



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년02월01일
(11) 등록번호 10-1700829
(24) 등록일자 2017년01월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 13/60 (2011.01) G06T 1/20 (2006.01)
G06T 17/00 (2006.01) G06T 19/00 (2011.01)
(52) CPC특허분류
G06T 13/60 (2013.01)
G06T 1/20 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0151244
(22) 출원일자 2015년10월29일
심사청구일자 2015년10월29일
(56) 선행기술조사문헌
JP2010238030 A*
안철오, 학위논문, 한양대학교 대학원, 기계공학
과, 2008.02.*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국과학기술정보연구원
대전광역시 유성구 대학로 245 (어은동)
(72) 발명자
김덕수
대전광역시 유성구 온천북로33번길 36-26, 403호
(봉명동, 세종타운)
김민아
대전광역시 유성구 어은로 57, 128동 303호 (어은
동, 한빛아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유)화우

전체 청구항 수 : 총 7 항

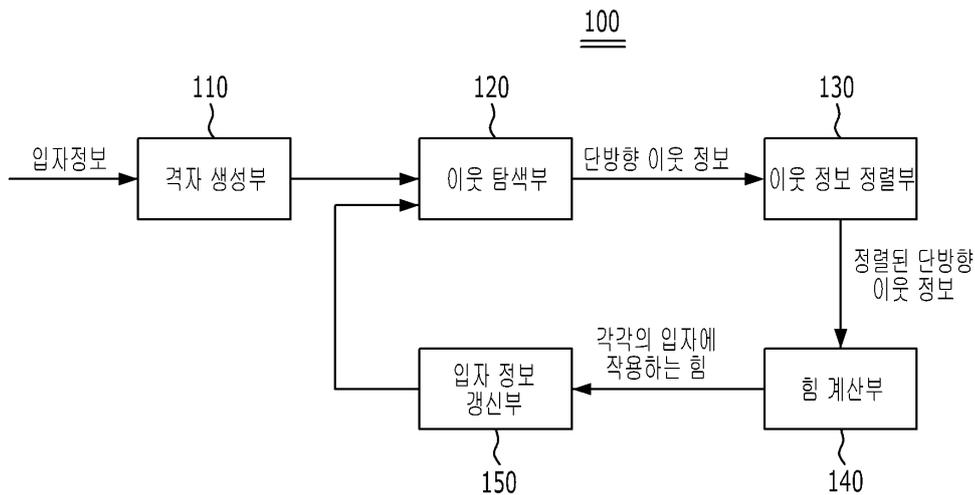
심사관 : 박상철

(54) 발명의 명칭 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템 및 그 방법에 관한 것으로서, 시설물 내에 설치되어, (a) 유체의 계산영역을 격자형태의 셀로 분할하는 단계, (b) 셀 단위로 각 입자들의 이웃 입자를 탐색하는 단계, (c) 상기 탐색된 이웃정보를 해당 입자가 속한 셀을 기준으로 정렬하는 단계, (d) 상기 정렬된 이웃정보를 기반으로 입자들에 가해지는 힘을 계산하는 단계, (e) 상기 계산된 힘을 반영하여 입자의 정보를 갱신하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06T 17/00 (2013.01)

G06T 19/00 (2013.01)

G06T 2210/56 (2013.01)

(72) 발명자

구기범

대전광역시 유성구 노은로 353, 302동 703호 (하기동, 송림마을3단지아파트)

이세훈

대전광역시 유성구 어은로42번길 22, 한빛빌라 205호 (어은동)

이중연

대전광역시 서구 청사로 65, 108동 1205호 (월평동, 황실타운아파트)

허영주

대전광역시 유성구 노은로 353, 302동 703호 (하기동, 송림마을3단지아파트)

황규현

대전광역시 서구 대덕대로175번길 40, 802호 (둔산동, 두운힐스타운)

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) 유체의 계산영역을 격자형태의 셀로 분할하는 단계;
- (b) 셀 단위로 각 입자에 대칭되는 이웃 입자 중 단방향의 이웃 입자를 탐색하는 단계;
- (c) 상기 탐색된 단방향의 이웃 입자를 해당 입자가 속한 셀을 기준으로 정렬하는 단계;
- (d) 상기 정렬된 단방향의 이웃 입자를 기반으로 입자들에 가해지는 힘을 계산하는 단계; 및
- (e) 상기 계산된 힘을 반영하여 입자의 정보를 갱신하는 단계;를 포함하고,

상기 (d)단계는, 이웃 입자간 힘의 대칭성을 이용하여, 단방향으로 계산된 힘을 중심 입자에 반영함과 동시에 이웃 입자에 반대 방향을 가지는 같은 크기의 힘을 반영하는 것을 특징으로 하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 (c)단계는,

상기 탐색된 이웃정보에서 중심 셀을 기준으로 1차 정렬을 수행하고, 상기 1차 정렬된 각 중심셀의 내부적으로 이웃 셀을 기준으로 2차 정렬을 수행하는 것을 특징으로 하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 (d)단계는,

복수 개의 연산장치에 각 셀을 분배하는 단계;

각 연산장치는 할당받은 셀을 중심으로 이웃 셀들을 순차적으로 방문하며 각 셀내 각 입자에 작용하는 힘을 계산하는 단계를 포함하되,

각 연산장치에 의해 할당받은 셀은 다른 연산장치에 의해 접근되지 않은 것을 특징으로 하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 방법.

청구항 5

- (a) 유체의 계산영역을 격자형태의 셀로 분할하는 단계;
- (b) 셀 단위로 각 입자에 대칭되는 이웃 입자 중 단방향의 이웃 입자를 탐색하는 단계;
- (c) 상기 탐색된 단방향의 이웃 입자를 해당 입자가 속한 셀을 기준으로 정렬하는 단계;
- (d) 상기 정렬된 단방향의 이웃 입자를 기반으로 입자들에 가해지는 힘을 계산하는 단계; 및
- (e) 상기 계산된 힘을 반영하여 입자의 정보를 갱신하는 단계;를 포함하고,

상기 (d)단계는, 이웃 입자간 힘의 대칭성을 이용하여, 단방향으로 계산된 힘을 중심 입자에 반영함과 동시에 이웃 입자에 반대 방향을 가지는 같은 크기의 힘을 반영하는 것을 특징으로 하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 방법을 구현하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 6

유체의 계산영역을 격자형태의 셀로 분할하는 격자 생성부;
 셀 단위로 각 입자에 대칭되는 이웃 입자 중 단방향의 이웃 입자를 탐색하는 이웃 탐색부;
 상기 탐색된 단방향의 이웃 입자를 해당 입자가 속한 셀을 기준으로 정렬하는 이웃 정보 정렬부;
 복수 개의 연산장치를 포함하고, 상기 연산장치가 상기 정렬된 단방향의 이웃 입자를 기반으로 입자들에 가해지는 힘을 계산하도록 하는 힘 계산부; 및
 상기 계산된 힘을 반영하여 입자의 정보를 갱신하는 입자정보 갱신부;를 포함하고,
 상기 힘 계산부는 이웃 입자간 힘의 대칭성을 이용하여, 단방향으로 계산된 힘을 중심 입자에 반영함과 동시에 이웃 입자에 반대 방향을 가지는 같은 크기의 힘을 반영하는 것을 특징으로 하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템.

청구항 7

삭제

청구항 8

제6항에 있어서,
 상기 이웃 정보 정렬부는 상기 탐색된 이웃정보에서 중심 셀을 기준으로 1차 정렬을 수행하고, 상기 1차 정렬된 각 중심셀의 내부적으로 이웃 셀을 기준으로 2차 정렬을 수행하는 것을 특징으로 하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템.

청구항 9

제6항에 있어서,
 상기 힘 계산부는, 복수 개의 연산장치에 각 셀을 분배하고, 각 연산장치는 할당받은 셀을 중심으로 이웃 셀들을 순차적으로 방문하며, 방향성 기반으로 각 셀의 각 입자에 작용하는 힘을 계산하되,
 각 연산장치에 의해 할당받은 셀은 다른 연산장치에 의해 접근되지 않은 것을 특징으로 하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템 및 그 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 방향성에 기반을 둔 이웃정보 접근 및 입자간 힘 계산을 통해 단방향의 이웃정보만 가진 상태에서 입자 기반 유체 시뮬레이션을 병렬 연산 장치로 처리하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 컴퓨터 그래픽스(Computer Graphics; CG) 분야, 특히 시각 효과(Visual Effects; VFX) 분야에 있어서 유체 시뮬레이션은 상당히 많은 계산량을 요구하기 때문에, 컴퓨터의 성능이 향상된 최근에 있어서도 많은 연구 및 개

발을 요한다. 한편, CG 분야가 태동하기 이전부터 유체의 유동을 수치적으로 풀어내려는 연구는 전산 유체 역학 (Computational Fluid Dynamics; CFD) 분야를 중심으로 논의되어 왔다.

- [0003] 일상에서 접할 수 있는 유체의 움직임은 대부분 비압축성 유체 유동(incompressible fluid flow)으로 볼 수 있으며, CG 및 CFD 분야에서는 비압축성 유체 유동을 해석하기 위해 나비에-스톡스(Navier-Stokes) 방정식을 지배 방정식으로 사용하고 있다. 나비에-스톡스 방정식은 여러 가지 형태의 편미분 방정식이 하나의 식으로 결합되어 있으므로 해석적인 해(analytic solution)가 존재하지 않으며, 1970년대에 들어서야 비로소 컴퓨터를 이용한 수치적인 해를 구할 수 있게 되었다.
- [0004] 유체 시뮬레이션에서 유체 유동을 기술하기 위한 방법으로는 격자(grid)를 이용한 오일러(Eulerian) 기술법 및 입자(particle)를 이용한 라그랑지안(Lagrangian) 기술법 등이 있다.
- [0005] 입자 기반 유체 시뮬레이션(Particle-based fluid simulation)은 기체, 물과 같은 유체를 입자(particle)들로 표현하고, 그 물리적 움직임을 재현하는 시뮬레이션 기법이다. 대표적인 입자 기반 유체 시뮬레이션 기법으로는 Smoothed Particle Hydrodynamics(SPH)가 있으며, SPH를 확장한 다양한 입자 기반 유체 시뮬레이션 기법이 존재한다.
- [0006] SPH 계열 유체 시뮬레이션 기법은 각 입자들에 대해 이웃 입자를 도출해내고, 이웃들과의 거리에 기반하여 해당 입자에 가해지는 힘을 계산하여 입자의 움직임을 계산한다.
- [0007] 한편, 병렬처리 입자 기반 시뮬레이션 기술에서는 순차처리에서 사용하는 번호 기반 중복 연산 제거 기법 적용이 가능하지만, 여러 개의 연산장치가 동시에 하나의 입자의 힘을 갱신하는 경우를 방지하기 위한 동기화 작업이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 선행기술1: 한국등록특허 제1415616호(2014.06.30 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명의 목적은 방향성에 기반을 둔 이웃정보 접근 및 입자간 힘 계산을 통해 단방향의 이웃정보만 가진 상태에서 입자 기반 유체 시뮬레이션을 병렬 연산 장치로 처리하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템 및 그 방법을 제공함에 있다.
- [0010] 본 발명의 다른 목적은 연산 장치들 사이의 동기화를 최소화하여 병렬처리의 효율을 높일 수 있는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템 및 그 방법을 제공함에 있다.
- [0011] 한편, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 이하에서 설명할 내용으로부터 통상의 기술자에게 자명한 범위 내에서 다양한 기술적 과제가 포함될 수 있다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명의 일 측면에 따르면, (a) 유체의 계산영역을 격자형태의 셀로 분할하는 단계, (b) 셀 단위로 각 입자들의 이웃 입자를 탐색하는 단계, (c) 상기 탐색된 이웃정보를 해당 입자가 속한 셀을 기준으로 정렬하는 단계, (d) 상기 정렬된 이웃정보를 기반으로 입자들에 가해지는 힘을 계산하는 단계, (e) 상기 계산된 힘을 반영하여 입자의 정보를 갱신하는 단계를 포함하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 방법이 제공된다.
- [0013] 상기 (b)단계는, 각 입자에 대칭되는 이웃정보 중 단방향의 이웃정보를 수집하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0014] 상기 (c)단계는, 상기 탐색된 이웃정보에서 중심 셀을 기준으로 1차 정렬을 수행하고, 상기 1차 정렬된 각 중심 셀의 내부적으로 이웃 셀을 기준으로 2차 정렬을 수행하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0015] 상기 (d)단계는, 복수 개의 연산장치에 각 셀을 분배하는 단계, 각 연산장치는 할당받은 셀을 중심으로 이웃 셀들을 순차적으로 방문하며 각 셀내 각 입자에 작용하는 힘을 계산하는 단계를 포함하되, 각 연산장치에 의해 할

당받은 셀은 다른 연산장치에 의해 접근되지 않은 것을 특징으로 할 수 있다.

[0016] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 유체의 계산영역을 격자형태의 셀로 분할하는 격자 생성부, 셀 단위로 각 입자들의 이웃 입자를 탐색하는 이웃 탐색부, 상기 탐색된 이웃정보를 해당 입자가 속한 셀을 기준으로 정렬하는 이웃 정보 정렬부, 복수 개의 연산장치를 포함하고, 상기 연산장치가 상기 정렬된 이웃정보를 기반으로 입자들에 가해지는 힘을 계산하도록 하는 힘 계산부, 상기 계산된 힘을 반영하여 입자의 정보를 갱신하는 입자정보 갱신부를 포함하는 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템이 제공된다.

[0017] 상기 이웃 탐색부는 각 입자에 대칭되는 이웃정보 중 단방향의 이웃정보를 수집할 수 있다.

[0018] 상기 이웃 정보 정렬부는 상기 탐색된 이웃정보에서 중심 셀을 기준으로 1차 정렬을 수행하고, 상기 1차 정렬된 각 중심셀의 내부적으로 이웃 셀을 기준으로 2차 정렬을 수행할 수 있다.

[0019] 상기 힘 계산부는, 복수 개의 연산장치에 각 셀을 분배하고, 각 연산장치는 할당받은 셀을 중심으로 이웃 셀들을 순차적으로 방문하며, 방향성 기반으로 각 셀의 각 입자에 작용하는 힘을 계산하되, 각 연산장치에 의해 할당받은 셀은 다른 연산장치에 의해 접근되지 않은 것을 특징으로 할 수 있다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따르면, 방향성에 기반을 둔 이웃정보 접근 및 입자간 힘 계산을 통해 단방향의 이웃정보만 가진 상태에서 입자 기반 유체 시뮬레이션을 병렬 연산 장치로 처리할 수 있다.

[0021] 또한, 연산 장치들 사이의 동기화를 최소화하여 병렬처리의 효율을 높일 수 있다.

[0022] 한편, 본 발명의 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 이하에서 설명할 내용으로부터 통상의 기술자에게 자명한 범위 내에서 다양한 효과들이 포함될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 정방형 격자를 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 이웃 정보를 정렬하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 방향성 기반 힘 계산을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 유체 시뮬레이션 시스템이 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션을 위한 방법을 나타낸 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 '병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템 및 그 방법'을 상세하게 설명한다. 설명하는 실시 예들은 본 발명의 기술 사상을 당업자가 용이하게 이해할 수 있도록 제공되는 것으로 이에 의해 본 발명이 한정되지 않는다. 또한, 첨부된 도면에 표현된 사항들은 본 발명의 실시 예들을 쉽게 설명하기 위해 도식화된 도면으로 실제로 구현되는 형태와 상이할 수 있다.

[0025] 한편, 이하에서 표현되는 각 구성부는 본 발명을 구현하기 위한 예일 뿐이다. 따라서, 본 발명의 다른 구현에서는 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않는 범위에서 다른 구성부가 사용될 수 있다.

[0026] 또한, 각 구성부는 순전히 하드웨어 또는 소프트웨어의 구성만으로 구현될 수도 있지만, 동일 기능을 수행하는 다양한 하드웨어 및 소프트웨어 구성들의 조합으로 구현될 수도 있다. 또한, 하나의 하드웨어 또는 소프트웨어에 의해 둘 이상의 구성부들이 함께 구현될 수도 있다.

[0027] 또한, 어떤 구성요소들을 '포함'한다는 표현은, '개방형'의 표현으로서 해당 구성요소들이 존재하는 것을 단순히 지칭할 뿐이며, 추가적인 구성요소들을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다.

[0028] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템을 나타낸 도면, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 정방형 격자를 설명하기 위한 도면, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 이웃 정보를 정렬하는 방법을 설명하기 위한 도면, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 방향성 기반 힘 계산을 설명하기 위한 도면이다.

[0029] 도 1을 참조하면, 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 시스템(100)은 격자 생성부(110), 이웃 탐색부(120), 이

우정보 정렬부(130), 힘 계산부(140), 입자 정보 갱신부(150)를 포함한다.

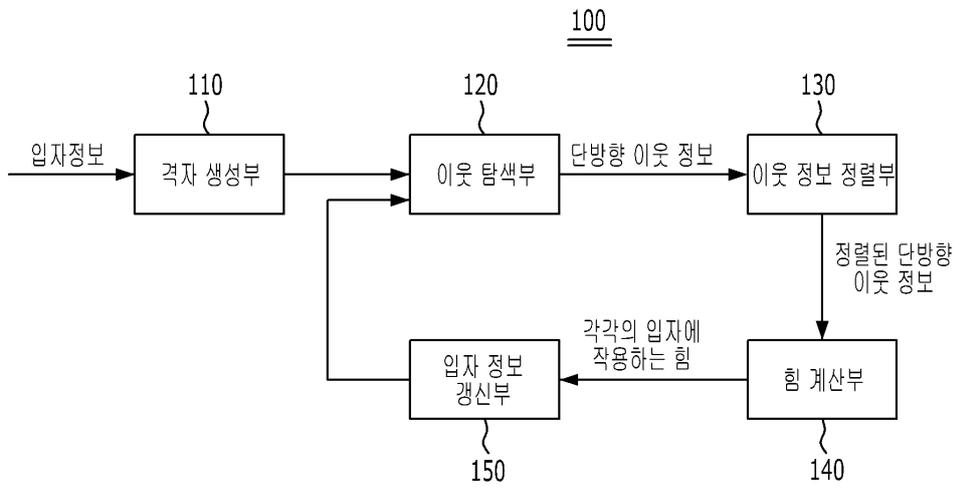
- [0030] 격자 생성부(110)는 유체의 계산영역을 격자형태의 셀로 분할한다. 즉, 격자 생성부(110)는 대상 유체를 포함하는 계산 영역을 복수 개의 셀(cell)을 포함하는 격자(grid) 형태의 유한 요소로 분할한다.
- [0031] 격자는 n차원의 유클리드공간(Euclidean space)을 일정한 규칙에 따라 분할하는 공간 분할 방법으로, 다양한 형태의 격자가 존재한다. 격자 생성부(110)는 도 2와 같이 공간을 바둑판 형태로 분할하는 정방형 격자(uniform grid)를 사용하며, 이를 간단히 격자라 부른다. 정방형 격자는 시뮬레이션 공간을 격자로 분할되는 영역들인 셀로 나누고, 유체를 표현하는 입자들은 위치에 따라 하나의 셀에 포함되게 된다. 정방형 격자를 통한 공간 분할은 셀의 한변의 길이가 ϵ 또는 2ϵ 가 되도록 분할하는 것이 일반적이다. 이와 같이 공간 분할을 통해 특정 입자의 이웃은 자신이 속한 셀과 그 이웃(한변을 공유하는)셀들 안에만 존재하게 된다.
- [0032] 이웃 탐색부(120)는 격자 생성부(110)에서 생성된 셀 단위로 각 입자들의 이웃 입자를 탐색하여 단방향 이웃정보를 수집한다.
- [0033] 이웃 탐색부(120)는 각 입자에 대해 기 설정된 거리 내에 위치하는 모든 입자를 이웃 입자로 탐색한다. 여기서, 기 설정된 거리는 유체 시뮬레이션을 수행하기 위한 연산 부담 및 시뮬레이션 대상 유체의 특성 등에 기초하여 적절히 결정될 수 있다. 이웃 탐색부(120)는 종래의 이웃 탐색 방법을 이용하여 각 입자의 이웃 입자를 탐색할 수 있다.
- [0034] 이웃 탐색부(120)에 의해 탐색된 두 이웃 입자는 서로가 서로의 이웃인 대칭성을 가진다. 예를 들어, 두 입자 p_1, p_2 가 서로 이웃인 경우, 두 입자가 서로에게 작용하는 힘의 크기는 같고 방향은 반대, 즉, 한 방향의 힘 $p_1 \rightarrow p_2$ 이 F 라고 하면, $p_2 \rightarrow p_1$ 은 $-F$ 으로 대칭성을 가진다.
- [0035] 따라서, 이웃 탐색부(120)는 이웃 탐색의 결과에서 도출된 대칭된 이웃 정보 중 하나만을 수집, 즉, 단방향의 이웃정보를 수집한다.
- [0036] 두 입자 p_1, p_2 가 서로 이웃인 경우, 이웃 탐색부(120)는 $(P_i, P_j), (P_j, P_i)$ 와 같이 서로 대칭된 이웃 정보를 탐색하고, 대칭되는 이웃 정보 중에서 번호가 더 낮은 입자가 앞항에 오는 입자정보 (P_i, P_j) 를 수집한다. 여기서, P_i 와 P_j 는 각각 입자의 번호(index)를 의미하고, P_i 를 중심입자, P_j 를 이웃입자로 정의한다. 예를 들어, 이웃 탐색부(120)는 $(1,2)$ 와 $(2,1)$ 중 $(1,2)$ 만 수집한다.
- [0037] 이처럼 이웃 탐색부(120)는 단방향의 이웃 정보만을 수집하므로, 이웃 정보의 저장을 위한 저장 공간을 절반으로 줄일 수 있다.
- [0038] 이웃 정보 정렬부(130)는 이웃 탐색부(120)에서 수집된 이웃정보를 해당 입자가 속한 셀을 기준으로 정렬한다.
- [0039] 예를 들어, C_i, C_j 를 각각 P_i (중심입자), P_j (이웃입자)가 속한 셀의 번호로 정의하면, 이웃정보 정렬부(130)는 P_i (중심입자)가 속한 C_i 를 1순위 기준, P_j (이웃입자)가 속한 C_j 를 2순위로 하여 정렬한다. 이웃정보(C_i, C_j)에서 앞항의 입자를 중심셀, 두번째항의 입자를 이웃셀로 구분한다. 정렬된 이웃정보는 도 3과 같이 중심셀을 기준으로 1차적으로 구분되고, 그 내부적으로 이웃셀을 기준으로 다시 한번 구분된다.
- [0040] 힘 계산부(140)는 이웃정보 정렬부(130)에서 정렬된 이웃정보를 기반으로 입자들에 가해지는 힘을 계산한다. 이때, 힘 계산부(140)는 복수 개의 연산장치를 포함하고, 각 연산장치가 병렬로 힘을 계산한다.
- [0041] 힘 계산부(140)는 각 연산장치에 균등한 수의 셀을 분배하고, 분배된 셀들은 힘 계산을 위한 중심 셀이 된다.
- [0042] 셀을 할당받은 각 연산장치는 할당받은 셀을 중심으로 이웃 셀들을 순차적으로 방문하여 힘을 계산한다. 이때, 각 연산장치는 이웃 정보 중 자신이 처리할 중심 셀 부분만을 접근하며, 해당 셀 부분은 다른 연산장치로부터 접근되지 않는다. 또한, 연산장치는 중심 셀에 속한 입자들의 이웃정보 중 이웃이 현재 방문중인 셀에 있는 입자인 정보만 활용한다. 모든 연산장치들은 같은 순서로 이웃셀을 방문하여 힘 계산 및 입자정보 갱신작업을 수행하고, 다음 이웃 셀로 넘어가기 전에 모든 연산장치들 사이에 동기화를 수행한다. 연산장치는 모든 이웃셀을 방문할때까지 위 과정을 반복한다.
- [0043] 힘 계산부(140)는 중심 입자와 이웃 입자 사이의 거리를 기반으로 힘을 계산한다. 하나의 입자에 가해지는 힘은 모든 이웃 입자로부터 받은 힘의 합으로, 하나의 변수에 계산된 힘들이 합산되는 방식으로 갱신된다.
- [0044] 본 발명은 단방향의 이웃 정보만 저장하고 있으므로, 힘의 대칭성을 활용하여 단방향으로 계산된 힘을 중심 입자에 반영함과 동시에 이웃 입자에 반대 방향을 가지는 같은 크기의 힘을 반영한다. 이와 같이 힘 계산부(140)

는 두 이웃 입자에 대해 힘의 크기를 한번에 계산(즉, 이웃 입자간 힘의 대칭성을 이용하여 힘 계산)함으로써, 기존 병렬 처리 기법 대비 연산 양을 절반으로 줄일 수 있다.

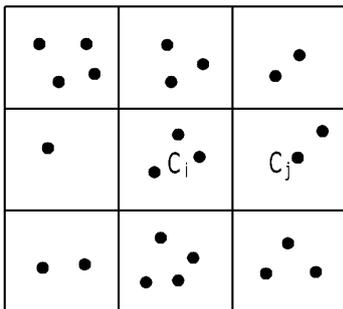
- [0045] 힘 계산부(140)는 방향성 기반으로 각 입자에 가해지는 힘을 계산하는데, 방향성 기반 힘 계산은 입자에 대한 힘의 갱신 과정에서 동기화를 최소화한다. 계산된 힘을 양 방향으로 적용하는 과정에서 여러 연산장치들이 같은 입자의 힘 정보를 갱신하는 경우가 발생하고, 이에 따른 오류 발생을 방지하기 위해서는 연산 장치들이 이웃 입자의 힘 값에 접근할 때마다 다른 연산 장치들과의 동기화 작업을 수행해야 한다. 이와 같은 잦은 동기화는 병렬 처리효율에 있어 치명적이다. 따라서, 힘 계산부(140)는 이웃 정보를 방향성에 기반해 순차적으로 접근함으로써 동기화의 수를 최소화시킬 수 있다.
- [0046] 이웃 셀은 중심 셀과의 상대적 위치를 이용하여 $d=(x,y,z)$, $x,y,z \in \{-1,0,+1\}$ 과 같이 방향벡터로 표현된다. 중심 셀은 자기 자신을 포함해 총 27개의 방향을 가지고 있으며, 해당 연산장치는 각 방향을 순차적으로 방문하면서 힘 계산을 수행한다. 즉, 힘 계산부(140)는 이웃 정보 중 이웃 입자가 현재 방문 중인 이웃 셀에 속하는 경우에 대해서만 힘 계산을 수행하고, 다음 방향으로 넘어가게 된다. 이때, 모든 연산 장치들은 도 4와 같이 동일한 순서로 방향 벡터를 사용하고, 다음 방향 벡터로 전환되기 전에만 동기화를 수행하도록 한다. 이를 통해 총 26번의 동기화만으로 모든 힘의 계산이 가능하다.
- [0047] 입자정보 갱신부(150)는 힘 계산부(140)에서 계산된 힘을 반영하여 입자의 정보를 갱신한다. 여기서, 입자의 정보는 예컨대, 입자의 위치 등을 포함할 수 있다.
- [0048] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 유체 시뮬레이션 시스템이 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션을 위한 방법을 나타낸 흐름도이다.
- [0049] 도 5를 참조하면, 유체 시뮬레이션 시스템은 유체의 계산영역을 격자형태의 셀로 분할한다(S502).
- [0050] 유체 시뮬레이션 시스템은 각 입자들의 이웃 입자를 탐색하고(S504), 탐색된 이웃 입자들 중에서 단방향 이웃 정보를 수집한다(S506).
- [0051] 유체 시뮬레이션 시스템은 수집된 단방향 이웃 정보를 각 입자가 속한 셀을 기준으로 정렬한다(S508).
- [0052] 유체 시뮬레이션 시스템은 정렬된 이웃 정보를 기준으로 각 입자에 가해지는 힘을 계산하고(S510), 계산된 힘을 반영하여 입자의 정보를 갱신한다(S512).
- [0053] 즉, 유체 시뮬레이션 시스템은 입자에 가해지는 힘을 계산하기 위해 구비된 여러 개의 연산장치에 셀을 분배한다. 그러면, 연산장치들은 분배받은 셀을 중심으로 힘 계산을 수행한다. 이때, 연산장치는 할당받은 셀을 중심으로 이웃 셀들을 순차적으로 방문하여 힘을 계산한다. 이 과정에서는 중심 셀에 속한 입자들의 이웃정보 중 이웃이 현재 방문중인 셀에 있는 입자인 정보만 활용한다. 모든 연산장치들은 같은 순서로 이웃 셀을 방문하고, 힘 계산 및 입자정보 갱신작업을 수행하며, 다음 이웃 셀로 넘어가기 전에 모든 연산장치들 사이에 동기화를 수행한다. 연산장치는 모든 이웃셀을 방문할 때까지 위 과정을 반복한다.
- [0054] 이러한 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 방법은 프로그램으로 작성 가능하며, 프로그램을 구성하는 코드들 및 코드 세그먼트들은 당해 분야의 프로그래머에 의하여 용이하게 추론될 수 있다. 또한, 병렬처리 입자기반 유체 시뮬레이션 방법에 관한 프로그램은 전자장치가 읽을 수 있는 정보저장매체(Readable Media)에 저장되고, 전자장치에 의하여 읽혀지고 실행될 수 있다.
- [0055] 이와 같이, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 실시 형태로 실시될 수 있다는 것을 인지할 수 있을 것이다. 따라서 이상에서 기술한 실시 예들은 예시적인 것일 뿐이며, 그 범위를 제한해놓은 한정적인 것이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 또한, 도면에 도시된 순서도들은 본 발명을 실시함에 있어서 가장 바람직한 결과를 달성하기 위해 예시적으로 도시된 순차적인 순서에 불과하며, 다른 추가적인 단계들이 제공되거나, 일부 단계가 삭제될 수 있음은 물론이다.
- [0056] 본 명세서에서 기술한 기술적 특징과 이를 실행하는 구현물은 디지털 전자 회로로 구현되거나, 본 명세서에서 기술하는 구조 및 그 구조적인 등가물 등을 포함하는 컴퓨터 소프트웨어, 펌웨어 또는 하드웨어로 구현되거나, 이들 중 하나 이상의 조합으로 구현 가능하다. 또한 본 명세서에서 기술한 기술적 특징을 실행하는 구현물은 컴퓨터 프로그램 제품, 다시 말해 처리 시스템의 동작을 제어하기 위하여 또는 이것에 의한 실행을 위하여 유형의 프로그램 저장매체 상에 인코딩된 컴퓨터 프로그램 명령어에 관한 모듈로서 구현될 수도 있다.

도면

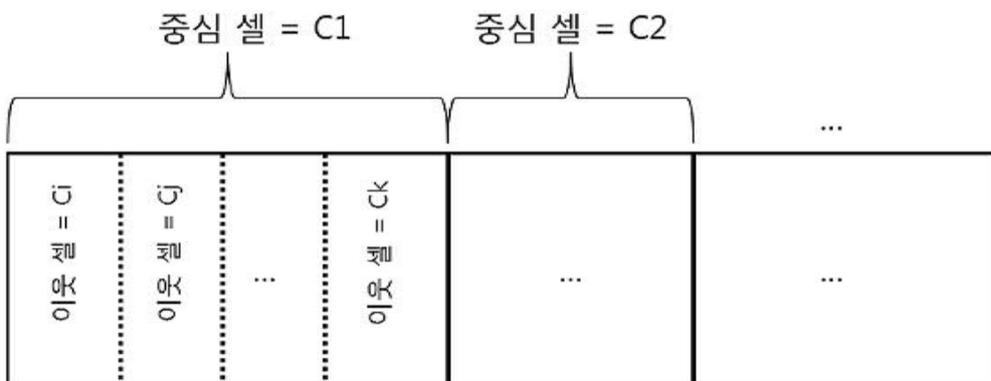
도면1



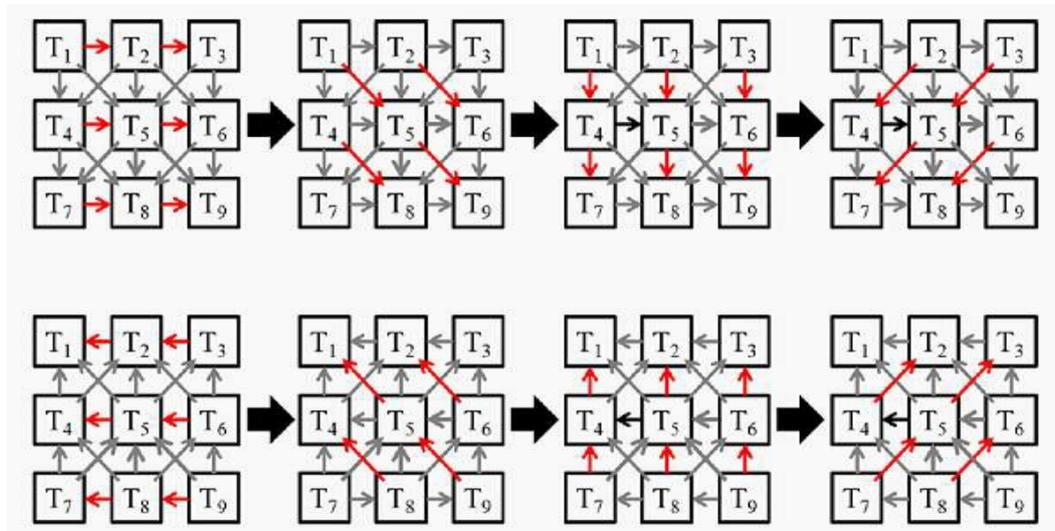
도면2



도면3



도면4



도면5

