

MEC에서 정보 중심 네트워크 콘텐츠 캐싱 최적화 방안

강민욱, 정운원*

승실대학교

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

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

Min Wook Kang, Yun Won Chung*

Soongsil University

요약

본 논문에서는 5G MEC 환경에서 ICN 콘텐츠 캐싱 최적화 방안을 제안한다. 이를 위해 SDN 컨트롤러 및 MEC에서 계산된 콘텐츠 예상 요청 빈도를 기반으로 MEC 및 ICN 노드에 콘텐츠를 효과적으로 캐싱하고 콘텐츠 요청 노드로 콘텐츠 전달 시 소비되는 비용을 최소화하는 콘텐츠 캐싱 최적화 방안을 도출한다.

I. 서론

MEC (Multi-access Edge Computing)는 대표적인 5G 서비스 형태인 eMBB (enhanced Mobile BroadBand), mMTC (massive Machine Type Communications) 및 URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications) 등을 효과적으로 제공하기 위해 활용될 수 있는 기술로 사용자 가까이 위치하여 콘텐츠 캐싱, 신속한 연산 기능 등을 지원할 수 있다. 정보 중심 네트워크인 ICN (Information-Centric Networking)은 콘텐츠의 이름을 기반으로 라우팅을 수행하는 네트워크 기술로 콘텐츠 다운로드 시 네트워크의 부하를 효과적으로 줄일 수 있는 기술로 MEC와 효과적인 연동이 가능하며 최근 5G MEC 환경에서 다수의 ICN 노드 및 MEC에 콘텐츠를 캐싱하여 백홀 링크에 대한 부담을 줄이고 서비스 지연 시간 및 콘텐츠 배포 비용을 줄이는 정보 중심 네트워크 캐싱 연구가 활발히 진행되고 있다[1],[2].

[3]의 연구에서는 정보 중심 네트워크를 사용하는 5G MEC 환경에서 최소의 에너지로 콘텐츠 캐싱 자원을 할당하는 캐싱 자원 할당 문제를 정의하고 에너지 소비 및 서비스 시간을 최소화하는 콘텐츠 캐싱 기법을 제안하였다. 최적화를 위해 캐싱 자원 할당 문제를 MEC에 적절한 캐싱 용량을 할당하는 Base Station Caching Capacity 문제 및 할당된 콘텐츠에 대해 기지국과 요청 노드를 연결하는 Request Matching 문제로 분류하여 최적해를 구하고 이를 결합한 최적화 방안을 제시하였다. [4]의 연구에서는 MEC와 ICN 노드가 동적으로 배치된 5G MEC 환경에서 캐싱 비용 및 에너지 소비 최적화 문제를 정의하고 최적의 콘텐츠 캐싱 위치 및 MEC 수를 결정하는 캐싱 자원 할당 기법을 제안하였다. 최적화 문제 도출을 위해 콘텐츠 배포 비용 및 대기 시간을 결합한 ILP (Integer Linear Programming) 접근 방식을 사용하고 최적 정지 이론 기반 동적 계층 캐싱 자원 할당 기법을 제안하였고 이후, IEAGA (Improved Elite Genetic Algorithm)를 사용하는 최적화 방안을 제시하였다.

5G MEC 환경에서 정보 중심 네트워크 서비스 제공 시 유한한 네트워크 자원을 사용하므로 상기 연구에서 목표로 하는 효과적인 캐싱 기법이 필수적이다. 또한 5G MEC 환경에서 정보 중심 네트워크 캐싱은 동적 ILP

문제로 정의되는 NP-Hard에 속하므로 최적화 알고리즘을 통해 최적의 캐싱 방안을 도출해야 한다. 본 논문에서는 SDN (Software Defined Network) 컨트롤러 및 MEC에서 계산된 콘텐츠 예상 요청 빈도를 기반으로 콘텐츠를 캐싱하는 기존의 연구[5]를 고려하고 요청 노드로 콘텐츠를 전달 시 소비되는 비용을 최소화 하는 콘텐츠 캐싱 최적화 방안을 제안한다. 본 논문의 2장에서는 제안 최적화 방안을 소개하고 3장에서는 결론 및 추후 연구를 제시한다.

II. 제안 기법

본 논문에서는 그림 1과 같이 [5]의 연구에서 제안한 코어 네트워크와 엣지 네트워크로 구성된 네트워크 환경을 고려한다. [5]의 연구에서는 MEC에서 수집된 콘텐츠 요청 빈도를 기반으로 SDN 컨트롤러 및 MEC에서 콘텐츠 예상 요청 빈도를 계산하고 이를 기반으로 ICN 노드 및 MEC에 캐싱할 콘텐츠를 결정하여 요청 노드로 콘텐츠를 효과적으로 전달한다.

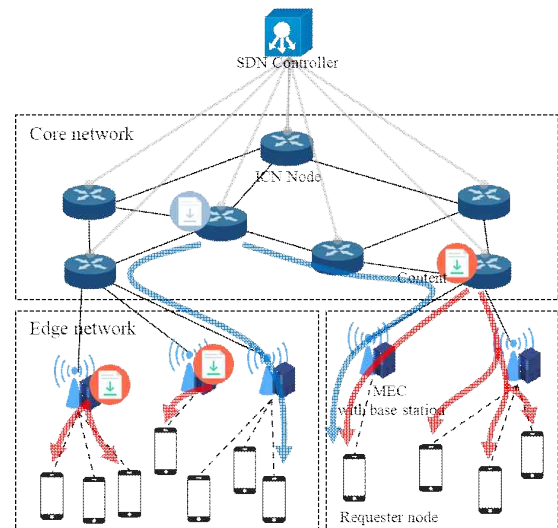


그림 1 5G MEC에서 제안하는 정보 중심 네트워크 환경

본 논문에서 가정하는 정보 중심 네트워크 환경은 ICN 노드 $R = \{1, 2, \dots, R_{\max}\}$ 로 구성된 코어 네트워크, MEC $M = \{1, 2, \dots, M_{\max}\}$ 및 요청 노드 $U = \{1, 2, \dots, U_{\max}\}$ 로 구성된 엣지 네트워크 $E = \{1, 2, \dots, E_{\max}\}$ 로 구성된다. MEC에서 요청 가능성이 높은 콘텐츠를 캐싱하기 위해 각 MEC는 식 (1)과 같이 주기적으로 콘텐츠 예상 요청 빈도를 계산하고 콘텐츠 예상 요청 빈도가 임계값 보다 높은 콘텐츠를 식 (2)와 같이 표현한다[5].

$$p_{c,m}^{T_k} = \alpha \times \gamma_{c,m}^{T_k} + (1 - \alpha) \times p_{c,m}^{T_{k-1}} \quad (1)$$

$$C_m = \{c | p_{c,m}^{T_k} > p_{\text{threshold}}\} \quad (2)$$

MEC m 에 속한 모든 요청 노드에 대해 콘텐츠 c 를 전달 시 소비 비용은 식 (3)과 같이 계산된다. 식 (3)에서 $\eta_{m,u}$, $\eta_{r,u}$ 는 각각 MEC, ICN 노드에 요청 노드로 콘텐츠를 전달하는데 소비되는 비용을 의미하고 $a_{c,m}$, $a_{c,r}$ 는 각각 MEC, ICN 노드에서 콘텐츠 c 의 캐싱 여부를 나타내는 값이다. 콘텐츠 전달 시 소비 비용을 최소화하기 위해 식 (4)와 같이 목적함수를 정의한다. 식 (5)-(6)은 목적함수 식(4)의 제약 조건으로 식 (5)는 콘텐츠가 MEC 또는 ICN 노드에 적어도 하나 이상 캐싱 되어야 함을 의미하고 식 (6)은 MEC에 캐싱된 콘텐츠의 크기 합이 MEC의 저장 용량보다 작아야함을 의미한다. 각 MEC는 식 (4)의 최적화 문제를 해결하여 MEC에 캐싱할 콘텐츠를 결정한다.

$$S_m = \sum_{r \in Ru \in U_m} (a_{c,m} \eta_{m,u} + (1 - a_{c,m}) a_{c,r} \eta_{r,u}) \quad (3)$$

$$\min_{c \in C_m} S_m \quad (4)$$

$$a_{c,m} + \sum_{r \in R} a_{c,r} \geq 1 \quad (5)$$

$$\sum_{c \in C_m} z_c a_{c,m} \leq b_m \quad (6)$$

엣지 네트워크에서 요청 가능성이 높은 콘텐츠를 캐싱하기 위해 SDN 컨트롤러는 식 (7)과 같이 주기적으로 콘텐츠 예상 요청 빈도를 계산하고 엣지 네트워크 내 콘텐츠 예상 요청 빈도가 임계값 보다 높거나 서로 다른 MEC에 캐싱된 동일한 콘텐츠 개수가 임계값 보다 큰 콘텐츠를 식 (8)과 같이 표현한다[5].

$$p_{c,e}^{T_n} = \alpha \times \sum_{m \in M_e} \gamma_{c,m}^{T_n} + (1 - \alpha) \times p_{c,e}^{T_{n-1}} \quad (7)$$

$$C_e = \left\{ c | p_{c,e}^{T_n} > p_{\text{threshold}} \cup \sum_{m \in M_e} a_{c,m} > c_{\text{threshold}} \right\} \quad (8)$$

모든 요청 노드에 대해 콘텐츠 c 를 전달 시 소비 비용은 식 (9)와 같이 계산되고 a_{c,r_e} 는 엣지 네트워크와 연결된 ICN 노드 r_e 에서 콘텐츠 c 의 캐싱 여부를 나타내는 값이다. 콘텐츠 전달 시 소비 비용을 최소화하기 위해 식 (10)과 같이 목적함수를 정의한다. 식 (11)-(13)은 목적함수 식(10)의 제약조건으로 식 (11)은 콘텐츠가 MEC, 엣지 네트워크에 연결된 ICN 노드 또는 그 외 ICN 노드에 적어도 하나 이상 캐싱되어야 함을 의미하고 식 (12)는 엣지 네트워크에 연결된 ICN 노드에 콘텐츠가 캐싱된 경우 엣지 네트워크에 속한 MEC는 해당 콘텐츠를 캐싱할 수 없음을 의미하며 식 (13)은 MEC, 엣지 네트워크와 연결된 ICN 노드에 캐싱된 콘텐츠 크기 합

이 각각 MEC, ICN 노드의 저장 용량보다 작아야함을 의미한다. SDN 컨트롤러는 식 (10)의 최적화 문제를 해결하여 MEC 및 엣지 네트워크에 연결된 ICN 노드에 캐싱할 콘텐츠를 결정할 수 있다.

$$S = \sum_{m \in M} \sum_{r \in Ru \in U_m} \left(a_{c,m} \eta_{m,u} + (1 - a_{c,m}) (a_{c,r_e} + (1 - a_{c,r_e}) a_{c,r}) \eta_{r,u} \right) \quad (9)$$

$$\min_{c \in C_m \cup C_e} S \quad (10)$$

$$a_{c,m} + a_{c,r_e} + \sum_{r \in R} a_{c,r} \geq 1 \quad (11)$$

$$a_{c,m} + a_{c,r_e} \leq 1 \quad (12)$$

$$\sum_{c \in C_m} z_c a_{c,m} \leq b_m, \sum_{c \in C_e} z_c a_{c,r_e} \leq b_m \quad (13)$$

III. 결론 및 추후연구

본 논문에서는 5G MEC 정보 중심 네트워크 환경에서 콘텐츠 예상 요청 빈도를 기반으로 MEC 및 ICN 노드에 콘텐츠를 캐싱하고 요청 노드로 콘텐츠를 전달 시 소비되는 비용을 최소화하는 콘텐츠 캐싱 최적화 방안을 제안했다. 추후 메타 휴리스틱 알고리즘을 통해 제안 기법의 성능을 상세히 검증할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] G. Gür, P. Porambage, and M. Liyanage, "Convergence of ICN and MEC for 5G: Opportunities and Challenges," *IEEE Communications Standards Magazine*, vol. 4, no. 4, pp. 64-71, Dec. 2020.
- [3] 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.
- [4] L. Ge, J. Zhou, and Z. Zheng, "Dynamic Hierarchical Caching Resource Allocation for 5G-ICN Slice," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 134972-134983, Sep. 2021.
- [5] M. W. Kang, and Y. W. Chung, "A Content Caching Scheme in Information-Centric Network with Multi-Access Edge Computing," In Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, Jeju, Korea, June 2021.