(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년01월28일
(11) 등록번호 10-2209676
(24) 등록일자 2021년01월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 11/36 (2006.01) *G06F 9/455* (2018.01)
(52) CPC특허분류
G06F 11/3668 (2013.01)
G06F 9/45504 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0089416
(22) 출원일자 2020년07월20일
심사청구일자 2020년07월20일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020200080541 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
윤주범
서울특별시 송파구 충민로4길 19, 704동 401호(장지동, 송파파인타운7단지)
김현욱
서울특별시 관악구 서원10길 25, 3층(신림동)
김주환
서울특별시 광진구 군자로 175-2, 304호(군자동)
(74) 대리인
두호특허법인

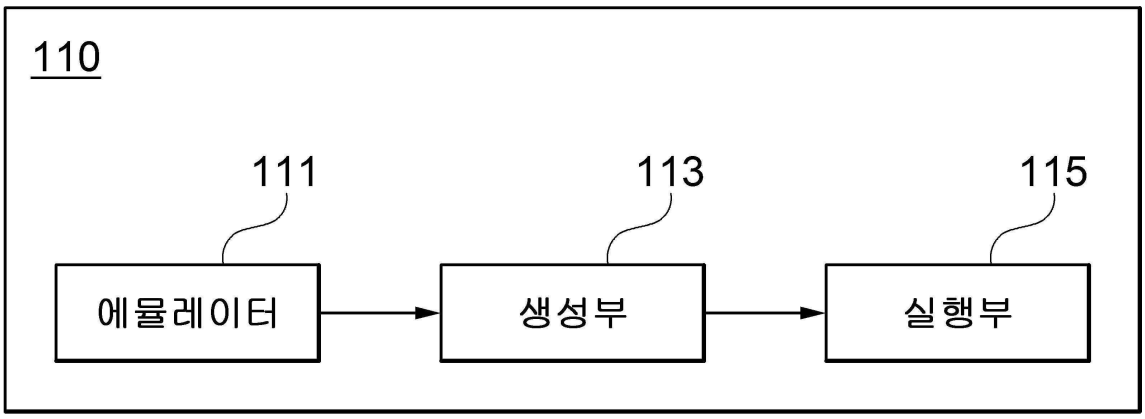
전체 청구항 수 : 총 10 항 심사관 : 홍경아

(54) 발명의 명칭 **펌웨어 퍼징 장치 및 방법**

(57) 요 약

펌웨어 퍼징 장치 및 방법이 개시된다. 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 장치는 임의의 사물 인터넷(IoT; Internet of Things) 기기 내 설치된 펌웨어(firmware)에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공하는 에뮬레이터, 복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성하는 생성부 및 상기 하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 상기 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 상기 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징(fuzzing)을 실행하는 실행부를 포함한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
G06F 9/45533 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌
오성권 외, '입자 군집 최적화를 이용한 FCM 기반 퍼지 모델의 동정 방법론', 전기학회논문지 60권 1호, 2011.01*
허정민 외, '임베디드 디바이스 펌웨어의 웹 인터페이스 취약점 식별을 위한 에뮬레이션 기반 퍼징 기법', Journal of The Korea Institute of Information Security & Cryptology, VOL.29, NO.6, Dec. 2019.*
KR1020090044656 A
KR1020190041912 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711116145
과제번호	2018-0-01423-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	대학ICT연구센터육성지원사업
연구과제명	지능형 비행로봇 융합기술 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2018.06.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

임의의 사물 인터넷(IoT; Internet of Things) 기기 내 설치된 펌웨어(firmware)에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공하는 에뮬레이터;

복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성하는 생성부; 및

상기 하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 상기 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 상기 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징(fuzzing)을 실행하는 실행부를 포함하고,

상기 생성부는,

입자 군집 최적화(PSO; Particle Swarm Optimization) 알고리즘에 기초하여 상기 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부를 상기 복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 적용하는, 펌웨어 퍼징 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 에뮬레이터는,

상기 펌웨어와 관련된 시스템 전체를 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅(emulating)하는 시스템 모드 에뮬레이터; 및

상기 펌웨어의 프로세스의 일부에 대응되는 메모리 파일에 기초하여 상기 펌웨어의 프로세스의 일부를 상기 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅하는 사용자 모드 에뮬레이터를 포함하는, 펌웨어 퍼징 장치.

청구항 3

삭제

청구항 4

청구항 1에 있어서,

시스템 호출(syscall)의 발생 여부, 새로운 경로의 발견 여부 및 크래시(crash)의 발생 여부 중 적어도 하나에 기초하여 상기 변이 기반 퍼징을 제어하는 제어부를 더 포함하는, 펌웨어 퍼징 장치.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 에뮬레이터는,

상기 펌웨어에 대해 시스템 모드 에뮬레이션 환경을 추가로 제공하고,

상기 제어부는,

상기 변이 기반 퍼징을 실행하는 도중 상기 시스템 호출이 발생하는 경우, 상기 변이 기반 퍼징을 일시 중지하고 상기 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 상기 시스템 호출을 처리한 이후 상기 변이 기반 퍼징을 재개하는, 펌웨어 퍼징 장치.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 제어부는,

상기 변이 기반 퍼징에 의해 상기 새로운 경로가 발견되거나 상기 크래시가 발생하는 경우, 상기 변이 기반 퍼징을 실행하기 위해 사용된 테스트 케이스 및 상기 변이 기반 퍼징과 관련된 리포트 정보를 저장하는, 펌웨어 퍼징 장치.

청구항 7

임의의 사물 인터넷(IoT; Internet of Things) 기기 내 설치된 펌웨어(firmware)에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공하는 단계;

복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성하는 단계; 및

상기 하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 상기 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 상기 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징(fuzzing)을 실행하는 단계를 포함하고,

상기 생성하는 단계는,

입자 군집 최적화(PSO; Particle Swarm Optimization) 알고리즘에 기초하여 상기 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부를 상기 복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 적용하는, 펌웨어 퍼징 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 제공하는 단계는,

상기 펌웨어와 관련된 시스템 전체를 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅(emulating)하는 단계; 및

상기 펌웨어의 프로세스의 일부에 대응되는 메모리 파일에 기초하여 상기 펌웨어의 프로세스의 일부를 상기 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅하는 단계를 포함하는, 펌웨어 퍼징 방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

청구항 7에 있어서,

시스템 호출(syscall)의 발생 여부, 새로운 경로의 발견 여부 및 크래시(crash)의 발생 여부 중 적어도 하나에 기초하여 상기 변이 기반 퍼징을 제어하는 단계를 더 포함하는, 펌웨어 퍼징 방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 제공하는 단계는,

상기 펌웨어에 대해 시스템 모드 에뮬레이션 환경을 추가로 제공하고,

상기 제어하는 단계는,

상기 변이 기반 퍼징을 실행하는 도중 상기 시스템 호출이 발생하는 경우, 상기 변이 기반 퍼징을 일시 중지하는 단계;

상기 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 상기 시스템 호출을 처리하는 단계; 및

상기 시스템 호출이 처리된 이후, 상기 변이 기반 퍼징을 재개하는 단계를 포함하는, 펌웨어 퍼징 방법.

청구항 12

청구항 10에 있어서,

상기 제어하는 단계는,

상기 변이 기반 퍼징에 의해 상기 새로운 경로가 발견되거나 상기 크래시가 발생하는 경우, 상기 변이 기반 퍼징을 실행하기 위해 사용된 테스트 케이스 및 상기 변이 기반 퍼징과 관련된 리포트 정보를 저장하는, 펌웨어 퍼징 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 개시되는 실시예들은 펌웨어에 대해 퍼징(fuzzing)을 수행하는 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 사물 인터넷(IoT; Internet of Things)에 기반한 다양한 기기들이 널리 사용됨에 따라, 각 기기 내에 설치되는 펌웨어(firmware) 역시 발전을 거듭하고 있다. 이와 동시에, 사용자들의 정보를 보호하기 위해 펌웨어 내부에 잠재된 보안 상의 취약점을 파악하고 분석할 필요성 또한 높아지고 있다.

[0003] 이러한 보안 상의 취약점을 개별적으로 분석하기에는 인력과 시간 상의 한계가 있는 관계로, 종래에는 펌웨어에 대해 에뮬레이팅(emulating) 후 자동으로 퍼징을 수행하여 보안 상의 취약점을 탐지하고자 하는 연구가 수행되었다.

[0004] 그러나, 종래의 퍼징 방법으로는 퍼징 수행 속도 향상 효과와 다양한 IoT 기기에 대한 호환성 향상 효과를 동시에 달성하기 어려울 뿐만 아니라, 퍼징을 위한 테스트 케이스를 효율적으로 생성하지 못해 펌웨어의 코드 커버리지(coverage)를 넓히지 못하는 한계가 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 특개2018-195288호 (2018.12.06. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 개시되는 실시예들은 사물 인터넷 기기들의 펌웨어에 대해 퍼징을 수행하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 개시되는 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 장치는, 임의의 사물 인터넷(IoT; Internet of Things) 기기 내 설치된 펌웨어(firmware)에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공하는 에뮬레이터, 복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성하는 생성부 및 상기 하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 상기 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 상기 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징(fuzzing)을 실행하는 실행부를 포함한다.

[0008] 상기 에뮬레이터는, 상기 펌웨어와 관련된 시스템 전체를 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅(emulating)하는 시스템 모드 에뮬레이터 및 상기 펌웨어의 프로세스의 일부에 대응되는 메모리 파일에 기초하여 상기 펌웨어의 프로세스의 일부를 상기 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅하는 사용자 모드 에뮬레이터를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 생성부는, 입자 군집 최적화(PSO; Particle Swarm Optimization) 알고리즘에 기초하여 상기 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부를 상기 복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 적용할 수 있다.

[0010] 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 장치는, 시스템 호출(syscall)의 발생 여부, 새로운 경로의 발견 여부 및 크래시(crash)의 발생 여부 중 적어도 하나에 기초하여 상기 변이 기반 퍼징을 제어하는 제어부를 더 포함할 수 있다.

[0011] 상기 에뮬레이터는, 상기 펌웨어에 대해 시스템 모드 에뮬레이션 환경을 추가로 제공하고, 상기 제어부는, 상기 변이 기반 퍼징을 실행하는 도중 상기 시스템 호출이 발생하는 경우, 상기 변이 기반 퍼징을 일시 중지하고 상기 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 상기 시스템 호출을 처리한 이후 상기 변이 기반 퍼징을 재개할 수 있다.

[0012] 상기 제어부는, 상기 변이 기반 퍼징에 의해 상기 새로운 경로가 발견되거나 상기 크래시가 발생하는 경우, 상기 변이 기반 퍼징을 실행하기 위해 사용된 테스트 케이스 및 상기 변이 기반 퍼징과 관련된 리포트 정보를 저장할 수 있다.

[0013] 개시되는 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 방법은, 임의의 사물 인터넷(IoT; Internet of Things) 기기 내 설치된 펌웨어(firmware)에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공하는 단계, 복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성하는 단계 및 상기 하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 상기 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 상기 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징(fuzzing)을 실행하는 단계를 포함한다.

[0014] 상기 제공하는 단계는, 상기 펌웨어와 관련된 시스템 전체를 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅(emulating)하는 단계 및 상기 펌웨어의 프로세스의 일부에 대응되는 메모리 파일에 기초하여 상기 펌웨어의 프로세스의 일부를 상기 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 생성하는 단계는, 입자 군집 최적화(PSO; Particle Swarm Optimization) 알고리즘에 기초하여 상기 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부를 상기 복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 적용할 수 있다.

[0016] 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 방법은, 시스템 호출(syscall)의 발생 여부, 새로운 경로의 발견 여부 및 크래시(crash)의 발생 여부 중 적어도 하나에 기초하여 상기 변이 기반 퍼징을 제어하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0017] 상기 제공하는 단계는, 상기 펌웨어에 대해 시스템 모드 에뮬레이션 환경을 추가로 제공하고, 상기 제어하는 단계는, 상기 변이 기반 퍼징을 실행하는 도중 상기 시스템 호출이 발생하는 경우, 상기 변이 기반 퍼징을 일시 중지하는 단계, 상기 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 상기 시스템 호출을 처리하는 단계 및 상기 시스템 호출이 처리된 이후, 상기 변이 기반 퍼징을 재개하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 제어하는 단계는, 상기 변이 기반 퍼징에 의해 상기 새로운 경로가 발견되거나 상기 크래시가 발생하는 경우, 상기 변이 기반 퍼징을 실행하기 위해 사용된 테스트 케이스 및 상기 변이 기반 퍼징과 관련된 리포트 정보를 저장할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 개시되는 실시예들에 따르면, 펌웨어(firmware)에 대해 시스템 모드 에뮬레이션 환경 및 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 복합적으로 에뮬레이팅(emulating)을 수행함으로써, 퍼징(fuzzing) 수행 시 속도 및 호환성을 두루 향상시킬 수 있다.

[0020] 또한 개시되는 실시예들에 따르면, 변이 연산자를 적절히 선택하여 테스트 케이스를 생성함으로써, 펌웨어에 대한 퍼징 시 코드 커버리지(coverage)를 넓힐 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 시스템을 설명하기 위한 블록도

도 2는 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 장치를 설명하기 위한 블록도

도 3은 일 실시예에 따른 에뮬레이터를 상세히 설명하기 위한 블록도

도 4는 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 장치를 설명하기 위한 블록도

도 5는 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 방법을 설명하기 위한 흐름도

도 6은 일 실시예에 따른 510 단계를 상세히 설명하기 위한 흐름도

도 7은 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 방법을 설명하기 위한 흐름도

도 8은 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 방법의 일 예를 상세히 설명하기 위한 흐름도

도 9는 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 방법의 다른 예를 상세히 설명하기 위한 흐름도

도 10은 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경을 예시하여 설명하기 위한 블록도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이하, 도면을 참조하여 구체적인 실시형태를 설명하기로 한다. 이하의 상세한 설명은 본 명세서에서 기술된 방법, 장치 및/또는 시스템에 대한 포괄적인 이해를 돕기 위해 제공된다. 그러나 이는 예시에 불과하며 개시되는 실시예들은 이에 제한되지 않는다.

[0023] 실시예들을 설명함에 있어서, 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 개시되는 실시예들의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다. 그리고, 후술되는 용어들은 개시되는 실시예들에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 상세한 설명에서 사용되는 용어는 단지 실시예들을 기술하기 위한 것이며, 결코 제한적이어서는 안 된다. 명확하게 달리 사용되지 않는 한, 단수 형태의 표현은 복수 형태의 의미를 포함한다. 본 설명에서, "포함" 또는 "구비"와 같은 표현은 어떤 특성들, 숫자들, 단계들, 동작들, 요소들, 이들의 일부 또는 조합을 가리키기 위한 것이며, 기술된 것 이외에 하나 또는 그 이상의 다른 특성, 숫자, 단계, 동작, 요소, 이들의 일부 또는 조합의 존재 또는 가능성을 배제하도록 해석되어서는 안 된다.

[0024] 이하의 실시예들에서, '사물 인터넷(IoT; Internet of Things)'은 각종 사물에 센서와 통신 기능을 내장하여 인터넷에 연결하는 기술을 의미하며, 'IoT 기기'는 IoT를 이용한 서비스를 제공하는 하드웨어(hardware)를 의미한다. 'IoT 기기'는, 예를 들어, 개인용 컴퓨터(PC; Personal Computer), 랩탑(Laptop Computer), 스마트폰, 태블릿(Tablet) PC, 스마트 밴드(Smart Band), 스마트 워치(Smart Watch) 등을 포함할 수 있으나, 이외에도 상기 정의를 만족하는 하드웨어라면 'IoT 기기'에 속하는 것으로 해석된다.

[0025] 또한, '펌웨어(firmware)'는 하드웨어에 포함된 임의의 소프트웨어 또는 해당 소프트웨어를 읽거나 수정할 수 있는 장치를 의미하며, 구체적으로 이하의 실시예들에서는 'IoT 기기' 내 설치된 임의의 소프트웨어 또는 해당 소프트웨어를 읽거나 수정할 수 있는 장치를 의미한다.

[0026] 한편, 이하의 실시예들에서, '퍼징(fuzzing)'은 일종의 소프트웨어 테스트 기법으로서, 소프트웨어 프로그램에 유효한, 예상치 않은 또는 무작위 데이터를 입력하는 것을 의미한다. 이로써 소프트웨어 프로그램의 충돌, 코드 검증 실패, 잠재적인 메모리 누수 등이 감지될 수 있으며, 더 나아가 소프트웨어 프로그램이 갖는 보안 문제가 발견될 수 있다.

[0027] 구체적으로, '퍼징'은 수행 시 소프트웨어 프로그램에 입력되는 테스트 케이스를 생성하는 방식에 따라 '생성 기반 퍼징'과 '변이 기반 퍼징'으로 나뉘는데, '생성 기반 퍼징'은 수행 시 소프트웨어 프로그램의 구조에 기반하여 새로운 테스트 케이스를 정의하는 반면, '변이 기반 퍼징'은 수행 시 기 마련된 시드 파일(seed file)을 변형하여 테스트 케이스를 생성한다.

[0028] 도 1은 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 시스템(100)을 설명하기 위한 블록도이다.

[0029] 도시된 바와 같이, 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 시스템(100)은 펌웨어 퍼징 장치(110), 하나 이상의 IoT 기기(120) 및 복수의 시드 파일(130)을 포함한다. 도 1에서는 IoT 기기 #1부터 IoT 기기 #N까지의 N개의 IoT 기기(120)를 포함한 실시예를 나타내었다.

[0030] 도 1을 참조하면, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 통신 네트워크를 통해 IoT 기기 #1 내지 IoT 기기 #N 각각으로부터 각 IoT 기기 내 설치된 펌웨어의 분석을 위한 일련의 정보를 획득한다. 예를 들어, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 각 IoT 기기로부터 펌웨어 각각의 아키텍처(architecture), 명령어 세트, 버전(version) 및 기타 코드 등에 대한 정보를 획득할 수 있으나, 이외에도 펌웨어의 분석에 필요한 정보를 추가로 획득할 수도 있다.

[0031] 몇몇 실시예들에서, 통신 네트워크는 인터넷, 하나 이상의 로컬 영역 네트워크(local area networks), 광역 네트워크(wire area networks), 셀룰러 네트워크, 모바일 네트워크, 그 밖에 다른 종류의 네트워크들, 또는 이러한 네트워크들의 조합을 포함할 수 있다.

[0032] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 획득한 정보를 에뮬레이팅(emulating)하고, 복수의 시드 파일(130)을 변형하여 생성된 테스트 케이스를 입력으로 하여 IoT 기기 내 설치된 펌웨어 각각에 대한 퍼징을 수행한다.

[0033] 이하의 실시예들에서, '에뮬레이팅'은 원래 시스템을 복제한 다른 시스템(에뮬레이션 환경)을 구현하여 일련의 프로세스를 실행하는 것을 의미하며, '에뮬레이팅'을 수행하는 장치를 '에뮬레이터(emulator)'라고 지칭한다. 펌웨어 각각에 직접 테스트 케이스를 입력하면 IoT 기기의 프로세서의 성능 상 한계로 인해 퍼징을 수행하는 속도가 느리고, 퍼징 수행 시 모니터링하기에도 적합하지 않기 때문에, 이하에서는 펌웨어에 대한 퍼징은 에뮬레이팅 된 에뮬레이션 환경에서 실행됨을 전제한다.

[0034] 도 2는 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 장치(110)를 설명하기 위한 블록도이다. 도시된 바와 같이, 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 장치(110)는 에뮬레이터(111), 생성부(113) 및 실행부(115)를 포함한다.

[0035] 에뮬레이터(111)는 임의의 IoT 기기 내 설치된 펌웨어에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공한다.

[0036] 이와 관련한 도 3은 일 실시예에 따른 에뮬레이터(111)를 상세히 설명하기 위한 블록도이다. 도 3을 참조하면, 일 실시예에 따른 에뮬레이터(111)는 시스템 모드 에뮬레이터(111-1) 및 사용자 모드 에뮬레이터(111-3)를 포함할 수 있다.

[0037] 일 실시예에 따르면, 시스템 모드 에뮬레이터(111-1)는 펌웨어와 관련된 시스템 전체를 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅할 수 있다.

[0038] 구체적으로, '시스템 모드 에뮬레이터'는 각 IoT 기기 전체에 대한 에뮬레이션 환경을 구현하며, 이러한 환경을 '시스템 모드 에뮬레이션 환경'이라 지칭한다.

[0039] 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 퍼징을 수행할 경우, IoT 기기에 직접 퍼징을 수행하는 경우와 비교하면 퍼징의 실행 속도가 빠르지만 펌웨어의 전체 프로세스를 처리하므로 오버헤드(overhead) 및 각종 호출로 인해 상기 속도가 반감되는 단점이 있다.

[0040] 한편, 일 실시예에 따르면, 사용자 모드 에뮬레이터(111-3)는 펌웨어의 프로세스의 일부에 대응되는 메모리 파일에 기초하여 펌웨어의 프로세스의 일부를 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅할 수 있다.

[0041] 구체적으로, '사용자 모드 에뮬레이터'는 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅된 프로세스의 일부에 대응되는 메모리 파일을 시스템 모드 에뮬레이터로부터 공유 받아, 상기 프로세스의 일부에 대한 에뮬레이션 환경을 구현하며, 이러한 환경을 '사용자 모드 에뮬레이션 환경'이라 지칭한다.

[0042] 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 퍼징을 수행할 경우, 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 퍼징을 수행할 때에 비해 오버헤드 및 각종 호출이 적어 속도의 반감 없이 퍼징을 실행할 수 있는 장점이 있다.

[0043] 다시 도 2를 참조하면, 생성부(113)는 복수의 시드 파일(130) 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성한다.

[0044] 이때, 기 설정된 복수의 변이 연산자는, 예를 들어, 아래의 표 1에 정의된 변이 연산자들을 포함할 수 있다.

표 1

[0045]

일련번호	변이 연산자 명칭	기능
1	bitflip	하나의 비트(bit) 또는 복수의 연속된 비트를 뒤집음
2	byteflip	하나의 바이트(byte) 또는 복수의 연속된 바이트를 뒤집음
3	arithmetic inc/dec	하나 이상의 바이트를 더하거나 뺌
4	interesting values	테스트 케이스의 바이트를 기 설정된 바이트로 변환
5	user extras	테스트 케이스의 바이트에 사용자가 제공한 값을 삽입하거나 테스트 케이스의 바이트를 사용자가 제공한 값으로 변환
6	random bytes	테스트 케이스의 한 바이트를 무작위 바이트로 변환
7	delete bytes	복수의 연속된 바이트를 무작위로 삭제
8	insert bytes	테스트 케이스의 일부 바이트를 무작위로 복사하여 테스트 케이스 내 다른 위치에 복사
9	overwrite bytes	테스트 케이스 내 복수의 연속된 바이트를 무작위로 덮어씀
10	cross over	서로 다른 두 테스트 케이스의 일부를 이어 붙임으로써 새 테스트 케이스를 생성

[0046] 일 실시예에 따르면, 생성부(113)는 입자 군집 최적화(PSO; Particle Swarm Optimization) 알고리즘에 기초하여 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부를 복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 적용할 수 있다.

[0047] 구체적으로, 생성부(113)는 다음의 과정을 통해 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 테스트 케이스의 생성을 위해 적용할 변이 연산자를 선택할 수 있다.

[0048] (1) 전체 변이 연산자 중 선택할 변이 연산자의 개수를 설정한다.

[0049] (2) 설정된 개수의 변이 연산자들로 이루어진 각 집합에 대해 PSO 알고리즘을 적용하여 각 집합에서 최적의 효율을 갖는 변이 연산자를 탐색한다.

[0050] 이는 구체적으로, 현재 퍼징 시 적용되는 변이 연산자가 아닌, 이전에 적용된 변이 연산자 중 가장 효율이 좋은 변이 연산자를 탐색하는 것을 의미한다.

[0051] (3) 각 집합들 중 최적의 효율을 갖는 집합을 탐색한다.

[0052] (4) 최적의 효율을 갖는 집합 내에서 가장 효율이 좋은 변이 연산자를 다음 변이 과정에서 적용될 변이 연산자로 선택한다.

[0053] 이때, 변이 연산자의 효율 또는 집합의 효율은 각 변이 연산자를 적용하는 경우 소요되는 변이 시간, 퍼징 실행 시간, 새로 찾은 경로나 크래시(crash) 등에 기초하여 계산될 수 있다.

[0054] 실행부(115)는 생성된 하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징을 실행한다.

[0055] 도 4는 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 장치(110)를 설명하기 위한 블록도이다.

[0056] 도시된 바와 같이, 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 장치(110)는 제어부(117)를 더 포함할 수 있다. 도 4에 도시된 예에서, 생성부(113) 및 실행부(115)는 도 1에 도시된 것과 동일한 구성이므로, 이에 대한 중복적인 설명은 생략하기로 한다.

[0057] 제어부(117)는 시스템 호출(syscall)의 발생 여부, 새로운 경로의 발견 여부 및 크래시의 발생 여부 중 적어도 하나에 기초하여 변이 기반 퍼징을 제어할 수 있다.

[0058] 일 실시예에 따르면, 에뮬레이터(111)는 펌웨어에 대해 시스템 모드 에뮬레이션 환경을 추가로 제공할 수 있다. 한편, 제어부(117)는 변이 기반 퍼징을 실행하는 도중 시스템 호출이 발생하는 경우, 변이 기반 퍼징을 일시 중지하고 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 시스템 호출을 처리한 이후 변이 기반 퍼징을 재개할 수 있다.

[0059] 이하의 실시예들에서, '시스템 호출'은 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 실행되는 프로세스 상 처리할 수 없는 호출을 의미한다.

[0060] 구체적으로, 제어부(117)는 변이 기반 퍼징을 실행하는 도중 시스템 호출이 발생하는 경우, 현재 실행 중인 프로세스에 대응되는 메모리 파일을 저장하여, 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 전송된 메모리 파일에 대응되는 프로세스를 처리하도록 할 수 있다.

[0061] 이어서, 제어부(117)는 시스템 호출이 처리된 상태의 프로세스에 대응되는 메모리 파일을 저장하여, 실행부(115)로 하여금 다시 변이 기반 퍼징을 실행하도록 할 수 있다.

[0062] 일 실시예에 따르면, 제어부(117)는 변이 기반 퍼징에 의해 새로운 경로가 발견되거나 크래시가 발생하는 경우, 변이 기반 퍼징을 실행하기 위해 사용된 테스트 케이스 및 변이 기반 퍼징과 관련된 리포트 정보를 저장할 수 있다.

[0063] 이때, 리포트 정보는 변이 기반 퍼징을 실행하는 과정에서 발생한 임의의 값들과 변이 기반 퍼징의 결과로 발생한 크래시에 대한 정보를 포함할 수 있다.

[0064] 구체적으로, 제어부(117)는 테스트 케이스를 복수의 시드 파일(130)을 포함하는 시드 큐(queue)에 새로운 시드 파일로서 저장하고, 리포트 정보는 별도의 데이터베이스(미도시) 또는 클립보드(clipboard)에 저장할 수 있다. 그러나, 테스트 케이스 또는 리포트 정보가 저장되는 위치는 이에 한정되지 않음에 유의해야 한다.

[0065] 도 5는 일 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0066] 도 5에 도시된 방법은 예를 들어, 상술한 펌웨어 퍼징 장치(110)에 의해 수행될 수 있다.

[0067] 우선, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 임의의 IoT 기기 내 설치된 펌웨어에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공한다(510).

[0068] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 복수의 시드 파일(130) 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성한다(520).

[0069] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징을 실행한다(530).

[0070] 도 6은 일 실시예에 따른 510 단계를 상세히 설명하기 위한 흐름도이다. 도 6에 도시된 방법은 예를 들어, 상술한 펌웨어 퍼징 장치(110)에 의해 수행될 수 있다.

[0071] 우선, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 펌웨어와 관련된 시스템 전체를 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅할 수 있다(610).

[0072] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 펌웨어의 프로세스의 일부에 대응되는 메모리 파일에 기초하여 펌웨어의 프로세스의 일부를 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅할 수 있다(620).

[0073] 도 7은 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0074] 도 7에 도시된 방법은 예를 들어, 상술한 펌웨어 퍼징 장치(110)에 의해 수행될 수 있다.

[0075] 우선, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 임의의 IoT 기기 내 설치된 펌웨어에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공한다(710).

[0076] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 복수의 시드 파일(130) 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성한다(720).

[0077] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징을 실행한다(730).

[0078] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 시스템 호출의 발생 여부, 새로운 경로의 발견 여부 및 크래시의 발생 여부 중 적어도 하나에 기초하여 변이 기반 퍼징을 제어할 수 있다(740).

[0079] 이때, 펌웨어 퍼징 장치(110)에 의한 변이 기반 퍼징의 제어는 다양한 형태로 이루어질 수 있는 바, 이하에서는 이와 관련된 펌웨어 퍼징 방법을 예시적으로 설명하기로 한다.

[0080] 도 8은 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 방법의 일 예를 상세히 설명하기 위한 흐름도이다.

[0081] 도 8에 도시된 방법은 예를 들어, 상술한 펌웨어 퍼징 장치(110)에 의해 수행될 수 있다.

[0082] 우선, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 임의의 IoT 기기 내 설치된 펌웨어에 대해 시스템 모드 에뮬레이션 환경 및 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공할 수 있다(810).

[0083] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 복수의 시드 파일(130) 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성한다(820).

[0084] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징을 실행한다(830).

[0085] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 변이 기반 퍼징을 실행하는 도중 시스템 호출이 발생하는지 판단할 수 있다(840).

[0086] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 시스템 호출이 발생하는 경우, 실행 중인 변이 기반 퍼징을 일시 중지할 수 있다(850).

[0087] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 시스템 호출을 처리할 수 있다(860).

[0088] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 시스템 호출이 처리된 이후, 일시 중지된 변이 기반 퍼징을 재개할 수 있다(870).

[0089] 도 9는 추가적인 실시예에 따른 펌웨어 퍼징 방법의 다른 예를 상세히 설명하기 위한 흐름도이다.

[0090] 도 9에 도시된 방법은 예를 들어, 상술한 펌웨어 퍼징 장치(110)에 의해 수행될 수 있다.

[0091] 우선, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 임의의 IoT 기기 내 설치된 펌웨어에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공한다(910).

[0092] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 복수의 시드 파일(130) 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성한다(920).

[0093] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징을 실행한다(930).

[0094] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 변이 기반 퍼징의 결과, 변이 기반 퍼징에 의해 새로운 경로가 발견되거나 크래시가 발생하는지 판단할 수 있다(940).

[0095] 이후, 펌웨어 퍼징 장치(110)는 새로운 경로가 발견되거나 크래시가 발생한 것으로 판단되는 경우, 변이 기반 퍼징을 실행하기 위해 사용된 테스트 케이스 및 변이 기반 퍼징과 관련된 리포트 정보를 저장할 수 있다(950).

[0096] 도시된 도 5 내지 도 9에서는 상기 방법을 복수 개의 단계로 나누어 기재하였으나, 적어도 일부의 단계들은 순서를 바꾸어 수행되거나, 다른 단계와 결합되어 함께 수행되거나, 생략되거나, 세부 단계들로 나뉘어 수행되거나, 또는 도시되지 않은 하나 이상의 단계가 부가되어 수행될 수 있다.

[0097] 도 10은 일 실시예에 따른 컴퓨팅 장치를 포함하는 컴퓨팅 환경(10)을 예시하여 설명하기 위한 블록도이다. 도시된 실시예에서, 각 컴포넌트들은 이하에 기술된 것 이외에 상이한 기능 및 능력을 가질 수 있고, 이하에 기술된 것 이외에도 추가적인 컴포넌트를 포함할 수 있다.

[0098] 도시된 컴퓨팅 환경(10)은 컴퓨팅 장치(12)를 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨팅 장치(12)는 펌웨어 퍼징 장치(110)일 수 있다.

[0099] 컴퓨팅 장치(12)는 적어도 하나의 프로세서(14), 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16) 및 통신 버스(18)를 포함한다. 프로세서(14)는 컴퓨팅 장치(12)로 하여금 앞서 언급된 예시적인 실시예에 따라 동작하도록 할 수 있다. 예컨대, 프로세서(14)는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)에 저장된 하나 이상의 프로그램들을 실행할 수 있다. 상기 하나 이상의 프로그램들은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 상기 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(14)에 의해 실행되는 경우 컴퓨팅 장치(12)로 하여금 예시적인 실시예에 따른 동작들을 수행하도록 구성될 수 있다.

[0100] 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)는 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보를 저장하도록 구성된다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)에 저장된 프로그램(20)은 프로세서(14)에 의해 실행 가능한 명령어의 집합을 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)는 메모리(랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 이들의 적절한 조합), 하나 이상의 자기 디스크 저장 디바이스들, 광학 디스크 저장 디바이스들, 플래시 메모리 디바이스들, 그 밖에 컴퓨팅 장치(12)에 의해 액세스되고 원하는 정보를 저장할 수 있는 다른 형태의 저장 매체, 또는 이들의 적합한 조합일 수 있다.

[0101] 통신 버스(18)는 프로세서(14), 컴퓨터 판독 가능 저장 매체(16)를 포함하여 컴퓨팅 장치(12)의 다른 다양한 컴포넌트들을 상호 연결한다.

[0102] 컴퓨팅 장치(12)는 또한 하나 이상의 입출력 장치(24)를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(22) 및 하나 이상의 네트워크 통신 인터페이스(26)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(22) 및 네트워크 통신 인터페이스(26)는 통신 버스(18)에 연결된다. 입출력 장치(24)는 입출력 인터페이스(22)를 통해 컴퓨팅 장치(12)의 다른 컴포넌트들에 연결될 수 있다. 예시적인 입출력 장치(24)는 포인팅 장치(마우스 또는 트랙패드 등), 키보드, 터치 입력 장치(터치패드 또는 터치스크린 등), 음성 또는 소리 입력 장치, 다양한 종류의 센서 장치 및/또는 촬영 장치와 같은 입력 장치, 및/또는 디스플레이 장치, 프린터, 스피커 및/또는 네트워크 카드와 같은 출력 장치를 포함할 수 있다. 예시적인 입출력 장치(24)는 컴퓨팅 장치(12)를 구성하는 일 컴포넌트로서 컴퓨팅 장치(12)의 내부에 포함될 수도 있고, 컴퓨팅 장치(12)와는 구별되는 별개의 장치로 컴퓨팅 장치(12)와 연결될 수도 있다.

[0103] 한편, 본 발명의 실시예는 본 명세서에서 기술한 방법들을 컴퓨터상에서 수행하기 위한 프로그램, 및 상기 프로그램을 포함하는 컴퓨터 판독 가능 기록매체를 포함할 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 기록매체는 프로그램 명령, 로컬 데이터 파일, 로컬 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나, 또는 컴퓨터 소프트웨어 분야에서 통상적으로 사용 가능한 것일 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD와 같은 광 기록 매체, 및 롬, 램, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특

별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 상기 프로그램의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함할 수 있다.

[0104] 이상에서 본 발명의 대표적인 실시예들을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 청구범위뿐만 아니라 이 청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

[0105] 10: 컴퓨팅 환경

12: 컴퓨팅 장치

14: 프로세서

16: 컴퓨터 판독 가능 저장 매체

18: 통신 버스

20: 프로그램

22: 입출력 인터페이스

24: 입출력 장치

26: 네트워크 통신 인터페이스

100: 펌웨어 퍼징 시스템

110: 펌웨어 퍼징 장치

111: 에뮬레이터

111-1: 시스템 모드 에뮬레이터

111-3: 사용자 모드 에뮬레이터

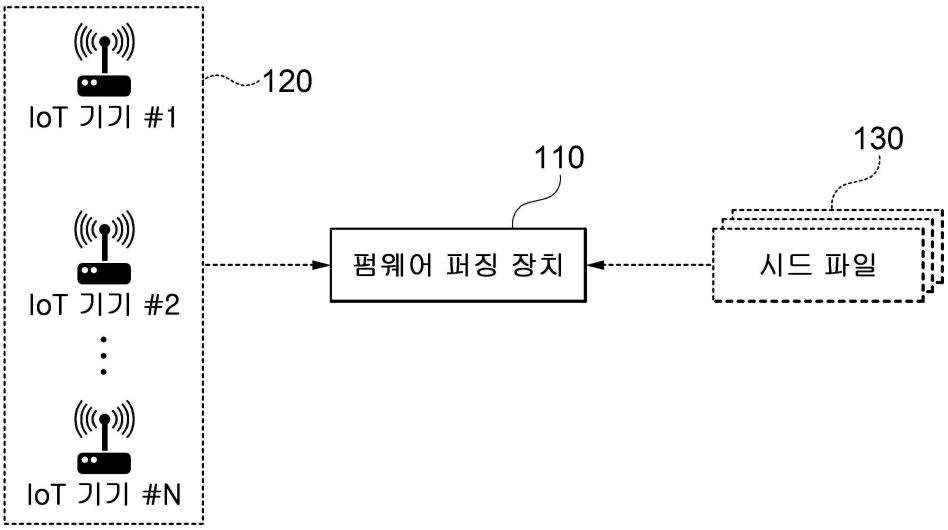
113: 생성부

115: 실행부

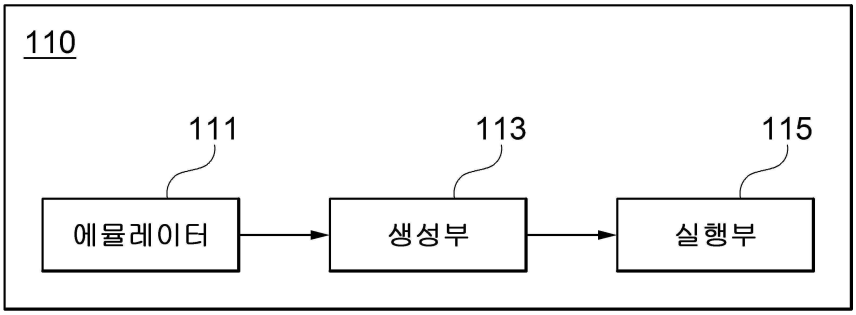
117: 제어부

도면

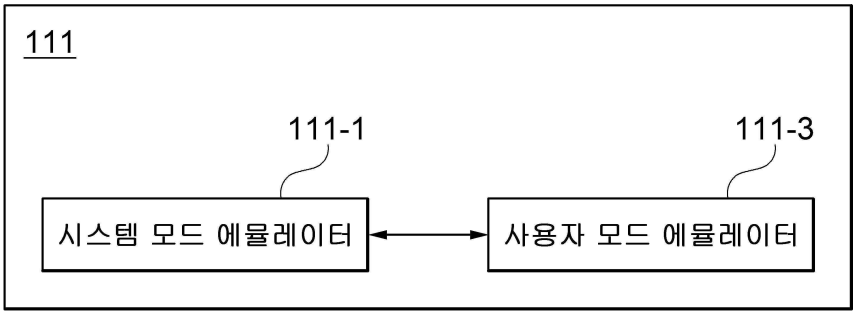
도면1



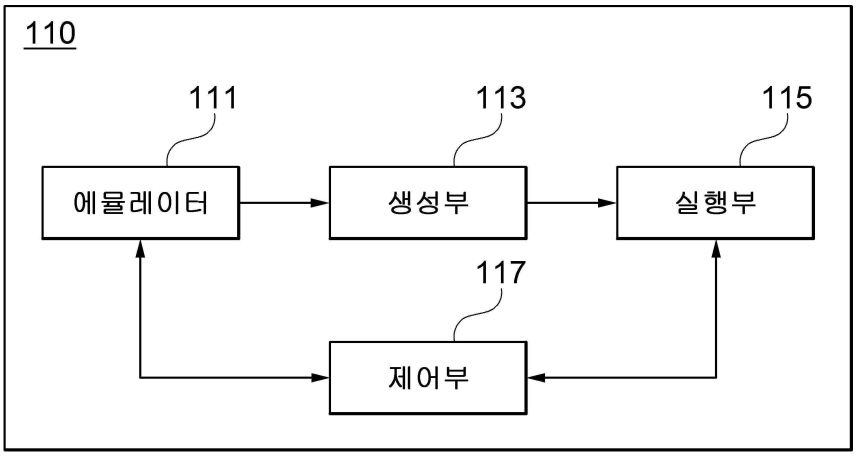
도면2



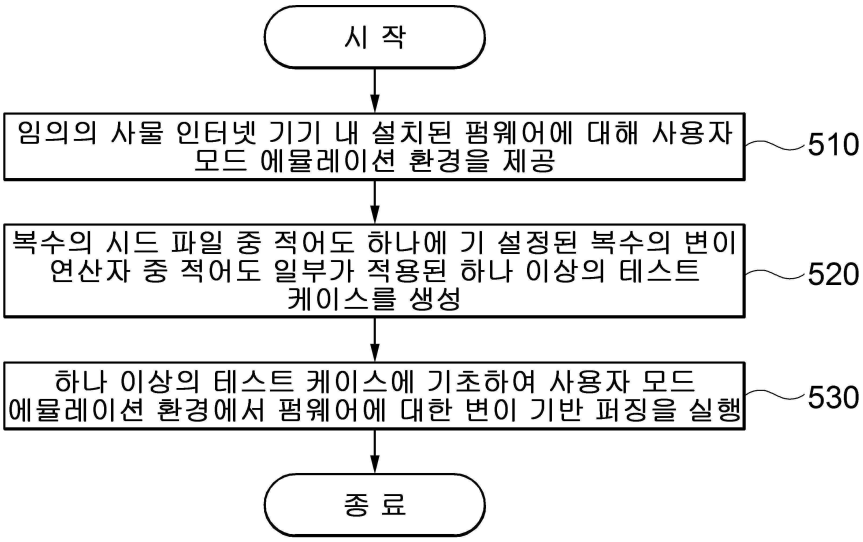
도면3



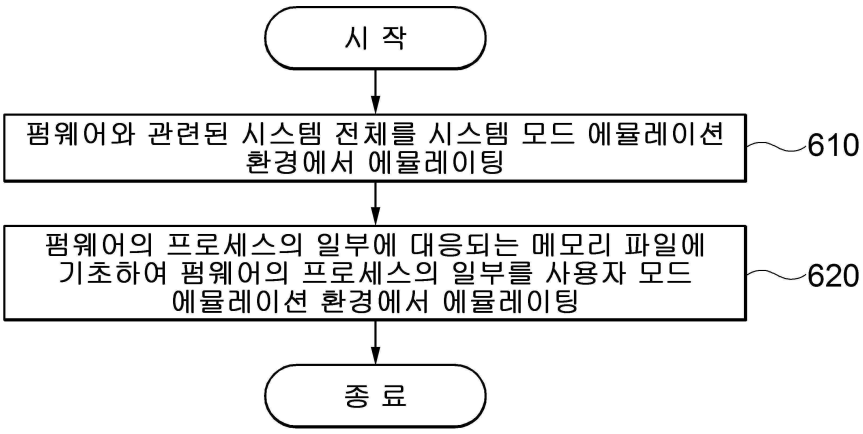
도면4


110
111
113
115
에뮬레이터
생성부
실행부
117
제어부

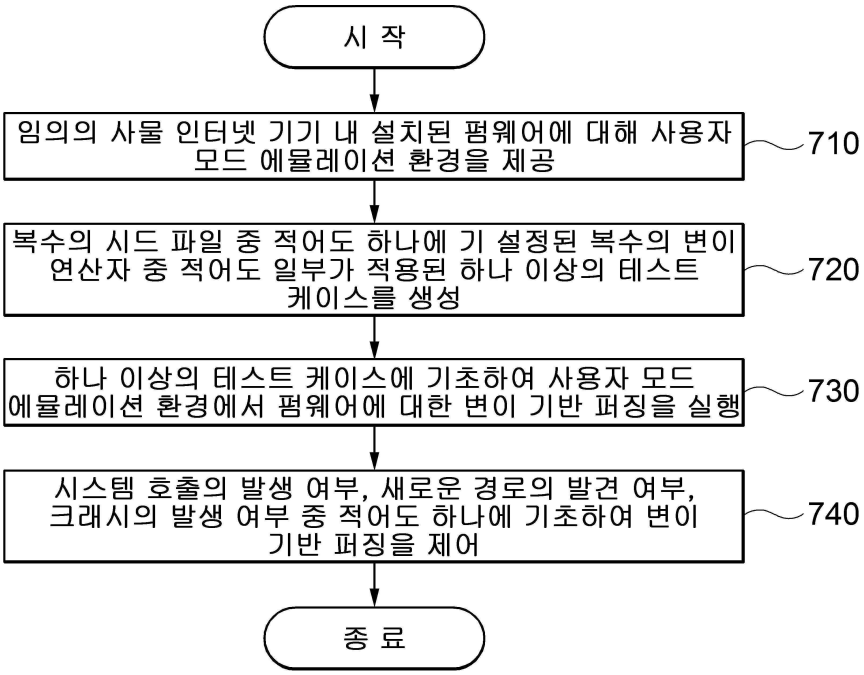
도면5


시 작
임의의 사물 인터넷 기기 내 설치된 펌웨어에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공
510
복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성
520
하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징을 실행
530
종 료

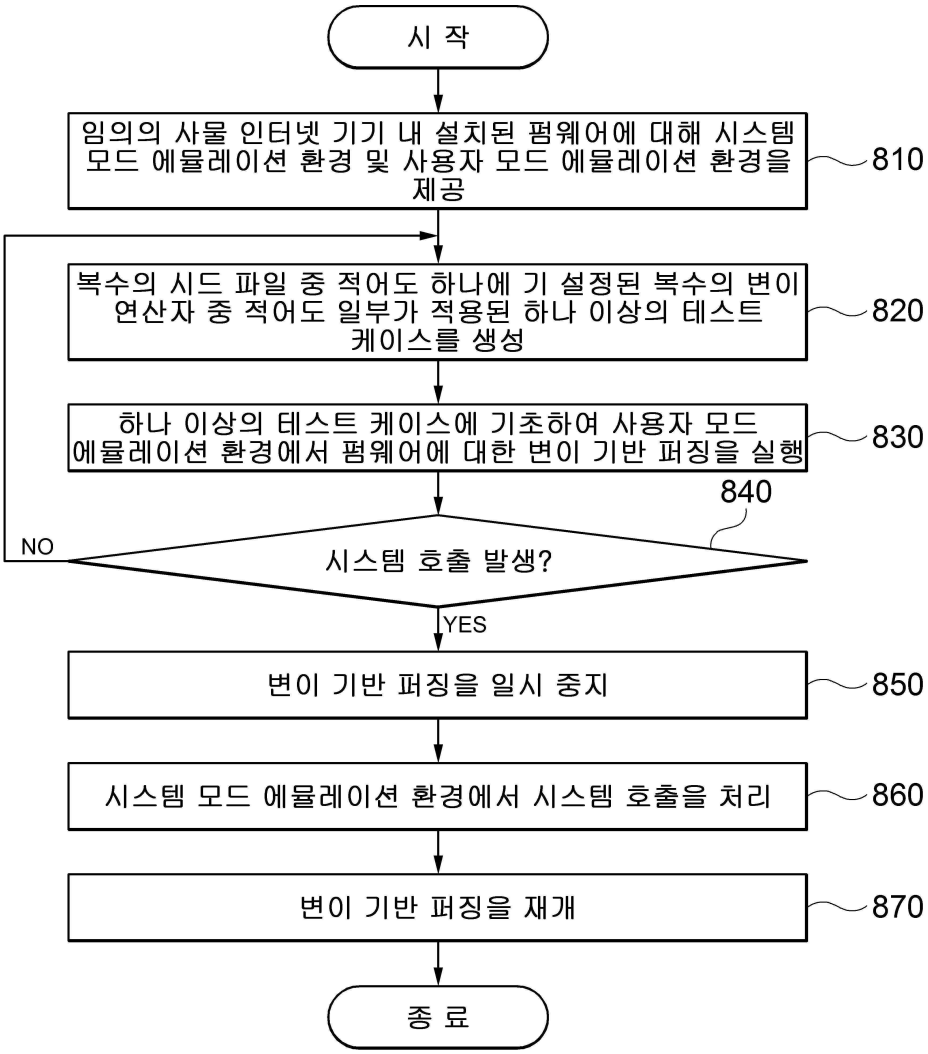
도면6


시 작
펌웨어와 관련된 시스템 전체를 시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅
610
펌웨어의 프로세스의 일부에 대응되는 메모리 파일에 기초하여 펌웨어의 프로세스의 일부를 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 에뮬레이팅
620
종 료

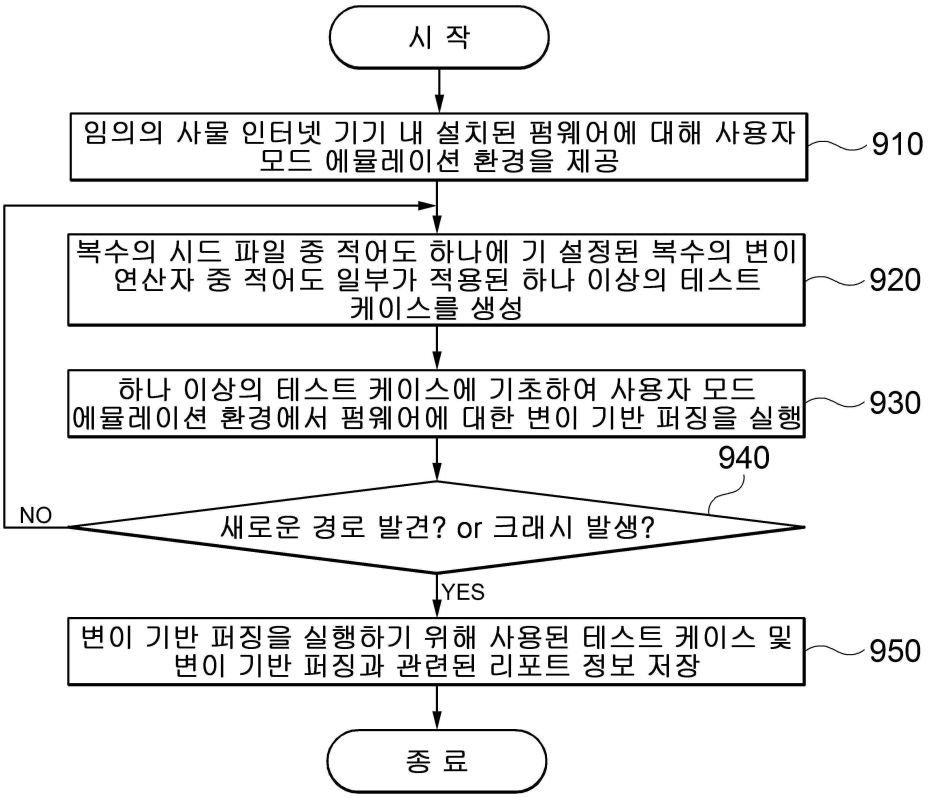
도면7


시 작
임의의 사물 인터넷 기기 내 설치된 펌웨어에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공
710
복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성
720
하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징을 실행
730
시스템 호출의 발생 여부, 새로운 경로의 발견 여부, 크래시의 발생 여부 중 적어도 하나에 기초하여 변이 기반 퍼징을 제어
740
종 료

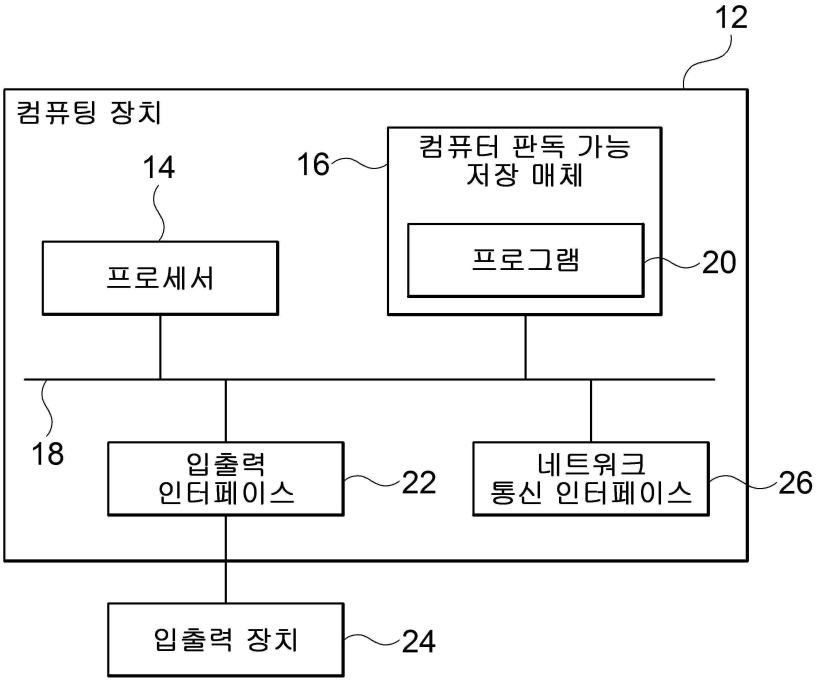
도면8


시 작
임의의 사물 인터넷 기기 내 설치된 펌웨어에 대해 시스템 모드 에뮬레이션 환경 및 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공
810
복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성
820
하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징을 실행
830
840
NO
시스템 호출 발생?
YES
변이 기반 퍼징을 일시 중지
850
시스템 모드 에뮬레이션 환경에서 시스템 호출을 처리
860
변이 기반 퍼징을 재개
870
종 료

도면9


시 작
임의의 사물 인터넷 기기 내 설치된 펌웨어에 대해 사용자 모드 에뮬레이션 환경을 제공
910
복수의 시드 파일 중 적어도 하나에 기 설정된 복수의 변이 연산자 중 적어도 일부가 적용된 하나 이상의 테스트 케이스를 생성
920
하나 이상의 테스트 케이스에 기초하여 사용자 모드 에뮬레이션 환경에서 펌웨어에 대한 변이 기반 퍼징을 실행
930
940
NO
새로운 경로 발견? or 크래시 발생?
YES
변이 기반 퍼징을 실행하기 위해 사용된 테스트 케이스 및 변이 기반 퍼징과 관련된 리포트 정보 저장
950
종 료

도면10


10
12
컴퓨팅 장치
14
16
컴퓨터 판독 가능 저장 매체
프로세서
프로그램
20
18
입출력 인터페이스
22
네트워크 통신 인터페이스
26
입출력 장치
24