(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월25일
(11) 등록번호 10-2709340
(24) 등록일자 2024년09월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 12/126 (2016.01)
(52) CPC특허분류
G06F 12/126 (2013.01)
G06F 2212/601 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7014466
(22) 출원일자(국제) 2020년10월29일
심사청구일자 2023년10월27일
(85) 번역문제출일자 2022년04월28일
(65) 공개번호 10-2022-0087459
(43) 공개일자 2022년06월24일
(86) 국제출원번호 PCT/US2020/057966
(87) 국제공개번호 WO 2021/087115
국제공개일자 2021년05월06일
(30) 우선권주장
16/669,973 2019년10월31일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US09047225 B
US20170315932 A1
CN110297787 A

(73) 특허권자
어드밴스드 마이크로 디바이시즈, 인코포레이티드
미국 캘리포니아 95054 산타 클라라 어거스틴 드라이브 2485
(72) 발명자
모이어 폴
미국 캘리포니아 95054 산타 클라라 어거스틴 드라이브 2485
켈리 존
미국 캘리포니아 95054 산타 클라라 어거스틴 드라이브 2485
(74) 대리인
박장원

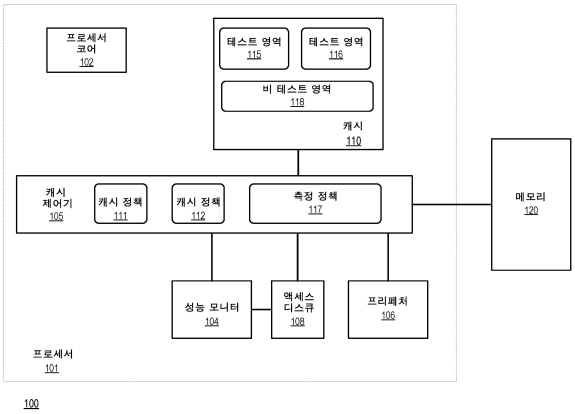
전체 청구항 수 : 총 20 항 심사관 : 강민정

(54) 발명의 명칭 **캐시 액세스 측정 디스큐**

(57) 요 약

프로세서(101)는 둘 이상의 테스트 영역들(115, 116) 및 더 큰 비 테스트 영역(118)을 갖는 캐시(110)를 포함한다. 프로세서는 상이한 캐시 교체 정책들(111, 112)을 캐시의 상이한 테스트 영역들에 적용하는 캐시 제어기(105), 및 상이한 테스트 영역들에 대한 성능 메트릭들, 이를테면 각 테스트 영역에서의 캐시 적중률을 측정하는 성능 모니터(104)를 더 포함한다. 성능 메트릭들에 기초하여, 캐시 제어기는 상이한 테스트 영역들 중에서 더 양호한 성능 메트릭들을 갖는 테스트 영역과 연관된 교체 정책을 선택하는 것과 같이, 비 테스트 영역에 대한 캐시 교체 정책을 선택한다. 프로세서는 상이한 테스트 영역들에 대한 액세스량의 차이가 임계치를 초과하는 것에 응답하여 메모리 액세스 측정치들을 디스큐(deskew)한다.

대 표 도



명 세 서

청구범위

청구항 1

방법으로서,

프로세서의 캐시 제어기에 의해, 상기 프로세서의 캐시의 제1 영역 및 상기 캐시의 제2 영역 각각에 대한 액세스를 모니터링하는 단계;

상기 캐시 제어기에 의해, 상기 캐시의 상기 제1 영역에 대한 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 상기 캐시의 상기 제2 영역에 대한 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 측정 정책을 선택하는 단계; 및

상기 캐시 제어기에 의해, 상기 캐시의 상기 제1 영역에 대한 상기 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 상기 캐시의 상기 제2 영역에 대한 상기 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 그리고 상기 측정 정책에 기초하여, 상기 캐시의 제3 영역에 대한 캐시 교체 정책을 설정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 측정 정책을 선택하는 단계는:

상기 제1 모니터링된 액세스 횟수와 상기 제2 모니터링된 액세스 횟수 간의 차이를 결정하는 단계;

상기 차이가 임계치 미만인 것에 응답하여 제1 측정 정책을 선택하는 단계; 및

상기 차이가 상기 임계치 이상인 것에 응답하여 제2 측정 정책을 선택하는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 측정 정책은 상기 캐시 교체 정책에 대한 변경을 허용하는 것을 포함하고;

상기 제2 측정 정책은 상기 캐시 교체 정책에 대한 변경을 방지하는 것을 포함하는 것인, 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제1 측정 정책은 상기 제1 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제1 가중치를 적용하고, 상기 제2 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제2 가중치를 적용하는 것을 포함하고;

상기 제2 측정 정책은 상기 제1 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제3 가중치를 적용하고, 상기 제2 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제4 가중치를 적용하는 것을 포함하며;

상기 캐시 교체 정책을 선택하는 단계는 상기 제1 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스 및 상기 제2 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스에 기초하여 상기 캐시 교체 정책을 설정하는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제1 가중치와 상기 제2 가중치는 동일하고;

상기 제3 가중치는 상기 제4 가중치와 상이한 것인, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 측정 정책을 선택하는 단계는:

상기 제1 모니터링된 액세스 횟수와 상기 제2 모니터링된 액세스 횟수 간의 제1 차이를 결정하는 단계;

상기 제1 차이에 기초하여 상기 제1 영역에 대한 제1 가중치 및 상기 제2 영역에 대한 제2 가중치를 선택하는 단계;

상기 제1 가중치에 기초하여 상기 제1 영역에 대한 모니터링된 액세스를 가중화하고, 상기 제2 가중치에 기초하여 상기 제2 영역에 대한 모니터링된 액세스를 가중화하는 단계를 포함하고;

상기 캐시 교체 정책을 설정하는 단계는 상기 제1 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스 및 상기 제2 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스에 기초하여 상기 캐시 교체 정책을 설정하는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역 각각에 대한 액세스를 모니터링하는 단계는:

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역 각각에 대한 제1 타입의 액세스를 모니터링하고, 상기 제1 영역 및 상기 제2 영역 각각에 대한 제2 타입의 액세스를 모니터링하는 단계를 포함하고;

상기 측정 정책을 선택하는 단계는:

상기 제1 영역에 대한 상기 제1 타입의 액세스 횟수와 상기 제2 영역에 대한 상기 제1 타입의 액세스 횟수 간의 제1 차이; 및

상기 제1 영역에 대한 상기 제2 타입의 액세스 횟수와 상기 제2 영역에 대한 상기 제2 타입의 액세스 횟수 간의 제2 차이에 기초하여, 상기 측정 정책을 선택하는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 제1 타입은 요구 액세스(demand access)를 포함하고, 상기 제2 타입은 프리페치 액세스(prefetch access)를 포함하는 것인, 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 캐시 교체 정책을 설정하는 단계는 상기 캐시의 상기 제1 영역에서의 캐시 적중률 및 상기 캐시의 상기 제2 영역에서의 캐시 적중률에 기초하여 상기 캐시 교체 정책을 설정하는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 캐시 교체 정책을 설정하는 단계는 상기 캐시의 상기 제1 영역에서의 캐시 실패율 및 상기 캐시의 상기 제2 영역에서의 캐시 실패율에 기초하여 상기 캐시 교체 정책을 설정하는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 11

방법으로서,

프로세서의 캐시 제어기에 의해, 상기 프로세서의 캐시의 제1 영역 및 상기 캐시의 제2 영역 각각에 대한 액세스를 모니터링하는 단계;

상기 캐시 제어기에 의해, 상기 캐시의 상기 제1 영역에 대한 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 상기 캐시의 상기 제2 영역에 대한 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 해시 값을 선택하는 단계; 및

상기 캐시 제어기에 의해, 상기 선택된 해시 값에 기초하여 상기 캐시의 제3 영역에 대한 캐시 어드레스 값들을 생성하는 단계; 및

상기 캐시 제어기에 의해, 상기 캐시 어드레스 값들에 기초하여 상기 캐시의 상기 제3 영역에 데이터를 저장하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 해시 값을 선택하는 단계는:

상기 제1 모니터링된 액세스 횟수와 상기 제2 모니터링된 액세스 횟수 간의 차이를 결정하는 단계;

상기 차이가 임계치 미만인 것에 응답하여 제1 해시 값을 선택하는 단계; 및

상기 차이가 상기 임계치 이상인 것에 응답하여 해시 값을 선택하는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 캐시 제어기에 의해, 상기 캐시의 상기 제1 영역에 대한 상기 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 상기 캐시의 상기 제2 영역에 대한 상기 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 상기 캐시의 상기 제1 영역과 연관된 어드레스들을 변경하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 14

프로세서로서,

제1 영역, 제2 영역, 및 제3 영역을 포함하는 캐시; 및

캐시 제어기를 포함하며, 상기 캐시 제어기는:

상기 제1 영역 및 상기 제2 영역 각각에 대한 액세스를 모니터링하도록;

상기 제1 영역에 대한 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 상기 제2 영역에 대한 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 측정 정책을 선택하도록; 그리고

상기 제1 영역에 대한 상기 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 상기 제2 영역에 대한 상기 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 그리고 상기 측정 정책에 기초하여, 상기 제3 영역에 대한 캐시 교체 정책을 설정하도록 구성되는 것인, 프로세서.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 캐시 제어기는:

상기 제1 모니터링된 액세스 횟수와 상기 제2 모니터링된 액세스 횟수 간의 차이를 결정하는 것;

상기 차이가 임계치 미만인 것에 응답하여 제1 측정 정책을 선택하는 것; 그리고

상기 차이가 상기 임계치 이상인 것에 응답하여 제2 측정 정책을 선택하는 것에 의해, 상기 측정 정책을 선택하도록 구성되는 것인, 프로세서.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 제1 측정 정책은 상기 캐시 교체 정책에 대한 변경을 허용하는 것을 포함하고;

상기 제2 측정 정책은 상기 캐시 교체 정책에 대한 변경을 방지하는 것을 포함하는 것인, 프로세서.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 제1 측정 정책은 상기 제1 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제1 가중치를 적용하고, 상기 제2 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제2 가중치를 적용하는 것을 포함하고;

상기 제2 측정 정책은 상기 제1 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제3 가중치를 적용하고, 상기 제2 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제4 가중치를 적용하는 것을 포함하며;

상기 캐시 교체 정책을 설정하는 것은 상기 제1 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스 및 상기 제2 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스에 기초하여 상기 캐시 교체 정책을 설정하는 것을 포함하는 것인, 프로세서.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 제1 가중치와 상기 제2 가중치는 동일하고;

상기 제3 가중치는 상기 제4 가중치와 상이한 것인, 프로세서.

청구항 19

제14항에 있어서, 상기 캐시 제어기는:

상기 제1 모니터링된 액세스 횟수와 상기 제2 모니터링된 액세스 횟수 간의 제1 차이를 결정하는 것;

상기 제1 차이에 기초하여 상기 제1 영역 및 상기 제2 영역에 대한 제1 가중치 및 제2 가중치를 선택하는 것;

상기 제1 가중치에 기초하여 상기 제1 영역에 대한 모니터링된 액세스를 가중화하고 상기 제2 가중치에 기초하여 상기 제2 영역에 대한 모니터링된 액세스를 가중화하는 것에 의해, 상기 측정 정책을 선택하도록 구성되고;

상기 캐시 교체 정책을 설정하는 것은 상기 제1 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스 및 상기 제2 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스에 기초하여 상기 캐시 교체 정책을 선택하는 것을 포함하는 것인, 프로세서.

청구항 20

제14항에 있어서, 상기 캐시 교체 정책은 상기 캐시의 상기 제3 영역에 대한 프리페치 정책을 설정하는 것인, 프로세서.

발명의 설명

배 경 기 술

[0001] 메모리 액세스 효율을 향상시키기 위해, 많은 프로세서들은 메인 메모리에 저장된 데이터의 서브세트를 저장하기 위한 하나 이상의 캐시를 포함하는 메모리 계층 구조를 채택한다. 프로세서는 프로세서 설계에 의존하는 메모리 관리 방식에 기초하여 캐시들과 메인 메모리 간에, 그리고 각 캐시들 간에 데이터를 이동시키지만, 통상적으로 최근에 액세스되었던 데이터의 캐싱에 우선순위를 부여한다. 예를 들어, 일부 프로세서들은 가까운 장래에 프로세서 코어에 의해 액세스될 가능성이 있는 데이터를 예측하는 하나 이상의 프리페처를 채택하고, 그 데이터를 메인 메모리로부터 하나 이상의 캐시로 복사한다. 새로운 데이터를 하나 이상의 캐시로 이동시키기 위해, 프로세서는 통상적으로 최근 최소 사용(least-recently-used, LRU) 교체 방식과 같은 특정 교체 방식에 기초하여 축출할 이전에 저장된 데이터를 선택하며, 이에 의해 프로세서는 가장 오랜 시간 동안 프로세서 코어에 의해 액세스되지 않았던 데이터를 저장하는 캐시 엔트리를 축출한다. 그러나, 많은 상황들에서, LRU 교체 방식은 프로세서 코어에서 실행되는 명령어들의 메모리 액세스 패턴들과 부합하지 않아, 메모리 액세스 효율을 바람직하지 않게 낮춘다.

도면의 간단한 설명

[0002] 본 개시는 첨부 도면들을 참조하여 당해 기술분야의 통상의 기술자들에게 이해가 더 잘 되고, 이의 많은 피처들 및 이점들이 명백해질 수 있다. 상이한 도면들에서의 동일한 참조 부호들의 사용은 유사하거나 동일한 항목들을 나타낸다.

도 1은 일부 실시예들에 따른 액세스 메트릭들이 캐시의 비 테스트 영역에 대한 캐시 교체 정책을 수립할 수 있게 하기 위해 캐시의 상이한 테스트 영역들에 대한 액세스 측정치들을 디스큐(deskew)하는 처리 시스템의 블록도이다.

도 2는 일부 실시예들에 따른 캐시의 상이한 테스트 영역들에 대한 액세스 측정치들을 디스큐하는 도 1의 처리 시스템의 액세스 디스큐 모듈의 블록도이다.

도 3은 일부 실시예들에 따른 캐시의 상이한 테스트 영역들에 대한 액세스 측정치들을 디스큐하는 도 1의 처리 시스템의 액세스 디스큐 모듈의 또 다른 예의 블록도이다.

도 4는 일부 실시예들에 따른 캐시의 테스트 영역들에 대한 액세스 측정치들을 디스큐하는 도 1의 처리 시스템의 예를 도시하는 도해이다.

도 5는 일부 실시예들에 따른 캐시의 상이한 테스트 영역들에 대한 액세스 측정의 방법의 흐름도이다.

도 6은 일부 실시예들에 따른 캐시의 테스트 영역들에서의 액세스 측정치들의 차이들에 기초하여 캐시에 대한 어드레스 해시를 변경하는 프로세서의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0003] 도 1 내지 도 6은 캐시의 상이한 테스트 영역들에 대한 액세스 측정치들을 디스큐함으로써, 각 테스트 영역에 대한 성능 메트릭들의 정확한 측정을 지원하기 위한 기법들을 도시하며, 여기서 차례로 성능 메트릭들은 캐시의 비 테스트 영역에서의 캐시 교체 정책의 적용을 지원한다. 예시하자면, 일부 실시예들에서, 프로세서는 두 개 이상의 테스트 영역들 및 더 큰 비 테스트 영역을 갖는 캐시를 포함한다. 프로세서는 상이한 캐시 교체 정책들을 캐시의 상이한 테스트 영역들에 적용하는 캐시 제어기, 및 상이한 테스트 영역들에 대한 성능 메트릭들, 이를테면 각 테스트 영역에서의 캐시 적중률을 측정하는 성능 모니터를 더 포함한다. 성능 메트릭들에 기초하여, 캐시 제어기는 상이한 테스트 영역들 중에서 더 양호한 성능 메트릭들을 갖는 테스트 영역과 연관된 교체 정책을 선택하는 것과 같이, 비 테스트 영역에 대한 캐시 교체 정책을 선택한다. 그러나, 일부 경우들에서, 메모리 액세스 패턴들은 상이한 테스트 영역들 사이에서 스큐 메모리 액세스를 야기하고, 차례로 이들 스큐 액세스는 성능 메트릭들을 스큐하여, 어쩌면 비 테스트 영역에 대한 캐시 교체 정책을 덜 효율적이게 한다. 프로세서는 본원에서 추가로 설명될 바와 같이 메모리 액세스 측정치들을 디스큐함으로써, 더 많은 경우들에서 더 효율적인 캐시 교체 정책을 선택하는 것을 제공함으로써, 전체 캐시 효율을 개선시킨다.

[0004] 예를 통해 추가로 예시하자면, 일부 실시예들에서, 프로세서는 두 개의 테스트 영역들 각각에 대한 캐시 적중률을 측정하고, 더 높은 캐시 적중률을 갖는 테스트 영역과 연관된 캐시 교체 정책을 선택한다. 그러나, 테스트 영역들 중 소정의 한 테스트 영역이 다른 테스트 영역보다 실질적으로 더 많은 메모리 액세스를 수신한다면, 상이한 테스트 영역들에 대한 캐시 적중률들은 스큐된다 - 즉, 캐시 적중률들이 대부분의 메모리 액세스 패턴들 하에서보다 더 높거나 더 낮다. 특히, 일부 경우들에서, 프로세서는 명령어 세트의 서브세트를 실행하며, 이에 따라 서브세트를 실행하면 전체 명령어 세트와 연관된 메모리 액세스 패턴을 대표하지 않는 캐시에 대한 액세스 패턴이 생성된다. 캐시에 대한 이러한 액세스 패턴은 본원에서 비 대표적인 메모리 액세스 패턴으로 지칭된다. 일부 경우들에서, 비 대표적인 메모리 액세스 패턴은 평균적으로, 덜 효율적인 캐시 교체 정책과 연관된 캐시 테스트 영역이 더 효율적인 캐시 교체 정책과 연관된 캐시 테스트 영역보다 더 높은 캐시 적중률을 일시적으로 갖게 한다. 프로세서는 본원에서 추가로 설명될 바와 같이, 상이한 캐시 영역들에 대한 액세스 측정치들을 디스큐함으로써, 비 대표적인 메모리 액세스 패턴의 발생으로 인해 덜 효율적인 캐시 교체 정책이 선택되는 것을 방지한다.

[0005] 일부 실시예들에서, 캐시 제어기는 액세스 측정치들을 디스큐하기 위해, 변화하는 시간대에 걸쳐 두 개의 테스트 영역들 각각에 대한 액세스 횟수를 비교한다. 액세스 횟수의 차이가 임계치를 초과하는 것에 응답하여, 프로세서는 캐시 교체 정책을 선택할 목적으로 각 테스트 영역에 대한 액세스가 어떻게 측정되는지를 좌우하는 액세스 측정 정책을 변경한다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 액세스 측정 정책은 테스트 영역들 중 하나에 대한 액세스가 특정 시간 동안 교체 정책 선택 프로세스로부터 생략됨으로써, 액세스 측정치들을 디스큐하도록 변경된다. 다른 실시예들에서, 캐시 교체 정책의 선택은 상이한 성능 기준들의 가중 비교에 기초하며, 각 테스트 영역에 대한 가중치는 액세스 측정 정책에 의해 표시된다. 캐시 제어기는 액세스 측정치들을 디스큐하기 위해, 표시된 가중치들 중 하나 이상을 변경한다.

[0006] 일부 실시예들에서, 프로세서는 캐시의 상이한 영역들에 대한 액세스의 균형을 맞추기 위해 테스트 영역들에 대한 액세스 횟수의 비교를 채택한다. 예시하자면, 일부 실시예들에서, 캐시 제어기는 캐시에 액세스(캐시로부터 판독하거나 캐시에 기록)할 때 특정 해시를 사용하며, 여기서 해시는 액세스를 분산시킴으로써, 전체 캐시 활용을 개선시킬 것으로 기대되는 것이다. 그러나, 테스트 영역에 대한 액세스 횟수가 상대적으로 많다는 것은 해시 값이 액세스를 충분히 분산시키지 못함을 나타낸다. 이에 따라, 캐시의 테스트 영역들에 대한 액세스 횟수의 차이가 임계치를 초과하는 것에 응답하여, 캐시 제어기는 해시 값을 상이한 특정 값으로 변경함으로써, 캐시 활용 및 메모리 액세스 효율을 개선시킨다.

[0007] 도 1은 일부 실시예들에 따라 캐시의 상이한 테스트 영역들에 대한 액세스 메트릭스에 기초하여 캐시의 일부에 캐시 에이징 정책을 적용하는 처리 시스템(100)을 도시한다. 처리 시스템(100)은 일반적으로 전자 디바이스를 대신하여 작업들을 수행하기 위해 컴퓨터 프로그램들의 형태로 조직화된 명령어 세트들을 실행한다. 따라서, 상이한 실시예들에서, 처리 시스템 (100)은 데스크탑 또는 랩탑 컴퓨터, 서버, 스마트 폰, 태블릿, 게임 콘솔 등

과 같은 임의의 다양한 전자 디바이스들에 사용될 수 있다.

[0008] 명령어들의 실행을 가능하게 하기 위해, 처리 시스템(100)은 프로세서 코어(102), 캐시 제어기(105), 액세스 디스큐 모듈(108), 캐시(110)를 포함하고, 메모리(120)를 갖는 프로세서(101)를 포함한다. 일부 실시예들에서, 프로세서 코어(102), 캐시 제어기(105) 및 캐시(110)는 동일한 반도체 다이 상에 형성되어 프로세서(101)의 적어도 일부를 형성하고, 메모리(120)는 상이한 반도체 다이 상에 형성되고 하나 이상의 버스 또는 신호 라인을 통해 프로세서(101)에 연결된다. 일부 실시예들에서, 메모리(120)의 적어도 일부는 프로세서(101)의 모듈들과 동일한 반도체 다이 상에 형성된다.

[0009] 캐시(110) 및 메모리(120)는 각각 데이터를 저장하는 메모리 디바이스들이고, 상이한 실시예들에서 랜덤 액세스 메모리 (RAM) 메모리 모듈들, 비 휘발성 메모리 디바이스들(예를 들어, 플래시 메모리) 등 중 하나 이상이다. 본원에서 추가로 설명될 바와 같이, 캐시(110) 및 메모리(120)는 처리 시스템(100)에 대한 메모리 계층 구조를 형성한다. 또한, 일부 실시예들에서, 처리 시스템(100)의 메모리 계층 구조는 도 1에 도시되지 않은 추가적인 캐시들과 같은 다른 메모리 모듈들을 포함한다.

[0010] 프로세서 코어(102)는 예를 들어, 명령어들을 페칭하는 페치 스테이지, 각 페치된 명령어를 하나 이상의 동작으로 디코딩하는 디코드 스테이지, 동작들을 실행하는 실행 스테이지들, 및 동작들의 실행이 완료된 명령어들을 폐기하는 폐기 스테이지를 갖는 명령어 파이프라인을 포함한다. 명령어에 기초하여 생성되는 하나의 동작 세트가 본원에서 메모리 액세스 명령어들로 지칭되고, 처리 시스템(100)의 메모리 계층 구조로부터 데이터를 로딩(로드 동작들)하기 위한 요청들, 및 처리 시스템(100)의 메모리 계층 구조에 데이터를 저장하기 위한 요청들이다. 프로세서 코어(102)에 의해 생성되는 메모리 액세스 요청들은 사용되고 있거나 실행 프로그램에 의해 요구되는 것으로 알려진 데이터를 로딩하거나 저장하기 위한 요청들을 나타내고, 본원에서 요구 요청들(demand requests)로 지칭된다.

[0011] 캐시 제어기(105)는 캐시(110)와 메모리(120) 간에 데이터를 이동시킴으로써 처리 시스템(100)의 메모리 계층 구조를 관리하는 모듈이다. 특히, 캐시(110)는 각 엔트리가 메모리(120)의 하나 이상의 어드레스와 연관되는 복수의 엔트리들을 포함하는 메모리 디바이스이다. 메모리 액세스 요청에 대한 응답으로, 캐시 제어기 (105)는 캐시 (110)의 하나 이상의 엔트리에 저장된 데이터를 검토하여 메모리 액세스 요청에 의해 타켓이 된 메모리 어드레스와 관련된 데이터를 저장하는 엔트리들이 있는지를 결정한다. 만약 그렇다면, 캐시 제어기 (105)는 식별된 엔트리에 데이터를 저장함으로써(저장 동작의 경우) 또는 식별된 엔트리의 데이터를 프로세서 코어(102)에 제공함으로써(로드 동작의 경우), 캐시 적중을 표시하고 그 엔트리에의 메모리 액세스 요청을 충족시킨다. 메모리 어드레스와 관련된 데이터가 캐시 (110)의 엔트리에 저장되지 않았으면, 캐시 제어기 (105)는 캐시 실패를 표시하고 메모리 어드레스의 데이터에 대한 요청을 메모리 (120)에 보낸다. 캐시 제어기(105)는 캐시(110)의 엔트리에 데이터를 저장하고 엔트리에의 메모리 액세스 요청을 만족시킨다.

[0012] 향상된 메모리 액세스 효율을 지원하기 위해, 프로세서 (101)는 캐시 컨트롤러 (105)에 보내지는 요구 요청들을 모니터링하여 패턴들을 식별하고 식별된 패턴들을 기반으로 프로세서 코어(102)에 의한 요구 요청들의 타겟이 될 메모리 어드레스들을 예측하는 프리페처(106)를 포함한다. 프리페처(106)는 식별된 메모리 어드레스들을 타겟으로 하는, 메모리 액세스 요청들 - 본원에서 프리페치 요청들로 지칭됨 - 을 캐시 제어기에 발행한다. 캐시 제어기(105)는 먼저 프리페치 요청에 의해 타켓이 되는 메모리 어드레스와 연관된 데이터가 캐시(110)의 엔트리에 이미 저장되어 있는지를 식별하고, 아직 저장되어 있지 않다면, 메모리(120)로부터 데이터를 요청하고 데이터를 캐시 (110)의 엔트리에 저장함으로써 요구 요청과 유사한 프리페치 요청을 처리한다.

[0013] 일부 실시예들에서, 캐시(110)의 각 엔트리는 메모리 어드레스들의 서브세트와 연관되고, 그 서브세트와 연관된 데이터만이 엔트리에 저장되도록 허용된다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 캐시는 M개의 세트들을 갖고 M개의 세트들 각각이 N개의 엔트리들을 포함하는 N-웨이 세트 연관 캐시(N-way set associative cache)이다. M개의 세트들 각각에는 메모리 어드레스들의 상이한 서브세트가 부여되며, 이에 따라 캐시 제어기(105)가 단지 데이터가 엔트리의 부여된 서브세트에서의 메모리 어드레스와 연관되는 경우 그 엔트리에 데이터를 저장하게 된다. 세트의 모든 엔트리들이 메모리 액세스의 타겟이 될 수 있는 데이터(본원에서 "유효 데이터(valid data)"로 지칭됨)를 저장할 때, 세트는 본원에서 완전(full)으로 지칭된다. 나아가, 캐시 제어기(105)가 완전 세트에 저장될 데이터를 수신할 때, 이는 축출할(즉, 세트로부터 축출할) 세트의 엔트리들 중 하나를 선택하고, 수신된 데이터로 교체한다. 캐시 제어기(105)가 축출할 엔트리를 선택하기 위해 사용하는 방식은 캐시(110)에 대한 교체 정책으로 지칭된다. 상이한 실시예들에서, 교체 정책은 엔트리들이 저장될 때 이들에 부여되는 초기 에이지 값들, 에이지 값들의 변화, 엔트리에서의 데이터가 요구 요청에 응답하여 페치되었는지 또는 프리페치 요청에 응답하

여 페치되었는지 등과 같은 다수의 기준들 중 임의의 것을 통합한다.

[0014] 일부 실시예들에서, 캐시 제어기(105)는 각 영역이 복수의 엔트리들을 포함하는 캐시(110)의 상이한 영역들에 상이한 교체 정책들을 적용한다. 적어도 일 실시예에서, 각 영역은 단지 그 교체 정책에 따라 달라진다. 이에 따라, 영역의 엔트리들은 임의의 세트에 사용될 수 있고, 상이한 영역들은 동일한 세트의 상이한 엔트리들을 포함할 수 있다. 도 1의 도시된 예에서, 캐시(110)는 세 개의 영역들, 즉, 테스트 영역들(115 및 116) 및 비 테스트 영역(118)을 포함한다. 또한, 캐시 제어기(105)는 적어도 일 양태에서 상이한 에이징 정책들(111 및 112), 이를테면 엔트리에 부여된 초기 에이지 값, 특정 기준에 응답하여 에이지 값이 조정되는 양 등을 저장한다. 일부 실시예들에서, 교체 정책(111)은 프리페치 요청에 응답하여 데이터를 저장하는 엔트리들에 대한 특정 초기 에이지, 및 비 프리페치 요청들에 응답하여 데이터를 저장하는 엔트리들에 대해 상이한 특정 초기 에이지를 지시한다. 본원에서 사용될 때, 비 프리페치 요청은 에이징 정책이 적용되는 캐시 레벨을 타겟으로 하는 프리페치 요청이 아닌 메모리 액세스를 지칭한다. 비 프리페치 요청들의 예들은 요구 요청들, 명령어 캐시 실패에 응답하여 생성되는 메모리 액세스 요청들, 하드웨어 페이지 테이블 워크 요청들(hardware page table walk requests), 프로세서 코어(102)에 의해 생성되는 예측 메모리 액세스 요청들(예를 들어, 분기 명령어 이후 명령어들의 예측 실행 동안 생성되는 메모리 액세스 요청들), 및 다른 캐시 레벨들에서 생성되는 프리페치 요청들을 포함한다. 이에 반해, 교체 정책(112)은 프리페치 요청에 응답하여 데이터를 저장하는 엔트리들 및 비 프리페치 요청에 응답하여 데이터를 저장하는 엔트리들에 대해 동일한 초기 에이지를 지시한다. 일부 실시예들에서, 교체 정책(111)은 프리페칭된 데이터에 더 빈번하게 액세스하는 메모리 액세스 패턴들에 대해 더 효율적일 수 있고, 교체 정책(112)은 프리페칭된 데이터 및 비 프리페칭된 데이터를 거의 동일한 빈도로 액세스하는 메모리 액세스 패턴들에 대해 더 효율적일 수 있다. 그러나, 프로세서 코어(102)에 대한 메모리 액세스 패턴은 캐시(110)가 상이한 시간들에 상이한 에이징 정책들에 따라 더 효율적으로 동작하도록 시간이 지나면서 달라진다. 이에 따라, 비 테스트 영역(118)에 대해, 캐시 제어기(105)는 테스트 영역들(115 및 116)의 성능 특성들에 따라 에이징 정책들(111 및 112) 중 하나를 선택할 수 있다.

[0015] 예시하자면, 프로세서(101)는 테스트 영역들(115 및 116) 각각에 대한, 캐시 적중률, 캐시 실패율 등과 같은 성능 특성들을 모니터링하고 레코딩할 수 있는 성능 모니터 (104)를 포함한다. 테스트 영역들(115 및 116)의 성능 특성들 중 하나 이상, 또는 이들의 조합에 기초하여, 캐시 제어기는 에이징 정책들(111 및 112) 중 하나를 선택하고, 이를 비 테스트 영역(118)에 적용한다. 예를 들어, 테스트 영역(115)에 대한 캐시 적중률이 테스트 영역(116)에 대한 캐시 적중률보다 더 높으면, 캐시 제어기(105)는 테스트 영역(115)에 대한 교체 정책(예를 들어, 교체 정책(111))을 선택하고, 이를 비 테스트 영역(118)에 적용한다. 일부 실시예들에서, 비 테스트 영역(118)은 캐시(110)의 엔트리들의 대부분을 포함한다. 이에 따라, 캐시 제어기(105)는 테스트 영역들(115 및 116)의 성능에 의해 표시되는 바에 따라, 더 효율적인 에이징 정책으로서 비 테스트 영역(118)에 대한 에이징 정책을 선택함으로써, 캐시(110)의 전체 효율을 향상시킨다. 나아가, 테스트 영역들(115 및 116)의 성능 특성들이 시간이 지나면서 변할 때, 캐시 제어기(105)는 교체 정책을 소정의 성능 특성 세트에 대해 더 효율적인 정책으로 변경할 수 있다.

[0016] 성능 모니터(104)는 측정 정책(117)에 기초하여 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 성능 특성들을 측정한다. 일부 실시예들에서, 측정 정책(117)은 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 액세스의 측정이 비 테스트 영역(118)에 대한 교체 정책의 선택에 어떻게 영향을 미치는지를 좌우한다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 측정 정책(117)은 캐시 제어기에 의해 복수의 상태들 중 어느 하나로 설정되며, 여기서 상이한 상태들은 언스큐(unskewed) 상태 및 하나 이상의 디스큐 상태로서 분류되는 것이다. 측정 정책(117)이 언스큐 상태에 있을 때, 캐시 제어기(105)는 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 변형되지 않은 명목 성능 특성들에 기초하여 비 테스트 영역에 대한 캐시 정책을 선택한다. 측정 정책(117)이 디스큐 상태들 중 하나에 있을 때에는, 정책 선택 프로세스 중 하나 이상, 또는 성능 특성들의 값들 자체가 비 테스트 영역(118)에 대한 교체 정책을 선택할 목적으로 변형된다. 특히, 정책 선택 프로세스 또는 성능 특성 값은 상이한 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 액세스 횟수의 상대적으로 큰 차이를 디스큐하도록 변형된다.

[0017] 예를 들어, 일부 실시예들에서, 각 테스트 영역에 대해, 성능 모니터(104)는 WCHR로 표기된 캐시 적중률의 가중 표현을 레코딩하며, 여기서 WCHS는 다음 식에 의해 계산된다:

[0018] $$WCHR = W_{TR} * CHR$$

[0019] 여기서, W_{TR}은 테스트 영역과 연관된 가중치이고, CHR은 테스트 영역에 대한 (가중되지 않은) 명목 캐시 적중률

이다. 측정 정책(117)이 언스큐 상태에 있을 때, 성능 모니터(104)는 테스트 영역들(115 및 116) 각각에 대한 성능 특성들에 대한 가중치들을 제1 특정 값(예를 들어, 각 가중치에 대해 1의 값)으로 설정한다. 측정 정책(117)이 디스큐 상태들 중 하나에 있을 때, 성능 모니터(104)는 테스트 영역들(115 및 116) 중 적어도 하나와 연관된 가중치들을 제2 특정 값으로 설정함으로써, 본원에서 추가로 설명된 바와 같이, 테스트 영역들 중 하나와 연관된 액세스 측정을 디스큐한다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 측정 정책(117)이 언스큐 상태에 있을 때, 테스트 영역들(115 및 116) 각각과 연관된 가중치들은 동일하고, 측정 정책(117)이 디스큐 상태들 중 하나에 있을 때에는, 테스트 영역(115)과 연관된 가중치들이 테스트 영역(116)과 연관된 가중치들과 상이하다.

[0020] 일부 실시예들에서, 측정 정책(117)의 상태는 성능 특성들의 측정을 직접적으로 좌우하지 않지만, 대신에 캐시 제어기(105)가 비 테스트 영역(118)에 대한 교체 정책을 변경하도록 허용되는지 여부를 좌우한다. 이에 따라, 측정 정책(117)이 언스큐 상태에 있을 때, 캐시 제어기(105)는 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 성능 특성들에 기초하여 비 테스트 영역(118)에 대한 교체 정책 변경을 허용한다. 측정 정책(117)이 디스큐 상태에 있을 때, 캐시 제어기(105)는 측정 정책(117)이 언스큐 상태로 복귀될 때까지 비 테스트 영역(118)에 대한 교체 정책 변경을 중지한다.

[0021] 상술된 바와 같이, 캐시에 의해 경험되는 일부 메모리 액세스 패턴들은 프로세서(101)에 의해 실행되는 소정의 애플리케이션 또는 다른 명령어 세트과 연관된 메모리 액세스 패턴을 나타내지 않는 비 대표적인 패턴들이다. 일부 경우들에서, 이러한 비 대표적인 메모리 액세스 패턴들은 성능 모니터(104)에 의해 레코딩되는 성능 특성들에서의 이상을 야기할 것이고, 차례로 이들 이상은 캐시 제어기가 비 테스트 영역(118)에 대한 캐시 교체 정책들(111 및 112) 중 덜 효율적인 정책을 선택하게 할 것이다. 이러한 비 대표적인 메모리 액세스 패턴들의 영향을 개선하기 위해, 액세스 디스큐 모듈(108)은 변화하는 시간대에 걸쳐, 테스트 영역(115)에 대한 메모리 액세스 횟수와 테스트 영역(116)에 대한 메모리 액세스 횟수 간의 차이를 모니터링한다. 차이가 특정 임계치를 초과하는 것에 응답하여, 액세스 디스큐 모듈(108)은 각 테스트 영역에 대한 액세스 측정의 효과를 디스큐하기 위해 측정 정책(117)을 언스큐 상태로부터 디스큐 상태로 변경한다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 메모리 액세스 횟수의 차이가 임계치를 초과하는 것에 응답하여, 액세스 디스큐 모듈(108)은 측정 정책(117)을 디스큐 상태로 변경함으로써, 비 테스트 영역(118)에 대한 교체 정책의 변경을 중지한다. 변화하는 시간대에 걸친 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 액세스 측정의 차이가 임계치 아래로 떨어지는 것에 응답하여, 액세스 디스큐 모듈(108)은 측정 정책(117)을 언스큐 상태로 복귀시킴으로써, 비 테스트 영역(118)에 대한 교체 정책의 변화를 재개한다(이러한 변화가 상술된 바와 같은 상대적 성능 특성들에 의해 표시될 때).

[0022] 다른 실시예들에서, 메모리 액세스 횟수의 차이가 임계치를 초과하는 것에 응답하여, 액세스 디스큐 모듈(108)은 측정 정책(117)을 디스큐 상태로 변경함으로써, 더 높은 액세스 횟수를 갖는 테스트 영역에 대한 상대적 가중치를 감소시키기 위해 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 가중치(W_{TR}) 값들을 변경한다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 테스트 영역(115)이 변화하는 시간대에 걸쳐, 테스트 영역(116)에 대한 액세스 횟수를 임계치보다 많이 초과하는 액세스 횟수를 갖는 것에 응답하여, 액세스 디스큐 모듈(108)은 측정 정책(117)을 테스트 영역(115)과 연관된 가중치를 감소시키는 상태(또는 테스트 영역(116)과 연관된 대한 가중치를 증가시키는 상태, 또는 이들의 조합)로 변경함으로써, 비 대표적인 메모리 액세스 패턴이 비 테스트 영역(118)에 대한 교체 정책 변경을 초래할 가능성을 감소시킨다. 변화하는 시간대에 걸친 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 액세스 측정의 차이가 임계치 아래로 떨어지는 것에 응답하여, 액세스 디스큐 모듈(108)은 측정 정책(117)을 이의 언스큐 상태로 설정함으로써, 테스트 영역들에 대한 가중치들을 이의 명목 값들로 복귀시킨다.

[0023] 일부 실시예들에서, 디스큐될 테스트 영역에 대해 선택되는 가중치는 상이한 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 액세스 간의 차이의 크기에 기초한다. 이에 따라, 예를 들어, 일부 실시예들에서, 테스트 영역들(115 및 116) 간의 액세스의 차이의 크기는 다음 식으로 주어진다:

$$액세스_{차이} = \left| 액세스_{115} - 액세스_{116} \right|$$

[0024]

[0025] 여기서, 액세스$_{115}$는 변화하는 시간대에 걸친 테스트 영역(115)에 대한 액세스 횟수이고, 액세스$_{116}$은 변화하는 시간대에 걸친 테스트 영역(116)에 대한 액세스 횟수이다. 일부 실시예들에서, 각 테스트 영역에 대한 성능 특성들에 적용되는 가중치는 액세스$_{차이}$의 값에 기초한다.

[0026] 도 2는 일부 실시예들에 따른 디스큐 모듈(108)의 블록도를 도시한다. 디스큐 모듈(108)은 시프트 레지스터

(222) 및 비교 모듈(225)을 포함한다. 시프트 레지스터(222)는 복수의 필드들(예를 들어, 필드(226))를 포함한다. 테스트 영역에 대한 각 액세스에 대해, 시프트 레지스터(222)는 1) 각 필드의 값을 좌측으로 하나의 위치씩 시프트하며, 시프트 전의 최좌측 필드는 폐기되고; 2) 테스트 영역(115)에 대한 메모리 액세스에 응답하여 최우측 비트 위치에 1의 값을 저장하고, 테스트 영역(116)에 대한 메모리 액세스에 응답하여 최우측 비트 위치에 0의 값을 저장한다. 이에 따라, 시프트 레지스터(222)에 저장된 1 및 0 의 수들은 변화하는 시간대에 걸쳐 각각 테스트 영역들(115 및 116)에서의 메모리 액세스 횟수를 나타낸다.

[0027] 비교 모듈(225)은 시프트 레지스터(222)에 저장된 1과 0의 수들 간의 차이를 결정하고, 그 차이의 크기가 임계값(228)을 초과하는지를 결정한다. 일부 실시예들에서, 임계 값(228)은 프로세서(101)의 또는 처리 시스템(100)의 특성화 또는 테스트 프로세스 동안 설정된다. 다른 실시예들서, 임계 값(228)은 실행 프로그램에 의해 또는 프로그램을 컴파일한 컴파일러에 의해 표시되는 값에 기초하여 설정된다. 이에 의해, 임계 값(228)은 프로세서(101)에서 실행되는 특정 명령어 세트에 따라 설정된다.

[0028] 비교 모듈(225)은 차이의 크기와 임계치(228)의 비교에 기초하여, 디스큐로 표기된 출력 신호의 상태를 설정한다. 이에 따라, 예를 들어, 차이의 크기가 임계치(228) 이하인 것에 응답하여, 비교 모듈(225)은 디스큐 신호를 언스큐 액세스 측정에 대응하는 제1 상태로 설정하고, 크기가 임계치(228) 초과인 것에 응답하여, 비교 모듈(225)은 디스큐 신호를 스큐 액세스 측정에 대응하는 제2 상태로 설정한다. 디스큐 신호의 상태에 기초하여, 캐시 제어기(105)는 측정 정책(117)을 설정한다. 이에 따라, 예를 들어, 디스큐 신호가 언스큐 액세스 측정을 나타내는 것에 응답하여, 캐시 제어기(105)는 측정 정책(117)을 이의 언스큐 상태로 설정한다. 디스큐 신호가 언스큐 액세스 측정을 나타내는 것에 응답하여, 캐시 제어기(105)는 이를테면 캐시 교체 정책의 변경을 중지함으로써 또는 테스트 영역들(115 및 116) 각각과 연관된 성능 특성 가중치들을 변경함으로써, 상술된 바와 같이 성능 특성들의 측정을 디스큐하기 위해 측정 정책(117)을 디스큐 상태로 설정한다.

[0029] 일부 실시예들에서, 디스큐 모듈(108)은 상이한 타입들의 액세스를 모니터링하고, 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 소정의 타입의 액세스 횟수의 차이가 대응하는 임계치를 초과하는 것에 응답하여 측정 정책(117)의 변화를 나타낸다. 일부 실시예들에 따른 예가 도 3에 도시되어 있다. 특히, 도 3의 예에서, 디스큐 모듈(108)은 두 개의 시프트 레지스터들(322 및 324) 및 비교 모듈(325)을 포함한다. 시프트 레지스터들(322 및 324) 각각은 테스트 영역들(115 및 116)에서의 상이한 타입의 메모리 액세스를 추적한다.

[0030] 예시하자면, 일부 실시예들에서, 시프트 레지스터(322)는 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 요구 액세스를 추적한다. 테스트 영역에 대한 각 요구 액세스에 대해, 시프트 레지스터(322)는 1) 각 필드의 값을 좌측으로 하나의 위치씩 시프트하며, 시프트 전의 최좌측 필드는 폐기되고; 2) 테스트 영역(115)에 대한 요구 액세스에 응답하여 최우측 비트 위치(필드 326)에 1의 값을 저장하고, 테스트 영역(116)에 대한 메모리 액세스에 응답하여 최우측 비트 위치에 0의 값을 저장한다. 이에 따라, 시프트 레지스터(322)에 저장된 1 및 0 의 수들은 변화하는 시간대에 걸쳐 각각 테스트 영역들(115 및 116)에서의 요구 액세스 횟수를 나타낸다. 시프트 레지스터(324) 는 유사한 방식으로 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 프리페치 액세스를 추적한다.

[0031] 비교 모듈(325)은 메모리 액세스의 두 가지 타입들의 차이의 크기 각각과 임계치(328)의 비교에 기초하여, 디스큐 신호의 상태를 설정한다. 이에 따라, 예를 들어, 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 요구 액세스의 차이의 크기가 임계치(328) 이하인 것에 응답하여, 비교 모듈(325)은 디스큐 신호를 언스큐 액세스 측정에 대응하는 제1 상태로 설정하고, 크기가 임계치(328) 초과인 것에 응답하여, 비교 모듈(325)은 디스큐 신호를 스큐 액세스 측정에 대응하는 제2 상태로 설정한다. 유사하게, 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 프리페치 액세스의 차이의 크기가 임계치(328) 이하인 것에 응답하여, 비교 모듈(325)은 디스큐 신호를 언스큐 액세스 측정에 대응하는 제1 상태로 설정하고, 크기가 임계치(328) 초과인 것에 응답하여, 비교 모듈(325)은 디스큐 신호를 스큐 액세스 측정에 대응하는 제2 상태로 설정한다.

[0032] 일부 실시예들에서, 디스큐 모듈(108)은 요구 액세스 및 프리페치 액세스에 대해 상이한 값들을 갖는 상이한 임계치들을 저장한다는 것이 이해될 것이다. 나아가, 일부 실시예들에서, 시프트 레지스터들(322 및 324)에 추가하여 또는 그 대신에, 디스큐 모듈(108)은 다른 타입들의 메모리 액세스, 이를테면 상이한 캐시 레벨들에 대한 메모리 액세스를 추적하는 시프트 레지스터들을 포함한다. 더욱이, 일부 실시예들에서, 캐시 제어기(105)는 측정 정책(117)을 메모리 액세스의 어느 타입들이 디스큐 신호의 어서션(assertion)을 초래하였는지에 따라 상이한 상태들로 변경한다.

[0033] 도 4는 일부 실시예들에 따라 프로세서(101)의 측정 정책(117)을 변경하는 예를 도시하는 도해(400)를 도시한다. 도해(400)는 시간을 나타내는 x축 및 테스트 영역들(115 및 116) 각각에 대한 메모리 액세스 횟수의

차이의 크기를 나타내는 y축을 포함한다. 이에 따라, 도해(400)에 도시된 플롯(401)은 시간에 따른 테스트 영역들(115 및 116) 각각에 대한 메모리 액세스 횟수의 차의 크기를 나타낸다.

[0034] 도시된 예에서, 시간(430) 이전에, 메모리 액세스 횟수의 차이의 크기는 임계치(228) 미만이다. 이에 따라, 시간(430) 이전에, 캐시 제어기(105)는 측정 정책(117)을 디스큐 상태로 유지하며, 여기서 테스트 영역들(115 및 116)과 연관된 성능 특성들은 디스큐되지 않는다. 시간(430)에서, 메모리 액세스 횟수의 차이의 크기는 임계치(228)에 도달하고, 이어서 이를 초과한다. 이에 응답하여, 캐시 제어기(105)는 이를테면 성능 특성들에 적용되는 하나 이상의 가중치를 변경하는 것, 캐시(110)의 비 테스트 영역(118)에 대한 캐시 교체 정책 변경을 중지하는 것 등에 의해, 성능 특성을 디스큐하기 위해 측정 정책(117)을 디스큐 상태로 변경한다. 시간(432)에서(시간(430) 이후에), 메모리 액세스 횟수의 차이의 크기는 임계치(228) 아래로 떨어진다. 이에 응답하여, 캐시 제어기(105)는 측정 정책(117)을 명목 상태로 복귀시킨다.

[0035] 도 5는 일부 실시예들에 따라 프로세서에서 메모리 액세스 측정 정책을 설정하는 방법(500)의 흐름도를 도시한다. 방법(500)은 프로세서(101)에서의 예시적인 구현에 대해 설명된다. 블록(502)에서, 액세스 디스큐 모듈(108)은 변화하는 시간대에 걸쳐, 테스트 영역들(115 및 116) 각각에 대한 액세스 횟수를 레코딩한다. 블록(504)에서, 액세스 디스큐 모듈(108)은 테스트 영역(115)에 대한 액세스 횟수와 테스트 영역(116)에 대한 액세스 횟수 간의 차이의 크기를 결정하고, 결정된 크기를 임계치(228)와 비교한다. 차이의 크기가 임계치(228) 이하인 것에 응답하여, 방법 흐름은 블록(506)으로 이동하고, 액세스 디스큐 모듈(108)은 측정 정책(117)을, 예를 들어, 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 동등하게 가중된 성능 특성들에 기초하여 비테스트 영역(118)에 대한 교체 정책 변경이 허용되는 언스큐 상태로 설정한다. 방법 흐름은 블록(502)으로 돌아간다.

[0036] 블록(504)으로 돌아가서, 테스트 영역(115)에 대한 액세스 횟수와 테스트 영역(116)에 대한 액세스 횟수 간의 차이의 크기가 임계치(228)보다 더 큰 것에 응답하여, 방법 흐름은 블록(408)으로 이동하고, 액세스 디스큐 모듈(108)은 측정 정책(117)을 이의 디스큐 상태로 설정한다. 일부 실시예들에서, 측정 정책(117)이 디스큐 상태에 있는 동안, 캐시 제어기(105)는 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 성능 특성들에 기초하여 비 테스트 영역(118)에 대한 교체 정책을 변경하지 않는다. 다른 실시예들에서, 측정 정책(117)이 디스큐 상태에 있는 동안, 캐시 제어기(105)는 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 성능 특성들에 상이한 가중치들을 적용하고, 가중된 성능 특성들에 기초하여 비 테스트 영역(118)에 대한 교체 정책을 선택한다.

[0037] 상술된 바와 같이, 일부 실시예들에서, 테스트 영역들(115 및 116)에 대한 액세스의 차이의 크기는 프로세서에 대한 액세스 측정 정책을 설정하기 위해 사용되는 대신에 또는 이에 추가하여 다른 목적들로 사용된다. 도 6에 일부 실시예들에 따라 캐시 테스트 영역들에 대한 액세스의 차이의 크기에 기초하여 어드레스 해시를 설정하는 프로세서(600)를 도시하는 예가 도시되어 있다. 프로세서(600)는 프로세서 코어(602), 캐시 제어기(605), 성능 모니터(604), 및 캐시(610)를 포함한다. 이들 모듈들 각각은 상술된 도 1의 대응하는 모듈들과 유사하게 동작한다. 특히, 캐시(610)는 각각 테스트 영역(615 및 616)으로 지정된 두 개의 테스트 영역들을 포함한다.

[0038] 또한, 캐시 제어기(605)는 캐시 어드레스 해시(619)를 사용하여 캐시(610)에 액세스한다. 캐시(610)에 대한 메모리 액세스를 수신하는 것에 응답하여, 캐시 제어기(605)는 해싱된 어드레스 값을 생성하기 위해 메모리 액세스의 메모리 어드레스에 캐시 어드레스 해시(619)를 적용한다. 캐시 제어기(605)는 해싱된 어드레스 값을 사용하여 캐시(610)에 액세스한다. 즉, 캐시 제어기(605)는 메모리 액세스에 의해 제공되는 해싱되지 않은 원래의 어드레스 값이 아니라, 해싱된 어드레스 값에 의해 표시되는 캐시(610)의 위치에 액세스한다.

[0039] 일부 실시예들에서, 캐시 어드레스 해시(619)는 캐시(610)의 캐시 위치들의 상대적으로 큰 백분율의 사용을 촉진할 것으로 기대되는 명목 값으로 설정된다. 즉, 캐시 어드레스 해시(619)의 명목 값은 액세스와 연관된 해싱되지 않은 어드레스들이 메모리 어드레스들의 상대적으로 좁은 범위에 속하더라도, 캐시 위치들의 상대적으로 큰 백분율에 대한 액세스를 "분산"시킴으로써 캐시(610)의 효율적인 사용을 촉진할 것으로 기대된다.

[0040] 그러나, 일부 메모리 액세스 패턴들에 대해, 해시의 명목 값은 해싱된 어드레스 값들을 충분히 변화시키지 않아, 결과적인 메모리 액세스가 상대적으로 작은 캐시 위치 세트에 액세스하는 경향이 있게 된다. 이들 메모리 액세스 패턴들은 테스트 영역들(615 및 616) 중 하나에 대해 다른 테스트 영역보다 더 빈번한 액세스로 표시된다. 이에 따라, 프로세서(101)는 도 2의 액세스 디스큐 모듈(108)과 유사한 방식으로, 변화하는 시간대에 걸쳐, 테스트 영역(615)에 대한 메모리 액세스 횟수와 테스트 영역(616)에 대한 메모리 액세스 횟수 간의 차이를 비교하는 해시 제어 모듈(608)을 포함한다. 차이의 크기가 임계치를 초과하는 것에 응답하여, 해시 제어 모듈(608)은 캐시 어드레스 해시(619)를 상이한 값으로 변경한다. 일부 실시예들에서, 해시 제어 모듈(608)은 차이의 크기가 임계치 아래로 떨어질 때까지 (예를 들어, 해시 값의 상이한 비트들의 값을 연속적으로 변경함으로써) 캐

시 어드레스 해시(619)를 계속해서 변경한다. 이에 의해, 해시 제어 모듈(608)은 다양한 상이한 메모리 액세스 패턴들에 대한 캐시(110)의 효율적인 사용을 촉진한다.

[0041] 일부 실시예들에서, 캐시 어드레스 해시(619)의 값을 변경하는 것에 추가하여 또는 그 대신에, 캐시 제어기(605)는 테스트 영역들(615 및 616) 중 하나 이상과 연관된 메모리 어드레스들을 변경함으로써, 테스트 영역들을 캐시(610)의 상이한 영역들로 시프팅한다. 이에 따라, 예를 들어, 테스트 영역들(615 및 616)에 대한 액세스의 차이의 크기가 임계치를 초과하는 것에 응답하여, 캐시 제어기는 테스트 영역(615)과 연관된 어드레스들을 변경함으로써, 테스트 영역(615)을 캐시(610)의 상이한 부분으로 시프팅한다.

[0042] 본원에서 설명된 바와 같이, 일부 실시예들에서, 방법은: 캐시의 제1 영역 및 캐시의 제2 영역 각각에 대한 액세스를 모니터링하는 단계; 캐시의 제1 영역에 대한 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 캐시의 제2 영역에 대한 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 측정 정책을 선택하는 단계; 및 캐시의 제1 영역에 대한 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 캐시의 제2 영역에 대한 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 그리고 측정 정책에 기초하여, 캐시의 제3 영역에 대한 캐시 교체 정책을 설정하는 단계를 포함한다. 일 양태에서, 측정 정책을 선택하는 단계는: 제1 모니터링된 액세스 횟수와 제2 모니터링된 액세스 횟수 간의 제1 차이를 결정하는 단계; 차이가 임계치 미만인 것에 응답하여 제1 측정 정책을 선택하는 단계; 및 차이가 임계치 이상인 것에 응답하여 제2 측정 정책을 선택하는 단계를 포함한다. 또 다른 양태에서, 제1 측정 정책은 캐시 교체 정책에 대한 변경을 허용하는 것을 포함하고; 제2 측정 정책은 캐시 교체 정책에 대한 변경을 방지하는 것을 포함한다. 또 다른 양태에서, 제1 측정 정책은 제1 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제1 가중치를 적용하고, 제2 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제2 가중치를 적용하는 것을 포함하고; 제2 측정 정책은 제1 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제3 가중치를 적용하고, 제2 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제4 가중치를 적용하는 것을 포함하며; 캐시 정책을 선택하는 단계는 제1 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스 및 제2 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스에 기초하여 캐시 정책을 선택하는 단계를 포함한다. 일 양태에서, 제1 가중치 및 제2 가중치는 동일한 가중치이고; 제3 가중치는 제4 가중치와 상이하다.

[0043] 일 양태에서, 측정 정책을 선택하는 단계는: 제1 모니터링된 액세스 횟수와 제2 모니터링된 액세스 횟수 간의 제1 차이를 결정하는 단계; 제1 차이에 기초하여 제1 영역에 대한 제1 가중치 및 제2 영역에 대한 제2 가중치를 선택하는 단계; 제1 가중치에 기초하여 제1 영역에 대한 액세스를 가중화하고 제2 가중치에 기초하여 제2 캐시 영역에 대한 액세스를 가중화하는 단계를 포함하며; 캐시 정책을 선택하는 단계는 제1 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스 및 제2 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스에 기초하여 캐시 정책을 선택하는 단계를 포함한다. 또 다른 양태에서, 제1 영역 및 제2 영역 각각에 대한 액세스를 모니터링하는 단계는: 제1 영역 및 제2 영역 각각에 대한 제1 타입의 액세스를 모니터링하고, 제1 영역 및 제2 영역 각각에 대한 제2 타입의 액세스를 모니터링하는 단계를 포함하고; 측정 정책을 선택하는 단계는: 제1 영역에 대한 제1 타입의 액세스 횟수와 제2 영역에 대한 제1 타입의 액세스 횟수 간의 제1 차이; 및 제1 영역에 대한 제2 타입의 액세스 횟수와 제2 영역에 대한 제2 타입의 액세스 횟수 간의 제2 차이에 기초하여, 측정 정책을 선택하는 단계를 포함한다. 또 다른 양태에서, 제1 타입은 요구 액세스를 포함하고, 제2 타입은 프리페치 액세스를 포함한다.

[0044] 일 양태에서, 캐시 정책을 설정하는 단계는 캐시의 제1 영역에서의 캐시 적중률 및 캐시의 제2 영역에서의 캐시 적중률에 기초하여 캐시 정책을 설정하는 단계를 포함한다. 또 다른 양태에서, 캐시 정책을 설정하는 단계는 캐시의 제1 영역에서의 캐시 실패율 및 캐시의 제2 영역에서의 캐시 실패율에 기초하여 캐시 정책을 설정하는 단계를 포함한다.

[0045] 일부 실시예들에서, 방법은: 캐시의 제1 영역 및 캐시의 제2 영역 각각에 대한 액세스를 모니터링하는 단계; 캐시의 제1 영역에 대한 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 캐시의 제2 영역에 대한 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 해시 값을 선택하는 단계; 및 선택된 해시 값에 기초하여 캐시의 제3 영역에 대한 캐시 어드레스 값들을 생성하는 단계; 및 캐시 어드레스 값들에 기초하여 캐시의 제3 영역에 데이터를 저장하는 단계를 포함한다. 일 양태에서, 해시 값을 선택하는 단계는: 제1 모니터링된 액세스 횟수와 제2 모니터링된 액세스 횟수 간의 제1 차이를 결정하는 단계; 차이가 임계치 미만인 것에 응답하여 제1 해시 값을 선택하는 단계; 및 차이가 임계치 이상인 것에 응답하여 해시 값을 선택하는 단계를 포함한다. 또 다른 양태에서, 본 방법은: 캐시의 제1 영역에 대한 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 캐시의 제2 영역에 대한 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 캐시의 제1 영역과 연관된 어드레스들을 변경하는 단계를 포함한다.

[0046] 일부 실시예들에서, 프로세서는: 제1 영역, 제2 영역, 및 제3 영역을 포함하는 캐시; 및 캐시 제어기를 포함하며, 캐시 제어기는: 제1 영역 및 제2 영역 각각에 대한 액세스를 모니터링하도록; 제1 영역에 대한 제1 모니터

링된 액세스 횟수 및 제2 영역에 대한 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 측정 정책을 선택하도록; 그리고 제1 영역에 대한 제1 모니터링된 액세스 횟수 및 제2 영역에 대한 제2 모니터링된 액세스 횟수에 기초하여 그리고 측정 정책에 기초하여, 제3 영역에 대한 캐시 교체 정책을 설정하도록 구성된다. 일 양태에서, 캐시 제어기는 제1 모니터링된 액세스 횟수와 제2 모니터링된 액세스 횟수 간의 제1 차이를 결정하는 것; 차이가 임계치 미만인 것에 응답하여 제1 측정 정책을 선택하는 것; 및 차이가 임계치 이상인 것에 응답하여 제2 측정 정책을 선택하는 것에 의해, 측정 정책을 선택하도록 구성된다.

[0047] 일 양태에서, 제1 측정 정책은 캐시 교체 정책에 대한 변경을 허용하는 것을 포함하고; 제2 측정 정책은 캐시 교체 정책에 대한 변경을 방지하는 것을 포함한다. 다른 양태에서, 제1 측정 정책은 제1 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제1 가중치를 적용하고, 제2 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제2 가중치를 적용하는 것을 포함하고; 제2 측정 정책은 제1 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제3 가중치를 적용하고, 제2 영역에 대한 모니터링된 액세스에 제4 가중치를 적용하는 것을 포함하며; 캐시 정책을 선택하는 것은 제1 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스 및 제2 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스에 기초하여 캐시 정책을 선택하는 것을 포함한다. 또 다른 양태에서, 제1 가중치 및 제2 가중치는 동일한 가중치이고; 제3 가중치는 제4 가중치와 상이하다.

[0048] 일 양태에서, 캐시 제어기는: 제1 모니터링된 액세스 횟수와 제2 모니터링된 액세스 횟수 간의 제1 차이를 결정하는 것; 제1 차이에 기초하여 제1 캐시 영역 및 제2 캐시 영역에 대한 제1 가중치 및 제2 가중치를 선택하는 것; 제1 가중치에 기초하여 제1 영역에 대한 액세스를 가중화하고 제2 가중치에 기초하여 제2 캐시 영역에 대한 액세스를 가중화하는 것에 의해, 측정 정책을 선택하도록 구성되고; 캐시 정책을 선택하는 것은 제1 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스 및 제2 영역에 대한 가중된 모니터링된 액세스에 기초하여 캐시 정책을 선택하는 것을 포함한다. 또 다른 양태에서, 캐시 정책은 캐시의 제3 영역에 대한 프리페치 정책을 설정한다.

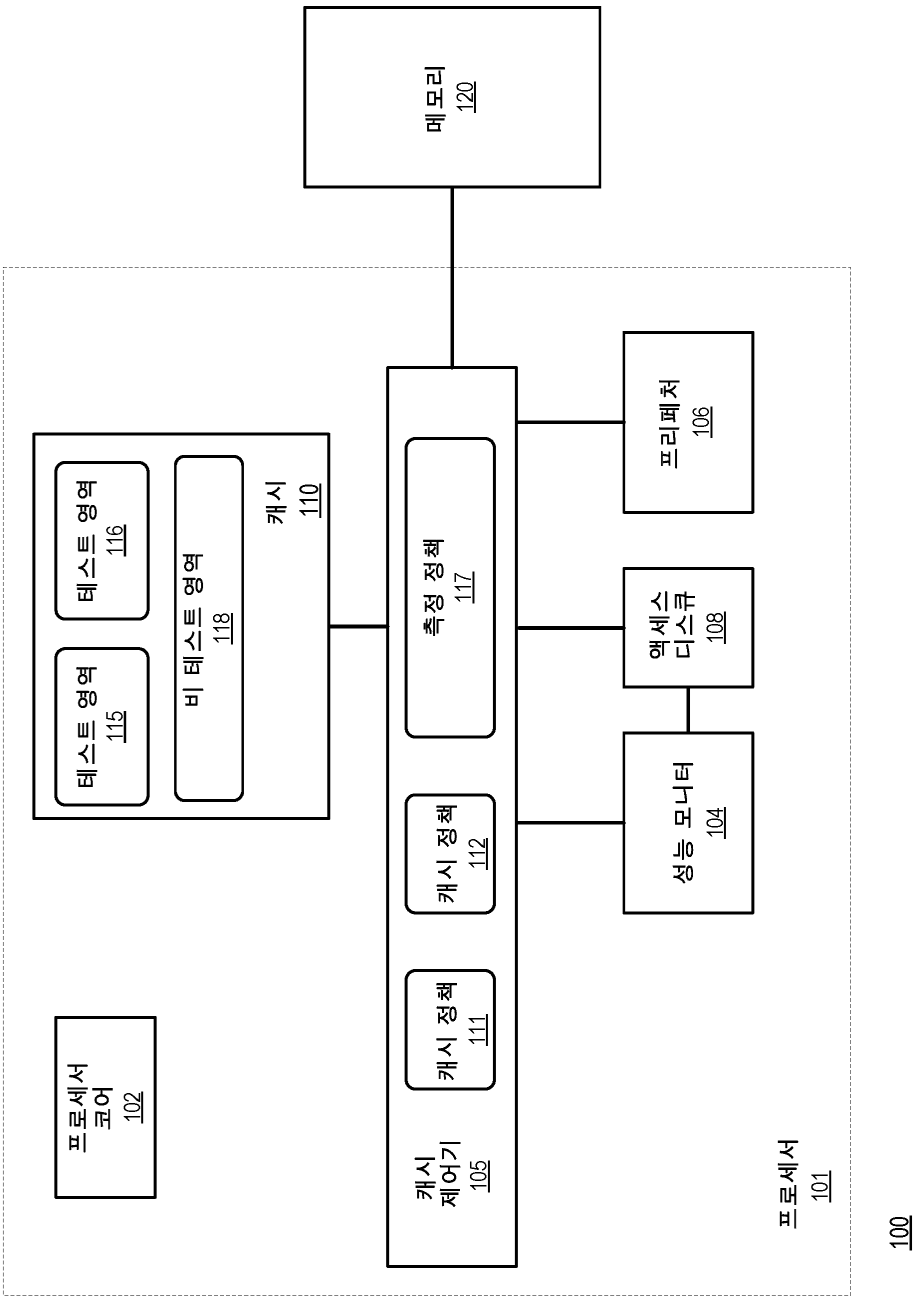
[0049] 일부 실시예들에서, 상술된 기법들의 특정 양태들은 소프트웨어를 실행하는 처리 시스템의 하나 이상의 프로세서에 의해 구현될 수 있다. 소프트웨어는 비 일시적인 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체 상에 저장되거나 그 외 유형적으로 구현되는 실행 가능한 명령어들의 하나 이상의 세트를 포함한다. 소프트웨어는 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 하나 이상의 프로세서를 조작하여 상술된 기술들의 하나 이상의 양태를 수행하는 명령어들 및 특정 데이터를 포함할 수 있다. 비 일시적인 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체는 예를 들어, 자기 또는 광학 디스크 저장 디바이스, 고체 상태 저장 디바이스들 이를테면 플래시 메모리, 캐시, 랜덤 액세스 메모리(RAM) 또는 다른 비 휘발성 메모리 디바이스 또는 디바이스들 등을 포함할 수 있다. 비 일시적인 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체 상에 저장된 실행 가능한 명령어들은 소스 코드, 어셈블리 언어 코드, 객체 코드, 또는 하나 이상의 프로세서에 의해 해석되거나 그 외 실행 가능한 다른 명령어 포맷으로 있을 수 있다.

[0050] 일반적인 설명으로 상술된 모든 동작들 또는 요소들이 요구되지는 않을 수 있다는 것, 특정 동작 또는 디바이스의 일부가 요구되지 않을 수 있다는 것, 그리고 설명된 동작들 또는 요소들에 더하여, 하나 이상의 추가 동작이 수행되거나 요소들이 포함될 수 있다는 것에 유념한다. 더 나아가, 동작들이 나열된 순서는 반드시 이것들이 수행되는 순서는 아니다. 또한, 개념들은 구체적인 실시 예들을 참조하여 설명되었다. 그러나, 해당 기술분야의 통상의 기술자는 아래 청구항들에 제시된 바에 따라 본 개시의 범위로부터 벗어나지 않고 다양하게 수정 및 변경될 수 있다는 것을 이해한다. 따라서, 본 명세서 및 도면들은 제한적인 의미가 아닌 예시적인 의미로 여겨져야 하고, 상기한 모든 수정이 본 개시의 범위 내에 포함되는 것으로 의도된다.

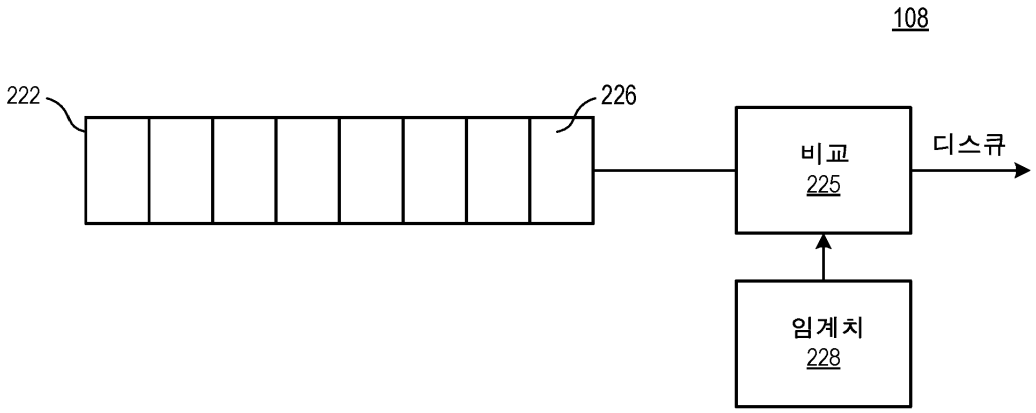
[0051] 혜택들, 다른 이점들 및 문제들에 대한 솔루션들이 구체적인 실시예들과 관련하여 상술되었다. 그러나, 혜택들, 이점들, 문제들에 대한 솔루션들 및 임의의 혜택, 이점, 또는 솔루션을 발생시키거나 더 확연히 드러낼 수 있는 임의의 특징(들)이 임의의 또는 모든 청구항들의 임계적, 필수적 또는 본질적 특징인 것으로 간주되지 않아야 한다. 또한, 위에서 개시된 특정 실시 예들은 개시된 주제가 본 명세서에서의 교시 내용의 혜택을 받는 해당 기술분야의 통상의 기술자들에게 명백한 상이하지만 균등한 방식들로 수정 및 실시될 수 있음에 따라 단지 예시적인 것일 뿐이다. 아래 청구항들에서 설명되는 것 이외에, 제시되는 본 명세서에서의 구성 또는 설계의 세부 사항들로 제한되도록 의도되지 않는다. 이에 따라 위에서 개시된 특정 실시 예들이 대체 또는 수정될 수 있고 모든 그러한 변형 예들은 개시된 주제의 범위 내인 것으로 고려된다는 것이 명백하다. 따라서, 본 명세서에서 추구되는 보호는 아래 청구항들에 제시되는 바에 따른다.

도면

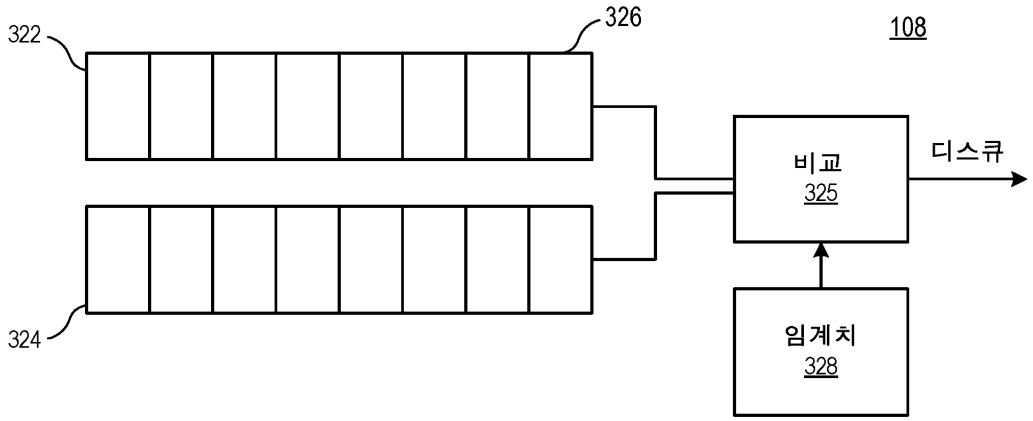
도면1


메모리
120
프로세서
101
캐시
110
테스트 영역
116
테스트 영역
115
비 테스트 영역
118
프로세서
코어
102
캐시
제어기
105
캐시 정책
111
캐시 정책
112
측정 정책
117
프리페치
106
액세스
디스큐
108
성능 모니터
104
100

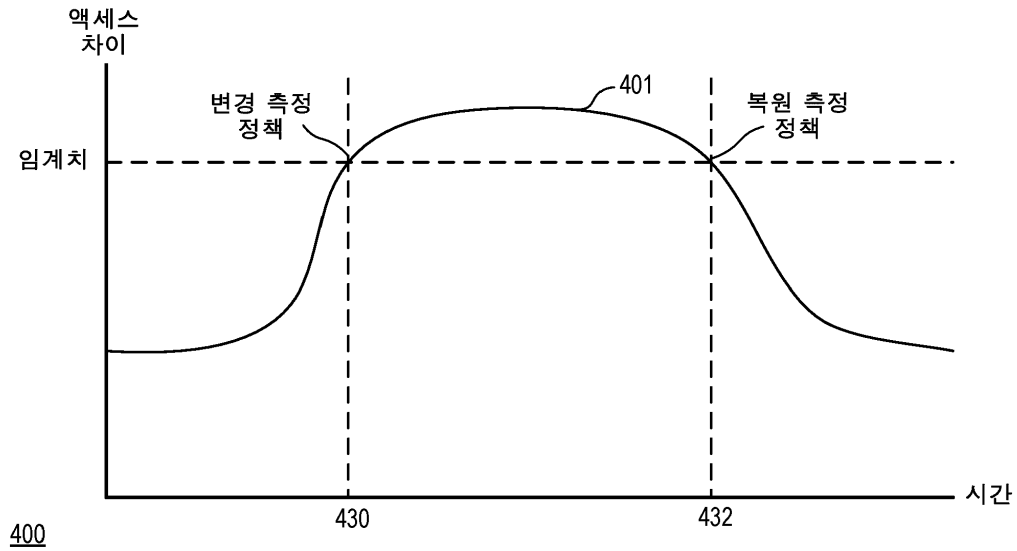
도면2


108
222
226
비교
225
디스큐
임계치
228

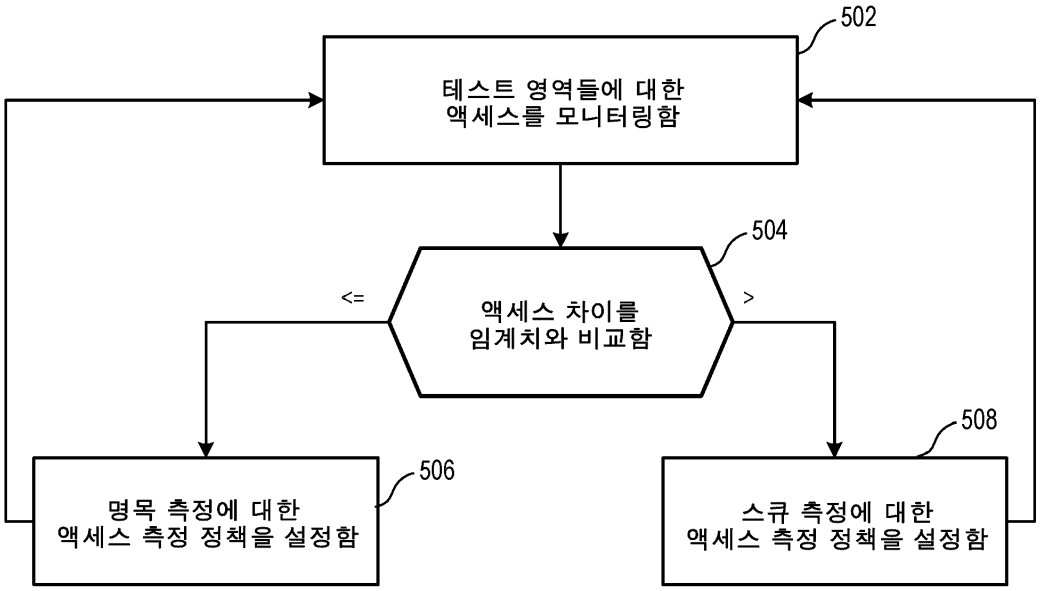
도면3


322
326
108
비교
325
디스큐
324
임계치
328

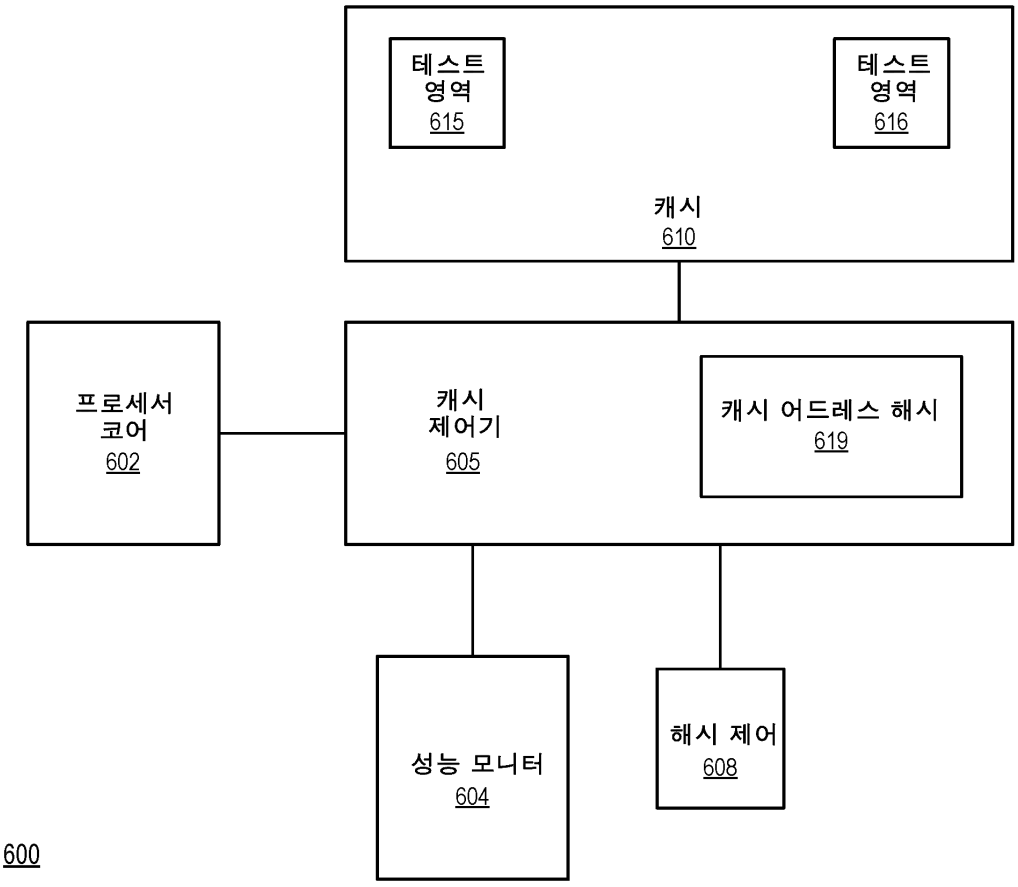
도면4


액세스
차이
변경 측정
정책
401
복원 측정
정책
임계치
시간
430
432
400

도면5


502
테스트 영역들에 대한
액세스를 모니터링함
504
<=
액세스 차이를
임계치와 비교함
>
508
506
명목 측정에 대한
액세스 측정 정책을 설정함
스큐 측정에 대한
액세스 측정 정책을 설정함
500

도면6


테스트
영역
615
테스트
영역
616
캐시
610
프로세서
코어
602
캐시
제어기
605
캐시 어드레스 해시
619
성능 모니터
604
해시 제어
608
600