

정보 중심 네트워크에서 콘텐츠 인기도에 기반한 콘텐츠 캐싱 최적화 방안

강민욱, 강모세*, 서동영**, 정윤원***

숭실대학교

goodlookmw@gmail.com, *immo93@naver.com, **seodong2da@nate.com,
***ywichung@ssu.ac.kr(교신저자)

A Content Caching Optimization Scheme based on Content Popularity in ICN

Kang Min Wook, Kang Mo Se, Seo Dong Yeong, Chung Yun Won

Soongsil University

요약

정보 중심 네트워크(ICN: Information Centric Network)는 콘텐츠 이름 기반 라우팅 및 콘텐츠 캐싱을 통해 기존 IP 기반 네트워크의 단점을 극복하는 네트워크이다. 본 논문에서는 정보 중심 네트워크에서 콘텐츠를 캐싱하기 위해 콘텐츠의 인기도를 활용하고 콘텐츠 캐싱 노드의 부하 및 혼잡을 줄이기 위해 이웃 노드로 캐싱 콘텐츠를 전달하는 기존 연구의 결과를 활용하여 콘텐츠 인기도에 기반한 최적화 기법을 제안한다.

I. 서론

최근 멀티미디어 트래픽의 급증으로 인한 네트워크 품질 저하를 방지하기 위하여 IP 주소를 기반으로 하는 기존의 인터넷과 달리 콘텐츠의 이름을 기반으로 라우팅을 수행함으로써 네트워크의 트래픽을 획기적으로 줄일 수 있는 정보 중심 네트워크(ICN: Information Centric Network)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1]. ICN에서는 콘텐츠 요청 노드로 콘텐츠를 전달하기 위해 다양한 콘텐츠 캐싱 및 전달 방법이 제안되었다. 특히 콘텐츠 인기도를 이용한 캐싱 방법은 on-path 캐싱에서 나타나는 콘텐츠 서비스 시간 및 네트워크 트래픽 증가를 해결하기 위한 방법으로 제시되었다.

콘텐츠 인기도를 이용한 캐싱 방법은 기본적으로 Interest 수에 따라 콘텐츠 인기도가 결정되고 이를 이용하여 캐싱 및 전달 동작을 수행하므로 콘텐츠 요청 노드로 콘텐츠를 서비스하기에 용이하다[2]. [3]의 연구에서는 인기도에 기반하여 최근 빈번히 사용되는(PBLRU: Popularity-Based Least-Recently Used) 콘텐츠를 캐싱하는 방법을 제안했다. 각 노드마다 단위 시간 동안 Interest 전달 받은 횟수를 구하고 이전 단위 시간 동안의 콘텐츠 인기도와 지수 가중 이동 평균(EWMA: Exponentially Weighted Moving Average)을 계산하여 현재의 콘텐츠 인기도를 구한다. 또한 콘텐츠의 인기도를 최상위 인기 그룹, 중간 인기 그룹, 최하위 인기 그룹으로 분류하고 콘텐츠의 인기도가 최상위 인기 그룹에 속하는 경우 해당 콘텐츠를 캐싱한다. 그러나 이러한 방법은 콘텐츠 인기도 그룹을 나누기 위해 사용되는 임계값에 대한 명확한 근거가 필요하고 동적인 네트워크 환경에 적용하기 어려운 단점이 있다. 또한 콘텐츠 인기 그룹에 속하는 노드에 콘텐츠 캐싱이 집중되어 노드의 부하 및 혼잡을 야기할 수 있다.

상기의 단점을 극복하기 위해 [4]의 연구에서는 2홉 내 이웃 노드로 콘텐츠를 전달하는 방법을 제안한다. [4]의 연구에서는 [3]의 연구와 유사하게 Interest를 통해 콘텐츠 인기도를 정의하고 콘텐츠 인기도가 높은 콘텐츠를 노드에 캐싱한다. 또한 노드의 종류를 캐싱된 콘텐츠를 공유하는 콘텐츠 노드와 공유된 콘텐츠를 캐싱하는 Edge 노드로 구분하여 콘텐츠 노드

의 CS의 용량이 부족하여 캐싱된 콘텐츠를 삭제해야 하는 경우 Edge 노드로 콘텐츠를 전달한다. 이러한 방법을 통해 콘텐츠 캐싱 노드의 부하 및 혼잡을 줄이고 콘텐츠 삭제로 인한 콘텐츠 요청 노드로의 콘텐츠 서비스 저하 문제를 해결할 수 있다. 하지만 무분별한 콘텐츠 전달은 이웃 노드의 새로운 부하 및 혼잡을 야기할 수 있다.

본 논문에서는 콘텐츠 인기도를 통해 특정 노드에 콘텐츠를 캐싱할 경우 발생하는 콘텐츠 캐싱 노드 및 이웃 노드의 부하 및 혼잡을 줄이고 이웃 노드로 캐싱 콘텐츠를 전달하는데 소비되는 비용 및 콘텐츠 요청 노드로 콘텐츠를 서비스하는데 소비되는 비용을 줄이는 최적화 방안을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서 노드는 최근 빈번히 사용되는 콘텐츠를 캐싱하기 위해 주기적으로 콘텐츠의 인기도를 식 (1)과 같이 갱신한다.

$$p_{ci}^{T_k} = \alpha \times r_{ci}^{T_k} + (1 - \alpha) \times p_{ci}^{T_{k-1}}, \text{ where } \alpha = (0,1) \quad (1)$$

식 (1)에서 $p_{ci}^{T_k}$ 는 현재 노드 i에서 콘텐츠 c에 대한 인기도를 의미하고 이전 주기 T_{k-1} 에서 계산된 $p_{ci}^{T_{k-1}}$ 와 현재 주기 동안 노드 i가 전달받은 콘텐츠 c에 대한 Interest의 수 $r_{ci}^{T_k}$ 의 지수 가중 이동 평균을 이용하여 계산된다[4]. 노드는 전달된 모든 Interest에 대한 콘텐츠 인기도를 엔트리로 관리한다. 노드는 콘텐츠 캐싱을 결정하기 위해 주기마다 이웃 노드와 노드 정보 엔트리를 교환하고 이웃 노드들의 노드 정보 엔트리에 저장된 콘텐츠 인기도보다 높은 인기도를 가지고 있는 콘텐츠를 자신의 CS에 캐싱한다. 이웃 노드보다 낮은 콘텐츠 인기도를 가지고 있는 노드가 해당 콘텐츠를 캐싱하고 있는 경우에는 상기 설명과 동일하게 가장 높은 콘텐츠 인기도를 가지고 있는 이웃 노드로 콘텐츠를 전달하고 자신의 CS에서 해당 콘텐츠를 삭제한다.

노드는 CS에 캐싱된 콘텐츠가 많은 경우 캐싱된 콘텐츠를 이웃 노드로 전달하여 효율적으로 CS를 관리할 수 있다. 이웃 노드로 캐싱 콘텐츠를 전달하기 위해 각 노드의 CS 사용률을 식 (2)와 같이 계산한다.

$$u_i = \frac{\sum_c s_c}{CS_i^{Total}}, \text{ where } c \in CS_i \quad (2)$$

식 (2)에서 u_i 는 노드 i에서 CS 사용률을 의미하고 콘텐츠 c의 크기 s_c 의 총 합을 노드 i의 총 CS 크기 CS_i^{Total} 로 나눈 값으로 계산된다. 노드는 자신의 CS 사용률이 임계값 u_{MAX} 보다 크고 이웃 노드의 CS 사용률이 임계값 u_{MIN} 보다 작은 경우 자신의 CS에 캐싱된 낮은 인기도를 가진 콘텐츠를 이웃 노드로 전달할 수 있다. 하지만 이웃 노드로의 콘텐츠 전달은 현재 CS 사용률이 낮더라도 Interest를 통해 계산된 콘텐츠 인기도로 인해 CS 사용률이 증가할 수 있으므로 이웃 노드의 잠재적인 콘텐츠 캐싱을 고려해야 한다. 노드는 이웃 노드들의 노드 정보 엔트리에 저장된 콘텐츠 인기도를 이용하여 콘텐츠 인기도 평균을 식 (3)과 같이 구한다.

$$m_i = \frac{\sum_c p_{c,i}^{T_k}}{n(p_{c,i}^{T_k})}, \text{ where } c \in CS_i \quad (3)$$

식 (3)에서 $m_i^{T_k}$ 는 노드 i의 노드 정보 엔트리에 저장된 콘텐츠 인기도 평균을 의미하고 노드 i의 노드 정보 엔트리에 저장된 콘텐츠 인기도의 총 합 $\sum_c p_{c,i}^{T_k}$ 을 노드 i의 노드 정보 엔트리에 저장된 콘텐츠 인기도 총 개수 $n(p_{c,i}^{T_k})$ 로 나누어 계산한다. $m_i^{T_k}$ 이 클수록 이웃 노드보다 더 많은 잠재적인 콘텐츠 캐싱이 예상되는 노드로 유추할 수 있으므로 CS 사용률이 높은 노드는 $m_i^{T_k}$ 이 작은 노드에 콘텐츠를 전달한다. 콘텐츠 캐싱 노드는 이웃 노드로 콘텐츠를 전달 한 후에 자신의 CS에서 해당 콘텐츠를 삭제한다.

본 논문에서는 분산 콘텐츠 캐싱 시 소비되는 비용을 최소화 하기 위해 식 (4)와 같이 목적식을 정의한다.

$$\min E_{Total} = \sum_c \left(\sum_{\forall x} (d_{c,x} b_x + \sum_{\forall y} a_{c,x} o_{x,y}) \right) \quad (4)$$

식 (4)에서 x는 콘텐츠 캐싱 노드를 의미하고 y는 콘텐츠 요청 노드를 의미한다. b_x 는 콘텐츠 캐싱 노드 x에서 이웃 노드로 콘텐츠 전달 시 소비되는 비용을 의미하고 $o_{x,y}$ 는 콘텐츠 캐싱 노드 x에서 콘텐츠 요청 노드 y로 콘텐츠 전달 시 소비되는 비용을 의미한다. $d_{c,x}$ 는 콘텐츠 캐싱 노드 x에서 이웃 노드로 콘텐츠 c에 대한 전달 여부를 나타내는 값으로 아래의 식과 같이 표현된다.

$$d_{c,x} = \begin{cases} 1, & u_x > u_{MAX}, u_{x+1} < u_{MIN}, m_x^{T_k} > m_{x+1}^{T_k} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

$a_{c,x}$ 는 노드 x에서 콘텐츠 c에 대한 캐싱 여부를 나타내는 값으로 아래의 식과 같이 표현된다.

$$a_{c,x} = \begin{cases} 1, & \text{node } x \text{ has the content } c \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

식 (4)는 식(7), (8)의 제약식을 갖는다. 식 (7)은 콘텐츠 캐싱 노드 및 캐싱 노드의 이웃 노드는 중복된 콘텐츠의 캐싱이 불가능함을 나타내고 식 (8)은 캐싱 노드가 캐싱 가능한 최대 용량 제한을 나타내는 식이다.

$$\sum_{\forall c, \forall x} (a_{c,x} + a_{c,x+1}) = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{\forall c} s_{c,x} \leq CS_x^{Total}, \text{ where } c \in CS_x \quad (8)$$

III. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 Interest를 통해 계산된 콘텐츠의 인기도를 이웃 노드와 비교하여 콘텐츠를 캐싱하고 노드의 CS를 효율적으로 관리하기 위해 캐싱 노드의 이웃 노드의 CS 사용률과 노드의 인기도를 활용하여 캐싱 콘텐츠를 분산시키는 분산 캐싱 기법을 제안하였다. 또한 분산 콘텐츠를 캐싱할 노드를 결정하고 콘텐츠 분산 캐싱 시 소비되는 비용을 최소화하기 위한 최적화 식을 제안하였다. 추후 본 논문에서 제안하는 최적화 기법의 성능을 검증할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음”(IITP-2018-2017-0-01633). 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-00613, MEC 환경에서의 콘텐츠 기반 지연 감내 네트워킹 기술 개발).

참 고 문 헌

- [1] G. Xylomenos, C. N. Ververidis, V. A. Siris, N. Fotiou, C. Tsilopoulos, X. Vasilakos, K. V. Katsaros, and G. C. Polyzos, “A survey of information-centric networking research,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 2, pp. 1024 - 1049, 2014.
- [2] A. Ioannou and S. Weber, “A Survey of Caching Policies and Forwarding Mechanisms in Information-Centric Networking,” in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2847-2886, 2016.
- [3] T. Janaszka, D. Bursztynowski, and M. Dzida, “On popularity-based load balancing in content networks,” in Proc. 24th Int. Teletraffic Congr. (ITC), pp. 1 - 8, September. 2012.
- [4] X. Luo and Y. An, “Neighbor Cooperation Based In-Network Caching for Content-Centric Networking,” *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 11, no. 5, May. 2017.