위치기반 동역학 시뮬레이션을 위한 방향성 파티클 개수의 최적화

신연비*, 오영진*, 이인권*
*연세대학교 컴퓨터과학과
e-mail: (yeonbishin, skrcjstk)@gmail.com, iklee@yonsei.ac.kr

Optimizing Number of Oriented Particles for Position Based Dynamics Simulation

Yeon-Bi Shin*, Young Jin Oh*, In-Kwon Lee*
*Dept of Computer Science, Yonsei University

요 약

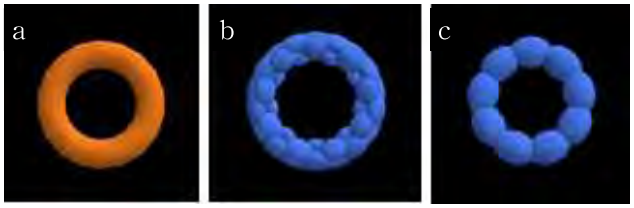
본 논문은 위치기반 동역학 방법에 사용되는 3D물체를 근사화하기 위한 방향성 파티클 배치방법을 소개한다. 물체 메쉬를 분할하고 각 분할된 내부에 파티클을 채우는 배치 방법을 사용하면 물체의 표면에 여러 개의 파티클을 무작위로 배치하는 기존 방법보다 방향성 파티클의 개수를 줄일 수 있다. 시뮬레이션 실험을 통해 본 논문에서 제안한 방법으로 배치한 파티클 구조가 기존 방법으로 배치한 파티클 구조에 비해 보다 빠르게 시뮬레이션을 계산할 수 있다는 것을 확인하였다.

1. 서론

위치기반 동역학은 다른 물리 시뮬레이션 기법에 비해 계산이 간단하며 안정적인 결과를 만들어내기 때문에 컴퓨터 게임분야에서 널리 사용되고 있는 물리 시뮬레이션 방법이다. [1, 2, 3] 그 중 방향성 파티클을 이용한 위치기반 동역학은 시뮬레이션 할 대상 물체를 방향정보를 가진 타구 형태의 파티클로 근사화하여 배치하고, 배치된 파티클들을 시뮬레이션 계산과정에서 사용하기 때문에 기존의 위치 기반 동역학에 비해 적은 수의 파티클로 시뮬레이션이 가능하다는 장점을 가진다. [2] 하지만 방향성 파티클의 배치방법에 따라서 방향성 파티클의 개수 및 물체의 시뮬레이션 속도가 달라질 수 있다.

본 논문에서는 방향성 파티클을 이용한 위치기반 동역학 시뮬레이션 방법에서 사용하는 3D물체를 근사화하기 위한 방향성 파티클 배치방법을 소개한다. 이 방법은 물체 메쉬를 분할하고 분할 된 각 영역 정보를 바탕으로 위치와 크기를 최적화 한 파티클을 채우는 방법으로 물체의 표면에 무작위로 파티클을 배치하는 기존 방법에 비해 적은 수의 파티클을 배치할 수 있다.(그림 1) 추가적으로 기존 방법과의 성능 비교를 위해 동일한 메쉬에 기존 방법과 제안한 방법을 이용하여 파티클 구조를 구성하여, 메쉬를 근사화하는데 필요한 파티클의 개수와 모바일 기기에서의 시뮬레이션 속도를 비교하였다. 결과적으로 제안한 방법이 기존 방법에 비해 보다 적은 수의 파티클로 메쉬를 근사화 하며, 더 빠르게 시뮬레이션을 계산할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 LG전자(C2013026143)의 지원을 받아 수행됨



(그림 1) (a)원본 메쉬 (b)35개의 파티클로 근사화한 결과 (c) 9개의 파티클로 근사화한 결과

2. 메쉬 분할 및 분할 영역 내 파티클 배치 방법

메쉬 내부에 파티클을 채우는 배치방법은 근사화 하려는 대상 물체 메쉬를 분할하고 분할된 각 영역 정보를 바탕으로 위치와 크기를 최적화 한 파티클을 배치하는 방법이다. 이 방법은 크게 메쉬를 분할 및 파티클을 배치 과정과 배치된 파티클을 해당 영역을 적절하게 포함하도록 최적화 하는 파티클 최적화 과정으로 구분할 수 있다.

2.1 초기 메쉬 분할 및 분할 영역 내 파티클 배치

메쉬 내부에서 파티클을 배치할 구역을 특정하기 위해서 우선 메쉬를 분할한다. 메쉬를 분할하기 위해서 Lior Shapira가 제안한 Shape diameter function을 사용하였다.[6] 이 방법은 메쉬의 부분적인 두께를 기준으로 메쉬를 분할하는 방식으로, 메쉬의 포즈가 달라지더라도 포즈

가 바뀌기 전과 동일한 분할 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있는 방법이다. 파티클 구조를 분할 한 후에는 각 분할 영역마다 하나의 파티클을 배치한다. 분할 영역을 잘 반영하도록 파티클을 배치하기 위해 [2]에서 제안된 방법을 사용하였다.

2.2 메쉬 재분할 및 파티클 재배치

메쉬 분할 과정을 통해 생성된 분할 영역에 배치된 파티클이 분할 영역을 잘 근사화 하지 못하는 경우에는 해당 영역을 재분할 후 추가적인 파티클을 배치한다. 분할된 영역을 S, 분할된 영역에 배치할 파티클을 P라고 했을 때, 영역 S에 포함된 메쉬 정점 중에 파티클 P의 표면까지의 거리가 설정된 임계값 보다 큰 정점이 존재할 경우, 영역 S를 재분할한다. 영역 S에 속한 메쉬 정점 v_i와 파티클 P의 표면간의 거리 $dist_P(v_i)$는 식(1)과 같이 메쉬 정점 v_i와, v_i의 노말 벡터 방향을 향하는 광선과 충돌하는 파티클 표면의 정점 V_i 간의 거리로 계산한다.

$$dist_P(v_i) = \| v_i - V_i \| \quad (1)$$

$dist_P(v_i)$의 값이 임계값 보다 큰 정점이 존재하는 영역 S를 재분할하는 방법도 Shape diameter function 방법을 사용하여 이전 결과 보다 더 세밀하게 재분할하며, 분할된 각 영역에 파티클을 배치한다. 메쉬 재분할의 과정은 메쉬를 근사화한 파티클 구조 내 모든 파티클에 대해 수행한다. 모든 파티클의 $dist_P(v_i)$가 미리 설정한 임계값 이하가 될 때까지 반복한지만, Shape diameter function 방법으로 가장 세밀하게 분할된 이후에도 임계값 이하가 되지 않는 영역의 경우 적응적 파티클 분할 및 파티클 배치 과정을 수행한다.

2.3 파티클 최적화

분할된 영역에 배치된 파티클이 분할 영역을 적절히 근사화할 수 있도록 파티클의 위치와 크기를 최적화 한다. 분할된 영역 S와 해당 영역에 배치된 파티클 P의 형태를 비교했을 때의 차이는 아래 식(3)으로 정의될 수 있으며, 식(4)는 분할된 영역 S에 속한 한 정점 v_i와 v_i에 대해서 방사 투영(Radial Projection)한 파티클 P 표면의 한 정점, $\Pi_P(v_i)$간의 거리이다.[4]

$$\sum_{i=0}^{n-1} Error_R(v_i, P) \quad (3)$$

$$Error_R(v_i, P) = \| v_i - \Pi_P(v_i) \|^2 \quad (4)$$

2.4 적응적 파티클 분할 및 파티클 재배치

Shape diameter function 방법은 메쉬 내부의 두께를 기준으로 메쉬를 분할하기 때문에 두께가 일정한 부분은 한 영역으로 분할된다. 그러나 그림(4)와 같이 두께가 일정하지만 형태가 구부러진 메쉬 영역에 하나의 파티클을 배치하여 하여 근사화할 경우 반복적인 재분할 및 파티클 배치과정을 수행하더라도 $dist_P(v_i)$가 임계값 이하가 되지 않을 수 있다. 따라서 이 영역에 배치된 파티클을 강제적으로 분할하여 메쉬 근사화의 정확성을 높인다.

적응적 파티클 분할을 적용할 영역 S는 2.2에서 소개한 과정을 통해 선택 할 수 있으며, 선택된 영역 S를 강제적으로 분할할 지점은 영역 S에 속한 메쉬 정점들 v_i중에서 가장 큰 $dist_P(v_i)$값을 가진 v_i로 결정한다. 가장 큰 $dist_P(v_i)$ 값을 가진 정점 v_i를 $v_{\max}$라고 할 때, 정점 $v_{\max}$에서의 노멀벡터 $N_{v_{\max}}$와, 파티클 P의 방향 정보를 표현하는 Eigen vector중 가장 크기가 작은 Eigen vector를 동시에 포함하는 평면을 기준으로 영역 S를 분할한다. 분할 후에는 각 분할 영역마다 파티클을 추가하여 재배치하고, 재배치된 파티클에 대해서는 2.3에서 소개한 파티클 최적화 과정을 진행한다.

(그림 4) 형태가 구부러진 메쉬 영역을 하나의 파티클로 근사화한 결과

4. 배치 방법에 따른 성능 비교

배치 방법의 성능을 측정하기 위해 (그림 5)에서 사용한 메쉬에 기존의 방법과 제안한 방법을 각각 사용하여 파티클을 배치하고, 같은 모바일 기기에서 자유 낙하 시뮬레이션을 계산하였다. 표 1은 두 메쉬를 근사화하는데 사용된 파티클 개수의 결과이며, 표 2는 자유 낙하 시뮬레이션의 한 프레임을 계산하는데 소요된 시간이다. 결과적으로 제안한 방법을 사용했을 때 기존의 방법에 비해 적은 수의 파티클로 더 빠른 시뮬레이션 계산을 할 수 있었다.

(a) (b)

(그림 5) 메쉬 분할 및 분할 영역 내 파티클 배치 결과 (위: 원본 메쉬. 가운데: 제안된 방법을 사용한 배치 결과. 아래: 기존 방법을 사용한 배치 결과.)

<표 1> 시뮬레이션에 필요한 파티클 개수

	기존 방법	제안한 방법
메쉬 (a)	54 개	20 개
메쉬 (b)	139 개	43 개

<표 2> 한 프레임을 계산하는데 소요된 시간

	기존 방법	제안한 방법
메쉬 (a)	0.5 ms	0.2 ms
메쉬 (b)	2.6 ms	0.7 ms

5. 결론

본 논문에서는 위치기반 동역학 시뮬레이션에서 사용되는 3D 물체를 방향성 파티클을 이용하여 근사화하는 방법을 제시하였다. 3D 물체의 표면에 납작한 파티클 여러 개를 배치하는 기존 방법에 비해, 3D 물체의 내부를 채우는 파티클 배치 방법을 사용하면 3D 물체 근사화 시 사용되는 파티클의 개수를 줄여서 보다 빠르게 시뮬레이션을 계산 할 수 있다.

그러나 제안한 방법을 사용하여 시뮬레이션 할 경우 기존 방법에 비해 연체 시뮬레이션의 효과가 감소하는 현상을 관찰할 수 있었다. 따라서 연체 시뮬레이션의 효과가 향상된 결과를 얻기 위해 기존의 방식을 사용하되, 파티클의 위치 및 크기를 최적화하는 개선 방안 연구를 계획하고 있다.

참고문헌

[1] Matthias Muller “Meshless Deformations Based on Shape Matching” ACM SIGGRAPH (2005)

[2] Matthias Muller “Solid Simulation with Oriented Particles” ACM SIGGRAPH (2011)

[3] Matthias Muller “Position based dynamics” Proceedings of Virtual Reality Interactions and Physical Simulations, (2006)

[4] Patricio D. Simari “Extraction and remeshing of ellipsoidal representations from mesh data” Graphics Interface (2005)

[5] Lin Lu “Variational 3D Shape Segmentation for Bounding Volume Computation” Computer Graphics Forum (2007)

[6] Lior Shapira “Consistent mesh partitioning and skeletonisation using the shape diameter function” Visual Computer (2008)