

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2021-0078260
(43) 공개일자 2021년06월28일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 $G06F\ 1/08$ (2006.01) $G06F\ 11/30$ (2006.01)
 $G06N\ 20/00$ (2019.01)
 (52) CPC특허분류
 $G06F\ 1/08$ (2013.01)
 $G06F\ 11/3051$ (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2019-0170113
 (22) 출원일자 2019년12월18일
 심사청구일자 2019년12월18일

- (71) 출원인
 고려대학교 산학협력단
 서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
 (72) 발명자
 정성우
 서울특별시 강남구 도곡로28길 8, 104동 1802호 (도곡동, 도곡1차아이파크아파트)
 김선영
 서울특별시 동대문구 왕산로 86, 101동 2212호 (용두동, 동대문 푸르지오시티)
 최승훈
 전라북도 정읍시 수성택지2길 17, 112동 108호 (수성동, 부영1차 아파트)
 (74) 대리인
 송인호, 윤형근, 최관락

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치

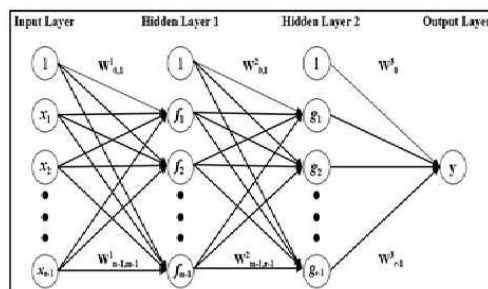
(57) 요약

본 발명은 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치에 관한 것이다.

본 발명의 일실시예에 관련된 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치는 기계학습 알고리즘을 이용하여 서버 및 데이터 센터의 프로세서의 발열 문제를 해결하기 위한 최적의 CPU 주파수 예측 장치로서,

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



프로세서; 및 상기 프로세서에 연결되는 메모리를 포함하되, 상기 메모리는 CPU 각 코어의 온도, CPU 코어의 사용률, 메모리 사용률, CPU 사양 및 주변 온도 중 적어도 하나를 포함하는 환경 요인을 고려하여 학습된 최적 주파수 예측 모델을 생성하고, 학습이 완료된 최적 주파수 예측 모델에 현재의 CPU 각 코어의 온도, CPU 코어의 사용률, 메모리 사용률, CPU 사양 및 주변 온도 중 적어도 하나에 따른 입력 값을 결정하고, 현재 어플리케이션을 실행중인 서버가 상기 최적 주파수 예측 모델에서 출력하는 예측 CPU 최적 주파수에서 동작되도록, 상기 프로세서에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들을 저장하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

G06F 11/3058 (2013.01)

G06N 20/00 (2019.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711092891
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	차세대정보·컴퓨팅기술개발(R&D)
연구과제명	단일 서버에서 에너지/발열 최적 시스템 SW 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2019.03.01 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

기계학습 알고리즘을 이용하여 서버 및 데이터 센터의 프로세서의 발열 문제를 해결하기 위한 최적의 CPU 주파수 예측 장치로서,

프로세서; 및

상기 프로세서에 연결되는 메모리를 포함하되,

상기 프로세서,

CPU 각 코어의 온도, CPU 코어의 사용률, 메모리 사용률, CPU 사양 및 주변 온도 중 적어도 하나를 포함하는 환경 요인을 고려하여 학습된 최적 주파수 예측 모델을 생성하고,

학습이 완료된 최적 주파수 예측 모델에 현재의 CPU 각 코어의 온도, CPU 코어의 사용률, 메모리 사용률, CPU 사양 및 주변 온도 중 적어도 하나에 따른 입력 값을 결정하고,

상기 메모리는

현재 어플리케이션을 실행중인 서버가 상기 최적 주파수 예측 모델에서 출력하는 예측 CPU 최적 주파수에서 동작되도록,

상기 프로세서에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들을 저장하는 최적의 CPU 주파수 예측 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 결정된 입력 값은 숫자 값인 것을 특징으로 하는 최적의 CPU 주파수 예측 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 CPU 코어 사용률에 따라 0~1 사이의 값이 상기 CPU 코어의 사용률에 대응되는 입력 값으로 입력되는 것을 특징으로 하는 최적의 CPU 주파수 예측 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 메모리 사용률에 상응하는 입력 값은 LLC(Last Level Cache) MPKI(Miss Per Kilo Instruction)가 고려된 값인 것을 특징으로 하는 최적의 CPU 주파수 예측 장치.

청구항 5

제2항에 있어서,

입력 값의 수가 어플리케이션마다 동일해질 수 있도록 샘플링(Sampling)하여 상기 최적 주파수 예측 모델의 입력 값으로 구성하는 최적의 CPU 주파수 예측 장치.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 최근 반도체 집적 공정 기술의 비약적인 발전으로 크기가 작은 반도체 소자를 개발할 수 있게 되었고, 이에 따라 같은 크기의 CPU에 더 많은 반도체 소자를 집적하는 것이 가능해졌다. 하지만, 많은 소자가 집적될수록 단위 면적 당 전력 소모(Power Density)가 급격하게 증가하며, 이는 CPU 온도 상승으로 이어진다.
- [0003] 높은 온도는 CPU의 일시적인 기능 결함이나 하드웨어의 영구적인 손상 문제를 야기하여 시스템의 가용성에 큰 영향을 미친다.
- [0004] 또한, 높은 CPU 온도는 CPU의 정적 전력 소모를 증가시켜 에너지 소모량을 비약적으로 증가시킨다. 이처럼 높은 발열 현상으로 인한 문제들을 방지하기 위해서 현재까지 여러 발열관리 기술들이 제안되고 있다. 관련된 선행문헌으로 대한민국 공개특허 제10-2013-0109788호가 있다.
- [0005] 일반적으로 널리 쓰이는 발열관리 기법으로는 CPU 코어의 온도가 임계 온도 (Thermal Threshold)에 도달할 경우, 최대 CPU 주파수부터 시작하여 단계적으로 CPU 주파수를 낮추는 방식이 있다. 기존 기법의 상세한 동작 방식은 다음과 같다. 우선, CPU에 어떤 작업이 할당되면 CPU가 지원할 수 있는 최대의 주파수로 해당 작업을 수행한다. 작업을 수행하는 중 CPU 코어의 온도가 사전에 정의된 임계 온도 (일반적인 경우 80℃)에 도달할 경우, 현재 CPU 주파수에서 한 단계 낮은 주파수에서 작업을 수행한다. 이후, 주파수를 낮춘 이후에도 CPU 코어가 임계 온도에 도달할 경우 앞선 경우와 마찬가지로 현재 CPU 주파수를 한 단계 낮춰 작업을 수행한다. 하지만 CPU 주파수가 증가 할수록 전력 소모량은 급격하게 증가하고, 전력 소모량과 발열량은 비례하기 때문에 발열량 또한 급격하게 증가한다. 즉, 높은 CPU 주파수에서 동작 할수록 발열량이 급격하게 증가한다. 이러한 이유로 인해 최대 주파수에서부터 작업을 시작하는 기존 발열관리 기법의 특성상, 높은 발열량으로 인해 빠른 시간 내에 임계 온도에 도달하여 최종적으로는 낮은 주파수에서 작업이 수행될 가능성이 높다.
- [0006] 기존의 CPU 주파수 예측 기술은 주변온도, 쿨러로부터 떨어진 물리적 거리 등의 다양한 환경적 요인이 CPU 주파수에 크게 영향을 미친다는 사실을 고려하지 않았다.
- [0007] 따라서 다양한 CPU 내부 및 외부 요인을 종합적으로 고려하여 정확하게 최적의 CPU 주파수를 예측하는 기술에 대한 연구가 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명의 목적은 다양한 CPU 내부 및 외부 요인을 종합적으로 고려하여 정확하게 최적의 CPU 주파수를 예측하는 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0009] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명의 일실시예에 의하면, 기계학습 알고리즘을 이용하여 서버 및 데이터 센터의 프로세서의 발열 문제를 해결하기 위한 최적의 CPU 주파수 예측 장치로서, 프로세서; 및 상기 프로세서에 연결되는 메모리를 포함하되, 상기 메모리는 CPU 각 코어의 온도, CPU 코어의 사용률, 메모리 사용률, CPU 사양 및 주변 온도 중 적어도 하나를 포함하는 환경 요인을 고려하여 학습된 최적 주파수 예측 모델을 생성하고, 학습이 완료된 최적 주파수 예측 모델에 현재의 CPU 각 코어의 온도, CPU 코어의 사용률, 메모리 사용률, CPU 사양 및 주변 온도 중 적어도 하나에 따른 입력 값을 결정하고, 현재 어플리케이션을 실행중인 서버가 상기 최적 주파수 예측 모델에서 출력하는 예측 CPU 최적 주파수에서 동작되도록, 상기 프로세서에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들을 저장하는 최적의 CPU 주파수 예측 장치가 개시된다.

발명의 효과

- [0010] 본 발명의 일실시예에 의한 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치는 최적의 CPU 주파수를 예측하고, 예측된 주파수에서 서버가 동작하도록 한다면, 성능 및 에너지 측면에서 기존 발열관리 기법보다 우수하다.

도면의 간단한 설명

- [0011] 도 1은 본 발명의 일실시예에 관련된 기계학습 알고리즘을 이용한 최적의 CPU 예측 과정을 도시한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 관련된 기계학습 알고리즘을 이용한 최적의 CPU 예측 기술에 적용할 때의 입력 값의 예를 나타내는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 관련된 기계학습 알고리즘을 이용한 최적의 CPU 예측 모델을 나타내는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일실시예에 관련된 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치의 구성을 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 이하, 본 발명의 일실시예와 관련된 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치 및 방법에 대해 도면을 참조하여 설명하도록 하겠다.
- [0013] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.
- [0014] 최적 CPU 주파수에 영향을 미치는 요인은 매우 다양하다. 예를 들어 CPU 온도가 높을수록 발열관리 기법이 동작하기 시작하는 임계 온도에 도달할 가능성이 크므로, 가용 주파수 범위가 낮아진다. 반대로, CPU 온도가 낮을수록 임계 온도에 도달하기까지 상대적으로 여유가 있으므로, 가용 주파수 범위가 높아진다. 이외에도 고려해야 할 사항으로는 CPU 코어의 사용률, 메모리 사용률, CPU 사양, 주변온도(Ambient Temperature) 등이 있다. 이와 같은 여러 CPU 내, 외부 요인들을 고려하여 최적 CPU 주파수를 예측한다. 하지만 이처럼 고려해야 할 요인들이 많으므로 처리해야 하는 데이터의 양이 매우 방대하고, 기존에 널리 사용되는 예측 방식인 선형 회귀 방식(Linear Regression)과 같은 방식으로는 원하는 결과를 얻기가 힘들다. 최근 크기가 크고 복잡한 데이터를 처리하는데 탁월한 성능을 보이는 DNN(Deep Neural Network)이 널리 활용되고 있다.
- [0015] 도 1은 본 발명의 일실시예에 관련된 기계학습 알고리즘을 이용한 최적의 CPU 예측 과정을 도시한 도면이다.
- [0016] 도 1을 참조하면, 기계학습 알고리즘인 DNN(Deep Neural Network)을 기반으로 주변 온도(Ambient Temperature), CPU 코어의 사용률, CPU의 온도 및 메모리 사용률 등을 고려하여 최적 CPU 주파수를 예측한다. 도 1 내의 Slice는 100ms마다 수집한 CPU 내/외부 정보를 의미하며, 1회 수집한 CPU 내/외부 정보로는 정확한 최적 주파수 예측에 제한이 있기 때문에 5개의 Slice를 이어 붙여 1개의 Training Data를 구성한다.
- [0017] 이와 같은 방법으로 Training Data Set을 구성한 후, Training Data가 예측 모델의 입력 값(Input)으로 들어오면, DNN 내부의 각 레이어에서는 이전 레이어에서 전달받은 값에 가중치를 곱하여 다음 레이어로 전달한다. 최종적으로 예측된 최적 CPU 주파수가 결과 값(Output)으로 산출된다. 만약 예측된 최적 CPU 주파수가 실제 최적 CPU 주파수와 같지 않을 경우, 역전파(Back Propagation) 알고리즘을 통해 노드들의 가중치(Weight)를 수정한다. 도시된 기계학습 모델에서는 역전파 알고리즘을 통해 반복적으로 노드들의 가중치를 수정하여 모델을 학습한다. 이후, 충분히 학습된 기계학습 모델에 CPU 내/외부 정보를 입력 값으로 넣으면, 학습 결과에 따라 얻은 가중치 매트릭스(Weight Matrix)와의 행렬 곱 연산을 통해 최적 CPU 주파수를 결과 값으로 얻는다.
- [0018] 도 2는 본 발명의 일실시예에 관련된 기계학습 알고리즘을 이용한 최적의 CPU 예측 기술에 적용할 때의 입력 값의 예를 나타내는 도면이다.
- [0019] 도 2는 DNN(Deep Neural Network)와 같은 기계학습 알고리즘 사용 시 모델을 학습할 때와 추론할 때 사용하는 입력 값(Input)을 보여준다. CPU의 온도가 높을수록 발열 관리기법이 동작하여 가용 주파수 범위가 낮아질 가능성이 크므로, CPU 온도를 성능 계수기(Performance Counter)로부터 읽어들이 고려한다(㉔).
- [0020] 성능 계수기로부터 읽은 CPU 코어의 사용률이 높을수록 높은 주파수를 필요로 하므로, CPU 사용률을 0과 1 사이의 값으로 Scaling하여 고려한다(㉕). 현재 동작중인 어플리케이션의 메모리 접근율이 높을수록 CPU에 부하가 적게 발생하여 CPU 발열이 감소하고, 이로 인해 가용 주파수 범위가 높아진다. CPU의 메모리 접근은 LLC에서 Cache Miss가 발생할 경우 이루어지므로, LLC MPKI를 고려한다(㉖).
- [0021] 어플리케이션이 동작하는 CPU의 사양에 따라 발열 양상이 크게 변화하므로, 이를 숫자 값(Numeric Value)로 치환하여 고려한다(㉗).

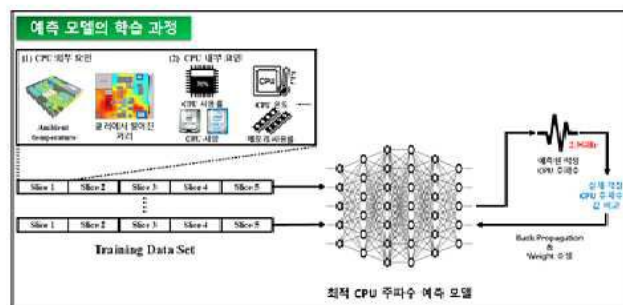
- [0022] 주변 온도가 높을수록 CPU 온도가 높아지는 속도가 증가하고, 이에 가용 주파수 범위가 낮아지므로 주변 온도 또한 고려한다(©).
- [0023] 도 3은 본 발명의 일실시예에 관련된 기계학습 알고리즘을 이용한 최적의 CPU 예측 모델을 나타내는 도면이다.
- [0024] 도 3은 기계학습 알고리즘 중 하나인 DNN(Deep Neural Network) 알고리즘을 사용하여 구성된 최적 CPU 주파수 예측 모델이다.
- [0025] 상기 예측 모델의 상세한 구성은 다음과 같다. 우선, CPU 내/외부 정보를 적절한 숫자 값(Numeric Value)으로 변경하여 입력 레이어(Input Layer) 내의 노드의 값으로 입력한다. 이후, 노드의 값과 가중치 매트릭스에 저장되어 있는 값을 곱하여, 다음 레이어의 노드로 전달한다. 이와 같은 과정을 반복 시행하여 결과 레이어(Output Layer)에서 최적 CPU 주파수를 결과 값으로 계산한다. 도시된 실시예에서 은닉 레이어(Hidden Layer)의 수는 2개로 설정하였으며, 첫 번째 은닉 레이어의 노드 수는 입력 값(Input) 수의 2배로 설정하고, 두 번째 은닉 레이어의 노드 수는 입력 값 수의 절반으로 설정하였다. 모델의 입력 값을 구성할 때, 어플리케이션 별 수행시간이 상이하여 어플리케이션마다 생성되는 입력 값의 수가 달라지기 때문에 입력 값의 수가 어플리케이션마다 동일해질 수 있도록 샘플링(Sampling) 하였다. 또한, 모델 학습 시 1000개의 학습 데이터를 읽어 들일 때마다 노드들의 가중치를 수정하였으며, 총 100회 반복 학습을 수행하였다.
- [0026] 도 4는 본 발명의 일실시예에 관련된 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치의 구성을 도시한 도면이다.
- [0027] 도시된 바와 같이, 최적의 CPU 주파수 예측 장치(400)는 프로세서(410) 및 메모리(420)를 포함할 수 있다.
- [0028] 상기 프로세서(410)는 컴퓨터 프로그램을 실행할 수 있는 CPU(central processing unit)나 그밖에 가상 머신 등을 포함할 수 있다.
- [0029] 메모리(420)는 고정식 하드 드라이브나 착탈식 저장 장치와 같은 불휘발성 저장 장치를 포함할 수 있다. 착탈식 저장 장치는 콤팩트 플래시 유닛, USB 메모리 스틱 등을 포함할 수 있다. 메모리(420)는 각종 랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리도 포함할 수 있다.
- [0030] 이와 같은 메모리(420)에는 프로세서(410)에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들이 저장된다.
- [0031] 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 프로세서(410)는 CPU 각 코어의 온도, CPU 코어의 사용률, 메모리 사용률, CPU 사양 및 주변 온도 중 적어도 하나를 포함하는 환경 요인을 고려하여 학습된 최적 주파수 예측 모델을 생성할 수 있다. 또한, 상기 프로세서(410)는 학습이 완료된 최적 주파수 예측 모델에 현재의 CPU 각 코어의 온도, CPU 코어의 사용률, 메모리 사용률, CPU 사양 및 주변 온도 중 적어도 하나에 따른 입력 값을 결정하고, 현재 어플리케이션을 실행중인 서버가 상기 최적 주파수 예측 모델에서 출력하는 예측 CPU 최적 주파수에서 동작되도록 제어할 수 있다. 또한 상기 메모리(420)는 상기 프로세서(410)에 의해 실행 가능한 프로그램 명령어들이 저장된다.
- [0032] 전술한 바와 같이, 최적의 CPU 주파수 예측 모델은 기계학습 알고리즘 중 하나인 DNN(Deep Neural Network)를 사용하여 다양한 환경적 요인(e.g., CPU 각 코어의 온도, CPU 코어의 사용률, 메모리 사용률, CPU 사양 및 주변 온도 등)과 최적의 CPU 주파수 사이의 관계를 통해 생성될 수 있다.
- [0033] 상기 결정된 입력 값은 숫자 값이다. 상기 CPU 코어 사용률에 따라 0~1 사이의 값이 상기 CPU 코어의 사용률에 대응되는 입력 값으로 사용될 수 있다.
- [0034] 또한, 상기 메모리 사용률에 상응하는 입력 값은 LLC(Last Level Cache) MPKI(Miss Per Kilo Instruction)가 고려된 값이다.
- [0035] 전술한 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 의한 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치는 최적의 CPU 주파수를 예측하고, 예측된 주파수에서 서버가 동작하도록 한다면, 성능 및 에너지 측면에서 기존 발열관리 기법보다 우수하다.
- [0036] 상기와 같이 설명된 기계학습 알고리즘 기반 최적의 CPU 주파수 예측 장치는 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

부호의 설명

[0037] 400: 최적의 CPU 주파수 예측 장치
410: 프로세서
410: 메모리

도면

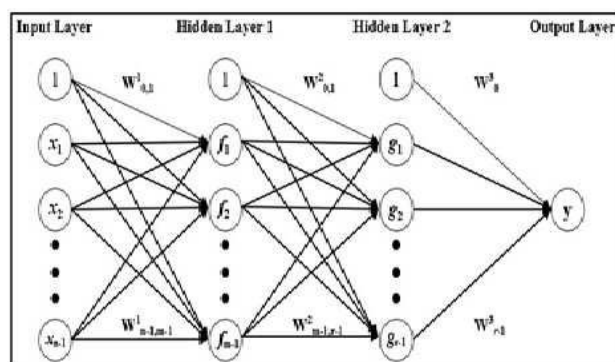
도면1



도면2

특성 (Feature)	입력 값 (Input)
㉔ CPU 온도	CPU 각 코어의 온도 (°C)
㉕ CPU 코어의 사용률	CPU 코어 사용률에 따라 0~1 사이의 값 입력 (CPU 사용률이 가장 높을 경우를 1, 가장 낮을 경우를 0로 설정)
㉖ 메모리 사용률	동작중인 어플리케이션의 메모리 사용률 (LLC (Last Level Cache) MPKI (Miss Per Kilo Instruction))
㉗ CPU 사양	어플리케이션이 동작하는 CPU의 사양
㉘ 주변 온도(Ambient Temperature)	실측한 CPU 주변 대기 온도 (°C)

도면3



도면4

