



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0131581
(43) 공개일자 2023년09월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 9/50 (2018.01)

(52) CPC특허분류
G06F 9/5088 (2013.01)
G06F 9/5094 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0028632

(22) 출원일자 2022년03월07일
심사청구일자 2022년03월07일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자
황태원

서울특별시 송파구 올림픽로4길 42, 2동 1206호

임현우
경기도 안양시 동안구 학의로 20

(74) 대리인
권성현, 유광철, 백두진, 강일신, 김정연

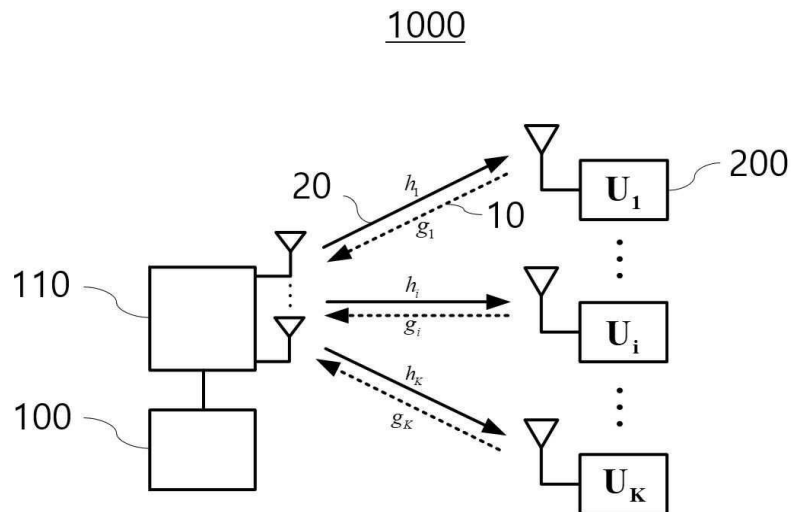
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 공간분할 다중접속 기반 에너지 효율성 향상을 위한 오프로딩 무선 통신 시스템

(57) 요약

본 발명의 오프로딩 무선 통신 시스템은 제1 데이터에 대해 연산 처리를 수행하는 디바이스로부터 상기 제1 데이터에 대한 연산 처리 결과인 제1 처리 데이터와 제2 데이터를 수신하고, 상기 제2 데이터에 대해 연산 처리를 수행하여 제2 처리 데이터를 생성하는 서버를 포함하고, 상기 서버는 상기 제1 처리 데이터 및 상기 제2 처리 데이터에 기초하여 오프로딩과 관련된 복수의 파라미터를 산출할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06F 2209/501 (2013.01)

G06F 2209/509 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711147283
과제번호	2019R1A2C1009826
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	V2X 통신을 위한 초저지연 대규모연결 기술 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

제1 데이터에 대해 연산 처리를 수행하는 디바이스로부터 상기 제1 데이터에 대한 연산 처리 결과인 제1 처리 데이터와 제2 데이터를 수신하고, 상기 제2 데이터에 대해 연산 처리를 수행하여 제2 처리 데이터를 생성하는 서버를 포함하고,

상기 서버는 상기 제1 처리 데이터 및 상기 제2 처리 데이터에 기초하여 오프로딩과 관련된 복수의 파라미터를 산출하는

오프로딩 무선 통신 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 서버는 상기 복수의 파라미터에 대한 정보를 상기 디바이스로 전송하고,

상기 디바이스는 수신한 상기 복수의 파라미터에 대한 정보에 기초하여 데이터 전송과 관련된 파라미터를 설정하는

오프로딩 무선 통신 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 서버는 상기 복수의 파라미터에 기초하여 데이터 수신과 관련된 파라미터 및 데이터 처리와 관련된 파라미터를 설정하는

오프로딩 무선 통신 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 복수의 파라미터는 상기 제2 데이터의 다운로드 시간, 상기 제2 데이터의 오프로드 시간, 상기 디바이스의 전송 전력, 로컬 CPU의 주파수, 상기 로컬 CPU의 컴퓨팅 시간 및 다운링크 빔포밍 벡터 중 적어도 하나를 포함하는

오프로딩 무선 통신 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 서버는 상기 제1 처리 데이터에 포함된 상기 디바이스가 계산한 비트 수 및 상기 디바이스의 에너지 소비량과, 상기 제2 처리 데이터에 포함된 상기 서버가 계산한 비트 수 및 상기 서버의 에너지 소비량에 기초하여, 오프로딩의 에너지 효율성을 산출하는

오프로딩 무선 통신 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 에너지 효율성 E_{eff} 는,

$$E_{eff} = \frac{B_1 + B_2}{E_1 + \beta E_2}$$

(B_1 : 디바이스가 계산한 비트 수, B_2 : 서버가 계산한 비트 수, E_1 : 디바이스의 에너지 소모량, E_2 : 기지국 및 서버의 에너지 소모량, β : 기지국 및 서버 에너지 기여 비율)
에 의해 산출되고,

상기 서버 에너지 기여 비율 β 는 0 내지 1 범위에서 변동 가능한
오프로딩 무선 통신 시스템.

청구항 7

서버의 오프로딩 무선 통신 방법에 있어서,

디바이스로부터 제1 데이터에 대한 연산 처리 결과인 제1 처리 데이터와 제2 데이터를 수신하는 단계;

상기 제2 데이터에 대해 연산 처리를 수행하여 제2 처리 데이터를 생성하는 단계; 및

상기 제1 처리 데이터 및 상기 제2 처리 데이터에 기초하여 오프로딩과 관련된 복수의 파라미터를 산출하는 단계를 포함하는

오프로딩 무선 통신 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 디바이스가 상기 복수의 파라미터에 기초하여 데이터 전송과 관련된 파라미터를 설정하도록, 상기 복수의 파라미터에 대한 정보를 상기 디바이스로 전송하는 단계를 더 포함하는

오프로딩 무선 통신 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 복수의 파라미터에 기초하여 데이터 수신과 관련된 파라미터 및 데이터 처리와 관련된 파라미터를 설정하는 단계를 더 포함하는

오프로딩 무선 통신 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 복수의 파라미터는 상기 제2 데이터의 다운로드 시간, 상기 제2 데이터의 오프로드 시간, 상기 디바이스의 전송 전력, 로컬 CPU의 주파수, 상기 로컬 CPU의 컴퓨팅 시간 및 다운로드 빔포밍 벡터 중 적어도 하나를 포함하는

오프로딩 무선 통신 방법.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 제1 처리 데이터에 포함된 상기 디바이스가 계산한 비트 수 및 상기 디바이스의 에너지 소비량과, 상기 제2 처리 데이터에 포함된 상기 서버가 계산한 비트 수 및 상기 서버의 에너지 소비량에 기초하여, 오프로딩의 에너지 효율성을 산출하는 단계를 더 포함하는

오프로딩 무선 통신 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 오프로딩의 에너지 효율성을 산출하는 단계는,

$$E_{eff} = \frac{B_1 + B_2}{E_1 + \beta E_2}$$

(B_1 : 디바이스가 계산한 비트 수, B_2 : 서버가 계산한 비트 수, E_1 : 디바이스의 에너지 소모량, E_2 : 기지국 및 서버의 에너지 소모량, β : 기지국 및 서버 에너지 기여 비율)

에 의해 에너지 효율성을 산출하는 단계; 및

상기 서버 에너지 기여 비율 β 를 0 내지 1 범위에서 설정하는 단계를 포함하는

오프로딩 무선 통신 방법.

청구항 13

제7항 내지 제12항 중 어느 한 항의 오프로딩 무선 통신 방법을 실행시키도록 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체에 기록된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 통신 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 효율적인 데이터 오프로딩을 위한 무선 통신 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 사물 인터넷의 발달로 스마트폰, 웨어러블 기기, 스마트 센서 등 모바일 기기의 인기가 높아지면서 모바일에서 새로운 어플리케이션을 실행하는 것에 대한 사용자들의 기대도 높아지고 있다. 그러나, 모바일 기기는 크기의 제한으로 인해 비교적 성능이 낮은 프로세서와 용량이 낮은 배터리를 가져, 고도의 연산과 저지연 서비스를 요구하는 새로운 어플리케이션을 실행시키기 어려운 문제가 있다.

[0003] 이러한 문제를 해결하기 위해, 모바일 기기가 계산 작업을 네트워크 엣지에 위치한 인근 엣지 서버로 오프로드할 수 있는 오프로딩 엣지 컴퓨팅이 활용되고 있다. 오프로딩 엣지 컴퓨팅 시스템에서, 모바일 기기는 일반적으로 에너지 공급이 제한적이기 때문에, 데이터 통신 및 컴퓨팅에 소모되는 에너지를 효율적으로 사용하는 것이 매우 중요하다. 따라서, 데이터 오프로딩에 사용되는 여러 변수를 최적화할 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 일 과제는 오프로딩과 관련된 복수의 파라미터를 산출하는 오프로딩 무선 통신 시스템에 관한 것이다.

과제의 해결 수단

[0005] 일 실시예에 따른 오프로딩 무선 통신 시스템은 제1 데이터에 대해 연산 처리를 수행하는 디바이스로부터 상기 제1 데이터에 대한 연산 처리 결과인 제1 처리 데이터와 제2 데이터를 수신하고, 상기 제2 데이터에 대해 연산 처리를 수행하여 제2 처리 데이터를 생성하는 서버를 포함하고, 상기 서버는 상기 제1 처리 데이터 및 상기 제2 처리 데이터에 기초하여 오프로딩과 관련된 복수의 파라미터를 산출할 수 있다.

[0006] 여기서, 상기 서버는 상기 복수의 파라미터에 대한 정보를 상기 디바이스로 전송하고, 상기 디바이스는 수신한 상기 복수의 파라미터에 대한 정보에 기초하여 데이터 전송과 관련된 파라미터를 설정할 수 있다.

[0007] 여기서, 상기 서버는 상기 복수의 파라미터에 기초하여 데이터 수신과 관련된 파라미터 및 데이터 처리와 관련된 파라미터를 설정할 수 있다.

[0008] 여기서, 상기 복수의 파라미터는 상기 제2 데이터의 다운로드 시간, 상기 제2 데이터의 오프로드 시간, 상기 디바이스의 전송 전력, 로컬 CPU의 주파수, 상기 로컬 CPU의 컴퓨팅 시간 및 다운로드 빔포밍 벡터 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0009] 여기서, 상기 서버는 상기 제1 처리 데이터에 포함된 상기 디바이스가 계산한 비트 수 및 상기 디바이스의 에너지 소비량과, 상기 제2 처리 데이터에 포함된 상기 서버가 계산한 비트 수 및 상기 서버의 에너지 소비량에 기초하여, 오프로딩의 에너지 효율성을 산출할 수 있다.

[0010] 여기서, 상기 에너지 효율성 E_{eff} 는,
$$E_{eff} = \frac{B_1 + B_2}{E_1 + \beta E_2}$$
 (B_1 : 디바이스가 계산한 비트 수, B_2 : 서버가 계산한 비트 수, E_1 : 디바이스의 에너지 소모량, E_2 : 기지국 및 서버의 에너지 소모량, β : 기지국 및 서버 에너지 기여 비율)에 의해 산출되고, 상기 서버 에너지 기여 비율 β 는 0 내지 1 범위에서 변동 가능할 수 있다.

[0012] 일 실시예에 따른 오프로딩 무선 통신 방법은 적어도 하나 이상의 프로세서에 의해 수행되는 오프로딩 무선 통신 방법에 있어서, 디바이스로부터 제1 데이터에 대한 연산 처리 결과인 제1 처리 데이터와 제2 데이터를 수신하는 단계; 상기 제2 데이터에 대해 연산 처리를 수행하여 제2 처리 데이터를 생성하는 단계; 및 상기 제1 처리 데이터 및 상기 제2 처리 데이터에 기초하여 오프로딩과 관련된 복수의 파라미터를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 여기서, 상기 디바이스가 상기 복수의 파라미터에 기초하여 데이터 전송과 관련된 파라미터를 설정하도록, 상기 복수의 파라미터에 대한 정보를 상기 디바이스로 전송하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0014] 여기서, 상기 복수의 파라미터에 기초하여 데이터 수신과 관련된 파라미터 및 데이터 처리와 관련된 파라미터를 설정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0015] 여기서, 상기 복수의 파라미터는 상기 제2 데이터의 다운로드 시간, 상기 제2 데이터의 오프로드 시간, 상기 디바이스의 전송 전력, 로컬 CPU의 주파수, 상기 로컬 CPU의 컴퓨팅 시간 및 다운로드 빔포밍 벡터 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0016] 여기서, 상기 제1 처리 데이터에 포함된 상기 디바이스가 계산한 비트 수 및 상기 디바이스의 에너지 소비량과, 상기 제2 처리 데이터에 포함된 상기 서버가 계산한 비트 수 및 상기 서버의 에너지 소비량에 기초하여, 오프로딩의 에너지 효율성을 산출하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0017] 여기서, 상기 오프로딩의 에너지 효율성을 산출하는 단계는,
$$E_{eff} = \frac{B_1 + B_2}{E_1 + \beta E_2}$$
 (B_1 : 디바이스가 계산한 비트 수, B_2 : 서버가 계산한 비트 수, E_1 : 디바이스의 에너지 소모량, E_2 : 기지국 및 서버의 에너지 소모량, β : 기지국 및 서버 에너지 기여 비율)에 의해 에너지 효율성을 산출하는 단계; 및 상기 서버 에너지 기여 비율 β 를 0 내지 1 범위에서 설정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 여기서, 상기 오프로딩 무선 통신 방법을 실행시키도록 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램이 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따르면 데이터를 분석하여 복수의 파라미터를 최적화하고, 최적화된 파라미터를 적용하여 데이터 오프로딩의 효율성을 증가시킬 수 있는 오프로딩 무선 통신 시스템이 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 일 실시예에 따른 오프로딩 무선 통신 시스템의 환경도이다.

도 2는 오프로딩 무선 통신 시스템의 데이터 오프로딩 과정을 시계열적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 일 실시예에 따른 오프로딩 무선 통신의 효율성을 향상시키기 위한 복수의 파라미터를 산출하는 방법의 순서도이다.

도 4는 일 실시예에 따른 최적화 파라미터를 산출하기 위한 과정 중 일부에 대한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 명세서에 기재된 실시예는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 사상을 명확히 설명하기 위한 것이므로, 본 발명이 본 명세서에 기재된 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 범위는 본 발명의 사상을 벗어나지 아니하는 수정예 또는 변형예를 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

[0022] 본 명세서에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하여 가능한 현재 널리 사용되고 있는 일반적인 용어를 선택하였으나 이는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자의 의도, 관례 또는 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 다만, 이와 달리 특정한 용어를 임의의 의미로 정의하여 사용하는 경우에는 그 용어의 의미에 관하여 별도로 기재할 것이다. 따라서 본 명세서에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌 그 용어가 가진 실질적인 의미와 본 명세서의 전반에 걸친 내용을 토대로 해석되어야 한다.

[0023] 본 명세서에 첨부된 도면은 본 발명을 용이하게 설명하기 위한 것으로 도면에 도시된 형상은 본 발명의 이해를 돕기 위하여 필요에 따라 과장되어 표시된 것일 수 있으므로 본 발명이 도면에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0024] 본 명세서에서 본 발명에 관련된 공지의 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에 이에 관한 자세한 설명은 필요에 따라 생략하기로 한다.

[0026] 도 1은 일 실시예에 따른 오프로딩 무선 통신 시스템의 환경도이다.

[0027] 도 1을 참조하면, 오프로딩 무선 통신 시스템(1000)은 서버(100) 및 하나 이상의 디바이스(200)를 포함할 수 있다. 서버(100)는 기지국(110) 및 기지국(110)의 하나 이상의 안테나를 통해 디바이스(200)와 통신할 수 있다.

[0028] 서버(100)는 하나 이상의 디바이스(200)와 연결되어, 서로 통신 신호를 주고받을 수 있다. 도 1에는 도시되어 있지 않지만, 서버(100)와 디바이스(200) 사이에는 이들의 통신을 중계하는 장치가 존재할 수도 있다. 예를 들어, 서버(100)와 디바이스(200) 사이에 또 다른 엣지 컴퓨팅 디바이스가 존재하여, 서버(100)와 디바이스(200)

사이의 통신 신호를 전달할 수 있다. 즉, 서버(100)와 디바이스(200)는 거리에 제한 없이 서로 통신할 수 있다.

- [0029] 일 실시예에 따르면, 서버(100)는 제어부, 통신부, 저장부 및 분석부를 포함할 수 있다. 그러나, 이들 구성 요소는 필수적인 것이 아니고, 서버(100)는 그보다 많은 구성 요소를 갖거나 그보다 적은 구성 요소를 가질 수 있다. 또한, 서버(100)의 각 구성 요소는 물리적으로 하나의 서버에 포함될 수도 있고, 각각의 기능 별로 분산된 분산 서버일 수 있다.
- [0030] 제어부는 서버(100)의 동작을 총괄할 수 있다. 구체적으로, 제어부는 통신부, 저장부 및 분석부에 제어 명령을 보내 각 부서의 동작을 실행할 수 있다.
- [0031] 이하에서 특별한 언급이 없는 경우에, 서버(100)의 동작은 제어부의 제어에 의해 수행되는 것으로 해석될 수 있다.
- [0032] 통신부는 서버(100)와 외부 기기를 연결하여 통신하도록 할 수 있다. 즉, 통신부는 외부 기기와 데이터를 송/수신할 수 있다. 예를 들어, 통신부는 디바이스(200)와 데이터를 주고받을 수 있다.
- [0033] 일 실시예에 따르면, 통신부는 디바이스(200)로부터 연산 대상이 되는 데이터를 수신할 수 있다. 예를 들어, 통신부가 디바이스(200)로부터 수신하는 데이터는 게임 실행을 위한 데이터, 동영상 처리와 관련된 데이터, 이미지 처리와 관련된 데이터 등 용량이 크고 데이터 처리가 복잡한 멀티미디어 데이터일 수 있다.
- [0034] 이와 같이 최근 복잡한 어플리케이션과 관련된 데이터는 디바이스(200) 내부에서 실시간으로 데이터를 처리할 수 없기 때문에, 디바이스(200)는 데이터의 일부를 서버(100)로 전송하여 서버(100)에 데이터 처리를 맡길 수 있다. 따라서, 서버(100)와 디바이스(200)에서 동시에 데이터를 처리함으로써, 어플리케이션의 실시간성을 보장할 수 있다.
- [0035] 통신부는 무선 통신 방식을 지원하는 통신 모듈일 수 있다. 예를 들어, 통신부는 와이파이(WiFi), 블루투스(Bluetooth), 지그비(Zigbee), BLE(Bluetooth Low Energy) 및 알에프아이디(RFID) 등의 통신 방식으로 외부 장치로부터 데이터를 획득할 수 있다.
- [0036] 저장부는 서버(100)가 동작하는데 필요한 각종 데이터 및 프로그램을 저장할 수 있다. 저장부는 서버(100)가 외부 장치로부터 획득하는 데이터, 서버(100)의 로컬 컴퓨터가 계산한 데이터 및 계산 과정에서의 전력 정보 등을 저장할 수 있다.
- [0037] 저장부는 데이터를 임시적으로 또는 반영구적으로 저장할 수 있다. 저장부의 예로는 하드디스크(HDD: Hard Disk Drive), SSD(Solid State Drive), 플래쉬 메모리(flash memory), 롬(ROM: Read-Only Memory), 램(RAM: Random Access Memory) 또는 클라우드 스토리지(Cloud Storage) 등이 있을 수 있다. 다만, 이에 한정되지 않고, 저장부는 데이터를 저장하기 위한 다양한 모듈로 구현될 수 있다. 저장부는 서버(100)에 내장되는 형태나 탈부착 가능한 형태로 제공될 수 있다.
- [0038] 분석부는 통신부에 의해 획득한 데이터를 분석 또는 연산하고, 데이터를 분류하고, 새로운 데이터를 생성할 수 있다. 이때, 분석부는 다양한 수학적식을 이용하여 변수를 계산하는 등 데이터 연산을 수행할 수 있다.
- [0039] 일 실시예에 따르면, 분석부는 연산하는 비트 수와 연산되는 데에 사용한 에너지를 산출할 수 있다. 구체적으로, 분석부는 로컬 CPU의 주사루와 프로세서 칩의 유효 정전 용량 계수 및 누수 전류 등을 이용하여 연산식에 의해 비트 수와 에너지를 산출할 수 있다.
- [0040] 또한, 분석부는 오프로딩을 위해 사용되는 에너지와 오프로딩을 통해 전송할 수 있는 비트수를 산출할 수 있다. 구체적으로, 분석부는 소비하는 회로 전력을 이용하여 오프로딩을 위해 사용되는 에너지를 계산하고, 시스템 대역 폭, 유효 업링크 채널 이득 등을 이용하여 오프로딩을 통해 전송할 수 있는 비트수를 산출할 수 있다.
- [0041] 또한, 분석부는 계산 작업을 수행할 때에 서버가 소비하는 에너지와 시간을 산출할 수 있다. 구체적으로, 분석부는 다운로드 신호, 데이터 신호 및 데이터 신호의 빔포밍 벡터 등을 이용하여 에너지 및 시간을 산출할 수 있다.
- [0042] 또한, 분석부는 오프로딩 무선 통신 시스템(1000)의 에너지 효율성을 산출할 수 있다. 구체적으로, 서버(100)와 디바이스(200)에서 연산된 비트수와 연산할 때에 소모되는 에너지에 기초하여 에너지 효율성을 산출할 수 있다.
- [0043] 또한, 분석부는 오프로딩의 효율성을 높이기 위해 복수의 파라미터를 산출할 수 있다. 구체적으로, 분석부는 여러 제약 조건 상황에서 복수의 파라미터에 대한 최적화된 수치를 계산할 수 있다.

- [0044] 디바이스(200)는 전자 장치로서 비교적 작은 용량을 가진 모바일 기기일 수 있다. 디바이스(200)는 하드웨어적으로 전기적인 신호를 처리하여 다양한 기능(통신, 저장, 분석 등)을 수행하는 CPU 칩 등의 전자 회로 형태로 제공될 수 있다. 또한, 디바이스(200)는 소프트웨어적으로 다양한 기능을 수행하도록 구성된 프로그램 형태로 제공될 수 있다.
- [0045] 오프로딩 무선 통신 시스템(1000)에서, 디바이스(200)는 처리할 데이터 중 일부는 디바이스(200) 내에서 처리하고, 나머지 일부를 서버(100)로 전송할 수 있다. 예를 들어, 디바이스(200)는 제1 데이터에 대해서는 디바이스(200) 내에서 연산 처리를 수행하고, 제2 데이터는 서버(100)로 전송할 수 있다. 이때, 디바이스(200)는 제2 데이터를 포함하는 제1 데이터 전송 신호(10)를 서버(100)로 전송할 수 있다.
- [0046] 서버(100)는 제1 데이터 전송 신호(10)를 수신하여, 제2 데이터에 대해 연산 처리를 수행할 수 있다. 서버(100)는 제2 데이터에 대해 연산 처리를 수행한 결과로 제2 처리 데이터를 생성할 수 있다. 디바이스(200)가 어플리케이션을 실행할 수 있도록, 서버(100)는 제2 처리 데이터를 디바이스(200)로 전송할 수 있다. 이때, 서버(100)는 제2 처리 데이터를 포함하는 제2 데이터 전송 신호(20)를 디바이스(200)로 전송할 수 있다.
- [0047] 서버(100)는 하나 이상의 디바이스에 대하여 데이터 처리를 수행할 수 있다. 서버(100)는 제1 디바이스(200), 제2 디바이스 내지 제N 디바이스 등 복수의 디바이스에 대하여 동시에 데이터를 송/수신하고, 데이터 처리를 수행할 수 있다. 이때, 서버(100)는 각 디바이스에서 수신한 데이터를 처리할 수 있도록, 메모리가 각 디바이스에 대응되도록 메모리를 할당할 수 있다.
- [0049] 도 2는 오프로딩 무선 통신 시스템의 데이터 오프로딩 과정을 시계열적으로 설명하기 위한 도면이다.
- [0050] 도 2를 참조하면, 오프로딩 무선 통신은 오프로딩 기간(D1), 로컬 CPU 컴퓨팅 기간(D2) 및 계산 결과 다운로드 기간(D3)에 의해 수행될 수 있다. 이들 기간은 시계열적으로 D1, D2 이후 D3의 순서로 진행될 수 있다.
- [0051] 오프로딩 기간(D1)은 디바이스(200)가 서버(100)로 전송할 데이터를 생성하는 과정 및 서버(100)가 상기 데이터를 수신하는 과정이 수행되는 기간일 수 있다. 이때, 서버(100)는 기지국(110)에 연결된 복수의 안테나를 통해 공간분할 다중접속 방식을 사용하여 하나 이상의 디바이스로부터 동시에 데이터를 수신할 수 있다.
- [0052] 디바이스(200)가 서버(100)로 전송할 데이터를 생성하는 과정은 어플리케이션 실행을 위해 처리해야 할 데이터 중 일부 데이터를 분할하는 과정일 수 있다. 또한 이때, 디바이스(200)는 데이터 처리 대상 데이터와 데이터 처리를 위해 필요한 정보를 모두 포함하는 별도의 데이터를 생성하는 과정일 수 있다.
- [0053] 로컬 CPU 컴퓨팅 기간(D2)은 서버(100)가 수신한 데이터에 대해 데이터 처리 과정을 수행하는 기간일 수 있다. 서버(100)는 D2 기간 동안 로컬 CPU를 선택하고, 선택한 로컬 CPU에 데이터를 할당할 수 있다.
- [0054] D2 기간 동안, 로컬 CPU는 디바이스(200)로부터 수신한 데이터를 연산하고, 연산한 결과 데이터를 생성할 수 있다. 서버(100) 또는 로컬 CPU는 연산 과정에서 사용된 에너지와 계산된 비트 수에 대한 정보를 저장부에 계속적으로 저장할 수 있다.
- [0055] 계산 결과 다운로드 기간(D3)은 로컬 CPU가 계산한 데이터 처리 결과 데이터를 서버(100)의 통신부를 통해 디바이스(200)로 전송하는 기간일 수 있다. 또한 D3 기간은 서버(100)가 통신부를 통해 디바이스(200)로부터 디바이스(200) 자체적으로 계산한 비트 수와 계산하는 데에 소모한 에너지에 대한 정보를 수신하는 기간일 수 있다.
- [0056] 서버(100)는 D3 기간 동안 또는 D3 기간 이후에, 로컬 CPU의 데이터 처리 결과 및 디바이스(200)의 데이터 처리 결과에 기초하여, 오프로딩 시스템과 관련된 복수의 파라미터를 최적화하기 위한 연산 과정을 수행할 수 있다.
- [0058] 도 3은 일 실시예에 따른 오프로딩 무선 통신의 효율성을 향상시키기 위한 복수의 파라미터를 산출하는 방법의 순서도이다.
- [0059] 도 3을 참조하면, 일 실시예에 따른 복수의 파라미터를 산출하는 방법은 제1 처리 데이터 및 제2 데이터를 수신하는 단계(S110), 제2 처리 데이터를 생성하는 단계(S120), 에너지 효율성을 산출하는 단계(S130), 복수의 파라미터를 산출하는 단계(S140) 및 파라미터를 설정하는 단계(S150)를 포함할 수 있다.
- [0060] 제1 처리 데이터 및 제2 데이터를 수신하는 단계(S110)는 서버(100)가 디바이스(200)로부터 제1 처리 데이터 및 제2 데이터를 수신하는 단계일 수 있다. 이때, 서버(100)는 디바이스(200)로부터 제1 처리 데이터 및 제2 데이터

터를 동시에 수신할 수도 있고, 둘 중 일부를 먼저 수신할 수도 있다. 바람직하게는, 어플리케이션 실행에 대해 저지연 서비스를 제공하기 위해, 디바이스(200)는 제1 데이터를 처리하기 전에 제2 데이터를 서버(100)로 전송할 수 있다.

[0061] 구체적으로, 디바이스(200)는 제1 데이터에 대해 연산 처리를 수행하고, 제1 처리 데이터를 생성할 수 있다. 이때, 제1 처리 데이터에는 제1 데이터에 기초하여 계산한 데이터 및 제1 데이터를 처리하는 데에 사용된 에너지와 관련된 정보를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 처리 데이터는 제1 데이터에 기초하여 계산한 비트 수, 제1 데이터를 처리하는 데에 사용한 에너지량 등을 포함할 수 있다.

[0062] 제2 데이터는 특정 어플리케이션을 실행하기 위해 처리해야 할 데이터 중 일부일 수 있다. 즉, 디바이스(200)는 특정 어플리케이션을 실행하기 위해 처리해야 할 데이터를 제1 데이터 및 제2 데이터로 분할하여, 그 중 일부인 제1 데이터는 디바이스(200)내에서 처리하고, 제2 데이터는 서버(100)가 처리하도록 서버(100)로 전송할 수 있다. 또한, 디바이스(200)는 특정 어플리케이션을 실행하기 위해 처리해야 할 데이터를 2개가 아닌 3개 이상의 데이터로 분할하여 서버(100) 또는 다른 디바이스와 함께 처리할 수도 있다.

[0063] 제2 처리 데이터를 생성하는 단계(S120)는 서버(100)가 디바이스(200)로부터 수신한 제2 데이터에 대하여 데이터 처리를 수행하는 단계일 수 있다. 구체적으로, 단계 S120은 서버(100) 내의 로컬 CPU가 제2 데이터에 대하여 데이터 처리를 수행하는 단계일 수 있다.

[0064] 서버(100) 또는 로컬 CPU는 제2 데이터에 대해 연산 처리를 수행하고, 제2 처리 데이터를 생성할 수 있다. 이때, 제2 처리 데이터에는 제2 데이터에 기초하여 계산한 데이터 및 제2 데이터를 처리하는 데에 사용된 에너지와 관련된 정보를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 처리 데이터는 제2 데이터에 기초하여 계산한 비트 수, 제2 데이터를 처리하는 데에 사용한 에너지량 등을 포함할 수 있다.

[0065] 에너지 효율성을 산출하는 단계(S130)는 서버(100)가 디바이스(200)로부터 수신한 제1 처리 데이터 및 서버(100)의 로컬 CPU가 데이터 처리한 결과인 제2 처리 데이터에 기초하여 데이터 처리에 대한 에너지 효율성을 산출하는 단계일 수 있다.

[0066] 에너지 효율성 E^{eff} 를 산출하는 과정을 이하에서 점진적으로 설명한다. 여기서, 디바이스(200)의 계산 회로는 통신 회로와 분리된 것으로 가정한다. 즉, 디바이스(200)는 컴퓨팅과 오프로딩을 동시에 수행할 수 있는 것으로 가정한다. 또한, U_i 는 는 도 1에 표시된 바와 같이, i번째 디바이스를 의미하는 것일 수 있다.

[0067] τ_i' 이 U_i 의 로컬 계산 시간일 때, 로컬 계산 시간은 $0 \leq \tau_i' \leq T$ 를 만족할 수 있다. C_i 가 U_i 의 계산 작업 1비트를 계산하는데 소모되는 CPU 사이클의 수이고, f_i 가 U_i 의 로컬 CPU 주파수일 때, U_i 가 로컬 컴퓨팅을 통해 계산하는 비트 수는 아래 [수학식 1]과 같이 정의되고, 소모 에너지는 아래 [수학식 2]와 같이 정의될 수 있다.

[0068] [수학식 1]

$$B_{loc,i} = \frac{f_i \tau_i^l}{C_i}$$

[0069]

[0070] [수학식 2]

$$E_{loc,i} = (k_i f_i^3 + p_i^{l,c}) \tau_i^l$$

[0071]

[0072] 여기서, k_i 는 U_i 에서 프로세서 칩의 유효 정전용량 계수이고, $p_i^{l,c}$ 는 누수 전류에 의해 소비되는 전력이다.

[0073] 디바이스 계산 작업의 오프로딩 및 다운로드를 위해, 디바이스(200)는 공간분할 다중접속 방식(SDMA: Spatial

Division Multiple Access)을 사용할 수 있다. 디바이스(200)는 공간분할 다중접속 방식을 기반으로 하여 도 2와 같이 동시 접속을 수행할 수 있다. 이때, 디바이스 테이터의 오프로드와 다운로드에 각각 $\tau^u \in (0, T)$ 와 $\tau^d \in (0, T)$ 의 시간이 할당될 수 있다.

오프로딩을 위한 U_i 의 전송 전력을 p_i^u ($p_i^u \in [0, P_i]$, P_i 는 U_i 의 최대 전송 전력)라 할 때, 오프로딩을 위해 U_i 에 의해 소비되는 에너지는 [수학식 3]과 같이 정의될 수 있다.

[수학식 3]

$$E_{off,i}^{sdma} = (p_i^u + p_i^{t,c}) \tau^u$$

이때, $p_i^{t,c}$ 는 U_i 가 소비하는 회로 전력이다. 여기서, 기지국(110)은 제로 포싱(zero-forcing) 수신기 $Z = (G^H G)^{-1} G^H$ 를 사용한다고 가정하며, $G = [g_1, \dots, g_K]$ 일 수 있다. 계산 오프로딩을 통해 U 가 전송할 수 있는 비트 수는 [수학식 4]와 같이 계산될 수 있다.

[수학식 4]

$$B_{off,i}^{sdma} = W \tau^u \log_2(1 + \gamma_i^{sdma} p_i^u)$$

이때, W 는 시스템 대역폭이고, $\gamma_i^{sdma} = \frac{1}{\sigma^2 \|z_i^H\|^2}$ 는 유효 업링크 채널 이득이며, σ^2 과 z_i^H 는 각각 기지국 잡음 세기와 Z 의 i 번째 행을 의미한다.

오프로드 시간 동안, 기지국(110)은 오프로드된 비트를 수신하기 위해 $M p_{AP}^{r,c} \tau^u$ 의 에너지를 소비할 수 있다. 여기서, $p_{AP}^{r,c}$ 는 기지국이 신호를 수신하기 위한 기지국 안테나당 회로 전력 소비량이다.

다음으로 서버(100)는 U_i 의 작업을 수행하고, 비트의 출력 결과를 생성할 수 있다. O 가 U 의 계산 작업의 단위 입력 비트당 출력 비트 수라고 할 때, U_i 의 계산 작업을 실행하기 위해 서버(100)가 소비하는 에너지는 아래 [수학식 5]로 정의되고, 소비하는 시간은 아래 [수학식 6]으로 정의될 수 있다.

[수학식 5]

$$E_i^c = k_M C_i B_{off,i}^{sdma} f_M^2 = \zeta_i \tau^u \log_2(1 + \gamma_i^{sdma} p_i^u)$$

[수학식 6]

$$\tau_i^c = \frac{C_i B_{off,i}^{sdma}}{f_M} = \frac{C_i W \tau^u \log_2(1 + \gamma_i^{sdma} p_i^u)}{f_M}$$

계산 결과를 전송하기 위해, 기지국(110)에서 디바이스(200)로 보내는 다운로드 신호는 $x_0 = \sum_{i=1}^K v_i s_i$ 일 수 있다.

다. 이때, \mathbf{s}_i 는 U_i 에게 전송하는 데이터 신호이고, \mathbf{v}_i 는 해당 데이터 신호의 빔포밍 벡터이다. 계산 결과를 전송하기 위해 기지국(110)이 소비하는 에너지는 아래 [수학식 7]과 같이 정의될 수 있다.

[수학식 7]

$$r^d \left(\sum_{i=1}^K \|\mathbf{v}_i\|^2 + M p_{AP}^{t,c} \right)$$

여기서, $p_{AP}^{t,c}$ 는 기지국 안테나당 회로 전력 소비량일 수 있다.

또한, 다운로드 시간 τ^d 동안 기지국(110)이 U_i 로 전송할 수 있는 비트의 수는 아래 [수학식 8]과 같이 정의될 수 있다.

[수학식 8]

$$B_{dn,i}^{sdma} = W \tau^d \log_2 \left(1 + \frac{|\mathbf{v}_i^H \mathbf{h}_i|^2}{\sum_{k \neq i} |\mathbf{v}_k^H \mathbf{h}_i|^2 + \sigma^2} \right)$$

계산된 결과를 수신하기 위해 U_i 가 소비하는 에너지는 $p_i^{r,c} \tau^d$ 일 수 있고, 이때 $p_i^{r,c}$ 는 U_i 가 수신 신호 처리를 위해 소모하는 전력이다.

최종적으로, 오프로딩 무선 통신 시스템(1000)의 총 에너지 소비량에 대한 계산 비트의 비율로 정의되는 오프로딩 무선 통신 시스템(1000)의 에너지 효율성은 아래 [수학식 9]와 같이 정의될 수 있다.

[수학식 9]

$$\eta^{sdma} = \frac{\sum_{i=1}^K \left[\frac{f_i \tau_i^l}{C_i} + W \tau^u \log_2 (1 + \gamma_i^{sdma} p_i^u) \right]}{\sum_{i=1}^K [(k_i f_i^3 + p_i^{l,c}) \tau_i^l + (p_i^u + p_i^{l,c}) \tau^u + p_i^{r,c} \tau^d] + \beta \sum_{i=1}^K [\zeta_i \tau^u \log_2 (1 + \gamma_i^{sdma} p_i^u) + \tau^d (\|\mathbf{v}_i\|^2 + \frac{M p_{AP}^{t,c}}{K}) + \frac{M p_{AP}^{r,c} \tau^u}{K}]}$$

여기서, β 는 에너지 효율성에서 기지국 및 엣지 서버의 에너지 소비량이 전체 엣지 컴퓨팅 시스템의 에너지 소비량에서 차지하는 비율이다. 즉, β 는 기지국 및 서버 에너지 기여 비율일 수 있고, 0 내지 1 사이의 값을 가질 수 있다. 예를 들어, β 가 0일 경우는 기지국(110) 및 서버(100)의 에너지 소비를 에너지 효율성에 고려하지 않는 경우를 의미하는 것일 수 있다.

[수학식 9]의 에너지 효율성 η^{sdma} 는 E_{eff} 로도 쓰일 수 있다. [수학식 9]의 에너지 효율성은 의미를 고려하여, 아래 [수학식 10]으로 간단히 나타낼 수 있다.

[수학식 10]

$$E_{eff} = \frac{B_1 + B_2}{E_1 + \beta E_2}$$

(E_{eff} : 에너지 효율성, B_1 : 디바이스가 계산한 비트 수, B_2 : 서버가 계산한 비트 수, E_1 : 디바이스의

에너지 소모량, E_2 : 기지국 및 서버의 에너지 소모량, β : 기지국 및 서버 에너지 기여 비율)

[0103] 복수의 파라미터를 산출하는 단계(S140)는 단계 S130에서 산출한 에너지 효율성에 기초하여, 제약 조건 하에서 서버(100)가 최적화된 복수의 파라미터를 산출하는 단계일 수 있다. 구체적으로, 서버(100)는 [수학식 9] 또는 [수학식 10]의 에너지 효율성과 아래 [제약 조건]에 기초하여, 복수의 파라미터를 최적화할 수 있다.

[0104] 이때, 복수의 파라미터는 오프로딩 무선 통신 시스템(1000)의 에너지 효율성과 관련된 변수로서, 처리하는 데이터의 종류 및 내용과 무관하게 시스템(1000)의 처리 시간, 사용 전력, CPU 주파수, 빔포밍 벡터 등과 관련된 것일 수 있다.

[0105] 구체적으로, 복수의 파라미터는 다운로드 시간 τ^d , 오프로딩 시간 τ^u , 사용자의 전송 전력 P_i^u , 로컬 CPU 주파수 f_i , 로컬 컴퓨팅 시간 τ_i^l 및 다운링크 빔포밍 벡터 \mathbf{v}_i 를 포함할 수 있다. 즉, 서버(100)가 풀어야 할 최적화 변수의 집합은 $x = \{\tau^d, \tau^u, P_i^u, f_i, \tau_i^l, \mathbf{v}_i \mid i \in K\}$ 로 정의될 수 있다.

[0106] [제약 조건]

$$\max_x \eta^{sdma}(x)$$

$$s.t. C1: (k_i f_i^3 + p_i^{lc}) \tau_i^l + (p_i^u + p_i^{lc}) \tau^u + p_i^{rc} \tau^d \leq E_i, i \in K,$$

$$C2: \frac{f_i \tau_i^l}{C_i} + W \tau^u \log_2(1 + \gamma_i^{sdma} P_i^u) \geq R_{\min,i}, i \in K,$$

$$C3: \tau^d \log_2(1 + \frac{|\mathbf{v}_i^H \mathbf{h}_i|^2}{\sum_{k \neq i} |\mathbf{v}_k^H \mathbf{h}_i|^2 + \sigma^2}) \geq O_i \tau^u \log_2(1 + \gamma_i^{sdma} P_i^u), i \in K,$$

$$C4: \sum_{i=1}^K \|\mathbf{v}_i\|^2 \leq P_A,$$

$$C5: 0 \leq P_i^u \leq P_i, i \in K,$$

$$C6: \tau^u + \sum_{i=1}^K \frac{C_i W \tau^u \log_2(1 + \gamma_i^{sdma} P_i^u)}{f_M} + \tau^d \leq T,$$

$$C7: \tau^u \geq 0, \tau^d \geq 0, f_i \geq 0, 0 \leq \tau_i^l \leq T, i \in K,$$

[0115] 여기서, E_i 는 U_i 의 최대 사용 가능한 에너지이고, $R_{\min,i}$ 는 U_i 에 대한 최소 계산 비트 수이며, P_A 는 기지국의 최대 전송 전력이다. 또한 C1, C2, C3, C4, C5, C6는 각 디바이스의 에너지 제약조건, 디바이스의 최소 계산 비트 수 제약조건, 다운로드 비트 수 제약조건, 기지국의 전송 전력 제약조건, 디바이스의 전송 전력 제약조건, 총 시간 제약조건이다.

[0116] 서버(100)는 C1 내지 C7의 제약 조건 하에서 [수학식 9]의 에너지 효율성을 최적화하기 전, 비볼록 문제를 해결하기 위해 보조 변수를 도입할 수 있다. 구체적으로, 위의 에너지 효율성에 대해 변수들을 최적화하는 것은 분수 형태의 목적 함수와 제어 변수의 곱 항(product term)으로 인해 비볼록(non-convex)하는 문제가 존재한다. 따라서, 비볼록 문제를 해결하기 위해, 서버(100)는 아래 [보조 변수]를 도입할 수 있다.

[0117] [보조 변수]

$$[0118] \quad i) S_i = \tau^d \mathbf{v}_i \mathbf{v}_i^H \geq 0$$

$$[0119] \quad ii) \mathbf{e}_i^u = \tau^u \mathbf{p}_i^u,$$

$$[0120] \quad iii) b_i = \tau^u \log_2(1 + \gamma_i^{sclma} \mathbf{p}_i^u)$$

$$[0121] \quad iv) \Gamma_i = \text{tr}(\mathbf{H}_i S_i)$$

$$[0122] \quad v) \Gamma_{i,l} = \sum_{k \neq i}^K \text{tr}(\mathbf{H}_k S_i)$$

[0123] 여기서, $\mathbf{H}_i = \mathbf{h}_i \mathbf{h}_i^H$ 이다. 위의 보조 변수들을 활용하여 [수학식 9] 및 [제약 조건]의 문제는 아래와 같이 [수학식 11]로 다시 쓸 수 있다.

[0124] [수학식 11]

$$[0125] \quad \max_{\mathbf{y}} \quad \eta^{sclma}(\mathbf{y})$$

$$[0126] \quad s.t. C1: (k_i f_i^3 + p_i^{l,c}) \tau_i^l + e_i^u + p_i^{l,c} \tau^u + p_i^{r,c} \tau^d \leq E_i, i \in K,$$

$$[0127] \quad C2: \frac{f_i \tau_i^l}{C_i} + W b_i \geq R_{\min,i}, i \in K,$$

$$[0128] \quad C3: \tau^d \log_2(1 + \frac{\frac{\Gamma_i}{\tau^d}}{\frac{\Gamma_{i,l}}{\tau^d} + \sigma^2}) \geq O_i b_i, i \in K$$

$$[0129] \quad C4: \sum_{i=1}^K \text{tr}(S_i) \leq \tau^d P_A,$$

$$[0130] \quad C5: 0 \leq e_i^u \leq \tau^u p_i, i \in K,$$

$$[0131] \quad C6: \tau^u + \sum_{i=1}^K \frac{C_i W b_i}{f_M} + \tau^d \leq T,$$

$$[0132] \quad C7: \tau^u \geq 0, \tau^d \geq 0, f_i \geq 0, 0 \leq \tau_i^l \leq T,$$

$$[0133] \quad C8: \tau^u \log_2(1 + \frac{\gamma_i^{sclma} e_i^u}{\tau^u}) \geq b_i, i \in K,$$

$$[0134] \quad C9: \text{tr}(\mathbf{H}_i S_i) \geq \Gamma_i, i \in K,$$

$$[0135] \quad C10: \sum_{k \neq i}^K \text{tr}(\mathbf{H}_i S_k) \leq \Gamma_{i,l}, i \in K,$$

$$C11: S_i \geq 0, i \in K,$$

여기서, $y = \{\tau^d, \tau^u, e_i^u, f_i, \tau_i^l, b_i, \Gamma_{i,l}, S_i \mid i \in K\}$ 이다. 로컬 컴퓨팅 에너지 e_i^L 을 도입하여 [수학식 11]의 문제를 아래 [수학식 12]의 내층 문제와 아래 [수학식 13]의 외층 문제로 나누어 변환할 수 있다.

내층 문제는 주어진 로컬 컴퓨팅 에너지 e_i^L 에 대한 로컬 컴퓨팅 주파수 f_i 와 로컬 컴퓨팅 시간 τ_i^l 을 최적화하여 로컬 컴퓨팅 비트 b_i^L 을 최대화하기 위한 것이다. 외층 문제는 e_i^L 을 최적화하여 에너지 효율성을 최대화하기 위한 것이다. 구체적으로 내층 문제와 외층 문제는 다음과 같이 쓸 수 있다.

[수학식 12]

$$b_i^L(e_i^L) = \max_{f_i, \tau_i^l} \frac{f_i \tau_i^l}{C_i}$$

$$s.t. (k_i f_i^3 + p_i^{l,c}) \tau_i^l \leq e_i^L$$

$$f_i \geq 0, 0 \leq \tau_i^l \leq T$$

[수학식 13]

$$\max_z \frac{\sum_{i=1}^K A_i(z)}{\sum_{i=1}^K B_i(z)}$$

$$s.t. C1: e_i^L + e_i^u + p_i^{t,c} \tau^u + p_i^{r,c} \tau^d \leq E_i, i \in K$$

$$C2: b_i^L(e_i^L) + W b_i \geq R_{\min,i}, i \in K$$

$$C7: \tau^u \geq 0, \tau^d \geq 0, e_i^L \geq 0, i \in K$$

$$C3-C6, C8-C11$$

여기서, 최적화 변수는 $z = \{\tau^u, \tau^d, e_i^u, e_i^L, b_i, \Gamma_i, \Gamma_{i,l}, S_i \mid i \in K\}$ 이고, 목표함수의 분자와 분모는 각각 다음과 같다.

$$A_i(z) = b_i^L(e_i^L) + W b_i$$

$$B_i(z) = e_i^L + e_i^u + p_i^{t,c} \tau^u + p_i^{r,c} \tau^d + \beta(\zeta_i b_i + tr(S_i) + \frac{M p_{AP}^{t,c} \tau^d + M p_{AP}^{r,c} \tau^u}{K})$$

내층 문제의 솔루션 f_i 와 τ_i^l , 그리고 최적의 목표함수 값 b_i^L 은 아래의 [수학식 14] 내지 [수학식 16]과 같이 얻을 수 있다.

[0153] [수학식 14]

$$f_i^* = \begin{cases} \left(\frac{p_i^{l,c}}{2k_i}\right)^{1/3}, & e_i^L < \frac{3p_i^{l,c}}{2}T \\ \left(\frac{e_i^L}{k_iT} - \frac{p_i^{l,c}}{k_i}\right)^{1/3}, & e_i^L \geq \frac{3p_i^{l,c}}{2}T \end{cases}$$

[0154]

[0155] [수학식 15]

$$(\tau_i^L)^* = \begin{cases} \frac{2e_i^L}{3p_i^{l,c}}, & e_i^L < \frac{3p_i^{l,c}}{2}T \\ T, & e_i^L \geq \frac{3p_i^{l,c}}{2}T \end{cases}$$

[0156]

[0157] [수학식 16]

$$b_i^L(e_i^L) = \begin{cases} \frac{1}{C_i} \left(\frac{p_i^{l,c}}{2k_i}\right)^{1/3} \frac{2e_i^L}{3p_i^{l,c}}, & e_i^L < \frac{3p_i^{l,c}}{2}T \\ \frac{T}{C_i} \left(\frac{e_i^L}{k_iT} - \frac{p_i^{l,c}}{k_i}\right)^{1/3}, & e_i^L \geq \frac{3p_i^{l,c}}{2}T \end{cases}$$

[0158]

[0159] 외층 문제는 분수 프로그래밍으로서 b_i^L 은 오목(concave) 함수이고 목적함수의 분모는 아핀 함수이기 때문에, 목적함수는 준오목(quasi-concave) 함수가 된다. 따라서, 딘켈바흐(Dinkelbach) 알고리즘을 사용하여 외층 문제를 해결할 수 있으며, 그 과정은 아래와 같다. 외층 문제는 $\mathbf{q} = \mathbf{q}^*$ 에 대해 아래 [수학식 17]의 문제와 동가일 수 있다.

[0160] [수학식 17]

$$\max_z \sum_{i=1}^K A_i(z) - q \sum_{i=1}^K B_i(z)$$

[0161]

$$s.t. C3: \tau^d \log_2 \left(\frac{\Gamma_i}{\tau^d} + \frac{\Gamma_{i,I}}{\tau^d} + \sigma^2 \right) - Q_i(d_i) \geq O_i b_i, i \in K,$$

[0162]

[0163] C1-C2, C4-C11

$$Q_i(d_i) = \tau^d \log_2 \left(\frac{\Gamma_{i,I}}{\tau^d} + \sigma^2 \right) \text{ 이고, } d_i = [\Gamma_{i,I} \tau^d]^T \text{ 이다.}$$

[0164]

[0165] 또한, \mathbf{q}^* 는 [수학식 13]의 문제의 최적 목표함수 값이며, [수학식 17]의 문제의 최적의 목표함수 값을 0으로 만들 수 있다. \mathbf{q}^* 와 이에 해당하는 최적의 솔루션 \mathbf{z}^* 를 얻기 위해서는, [수학식 17]의 문제의 최적의 목표함수 값이 0가 될 때까지 다음의 과정을 반복할 수 있다.

[0166] Step 1. 주어진 \mathbf{q} 에 대해, [수학식 17]의 문제의 솔루션 \mathbf{z} 를 얻는다.

[0167] Step 2. Step 1에서 얻은 \mathbf{z} 를 이용하여, \mathbf{q} 를 아래 [수학식 18]로 업데이트한다.

[0168] [수학식 18]

$$q = \frac{\sum_{i=1}^K A_i(z)}{\sum_{i=1}^K B_i(z)}$$

[0169]

[0170] Step 1, 즉 주어진 \mathbf{q} 에 대한 [수학식 17]의 문제를 해결하기 위한 방법은 다음과 같다.

[0171] [수학식 17]의 문제의 목표함수는 오목(concave) 함수이나, [수학식 17]의 문제는 제약 조건 C3의 식으로 인해 비볼록하다. 그러나 해당 비볼록 함수는 오목차(difference-of-concave) 구조를 가지고 있기 때문에, [수학식 17]의 문제는 오목차 문제이다. 따라서 [수학식 17]의 문제를 해결하기 위해 오목차 알고리즘을 사용한다.

[0172] 오목차 알고리즘은 원래 문제의 Karush-Kuhn-Tucker(KKT) 조건을 만족하는 정지점으로 수렴할 것을 보장할 수 있다. 오목차 알고리즘의 기본 아이디어는 근사 볼록 문제를 반복적으로 푸는 것이며, 해당 문제는 오목차 구조 함수의 두 번째 오목 함수를 아핀(affine) 함수로 근사하여 얻을 수 있다.

[0173] 구체적으로, [수학식 17]의 문제를 해결하기 위해 아래 [수학식 19] 및 [수학식 20]의 문제를 반복적으로 해결한다. 반복적으로 해결하는 과정은 도 4의 순서도에서 확인할 수 있다.

[0174] 도 4는 일 실시예에 따른 최적화 파라미터를 산출하기 위한 과정 중 일부에 대한 순서도이다. 도 4를 참조하면, 주어진 \mathbf{q} 에 대하여 반복수 1을 계속적으로 업데이트함으로써 [수학식 17]의 문제를 해결하는 방법을 확인할 수 있다.

[0175] [수학식 19]

$$\max_{\mathbf{z}^{(l)}} \sum_{i=1}^K A_i(z) - q \sum_{i=1}^K B_i(z)$$

[0176]

$$s.t.C3: \tau^d \log_2 \left(\frac{\Gamma_i}{\tau^d} + \frac{\Gamma_{i,l}}{\tau^d} + \sigma^2 \right) - Q_i^{\wedge}(d_i; d_i^{(l)}) \geq O_i b_i, i \in K,$$

[0177]

$$C1-C2, C4-C11$$

[0178]

[0179] 여기서, \mathbf{l} 은 반복수를 의미한다.

[0180] Q_i^{\wedge} 는 근사 아핀 함수로서, 아래 [수학식 20]과 같이 쓸 수 있다.

[0181] [수학식 20]

$$Q_i^{\wedge}(d_i; d_i^{(l)}) = Q_i(d_i^{(l)}) + [\nabla Q_i(d_i^{(l)})]^T (d_i - d_i^{(l)}), i \in K$$

[0182]

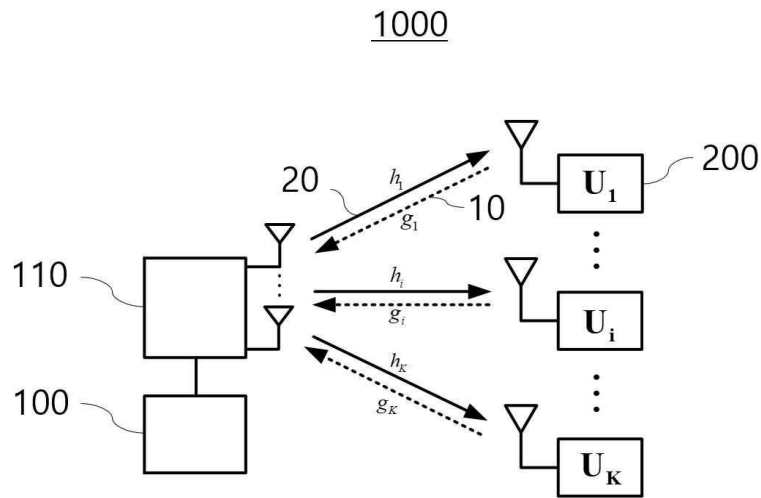
[0183] 이때, $d_i^{(l)} = [\Gamma_{i,l}^{(l)}, (\tau^d)^{(l)}]^T$ 이고, $\nabla Q_i(d_i^{(l)})$ 는 Q_i 의 $d_i^{(l)}$ 에 대한 기울기(gradient)이다.

[0184] 서버(100)가 [수학식 19]의 문제를 솔루션이 수렴할 때까지 반복하여 풀면, 결국 서버(100)는 [수학식 17]의 문제의 최적의 솔루션을 얻을 수 있다. 이때, [수학식 19]의 문제는 볼록 문제이기 때문에, 내부점법(interior point method)과 같은 표준 볼록 최적화 기법을 활용하여 해결할 수도 있다.

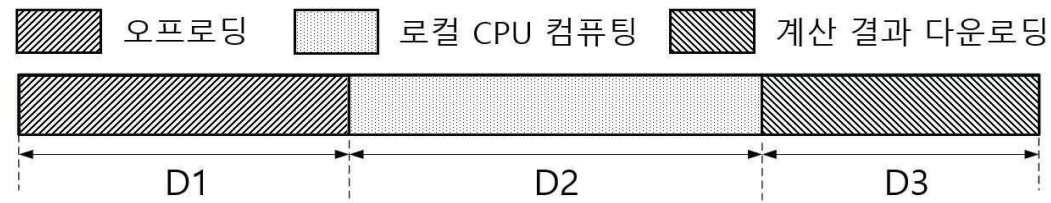
- [0185] 서버(100)는 결국 에너지 효율성과 관련된 [수학식 9]에 대해, 제약 조건 하에서 [수학식 11] 내지 [수학식 20]을 이용하여 복수의 파라미터를 최적화시킬 수 있다. 즉, 서버(100)는 최적화된 복수의 파라미터를 산출할 수 있다.
- [0186] 파라미터를 설정하는 단계(S150)는 단계 S140에서 산출한 복수의 파라미터를 오프로딩 무선 통신 시스템(1000)에 적용시키는 단계일 수 있다.
- [0187] 서버(100)는 산출한 복수의 파라미터를 디바이스(200)로 전송할 수 있다. 디바이스(200)는 수신한 복수의 파라미터 정보에 기초하여, 파라미터를 업데이트시킬 수 있다. 구체적으로, 디바이스(200)는 수신한 복수의 파라미터 정보에 기초하여, 서버(100)로 데이터를 전송하는 데이터 전송과 관련된 파라미터를 설정할 수 있다.
- [0188] 또한, 서버(100)는 산출한 복수의 파라미터에 기초하여 기지국(110) 및 로컬 CPU와 관련된 파라미터를 업데이트시킬 수 있다. 구체적으로, 서버(100)는 복수의 파라미터에 기초하여, 디바이스(200)로부터 데이터를 수신하는 데이터 수신과 관련된 파라미터 및 로컬 CPU를 이용하여 데이터를 처리하는 데이터 처리와 관련된 파라미터를 설정할 수 있다.
- [0189] 서버(100) 및 디바이스(200)는 단계 S150 이후, 설정한 파라미터에 기초하여, 다음 오프로딩 과정을 수행할 수 있다. 즉, 서버(100)는 이전 오프로딩 과정에서 수행한 결과에 기초하여, 에너지 효율성을 산출하고, 에너지 효율성을 통해 복수의 파라미터를 최적화시킬 수 있다. 서버(100) 및 디바이스(200)는 최적화된 복수의 파라미터를 반영하여, 다음 오프로딩을 수행함으로써, 오프로딩 무선 통신 시스템(1000)의 에너지 효율성이 이전보다 향상될 수 있다.
- [0190] 복수의 파라미터는 오프로딩이 수행될 때마다 서버(100)의 분석 및 연산에 의해 계속적으로 업데이트될 수 있다. 즉, 오프로딩 무선 통신 시스템(1000)은 에너지 효율성 계산 및 복수의 파라미터 최적화 과정을 매번 수행하여, 최적의 파라미터들을 통해 에너지 효율성을 최대화시킬 수 있다.
- [0192] 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. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다
- [0193] 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.
- [0194] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

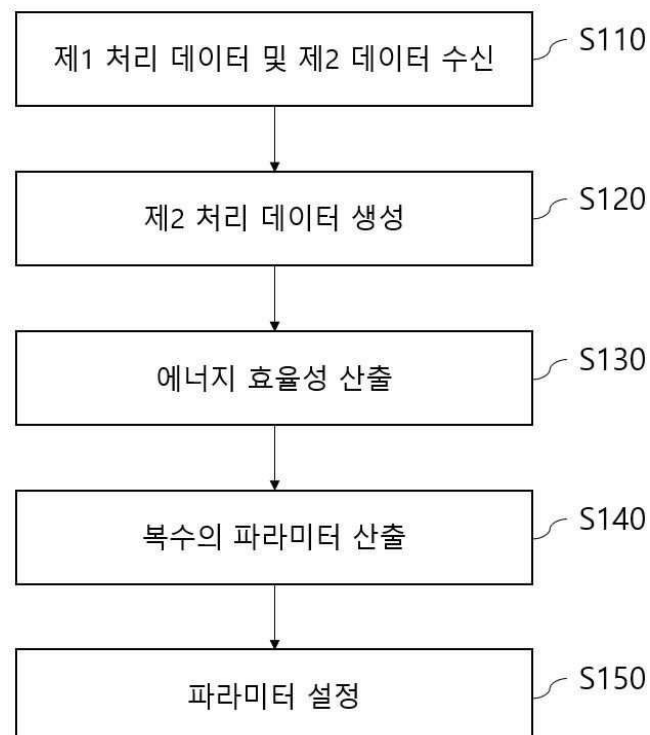
도면1



도면2



도면3



도면4

