



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년04월07일  
(11) 등록번호 10-2384555  
(24) 등록일자 2022년04월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04W 72/04 (2009.01) H04W 24/02 (2009.01)  
H04W 88/08 (2009.01)  
(52) CPC특허분류  
H04W 72/0493 (2013.01)  
H04W 24/02 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2020-0057335  
(22) 출원일자 2020년05월13일  
심사청구일자 2020년05월13일  
(65) 공개번호 10-2021-0139063  
(43) 공개일자 2021년11월22일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020180119162 A\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
고려대학교 산학협력단  
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암  
동5가)  
(72) 발명자  
이인규  
서울특별시 강남구 영동대로 640, 웨스트동 3303  
호(삼성동, 아이파크삼성)  
엄수빈  
대전광역시 중구 충무로107번길 41-15(대흥동)  
(74) 대리인  
최윤서, 손제관

전체 청구항 수 : 총 14 항

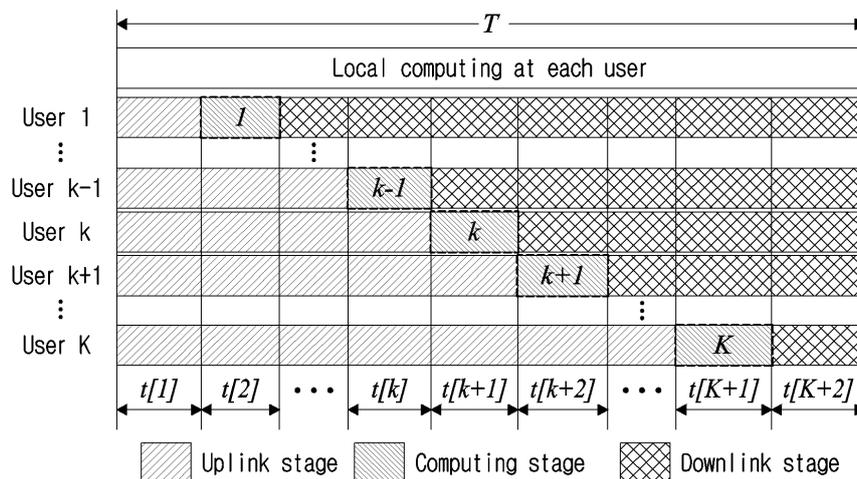
심사관 : 정남호

(54) 발명의 명칭 모바일 에지 컴퓨팅 시스템의 비동기식 자원 할당 방법 및 장치

(57) 요약

본 개시는 모바일 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템에서 비동기식 자원 할당 방법 및 장치에 대한 것이다. 본 개시의 일 실시예에 따른 MEC 시스템의 기지국에서의 비동기식 자원 할당 방법은, 상기 기지국, 서버 및 하나 이상의 단말 각각의 기초 정보를 이용하여, 소정의 시간 구간 동안 상기 MEC 시스템의 소비 에너지 최소화를 위한 소정의 변수의 최적값을 결정하는 단계; 상기 최적값에 대한 설정 정보를, 상기 서버, 및 상기 하나 이상의 단말 각각에게 전송하는 단계; 및 상기 최적값에 기초하여 상기 기지국, 상기 서버 및 상기 하나 이상의 단말 각각에 대한 자원을 할당하는 단계를 포함할 수 있다. 여기서, 상기 소정의 변수는, 전송 전력 변수 P, 자원 할당 비율 변수 W, 시간 구간 길이 변수 T, 및 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수 O 중의 하나 이상을 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

*H04W 72/0406* (2022.01)  
*H04W 72/0446* (2013.01)  
*H04W 72/0473* (2013.01)  
*H04W 72/0486* (2013.01)  
*H04W 88/08* (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

C. Luo et al., "Energy-efficient autonomic offloading in mobile edge computing", 2017 DASC PiCom DataCom CyberSciTech, IEEE, pp.581-588(2017.11.) 1부.\*  
 C. You et al., "Asynchronous mobile-edge computation offloading Energy-efficient resource management", IEEE Trans. wireless com, 17(11), pp.7590-7605(2018.11.) 1부.\*  
 Z. Liang et al., "Multiuser computation offloading and downloading for edge computing with virtualization", IEEE Transactions on Wireless Communications, 18(9), pp.4298-4311(2019.09.)  
 KR1020190074267 A  
 US20180183855 A1  
 US20200026575 A1  
 WO2020014867 A1  
 X. Cao et al. "Joint computation and communication cooperation for energy-efficient mobile edge computing," IEEE Internet Things J., vol. 6, pp. 4188-4200(2019.06.)  
 Y. Pan et al., "Energy efficient NOMA-based mobile edge computing offloading," IEEE Commun. Lett., vol. 23, pp. 310-313(2019.02.)  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

모바일 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템의 기지국에서의 비동기식 자원 할당 방법에 있어서,  
 상기 기지국이, 상기 기지국, 서버 및 하나 이상의 단말 각각의 기초 정보를 이용하여, 소정의 시간 구간 동안 상기 MEC 시스템의 소비 에너지 최소화를 위한 소정의 변수의 최적값을 결정하는 단계;  
 상기 기지국이, 상기 최적값에 대한 설정 정보를, 상기 서버, 및 상기 하나 이상의 단말 각각에게 전송하는 단계; 및  
 상기 기지국이, 상기 최적값에 기초하여 상기 기지국, 상기 서버 및 상기 하나 이상의 단말 각각에 대한 자원을 할당하는 단계를 포함하고,  
 상기 소정의 변수는, 전송 전력 변수  $P$ , 통신 자원 할당 비율 변수  $W$ , 시간 구간 길이 변수  $T$ , 및 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수  $O$ 를 포함하고,  
 상기 비동기식 자원 할당은, 상기 하나 이상의 단말로부터 상기 기지국으로의 상향링크 전송, 상기 서버의 오프로드 데이터 컴퓨팅, 상기 기지국으로부터 상기 하나 이상의 단말로의 하향링크 전송, 및 상기 하나 이상의 단말의 잔여 데이터 컴퓨팅 중의 둘 이상이 동시에 수행되도록, 상기 통신 자원 및 컴퓨팅 자원을 할당하는 것을 포함하고,  
 상기 통신 자원은 상기 상향링크 전송을 위한 자원 및 상기 하향링크 전송을 위한 자원을 포함하고,  
 상기 컴퓨팅 자원은 상기 오프로드 데이터 컴퓨팅을 위한 자원 및 상기 잔여 데이터 컴퓨팅을 위한 자원을 포함하고,  
 상기 MEC 시스템의 소비 에너지는 상기 상향링크 전송, 상기 오프로드 데이터 컴퓨팅, 상기 하향링크 전송 및 상기 잔여 데이터 컴퓨팅을 수행하기 위한, 상기 기지국, 상기 서버 및 상기 하나 이상의 단말의 소비 에너지를 포함하는,  
 비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,  
 상기 최적값을 결정하는 단계는,  
 상기 소비 에너지를 비볼록(non-convex) 함수로서 도출하고, 상기 비볼록 함수를 볼록 또는 오목(concave) 함수로 근사화하는 것을 포함하는,  
 비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 4**

제 3 항에 있어서,  
 상기 최적값을 결정하는 단계는,  
 상기 소정의 변수를 초기화한 후, 근사화된 상기 볼록 또는 오목 함수를 반복하여 해결하는 것을 포함하는,

비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 5**

제 4 항에 있어서,  
 상기 최적값을 결정하는 단계는,  
 이전 반복에서 획득된 임시 최적값에 기초하여 상기 비볼록 함수를 볼록 또는 오목 함수로 근사화하는 것을 포함하는,  
 비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 6**

제 5 항에 있어서,  
 상기 최적값은, 근사화된 상기 볼록 또는 오목 함수가 수렴하는 경우의 최적값으로 결정되는,  
 비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,  
 상기 소정의 시간 구간은, K 개의 단말의 태스크의 처리 완료에 대한 최대 허용 지연 시간 길이인 T로 정의되고,  
 T는 K+2개의 시간 구간으로 분할되고,  
 상기 소정의 시간 구간 동안의 소비 에너지는 상기 K+2 개의 시간 구간 각각에서의 소비 에너지에 기초하여 결정되는,  
 비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 8**

제 7 항에 있어서,  
 상기 K+2 개의 시간 구간 동안 상기 K 개의 단말의 상향링크 전송 및 잔여 데이터 처리에 소비되는 에너지  $\zeta_{user}$ 는 아래의 수학식으로 정의되고,

$$\zeta_{user} = \sum_{k=1}^K E_{L,k} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^k t[n]p_k[n]$$

여기서, k는 K 개의 단말의 각각의 인덱스이고,  
 $E_{L,k}$ 는 k 번째 단말의 잔여 데이터 처리를 위해 소비되는 에너지이고,  
 $t[n]$ 은 상기 K+2 개의 시간 구간 중 n (n=1, 2, 3, ..., K+2) 번째 시간 구간의 길이이고,  
 $p_k[n]$ 은 k 번째 단말의 n 번째 시간 구간에서의 상향링크 전송 전력인,  
 비동기식 자원 할당 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 K+2 개의 시간 구간 동안 상기 K 개의 단말에 대한 하향링크 전송 및 오프로드 데이터 처리에 소비되는 에너지  $\zeta_{BS}$  는 아래의 수학적식으로 정의되고,

$$\zeta_{BS} = \sum_{k=1}^K E_{S,k} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=k+2}^{K+2} t[n]q_k[n]$$

여기서,  $E_{S,k}$ 는 상기 서버에서 k 번째 단말의 오프로드 데이터 처리를 위해 소비되는 에너지이고,

$q_k[n]$ 은 상기 기지국의 k 번째 단말에 대한 n 번째 시간 구간에서의 하향링크 전송 전력인,

비동기식 자원 할당 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 MEC 시스템의 소비 에너지 최소화는 아래의 수학적식으로 정의되고,

$$(P) \quad \min_{P,W,T,O} w_1 \zeta_{user} + w_2 \zeta_{BS}$$

$$s.t. \quad \sum_{n=1}^{K+2} t[n] \leq T, \alpha[n] + \beta[n] = 1, \forall n \quad (1)$$

$$p_k[n] \leq P_U, \forall k, n, \sum_{k=1}^K q_k[n] \leq P_D, \forall n \quad (2)$$

$$Cl_{S,k} \leq t[k+1]f_{S,max}, Cl_{L,k} \leq Tf_{L,max}, \forall k \quad (3)$$

$$\sum_{n=1}^k I_{U,k}[n] \geq l_{S,k}, \sum_{n=k+2}^{K+2} I_{D,k}[n] \geq \eta l_{S,k}, \forall k \quad (4)$$

여기서,  $w_1$ 은 상기 MEC 시스템의 소비 에너지에서 상기 K개의 단말에서의 소비 에너지가 차지하는 비중이고,

$w_2$ 는 상기 MEC 시스템의 소비 에너지에서 상기 기지국 및 서버에서의 소비 에너지가 차지하는 비중이고,

$\alpha[n]$ 은 n 번째 시간 구간에서의 상기 상향링크 전송을 위한 자원의 할당 비율이고,

$\beta[n]$ 는 n 번째 시간 구간에서의 상기 하향링크 전송을 위한 자원의 할당 비율이고,

$P_U$ 는 상향링크 최대 전송 전력이고,

$P_D$ 는 하향링크 최대 전송 전력이고,

$C$ 는 상기 서버의 비트당 사이클 수이고,

$l_{S,k}$ 는 k 번째 단말의 오프로드 데이터 크기이고,

$f_{S,k}$ 는  $l_{S,k}$  비트의 계산에 필요한 상기 서버의 클럭 주파수이고,

$l_{L,k}$ 는 k 번째 단말의 잔여 데이터 크기이고,

$f_{L,k}$ 는  $l_{L,k}$  비트의 계산에 필요한  $k$  번째 단말의 클럭 주파수이고,  
 $I_{U,k}[n]$ 은  $n$  번째 시간 구간에서 상향링크 전송 데이터 크기이고,  
 $I_{D,k}[n]$ 은  $n$  번째 시간 구간에서 하향링크 전송 데이터 크기이고,  
 $\eta$  은 상기 서버에서의 계산 결과 변화율인,  
비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,  
상기 전송 전력 변수  $P$ 는  $\mathbf{P} \triangleq \{p_k[n], q_k[n], \forall k, n\}$  로 정의되고,  
상기 통신 자원 할당 비율 변수  $\mathbb{W}$ 는  $\mathbf{W} \triangleq \{\alpha[n], \beta[n], \forall n\}$  로 정의되고,  
상기 구간 길이 변수  $T$ 는  $\mathbf{T} \triangleq \{t[n], \forall n\}$  로 정의되고,  
상기 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수  $O$ 는  $\mathbf{O} \triangleq \{l_{L,k}, l_{S,k}, \forall k\}$  로 정의되는,  
비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,  
상기 MEC 시스템의 소비 에너지 최소화에 대한 수학식의 근사화된 볼록 또는 오목 함수는 아래의 수학식으로 정의되고,

$$\begin{aligned}
 (P) \quad & \min_{\mathbf{E}, \mathbf{A}, \mathbf{T}, \mathbf{O}} \quad w_1 \zeta_{\text{user}} + w_2 \zeta_{\text{BS}} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{n=1}^{K+2} t[n] \leq T, A[n] + B[n] = t[n], \forall n, \\
 & E_{U,k}[n] \leq t[n] P_U, \forall k, n, \sum_{k=1}^K E_{D,k}[n] \leq t[n] P_D, \forall n \\
 & Cl_{S,k} \leq t[k+1] f_{S,\max}, Cl_{L,k} \leq T f_{L,\max}, \forall k, \\
 & \sum_{n=1}^k \hat{I}_{U,k}^{(m)}[n] \geq l_{S,k}, \sum_{n=k+2}^{K+2} \hat{I}_{D,k}^{(m)}[n] \geq \eta l_{S,k}, \forall k
 \end{aligned}$$

여기서,  $E$ 는 상향링크 및 하향링크 전송 소비 에너지 변수이고,  
 $A$ 는 상향링크 및 하향링크 사용 자원 변수이고,  
 $\hat{I}_{U,k}^{(m)}[n]$  는  $m$  번째 반복에서 상기 상향링크 전송 데이터 크기  $I_{U,k}[n]$ 의 대리 하한함수이고,  
 $\hat{I}_{D,k}^{(m)}[n]$  는  $m$  번째 반복에서 상기 하향링크 전송 데이터 크기  $I_{D,k}[n]$ 의 대리 하한함수인,

비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 상향링크 및 하향링크 전송 소비 에너지 변수  $\mathbf{E} \triangleq \{E_{U,k}[n], E_{D,k}[n], \forall k, n\}$  로 정의되고,

상기 상향링크 및 하향링크 사용 자원 변수  $\mathbf{A} \triangleq \{A[n], B[n], \forall n\}$  로 정의되는,

비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

상기  $\hat{I}_{U,k}^{(m)}[n]$  및 상기  $\hat{I}_{D,k}^{(m)}[n]$  는 아래의 수학적식을 만족하고,

$$I_{U,k}^{(m)}[n] \geq \hat{I}_{U,k}^{(m)}[n] \triangleq \text{BW} \left( f \left( A^{(m)}[n], J_{U,k}^{(m)}[n] \right) - g \left( A^{(m)}[n], J_{U,k-1}^{(m)}[n] | A^{(m-1)}[n], J_{U,k-1}^{(m-1)}[n] \right) \right)$$

$$I_{D,k}^{(m)}[n] \geq \hat{I}_{D,k}^{(m)}[n] \triangleq \text{BW} \left( f \left( B^{(m)}[n], J_{D,k}^{(m)}[n] \right) - g \left( B^{(m)}[n], J_{D,k+1}^{(m)}[n] | B^{(m-1)}[n], J_{D,k+1}^{(m-1)}[n] \right) \right)$$

$$g(x, y | \tilde{x}, \tilde{y})$$

여기서,  $f(x, y)$ , 는 아래의 수학적식으로 정의되고,

$$f(x, y) \triangleq x \log_2 \left( 1 + \frac{y}{x} \right)$$

$$g(x, y | \tilde{x}, \tilde{y}) \triangleq x \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{y}}{\tilde{x}} \right) - \frac{\log_2 e}{\tilde{x} + \tilde{y}} (x\tilde{y} - \tilde{x}y)$$

$$J_{U,k}^{(m)}[n] \quad \text{및} \quad J_{D,k}^{(m)}[n]$$

여기서, 는 아래의 수학적식으로 정의되는,

$$J_{U,k}^{(m)}[n] \triangleq \sum_{i=n}^k E_{U,i}^{(m)}[n] \gamma_i$$

$$J_{D,k}^{(m)}[n] \triangleq \gamma_k \sum_{i=k}^{n-2} E_{D,i}^{(m)}[n]$$

비동기식 자원 할당 방법.

**청구항 15**

모바일 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템에서 비동기식 자원 할당을 수행하는 기지국 장치로서,

트랜시버;

메모리; 및

프로세서를 포함하고,

상기 프로세서는, 상기 메모리에 저장된 상기 기지국, 서버 및 하나 이상의 단말 각각의 기초 정보를 이용하여, 소정의 시간 구간 동안 상기 MEC 시스템의 소비 에너지 최소화를 위한 소정의 변수의 최적값을 결정하도록 설정되고;

상기 프로세서는, 상기 최적값에 대한 설정 정보를, 상기 서버, 및 상기 하나 이상의 단말 각각에게 상기 트랜시버를 통하여 전송하도록 더 설정되고; 및

상기 프로세서는, 상기 최적값에 기초하여 상기 기지국, 상기 서버 및 상기 하나 이상의 단말 각각에 대한 자원을 할당하도록 더 설정되며,

상기 소정의 변수는, 전송 전력 변수  $P$ , 통신 자원 할당 비율 변수  $\mathbb{W}$ , 시간 구간 길이 변수  $T$ , 및 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수  $O$ 를 포함하고,

상기 비동기식 자원 할당은, 상기 하나 이상의 단말로부터 상기 기지국으로의 상향링크 전송, 상기 서버의 오프로드 데이터 컴퓨팅, 상기 기지국으로부터 상기 하나 이상의 단말로의 하향링크 전송, 및 상기 하나 이상의 단말의 잔여 데이터 컴퓨팅 중의 둘 이상이 동시에 수행되도록, 상기 통신 자원 및 컴퓨팅 자원을 할당하는 것을 포함하고,

상기 통신 자원은 상기 상향링크 전송을 위한 자원 및 상기 하향링크 전송을 위한 자원을 포함하고,

상기 컴퓨팅 자원은 상기 오프로드 데이터 컴퓨팅을 위한 자원 및 상기 잔여 데이터 컴퓨팅을 위한 자원을 포함하고,

상기 MEC 시스템의 소비 에너지는 상기 상향링크 전송, 상기 오프로드 데이터 컴퓨팅, 상기 하향링크 전송 및 상기 잔여 데이터 컴퓨팅을 수행하기 위한, 상기 기지국, 상기 서버 및 상기 하나 이상의 단말의 소비 에너지를 포함하는,

비동기식 자원 할당 기지국 장치.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 개시는 모바일 에지 컴퓨팅 시스템에 대한 것이며, 구체적으로는 모바일 에지 컴퓨팅 시스템에서 비동기식 자원 할당 방법 및 장치에 대한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 모바일 에지 컴퓨팅(Mobile Edge Computing, MEC) 시스템은 네트워크 에지 노드(예를 들어, 기지국)에 컴퓨팅 서버를 탑재하여 통신과 컴퓨팅의 협업을 지원하는 시스템이다. 예를 들어, MEC 시스템에서는, 계산 집약적인 어플리케이션을 단말 자체에서 전부 프로세싱 하는 대신에, 프로세싱의 일부 또는 전부를 서버로 전송하여 서버가 대신 프로세싱을 수행한 후, 결과물을 단말에게 제공할 수 있다. 이러한 MEC 시스템의 데이터 또는 태스크(task) 오프로딩 방식은, 최근 IoT(Internet-of-Things) 단말들의 작은 컴퓨팅 파워와 짧은 배터리 수명을 극복하기 위한 수단으로 각광을 받고 있다.

[0003] MEC 시스템의 프로세싱 절차는 크게 세 가지 단계로 구별할 수 있다. 첫 번째 단계는 단말이 처리해야 하는 태스크의 일부 또는 전부를 기지국을 통하여 MEC 서버로 업로드하는 단계로서, 상향링크 단계라고도 칭할 수 있다. 두 번째 단계는 MEC 서버가 단말로부터 업로드된 태스크를 처리하는 단계로서, 컴퓨팅 단계라고도 칭할 수 있다. 세 번째 단계는 MEC 서버에서 계산한 결과물을 기지국을 통하여 단말에게 전송하는 단계로서, 하향링크 단계라고도 칭할 수 있다. 이와 같은 MEC 시스템을 이용하면, 상대적으로 배터리 수명에 민감한 단말에서 계산에 대한 부하가 줄어들어 시스템 전체적으로 에너지 소비를 줄일 수 있다.

[0004] MEC 시스템에서의 에너지 소비 최소화를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 종래의 MEC 시스템의 에너지 소비 최소화는, MEC 시스템 프로세싱 절차인 상향링크 단계, 컴퓨팅 단계, 및 하향링크 단계의 각각은, 모든 단말에 대해서 동시에 수행되고 각각의 단계는 서로 시간적으로 직교성을 갖는다는 동기식(synchronous) 자원 할당의

가정 하에 연구가 진행되었다. 이러한 동기식 자원 할당은 MEC 시스템 전체 자원 활용이 비효율적인 문제가 있으므로, 비동기식(asynchronous) 자원 할당을 통하여 MEC 시스템의 추가적인 성능 향상을 고려할 수 있다. 그러나, 아직까지는 MEC 시스템의 비동기식 자원 할당을 가정한 에너지 소비 최소화 방안은 마련되어 있지 않은 실정이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0005] 본 개시의 기술적 과제는 모바일 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템의 비동기식 자원 할당 방법 및 장치를 제공하는 것이다.
- [0006] 본 개시의 추가적인 기술적 과제는 비동기식 자원 할당을 지원하는 MEC 시스템의 전체 에너지 소비를 최소화하는 방법 및 장치를 제공하는 것이다.
- [0007] 본 개시의 추가적인 기술적 과제는 비동기식 자원 할당을 지원하는 MEC 시스템에서 기지국 송신 전력, 단말 송신 전력, 주파수 자원, 시간 자원, 업로드 데이터 크기 중의 하나 이상을 최적화하는 방법 및 장치를 제공하는 것이다.
- [0008] 본 개시에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0009] 본 개시의 일 양상에 따른 모바일 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템의 기지국에서의 비동기식 자원 할당 방법은, 상기 기지국, 서버 및 하나 이상의 단말 각각의 기초 정보를 이용하여, 소정의 시간 구간 동안 상기 MEC 시스템의 소비 에너지 최소화를 위한 소정의 변수의 최적값을 결정하는 단계; 상기 최적값에 대한 설정 정보를, 상기 서버, 및 상기 하나 이상의 단말 각각에게 전송하는 단계; 및 상기 최적값에 기초하여 상기 기지국, 상기 서버 및 상기 하나 이상의 단말 각각에 대한 자원을 할당하는 단계를 포함할 수 있다. 여기서, 상기 소정의 변수는, 전송 전력 변수  $P$ , 자원 할당 비율 변수  $W$ , 시간 구간 길이 변수  $T$ , 및 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수  $O$  중의 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0010] 본 개시의 추가적인 양상에 따른 모바일 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템에서 비동기식 자원 할당을 수행하는 기지국 장치는, 트랜시버; 메모리; 및 프로세서를 포함할 수 있다. 상기 프로세서는, 상기 메모리에 저장된 상기 기지국, 서버 및 하나 이상의 단말 각각의 기초 정보를 이용하여, 소정의 시간 구간 동안 상기 MEC 시스템의 소비 에너지 최소화를 위한 소정의 변수의 최적값을 결정하고; 상기 최적값에 대한 설정 정보를, 상기 서버, 및 상기 하나 이상의 단말 각각에게 상기 송수신기를 통하여 전송하고; 및 상기 최적값에 기초하여 상기 기지국, 상기 서버 및 상기 하나 이상의 단말 각각에 대한 자원을 할당하도록 설정될 수 있다. 여기서, 상기 소정의 변수는, 전송 전력 변수  $P$ , 자원 할당 비율 변수  $W$ , 시간 구간 길이 변수  $T$ , 및 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수  $O$  중의 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0011] 본 개시에 대하여 위에서 간략하게 요약된 특징들은 후술하는 본 개시의 상세한 설명의 예시적인 양상일 뿐이며, 본 개시의 범위를 제한하는 것은 아니다.

**발명의 효과**

- [0012] 본 개시에 따르면, 모바일 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템의 비동기식 자원 할당 방법 및 장치가 제공될 수 있다.
- [0013] 본 개시에 따르면, 비동기식 자원 할당을 지원하는 MEC 시스템의 전체 에너지 소비를 최소화하는 방법 및 장치가 제공될 수 있다.
- [0014] 본 개시에 따르면, 비동기식 자원 할당을 지원하는 MEC 시스템에서 기지국 송신 전력, 단말 송신 전력, 주파수 자원, 시간 자원, 업로드 데이터 크기 중의 하나 이상을 최적화하는 방법 및 장치가 제공될 수 있다.
- [0015] 본 개시에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 개시가 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0016] 도 1은 본 개시가 적용될 수 있는 모바일 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템의 구조를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 본 개시가 적용될 수 있는 MEC 시스템의 비동기식 프로세싱 절차의 예시를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 본 개시가 적용가능한 MEC 시스템의 에너지 소비 최소화를 목적으로 관련 변수들의 최적값을 구하는 방법을 나타내는 흐름도이다.
- 도 4는 본 개시가 적용될 수 있는 MEC 시스템의 통신 및 컴퓨팅 방법의 예시를 나타내는 도면이다.
- 도 5는 본 개시에 따른 기지국 장치 및 단말 장치의 구성을 나타내는 도면이다.
- 도 6은 동기 방식과 비동기 방식의 MEC 시스템에서 단말 개수에 따른 에너지 소비를 나타낸 그래프이다.
- 도 7은 동기 방식과 비동기 방식의 MEC 시스템에서 처리하고자 하는 태스크 크기에 따른 에너지 소비를 나타낸 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0017] 이하에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 개시의 실시예에 대하여 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나, 본 개시는 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [0018] 본 개시의 실시예를 설명함에 있어서 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 개시의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그에 대한 상세한 설명은 생략한다. 그리고, 도면에서 본 개시에 대한 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙인다.
- [0019] 본 개시에 있어서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소와 "연결", "결합" 또는 "접속"되어 있다고 할 때, 이는 직접적인 연결관계 뿐만 아니라, 그 중간에 또 다른 구성요소가 존재하는 간접적인 연결관계도 포함할 수 있다. 또한 어떤 구성요소가 다른 구성요소를 "포함한다" 또는 "가진다"고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 배제하는 것이 아니라 또 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0020] 본 개시에 있어서, 제1, 제2 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용되며, 특별히 언급되지 않는 한 구성요소들 간의 순서 또는 중요도 등을 한정하지 않는다. 따라서, 본 개시의 범위 내에서 일 실시예에서의 제1 구성요소는 다른 실시예에서 제2 구성요소라고 칭할 수도 있고, 마찬가지로 일 실시예에서의 제2 구성요소를 다른 실시예에서 제1 구성요소라고 칭할 수도 있다.
- [0021] 본 개시에 있어서, 서로 구별되는 구성요소들은 각각의 특징을 명확하게 설명하기 위한 것이며, 구성요소들이 반드시 분리되는 것을 의미하지는 않는다. 즉, 복수의 구성요소가 통합되어 하나의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있고, 하나의 구성요소가 분산되어 복수의 하드웨어 또는 소프트웨어 단위로 이루어질 수도 있다. 따라서, 별도로 언급하지 않더라도 이와 같이 통합된 또는 분산된 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다.
- [0022] 본 개시에 있어서, 다양한 실시예에서 설명하는 구성요소들이 반드시 필수적인 구성요소들은 의미하는 것은 아니며, 일부는 선택적인 구성요소일 수 있다. 따라서, 일 실시예에서 설명하는 구성요소들의 부분집합으로 구성되는 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다. 또한, 다양한 실시예에서 설명하는 구성요소들에 추가적으로 다른 구성요소를 포함하는 실시예도 본 개시의 범위에 포함된다.
- [0023] 본 개시는 무선 통신 시스템에서 네트워크 노드들 간의 통신에 대한 것이다. 네트워크 노드는, 기지국, 단말 또는 릴레이(relay) 중의 하나 이상을 포함할 수 있다. 기지국(Base Station, BS)이라는 용어는, 고정국(fixed station), Node B, eNodeB(eNB), ng-eNB, gNodeB(gNB), 액세스 포인트(Access Point, AP) 등의 용어로 대체될 수 있다. 단말(terminal)은 UE(User Equipment), MS(Mobile Station), MSS(Mobile Subscriber Station), SS(Subscriber Station), 비-AP 스테이션(non-AP STA) 등의 용어로 대체될 수 있다.
- [0024] 무선 통신 시스템은 기지국과 단말 간의 통신을 지원할 수도 있고, 단말간 통신을 지원할 수도 있다. 기지국과 단말 간의 통신에 있어서, 하향링크(Downlink, DL)는 기지국으로부터 단말로의 통신을 의미한다. 상향링크(Uplink, UL)은 단말로부터 기지국으로의 통신을 의미한다. 단말간 통신은 D2D(Device-to-Device), V2X(Vehicle-to-everything), ProSe(Proximity Service), 사이드링크(sidelink) 통신 등의 다양한 통신 방식

또는 서비스를 포함할 수 있다. 단말간 통신에 있어서 단말은 센서 노드, 차량, 재난 경보기 등의 형태로 구현될 수도 있다.

[0025] 또한, 본 개시의 예시들은 릴레이(relay) 또는 릴레이 노드(RN)을 포함하는 무선 통신 시스템에 대해서 적용될 수 있다. 기지국과 단말 간의 통신에 릴레이가 적용되는 경우, 릴레이는 단말에 대해서 기지국으로서 기능할 수 있고, 릴레이는 기지국에 대해서 단말로서 기능할 수 있다. 한편, 단말간 통신에 릴레이가 적용되는 경우, 릴레이는 각각의 단말에 대해서 기지국으로서 기능할 수 있다.

[0026] 본 개시는 무선 통신 시스템의 다양한 다중 액세스 방식에 적용될 수 있다. 예를 들어, 다중 액세스 방식은 CDMA(Code Division Multiple Access), TDMA(Time Division Multiple Access), FDMA(Frequency Division Multiple Access), OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access), SC-FDMA(Single Carrier-FDMA), OFDM-FDMA, OFDM-TDMA, OFDM-CDMA, NOMA(Non-Orthogonal Multiple Access) 등을 포함할 수 있다. 또한, 본 개시가 적용될 수 있는 무선 통신 시스템은, 상향링크 및 하향링크 통신이 서로 구별되는 시간 자원을 이용하는 TDD(Time Division Duplex) 방식을 지원할 수도 있고, 서로 구별되는 주파수 자원을 이용하는 FDD(Frequency Division Duplex) 방식을 지원할 수도 있다.

[0027] 본 개시에서, 채널을 전송 또는 수신한다는 것은 해당 채널을 통해서 정보 또는 신호를 전송 또는 수신한다는 의미를 포함한다. 예를 들어, 제어 채널을 전송한다는 것은, 제어 채널을 통해서 제어 정보 또는 신호를 전송한다는 것을 의미한다. 유사하게, 데이터 채널을 전송한다는 것은, 데이터 채널을 통해서 데이터 정보 또는 신호를 전송한다는 것을 의미한다.

[0028] 이하에서는, 모바일 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템의 비동기식 자원 할당을 위한 본 개시의 실시예들에 대해서 설명한다.

[0029] 본 개시는 MEC 시스템에서 단말의 데이터 또는 태스크의 일부 또는 전부가 서버에 오프로딩되어 처리되는 경우, 전체 시스템의 에너지 소비를 최소화하는 방안을 포함한다. 여기서, 오프로딩 대상 데이터를 단말로부터 기지국을 통하여 서버로 업로드하는 상향링크 단계, 서버에서 데이터를 처리하는 컴퓨팅 단계, 및 처리 결과를 서버로부터 기지국을 통하여 단말에게 전달하는 하향링크 단계로 구성되는 MEC 시스템의 프로세싱 절차에 대해서, 비동기식 자원 할당이 적용될 수 있다.

[0030] MEC 시스템에서 동기식 자원 할당은, 상향링크 단계, 컴퓨팅 단계, 및 하향링크 단계에 대해서 구별되는 시간 자원을 할당하고, 상향링크 단계에 해당하는 시간 동안 모든 단말이 데이터를 업로드한 후, 컴퓨팅 단계에 해당하는 시간 동안 모든 단말에 대한 태스크가 서버에서 처리되고, 하향링크 단계에 해당하는 시간 동안 모든 단말에 대한 처리 결과가 전달되는 방식이라 할 수 있다. 여기서, 특정 단말이 오프로딩 대상 태스크를 모두 업로드한 경우라도, 나머지 단말들의 태스크 업로드가 완료될 때까지, 특정 단말의 오프로딩 대상 태스크에 대해서 서버가 컴퓨팅을 수행하지 않고 대기하여야 할 수 있다. 유사하게, 특정 단말에 대한 태스크가 서버에서 컴퓨팅 완료된 경우라도, 나머지 단말들의 태스크가 완료될 때까지, 특정 단말에 대한 컴퓨팅 결과가 전달되지 않을 수 있다.

[0031] 그러나, 각각의 단말로부터 오프로딩되는 데이터는 서로 상관관계가 없으므로 서버에서 동시에 컴퓨팅될 필요가 없다. 또한, 컴퓨팅 단계는 서버에서 수행되고, 상향링크 단계 및 하향링크 단계는 단말과 기지국의 통신 모듈에서 수행되는 별개의 작업이므로, 서버에서 태스크가 처리되는 동안 단말과 기지국은 데이터를 송수신할 수 있다. 즉, 모든 단말로부터 업로드된 태스크가 동시에 처리되는 동기식 자원 할당 방식과 달리, 비동기식 자원 할당 방식에서는 각각의 단말에 대해서 순차적으로 MEC 프로세싱 절차의 세부 단계들이 수행되고, 각각의 단말의 세부 단계는 동기화되지 않고 서로 다른 시간 자원 상에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 동일한 하나의 시간 구간에서, 제 1 단말에 대한 상향링크 단계, 제 2 단말에 대한 컴퓨팅 단계, 제 3 단말에 대한 하향링크 단계가 동시에 수행될 수 있다. 따라서, 비동기식 자원 할당 방식을 적용하면, 동기식 자원 할당 방식에서 낭비되는 자원이 활용될 수 있다. 즉, 동기식 자원 할당 방식에 비하여 비동기식 자원 할당 방식은 MEC 시스템의 추가적인 성능 향상을 도모할 수 있다.

[0032] 본 개시에서는 MEC 시스템에서 복수의 단말의 각각에 대한 MEC 프로세싱 절차의 세부 단계들이 비동기식으로 수행되는 경우에 있어서 MEC 시스템 전체 에너지 소비 최소화 방안에 대해서 설명한다. 구체적으로, 복수의 단말에 대한 MEC 프로세싱 절차를 수행하기 위해서 소비되는 전체 시스템의 에너지를 최소화하기 위해서, 기지국의 송신 전력, 단말의 송신 전력, 주파수 자원, 시간 자원, 단말로부터 서버로 전송되는 데이터 크기를 최적화하는 방안에 대해서 설명한다.

- [0033] 도 1은 본 개시가 적용될 수 있는 모바일 에지 컴퓨팅(MEC) 시스템의 구조를 설명하기 위한 도면이다.
- [0034] MEC 시스템은 무선 통신 시스템에 기반하여 구현될 수 있다. 예를 들어, MEC 시스템은 단말(UE), 기지국(BS) 및 MEC 서버(server)를 포함할 수 있다. MEC 서버(이하, 서버)는 네트워크 에지에서 컴퓨팅을 수행하는 개체로서, 기지국에 통합되는 MEC 컴퓨팅부 또는 오프로드 데이터 컴퓨팅부로서 구성될 수도 있고, 기지국과 별개의 개체로서 구성될 수도 있다. 본 개시에서 서버는 기지국과 지연이나 손실 없이 통신 가능한 것으로 가정한다. 예를 들어, 단말로부터 수신되는 상향링크 데이터는 기지국을 통하여 서버에게 전달되고, 서버에서 처리된 결과는 기지국을 통하여 단말에게 하향링크 데이터로서 전달될 수 있다.
- [0035] 서버를 탑재한 기지국 하나가 총 K 개의 단말(UE)을 서빙할 수 있다. 각각의 단말은 인덱스  $k(k=1, 2, 3, \dots, K)$ 에 의해서 지시될 수 있다. 단말  $k$ (또는  $k$  번째 단말)는 기지국으로 상향링크 전송을 수행하고, 기지국은 단말  $k$ 로 하향링크 전송을 수행할 수 있다.
- [0036] 후술하는 MEC 시스템의 소비 에너지 모델에 있어서, 기지국 및 단말들의 각각은 한 개의 안테나를 탑재한다고 가정한다. 물론, 본 개시가 이에 제한되는 것은 아니며 기지국 및 단말들의 각각은 하나 이상의 안테나를 가질 수도 있다.
- [0037] 또한, 단말  $k$ 는  $L_k$  비트 크기의 태스크  $S_k$ 를 가지는 것으로 가정한다. 여기서, 각각의 단말의 태스크의 크기는 동일할 수도 있고 상이할 수도 있다. 단말  $k$ 의 태스크  $S_k$ 의 처리 완료에 대한 최대 허용 지연 시간은  $T$ 라고 가정한다. 또한,  $T$  시간 내에  $K$  개의 단말 모두에 대한 태스크의 처리가 완료되는 것으로 가정한다.
- [0038] 서버는 단말보다 높은 컴퓨팅 파워를 가지는 것으로 가정한다. 또한, 서버는 태스크를 처리하기 위하여 필요한 프로세서, 프로그램, 어플리케이션 등의 컴퓨팅 자원을 탑재하고, 단말에서 요구하는 태스크를 처리할 수 있다.
- [0039] 단말의 낮은 컴퓨팅 파워로 인해 단말의 태스크의 일부를 서버로 전달하여 서버에서 처리하도록 하는, 부분 오프로딩(partial offloading)이 적용될 수 있다. 예를 들어, 단말  $k$ 는 자신의 태스크  $S_k$  중에서  $l_{s,k} \in [0, L_k]$  비트의 데이터(즉, 오프로드 데이터)를 서버로 전송하여 서버에서 처리되도록 요청하고, 나머지  $l_{L,k} = L_k - l_{s,k}$  비트의 데이터(즉, 잔여 데이터)는 단말의 컴퓨팅 자원을 이용하여 자체적으로 처리할 수 있다.
- [0040] 도 2는 본 개시가 적용될 수 있는 MEC 시스템의 비동기식 프로세싱 절차의 예시를 설명하기 위한 도면이다.
- [0041] 전체 허용 지연 시간  $T$ 는 총  $K+2$  개의 시간 구간으로 분할될 수 있다. 여기서,  $n$  ( $n=1, 2, 3, \dots, K+2$ ) 번째 시간 구간의 길이는  $t[n]$ 이라 한다. 여기서, 각각의 시간 구간  $n$ 에서  $t[n]$ 의 길이는 동일할 수도 있고 상이할 수도 있다. 이 경우, 전체 허용 지연 시간과  $t[n]$ 은 아래의 수학적 식 1과 같은 관계를 가진다.

**수학적 식 1**

$$\sum_{n=1}^{K+2} t[n] \leq T$$

- [0042]
- [0043] 도 2의 예시에서는 단말 1로부터 단말 K까지의 순서대로 해당 단말의 오프로딩 태스크가 서버에서 처리되는 것으로 가정한다.
- [0044] 단말  $k$ 는  $l_{s,k}$  비트를 기지국으로(또는 기지국을 통하여 서버로) 상향링크 단계에 해당하는 시간 구간 동안 전송할 수 있다. 여기서 단말  $k$ 의 상향링크 구간은  $n=1, 2, \dots, k$  번째 시간 구간에 해당한다. 이 경우, 각각의 단말의 상향링크 구간의 길이 또는 개수가 상이할 수 있다. 단말  $k$ 는 상향링크 구간 전체를 사용하여 상향링크 전송을 수행할 수도 있고, 그 중의 일부 시간 동안 상향링크 전송을 수행할 수도 있다. 즉, 단말  $k$ 의 상향링크 구간은, 해당 단말의 상향링크 전송이 허용되거나 또는 완료되어야 하는 시간 자원을 의미하며, 해당 단말이 상향링크 구간 동안 상향링크 전송을 계속하여 수행하는 것으로 제한되지 않는다.
- [0045] 서로 다른 단말의 상향링크 구간이 중첩되는 경우, 해당 단말들은 서로의 간섭이 최소화되는 방식으로 상향링크 전송을 수행할 수 있다. 예를 들어, 후술하는 바와 같이, 각각의 시간 구간  $n$ 에서 각각의 단말  $k$ 의 상향링크 전송 전력, 주파수 자원 할당 비율, 시간 구간 길이, 상향링크 전송 데이터(또는 오프로드 데이터) 크기에 대한

최적화를 통하여, 복수의 단말의 상향링크 전송의 간섭이 최소화될 수 있다.

- [0046] 단말 k의 상향링크 구간인  $n=1, 2, \dots, k$  번째 시간 구간에서 단말 k의 상향링크 전송이 완료된 후, 컴퓨팅 단계에 해당하는  $k+1$  번째 시간 구간에서 서버는 단말 k로부터 업로드된 데이터(즉, 오프로드된 태스크 데이터)를 처리할 수 있다.
- [0047] 단말 k에 대한 컴퓨팅 구간인  $k+1$  번째 시간 구간에서 서버의 단말 k에 대한 데이터 처리가 완료된 후, 하향링크 단계에 해당하는 시간 구간 동안 기지국은 서버의 처리 결과를 단말 k에게 전송할 수 있다. 여기서 단말 k로의 하향링크 구간은  $n=k+2, k+3, \dots, K+2$  번째 시간 구간에 해당한다. 이 경우, 각각의 단말의 하향링크 구간의 길이 또는 개수가 상이할 수 있다. 단말 k는 하향링크 구간 전체를 사용하여 하향링크 수신을 수행할 수도 있고, 그 중의 일부 시간 동안 하향링크 수신을 수행할 수도 있다. 즉, 단말 k의 하향링크 구간은, 해당 단말로의 하향링크 전송이 허용되거나 또는 완료되어야 하는 시간 자원을 의미하며, 해당 단말이 하향링크 구간 동안 하향링크 수신을 계속하여 수행하는 것으로 제한되지 않는다.
- [0048] 서로 다른 단말의 하향링크 구간이 중첩되는 경우, 해당 단말들은 서로의 간섭이 최소화되는 방식으로 하향링크 수신을 수행할 수 있다. 예를 들어, 후술하는 바와 같이, 각각의 n 번째 시간 구간에서 기지국의 각각의 단말 k에 대한 하향링크 전송 전력, 주파수 할당 비율, 시간 구간 길이 등에 대한 최적화를 통하여, 복수의 단말의 하향링크 수신의 간섭이 최소화될 수 있다.
- [0049] 본 개시에서 설명하는 비동기식 자원 할당 방식에 따르면, 서버가 특정 단말의 오프로드된 데이터에 대한 컴퓨팅을 수행하는 시간 구간에서, 다른 단말과 기지국의 상향링크 및/또는 하향링크 전송이 수행될 수 있다. 예를 들어, 단말 k에 대한 컴퓨팅 구간인  $k+1$  번째 시간 구간에서, 단말  $k+1, k+2, \dots, K$ 는 기지국으로 상향링크 전송을 수행할 수 있고, 기지국은 단말  $1, 2, \dots, k-1$ 에게 하향링크 전송을 수행할 수 있다. 이에 따라, 낭비되는 자원 없이 복수의 단말에 대한 MEC 시스템의 프로세싱 절차가 비동기식으로 수행될 수 있다.
- [0050] 도 2를 참조하면, 1 번째 시간 구간에서 단말  $1, 2, \dots, K$ 가 상향링크 전송을 수행하고, 단말 1은 서버로 오프로딩하고자 하는 데이터 전송을 완료할 수 있다. 2 번째 시간 구간에서 단말 1에서 업로드된 데이터는 서버에서 처리되고, 단말  $2, 3, \dots, K$ 가 상향링크 전송을 수행하고, 단말 2는 1 번째 내지 2 번째 시간 구간 동안 서버로 오프로딩하고자 하는 데이터 전송을 완료할 수 있다. 3 번째 시간 구간에서 기지국은 단말 1로 서버의 처리 결과를 하향링크 전송하고, 단말 2에서 업로드된 데이터는 서버에서 처리되고, 단말  $3, 4, \dots, K$ 가 상향링크 전송을 수행하고, 단말 3은 1 번째 내지 3 번째 시간 구간 동안 서버로 오프로딩하고자 하는 데이터 전송을 완료할 수 있다. 4 번째 시간 구간에서 기지국은 단말 1 및 단말 2 각각에 대해서 서버의 처리 결과를 하향링크 전송하고, 단말 3에서 업로드된 데이터는 서버에서 처리되고, 단말  $4, 5, \dots, K$ 가 상향링크 전송을 수행하고, 단말 4는 1 번째 내지 3 번째 시간 구간 동안 서버로 오프로딩하고자 하는 데이터 전송을 완료할 수 있다.
- [0051] 이와 같이, 동일한 시간 구간에서 서로 다른 단말에 대한 상향링크 전송 및 하향링크 전송이 동시에 수행될 수 있다. 이 경우, 서로 다른 단말에 대한 상향링크 자원 및 하향링크 자원은 서로 다른 주파수 자원으로 구분될 수 있다. 즉, 상향링크 및 하향링크는 FDD(Frequency Division Duplex) 방식으로 구분될 수 있다. 여기서, n 번째 시간 구간에서 상향링크를 위해 할당되는 주파수 대역폭의 비율은  $\alpha[n] \geq 0$ 이고, 하향링크를 위해 할당되는 주파수 대역폭의 비율을  $\beta[n] \geq 0$ 이라 하고, 수학식 2와 같은 관계를 가질 수 있다.

**수학식 2**

$$\alpha[n] + \beta[n] = 1, \forall n$$

- [0052]
- [0053] 또는, 동일한 시간 구간 내에서 서로 다른 단말에 대한 상향링크 자원 및 하향링크 자원은 서로 다른 시간 자원으로 구분될 수도 있다. 즉, 상향링크 및 하향링크는 TDD(Time Division Duplex) 방식으로 구분될 수 있다. 여기서, n 번째 시간 구간에서 상향링크를 위해 할당되는 시간 자원의 비율은  $\alpha[n] \geq 0$ 이고, 하향링크를 위해 할당되는 시간 자원의 비율을  $\beta[n] \geq 0$ 이라 하고, 상기 수학식 2와 같은 관계를 가질 수 있다.
- [0054] 또한, 상향링크 전송 및 하향링크 전송에 대해 NOMA(Non-Orthogonal Multiple Access) 방식이 적용될 수 있다. NOMA 방식은 먼저 디코딩 되어 얻어진 신호를 수신된 신호에서 제외하며 순차적으로 디코딩을 진행하는 방식으

로, SIC(Successive Interference Cancellation)을 활용할 수 있다.

[0055] 기지국과 단말 k 사이의 채널 이득은  $h_k$ 로 표현되고, 이 값은 T 시간 동안 일정하다고 가정한다. 여기서,  $h_k = Gd_k^{-\theta}$ 로, G는 1m 거리에서의 기준 경로손실,  $d_k$ 는 단말 k와 기지국 사이의 거리,  $\theta$ 는 경로 손실 지수를 나타낸다.

[0056] 상향링크 구간인  $1 \leq n \leq k$  번째 시간 구간에서 단말 k로부터 기지국으로(또는 서버로) 업로드된 데이터 비트를  $I_{U,k}[n]$ 라 하고, 아래의 수학적 식 3과 같이 표현될 수 있다.

**수학적 식 3**

[0057] 
$$I_{U,k}[n] = t[n] \text{BW} \alpha[n] \log_2 \left( 1 + \frac{p_k[n] \gamma_k}{\sum_{i=n}^{k-1} p_i[n] \gamma_i + \alpha[n]} \right)$$

[0058] 수학적 식 3에서, BW는 총 주파수 대역폭을 나타낸다.  $p_k[n]$ 은 시간 구간 n에서 단말 k의 상향링크 전송 전력을 나타낸다.  $\gamma_k \triangleq h_k / (\text{BW} \sigma^2)$ 는 유효 신호-대-잡음비(SNR)을 나타낸다.  $\sigma^2$ 은 가우시안 잡음의 파워를 나타낸다. 수학적 식 3에서 NOMA 디코딩 순서는 채널 이득의 대소관계가  $h_1 \geq \dots \geq h_K$  라는 가정 하에 내림차순으로 고려되었다.

[0059] 상향링크 구간인  $1 \leq n \leq k$  번째 시간 구간 동안 단말 k는 기지국으로 총  $l_{S,k}$  비트를 업로드해야 하므로, 상향링크 단계 동안 업로드된 총 비트에 대한 제약조건은 아래의 수학적 식 4와 같이 표현할 수 있다.

**수학적 식 4**

[0060] 
$$\sum_{n=1}^k I_{U,k}[n] \geq l_{S,k}, \forall k$$

[0061] 단말 k로부터 성공적으로 데이터를 수신한 후, k+1 번째 시간 구간에서 서버는  $l_{S,k}$  비트에 대한 계산을 수행한다. 서버에서 입력 비트를 처리하는데 필요한 비트당 사이클 수를 C(cycle/bit)라고 할 수 있다. 따라서 서버에서  $l_{S,k}$  비트를 계산하는데 필요한 클럭 주파수는  $f_{S,k} = Cl_{S,k}/t[k+1]$ 로 표현 가능하다. 서버의 컴퓨팅 파워의 실질적인 한계로 인해  $f_{S,k}$ 는 최대 상한인  $f_{S,max}$ 를 넘을 수 없고 이는 아래의 수학적 식 5와 같이 표현할 수 있다.

**수학적 식 5**

[0062] 
$$Cl_{S,k} \leq t[k+1] f_{S,max}, \forall k$$

[0063] 서버에서  $l_{S,k}$  비트를 처리하는데 소비되는 에너지  $E_{S,k}$ 는 DVFS(Dynamic Voltage and Frequency Scaling) 모델에 따라  $E_{S,k} = \kappa_S (Cl_{S,k})^3 / t^2[k+1]$ 로 표현되고, 여기서  $\kappa_S$ 는 유효 정전용량 상수이다.

[0064] 입력된  $l_{S,k}$  비트에 대한 서버의 계산 결과는  $l'_{S,k}$  비트로 표현될 수 있고, 여기서  $\eta$ 는 계산 후 변화율을 나타

낸다.

[0065] 서버의 계산 결과  $\eta^{l_{s,k}}$  비트는 하향링크 구간 동안 기지국으로부터 단말 k에게 전송될 수 있다. 상향링크 단계에서와 유사하게, 하향링크 단계에서도 NOMA 방식이 적용되고, 이때 디코딩 순서는 오름차순으로 진행된다. 하향링크 구간인  $k+2 \leq n \leq K+2$  번째 시간 구간에서 기지국으로부터 단말 k에게 전송되는 비트는  $I_{D,k}[n]$  라고 하고, 아래의 수학적 식 6과 같이 표현될 수 있다.

**수학적 식 6**

$$I_{D,k}[n] = t[n] \text{ BW } \beta[n] \log_2 \left( 1 + \frac{q_k[n] \gamma_k}{\gamma_k \sum_{i=k+1}^{n-2} q_i[n] + \beta[n]} \right)$$

[0066]

[0067] 수학적 식 6에서,  $q_k[n]$ 은 시간 구간 n에서 기지국의 단말 k에 대한 하향링크 전송 전력을 나타낸다.

[0068] 하향링크 구간인  $k+2 \leq n \leq K+2$  번째 시간 구간 동안 기지국은 단말 k에게 총  $\eta^{l_{s,k}}$  비트를 다운로드해야 하므로, 하향링크 단계 동안 다운로드된 총 비트에 대한 제약조건은 아래의 수학적 식 7과 같이 표현할 수 있다.

**수학적 식 7**

$$\sum_{n=k+2}^{K+2} I_{D,k}[n] \geq \eta^{l_{s,k}}, \forall k$$

[0069]

[0070] 단말 k의 태스크 데이터 중  $l_{s,k}$  비트가 부분적으로 기지국으로 업로드되고, 서버에서 처리되고, 기지국으로부터 다운로드되는 T 시간 동안, 단말 k는 나머지  $l_{L,k}$  비트를 처리해야 한다. 단말의 컴퓨팅 자원의 클럭 주파수  $f_{L,k} = Cl_{L,k}/T$ 에 대한 최대 주파수 제약은 아래의 수학적 식 8과 같이 표현될 수 있다.

**수학적 식 8**

$$Cl_{L,k} \leq T f_{L,\max}, \forall k$$

[0071]

[0072] 수학적 식 8에서  $f_{L,\max}$ 는 각 단말의 최대 허용 클럭 주파수이다. 단말 k에서 소비되는 에너지는 DVFS 모델에 따라  $E_{L,k} = \kappa_L (Cl_{L,k})^3 / T^2$ 로 표현되고, 이때  $\kappa_L$ 는 각 단말의 유효 정전용량 상수이다.

[0073] 전술한 바와 같은 가정에 기초하여 MEC 시스템 소비 에너지 최소화를 위한 문제를 다음과 같이 표현할 수 있다.

[0074] 먼저, 상향링크 단계, 컴퓨팅 단계, 및 하향링크 단계에서, 전체 K 개의 단말에서 소비되는 에너지를  $C_{user}$ 라 하고, 기지국 및 서버에서 소비되는 에너지를  $C_{BS}$ 라 하고, 이는 아래의 수학적 식 9와 같이 표현될 수 있다.

수학식 9

$$\begin{aligned} \zeta_{\text{user}} &= \sum_{k=1}^K E_{L,k} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^k t[n] p_k[n] \\ \zeta_{\text{BS}} &= \sum_{k=1}^K E_{S,k} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=k+2}^{K+2} t[n] q_k[n] \end{aligned}$$

[0075]

[0076]

MEC 시스템의 소비 에너지 최소화 문제를 해결하기 위해서, 전체 허용 지연 시간 T 내의 각각의 n 및 전체 단말 개수 K 내의 각각의 k에 대해서, 다음과 같이 최적화 대상 변수를 설정할 수 있다.

[0077]

각각의 n 및 k에 대해서, 시간 구간 n에서 단말 k의 기지국으로의 상향링크 전송 전력  $p_k[n]$ , 및 시간 구간 n에서 기지국의 단말 k로의 하향링크 전송 전력  $q_k[n]$ 의 집합에 대한 변수(이하, 전송 전력 변수)를 P라고 하고,  $\mathbf{P} \triangleq \{p_k[n], q_k[n], \forall k, n\}$  와 같이 정의될 수 있다.

[0078]

각각의 n에 대해서, 시간 구간 n에서 상향링크 자원 할당 비율  $\alpha[n]$ , 및 시간 구간 n에서 하향링크 자원 할당 비율  $\beta[n]$ 의 집합에 대한 변수(이하, 자원 할당 비율 변수)를 W라 하고,  $\mathbf{W} \triangleq \{\alpha[n], \beta[n], \forall n\}$  와 같이 정의될 수 있다.

[0079]

각각의 n에 대해서, 시간 구간 n의 길이인  $t[n]$ 의 집합에 대한 변수(이하, 시간 구간 길이 변수)를 T라 하고,  $\mathbf{T} \triangleq \{t[n], \forall n\}$  와 같이 정의될 수 있다.

[0080]

각각의 k에 대해서, 단말에서 처리되는 데이터 크기  $l_{L,k}$ , 및 서버에서 처리되는 데이터 크기  $l_{S,k}$ 의 집합에 대한 변수(이하, 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수)를 O라 하고,  $\mathbf{O} \triangleq \{l_{L,k}, l_{S,k}, \forall k\}$  와 같이 정의될 수 있다.

[0081]

이와 같이 전송 전력 변수 P, 자원 할당 비율 변수 W, 시간 구간 길이 변수 T, 및 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수 O를 최적화하여, MEC 시스템의 소비 에너지를 최소화시키는 문제를 해결하기 위해서, MEC 시스템의 소비 에너지 모델은 아래의 수학식 10과 같이 표현될 수 있다.

수학식 10

$$\begin{aligned} (P) \quad & \min_{\mathbf{P}, \mathbf{W}, \mathbf{T}, \mathbf{O}} w_1 \zeta_{\text{user}} + w_2 \zeta_{\text{BS}} \\ & s.t. \quad \sum_{n=1}^{K+2} t[n] \leq T, \alpha[n] + \beta[n] = 1, \forall n \quad (1) \\ & p_k[n] \leq P_U, \forall k, n, \sum_{k=1}^K q_k[n] \leq P_D, \forall n \quad (2) \\ & Cl_{S,k} \leq t[k+1] f_{S,\max}, Cl_{L,k} \leq T f_{L,\max}, \forall k \quad (3) \\ & \sum_{n=1}^k I_{U,k}[n] \geq l_{S,k}, \sum_{n=k+2}^{K+2} I_{D,k}[n] \geq \eta l_{S,k}, \forall k \quad (4) \end{aligned}$$

[0082]

[0083]

수학식 10에서  $w_1$ 은 전체 시스템의 소비 에너지에서 전체 단말에서의 소비 에너지가 차지하는 비중(즉, 단말 소비 에너지 비용 가중치)을 나타내고,  $w_2$ 는 전체 시스템의 소비 에너지에서 기지국 및 서버에서의 소비 에너지가 차지하는 비중(즉, 기지국 및 서버 소비 에너지 비용 가중치)를 나타낸다.  $w_1$  및  $w_2$ 는 각각 0 이상 1 이하(또는

0 초과 1 미만)의 값으로 미리 설정될 수 있고,  $w_1$  및  $w_2$ 의 합은 1로 설정될 수 있다. 이러한 비용 가중치는 단말 소비 에너지와 기지국 및 서버의 소비 에너지 중에서 어떤 것이 전체 시스템 소비 에너지와 높은 상관관계를 가지는지에 대한 시스템 모델링 관점에서 설정될 수 있다.

- [0084] 예를 들어, 일반적으로 기지국 및 서버는 전원에 지속적으로 연결되어 있어 에너지 소비에 대한 제약이나 생존 시간 등에 제약이 상대적으로 적고, 단말의 경우 지속적인 전원 공급이 어려우므로 에너지 소비는 생존시간 감소에 직결된다. 따라서 전체 MEC 시스템에서 소비되는 에너지 중 시스템 성능에 영향을 미치는 비중은, 기지국 및 서버에서의 에너지 소비와, 단말에서의 에너지 소비에서 동일하지 않은 것으로 가정할 수 있다. 예를 들어, 상기 비중은 단말에서의 에너지 소비가 더 크다고 가정할 수 있다. 이 경우,  $w_1$ 은  $w_2$ 보다 더 높은 값으로 설정될 수 있다. 다만, 이러한 설정은 예시적인 것이며, 시스템 특성에 따라서  $w_2$ 를  $w_1$ 보다 높게 설정하거나,  $w_1$ 과  $w_2$ 를 동일하게 설정할 수도 있다. 즉, 본 개시에 따른 MEC 시스템 소비 에너지 최소화 문제는, 단순한 합 에너지 최소화가 아닌, 가중치가 부여된 합 에너지의 최소화 문제로 설정될 수 있다.
- [0085] 수학적 10에서 (1)은 시간 구간 길이 변수 T에 대한 제약 조건을 나타내는 수학적 1, 및 자원 할당 비율 변수 W에 대한 제약 조건을 나타내는 수학적 2에 해당한다.
- [0086] 수학적 10에서 (2)는 전송 전력 변수 P에 대한 제약 조건을 나타낸다. 여기서,  $P_U$ 는 각각의 단말의 기지국으로의 상향링크 전송에 대한 최대 전송 전력을 나타내고,  $P_D$ 는 기지국의 각각의 단말로의 하향링크 전송에 대한 최대 전송 전력을 나타낸다.
- [0087] 수학적 10에서 (3) 및 (4)는 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수 O에 대한 제약 조건을 나타낸다. 구체적으로 (3)은 서버의 컴퓨팅 파워에 대한 제약 조건을 나타내는 수학적 5, 및 단말의 컴퓨팅 파워에 대한 제약 조건을 나타내는 수학적 8에 해당한다. 또한, (4)는 단말의 상향링크 전송 데이터 크기에 대한 제약 조건을 나타내는 수학적 4, 기지국의 하향링크 전송 데이터 크기에 대한 제약 조건을 나타내는 수학적 7에 해당한다.
- [0088] 수학적 10에서 목적 함수의 에너지  $C_{BS}$  및  $C_{user}$ 는 비볼록(non-convex) 특성을 가지고, (4)의  $I_{U,k}[n]$  및  $I_{D,k}[n]$ 도 비볼록 특성을 가진다. 따라서, 수학적 10의 문제는 비볼록성으로 인하여, 소비 에너지 최소화를 직접적으로 계산할 수 없다. 따라서, 비볼록 문제를 볼록(convex) 문제로 근사화시켜 반복적으로 해결하기 위한 SCA(Successive Convex Approximation) 방식을 적용할 수 있다.
- [0089] SCA에 따르면, 특정 변수 값(즉, 이전 반복에서 얻어지는 최적값)이 주어질 때, 그 값을 바탕으로 비볼록 함수의 오목한(concave) 하한 또는 볼록한(convex) 상한의 대리 함수를 얻어 전체 문제를 볼록한 문제로 근사화시킬 수 있다. 이에 따라, 근사화된 문제를 해결한 뒤 얻어진 변수 값을 바탕으로 목적 함수가 수렴할 때까지 계속 반복을 진행할 수 있다.
- [0090] 이하에서는 비볼록 함수의 볼록 또는 오목 함수로의 근사화에 대해서 설명한다.
- [0091] 도 3은 본 개시가 적용가능한 MEC 시스템의 에너지 소비 최소화를 목적으로 관련 변수들의 최적값을 구하는 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [0092] 단계 S310에서, 전송 전력 변수 P, 자원 할당 비율 변수 W, 시간 구간 길이 변수 T, 및 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수 O 중의 하나 이상에 기초하여, MEC 시스템의 소비 에너지 모델을 설정할 수 있다. 예를 들어, 소비 에너지 모델은 수학적 10과 같은 비볼록 함수의 문제로 표현될 수 있다.
- [0093] 소비 에너지 모델의 근사화를 위해서 비볼록 함수의 대리 함수를 획득하는 것이 필요하고, 대리 함수를 이용하여 근사화된 목적 함수가 수렴할 때까지 반복적인 문제 해결이 수행된다. 대리 함수를 획득하기 위해서 이전 반복에서의 값이 요구되므로, 최초로 문제 해결을 시도할 때에 변수들에 대한 초기값을 설정할 수 있다.
- [0094] 이를 위하여, 단계 S320에서는 반복 횟수를 나타내는 m을 0 값으로 설정하고, 단계 S330에서 변수 P, W, T, 또는 O 중의 하나 이상을 초기화할 수 있다. 그 후, 문제 해결을 시도할 때마다 단계 S340에서와 같이 m 값을 1씩 증가시킬 수 있다.
- [0095] 구체적으로, 수학적 10의 비볼록 함수를 볼록 함수 또는 오목 함수로 변형하기 위해서, 시간 구간의 길이  $t[n]$ 과 상향링크 전송 전력  $p_k[n]$ 의 곱을 새로운 변수  $E_{U,k}[n]$ 으로 정의할 수 있고, 이는 n 번째 시간 구간에서 단말 k에서 기지국으로의 상향링크 전송을 위해서 소비되는 에너지를 나타낸다. 시간 구간의 길이  $t[n]$ 과 하향링크

전송 전력  $p_k[n]$ 의 곱을 새로운 변수  $E_{D,k}[n]$ 으로 정의할 수 있고, 이는  $n$  번째 시간 구간에서 기지국이 단말  $k$  로의 하향링크 전송을 위해서 소비되는 에너지를 나타낸다. 시간 구간의 길이  $t[n]$ 과 상향링크 자원 할당 비율  $\alpha[n]$ 의 곱을 새로운 변수  $A[n]$ 으로 정의할 수 있고, 이는  $n$  번째 시간 구간에서 상향링크 전송을 위해 실질적으로 사용되는 자원을 나타낸다. 시간 구간의 길이  $t[n]$ 과 하향링크 자원 할당 비율  $\beta[n]$ 의 곱을 새로운 변수  $B[n]$ 으로 정의할 수 있고, 이는  $n$  번째 시간 구간에서 하향링크 전송을 위해 실질적으로 사용되는 자원을 나타낸다. 즉, 근사화를 위한 새로운 변수들은 아래의 수학적 식 11과 같이 표현될 수 있다.

**수학적 식 11**

$$E_{U,k}[n] = t[n]p_k[n], \quad E_{D,k}[n] = t[n]q_k[n], \quad \forall k, n$$

$$A[n] = t[n]\alpha[n], \quad B[n] = t[n]\beta[n], \quad \forall n$$

[0096]

[0097] 수학적 식 11과 같이 정의되는 새로운 변수를 수학적 식 10의 비블록 특성을 가지는 인자들인 기지국 및 서버에서 소비되는 에너지  $\zeta_{BS}$ , 단말에서 소비되는 에너지  $\zeta_{user}$ , 상향링크 전송 데이터 크기  $I_{U,k}[n]$ , 및 하향링크 전송 데이터 크기  $I_{D,k}[n]$ 의 각각에 적용하여, 아래의 수학적 식 12와 같은 블록 함수로 변형할 수 있다.

**수학적 식 12**

$$\zeta_{user} = \sum_{k=1}^K E_{L,k} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^k E_{U,k}[n],$$

$$\zeta_{BS} = \sum_{k=1}^K E_{S,k} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=k+2}^{K+2} E_{D,k}[n].$$

$$I_{U,k}[n] = BW A[n] \log_2 \left( 1 + \frac{E_{U,k}[n]\gamma_k}{\sum_{i=n}^{k-1} E_{U,i}[n]\gamma_i + A[n]} \right),$$

$$I_{D,k}[n] = BW B[n] \log_2 \left( 1 + \frac{E_{D,k}[n]\gamma_k}{\gamma_k \sum_{i=k+1}^{n-2} E_{D,i}[n] + B[n]} \right)$$

[0098]

[0099] 수학적 식 12와 같이 변형된 변수에 대해서, 전체 허용 지연 시간  $T$  내의 각각의  $n$  및 전체 단말 개수  $K$  내의 각각의  $k$ 에 대해서, 다음과 같이 새로운 변수를 설정할 수 있다.

[0100] 각각의  $n$  및  $k$ 에 대해서, 시간 구간  $n$  에서 단말  $k$ 에서 기지국으로의 상향링크 전송을 위해서 소비되는 에너지  $E_{U,k}[n]$ , 및 시간 구간  $n$  에서 기지국이 단말  $k$ 로의 하향링크 전송을 위해서 소비되는 에너지  $E_{D,k}[n]$ 의 집합에 대한 변수를  $\mathbf{E}$ (이하, 상향링크 및 하향링크 전송 소비 에너지 변수)라 하고,  $\mathbf{E} \triangleq \{E_{U,k}[n], E_{D,k}[n], \forall k, n\}$  와 같이 정의될 수 있다.

[0101] 각각의  $n$ 에 대해서, 시간 구간  $n$ 에서 상향링크 전송을 위해 실질적으로 사용되는 자원  $A[n]$ , 및 시간 구간  $n$ 에서 하향링크 전송을 위해 실질적으로 사용되는 자원  $B[n]$ 의 집합에 대한 변수를  $\mathbf{A}$ (이하, 상향링크 및 하향링크 사용 자원 변수)라 하고,  $\mathbf{A} \triangleq \{A[n], B[n], \forall n\}$  와 같이 정의될 수 있다.

[0102] 또한, 상향링크 전송 데이터 크기  $I_{U,k}[n]$ , 및 하향링크 전송 데이터 크기  $I_{D,k}[n]$ 는 아래의 수학적 식 13과 같이 새로운 함수  $f(x,y)$ 의 형태로 표현될 수 있다.

수학식 13

$$f(x, y) \triangleq x \log_2 \left( 1 + \frac{y}{x} \right)$$

$$I_{U,k}[n] = \text{BW } f \left( A[n], \sum_{i=n}^k E_{U,i}[n] \gamma_i \right) - \text{BW } f \left( A[n], \sum_{i=n}^{k-1} E_{U,i}[n] \gamma_i \right)$$

$$I_{D,k}[n] = \text{BW } f \left( B[n], \gamma_k \sum_{i=k}^{n-2} E_{D,i}[n] \right) - \text{BW } f \left( B[n], \gamma_k \sum_{i=k+1}^{n-2} E_{D,i}[n] \right)$$

[0103]

[0104] 상향링크 전송 데이터 크기  $I_{U,k}[n]$ , 및 하향링크 전송 데이터 크기  $I_{D,k}[n]$ 의 대리 하한 함수를 구하기 위해, 함수  $f(x,y)$ 에 대해서  $\tilde{x}$  및  $\tilde{y}$ 의 값이 주어진 경우, 함수  $f(x,y)$ 의 블록한 대리 상한 함수  $g(x,y)$ 는 1차 테일러 근사화(first order Taylor approximation)를 통해 수학식 14와 같이 표현할 수 있다.

수학식 14

$$g(x, y | \tilde{x}, \tilde{y}) \triangleq x \log_2 \left( 1 + \frac{\tilde{y}}{\tilde{x}} \right) - \frac{\log_2 e}{\tilde{x} + \tilde{y}} (x\tilde{y} - \tilde{x}y)$$

[0105]

[0106] 다음으로, 상향링크 전송을 위해서 소비되는 에너지  $E_{U,k}[n]$ 에, 유효 SNR인  $\gamma_k$ 를 곱한 값에 기초하여  $J_{U,k}[n]$ 을 정의할 수 있다. 또한, 하향링크 전송을 위해서 소비되는 에너지  $E_{D,k}[n]$ 에, 유효 SNR인  $\gamma_k$ 를 곱한 값에 기초하여  $J_{D,k}[n]$ 을 정의할 수 있다. 즉,  $J_{U,k}[n]$ 은 상기 수학식 13에서 정의되는 상향링크 전송 데이터 크기  $I_{U,k}[n]$  중에서  $E_{U,k}[n]$  및  $\gamma_k$ 에 해당하는 부분을 표현하기 위한 치환 변수에 해당한다. 또한,  $J_{D,k}[n]$ 은 상기 수학식 13에서 정의되는 하향링크 전송 데이터 크기  $I_{D,k}[n]$  중에서  $E_{D,k}[n]$  및  $\gamma_k$ 에 해당하는 부분을 표현하기 위한 치환 변수에 해당한다. 여기서, 변수  $z$ 의  $m$  번째 반복에서 얻어지는 값을  $z^{(m)}$ 이라 표현할 수 있다. 이 경우,

$$J_{U,k}^{(m)}[n] \triangleq \sum_{i=n}^k E_{U,i}^{(m)}[n] \gamma_i, \quad \text{및} \quad J_{D,k}^{(m)}[n] \triangleq \gamma_k \sum_{i=k}^{n-2} E_{D,i}^{(m)}[n]$$

와 같이 표현할 수 있다.

[0107] 전술한 수학식 13 내지 14의 과정을 종합하여,  $m-1$  번째 반복에서 얻어진  $A^{(m-1)}[n]$ ,  $J_{U,k-1}^{(m-1)}[n]$ ,  $B^{(m-1)}[n]$ , 및  $J_{D,k+1}^{(m-1)}[n]$ 의 값이 주어졌을 때, 하기 수학식 15에서 상향링크 전송 데이터 크기  $I_{U,k}^{(m)}[n]$ , 및 하향링크 전송 데이터 크기  $I_{D,k}^{(m)}[n]$ 의 오목한 대리 하한함수는 각각  $\tilde{I}_{U,k}^{(m)}[n]$ 와  $\tilde{I}_{D,k}^{(m)}[n]$ 로 구할 수 있다.

수학식 15

$$I_{U,k}^{(m)}[n] \geq \tilde{I}_{U,k}^{(m)}[n] \triangleq \text{BW} \left( f \left( A^{(m)}[n], J_{U,k}^{(m)}[n] \right) - g \left( A^{(m)}[n], J_{U,k-1}^{(m)}[n] | A^{(m-1)}[n], J_{U,k-1}^{(m-1)}[n] \right) \right)$$

$$I_{D,k}^{(m)}[n] \geq \tilde{I}_{D,k}^{(m)}[n] \triangleq \text{BW} \left( f \left( B^{(m)}[n], J_{D,k}^{(m)}[n] \right) - g \left( B^{(m)}[n], J_{D,k+1}^{(m)}[n] | B^{(m-1)}[n], J_{D,k+1}^{(m-1)}[n] \right) \right)$$

[0108]

[0109] 단계 S350에서 전술한 바와 같이 근사화된 문제를 해결할 수 있다.

[0110] 구체적으로, 비블록 함수들에 대한 근사화된 블록한 또는 오목한 대리 함수들을 수학식 10에 적용할 때,  $m-1$  번째 반복에서 얻어진 값들이 주어진 경우, 수학식 10의 문제는 수학식 16의 문제로 다시 표현할 수 있다.

수학식 16

$$\begin{aligned}
 (P) \quad & \min_{\mathbf{E}, \mathbf{A}, \mathbf{T}, \mathbf{O}} \quad w_1 \zeta_{\text{user}} + w_2 \zeta_{\text{BS}} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{n=1}^{K+2} t[n] \leq T, \quad A[n] + B[n] = t[n], \quad \forall n, \\
 & E_{U,k}[n] \leq t[n] P_U, \quad \forall k, n, \quad \sum_{k=1}^K E_{D,k}[n] \leq t[n] P_D, \quad \forall n \\
 & Cl_{S,k} \leq t[k+1] f_{S,\max}, \quad Cl_{L,k} \leq T f_{L,\max}, \quad \forall k, \\
 & \sum_{n=1}^k \hat{I}_{U,k}^{(m)}[n] \geq l_{S,k}, \quad \sum_{n=k+2}^{K+2} \hat{I}_{D,k}^{(m)}[n] \geq \eta l_{S,k}, \quad \forall k
 \end{aligned}$$

[0111]

[0112] 수학식 16은 볼록 문제이므로, 볼록 함수의 최적화 방식(예를 들어, CVX 등)을 적용하여 각각의 변수들(즉, 상향링크 및 하향링크 전송 소비 에너지 변수 E, 상향링크 및 하향링크 사용 자원 변수 A, 시간 구간 길이 변수 T, 및 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수 O 중의 하나 이상)에 대한 최적화된 값이 산출될 수 있다.

[0113] 여기서, 수학식 11과 같이 변수 E에 포함되는 상향링크 전송 소비 에너지  $E_{U,k}[n]$ 은 변수 P에 포함되는 상향링크 전송 전력  $p_k[n]$ 과 변수 T에 포함되는 시간 구간 길이  $t[n]$ 의 곱에 해당하고, 변수 E에 포함되는 하향링크 전송 소비 에너지  $E_{D,k}[n]$ 은 변수 P에 포함되는 하향링크 전송 전력  $q_k[n]$ 과 변수 T에 포함되는 시간 구간 길이  $t[n]$ 의 곱에 해당하므로, 변수 E에 대한 최적값에 기초하여 변수 P에 대한 최적값이 도출될 수 있다.

[0114] 또한, 수학식 11과 같이 변수 A에 포함되는 상향링크 전송 사용 자원  $A[n]$ 은 변수 W에 포함되는 상향링크 자원 할당 비율  $\alpha[n]$ 과 변수 T에 포함되는 시간 구간 길이  $t[n]$ 의 곱에 해당하고, 변수 A에 포함되는 하향링크 전송 사용 자원  $B[n]$ 은 변수 W에 포함되는 하향링크 자원 할당 비율  $\beta[n]$ 과 변수 T에 포함되는 시간 구간 길이  $t[n]$ 의 곱에 해당하므로, 변수 A에 대한 최적값에 기초하여 변수 W에 대한 최적값이 도출될 수 있다.

[0115] 단계 S350에서는 수학식 16과 같이 근사화된 문제(즉, 목적 함수)를 해결함으로써 변수 P, W, T, 또는 O 중의 하나 이상에 대한 임시 최적값이 산출될 수 있다. 즉, m 번째 반복에서 산출된 변수들의 최적값은 임시 최적값으로 저장될 수 있다. 여기서, 변수 P에 대한 최적값은 변수 E 및 T에 대한 최적값으로부터 도출될 수 있고, 변수 W에 대한 최적값은 변수 A 및 T에 기초하여 도출될 수도 있다.

[0116] 단계 S660에서 목적 함수가 수렴하지 않는 경우에는, 단계 S340으로 돌아가서 m 값을 1만큼 증가시키고, 단계 S350에서 이전 반복(즉, m-1 번째 반복)에서 산출된 임시 최적값을 기반으로 다시 수학식 16의 근사화된 문제를 해결함으로써 새로운 임시 최적값으로 업데이트될 수 있다.

[0117] 단계 S360에서 목적 함수가 수렴하는 경우, 단계 S370으로 진행하여 현재의 변수 P, W, T, 또는 O 중의 하나 이상에 대한 임시 최적값을 최종적인 최적값으로 결정할 수 있다.

[0118] 이와 같이, 수학식 16의 목적 함수가 수렴할 때까지 반복적으로 해결함으로써, 변수 P, W, T, 또는 O 중의 하나 이상에 대한 최적값을 산출할 수 있다.

[0119] 이러한 최적값은 MEC 시스템의 비동기식 오프로딩 자원 할당에 기반한 MEC 컴퓨팅이 수행되는 허용 지연 시간 구간인 T 내에서 각각의 시간 구간 n 및 각각의 단말 k에 대해서 결정될 수 있다.

[0120] 수학식 16을 반복적으로 해결하여 수렴점에서 얻어지는 각각의 변수들의 최적값은, 기지국, 서버, 및 단말(들)에 대해서 설정될 수 있고, 이에 따라 동작할 수 있다.

[0121] 구체적으로, 각각의 단말 k는 각각의 시간 구간 n에서 기지국으로 상향링크 전송을 수행함에 있어서, 변수 O의 최적값에 따른 서버에서 처리되는 데이터 크기  $l_{S,k}$ 를 결정하고, 변수 T의 최적값에 따른 n 번째 시간 구간의 길

이  $t[n]$ 을 결정하고, 변수  $P$ 의 최적값에 따른 상향링크 전송 전력  $p_k[n]$ 을 적용하고, 변수  $W$ 의 최적값에 따른 상향링크 자원 할당 비율  $\alpha[n]$ 을 적용할 수 있다. 또한, 단말은  $T$  구간 동안 변수  $O$ 의 최적값에 따른 단말에서 처리되는 데이터 크기  $l_{L,k}$ 에 해당하는 데이터에 대한 계산을 수행할 수 있다.

- [0122] 기지국은 각각의 시간 구간  $n$ 에서 각각의 단말  $k$ 에 대한 하향링크 전송을 수행함에 있어서, 변수  $T$ 의 최적값에 따른  $n$  번째 시간 구간의 길이  $t[n]$ 을 결정하고, 변수  $P$ 의 최적값에 따른 하향링크 전송 전력  $q_k[n]$ 을 적용하고, 변수  $W$ 의 최적값에 따른 하향링크 자원 할당 비율  $\beta[n]$ 을 적용할 수 있다.
- [0123] 서버는 각각의 시간 구간  $n$ 에서 각각의 단말  $k$ 로부터 오프로드된 데이터를 처리함에 있어서, 변수  $T$ 의 최적값에 따른  $n$  번째 시간 구간의 길이  $t[n]$ 을 결정하고, 변수  $O$ 의 최적값에 따른 서버에서 처리되는 데이터 크기  $l_{S,k}$ 를 결정할 수 있다.
- [0124] 도 4는 본 개시가 적용될 수 있는 MEC 시스템의 통신 및 컴퓨팅 방법의 예시를 나타내는 도면이다.
- [0125] 단계 S410에서 기지국은 자신의 기초 정보를 획득 또는 결정할 수 있다. 예를 들어, 기지국 기초 정보는, 하향링크 최대 전송 전력  $P_b$ , 단말(들)에 대해서 지원가능한 총 주파수 대역폭  $BW$ , 계산 결과 변화율  $\eta$  등을 포함할 수 있다.
- [0126] 단계 S420에서 단말(들)의 각각은 자신의 기초 정보를 기지국에게 전달할 수 있다. 예를 들어, 단말 기초 정보는, 단말의 위치에 따른 채널 이득 정보  $h_k$ , 상향링크 최대 전송 전력  $P_U$ , 단말에서 처리해야 하는 태스크  $S_k$ 의 비트 크기  $L_k$ , 단말의 최대 허용 클럭 주파수  $f_{L,max}$ , 유효 정전용량 상수  $k^L$  등을 포함할 수 있다.
- [0127] 단계 S430에서 서버는 자신의 기초 정보를 기지국에게 전달할 수 있다. 예를 들어, 서버 기초 정보는, 서버의 최대 허용 클럭 주파수  $f_{S,max}$ , 유효 정전용량 상수  $k^S$  등을 포함할 수 있다.
- [0128] 단계 S440에서 기지국은 기지국, 단말(들), 및 서버의 기초 정보를 이용하여, MEC 시스템의 소비 에너지 최소화를 위한 변수들의 최적값을 결정할 수 있다. 즉, 도 3의 최적값 산출 동작이 기지국에 의해서 수행될 수 있다.
- [0129] 예를 들어, 기지국은 단말 기초 정보를 제공한 단말들의 개수를 고려하여, MEC 시스템의 비동기식 오프로딩 데이터 처리의 대상이 되는 단말의 개수  $K$ 를 결정할 수 있다. 또한, 단말의 위치에 따른 채널 이득 정보  $h_k$ 에 기초하여, 각각의 단말에 대한 유효 SNR 등을 결정할 수 있다. 또한, 기지국은 단말의 소비 에너지 비용 가중치  $w_1$  및 기지국 및 서버의 소비 에너지 비용 가중치  $w_2$ 를 결정할 수 있다. 이에 기초하여, 기지국은 수학적 10과 같은 시스템 모델을 설정할 수 있다. 설정된 시스템 모델은 수학적 16과 같은 근사화된 목적 함수로 변환되고, 반복 계산을 통하여, MEC 시스템 소비 에너지 최소화를 달성할 수 있는 변수  $P$ ,  $T$ ,  $W$  및  $O$ 의 최적값을 산출할 수 있다.
- [0130] 기지국은 산출된 최적값 중에서 자신에게 설정된 정보로서, 전체 허용 지연 시간  $T$ ,  $n$  번째 시간 구간의 길이  $t[n]$ , 하향링크 전송 전력  $q_k[n]$ , 하향링크 자원 할당 비율  $\beta[n]$ 을 결정할 수 있다.
- [0131] 단계 S450에서 기지국은 단말(들)에게 최적값에 대한 설정 정보를 전달할 수 있다. 예를 들어, 각각의 단말  $k$ 에 대한 최적값 설정 정보는, 단말에서 처리될 데이터 크기  $l_{L,k}$ , 서버에서 처리될 데이터 크기  $l_{S,k}$ , 전체 허용 지연 시간  $T$ ,  $n$  번째 시간 구간의 길이  $t[n]$ , 상향링크 전송 전력  $p_k[n]$ , 상향링크 자원 할당 비율  $\alpha[n]$  등을 포함할 수 있다.
- [0132] 단계 S460에서 기지국은 서버에게 최적값에 대한 설정 정보를 전달할 수 있다. 예를 들어, 서버에 대한 최적값 설정 정보는, 전체 허용 지연 시간  $T$ ,  $n$  번째 시간 구간의 길이  $t[n]$ , 서버에서 처리될 데이터 크기  $l_{S,k}$  등을 포함할 수 있다.
- [0133] 단계 S470에서 기지국, 단말(들) 및 서버는 각각 설정된 최적값을 이용하여 MEC 기반 상향링크/하향링크 통신 및 컴퓨팅을 수행할 수 있다.
- [0134] 추가적인 예시로서, 전술한 최적값 산출 방법은 기지국, 서버 또는 단말 이외의 다른 네트워크 노드(예를 들어, 네트워크 관리 개체)에 의해서 수행될 수도 있다. 이 경우, 네트워크 노드는 기지국, 서버 및 단말에 대한 기초

정보를 미리 획득하고, 이에 기초하여 최적값을 산출하여 기지국, 서버 및 단말에게 제공할 수도 있다.

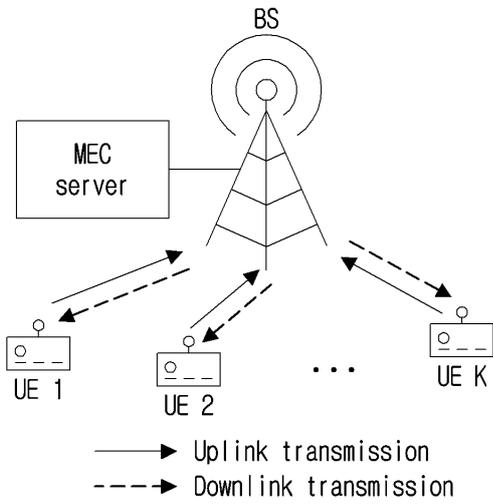
- [0135] 도 3 및 도 4를 참조하여 설명한 방법에 있어서, 최적값을 결정 및/또는 제공하는 동작은 단말 및 기지국의 상향링크/하향링크 통신 및/또는 서버의 컴퓨팅과 병행하여 수행될 수도 있다. 또는, 사전에 단말, 기지국 및 서버의 기초 정보를 이용하여 최적값이 단말 및 기지국의 상향링크/하향링크 통신 및/또는 서버의 컴퓨팅이 수행되기 전에 미리 결정 및/또는 제공될 수도 있다.
- [0136] 도 5는 본 개시에 따른 기지국 장치 및 단말 장치의 구성을 나타내는 도면이다.
- [0137] 기지국 장치(500)는 프로세서(510), 안테나부(520), 트랜시버(530), 메모리(540), 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545)를 포함할 수 있다.
- [0138] 프로세서(510)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하며, 상위계층 처리부(511) 및 물리계층 처리부(515)를 포함할 수 있다. 상위계층 처리부(511)는 MAC 계층, RRC 계층, 또는 그 이상의 상위계층의 동작을 처리할 수 있다. 물리계층 처리부(515)는 PHY 계층의 동작(예를 들어, 하향링크 송신 신호 처리, 상향링크 수신 신호 처리 등)을 처리할 수 있다. 프로세서(510)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하는 것 외에도, 기지국 장치(500) 전반의 동작을 제어할 수도 있다.
- [0139] 안테나부(520)는 하나 이상의 물리적 안테나를 포함할 수 있고, 복수개의 안테나를 포함하는 경우 MIMO 송수신을 지원할 수 있다. 트랜시버(530)는 RF 송신기와 RF 수신기를 포함할 수 있다. 메모리(540)는 프로세서(510)의 연산 처리된 정보, 기지국 장치(500)의 동작에 관련된 소프트웨어, 운영체제, 애플리케이션 등을 저장할 수 있으며, 버퍼 등의 구성요소를 포함할 수도 있다.
- [0140] 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545)는 단말 장치(500)로부터 오프로드(또는 업로드)되는 태스크 데이터에 대한 처리를 수행하고 그 결과물을 프로세서(510) 또는 메모리(540)로 전달할 수 있다. 또한, 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545)는 기지국 장치(500)에 통합될 수도 있지만, 본 개시의 범위가 이에 제한되는 것은 아니며 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545)에 대응하는 MEC 서버 장치가 기지국 장치(500)와 별개의 개체로서 구성될 수도 있다. 이 경우, MEC 서버 장치는 기지국 장치(500)와 지연이나 손실 없이 통신 가능하도록 구현될 수 있다.
- [0141] 기지국 장치(500)의 프로세서(510)는 본 발명에서 설명하는 실시예들에서의 기지국의 동작을 구현하도록 설정될 수 있다.
- [0142] 예를 들어, 기지국 장치(500)의 프로세서(510)의 상위계층 처리부(511)는 기초 정보 획득부(512) 및 최적값 획득부(513)를 포함할 수 있다.
- [0143] 기초 정보 획득부(512)는 기지국 장치(500) 자신의 기초 정보(예를 들어, 하향링크 최대 전송 전력  $P_D$ , 단말(들)에 대해서 지원가능한 총 주파수 대역폭 BW, 계산 결과 변화율 <sup>7)</sup> 등)를 메모리(540)으로부터 독출하거나 메모리(540)에 저장된 정보에 기초하여 결정할 수 있다.
- [0144] 또한, 기초 정보 획득부(512)는 단말 장치(550)의 기초 정보(예를 들어 단말의 위치에 따른 채널 이득 정보  $h_k$ , 상향링크 최대 전송 전력  $P_U$ , 단말에서 처리해야 하는 태스크  $S_k$ 의 비트 크기  $L_k$ , 단말의 최대 허용 클럭 주파수  $f_{L,max}$ , 유효 정전용량 상수  $k^L$  등)를 단말 장치(550)로부터 수신하거나, 이전에 수신하여 메모리(540)에 저장된 해당 정보를 독출하거나 메모리(540)에 저장된 정보에 기초하여 결정할 수 있다.
- [0145] 또한, 기초 정보 획득부(512)는 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545) 또는 MEC 서버 장치의 기초 정보(예를 들어, 오프로드 데이터 컴퓨팅부(또는 MEC 서버 장치)의 최대 허용 클럭 주파수  $f_{S,max}$ , 유효 정전용량 상수  $k^S$  등)를 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545) 또는 MEC 서버 장치로부터 획득하거나, 이전에 수신하여 메모리(540)에 저장된 해당 정보를 독출하거나 메모리(540)에 저장된 정보에 기초하여 결정할 수 있다.
- [0146] 최적값 획득부(513)는, 전술한 기지국 장치(500), 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545) (또는 MEC 서버 장치) 및 단말 장치(550)의 기초 정보를 이용하여, MEC 시스템의 소비 에너지 모델 및 근사화된 목적 함수를 도출하고, 소비 에너지 최소화를 위한 소정의 변수의 최적값을 결정할 수 있다.
- [0147] 예를 들어, 소정의 변수는, 전송 전력 변수  $P$ , 자원 할당 비율 변수  $W$ , 시간 구간 길이 변수  $T$ , 및 오프로드-잔여 데이터 파티션 변수  $O$  중의 하나 이상을 포함할 수 있다.

- [0148] 이와 같이 획득된 최적값 중에서 단말 장치(550)에 관련된 정보는 해당 단말 장치(550)에게 최적값 설정 정보의 형태로 구성되어 물리계층 처리부(515)를 통하여 단말 장치(550)에게 전송될 수 있다.
- [0149] 획득된 최적값 중에서 기지국 장치(500)에 관련된 정보는 프로세서(510)로 전달되어 상향링크 수신 및 하향링크 전송에 적용될 수 있다. 예를 들어, 프로세서(500)는 전체 허용 지연 시간, n 번째 시간 구간의 길이, 하향링크 전송 전력, 하향링크 자원 할당 비율 등을 적용할 수 있다.
- [0150] 획득된 최적값 중에서 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545) (또는 MEC 서버 장치)에 관련된 정보는 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545) (또는 MEC 서버 장치)로 전달되어, 단말로부터 오프로드된 데이터의 처리를 위해 적용될 수 있다. 예를 들어, 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545) (또는 MEC 서버 장치)는, 전체 허용 지연 시간, n 번째 시간 구간의 길이, 오프로드 데이터 크기 등을 적용할 수 있다.
- [0151] 만약 최적값의 결정이 다른 네트워크 노드(예를 들어, 네트워크 관리 개체)에 의해서 수행되는 경우, 기지국 장치(500)의 기초 정보 획득부(512)에서 획득된 기초 정보는 물리계층 처리부(515)를 통하여 상기 다른 네트워크 노드로 전달될 수 있다. 이 경우, 최적값 획득부(513)는 상기 다른 네트워크 노드로부터 수신되는 최적값을 획득할 수 있다.
- [0152] 단말 장치(550)는 프로세서(560), 안테나부(570), 트랜시버(580), 메모리(590)를 포함할 수 있다.
- [0153] 프로세서(560)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하며, 상위계층 처리부(561) 및 물리계층 처리부(565)를 포함할 수 있다. 상위계층 처리부(561)는 MAC 계층, RRC 계층, 또는 그 이상의 상위계층의 동작을 처리할 수 있다. 물리계층 처리부(565)는 PHY 계층의 동작(예를 들어, 하향링크 수신 신호 처리, 상향링크 송신 신호 처리 등)을 처리할 수 있다. 프로세서(560)는 베이스밴드 관련 신호 처리를 수행하는 것 외에도, 단말 장치(560) 전반의 동작을 제어할 수도 있다.
- [0154] 안테나부(570)는 하나 이상의 물리적 안테나를 포함할 수 있고, 복수개의 안테나를 포함하는 경우 MIMO 송수신을 지원할 수 있다. 트랜시버(580)는 RF 송신기와 RF 수신기를 포함할 수 있다. 메모리(590)는 프로세서(560)의 연산 처리된 정보, 단말 장치(550)의 동작에 관련된 소프트웨어, 운영체제, 애플리케이션 등을 저장할 수 있으며, 버퍼 등의 구성요소를 포함할 수도 있다.
- [0155] 잔여 데이터 컴퓨팅부(545)는 단말 장치(550)의 태스크 데이터 중에서, 기지국 장치(500)의 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545) (또는 MEC 서버 장치)에게 오프로드(또는 업로드)되는 데이터를 제외한 나머지 태스크 데이터에 해당하는 잔여 데이터에 대한 처리를 수행하고 그 결과물을 프로세서(560) 또는 메모리(590)로 전달할 수 있다.
- [0156] 단말 장치(550)의 프로세서(560)는 본 발명에서 설명하는 실시예들에서의 단말의 동작을 구현하도록 설정될 수 있다.
- [0157] 예를 들어, 단말 장치(550)의 프로세서(560)의 상위계층 처리부(561)는 기초 정보 획득부(562) 및 최적값 획득부(563)를 포함할 수 있다.
- [0158] 기초 정보 획득부(562)는 단말 장치(550) 자신의 기초 정보(예를 들어, 단말의 위치에 따른 채널 이득 정보  $h_k$ , 상향링크 최대 전송 전력  $P_U$ , 단말에서 처리해야 하는 태스크  $S_k$ 의 비트 크기  $L_k$ , 단말의 최대 허용 클럭 주파수  $f_{L,max}$ , 유효 정전용량 상수  $k^L$  등)를 메모리(590)로부터 독출하거나 메모리(590)에 저장된 정보에 기초하여 결정할 수 있다. 이와 같이 획득된 기초 정보는 단말 기초 정보의 형태로 구성되어 물리계층 처리부(565)를 통하여 기지국 장치(500) 또는 다른 네트워크 노드(예를 들어, 네트워크 관리 개체)에게 전송될 수 있다.
- [0159] 최적값 획득부(563)는 기지국 장치(500) 또는 다른 네트워크 노드로부터 제공되는 최적값 설정 정보에 기초하여 단말 장치(550)에 적용될 최적값을 결정할 수 있다.
- [0160] 이에 따라, 단말 장치(550)의 프로세서(560)는, 획득된 최적값에 기초하여, 단말에서 처리될 데이터(즉, 잔여 데이터) 크기, 서버에서 처리될 데이터(즉, 오프로드 데이터) 크기, 전체 허용 지연 시간, n 번째 시간 구간의 길이, 상향링크 전송 전력, 상향링크 자원 할당 비율 등을 적용할 수 있다.
- [0161] 기지국 장치(500), 오프로드 데이터 컴퓨팅부(545) 또는 MEC 서버 장치, 및 단말 장치(550)의 동작에 있어서 본 발명의 예시들에서 기지국, 서버 및 단말에 대해서 설명한 사항이 동일하게 적용될 수 있으며, 중복되는 설명은 생략한다.

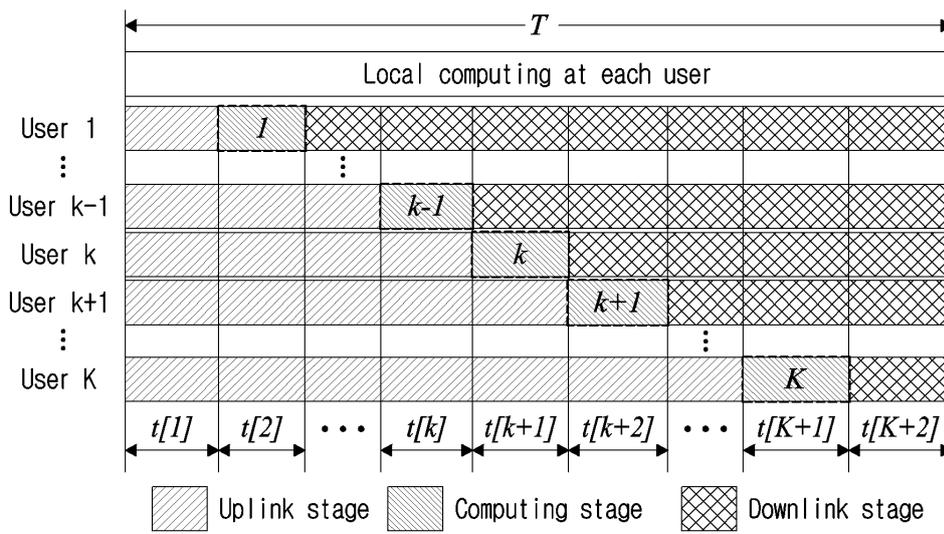
- [0162] 도 6은 동기 방식과 비동기 방식의 MEC 시스템에서 단말 개수에 따른 에너지 소비를 나타낸 그래프이다.
- [0163] 도 7은 동기 방식과 비동기 방식의 MEC 시스템에서 처리하고자 하는 태스크 크기에 따른 에너지 소비를 나타낸 그래프이다.
- [0164] 도 6 및 도 7에서 본 개시에 따른 비동기 방식에 따른 결과는 “Async” 로 표시되고, 본 개시와 대비되는 동기 방식에 따른 결과는 “Sync” 로 표시된다.
- [0165] 도 6 및 도 7의 예시에서 총 주파수 대역폭  $BW=10\text{MHz}$ , 노이즈 파워  $\sigma^2 = -174 \text{ dBm/Hz}$ , 단말의 최대 송신과 위  $P_U = 35 \text{ dBm}$ , 기지국의 최대 송신과 위  $P_D = 40 \text{ dBm}$ , 1m 거리에서의 기준 경로 손실  $G = -60 \text{ dB}$ , 경로 손실 지수  $\theta = 3.5$ , 단말의 최대 허용 클럭 주파수  $f_{L,max} = 2 \times 10^9$ , 서버의 최대 허용 클럭 주파수  $f_{S,max} = 5 \times 10^{10}$ , 단말의 유효 정전용량 상수  $\kappa_L = 10^{-27}$ , 서버의 유효 정전용량 상수  $\kappa_S = 10^{-29}$ , 및 서버의 입력 비트 처리에 필요한 비트당 사이클수  $C = 10^3$ , 계산 결과 변화율  $\eta = 0.5$  로 가정한다.
- [0166] 도 6 및 도 7의 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 본 개시에 따르는 비동기식 MEC 시스템은, 동기식 MEC 시스템에 비해 항상 적은 에너지를 소비하는 것을 확인할 수 있다.
- [0167] 이와 같이, 본 개시에 따른 MEC 시스템의 비동기식 자원 할당 방식에 기초한 복수의 단말의 데이터 부분 오프로딩 처리에 따르면, 동기식 자원 할당 및 컴퓨팅 방식에서 사용되지 않고 낭비되는 통신 자원 및 컴퓨팅 자원을 비동기 방식을 통하여 충분히 활용할 수 있으므로, 효율적으로 통신 및 컴퓨팅 자원을 할당하여 전체 시스템의 에너지 소비를 줄일 수 있다.
- [0168] 본 개시에 따른 발명이 MEC 시스템의 비동기식 자원 할당 방식에 따르면, 5G 생태계에서 폭발적으로 증가하고 있는 IoT 단말들의 에너지를 효율적으로 관리하여 생존시간을 증대시키는데 이바지할 수 있다.
- [0169] 본 개시의 예시적인 방법들은 설명의 명확성을 위해서 동작의 시리스로 표현되어 있지만, 이는 단계가 수행되는 순서를 제한하기 위한 것은 아니며, 필요한 경우에는 각각의 단계가 동시에 또는 상이한 순서로 수행될 수도 있다. 본 개시에 따른 방법을 구현하기 위해서, 예시하는 단계에 추가적으로 다른 단계를 포함하거나, 일부의 단계를 제외하고 나머지 단계를 포함하거나, 또는 일부의 단계를 제외하고 추가적인 다른 단계를 포함할 수도 있다.
- [0170] 본 개시의 다양한 실시예는 모든 가능한 조합을 나열한 것이 아니고 본 개시의 대표적인 양상을 설명하기 위한 것이며, 다양한 실시예에서 설명하는 사항들은 독립적으로 적용되거나 또는 둘 이상의 조합으로 적용될 수도 있다.
- [0171] 또한, 본 개시의 다양한 실시예는 하드웨어, 펌웨어(firmware), 소프트웨어, 또는 그들의 결합 등에 의해 구현될 수 있다. 하드웨어에 의한 구현의 경우, 하나 또는 그 이상의 ASICs(Application Specific Integrated Circuits), DSPs(Digital Signal Processors), DSPDs(Digital Signal Processing Devices), PLDs(Programmable Logic Devices), FPGAs(Field Programmable Gate Arrays), 범용 프로세서(general processor), 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러, 마이크로 프로세서 등에 의해 구현될 수 있다.
- [0172] 본 개시의 범위는 다양한 실시예의 방법에 따른 동작이 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행되도록 하는 소프트웨어 또는 머신-실행가능한 명령들(예를 들어, 운영체제, 애플리케이션, 펌웨어(firmware), 프로그램 등), 및 이러한 소프트웨어 또는 명령 등이 저장되어 장치 또는 컴퓨터 상에서 실행 가능한 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체(non-transitory computer-readable medium)를 포함한다.

도면

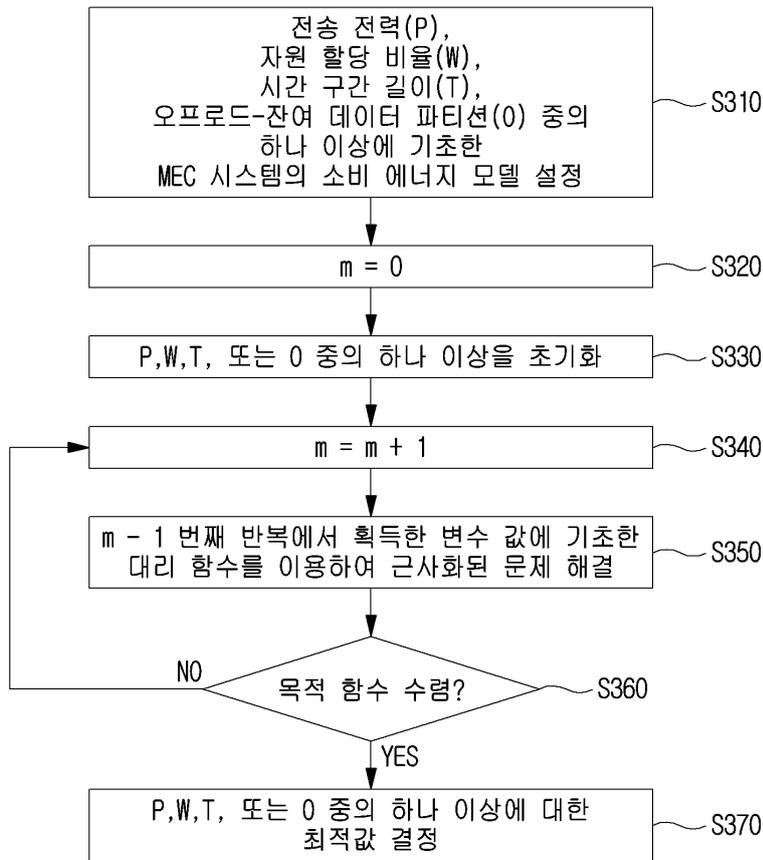
도면1



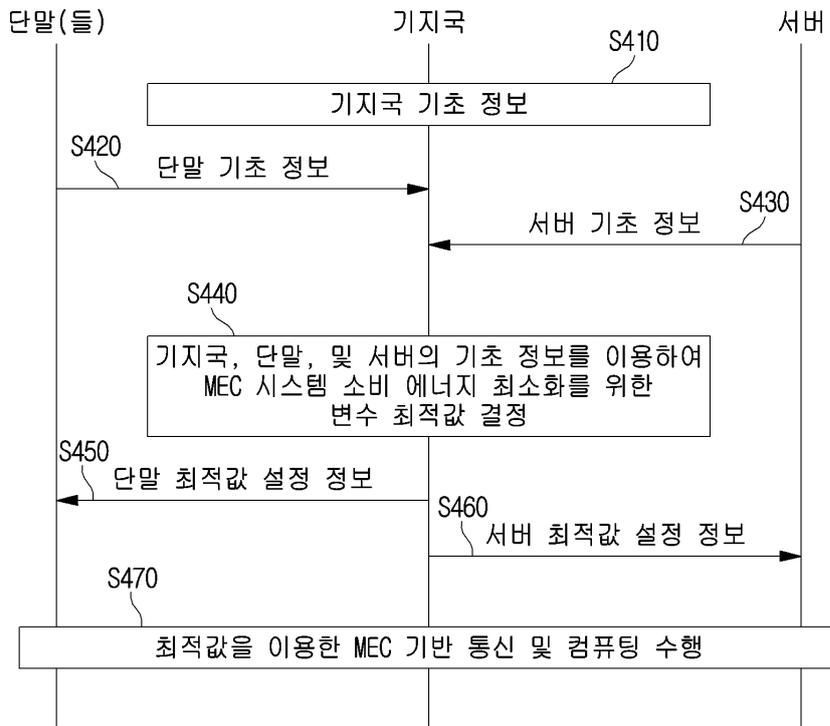
도면2



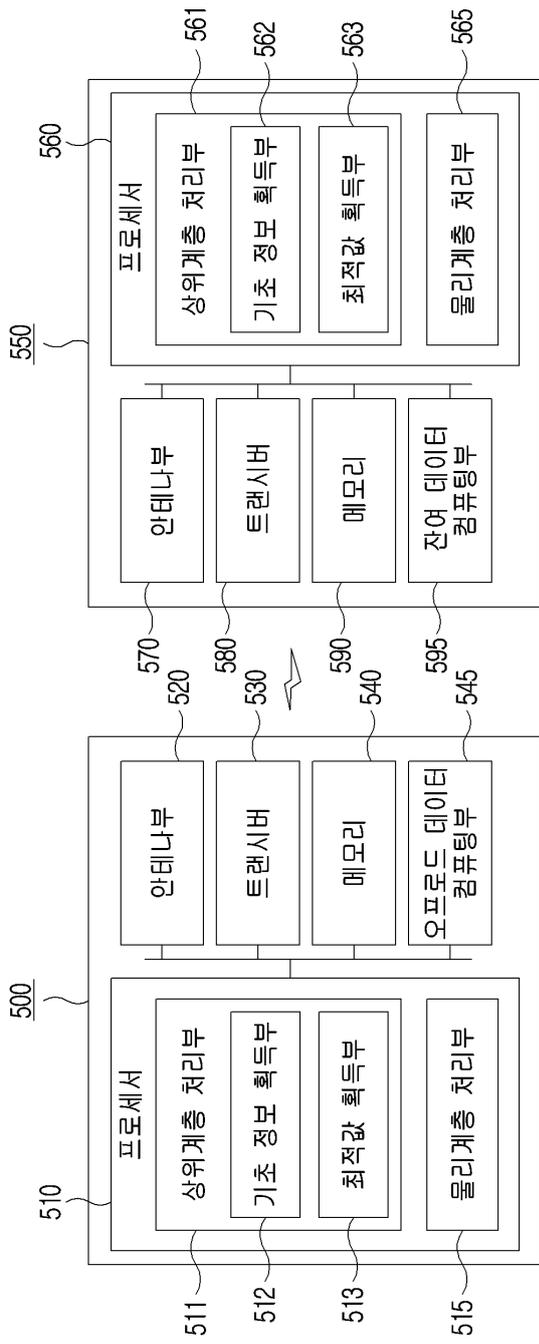
도면3



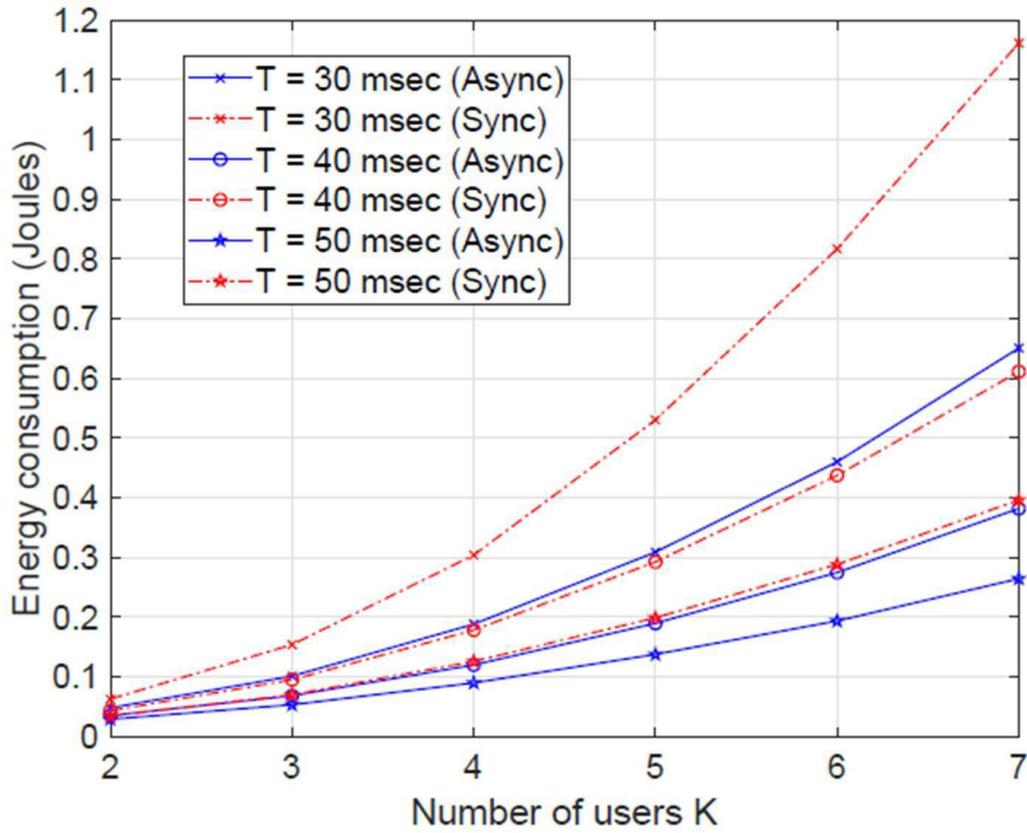
도면4



도면5



도면6



도면7

