(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0066433
(43) 공개일자 2021년06월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06N 5/04 (2006.01) *G06N 3/08* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06N 5/04 (2013.01)
G06N 3/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0155667
(22) 출원일자 2019년11월28일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
이경한
울산광역시 남구 중앙로290번길 53, 101동 1703호(신정동, 강변 센트럴하이츠)
이성용
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 308동 1504호(울산과학기술원)
(74) 대리인
성병기

전체 청구항 수 : 총 1 항

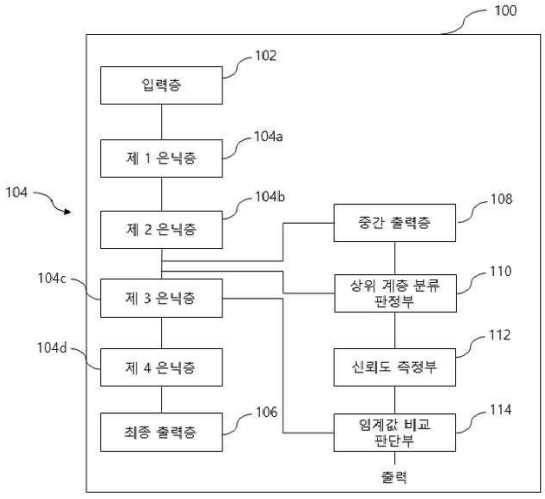
(54) 발명의 명칭 **심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템**

(57) 요 약

심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템이 개시된다.

본 개시의 일 실시 예에 따른 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템은 분류 대상인 요소들(element)에 대해 적어도 하나의 분류로의 추론을 수행하는 복수의 은닉층들, 상기 은닉층으로 상기 요소들을 입력하는 입력층 및 상기 요소들에 대해 수행된 분류와 관련된 최종 추론 데이터를 출력하는 출력층을 포함하는 학습부와, 상기 복수의 은닉층들 사이에서 상기 요소들에 가분류 및 상기 가분류에 대한 분류 확률들이 도출된 가추론 데이터를 출력하는 중간 출력층과, 상기 가추론 데이터에 포함된 상기 요소들의 분류 확률들 중 최고의 분류 확률를 선별하며, 상기 최고의 분류 확률을 갖는 요소를 제외한 다른 요소의 분류 확률과 상기 최고의 분류 확률 간의 분류 확률 패턴에 근거하여 상기 분류의 신뢰도를 측정하는 신뢰도 측정부를 포함한다.

대 표 도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2017-0-00045
부처명	미래창조과학부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원(IITP)
연구사업명	ETRI연구개발지원사업
연구과제명	초연결 지능 인프라 원천기술 연구개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	ETRI
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템에 있어서,

분류 대상인 요소들(element)에 대해 적어도 하나의 분류로의 추론을 수행하는 복수의 은닉층들, 상기 은닉층으로 상기 요소들을 입력하는 입력층 및 상기 요소들에 대해 수행된 분류와 관련된 최종 추론 데이터를 출력하는 출력층을 포함하는 학습부;

상기 복수의 은닉층들 사이에서 상기 요소들에 가분류 및 상기 가분류에 대한 분류 확률들이 도출된 가추론 데이터를 출력하는 중간 출력층;

상기 가추론 데이터에 포함된 상기 요소들의 분류 확률들 중 최고의 분류 확률를 선별하며, 상기 최고의 분류 확률을 갖는 요소를 제외한 다른 요소의 분류 확률과 상기 최고의 분류 확률 간의 분류 확률 패턴에 근거하여 상기 분류의 신뢰도를 측정하는 신뢰도 측정부를 포함하는, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템에 대한 것이며, 보다 구체적으로는 심층 학습에 소요되는 복잡도와 에너지 소모를 저감함과 아울러서 정확도 높은 심층학습의 조기 추론을 위한 분류 확률 패턴에 기반한 신뢰도 측정 시스템에 대한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 심층학습(Deep learning) 기법은 높은 정확도를 갖고 있으나, 높은 복잡도와 에너지 소모로 인해, 모바일 환경에서 사용하는데 문제가 있다. 높은 복잡도와 에너지 소비를 해결하는 방법으로 조기 추론이 가능한 심층학습이 제기되었고 조기 추론이 가능한 심층학습에는 여러가지 형태가 있다.

[0003] 도 1은 종래의 일 예로서, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템을 나타내는 블록도이다.

[0004] 도 1과 같이 조기 추론을 위한 중간 출력층(14)을 통하여 원래의 심층학습 네트워크보다 작은 은닉층을 통과하여 추론하며, 추론된 결과가 신뢰성이 높은 경우 그 추론 결과를 최종 추론값으로 사용한다. 만약, 신뢰성이 떨어질 경우에는 다시 은닉층으로 회귀하여 추론을 진행함으로써, 이와 같은 방식을 통하여 추론에 필요한 은닉층의 수를 감소시켜, 복잡도와 에너지 소비를 저감하는 기법을 조기 추론 가능한 심층학습이라고 한다.

[0005] 도 2는 종래의 다른 예로서, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템을 나타내는 블록도이다.

[0006] 도 2는 도 1과 유사한 형태의 조기 추론이 가능한 심층학습 네트워크이나, 복수의 계층이 있는 단계별 분류들을 추론하는 심층학습의 예시이다. 종래의 다른 예는 분류 대상인 요소에 대해 하위 계층의 분류, 예를 들어 감기, 복통, 두통, 말라리아, 에이즈. 암을 구분하여 병원에 갈지 말지를 정하는 심층학습 네트워크일 수 있다. 이 분류들은 예를 들어, 당장 병원에 가야할 심각한 병 (감기, 복통, 두통)과 심각하지 않은 병 (말라리아, 에이즈, 암)으로 상위 계층 분류를 구분할 수 있는 계층적인 분류이다.

[0007] 종래의 다른 예는 조기 추론을 위한 중간 출력층(26)을 통하여 심각한 병인지 아닌지를 구분하고, 심각한 병이라고 추론하면 다음 은닉층 3으로 이동한다. 만약, 심각하지 않은 병이라고 추론하면 신뢰도 측정부(30)를 통하여 조기 추론된 결과의 신뢰도를 판단한다. 신뢰성이 있다면 심각하지 않은 병으로 판단하고, 신뢰성이 없다고 판단되면, 다음 층인 은닉층 3으로 이동하고 추론을 계속 진행한다.

[0008] 도 1 및 도 2에 도시된 기존 신뢰도 측정 방식으로는 엔트로피 (Entropy)가 주로 사용된다. 이러한 엔트로피는 불확실성이 높을 때 값이 크며, 불확실성이 낮을 때 값이 작아진다. 그러나 엔트로피가 신뢰도 측정의 정확성을 보증하지 않는다. 한편, 신뢰도가 높을 때 엔트로피 값도 높도록 엔트로피의 식을 변형하는 신뢰도 측정 방식이 활용되기도 한다.

[0009] 그러나 이 방식 역시 엔트로피에 기반하고 있으므로, 엔트로피는 추론된 분류와 다른 한 분류의 확률이 유사함에도 불구하고, 나머지 분류들의 확률이 작으면 신뢰도가 높다고 판단하는 문제가 여전히 존재한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 개시의 기술적 과제는 기존의 엔트로피 기반의 신뢰도 측정 기법 대비 더 높은 분류 정확도와 더 빠른 평균 연산시간을 통하여, 정확도 높은 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템을 제공하는 것이다.

[0011] 본 개시의 다른 기술적 과제는 모바일 환경에서 심층학습 기법을 사용하는 부담을 줄임으로서 모바일 환경에서 사용되는 다양한 심층학습 기반의 어플리케이션을 구현할 수 있는 신뢰도 측정 시스템을 제공하는 것이다.

[0012] 본 개시의 또 다른 기술적 과제는 다계층 분류가능한 추론 기반의 심층학습을 위한 정확한 신뢰도 측정 방식을 제공함으로써, 데이터 처리 네트워크의 성능을 높일 수 있는 신뢰도 측정 시스템을 제공하는 것이다.

[0013] 본 개시에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 개시의 일 양상에 따르면, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템이 제공될 수 있다. 상기 시스템은 분류 대상인 요소들(element)에 대해 적어도 하나의 분류로의 추론을 수행하는 복수의 은닉층들, 상기 은닉층으로 상기 요소들을 입력하는 입력층 및 상기 요소들에 대해 수행된 분류와 관련된 최종 추론 데이터를 출력하는 출력층을 포함하는 학습부와, 상기 복수의 은닉층들 사이에서 상기 요소들에 가분류 및 상기 가분류에 대한 분류 확률들이 도출된 가추론 데이터를 출력하는 중간 출력층과, 상기 가추론 데이터에 포함된 상기 요소들의 분류 확률들 중 최고의 분류 확률을 선별하며, 상기 최고의 분류 확률을 갖는 요소를 제외한 다른 요소의 분류 확률과 상기 최고의 분류 확률 간의 분류 확률 패턴에 근거하여 상기 분류의 신뢰도를 측정하는 신뢰도 측정부를 포함한다.

[0015] 본 개시의 다른 실시예에 따르면, 상기 분류 확률 패턴은 상기 최고의 분류 확률과 상기 다른 요소의 분류 확률 간의 격차에 기반할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 분류 확률 패턴은 상기 격차에 대한 단조 감수 함수에 기반할 수 있다.

[0017] 본 개시의 또 다른 실시예에 따르면, 상기 신뢰도의 값이 임계값보다 큰 값을 갖는지 여부를 판단하는 임계값 비교 판단부를 더 포함하고, 판단 결과 큰 값인 경우, 상기 임계값 비교 판단부는 상기 가분류가 도출된 상기 가추론 데이터를 최종 분류로 추론하는 최종 추론 데이터로 출력하며, 판단 결과가 작은 값인 경우, 상기 임계값 비교 판단부는 상기 가추론 데이터가 출력된 은닉층 다음의 은닉층에 상기 가추론 데이터를 입력할 수 있다.

[0018] 본 개시의 또 다른 실시예에 따르면, 상기 분류가 복수의 계층으로 구성된 단계별 분류들로 설정되는 경우에, 상기 신뢰도 측정부는 각 분류마다 상기 신뢰도를 측정할 수 있다.

[0019] 또한, 상기 단계별 분류가 상위 분류 계층 및 하위 계층 분류를 포함하는 경우에, 상기 가추론 데이터가 상기 상위 계층 분류의 기준을 충족하는지 여부를 판단하는 상위 계층 분류 판정부를 더 포함하고, 판단 결과 상기 가추론 데이터가 상기 기준을 충족하면, 상기 상위 계층 분류 판정부는 상기 가추론 데이터이 출력된 은닉층 다음의 은닉층에 상기 가추론 데이터를 입력하며, 판단 결과 상기 가추론 데이터가 상기 기준을 충족하지 않으면, 상기 상위 계층 분류 판정부는 상기 신뢰도 판단부에 상기 가추론 데이터를 입력시킬 수 있다.

[0020] 본 개시의 또 다른 실시예에 따르면, 상기 복수의 은닉층들은 제 1 디바이스와 상기 제 1 디바이스보다 높은 연산 능력을 갖는 제 2 디바이스에 분할되어 설정되고, 상기 제 1 디바이스는 상기 중간 출력층, 상기 신뢰도 측정부를 포함할 수 있다.

[0021] 또한, 상기 신뢰도의 값이 임계값을 초과한 값인지 여부를 판단하는 임계값 비교 판단부를 상기 제 1 디바이스에 더 포함하고, 판단 결과 초과한 값인 경우, 상기 임계값 비교 판단부는 상기 가분류가 도출된 상기 가추론 데이터를 최종 분류로 추론하는 최종 추론 데이터로 출력하며, 판단 결과가 이하인 값인 경우, 상기 임계값 비교 판단부는 상기 가추론 데이터가 출력된 은닉층 다음의 상기 제 2 디바이스의 은닉층에 상기 가추론 데이터를

입력할 수 있다.

[0022] 아울러, 상기 분류가 복수의 계층으로 구성된 단계별 분류들로 설정되는 경우에, 상기 신뢰도 측정부는 각 분류마다 상기 신뢰도를 측정할 수 있다.

[0023] 이에 더하여, 상기 단계별 분류가 상위 분류 계층 및 하위 계층 분류를 포함하는 경우에, 상기 가추론 데이터가 상기 상위 계층 분류의 기준을 충족하는지 여부를 판단하는 상위 계층 분류 판정부를 상기 제 1 디바이스에 더 포함하고, 판단 결과 상기 가추론 데이터가 상기 기준을 충족하면, 상기 상위 계층 분류 판정부는 상기 중간 출력층으로부터 출력된 가추론 데이터를 상기 가추론 데이터가 출력된 은닉층 다음의 상기 제 2 디바이스의 은닉층에 입력하며, 판단 결과 상기 가추론 데이터가 상기 기준을 충족하지 않으면, 상기 상위 계층 분류 판정부는 상기 가추론 데이터를 상기 신뢰도 판단부에 입력시킬 수 있다.

[0024] 본 개시에 대하여 위에서 간략하게 요약된 특징들은 후술하는 본 개시의 상세한 설명의 예시적인 양상일 뿐이며, 본 개시의 범위를 제한하는 것은 아니다.

발명의 효과

[0025] 본 개시에 따르면, 기존의 엔트로피 기반의 신뢰도 측정 기법 대비 더 높은 분류 정확도와 더 빠른 평균 연산시간을 통하여, 정확도 높은 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템을 제공하는 것이다.

[0026] 또한, 본 개시에 따르면, 다계층 추론 기반의 심층학습으로 이루어진 데이터 처리 네트워크의 성능을 향상시키는, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템이 제공될 수 있다.

[0027] 또한, 본 개시에 따르면, 조기 추론이 가능한 심층학습 기법을 위한 정확한 신뢰도 측정을 통하여 기존의 엔트로피 기반의 신뢰도 측정 기법 대비 더 높은 분류 정확도와 더 빠른 평균 연산시간을 통하여, 모바일 환경에서 심층학습 기법을 사용하는 부담을 줄임으로서 모바일 환경에서 사용되는 다양한 심층학습 기반의 어플리케이션을 구현하는, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템이 제공될 수 있다.

[0028] 또한, 본 개시에 따르면, 조기 추론이 가능한 심층학습의 하위 출력층부터 상위 출력층으로 연결되는 구조는 모바일-엣지-코어로 구성된 데이터 처리 네트워크 노드들의 계층적 구조에 부합하는, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템이 제공될 수 있다.

[0029] 또한, 본 개시에 따르면, 연산 능력이 부족한 하위 계층의 데이터 처리 노드가 신뢰성이 확보된 경우에는 조기 출력을 통해 추론 결과를 획득함으로써, 사용자 응답시간 또는 추론에 소모되는 전력 소비를 저감하며, 신뢰성이 확보되지 않은 경우에는 응답시간의 손해를 감수하더라도, 코어 노드를 향해 추론을 오프로딩(offloading; 분산)하는, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템이 제공될 수 있다.

[0030] 본 개시에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 종래의 일 예로서, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템을 나타내는 블록도이다.

도 2는 종래의 다른 예로서, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템을 나타내는 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템을 나타내는 블록도이다.

도 4는 분류가 복수의 계층으로 구성된 단계별 분류들로 구성되는 예시를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 신뢰도 측정 시스템에서 구현되는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템을 나타내는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 개시의 실시 예에 대하여 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나, 본 개시는 여러 가지 상이한 형태로 구현

될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다.

[0033] 본 개시의 실시 예를 설명함에 있어서 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 개시의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그에 대한 상세한 설명은 생략한다. 그리고, 도면에서 본 개시에 대한 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0034] 본 개시에 있어서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소와 "연결", "결합" 또는 "접속"되어 있다고 할 때, 이는 직접적인 연결관계뿐만 아니라, 그 중간에 또 다른 구성요소가 존재하는 간접적인 연결관계도 포함할 수 있다. 또한 어떤 구성요소가 다른 구성요소를 "포함한다" 또는 "가진다"고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 배제하는 것이 아니라 또 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0035] 본 개시에 있어서, 제1, 제2 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용되며, 특별히 언급되지 않는 한 구성요소들간의 순서 또는 중요도 등을 한정하지 않는다. 따라서, 본 개시의 범위 내에서 일 실시 예에서의 제1 구성요소는 다른 실시 예에서 제2 구성요소라고 칭할 수도 있고, 마찬가지로 일 실시 예에서의 제2 구성요소를 다른 실시 예에서 제1 구성요소라고 칭할 수도 있다.

[0036] 본 개시에 있어서, 서로 구별되는 구성요소들은 각각의 특징을 명확하게 설명하기 위함이며, 구성요소들이 반드시 분리되는 것을 의미하지는 않는다. 즉, 복수의 구성요소가 통합되어 하나의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있고, 하나의 구성요소가 분산되어 복수의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있다. 따라서, 별도로 언급하지 않더라도 이와 같이 통합된 또는 분산된 실시 예도 본 개시의 범위에 포함된다.

[0037] 본 개시에 있어서, 다양한 실시 예에서 설명하는 구성요소들이 반드시 필수적인 구성요소들은 의미하는 것은 아니며, 일부는 선택적인 구성요소일 수 있다. 따라서, 일 실시 예에서 설명하는 구성요소들의 부분집합으로 구성되는 실시 예도 본 개시의 범위에 포함된다. 또한, 다양한 실시 예에서 설명하는 구성요소들에 추가적으로 다른 구성요소를 포함하는 실시 예도 본 개시의 범위에 포함된다.

[0038] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 개시의 실시 예들에 대해서 설명한다.

[0039] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템을 나타내는 블록도이며, 도 4는 분류가 복수의 계층으로 구성된 단계별 분류들로 구성되는 예시를 나타내는 도면이다.

[0040] 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템으로서의 딥러닝(deep learning) 추론 시스템(100)은 학습부, 중간 출력층(108), 상위 계층 분류 판정부(110), 신뢰도 측정부(112) 및 임계값 비교 판단부(114)를 포함할 수 있다.

[0041] 학습부는 분류 대상인 요소들(element)을 입력하는 입력층(102), 요소들에 대해 적어도 하나의 분류로의 추론을 수행하는 복수의 은닉층들(104a~104d)을 갖는 은닉부(104) 및 요소들에 대해 수행된 분류와 관련된 최종 추론 데이터를 출력하는 최종 출력층(106)을 포함한다.

[0042] 중간 출력층(108)은 복수의 은닉층들(104a~104d) 사이에서 요소들에 가분류 및 가분류에 대한 분류 확률들이 도출된 가추론 데이터를 출력한다.

[0043] 도 4에서와 같이, 분류가 복수의 계층으로 구성된 단계별 분류가 상위 분류 계층 및 하위 계층 분류를 포함하는 경우에, 상위 계층 분류 판정부(110)는 가추론 데이터가 상위 계층 분류의 기준을 충족하는지 여부를 판단할 수 있다. 판단 결과 가추론 데이터가 상기 기준을 충족하면, 상위 계층 분류 판정부(110)는 가추론 데이터가 출력된 은닉층(104b) 다음의 은닉층(104c)에 가추론 데이터를 입력하여, 후속 은닉층들(104c, 104d)를 통해 심층 학습의 추론 과정이 진행될 수 있다. 판단 결과 가추론 데이터가 상기 기준을 충족하지 않으면, 상위 계층 분류 판정부(110)는 가추론 데이터를 신뢰도 측정부(112)에 입력시킨다.

[0044] 본 실시예에서는 상위 계층 분류 판정부(110)를 포함하여 설명하고 있으나, 분류가 분류가 복수의 계층이 아닌 단일 분류 기준으로 설정되어 있거나, 상위 계층 분류에 대한 필터링 없는 다계층 분류들 전부에 대한 신뢰도를 측정하는 등의 경우에, 상위 계층 분류 판정부(110)는 생략될 수 있다.

[0045] 신뢰도 측정부(112)는 상위 계층 분류 판정부(110)로부터 수신된 가추론 데이터에 포함되어 있는 요소들의 분류 확률들 중 최고의 분류 확률를 선별하며, 최고의 분류 확률을 갖는 요소를 제외한 다른 요소의 분류 확률과 최고의 분류 확률 간의 분류 확률 패턴에 근거하여 상기 분류의 신뢰도를 측정한다.

[0046] 상술의 분류 확률 패턴은 상기 최고의 분류 확률과 상기 다른 요소의 분류 확률 간의 격차에 기반하고 있다. 또한, 분류 확률 패턴은 격차에 대한 단조 감수 함수에 기반할 수 있다. 격차에 대해 단조 감수 함수를 적용하여,

격차 기반 단순 함수의 스케일을 조절하면, 추론된 최고의 분류 확률가 다른 분류 확률과 유사한 경우가 존재하면 신뢰도를 대폭 하락시킴으로써 유사한 확률을 갖는 분류가 단 하나라도 있다면 신뢰도를 현저히 감소시킬 수 있다. 이에 따라, 추론된 분류의 최고의 분류 확률과 다른 분류 확률들과의 격차가 전부 일정 이상의 크기를 가져야, 높은 신뢰도를 갖는 점을 만족시킨다.

[0047] 신뢰도 측정부(112)에서 적용되는 분류 확률 패턴에 대해 상세히 설명하면, 전술한 바와 같이, 기본적으로 신뢰도가 높다는 것은 요소들에 있어서, 추론된 최고의 분류 확률과 다른 분류 확률들과의 격차가 전부 일정 이상의 크기를 가져야 한다는 것이고, 이를 표현한 신뢰도와 관련된 분류 확률 패턴의 수식은 하기 수학식 1과 같다.

[0048] [수학식 1]

[0049] $$y_{max} = \max(y_c),$$

[0050] $$c^* = argmax(y_c),$$

[0051] $$\text{proposed_confidence}(y) = \alpha \sum_{c \in C/\{c^*\}} f(y_{max} - y_c) + \beta,$$

[0052] 여기서, α, β는 임의의 상수, $f(\cdot)$는 단조함수, y는 모든 분류 확률들이 포함된 벡터, $C/\{c^*\}$는 분류들의 집합 C에서 y_{max}를 가지는 분류인 c^*를 제외한 집합이다.

[0053] 수학식 1을 살펴보면, y_{max}는 가장 높은, 최고의 분류 확률이고, 이는 추론된 분류의 확률을 의미한다. $y_{max} - y_c$는 추론된 최고의 분류 확률과 다른 분류 확률 간의 차를 의미한다. 즉, 수학식 1과 같이 제안하는 신뢰도 측정 방식은 추론된 최고의 분류 확률과 다른 분류의 확률의 차가 클수록 신뢰도는 상승하며, 차가 작을수록 신뢰도는 하락한다. $f(y_{max} - y_c)$는 $y_{max} - y_c$에 log와 같은 $f(\cdot)$의 미분함수 $f'(\cdot)$이 단조 감소 함수인 $f(\cdot)$를 취함으로써 스케일을 조절할 수 있다.

[0054] 또한 도 4에서와 같이, 분류가 복수의 계층으로 구성된 단계별 분류들로 구성되는 경우에, 신뢰도 측정부(112)는 각 분류마다 상기 신뢰도를 측정할 수 있다. 도 4에 도시된 분류의 계층에서 하위 계층 분류(a1~a6)이 {말라리아, 에이즈, 암, 감기, 복통, 두통}이며, 상위 계층의 분류(A1, A2)은 {심각한 병, 심각하지 않은 병} 인 것을 예시하여 설명한다. 하위 계층 분류의 분류 확률이 {말라리아, 에이즈, 암, 감기, 복통, 두통} ={0.4, 0.4, 0.1, 0.05, 0.05, 0}일 경우, 하위 계층 분류(a1~a6)의 분류 확률에 대한 신뢰도는 -4.2199로 낮고, 상위 계층 분류(A1, A2)의 분류 확률을 활용한 신뢰도는 {심각한 병, 심각하지 않은 병}={0.9, 0.1}로 신뢰도는 -0.2231로 매우 높다. 이와 같이, 신뢰도는 어떤 계층의 분류를 사용하는 가에 따라 상이하다.

[0055] 임계값 비교 판단부(114)는 신뢰도의 값이 임계값을 초과한 값을 갖는지 여부를 판단한다. 판단 결과 초과한 값인 경우, 임계값 비교 판단부(114)는 가분류가 도출된 가추론 데이터를 최종 분류로서의 최종 추론 데이터를 출력한다.

[0056] 판단 결과가 미만인 값인 경우, 임계값 비교 판단부(114)는 가추론 데이터가 출력된 은닉층(104b) 다음의 은닉층(104c)에 가추론 데이터를 입력하여, 후속 은닉층들(104c, 104d)를 통해 심층 학습의 추론 과정이 진행될 수 있다.

[0057] 신뢰성을 판단하는 임계값은 어느 계층의 분류의 신뢰도에서 사용할 수 있으나, 조기 추론이 판단하려는 분류에 따라 상이할 수 있다. 계층이 있는 분류에서 신뢰성을 판단하는 신뢰도는 은닉층의 출력을 수신하는 중간 출력층(108)의 위치마다 다를 수 있다.

[0058] 이하에서는, 도 3 내지 도 5를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 신뢰도 측정 시스템에서 구현되는 신뢰도 측정에 따른 조기 추론 방법을 설명하기로 한다. 본 실시예에서는 분류가 복수의 계층으로 구성된 단계별 분류가 있는 경우를 위주로 기술한다.

[0059] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 신뢰도 측정 시스템에서 구현되는 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0060] 먼저, 중간 출력층(108)은 분류 대상인 요소들에 대해 추론을 수행하는 복수의 은닉층들(104a~104d) 사이에서 요소들에 대한 가분류 및 이의 분류 확률들이 도출된 가추론 데이터 출력한다(S605).

[0061] 다음으로, 상위 계층 분류 판정부(110)는 요소들에 대한 분류가 수행된 가추론 데이터가 상위 계층의 특정 분류로 구성되는지를 판정한다(S610).

[0062] 판단 결과, 가추론 데이터가 상기 기준을 충족하면(S610의 Y), 상위 계층 분류 판정부(110)는 가추론 데이터가 출력된 은닉층(104b) 다음의 은닉층(104c)에 가추론 데이터를 입력하여(S615), 후속 은닉층들(104c, 104d)를 통해 심층 학습의 추론 과정이 진행될 수 있다.

[0063] 판단 결과 가추론 데이터가 상기 기준을 충족하지 않으면(S610의 N), 상위 계층 분류 판정부(110)는 가추론 데이터를 신뢰도 측정부(112)에 입력시킨다.

[0064] 다음으로, 신뢰도 측정부(112)는 상위 계층 분류 판정부(110)로부터 수신된 가추론 데이터에 포함되어 있는 요소들의 분류 확률들 중 최고의 분류 확률을 선별하며, 최고의 분류 확률을 갖는 요소를 제외한 다른 요소의 분류 확률과 최고의 분류 확률 간의 분류 확률 패턴에 근거하여 상기 분류의 신뢰도를 측정한다(S620).

[0065] 이 경우에, 신뢰도 측정부(112)는 각 분류마다 신뢰도를 측정한다.

[0066] 상술의 분류 확률 패턴은 최고의 분류 확률과 상기 다른 요소의 분류 확률 간의 격차에 기반하고 있다. 또한, 분류 확률 패턴은 격차에 대한 단조 감수 함수에 기반할 수 있다. 이를 표현한 신뢰도와 관련된 분류 확률 패턴의 수식은 상술의 수학식 1과 같다.

[0067] 계속해서, 임계값 비교 판단부(114)는 신뢰도의 값이 임계값보다 큰 값을 갖는지 여부를 판단한다(S625).

[0068] 판단 결과 초과한 값인 경우(S625의 Y), 임계값 비교 판단부(114)는 가분류가 도출된 가추론 데이터를 최종 분류로서의 최종 추론 데이터를 출력한다(S630).

[0069] 판단 결과가 미만인 값인 경우(S625의 N), 임계값 비교 판단부(114)는 가추론 데이터가 출력된 은닉층(104b) 다음의 은닉층(104c)에 가추론 데이터를 입력하여(S615), 후속 은닉층들(104c, 104d)를 통해 심층 학습의 추론 과정이 진행될 수 있다.

[0070] 이하에서는, 본 실시예에 따른 신뢰도 측정 및 배경기술에 기재된 종래 다른 예에 따른 신뢰도 측정을 비교하여, 본 발명에 따른 효과를 설명하기로 한다.

[0071] 분류 A, B, C, D일 확률 $p_1 = [0.6, 0.35, 0.025, 0.025]$, $p_2 = [0.6, 0.2, 0.1, 0.1]$ 일 경우, 추론된 분류의 확률과 다른 분류들의 확률들과의 격차가 모두 일정 이상의 크기를 가져야 신뢰도가 높다는 신뢰도의 의미적인 측면에서 보면, p_1의 경우 가장 높은 확률과 두번째로 높은 확률의 차, 즉 추론된 분류와 다른 분류와의 가장 적은 확률 격차가 0.25이고, p_2의 경우는 0.4이다. 신뢰도의 의미적인 측면에서, p_2의 신뢰도가 p_1의 신뢰도보다 크다고 할 수 있다.

[0072] 이러한 분류 확률을 종래의 다른 예에 적용할 경우의 방식은 신뢰도가 높을 때 엔트로피가 높도록 엔트로피 식을 수학식 2와 같이 변형한 것이다.

[0073] [수학식 2]

[0074] $$entropy_confidence(y) = \sum_{c \in C} y_c log y_c,$$

[0075] 이때 y는 모든 분류의 확률이 포함된 벡터이고 C는 모든 가능한 분류의 집합이다.

[0076] 종래의 다른 예에 따르면, 분류 A, B, C, D일 확률 $p_1 = [0.6, 0.35, 0.025, 0.025]$ 일 경우, $entropy_confidence(p_1) = -0.8584$ 이고, 분류 A, B, C, D일 확률 $p_2 = [0.6, 0.2, 0.1, 0.1]$ 일 경우, $entropy_confidence(p_2) = -1.0889$ 이다. 그러므로 $entropy_confidence$는 p_1의 경우가 p_2의 경우보다 신뢰도가 높다고 추론된다.

[0077] 그러나, 이는 신뢰도의 의미적인 측면의 결과와 반대되는 부정확한 판단이다. 본 실시예에서의 수학식 2에 따른 신뢰도 측정 방식 ($\alpha = 1, \beta = 0, f(\cdot) = ln(\cdot)$)으로 계산한 경우, $proposed_confidence(p_1) = -2.4931$ 이고, $proposed_confidence(p_2) = -2.3026$ 으로 p_2의 신뢰도가 p_1

의 신뢰도보다 크다고 할 수 있다. 본 실시예에 따른 신뢰도 측정 방식은 엔트로피를 이용한 신뢰도 측정 방식과 다르게 신뢰도의 의미적인 측면의 결과와 동일한 정확한 신뢰도를 추론한다.

[0078] 즉, 본 실시예에 의하면, 기존의 엔트로피 기반의 신뢰도 측정 기법 대비 더 높은 분류 정확도와 더 빠른 평균 연산시간을 통하여, 정확도 높은 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정이 가능하다.

[0079] 이에 더하여, 조기 추론이 가능한 심층학습 기법을 위한 정확한 신뢰도 측정을 통하여 기존의 엔트로피 기반의 신뢰도 측정 기법 대비 더 높은 분류 정확도와 더 빠른 평균 연산시간을 통하여, 모바일 환경에서 심층학습 기법을 사용하는 부담을 줄임으로서 모바일 환경에서 사용되는 다양한 심층학습 기반의 어플리케이션을 구현할 수 있다.

[0080] 본 실시예는 상위 계층 분류 판정부(110)와 관련된 단계 S610을 포함하고 있으나, 경우에 따라 상술한 부분을 생략한 다른 단계들만으로 수행되는 실시예도 본원의 권리범위에서 배제되지 아니한다.

[0081] 이하에서는, 도 6을 참조하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템에 대하여 설명하기로 한다.

[0082] 본 실시예는 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템(100)이 제 1 디바이스(202) 및 이보다 높은 연산 능력을 갖는 제 2 디바이스(204)에 오프로딩(offloading) 되는 구성에 관한 것이다. 본 실시예에서 도 3에서 설명된 부재와 실질적으로 동일한 기능을 담당하는 구성요소에 대해서 상세한 설명을 생략하기로 한다.

[0083] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템을 나타내는 블록도이다.

[0084] 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템으로서의 딥러닝 추론 시스템(200)은 상술한 바와 같이, 제 1 디바이스(202) 및 이보다 높은 연산 능력을 갖는 제 2 디바이스(204)로 구성될 수 있다. 제 1 디바이스(202)는 예를 들어, 모바일 디바이스일 수 있으며, 제 2 디바이스(204)는 이와 통신하는 서버일 수 있다.

[0085] 제 1 디바이스(202)는 학습부, 중간 출력층(210), 상위 계층 분류 판정부(212), 신뢰도 측정부(214) 및 임계값 비교 판단부(216)를 포함할 수 있다.

[0086] 학습부는 분류 대상인 요소들을 입력하는 입력층(206) 및 요소들에 대해 적어도 하나의 분류로의 추론을 수행하는 복수의 은닉층들(208a, 208b)을 갖는 은닉부(208)을 포함할 수 있다. 여기서 은닉부(208)는 전체 추론이 진행가능한 모든 은닉층들을 포함하는 것이 아니라, 조기 추론을 위한 일부 은닉층들(208a, 208b)을 포함한다. 다른 은닉층들(218a~218d)은 제 2 디바이스(204)에 분할되어 설정된다.

[0087] 중간 출력층(210) 및 신뢰도 측정부(214)는 도 3의 실시예에서의 기능과 실질적으로 동일하여 상세한 기능 설명은 생략한다.

[0088] 분류가 복수의 계층으로 구성된 단계별 분류들로 구성되며, 단계별 분류가 상위 분류 계층 및 하위 계층 분류를 포함하는 경우에, 상위 계층 분류 판정부(212)는 가추론 데이터가 상위 계층 분류의 기준을 충족하는지 여부를 판단할 수 있다.

[0089] 판단 결과 가추론 데이터가 기준을 충족하면, 상위 계층 분류 판정부(212)는 중간 출력층(210)으로부터 출력된 가추론 데이터를 가추론 데이터가 출력된 은닉층(208b) 다음의 제 2 디바이스(204)의 은닉층(218c)에 입력하여, 후속 은닉층들(218a~218d)을 통한 추론을 진행한다. 판단 결과 가추론 데이터가 기준을 충족하지 않으면, 상위 계층 분류 판정부(212)는 가추론 데이터를 신뢰도 측정부(214)에 입력시킨다.

[0090] 임계값 비교 판단부(216)는 신뢰도의 값이 임계값을 초과한 값인지 여부를 판단한다. 판단 결과 초과한 값인 경우, 임계값 비교 판단부(216)는 가분류가 도출된 가추론 데이터를 최종 분류로 추론하는 최종 추론 데이터로 출력한다. 판단 결과가 이하인 값인 경우, 임계값 비교 판단부(216)는 가추론 데이터가 출력된 은닉층(208b) 다음의 제 2 디바이스(204)의 은닉층에 상기 가추론 데이터를 입력하여, 후속 은닉층들(218a~218d)을 통한 추론을 진행한다.

[0091] 제 2 디바이스(204)는 후속 추론을 위한 나머지 은닉층들(218a~218d)과 이에 의한 최종 추론 데이터를 출력하는 최종 출력층(220)을 포함할 수 있다.

[0092] 본 실시예에서는 상위 계층 분류 판정부(212)를 포함하여 설명하였으나, 도 3에서 상술한 바와 같이 경우에 따라 생략할 수 있다.

[0093] 본 실시예에 따르면, 조기 추론이 가능한 심층학습의 하위 출력층부터 상위 출력층으로 연결되는 구조는 모바일-엣지-코어로 구성된 데이터 처리 네트워크 노드들의 계층적 구조에 부합하는, 심층 학습의 조기 추론을 위한 신뢰도 측정 시스템이 제공될 수 있다.

[0094] 또한, 본 실시예에 따르면, 연산 능력이 부족한 하위 계층의 데이터 처리 노드가 신뢰성이 확보된 경우에는 조기 출력을 통해 추론 결과를 획득함으로써, 사용자 응답시간 또는 추론에 소모되는 전력 소비를 저감하며, 신뢰성이 확보되지 않은 경우에는 응답시간의 손해를 감수하더라도, 코어 노드를 향해 추론을 오프로딩할 수 있다.

[0095] 본 개시의 예시적인 방법들은 설명의 명확성을 위해서 동작의 시리즈로 표현되어 있지만, 이는 단계가 수행되는 순서를 제한하기 위한 것은 아니며, 필요한 경우에는 각각의 단계가 동시에 또는 상이한 순서로 수행될 수도 있다. 본 개시에 따른 방법을 구현하기 위해서, 예시하는 단계에 추가적으로 다른 단계를 포함하거나, 일부의 단계를 제외하고 나머지 단계를 포함하거나, 또는 일부의 단계를 제외하고 추가적인 다른 단계를 포함할 수도 있다.

[0096] 본 개시의 다양한 실시 예는 모든 가능한 조합을 나열한 것이 아니고 본 개시의 대표적인 양상을 설명하기 위한 것이며, 다양한 실시 예에서 설명하는 사항들은 독립적으로 적용되거나 또는 둘 이상의 조합으로 적용될 수도 있다.

[0097] 또한, 본 개시의 다양한 실시 예는 하드웨어, 펌웨어(firmware), 소프트웨어, 또는 그들의 결합 등에 의해 구현될 수 있다. 하드웨어에 의한 구현의 경우, 하나 또는 그 이상의 ASICs(Application Specific Integrated Circuits), DSPs(Digital Signal Processors), DSPDs(Digital Signal Processing Devices), PLDs(Programmable Logic Devices), FPGAs(Field Programmable Gate Arrays), 범용 프로세서(general processor), 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러, 마이크로 프로세서 등에 의해 구현될 수 있다.

[0098] 본 개시의 범위는 다양한 실시 예의 방법에 따른 동작이 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행되도록 하는 소프트웨어 또는 머신-실행가능한 명령들(예를 들어, 운영체제, 애플리케이션, 펌웨어(firmware), 프로그램 등), 및 이러한 소프트웨어 또는 명령 등이 저장되어 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행 가능한 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체(non-transitory computer-readable medium)를 포함한다.

부호의 설명

[0099] 100: 딥러닝 추론 시스템 102: 입력층

104a~104d: 은닉층들 106: 최종 출력층

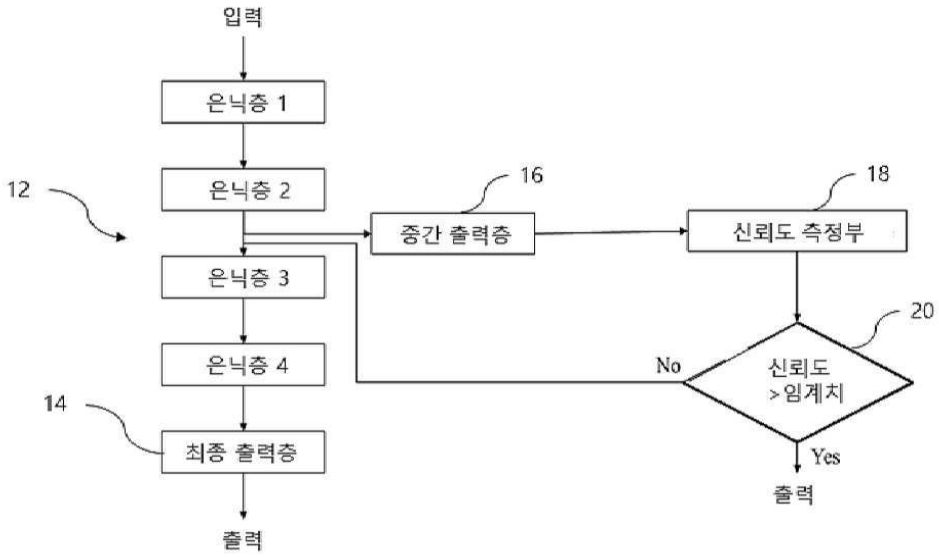
108: 중간 출력층 110: 상위 계층 분류 판정부

112: 신뢰도 측정부 114: 임계값 비교 판단부

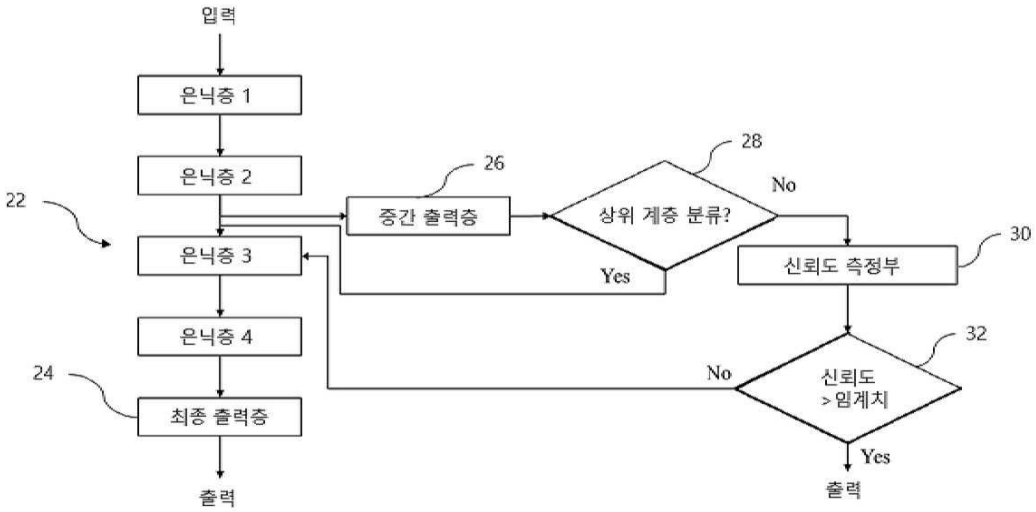
202: 제 1 디바이스 204: 제 2 디바이스

도면

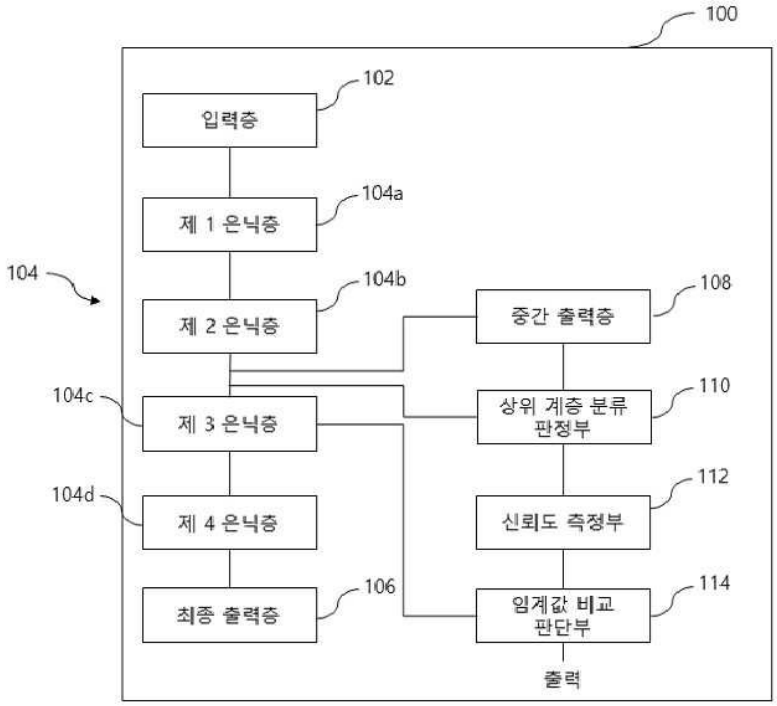
도면1


입력
은닉층 1
은닉층 2
은닉층 3
은닉층 4
최종 출력층
출력
12
14
16
증간 출력층
18
신뢰도 측정부
20
신뢰도
>임계치
No
Yes
출력

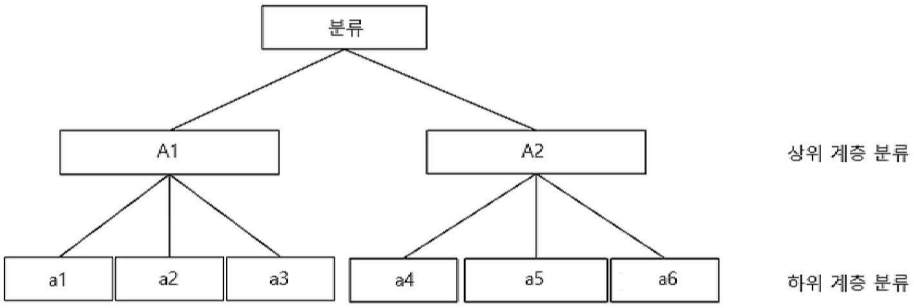
도면2


입력
은닉층 1
은닉층 2
은닉층 3
은닉층 4
최종 출력층
출력
22
24
26
증간 출력층
28
상위 계층 분류?
No
Yes
30
신뢰도 측정부
32
신뢰도
>임계치
No
Yes
출력

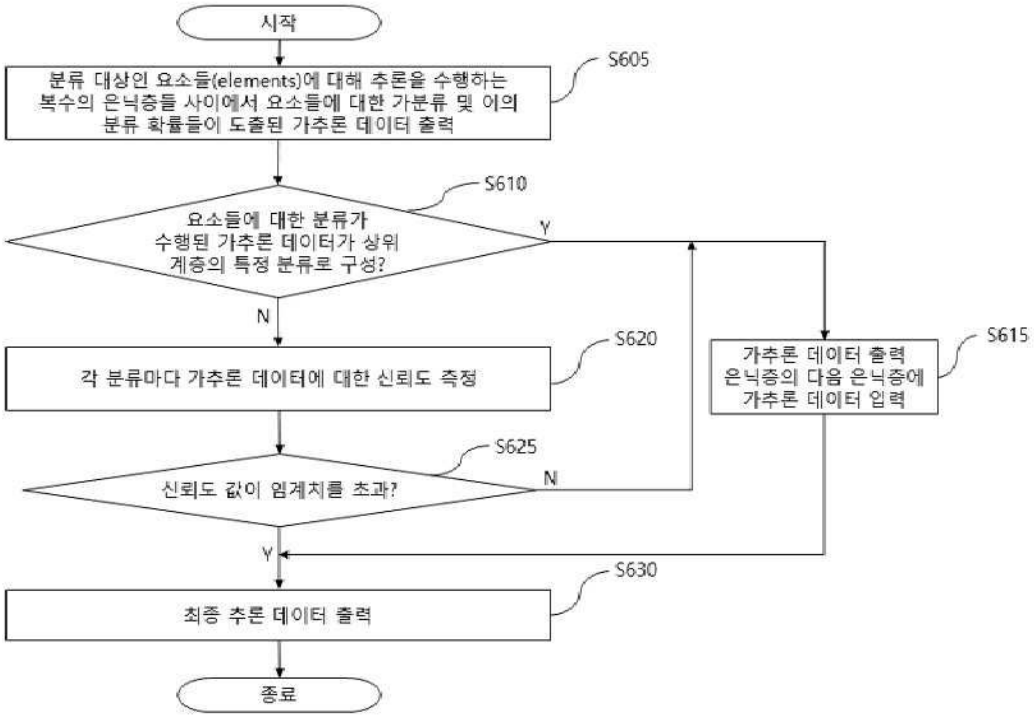
도면3


100
102
입력층
104a
제 1 은닉층
104
104b
제 2 은닉층
108
중간 출력층
104c
제 3 은닉층
110
상위 계층 분류 판정부
104d
제 4 은닉층
112
신뢰도 측정부
106
최종 출력층
114
임계값 비교 판단부
출력

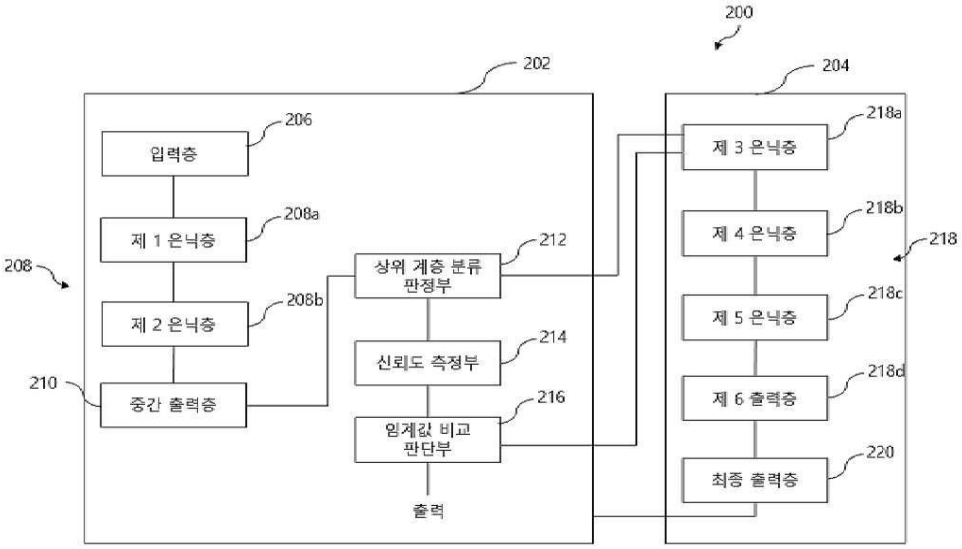
도면4


분류
A1
A2
상위 계층 분류
a1
a2
a3
a4
a5
a6
하위 계층 분류

도면5


시작
분류 대상인 요소들(elements)에 대해 추론을 수행하는 복수의 은닉층들 사이에서 요소들에 대한 가분류 및 이의 분류 확률들이 도출된 가추론 데이터 출력
S605
S610
요소들에 대한 분류가 수행된 가추론 데이터가 상위 계층의 특정 분류로 구성?
Y
N
S620
각 분류마다 가추론 데이터에 대한 신뢰도 측정
S625
신뢰도 값이 임계치를 초과?
N
Y
S615
가추론 데이터 출력 은닉층의 다음 은닉층에 가추론 데이터 입력
S630
최종 추론 데이터 출력
종료

도면6


200
202
204
206
입력층
208a
제 1 은닉층
208
208b
제 2 은닉층
210
중간 출력층
212
상위 계층 분류 판정부
214
신뢰도 측정부
216
임계값 비교 판단부
출력
218a
제 3 은닉층
218b
제 4 은닉층
218
218c
제 5 은닉층
218d
제 6 출력층
220
최종 출력층