



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0144227
(43) 공개일자 2024년10월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04N 25/773 (2023.01) G06N 3/049 (2023.01)
G06N 3/067 (2006.01) H04N 25/673 (2023.01)
(52) CPC특허분류
H04N 25/773 (2023.01)
G06N 3/049 (2023.01)
(21) 출원번호 10-2024-7027782
(22) 출원일자(국제) 2023년01월19일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년08월20일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2023/051204
(87) 국제공개번호 WO 2023/143997
국제공개일자 2023년08월03일
(30) 우선권주장
22153557.8 2022년01월27일
유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
보셀센서스, 소시에테 아 헤스풍사빌리떼 리미떼
벨기에 1000 브뤼셀 칸테르스티엔 47
(72) 발명자
반 데어 템펠 바르트
벨기에 3140 케이르베르헨 피르벤스후크 19
모라드 크리스티앙
벨기에 1332 정발 애비뉴 드 라 파상테리 8
(74) 대리인
리엔목특허법인

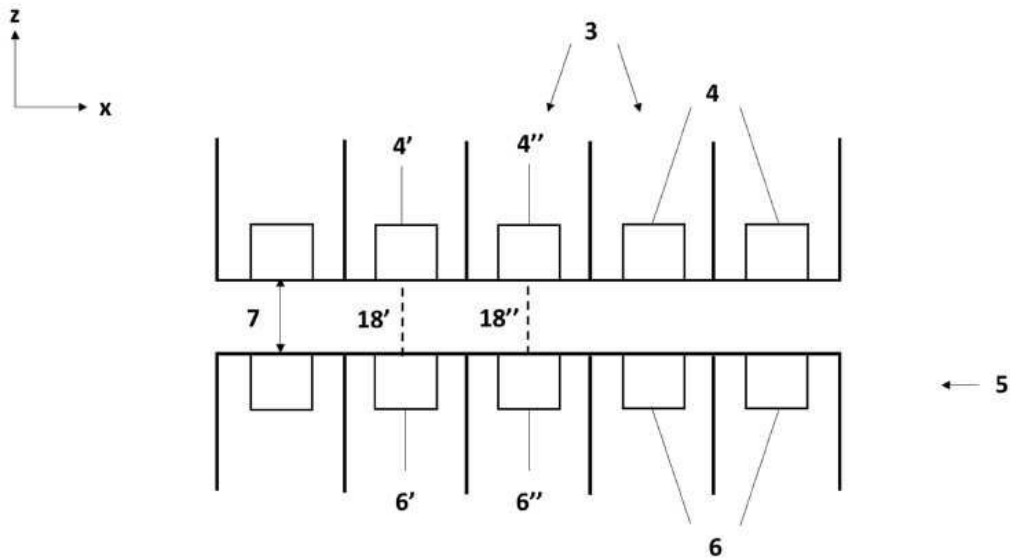
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 효율적인 이미지 센서

(57) 요약

본 발명은 효율적인 광 감지를 위한 이미지 센서(1)에 관한 것이다. 상기 센서(1)는 다수의 픽셀 센서(3)를 포함하며, 각 픽셀 센서(3)는 광 검출기(4)를 포함하고, 각 픽셀은 디지털 신호를 출력하도록 적응된다. 상기 센서(1)는 복수의 뉴런(6)을 포함하는 예를 들어 신경 네트워크(5)인 처리 수단을 추가로 포함한다. 각 광 검출기(4)는 상기 처리 수단의 근처에 있다. 또한, 각각의 광 검출기(4)는 상기 처리 수단에 연결된다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06N 3/0675 (2013.01)

H04N 25/673 (2023.01)

명세서

청구범위

청구항 1

효율적인 광학 감지를 위한 이미지 센서(1)로서, 상기 이미지 센서는:

- 복수의 픽셀 센서들(3) - 각 픽셀 센서(3)는 광 검출기(4)를 포함하고 논리 신호를 출력하도록 적응됨 -, 그리고

- 처리 수단을 포함하며, 여기에서 상기 처리 수단은 복수의 뉴런들(6)을 포함하는 적어도 하나의 신경 네트워크(5)이며,

각 광 검출기(4)는 자신에 대응하는 적어도 하나의 뉴런(6) 근처에 있으며, 각 광 검출기(4)는 자신에 대응하는 상기 적어도 하나의 뉴런(6)에 병렬로 연결되며, 바람직하게는 직접 연결되며,

상기 광 검출기(4)는 단일 광자 검출기, 바람직하게는 단일 광자 애벌런치 다이오드이며,

그리고 각 뉴런(5)은 일련의 펄스들을 수신하도록 적응된 것을 특징으로 하는 이미지 센서.

청구항 2

제1항에 있어서, 각 뉴런(6)은 적어도 하나의 이웃 뉴런(6')에 연결되며, 각 뉴런(6)은 상기 적어도 하나의 이웃 뉴런(6')의 입력 신호들(12) 및 상기 검출기(4)의 출력(11)을 기반으로 출력을 생성할 수 있는, 이미지 센서.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 각 뉴런(6)은 상기 뉴런(6)에 대한 현재 입력들(11, 12) 및 상기 뉴런(6)의 현재 상태를 기반으로 출력(13)을 생성할 수 있는, 이미지 센서.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 신경 네트워크(5)는 스파이크 신경 네트워크인, 이미지 센서.

청구항 5

이전 항들 중 어느 한 항에 있어서, 각 검출기(4)와 상기 처리 수단 사이의 거리(7)는 최대 100마이크로미터, 바람직하게는 최대 50마이크로미터, 더 바람직하게는 최대 25마이크로미터, 가장 바람직하게는 최대 10마이크로미터인, 이미지 센서.

청구항 6

이전 항들 중 어느 한 항에 있어서, 상기 복수의 픽셀 센서들(3)은 상기 처리 수단에 적응된, 이미지 센서.

청구항 7

이전 항들 중 어느 한 항에 따른 이미지 센서(1) 및 상기 이미지 센서에서 장면의 이미지를 생성할 수 있는 광학 장치를 포함하는 광학 감지 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 시스템(1)은 적어도 하나의 광원을 더 포함하며, 상기 광원은 상기 장면 상의 점을 조명하도록 적응되며, 상기 광원은 상기 장면 상의 점을 바람직하게는 연속적으로 스캔하도록 적응된 수단을 포함하는, 광학 감지 시스템.

청구항 9

제7항 또는 제8항에 있어서, 상기 네트워크(5)는 상기 네트워크(5)에 대한 입력 신호들의 세트의 특징들을 추출

하도록 훈련된, 광학 감지 시스템.

청구항 10

제7항 내지 제9항 중 어느 한 항에 따른 광학 감지 시스템을 사용하여 장면의 특징을 추출하는 방법으로, 상기 방법은:

- 일련의 펄스들을 수신하도록 상기 신경 네트워크(5)를 적응시키는 단계,
- 뉴런(6)이 각 펄스를 수신한 후 상기 뉴런(6)의 활성화 레벨을 조정하는 단계,
- 상기 활성화 수준이 임계값을 초과하면 출력 신호를 생성하도록 상기 뉴런(6)을 적응시키는 단계,
- 상기 출력 신호를 상기 네트워크(5)의 후속 층에 있는 적어도 하나의 뉴런에게 전파하는 단계, 그리고
- 상기 네트워크(5)의 출력 신호들의 특징들을 추출하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 방법은 시야의 깊이 프로파일을 결정하는 단계를 더 포함하고, 상기 결정 단계는:

- a) 상기 광원에 의해 적어도 하나의 광 패턴을 상기 시야로 투사하는 단계 - 상기 투사는 $10 \mu \text{sec}$ 미만, 바람직하게는 $1 \mu \text{sec}$ 미만의 시간 윈도우에서 발생함 -;
- b) 상기 투사된 패턴을, 상기 시간 윈도우 내의 적어도 하나의 관찰 윈도우 동안에 상기 패턴의 투사와 동기화된 상기 이미지 센서 및 광학 장치에 의해 이미징하는 단계 - 상기 픽셀 센서들은 대응 광검출기에 의해 어떤 광도 검출되지 않을 때에는 거짓 상태에 있으며, 대응 광검출기에 의해 광이 검출될 때에는 참 상태에 있어서 상기 시야를 나타내는 픽셀들의 제1 이진 행렬을 획득함 -;
- c) 상기 시간 윈도우 내에서 하나의 관찰이나 적어도 두 개의 관찰들의 조합에서 획득된 픽셀의 행렬에서 참 상태인 적어도 하나의 이웃 픽셀을 구비한 참 상태인 픽셀들만을 고려하여 픽셀들의 이진 행렬에서 주변 광 노이즈로부터 상기 투사된 패턴을 분리하여, 상기 투사된 패턴을 나타내는 픽셀들의 제2 이진 행렬을 획득하는 단계;
- d) 상기 광원 위치, 상기 이미지 센서 위치 및 픽셀들의 상기 제2 이진 행렬 간의 삼각 측량을 기반으로 상기 투사된 패턴에 대응하는 깊이 프로파일을 계산하는 단계;
- e) 시야 전체에서 단계들 a 내지 d를 반복하여 상기 투사된 패턴을 스캔하여 시야 전체에서 깊이 프로파일을 결정하는 단계를 포함하며,

여기에서 상기 패턴의 각 격리된 요소는 적어도 두 개의 연속된 픽셀들 상에서의 이진 표현으로 확장되는, 방법.

청구항 12

제10항 또는 제11항에 있어서, 상기 방법은:

- 각 검출기(4)의 시간 영역에서 충돌하는 광자들의 강도 및 강도 데이터의 변화를 코딩하는 단계, 그리고
- 상기 신경 네트워크(5)에 의해 상기 강도 및 강도 데이터의 변화를 디코딩하는 단계를 더 포함하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 이미지 센서 및 그런 이미지 센서를 포함하는 광학 감지 시스템에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 효율적인 광학 감지를 위한 이미지 센서 및 그런 이미지 센서를 포함하는 광학 감지 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전통적 또는 AI 기반 이미지 신호 처리 유닛을 사용하여 이미징을 할 때에, 전력 소비는 가장 중요한 파라미터들 중 하나이다. 일반적으로, 상기 유닛의 광 검출기는 프레임 기반 방식으로 충돌하는 광자를 검출한다. 프레임 속도가 높을수록 전체 전력 소비량도 높아진다. 이는 광 검출기들 상에서의 충돌 광자들이 프레임마다 그리

고 연속된 여러 프레임에 걸쳐 동일하게 유지되는 경우에는 불리하다. 이 경우, 상기 유닛이 비슷하거나 동일한 프레임을 반복적으로 처리하므로 프레임 속도가 높아지면 전력 소모만 증가하는 결과가 된다.

[0003] 다른 단점은, 광자가 검출되었는지 여부에 관계없이 모든 광 검출기 출력들을 처리해야 하는 필요로 인한 전력 비효율이다. 예를 들어, 논리 '1'(예: 검출된 광자, 사용 가능한 이미지 정보)과 논리 '0'(예: 광자 없음, 사용 가능한 이미지 정보 없음)의 두 경우 모두에서 광 검출기 출력을 처리해야 하는 것이 필요하다. 그러므로 검출되지 않는 부분도 처리해야 할 필요가 있을 것이며, 이는 불필요한 전력 소모로 이끈다.

[0004] 다른 단점은 광 검출기에서 프로세서로 데이터를 전송하기 위해 데이터 버스가 필요하다는 것이다. 게다가, 각 광 검출기의 출력부에는 미리 정해진 해상도를 갖춘 양자화기가 필요하다. 상기 양자화기의 해상도가 높을수록, 양자화 당 필요한 전력 소비량도 높아진다. 또한 아날로그-디지털 변환기와 RAM도 필요하다. 이 모든 것에는 공간이 필요하지만, 이 구성 요소들 각각에서의 전력 손실로 인해 비효율적인 시스템이라는 결과가 된다.

[0005] 따라서 전력 효율적인 이미지 센서, 광학 감지 시스템, 신호 처리 유닛들이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상기 언급된 문제들 중 적어도 일부를 해결하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 실시예의 목적은 효율적인 이미지 센서 및 이러한 이미지 센서를 포함하는 광학 감지 시스템을 제공하는 것이다. 상기 목적은 본 발명에 따른 디바이스 및 방법에 의해 달성된다.

[0008] 제1 측면에서, 본 발명은 효율적인 광학 감지를 위한 이미지 센서에 관한 것으로, 이 이미지 센서는:

[0009] 복수의 픽셀 센서들 - 각 픽셀 센서는 광 검출기를 포함하고 논리 신호를 출력하도록 적응됨 -, 그리고

[0010] 처리 수단을 포함하며,

[0011] 각 광 검출기는 상기 처리 수단 근처에 위치하고, 각 광 검출기는 처리 수단에 연결되고, 바람직하게는 직접 연결된다는 특징을 갖는다.

[0012] 본 발명의 실시예의 장점은, 직렬화된 데이터와 명령어를 사용하는 기존 프로세서 대신, 예를 들어 신경 네트워크를 사용하여 구현된, 각 픽셀 센서에 대한 대용량 병렬 입력 연결을 갖춘 처리 구조에 의해 감지 정보를 처리한다는 것이다. 가독성을 위해 나머지 설명에서는 신경 네트워크를 주요 구현 사례로 사용하지만, 본 발명은 어레이 내 각 픽셀 센서에 대한 전용의 연결을 가진 극도로 병렬화된 컴퓨팅의 일반화에도 적용 가능하다. 예를 들어, 상기 처리 수단은 적어도 하나의 신경 네트워크로, 다수의 뉴런을 포함하고, 각 광 검출기는 적어도 하나의 대응하는 뉴런 근처에 위치하고, 각 광 검출기는 적어도 하나의 대응하는 뉴런에 연결되고, 바람직하게는 직접 연결된다.

[0013] 본 발명의 실시예의 장점은, 기존 프로세서에 비해 감지 정보의 처리가 훨씬 빠른 속도로, 훨씬 적은 전력으로 이루어진다는 것이다.

[0014] 본 발명의 실시예의 장점은 기존 프로세서가 필요 없다는 것이다.

[0015] 본 발명의 실시예의 장점은 아날로그-디지털 변환기(ADC)가 필요 없다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은 기존의 램(RAM)이 필요 없다는 것이다.

[0016] 본 발명의 실시예의 장점은 전력 효율적인 광학 감지 시스템을 얻는다는 것이다.

[0017] 본 발명의 실시예의 장점은 예를 들어 프레임 기반 이미징의 한계(예: 유사하거나 동일한 프레임을 반복적으로 처리해야 하며 이는 전력 효율이 낮음)와 같은 광 신호 프로세서의 한계가 극복된다는 것이다.

[0018] 본 발명의 실시예의 장점은 상기 검출기가 충돌하는 광자를 검출할 때에만 상기 네트워크를 사용하여 광 데이터를 처리하기 때문에 전력 효율적인 광 감지 시스템이 얻어진다는 것이다.

[0019] 본 발명의 실시예의 장점은 컴팩트한 시스템을 얻을 수 있다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은 네트워크에서 각 검출기와 그 검출기의 대응 뉴런 사이에 데이터 전송을 위한 길고/넓은 버스나 초고속의 직렬 링크가 필

요 없다는 것이다.

- [0020] 본 발명의 실시예의 장점은 검출기와 뉴런 사이의 중간 구성 요소를 피하고, 따라서 시스템의 전력 효율을 증가시킨다는 것이다. 전력 효율성 및 간단한 연결이 획득된다는 장점이 있다.
- [0021] 본 발명의 실시예의 장점은 검출기의 출력이 대응 뉴런에 의해 동시에 처리된다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은 네트워크를 사용하여 효율적이고 빠른 데이터 처리가 얻어진다는 것이다.
- [0022] 본 발명의 제1 측면의 바람직한 실시예는 다음 특징 중 하나 또는 둘 이상의 적합한 조합을 포함한다.
- [0023] 광 검출기는 단일 광자 검출기이며, 바람직하게는 단일 광자 애벌랜치 다이오드(single-photon avalanche diode, SPAD)이다. 본 발명의 실시예의 장점은 SPAD가 양자화기로 작용하여 추가적인 양자화가 필요 없다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은, 상기 다이오드에 충돌하는 광자의 강도 데이터 (및 강도 데이터의 변화)가 상기 다이오드 출력의 시간 영역에서 코딩된다는 것이다.
- [0024] 각 검출기와 그에 대응하는 뉴런 사이의 거리는 바람직하게는 최대 100 마이크로미터, 바람직하게는 최대 50 마이크로미터, 더 바람직하게는 최대 25 마이크로미터, 가장 바람직하게는 10 마이크로미터이다. 본 발명의 실시예의 장점은 각 검출기와 그 검출기의 대응 뉴런 사이에 짧고 거의 즉각적인 연결이 얻어진다는 것이다.
- [0025] 복수의 픽셀 센서들은 복수의 뉴런들 위에 적층될 수 있다. 본 발명의 실시예의 장점은 상기 픽셀 센서와 상기 뉴런 사이의 가장 짧은 연결이 얻어진다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은 픽셀 센서와 뉴런 사이의 데이터 전송을 위한 긴 버스가 필요 없다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은, 상기 픽셀 센서와 상기 뉴런 사이의 연결이 고정되어 있더라도 각 뉴런에서의 가중치는 설정 및 재설정이 가능하다는 것이다.
- [0026] 각 뉴런은 적어도 하나의 이웃 뉴런에 연결될 수 있으며, 각 뉴런은 적어도 하나의 이웃 뉴런의 입력 신호와 상기 검출기의 출력을 기반으로 출력을 생성할 수 있다. 본 발명의 실시예의 장점은 더욱 정확한 검출이 얻어진다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은 거짓 양성 검출 및 노이즈가 걸러지고 감소된다는 것이다.
- [0027] 각 뉴런은 상기 뉴런으로의 현재 입력과 상기 뉴런의 현재 상태에 기반하여 출력을 생성할 수 있는 것이 바람직하다. 본 발명의 실시예의 장점은 다가올 검출 가능성이 예측된다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은 네트워크가 메모리와 유사한 동작을 한다는 것이다.
- [0028] 상기 네트워크는 일련의 펄스들에 반응하도록 적응되는 것이 바람직하다. 본 발명의 실시예의 장점은, 상기 단일 검출기 출력 (펄스 또는 스파이크 열)이 상기 신경 네트워크 입력과 호환된다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은, 상기 검출기의 출력을 상기 신경 네트워크가 수용하도록 변환할 필요가 없다는 것이다.
- [0029] 상기 신경 네트워크는 유리하게는 스파이크 신경 네트워크이다. 본 발명의 실시예의 장점은 효율적인 신경 네트워크를 사용하여 전력 효율적인 광학 감지 시스템을 얻는다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은 스파이크 신경 네트워크를 사용하여 더 빠른 광 감지 속도를 얻는다는 것이다. 본 발명의 실시예의 장점은, 상기 네트워크가 검출기의 출력과 호환된다는 것이다.
- [0030] 제2 측면에서, 본 발명은 제1 측면에 따른 이미지 센서와, 상기 이미지 센서상에서 장면의 이미지를 생성할 수 있는 광학 장치를 포함하는 광학 감지 시스템에 관한 것이다.
- [0031] 본 발명의 제2 측면의 바람직한 실시예는 다음 특징 중 하나 또는 둘 이상의 적합한 조합을 포함한다:
- [0032] 상기 시스템은 또한 적어도 하나의 광원을 포함하며, 여기에서 상기 광원은 장면상의 점을 조명하도록 적응되고, 상기 광원은 장면의 상기 점을 바람직하게는 연속적으로 스캔하도록 적응된 수단을 포함하며,
- [0033] 상기 네트워크는 상기 네트워크로의 입력 신호들의 세트의 특징을 추출하도록 훈련되며,
- [0034] 상기 특징들은 장면에서 객체들의 질량, 밀도, 움직임 및/또는 근접성을 포함할 수 있다.
- [0035] 제3 측면에서, 본 발명은 제2 측면에 따른 광학 감지 시스템을 사용하여 장면의 특징을 추출하는 방법에 관한 것으로, 다음의 단계들을 포함한다:
- [0036] 일련의 펄스들을 수신하도록 상기 신경 네트워크를 적응시키는 단계,
- [0037] 상기 일련의 펄스들을 기반으로 뉴런의 활성화 수준을 조정하는 단계,
- [0038] 상기 활성화 수준이 임계값을 초과하면 출력 신호를 생성하도록 상기 뉴런을 적응시키는 단계,

- [0039] 상기 출력 신호를 상기 네트워크의 후속 층에 있는 적어도 하나의 뉴런에게 전파하는 단계, 그리고
- [0040] 상기 네트워크의 출력 신호들의 특징들을 추출하는 단계.
- [0041] 본 발명의 제3 측면의 바람직한 실시예는 다음 특징 중 하나 또는 둘 이상의 적합한 조합을 포함한다:
- [0042] 이 방법은 시야의 깊이 프로파일을 결정하는 단계를 더 포함하며, 상기 결정 단계는 다음 단계들을 포함한다:
- [0043] 상기 광원에 의해 적어도 하나의 광 패턴을 상기 시야로 투사하는 단계 - 상기 투사는 $10\mu\text{sec}$ 미만, 바람직하게는 $1\mu\text{sec}$ 미만의 시간 윈도우에서 발생함 -;
- [0044] 상기 투사된 패턴을, 상기 시간 윈도우 내의 적어도 하나의 관찰 윈도우 동안에 상기 패턴의 투사와 동기화된 상기 이미지 센서 및 광학 장치에 의해 이미징하는 단계 - 상기 픽셀 센서들은 대응 광검출기에 의해 어떤 광도 검출되지 않을 때에는 거짓 상태에 있으며, 대응 광검출기에 의해 광이 검출될 때에는 참 상태에 있어서 상기 시야를 나타내는 픽셀들의 제1 이진 행렬을 획득함 -;
- [0045] 상기 시간 윈도우 내에서 하나의 관찰이나 적어도 두 개의 관찰들의 조합에서 획득된 픽셀의 행렬에서 참 상태인 적어도 하나의 이웃 픽셀을 구비한 참 상태인 픽셀들만을 고려하여 픽셀들의 이진 행렬에서 주변 광 노이즈로부터 상기 투사된 패턴을 분리하여, 상기 투사된 패턴을 나타내는 픽셀들의 제2 이진 행렬을 획득하는 단계;
- [0046] 상기 광원 위치, 상기 이미지 센서 위치 및 픽셀들의 상기 제2 이진 행렬 간의 삼각 측량을 기반으로 상기 투사된 패턴에 대응하는 깊이 프로파일을 계산하는 단계; 두 개 이상의 이미지 센서 인스턴스들의 상대적 위치와 대응하는 제2 이진 행렬들을 사용하여 두 개 이상의 이미지 센서 인스턴스들 사이에서 삼각 측량이 또한 달성될 수 있다.
- [0047] 시야 전체에서 단계들 a 내지 d를 반복하여 상기 투사된 패턴을 스캔하여 시야 전체에서 깊이 프로파일을 결정하는 단계;
- [0048] 여기에서 상기 패턴의 각 격리된 요소는 적어도 두 개의 연속된 픽셀들 상에서의 이진 표현으로 확장되며,
- [0049] 이 방법은 또한 다음 단계들을 더 포함한다:
- [0050] 각 검출기의 시간 영역에서 충돌하는 광자들의 강도 및 강도 데이터의 변화를 코딩하는 단계, 그리고
- [0051] 상기 신경 네트워크에 의해 상기 강도 및 강도 데이터의 변화를 디코딩하는 단계,
- [0052] 이 방법은 네트워크를 훈련하여 상기 네트워크로의 입력 신호들의 세트의 특징들을 추출하는 단계를 더 포함한다.
- [0053] 본 발명의 상기 및 기타 특징, 특성 및 이점은 발명의 원리를 예시적으로 설명하는 첨부 도면과 함께 이하의 상세한 설명을 통해 명확해질 것이다. 이러한 설명은 단지 예시를 위한 것이며, 발명의 범위를 제한하지 않는다.
- [0054] 본 개시는 이하의 설명과 첨부 도면을 통해 더욱 자세히 설명될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0055] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 신경 네트워크(5)를 포함하는 이미지 센서(1)의 평면도를 나타낸다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 센서(1)와 신경 네트워크(5)의 단면도를 도시하며, 여기에서 각 검출기(4)는 적어도 하나의 대응 뉴런(6) 근처에 있다. 특정 깊이의 신경 네트워크의 경우, 네트워크 내 후속 층에서 추가적인 뉴런이 존재할 수 있다. 따라서 네트워크(5)는 이미지 센서(1)에 대응하거나 이와 인터페이스하는 뉴런에만 국한되지 않는다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 이미지 센서(1)와 신경 네트워크(5)의 단면도를 도시하며, 여기에서 픽셀 센서(3)의 검출기(4)는 뉴런(6) 위에 적층되며, 그리고 각 픽셀 센서(3)와 해당 인터페이스 뉴런(6) 사이의 전기적 연결을 포함하여 픽셀 센서 층과 뉴런 층 사이에 물리적 연결이 존재한다. 물리적 연결은 웨이퍼들 간 본딩을 통해 획득될 수 있으며, 전기적 연결은 Cu-Cu 연결을 사용하여 생성되며, 검출기 신호들을 사전 조정하거나 처리하는 것은 물론이며 검출기들을 제어 및/또는 바이어스하기 위한 로컬 픽셀 회로가 픽셀 센서 층에 있을 수 있다. 픽셀 센서 층의 제조 복잡성을 줄이기 위해 이러한 회로는 신경 네트워크 층(5)에 부분적으로 또는 완전히 구현될 수 있다. 예를 들어, MOS 트랜지스터를 사용하는 모든 회로가 신경 네트워크 층에 구현되면 MOS 트랜지스터를 만드는 데 필요한 처리 단계를 피할 수 있다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 센서(1)와 신경 네트워크(5)의 평면도를 나타내며, 픽셀 센서들(3)의 검출기들(4)이 뉴런들(6) 위에 적층된다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 센서(1)와 신경 네트워크(5)의 단면도를 도시하고 있으며, 여기에서 검출기(4)와 신경 네트워크(6) 각각에 대해 적어도 1개의 접촉 패드(8)가 서로 적층되어 있다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 신경 네트워크(5) 내의 뉴런(6)에 공급하는 복수의 검출기(4)를 나타낸다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 스파이크 신경 네트워크를 이용한 이미지 센서(1)의 구현예를 나타낸다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른, 상기 픽셀 센서(3)상의 충돌하는 광자들의 코딩 및 디코딩 강도를 나타낸다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 신경 네트워크(5)를 사용하여 검출기 출력(11)에서 열 및 주변 노이즈를 감소시키는 것을 보여준다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 펄스 결합 신경 네트워크(27)에서 뉴런의 동작을 나타낸다.

도 11은 픽셀 센서들의 어레이로부터의 세 개의 연속적인 입력 신호를 보여주며, 여기에서 (a, b, c)는 주변 및 열 노이즈가 없는 이상적인 경우의 검출이며, (d, e, f)는 주변 및 열 노이즈가 있는 현실적인 경우의 검출이며, (g, h, i)는 본 발명의 실시예에 따른 필터링된 출력이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따른, (a) 복수의 픽셀 센서(35), 처리 유닛(38) 및 메모리 요소(37)를 포함하는 이미지 센서(34)의 단면도, (b) 행렬 구성에서의 상기 복수의 픽셀 센서(35)의 평면도를 보여준다.

도 13은 본 발명의 실시예에 따른, 행렬 구성에서의 상기 복수의 픽셀 센서(35)와 그것의 검출(39)을 보여주며, 여기에서 두 개의 검출(39', 39'')은 하나의 픽셀 센서(35')에서의 두 개의 연속적인 시간 단계들(T1, T2)에서 발생한다.

도 14는 본 발명의 실시예에 따른, 행렬 구성에서의 상기 복수의 픽셀 센서(35)와 그것의 검출(39)을 도시하며, 여기에서 두 개의 검출(39', 39'')은 두 개의 연속적인 시간 단계(T1, T2)에서 두 개의 바로 이웃하는 픽셀 센서(35', 35'')에서 발생하고, 다가오는 시간 인스턴스(T3)에서 다가오는 검출(39''')은 외삽된다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따른, 행렬 구성에서의 상기 복수의 픽셀 센서(35)와 그것의 검출(39)을 도시하며, 여기에서 두 개의 검출(39', 39'')은 두 개의 연속적인 시간 단계(T1, T2)에서 두 개의 바로 이웃하지 않는 픽셀 센서(35', 35'')에서 발생하고, 다가오는 시간 인스턴스(T3)에서 다가오는 검출(39''')은 외삽된다.

도 16은 본 발명의 실시예에 따른 제1 연속 시간 인스턴스(T1)와 제2 연속 시간 인스턴스(T2) 사이의 장면(44)에서 삼각형 모양의 객체(43)가 움직이는 예를 보여준다.

청구항 내의 어떠한 참조 기호도 범위를 제한하는 것으로 해석되지 않아야 한다. 다양한 도면에서 동일한 참조 기호들은 동일하거나 유사한 요소를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0056] 본 발명은 효율적인 이미지 감지를 위한 이미지 센서에 관한 것이다.

[0057] 본 발명은 특정한 실시예와 도면을 참조하여 설명될 것이지만, 본 발명은 이에 한정되는 것이 아니라 특허청구 범위에 의해서만 한정된다. 설명된 도면은 개략적인 것일 뿐이며 제한적이지 않다. 도면에서 일부 요소의 크기가 과장되어 있을 수 있으며, 설명을 위한 목적으로 실제 비율에 맞게 그려지지 않았을 수 있다. 이러한 치수 및 상대적 치수는 발명의 실시예에 따른 실제의 축소에 대응하지 않는다.

[0058] 설명 및 청구항에서 사용되는 제1, 제2 등의 용어는 유사한 요소를 구별하는 데 사용되며, 시간적, 공간적, 순위적 또는 다른 방식으로 순서를 설명하는 데 필수적이지는 않다. 이렇게 사용된 용어는 적절한 상황 하에 상호 교환이 가능하며, 여기에 기술된 발명의 실시예는 여기에 기술 또는 예시된 것 외의 다른 순서로 작동할 수 있다는 점이 이해되어야 한다.

[0059] 게다가, 명세서와 청구항에서 상단, 하단 등의 용어는 설명 목적으로 사용되었으며 반드시 상대적인 위치를 설명하는 데 필수적인 것은 아니다. 이렇게 사용된 용어는 적절한 상황 하에 상호 교환이 가능하며, 여기에 기술된 발명의 실시예는 여기에 기술 또는 예시된 것 외의 다른 방향으로 작동할 수 있다는 점이 이해되어야 한다.

[0060] 여기에 제공된 설명에는 수많은 구체적인 세부 사항이 제시된다. 그러나 본 발명의 실시예는 이러한 구체적인

세부 사항 없이도 실시될 수 있다는 것이 이해된다. 다른 경우에는, 이 설명의 이해를 방해하지 않기 위해 잘 알려진 방법, 구조 및 기술이 자세히 설명되지 않는다.

- [0061] 본 명세서 전체에서 "일 실시예" 또는 "실시예"에 대한 언급은 해당 실시예와 관련하여 설명된 특정한 특징, 구조 또는 특성이 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 포함된다는 것을 의미한다. 따라서, 본 명세서의 여러 곳에서 "일 실시예에서" 또는 "실시예에서"라는 문구가 나타나는 것은 반드시 모두 동일한 실시예를 참조하는 것은 아니다. 더욱이, 특정한 특징, 구조 또는 특성은 본 개시로부터 당업자에게 명백할 바와 같이 하나 이상의 실시예에서 임의의 적절한 방식으로 결합될 수 있다.
- [0062] 마찬가지로, 발명의 예시적인 실시예에 대한 설명에서, 본 개시를 간소화하고 하나 이상의 다양한 발명적 측면에 대한 이해를 돕기 위한 목적으로 발명의 다양한 특징들이 때때로 하나의 실시예, 도면 또는 그에 대한 설명에서 함께 그룹화된다는 것이 인식되어야 한다. 그러나 이러한 개시 방법은 청구된 발명이 각 청구항에 명시적으로 언급된 것보다 더 많은 특징을 필요로 한다는 의도를 반영하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 오히려, 이하의 청구항에서 반영하듯이, 발명적인 측면은 앞서 개시된 단일 실시예의 모든 특징보다 적다. 따라서, 상세한 설명에 따른 청구항은 이 상세한 설명에 명시적으로 포함되며, 각 청구항은 본 발명의 별도의 실시예로서 그 자체로 독립되어 있다.
- [0063] 또한, 여기에 설명된 일부 실시예에는 다른 실시예에 포함된 일부 특징들을 포함하지만 다른 기능은 포함하지 않는 반면, 상이한 실시예들의 특징들을 조합하는 것도 본 발명의 범위 내에 있는 것으로 의미하며 상이한 실시예를 형성하며, 이는 당업자라면 이해할 수 있을 것이다. 예를 들어, 다음의 청구항에서, 청구된 실시예 중 임의의 것은 임의의 조합으로 사용될 수 있다.
- [0064] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 본 발명의 개시에서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 같은 의미를 가진다. 추가적인 지침을 통해, 본 발명의 교시를 더 잘 이해하기 위해 용어 정의가 포함된다.
- [0065] 본 문서에서 사용되는 다음 용어는 다음과 같은 의미를 가진다:
- [0066] 본 문서에서 사용되는 "하나", "한", "상기"는 문맥상 명확히 달리 규정되지 않는 한 단수 및 복수 대상을 모두 지칭한다. 예를 들어, "오염 물질"은 하나 이상의 오염 물질을 나타낸다.
- [0067] 끝점에 따른 숫자 범위의 제시하는 것은 해당 범위에 포함된 모든 숫자와 분수, 그리고 제시된 끝점들을 포함한다.
- [0068] 제1 측면에서, 본 발명은 청구항 1에 따른 효율적인 이미지 감지를 위한 이미지 센서에 관한 것이다.
- [0069] 상기 이미지 센서는 복수의 픽셀 센서들을 포함한다. 각 픽셀 센서는 논리 신호(예를 들어 일련의 '1'과 '0', 예를 들어 '1'은 검출이고 '0'은 검출되지 않음)를 출력하도록 적응된 광 검출기를 포함한다. 상기 이미지 센서는 또한 처리 수단을 포함한다. 상기 이미지 센서는 각 광 검출기가 상기 처리 수단의 근처에 위치한다는 점에서 특징이 있다. 예를 들어, 각 광 검출기와 상기 수단 사이의 거리로 인한 전력 소비가 줄어들도록 근접해 있다. 이는 컴팩트한 센서를 얻는 데 유리하며, 동시에 긴 연결이나 데이터 전송을 위한 길고/넓은 버스 또는 상이한 구성 요소들 간의 (예: 상기 광 검출기 각각과 상기 처리 수단 간의) 초고속 직렬 링크로 인한 전력 손실이 최소인 센서를 얻는 데 유리하다. 그런 분산 컴퓨팅 아키텍처는 또한 훨씬 더 빠르다.
- [0070] 상기 수단은 각 검출기에 병렬로 연결된다. 예를 들어, 각 광 검출기의 출력은 처리 수단에 의해 병렬로 수신 (또는 처리 수단에 공급되거나 연결)되고, 예를 들어, 상기 수단은 상기 광 검출기 출력을 수신하기 위한 복수의 입력 포트를 갖는다. 이는 처리 수단에 의해 픽셀 센서의 출력에서 (즉, 광 검출기의 출력에서) 동시에 데이터를 처리하는 데 (즉, 병렬로 데이터를 처리하는 데) 유리하다. 예를 들어, 상기 처리 수단은 복수의 처리 요소를 포함하고, 각 요소는 하나의 광 검출기에 병렬 방식으로 연결된다. 예를 들어, 1,000,000개의 픽셀 센서에 대해, 각 픽셀 센서의 출력에서 (즉, 각 광 검출기의 출력에서) 1비트의 데이터가 사용 가능하다면, 1,000,000비트의 데이터가 처리 수단에 입력되어 한 번에 동시에 처리된다. 또 다른 경우에는, 1,000,000 비트의 데이터가 처리 수단에 입력되어 처리되며, 이런 식으로 계속된다. 이는 처리 수단을 사용하여 이 모든 데이터를 효율적이고 빠른 방식으로 입력하고 처리하는 데 유리하다.
- [0071] 상기 처리수단은 바람직하게는 적어도 하나의 신경 네트워크이다. 하지만, 본 발명은 신경 네트워크의 사용에 한정되지 않는다. 본 문서 전반에 걸쳐 신경 네트워크를 참조하여 설명된 본 발명의 다양한 특징들은 위에서 설명한 바와 같이 병렬 분산 컴퓨팅 아키텍처의 처리 유닛을 이용하여 실현될 수도 있다.

- [0072] 상기 해당 네트워크는 다수의 뉴런들을 포함한다. 상기 이미지 센서는 각 광 검출기가 적어도 하나의 해당 뉴런 근처에 위치한다는 점에서 특징이 있다. 예를 들어, 각 광 검출기와 뉴런 사이의 거리로 인한 전력 소비가 줄어들도록 근접해 있다. 예를 들어, 각 광 검출기는 자신에 대응하는 하나의 뉴런을 가진다. 예를 들어, 각 광 검출기와 상기 뉴런 사이의 거리는 최소 거리이며, 예를 들면, 그것들은 가능한 한 가깝다. 이 방법은 컴팩트한 센서를 얻는 데 유리하며, 동시에 전력 손실이 최소화된 센서를 얻는 데도 유리하다. 예를 들어, 상기 전력 손실은 긴 연결로 인해 발생할 수도 있고, 데이터 전송을 위한 길고/넓은 버스 또는 서로 다른 구성 요소들 간의 (예: 상기 광 검출기와 상기 뉴런 간의) 초고속 직렬 링크로 인해 발생할 수도 있다.
- [0073] 신경 네트워크는 다수의 광 검출기로부터의 감지 정보를 처리한다. 예를 들어, 상기 신경 네트워크는 기존의 프로세서를 대체한다. 이러한 방식은 통상적인 프로세서를 제거하며 그리고, 광 검출기에 의해 생성된 아날로그 데이터를 상기 프로세서에서 필요로 하는 디지털 데이터로 변환하는 데 필요한 아날로그-디지털 변환기(ADC)에 대한 필요성도 제거한다는 점에서 장점이 있다. 또한, 신경 네트워크 내의 뉴런은 적어도 일시적으로라도 이력을 저장할 수 있기 때문에, 예를 들어, 뉴런의 상태는 그 뉴런의 이전 상태에 의해 영향을 받기 때문에, 기존의 RAM(Random Access Memory)이 필요 없다는 점에서 장점이 있다. 이러한 모든 구성 요소들 (기존 프로세서, 기존 RAM, ADC)와 그것들의 연결, 그리고 그 사이에서의 모든 신호 변환이 제거되며, 이는 이미지 센서의 효율성을 높아지게 한다.
- [0074] 신경 네트워크는 기존 프로세서보다 훨씬 낮은 전력 소모로 감지 정보를 더 빠른 속도로 처리할 수 있다는 점에서 특히 유리하다. 예를 들어, 기존의 프로세서는 논리 '1'뿐만 아니라 논리 '0'과 같은 모든 수신 감지 데이터를 처리해야 하지만, 신경 네트워크는 논리 '1' 데이터만 처리하고 '0' 데이터는 추가 처리하지 않는다. 예를 들어, 기존의 프로세서는 특히 높은 프레임 속도에서 논리 '0' 데이터를 반복적으로 처리할 때 전력을 소모하지만, 본 발명에서는 정보가 없으므로 추가 처리가 필요하지 않아서 '0' 데이터를 처리할 필요가 없다.
- [0075] 각 광 검출기는 최소한 하나의 해당 뉴런에 연결된다. 예를 들어, 각 광 검출기의 출력은 적어도 하나의 해당 뉴런에 의해 수신된다 (또는 이에 공급되거나 연결된다). 이는 픽셀 센서의 출력(즉, 광 검출기의 출력)에서 대응 뉴런들에 의해 동시에 데이터를 처리(즉, 병렬로 데이터 처리)하는 데 유리하다. 예를 들어, 1,000,000개의 픽셀 센서에 대해, 각 픽셀 센서의 출력에서 (즉, 각 광 검출기의 출력에서) 1비트의 데이터가 사용 가능하다면, 1,000,000 비트의 데이터가 신경 네트워크에 입력되어 한 번에 동시에 처리된다. 또 다른 경우에는, 1,000,000 비트의 데이터가 신경 네트워크에 입력되어 처리되며, 이런 식으로 계속된다. 이는 상기 네트워크를 사용하여 이 모든 데이터를 효율적이고 빠른 방식으로 입력하고 처리하는 데 유리하다.
- [0076] 그런 센서에서 기존의 프로세서와 기타 필수 구성 요소(예: ADC 및 기존 RAM)를 제거하는 것은 명확하지 않다. 이미지 센서를 신경 네트워크에 결합하면 이미지 센서의 출력과 신경 네트워크로의 입력 사이에 불일치가 발생할 수 있다. 이는 신경 네트워크 근처에 검출기들을 구비하는 것을 방지할 수 있을 것이다. 본 발명은 논리 신호를 출력하도록 적응된 광 검출기를 구비함으로써 가능해지며, 이 광 검출기는 신경 네트워크에 의해 수용되는 입력(즉, 일련의 펄스들)을 생성할 수 있다. 바람직한 실시예에서, 상기 광 검출기는 단일 광자 검출기이다.
- [0077] 바람직한 실시예에서, 상기 각각의 광 검출기와 그에 대응하는 뉴런 사이(또는 각각의 광 검출기와 상기 처리 수단 사이)에 동기화 요소, 예를 들어 플립플롭이 존재할 수 있다. 이는 비동기 펄스나 스파이크(즉, 상기 광 검출기에서 나오는 펄스)를 동기 펄스나 스파이크(즉, 신경 네트워크로 들어가는 펄스)로 변환하는 것을 가능하게 한다. 이는 동기식 동작이나 동기화된 입력 데이터를 필요로 할 수 있는 다양한 유형의 신경 네트워크에서 본 발명이 수행되는 것을 가능하게 한다.
- [0078] 바람직한 실시예에서, 그런 네트워크는 예를 들어 인간의 뇌의 생물학적 신경 네트워크들을 모방하여, 예를 들어 정보(예: 디지털 이미지나 비디오 시퀀스 형태의 시각적 입력)가 인간의 뇌에서와 유사한 방식으로 처리되고 분석되도록 한다.
- [0079] 바람직한 실시예에서, 각 픽셀 검출기는 펄스들의 스트림을 생성할 수 있는데, 여기에서 각 펄스는 충돌하는 광자를 검출한 결과이다. 펄스 사이의 시간 간격은 검출되는 광 신호의 강도와 관련이 있다. 주어진 시간 윈도우에 대한 강도가 높을수록 펄스들 간 평균 시간은 짧아진다. 물론, 해당 기술 분야 종사자라면 누구나 알고 있듯이 펄스들 간의 실제 시간은 포아송 분포를 따르며, 여기에서 평균 시간은 광 신호의 세기에 따라 정의된다.
- [0080] 바람직한 실시예에서, 상기 이미지 센서는 바람직하게는 100nm와 10마이크로미터 사이, 바람직하게는 100nm와 1마이크로미터 사이에서 작동한다. 예를 들어, 각 광 검출기는 바람직하게는 100nm와 10마이크로미터 사이의 검출 윈도우, 더욱 바람직하게는 사용되고 있는 광원의 파장에 의해 정의되는 광학 윈도우의 범위 내에서 상기 검

출기에 충돌하는 광자들을 검출할 수 있다. 예를 들어, 중심 파장이 850nm인 광원을 사용하여 감지 시스템을 구축하고, 검출을 위한 광학 윈도우도 동일한 파장을 주위에 또한 중심을 둔다.

[0081] 바람직한 실시예에서, 단일 광자 검출기는 단일 광자 애벌런치 다이오드(single-photon avalanche diode, SPAD)일 수 있다. 이러한 다이오드는 광자 양자화기 역할을 하며, 이는 센서에서 추가적인 양자화기에 대한 필요성을 없앤다. 또한, 이러한 다이오드는 충돌하는 광자의 강도와 강도 변화 정보가 해당 다이오드 출력의 시간 영역 정보에 코딩되는 것을 허용한다. 이는 해당 다이오드의 출력 특성으로 인한 것이다. 상기 출력은 펄스들의 스트림이며, 여기에서 각 펄스는 상기 다이오드에서 검출된 광자에 대응한다. 서로 동일한 간격으로 관찰 윈도우를 설정함으로써 (즉, 검출기의) 두 출력 펄스들 간의 평균 시간 지연이나 시간 차이는 충돌하는 광자들의 강도(예: 광학적 출력)에 따라 달라진다. 예를 들어, 관찰 윈도우에서 검출된 세 개의 광자들의 평균에 대해 해당 검출기의 펄스들 간 평균 시간 차이는 T_1 이다. 반면, 관찰 윈도우에서 검출된 두 광자의 평균에 대해, 해당 검출기의 펄스들 간 평균 시간 차이는 T_2 이고, 여기에서 $T_2 > T_1$ 이다. 따라서 충돌하는 광자들의 강도는 T 가 낮을수록 더 높고, T 가 높을수록 더 낮다. 따라서, 상기 다이오드에 충돌하는 광자의 세기 정보 (그리고 세기의 변화)는 상기 다이오드 출력의 시간 영역에 코딩된다. 이는 기존의 프로세서, 예를 들어 상기 처리 수단을 사용하거나 신경 네트워크를 사용하여 디코딩될 수 있다. 신경 네트워크는 상기 충돌하는 광자의 강도 정보를 얻기 위해 시간 영역 정보만 디코딩할 필요가 있다. 반면, ADC와 프로세서를 사용하는 경우, ADC는 센서 내 모든 다이오드에 대해 각 프레임의 모든 아날로그 데이터를 디지털 영역으로 변환해야 할 필요가 있을 것이며, 그 후에 프로세서가 상기 해당 데이터를 처리해야 할 필요가 있을 것이며, 예를 들어, 상기 다이오드 상의 상기 광자의 강도를 기록하고 상기 광자들을 카운트하여 축적할 필요가 있을 것이다. 이는 많은 전력을 소모하고 시간이 많이 걸리는 프로세스이며, 특히 프레임 속도가 높을수록, 특히 광 검출기들의 수가 많을수록 더 그렇다. 신경 네트워크는 그 신경 네트워크의 효율적이고 빠른 특성으로 인해서 (기존 프로세서와 비교했을 때) 상기 시간 영역 정보를 디코딩하는 데 매우 유리하다.

[0082] 바람직한 실시예에서, 각 광 검출기는 바람직하게는 상기 신경 네트워크 내의 적어도 하나의 대응 뉴런에 (또는 상기 처리 수단에) 직접 연결될 수 있다. 예를 들어, 상기 검출기와 상기 네트워크 (또는 상기 처리 수단) 사이에는 중간 구성 요소가 존재하지 않는다. 예를 들어, 각 검출기는 대응하는 뉴런 (또는 상기 처리 수단)에 직접 연결된다. 이는, 중간 구성 요소, 예를 들면, 전력 소모가 많은 양자화기를 사용하지 않으므로 전력 효율적인 센서를 얻는 데 유리하다.

[0083] 바람직한 실시예에서, 각 검출기와 그에 대응하는 뉴런 (또는 상기 처리 수단) 사이의 거리는 최대 100마이크로미터, 바람직하게는 최대 50마이크로미터, 더 바람직하게는 최대 25마이크로미터, 가장 바람직하게는 10마이크로미터일 수 있다. 이는 각 검출기와 해당 뉴런(또는 상기 처리 수단) 사이에 짧고 거의 즉각적인 연결을 얻는 데 유리하다. 예를 들어, 상기 연결은 거의 즉각적이며, 예를 들어 각각의 검출기와 뉴런 (또는 상기 처리 수단) 상의 금속 패드들과 같은 금속 연결만이 서로 위에 배치된다 (예를 들어 서로 보완하거나, 예를 들어 영구적으로 서로 결합됨). 예를 들어, 상기 패드들의 두께는 검출기와 대응 뉴런 (또는 상기 처리 수단) 사이의 유일한 분리 요소이다. 예를 들어, 어떤 전선 연결도 존재하지 않는다. 덜 선호되는 실시예에서, 예를 들어 상기 검출기와 그에 대응하는 뉴런 (또는 상기 처리 수단) 사이에 짧은 연결을 구비함으로써 상기 거리는 최대 1000마이크로미터, 바람직하게는 최대 500마이크로미터일 수 있다.

[0084] 바람직한 실시예에서, 각 검출기 및 그 검출기와 가장 가까운 이웃 검출기 사이의 거리는 최대 20마이크로미터, 바람직하게는 최대 10마이크로미터, 더 바람직하게는 최대 5마이크로미터, 가장 바람직하게는 최대 1마이크로미터일 수 있다. 각 뉴런 및 그 뉴런과 가장 가까운 이웃 뉴런 사이의 거리도 비슷하게 조정된다.

[0085] 바람직한 실시예에서, 두 뉴런들 사이의 거리와 상기 검출기와 대응 뉴런 사이의 거리의 비율은 1:1000 및 1:5 사이, 바람직하게는 1:100 및 1:10 사이일 수 있다. 처리 수단이 신경 네트워크이 아닌 경우에도 이와 유사하게 적용된다.

[0086] 바람직한 실시예에서, 각 검출기는 그 검출기와 가장 가까운 뉴런에 연결될 수 있다 (그리고 그 뉴런에 대응할 수 있다). 그러나 각 검출기에 대한 대응 뉴런이 가장 가까운 것이 아닐 수 있으며, 예를 들어 두 번째로 가까운 뉴런이나 세 번째로 가까운 뉴런일 수 있다.

[0087] 바람직한 실시예에서, 복수의 픽셀 센서들은 복수의 뉴런들 (또는 상기 처리 수단의 복수의 상기 처리 요소들) 위에 적층될 수 있다. 예를 들어, 픽셀 센서는 적층되어 각 검출기가 그 검출기의 대응 뉴런 위에 적층되도록 하며, 그래서 상기 검출기와 상기 뉴런 사이에 최소 거리가 있도록 한다. 적층하는 것은 픽셀 센서를 상기 뉴런

과 매우 가깝게 배열하는 것을 의미할 수 있으며, 예를 들어, 서로 위에 배열하거나 서로 마주보도록 배열하는 것이다. 이는 각 검출기의 출력이 대응 뉴런으로 입력하는 데 바로 이용 가능하게 한다. 예를 들어, 상기 검출기와 상기 뉴런 사이에 최소한의 길이를 갖는 커넥터만이 필요하도록 하며, 바람직하게는 커넥터가 필요하지 않도록 한다. 이는 상기 검출기와 상기 뉴런 사이의 버스 연결에서 발생할 수 있을 추가 손실을 없앤다.

[0088] 바람직한 실시예에서, 상기 픽셀 센서와 상기 뉴런 (또는 상기 처리 수단의 상기 처리 요소) 사이의 연결은 고정될 수 있다. 예를 들어, 적층이 완료된 후에는 픽셀 센서를 다른 뉴런에 다시 연결하는 것이 쉽지 않다. 그러나, 신경 네트워크에서의 각 뉴런의 가중치는 조정 가능(구성 및 재구성 가능)하다. 이는 사용자는 픽셀 센서를 대응 뉴런에서 분리할 필요 없이 신경 네트워크를 재구성하는 것을 가능하게 한다. 마찬가지로, 상기 처리 요소는 재구성될 수 있다.

[0089] 바람직한 실시예에서, 상기 픽셀 센서와 상기 뉴런 (또는 상기 처리 수단) 사이에 정렬 불량이 있을 수 있다. 상기 정렬 불량은 바람직하게는 최대 10마이크로미터, 더욱 바람직하게는 최대 5마이크로미터, 더욱 더 바람직하게는 최대 2마이크로미터, 가장 바람직하게는 최대 1마이크로미터 또는 서브마이크로미터이다. 본 발명의 이미지 센서는 1,000,000개의 픽셀 센서를 포함할 수 있으므로, 정렬 불량을 1마이크로미터 미만으로 쉽게 줄일 수 있다. 이는 예를 들어 정렬 마커를 사용하여 이미지 센서의 왼쪽 상단 모서리와 오른쪽 하단 모서리를 정렬하여 수행되며, 이는 매우 높은 정렬 정확도의 결과를 가져온다.

[0090] 바람직한 실시예에서, 상기 검출기들은 반도체, 예를 들어 실리콘, 게르마늄, GaAs, InGaAs, InGaAsP, InAlGaAs, InAlGaP, InAsSbP 또는 이와 유사한 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 검출기는 서로 다른 반도체의 서로 다른 층들을 포함할 수 있다. 대응 뉴런은 실리콘이나 게르마늄 등과 같은 반도체를 또한 포함할 수 있다. 예를 들어, 신경 네트워크는 서로 다른 재료의 여러 층으로 구성될 수 있다. 검출기와 그것의 대응 뉴런은 예를 들면 전도성 금속을 포함하는 두 개의 접촉 패드들에 의해 연결될 수 있다. 예를 들어, 상기 전도성 금속은 구리, 금, 은, 니켈, 알루미늄, 티타늄 또는 바람직하게는 이들의 조합일 수 있다.

[0091] 바람직한 실시예에서, 검출기와 대응 뉴런은 동일한 칩에 있거나 서로 다른 두 개의 칩에 있을 수 있다. 두 개의 서로 다른 칩의 경우, 접촉 패드는 두 칩 모두에 있을 수 있으며, 예를 들어 해당 두 칩을 서로 위에 적층하여 연결된다.

[0092] 바람직한 실시예에서, 각 검출기는 전도성 금속 연결부, 예를 들면, 금속 패드를 통해 대응 뉴런 (또는 상기 처리 수단)에 연결될 수 있다. 예를 들어, 상기 패드는 각 픽셀 센서(즉, 각 검출기)에 배치되고, 보완 패드는 각 대응 뉴런에 배치된다. 예를 들어, 1,000,000개의 픽셀 센서에는 1,000,000개의 패드가 있고, 상기 픽셀 센서에 대응하는 1,000,000개의 뉴런에는 1,000,000개의 패드가 있다. 각 검출기가 자신의 대응 뉴런과 가까이 있는 것이 유리하며, 그 이유는 이는 추가적인 전선 연결로 인한 추가 손실을 피할 수 있게 하기 때문이다. 예를 들어, 각 검출기와 그 검출기의 대응 뉴런 사이의 추가적인 거리로 인한 추가 손실은 1,000,000배 (즉, 각 픽셀 센서에 대해 누적된 동일한 손실)로 곱해지지만, 본 발명에서는 이를 피할 수 있다.

[0093] 바람직한 실시예에서, 상기 뉴런은 상기 검출기의 출력에 기초하여 발화(즉, 출력 신호를 산출 또는 생성)할 수 있다. 예를 들어, 검출기가 자신에게 광자가 충돌하는 것을 검출하면, 상기 검출기의 출력은 예를 들어 논리 '1'이거나 예를 들어 하나의 펄스이고, 여기에서 상기 뉴런은 예를 들어 상기 검출기의 적어도 하나의 펄스에 기초하여 발화될 수 있다. 반면, 상기 펄스 중 적어도 하나가 없는 경우 뉴런은 발화되지 않을 수 있다. 이러한 방식의 장점은 검출이 없음에 의해 표현된 데이터는 처리할 필요가 없다는 것이다 (기존 프로세서의 경우 논리 '0' 데이터도 처리함). 이는 전력 효율성과 처리 속도를 향상시키며, 메모리와 연산 부담 둘 모두의 부담을 줄여준다.

[0094] 바람직한 실시예에서, 각 뉴런은 적어도 하나의 이웃 뉴런에게 연결될 수 있다. 서로 다른 뉴런은 (예: 링크를 통해) 서로 연결될 수 있다. 예를 들어, 두 개의 이웃 뉴런은 서로 매우 가까이 있을 수 있으며, 예를 들어, 다른 뉴런보다 서로 더 가까울 수 있다. 각 뉴런은 상기 적어도 하나의 이웃 뉴런으로부터의 입력 신호와 상기 검출기 (즉, 대응 검출기)의 출력에 기초하여 발화될 수 있다. 예를 들어, 상기 검출기의 출력이 논리 "1"이 되거나 펄스의 결과를 가져오는 거짓 양성 검출인 경우, 상기 적어도 하나의 이웃 뉴런의 입력 신호는 이것이 거짓 양성 검출인지 참 양성 검출인지를 판별하기 위한 확인 신호로 작용할 수 있다. 이는 노이즈를 줄이고 그 노이즈를 걸러낼 수 있다.

[0095] 이웃 뉴런의 정의는 항상 문자 그대로인 것은 아니며, 예를 들어, 이웃 뉴런은 다른 뉴런의 근처에 있을 수 있으며, 반드시 가장 가까운 뉴런이 아닐 수도 있다.

- [0096] 바람직한 실시예에서, 검출이 거짓 양성인지 참 양성인지 여부를 판단하기 이전에, 뉴런은 또한 인접하지 않은 뉴런에 연결되어 신호를 수신하여, 예를 들어 이미지 센서에서 최소 검출 횟수가 달성되었는지를 판단한다.
- [0097] 바람직한 실시예에서, 각 검출기는 역방향 바이어스 구성으로 배열될 수 있다. 검출기는 자신에 충돌하는 단일 광자를 검출할 수 있다. 검출기는 광자가 검출되면 전기적 검출 신호를 출력하는 출력부를 구비한다. 예를 들어, 검출 신호는 논리 '1'을 포함하는 신호 (예: 검출)로 표현될 수 있고, 반면 검출 신호가 없는 경우 논리 '0'을 포함하는 신호(예: 검출 없음)로 표현될 수 있다. 대안으로, 검출 신호는 펄스 신호로 표현되거나 펄스 신호의 결과를 가져올 수 있으며, 예를 들어, 논리 '0'에서 논리 '1'로 전환한 다음 다시 논리 '1'에서 논리 '0'으로 전환하는 반면, 검출이 없으면 그런 펄스 신호가 없는 것으로 표현될 수 있다 (또는 펄스 신호가 없는 결과를 가져올 수 있다).
- [0098] 바람직한 실시예에서, 상기 네트워크는 뉴런들의 적어도 하나의 층을 포함할 수 있다. 바람직하게는, 상기 네트워크는 뉴런의 입력층, 뉴런의 출력층, 그리고 입력층과 출력층 사이에 있는 복수의 중간층(예: 적어도 하나의 층, 바람직하게는 복수의 층들)을 포함하여 데이터 처리를 수행하여, 예를 들어, 데이터를 분석하고 장면에 있는 객체의 특징을 추출한다.
- [0099] 바람직한 실시예에서, 한 층 내 각 뉴런은 다음 층 내 적어도 하나의 뉴런에, 바람직하게는 복수의 뉴런들에 연결될 수 있다. 예를 들어, 각 검출기는 입력 층의 적어도 하나의 뉴런, 바람직하게는 복수의 뉴런들에 연결된다. 예를 들어, 입력 층에서의 각 뉴런은 제2 층 내 적어도 하나의 뉴런에 연결되며, 바람직하게는 제2 층의 복수의 뉴런들에 연결되며, 이하 마찬가지이다.
- [0100] 바람직한 실시예에서는 1,000,000개의 픽셀 센서가 있을 수 있고, 각 센서에 대해 하나의 상응하는 뉴런 (또는 상기 각 센서에 대해 하나의 상응하는 처리 요소)이 있을 수 있다. 따라서, 상기 네트워크의 입력층에는 1,000,000개의 뉴런들이 있을 수 있으며, 상기 뉴런들은 1,000,000개의 픽셀 센서에 1,000,000개의 연결들에 의해 연결되어 있고, 각 뉴런은 그 뉴런에 대응하는 하나의 검출기의 출력을 수신한다. 또한, 상기 네트워크의 출력층에는 1,000,000개의 뉴런이 있을 수 있으며, 상기 네트워크 내 입력층과 출력층 사이에 있는 각 중간층에 대해서 최소 1,000,000개의 뉴런이 있을 수 있다.
- [0101] 바람직한 실시예에서, 상기 신경 네트워크는 상기 검출기 출력의 데이터를 처리하도록 훈련될 수 있다. 예를 들어, 상기 네트워크는 상기 검출기 출력의 시간 영역 정보를 디코딩하도록 훈련될 수 있다. 예를 들어, 상기 네트워크는 상기 검출기 출력의 시간 영역 정보를 사용하여 상기 검출기에 충돌하는 광자들의 강도 및/또는 강도 변화 정보를 디코딩하도록 훈련될 수 있다. 신경 네트워크를 사용하여 각 검출기의 출력을 처리하는 것은 기존 프로세서를 사용하여 출력을 처리하는 것보다 훨씬 빠른 속도와 훨씬 적은 전력으로 수행된다.
- [0102] 바람직한 실시예에서, 상기 네트워크는 예를 들어, 미리 결정된 인스턴스에서, 상기 네트워크로의 입력 신호들의 세트, 예를 들어, 입력 신호들의 결합된 세트의 특징들을 추출하도록 훈련될 수 있다. 상기 특징은 장면, 예를 들어, 분석 및/또는 이미지화될 장면에서의 객체의 질량, 밀도, 움직임 및/또는 근접성 (예: 서로로부터의 근접성 또는 상기 검출기로부터의 근접성)일 수 있다. 특징들의 다른 예로는 강도 값, 윤곽선, 초고속 이벤트, 형광 수명 이미징 등이 있을 수 있다. 예를 들어, 상기 검출기는 장면에서 적어도 하나의 객체, 바람직하게는 복수의 객체를 모니터링하는데, 상기 검출기에 충돌하는 광자는 상기 검출기에 의해 일련의 펄스들로 변환되어 상기 네트워크에 입력된다. 이후 상기 네트워크는, 예를 들어 상기 입력에 변환을 적용하여 상기 입력을 분석하고 상기 특징들을 추출한다. 따라서, 상기 네트워크는 분석 모듈로서의 역할을 한다. 그럼에도 불구하고, 상기 신경 네트워크는 상기 장면의 이미지를 또한 재생할 수 있다. 예를 들어, 이미지 표현 모듈은 상기 신경 네트워크의 출력을 가져와 해당 장면의 이미지를 재생성한다.
- [0103] 바람직한 실시예에서, 상기 신경 네트워크는 일련의 펄스들에 반응하도록 적응될 수 있다 (즉, 일련의 펄스들의 입력을 받도록 적응될 수 있다). 이는 기존 프로세서보다 훨씬 낮은 전력 소모로 감지 정보를 더 빠른 속도로 처리하는 데 특히 유리하다. 예를 들어, 상기 네트워크에 의해 수용되기 위해 상기 검출기의 출력을 변환할 필요가 없다. 예를 들어 신경 네트워크는 스파이크(spiking) 신경 네트워크이거나 펄스 결합(pulse coupled) 신경 네트워크일 수 있다. 바람직한 실시예에서, 스파이크 신경 네트워크는 스파이크 합성 신경 네트워크(spiking convolutional neural network, SCNN) 또는 스파이크 순환 신경 네트워크(spiking recurrent neural network, SRNN)일 수 있다.
- [0104] 바람직한 실시예에서, 신경 네트워크는 스파이크 신경 네트워크를 포함한다. 상기 스파이크 네트워크의 입력층에 제공되는 입력은 일반적으로 일련의 펄스들 또는 스파이크들이다. 예를 들어, 입력 층 내 각 뉴런은 일련의

스파이크들을 (예를 들면, 적어도 하나의 대응 검출기 출력으로부터의) 입력으로 수신한다. 이러한 입력 스파이크는 여러 층들을 통해 전송된다. 출력층에서의 출력은 일반적으로 일련의 펄스들이나 스파이크들이다.

[0105] 바람직한 실시예에서, 상기 스파이크 신경 네트워크에서, 상기 뉴런들 사이에 세 가지 유형의 연결 중 적어도 하나가 존재할 수 있다. 상기 연결들은 피드포워드 연결(즉, 입력층으로부터 중간층을 거쳐 출력층으로의)일 수 있다. 상기 연결들은 대안으로 부정적인 측면 연결 또는 상호 연결일 수도 있다.

[0106] 바람직한 실시예에서, 스파이크 신경 네트워크 내 각 뉴런은 통합-발화(integrate-and-fire) 뉴런으로 작동할 수 있다. 상기 네트워크의 뉴런은 자신이 발화하는 임계값을 가질 수 있다. 예를 들어, 상기 뉴런은 임계값을 넘는 순간에만 발화할 수 있다. 뉴런의 전위가 임계에 도달할 때에, 뉴런이 발화하고 신호를 생성하여 이 신호가 다른 뉴런으로 전달되고, 그 다른 뉴런들은 이 신호에 응답하여 자신들의 전위를 증가시키거나 감소시킨다. 따라서 스파이크는 뉴런의 전위를, 상기 뉴런에서의 전위가 감소하거나 발화할 때까지, 더 높거나 낮은 값으로 푸시한다. 발화 후 뉴런의 전위는 더 낮은 값으로 리셋된다. 이는 입사 광자에서 (예: 픽셀 센서에 충돌하는 미리 정해진 수의 광자에 의해 결정되는) 충분히 강한 변화가 있을 때에만 신호가 생성될 것이므로 전력 소모를 줄이는 데 유리하다. 이는 네트워크의 전력 소모가 줄어들고 그 네트워크의 일부 영역에서의 활동이 억제되도록 한다. 예를 들어, 단 하나의 광자만이 대응 검출기에 입사하는 경우에는 뉴런이 발화하지 않을 것이며, 또는, 예를 들어, 단 하나 또는 몇 개의 (임계값을 넘어서기에 필요한 미리 정해진 광자 수보다 적은) 광자만이 대응 검출기들의 그룹에 입사하는 경우에는 뉴런이 발화하지 않을 것이다. 또한 상기 네트워크는 각 뉴런에 대한 입력의 가중합을 계산할 때 0을 더하는 것을 줄이거나 없애는 데 도움이 된다. 데이터 트래픽이 감소하면 전력 소비가 감소하고, 처리 속도가 빨라진다.

[0107] 바람직한 실시예에서, 상기 뉴런은 마지막 출력 이후의 시간이 불응 기간보다 긴 경우에만 발화할 수 있다. 이는 과도하게 자극을 받았을 때 뉴런이 너무 자주 발화하는 것을 방지하는 데 유리하다.

[0108] 바람직한 실시예에서, 스파이크 신경 네트워크 내 각 뉴런은 누설-통합-발화(leaky-integrate-and-fire) 뉴런으로 작동할 수 있다. 상기 네트워크의 뉴런은 통합-발화 뉴런과 유사하게 발화하는 임계값을 가질 수 있다. 그러나 상기 뉴런들에는 누출 메커니즘이 있을 수 있다. 예를 들어, 뉴런의 전위는 시간이 지남에 따라 감소한다. 이는 뉴런의 전위가 상당히 지속적으로 증가할 때만 발화하도록 하는 데 유리하며, 예를 들어 노이즈로 인한 증가는 시간이 지남에 따라 감소하도록 한다.

[0109] 바람직한 실시예에서, 신경 네트워크는 펄스 결합 신경 네트워크일 수 있다. 상기 네트워크에서, 각 뉴런은 대응 픽셀 센서의 검출기 그리고 이웃 뉴런들에 연결되어 이들로부터 입력 신호를 수신한다. 펄스 결합 신경 네트워크에서의 각 뉴런은 링크 구획과 공급 구획을 구비한다. 링크 구획은 이웃 뉴런으로부터 입력 신호를 받아 합산한다. 공급 구획은 이웃 뉴런으로부터의 입력 신호와 대응 픽셀 센서의 검출기로부터의 입력 신호를 수신하여 합산한다. 두 구획의 출력이 곱해져 임계 구획에 공급된다. 뉴런은 임계 구획에 대한 입력이 임계값보다 클 때 발화한다. 링크 구획, 공급 구획, 및 임계 구획 각각에 피드백 메커니즘(즉, 출력이 이전 출력에 따라 달라짐)이 있는 것이 특히 유리하다. 이는 뉴런의 이전 상태와 그 뉴런의 이웃 뉴런들의 이전 상태에 대한 이력을 보관하는 데 유리하다. 피드백 메커니즘으로 인해, 상기 임계값은 동적이다. 이는 노이즈에 대항하는 견고한 센서를 얻는 데 유리할 뿐만 아니라 입력 패턴에서의 미세한 강도 변화들을 연결할 수 있는 센서를 얻는 데 유리하다.

[0110] 바람직한 실시예에서, 단일 광자 애벌런치 다이오드는, 예를 들면 스파이크 신경 네트워크 및 펄스 결합 신경 네트워크 등 일련의 펄스들에 반응하는 신경 네트워크와 호환되기 때문에 유리하다. 예를 들어, 상기 다이오드의 출력에서 코딩된 강도 및 강도 변화 정보는 상기 신경 네트워크로의 입력으로 적합하며, 여기에서 상기 신경 네트워크는 상기 강도 정보를 디코딩할 수 있다.

[0111] 바람직한 실시예에서, 신경 네트워크 내 각 뉴런은 상기 뉴런으로의 현재 입력과 상기 뉴런의 현재 상태에 기초하여 출력을 생성할 수 있다. 각 뉴런의 현재 상태는 상기 뉴런에 대한 이전 입력 및 이전 상태에 대응한다. 이는 다른 뉴런으로부터의 입력에 의해 영향을 받을 수도 있고, 따라서 이웃 뉴런의 상태에도 영향을 받을 수 있다. 따라서 각 뉴런은 상이한 검출 인스턴스들의 데이터를 저장(예: 적어도 일시적으로)하고 비교하며, 그리고 이를 통해 이동 객체의 궤적에 대해 결론 내릴 수 있다. 예를 들어, 상기 복수의 픽셀 센서 앞에서 움직이며 T1, T2, T3 인스턴스에서 일부 검출기에 의해 검출된 객체의 궤적을 아는 것은 뉴런이 다음 인스턴스 T4에서 다가올 검출의 가능성을 판단하는 것을 용이하게 할 것이며, 예를 들어, 뉴런은 (예를 들면, 근처 검출기들 중에서) 어떤 검출기가 상기 다음 인스턴스에서 충돌하는 광자를 검출할 것 같은지를 예측할 수 있을 것이다. 이를 달성하기 위해 스파이크 신경 네트워크가 특히 유리한데, 그 이유는 각 뉴런의 출력은 현재 입력(예: 이 경우 검출기들로부터 입력됨)과 조합하여 (상기 뉴런으로의 이전 입력에 의해 결정된) 뉴런의 현재 상태에 의해 결정

되기 때문이다. 이는 상기 네트워크와 각 뉴런이 이력을 유지하고 메모리와 같은 동작을 수행하는 것을 가능하게 하여, 다른 인스턴스들에서의 검출들을 비교할 수 있게 하며, 이는 각 뉴런의 다음 출력을 쉽게 결정할 수 있게 하기 위한 것이다. 이는 노이즈를 또한 감소시키며 그리고 노이즈가 많은 검출들(예: 거짓 긍정 검출들)을 걸러내는 것을 더 쉽게 하며, 그 이유는 그러한 검출이 발생할 확률이 더 높다고 신경 네트워크가 예측할 수 있기 때문이다.

- [0112] 바람직한 실시예에서, 이미지 센서는 적어도 한 가지 유형의 신경 네트워크를 포함할 수 있다. 대안으로, 이미지 센서는 동일하거나 다른 유형의 여러 신경 네트워크들을 포함할 수 있다.
- [0113] 바람직한 실시예에서, 픽셀 센서와 대응 뉴런은 복수의 행 및/또는 복수의 열로 배열될 수 있다. 예를 들어, 픽셀 센서와 대응 뉴런은 행렬 구성으로 배열될 수 있다. 상기 대응 뉴런 (즉, 신경 네트워크의 입력층에 있는 뉴런)은 픽셀 센서의 검출기와 동일하거나 유사한 구성으로 구성되는 것이 바람직하다. 신경 네트워크의 중간층과 출력층은 상이한 구성으로 구성될 수 있다. 그런 배열은 더 넓은 영역을 검출하는 것을 가능하게 하며, 각 뉴런이 이웃 뉴런들을 가질 수 있게 허용한다.
- [0114] 바람직한 실시예에서, 이미지 센서는 100개 이상의 픽셀 센서, 바람직하게는 1,000개 이상의 픽셀 센서, 더 바람직하게는 10,000개 이상의 픽셀 센서, 훨씬 더 바람직하게는 100,000개 이상의 픽셀 센서, 가장 바람직하게는 1,000,000개 이상의 픽셀 센서를 포함할 수 있다. 예를 들어, 이미지 센서는 행렬 형태로 배열될 수 있는데, 여기에서 이미지 센서는 1,000개의 픽셀 센서 행과 1,000개의 픽셀 센서 열을 포함한다.
- [0115] 바람직한 실시예에서, 이미지 센서는 움직일 수 있다. 예를 들어, 이미지 센서의 방향은 x, y, z 방향들에서 변할 수 있다. 예를 들어, 단 하나의 이미지 센서만으로도 3D 비전을 얻는 것이 가능하다.
- [0116] 바람직한 실시예에서, 이미지 센서는 3D 비전 애플리케이션을 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 이미지 센서는 객체를 3차원으로 시각화하는 데 사용될 수 있다. 또는, 상기 센서는 반드시 해당 장면의 이미지를 생성하지 않고도, 예를 들어 장면 내 객체의 특징을 추출하여 장면을 분석하는 것을 가능하게 한다.
- [0117] 제2 측면에서, 본 발명은 청구항 8에 따른 광학 감지 시스템에 관한 것으로, 제1 측면에 따른 이미지 센서를 포함한다. 광학 검출 시스템은 이미지 센서에 장면의 이미지를 생성할 수 있는 광학 장치를 추가로 포함한다. 예를 들어, 상기 수단은 신경 네트워크에, 예를 들어 신경 네트워크의 출력에 연결된다. 예를 들어, 어떤 장면의 이미지는 상기 광학 장치에 의해 재생산될 수 있고, 예를 들어, 상기 장면 내 객체들의 지점의 위치는 상기 광학 장치에 의해 재생산될 수 있다. 상기 광학 장치는 상기 이미지 정보를 재생성하기 위해 신경 네트워크를 통합기 배열로 사용할 수 있다. 예를 들어, 각 픽셀 센서에 의해 논리적 출력 신호를 생성하는 각 픽셀 센서에 대한 광학적 입력 신호는 축적 및 집성되어 이미지를 생성할 수 있게 한다.
- [0118] 바람직한 실시예에서, 본 시스템은 또한 적어도 하나의 광원을 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 광원은 픽셀 센서들에 의해 검출 가능한 파장에 있도록 조정된다. 예를 들어, 100나노미터와 10마이크로미터 사이, 바람직하게는 100나노미터와 1마이크로미터 사이이다. 광원은 삼각 측량을 허용함에 있어서 유리하다. 예를 들어, 장면 (예: 환경)에 조명을 비추는 광원 그리고 예를 들어 서로 다른 방향인 두 개의 이미지 센서를 포함하는 시스템을 사용하고, 상기 두 센서가 장면에 대한 시야를 공유하는 경우, 삼각 측량에 의해 두 센서의 x-y 시간 데이터를 x-y-z 시간 데이터로 변환할 수 있다. 예를 들어, 조명 추적에서 상기 광원을 상기 장면상의 점에 조명을 비추도록 조정하되, 상기 광원은 상기 장면상의 상기 점을 (바람직하게는 연속적으로) 스캔하도록 조정된 수단을 포함하며, 상기 이미지 센서는 상기 점을 모니터링하고 복수의 인스턴스에서 상기 추적을 따라 상기 장면에서 적어도 하나의 객체의 포인트 (예: 상기 객체의 표면의 포인트)의 위치를 출력하고, 두 이미지 센서의 x-y 시간 데이터는 삼각 측량을 사용하여, 예를 들어 상기 신경 네트워크를 사용하여 x-y-z 시간 데이터로 변환될 수 있다. 예를 들어 광원은 레퍼런스 포인트 역할을 할 수 있으며, 그래서 제1 이미지 센서의 상기 객체의 상기 포인트들의 상기 위치들이 제2 이미지 센서의 해당 포인트들의 위치들과 동기화되어 z차원을 생성할 수 있도록 한다. 상기 광원은 리사주 방식이나 패턴으로 이미지를 형성할 장면을 비추고 스캔할 수 있다. 이러한 조명 체계는 효율적이고 빠른 이미지 검출을 허용하는 데 유리하며, 왜냐하면 여러 번의 조명 사이클을 거친 후에는 상기 이미지의 상당 부분이 이미 조명되기 때문이다. 다른 조명 패턴도 예상될 수 있다.
- [0119] 바람직한 실시예에서, 본 시스템은 복수의 이미지 센서 및/또는 복수의 광원을 또한 포함할 수 있다. 이는 3D 시각을 만드는 데 유리하다. 예를 들어, 각 이미지 센서는 서로 다르게 방향이 지정되어, 그런 두 개의 이미지 센서의 출력을 삼각 측량함으로써 촬영할 장면의 3D 인식이 포착되도록 한다.
- [0120] 바람직한 실시예에서, 본 시스템은 이미지 표현 수단, 예를 들어 스크린과 같은 또는 다른 이미지 표현 디바이

스를 포함할 수 있으며, 이는 상기 장면에서 상기 객체의 포인트의 위치를 재현하기 위한 것이다.

- [0121] 제3 측면에서, 본 발명은 제2 측면에 따른 광학 감지 시스템을 사용하여 장면의 특징을 추출하는 방법에 관한 것이다. 본 방법은 상기 일련의 펄스들을 수신하도록 신경 네트워크를 적응시키는 단계, 예를 들어 대응 광 검출기에서 생성된 일련의 펄스들을 수신하도록 각 뉴런을 적응시키는 단계를 포함한다.
- [0122] 이 방법은 일련의 펄스들에 기초하여 뉴런의 활성화 수준 또는 전위를 조정하는 단계를 더 포함한다. 예를 들어, 뉴런이 펄스를 하나 받을 때마다 해당 뉴런의 전위 활성화 수준이 증가한다. 활성화 수준은 상기 뉴런에 대응하는 광 검출기에 충돌하는 광자의 강도를 나타낸다.
- [0123] 이 방법은 활성화 수준이 임계값을 초과하면 뉴런이 발화하도록(즉, 출력 신호를 생성하도록) 적응시키는 단계를 더 포함한다. 이 방법은 상기 출력 신호를 상기 신경 네트워크의 후속 층에 있는 적어도 하나의 뉴런으로 전파하는 단계를 더 포함한다. 이 방법은 상기 출력 신호를 적어도 하나의 이웃 뉴런으로 전파하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0124] 이 방법은 상기 네트워크의 출력 신호의 특징을 추출하는 단계를 더 포함한다. 예를 들어, 상기 네트워크의 출력층의 출력 신호의 특징을 추출한다.
- [0125] 바람직한 실시예에서, 본 방법은 시야(예: 상기 장면)의 깊이 프로파일을 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 결정 단계는 다음 단계들을 포함한다:
- [0126] 프로젝터(예: 상기 광원)를 통해 시야에 최소한 하나의 광 패턴을 투사하는 단계 - 이 투사는 $10\mu\text{sec}$ 미만, 바람직하게는 $1\mu\text{sec}$ 미만의 시간 윈도우에서 이루어진다;
- [0127] 상기 투사된 패턴을, 상기 시간 윈도우 내의 적어도 하나의 관찰 윈도우 동안에 상기 패턴의 투사와 동기화된 카메라 센서(예를 들면, 상기 이미지 센서) 및 광학 장치에 의해 이미징하는 단계 - 상기 카메라 센서는 픽셀들(예: 픽셀 센서들)의 행렬을 포함하고, 각 픽셀은 광 검출기를 포함하며, 상기 픽셀들은 대응 광 검출기에 의해 광이 검출되지 않을 때는 거짓 상태에 있으며, 대응 광 검출기에 의해 광이 검출될 때는 참 상태에 있어서 시야를 나타내는 픽셀들의 제1 이진 행렬을 획득한다;
- [0128] 상기 시간 윈도우 내에서 하나의 관찰이나 적어도 두 개의 관찰들의 조합에서 획득된 픽셀의 행렬에서 참 상태인 적어도 하나의 이웃 픽셀을 구비한 참 상태인 픽셀들만을 고려하여 픽셀들의 이진 행렬에서 주변 광 노이즈로부터 상기 투사된 패턴을 분리하여, 상기 투사된 패턴을 나타내는 픽셀들의 제2 이진 행렬을 획득하는 단계;
- [0129] 프로젝터 위치, 카메라 위치 및 픽셀의 제2 이진 행렬 간의 삼각 측량을 기반으로, 상기 투사된 패턴에 대응하는 깊이 프로파일을 계산하는 단계;
- [0130] 시야 전체에서 단계들 a 내지 d를 반복하여 상기 투사된 패턴을 스캔하여 시야 전체에서 깊이 프로파일을 결정하는 단계;
- [0131] 여기에서 상기 패턴의 각 격리된 요소는 적어도 두 개의 연속된 픽셀들 상에서의 이진 표현으로 확장된다.
- [0132] 바람직한 실시예에서, 본 방법은 상기 네트워크에 입력 신호들의 세트의 특징을 추출하기 위해 상기 네트워크를 훈련하는 단계를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 네트워크로의 광 입력 신호들에 대해, 상기 신호들은 일련의 펄스들이다. 상기 특징들은 장면에서 적어도 하나의 객체의 질량, 밀도, 움직임 및/또는 근접성을 포함할 수 있다. 본 방법은 상기 입력 신호에 변환을 적용하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0133] 바람직한 실시예에서, 본 방법은 상기 검출기 출력의 시간 영역에서 충돌하는 광자의 강도와 강도 변화를 코딩하는 단계를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 단일 광자 애벌런치 다이오드를 사용하여 충돌하는 광자의 강도와 강도 변화를 코딩화한다. 이 방법은 강도 및 강도 변화 데이터를 디코딩하기 위해 신경 네트워크를 훈련하는 단계를 더 포함할 수 있다. 이 방법은 상기 강도 및 강도 변화 데이터를 디코딩하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0134] 제3 측면(방법)의 모든 특징은 제1 측면(센서)과 제2 측면(시스템)에 상응하여 기술될 수 있다.
- [0135] 제4 측면에서, 본 발명은 효율적인 이미지 감지를 위한 이미지 센서에 관한 것이다.
- [0136] 상기 센서는 다수의 픽셀 센서들을 포함하며, 각 픽셀 센서는 광 검출기를 포함한다. 상기 센서는 각 픽셀 센서의 검출들을 식별할 수 있는 처리 유닛을 추가로 포함한다. 바람직하게는, 상기 처리 유닛은 본 발명의 제1 측면의 상기 신경 네트워크(또는 본 발명의 제1 측면의 상기 처리 수단의 상기 처리 요소)로 대체되고, 여기에서 각 픽셀 센서 및 그 픽셀 센서의 광검출기는 제1 측면에서 설명한 바와 같이 대응 뉴런에 연결된다.

- [0137] 상기 센서는 연속적인 시간 단계에 걸쳐 공간에서 특정 패턴을 나타내거나 연결된 (또는 반 연결된) 검출들을 식별할 수 있는 것에 특징이 있다. 예를 들어, 각 픽셀 센서의 검출들이 적어도 두 개의 연속된 시간 단계에 걸친 적어도 두 개의 검출이고, 상기 적어도 두 개의 검출이 적어도 하나의 픽셀 센서에 대응하거나, 적어도 하나의 픽셀 센서 및 상기 픽셀 센서에 바로 인접한 하나의 픽셀 센서에 대응한다. 예를 들어, 각 픽셀 센서는 바로 이웃한 여러 개의 픽셀 센서들을 가진다. 예를 들어, 두 개의 검출이 연속적인 시간 단계에 걸쳐 공간에서 연결되며, 예를 들어, 연속적인 시간 단계에 걸쳐 이웃하는 검출 포인트들에서 또는 하나의 검출 포인트에서 검출된다.
- [0138] 예를 들어, 제1 시간 단계에서, 상기 검출 포인트는 픽셀 센서로부터 첫 번째 바로 이웃하는 픽셀 센서로 시프트할 수 있으며, 제2 연속 시간 단계에서, 상기 검출 포인트는 상기 첫 번째 이웃하는 픽셀 센서의 두 번째 바로 이웃하는 픽셀 센서로 시프트할 수 있다. 대안으로, 상기 검출 포인트는 다른 검출 포인트로 시프트하지 않고, 대신 동일한 검출 포인트에 남아 있을 수 있다.
- [0139] 이는 일관된 검출들을 판단하는 데 유리하며, 예를 들어 검출들이 랜덤이 아니고, 예를 들면, 특정 패턴을 갖는 검출들이다. 상기 픽셀 센서의 샘플링이 충분히 빠르므로, 한 포인트에 의해 정의된 객체에 대한 일관된 검출은 적어도 두 개의 연속된 시간 단계에 걸쳐 하나의 픽셀 센서에 의해 검출되거나(즉, 상기 객체가 상기 두 시간 단계들 사이에 움직이지 않은 경우), 바로 이웃하는 픽셀 센서에 의해 검출된다. 예를 들어, 상기 점 검출은 제1 시간 인스턴스와 제2 시간 인스턴스 사이를 이동하는 동안 하나의 픽셀 센서를 건너뛰지 않는다. 이는 무작위 감지 중 거짓 양성 검출, 예를 들면, 주변 및 열 노이즈일 가능성이 높은 검출들을 걸러 내는 것을 가능하게 하는 데 더욱 유리하다.
- [0140] 상기 신경 네트워크는 상기 처리 유닛을 대체하는 데 특히 유리하며, 이는 예를 들어 노이즈가 많은 검출들을 걸러내기 위한 것이다. 이는 상기 신경 네트워크가 빠르고 전력 효율적인 방식으로 정보를 처리, 예를 들어 노이즈가 많은 검출들을 필터링할 수 있기 때문이다. 더욱이 상기 네트워크는 보다 전통적인 규칙 기반 처리를 사용해 설명될 수 있을 것보다 훨씬 복잡한 패턴을 찾도록 훈련될 수 있다.
- [0141] 바람직한 실시예에서, 상기 검출은 상기 픽셀 센서에 대한 적어도 하나의 비-직접 이웃 픽셀 센서에 추가로 대응하며, 여기에서 각 픽셀 센서와 상기 비-직접 이웃 픽셀 센서 사이에 최대 하나의 픽셀 센서가 존재하고, 바람직하게는 최대 두 개의 픽셀 센서가 존재한다. 이는 상기 픽셀 센서의 샘플링 속도에 기반한 설계 선택이다. 예를 들어, 샘플링 속도가 충분히 높지 않아 빠르게 움직이는 객체가 하나 또는 두 개의 픽셀 센서를 건너뛸 수 있는 경우가 있다. 이 경우, 상기 픽셀 센서와 상기 비-직접 픽셀 센서 사이에서의 검출은 보간될 수 있다.
- [0142] 바람직한 실시예에서, 각 픽셀 센서의 샘플링 속도는 적어도 1MHz, 바람직하게는 적어도 10MHz, 더 바람직하게는 적어도 100MHz이다. 이는 객체가 검출기의 샘플링 속도에 비해 매우 빠르게 움직이지 않기 때문에 유리하다. 예를 들어, 센서는 적어도 1마이크로초, 바람직하게는 적어도 100나노초, 더 바람직하게는 적어도 10나노초의 시간 분해능을 갖는다.
- [0143] 바람직한 실시예에서, 상기 유닛은 상기 픽셀 센서를 따른 궤적을 계산할 수 있다. 상기 궤적은 장면 속 점의 움직임을 설명한다. 상기 점은 장면에서 움직이는 객체로 일반화될 수 있으며, 상기 객체는 복수의 점들에 의해 정의된다. 예를 들어, 제1 연속된 시간 인스턴스와 제2 연속된 시간 인스턴스 사이에서, 상기 움직이는 객체를 정의하는 포인트들의 궤적을 계산한다. 예를 들어, 상기 시간 단계 내에서 공간적으로 일관된 궤적을 갖는 포인트들이다. 상기 궤적은 상기 말한 궤적에서 벗어난 포인트를 걸러내는 것을 허용하며, 그러한 포인트들이 노이즈가 있는 검출일 가능성이 있기 때문이다. 상기 궤적은 직선 궤적일 수 있지만, 원형이나 반원형, 또는 그 밖의 궤적일 수도 있다.
- [0144] 바람직한 실시예에서, 상기 유닛은 다가올 검출들을 상기 궤적을 기반으로 외삽할 수 있다. 예를 들어, 상기 궤적을 기반으로 발생 가능성이 가장 높은 포인트들을 결정한다. 예를 들어, 객체나 패턴이 고정된 궤적을 따라 움직인다고 가정한다. 상기 외삽은 최소 2개의 포인트 검출 상기 2개의 포인트들에 의해 정의된 궤적을 필요로 하지만, 상기 외삽은 2개 이상의 포인트들, 예를 들어 5개의 시간 단계에 걸쳐 5개의 포인트들, 또는 10개의 시간 단계에 걸쳐 10개의 포인트들을 기반으로 하는 경우 더욱 정확하다. 예를 들어, 제1 인스턴스 T1과 제10 인스턴스 T10 사이에서 x축을 따라 오른쪽 방향으로 이동하는 객체의 경우, 해당 객체는 열한 번째 인스턴스 T11에서 그리고 그 이후의 시간 인스턴스에서도 같은 방향으로 계속 이동할 가능성이 있다. 바람직하게는, 상기 유닛은 외삽된 검출을 검증할 수 있다. 예를 들어, 상기 객체의 궤적이 변경되었는지 확인하기 위해, 예를 들어, 각각의 미리 정해진 시간 단계 이후에, 예를 들어 2~3개의 시간 단계 후에 검증한다. 이러한 외삽은, 예를 들어 실제로 검출되기 전에 가능한 다가오는 검출을 계산하거나 예측함으로써 더 빠른 센서를 얻는 데 유리하다. 이

는 상기 장면에서 객체의 움직임을 알아내는 데 더 적은 검출들을 필요로 할 수 있기 때문에 전력 소모도 줄이는 것을 또한 가능하게 할 것이다.

[0145] 바람직한 실시예에서, 상기 유닛은 유사하거나 동일한 궤적을 따라 이동하는 포인트들, 예를 들어 하나의 객체를 정의하는 포인트들을 그룹화할 수 있다. 예를 들어, 상기 처리 유닛은 그룹화된 포인트들에 기반하여 윤곽을 정의할 수 있다. 이는 상기 객체를 정의하지 않거나 윤곽선에서 벗어난 포인트들, 예를 들면 거짓 양성 검출들을 필터링하여 제거할 수 있다.

[0146] 바람직한 실시예에서, 상기 센서는 적어도 하나의 메모리 요소를 더 포함하며, 상기 요소는 상기 검출들을 저장할 수 있다. 예를 들어, 상기 검출들은 적어도 일시적으로 상기 메모리 요소에 저장된 다음, 상기 유닛에 의해 검색되어, 예를 들어, 거짓 양성 검출들을 필터링하여 제거하고, 상기 궤적을 계산하거나, 상기 다가올 검출들을 외삽하기 위해서 처리된다. 상기 메모리 요소는 상기 신경 네트워크에 의해 대체될 수 있다. 예를 들어, 상기 신경 네트워크는 상기 처리 유닛과 상기 메모리 요소 둘 모두의 기능을 대체할 수 있으며, 예를 들어, 노이즈가 많은 검출들에서 필터링되어 제거될 수 있도록 데이터를 저장할 수 있다. 예를 들어, 상기 네트워크의 한 뉴런은 하나의 픽셀 센서에 대응한다.

[0147] 바람직한 실시예에서, 상기 신경 네트워크의 서로 다른 영역, 예를 들어 뉴런들의 상이한 그룹은 상기 뉴런들에 대응하는 픽셀 센서의 데이터를 처리할 수 있다. 예를 들어, 관심 영역을 따라 움직이는 검출의 궤적을 식별한다.

[0148] 제5 측면에서, 본 발명은 광학 감지 방법에 관한 것이다. 상기 방법은 제1 시간 단계에서 제1 검출 포인트에서 제1 검출을 결정하는 단계를 포함한다. 이 방법은 제1 시간 단계에 연속된 제2 시간 단계에서 제2 검출 포인트에서 제2 검출을 결정하는 단계를 더 포함한다. 본 방법은 상기 제1 및 제2 검출 포인트들이 상기 제1 및 제2 시간 단계들에 걸쳐 공간적에서 연결 (또는 반-연결)된 것을 식별하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다. 예를 들어, 상기 제1 및 제2 검출 포인트들이 동일한 포인트이거나 바로 인접한 포인트이다.

[0149] 바람직한 실시예에서, 상기 방법은 상기 제1 및 제2 시간 단계들에 걸쳐 공간에서 연결되지 않은 검출들을 필터링하여 제거하는 단계를 더 포함한다. 예를 들어, 상기 제1 검출 포인트 및 제2 검출 포인트는 동일한 포인트도 아니고 바로 이웃하는 포인트도 아니다.

[0150] 바람직한 실시예에서, 상기 방법은 상기 제1 및 제2 검출의 궤적을 계산하는 단계를 또한 포함한다. 예를 들어, 한 검출 포인트에서 다른 검출 포인트로의 상기 검출의 이동을 설명하는 궤적은 예를 들어 장면에서 움직이는 점, 예를 들어 장면에서 움직이는 여러 점들에 의해 정의된 객체에 의해 초래된다.

[0151] 바람직한 실시예에서, 상기 방법은 상기 궤적에서 검출들을 필터링하여 제거하는 단계를 더 포함한다. 이는 예를 들면 열이나 주변 노이즈에 의해 초래된 노이즈 검출된 것을 필터링하여 제거하는 데 유리하다. 바람직하게는, 상기 방법은 상기 궤적을 기반으로 다가올 검출을 외삽하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0152] 제5 측면(방법)의 모든 특징은 제4 측면(센서)에 상응하게 기술될 수 있다. 더욱이, 제5 측면 및 제4 측면의 어떠한 특징이라도 제1 측면 (센서)와 제2 측면(시스템)에 상응하게 기술될 수 있다. 예를 들어, 제1 측면의 신경 네트워크는 제4 측면의 센서에 특히 유리하다. 따라서, 제1 신경 네트워크의 모든 특징은 제4 측면의 센서와 결합될 수 있다.

[0153] 제6 측면에서, 본 발명은 광학 감지, 바람직하게는 효율적인 광학 감지를 위한, 제1 측면에 따른 센서 및/또는 제2 측면에 따른 디바이스 및/또는 제3 측면에 따른 방법 및/또는 제4 측면에 따른 센서 및/또는 제5 측면에 따른 방법의 사용에 관한 것이다.

[0154] 본 발명의 실시예의 추가적인 특징 및 이점은 도면을 참조하여 설명될 것이다. 본 발명은 이들 도면에 도시되거나 실시예에 기술된 특정한 실시예에 한정되는 것이 아니며, 특허청구범위에 의해서만 제한된다는 점에 유의해야 한다.

[0155] 도 1은 이미지 센서(1)의 평면도를 나타낸다. 이미지 센서(1)는 복수의 픽셀 센서(3)를 포함하고, 각 픽셀 센서(3)는 단일 광자 검출기(4)를 포함한다. 이미지 센서(1)는 신경 네트워크(5)를 또한 포함하며, 여기에서 상기 신경 네트워크(5)는 복수의 뉴런(6)을 포함한다. 각 검출기(4)는 자신에 충돌하는 광자(10)를 수신하고 이를 기반으로 대응 신호를 생성한다. 예를 들어, 각 검출기(4)는 하나의 광자(10)를 검출한 후 전기 펄스를 생성한다. 각 검출기(4)는 대응 뉴런, 예를 들어 검출기(4')와 뉴런(6'), 또는 검출기(4'')와 뉴런(6'')에 연결되며, 여기에서 검출기(예: 4'와 4'')와 그 검출기의 대응 뉴런(예: 6'와 6'')은 연결이 깔끔하고 최소화되도록 대응 위치

에 배치된다. 예를 들어, 검출기(4')와 뉴런(6')은 연결(18')에 의해 연결되고, 마찬가지로 검출기(4'')와 뉴런(6'')은 연결(18'')에 의해 연결된다.

[0156] 도 2는 이미지 센서(1)와 신경 네트워크(5)의 단면도를 보여준다. 각 검출기(4)는 하나의 대응 뉴런(6) 근처에 있으며 이에 연결되어 있다. 예를 들어, 검출기(4')는 뉴런(6') 근처에 있고 연결(18')을 통해 연결되어 있으며, 마찬가지로 검출기(4'')는 뉴런(6'') 근처에 있고 연결(18'')을 통해 연결된다. 각 검출기(4)와 그 검출기의 대응 뉴런(6)은 서로 거리(7)만큼 떨어져 있다.

[0157] 도 3은 이미지 센서(1)와 신경 네트워크(5)의 단면도를 나타내며, 여기에서 픽셀 센서(3)의 검출기들(4)은 뉴런(6) 위에 적층된다. 예를 들어, 연결(20', 20'')이 제거되었기 때문에 거리(7)는 0이거나 0에 매우 가깝다. 예를 들어, 거리(7)는 접촉 패드(도시되지 않음)의 두께와 동일하다.

[0158] 도 4는 이미지 센서(1)와 신경 네트워크(5)의 평면도를 보여주며, 여기에서 픽셀 센서(3)의 검출기들(4)은 뉴런(6) 위에 적층된다. 예를 들어, 각 검출기(4)는 대응 뉴런(6)에 연결된다. 이러한 적층은 최소한의 정렬 오류를 얻기 위해 신중하게 수행된다.

[0159] 도 5는 이미지 센서(1)와 신경 네트워크(5)의 단면도를 나타내며, 여기에서 각각의 검출기(4)의 접촉 패드(8)와 뉴런(6)은 서로 적층되어 있다. 접촉 패드(8)는 전도성 금속 재료로 만들어지고, 뉴런 및 검출기는 반도체 재료(9)로 만들어진다. 각 검출기(4)와 대응 뉴런(6) 사이의 거리(7)는 접촉 패드(8)의 두께만큼만 될 수 있다. 상기 패드들은 서로 위에 적층하여 놓을 수 있을 만큼 호환이 가능하며, 예를 들어 모양이 보완적이다. 상기 패드들은 또한 서로의 위에 영구적으로 적층될 수 있으며, 그래서 신경 네트워크(5)에 대한 이미지 센서(1)의 추가 이동이 허용되지 않는다.

[0160] 도 6은 신경 네트워크(5) 내의 뉴런(6)에 공급하는 복수의 검출기(4)를 나타낸다. 각 검출기(4)에 충돌하는 광자(10)는 검출기 출력(11)을 생성하고, 이는 각 대응 뉴런에 입력된다. 이 경우, 각 검출기는 하나의 대응 뉴런(6)을 구비한다. 상기 신경 네트워크는 입력층(14), 중간층(15), 출력층(16)의 세 개 층으로 구분될 수 있다. 입력층(14)은 검출기 출력(11)을 입력으로 받아들이는 뉴런들(6)을 포함한다. 중간층(15)은 입력층(14)에 대한 입력(11)을 처리하는 뉴런들을 포함한다. 출력층(16)은 신경 네트워크(5)의 최종 출력을 출력하는 뉴런들을 포함한다. 각 뉴런은 입력 신호(12)를 통해 이웃 뉴런(예: 뉴런(6) 및 (6'))에 연결될 수 있다. 이웃 뉴런의 상기 입력 신호(12)는 뉴런이 그 뉴런의 이웃 뉴런들과 통신할 수 있도록 하여, 예를 들어, 거짓 양성 검출 횟수를 줄이고 노이즈를 필터링하여 없애는 것과 같이 보다 정확한 검출을 달성한다. 한 층에서의 각 뉴런은 다음 층의 적어도 하나의 뉴런에 연결되어 있으며, 다음 층의 두 개 이상의 뉴런들에 연결되어 있는 것이 바람직하다. 도 6에 표시된 뉴런, 연결, 층들의 수는 단지 설명을 위한 것이며, 실제로는 다를 수 있다.

[0161] 도 7은 스파이크 신경 네트워크를 이용한 센서(1)의 구현 예를 보여준다. 예를 들어, 상기 센서(1) 내의 검출기(4)가 도면에 도시된 바와 같이 $T = T_1$ 에서 $T = T_2$ 로 그리고 $T = T_3$ 에 궤적(17)에서 이동하는 객체 또는 검출 패턴을 검출할 때, 신경 네트워크(5)는 상기 궤적(17)을 기반으로 객체가 존재하는 다음 검출 포인트를 예측할 수 있다. 이는 상기 객체에 대한 검출을 용이하게 한다. 이는 뉴런들이 이웃 뉴런들로부터 피드백 정보로 작용하는 입력을 받음으로써 수행될 수 있다. 예를 들어, 뉴런이 (이웃 뉴런들을 통해) 10개 뉴런만큼 떨어진 뉴런이 발화하고, 이어서 9개 뉴런만큼 떨어진 뉴런이 발화하고, 그 다음에 8개 뉴런만큼 떨어진 뉴런이 발화한다는 것을 알고 있다면, 언제 발화할지 예측하는 것이 가능할 수 있다. 이는 노이즈도 줄어든다. 그 이유는 신경 네트워크는 이런 검출이 발생할 확률이 더 높다고 예측할 수 있기 때문이다. 더욱이, 다음 검출 포인트를 예측하는 것 외에도, 상기 궤적은 상기 객체의 일관된 움직임을 식별하는 것을 허용하며, 이는 노이즈가 많은 검출을 필터링하여 없애는 것을 가능하게 한다.

[0162] 도 8은 상기 픽셀 센서(3)에 충돌하는 광자의 코딩 및 디코딩 강도를 보여준다. 상기 강도를 코딩하는 것은 SPAD를 사용하여 수행되고, 디코딩은 신경 네트워크(5)를 사용하여 행해진다. 서로 동일한 간격으로 관찰 윈도우(19)를 설정함으로써, 상기 윈도우(19)에서 노이즈(20)를 검출할 가능성은 줄어들지만, 충돌하는 광자를 검출할 가능성은 동일하게 유지된다. 도 8에는 두 가지 예가 제공된다. 첫 번째 예에서 도 8(a)는 SPAD에 충돌하는 광자들의 열을 보여준다. 검출기(4)는 도 8(c)에 표시된 일련의 펄스들을 생성하며, 여기에서 펄스들 간의 평균 시간 차이는 T_1 이고, 여기에서 T_1 은 충돌하는 광자의 세기에 대응한다. 두 번째 예에서, 도 8(b)는 또 다른 충돌하는 광자 열을 보여주며, 여기에서 검출기(4)는 도 8(d)에 표시된 일련의 펄스들을 생성한다. 펄스들 사이의 평균 시간 차이는 T_2 이고, 여기에서 T_2 는 충돌하는 광자의 세기에 대응한다. 도 8(c, d)에서 보는 바와 같이, 도 8(b)에서 검출된 세기가 도 8(a)에서 검출된 세기보다 낮기 때문에 $T_2 > T_1$ 이다. 도 8(e, f)에 표시된 것처럼 신경 네트워크는 펄스들 간의 상기 시간 차이에 기반하여 강도 수준을 재구성할 수 있을 것이다.

- [0163] 도 9는 신경 네트워크(5)를 사용하여 검출기 출력(11)에서 열 및 주변 노이즈의 감소를 보여준다. 도 9(a, b)에는 두 가지 예가 제공된다. 도 9(a)에서 검출기(4)는 입사 광자(10)를 검출한다. 검출기(4)에 대응하는 뉴런(6)은 이 검출이 참 검출인지 거짓 검출인지를 판별한다. 이는 상기 뉴런(6)의 이력에 기초하고, 이웃 뉴런(6', 6'')으로부터의 입력 신호(12)에 기초한다. 이 경우에, 이것은 거짓 검출이다. 반면, 도 9(b)는 실제 검출을 보여주며, 여기에서 이웃 뉴런들(6', 6'') (및 이들의 검출기들(4', 4''))은 이것이 실제 검출임을 상기 뉴런(6)에 알려주고, 따라서 상기 뉴런(6)에 의해 펄스가 생성된다. 도 9에서는 동작이 간소화되어 있는데, 실제 네트워크에서는 상기 검출기(4)에 입사하는 각 광자 이후에 검출기 출력(13)에서 펄스가 항상 생성되는 것은 아니다. 실제 네트워크에서, 뉴런(예: (6))에서 특정 시간 기간 동안 검출의 임계에 도달하면 펄스만 생성된다.
- [0164] 도 10은 펄스 결합 신경 네트워크(27)에서 뉴런의 동작을 보여준다. 수용 필드 구획(21)은 뉴런으로의 입력 신호들을 수신한다. 이러한 신호들은 이웃 뉴런(12, 12', 12'')으로부터의 입력 신호일 수 있다. 대안으로, 이러한 신호는 다른 층(예: 이전 층)으로부터의 뉴런으로의 자극 입력 신호(11)이거나 상기 뉴런이 신경 네트워크(5)의 입력층(14)에 있는 경우 검출기로부터의 출력 신호일 수 있다. 수용 필드 구획(21)에서, 이웃 뉴런의 입력 신호(12, 12', 2'')를 수신하는 구획을 링크 구획(22)이라 하며, 이웃 뉴런과 자극 입력 신호(11) 모두로부터 입력 신호를 수신하는 구획을 공급 구획(23)이라 한다. 이웃 뉴런 입력 신호(12, 12', 12'')는 링크 구획(22)에서 합산되고, 마찬가지로 공급 구획(23)에서 이웃 뉴런 입력 신호(12, 12', 12'')는 자극 입력 신호(11)와 합산된다. 링크 구획(24)과 공급 구획(25)의 출력 신호는 그 후 곱셈기(28)를 사용하여 곱해지고, 그 이후에 상기 곱셈기(28)의 출력(29)이 임계 구획(26)에 공급된다. 링크 구획(22), 공급 구획(23) 및 임계 구획(26) 각각은 피드백 메커니즘(도시되지 않음)을 구비하며, 그래서 각 구획은 이전 상태를 유지하지만 붕괴 인자가 가하도록 한다. 따라서 각 구획은 이전 상태에 대한 메모리를 가지며, 이는 시간이 지남에 따라 소멸된다. 뉴런이 발화하며, 즉, 임계 구획에 대한 입력이 임계값보다 큰 경우 임계 구획의 출력(13)이 생성된다. 그러나 임계값은 피드백 메커니즘으로 인해 시간이 지남에 따라 변한다. 뉴런이 발화한 후에는, 임계값이 크게 증가하며, 그 후 뉴런이 다시 발화할 때까지 시간이 지남에 따라 임계값은 감소한다.
- [0165] 도 11은 픽셀 센서들의 어레이로부터의 세 개의 연속적인 입력 신호(a, b, c)를 보여주며, 이는 객체 또는 패턴이 제1 위치(30), 제2 위치(31) 및 제3 위치(32) 사이를 이동하는 것을 보여준다. 이는 상기 점이 한 시간 단계 사이에서 한 픽셀보다 크게 움직이지 않는다고 가정한다. 도 11(a, b, c)은 주변 열 노이즈를 고려하지 않은 이상적인 케이스 검출이다. 도 11은 (d, e, f)에서, 예를 들면 (33)에서와 같이, 주변 및 열 노이즈를 고려하여 픽셀 센서들의 어레이로부터의 현실적인 3개 연속 입력 신호를 보여준다. 도 11은 (g, h, i)에서 각 입력 신호의 처리 수단, 바람직하게는 신경 네트워크에 의한 필터링된 출력을 보여준다. 처리 수단, 바람직하게는 신경 네트워크는 (33)에서와 같이 주변 및 열 노이즈를 상기 객체의, 예를 들면, 특정 방향에서 일관된 방식으로 움직이는 객체의 움직임의 일관성을 검사하여 필터링할 수 있다. 나아가, 옵션으로, 신경 네트워크는 상기 일관된 움직임을 기반으로 이후의 시간 인스턴스에서 상기 객체의 움직임을 예측할 수 있다.
- [0166] 도 12(a)는 복수의 픽셀 센서(35)를 포함하는 이미지 센서(34)의 단면도를 나타내며, 각 픽셀 센서(35)는 광 검출기(36)를 포함한다. 센서(34)는 적어도 하나의 메모리 요소(37)를 또한 포함한다. 각 광 검출기(36)는 메모리 요소(37)에 연결되어 상이한 시간 인스턴스들에서 상기 광 검출기들(36) 각각의 검출 출력(39', 39'')을 저장한다. 센서(34)는 처리 유닛(38)을 더 포함한다. 처리 유닛(38)은 상기 메모리 요소(37)에 저장된 데이터를 검색할 수 있다. 또한, 유닛(38)은 위에서 설명한 바와 같이 외삽, 탐지 궤적 계산 등과 같은 다른 작업을 수행할 수도 있다.
- [0167] 도 12(b)는 상기 센서(34)의 평면도를 도시하는데, 여기에서 상기 픽셀 센서들(35)은 예를 들어 복수의 픽셀 센서 행들 및 열들을 갖는 행렬 구성으로 배열된다. 각 검출기(36)는 자신에 충돌하는 광자(42)를 검출하고 이를 기반으로 대응 신호를 생성한다. 예를 들어, 각 검출기(36)는 하나의 광자(42)를 검출한 후 전기 펄스를 생성한다. 각 픽셀 센서(35')는 예를 들어 (35'')와 같은 다수의 바로 이웃하는 픽셀 센서와 (35''')와 같은 비-직접으로 이웃하는 픽셀 센서를 구비한다.
- [0168] 도 13은 픽셀 센서(35)와 그것의 검출들(39)의 행렬을 보여주는데, 여기에서 두 개의 검출(39', 39'')은 하나의 픽셀 센서(35')에서 두 개의 연속적인 시간 단계(T1, T2)에서 발생한다. 상기 검출(39', 39'')은 동일한 픽셀 센서(35')에서 두 개의 연속된 시간 단계(T1, T2) 내에서 발생했기 때문에 일관된 검출로 간주된다. 그러므로, (41)과 달리 이는 노이즈가 있는 검출로 간주되지 않는다.
- [0169] 도 14는 픽셀 센서(35)와 그것의 검출(39)의 행렬을 보여주는데, 여기에서 두 개의 검출(39', 39'')은 두 개의 연속적인 시간 단계(T1, T2)에서 두 개의 바로 이웃하는 픽셀 센서(35', 35'')에서 발생한다. 상기 검출들은

(41)에서의 노이즈가 있는(즉, 거짓 양성) 검출과 달리 일관된 검출들로 간주되며, 이는 그 검출들이 두 개의 바로 인접한 픽셀 센서(35', 35'')에서 두 개의 연속된 시간 단계(T1, T2) 내에서 발생했기 때문이다. 상기 두 개의 검출들(39', 39'')를 기반으로, 검출들의 궤적(40)이 상기 유닛(38)에 의해 계산될 수 있다. 상기 궤적(40)을 기반으로, 노이즈가 있는 검출(41)을 필터링되어 제거될 수 있다. 또한, 상기 궤적(40)을 기반으로, 다가올 시간 인스턴스(T3)에서 다가올 검출(39''')이 외삽될 수 있다. 이는 검출이 발생하기 전에 그 검출을 예측하는 것을 가능하게 한다. 예를 들어, 움직이는 객체의 궤적. 센서(34) 앞에서 움직이는 객체는 이 경우 직선 궤적(40)에서 움직이는 단순한 포인트이다. 그러나 실제 생활에서는 다음 도면들에서 볼 수 있듯이 상기 객체는 훨씬 더 복잡하다.

[0170] 도 15는 픽셀 센서(35)와 그것의 검출(39)의 행렬을 보여주는데, 여기에서 두 개의 검출(39', 39'')은 두 개의 연속적인 시간 단계(T1, T2)에서 두 개의 비-직접으로 이웃하는 픽셀 센서(35', 35'')에서 발생한다. 설계 선택에 기반하여, 예를 들어 각 픽셀 센서의 샘플링 속도에 기반하여, 한 픽셀 센서를 건너뛰는 검출은 일관성이 있는 것으로 간주될 수 있다. 예를 들어, 객체의 움직임이 상기 픽셀 센서의 샘플링 속도보다 빠른 경우이다. 이는 도 3의 작업에 대한 대안이다. 상기 두 개의 검출들(39', 39'')을 기반으로 궤적(40)이 계산될 수 있으며, 이는 노이즈가 있는 검출들(41)을 필터링하여 제거하고 다가올 검출들(39''')을 외삽하기 위한 것이다.

[0171] 도 16은 제1 연속 시간 인스턴스(T1)와 제2 연속 시간 인스턴스(T2) 사이의 장면(44)에서 삼각형 모양의 객체(43)가 움직이는 예를 보여준다. 단순화를 위해, 객체(43)는 세 개의 검출 포인트들(45', 45'', 45''')에 의해 정의되며, 여기에서 세 개의 검출 포인트들(45', 45'', 45''') 각각은 제1 및 제2 시간 인스턴스들(T1, T2) 사이에 픽셀 하나씩 이동한 것으로 가정한다. 이는 상기 삼각형 주변의 (46', 46'', 46''')와 같은 다른 노이즈가 있는 검출들을 필터링하여 제거하는 것을 허용한다. 본 발명을 구현하는 방법 및 디바이스의 목적을 달성하기 위한 다른 구성은 해당 기술 분야의 통상의 기술자에게는 자명할 것이다.

[0172] 다음 설명은 본 발명의 특정 실시예에 대한 세부 사항을 제공한다. 그러나 위의 내용이 아무리 상세하게 설명되어 있더라도 본 발명은 여러 가지 방법으로 적용될 수 있다는 점은 분명할 것이다. 본 발명의 특정한 특성이나 측면을 설명할 때 특정 용어를 사용한다고 해서, 본 명세서에 있는 용어가 해당 용어와 결합된 발명의 특정한 특성이나 측면으로 제한되도록 정의된다는 것을 의미하는 것으로 해석되어서는 안 된다.

부호의 설명

- [0173]
- 1 이미지 센서
 - 3 픽셀 센서
 - 4 단일 광자 검출기
 - 5 신경 네트워크
 - 6 뉴런
 - 7 거리
 - 8 접촉 패드
 - 9 실리콘
 - 10 입사 광자
 - 11 검출기 출력 또는 뉴런 입력
 - 12 이웃 뉴런의 입력 신호
 - 13 뉴런 출력
 - 14 입력 레이어
 - 15 중간층
 - 16 출력층
 - 17 움직이는 객체의 궤적

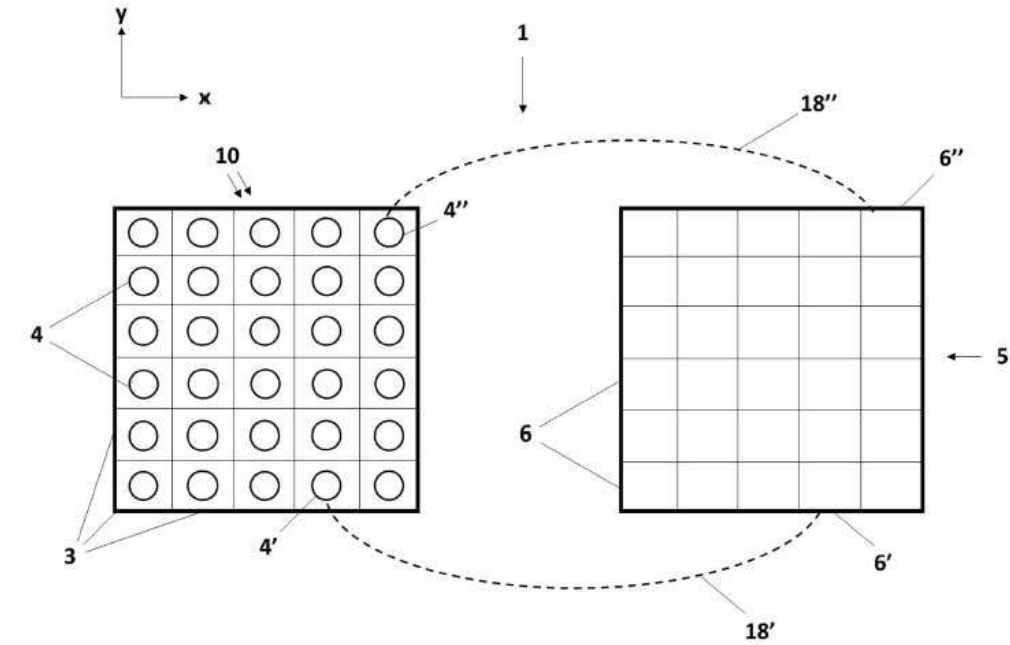
- 18 김출기와 뉴런 사이의 연결
- 19 관찰 윈도우
- 20 노이즈
- 21 수용 필드
- 22 링크 구획
- 23 공급 구획
- 24 링크 구획의 출력
- 25 공급 구획의 출력
- 26 임계 구획
- 27 펄스 결합 신경 네트워크의 뉴런
- 28 곱셈기
- 29 곱셈기의 출력
- 30 제1 위치
- 31 제2 위치
- 32 제3 위치
- 33 노이즈
- T1 제1 시간 단계
- T2 제2 시간 단계
- T3 다가오는 시간 단계
- 34 이미지 센서
- 35 복수의 픽셀 센서들
- 35' 픽셀 센서
- 35'' 바로 이웃하는 픽셀 센서
- 35''' 비-직접으로 이웃하는 픽셀 센서
- 36 광 검출기
- 37 메모리 요소
- 38 처리 유닛
- 39 검출들
- 39' 제1 검출
- 39'' 제2 검출
- 39''' 제3 검출
- 40 궤적
- 41 노이즈 검출
- 42 광자
- 43 삼각형 모양의 객체
- 44 장면

45', 45'', 45''' 3개의 검출 포인트들

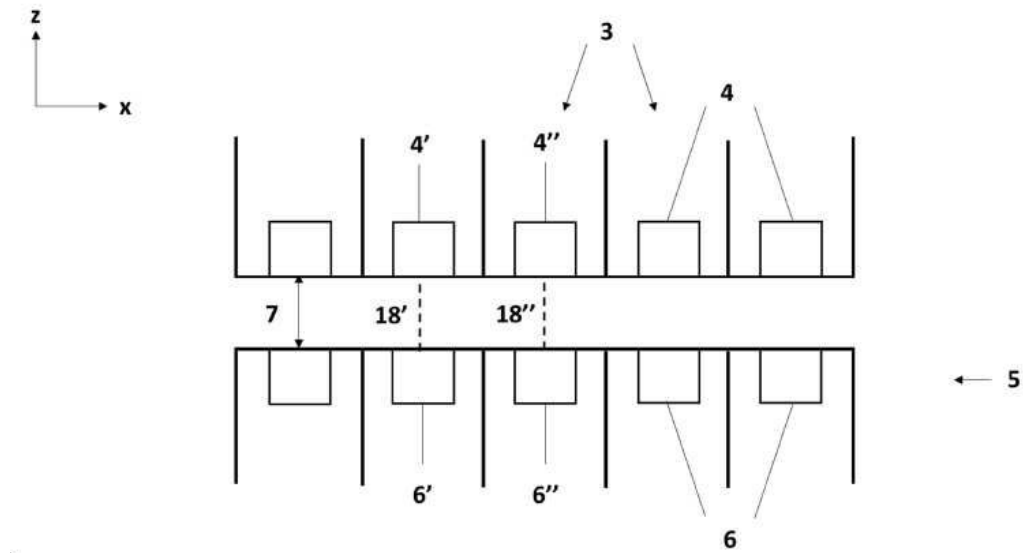
46', 46'', 46''' 3개의 노이즈 검출 포인트들

도면

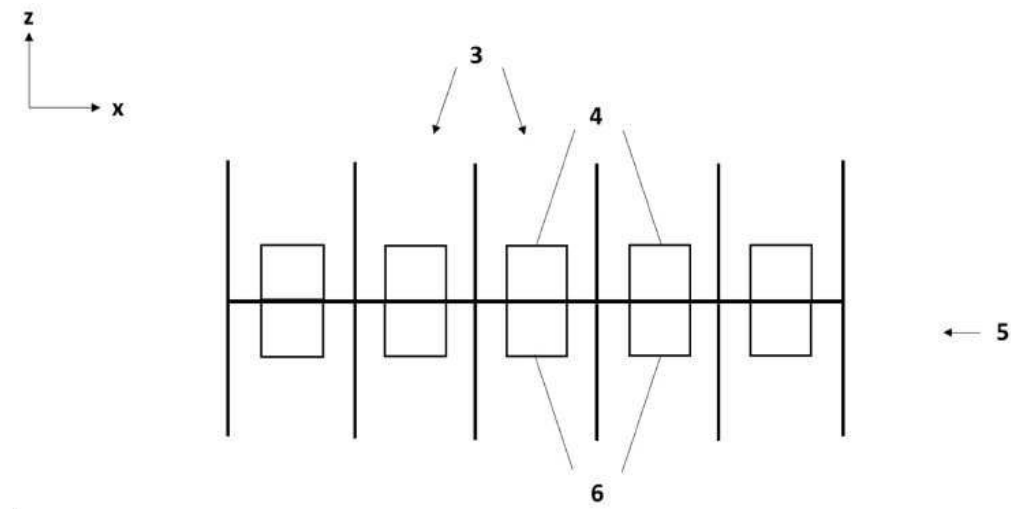
도면1



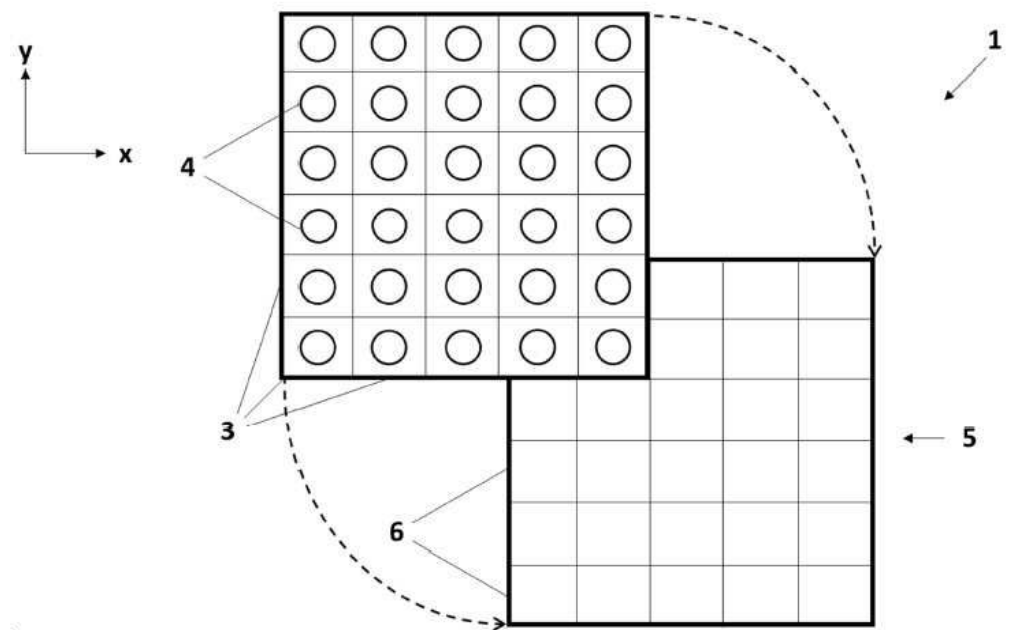
도면2



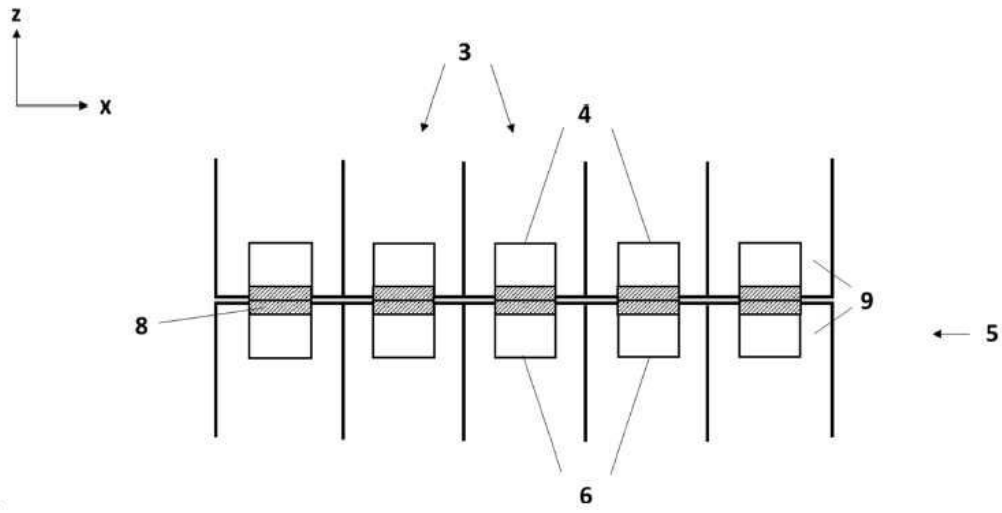
도면3



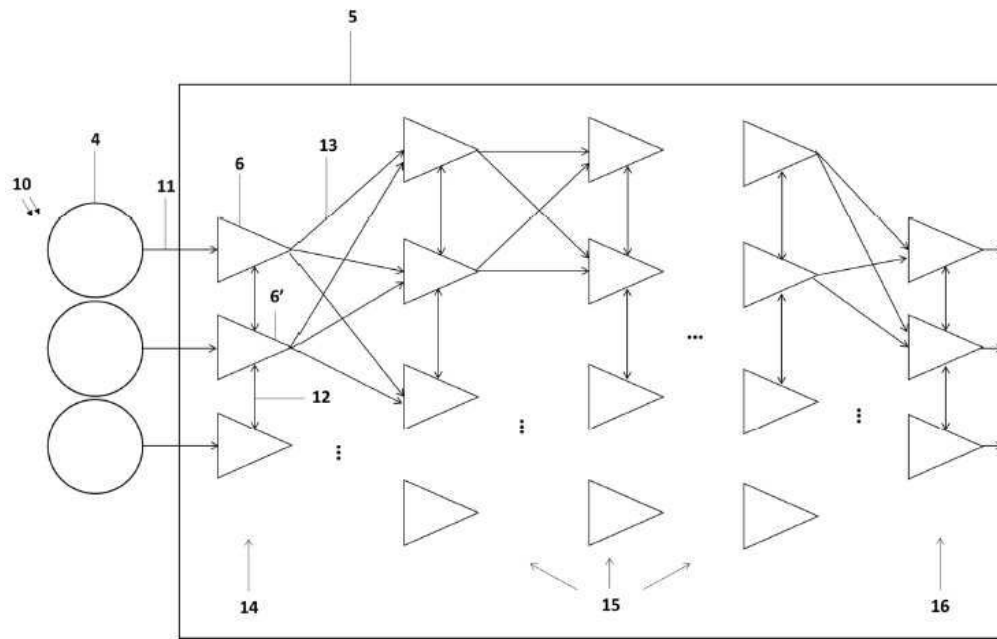
도면4



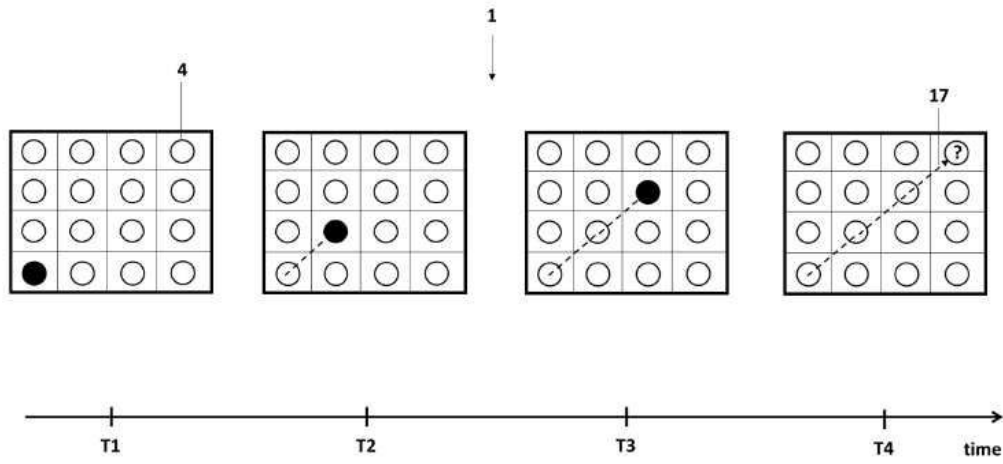
도면5



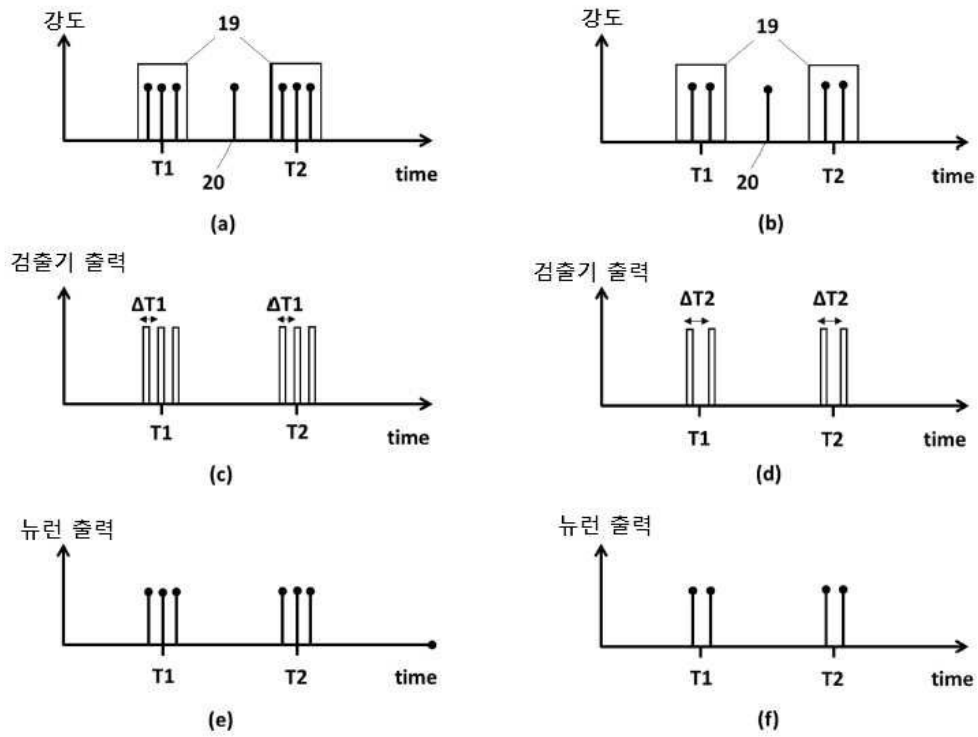
도면6



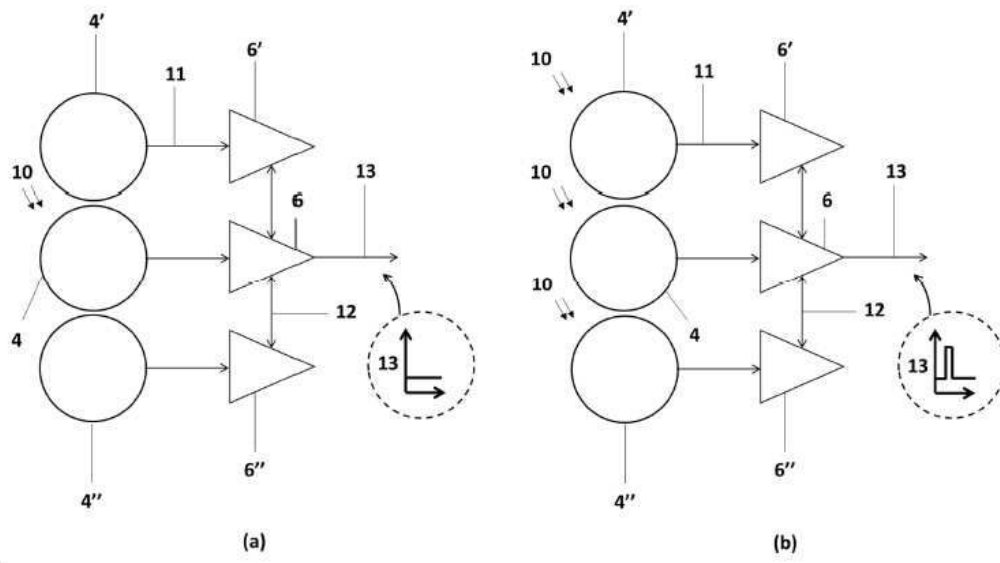
도면7



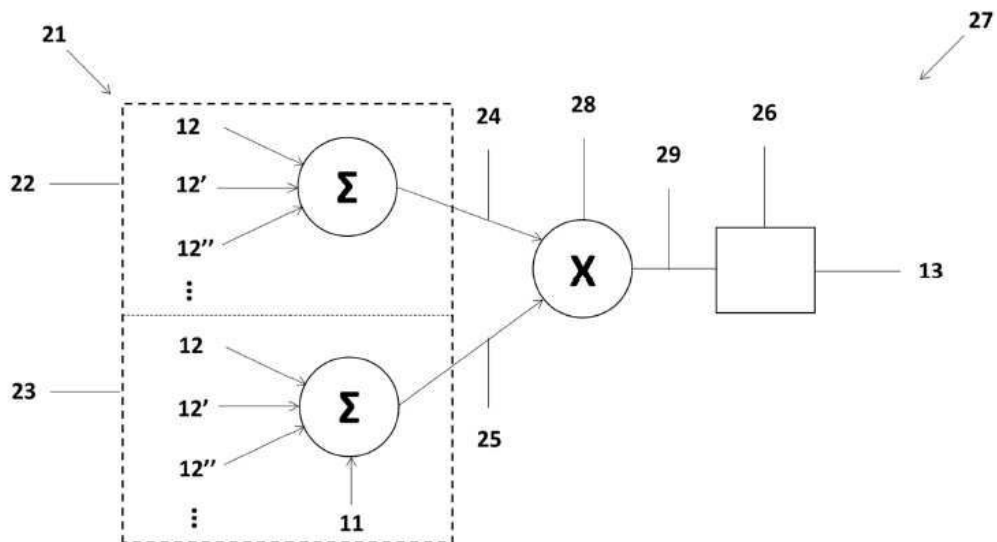
도면8



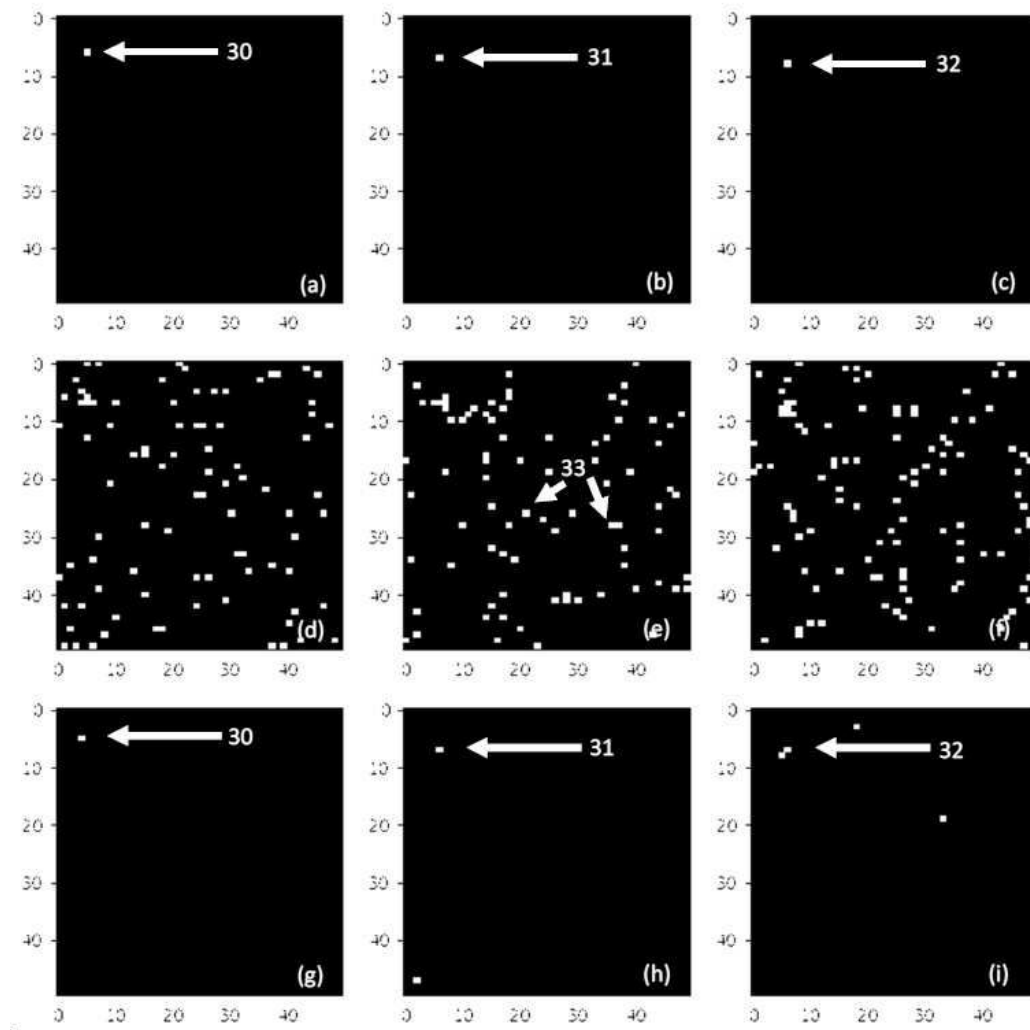
도면9



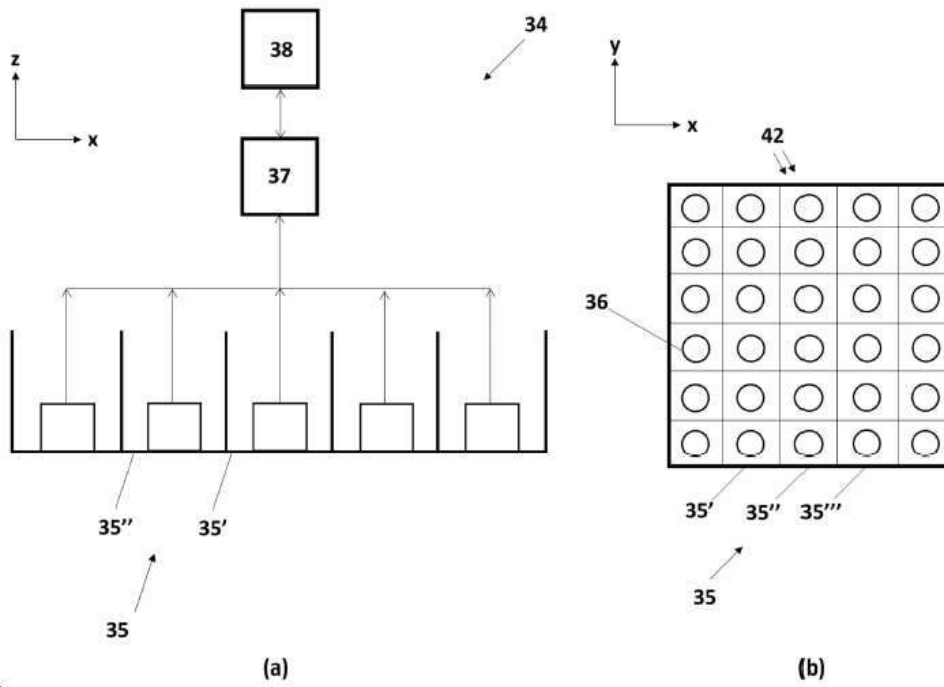
도면10



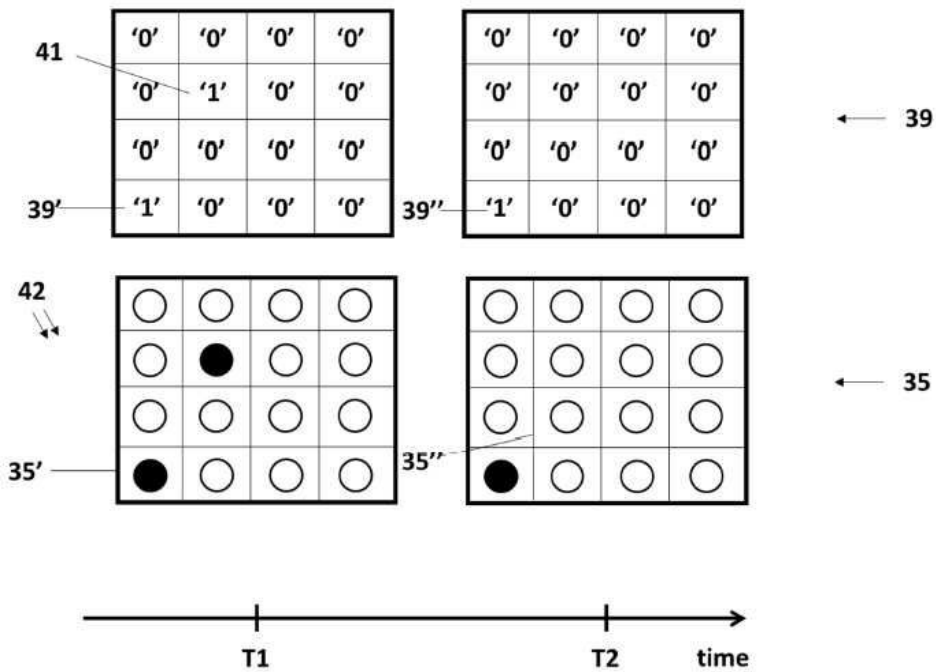
도면11



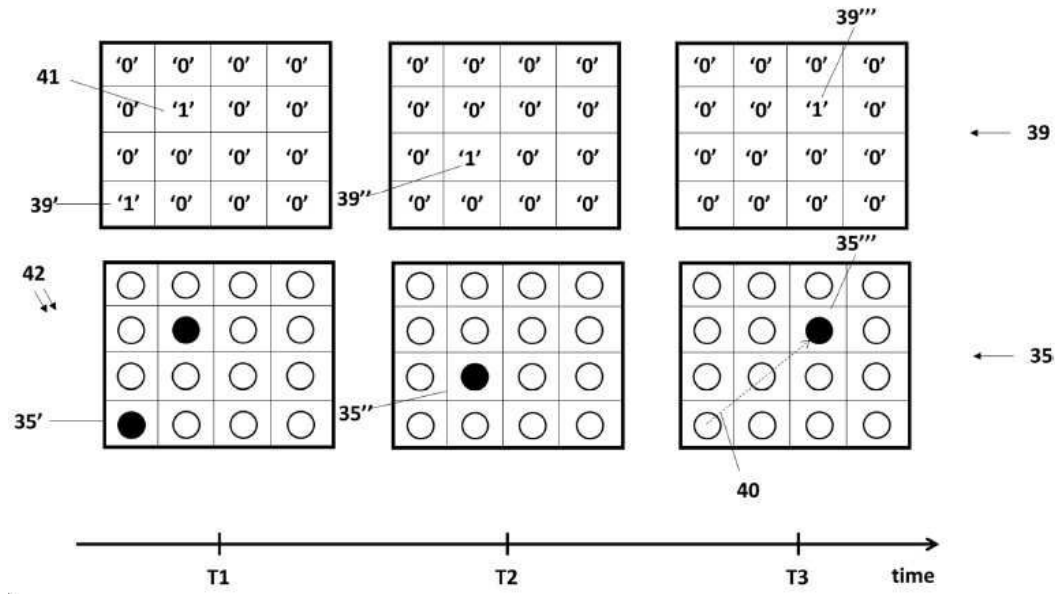
도면12



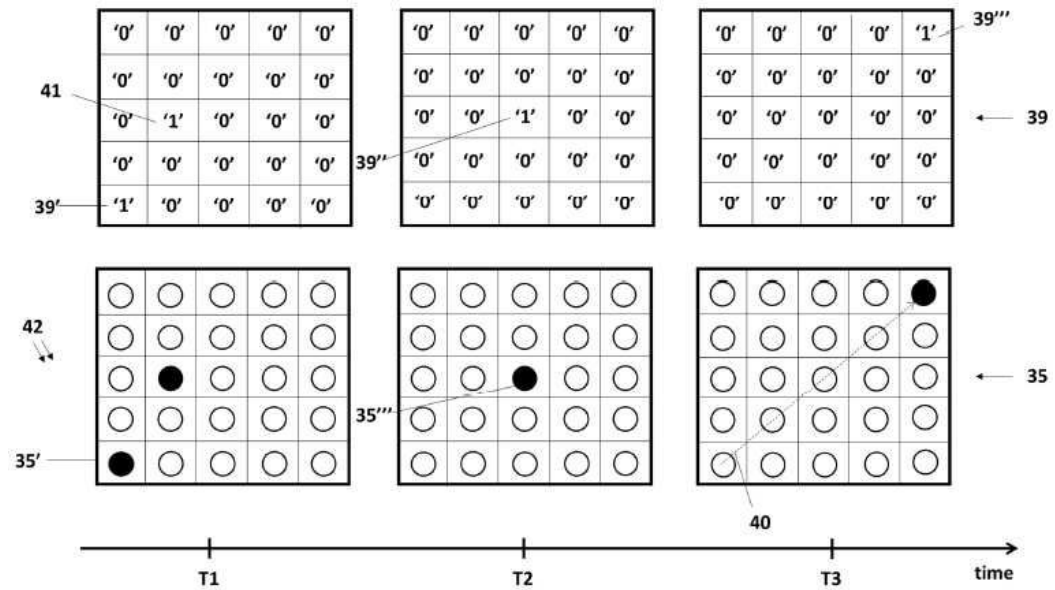
도면13



도면14



도면15



도면16

