에 있는 캐릭터간 혹은 캐릭터-사물간의 시공간적 제약 조건에 대한 정보를 알아낸다. 이런 제약조건은 에피소드 내의 상대적 위치, 방향, 타이밍을 모션 패치의 변형 시에도 유지시켜주는 역할을 한다. 마지막으로, 에피소드의 경계를 결정지어 하나의 모션 패치를 완성한다. 이때, 모션 패치 경계의 다양성은 패치를 이어붙이는 작업의 효율성에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 지양해야한다.

## 4. 타일링 알고리즘

모션 패치 타일링의 최종 목표는 사용자가 정의한 시공간 내에서 캐릭터들이 충돌 없이 상호작용을 하도록, 매치 되지 않는 입/출구(dangling boundary)없이 모션 패치들을 조밀하게 이어붙이는 것이다. 우리가 사용하는 타일링 기법은 샘플링을 통해 복잡한 최적화 문제를 해결하는 simulated annealing을 바탕으로 한다. 하지만 simulate annealing만을 사용한다면 dangling boundary 문제를 완벽하게 해결하는데 너무 많은 계산 시간이 걸리게 된다. 따라서 우리는 두 단계로 구성된 변형된 simulated annealing 기법을 사용하기로 한다.

모션 패치 타일링의 첫 번째 단계는 확률적 샘플링에 기반을 둔다. 임의로 샘플링된 패치가 가상 공간상에서 랜덤하게 추출된 위치, 방향, 타이밍을 가지고 타일링에 하나씩 추가 된다. 타일링에 최종 추가될지의 여부는 다음과 같은 꼴의

에너지 함수를 최소화함으로써 이루어진다.

$$E_{tiling} = \frac{N_d}{N_c + N_d} + \alpha \left( \frac{1}{N_c + N_d} \right)$$

이 때  $N_c$ 는 패치가 추가되었을 뒤 후, 연결된 입/출구의 총 개수이며  $N_d$ 는 연결되지 않은 입/출구의 총 개수이다. 위의 에너지 함수의 첫 번째 항은 **dangling boundary**가 생성되는 것을 막고, 두 번째 항은 패치들의 빠른 샘플링을 도와준다.  $\alpha$ 는 패치들의 개수와 **dangling boundary** 개수의 균형을 유지하는 상수이다. 즉 임의의 모션 패치 표본이 추가될지의 여부는 **simulated annealing**을 바탕으로 한 확률 계산을 통해 결정한다.

두 번째 단계에서는 **dangling boundary**문제를 해결하는데 초점을 둔다. 연속된 도메인 상에서의 **combinatorial exploration**과 랜덤한 **jittering**을 통해서 문제를 효율적으로 해결한다. 즉 특정 **dangling boundary**가 사라질 때까지 해당 **boundary**에 가능한 모든 패치를 **jittering**과 함께 시험해보는 것이다. 넓은 자유 공간에서는 이러한 철저한 조사가 불가능하지만 우리에게 주어진 자유공간은 패치 연결이 까다로운 협소한 부분들뿐이다. 왜냐하면 알고리즘의 첫 번째 단계로부터 얻어낸 패치 타일링은 랜덤 샘플링의 특성상 이미 전체 공간의 대부분을 탐색한 상태이기 때문이다.

### 5. 지역적 업데이트 알고리즘

4장에서 설명한 알고리즘을 통해 완벽하게 타일링된 모션 패치 집합이 생성된다. 이렇게 완성된 모션패치 타일링 위에 사용자 조작이나 환경의 변화가 일어나는 경우 타일링을 지역적으로 업데이트해야 한다. 이를 위해 우리는 **Reversible Jump Marko Chain Monte Carlo**의 변형된 알고리즘을 제안한다. 4장의 알고리즘이 패치의 추가만 허용했던 것과는 달리, 지역적 업데이트 알고리즘은 실행 과정에서 모션 패치들의 추가와 제거가 모두 일어난다. 샘플링을 통해 임의의 패치를 뽑은 뒤, 이 패치를 추가/제거함으로써 전체 에너지가 낮아지게 되면 패치를 추가/제거한다.

이미 한번 타일링이 완성되었던 패치 집합에 새로운 패치의 추가/제거 제안은 거절될 확률이 높다. 계속해서 제안이 거절당하는 상황은 타일링 계산에서 병목현상을 일으킨다. 따라서 우리는 **delayed rejection policy**를 통해 지속적인 거절이 일어나는 상황을 완화시킨다. **delayed rejection pol-**

**icy**는 하나의 패치를 추가/제거하려는 최초의 제안이 거절당하면 원래의 **MCMC**알고리즘과는 달리 샘플링 과정으로 돌아가지 않고, 변형된 제안을 할 기회를 연속적으로 한번 더 주는 것이다. 즉  $x_n$ 에서  $x_{m'}$ 으로 가는 제안이 거절되면 우리는 수선과정을 통해 새로운 샘플  $x_l$ 을 만들어낸다. 모든 제안에 대해서 두 번의 기회가 주어지며, 두 번의 기회가 모두 거절되면 그 제안은 최종적으로 거절된다.

### 6. 결론

우리는 캐릭터간의 상호작용이 존재하는 밀도 높은 군중 행위를 시뮬레이션하기 위해 모션 패치 개념을 도입하였다. 그 결과, 우리는 패치들을 타일링하는 방식으로 정적/동적인 환경에 대한 군중 시뮬레이션을 모두 성공적으로 구현하였다. 또한, 사용자가 조작 가능한 시뮬레이션과 물체를 사용해서 상호작용하는 군중 시뮬레이션에도 구현 성공하였다.



Fig. 1 Crowd simulation with virtual characters interacting with each other.

### 후기

이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. 2012-0001242 and No. 2012-0000789 ).

### 참고문헌

1. K. H. Lee, M. G. Choi, and J. Lee, "Motion patches: building blocks for virtual environments annotated with motion data," *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2006)*, vol. 26, no. 3, 2006.
2. P. J. Green, "Reversible jump markov chain monte carlo computation and bayesian model determination," *Biometrika*, vol. 82, pp. 711-732, 1995.