

콘텐츠 중심 네트워크에서의 캐싱 기법

이 주 용*, 이 지 훈**

요 약

최근 모바일 멀티미디어 콘텐츠 서비스 이용의 폭발적인 증가로 인하여 급증하는 트래픽을 효율적으로 처리하기 위한 콘텐츠 중심 네트워크에 대한 연구가 국내외적으로 활발하게 진행 중이다. 콘텐츠 중심 네트워크는 호스트 중심에서 벗어나 콘텐츠 자체를 중심으로 하는 네트워크 방식이다. CCN은 on-path 캐싱을 지원하여 콘텐츠를 효율적으로 배포할 수 있다. 하지만, on-path 캐싱의 경우 인기도가 높은 콘텐츠의 캐싱 확률이 높아 저장소를 효율적으로 사용하지 못하는 문제점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 캐싱의 효율 및 저장소의 효율적인 사용이 가능한 다양한 캐싱 기법에 관한 연구들을 분석한다.

I. 서 론

최근 스마트 디바이스의 높은 보급률 및 고용량 미디어 콘텐츠의 수요로 인하여 모바일 트래픽 양이 급격하게 증가하고 있다. 또한 인터넷을 이용한 다양한 서비스들로 인한 트래픽 양의 증가로 인하여 기존 1:1로 서비스를 요청하고 제공받는 현재 인터넷 구조는 주소체계로 인한 확장성 및 이동성 등에서 문제점을 지니고 있다[1,2].

급증하는 콘텐츠 중심의 트래픽 및 기존 인터넷 구조의 문제점들을 효율적으로 대응하기 위하여 현재 호스트 중심 네트워크(host-centric network)에서 콘텐츠 중심 네트워크(content-centric network)으로 변경하려는 연구가 활발하게 진행 중이다[3,4].

CCN(content-centric networking)[5]은 콘텐츠 중심의 네트워크 중 하나이며 계층화된 콘텐츠 이름에 기반을 둔 라우팅을 수행하며 지나간 네트워크 노드 각각에 콘텐츠를 저장하는 기능 (in-network caching)을 수행한다.

즉, CCN은 이름 기반의 라우팅 (name-based routing), 콘텐츠 이름을 통한 자가 인증 (self-certifying) 및 콘텐츠 캐싱 등의 기능을 가지고 있어 동일한 콘텐츠의 반복 전송을 피하고 네트워크 부하를 감소시켜 네트워크의 효율을 높여준다.

하지만 CCN 환경에서의 캐싱은 단순히 콘텐츠 제공자와 콘텐츠 요청자 사이의 위치한 CCN 노드들에 콘텐츠를 저장하는 방식으로 동작하며 이로 인하여 저장소 낭비 및 불필요한 에너지 소비 등의 제약으로 인해 효율적으로 활용하지 못하는 경우가 존재한다. 따라서 본 논문에서는 CCN 환경에서의 상황별 캐싱 및 기법들 간의 비교를 통하여 CCN 환경에서 효율적인 캐싱 기법들을 소개한다.

II. CCN 환경에서의 In-network caching

CCN 구조에서는 콘텐츠 소유자와 콘텐츠 요청자 사이에 존재하는 CCN 노드들에 콘텐츠를 캐싱 하는 in-network 캐싱을 수행한다. 본 장에서는 CCN 환경에서 효율적인 캐싱을 수행하기 위한 on-path caching과 off-path caching 기법을 설명한다.

2.1. CCN 환경에서의 on-path caching

현재 인터넷 데이터 서비스는 웹페이지 등과 같은 동일한 콘텐츠를 사용자의 요청 수만큼 반복적으로 전달하는 구조로 동작하므로 비효율적이다. 반면 CCN 구조에서는 콘텐츠 서버가 아닌 인근에 존재하는 CCN 라우터로부터 콘텐츠 데이터를 받을 수 있으므로 빠르게 콘

* 상명대학교 정보통신공학과 (juyonglee0208@gmail.com)

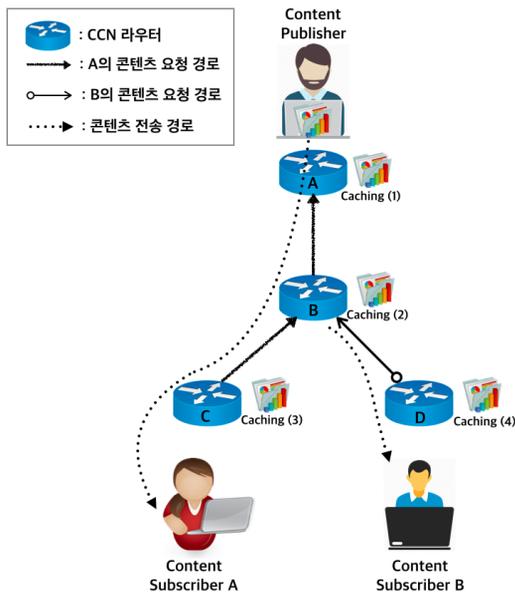
** 상명대학교 정보통신공학과 (vincent@smu.ac.kr)

텐츠를 수신할 수 있다. 즉, CCN 콘텐츠 소유자와 콘텐츠 요청자 사이의 CCN 노드에 콘텐츠를 저장하는 on-path 캐싱 방식을 이용하여 동일한 콘텐츠를 콘텐츠 소유자가 아닌 경로 상에 캐싱 된 CCN 라우터로부터 전송받을 수 있다. 이러한 방식 때문에 대용량 콘텐츠 공유 환경에 적합하며 이를 효율적으로 수행하기 위해 LCE (leave copies every-where)와 함께 LRU (least recently used) 방식을 이용하여 캐싱을 수행한다[6].

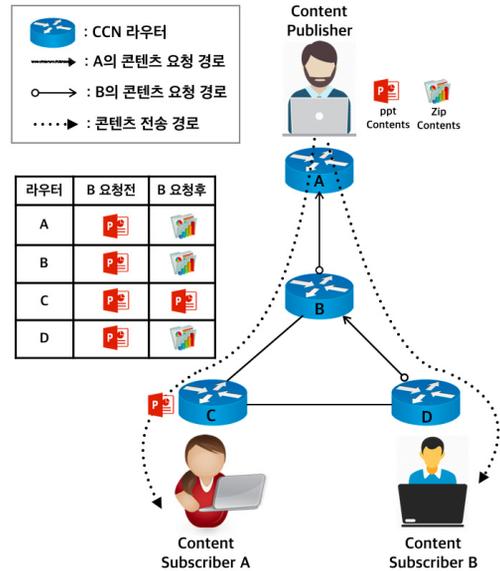
On-path 방식은 그림 1과 같이 동작한다. 요청자 A가 콘텐츠 소유자에게 콘텐츠를 요청하며 콘텐츠 소유자는 요청자 A에게 콘텐츠를 전송한다. 콘텐츠를 전송하면서 콘텐츠 소유자와 요청자 사이 경로에 위치한 CCN 라우터 A, B, C에 콘텐츠를 캐싱 한다. 이때 콘텐츠 소유자 B가 동일한 콘텐츠를 요청하면 콘텐츠 소유자로부터 데이터를 전송받는 게 아니라 상대적으로 가까운 위치에 존재하는 라우터 B로부터 콘텐츠를 전송받으므로 빠른 전송을 보장받을 수 있으며 네트워크 자원의 효율적인 사용을 가능하게 해준다.

이러한 on-path 캐싱은 조정이 필요 없는 방식 (non-coordinated caching)[7]으로 동작하며 CCN 라우터 간의 정보교환 없이 LRU 방식에 의한 캐싱을 수행한다.

그림 2에서는 각각의 CCN 라우터가 1개의 콘텐츠만 저장 가능한 제한된 저장소 환경이라고 가정한다. 콘텐



(그림 1) CCN의 on-path 캐싱 동작 과정



(그림 2) 조정이 필요 없는 방식의 동작 과정

츠 요청자 A가 콘텐츠 소유자에게 ppt 콘텐츠를 요청할 경우 경로 상에 존재하는 CCN 라우터에 콘텐츠를 캐싱 한다. 요청자 A의 콘텐츠 전송이 끝난 후 콘텐츠 요청자인 B가 zip 콘텐츠를 요청할 경우 콘텐츠 소유자와 요청자 B 사이 경로에 존재하는 라우터 A, B, D에 zip 콘텐츠 캐싱을 수행한다. 캐싱이 완료된 후 D 도메인에 존재하는 콘텐츠 요청자가 ppt 콘텐츠를 요청하면 상대적으로 가까운 위치에 존재하는 라우터 C에 ppt 콘텐츠가 존재함에도 불구하고 상대적으로 먼 거리에 위치한 콘텐츠 소유자로부터 콘텐츠를 전송받게 된다.

즉, 조정이 필요 없는 방식은 각각의 CCN 라우터들이 인기도(popularity)에 기반을 둔 콘텐츠 및 LRU 정책 기준으로 콘텐츠 캐싱을 수행하기 때문에 저장소의 낭비 및 네트워크의 자원 낭비가 발생할 수 있다.

2.2. CCN 환경에서의 off-path caching

off-path 캐싱은 on-path 환경에서 동일한 콘텐츠의 중복 저장 문제를 방지하여 더 많은 콘텐츠 캐싱을 가능하게 하고 네트워크 자원을 효율적으로 이용하는 것을 목표로 한다.

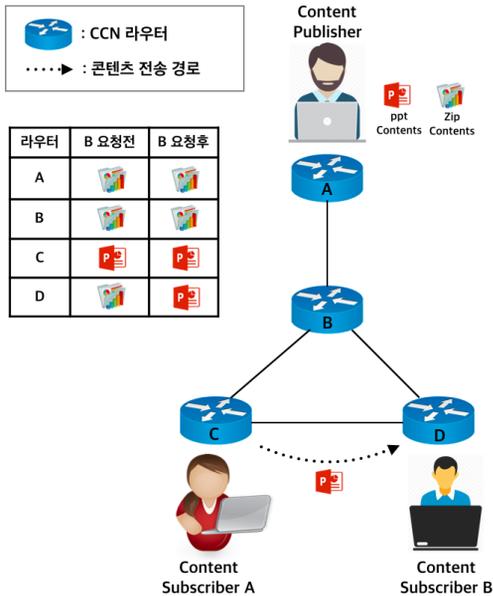
off-path 캐싱은 콘텐츠 요청을 콘텐츠 사용자와 콘텐츠 요청자 사이에 경로가 아닌 다른 곳으로 전송할 수 있

으며 같은 계층 및 하위 계층에 존재하는 CCN 라우터에 캐싱 된 콘텐츠에 접근할 수 있다. 이를 통해 여러 콘텐츠들을 효율적으로 캐싱 할 수 있기 때문에 저장소 및 네트워크 자원의 효율적인 사용이 가능하다. CCN 환경에서 실제로 off-path 캐싱을 구현하기 위해서는 이름 해석 메커니즘 (name resolution mechanism)[8] 등을 사용한다.

그림 3은 기본 off-path 방식의 동작 과정을 보여준다. 본 방식에서는 콘텐츠 라우터들은 C는 ppt 콘텐츠를 캐싱하고 라우터 D는 Zip 콘텐츠를 캐싱 한다고 가정한다. 콘텐츠 요청자 B가 ppt 콘텐츠를 전송받기 위해 요청을 전송하면 ppt 콘텐츠를 캐싱하도록 설정한 거리적으로 가까운 라우터 C에 캐싱 된 데이터를 전송받게 되어 상대적으로 거리가 먼 콘텐츠 소유자에게 콘텐츠를 전송받을 필요가 없어 효율적이다.

즉, off-path 캐싱 방식 적용에 따라 인기도가 높은 콘텐츠만 캐싱 되지 않고 상대적으로 인기가 낮은 콘텐츠도 캐싱이 가능하게 되므로 상대적으로 가까운 곳에 위치한 라우터로부터 콘텐츠를 전송받을 수 있어 데이터 저장소 및 네트워크 자원을 효율적으로 이용할 수 있다.

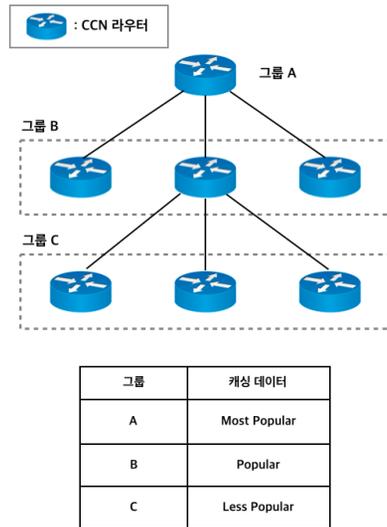
본 논문에서는 off-path 캐싱 중 기본 off-path (basic off-path caching) 캐싱 기법과 적응형 off-path (adaptive off-path caching) 캐싱 기법을 설명한다[9].



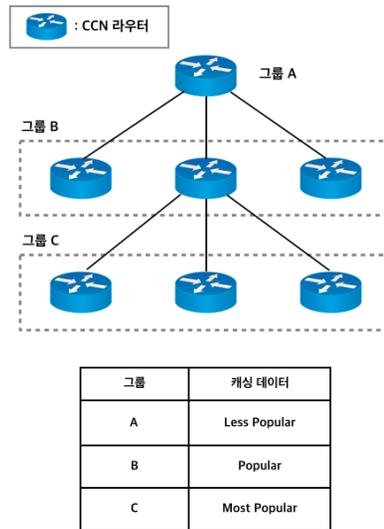
(그림 3) 기본 off-path 방식의 동작 과정

아래 그림 4에서와 같이 기본 off-path 캐싱 방식은 인기도가 가장 높은 콘텐츠를 최상의 CCN 라우터에 캐싱하고 나머지 콘텐츠들은 그들의 인기도에 따라 하위 CCN 라우터에 배치하는 방식으로 동작한다.

인기도가 가장 높은 데이터를 최상위에 위치시킴으로 인하여 콘텐츠 요청자로부터 거리가 멀어져 상대적으로 홉 거리가 증가했지만 CCN 라우터에 각기 다른 콘텐츠를 저장할 수 있기 때문에 on-path 방식과 비교해서 더



(그림 4) 기본 off-path 캐싱의 동작 및 정책



(그림 5) 적응형 off-path 캐싱의 동작 및 정책

많은 콘텐츠를 저장할 수 있다.

또한 적응형 off-path 캐싱 기법은 그림 5와 같이 가장 최상의 CCN 라우터에 인기도가 가장 낮은 콘텐츠를 캐싱하고 하위로 갈수록 인기도가 높은 콘텐츠를 캐싱하는 방식으로 동작한다.

즉, 기본 off-path 캐싱의 단점이 홉 거리에 따른 지연을 줄이면서 on-path 방식 보다 더 많은 데이터를 저장하기 위하여 제안된 구조이다.

III. 분석 및 결론

CCN은 캐시 관리를 위한 방법으로 LCE와 더불어 LRU 방식을 사용한다. 즉, CCN은 on-path 캐싱을 활용하며 이를 통해 동일한 콘텐츠의 요청을 받을 경우 콘텐츠 소유자와 콘텐츠 요청자 경로 사이에 존재하는 CCN 라우터로부터 콘텐츠를 전송받을 수 있다.

즉, 상대적으로 먼 거리에 있는 콘텐츠 소유자로부터 콘텐츠를 전송받지 않고 근접한 CCN 라우터로부터 콘텐츠를 전송받기 때문에 대용량 콘텐츠 전송 환경에 적합하며 네트워크 자원의 소비를 줄여 효율성을 높여준다.

하지만, LRU 방식은 가장 많이 사용되는 콘텐츠 중심으로 캐싱을 진행할 가능성이 커 요청이 적은 비인기 콘텐츠를 효율적으로 캐싱 하지 못하는 문제점이 있다. 이 문제를 해결하기 위해 같은 그룹에 존재하는 라우터에 상대적으로 서로 다른 콘텐츠들을 저장하는 off-path 캐싱 기법이 제안되었다. 그러나, off-path caching의 경우, 같은 그룹에 존재하는 라우터에 서로 다른 콘텐츠의 저장을 통해 제한된 CCN 라우터의 캐싱 성능을 높여 줄 수 있다는 장점이 존재하지만 전체적인 콘텐츠 정보를 확인하는 작업이 필요하며 콘텐츠 확인을 위한 제어 메시지의 오버헤드 문제가 존재한다.

또한 2.2절에서 CCN 환경에서의 캐싱 성능을 개선하기 위해 기본 off-path 캐싱과 적응형 off-path 캐싱 방법을 살펴보았다. 기본 off-path 캐싱 방식은 트리구조 기반의 계층을 생성하여 인기도가 가장 높은 콘텐츠를 최상에 CCN 라우터에 캐싱 해두고 상대적으로 인기도가 적은 콘텐츠들을 하위 계층에 배치하는 방식으로 동작한다.

계층화된 구조를 통하여 캐싱 저장소를 효율적으로 사용할 수 있지만 인기 있는 콘텐츠를 전송받기 위해 상대적으로 먼 거리에 요청을 해야 하므로 높은 홉 카운터를 가지며 네트워크 자원의 낭비를 초래한다.

적응형 off-path 캐싱은 기본 off-path 캐싱 방식이 상대적으로 먼 거리에 콘텐츠를 요청하면서 발생하는 높은 홉 수 문제를 해결하기 위해 인기도가 가장 낮은 콘텐츠를 최상위 라우터에 배치한다. 이를 통해 상대적으로 가까운 위치로부터 콘텐츠를 전송받을 수 있으므로 효율적으로 네트워크 자원 및 저장소를 사용할 수 있다.

요약해보면, 기본적인 on-path 캐싱 방식은 호스트 중심의 현재 네트워크 구조보다 콘텐츠 전송에 유리한 구조이지만 on-path 캐싱의 경우 인기도가 높은 콘텐츠 위주로 네트워크내 저장될 확률이 높아 저장소의 효율적인 사용이 어렵다. 이 문제를 해결하기 위해 콘텐츠의 인기도에 따라 저장 위치를 달리하는 off-path 캐싱은 저장소의 효율적인 사용이 가능하다. CCN 환경에서의 캐싱에 관한 정확한 성능 및 에너지 소비량들을 예측하기 위하여 실제 테스트베드 환경에서의 성능 평가 및 검증이 향후 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update", *2015-2020 White Paper*, 2015
- [2] M. Waehlich, D. Saucez, T. Schmidt, D. Kutscher, S. Eum, I. Psaras, K. Pentikousis, D. Corujo, "ICN research challenges", *IETF RFC 7927*, July 2016
- [3] V. Dimitrov, V. Koptchev, "PSIRP Project: Publish-Subscribe Internet Routing Paradigm," *International Conference on Computer Systems and Technologies*, pp. 167 - 171, June 2010
- [4] B. Ahlgren, C. Dannewitz, C. Imbrenda, D. Kutscher, B. Ohlman, "A survey of information-centric networking", *IEEE Communications Magazine*, 50(7), pp. 26-33, July 2012
- [5] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, R. L. Braynard, "Networking named content", *ACM International conference on Emerging networking experiments & technologies*, pp. 1-12. December 2009

- [6] N. Laoutaris, H. Che, I. Stavrakakis, “The LCD interconnection of LRU caches and its analysis”, *Performance Evaluation*, 63(7), pp. 609-634, July 2006
- [7] I. Abdullahi, S. Arif, S. Hassan, “Survey on caching approaches in Information Centric Networking”, *Journal of Network and Computer Applications*, 56(C), pp. 48-59, October 2015
- [8] T. Koppo, M. Chawla, B. G. Chun, A. Ermolinskiy, K. H. Kim, S. Shenker, I. Stoica, “A data-oriented (and beyond) network architecture”, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 37(4), pp.181-192, August 2007
- [9] M. Draxler, H. Karl, “Efficiency of on-path and off-path caching strategies in information centric networks”, *IEEE International Conference on Green Computing and Communications (GreenCom)*, pp. 581-587, November 2012.

〈저자 소개〉

이 주 용 (Ju-Yong Lee)

정회원

2014년 2월 : 상명대학교 정보통신공학과 졸업

2016년 2월 : 상명대학교 정보통신공학과 석사

2016년 3월~현재 : 상명대학교 정보통신공학과 박사과정

관심분야: CCN, 미래인터넷, 네트워크 보안



이 지 훈 (Ji-Hoon Lee)

정회원

2001년 8월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

2002년 3월 : 고려대학교 차세대인터넷 센터 Research fellow

2012년 2월 : 삼성전자 종합기술원 전문 연구원

2012년 3월~현재 : 상명대학교 정보통신공학과 조교수

관심분야: 미래인터넷, CCN, M2M, 네트워크 보안, Electric Vehicle

