



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0009121
(43) 공개일자 2023년01월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 12/126 (2016.01) G06F 12/123 (2016.01)
G06N 20/00 (2019.01)
(52) CPC특허분류
G06F 12/126 (2013.01)
G06F 12/0882 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0089771
(22) 출원일자 2021년07월08일
심사청구일자 2021년07월08일

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대학교 20(퇴촌동)
(72) 발명자
강동현
경상남도 창원시 성산구 원이대로 495, 211동
1303호(반림동, 트리비아아파트)
조민선
경상남도 창원시 성산구 대암로 253, 105동 604
호(성주동, 프리빌리지아파트)
(74) 대리인
양성보

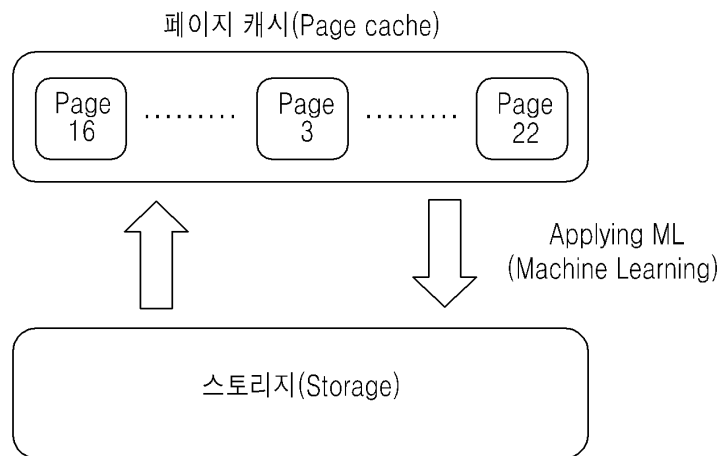
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 기계 학습 기반 페이지 교체 정책

(57) 요약

기계 학습 기반 페이지 교체 정책 기술이 개시된다. 일 실시예에 따른 페이지 교체 시스템에 의해 수행되는 페이지 교체 방법은, 메모리에 요청된 페이지 접근을 수신하는 단계; 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델에 메모리에 존재하는 페이지 데이터를 입력받는 단계; 및 상기 페이지 교체를 위한 기계 학습 모델을 이용하여 상기 메모리에 존재하는 페이지 데이터로부터 교체 대상 페이지를 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06F 12/123 (2013.01)

G06N 20/00 (2021.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711108902
과제번호	NRF-2019R1G1A1099932
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)-생애첫연구
연구과제명	초고성능 스토리지 장치를 위한 직접 접근 I/O 플랫폼 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	창원대학교
연구기간	2019.09.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

페이지 교체 시스템에 의해 수행되는 페이지 교체 방법에 있어서,

메모리에 요청된 페이지 접근을 수신하는 단계;

페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델에 메모리에 존재하는 페이지 데이터를 입력받는 단계; 및

상기 페이지 교체를 위한 기계 학습 모델을 이용하여 상기 메모리에 존재하는 페이지 데이터로부터 교체 대상 페이지를 예측하는 단계

를 포함하는 페이지 교체 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델은,

클락(clock) 교체 정책을 기반으로 교체 대상 페이지를 선택하도록 상기 페이지 교체 시스템에 구축된 온라인 퍼셉트론 모델이고, 상기 온라인 퍼셉트론 모델을 통해 학습 및 예측이 수행되는

것을 특징으로 하는 페이지 교체 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

클락의 페이지가 적중되는 캐시 적중(cache hit)의 경우, 또는 페이지 교체가 발생한 경우, 온라인 퍼셉트론 모델의 가중치 값과 편향(Bias) 값을 업데이트하도록 상기 온라인 퍼셉트론 모델이 학습되는

것을 특징으로 하는 페이지 교체 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 온라인 퍼셉트론 모델은,

상기 온라인 퍼셉트론 모델에 페이지의 접근 거리(distance)와 상기 페이지에 대하여 누적된 재접근 횟수를 입력 데이터로 사용하고, 상기 입력 데이터에 대응하는 가중치 값과 편향 값을 합산함에 따라 0 또는 1의 이진값이 출력 데이터로 출력되는

것을 특징으로 하는 페이지 교체 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 입력받는 단계는,

페이지 캐시에 요청된 페이지 접근과 관련된 새로운 페이지를 수신함에 따라 페이지 캐시에 존재하는 페이지의 접근 거리 및 재접근 횟수를 포함하는 페이지 데이터를 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델에 입력받는 단계

를 포함하는 페이지 교체 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,
 상기 예측하는 단계는,
 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델 및 LRU 방식을 이용하여 교체 대상 페이지를 선정하는 단계
 를 포함하는 페이지 교체 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,
 상기 예측하는 단계는,
 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델을 통해 상기 페이지 캐시에 존재하는 페이지의 접근 거리 및 재
 접근 횟수를 포함하는 페이지 데이터를 이용하여 페이지에 대한 결과값을 획득하고, 상기 획득된 결과값에 따라
 페이지에 대한 재접근 가능성의 예측을 통해 페이지 교체 여부를 결정하는 단계
 를 포함하는 페이지 교체 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,
 상기 예측하는 단계는,
 상기 획득된 결과값이 0일 경우, 클락 핸드가 가리키는 페이지를 교체 대상 페이지로 선정하고, 상기 획득된 결
 과값이 1일 경우, 클락 핸드가 가리키는 페이지가 향후 재접근될 가능성이 높다고 예측하고 다음 페이지로 클락
 핸드를 이동시키는 단계
 를 포함하는 페이지 교체 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,
 상기 예측하는 단계는,
 상기 획득된 결과값이 0으로 출력되는 페이지와 조우할 때까지 클락 핸드로 클락의 각 페이지를 순회하는 단계
 를 포함하는 페이지 교체 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,
 상기 예측하는 단계는,
 상기 클락을 순회함에 따라 상기 클락의 각 페이지로부터 획득된 결과값이 모두 1일 경우, LRU 방식으로 교체
 대상 페이지를 선정하는 단계
 를 포함하는 페이지 교체 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,
 상기 예측하는 단계는,
 상기 LRU 방식으로 교체 대상 페이지를 선정함에 따라 교체 대상 페이지에 대한 온라인 퍼셉트론 모델의 학습을
 수행하는 단계
 를 포함하는 페이지 교체 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 수신하는 단계는,

상기 페이지 캐시에 캐시 적중이 발생한 경우, 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델을 학습시키고, 상기 페이지 캐시에 캐시 적중이 존재하지 않을 경우, 상기 페이지 캐시에 여유 공간이 존재하는지 판단하는 단계를 포함하는 페이지 교체 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 수신하는 단계는,

상기 페이지 캐시에 여유 공간이 존재하지 않을 경우, 상기 페이지 캐시에 존재하는 페이지들 중 교체 대상 페이지를 선정하기 위하여 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델을 통해 교체 대상 페이지를 예측하고, 상기 페이지 캐시에 여유 공간이 존재할 경우, 상기 페이지 캐시에 상기 페이지 캐시에 요청된 페이지 접근과 관련된 새로운 페이지를 추가하는 단계

를 포함하는 페이지 교체 방법.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항의 페이지 교체 방법을 상기 페이지 교체 시스템에 실행시키기 위해 비-일시적인 컴퓨터 판독가능한 기록 매체에 저장되는 컴퓨터 프로그램.

청구항 15

페이지 교체 시스템에 있어서,

메모리에 요청된 페이지 접근을 수신하는 수신부;

페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델에 메모리에 존재하는 페이지 데이터를 입력받는 데이터 입력부; 및

상기 페이지 교체를 위한 기계 학습 모델을 이용하여 상기 메모리에 존재하는 페이지 데이터로부터 교체 대상 페이지를 예측하는 페이지 예측부

를 포함하는 페이지 교체 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 설명은 페이지 교체 정책에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 페이지 교체 정책(Page Replacement Policy)은 시스템의 전반적인 성능을 결정하는 중요한 시스템 소프트웨어 스택 중 하나이다. 특히, 성능이 낮은 하드웨어 장치(예: HDD, SSD, SD Card, 등)를 사용하는 경우, 페이지 교체 정책은 성능에 많은 영향을 미친다. 이는 빠른 메모리에서의 캐시 적중률(Hit Ratio)을 향상시킴으로써 낮은 성능의 하드웨어의 접근 횟수를 줄일 수 있기 때문이다. 그러나, 최근 발표되고 있는 페이지 교체 정책은 낮은 성능의 하드웨어를 고성능의 하드웨어(예: NVMe SSD, 등) 장치로 대체하거나 새로운 하드웨어(예: 3D XPoint, 등) 장치의 특성을 고려하기 위해 주로 연구되어 왔다.

[0004] 기계 학습(ML: Machine Learning) 및 인공 지능(AI: Artificial Intelligence) 분야는 이미지 처리, 자연어 처리, 음성 처리 등을 넘어 다양한 분야에서 데이터 기반의 학습에 활용되고 있다. 이는 자동화된 학습을 활용하여 광범위하게 수집된 데이터로부터 특정 패턴을 추출 및 학습하고 전통적인 방식으로 얻을 수 없는 새로운 복

잡한 추론이 가능하다.

[0005] 최근에는 응용 어플리케이션 분야를 넘어 하드웨어(Hardware) 및 시스템 소프트웨어(System Software) 분야에서 도 기계 학습 및 인공지능이 점차 시도되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 기계 학습을 페이지 교체 정책에 도입하여 높은 성능을 가진 페이지 교체 정책을 제공하고자 한다.

[0008] 온라인 퍼셉트론과 LRU를 이용하여 교체될 페이지를 선정하는 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 페이지 교체 시스템에 의해 수행되는 페이지 교체 방법은, 메모리에 요청된 페이지 접근을 수신하는 단계; 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델에 메모리에 존재하는 페이지 데이터를 입력받는 단계; 및 상기 페이지 교체를 위한 기계 학습 모델을 이용하여 상기 메모리에 존재하는 페이지 데이터로부터 교체 대상 페이지를 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델은, 클락(clock) 교체 정책을 기반으로 교체 대상 페이지를 선택하도록 상기 페이지 교체 시스템에 구축된 온라인 퍼셉트론 모델이고, 상기 온라인 퍼셉트론 모델을 통해 학습 및 예측이 수행될 수 있다.

[0012] 클락의 페이지가 적중되는 캐시 적중(cache hit)의 경우, 또는 페이지 교체가 발생한 경우, 온라인 퍼셉트론 모델의 가중치 값과 편향(Bias) 값을 업데이트하도록 상기 온라인 퍼셉트론 모델이 학습될 수 있다.

[0013] 상기 온라인 퍼셉트론 모델은, 상기 온라인 퍼셉트론 모델에 페이지의 접근 거리(distance)와 상기 페이지에 대하여 누적된 재접근 횟수를 입력 데이터로 사용하고, 상기 입력 데이터에 대응하는 가중치 값과 편향 값을 합산함에 따라 0 또는 1의 이진값이 출력 데이터로 출력될 수 있다.

[0014] 상기 입력받는 단계는, 페이지 캐시에 요청된 페이지 접근과 관련된 새로운 페이지를 수신함에 따라 페이지 캐시에 존재하는 페이지의 접근 거리 및 재접근 횟수를 포함하는 페이지 데이터를 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델에 입력받는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 예측하는 단계는, 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델 및 LRU 방식을 이용하여 교체 대상 페이지를 선정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 예측하는 단계는, 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델을 통해 상기 페이지 캐시에 존재하는 페이지의 접근 거리 및 재접근 횟수를 포함하는 페이지 데이터를 이용하여 페이지에 대한 결과값을 획득하고, 상기 획득된 결과값에 따라 페이지에 대한 재접근 가능성의 예측을 통해 페이지 교체 여부를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 상기 예측하는 단계는, 상기 획득된 결과값이 0일 경우, 클락 핸드가 가리키는 페이지를 교체 대상 페이지로 선정하고, 상기 획득된 결과값이 1일 경우, 클락 핸드가 가리키는 페이지가 향후 재접근될 가능성이 높다고 예측하고 다음 페이지로 클락 핸드를 이동시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 예측하는 단계는, 상기 획득된 결과값이 0으로 출력되는 페이지와 조우할 때까지 클락 핸드로 클락의 각 페이지를 순회하는 단계를 포함할 수 있다.

[0019] 상기 예측하는 단계는, 상기 클락을 순회함에 따라 상기 클락의 각 페이지로부터 획득된 결과값이 모두 1일 경우, LRU 방식으로 교체 대상 페이지를 선정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 예측하는 단계는, 상기 LRU 방식으로 교체 대상 페이지를 선정함에 따라 교체 대상 페이지에 대한 온라인 퍼셉트론 모델의 학습을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0021] 상기 수신하는 단계는, 상기 페이지 캐시에 캐시 적중이 발생한 경우, 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습

모델을 학습시키고, 상기 페이지 캐시에 캐시 적중이 존재하지 않을 경우, 상기 페이지 캐시에 여유 공간이 존재하는지 판단하는 단계를 포함할 수 있다.

[0022] 상기 수신하는 단계는, 상기 페이지 캐시에 여유 공간이 존재하지 않을 경우, 상기 페이지 캐시에 존재하는 페이지들 중 교체 대상 페이지를 선정하기 위하여 상기 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델을 통해 교체 대상 페이지를 예측하고, 상기 페이지 캐시에 여유 공간이 존재할 경우, 상기 페이지 캐시에 상기 페이지 캐시에 요청된 페이지 접근과 관련된 새로운 페이지를 추가하는 단계를 포함할 수 있다.

[0023] 페이지 교체 방법을 상기 페이지 교체 시스템에 실행시키기 위해 비-일시적인 컴퓨터 판독가능한 기록 매체에 저장되는 컴퓨터 프로그램을 포함할 수 있다.

[0024] 페이지 교체 시스템은, 메모리에 요청된 페이지 접근을 수신하는 수신부; 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델에 메모리에 존재하는 페이지 데이터를 입력받는 데이터 입력부; 및 상기 페이지 교체를 위한 기계 학습 모델을 이용하여 상기 메모리에 존재하는 페이지 데이터로부터 교체 대상 페이지를 예측하는 페이지 예측부를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0026] 온라인 퍼셉트론 모델의 학습 및 예측을 통해 효율적인 페이지 교체를 기대할 수 있어 캐시 적중률을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 일 실시예에 있어서, 기계 학습을 도입한 페이지 교체 정책의 개괄적인 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 일 실시예에 있어서, 클락 알고리즘 기반의 온라인 퍼셉트론 모델을 설명하기 위한 도면이다.

도 3 내지 도 5는 일 실시예에 있어서, 교체 대상 페이지를 선정하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 일 실시예에 따른 페이지 교체 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

도 7은 일 실시예에 따른 페이지 교체 시스템에서 페이지 교체 동작을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 8은 일 실시예에 있어서, 페이지 교체 동작을 상세하게 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하, 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0031] 도 1은 일 실시예에 있어서, 기계 학습을 도입한 페이지 교체 정책의 개괄적인 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0032] 스토리지(Storage)에 있는 정보에 접근하기 위하여, 페이지 캐시(Page Cache) 페이지를 저장하게 된다. 스토리지에 다시 접근할 때의 시간을 단축시키기 위하여 페이지 교체 정책이 적용될 수 있다. 이에, 어떠한 페이지를 교체할 것인지에 따라 시스템의 성능에 영향을 주게 된다.

[0033] 실시예에서는 기계 학습을 도입한 페이지 교체 정책에 대하여 설명하기로 한다. 이때, 온라인 퍼셉트론 모델이 사용될 수 있다. 페이지 캐시에 있는 페이지에 접근할 때, 페이지 접근 발생이 수신됨에 따라 온라인 퍼셉트론 모델을 이용하여 패턴을 학습하고, 페이지 접근 발생과 관련된 페이지 입출력의 특성을 학습하여 향후 교체될 페이지가 효과적으로 예측 및 선정될 수 있다.

[0034] 도 2는 일 실시예에 있어서, 클락 알고리즘 기반의 온라인 퍼셉트론 모델을 설명하기 위한 도면이다.

[0035] 온라인 퍼셉트론 모델을 설명하기 위하여 우선, 퍼셉트론에 대하여 설명하기로 한다. 퍼셉트론(Perceptron)은 가장 잘 알려진 기계 학습 중 하나이며, 다수의 입력 값(입력 신호)이 존재할 때 하나의 결과 값을 이진(0 또는 1)으로 출력하는 분류 모델이다. 퍼셉트론에서 사용하는 출력 신호는 다수의 입력 값과 각 입력에 대응하는 가중치(W)를 곱한 값으로 결정될 수 있다. 다시 말해서, 각 가중치 값은 대응하는 입력 값이 출력 값에 주는 영

향력을 나타낸다. 또한, 퍼셉트론은 출력 값을 이진으로 결정하기 위해 임계 값을 사용하며 이를 편향(B: Bias)이라는 값으로 치환하여 사용한다. 결과적으로, 각 입력 값과 그에 대응하는 가중치를 곱한 값과 편향 값을 합한 결과 값이 0보다 크면 1을 출력하고, 0보다 작으면 0을 출력하게 된다. 그러므로, 최적의 가중치 값과 편향 값을 계산하는 것이 퍼셉트론 학습에 중요하다.

$$y = \begin{cases} 0 & (w_1x_1 + \dots + w_nx_n + b < 0) \\ 1 & (w_1x_1 + \dots + w_nx_n + b \geq 0) \end{cases}$$

[0036]

[0037]

퍼셉트론은 사전 학습과 온라인 학습으로 모두 모델링이 가능하다. 사전 학습은 퍼셉트론을 예측 모델로 사용하기 전, 학습을 진행하고 이때 학습된 가중치(W) 값과 편향(Bias) 값을 이용하여 예측을 진행한다. 그러므로, 사전 학습은 사전 학습을 위한 데이터를 추가적으로 확보해야 하고 실제로 모델이 사용될 때 워크로드의 특징을 학습할 수 없다는 단점이 있다. 그러나, 실제 퍼셉트론 모델이 사용될 때 학습을 위한 오버헤드가 발생하지 않는다.

[0038]

반면, 온라인 학습은 퍼셉트론의 가중치와 편향 값을 실시간으로 업데이트하는 방식을 말한다. 이에, 온라인 학습은 입력되는 데이터의 값에 특징을 실시간으로 학습하고 예측이 가능하나, 실시간으로 학습을 진행하기 때문에 퍼셉트론 모델이 사용될 때 학습에 대한 오버헤드가 발생할 수 있다.

[0039]

실시예에서는 온라인 기반의 퍼셉트론 모델을 채택하여 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델로 사용하는 동작에 대하여 설명하기로 한다. 클락(clock) 교체 정책을 기반으로 교체 대상 페이지를 선택하도록 페이지 교체 시스템에 구축된 온라인 퍼셉트론 모델을 통해 학습 및 예측이 수행될 수 있다.

[0040]

도 3 내지 도 5는 일 실시예에 있어서, 교체 대상 페이지를 선정하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0041]

페이지 교체 시스템은 클락의 페이지가 적중되는 경우(cache hit), 온라인 퍼셉트론 모델의 가중치 값과 편향 값을 업데이트할 수 있다. 반면, 페이지가 존재하지 않는 경우, 새로운 페이지를 교체없이 삽입할 수 있다. 마지막으로, 페이지 교체 시스템은 페이지 교체가 필요한 경우, 교체할 최적의 페이지를 탐색하기 위하여 온라인 퍼셉트론 모델을 통한 예측을 진행할 수 있다.

[0042]

상세하게는, 페이지 교체 시스템은 온라인 퍼셉트론 모델을 이용하여 각 입력값과, 각 입력값에 대응되는 가중치 값을 곱한 값과, 편향 값을 합산하여 이진값을 결과값으로 출력할 수 있다. 이때, 입력값은 1)페이지가 마지막으로 언제 접근되었는지를 기준으로 얼마나 지났는지, 즉, 캐시에서 마지막 접근부터 지금까지 지난 시간, 2)페이지가 페이지 캐시에 들어온 이후에 몇 번 재접근되었는지, 즉, 빈도가 사용될 수 있다.

[0043]

만약, 페이지 교체 시스템은 결과값이 0이라면 결과값이 0인 페이지에 새로운 페이지로 교체할 수 있다. 페이지 교체 시스템은 결과값이 1이라면, 결과값이 1인 페이지가 향후 재접근될 가능성이 높다고 예측하고 다음 페이지로 클락 핸들을 이동시킬 수 있다. 이때, 클락 핸드가 전체 클락의 페이지를 한 번씩 순회할 수 있다. 이 경우, 클락 핸드가 전체 클락의 페이지를 모두 순회하였음에도 불구하고 교체될 페이지가 탐색되지 않는 경우, 가장 오랫동안 재접근되지 않은 페이지를 교체 페이지로 선택하고 퍼셉트론의 가중치 값과 편향 값을 갱신할 수 있다.

[0044]

도 3을 참고하면, 캐시 적중 상황에 대하여 설명하기로 한다. 예를 들면, 페이지 6이 페이지 캐시에 접근 요청될 수 있다. 페이지 캐시에 접근 요청된 페이지 6이, 페이지 캐시에 있는 페이지에 접근하게 되면, 온라인 퍼셉트론 모델이 페이지의 각 입력값들을 토대로 학습이 진행될 수 있다. 페이지의 각 입력값들을 가지고 있을 때 재접근될 수 있는 것으로 비중을 높여주는 방향으로 학습될 수 있다.

[0045]

도 4를 참고하면, 페이지 9가 페이지 캐시에 접근 요청될 수 있다. 이때, 페이지 캐시에 페이지 9가 존재하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이에, 특정 페이지를 교체하고, 교체된 위치에 페이지 캐시에 접근 요청된 페이지 9를 삽입해야 한다. 클락 핸들에서부터 어떤 페이지를 교체할 것인지 교체될 페이지 선정 동작이 수행될 수 있다. 핸드가 페이지 1을 가리키고 있을 수 있다. 페이지 1의 거리(접근 거리)는 16, 빈도(재접근 횟수)는 3일 수 있다. 이를 통해 재접근될 가능성이 예측될 수 있다. 온라인 퍼셉트론 모델을 이용하여 결과값이 1로 도출될 수 있다. 결과값이 1일 경우, 재접근될 가능성이 있는 페이지로 판단되어 다음 페이지에 교체될 페이지 선정 동작이 수행될 수 있다. 이때, 클락 핸드가 위치하고 있는 페이지를 기준으로 시계 방향 또는 반시계 방향으로 클락 핸드가 이동될 수 있다. 다음 페이지란, 클락 핸드가 위치하고 있는 페이지를 기준으로 시계 방향 또는 반시계 방향으로 클락 핸드가 이동한 위치에 대응하는 페이지를 의미할 수 있다. 실시예에서는 시계 방향으로 클락 핸드가 이동할 수 있다. 페이지 2 및 페이지 6에 대하여 온라인 퍼셉트론 모델을 이용하여 결과값이

1로 도출될 수 있다. 페이지 5에서 결과값이 0으로 도출됨에 따라 페이지 5의 위치에 페이지 9가 삽입될 수 있다.

[0046] 도 5를 참고하면, LRU에 의해 교체 대상 페이지를 선정하는 동작에 대하여 설명하기로 한다. 클락 핸드가 페이지를 순회함에 따라 클락의 페이지로부터 결과값이 획득될 수 있다. 이때, 획득된 결과값이 모두 1일 경우, LRU 방식으로 교체 대상 페이지가 선정될 수 있다. LRU(Least Recently Used)란 최근에 사용하지 않은 페이지를 교체하는 것이다. 다시 말해서, 가장 오랫동안 사용하지 않은 페이지를 교체할 수 있다.

[0047] 페이지 36이 페이지 캐시에 접근 요청될 수 있다. 페이지 36을 페이지 캐시에 삽입하기 위하여 온라인 퍼셉트론 모델을 이용한 교체 대상 페이지가 탐색될 수 있다. 그러나, 클락 핸드가 페이지를 순회함에 따라 클락의 페이지로부터 획득된 결과값이 모두 1일 경우, 온라인 퍼셉트론 모델을 통해 교체 대상 페이지를 찾을 수 없게 된다. 이에, LRU 방식으로 교체 대상 페이지가 선정될 수 있다. 도 5에서 도시된 바와 같이, LRU 방식에 의해 선정된 페이지가 교체 대상 페이지로 선정될 수 있고, 선정된 교체 대상 페이지가 36으로 변경될 수 있다.

[0048] 이후, LRU 방식으로 교체 대상 페이지를 선정함에 따라 교체 대상 페이지에 대한 온라인 퍼셉트론 모델의 학습이 수행될 수 있다. 여기서, 온라인 퍼셉트론 모델을 이용한 학습은 접근 거리와 재접근 횟수(빈도)를 가지고 있을 경우에는 접근할 가능성이 없다는 방향으로 가중치를 업데이트할 수 있다.

[0049] 도 6은 일 실시예에 따른 페이지 교체 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이고, 도 7은 일 실시예에 따른 페이지 교체 시스템에서 페이지 교체 동작을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0050] 페이지 교체 시스템(100)의 프로세서는 수신부(610), 데이터 입력부(620) 및 페이지 예측부(630)를 포함할 수 있다. 이러한 프로세서의 구성요소들은 페이지 교체 시스템에 저장된 프로그램 코드가 제공하는 제어 명령에 따라 프로세서에 의해 수행되는 서로 다른 기능들(different functions)의 표현들일 수 있다. 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 도 7의 페이지 교체 방법이 포함하는 단계들(710 내지 730)을 수행하도록 페이지 교체 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.

[0051] 프로세서는 페이지 교체 방법을 위한 프로그램의 파일에 저장된 프로그램 코드를 메모리에 로딩할 수 있다. 예를 들면, 페이지 교체 시스템에서 프로그램이 실행되면, 프로세서는 운영체제의 제어에 따라 프로그램의 파일로부터 프로그램 코드를 메모리에 로딩하도록 페이지 교체 시스템을 제어할 수 있다. 이때, 수신부(610), 데이터 입력부(620) 및 페이지 예측부(630) 각각은 메모리에 로딩된 프로그램 코드 중 대응하는 부분의 명령을 실행하여 이후 단계들(710 내지 730)을 실행하기 위한 프로세서의 서로 다른 기능적 표현들일 수 있다.

[0052] 단계(710)에서 수신부(610)는 메모리에 요청된 페이지 접근을 수신할 수 있다. 수신부(610)는 페이지 캐시에 캐시 적중이 발생한 경우, 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델을 학습시키고, 페이지 캐시에 캐시 적중이 존재하지 않을 경우, 페이지 캐시에 여유 공간이 존재하는지 판단할 수 있다. 수신부(610)는 페이지 캐시에 여유 공간이 존재하지 않을 경우, 페이지 캐시에 존재하는 페이지들 중 교체 대상 페이지를 선정하기 위하여 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델을 통해 교체 대상 페이지를 예측하고, 페이지 캐시에 여유 공간이 존재할 경우, 페이지 캐시에 페이지 캐시에 요청된 페이지 접근과 관련된 새로운 페이지를 추가할 수 있다.

[0053] 단계(720)에서 데이터 입력부(620)는 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델에 메모리에 존재하는 페이지 데이터를 입력받을 수 있다. 데이터 입력부(620)는 페이지 캐시에 요청된 페이지 접근과 관련된 새로운 페이지를 수신함에 따라 페이지 캐시에 존재하는 페이지의 접근 거리 및 재접근 횟수를 포함하는 페이지 데이터를 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델에 입력받을 수 있다.

[0054] 단계(730)에서 페이지 예측부(630)는 페이지 교체를 위한 기계 학습 모델을 이용하여 메모리에 존재하는 페이지 데이터로부터 교체 대상 페이지를 예측할 수 있다. 페이지 예측부(630)는 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델 및 LRU 방식을 이용하여 교체 대상 페이지를 선정할 수 있다. 페이지 예측부(630)는 페이지 교체 정책을 위한 기계 학습 모델을 통해 페이지 캐시에 존재하는 페이지의 접근 거리 및 재접근 횟수를 포함하는 페이지 데이터를 이용하여 페이지에 대한 결과값을 획득하고, 획득된 결과값에 따라 페이지에 대한 재접근 가능성의 예측을 통해 페이지 교체 여부를 결정할 수 있다. 페이지 예측부(630)는 획득된 결과값이 0일 경우, 클락 핸드 가리키는 페이지를 교체 대상 페이지로 선정하고, 획득된 결과값이 1일 경우, 클락 핸드 가리키는 페이지가 향후 재접근될 가능성이 높다고 예측하고 다음 페이지로 클락 핸드를 이동시킬 수 있다. 페이지 예측부(630)는 획득된 결과값이 0으로 출력되는 페이지와 조우할 때까지 클락 핸드로 클락의 각 페이지를 순회할 수 있다. 페이지 예측부(630)는 클락의 각 페이지를 순회함에 따라 클락의 각 페이지로부터 획득된 결과값이 모두 1일

경우, LRU 방식으로 교체 대상 페이지를 선정할 수 있다. 페이지 예측부(630)는 LRU 방식으로 교체 대상 페이지를 선정함에 따라 교체 대상 페이지에 대한 온라인 퍼셉트론 모델의 학습을 수행할 수 있다.

[0055] 도 8은 일 실시예에 있어서, 페이지 교체 동작을 상세하게 설명하기 위한 흐름도이다.

[0056] 클락 교체 정책을 기반으로 교체 대상 페이지를 선택하도록 페이지 교체 시스템에 구축된 온라인 퍼셉트론 모델을 이용하여 입출력(I/O)의 특성이 학습될 수 있다. 이때, I/O 트레이스의 최신성과 빈도의 특징을 퍼셉트론 학습의 입력으로 사용함으로써, 교체될 페이지를 효과적으로 예측 및 선정할 수 있다. 퍼셉트론의 학습은 가중치를 업데이트하는 것을 의미한다. 실시예에서는 캐시 적중이 발생(800)한 경우, 페이지 교체가 발생한 경우, 퍼셉트론 학습(가중치 업데이트)(810)이 진행될 수 있다.

[0057] 수학적식 1:

$$\begin{aligned}w_d &\leftarrow w_d + lr \times x_d \times (answer - prediction) \\w_c &\leftarrow w_c + lr \times x_c \times (answer - prediction) \\w_b &\leftarrow w_b + lr \times 1 \times (answer - prediction)\end{aligned}$$

[0058]

[0059] 퍼셉트론의 가중치 업데이트 연산은 수학적식 1과 같이 나타낼 수 있다. x_d 는 거리(즉, 재접근된 페이지의 거리), w_d 는 x_d 의 가중치를 의미한다. 실시예에서는 입력값들의 균형을 위하여 재접근 거리를 클락의 최대 페이지 수로 나누어 스케일링한 값이 x_d 로 퍼셉트론의 입력으로 사용한다. x_c 는 reference count(즉, 재접근 빈도), w_c 는 x_c 의 가중치를 의미한다. 또한, w_b 는 입력되는 값 외에 어느 쪽으로 분류될 확률이 높은지 여부를 판단하는 편향의 가중치를 의미한다. lr 은 학습률을 의미한다.

[0060] 페이지 교체 시스템은 학습된 온라인 퍼셉트론 모델을 이용하여 교체될 페이지를 예측 및 결정할 수 있다. 페이지 교체 시스템은 페이지 캐시에 여유 공간이 존재하는지 여부를 판단할 수 있다(820). 캐시 미스(cache miss)가 발생할 경우, 새롭게 접근된 페이지를 페이지 캐시에 추가할 수 있다(830). 이때, 페이지 캐시에 여유 공간이 존재하지 않을 경우, 교체될 페이지를 선정해야 한다. 페이지 교체 시스템은 퍼셉트론 예측(840)을 수행할 수 있다. 페이지 교체 시스템은 퍼셉트론과 클락 핸드를 이용하여 교체될 페이지를 선정할 수 있다(850). 페이지 교체 시스템은 클락 핸드를 이용하여 클락을 전체 순회할 수 있다(860). 만약, 퍼셉트론이 클락 핸드가 가리키는 페이지에 재접근될 가능성이 없다고 예측될 경우, 클락 핸드가 가리키는 페이지를 새로운 페이지로 교체될 수 있다(870).

[0061] 수학적식 2:

$$f_{predict}(x_d, x_c) = \begin{cases} 0, & x_d \times w_d + x_c \times w_c + 1 \times w_b < 0 \\ 1, & x_d \times w_d + x_c \times w_c + 1 \times w_b \geq 0 \end{cases}$$

[0062]

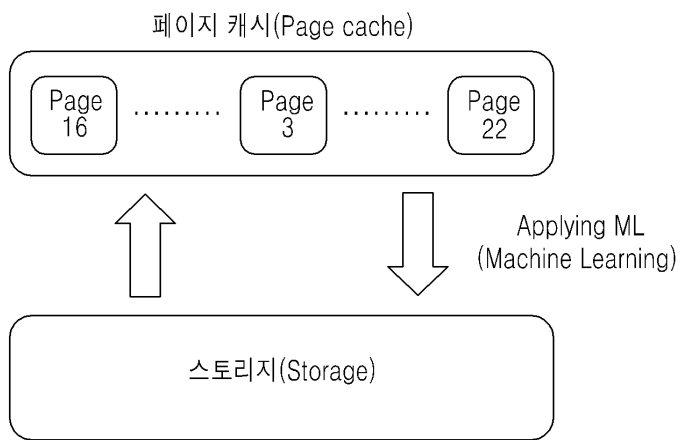
[0063] 수학적식 2에서 퍼셉트론의 예측이 어떻게 계산되는지 나타낸다. 퍼셉트론의 예측은 현재 클락 핸드가 가리키고 있는 페이지의 과거 재접근 거리, 빈도에 각 가중치 값을 곱한 값들을 합산할 수 있다. 전체 합이 0 이상인 경우 퍼셉트론의 예측 결과로서 1을 출력하고, 0 미만인 경우 0을 출력할 수 있다. 페이지 교체 시스템은 퍼셉트론의 예측 결과가 1인 경우 클락 핸드가 가리키는 페이지가 재접근될 가능성이 있음을 의미하므로 클락 핸드를 이동시킬 수 있다. 클락 핸드는 재접근 가능성이 없는 페이지, 즉, 전체 합이 0인 페이지를 만날 때까지 이동될 수 있다. 전체 합이 0인 페이지에 접근하면 재접근될 가능성이 없음을 의미하기 때문에 클락 핸드가 가리키는 페이지를 교체 대상 페이지로 선정할 수 있다(870).

[0064] 그러나, 퍼셉트론의 예측이 모든 페이지가 재접근 가능성이 있다고 판단하는 경우, 교체 대상 페이지를 결정할 수 없게 된다. 이러한 경우, 클락 핸드가 클락의 모든 페이지를 순회하였음에도 교체 대상 페이지를 선정하지 못할 경우, 페이지 교체 시스템은 가장 이전에 사용된 페이지를 교체 대상 페이지로 결정할 수 있다(880). 페이지 교체 시스템은 LRU 방식으로 교체 대상 페이지를 선정함에 따라 교체 대상이 된 페이지에 대한 온라인 퍼셉트론 모델의 학습을 수행할 수 있다(890).

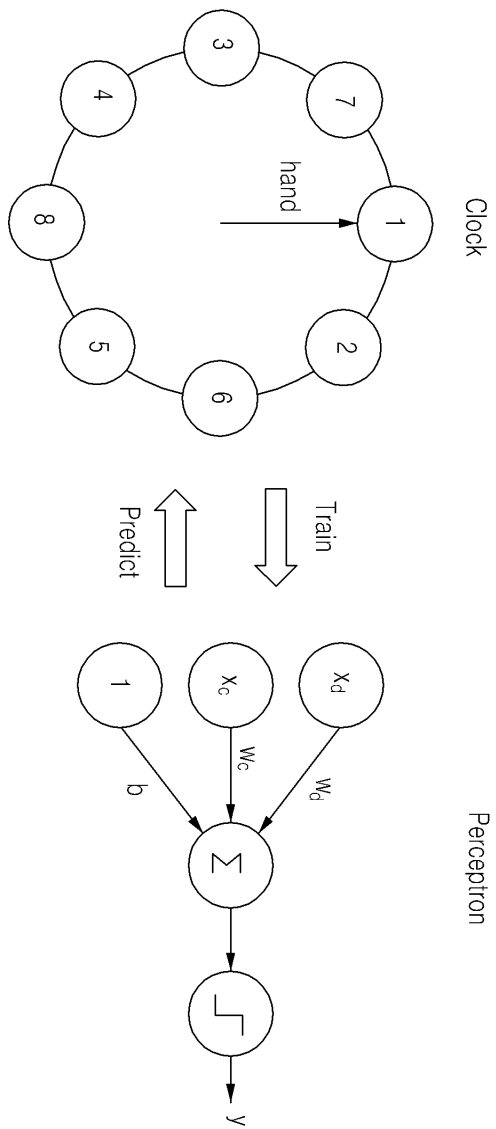
- [0065] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 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(configuration)도 가능하다.
- [0066] 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.
- [0067] 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.
- [0068] 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.
- [0069] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

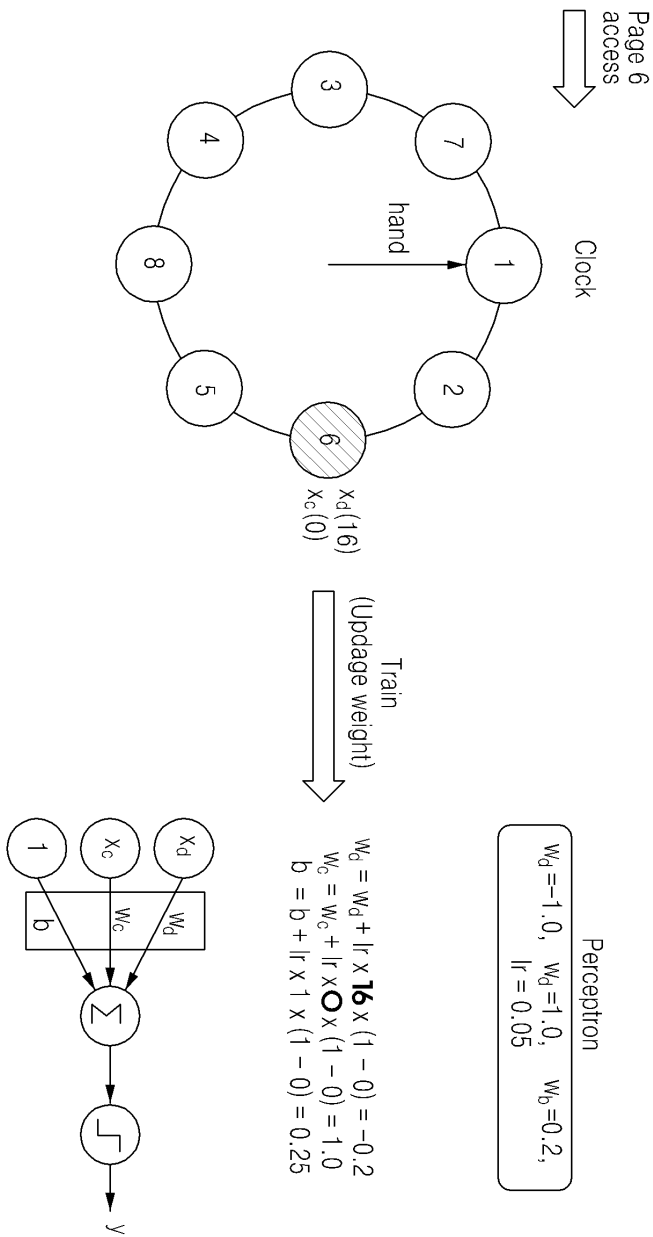
도면1



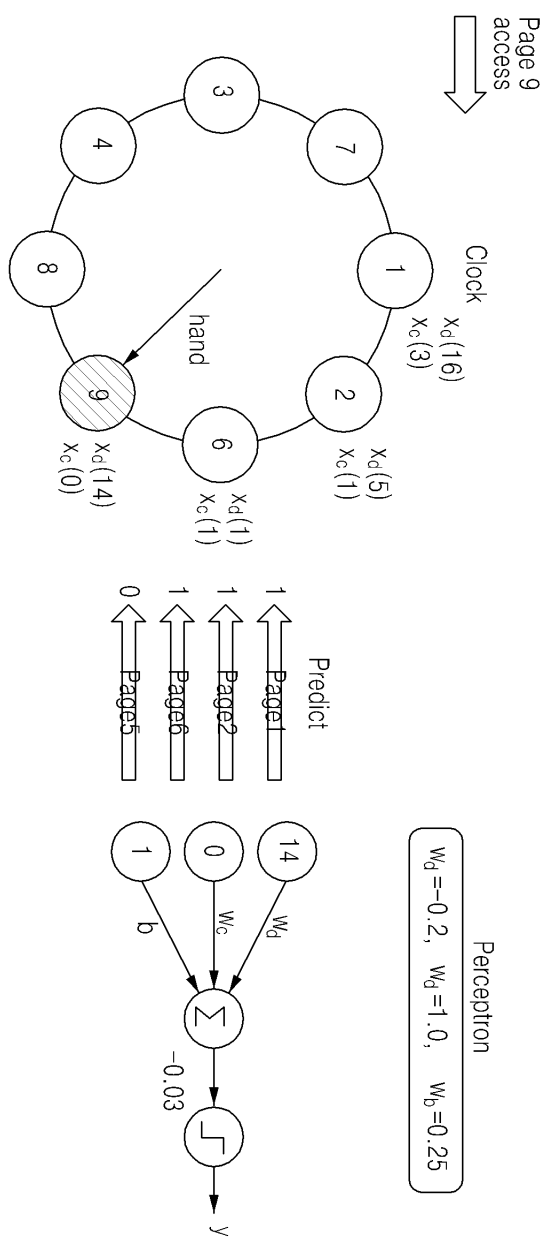
도면2



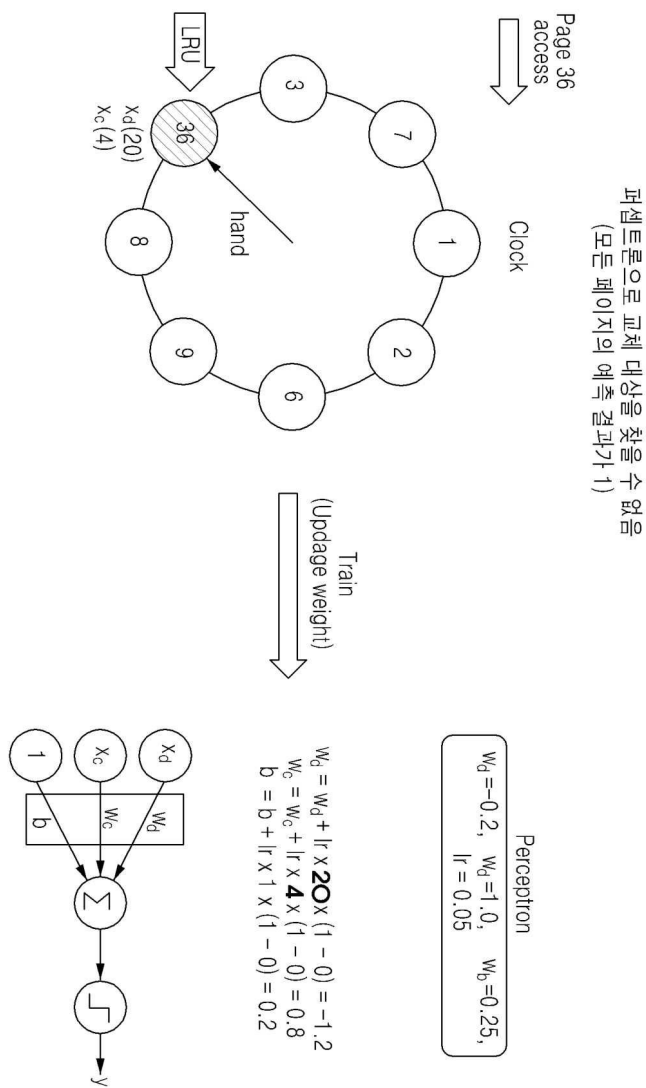
도면3



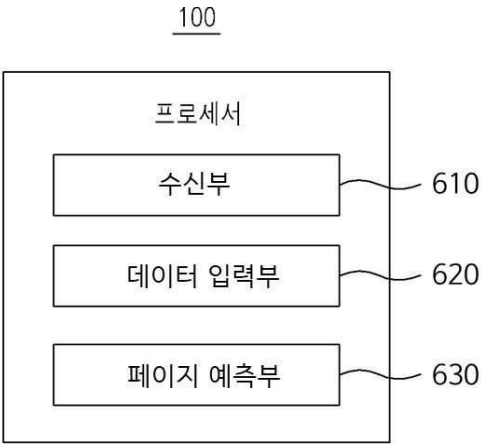
도면4



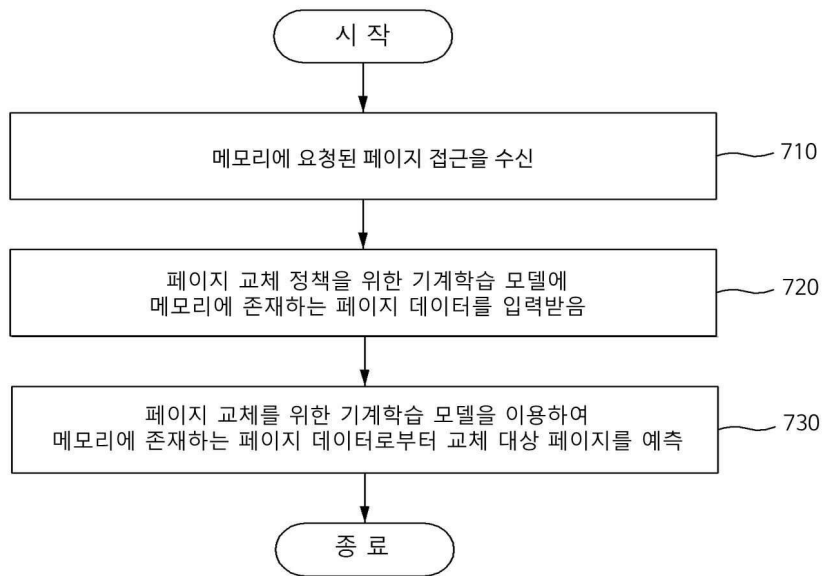
도면5



도면6



도면7



도면8

