

【서지사항】**【서류명】** 특허출원서**【참조번호】** SDP20234203**【출원구분】** 특허출원**【출원인】****【명칭】** 연세대학교 산학협력단**【특허고객번호】** 2-2005-009509-9**【출원인】****【명칭】** 성균관대학교 산학협력단**【특허고객번호】** 2-2005-001360-4**【대리인】****【명칭】** 특허법인시공**【대리인번호】** 9-2023-100041-2**【지정된변리사】** 조예찬, 신진현**【포괄위임등록번호】** 2023-059479-9**【발명의 국문명칭】** 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법 및 장치**【발명의 영문명칭】** CHECKPOINT AND REWIND METHOD AND APPARATUS IN SERVERLESS PLATFORM**【발명자】****【성명】** 정진규**【성명의 영문표기】** JEONG, JINKYU**【주민등록번호】** 820126-1XXXXXX

【우편번호】 06361

【주소】 서울특별시 강남구 일원로 127, 109동 304호

【출원언어】 국어

【심사청구】 청구

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1711193333

【과제번호】 2021-0-00773-003

【부처명】 과학기술정보통신부

【과제관리(전문)기관명】 정보통신기획평가원

【연구사업명】 SW컴퓨팅산업원천기술개발

【연구과제명】 엣지 마이크로데이터센터를 위한 엣지-친화적 운영체제

【과제수행기관명】 성균관대학교 산학협력단

【연구기간】 2023.01.01 ~ 2023.12.31

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1711201093

【과제번호】 00321688

【부처명】 과학기술정보통신부

【과제관리(전문)기관명】 한국연구재단

【연구사업명】 초고성능컴퓨팅SW생태계조성

【연구과제명】 한국형 엑사스케일 응용 SW 개발 환경 (KEASE) 프레임워크
개발 (KEASE: Korea Exascale Application Software
development Environment)

【과제수행기관명】 송실대학교산학협력단

【연구기간】 2023.11.01 ~ 2024.04.30

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 특허법인시공

(서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 46,000 원

【가산출원료】 44 면 0 원

【우선권주장료】 0 건 0 원

【심사청구료】 17 항 1,033,000 원

【합계】 1,079,000원

【감면사유】 전담조직(50%감면)[2]

【감면후 수수료】 539,500 원

【첨부서류】 1.기타첨부서류[SDP2023-4203_위임장_성균관대학교산학협력단]_1통

1 : 기타첨부서류

[PDF 파일 첨부](#)

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법 및 장치{CHECKPOINT AND REWIND METHOD AND APPARATUS IN SERVERLESS PLATFORM}

【기술분야】

【0001】 본 개시는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법 및 장치에 관한 것으로, 서버리스 플랫폼에서 실행된 함수의 데이터 잔여물을 제거하기 위한 체크포인트 및 리와인드 방법 및 장치에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

【0003】 서버리스 컴퓨팅(serverless computing)은 핵심 기능 구동에 필요한 주변 응용 소프트웨어 기능을 클라우드 서비스 제공자가 제공하는 형태의 서비스를 지칭한다. 서버리스 컴퓨팅에서 애플리케이션과 연관된 함수들은 각각 컨테이너(container) 등의 샌드박스(sandbox)에 제공되어 처리된다. 이 때, 함수 요청 간의 고립, 즉 무상태성(statelessness)을 유지하는 것이 중요하다.

【0004】 일반적으로, 무상태성을 유지하기 위해, 이전 함수 실행 후 다음 함수를 처리하기 전에 샌드박스 초기화가 수행된다. 그러나, 샌드박스 초기화가 수행되는 경우, 애플리케이션의 처리 속도가 현저히 저하되는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 현재 샌드박스를 초기화하지 않고 재사용하는 워밍 샌드박스

(warm sandbox) 기술이 사용되고 있으나, 워밍 샌드박스 기술은 함수 요청 간의 완전한 고립을 보장할 수 없어 함수 실행 시 생성되거나 사용되는 사적인 데이터가 유출될 수 있는 문제가 있다.

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

【0006】 본 개시는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법, 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램, 컴퓨터 프로그램이 저장된 컴퓨터 판독 가능 매체 및 장치(시스템)를 제공한다.

【과제의 해결 수단】

【0008】 본 개시는 방법, 장치(시스템), 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램 또는 컴퓨터 프로그램이 저장된 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함한 다양한 방식으로 구현될 수 있다.

【0009】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 적어도 하나의 프로세서에 의해 수행되는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법은, 서버리스 플랫폼에서의 함수 실행 요청을 수신하는 단계, 함수 실행 요청과 연관된 샌드박스에 대한 체크포인트 동작을 수행하여 샌드박스의 초기 상태를 저장하는 단계 및 함수 실행

요청에 대응하는 작업이 완료된 후, 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 샌드박스의 상태를 초기 상태로 복원하는 단계를 포함한다.

【0010】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 샌드박스의 초기 상태를 저장하는 단계는, 샌드박스의 메모리 영역에 대한 초기 상태를 저장하는 단계를 포함한다.

【0011】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 샌드박스의 메모리 영역에 대한 초기 상태를 저장하는 단계는, 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계를 포함한다.

【0012】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는, 원본 페이지 테이블 및 버디 페이지 테이블에 대한 CoW 알고리즘을 적용하는 단계를 포함한다.

【0013】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는, 원본 페이지 테이블 상의 제1 페이지 테이블 항목이 기록 가능한 것인 경우, 제1 페이지 테이블 항목을 기록 불가능한 것으로 변경하여 버디 페이지 테이블에 복사하는 단계를 포함한다.

【0014】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는, 상기 원본 페이지 테이블 상의 제1 페이지 테이블 항목이 변경되는 경우, 버디 페이지 테이블에 복사된 제1 페이지 테이블 항목을 유지하는 단계를 더 포함한다.

【0015】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는, 읽기 결함이 발생한 경우, 읽기 결함과 연관된 제2 페이지 테이블 항목을 원본 페이지 테이블 및 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계를 포함한다.

【0016】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는, 파일 백업 페이지에 대한 기록 결함이 발생한 경우, 파일 백업 페이지와 연관된 제3 페이지 테이블 항목을 원본 복사본을 참조하도록 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계를 포함한다.

【0017】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는, 익명 페이지에 대한 기록 결함이 발생한 경우, 익명 페이지와 연관된 제4 페이지 테이블 항목을 기록 가능한 형태로 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계를 포함한다.

【0018】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 샌드박스의 상태를 초기 상태로 복원하는 단계는, 원본 페이지 테이블과 버디 페이지 테이블이 페이지 테이블 항목의 페이지 프레임 번호를 공유하는 경우, 페이지 프레임 번호를 공유하는 원본 페이지 테이블의 페이지 테이블 항목을 유지하는 단계를 포함한다.

【0019】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 샌드박스의 상태를 초기 상태로 복원하는 단계는, 원본 페이지 테이블과

버디 페이지 테이블이 페이지 테이블 항목의 페이지 프레임 번호를 공유하지 않는 경우, 버디 페이지 테이블의 페이지 테이블 항목으로 원본 페이지 테이블의 페이지 테이블 항목을 복원하는 단계를 포함한다.

【0020】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 샌드박스의 초기 상태를 저장하는 단계는, 샌드박스의 파일 시스템에 대한 초기 상태를 저장하는 단계를 포함한다.

【0021】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 샌드박스의 파일 시스템에 대한 초기 상태를 저장하는 단계는, 상위 파일 시스템과 하위 파일 시스템을 포함하는 파일 시스템 중 변경 사항이 기록된 상위 파일 시스템의 초기 상태를 저장하는 단계를 포함한다.

【0022】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 샌드박스의 상태를 초기 상태로 복원하는 단계는, 상위 파일 시스템에 포함된 제1 파일에 대응하는 파일이 하위 파일 시스템 또는 초기 상태에 포함된 경우, 제1 파일을 하위 파일 시스템 또는 초기 상태의 파일로 변환하는 단계를 포함한다.

【0023】 본 개시의 일 실시예에 따르면, 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 샌드박스의 상태를 초기 상태로 복원하는 단계는, 상위 파일 시스템에 포함된 제2 파일에 대응하는 파일이 하위 파일 시스템 또는 초기 상태에 포함되지 않은 경우, 제2 파일을 삭제하는 단계를 포함한다.

【0024】 본 개시의 일 실시예에 따른 상술된 방법을 컴퓨터에서 실행하기 위해 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램이 제공된다.

【0025】 본 개시의 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치는, 통신 모듈, 메모리 및 메모리와 연결되고, 메모리에 포함된 컴퓨터 판독 가능한 적어도 하나의 프로그램을 실행하도록 구성된 적어도 하나의 프로세서를 포함한다. 적어도 하나의 프로그램은, 서버리스 플랫폼에서의 함수 실행 요청을 수신하고, 함수 실행 요청과 연관된 샌드박스에 대한 체크포인트 동작을 수행하여 샌드박스의 초기 상태를 저장하고, 함수 실행 요청에 대응하는 작업이 완료된 후, 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 샌드박스의 상태를 초기 상태로 복원하기 위한 명령어들을 포함한다.

【발명의 효과】

【0027】 본 개시의 다양한 실시예에서 컴퓨팅 장치는 체크포인트 동작 및 리와인드 동작을 이용하여 샌드박스에 포함된 개인정보에 민감한 데이터를 간단히 제거할 수 있으며, 함수 요청 간의 일시적인 고립을 보장하면서도 이전 함수의 흔적을 활용하여 함수의 실행 속도를 향상시킬 수 있다.

【0028】 본 개시의 다양한 실시예에서 원본 페이지 테이블 상에 개인정보에 민감한 데이터가 쓰여지더라도, 버디 페이지 테이블이 참조하는 페이지 프레임 번호는 유지될 수 있어 리와인드 동작 시 개인정보에 민감한 데이터를 포함하지 않는

메모리 영역의 초기 상태의 정보를 반환할 수 있다.

【도면의 간단한 설명】

【0030】 본 개시의 실시예들은, 이하 설명하는 첨부 도면들을 참조하여 설명될 것이며, 여기서 유사한 참조 번호는 유사한 요소들을 나타내지만, 이에 한정되지는 않는다.

도 1은 본 개시의 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치의 기능적인 구성을 나타내는 블록도이다.

도 2는 본 개시의 일 실시예에 따른 샌드박스의 메모리 영역에서 체크포인트 동작이 수행되는 예시를 나타내는 도면이다.

도 3은 본 개시의 일 실시예에 따른 샌드박스의 메모리 영역에서 함수가 실행되는 예시를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 개시의 일 실시예에 따른 샌드박스의 메모리 영역에서 리와인드 동작이 수행되는 예시를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 개시의 일 실시예에 따른 샌드박스의 파일 시스템에서 체크포인트 동작 및 함수 실행이 수행되는 예시를 나타내는 도면이다.

도 6은 본 개시의 일 실시예에 따른 샌드박스의 파일 시스템에서 리와인드 동작이 수행되는 예시를 나타내는 도면이다.

도 7은 본 개시의 일 실시예에 따른 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및

리와인드 방법의 예시를 나타내는 흐름도이다.

도 8은 본 개시의 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치의 내부 구성을 나타내는 블록도이다.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0031】 이하, 본 개시의 실시를 위한 구체적인 내용을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 다만, 이하의 설명에서는 본 개시의 요지를 불필요하게 흐릴 우려가 있는 경우, 널리 알려진 기능이나 구성에 관한 구체적 설명은 생략하기로 한다.

【0032】 첨부된 도면에서, 동일하거나 대응하는 구성요소에는 동일한 참조부호가 부여되어 있다. 또한, 이하의 실시예들의 설명에 있어서, 동일하거나 대응되는 구성요소를 중복하여 기술하는 것이 생략될 수 있다. 그러나, 구성요소에 관한 기술이 생략되어도, 그러한 구성요소가 어떤 실시예에 포함되지 않는 것으로 의도되지는 않는다.

【0033】 개시된 실시예의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명이 완전하도록 하고, 본 발명이 통상의 기술자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것일 뿐이다.

【0034】 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 개시된 실시예에 대해 구체적으로 설명하기로 한다. 본 명세서에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 관련 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 관례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서, 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 개시의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

【0035】 본 명세서에서의 단수의 표현은 문맥상 명백하게 단수인 것으로 특정하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한, 복수의 표현은 문맥상 명백하게 복수인 것으로 특정하지 않는 한, 단수의 표현을 포함한다. 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 포함한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다.

【0036】 본 개시에서, "포함하다", "포함하는" 등의 용어는 특징들, 단계들, 동작들, 요소들 및/또는 구성 요소들이 존재하는 것을 나타낼 수 있으나, 이러한 용어가 하나 이상의 다른 기능들, 단계들, 동작들, 요소들, 구성 요소들 및/또는 이들의 조합이 추가되는 것을 배제하지는 않는다.

【0037】 본 개시에서, 특정 구성 요소가 임의의 다른 구성 요소에 "결합", "조합", "연결" 되거나, "반응" 하는 것으로 언급된 경우, 특정 구성 요소는 다른

구성 요소에 직접 결합, 조합 및/또는 연결되거나, 반응할 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 예를 들어, 특정 구성 요소와 다른 구성 요소 사이에 하나 이상의 중간 구성 요소가 존재할 수 있다. 또한, 본 발명에서 "및/또는"은 열거된 하나 이상의 항목의 각각 또는 하나 이상의 항목의 적어도 일부의 조합을 포함할 수 있다.

【0038】 본 개시에서, "제1", "제2" 등의 용어는 특정 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위해 사용되는 것으로, 이러한 용어에 의해 상술된 구성 요소가 제한되진 않는다. 예를 들어, "제1" 구성 요소는 "제2" 구성 요소와 동일하거나 유사한 형태의 요소일 수 있다.

【0039】 본 개시에서, "서버리스 컴퓨팅(serverless computing)"은 핵심 기능 구동에 필요한 주변 응용 소프트웨어 기능을 클라우드 서비스 제공자가 제공하는 형태의 서비스를 지칭할 수 있다.

【0040】 본 개시에서, "샌드박스(sandbox)"는 애플리케이션을 실행하는데 필요한 구성 요소와 기능을 갖춘 소프트웨어 단위를 지칭하는 것으로, 예를 들어, 컨테이너(container) 등을 포함할 수 있다.

【0041】 본 개시에서, "체크포인트(checkpoint)"는 샌드박스의 초기 상태를 저장하는 동작을 지칭할 수 있고, "리와인드(rewind)"는 체크포인트에 의해 저장된 샌드박스의 초기 상태를 복원하는 동작을 지칭할 수 있다.

【0042】 도 1은 본 개시의 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치(100)의 기능적인 구성을 나타내는 블록도이다. 일 실시예에 따르면, 컴퓨팅 장치(100)는 서버리스

컴퓨팅 서비스를 제공하고 관리하기 위한 임의의 장치를 지칭할 수 있다. 예를 들어, 컴퓨팅 장치(100)는 사용자로부터 애플리케이션과 연관된 함수의 실행 요청을 수신하는 경우, 컨테이너 등과 같은 샌드박스 상에서 요청된 함수를 실행할 수 있다. 이 경우, 컴퓨팅 장치(100)는 체크포인트 모듈(102) 및 리와인드 모듈(104)을 이용하여 함수의 실행에 따른 데이터 잔여물을 샌드박스에서 제거할 수 있다.

【0043】 일 실시예에 따르면, 샌드박스에서 함수가 실행되는 경우, 개인정보에 민감한 데이터(privacy-sensitive data)가 샌드박스 내에 남아있을 수 있다. 이러한 샌드박스에 남아있는 데이터 잔여물을 제거하고, 함수 요청 간의 고립을 유지하기 위해 컴퓨팅 장치(100)는 체크포인트 모듈(102) 및 리와인드 모듈(104)을 이용할 수 있다. 예를 들어, 컴퓨팅 장치(100)는 체크포인트 모듈(102)을 이용하여 함수가 실행되기 이전의 샌드박스의 초기 상태를 저장하고, 함수의 실행이 완료되면, 리와인드 모듈(104)을 이용하여 샌드박스의 상태를 초기 상태로 전환할 수 있다.

【0044】 일 실시예에 따르면, 체크포인트 동작 및 리와인드 동작을 위한 코드는 샌드박스의 프로세스 상에 포함될 수 있다. 예를 들어, 샌드박스는 프록시 프로세스(proxy process) 및 런처 프로세스(launcher process)를 포함할 수 있다. 여기서, 프록시 프로세스는 런처 프로세스에 대한 요청 및 응답을 전달하기 위한 것이며, 런처 프로세스는 함수를 샌드박스에 적재하거나, 함수 인수를 수신하고 함수 코드를 실행하기 위한 것일 수 있다.

【0045】 일 실시예에 따르면, 체크포인트 모듈(102)에 의해 체크포인트 동작이 수행되는 경우, 런처 프로세스의 초기 상태에 대한 정보가 획득될 수 있다. 런처 프로세스가 함수의 인수를 수신하여 함수를 실행하는 경우, 개인정보에 민감한 데이터가 샌드박스 내로 들어올 수 있으므로, 체크포인트 동작을 위한 코드는 프록시 프로세스에 포함될 수 있다.

【0046】 일 실시예에 따르면, 리와인드 모듈(104)에 의해 리와인드 동작이 수행되는 경우, 체크포인트 모듈(102)에 의해 획득된 초기 상태로 런처 프로세스를 복원할 수 있다. 예를 들어, 리와인드 동작을 위한 코드는 프록시 프로세스에 위치하며 런처 프로세스에서 함수의 실행 결과가 반환된 후 동작할 수 있다. 그 결과, 함수 요청을 처리하는 동안 기록된 데이터는 제거되고 샌드박스는 초기 상태로 변환될 수 있다.

【0047】 일 실시예에 따르면, 샌드박스에서 함수가 실행되는 도중 개인정보에 민감한 데이터가 메모리 상에 저장되거나, 일시적인 파일 시스템에 저장될 수 있다. 또한, 개인정보에 민감한 데이터를 처리하기 위한 백그라운드 태스크(background task)가 처리될 수도 있다. 컴퓨팅 장치(100)는 샌드박스의 초기 상태를 저장하고, 함수 실행 이후 저장된 초기 상태를 복원하기 위해 메모리, 파일 시스템 및 태스크 상에서 체크포인트 동작 및 리와인드 동작을 수행할 수 있다.

【0048】 도 1에서는 컴퓨팅 장치(100)에 포함된 각각의 기능적인 구성이 구분되어 상술되었으나, 이는 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐이며, 하나의 연산 장치에서 둘 이상의 기능을 수행할 수도 있다. 이와 같은 구성에 의해, 컴퓨팅 장치

(100)는 체크포인트 동작 및 리와인드 동작을 이용하여 샌드박스에 포함된 개인정보에 민감한 데이터를 간단히 제거할 수 있으며, 함수 요청 간의 일시적인 고립을 보장하면서도 이전 함수의 흔적을 활용하여 함수의 실행 속도를 향상시킬 수 있다.

【0049】 도 2는 본 개시의 일 실시예에 따른 샌드박스의 메모리 영역에서 체크포인트 동작이 수행되는 예시를 나타내는 도면이다. 일 실시예에 따르면, 체크포인트 동작을 수행하기 위한 샌드박스의 메모리 영역은 원본 페이지 테이블(original page table)(212) 및 버디 페이지 테이블(buddy page table)(214)로 구성될 수 있다. 도시된 예에서, 제1 테이블(210)은 초기 상태의 메모리 영역을 나타내고, 제2 테이블(220)은 체크포인트 동작이 수행된 후의 메모리 영역을 나타낼 수 있다.

【0050】 일 실시예에 따르면, 원본 페이지 테이블(212)은 원본의 가상 메모리 영역을 나타낼 수 있고, 버디 페이지 테이블(214)은 원본 페이지 테이블(212)의 초기 상태 및 관련된 정보를 복사하여 저장하기 위한 가상 메모리 영역을 나타낼 수 있다. 원본 페이지 테이블(212)과 버디 페이지 테이블(214)은 소프트웨어로 관리될 수 있다. 예를 들어, 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)은 각 4KB로 구성될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.

【0051】 제1 테이블(210)을 참조하면, 원본 페이지 테이블(212)은 5개의 메모리 영역을 포함할 수 있으며, 이 중 2개의 메모리 영역에 페이지 테이블 항목(page table entry; PTE)이 채워진 상태일 수 있다. 또한, 제2 테이블(220)을 참조하면, 체크포인트 동작을 통해 원본 페이지 테이블(212)의 메모리 영역이 버디 페

이지 테이블(214)로 복사될 수 있다. 즉, 체크포인트 동작 후 제2 테이블(214)은 2개의 페이지 테이블 항목을 포함할 수 있다.

【0052】 일 실시예에 따르면, 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)은 CoW(copy-on-write) 알고리즘에 의해 동작할 수 있다. 여기서, CoW 및/또는 CoW 알고리즘은 메모리 자원을 효율적으로 관리하기 위해, 원본 페이지 테이블(212)과 버디 페이지 테이블(214)이 같은 메모리 영역을 참조하도록 한 후, 해당 메모리 영역에 저장된 값이 변경되는 경우에 다른 메모리 영역을 할당하는 방식을 지칭할 수 있다.

【0053】 도시된 예에서, 원본 페이지 테이블(212) 상의 제1 페이지 테이블 항목(222)이 기록 가능한 것(즉, Writable: 1)인 경우, CoW에 의해 제1 페이지 테이블 항목(222)은 기록 불가능한 것(즉, Writable: 0)으로 변경되어 버디 페이지 테이블(214)에 복사될 수 있다. 그 후, 원본 페이지 테이블(212)의 제1 페이지 테이블 항목(222)의 값이 새로 쓰여지거나 변경되는 경우, 원본 페이지 테이블(212)이 참조하는 페이지 프레임 번호(page frame number; PFN)는 변경되고, 버디 페이지 테이블(214)에 복사된 제1 페이지 테이블 항목(222)은 초기 상태로 유지될 수 있다.

【0054】 이와 같은 구성에 의해, 원본 페이지 테이블(212) 상에 개인정보에 민감한 데이터가 쓰여지더라도, 버디 페이지 테이블(214)이 참조하는 페이지 프레임 번호는 유지될 수 있어 리와인드 동작 시 개인정보에 민감한 데이터를 포함하지 않는 메모리 영역의 초기 상태의 정보를 반환할 수 있다.

【0055】 도 3은 본 개시의 일 실시예에 따른 샌드박스의 메모리 영역에서 함수가 실행되는 예시를 나타내는 도면이다. 도시된 예에서, 제2 테이블(220)은 체크포인트 동작이 수행된 후의 메모리 영역을 나타내고, 제3 테이블(310)은 함수 실행이 완료된 후의 메모리 영역을 나타낼 수 있다.

【0056】 일 실시예에 따르면, 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)에서 페이지 결함(page fault)이 발생한 채워지지 않은 영역(즉, 5개의 메모리 영역 중 3개의 메모리 영역)에 대해서는 해당 메모리 영역이 채워질 때, 체크포인트 동작이 수행될 수 있다. 즉, 체크포인트 동작이 수행되는 시점은 원본 페이지 테이블(212)에서 페이지가 채워지는 시점에 따라 상이하게 결정될 수 있다.

【0057】 제3 테이블(310)을 참조하면, 읽기 결함(read fault)이 발생한 경우, 읽기 결함과 연관된 제2 페이지 테이블 항목(316)이 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214) 상에 복사될 수 있다. 즉, 페이지 결함이 읽기 결함인 경우, 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)에 저장되는 제2 페이지 테이블 항목(316)은 모두 '0'의 'Writable' 값을 가질 수 있으며, 동일한 페이지 프레임 번호를 참조할 수 있다.

【0058】 일 실시예에 따르면, 파일 백업 페이지(file-backed page)에 대한 기록 결함(write fault)이 발생한 경우, 파일 백업 페이지와 연관된 제3 페이지 테이블 항목(314)은 페이지의 원본 복사본(original copy)을 참조하도록 버디 페이지 테이블(214) 상에 복사될 수 있다. 이 때, 제3 페이지 테이블 항목(314)은 원본 페이지 테이블(212)에서 사적 복사본(private copy)을 참조할 수 있다. 즉, 원본 페

이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)에 저장되는 제2 페이지 테이블 항목(316)은 각각 '0'과 '1'의 상이한 'Writable' 값을 가질 수 있으며, 상이한 페이지 프레임 번호를 참조할 수 있다.

【0059】 일 실시예에 따르면, 익명 페이지(anonymous page)에 대한 기록 결함이 발생한 경우, 익명 페이지와 연관된 제4 페이지 테이블 항목(312)은 기록 가능한 형태로 버디 페이지 테이블(214) 상에 복사될 수 있다. 예를 들어, 익명 페이지는 '0' 값으로 채워진 초기 형태를 가지고 있으므로, 'Writable' 값이 '1'인 경우에도 초기 상태를 추적할 수 있다. 즉, 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)에 저장되는 제4 페이지 테이블 항목(312)은 CoW 보호에도 불구하고 모두 '1'의 'Writable' 값을 가질 수 있으며, 동일한 페이지 프레임 번호를 참조할 수 있다.

【0060】 도 4는 본 개시의 일 실시예에 따른 샌드박스의 메모리 영역에서 리와인드 동작이 수행되는 예시를 나타내는 도면이다. 도시된 예에서, 제3 테이블(310)은 함수 실행이 완료된 후의 메모리 영역을 나타내고, 제4 테이블(410)은 리와인드 동작이 수행된 후의 메모리 영역을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 리와인드 동작은 i) 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)이 읽기 전용 페이지를 참조하는 경우, ii) 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)이 기록 가능 페이지 페이지를 참조하는 경우로 구분되어 수행될 수 있으며, 기록 가능 페이지의 경우 파일 백업 페이지와 익명 페이지를 참조하는 경우로 구분할 수 있다.

【0061】 일 실시예에 따르면, 제5 페이지 테이블 항목(412)은 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)에서 모두 '0'의 'Writable' 값을 가지며, 동일한 페이지 프레임 번호('0x002')를 참조할 수 있다. 이와 같이, 원본 페이지 테이블(212)과 버디 페이지 테이블(214)이 페이지 프레임 번호를 공유하는 경우, 원본 페이지 테이블(212)에서 해당 페이지 테이블 항목은 초기 상태가 유지된 것으로 판단될 수 있다. 즉, 제5 페이지 테이블 항목(412)은 초기 상태를 나타내는 원본 페이지 테이블(212)의 항목이 유지될 수 있다.

【0062】 일 실시예에 따르면, 제1 페이지 테이블 항목(222)은 체크포인트 후 새로운 값이 기록되는 것에 의해, 원본 페이지 테이블(212)이 참조하는 페이지 프레임 번호('0x006')와 버디 페이지 테이블(214)이 참조하는 페이지 프레임 번호('0x001')가 상이하게 결정된 것일 수 있다. 이와 같이 원본 페이지 테이블(212)과 버디 페이지 테이블(214)이 페이지 프레임 번호를 공유하지 않는 경우, 버디 페이지 테이블(214)의 페이지 테이블 항목으로 원본 페이지 테이블(212)의 페이지 테이블 항목이 복원될 수 있다. 즉, 제1 페이지 테이블 항목(222)은 초기 상태를 나타내는 버디 페이지 테이블(214)의 항목으로 복원될 수 있다.

【0063】 일 실시예에 따르면, 제4 페이지 테이블 항목(312)은 익명 페이지와 연관된 항목일 수 있다. 상술된 것과 같이, 익명 페이지와 연관된 제4 페이지 테이블 항목(312)은 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)에서 모두 '1'의 'Writable' 값을 가지며, 동일한 페이지 프레임 번호('0x008')를 참조할 수 있다. 이와 같이, 원본 페이지 테이블(212)과 버디 페이지 테이블(214)이 페이지

프레임 번호를 공유하는 경우, 원본 페이지 테이블(212)에서 해당 페이지 테이블 항목은 초기 상태가 유지된 것으로 판단될 수 있다. 즉, 제4 페이지 테이블 항목(312)은 원본 페이지 테이블(212)의 항목이 유지될 수 있다.

【0064】 도 2 내지 도 4에서 상술된 과정을 통해, 컴퓨팅 장치는 샌드박스의 메모리 영역의 초기 상태를 가상의 버디 페이지 테이블(214) 및 CoW 알고리즘을 이용하여 저장할 수 있으며, 원본 페이지 테이블(212) 및 버디 페이지 테이블(214)에 포함된 페이지 테이블 항목을 기초로 메모리 영역의 초기 상태를 복원할 수 있다. 이와 같은 구성에 의해, 컴퓨팅 장치는 각각의 케이스에 따라 메모리 영역에서의 체크포인트 동작 및 리와인드 동작을 수행할 수 있어, 메모리 영역 상에의 데이터 잔여물을 제거하고, 다음 함수의 실행 시 개인정보에 민감한 데이터가 악용되는 것을 방지할 수 있다.

【0065】 도 5는 본 개시의 일 실시예에 따른 샌드박스의 파일 시스템에서 체크포인트 동작 및 함수 실행이 수행되는 예시를 나타내는 도면이다. 일 실시예에 따르면, 샌드박스의 파일 시스템은 병합 파일 시스템(502), 상위 파일 시스템(504) 및 하위 파일 시스템(506)으로 구성될 수 있다. 여기서, 하위 파일 시스템(506)은 기준 파일을 포함하는 것이고, 상위 파일 시스템(504)은 런타임(runtime) 중 수정된 내용이 기록된 것일 수 있다. 샌드박스의 파일 시스템은 상위 파일 시스템(504)과 하위 파일 시스템(506)이 병합된 병합 파일 시스템(502)으로 구성된 형태일 수 있으며, 예를 들어, OverlayFS 등을 포함할 수 있다.

【0066】 일 실시예에 따르면, 제1 파일 시스템(510)은 초기 상태의 파일 시스템을 나타낼 수 있다. 제1 파일 시스템(510) 등에서 하위 파일 시스템(506)은 불변이며, 상위 파일 시스템(504)은 휘발성일 수 있다. 즉, 제1 파일 시스템(510)의 초기 상태를 저장하는 것은 상위 파일 시스템(504)의 파일을 복사하여 저장하는 것으로 충분할 수 있다. 즉, 제1 파일 시스템(510)에 대한 체크포인트 동작이 수행되는 경우, 변경 사항이 기록된 상위 파일 시스템(504)의 초기 상태가 체크포인트 동작에 의해 임시 저장 공간인 스냅샷(508)에 복사되어 저장될 수 있다.

【0067】 일 실시예에 따르면, 제2 파일 시스템(520)은 함수 실행이 완료된 후의 파일 시스템을 나타낼 수 있다. 도시된 것과 같이, 함수가 실행되며 파일이 수정되거나 생성되는 경우, 수정되거나 생성된 파일의 내용이 상위 파일 시스템(504)에 기록될 수 있다. 예를 들어, B' 파일에 대한 수정이 발생한 경우 B" 파일이 생성되고, C 파일에 대한 수정이 발생한 경우 C" 파일이 생성되고, 새로운 D" 파일이 생성되어 상위 파일 시스템(504)에 기록될 수 있다.

【0068】 도 6은 본 개시의 일 실시예에 따른 샌드박스의 파일 시스템에서 리와인드 동작이 수행되는 예시를 나타내는 도면이다. 도시된 예에서, 제2 파일 시스템(520)은 함수 실행이 완료된 후의 파일 시스템을 나타내고, 제3 파일 시스템(610)은 리와인드 동작이 수행된 후의 파일 시스템을 나타낼 수 있다.

【0069】 일 실시예에 따르면, 상위 파일 시스템(504)에 포함된 특정 파일에 대응하는 파일이 하위 파일 시스템(506) 또는 스냅샷(508)에 포함된 경우, 해당 파일은 하위 파일 시스템(506) 또는 스냅샷(508)의 파일로 변환될 수 있다. 여기서,

스냅샷(508)은 가상의 임시 저장 공간을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 특정 파일에 대응하는 파일이 하위 파일 시스템(506) 및 스냅샷(508)에 모두 포함된 경우 해당 파일은 스냅샷(508)의 파일로 복원되고, 특정 파일에 대응하는 파일이 하위 파일 시스템(506)에만 포함된 경우 해당 파일은 하위 파일 시스템(506)의 파일로 복원될 수 있다.

【0070】 도시된 예에서, B" 파일에 대응하는 파일은 하위 파일 시스템(506) 및 스냅샷(508)에 포함될 수 있다. 이 경우, B" 파일은 스냅샷(508)을 기준으로 복원되어 B' 파일로 변환될 수 있다. 또한, C" 파일에 대응하는 파일은 하위 파일 시스템(506)에만 포함될 수 있다. 이 경우, C" 파일은 하위 파일 시스템(506)을 기준으로 복원되어 C 파일로 변환될 수 있다.

【0071】 일 실시예에 따르면, 상위 파일 시스템(504)에 포함된 특정 파일에 대응하는 파일이 하위 파일 시스템(506) 및 스냅샷(508)에 모두 포함되지 않은 경우, 해당 파일은 삭제될 수 있다. 도시된 예에서, D" 파일에 대응하는 파일은 하위 파일 시스템(506) 및 스냅샷(508)에 모두 포함되지 않을 수 있다. 이 경우, D" 파일은 삭제될 수 있다. 이와 같이, 상위 파일 시스템(504)에 포함된 각각의 파일에 대해 복원이 완료된 경우, 병합 파일 시스템(502)은 초기 상태로 복원될 수 있다.

【0072】 도 2 내지 도 4은 메모리 영역에서 체크포인트 및 리와인드가 수행되는 예시를 나타내고, 도 5 내지 도 6은 파일 시스템에서 체크포인트 및 리와인드가 수행되는 예시를 나타낸 것이나, 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 샌드박스의 태스크 상에서도 상술된 과정과 유사하게 체크포인트 및 리와인드가 수행될

수 있다. 이와 같은 구성에 의해, 컴퓨팅 장치는 메모리 영역, 파일 시스템 및 태스크에서 샌드박스의 초기 상태를 저장하고 활용할 수 있어, 다음 함수와의 일시적 고립을 유지하면서도 연속하는 함수의 실행을 최적화하기 위해 이전 함수 실행의 흔적을 이용하여 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

【0073】 도 7은 본 개시의 일 실시예에 따른 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법(700)의 예시를 나타내는 흐름도이다. 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법(700)은 프로세서(예를 들어, 컴퓨팅 장치의 적어도 하나의 프로세서)에 의해 수행될 수 있다. 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법(700)은 프로세서가 서버리스 플랫폼에서의 함수 실행 요청을 수신함으로써 개시될 수 있다(S710). 예를 들어, 서버리스 컴퓨팅을 이용하는 사용자로부터 애플리케이션의 실행 요청이 있는 경우, 해당 애플리케이션과 연관된 함수 실행 요청이 수신될 수 있다.

【0074】 일 실시예에 따르면, 프로세서는 함수 실행 요청과 연관된 샌드박스에 대한 체크포인트 동작을 수행하여 샌드박스의 초기 상태를 저장할 수 있다(S720). 예를 들어, 프로세서는 샌드박스의 메모리 영역, 파일 시스템 및 태스크에 대한 초기 상태를 저장할 수 있다. 메모리 영역에 대한 체크포인트는 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사함으로써 수행될 수 있다. 이 때, 원본 페이지 테이블 및 버디 페이지 테이블에 대한 CoW 알고리즘이 적용될 수 있다.

【0075】 일 실시예에 따르면, 프로세서는 원본 페이지 테이블 상의 제1 페이지 테이블 항목이 기록 가능한 것인 경우, CoW 보호를 통해 제1 페이지 테이블 항목을 기록 불가능한 것으로 변경하여 버디 페이지 테이블에 복사할 수 있다. 그리고 나서, 프로세서는 원본 페이지 테이블 상의 제1 페이지 테이블 항목이 변경되는 경우, 버디 페이지 테이블에 복사된 제1 페이지 테이블 항목을 유지하고, 원본 페이지 테이블의 값을 변경할 수 있다.

【0076】 일 실시예에 따르면, 프로세서는 메모리 영역에서의 페이지 폴트를 처리하여 체크포인트 동작을 수행할 수 있다. 예를 들어, 프로세서는 읽기 결함이 발생한 경우, 읽기 결함과 연관된 제2 페이지 테이블 항목을 원본 페이지 테이블 및 버디 페이지 테이블 상에 복사할 수 있다. 다른 예에서, 프로세서는 파일 백업 페이지에 대한 기록 결함이 발생한 경우, 파일 백업 페이지와 연관된 제3 페이지 테이블 항목을 원본 복사본을 참조하도록 버디 페이지 테이블 상에 복사할 수 있다. 또 다른 예에서, 프로세서는 익명 페이지에 대한 기록 결함이 발생한 경우, 익명 페이지와 연관된 제4 페이지 테이블 항목을 기록 가능한 형태로 버디 페이지 테이블 상에 복사할 수 있다.

【0077】 일 실시예에 따르면, 프로세서는 파일 시스템과 하위 파일 시스템을 포함하는 파일 시스템 중 변경 사항이 기록된 상위 파일 시스템의 초기 상태를 저장할 수 있다. 예를 들어, 파일 시스템은 상위 파일 시스템과 하위 파일 시스템이 병합된 병합 파일 시스템을 포함할 수 있으며, 프로세서는 저장된 내용이 불변하는 하위 파일 시스템의 초기 상태는 저장할 필요 없이 상위 파일 시스템의 초기 상태

만을 저장하여 간단히 파일 시스템의 초기 상태를 저장할 수 있다.

【0078】 일 실시예에 따르면, 프로세서는 함수 실행 요청에 대응하는 작업이 완료된 후, 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 샌드박스의 상태를 초기 상태로 복원할 수 있다(S730). 예를 들어, 프로세서는 메모리 영역에서 원본 페이지 테이블과 버디 페이지 테이블이 페이지 테이블 항목의 페이지 프레임 번호를 공유하는 경우, 페이지 프레임 번호를 공유하는 원본 페이지 테이블의 페이지 테이블 항목을 유지할 수 있다. 또한, 프로세서는 원본 페이지 테이블과 버디 페이지 테이블이 페이지 테이블 항목의 페이지 프레임 번호를 공유하지 않는 경우, 버디 페이지 테이블의 페이지 테이블 항목으로 원본 페이지 테이블의 페이지 테이블 항목을 복원할 수 있다.

【0079】 추가적으로, 프로세서는 파일 시스템에서 상위 파일 시스템에 포함된 제1 파일에 대응하는 파일이 하위 파일 시스템 또는 초기 상태에 포함된 경우, 제1 파일을 하위 파일 시스템 또는 초기 상태의 파일로 변환할 수 있다. 또한, 프로세서는 상위 파일 시스템에 포함된 제2 파일에 대응하는 파일이 하위 파일 시스템 또는 초기 상태에 포함되지 않은 경우, 제2 파일을 삭제할 수 있다.

【0080】 도 8은 본 개시의 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치(100)의 내부 구성을 나타내는 블록도이다. 컴퓨팅 장치(100)는 메모리(810), 프로세서(820), 통신 모듈(830) 및 입출력 인터페이스(840)를 포함할 수 있으며, 도 8에 도시된 바와 같이, 컴퓨팅 장치(100)는 통신 모듈(830)을 이용하여 네트워크를 통해 정보 및/또는 데이터를 통신할 수 있도록 구성될 수 있다.

【0081】 메모리(810)는 비-일시적인 임의의 컴퓨터 판독 가능한 기록매체를 포함할 수 있다. 일 실시예에 따르면, 메모리(810)는 RAM(random access memory), ROM(read only memory), 디스크 드라이브, SSD(solid state drive), 플래시 메모리(flash memory) 등과 같은 비소멸성 대용량 저장 장치(permanent mass storage device)를 포함할 수 있다. 다른 예로서, ROM, SSD, 플래시 메모리, 디스크 드라이브 등과 같은 비소멸성 대용량 저장 장치는 메모리와는 구분되는 별도의 영구 저장 장치로서 컴퓨팅 장치(100)에 포함될 수 있다. 또한, 메모리(810)에는 운영체제와 적어도 하나의 프로그램 코드가 저장될 수 있다.

【0082】 이러한 소프트웨어 구성요소들은 메모리(810)와는 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체로부터 로딩될 수 있다. 이러한 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체는 이러한 컴퓨팅 장치(100)에 직접 연결가능한 기록 매체를 포함할 수 있는데, 예를 들어, 플로피 드라이브, 디스크, 테이프, DVD/CD-ROM 드라이브, 메모리 카드 등의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체를 포함할 수 있다. 다른 예로서, 소프트웨어 구성요소들은 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체가 아닌 통신 모듈(830)을 통해 메모리(810)에 로딩될 수도 있다. 예를 들어, 적어도 하나의 프로그램은 개발자들 또는 애플리케이션의 설치 파일을 배포하는 파일 배포 시스템이 통신 모듈(830)을 통해 제공하는 파일들에 의해 설치되는 컴퓨터 프로그램에 기반하여 메모리(810)에 로딩될 수 있다.

【0083】 프로세서(820)는 기본적인 산술, 로직 및 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다. 명령은 메모리(810) 또

는 통신 모듈(830)에 의해 다른 사용자 단말(미도시) 또는 다른 외부 시스템으로 제공될 수 있다.

【0084】 통신 모듈(830)은 네트워크를 통해 사용자 단말(미도시)과 컴퓨팅 장치(100)가 서로 통신하기 위한 구성 또는 기능을 제공할 수 있으며, 컴퓨팅 장치(100)가 외부 시스템(일례로 별도의 클라우드 시스템 등)과 통신하기 위한 구성 또는 기능을 제공할 수 있다. 일례로, 컴퓨팅 장치(100)의 프로세서(820)의 제어에 따라 제공되는 제어 신호, 명령, 데이터 등이 통신 모듈(830)과 네트워크를 거쳐 사용자 단말 및/또는 외부 시스템의 통신 모듈을 통해 사용자 단말 및/또는 외부 시스템으로 전송될 수 있다.

【0085】 또한, 컴퓨팅 장치(100)의 입출력 인터페이스(840)는 컴퓨팅 장치(100)와 연결되거나 컴퓨팅 장치(100)가 포함할 수 있는 입력 또는 출력을 위한 장치(미도시)와의 인터페이스를 위한 수단일 수 있다. 도 8에서는 입출력 인터페이스(840)가 프로세서(820)와 별도로 구성된 요소로서 도시되었으나, 이에 한정되지 않으며, 입출력 인터페이스(840)가 프로세서(820)에 포함되도록 구성될 수 있다. 컴퓨팅 장치(100)는 도 8의 구성요소들보다 더 많은 구성요소들을 포함할 수 있다. 그러나, 대부분의 종래기술적 구성요소들을 명확하게 도시할 필요성은 없다.

【0086】 컴퓨팅 장치(100)의 프로세서(820)는 복수의 사용자 단말 및/또는 복수의 외부 시스템으로부터 수신된 정보 및/또는 데이터를 관리, 처리 및/또는 저장하도록 구성될 수 있다.

【0087】 상술된 방법 및/또는 다양한 실시예들은, 디지털 전자 회로, 컴퓨터

하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 및/또는 이들의 조합으로 실현될 수 있다. 본 개시의 다양한 실시예들은 데이터 처리 장치, 예를 들어, 프로그래밍 가능한 하나 이상의 프로세서 및/또는 하나 이상의 컴퓨팅 장치에 의해 실행되거나, 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체 및/또는 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 상술된 컴퓨터 프로그램은 컴파일된 언어 또는 해석된 언어를 포함하여 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 작성될 수 있으며, 독립 실행형 프로그램, 모듈, 서브 루틴 등의 임의의 형태로 배포될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 컴퓨팅 장치, 동일한 네트워크를 통해 연결된 복수의 컴퓨팅 장치 및/또는 복수의 상이한 네트워크를 통해 연결되도록 분산된 복수의 컴퓨팅 장치를 통해 배포될 수 있다.

【0088】 상술된 방법 및/또는 다양한 실시예들은, 입력 데이터를 기초로 동작하거나 출력 데이터를 생성함으로써, 임의의 기능, 함수 등을 처리, 저장 및/또는 관리하는 하나 이상의 컴퓨터 프로그램을 실행하도록 구성된 하나 이상의 프로세서에 의해 수행될 수 있다. 예를 들어, 본 개시의 방법 및/또는 다양한 실시예는 FPGA(Field Programmable Gate Array) 또는 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)과 같은 특수 목적 논리 회로에 의해 수행될 수 있으며, 본 개시의 방법 및/또는 실시예들을 수행하기 위한 장치 및/또는 시스템은 FPGA 또는 ASIC와 같은 특수 목적 논리 회로로서 구현될 수 있다.

【0089】 컴퓨터 프로그램을 실행하는 하나 이상의 프로세서는, 범용 목적 또는 특수 목적의 마이크로 프로세서 및/또는 임의의 종류의 디지털 컴퓨팅 장치의

하나 이상의 프로세서를 포함할 수 있다. 프로세서는 읽기 전용 메모리, 랜덤 액세스 메모리의 각각으로부터 명령 및/또는 데이터를 수신하거나, 읽기 전용 메모리와 랜덤 액세스 메모리로부터 명령 및/또는 데이터를 수신할 수 있다. 본 발명에서, 방법 및/또는 실시예들을 수행하는 컴퓨팅 장치의 구성 요소들은 명령어들을 실행하기 위한 하나 이상의 프로세서, 명령어들 및/또는 데이터를 저장하기 위한 하나 이상의 메모리 디바이스를 포함할 수 있다.

【0090】 일 실시예에 따르면, 컴퓨팅 장치는 데이터를 저장하기 위한 하나 이상의 대용량 저장 장치와 데이터를 주고받을 수 있다. 예를 들어, 컴퓨팅 장치는 자기 디스크(magnetic disc) 또는 광 디스크(optical disc)로부터 데이터를 수신하거나/수신하고, 자기 디스크 또는 광 디스크로 데이터를 전송할 수 있다. 컴퓨터 프로그램과 연관된 명령어들 및/또는 데이터를 저장하기에 적합한 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체는, EPROM(Erasable Programmable Read-Only Memory), EEPROM(Electrically Erasable PROM), 플래시 메모리 장치 등의 반도체 메모리 장치를 포함하는 임의의 형태의 비 휘발성 메모리를 포함할 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 예를 들어, 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체는 내부 하드 디스크 또는 이동식 디스크와 같은 자기 디스크, 광 자기 디스크, CD-ROM 및 DVD-ROM 디스크를 포함할 수 있다.

【0091】 사용자와의 상호 작용을 제공하기 위해, 컴퓨팅 장치는 정보를 사용자에게 제공하거나 디스플레이하기 위한 디스플레이 장치(예를 들어, CRT (Cathode Ray Tube), LCD(Liquid Crystal Display) 등) 및 사용자가 컴퓨팅 장치 상에 입력

및/또는 명령 등을 제공할 수 있는 포인팅 장치(예를 들어, 키보드, 마우스, 트랙볼 등)를 포함할 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 즉, 컴퓨팅 장치는 사용자와의 상호 작용을 제공하기 위한 임의의 다른 종류의 장치들을 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 컴퓨팅 장치는 사용자와의 상호 작용을 위해, 시각적 피드백, 청각 피드백 및/또는 촉각 피드백 등을 포함하는 임의의 형태의 감각 피드백을 사용자에게 제공할 수 있다. 이에 대해, 사용자는 시각, 음성, 동작 등의 다양한 제스처를 통해 컴퓨팅 장치로 입력을 제공할 수 있다.

【0092】 본 발명에서, 다양한 실시예들은 백엔드 구성 요소(예: 데이터 서버), 미들웨어 구성 요소(예: 애플리케이션 서버) 및/또는 프론트 엔드 구성 요소를 포함하는 컴퓨팅 시스템에서 구현될 수 있다. 이 경우, 구성 요소들은 통신 네트워크와 같은 디지털 데이터 통신의 임의의 형태 또는 매체에 의해 상호 연결될 수 있다. 예를 들어, 통신 네트워크는 LAN(Local Area Network), WAN(Wide Area Network) 등을 포함할 수 있다.

【0093】 본 명세서에서 기술된 예시적인 실시예들에 기반한 컴퓨팅 장치는, 사용자 디바이스, 사용자 인터페이스(UI) 디바이스, 사용자 단말 또는 클라이언트 디바이스를 포함하여 사용자와 상호 작용하도록 구성된 하드웨어 및/또는 소프트웨어를 사용하여 구현될 수 있다. 예를 들어, 컴퓨팅 장치는 랩톱(laptop) 컴퓨터와 같은 휴대용 컴퓨팅 장치를 포함할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 컴퓨팅 장치는, PDA(Personal Digital Assistants), 태블릿 PC, 게임 콘솔(game console), 웨어러블 디바이스(wearable device), IoT(internet of things) 디바이스,

VR(virtual reality) 디바이스, AR(augmented reality) 디바이스 등을 포함할 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 컴퓨팅 장치는 사용자와 상호 작용하도록 구성된 다른 유형의 장치를 더 포함할 수 있다. 또한, 컴퓨팅 장치는 이동 통신 네트워크 등의 네트워크를 통한 무선 통신에 적합한 휴대용 통신 디바이스(예를 들어, 이동 전화, 스마트 전화, 무선 셀룰러 전화 등) 등을 포함할 수 있다. 컴퓨팅 장치는, 무선 주파수(RF; Radio Frequency), 마이크로파 주파수(MWF; Microwave Frequency) 및/또는 적외선 주파수(IRF; Infrared Ray Frequency)와 같은 무선 통신 기술들 및/또는 프로토콜들을 사용하여 네트워크 서버와 무선으로 통신하도록 구성될 수 있다.

【0094】 본 발명에서 특정 구조적 및 기능적 세부 사항을 포함하는 다양한 실시예들은 예시적인 것이다. 따라서, 본 개시의 실시예들은 상술된 것으로 한정되지 않으며, 여러 가지 다른 형태로 구현될 수 있다. 또한, 본 발명에서 사용된 용어는 일부 실시예를 설명하기 위한 것이며 실시예를 제한하는 것으로 해석되지 않는다. 예를 들어, 단수형 단어 및 상기는 문맥상 달리 명확하게 나타내지 않는 한 복수형도 포함하는 것으로 해석될 수 있다.

【0095】 본 발명에서, 달리 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함하여 본 명세서에서 사용되는 모든 용어는 이러한 개념이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다. 또한, 사전에 정의된 용어와 같이 일반적으로 사용되는 용어들은 관련 기술의 맥락에서의 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 한다.

【0096】본 명세서에서는 본 발명이 일부 실시예들과 관련하여 설명되었지만, 본 개시의 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자가 이해할 수 있는 본 개시의 범위를 벗어나지 않는 범위에서 다양한 변형 및 변경이 이루어질 수 있다. 또한, 그러한 변형 및 변경은 본 명세서에 첨부된 특허청구의 범위 내에 속하는 것으로 생각되어야 한다.

【부호의 설명】

【0098】 100: 컴퓨팅 장치

102: 체크포인트 모듈

104: 리와인드 모듈

【청구범위】**【청구항 1】**

적어도 하나의 프로세서에 의해 수행되는 서버리스 플랫폼(serverless platform)에서의 체크포인트 및 리와인드 방법으로서,

서버리스 플랫폼에서의 함수 실행 요청을 수신하는 단계;

상기 함수 실행 요청과 연관된 샌드박스(sandbox)에 대한 체크포인트(checkpoint) 동작을 수행하여 상기 샌드박스의 초기 상태를 저장하는 단계; 및

상기 함수 실행 요청에 대응하는 작업이 완료된 후, 샌드박스에 대한 리와인드(rewind) 동작을 수행하여 상기 샌드박스의 상태를 상기 초기 상태로 복원하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 샌드박스의 초기 상태를 저장하는 단계는,

상기 샌드박스의 메모리 영역에 대한 초기 상태를 저장하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 3】

제2항에 있어서,

상기 샌드박스의 메모리 영역에 대한 초기 상태를 저장하는 단계는,

원본 페이지 테이블(original page table) 상의 페이지 테이블 항목(page table entry; PTE)을 버디 페이지 테이블(buddy page table) 상에 복사하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 4】

제3항에 있어서,

상기 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는,

상기 원본 페이지 테이블 및 상기 버디 페이지 테이블에 대한 CoW(copy-on-write) 알고리즘을 적용하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 5】

제3항에 있어서,

상기 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는,

상기 원본 페이지 테이블 상의 제1 페이지 테이블 항목이 기록 가능한 것인 경우, 상기 제1 페이지 테이블 항목을 기록 불가능한 것으로 변경하여 상기 버디 페이지 테이블에 복사하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 6】

제5항에 있어서,

상기 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는,

상기 원본 페이지 테이블 상의 제1 페이지 테이블 항목이 변경되는 경우, 상기 버디 페이지 테이블에 복사된 상기 제1 페이지 테이블 항목을 유지하는 단계;

를 더 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 7】

제3항에 있어서,

상기 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는,

읽기 결함이 발생한 경우, 상기 읽기 결함과 연관된 제2 페이지 테이블 항목을 상기 원본 페이지 테이블 및 상기 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 8】

제3항에 있어서,

상기 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는,

파일 백업 페이지(file-backed page)에 대한 기록 결함이 발생한 경우, 상기 파일 백업 페이지와 연관된 제3 페이지 테이블 항목을 원본 복사본을 참조하도록 상기 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 9】

제3항에 있어서,

상기 원본 페이지 테이블 상의 페이지 테이블 항목을 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계는,

익명 페이지(anonymous page)에 대한 기록 결함이 발생한 경우, 상기 익명 페이지와 연관된 제4 페이지 테이블 항목을 기록 가능한 형태로 상기 버디 페이지 테이블 상에 복사하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 10】

제3항에 있어서,

상기 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 상기 샌드박스의 상태를 상기 초기 상태로 복원하는 단계는,

상기 원본 페이지 테이블과 상기 버디 페이지 테이블이 페이지 테이블 항목의 페이지 프레임 번호(page frame number; PFN)를 공유하는 경우, 상기 페이지 프레임 번호를 공유하는 상기 원본 페이지 테이블의 페이지 테이블 항목을 유지하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 11】

제3항에 있어서,

상기 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 상기 샌드박스의 상태를 상기 초기 상태로 복원하는 단계는,

상기 원본 페이지 테이블과 상기 버디 페이지 테이블이 페이지 테이블 항목의 페이지 프레임 번호를 공유하지 않는 경우, 상기 버디 페이지 테이블의 페이지 테이블 항목으로 상기 원본 페이지 테이블의 페이지 테이블 항목을 복원하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 12】

제1항에 있어서,

상기 샌드박스의 초기 상태를 저장하는 단계는,

상기 샌드박스의 파일 시스템(file system)에 대한 초기 상태를 저장하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 13】

제12항에 있어서,

상기 샌드박스의 파일 시스템에 대한 초기 상태를 저장하는 단계는,

상위 파일 시스템과 하위 파일 시스템을 포함하는 상기 파일 시스템 중 변경 사항이 기록된 상기 상위 파일 시스템의 초기 상태를 저장하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 14】

제12항에 있어서,

상기 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 상기 샌드박스의 상태를 상

기 초기 상태로 복원하는 단계는,

상기 상위 파일 시스템에 포함된 제1 파일에 대응하는 파일이 상기 하위 파일 시스템 또는 상기 초기 상태에 포함된 경우, 상기 제1 파일을 상기 하위 파일 시스템 또는 상기 초기 상태의 파일로 변환하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 15】

제12항에 있어서,

상기 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 상기 샌드박스의 상태를 상기 초기 상태로 복원하는 단계는,

상기 상위 파일 시스템에 포함된 제2 파일에 대응하는 파일이 상기 하위 파일 시스템 또는 상기 초기 상태에 포함되지 않은 경우, 상기 제2 파일을 삭제하는 단계;

를 포함하는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법.

【청구항 16】

제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에 따른 방법을 컴퓨터에서 실행하기 위해 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

【청구항 17】

컴퓨팅 장치로서,

통신 모듈;

메모리; 및

상기 메모리와 연결되고, 상기 메모리에 포함된 컴퓨터 판독 가능한 적어도 하나의 프로그램을 실행하도록 구성된 적어도 하나의 프로세서;

를 포함하고,

상기 적어도 하나의 프로그램은,

서버리스 플랫폼에서의 함수 실행 요청을 수신하고,

상기 함수 실행 요청과 연관된 샌드박스에 대한 체크포인트 동작을 수행하여 상기 샌드박스의 초기 상태를 저장하고,

상기 함수 실행 요청에 대응하는 작업이 완료된 후, 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 상기 샌드박스의 상태를 상기 초기 상태로 복원하기 위한 명령어들을 포함하는 컴퓨팅 장치.

【요약서】**【요약】**

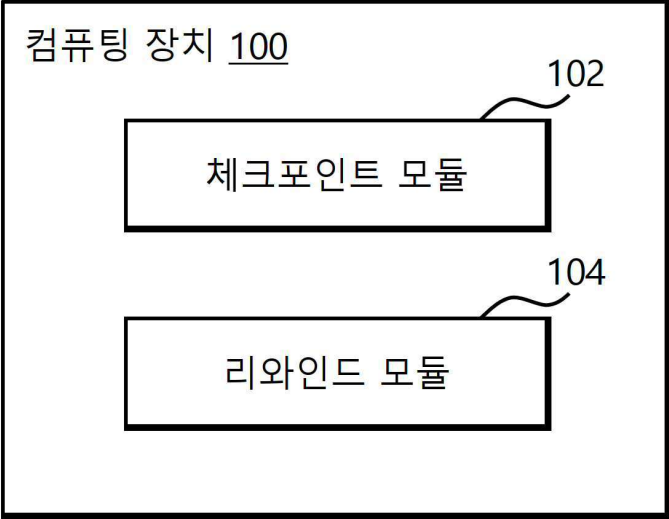
본 개시는 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법에 관한 것이다. 서버리스 플랫폼에서의 체크포인트 및 리와인드 방법은, 서버리스 플랫폼에서의 함수 실행 요청을 수신하는 단계, 함수 실행 요청과 연관된 샌드박스에 대한 체크포인트 동작을 수행하여 샌드박스의 초기 상태를 저장하는 단계 및 함수 실행 요청에 대응하는 작업이 완료된 후, 샌드박스에 대한 리와인드 동작을 수행하여 샌드박스의 상태를 저장된 초기 상태로 복원하는 단계를 포함한다.

【대표도】

도 1

【도면】

【도 1】



【도 2】

버디 페이지 테이블
214

Anon VMA	Page Table Entry	
	Writable	PFN
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
X	0	0x002
X	1	0x001

원본 페이지 테이블
212

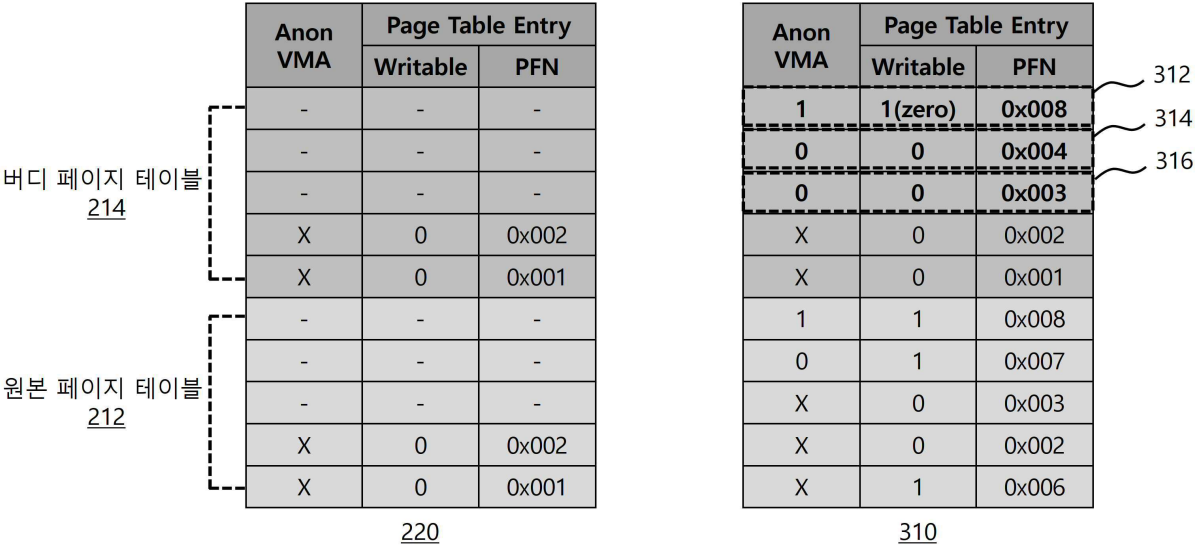
Anon VMA	Page Table Entry	
	Writable	PFN
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
X	0	0x002
X	0	0x001
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
X	0	0x002
X	0	0x001

222

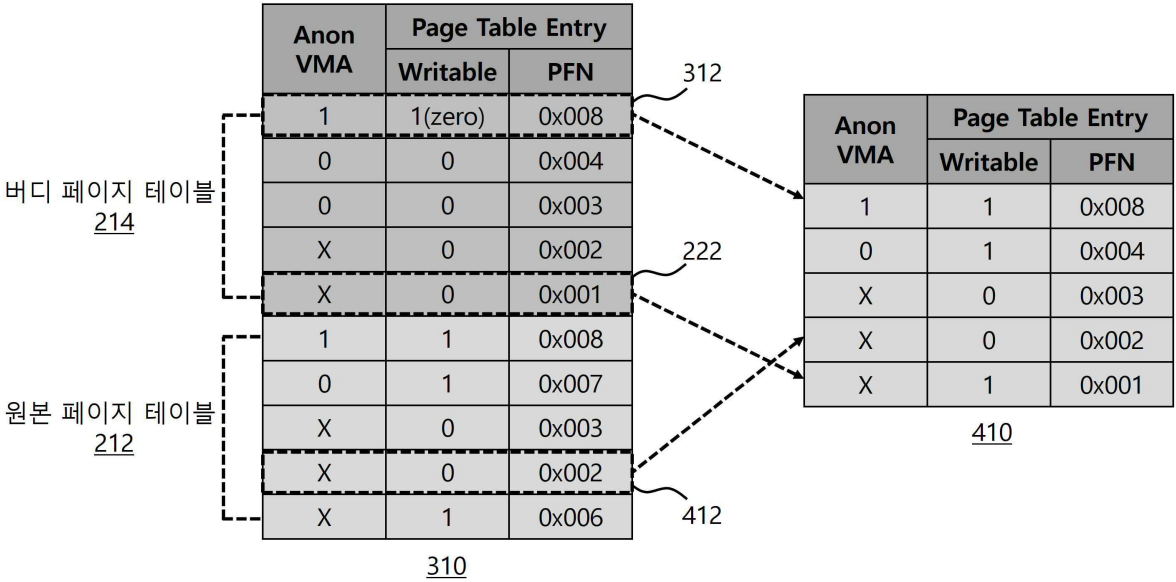
210

220

【도 3】



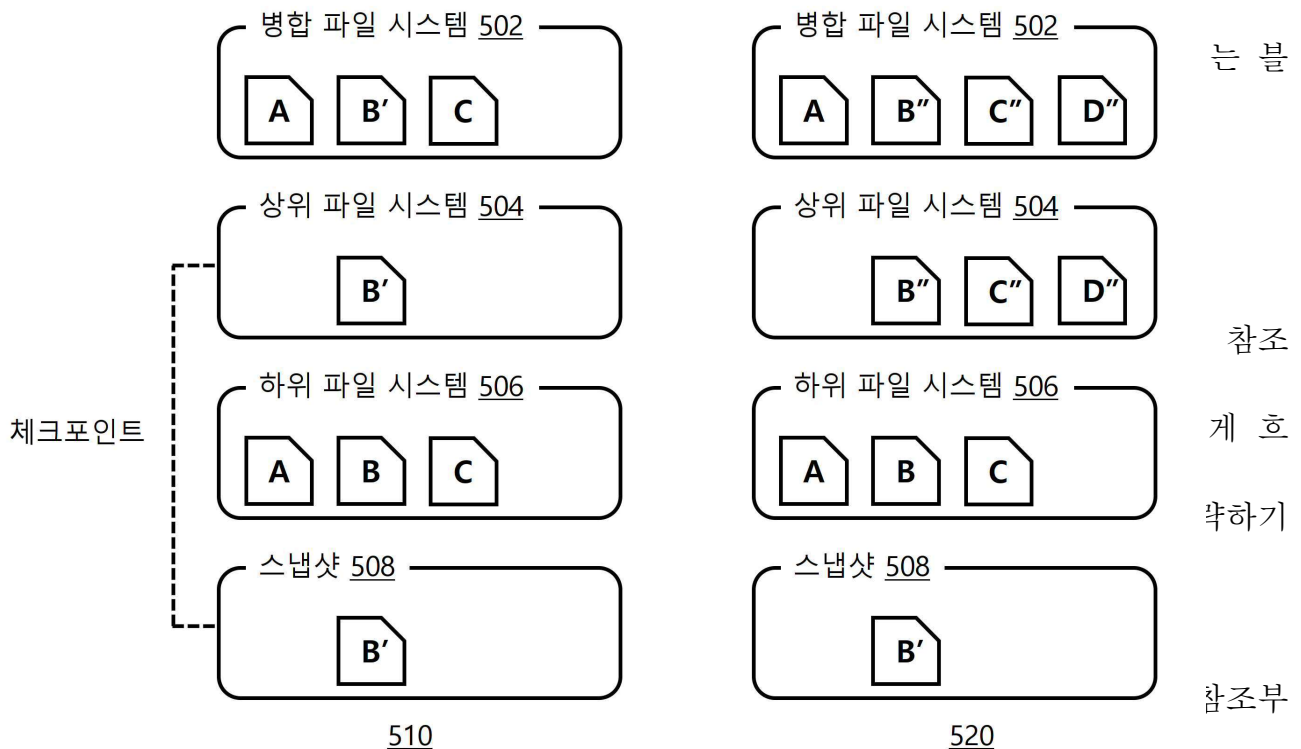
【도 4】



【도 5】

2024-05-21

71017 HLB 01 2020 12.12.2020 2020.12.12.2020 2020.12.12.2020



호가 부여되어 있다. 또한, 이하의 실시예들의 설명에 있어서, 동일하거나 대응되

【명칭】 특허법인시공
는 구성요소를 중복하여 기술하는 것이 생략될 수 있다. 그러나, 구성요소에 관한

【대리인번호】 9-2023-100041-2
기술이 생략되어도, 그러한 구성요소가 어떤 실시예에 포함되지 않는 것으로 의도

【지정된변리사】 조예찬, 신진현
되지 않는다. 【포괄위임등록번호】 2023-059479-9

【발명의 목적】(0633) 개시된 실시예와 이 점을 뒷받침하는, 그 크기도 큰 것들을 리화하는 방법 및 장
첨부되는 도면과 함께 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러

나, 【발명의 명칭】 CHECKPOINT AND REWIND METHOD AND APPARATUS IN

양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명이 완전하도록 하고,

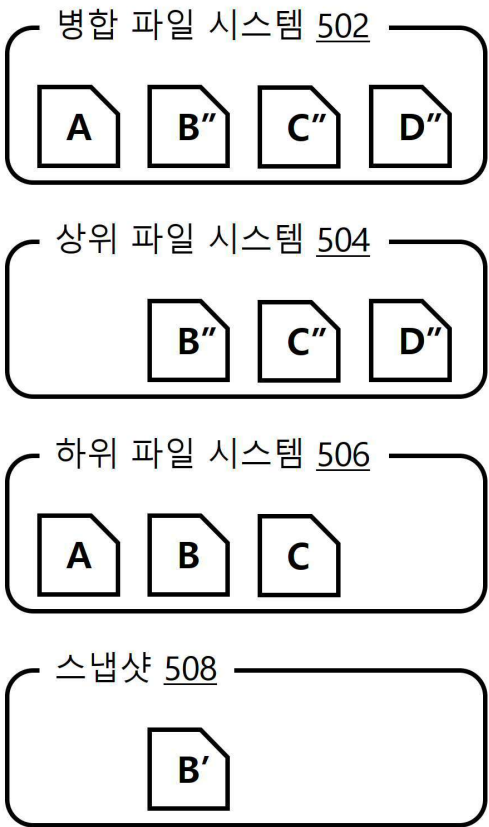
【발명자】
본 발명이 통상의 기술자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것

【성명】 정진규

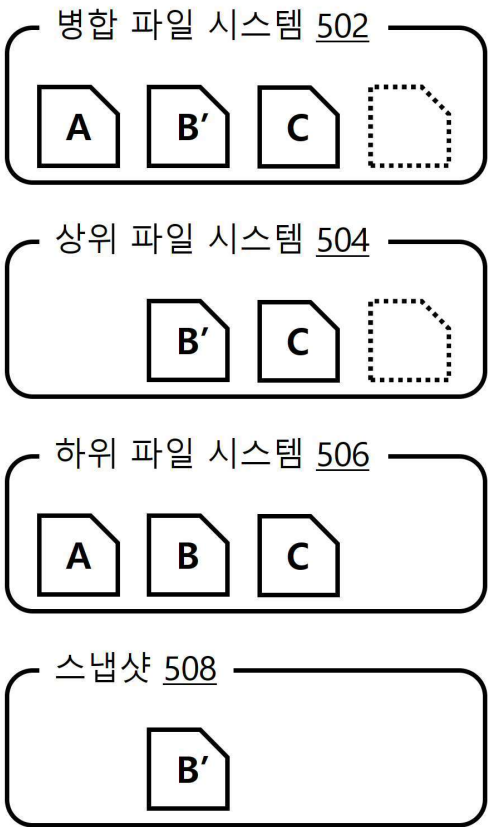
일 뿐이다.
【성명의 영문표기】 JEONG, JINKYU

【주민등록번호】 820126-1XXXXXX⁴⁸⁻⁴⁵

【도 6】

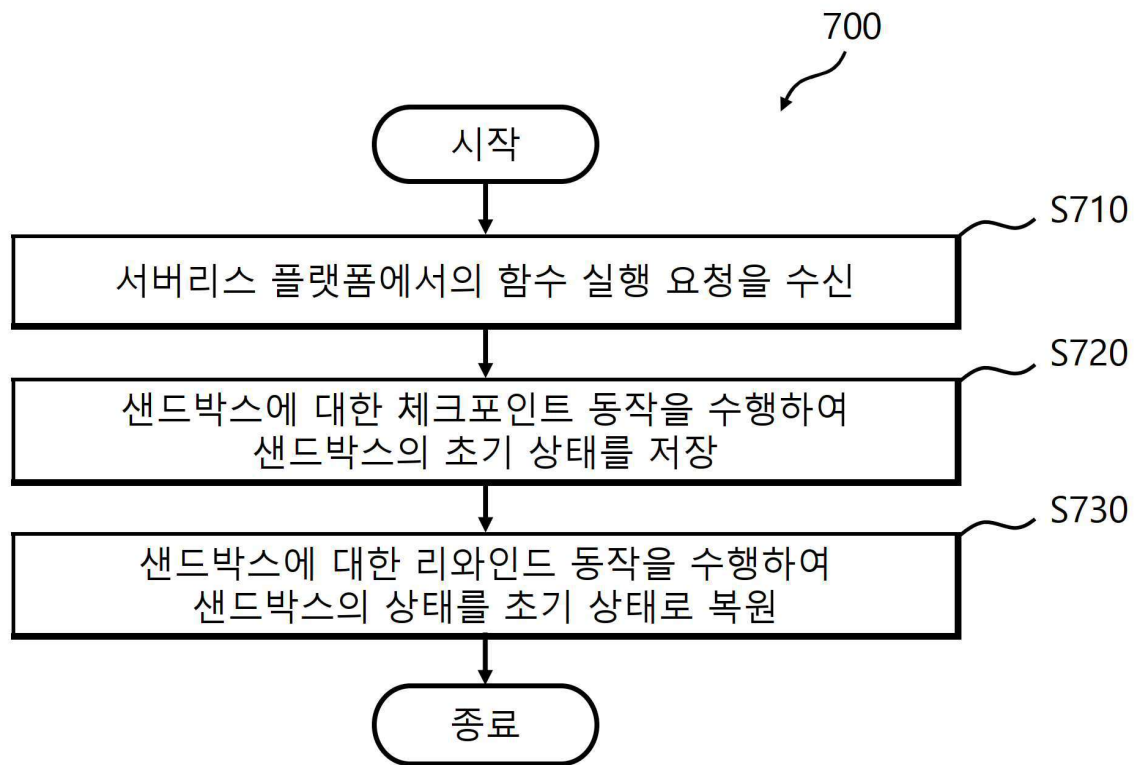


520



610

【도 7】



【도 8】

