



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0142862

(43) 공개일자 2024년10월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06T 17/20 (2006.01) G06T 19/20 (2011.01)

G06T 5/00 (2024.01) G06T 5/20 (2024.01)

(52) CPC특허분류

G06T 17/20 (2013.01)

G06T 19/20 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0037433

(22) 출원일자 2023년03월22일

심사청구일자 2023년03월22일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

김중현

인천광역시 미추홀구 인하로 100, 1호관(1동)
512C (1-512C) (용현동, 인하대학교)

(74) 대리인

양성보

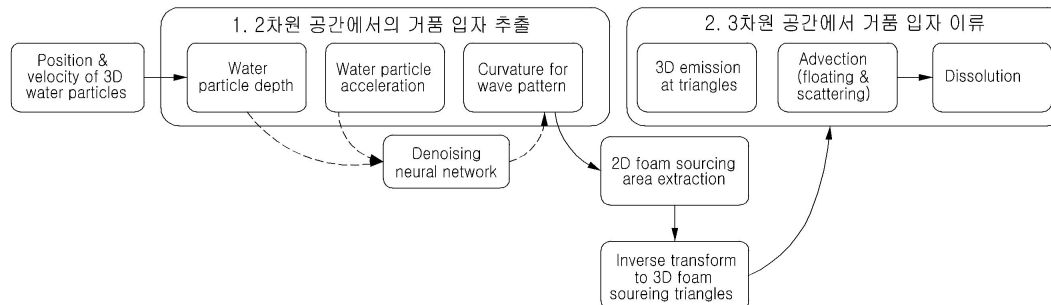
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 킨볼루션 노이즈 제거 네트워크를 통한 노이즈 감소 거품 효과의 효율적인 학습 표현 방법 및 시스템

(57) 요약

킨볼루션 노이즈 제거 네트워크를 통한 노이즈 감소 거품 효과의 효율적인 학습 표현 방법 및 시스템이 개시된다. 일 실시예에 따른 거품 모델링 시스템에 의해 수행되는 거품 효과의 학습 표현 방법은, 3차원 유체 입자로부터 생성된 투영 맵 데이터를 수집하는 단계; 및 상기 수집된 투영 맵 데이터를 노이즈 제거 신경망(Denosing Neural Network)을 통해 노이즈가 제거된 투영 맵을 획득하는 단계; 상기 노이즈가 제거된 투영 맵을 이용하여 2차원에서 거품이 발생할 가능성이 있는 공간을 탐색하는 단계; 및 상기 탐색된 후보 공간을 3차원 공간으로 역변환하여 거품 입자를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G06T 5/20 (2024.01)

G06T 5/70 (2024.01)

G06T 2207/20081 (2013.01)

G06T 2207/20084 (2013.01)

G06T 2210/24 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

거품 모델링 시스템에 의해 수행되는 거품 효과의 학습 표현 방법에 있어서,

3차원 유체 입자로부터 생성된 투영 맵 데이터를 수집하는 단계;

상기 수집된 투영 맵 데이터를 노이즈 제거 신경망(Denosing Neural Network)을 통해 노이즈가 제거된 투영 맵을 획득하는 단계;

상기 노이즈가 제거된 투영 맵을 이용하여 2차원에서 거품이 발생할 가능성이 있는 공간을 탐색하는 단계; 및

상기 탐색된 후보 공간을 3차원 공간으로 역변환하여 거품 입자를 생성하는 단계

를 포함하는 거품 효과의 학습 표현 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 수집하는 단계는,

유체-암시 입자(fluid-implicit particle; FLIP)에 의해 이루어진 3차원 유체 입자를 투영 매트릭스를 통해 스캔된 공간에 투영함에 따라 물 입자의 가속도 맵과 깊이 맵을 획득하는 단계

를 포함하는 거품 효과의 학습 표현 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 수집하는 단계는,

2차원 공간에서 거품 입자를 추출하기 위해 3차원 공간에서 물 입자의 위치와 속도를 이용하여 물 입자 깊이, 물 입자 속도를 포함하는 물 입자의 물리량을 2차원 공간에 투영하는 단계

를 포함하는 거품 효과의 학습 표현 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 획득하는 단계는,

적응형 이항 필터를 통해 상기 수집된 투영 맵 데이터를 정제하는 단계

를 포함하는 거품 효과의 학습 표현 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 획득하는 단계는,

상기 노이즈 제거 신경망을 통해 상기 정제된 투영 맵 데이터의 물리량을 이용하여 웨이브 패턴을 추출하는 단계

를 포함하는 거품 효과의 학습 표현 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 획득하는 단계는,
상기 수집된 투영 맵 데이터를 물리 기반 시뮬레이션을 통해 거품 데이터를 획득하는 단계
를 포함하는 거품 효과의 학습 표현 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,
상기 노이즈 제거 신경망은, ConvNet 기반으로 구성되어 예측 값과 실측 사이의 손실을 최소화하도록 잔차 학습
을 통해 거품 데이터로부터 잔차 맵을 예측도록 구축된 것을 특징으로 하는 거품 효과의 학습 표현 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,
상기 노이즈 제거 신경망은,
두 번의 컨볼루션을 통해 획득된 결과값에 제1 컨볼루션 연산을 거친 특징맵을 다시 더할 때 잔차 보상 방법을
사용하는 것을 특징으로 하는 거품 효과의 학습 표현 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,
상기 탐색하는 단계는,
상기 탐색된 거품이 발생할 가능성이 있는 공간을 삼각형으로 구성하여 거품 입자의 후보군의 형상을 2차원 삼
각형으로 변환하는 단계
를 포함하는 거품 효과의 학습 표현 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 생성하는 단계는,
3차원 공간에서의 거품 입자가 이루어지는 단계
를 포함하는 거품 효과의 학습 표현 방법.

청구항 11

거품 모델링 시스템에 있어서,
3차원 유체 입자로부터 생성된 투영 맵 데이터를 수집하는 맵 데이터 수집부;
상기 수집된 투영 맵 데이터를 노이즈 제거 신경망(Denosing Neural Network)을 통해 노이즈가 제거된 투영 맵
을 획득하는 투영 맵 획득부;
상기 노이즈가 제거된 투영 맵을 이용하여 2차원에서 거품이 발생할 가능성이 있는 공간을 탐색하는 공간 탐색
부; 및
상기 탐색된 후보 공간을 3차원 공간으로 역변환하여 거품 입자를 생성하는 거품 입자 생성부
를 포함하는 거품 모델링 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 설명은 거품 효과를 모델링하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 물리 기반 유체 시뮬레이션은 물, 화재, 연기, 불꽃, 거품, 기포, 미스트(또는 스프레이)를 시뮬레이션하기 위해 다양한 시각적 특수 효과를 구현하는데 사용되었다. 물을 표현할 때 진동하는 움직임에 의해 거품, 기포, 물보라와 같은 부수적인 효과가 발생하며, 이러한 특성을 효율적으로 모델링하기 위한 다양한 접근이 제안되었다. 일반적으로 물보라, 거품, 기포는 밑에 있는 유체의 흐름을 해석하여 모델링하고, 물질의 종류에 따라 다른 이류 방식을 채택하여 움직임을 제어한다.

[0004] 그러나 이러한 접근 방식은 3차원 유체의 움직임을 고려하기 위해 많은 양의 계산이 필요하며, 이를 효율적으로 처리하기 위해 다양한 스크린 공간 투영 방식이 제안되었다. 이러한 접근 방식은 깊이 맵과 노멀 맵을 사용하여 거품 효과를 실시간으로 모델링하지만 2차원 공간만을 사용하기 때문에 3차원 공간에서 거품이나 물보라를 정확하게 모델링하는 데는 비효율적이다. 기포의 이류를 모델링하지 못하면 이질감이 생긴다. 결과적으로 스크린 투영 방식은 주로 게임과 같은 실시간 응용 프로그램에 적용되었다.

[0005] 이러한 문제를 해결하기 위하여 2차원 공간 및 3차원 공간을 모두 사용하여 거품 시각화의 효율성과 품질을 개선시키기 위한 기술이 제안되었다. 그러나, 종래의 기술은 노이즈 문제를 야기하여 거품의 품질에 영향을 미칠 수 있어, 노이즈 없이 거품을 생성하는 기술이 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 신경망 기반의 투영 맵 정제 기법을 이용하여 손실없이 거품을 모델링하는 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 거품 모델링 시스템에 의해 수행되는 거품 효과의 학습 표현 방법은, 3차원 유체 입자로부터 생성된 투영 맵 데이터를 수집하는 단계; 상기 수집된 투영 맵 데이터를 노이즈 제거 신경망(Denosing Neural Network)을 통해 노이즈가 제거된 투영 맵을 획득하는 단계; 상기 노이즈가 제거된 투영 맵을 이용하여 2차원에서 거품이 발생할 가능성이 있는 공간을 탐색하는 단계; 및 상기 탐색된 후보 공간을 3차원 공간으로 역변환하여 거품 입자를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 수집하는 단계는, 유체-암시 입자(fluid-implicit particle; FLIP)에 의해 이류된 3차원 유체 입자를 투영 매트릭스를 통해 스크린 공간에 투영함에 따라 물 입자의 가속도 맵과 깊이 맵을 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 수집하는 단계는, 2차원 공간에서 거품 입자를 추출하기 위해 3차원 공간에서 물 입자의 위치와 속도를 이용하여 물 입자 깊이, 물 입자 속도를 포함하는 물 입자의 물리량을 2차원 공간에 투영하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 획득하는 단계는, 적응형 이항 필터를 통해 상기 수집된 투영 맵 데이터를 정제하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 획득하는 단계는, 상기 노이즈 제거 신경망을 통해 상기 정제된 투영 맵 데이터의 물리량을 이용하여 웨이브 패턴을 추출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 획득하는 단계는, 상기 수집된 투영 맵 데이터를 물리 기반 시뮬레이션을 통해 거품 데이터를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 노이즈 제거 신경망은, ConvNet 기반으로 구성되어 예측 값과 실측 사이의 손실을 최소화하도록 잔차 학습을 통해 거품 데이터로부터 잔차 맵을 예측도록 구축된 것일 수 있다.

- [0016] 상기 노이즈 제거 신경망은, 두 번의 컨볼루션을 통해 획득된 결과값에 제1 컨볼루션 연산을 거친 특징맵을 다시 더할 때 잔차 보상 방법을 사용할 수 있다.
- [0017] 상기 탐색하는 단계는, 상기 탐색된 거품이 발생할 가능성이 있는 공간을 삼각형으로 구성하여 거품 입자의 후보군의 형상을 2차원 삼각형으로 변환하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 생성하는 단계는, 3차원 공간에서의 거품 입자가 이루어지는 단계를 포함할 수 있다.
- [0019] 거품 모델링 시스템은, 3차원 유체 입자로부터 생성된 투영 맵 데이터를 수집하는 맵 데이터 수집부; 상기 수집된 투영 맵 데이터를 노이즈 제거 신경망(Denosing Neural Network)을 통해 노이즈가 제거된 투영 맵을 획득하는 투영 맵 획득부; 상기 노이즈가 제거된 투영 맵을 이용하여 2차원에서 거품이 발생할 가능성이 있는 공간을 탐색하는 공간 탐색부; 및 상기 탐색된 후보 공간을 3차원 공간으로 역변환하여 거품 입자를 생성하는 거품 입자 생성부를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0021] 스크린을 기반으로 거품을 생성하기 위해 노이즈가 많은 투영 맵을 완화하는 노이즈 제거 신경망을 통해 노이즈를 제거함으로써 거품을 일지 않고 고해상도의 거품 효과의 세부 사항을 명확하게 모델링할 수 있다
- [0022] 투영 맵을 이용하여 거품 생성 영역을 선택한 후, 2차원 공간을 3차원 공간으로 역변환하여 노이즈 제거 네트워크에서 발생하는 소형 거품 소멸 문제를 해결할 수 있다.
- [0023] 노이즈가 제거된 투영 맵을 기존의 폼 생성 프레임워크에 통합시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 일 실시예에 있어서, 거품 모델링 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이다.
- 도 2는 일 실시예에 있어서, 거품 효과의 학습 표현 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- 도 3은 일 실시예에 있어서, 거품 효과의 학습 표현 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 일 실시예에 있어서, 이항 필터를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 일 실시예에 있어서, 적응형 이항 필터를 사용하기 전과 사용한 후의 가속도 맵을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 일 실시예에 있어서, 데이터를 구성하는 데 사용되는 장면을 보여준다.
- 도 7은 일 실시예에 있어서, 노이즈 제거 신경망을 통해 특징을 추출하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 이하, 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0028] 도 1은 일 실시예에 있어서, 거품 모델링 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이고, 도 2는 일 실시예에 있어서, 거품 효과의 학습 표현 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0029] 거품 모델링 시스템(100)의 프로세서는 맵 데이터 수집부(110), 투영 맵 획득부(120), 공간 탐색부(130) 및 거품 입자 생성부(140)를 포함할 수 있다. 이러한 프로세서의 구성요소들은 거품 모델링 시스템에 저장된 프로그램 코드가 제공하는 제어 명령에 따라 프로세서에 의해 수행되는 서로 다른 기능들(different functions)의 표현될 수 있다. 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 도 2의 거품 효과의 학습 표현 방법이 포함하는 단계들(210 내지 240)을 수행하도록 거품 모델링 시스템을 제어할 수 있다. 이때, 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 메모리가 포함하는 운영체제의 코드와 적어도 하나의 프로그램의 코드에 따른 명령(instruction)을 실행하도록 구현될 수 있다.
- [0030] 프로세서는 거품 효과의 학습 표현 방법을 위한 프로그램의 파일에 저장된 프로그램 코드를 메모리에 로딩할 수

있다. 예를 들면, 거품 모델링 시스템에서 프로그램이 실행되면, 프로세서는 운영체제의 제어에 따라 프로그램의 파일로부터 프로그램 코드를 메모리에 로딩하도록 거품 모델링 시스템을 제어할 수 있다. 이때, 맵 데이터 수집부(110), 투영 맵 획득부(120), 공간 탐색부(130) 및 거품 입자 생성부(140) 각각은 메모리에 로딩된 프로그램 코드 중 대응하는 부분의 명령을 실행하여 이후 단계들(210 내지 240)을 실행하기 위한 프로세서의 서로 다른 기능적 표현들일 수 있다.

- [0031] 단계(210)에서 맵 데이터 수집부(110)는 3차원 유체 입자로부터 생성된 투영 맵 데이터를 수집할 수 있다. 맵 데이터 수집부(110)는 유체-암시 입자(fluid-implicit particle; FLIP)에 의해 이루어진 3차원 유체 입자를 투영 매트릭스를 통해 스크린 공간에 투영함에 따라 물 입자의 가속도 맵과 깊이 맵을 획득할 수 있다. 맵 데이터 수집부(110)는 2차원 공간에서 거품 입자를 추출하기 위해 3차원 공간에서 물 입자의 위치와 속도를 이용하여 물 입자 깊이, 물 입자 속도를 포함하는 물 입자의 물리량을 2차원 공간에 투영할 수 있다.
- [0032] 단계(220)에서 투영 맵 획득부(120)는 수집된 투영 맵 데이터를 노이즈 제거 신경망(Denosing Neural Network)을 통해 노이즈가 제거된 투영 맵을 획득할 수 있다. 투영 맵 획득부(120)는 적응형 이항 필터를 통해 수집된 투영 맵 데이터를 정제할 수 있다. 투영 맵 획득부(120)는 노이즈 제거 신경망을 통해 정제된 투영 맵 데이터의 물리량을 이용하여 웨이브 패턴을 추출할 수 있다. 투영 맵 획득부(120)는 수집된 투영 맵 데이터를 물리 기반 시뮬레이션을 통해 거품 데이터를 획득할 수 있다.
- [0033] 이때, 노이즈 제거 신경망은, ConvNet 기반으로 구성되어 예측 값과 실측 사이의 손실을 최소화하도록 잔차 학습을 통해 거품 데이터로부터 잔차 맵을 예측도록 구축된 것일 수 있다. 또한, 노이즈 제거 신경망에 두 번의 컨볼루션을 통해 획득된 결과값에 제1 컨볼루션 연산을 거친 특징맵을 다시 더할 때 잔차 보상 방법이 사용될 수 있다.
- [0034] 단계(230)에서 공간 탐색부(130)는 노이즈가 제거된 투영 맵을 이용하여 2차원에서 거품이 발생할 가능성이 있는 공간을 탐색할 수 있다. 공간 탐색부(130)는 탐색된 거품이 발생할 가능성이 있는 공간을 삼각형으로 구성하여 거품 입자의 후보군의 형상을 2차원 삼각형으로 변환할 수 있다.
- [0035] 단계(240)에서 거품 입자 생성부(140)는 탐색된 후보 공간을 3차원 공간으로 역변환하여 거품 입자를 생성할 수 있다. 이에, 3차원 공간에서의 거품 입자가 이루어질 수 있다.
- [0036] 도 3은 일 실시예에 있어서, 거품 효과의 학습 표현 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- [0037] 거품 모델링 시스템은 유체-암시 입자(fluid-implicit particle; FLIP) 방법을 이용하여 기저 유체 시뮬레이션을 계산하고, 유체 입자를 이루시키기 위해 그리드-입자 방법을 이용한 하이브리드 방법을 사용할 수 있다. 이때, 스크린 공간 투영 기술이 거품 생성에 사용될 수 있다.
- [0038] 거품 모델링 시스템은 3차원 유체 입자를 스크린 공간에 투사하고 적응형 이항 필터를 통해 네트워크로 활용할 수 있도록 투영 맵 데이터를 구축할 수 있다. 거품 모델링 시스템은 투영 맵 데이터를 ConvNet 기반 노이즈 제거 네트워크를 통해 학습시킬 수 있다. 이러한 프로세스는 투영 맵 정제 중에 반복될 수 있다.
- [0039] 거품 모델링 시스템은 유체-암시 입자에 의해 이루어진 3차원 유체 입자를 투영 매트릭스를 통해 스크린 공간에 투영시킬 수 있다. 이러한 프로세스를 통해 입자의 물리량인 가속도와 깊이가 투영될 수 있다. 거품 모델링 시스템은 가속도 맵과 깊이 맵을 포함하는 두 개의 투영 맵을 노이즈 제거 네트워크를 통해 정제시킬 수 있다. 거품 모델링 시스템은 정교한 가속도 맵을 이용하여 2차원 화면에서 거품이 발생할 가능성이 있는 공간을 빠르게 탐색할 수 있다. 거품 모델링 시스템은 스크린 공간에서 탐색된 후보 공간을 역변환하여 2차원 위치를 3차원 위치로 변환할 수 있다. 결과적으로 거품 입자가 생성되고 3차원 공간에서 이루어질 수 있다.
- [0040] 거품 모델링 시스템은 Navier-Stokes 방정식을 이용하여 3차원 공간에서 물 입자의 위치와 속도를 결정한 후, 2차원 공간에서의 거품 입자 추출 단계(1단계)에서, 물 입자의 물리량을 2차원 공간에 투영한다. 이러한 거품 모델링 시스템은 1단계에서 노이즈 문제가 발생하기 때문에 노이즈 제거 단계(디노이징)를 추가할 수 있다. 물 입자 투영 과정에서 나타나는 노이즈 있는 아티팩트를 해결하기 위해 신경망을 사용한다. 거품 모델링 시스템은 신경망에 의해 표현 학습을 거친 물리량을 통해 웨이브 패턴을 추출한 후, 3차원 공간에서 거품 입자 이루어 단계(2단계)에서, 추출된 웨이브 패턴을 역변환하여 3차원 공간에서 거품 입자를 생성하고 이루시킬 수 있다.
- [0041] 거품 모델링 시스템은 스크린 공간 접근 방식을 사용하여 거품을 표현할 수 있다. 거품 모델링 시스템은 3차원 유체 입자로부터 투영 맵을 생성할 수 있다. 실시예에서 사용된 스크린 공간 기반 거품 방법은 스크린 투영을 통해 3차원 공간에 존재하는 유체 입자의 가속도 맵과 깊이 맵을 계산한다. 이때, W 와 H 는 각각 스크린 공간에

서 수평 및 수직 픽셀 해상도를 나타낸다. 투영 공간 $N_x \times N_y$ 는 정규 그리드의 해상도를 투영 간격 h 로 나눈 값이고, r 은 유체 입자의 반경이며, r 은 또한 사용자가 조정할 수 있는 값이고, 투영 중에 부드러운 투영 맵을 획득하기 위해 사용되는 범위이다. 입자의 깊이값 z_{ij} 와 가속도값 d_{ij} 는 투영 좌표로 변환되며, 각 맵은 깊이 맵 $\mathbf{Z} \in \mathbb{R}^{N_x \times N_y}$, 가속도 맵 $\mathbf{D} \in \mathbb{R}^{N_x \times N_y}$ 으로 구성된다. 입자의 가속도 d_{ij} 는 프레임 간의 속도 차이로부터 간단히 계산된다($|\mathbf{v}_{t+\Delta t} - \mathbf{v}_t|$). 3차원 공간 $[x, y, z, 1]^T$ 의 입자 x 는 투영 매트릭스 P (식 1 참조)를 이용하여 2차원 투영 공간으로 변환된다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w \end{bmatrix} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

투영 중 z 값의 왜곡을 방지하기 위해 z 값을 제외한 x, y 에 원근 분할이 적용된다. 이 방법을 이용하여 3차원 유체 입자의 투영 좌표 (x_p, y_p) , z_p 및 투영 가속도 d_p 가 계산된다(수학식 2 참조).

$$\underbrace{\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix}}_{\text{projected coordinates and depth}} = \underbrace{\begin{bmatrix} W \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} x'/w \right) \\ H \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} y'/w \right) \\ z' \end{bmatrix}}_{\text{acceleration}}, \underbrace{\begin{bmatrix} x_d \\ y_d \\ d_p \end{bmatrix}}_{\text{acceleration}} = \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ d \end{bmatrix}, \quad (2)$$

(x_d, y_d) 는 화면 공간에 투영 가속도 d_p 가 저장되는 배열의 인덱스이다. 3차원 공간에서 입자 반경 r 이 다음 방법을 사용하여 투영된다(수학식 3 참조).

$$\begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rW \sqrt{p_{1,1}^2 + p_{1,2}^2 + p_{1,3}^2/w} \\ rH \sqrt{p_{2,1}^2 + p_{2,2}^2 + p_{2,3}^2/w} \\ r \sqrt{p_{3,1}^2 + p_{3,2}^2 + p_{3,3}^2} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

p_{ij} 는 투영 매트릭스 P 의 요소이다. 등방성 투영 반경 값을 얻기 위해 r_x 및 r_y 는 r_p 로 설정된다.

수많은 유체 입자가 화면 공간의 노드에 투영될 수 있으므로 깊이 및 가속도 값이 다음과 같이 업데이트 된다(식 4 참조):

$$z_{ij} \leftarrow \min(z_{ij}, z_p - r_z h_{ij}), d_{ij} \leftarrow \argmin(z_{ij}) \quad (4)$$

여기서,

$$h_{ij} = \sqrt{1 - \frac{(ih - x_p)^2 + (jh - y_p)^2}{r_p^2}} \quad (5)$$

$$(ih - x_p)^2 + (jh - y_p)^2 \leq r_p^2$$

[0052] 는 투영 공간의 각 노드에 의해 투영 좌표가 영향을 받는지 여부를 결정하는 데 사용된다. 투영된 좌표의 깊이 값인 $z_p - r_z h_{ij}$ 가 z_{ij} 보다 작은 경우, z_{ij} , d_{ij} 는 수학식 4를 사용하여 업데이트 된다.

[0053] 거품 모델링 시스템은 전처리를 통해 생성된 투영 맵 데이터를 수집할 수 있다. 거품 모델링 시스템은 네트워크 학습에 필요한 자료를 물리 기반 시뮬레이션을 통해 획득할 수 있다. 예를 들면, 거품 모델링 시스템은 거품 효과를 모델링하기 위해 3차원 공간과 함께 2차원 공간을 활용할 수 있다. 도 4를 참고하면, 거품 모델링 시스템은 엘리어싱을 완화하기 위해 적응형 이항 필터를 사용하여 데이터를 정제할 수 있다.

[0054] 적응형 이항 필터는 평활 프로세스를 통해 투영 맵의 엘리어싱 문제를 완화하는 것을 목표로 한다. 평활화 파라미터 n_{filter} 는 사용자가 조정할 수 있으며 $d_{ij} \neq \infty$ 인 모든 경우에 적용된다. 거품 모델링 시스템은 과평활화로 인한 거품 손실을 최소화하기 위해 필터 크기를 d_{ij} 크기에 따라 제어할 수 있다(수학식 6 참조).

$$n_{\text{filter}}^* = \begin{cases} |d_{ij}| \alpha, & \text{if } |d_{ij}| > \eta \\ 3, & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

[0055]

[0056] 여기서, 예를 들면, 사용자가 조정 가능한 변수인 α 가 12로 설정될 수 있다.

[0057] 도 5는 일 실시예에 있어서, 적응형 이항 필터를 사용하기 전과 사용한 후의 가속도 맵을 설명하기 위한 도면이다.

[0058] 거품 모델링 시스템은 거친 형상을 보여주는 가속도 맵에 대해 적응형 이항 필터를 적용하여 특징적인 형상을 유지하면서(도 5b 참조) 매끄럽게 만들 수 있다(도 5a 참조). 거품 모델링 시스템은 다양한 거품 장면에 대한 쌍의 투영 맵을 구성할 수 있다. 도 6을 참고하면, 데이터를 구성하는 데 사용되는 장면을 보여준다. 데이터는 고체와의 충돌과 유체에 의한 거품 시뮬레이션으로 생성된 다양한 장면에 대해 계산된 투영 맵(가속도 맵 및 깊이 맵)을 사용하여 구성될 수 있다. 실시예에서 사용된 데이터에는 필터링되지 않은 투영 맵이 20,000개 존재할 수 있으며, 가속도 맵과 깊이 맵으로 구성된 5,000개의 투영 맵이 사용될 수 있다.

[0059] 도 7은 일 실시예에 있어서, 노이즈 제거 신경망을 통해 특징을 추출하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0060] 거품 모델링 시스템은 노이즈 제거 신경망을 사용한 투영 맵의 물리 기반 시뮬레이션을 사용하여 거품 데이터 $\{F^0, F^1, \dots\}$ 를 획득한 후, 적응형 이항 필터가 적용된 투영 맵 $\{\delta_{f_w}^0, \delta_{f_w}^1, \dots\}$ 과 적응형 이항 필터가 적용되지 않은 투영 맵 $\{\delta_{f_{wo}}^0, \delta_{f_{wo}}^1, \dots\}$ 을 생성할 수 있다. 이때, δ 는 가속도 맵 D를 나타내고 Z는 깊이 맵을 나타낸다. 투영 맵은 훈련 네트워크에서 사용되기 전에 패치로 분할될 수 있다. 여기서, 훈련 데이터를 사용하는 데 있어 예측 값 v_s 와 실측(ground truth; GT) 사이의 손실을 최소화하는 매핑 함수 $f(\mathbf{x})$ 를 찾는 것이다. 이러한 프로세스를 수행하기 위한 손실 함수는 예측 투영 맵과 실측(GT) 투영 맵 사이의 평균 제곱 오차(MSE)이다. 실시예에서의 목표는 $v_s = f(\mathbf{x})$ 를 최소화하는 것이다. 많은 가중치 계층의 적용은 초해상도 CNN(SRCNN) 기술에서 큰 메모리를 필요로 하기 때문에, 심층망을 구성하는 데 한계가 있다. 이러한 문제를 피하기 위해 거품 모델링 시스템은 잔차 학습을 통해 거품 데이터를 훈련하고 테스트할 수 있다. 입력/출력 투영 맵의 잔차 맵은 $\mathbf{r} = \delta_{f_w} - \delta_{f_{wo}}$ 로 계산된다. SRCNN 기술의 손실 함수는 $\frac{1}{2} \|\delta_{f_w} - f(\mathbf{x})\|^2$ 이지만, 실시예에서는 잔차 맵을 예측하는 것을 목표로 하기 때문에 다음과 같이 최종 손실 함수 L을 계산한 다(식 7 참조)

$$L(\mathbf{r}, \mathbf{x}) = \frac{1}{2} \|\mathbf{r} - \mathbf{x}\|^2 \quad (7)$$

[0061]

[0062] $\mathbf{r}$ 은 잔차이고 $\mathbf{x}$ 는 $f(\mathbf{x})$ 의 값이다. 네트워크 프로세스에서 손실 계층은 잔차 추정, $\delta_{f_{\text{weak}}}$ 및 δ_{f_w} 의 세 가지 요소를 사용하여 계산된다. 손실은 네트워크를 통해 재구성된 맵과 δ_{f_w} 사이의 유클리드 거리로 계산된다. 여기서 재구성된 맵은 네트워크의 입력 맵과 출력 맵의 합이다. 노이즈 제거 신경망은 ConvNet 을 기반으로 모델링되었으며 다음과 같은 구성을 가지고 있다. 두 번의 컨볼루션을 통해 획득된 결과값에 첫 번째 ConvNet 연산을 거친 특징맵을 다시 더할 때 잔차 보상 방법이 사용된다. 이와 같이 컨볼루션 연산을 통해 손실되는 오차는 잔차 보상을 통해 완화된다. 실시예에서 이러한 과정은 10번 반복되며 한 사이클당 2회의 컨볼루션을 수행하기 때문에 총 20회의 컨볼루션 연산을 수행한다. 첫 번째 컨볼루션을 거친 값이 처음에 더해진다. 이어서 이전 결과가 반복적으로 추가된다. 그런 다음 업스케일링을 통해 크기를 두 배로 늘리고, 4개의 컨볼루션 작업이 완성되기 전에 연산을 완료한다. 이렇게 얻어진 투영 맵(정제된 가속도 맵, 정제된 깊이 맵) D^* , Z^* 은 거품 입자의 생성을 결정하기 위해 사용될 수 있다.

[0063] 거품 모델링 시스템은 거품 입자를 생성하고 생성된 거품 입자를 이류시킬 수 있다. 거품 모델링 시스템은 정제된 투영 맵을 사용하여 거품 생성 가능성이 있는 2차원 후보 영역을 추출한다(식 8 참조).

$$C = \{(i, j, k) | d > \gamma, z \in Z^*, d \in D^*, (i, j) \in \mathbb{R}^{N_x \times N_y}\}, \quad (8)$$

[0064] γ 는 빠른 흐름 영역을 찾는 데 사용되는 임계값이며, 실시예에서는 0.0001로 설정된 수 있다. Z^* 와 D^* 는 네트워크를 통해 정제된 깊이 맵과 가속도 맵이다. γ 값을 줄이려면 유속이 느린 부위에서도 거품을 생성할 수 있으며, 사용자가 쉽게 거품의 개수를 조절할 수 있다. Marching squares 알고리즘은 추출된 2차원 거품 영역을 삼각형으로 구성하여 거품 입자의 후보군의 형상을 2차원 삼각형으로 변환하는데 사용된다. 그런 다음 이러한 삼각형은 수학적 1과 수학적 2의 역변환을 통해 3차원 모델 공간으로 변환된다. 변환된 삼각형의 좌표는 다음과 같이 계산된다(수학적 9 참조).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = Q \begin{bmatrix} (-1 + 2x_p/W)w \\ (-1 + 2y_p/H)w \\ z_p \\ w \end{bmatrix}, \quad (9)$$

[0066] 여기서,

$$w = \frac{1 - q_{4,3}z_p}{q_{4,1}(-1 + 2x_p/W) + q_{4,2}(-1 + 2y_p/H) + q_{4,4}}, \quad (10)$$

[0068] q_{ij} 는 역투영 매트릭스 Q의 요소이며, 앞서 언급한 바와 같이 z_p 에는 원근 분할이 적용되지 않는다. 발포 입자의 수는 Weber 수를 사용하여 결정된다.

[0070] 다음으로, 거품 모델링 시스템은 정제된 투영 맵을 이용하여 거품 웨이브 패턴을 계산할 수 있다. 유동 기반 곡물은 투영된 공간의 모든 값에서 계산된다(수학적 11 참조).

$$\frac{\partial z}{\partial t} = H, \quad (11)$$

[0071] t 는 시간 단계이고 H 는 2차원 투영 공간에서 계산된 깊이 맵의 평균 곡물이다. 이 프로세스에서 사용되는 깊이 맵은 정제된 깊이 맵 Z^* 이다. 예를 들면, 곡물 계산이 필요한 노이즈 패턴 완화를 포함할 수 있다. 이러한 접근법에서는 원래 곡물의 변화 패턴이 손실되므로, 거품의 웨이브 패턴은 다음과 같이 식 8을 수정하여 계산된다(수학적 12 참조):

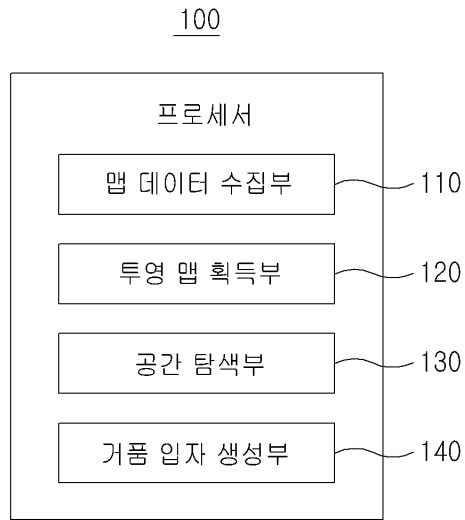
$$C^* = \{(i, j, k) | d > \gamma \cap f > \beta, f \in F^*, (i, j) \in \mathbb{R}^{N_x \times N_y}\}, \quad (12)$$

[0073]

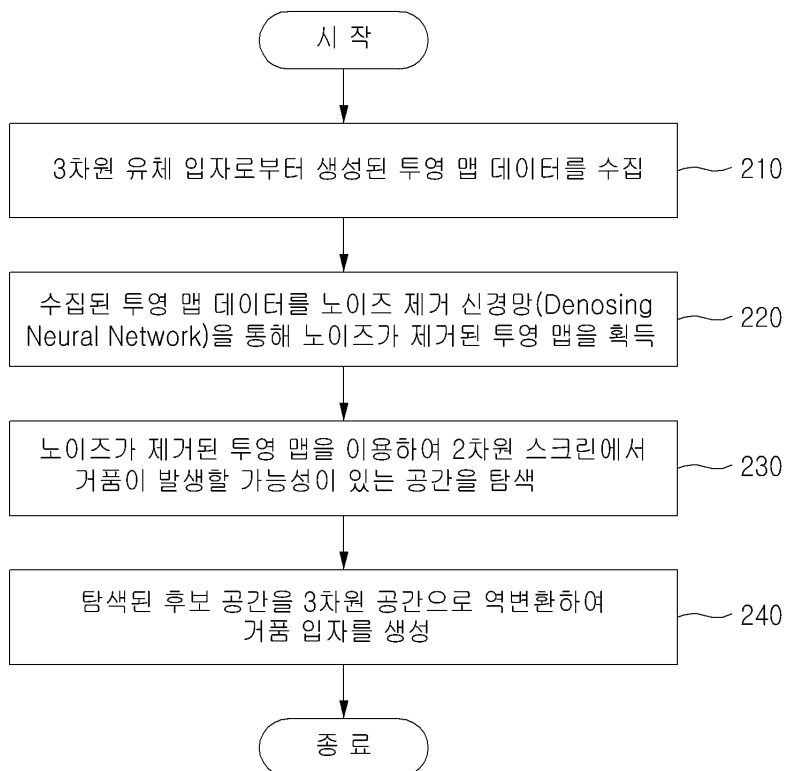
- [0074] F^* 는 네트워크를 통해 정제된 깊이 맵 Z^* 이 있는 곡물 맵이다. 또한 β 는 높은 곡물 영역을 찾기 위한 임계값이며, 실시예에서는 0.1로 설정될 수 있다. 거품 입자에 대한 편차는 FLIPS를 통해 계산된 격자 속도 필드와 유체 입자를 이용한다.
- [0075] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0076] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0077] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.
- [0078] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0079] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

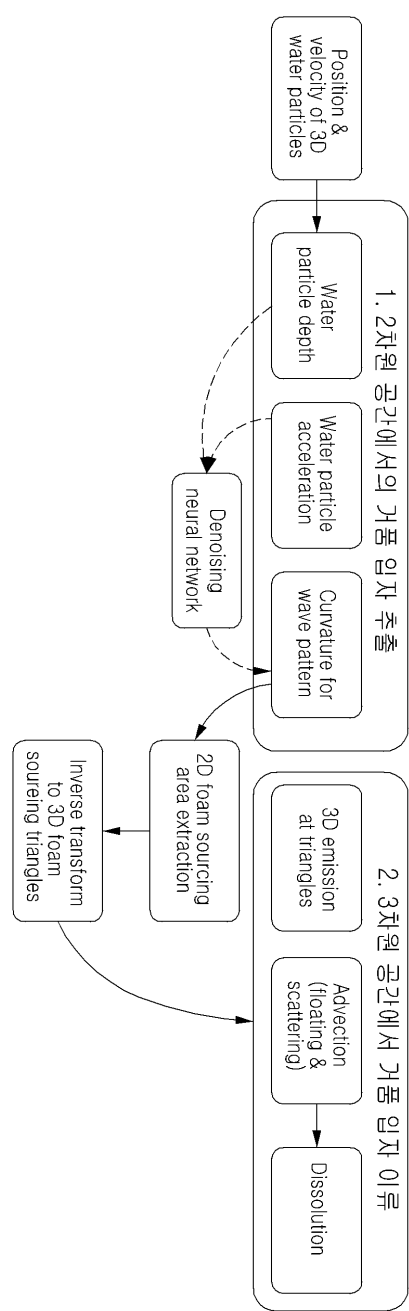
도면1



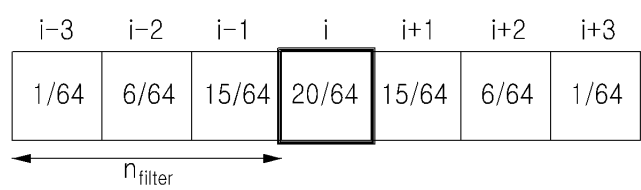
도면2



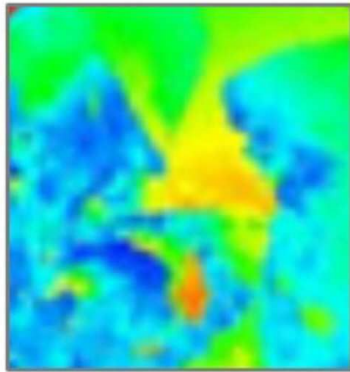
도면3



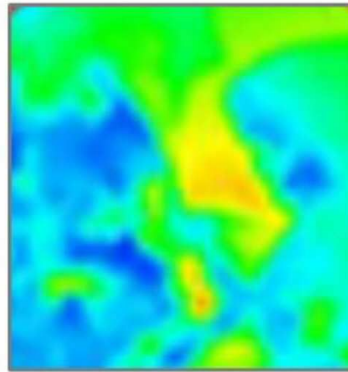
도면4



도면5

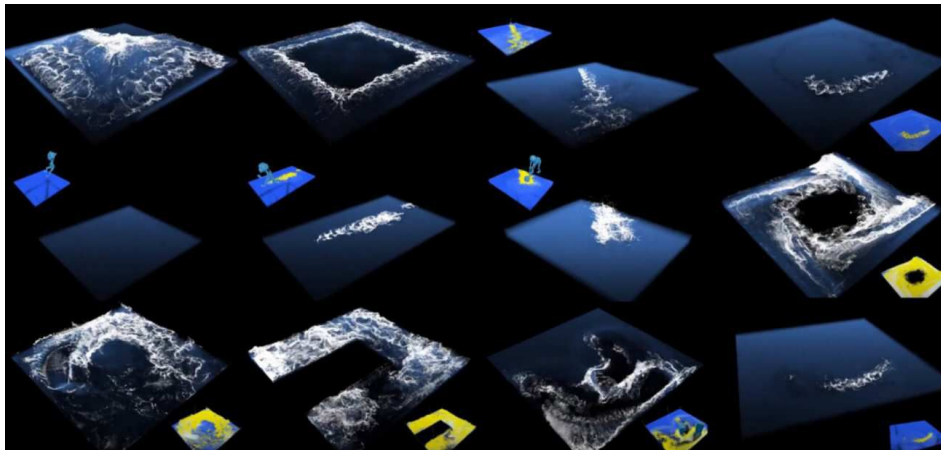


(a) Before



(b) After

도면6



도면7

