



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0140568
(43) 공개일자 2019년12월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G16B 5/00 (2019.01)

(52) CPC특허분류
G16B 5/00 (2019.02)

(21) 출원번호 10-2018-0067155

(22) 출원일자 2018년06월12일

심사청구일자 2018년06월12일

(71) 출원인
세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

송오영

서울특별시 동대문구 답십리로 130, 401동 1004호 (답십리동, 래미안위브)

한도연

서울특별시 동작구 사당로29길 75 (사당동)

(74) 대리인

특허법인엠에이피에스

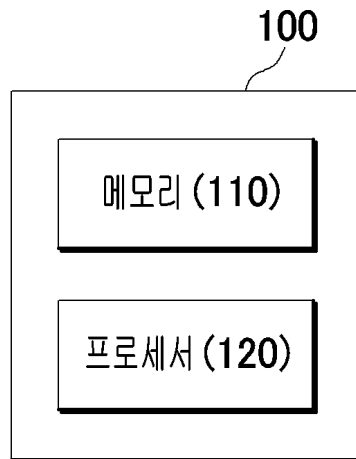
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 방법 및 장치

(57) 요약

격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 방법 및 그 장치를 제공한다. 반응-확산 모델링 장치는, 격자-볼츠만 기법에 따른 반응-확산 모델링 프로그램이 저장된 메모리, 및 메모리에 저장된 프로그램을 실행하는 프로세서를 포함하며, 프로세서는 상기 반응-확산 모델링 프로그램의 실행에 따라, 격자-볼츠만 기법을 사용하여 매질의 확산 과정을 계산하고, 그레이-스콧 모델식을 사용하여 매질의 반응 과정을 계산하는 반응-확산 모델을 모델링하고, 설정된 매질에 대해 반응-확산 모델을 통해 매질이 존재하는 영역을 복수의 격자로 분할하였을 때 각각의 격자에 존재하는 매질의 양의 변화를 통해 매질에 대한 시뮬레이션을 수행하되, 이방성 제어를 적용한 시뮬레이션 및 흐름저항력을 적용한 시뮬레이션 중 적어도 하나의 시뮬레이션을 수행하며, 시뮬레이션의 결과로서 생성된 패턴을 출력한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711057092

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(미래부)

연구과제명 고체 연소 효과 생성을 위한 LBM 기반의 애니메이션 기법 연구

기 여 율 1/2

주관기관 세종대학교

연구기간 2015.07.01 ~ 2018.06.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015-0-00938-003

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 SW전문인력역량강화

연구과제명 SW중심대학(세종대)

기 여 율 1/2

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2015.10.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

반응-확산 모델링 장치의 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 방법에 있어서,

격자-볼츠만 기법을 사용하여 매질의 확산 과정을 계산하고, 그레이-스콧 모델식을 사용하여 매질의 반응 과정을 계산하는 반응-확산 모델을 모델링하는 단계;

설정된 매질에 대해 상기 반응-확산 모델을 통해 상기 매질이 존재하는 영역을 복수의 격자로 분할하였을 때 각각의 격자에 존재하는 매질의 양의 변화를 통해 매질에 대한 시뮬레이션을 수행하되, 이방성 제어를 적용하여 시뮬레이션하는 단계; 및

상기 시뮬레이션의 결과로서 생성된 패턴을 출력하는 단계를 포함하고,

사전에 상기 격자에 존재하는 매질의 분자들이 각각 갖는 복수의 방향의 개수가 설정되며,

상기 이방성 제어는 복수의 기설정된 방향 중 특정 방향으로 이동하는 상기 분자들의 반응의 크기를 제어하는 이방성 함수를 상기 확산 과정에 적용하는 것인, 반응-확산 모델링 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 확산 과정은, 분자의 방향, 격자의 위치 및 시간에 기초한 분포 함수와, 상기 분포 함수, 시간 변화량 및 상기 분자의 방향의 반대 방향에 기초한 병진 과정의 식과, 상기 병진 과정의 식, 평형 분포 함수, 해당 격자에서의 분자들의 전체적인 속도, 방향에 대한 가중 함수에 기초한 충돌 과정의 식에 기반하여 계산되고,

상기 반응 과정은, 상기 매질에 포함된 둘 이상의 물질에 대해 상기 확산 반응을 적용시킨 후의 값, 상기 둘 이상의 물질 중 제 1 물질의 공급률, 상기 둘 이상의 물질 중 제 2 물질의 소멸율 및 상기 제 1 및 제 2 물질의 반응 속도에 기초한 반응식과, 상기 병진 과정 및 충돌 과정 후의 분포 함수에 기반하여 계산되는 것인, 반응-확산 모델링 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 이방성 함수는 상기 기설정된 개수의 방향 별로 대응하는 복수의 값을 포함하되,

상기 복수의 값은 각각 0 내지 1 사이의 실수이며, 0의 값을 갖는 경우 해당 방향을 갖는 분자는 반응이 일어나지 않도록 하는 것인, 반응-확산 모델링 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 이방성 제어를 적용하여 시뮬레이션하는 단계는,

사용자가 상기 이방성 함수의 값을 입력할 수 있도록 하는 사용자 인터페이스를 제공하는 단계를 더 포함하되,

상기 이방성 함수의 값은 사용자가 입력한 값으로 설정되는 것인, 반응-확산 모델링 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 반응-확산 모델을 통한 시뮬레이션을 수행하는 단계는,

기설정된 시뮬레이션 영역에 대해 경계면 처리를 수행하되, 노 슬립 경계면(no-slip boundary)을 적용하여 상기

매질이 경계면에 부딪힌 경우에는 속도가 0이 되도록 하는 것인, 반응-확산 모델링 방법.

청구항 6

반응-확산 모델링 장치의 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 방법에 있어서,

격자-볼츠만 기법을 사용하여 매질의 확산 과정을 계산하고, 그레이-스콧 모델식을 사용하여 매질의 반응 과정을 계산하는 반응-확산 모델을 모델링하는 단계;

설정된 매질에 대해 상기 반응-확산 모델을 통해 상기 매질이 존재하는 영역을 복수의 격자로 분할하였을 때 각각의 격자에 존재하는 매질의 양의 변화를 통해 매질에 대한 시뮬레이션을 수행하되, 흐름저항력을 적용하여 시뮬레이션하는 단계; 및

상기 시뮬레이션의 결과로서 생성된 패턴을 출력하는 단계를 포함하고,

사전에 상기 격자에 존재하는 매질의 분자들이 각각 갖는 복수의 방향의 개수가 설정되며,

매질이 다른 셀로 이동하는 양을 조절하는 스타일 맵에 따른 상기 흐름저항력을 상기 매질의 확산 과정에 적용하되,

상기 매질이 이동하려는 셀과 대응된 스타일 맵 상의 위치에서 흐름저항력이 클수록 이동된 매질의 양이 적어지고,

상기 스타일 맵은 상기 매질이 확산될 수 있는 영역과 동일한 해상도를 갖는 정지 이미지로서 픽셀 한 칸 마다 흐름저항력의 값이 설정된 것인, 반응-확산 모델링 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 확산 과정은, 분자의 방향, 격자의 위치 및 시간에 기초한 분포 함수와, 상기 분포 함수, 시간 변화량 및 상기 분자의 방향의 반대 방향에 기초한 병진 과정의 식과, 상기 병진 과정의 식, 평형 분포 함수, 해당 격자에서의 분자들의 전체적인 속도, 방향에 대한 가중 함수에 기초한 충돌 과정의 식에 기반하여 계산되고,

상기 반응 과정은, 상기 매질에 포함된 둘 이상의 물질에 대해 상기 확산 반응을 적용시킨 후의 값, 상기 둘 이상의 물질 중 제 1 물질의 공급률, 상기 둘 이상의 물질 중 제 2 물질의 소멸율 및 상기 제 1 및 제 2 물질의 반응 속도에 기초한 반응식과, 상기 병진 과정 및 충돌 과정 후의 분포 함수에 기반하여 계산되는 것인, 반응-확산 모델링 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

확산 계수 및 흐름 저항 계수가 더 포함된 상기 병진 과정의 식에 기반하여 상기 흐름저항력을 적용하는, 반응-확산 모델링 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 흐름저항력을 적용하여 시뮬레이션하는 단계는,

사용자가 상기 스타일 맵의 형상을 선택하거나, 상기 확산 계수 및 상기 흐름 저항 계수 중 적어도 하나를 입력할 수 있도록 하는 사용자 인터페이스를 제공하는 단계를 더 포함하되,

상기 사용자의 선택 또는 입력에 따른 스타일 맵의 형상, 확산 계수, 및 흐름 저항 계수를 적용하는 것인, 반응-확산 모델링 방법.

청구항 10

제 6 항에 있어서,

상기 반응-확산 모델을 통한 시뮬레이션을 수행하는 단계는,

기설정된 시물레이션 영역에 대해 경계면 처리를 수행하되, 노 슬립 경계면(no-slip boundary)을 적용하여 상기 매질이 경계면에 부딪힌 경우 속도가 0이되도록 하는 것인, 반응-확산 모델링 방법.

청구항 11

격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 장치에 있어서,

격자-볼츠만 기법에 따른 반응-확산 모델링 프로그램이 저장된 메모리; 및

상기 메모리에 저장된 프로그램을 실행하는 프로세서를 포함하며,

상기 프로세서는 상기 반응-확산 모델링 프로그램의 실행에 따라, 격자-볼츠만 기법을 사용하여 매질의 확산 과정을 계산하고, 그레이-스콧 모델식을 사용하여 매질의 반응 과정을 계산하는 반응-확산 모델을 모델링하고, 설정된 매질에 대해 상기 반응-확산 모델을 통해 상기 매질이 존재하는 영역을 복수의 격자로 분할하였을 때 각각의 격자에 존재하는 매질의 양의 변화를 통해 매질에 대한 시물레이션을 수행하되, 이방성 제어를 적용한 시물레이션 및 흐름저항력을 적용한 시물레이션 중 적어도 하나의 시물레이션을 수행하며, 상기 시물레이션의 결과로서 생성된 패턴을 출력하고,

사전에 상기 격자에 존재하는 매질의 분자들이 각각 갖는 복수의 방향의 개수가 설정되며,

상기 이방성 제어는 복수의 기설정된 방향 중 특정 방향으로 이동하는 상기 분자들의 반응의 크기를 제어하는 이방성 함수를 상기 확산 과정에 적용하는 것이고,

매질이 다른 셀로 이동하는 양을 조절하는 스타일 맵에 따른 상기 흐름저항력이 상기 매질의 확산 과정에 적용되며, 상기 매질이 이동하려는 셀과 대응된 스타일 맵 상의 위치에서 흐름저항력이 클수록 이동된 매질의 양이 적어지고, 상기 스타일 맵은 상기 매질이 확산될 수 있는 영역과 동일한 해상도를 갖는 정지 이미지로서 픽셀 한 칸 마다 흐름저항력의 값이 설정된 것인, 반응-확산 모델링 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 확산 과정은, 분자의 방향, 격자의 위치 및 시간에 기초한 분포 함수와, 상기 분포 함수, 시간 변화량 및 상기 분자의 방향의 반대 방향에 기초한 병진 과정의 식과, 상기 병진 과정의 식, 평형 분포 함수, 해당 격자에서의 분자들의 전체적인 속도, 방향에 대한 가중 함수에 기초한 충돌 과정의 식에 기반하여 계산되고,

상기 반응 과정은, 상기 매질에 포함된 둘 이상의 물질에 대해 상기 확산 반응을 적용시킨 후의 값, 상기 둘 이상의 물질 중 제 1 물질의 공급률, 상기 둘 이상의 물질 중 제 2 물질의 소멸율 및 상기 제 1 및 제 2 물질의 반응 속도에 기초한 반응식과, 상기 병진 과정 및 충돌 과정 후의 분포 함수에 기반하여 계산되는 것인, 반응-확산 모델링 장치.

청구항 13

제 1 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항의 방법을 구현하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 격자-볼츠만(lattice-boltzmann) 기법에 기반하여 반응-확산 패턴을 생성하는 반응-확산(reaction-diffusion) 모델링 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 컴퓨터 그래픽스 기술은 게임, 영화, 애니메이션 등에서 사용자가 콘텐츠에 몰입하고 즐거움을 느낄 수 있도록 만드는 '사실적인 영상미'에 중요한 역할을 하고 있다. 또한, 컴퓨터 그래픽스 기술이 발전함에 따라 더욱 사실적이고 높은 몰입감에 대한 수요가 증가하고 있기 때문에 관련 기술에 대한 연구가 필수적이다.

[0003] '사실적인 영상미'는 현실 세계에서 발견된 물리적인 계산을 통해 구현할 수 있다. 그러나 현실 세계처럼 모든

물리적인 계산을 고려한다면 많은 물리적, 시간적 비용이 발생하게 된다. 따라서 컴퓨터 그래픽스 기술에서는 가능하면 적은 비용의 물리적인 계산을 고려하면서도 사용자에게 최대한 사실적 만족감을 줄 수 있는 방향으로 개발되어 왔다.

[0004] 이를 위해 사용된 방법 중 하나로, 텍스처를 이용한 방법이 있다. 예를 들어, 무늬가 있는 3D 객체를 모델링할 때에 2D 텍스처를 매핑해 보다 쉽게 객체 표면의 무늬를 나타낼 수 있도록 한다. 또한, 복잡한 표면을 갖는 3D 객체는 복잡한 표면을 수작업으로 모델링하는 것이 아니라 질감을 나타낼 수 있는 텍스처를 이용해 실제로 복잡한 표면을 갖고 있는 것처럼 보이게 해준다. 이와 같이 사용되는 텍스처는, 실제 촬영물을 보정하여 제작할 수도 있고 직접 컴퓨터 툴을 이용해 그려서 제작할 수도 있다. 하지만 가장 쉽고 효과적인 방법은 반응-확산 모델을 통해 제작하는 것이다.

[0005] 한편, 자연에서는 나뭇잎이 자라는 모양, 사람의 손가락이나 생물의 촉수가 자라나는 모양, 나비 날개의 무늬 등을 통해 다양한 패턴들을 발견할 수 있다. 이러한 패턴들은 생물학적 패턴이라고 하는데, Alan Turing은 두 가지의 과정을 통해 이러한 패턴들이 생성될 수 있음을 보였다. 그 두 가지의 과정을 반응과 확산이라고 하며, 이러한 물리적인 과정을 통해 생물학적 패턴을 만들어 내는 모델을 반응-확산 모델이라고 한다.

[0006] 이러한 반응-확산 모델을 통해 패턴을 생성하는 기법은 Greg Turk과 Andrew Witkin등에 의해 텍스처 합성 분야에 활용되기 시작했다. Greg Turk은 반응-확산 모델을 통해 다양한 동물의 피부 패턴을 생성해 사용할 수 있도록 하였고, Andrew Witkin은 패턴의 방향성을 컨트롤할 수 있는 모델을 제시하였다. 반응-확산 모델은 시간에 따라 변화하는 노이즈 이미지 생성과 흥미롭고 다양한 패턴들을 생성하는 데에 사용되며, 패턴들은 3D 모델의 텍스처 합성 또는 질감 표현이나 아티스트들의 예술적 표현에 사용되어 왔다.

[0007] 일반적으로 반응-확산 모델에서는 서로 다른 유체들이 어떻게 반응하게 될지에 대한 반응식을 정의한다. 이때, 유체의 확산은 다양한 방법으로 시도될 수 있는데 확산 방법에 따라서도 결과의 차이가 존재한다. 기존의 반응-확산 모델은 주로 유체의 확산을 유한차분법을 기반으로 하여 계산하는 방식으로서, 반응 계수 값만을 조절하여 여러 가지의 패턴을 생성해냈다.

[0008] 그러나 더 다양하고 동적인 패턴을 생성할 수 있도록 패턴의 양상을 제어할 수 있는 기술이 필요하다. 특히, 콘텐츠의 사실적인 영상미 또는 아티스트의 예술적인 표현에 사용될 수 있도록, 다양하고 동적인 텍스처를 생성하는 반응-확산 패턴의 양상 제어 방법이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 미국공개특허 제2017-0255745호(발명의 명칭: System and Method for Medical Image Based Cardio-Embolic Stroke Risk Prediction)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 일 실시예는 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 반응-확산 모델에서 반응 계수만을 조절하는 것이 아니라 패턴의 양상을 지역적으로 제어함으로써 보다 더 다양하고 사용자가 원하는 양상으로 패턴을 생성할 수 있는, 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 방법 및 장치를 제공하고자 한다.

[0011] 다만, 본 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상술한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 제1 측면에 따른 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 방법은, 격자-볼츠만 기법을 사용하여 매질의 확산 과정을 계산하고, 그레이-스칼 모델식을 사용하여 매질의 반응 과정을 계산하는 반응-확산 모델을 모델링하는 단계; 설정된 매질에 대해 상기 반응-확산 모델을 통해 상기 매질이 존재하는 영역을 복수의 격자로 분할하였을 때 각각의 격자에 존재하는 매질의

양의 변화를 통해 매질에 대한 시뮬레이션을 수행하되, 이방성 제어를 적용하여 시뮬레이션하는 단계; 및 상기 시뮬레이션의 결과로서 생성된 패턴을 출력하는 단계를 포함하고, 사전에 상기 격자에 존재하는 매질의 분자들이 각각 갖는 복수의 방향의 개수가 설정되며, 상기 이방성 제어는 복수의 기설정된 방향 중 특정 방향으로 이동하는 상기 분자들의 반응의 크기를 제어하는 이방성 함수를 상기 확산 과정에 적용한다.

[0013] 또한, 본 발명의 제2 측면에 따른 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 방법은, 격자-볼츠만 기법을 사용하여 매질의 확산 과정을 계산하고, 그레이-스콧 모델식을 사용하여 매질의 반응 과정을 계산하는 반응-확산 모델을 모델링하는 단계; 설정된 매질에 대해 상기 반응-확산 모델을 통해 상기 매질이 존재하는 영역을 복수의 격자로 분할하였을 때 각각의 격자에 존재하는 매질의 양의 변화를 통해 매질에 대한 시뮬레이션을 수행하되, 흐름저항력을 적용하여 시뮬레이션하는 단계; 및 상기 시뮬레이션의 결과로서 생성된 패턴을 출력하는 단계를 포함하고, 사전에 상기 격자에 존재하는 매질의 분자들이 각각 갖는 복수의 방향의 개수가 설정되며, 매질이 다른 셀로 이동하는 양을 조절하는 스타일 맵에 따른 상기 흐름저항력을 상기 매질의 확산 과정에 적용하되, 상기 매질이 이동하려는 셀과 대응된 스타일 맵 상의 위치에서 흐름저항력이 클수록 이동된 매질의 양이 적어지고, 상기 스타일 맵은 상기 매질이 확산될 수 있는 영역과 동일한 해상도를 갖는 정지 이미지로서 픽셀 한 칸 마다 흐름저항력의 값이 설정된다.

[0014] 또한, 본 발명의 제3 측면에 따른 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 장치는, 격자-볼츠만 기법에 따른 반응-확산 모델링 프로그램이 저장된 메모리; 및 상기 메모리에 저장된 프로그램을 실행하는 프로세서를 포함하며, 상기 프로세서는 상기 반응-확산 모델링 프로그램의 실행에 따라, 격자-볼츠만 기법을 사용하여 매질의 확산 과정을 계산하고, 그레이-스콧 모델식을 사용하여 매질의 반응 과정을 계산하는 반응-확산 모델을 모델링하고, 설정된 매질에 대해 상기 반응-확산 모델을 통해 상기 매질이 존재하는 영역을 복수의 격자로 분할하였을 때 각각의 격자에 존재하는 매질의 양의 변화를 통해 매질에 대한 시뮬레이션을 수행하되, 이방성 제어를 적용한 시뮬레이션 및 흐름저항력을 적용한 시뮬레이션 중 적어도 하나의 시뮬레이션을 수행하며, 상기 시뮬레이션의 결과로서 생성된 패턴을 출력한다. 이때, 사전에 상기 격자에 존재하는 매질의 분자들이 각각 갖는 복수의 방향의 개수가 설정된다. 또한, 상기 이방성 제어는 복수의 기설정된 방향 중 특정 방향으로 이동하는 상기 분자들의 반응의 크기를 제어하는 이방성 함수를 상기 확산 과정에 적용한다. 또한, 매질이 다른 셀로 이동하는 양을 조절하는 스타일 맵에 따른 상기 흐름저항력이 상기 매질의 확산 과정에 적용되며, 상기 매질이 이동하려는 셀과 대응된 스타일 맵 상의 위치에서 흐름저항력이 클수록 이동된 매질의 양이 적어지고, 상기 스타일 맵은 상기 매질이 확산될 수 있는 영역과 동일한 해상도를 갖는 정지 이미지로서 픽셀 한 칸 마다 흐름저항력의 값이 설정된다.

[0015] 또한, 본 발명의 제 4 측면은 상기 제1 측면 및 제 2측면 중 어느 하나의 방법을 구현하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체를 제공한다.

발명의 효과

[0016] 전술한 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 컴퓨터 그래픽의 3D 모델링 시에 텍스처의 사실적인 질감 등을 표현하기 위해 사용되는 반응-확산 모델에서, 패턴의 양상을 변화시키는 데에 있어서 반응 계수 값만을 조정하는 것이 아닌 확산 방향성 또는 흐름저항력이라는 제약 조건을 적용시켜 패턴의 양상을 다양하게 제어 및 변화시킬 수 있다. 즉, 기존의 유한차분법에 비해 지역적 제어가 용이한 반응-확산 모델을 통해, 유체의 흐름 또는 반응에 확산 방향성을 부여하는 이방성 제어 방식과 스타일맵을 통해 흐름저항력을 적용하는 방식을 통해 더욱 다양한 패턴의 생성이 가능하다.

[0017] 또한, 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 반응-확산 모델에서 패턴 양상 변화 시 사용자가 제약 조건을 설정 및 조절할 수 있어, 사용자가 원하는 경향의 패턴을 생성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 반응-확산 모델링 장치의 구성도이다.

도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 적용된 격자-볼츠만 기법을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 기존의 유한차분법 기반 그레이-스콧 반응-확산 모델의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델의 시뮬레이션 결과의 일례를 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 이방성 제어를 적용한 반응-확산 모델의 시뮬레이션 결과의 일례를 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 스타일 맵에 따른 흐름저항력을 적용한 반응-확산 모델의 시뮬레이션 결과의 일례를 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 본 발명을 명확하게 설명하기 위해 도면에서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다. 또한, 도면을 참고하여 설명하면서, 같은 명칭으로 나타낸 구성일지라도 도면에 따라 도면 번호가 달라질 수 있고, 도면 번호는 설명의 편의를 위해 기재된 것에 불과하고 해당 도면 번호에 의해 각 구성의 개념, 특징, 기능 또는 효과가 제한 해석되는 것은 아니다.
- [0020] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미하며, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0021] 본 명세서에 있어서 '부(部)' 또는 '모듈'이란, 하드웨어 또는 소프트웨어에 의해 실현되는 유닛(unit), 양방을 이용하여 실현되는 유닛을 포함하며, 하나의 유닛이 둘 이상의 하드웨어를 이용하여 실현되어도 되고, 둘 이상의 유닛이 하나의 하드웨어에 의해 실현되어도 된다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 반응-확산 모델링 장치의 구성도이다.
- [0023] 도 1에 도시한 바와 같이, 반응-확산 모델링 장치(100)는 메모리(110) 및 프로세서(120)를 포함한다.
- [0024] 메모리(110)에는 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델을 모델링하고, 모델링된 반응-확산 모델을 통해 패턴을 생성하는 반응-확산 모델링 프로그램이 저장되어 있다. 이러한 반응-확산 모델링 프로그램의 실행을 통해 처리되는 반응-확산 모델링 과정 및 패턴 생성 과정에 대해서는 아래에서 프로세서(120)의 동작을 통해 상세히 설명하도록 한다.
- [0025] 메모리(110)는 전원이 공급되지 않아도 저장된 정보를 계속 유지하는 비휘발성 저장장치 또는 저장된 정보를 유지하기 위하여 전력이 필요한 휘발성 저장장치를 통칭하는 것이다.
- [0026] 프로세서(120)는 반응-확산 모델링 장치(100)의 전반적인 동작을 제어한다. 이를 위해, 프로세서(120)는 적어도 하나의 프로세싱 유닛(CPU, micro-processor, DSP 등), RAM(Random Access Memory), ROM(Read-Only Memory) 등을 포함하여 구현될 수 있으며, 메모리(110)에 저장된 프로그램을 RAM으로 독출하여 적어도 하나의 프로세싱 유닛을 통해 실행할 수 있다. 한편, 실시예에 따라서 '제어부'라는 용어는 '프로세서', '컨트롤러', '연산장치' 등의 용어와 동일한 의미로 해석될 수 있다.
- [0027] 프로세서(120)는 메모리(110)에 저장된 반응-확산 모델링 프로그램을 실행하며, 이를 통해 매질(예: 유체)의 흐름 및 반응에 대해 이방성 제어 및 흐름저항력 적용한 패턴 생성 동작을 처리한다.
- [0028] 프로세서(120)는 반응-확산 모델링 프로그램을 실행함에 따라 다음의 동작을 처리한다.
- [0029] 반응-확산 모델은 두 가지의 과정으로 나뉜다. 이러한 두 과정은 매질 또는 물질이 퍼져나가는 과정인 '확산 과정'과, 서로 다른 매질 또는 물질이 반응을 일으키는 '반응 과정'이다. 프로세서(120)는 확산 과정을 계산하는 방법으로서, 지역적으로 세밀하게 제어가 가능한 격자-볼츠만 방법을 사용할 수 있다. 또한, 프로세서(120)는 반응 과정을 계산하는 식으로서 반응식에 대해 직관적인 이해가 가능한 그레이-스콧 모델식을 사용할 수 있다.

[0030] 먼저, 프로세서(120)가 확산 과정을 계산하는 동작에 대해서 설명하도록 한다.

[0031] 참고로, 유체를 시뮬레이션하는 방법은, 크게 오일러(Eulerian) 관점에서의 방법과 라그랑지안(Lagrangian) 관점에서의 방법으로 나눌 수 있다. 오일러 관점에서는 유체가 존재할 수 있는 영역을 격자들로 나누어 각각의 격자에 존재하는 유체의 양을 통해 유체를 시뮬레이션한다. 반면, 라그랑지안 관점에서는 유체 분자 하나 하나의 움직임을 통해 유체를 시뮬레이션한다. 이러한 오일러 관점의 시뮬레이션 방법에는 유한차분법(FDM: Finite Differential Method)과 격자-볼츠만 방법(LBM: Lattice Boltzmann Method)이 있다. 이때, 유한차분법에 비해 격자-볼츠만 방법은 유체의 움직임을 계산하는데 있어서 주변 격자에 대한 정보가 필요하지 않기 때문에 병렬 처리를 이용해 계산 속도를 더 빠르게 할 수 있으며, 보다 더 미시적인 접근으로 지역적인 제어가 용이하다.

[0032] 기존의 반응-확산 모델에 적용된 유한차분법은 미분을 유한한 차분식으로 근사하여 해를 구하는 수치계산법으로서, 격자-볼츠만 방법과 같이 오일러 관점에서의 유체 시뮬레이션의 한 방법으로 그리드를 기반해 유체가 존재할 수 있는 공간을 격자로 나눈다. 그러나 격자 안의 유체 분자들이 어떤 방향을 갖고 있는지는 고려하지 않고 격자 안의 유체가 얼마만큼 있는지만을 고려한다.

[0033] 프로세서(120)는 격자-볼츠만 기법에 따라, 매질(이하, "유체"인 것을 예로서 설명하도록 함)이 존재할 수 있는 영역을 격자로 나누고 하나의 격자에 존재하는 유체의 분자들이 가질 수 있는 방향을 몇 가지로 제한하여 유체를 시뮬레이션한다.

[0034] 예를 들어, 도 2에 도시한 바와 같이, 정지 상태를 포함한 2차원일 경우 9가지의 방향을 고려할 수 있으며, 하나의 격자 안의 밀도는 1이 되는 것으로 상정한다. 또한, 3차원일 경우 19가지의 방향을 고려하는 것도 가능하며, 이 또한 하나의 격자 안의 밀도는 1이 되는 것으로 상정한다.

[0035] 하나의 격자 안의 분자들이 갖는 방향의 비율을 각각 다르게 정하는데, 2차원의 9가지 방향일 경우 정지 상태는 4/9, 수직 방향은 1/9, 대각선 방향은 1/36 으로 비율을 갖는다. 또한, 3차원의 19가지 방향일 경우, 정지 상태는 1/3, 수직 방향은 1/18, 대각선 방향은 1/36 으로 비율을 갖는다.

[0036] 이때, 2차원일 경우, 격자 안에서의 한 방향의 분포 함수 f 는 아래의 수학식 1과 같으며, 분포 함수를 통해 아래 수학식 2와 같이 격자 하나의 밀도(ρ)를 계산할 수 있다.

[0037] <수학식 1>

$$f_i(\vec{x}, t)$$

[0038]

[0039] <수학식 2>

$$\rho = \sum_{i=0}^9 f_i(\vec{x}, t)$$

[0040]

[0041] 수학식 1 및 2에서, i 는 분자의 방향, $\vec{x}$ 격자의 위치, t 는 시간이다. 분포 함수는 $\vec{x}$ 에 위치해 있는 격자에서 i 방향을 갖고 있는 분자들의 양을 의미하며, 한 격자의 모든 방향(즉, 9가지로 설정된 방향)에 대한 분포 함수 값을 합하면 해당 격자 안의 유체에 대한 밀도가 된다.

[0042] 격자-볼츠만 방법에서 유체의 흐름은 병진 과정과 충돌 과정으로 나뉜다. 병진 과정을 통해서 각 격자의 분자들은 다음 격자로 이동하게 된다. 병진 과정에 대한 식은 다음의 수학식 3과 같다.

[0043] <수학식 3>

$$f_i^*(\vec{x}, t + \Delta t) = f_i(\vec{x} + \Delta t \vec{e}_i, t)$$

[0044]

[0045] 수학식 3에서, Δt 는 시간 변화량으로서 격자-볼츠만 방법에서는 보통 1을 사용하며, $\vec{e}_j$ 는 j방향의 단위 벡터이고, j는 i의 반대 방향이다. 즉, 다음 시간에서 해당 격자의 i 방향에 해당하는 밀도 값은 i의 반대 방향으로 한 칸 건너간 격자의 i 방향의 밀도 값이 된다.

[0046] 병진 과정 후에 충돌 과정을 통해서 분자들이 다음 격자로 이동하면서 발생한 충돌을 조정하고 한 격자 안의 전체적인 흐름을 반영한다. 이러한 충돌 과정은 다음의 수학식 4 내지 6을 통해 나타낼 수 있다.

[0047] <수학식 4>

[0048]
$$f_i(\vec{x}, t + \Delta t) = (1 - w)f_i^*(\vec{x}, t + \Delta t) + wf^{eq}$$

[0049] <수학식 5>

[0050]
$$f_i^{eq} = \omega_i \rho \left[1 + 3\vec{e}_i \cdot \vec{u} - \frac{3}{2} \vec{u}^2 + \frac{9}{2} (\vec{e}_i \cdot \vec{u})^2 \right]$$

[0051] <수학식 6>

[0052]
$$\omega_i = \begin{cases} \frac{4}{9} & i = 0 \\ \frac{1}{9} & i = 1, 2, 3, 4 \\ \frac{1}{36} & i = 5, 6, 7, 8 \end{cases}$$

[0053] 이때, f^{eq} 는 평형 분포 함수이고, $\vec{u}$ 는 해당 격자에서의 분자들의 전체적인 속도이고, ω_i 는 방향에 대한 가중 함수이며, "i=0"은 정지 상태, "i=1, 2, 3, 4"는 수직 방향, "i=5, 6, 7, 8"은 대각선 방향이다.

[0054] 예를 들어, 도 3을 참조하면, 파란색 화살표의 방향을 i 방향이라고 했을 때, 해당 격자의 i 방향의 반대 방향은 왼쪽 아래이므로, 왼쪽 아래 격자의 i 방향인 빨간색 화살표가 해당 격자로 이동하게 되고, 이와 마찬가지로 파란색 화살표는 오른쪽 위의 격자로 이동하게 된다.

[0055] 이상에서와 같은 격자-볼츠만 기법을 통해 확산되어지는 매질(예: 유체)은 시뮬레이션 영역을 벗어나려고 하거나 시뮬레이션 영역 안의 장애물에 부딪힐 수가 있다. 이때, 이와 같은 현상을 처리하는 것을 경계면 처리라고 한다.

[0056] 이를 처리하기 위한 경계면으로서 노 슬립 경계면(no-slip boundary)과 주기적 경계면(periodic boundary)이 있다. 노 슬립 경계면은 유체가 경계면에 부딪혔을 때, 경계면에 대한 유체의 상대 속도가 0이 되도록 하고, 주기적 경계면은 도메인의 상하 및 좌우가 각각 연결되어 있어 도메인의 크기가 무한하다고도 볼 수 있다.

[0057] 본 발명의 일 실시예에서는 프로세서(120)가 노 슬립 경계면을 구현하여 유체가 경계면에 부딪혔을 때, 부딪혔을 때의 방향과 정확히 반대가 되는 방향으로 유체의 흐름이 바뀌도록 한 것을 설명한다.

[0058] 다음으로, 프로세서(120)가 반응 과정을 계산하는 동작에 대해서 설명하도록 한다.

[0059] 반응-확산 모델링 시 사용될 수 있는 반응식은 한정적이지 않으나, 본 발명의 일 실시예에서는 직관적 이해가 뛰어난 그레이-스콧 반응식을 이용하여 반응-확산 모델을 구현하는 것을 설명하도록 한다.

[0060] 그레이-스콧 반응-확산 모델에서는 기본적으로 두 가지의 물질을 반응시킨다. 이때, 해당하는 두 가지의 물질을 각각 A, B라고 하면, A는 단위 시간이 지날 때마다 일정한 비율로 공급이 되고, B는 소멸이 된다. 그와 동시에 B분자 2개와 A분자 1개가 있으면 반응을 일으켜 A분자는 B분자가 된다.

[0061] 이에 따른 물질 A와 B에 대한 반응식은 아래의 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

[0062] <수학식 7>

$$R_A = -rAB^2 + f(1-A)$$

$$R_B = rAB^2 - (k+f)B$$

[0063]

[0064] 수학식 7에서 A와 B는 각각 두 물질에 대해 확산을 적용시킨 후의 값이며, f는 A의 공급률, k는 B의 소멸율이며, r은 두 물질의 반응속도이다.

[0065] 참고로, 기존의 유한차분법에 기반한 그레이 스코트 반응-확산 모델 식은 다음의 수학식 8과 같다.

[0066] <수학식 8>

$$\frac{\partial \gamma}{\partial t} = D_\gamma \nabla^2 \gamma + R_\gamma$$

[0067]

[0068] 이때, γ 는 물질 A 또는 B를 나타내며, D_γ 는 물질에 대한 확산 계수이고, R_γ 는 물질에 대한 반응식이다.

[0069] 도 4를 참조하면, 기존의 유한차분법에 기반한 그레이-스코트 반응-확산 모델의 결과이되, $r=0.1$ 이고, 해상도 64X64인 경우의 결과를 확인할 수 있다.

[0070] 반면, 본 발명의 일 실시예에 따른 격자-볼츠만 기법에 기반한 그레이-스코트 반응-확산 모델식은 다음의 수학식 9와 같다.

[0071] <수학식 9>

$$f_i(\vec{x}, t + \Delta t) = f_i^{**}(\vec{x}, t + \Delta t) + \omega_i R_\gamma$$

[0072]

[0073] 수학식 9에서 f^{**} 는 병진 과정 및 충돌 과정 후의 분포 함수이며, R_γ 는 물질 γ 에 대한 반응식이다.

[0074] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 격자-볼츠만 기법에 기반한 그레이-스코트 반응-확산 모델을 통한 패턴 생성의 결과를 확인할 수 있다. 이때, 가로축은 공급률이고, 세로축은 소멸율이며, 각각의 범위는 0.00~0.09이며 간격은 0.01인 것을 나타냈다. 또한, $r=0.5$ 이고, 해상도 64X64인 경우의 결과를 확인할 수 있다.

[0075] 이하, 도 6 및 도 7을 참조하여, 프로세서(120)가 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델에 대해 지역적 제어를 수행하여 패턴을 생성하는 방식에 대해서 설명하도록 한다.

[0076] 기존의 반응-확산 모델을 통한 패턴 생성 방식은 단순히 반응계수 값을 조정하여 패턴을 생성하는 것에 그쳤다. 하지만 하나의 반응식 안에서는 대체적으로 비슷한 유형의 패턴이 존재하기 때문에 패턴의 움직임을 변화시킬 또 다른 방법이 필요하다. 따라서 프로세서(120)는 이방성 제어 및 흐름저항력 적용을 통해 매질(즉, 유체)의 흐름 또는 반응에 제약조건을 적용함으로써 패턴의 양상을 변화시킨다. 이때, 확산식은 보다 더 미시적인 관점으로 유체를 시뮬레이션하는 격자-볼츠만 방법을 사용하였다.

[0077] 먼저, 프로세서(120)가 반응-확산 패턴 생성 시 이방성 제어를 처리하는 과정에 대해서 설명하도록 한다.

[0078] 앞서 설명한 바와 같이, 격자-볼츠만 방법에서는 하나의 격자 안에서 총 9개의 방향을 고려하고, 이러한 유체의 정보를 각 격자마다 9개의 방향으로 나누어 저장하는 것을 예로서 설명하도록 한다.

[0079] 프로세서(120)는 반응식을 계산하고 유체의 정보를 9개의 방향으로 나누어 저장할 때, 이방성 함수를 적용하여 특정 방향으로 이동하는 유체 분자들의 반응의 크기를 제어한다. 이처럼, 반응식에 이방성 함수를 적용한 식은 다음의 수학식 10과 같이 나타낼 수 있다.

[0080] <수학식 10>

$$f_i(\vec{x}, t + \Delta t) = f_i^{**}(\vec{x}, t + \Delta t) + a_i \omega_i R_\gamma$$

[0081]

[0082] 수학식 10에서, f^{**} 는 병진 과정 및 충돌 과정 이후의 분포 함수이고, a_i 는 이방성 함수로서 i 방향을 갖는 분자들이 얼마만큼의 반응을 일으킬지를 결정하고, R 은 반응식, γ 는 물질 A 또는 B를 나타낸다.

[0083] 이처럼, 반응 과정에서 반응식을 통한 계산 결과를 물질량의 변화에 적용할 때, 이방성 함수를 함께 적용하여 반응의 양을 제어할 수 있다.

[0084] 예를 들어, 분자는 정지와 상/하/좌/우의 4가지 대각선 방향을 포함하여 총 9가지 방향 중 어느 하나의 방향을 가지며, 이방성 함수는 어떤 방향인지에 따라 반응의 양을 조절한다. 이때, 이방성 함수에는 각 9가지 방향에 대응된 9개의 값이 존재하며, 이 값은 아래의 수학식 11과 같이 나타낼 수 있다.

[0085] <수학식 11>

$$a_i = \begin{cases} a_0 & (i=0) \\ a_1 & (i=1) \\ a_2 & (i=2) \\ a_3 & (i=3) \\ a_4 & (i=4) \\ a_5 & (i=5) \\ a_6 & (i=6) \\ a_7 & (i=7) \\ a_8 & (i=8) \end{cases}$$

[0086]

[0087] 즉, 수학식 11의 a_i 를 적용하면, 수학식 10의 이방성 함수에는 9개의 값 $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$ 이 적용될 수 있다. 이때, 각 값은 0과 1 사이의 실수로 설정될 수 있으며, 값이 0이면 해당 방향을 갖는 분자는 반응이 일어나지 않게 된다. 또한, 이방성 함수의 값은 사용자에게 의해 결정될 수 있다. 이를 위해, 프로세서(120)는 사용자가 이방성 제어에 적용할 이방성 함수 값을 입력할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공할 수 있다.

[0088] 도 6을 참조하면, 이방성 제어 여부에 따른 패턴 생성 결과를 비교하기 위한 것으로서, $f=0.06$, $k=0.04$, $r=0.7$ 이고, 해상도는 256X256인 경우의 결과를 확인할 수 있다.

[0089] 이때, 도 6의 (a)는 이방성 제어를 적용하지 않았을 때의 패턴 생성 결과이고, (b)는 설정된 방향(예: +x방향)을 갖는 분자에 대해서만 반응이 일어나도록 이방성 제어를 적용한 패턴 생성 결과이다.

[0090] 도 6의 (b)에서와 같이 이방성 제어를 적용함으로써 격자-볼츠만 기법의 반응-확산 모델만을 적용한 경우에 생성되는 (a)와 같은 패턴과는 다른 새로운 패턴 양상을 제어할 수 있다.

[0091] 다음으로, 프로세서(120)가 반응-확산 패턴 생성 시 스타일 맵을 통해 흐름저항력 적용을 처리하는 과정에 대해서 설명하도록 한다.

[0092] 이때, 프로세서(120)는 병진 과정을 변형해 흐름저항력을 적용하되, 이러한 흐름저항력을 적용하는 식은 아래의 수학식 12와 같다.

[0093] <수학식 12>

$$f_i^*(\vec{x}, t + \Delta t) = b f_i(\vec{x}, t) + (1 - b) f_i(\vec{x} + \Delta t \vec{e}_i, t)$$

$$b = \frac{(1 - d) + \beta^n}{2}$$

[0094]

[0095] 수학식 12에서, d 는 확산 계수, β 는 흐름저항계수이다. 이때, n 의 값이 높아질수록 흐름저항력의 차이를 더욱 극명하게 확인할 수 있다.

[0096] 도 7을 참조하면, (a) 내지 (c)에서 각각 좌측은 흐름저항력에 대한 정보를 갖는 스타일 맵을 나타낸다. 예를 들어, 도 7의 (a) 내지 (c)의 스타일 맵에서는, 검정색에 가까울수록 흐름저항력이 약해지는 것을 나타내고, 반대의 경우 흐름저항력이 강해지는 것을 나타낸다.

[0097] 이때, 도 7의 (a)에서는 원 형상의 스타일 맵에 기초한 흐름저항력을 적용한 패턴 생성 결과를 나타내었으며, $f=0.09$, $k=0.04$ 인 경우의 결과를 확인할 수 있다. 도 7의 (b)에서는 사각형의 스타일 맵에 기초한 흐름저항력을 적용한 패턴 생성 결과를 나타내었으며, $f=0.07$, $k=0.07$ 인 경우의 결과를 확인할 수 있다. 그리고 도 7의 (c)에서는 나무결 무늬 스타일 맵에 기초한 흐름저항력을 적용한 패턴 생성 결과를 나타내었으며, $f=0.06$, $k=0.04$ 인 경우의 결과를 확인할 수 있다. 또한, 도 7의 (a) 내지 (c)에서 모두 $r=0.7$, $n=3$, 해상도는 256X256 를 적용하였다.

[0098] 이러한 스타일 맵의 형상 및 변수 조건(예를 들어, 확산 계수 및 흐름 저항 계수 등)은 한정되지 않으며, 규칙적으로 또는 랜덤하게 적용되거나, 사용자에게 의해 선택될 수도 있다. 이를 위해, 프로세서(120)는 사전에 저장되어 있는 복수의 형상 및 조건을 사용자가 확인하여 선택할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공할 수 있다. 이때, 복수의 스타일 맵은 메모리(110) 또는 프로세서(120)에 의해 제어되는 별도의 저장 공간(미도시)에 저장될 수 있다. 또한, 프로세서(120)는 사용자가 새로운 스타일 맵을 장치(100)에 등록하거나 편집하여 저장할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공할 수도 있다.

[0099] 구체적으로, 스타일 맵은 물질의 확산 과정에서 물질이 다른 셀로 이동하게 되는 양을 조절한다. 스타일 맵은 물질이 확산될 수 있는 영역과 같은 해상도를 갖는 정지 이미지이며, 픽셀 한 칸마다 0과 1 사이의 실수 값을 갖도록 설정될 수 있다. 이러한 픽셀 한 칸마다 설정되는 값을 흐름저항력이라고 한다. 물질이 이동하려는 셀과 대응되는 스타일 맵 상의 위치에서 흐름저항력이 클수록 이동하게 되는 물질의 양이 적어진다.

[0100] 이상에서 설명한 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델에 사용되는 이방성 제어 방식과 흐름저항력 적용 방식은 적어도 하나의 방식이 사용될 수 있으며, 그 적용 순서는 한정되지 않는다. 또한, 프로세서(120)는 사용자가 이방성 제어 방식 및 흐름저항력 적용 방식 중 적어도 하나를 선택할 수 있도록 하며, 두 방식을 모두 선택한 경우 사용자가 적용 순서를 선택할 수 있도록 하는 사용자 인터페이스를 제공할 수 있다.

[0101] 또한, 프로세서(120)는 이상의 과정에 따른 시뮬레이션의 결과로서 생성된 패턴을 출력한다. 즉, 프로세서(120)는 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델에 사용되는 이방성 제어 방식과 흐름저항력 적용 방식 중 적어도 하나에 따라 생성된 패턴들을, 3D 객체를 모델링할 때 사용되는 텍스처 데이터로서 적용하거나 또는 3D 컴퓨터 그래픽 장치(미도시)로 제공할 수 있다.

[0102] 이하, 도 8을 참조하여 프로세서(120)가 반응-확산 모델을 생성하고, 이를 통해 패턴을 생성하는 동작에 대해서 상세히 설명한다.

[0103] 먼저, 격자-볼츠만 기법을 사용하여 매질의 확산 과정을 계산하고, 그레이-스콧 모델식을 사용하여 매질의 반응 과정을 계산하는 반응-확산 모델을 모델링한다(S810).

[0104] 이때, 앞서 설명한 바와 같이, 확산 과정은 분자의 방향, 격자의 위치 및 시간에 기초한 분포 함수와, 상기 분포 함수, 시간 변화량 및 상기 분자의 방향의 반대 방향에 기초한 병진 과정의 식과, 병진 과정의 식, 평형 분포 함수, 해당 격자에서의 분자들의 전체적인 속도, 방향에 대한 가중 함수에 기초한 충돌 과정의 식에 기반하여 계산된다. 또한, 반응 과정은, 매질에 포함된 둘 이상의 물질에 대해 상기 확산 반응을 적용시킨 후의 값, 둘 이상의 물질 중 제 1 물질의 공급률, 둘 이상의 물질 중 제 2 물질의 소멸율 및, 제 1 및 제 2 물질의 반응 속도에 기초한 반응식과, 병진 과정 및 충돌 과정 후의 분포 함수에 기반하여 계산된다.

- [0105] 또한, 기설정된 시뮬레이션 영역에 대해 경계면 처리를 수행하되, 노 슬립 경계면(no-slip boundary)을 적용하여 매질이 경계면에 부딪힌 경우 속도가 0이 되도록 할 수 있다.
- [0106] 다음으로, 모델링된 반응-확산 모델을 통해 매질이 존재하는 영역을 복수의 격자로 분할하였을 때 각각의 격자에 존재하는 매질의 양의 변화를 통해 매질에 대한 시뮬레이션을 수행한다(S820).
- [0107] 이때, 이방성 제어 및 흐름저항력 적용 중 적어도 하나의 방식을 적용하여 시뮬레이션을 수행한다.
- [0108] 이방성 제어를 적용할 경우, 복수의 기설정된 방향 중 특정 방향으로 이동하는 분자들의 반응의 크기를 제어하는 이방성 함수를 확산 과정에 적용한다.
- [0109] 구체적으로, 이방성 함수는 기설정된 개수의 방향 별로 대응하는 복수의 값을 포함하되, 복수의 값은 각각 0 내지 1 사이의 실수이며, 0의 값을 갖는 경우 해당 방향을 갖는 분자는 반응이 일어나지 않도록 한다.
- [0110] 또한, 이방성 제어를 적용하여 시뮬레이션할 경우, 사용자가 이방성 함수의 값을 입력할 수 있도록 하는 사용자 인터페이스를 제공하는 단계를 더 포함하되, 이방성 함수의 값은 사용자가 입력한 값으로 설정한다.
- [0111] 한편, 흐름저항력을 적용할 경우, 매질이 다른 셀로 이동하는 양을 조절하는 스타일 맵에 따른 흐름저항력을 매질의 확산 과정에 적용한다. 이때, 매질이 이동하려는 셀과 대응된 스타일 맵 상의 위치에서 흐름저항력이 클수록 이동된 매질의 양이 적어진다. 또한, 스타일 맵은 매질이 확산될 수 있는 영역과 동일한 해상도를 갖는 정지 이미지로서 픽셀 한 칸 마다 흐름저항력의 값이 설정된 것이다.
- [0112] 구체적으로, 확산 계수 및 흐름 저항 계수가 더 포함된 병진 과정의 식에 기반하여 흐름저항력을 적용할 수 있다.
- [0113] 또한, 흐름저항력을 적용하여 시뮬레이션할 경우, 사용자가 스타일 맵의 형상을 선택하거나, 확산 계수 및 상기 흐름 저항 계수 중 적어도 하나를 입력할 수 있도록 하는 사용자 인터페이스를 제공하는 단계를 더 포함하되, 사용자의 선택 또는 입력에 따른 스타일 맵의 형상, 확산 계수, 및 흐름 저항 계수를 적용한다.
- [0114] 다음으로, 시뮬레이션의 결과로서 생성된 패턴을 출력한다(S830).
- [0115] 이때, 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델에 사용되는 이방성 제어 방식과 흐름저항력 적용 방식 중 적어도 하나에 따라 생성된 패턴들을 출력한다. 또한, 출력된 패턴들은 3D 객체를 모델링할 때 사용되는 텍스처 데이터로서 적용하거나 또는 3D 컴퓨터 그래픽 장치(미도시)로 제공될 수 있다.
- [0116] 이상에서 설명한 본 발명의 실시예에 따른 격자-볼츠만 기법에 기반한 반응-확산 모델링 방법은, 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 이러한 기록 매체는 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함하며, 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체를 포함하며, 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다.
- [0117] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 조사 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.
- [0118] 또한, 본 발명의 방법 및 시스템은 특정 실시예와 관련하여 설명되었지만, 그것들의 구성 요소 또는 동작의 일부 또는 전부는 범용 하드웨어 아키텍처를 갖는 컴퓨터 시스템을 사용하여 구현될 수도 있다.
- [0119] 본 발명의 범위는 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

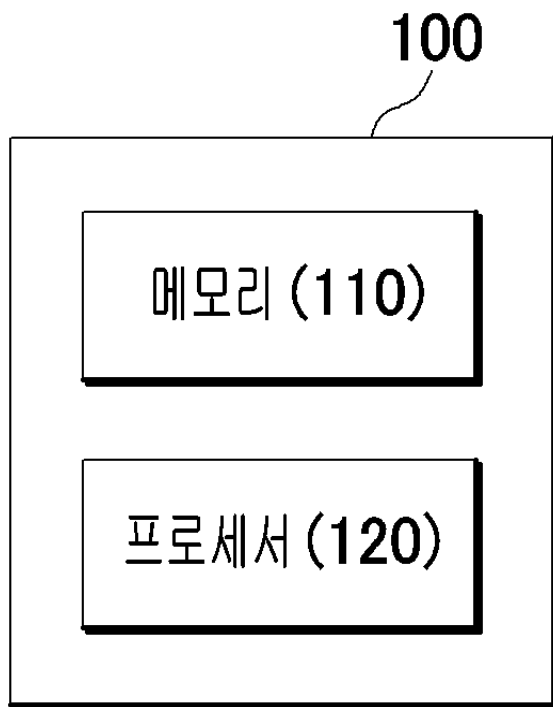
- [0120] 100: 반응-확산 모델링 장치

110: 메모리

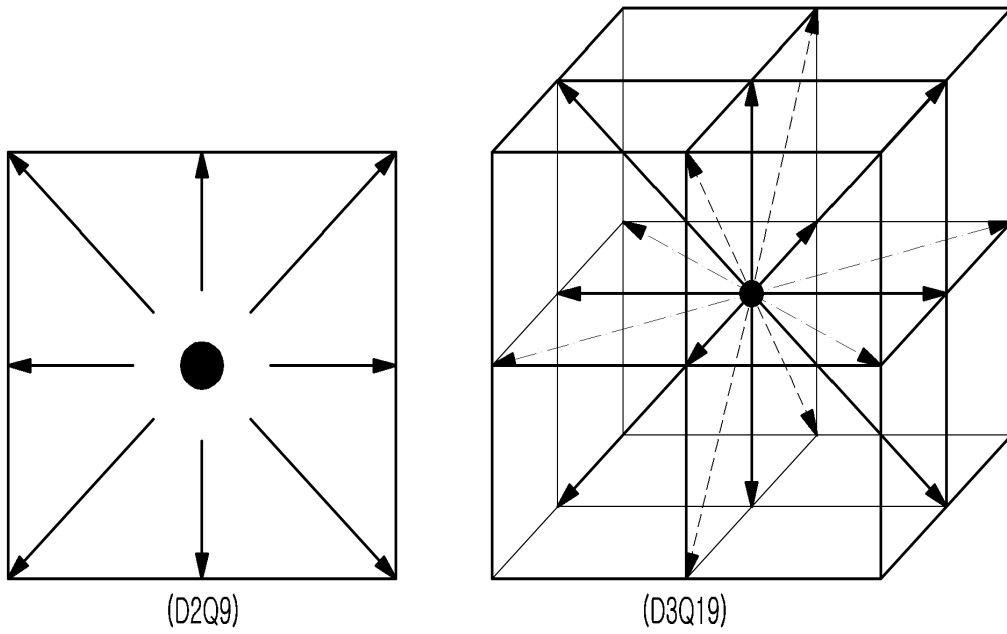
120: 프로세서

도면

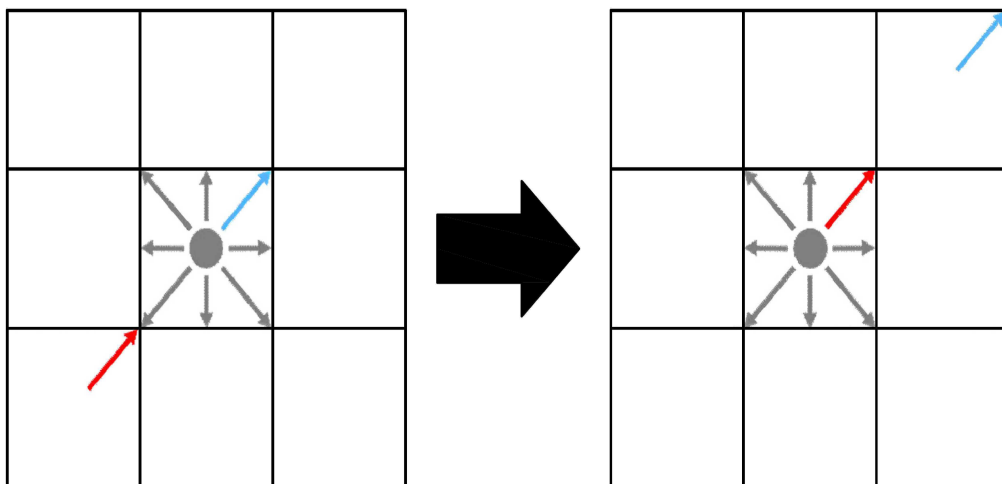
도면1



도면2

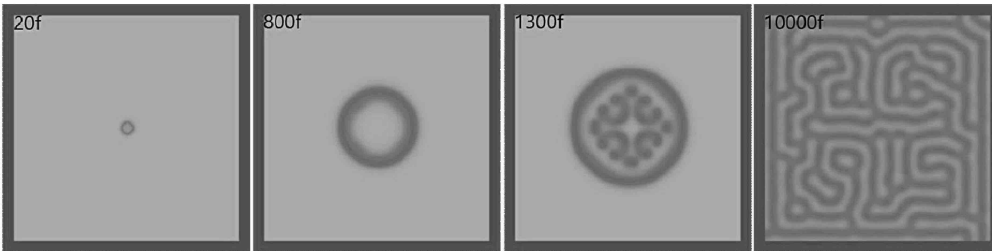


도면3

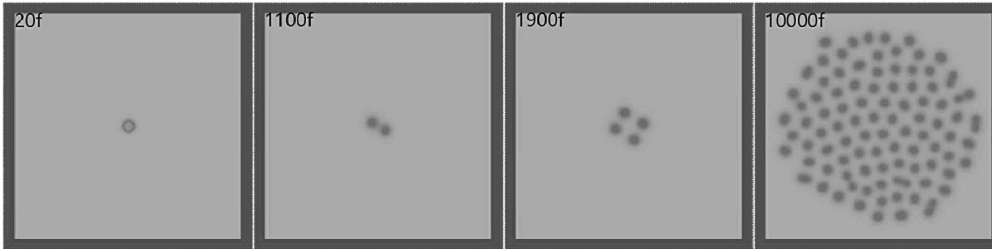


도면4

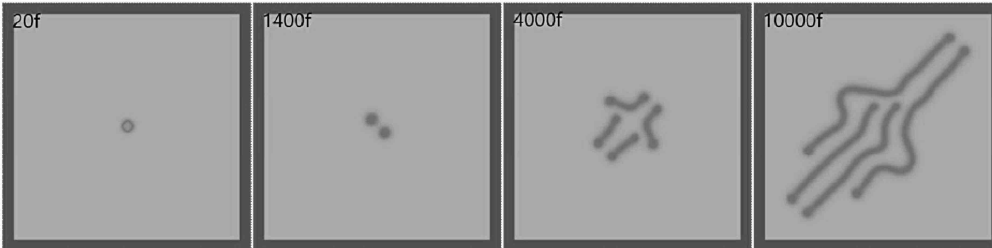
$f = 0.0267$ $k = 0.0549$



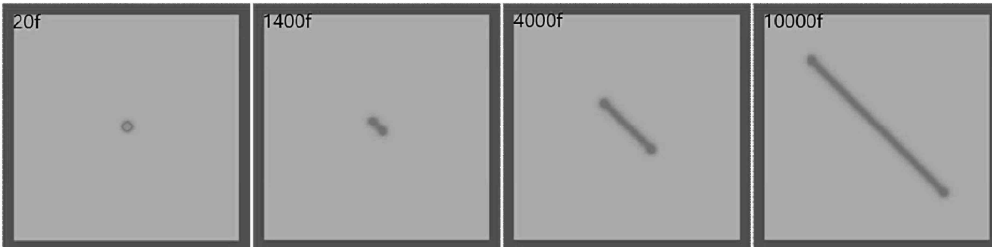
$f = 0.0367$ $k = 0.0649$



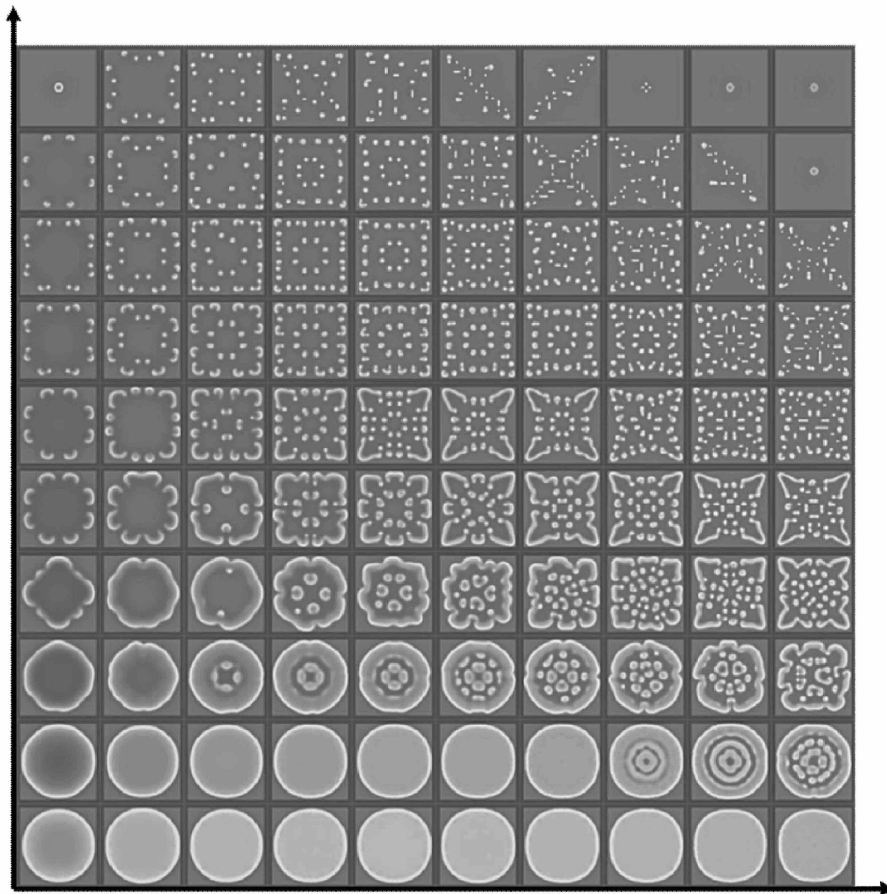
$f = 0.0467$ $k = 0.0649$



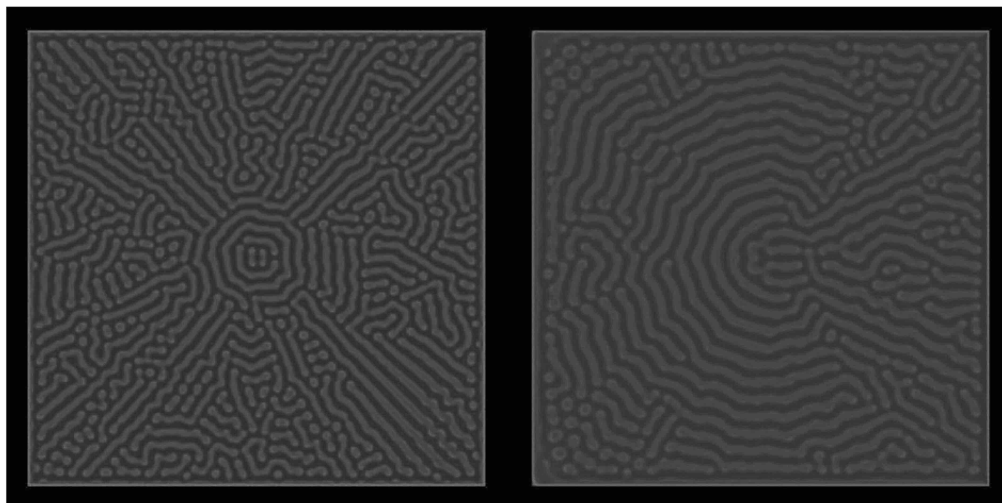
$f = 0.0567$ $k = 0.0649$



도면5



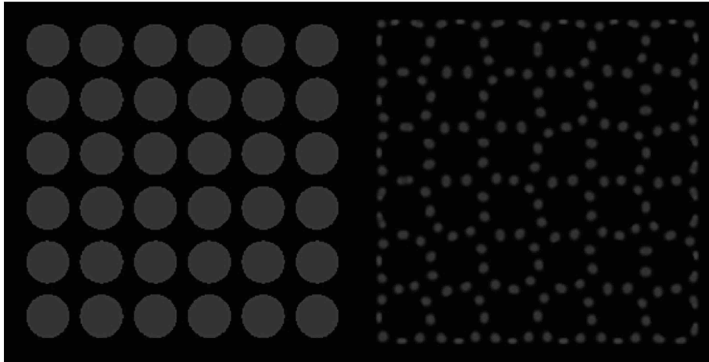
도면6



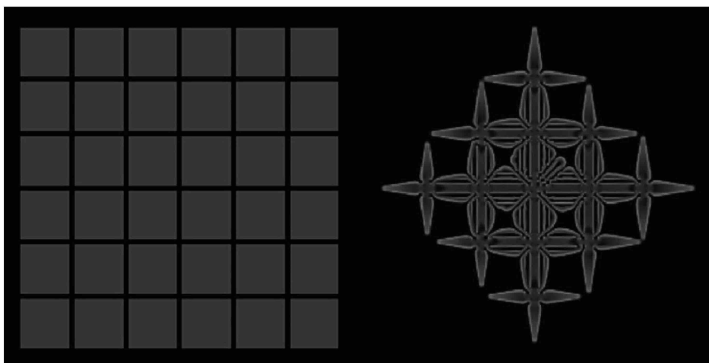
(a)

(b)

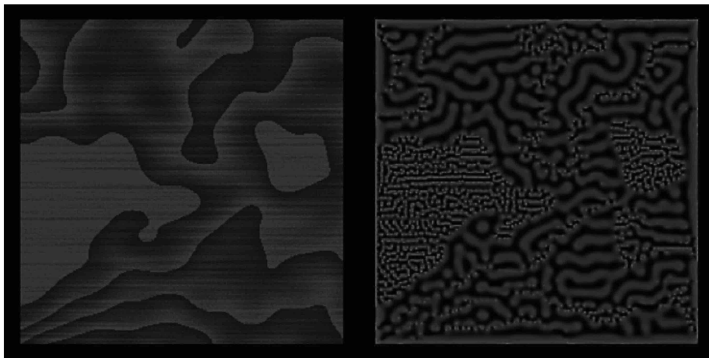
도면7



(a)



(b)



(c)

도면8

