(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0098411
(43) 공개일자 2011년09월01일

(51) Int. Cl.
G06F 9/455 (2006.01) *G06F 9/44* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0018022
(22) 출원일자 2010년02월26일
심사청구일자 2010년02월26일

(71) 출원인
한국과학기술연구원
서울 성북구 하월곡동 39-1
이화여자대학교 산학협력단
서울 서대문구 대현동 11-1 이화여자대학교내
(72) 발명자
김진욱
서울특별시 은평구 응암동 109-3 서강스카이빌 1901호
서영선
서울특별시 중구 신당동 844 남산타운아파트 3동 1104호
김영준
서울특별시 서대문구 대현동 11-1 이화여자대학교
(74) 대리인
김 순 영, 김영철

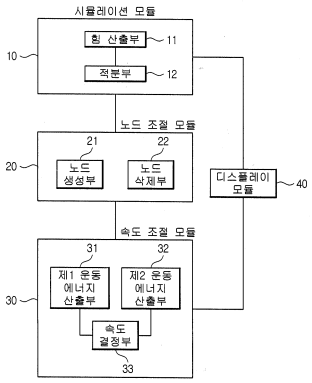
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 시스템 및 방법

(57) 요 약

동적 디테일 수준(Dynamic Level of Detail; DLOD)을 적용한 직물 시뮬레이션(simulation) 시스템은, 직물상에 설정된 복수 개의 노드의 이전 시간 단계에서의 위치를 이용하여 상기 복수 개의 노드의 다음 시간 단계에서의 위치를 산출하는 시뮬레이션 모듈; 각 시간 단계에서, 상기 복수 개의 노드의 위치에 기초하여 상기 복수 개의 노드 각각의 곡률을 산출하고, 산출된 곡률에 기초하여 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상을 수행하는 노드 조절 모듈; 및 상기 노드 조절 모듈에 의해 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상이 수행된 후의 상기 복수 개의 노드 각각의 속도를 결정하는 속도 조절 모듈을 포함할 수 있다. 상기 직물 시뮬레이션 시스템에 의하면, 동적으로 노드를 추가 및/또는 삭제하면서 동시에 전체 노드의 운동 에너지가 보존되도록 함으로써 표현 대상 직물의 물리적 성질이 변화하는 것을 방지할 수 있다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

직물상에 설정된 복수 개의 노드의 이전 시간 단계에서의 위치를 이용하여 상기 복수 개의 노드의 다음 시간 단계에서의 위치를 산출하는 시뮬레이션 모듈;

각 시간 단계에서, 상기 복수 개의 노드의 위치에 기초하여 상기 복수 개의 노드 각각의 곡률을 산출하고, 산출된 곡률에 기초하여 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상을 수행하는 노드 조절 모듈; 및

상기 노드 조절 모듈에 의해 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상이 수행된 후의 상기 복수 개의 노드 각각의 속도를 결정하는 속도 조절 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 노드 조절 모듈은,

상기 복수 개의 노드 중 곡률이 미리 설정된 상한값 이상인 노드에 인접하여 하나 이상의 하위 노드를 생성하는 노드 생성부를 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 시스템.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 노드 조절 모듈은,

상기 복수 개의 노드 중 곡률이 미리 설정된 하한값 이하인 노드에 인접한 하나 이상의 하위 노드를 삭제하는 노드 삭제부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 시스템.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 속도 조절 모듈은,

상기 시뮬레이션 모듈에 의해 산출된 상기 복수 개의 노드의 위치에 기초하여 상기 복수 개의 노드의 운동 에너지를 합산한 제1 운동 에너지를 산출하는 제1 운동 에너지 산출부;

상기 노드 조절 모듈에 의해 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상이 수행된 후의 상기 복수 개의 노드의 운동 에너지를 합산한 제2 운동 에너지를 산출하는 제2 운동 에너지 산출부; 및

상기 제1 운동 에너지 및 상기 제2 운동 에너지의 차이에 기초하여 상기 복수 개의 노드 각각의 속도를 결정하는 속도 결정부를 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 시스템.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 시뮬레이션 모듈은,

상기 복수 개의 노드 각각에 인가되는 힘을 산출하는 힘 산출부; 및

상기 힘 산출부에 의해 산출된 힘을 적분하여 상기 복수 개의 노드의 다음 시간 단계에서의 위치를 산출하는 적분부를 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 시스템.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 복수 개의 노드의 위치를 각 시간 단계별로 표시하기 위한 디스플레이 모듈을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 시스템.

청구항 7

직물상에 설정된 복수 개의 노드의 이전 시간 단계에서의 위치를 이용하여 상기 복수 개의 노드의 다음 시간 단계에서의 위치를 산출하는 직물 시뮬레이션 방법으로서,

각 시간 단계에서,

상기 복수 개의 노드의 운동 에너지를 합산한 제1 운동 에너지를 산출하는 단계;

상기 복수 개의 노드 각각의 곡률을 산출하는 단계;

산출된 곡률에 기초하여 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상을 수행하는 단계;

상기 복수 개의 노드의 운동 에너지를 합산한 제2 운동 에너지를 산출하는 단계; 및

상기 제1 운동 에너지 및 상기 제2 운동 에너지의 차이에 기초하여, 상기 복수 개의 노드 각각의 속도를 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상을 수행하는 단계는,

상기 복수 개의 노드 중 곡률이 미리 설정된 상한값 이상인 노드에 인접하여 하나 이상의 하위 노드를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 방법.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상을 수행하는 단계는,

상기 복수 개의 노드 중 곡률이 미리 설정된 하한값 이하인 노드에 인접한 하나 이상의 하위 노드를 삭제하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 방법.

청구항 10

제 7항에 있어서,

상기 복수 개의 노드의 위치를 각 시간 단계별로 표시하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 실시예들은 동적 디테일 수준(Dynamic Level of Detail; DLOD)을 적용한 직물 시뮬레이션(cloth simulation) 시스템 및 방법에 관한 것으로, 구체적으로는 동적으로 노드를 추가 및/또는 삭제하는 한편 전체 노드의 운동 에너지를 보존할 수 있는 직물 시뮬레이션 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 직물 시뮬레이션(cloth simulation) 기술로서, 질량-스프링-댐퍼(mass-spring-damper) 모델을 이용하여 직물의 움직임을 모사하는 방법이 있다. 상기 방법을 이용하는 경우 고품질의 시뮬레이션 결과를 생성하기 위해서는 많은 수의 노드(node)들을 필요로 한다. 그러나 시뮬레이션에 참여하는 노드의 수가 많아질수록 계산 시간이 급격하게 증가하기 때문에, 실시간으로 고품질의 시뮬레이션 결과를 얻는 데에는 어려움이 있었다. 특히 직물의 일정 부분에만 변형이 많이 일어나는 경우에도 전 영역의 많은 수의 노드에 걸쳐 계산을 하여야 하는 문제점이 있다.

[0003] 전술한 문제점을 해결하기 위하여, 적응형 메쉬(adaptive mesh)를 이용하는 방법이 있다. 예를 들어, 2002년 발표되었으며 "직물 애니메이션을 위한 적응형 메쉬(adaptive meshing for cloth animation)"의 제목을 갖는 줄리언 빌라드(Julien Villard) 등의 논문에서는 특정 부분에 노드를 추가할 수 있는 기술에 대해 기술하고 있다. 그러나 상기 기술의 경우에는 노드의 추가만 가능하고 삭제가 가능하지 않아, 표현 대상 직물이 유동적으로 변화하는 상황에 대처하기 힘든 문제점이 있다.

[0004] 한편, 2004년 발표되어 "적응형 메쉬를 적용한 가상 직물의 사실적인 힘 및 형상 시뮬레이션 및 개방형 MP에서의 이의 병렬 구현(Simulating realistic force and shape of virtual cloth with adaptive meshes and its parallel implementation in OpenMP)"의 제목을 갖는 알람 무자히드(Alam MUJAHID) 등의 논문에서는 노드의 추가뿐만 아니라 삭제도 가능한 기술에 대해 기술하고 있다. 그러나 상기 기술의 경우에는 노드의 추가 및/또는 삭제 과정 중에 운동 에너지가 보존되지 않아 전체 시스템의 물리적 성질이 변화게 되며, 이로 인하여 시뮬레이션 결과가 의도한 바와 상이하게 되어버리는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 일 측면에 따르면, 직물 시뮬레이션(cloth simulation)의 각 시간 단계에서 곡률에 따라 동적으로 노드를 추가 및/또는 삭제하면서 동시에 전체 노드의 운동 에너지를 보존할 수 있는 동적 디테일 수준(Dynamic Level of Detail; DLOD)을 적용한 직물 시뮬레이션 시스템 및 방법을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 일 실시예에 따른 동적 디테일 수준(Dynamic Level of Detail; DLOD)을 적용한 직물 시뮬레이션(cloth simulation) 시스템은, 직물상에 설정된 복수 개의 노드의 이전 시간 단계에서의 위치를 이용하여 상기 복수 개의 노드의 다음 시간 단계에서의 위치를 산출하는 시뮬레이션 모듈; 각 시간 단계에서, 상기 복수 개의 노드의 위치에 기초하여 상기 복수 개의 노드 각각의 곡률을 산출하고, 산출된 곡률에 기초하여 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상을 수행하는 노드 조절 모듈; 및 상기 노드 조절 모듈에 의해 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상이 수행된 후의 상기 복수 개의 노드 각각의 속도를 결정하는 속도 조절 모듈을 포함할 수 있다.

[0007] 일 실시예에 따른 동적 디테일 수준을 적용한 직물 시뮬레이션 방법은, 직물상에 설정된 복수 개의 노드의 이전 시간 단계에서의 위치를 이용하여 상기 복수 개의 노드의 다음 시간 단계에서의 위치를 산출하는 직물 시뮬레이션 방법으로서, 각 시간 단계에서, 상기 복수 개의 노드의 운동 에너지를 합산한 제1 운동 에너지를 산출하는 단계; 상기 복수 개의 노드 각각의 곡률을 산출하는 단계; 산출된 곡률에 기초하여 노드의 생성 및 삭제 중 하나 이상을 수행하는 단계; 상기 복수 개의 노드의 운동 에너지를 합산한 제2 운동 에너지를 산출하는 단계; 및 상기 제1 운동 에너지 및 상기 제2 운동 에너지의 차이에 기초하여, 상기 복수 개의 노드 각각의 속도를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0008] 본 발명의 일 측면에 따라 동적 디테일 수준(Dynamic Level of Detail; DLOD)을 적용한 직물 시뮬레이션(cloth

simulation) 시스템 및 방법을 이용하면, 직물의 변화가 상대적으로 많은 영역에서는 노드를 세분화(refine)하여 노드의 수를 증가시키고, 직물의 변화가 상대적으로 적은 영역에서는 노드를 병합(merge)하여 노드의 수를 감소시킴으로써 효율적으로 고품질의 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다. 또한 동적으로 노드를 추가 및/또는 삭제하면서 동시에 전체 노드의 운동 에너지가 보존되도록 함으로써 표현 대상 직물의 물리적 성질이 변화하는 것을 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 일 실시예에 따른 동적 디테일 수준(Dynamic Level of Detail; DLOD)을 적용한 직물 시뮬레이션 시스템의 구성을 도시한 블록도이다.

도 2는 곡률 산출 과정의 일 예를 설명하기 위한 개략도이다.

도 3a 내지 3d는 노드 생성 과정의 일 예를 도시한 개략도이다.

도 4a 내지 4d는 노드 삭제 과정의 일 예를 도시한 개략도이다.

도 5는 일 실시예에 따른 DLOD를 적용한 직물 시뮬레이션 방법의 각 단계를 도시한 순서도이다.

도 6a 내지 6c는 실시예들에 따른 DLOD를 적용한 직물 시뮬레이션 결과를 종래 기술에 따른 결과와 비교하여 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 이하에서는, 도면을 참조하여 실시예를 구체적으로 설명한다. 그러나, 본 발명이 하기 실시예에 의하여 제한되는 것은 아니다.

[0011] 도 1은 일 실시예에 따른 동적 디테일 수준(Dynamic Level of Detail; DLOD)을 적용한 직물 시뮬레이션(cloth simulation) 시스템의 구성을 도시한 블록도이다.

[0012] 도 1을 참조하면, DLOD를 적용한 직물 시뮬레이션 시스템은 시뮬레이션 모듈(10), 노드 조절 모듈(20) 및 속도 조절 모듈(30)을 포함할 수 있다. 본 명세서에 기술된 실시예는 전적으로 하드웨어이거나, 부분적으로 하드웨어이고 부분적으로 소프트웨어이거나, 또는 전적으로 소프트웨어인 측면을 가질 수 있다. 예컨대, 본 명세서에서 "부(unit)", "모듈(module)" 또는 "시스템(system)" 등은 하드웨어, 하드웨어와 소프트웨어의 조합, 또는 소프트웨어 등 컴퓨터 관련 엔티티(entity)를 지칭할 수 있다. 예를 들어, 부, 모듈 또는 시스템은 실행중인 프로세스, 프로세서, 객체(object), 실행파일(executable), 실행 스레드(thread of execution), 프로그램, 및/또는 컴퓨터일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 컴퓨터에서 실행중인 애플리케이션(application) 및 컴퓨터의 양쪽이 모두 본 명세서에 기재된 부, 모듈 또는 시스템에 해당할 수 있다.

[0013] 시뮬레이션 모듈(10)은, 표현 대상 직물상에 설정된 복수 개의 노드(node)의 위치를 각 시간 단계별로 갱신함으로써 직물의 움직임을 산출하기 위한 부분이다. 예를 들어, 시뮬레이션 모듈(10)은 이전 시간 단계에서의 각 노드의 위치 및 속도를 초기값으로 하여 적분을 수행함으로써 다음 시간 단계에서의 각 노드의 위치를 산출할 수 있다. 각 시간 단계는 직물 시뮬레이션의 연산량을 고려하여 적절한 시간 간격마다 설정될 수 있다. 예컨대, 시뮬레이션 모듈(10)은 각 프레임(frame)별로, 또는 하나의 프레임을 더 세분화한 서브-프레임(sub-frame)별로, 또는 다른 적당한 시간 단계를 이용하여 직물 시뮬레이션의 연산을 수행할 수 있다.

[0014] 일 실시예에서, 시뮬레이션 모듈(10)은 힘 산출부(11) 및 적분부(12)를 포함할 수 있다. 힘 산출부(11)는 각 노드에 인가되는 힘을 계산하기 위한 부분이다. 직물 시뮬레이션에서 메쉬(mesh)의 각 노드에 인가되는 힘을 정의하는 방식은 직물을 모델링(modeling)하는 방식에 따라 다양할 수 있으며, 이는 당업자들에게 잘 알려져 있으므로 자세한 설명은 생략한다. 예컨대, 힘 산출부(11)는 각 노드 사이에 정의된 장력(stretching force), 굽힘력(bending force) 및 면적력(area force)을 이용하여 각 노드에 인가되는 힘을 계산할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 예컨대, 각 노드에 인가되는 힘에는 전술한 3가지의 힘 외에 중력이나 바람에 의한 힘 등의 외력(external force)이 더해질 수 있으며, 또는 다른 상이한 모델에 따라 각 노드에 인가되는 힘을 정의할 수도 있다.

[0015] 적분부(12)는 힘 산출부(11)에 의해 계산된 복수 개의 노드 각각에 인가되는 힘을 각 시간 단계 사이의 시간 간격에 대해 적분함으로써, 복수 개의 노드의 위치를 시간 단계별로 갱신하는 부분이다. 각 노드에 인가되는 힘은 가속도에 비례하므로, 이를 적분하여 다음 시간 단계에서의 각 노드의 위치를 산출할 수 있다. 예컨대, 적분부

(12)는 내재적 적분법(implicit integration)을 이용하여 각 노드에 인가되는 힘을 시간에 따라 적분할 수 있다. 적분부(12)에 의해 얻어진 복수 개의 노드 각각의 위치는 노드 조절 모듈(20)로 전달될 수 있다.

[0016] 노드 조절 모듈(20)은, 복수 개의 노드 각각의 곡률에 기초하여 하나 이상의 노드의 생성 및/또는 삭제를 수행하기 위한 부분이다. 이를 위하여, 노드 조절 모듈(20)은 적분부(12)에 의해 위치가 갱신된 복수 개의 노드 각각에 대해 곡률을 산출할 수 있다. 예를 들어, 각 노드의 곡률은 해당 노드의 위치 및 해당 노드에 인접한 노드들의 위치 정보를 이용하여 산출할 수 있다.

[0017] 도 2는 곡률의 산출 과정의 일 예를 설명하기 위한 개략도이다. 도 2에 도시된 것과 같이 노드가 배치되었다고 가정할 경우, u, v 방향으로의 접선 벡터를 하기 수학식 1에 의하여 구할 수 있다.

수학식 1

[0018]
$$\boldsymbol{x}_u = \frac{1}{2\Delta l}(\boldsymbol{x}_{i+1,j} - \boldsymbol{x}_{i-1,j})$$
$$\boldsymbol{x}_v = \frac{1}{2\Delta l}(\boldsymbol{x}_{i,j+1} - \boldsymbol{x}_{i,j-1})$$

[0019] 상기 수학식 1에서 △l 은 인접하는 각 노드 사이의 거리를 나타낸다. 이때, 1차 기본 형식은 하기 수학식 2와 같이 정의된다.

수학식 2

[0020]
$$\mathrm{g}_{ij} = \det\begin{bmatrix} \boldsymbol{x}_u \cdot \boldsymbol{x}_u & \boldsymbol{x}_u \cdot \boldsymbol{x}_v \\ \boldsymbol{x}_v \cdot \boldsymbol{x}_u & \boldsymbol{x}_v \cdot \boldsymbol{x}_v \end{bmatrix}$$

[0021] 또한, 각 노드에서의 법선 벡터 n 과 2차 기본 형식 역시 다음 수학식 3 및 수학식 4와 같이 구할 수 있다.

수학식 3

[0022]
$$\boldsymbol{n}_{i,j} = \frac{\boldsymbol{x}_u \times \boldsymbol{x}_v}{\| \boldsymbol{x}_u \times \boldsymbol{x}_v \|}$$

수학식 4

[0023]
$$\mathrm{II} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{x}_{uu} \cdot \boldsymbol{n} & \boldsymbol{x}_{uv} \cdot \boldsymbol{n} \\ \boldsymbol{x}_{vu} \cdot \boldsymbol{n} & \boldsymbol{x}_{vv} \cdot \boldsymbol{n} \end{bmatrix}$$

[0024] 상기 수학식 3 및 4에서, X_{uu}, X_{uv} X_{vv} 는 각각 하기 수학식 5와 같이 정의된다.

수학식 5

$$x_{uu} = \frac{1}{\Delta l^2}(x_{i+1,j} - 2x_{i,j} + x_{i-1,j})$$

$$x_{uv} = x_{vu} = \frac{1}{4\Delta l^2}(x_{i+1,j+1} - x_{i-1,j+1} - x_{i+1,j-1} + x_{i+1,j-1})$$

$$x_{vv} = \frac{1}{\Delta l^2}(x_{i,j+1} - 2x_{i,j} + x_{i,j-1})$$

[0025]

[0026] 최종적으로, 각 노드에서의 가우시안(Gaussian) 곡률 κ_{ij} 은 하기 수학식 6과 같이 1차 기본 형식과 2차 기본 형식의 비로 정의할 수 있으며, 이와 같이 계산된 곡률은 향후 노드를 세분화하거나 제거할 때 기준으로 사용될 수 있다.

수학식 6

$$\kappa_{ij} = \frac{\det \mathrm{II}}{g_{ij}}$$

[0027]

[0028] 노드 조절 모듈(20)은 노드 생성부(21)를 포함할 수 있다. 노드 생성부(21)는, 복수 개의 노드 중 전술한 수학식에 의하여 산출된 곡률이 미리 설정된 상한값 이상인 노드를 세분화(refine)하기 위한 부분이다. 즉, 노드 생성부(21)는 상한값 이상의 곡률을 갖는 노드에 인접하여 하나 이상의 하위 노드를 생성할 수 있다. 특정 노드에 대해 산출된 곡률이 크다는 것은 해당 노드에서의 직물의 변화가 상대적으로 많다는 것을 의미하므로, 직물의 변화가 많은 부분에서 노드의 개수를 증가시킴으로써 전체 직물 시뮬레이션의 품질을 향상시키기 위한 것이다.

[0029] 도 3a 내지 3d는 노드 생성부에 의한 노드 생성 과정을 나타내는 예시적인 개략도이다.

[0030] 도 3a를 참조하면, 격자 형태로 배열된 복수 개의 노드(100, 101) 중 하나의 노드(101)에서 상한값 이상의 곡률이 산출된 경우를 가정하여 설명하기로 한다. 상기 각 노드(101, 101)는 가장 상위 노드에 해당하며 이하에서 제1 노드(101, 101)로 지칭하기로 한다. 한편, 본 명세서에 첨부된 도면들에 도시된 메쉬(mesh)의 형태는 단지 노드의 생성 및/또는 삭제 과정을 설명하기 위한 예시적인 것으로서, 실시예들에 따른 직물 시뮬레이션 시스템에서 사용되는 메쉬의 형태는 도면에 도시된 것으로 한정되는 것은 아니다.

[0031] 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 도 3a에서 진한 색으로 표시한 제1 노드(101)에 인접하여 하나 이상의 제2 노드(110, 111, 112)가 생성되었다. 제2 노드(110, 111, 112)는 제1 노드(101)의 하위 노드에 해당되며, 제1 노드(101)와 이에 인접한 다른 제1 노드(100)의 사이마다 배치된다. 또한, 제2 노드(110, 111, 112)는 제1 노드(100, 101)와 동일하게 격자 형태의 메쉬에 따라 배열될 수 있다. 결과적으로, 제1 노드(101)의 주변에 제1 노드(101)가 중심에 위치하는 격자 형태로 배열된 8개의 제2 노드(110, 111, 112)가 생성된다.

[0032] 새로 생성된 제2 노드(110, 111, 112) 각각의 질량 및 속도는 인접한 제1 노드(100, 101) 들의 질량 및 속도에 기초하여, 보간법(interpolation)을 이용하여 결정될 수 있다. 새로 생성된 노드의 질량은 각 노드의 유효 영역을 구하여 그 면적에 비례하여 질량을 정의하되, 전체 노드의 질량의 합은 보존되도록 한다. 새로 생성된 노드의 위치 x'는 하기 수학식 7과 같이 기존의 인접한 노드의 선형 결합으로 표현할 수 있다.

수학식 7

$$x' = \sum_{x_i \in N} w_i x_i$$

[0033]

[0034] 상기 수학식 7에서 N 은 인접노드의 집합을 표시하고, w_i 는 선형결합 가중치를 표시한다. 이로부터 새로 생성된 노드의 속도 v' 역시 인접 노드 속도의 선형 결합으로 하기 수학식 8과 같이 계산할 수 있다.

수학식 8

$$v' = \sum_{x_i \in N} w_i v_i$$

[0035]

[0036] 각각의 제2 노드(110, 111, 112)는 직물 모델링을 위하여 격자 형태의 메쉬에 따라 인접하는 하나 이상의 제1 노드(100, 101) 또는 제2 노드(110, 111, 112)와 연결된다. 제2 노드(110, 111, 112)가 위치한 격자에서 상하좌우 방향 중 어느 하나 또는 2 이상의 방향에 노드가 위치하지 않는 경우에는, 해당 위치에 고스트 노드(210)를 형성하여 고스트 노드(210)와 제2 노드(110, 111, 112)를 연결시킬 수 있다. 고스트 노드(210)는 직물 시뮬레이션의 연산에는 사용되지 않으며 직물 모델링만을 위한 노드이다. 예를 들어, 시뮬레이션 모듈(10)에서 각 노드에 인가되는 힘을 계산하는 때에, 고스트 노드(210)에 인가되는 힘은 주변의 활성 노드들로 분배될 수 있다. 또한, 인접한 활성 노드 각각에 분배되는 힘의 크기는 각 활성 노드들의 질량에 비례하도록 결정될 수도 있다.

[0037] 한편, 제1 노드(100, 101) 및 전술한 과정에 의하여 생성된 제2 노드(110, 111, 112)를 이용하여 직물 시뮬레이션을 수행한 결과, 제2 노드(110, 111, 112) 중 어느 하나 또는 2 이상에서의 상한값 이상의 곡률이 산출되는 경우에는, 해당 제2 노드(110, 111, 112)에 인접하여 다시 하나 이상의 하위 노드를 생성할 수 있다. 예를 들어, 도 3b에서 진한 색으로 표시된 제2 노드(111)에서 상한값 이상의 곡률이 산출된 경우를 가정하여 설명하기로 한다.

[0038] 도 3b 및 3c를 참조하면, 상한값 이상의 곡률이 산출된 제2 노드(111)에 인접하여 하나 이상의 제3 노드(120)가 생성될 수 있다. 상기 제3 노드(120)는 제2 노드(111)에 대한 하위 노드에 해당되며, 제2 노드(111)와 이에 인접한 다른 제2 노드(110, 112) 또는 고스트 노드(210)의 사이마다 배치된다. 제3 노드(120)는 제2 노드(110, 111, 112)와 동일하게 격자 형태의 메쉬에 따라 배열될 수 있다. 그 결과, 제2 노드(111)의 주변에 제2 노드(111)가 중심에 위치하는 격자 형태로 배열된 8개의 제3 노드(120)가 생성된다. 각 제3 노드(120)는 직물 모델링을 위하여 인접한 노드들과 연결될 수 있으며, 제3 노드(120)가 위치한 격자에서 인접한 노드가 존재하지 않는 방향에 대해서는 고스트 노드(220)를 생성하여 연결하게 된다.

[0039] 도 3c 및 3d를 참조하면, 도 3c를 참조하여 전술한 상태에서 또 다른 제2 노드(112)에서 상한값 이상의 곡률이 산출될 수도 있다. 이 경우, 제2 노드(112)와 인접하여 다시 하나 이상의 제3 노드(120)를 생성할 수 있다. 이때 전술한 과정에 의해 생성된 고스트 노드(220) 중 제2 노드(112)와 다른 제2 노드(110, 111) 사이에 위치하는 하나 이상의 고스트 노드(220)는 제2 노드(112)의 하위 노드에 해당되어 제3 노드(120)로 전환될 수 있다.

[0040] 이상에서 살펴본 과정에 의하여, 노드 생성부(21)는 상한값 이상의 곡률을 갖는 노드에 인접하여 하나 이상의 하위 노드를 생성할 수 있다. 이때 곡률의 상한값은 직물 시뮬레이션을 수행하기 위한 연산 부담 및 연산 속도 등을 고려하여 적절히 결정될 수 있다.

[0041] 또한, 노드 조절 모듈(20)은 노드 삭제부(22)를 포함할 수도 있다. 노드 삭제부(22)는, 복수 개의 노드 중 곡률이 미리 설정된 하한값 이하인 노드에 인접하는 하나 이상의 하위 노드를 삭제함으로써, 노드를 병합(merge)하기 위한 부분이다. 특정 노드에 대해 산출된 곡률이 작다는 것은 해당 노드에서의 직물의 변화가 상대적으로 적다는 것을 의미한다. 직물의 변화가 적은 부분에서 노드의 개수를 감소시킴으로써 전체 직물 시뮬레이션의 속도

를 향상시키기 위한 것이다.

[0042] 도 4a 내지 4d는 노드 삭제부에 의한 노드 삭제 과정을 나타내는 예시적인 개략도이다.

[0043] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 복수 개의 제1 노드(100, 101), 제2 노드(110, 111, 112) 및 제3 노드(120)를 갖는 메쉬에서 제2 노드(111)에서 미리 설정된 하한값 이하의 곡률이 산출된 경우를 가정하여 설명하기로 한다. 제2 노드(111)에서 하한값 이하의 곡률이 산출됨에 따라, 제2 노드(111)의 하위 노드에 해당되는 하나 이상의 제3 노드(120)가 삭제될 수 있다. 실시예들에서는, 제3 노드(120)의 삭제에 따른 인근 노드의 유효 영역의 면적이 변화한다. 따라서 이에 비례하여 인근 노드의 질량을 수정하되, 전체 노드의 질량의 합은 보존되도록 한다

[0044] 이때 도면의 메쉬에서 제2 노드(111)의 상부 행(row)에 위치하는 3개의 제3 노드(120)는, 또 다른 제2 노드(112)의 하위 노드에도 해당되므로 삭제되지 않는다. 한편, 제2 노드(111)와 동일한 행에서 제2 노드(111)의 양 측면에 위치하는 제3 노드(120)들은 삭제되어야 하나, 제2 노드(111)의 상부 행에 위치하는 제3 노드(120)들과의 연결을 위해 고스트 노드(220)로 전환된다. 한편, 제2 노드(111)의 하부 행에 위치하는 3개의 제3 노드(120)는 다른 어떤 활성 노드와도 연결되지 않으므로 삭제된다.

[0045] 도 4b 및 4c를 참조하면, 도 4b를 참조하여 전술한 상태에서 또 다른 제2 노드(112)에서 다시 하한값 이하의 곡률이 산출될 수도 있다. 이 경우, 해당 제2 노드(112)의 하위 노드에 해당되는 하나 이상의 제3 노드(120)를 삭제하게 된다. 결과적으로 도 4c에 도시된 것과 같이 제3 노드(120)들은 모두 삭제되며, 복수 개의 제1 노드(100, 101) 및 제2 노드(110, 111, 112)가 남게 된다.

[0046] 도 4c 및 도 4d를 참조하면, 도 4c를 참조하여 전술한 상태에서 제1 노드(101)에서 다시 하한값 이하의 곡률이 산출된 경우에 대하여 설명하기로 한다. 그 결과 해당 제1 노드(101)의 하위 노드에 해당되는 하나 이상의 제2 노드(110, 111, 112)는 삭제된다. 결과적으로 도 4d에 도시된 것과 같이 제1 노드(100, 101)만이 남게될 수 있다.

[0047] 이상에서 살펴본 과정에 의하여, 노드 삭제부(22)는 하한값 이하의 곡률을 갖는 노드에 인접하는 하나 이상의 하위 노드를 삭제할 수 있다. 이때 곡률의 하한값은 직물 시뮬레이션을 수행하기 위한 연산 부담 및 연산 속도 등을 고려하여 적절히 결정될 수 있다.

[0048] 한편 도 3 및 도 4를 참조하여 전술한 노드의 생성 및 삭제 과정은 단지 노드의 생성 및 삭제 방식의 한가지 예를 도시한 것으로서, 노드의 생성 및 삭제는 본 명세서에서 설명된 것과 다른 상이한 방식으로 수행될 수도 있으며 이는 본 발명의 범위에 포함된다.

[0049] 다시 도 1을 참조하면, 속도 조절 모듈(30)은 노드 조절 모듈(20)에 의하여 노드의 생성 및/또는 삭제가 이루어진 후 각 노드의 속도를 조절함으로써 복수 개의 노드 전체의 운동 에너지에 대한 에너지 보존이 이루어지도록 하기 위한 부분이다. 속도 조절 모듈(30)에 의해 운동 에너지가 보존되도록 함으로써 시뮬레이션되는 직물의 물리적인 성질이 변화되는 것을 방지할 수 있다.

[0050] 속도 조절 모듈(30)은 제1 운동 에너지 산출부(31), 제2 운동 에너지 산출부(32) 및 속도 결정부(33)를 포함할 수 있다. 제1 운동 에너지 산출부(31)는, 시뮬레이션 모듈(30)에 의하여 위치가 갱신된 복수 개의 노드의 운동 에너지를 합산한 제1 운동 에너지를 산출한다. 즉, 제1 운동 에너지 산출부(31)에 의해 산출되는 제1 운동 에너지는 노드 조절 모듈(20)에 의하여 노드의 생성 및/또는 삭제가 이루어지기 전의 운동 에너지에 해당된다. 예를 들어, 제1 운동 에너지를 E_{old}라 할 경우, 제1 운동 에너지는 하기 수학식 9에 의하여 기술될 수 있다.

수학식 9

[0051]
$$E_{old} = \sum_{i \in old} \frac{1}{2}\left(m_i \|v_i\|^2\right)$$

[0052] 상기 수학식 9에서 i는 각 노드를 나타내는 지시자이며, m_i는 각 노드의 질량을 나타내고, v_i는 각 노드의 속도를 나타낸다. 각 노드의 속도 v_i는 시뮬레이션 모듈(30)에서 산출된 현재 시간 단계에서의 노드의 위치를 이전 시간 단계에서의 위치와 비교하여 얻을 수 있다.

[0053] 한편, 제2 운동 에너지 산출부(31)는 노드 조절 모듈(20)에 의하여 하나 이상의 노드의 생성 및/또는 삭제가 이루어진 후, 복수 개의 노드의 운동 에너지를 합산한 제2 운동 에너지를 산출한다. 노드의 생성 및/또는 삭제가 이루어졌으므로, 제2 운동 에너지는 제1 운동 에너지와 상이할 수 있다. 예를 들어, 제2 운동 에너지를 E_{new} 라 할 경우 제2 운동 에너지는 하기 수학식 10에 의하여 산출될 수 있다.

수학식 10

[0054]
$$E_{new} = \sum_{j \in new} \frac{1}{2}(m_j \|v_j\|^2)$$

[0055] 상기 수학식 10에서 j는 노드 조절 모듈(20)에 의해 노드의 생성 및/또는 삭제가 이루어진 후의 각 노드를 나타내는 지시자이며, m_j 는 각 노드의 질량을 나타내고, v_j 는 각 노드의 속도를 나타낸다. 새로 생성된 노드들의 질량 m_j 및 속도 v_j 는, 노드 조절 모듈(20)의 노드 생성부(21)와 관련하여 전술한 것과 같이, 인접한 기존 노드들의 질량 및 속도를 이용한 보간(interpolation) 과정에 의하여 결정될 수 있다.

[0056] 속도 결정부(33)는 전술한 제1 운동 에너지와 제2 운동 에너지의 차이에 기초하여 복수 개의 노드 각각의 속도를 조절할 수 있다. 이를 위하여, 속도 결정부(33)는 먼저 제1 운동 에너지와 제2 운동 에너지의 차이를 산출한다. 제1 운동 에너지와 제2 운동 에너지의 차이를 diff 라 할 경우, 제1 운동 에너지와 제2 운동 에너지의 차이는 하기 수학식 11에 의하여 산출될 수 있다.

수학식 11

[0057]
$$diff = E_{old} - E_{new}$$

[0058] 다음으로, 속도 결정부(33)는 산출된 제1 운동 에너지와 제2 운동 에너지의 차이를 이용하여, 복수 개의 노드 각각의 수정된 속도를 산출할 수 있다. 예를 들어, 복수 개의 노드 전체의 질량을 m_{total} 라 할 경우, 각 노드의 속도 v_j 는 하기 수학식 12 및 13과 같이 수정될 수 있다.

수학식 12

[0059]
$$\|v_j'\|^2 = (m_j \|v_j\|^2 + 2 \times diff \times \frac{m_j}{m_{total}})/m_j$$

수학식 13

[0060]
$$v_j = v_j \times \frac{\|v_j'\|}{\|v_j\|}$$

[0061] 상기 수학식 12 및 13에 의해 수정된 속도는 제1 운동 에너지와 제2 운동 에너지의 차이만큼의 에너지를 활성화된 노드 전체에 분배한 결과 얻어진 것이다. 수학식 12와 같이 에너지의 분배는 각 노드의 질량에 비례하여 이루어지며, 그 후 각 노드의 속도는 수학식 13과 같이 새로운 에너지의 크기에 맞게 수정된다. 따라서, 복수 개의 노드 전체의 운동 에너지가 보존될 수 있어 시뮬레이션되는 직물의 물리적 특성을 유지할 수 있다.

[0062] 속도 조절 모듈(30)에 의하여 수정된 복수 개의 노드 각각의 속도는 다시 시뮬레이션 모듈(10)로 전달될 수 있

다. 시뮬레이션 모듈(10)은, 수정된 현재 단계의 속도를 초기값으로 이용하여, 전술한 과정을 반복함으로써 다음 시간 단계에서의 복수 개의 노드의 위치를 산출할 수 있다. 이상의 과정을 마지막 시간 단계까지 반복함으로써, 원하는 시간 간격 동안의 표현 대상 직물의 움직임을 시뮬레이션하는 것이 가능하다.

[0063] 일 실시예에서, DLOD를 적용한 직물 시뮬레이션 시스템은 시뮬레이션 결과를 표시하기 위한 디스플레이(display) 모듈(40)을 더 포함할 수도 있다. 디스플레이 모듈은 음극선관(Cathode Ray Tube; CRT), 액정표시장치(Liquid Crystal Display; LCD), 발광다이오드(Light Emitting Diode; LED) 또는 다른 적당한 소자를 이용하여 영상을 표시하기 위한 장치 및/또는 이를 구동하기 위한 구동 장치나 소프트웨어 등으로 이루어질 수 있다.

[0064] 도 5는 일 실시예에 따른 DLOD를 적용한 직물 시뮬레이션 방법의 각 단계를 도시한 순서도이다.

[0065] 도 5를 참조하면, 먼저 표현 대상 직물상에 설정된 복수 개의 노드 각각에 인가되는 힘을 산출할 수 있다(S1). 각 노드에 인가되는 힘은 직물 시뮬레이션 모델에 따라 다양하게 정의될 수 있다. 예를 들어, 각각의 노드에 장력(stretching force), 굽힘력(bending force) 및 면적력(area force)을 정의하고 이들 힘을 이용하여 직물의 움직임을 시뮬레이션할 수도 있다.

[0066] 다음으로, 각 노드에 인가되는 힘을 시간에 따라 적분하여 각 노드의 위치를 갱신할 수 있다(S2). 각 노드에 인가되는 힘은 가속도에 비례하므로, 이를 각 시간 단계 사이의 간격만큼의 시간에 대해 적분함으로써 다음 시간 단계에서의 각 노드의 위치를 산출할 수 있다. 이때 적분은 내재적 적분법(implicit integration)을 이용하여 수행될 수도 있다.

[0067] 다음으로, 위치가 산출된 복수 개의 노드 각각의 운동 에너지를 합산하여 제1 운동 에너지를 산출할 수 있다(S3).

[0068] 다음으로, 각 노드의 곡률을 산출하고, 노드의 곡률에 기초하여 하나 이상의 노드를 생성 및/또는 삭제할 수 있다(S4). 예를 들어, 산출된 곡률이 미리 설정된 상한값 이상인 노드와 인접하여 하나 이상의 하위 노드를 생성하고, 또는/또한 산출된 곡률이 미리 설정된 하한값 이상인 노드와 인접하는 하나 이상의 하위 노드를 삭제할 수 있다. 그 결과, 직물의 변화가 상대적으로 많은 영역에는 노드의 수를 증가시키고, 변화가 상대적으로 적은 영역에는 노드의 수를 감소시켜 고품질의 시뮬레이션 결과를 효율적으로 얻을 수 있다.

[0069] 다음으로, 하나 이상의 노드가 생성 및/또는 삭제된 후 복수 개의 노드 전체의 운동 에너지를 합산하여 제2 운동 에너지를 산출할 수 있다(S5).

[0070] 다음으로, 단계(S3)에서 산출된 제1 운동 에너지와, 단계(S5)에서 산출된 제2 운동 에너지의 차이를 이용하여 복수 개의 노드 각각의 속도를 조절할 수 있다. 노드의 생성 및/또는 삭제가 이루어지면, 전체 시스템의 운동 에너지가 달라지게 된다. 따라서, 제1 운동 에너지와 제2 운동 에너지의 차이만큼의 에너지를 활성화된 노드 전체에 각 노드의 질량에 비례하여 분배하고, 각 노드의 속도를 새로운 에너지의 크기에 맞게 수정함으로써, 전체 시스템의 운동 에너지가 보존되도록 한 것이다. 그 결과, 표현 대상 직물의 물리적 성질이 변화하는 것을 방지할 수 있다.

[0071] 다음으로, 해당 시간 단계가 마지막 시간 단계인지 판단한다(S7). 마지막 시간 단계가 아닐 경우에는 전술한 각 단계(S1 내지 S6)를 다시 반복한다. 이때 단계(S1, S2)에서는, 선행하는 단계(S6)에서 조절된 각 노드의 속도를 초기값으로 사용하여 다음 시간 단계에서의 노드의 위치를 산출할 수 있다. 이상의 과정을 마지막 시간 단계까지 반복함으로써, 원하는 시간 간격 동안의 표현 대상 직물의 움직임을 시뮬레이션하는 것이 가능하다.

[0072] 전술한 DLOD를 적용한 직물 시뮬레이션 방법은 도면에 제시된 순서도를 참조로 하여 설명되었다. 간단히 설명하기 위하여 상기 방법은 일련의 블록들로 도시되고 설명되었으나, 본 발명은 상기 블록들의 순서에 한정되지 않고, 몇몇 블록들은 다른 블록들과 본 명세서에서 도시되고 기술된 것과 상이한 순서로 또는 동시에 일어날 수도 있으며, 동일한 또는 유사한 결과를 달성하는 다양한 다른 분기, 흐름 경로, 및 블록의 순서들이 구현될 수 있다. 또한, 본 명세서에서 기술되는 방법의 구현을 위하여 도시된 모든 블록들이 요구되지 않을 수도 있다.

[0073] 도 6a 내지 6c는 실시예들에 따른 DLOD를 적용한 직물 시뮬레이션 결과를 종래 기술에 따른 결과와 비교하여 나타낸 도면이다. 도 6a 내지 6c는 상단 양쪽 끝이 고정되어 있는 옷감을 구에 자유낙하 시키는 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

[0074] 도 6a는 종래 기술에 따른 시뮬레이션 결과를 나타내며, 도 6b는 일 실시예에 따라 하나의 수준의 하위 노드를 생성 및/또는 삭제하는 DLOD를 적용하여 수행된 직물 시뮬레이션 결과를 나타내고, 도 6c는 또 다른 실시예에 따라 두 가지 수준의 하위 노드(즉, 하위 노드 및 이에 대한 하위 노드)를 생성 및/또는 삭제하는 DLOD를 적용

하여 수행된 직물 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

[0075] 도 6a에 도시된 종래 기술의 경우 활성 노드의 개수는 4225 개였으며, 한 프레임(frame)의 시뮬레이션에는 약 13.9 ms가 소요되었다. 한편, 도 6b에 도시된 일 실시예의 경우 활성 노드의 수는 2266 개로 종래 기술에 비해 약 54% 로 감소하였으며, 한 프레임의 시뮬레이션에는 약 7.4 ms가 소요되어 종래 기술에 비해 약 53%로 감소하였다. 또한, 도 6c에 도시된 또 다른 실시예의 경우 활성 노드의 수는 1604 개로 종래 기술에 비해 약 38% 로 감소하였으며, 한 프레임의 시뮬레이션에는 약 6.0 ms가 소요되어 종래 기술에 비해 약 43%로 감소하였다.

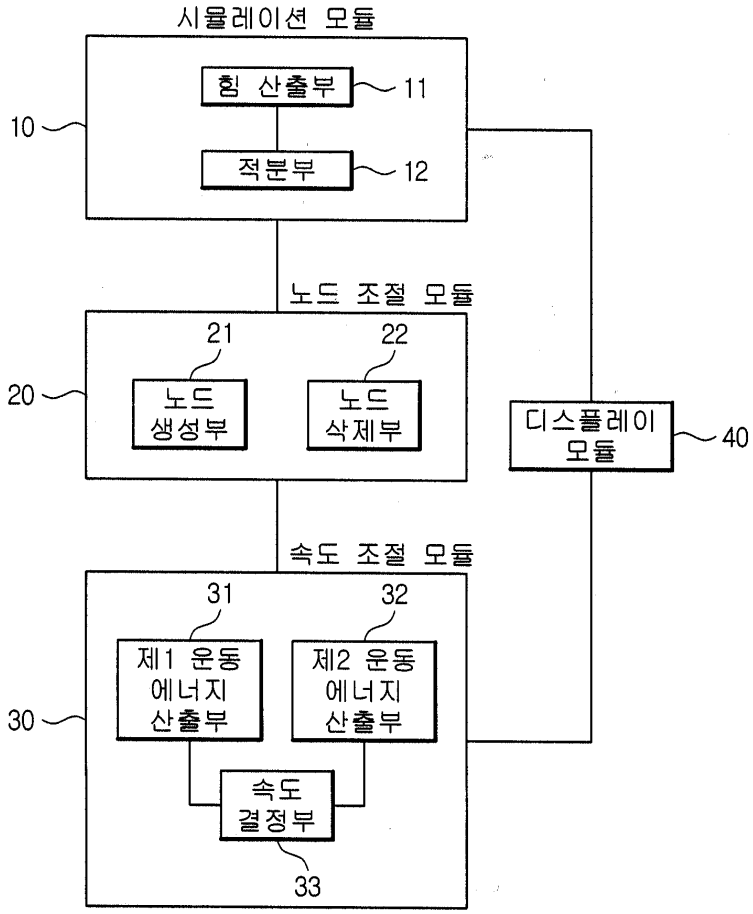
[0076] 또한 에너지 보존을 위한 속도 수정 작업을 통해 시뮬레이션의 안정성을 확보하고 매끄러운 시뮬레이션을 수행할 수 있었다. 예를 들어, 도 6a 내지 6c에 도시된 것과 같이 4225개의 노드들로 이루어진 시스템에 세 가지 수준의 하위 노드를 생성 및/또는 삭제하는 DLOD를 적용하여 실험하였을 경우, 속도 수정을 통해 에너지 보존 처리를 한 경우는 성공적인 시뮬레이션이 이루어졌지만 그렇지 않았을 경우에는 발산하는 것을 관찰할 수 있었다.

[0077] 한편, 본 명세서에 기술된 DLOD를 적용한 직물 시뮬레이션 시스템 및 방법, 또는 이들의 어떤 측면이나 부분은, 플로피 디스켓, CD-ROM, 하드 드라이브, 또는 기타 임의의 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체와 같은 유형 매체에 포함된 프로그램 코드(즉, 명령어)의 형태로 구현될 수도 있다. 상기 프로그램 코드는 컴퓨터와 같은 장치에 로드(load)되어 실행되며, 이때 상기 장치가 본 발명을 실시하기 위한 시스템에 해당된다.

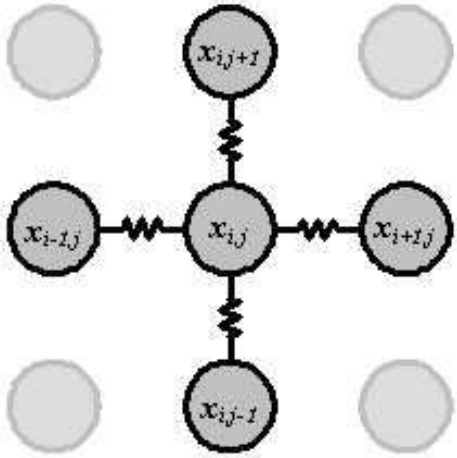
[0078] 이상에서 살펴본 본 발명은 도면에 도시된 실시예들을 참고로 하여 설명하였으나 이는 예시적인 것에 불과하며 당해 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 실시예의 변형이 가능하다는 점을 이해할 것이다. 그러나, 이와 같은 변형은 본 발명의 기술적 보호범위 내에 있다고 보아야 한다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해서 정해져야 할 것이다.

도면

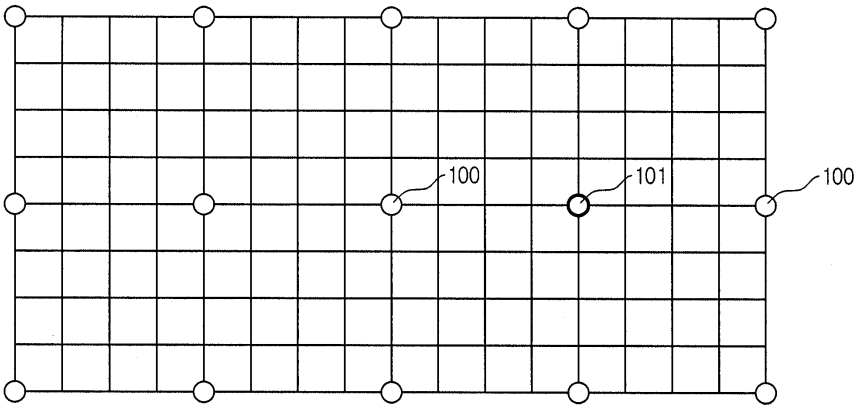
도면1


시뮬레이션 모듈
힘 산출부
11
적분부
12
10
노드 조절 모듈
21
22
노드 생성부
노드 삭제부
20
디스플레이 모듈
40
속도 조절 모듈
31
32
제1 운동 에너지 산출부
제2 운동 에너지 산출부
30
속도 결정부
33

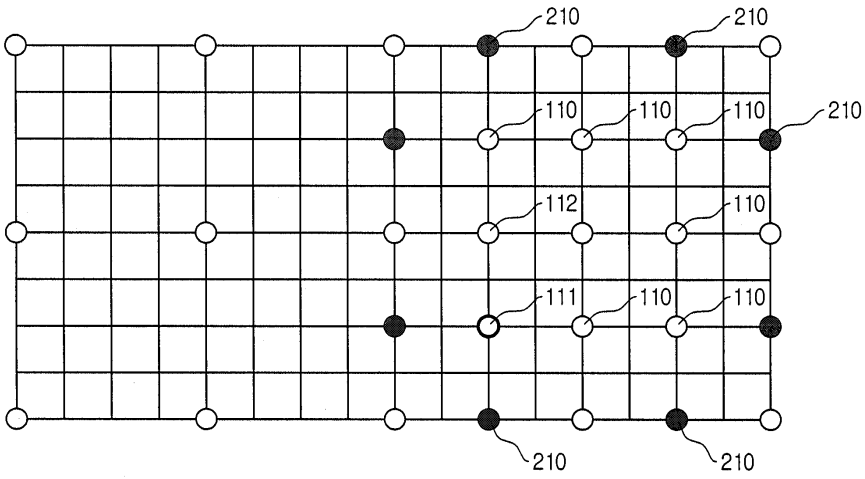
도면2


x_{ij+1}
x_{i-1j}
x_{ij}
x_{i+1j}
x_{ij-1}

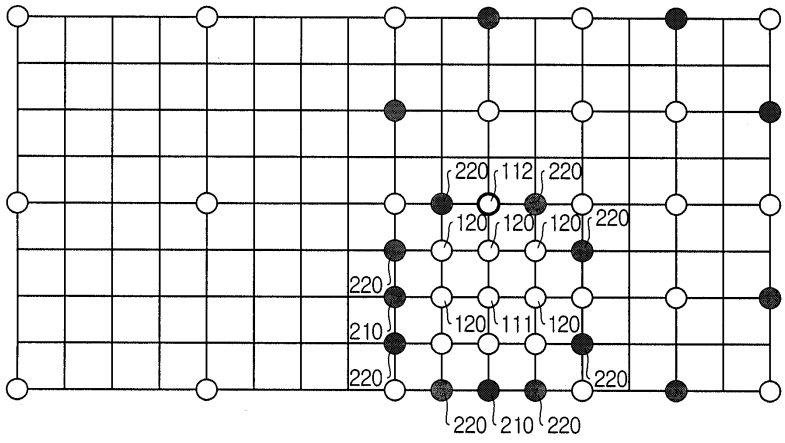
도면3a



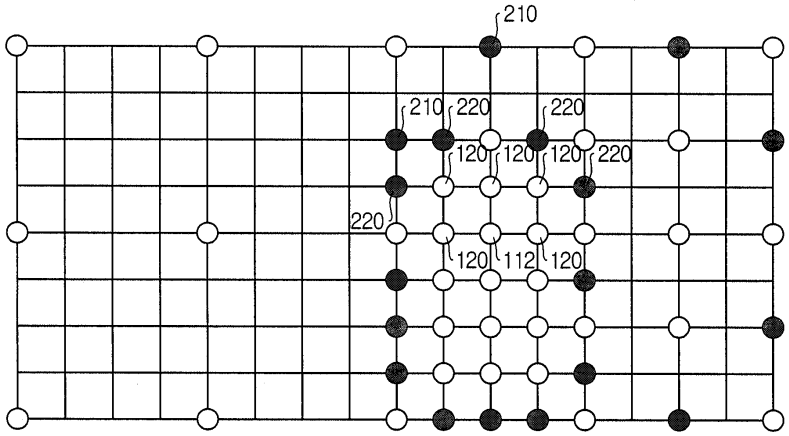
도면3b



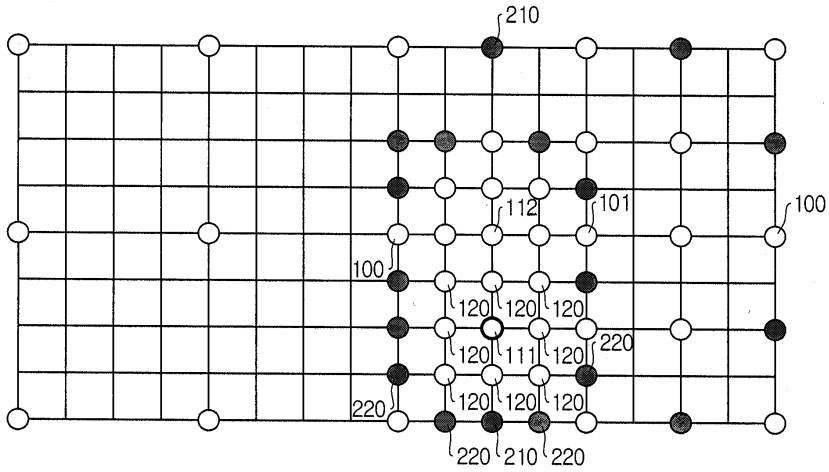
도면3c



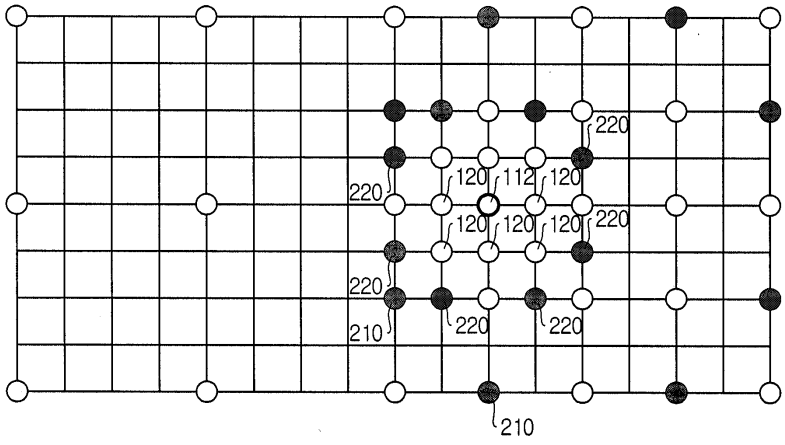
도면3d



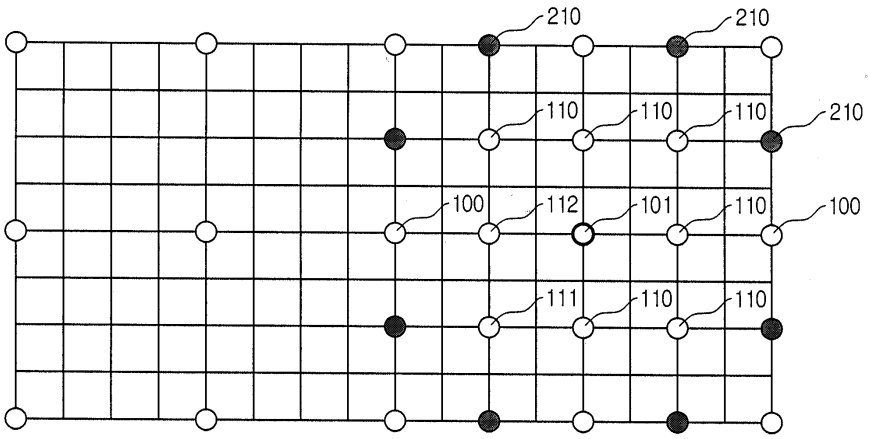
도면4a



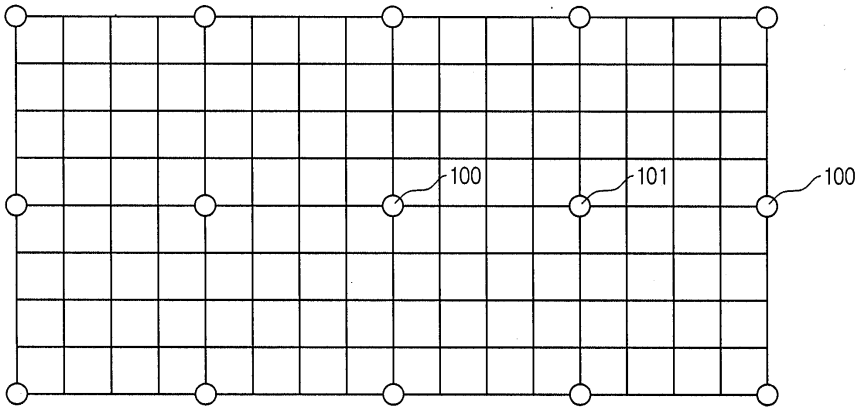
도면4b



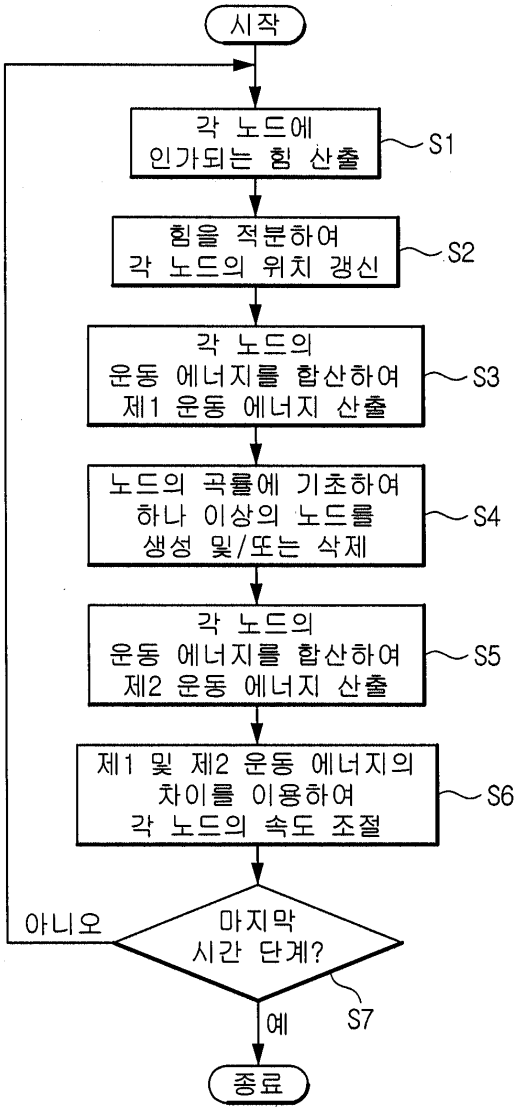
도면4c


210
210
110
110
110
210
100
112
101
110
100
111
110
110

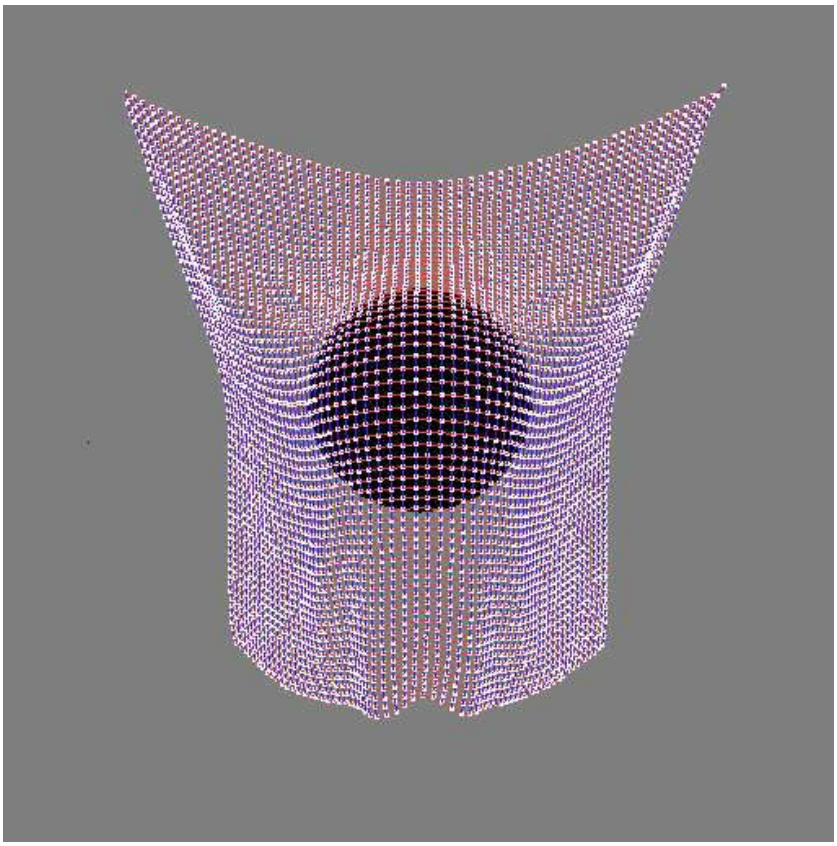
도면4d


100
101
100

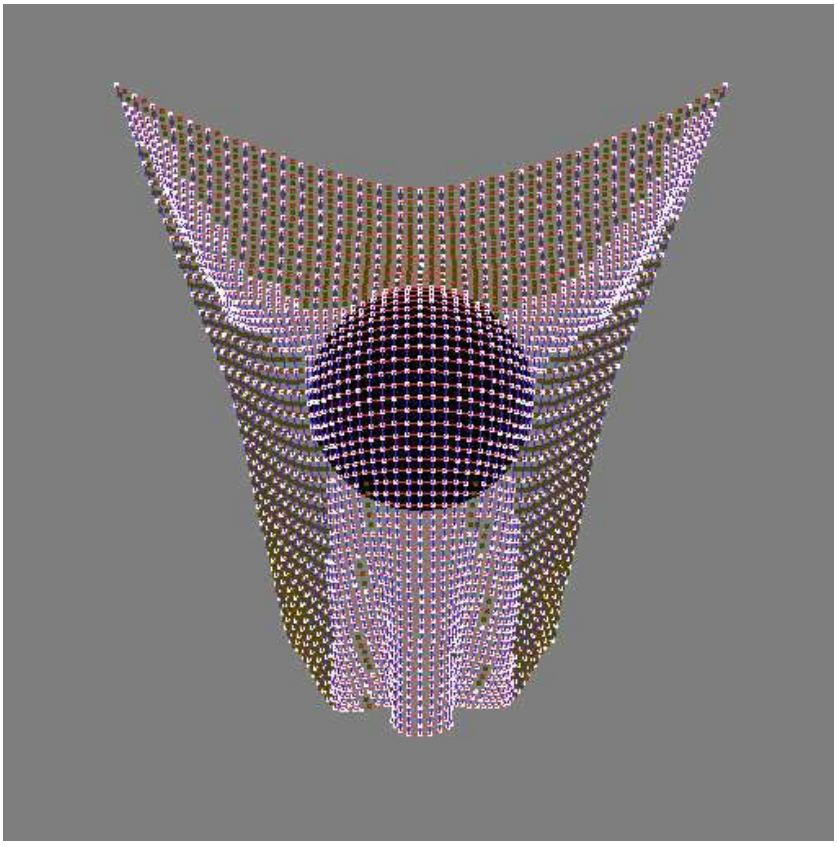
도면5


시작
각 노드에 인가되는 힘 산출
S1
힘을 적분하여 각 노드의 위치 갱신
S2
각 노드의 운동 에너지를 합산하여 제1 운동 에너지 산출
S3
노드의 곡률에 기초하여 하나 이상의 노드를 생성 및/또는 삭제
S4
각 노드의 운동 에너지를 합산하여 제2 운동 에너지 산출
S5
제1 및 제2 운동 에너지의 차이를 이용하여 각 노드의 속도 조절
S6
마지막 시간 단계?
S7
아니오
예
종료

도면6a



도면6b



도면6c

