

MEC에서 정보 중심 네트워크 콘텐츠 캐싱 방안

강민욱, 정운원*

승실대학교

goodlookmw@gmail.com, *ywchung@ssu.ac.kr(교신저자)

A Content Caching Scheme in Information-Centric Networking with Multi-Access Edge Computing

Min Wook Kang, Yun Won Chung*

Soongsil University

요약

본 논문에서는 5G MEC (Multi-Access Edge Computing) 네트워크 환경에서 정보 중심 네트워크 콘텐츠의 요청 빈도를 기반으로 MEC에 콘텐츠 캐싱을 결정하고 SDN 컨트롤러에서 MEC로부터 수집된 콘텐츠 캐싱 정보를 기반으로 MEC의 잠재적인 콘텐츠 요청에 대응하고 중복되는 콘텐츠 캐싱을 방지하는 콘텐츠 캐싱 방안을 제안한다.

I. 서론

5G에서는 초저지연 서비스의 효과적인 제공을 위해 코어 클라우드에서 사용자와 인접한 엣지로 다양한 네트워크 자원을 이동하여 신속한 서비스를 제공 가능한 MEC (Multi-Access Edge Computing)를 활용한다 [1],[2]. 정보 중심 네트워크인 ICN (Information-Centric Networking)은 효과적인 콘텐츠 전송을 위해 이름 기반의 라우팅을 수행하는 네트워크로 이동성 관리, 콘텐츠 보안 등의 측면에서 장점이 있어 5G에서 유용하게 활용될 수 있다[3]. 최근에는 5G MEC 네트워크 환경에서 엣지 노드에 콘텐츠를 캐싱함으로써 콘텐츠 전달 지연 및 배포 비용을 줄이는 캐싱 연구가 활발히 진행되고 있다[4].

5G MEC 네트워크 환경에서 제안된 정보 중심 네트워크 콘텐츠 캐싱 기법 중 [5]의 연구에서는 5G 네트워크에서 서비스 제공 시간을 최적화하기 위해 콘텐츠 요청 및 생성 시간으로 계산된 Freshness, 캐싱 노드부터 요청 노드까지의 홉 수로 계산된 Distance Factor 및 캐싱 노드로 요청된 빈도수로 계산된 Access Frequency Rate를 이용하여 계산된 콘텐츠 인기도에 기반한 콘텐츠 캐싱 기법을 제안했다. [6]의 연구에서는 5G 환경에서 Caching Resource Allocation (CRA) 최적화 문제를 엣지 노드의 특성에 기반하여 엣지에 연결된 기지국으로 적절한 캐싱 용량을 할당하는 Base Station Caching Capacity (BSCC) 문제 및 할당된 콘텐츠에 대해 기지국과 요청 노드를 연결하는 Request MATCHing (RMAT) 문제로 분류하고 캐싱에 소비되는 에너지 사용 및 콘텐츠 서비스 시간을 최소화하는 캐싱 기법을 제안했다.

그러나, 상기 연구는 중앙 집중식 클라우드 인프라를 통해 데이터를 분석, 처리하므로 SDN 컨트롤러와 같은 중앙 제어기의 부하를 발생시킬 수 있고 이로 인한 서비스 지연 문제를 야기할 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 다수의 엣지 네트워크로 구성된 5G MEC 네트워크 환경에서 MEC가 수집한 콘텐츠의 요청 빈도를 기반으로 MEC에 콘텐츠 캐싱을 결정한다. 또한, SDN 컨트롤러에서 MEC로부터 수집된 콘텐츠 캐싱 정보를 기반으로 MEC에서 잠재적인 콘텐츠 요청에 대응하고 중복되는 콘텐츠 캐싱을 방지하는 캐싱 방안을 제안한다. 본 논문의 2장에서는 제안 기법을 설명하고 3장에서는 결론 및 후속 연구를 제시한다.

II. 제안 기법

본 논문에서는 그림 1과 같이 코어 네트워크와 엣지 네트워크로 구성된 네트워크 환경을 가정한다. 코어 네트워크는 다수의 정보 중심 네트워크 라우팅을 수행할 수 있는 코어 라우터인 ICN 노드로 구성되고 다수의 MEC로 구성된 엣지 네트워크는 코어 라우터 중 엣지 네트워크를 관할하는 ICN 노드에 연결된다.

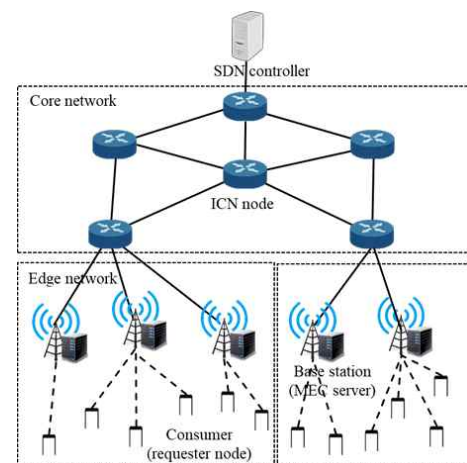


그림 1 고려하는 5G MEC 네트워크 환경

본 논문에서 콘텐츠는 캐싱 위치에 따라 MEC, 엣지 네트워크와 연결된 ICN 노드 및 코어 네트워크의 ICN 노드에서 제공된다. 그림 2에서 볼 수 있는 것처럼 콘텐츠의 캐싱은 MEC에서 수집된 콘텐츠 요청 빈도를 기반으로 (a) MEC와 (b) SDN 컨트롤러에서 결정되고, SDN 컨트롤러에서 콘텐츠의 캐싱 결정은 엣지 네트워크 내 요청 빈도가 높은 콘텐츠를 캐싱하기 위한 (i) 잠재적 콘텐츠 캐싱 방법, 다수의 MEC에 중복으로 캐싱된 콘텐츠 방지를 위한 (ii) 중복 콘텐츠 제거 방법으로 구분된다. (a) MEC는 콘텐츠 요청 정보를 통해 계산된 콘텐츠 요청 빈도를 기반으로 전달된 콘텐츠의 캐싱 여부를 결정한다. (b)-(i) SDN 컨트롤러는 엣지 네트워크 내

컨텐츠 요청 정보를 통해 계산된 엣지 네트워크에서 예상되는 컨텐츠 요청 빈도를 기반으로 엣지 네트워크와 연결된 ICN 노드로 전달된 컨텐츠의 캐싱 여부를 결정한다. (b)-(ii) SDN 컨트롤러는 엣지 네트워크 내 MEC에 캐싱된 컨텐츠 정보를 기반으로 다수의 MEC에 캐싱된 동일한 컨텐츠를 엣지 네트워크와 연결된 ICN 노드에 캐싱하고 MEC에서 삭제한다.

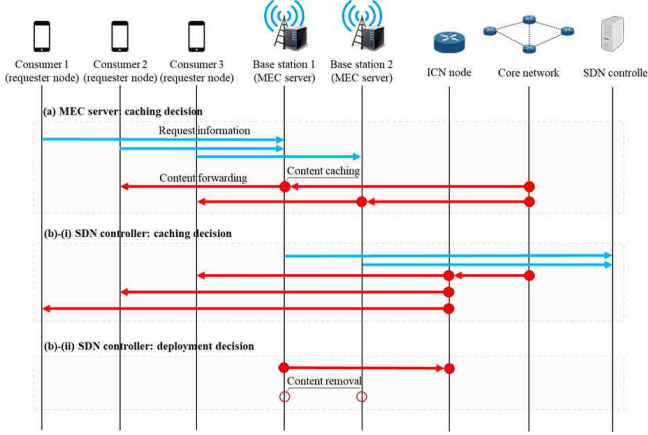


그림 2 제안 기법의 동작 과정

MEC에 요청 빈도가 높은 컨텐츠를 캐싱하기 위해 각 MEC는 수집된 컨텐츠 요청 정보를 이용하여 식 (1)과 같이 예상되는 컨텐츠 요청 빈도를 계산한다. 식 (1)에서 $p_{d,e}^{T_k}$ 는 MEC e 에서 컨텐츠 d 에 대한 예상 요청 빈도를 의미하고 이전 주기 T_{k-1} 에서 계산된 $p_{d,e}^{T_{k-1}}$ 와 현재 주기 동안 MEC e 가 전달받은 컨텐츠 d 에 대한 요청 횟수 $r_{d,e}^{T_k}$ 의 지수 가중 이동 평균을 이용하여 계산된다[7]. MEC는 식 (2)와 같이 컨텐츠 예상 요청 빈도가 임계값 $p_{threshold}$ 보다 큰 컨텐츠를 캐싱한다.

$$p_{d,e}^{T_k} = \alpha \times r_{d,e}^{T_k} + (1 - \alpha) \times p_{d,e}^{T_{k-1}} \quad (1)$$

$$D_e = \{d \mid p_{d,e}^{T_k} > p_{threshold}\} \quad (2)$$

MEC를 통해 캐싱되지 않은 컨텐츠 중 동일한 엣지 네트워크 내 요청 빈도가 높은 컨텐츠를 제공하고 동일 클러스터 내 중복으로 캐싱된 컨텐츠로 인한 MEC 부하를 줄이기 위해 SDN 컨트롤러는 식 (3)과 같이 엣지 네트워크 내 예상되는 컨텐츠 요청 빈도를 계산한다. 식 (3)에서 $p_{d,c}^{T_n}$ 는 엣지 네트워크 c 에 존재하는 모든 MEC E_c 에서 컨텐츠 d 에 대한 예상 요청 빈도를 의미하고 이전 주기 T_{n-1} 에서 계산된 $p_{d,c}^{T_{n-1}}$ 와 현재 주기 동안 엣지 네트워크 c 에 존재하는 모든 MEC E_c 가 전달받은 컨텐츠 d 에 대한 요청 횟수 총 합 $\sum_{e \in E_c} r_{d,e}^{T_n}$ 의 지수 가중 이동 평균을 이용하여 계산된다.

SDN 컨트롤러는 식 (4)와 같이 엣지 네트워크 내 컨텐츠 예상 요청 빈도가 임계값 $p_{threshold}$ 보다 큰 컨텐츠를 엣지 네트워크와 연결된 ICN 노드에 캐싱한다. 또한 식 (5)와 같이 엣지 네트워크 내 서로 다른 MEC에 캐싱된 동일한 컨텐츠 개수가 임계값 $l_{threshold}$ 보다 큰 경우 해당 컨텐츠는 엣지 네트워크와 연결된 ICN 노드에 캐싱되고 MEC에서 삭제된다. 식 (5)에서 $a_{d,e}$ 는 MEC e 에 컨텐츠 d 의 캐싱 여부를 나타내는 값으로 식 (6)과 같이 표현된다.

$$p_{d,c}^{T_n} = \alpha \times \sum_{e \in E_c} r_{d,e}^{T_n} + (1 - \alpha) \times p_{d,c}^{T_{n-1}} \quad (3)$$

$$D_c = \{d \mid p_{d,c}^{T_n} > p_{threshold}\} \quad (4)$$

$$D_x = \left\{d \mid \sum_{e \in E_c} a_{d,e} > l_{threshold}\right\} \quad (5)$$

$$a_{d,e} = \begin{cases} 1, & \text{Edge node } e \text{ caches the content } d, d \in D_e \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

III. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 5G MEC 네트워크 환경에서 컨텐츠 예상 요청 빈도를 이용하여 MEC 및 ICN 노드에 컨텐츠를 캐싱하고 복수의 MEC에 캐싱된 동일한 컨텐츠를 ICN 노드에 캐싱하는 컨텐츠 캐싱 방안을 제안했다. 추후 성능 분석을 통해 제안하는 기법의 성능을 검증할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2021-2017-0-01633*)

참고 문헌

- [1] A. Filali, A. Abouamar, S. Cherkaoui, A. Kobbane, and M. Guizani, “Multi-Access Edge Computing: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 197017–197046, Oct. 2020.
- [2] S. D. A. Shah, M. A. Gregory, and S. Li, “Cloud-Native Network Slicing Using Software Defined Networking Based Multi-Access Edge Computing: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 10903–10924, Jan. 2021.
- [3] M. Zhang, H. Luo, H. Zhang, “A Survey of Caching Mechanisms in Information-Centric Networking,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 3, pp. 1473–1499, April 2015.
- [4] O. Serhane, K. Yahyaoui, B. Nour, and H. Mounsla, “A Survey of ICN Content Naming and In-Network Caching in 5G and Beyond Networks,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 8, no. 6, pp. 4081–4104 Sep. 2020.
- [5] O. Serhane, K. Yahyaoui, B. Nour, and H. Mounsla, “CnS: A Cache and Split Scheme for 5G-enabled ICN Networks,” *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Dublin, Ireland, June 2020.
- [6] Y. Tang, “Minimizing Energy for Caching Resource Allocation in Information-Centric Networking with Mobile Edge Computing,” *DASC, PiCom, CBDCOM, and CyberSciTech*, Fukuoka, Japan, Aug. 2019.
- [7] M. W. Kang, M. S. Kang, D. Y. Seo, and Y. W. Chung, “A Content Caching Optimization Scheme based on Content Popularity in ICN,” In *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, Jeju, Korea, June 2018.