

컨텐츠 중심 네트워크에서의 캐싱 기법

최재영^o 조은상 한진영 권태경 최양희

서울대학교 컴퓨터공학부

{jychoi, escho, jyhan}@mmlab.snu.ac.kr, {tkkwon, yhchoi}@snu.ac.kr

In-network caching scheme for content-oriented networking

Jaeyoung Choi^o, Eunsang Cho, Jinyoung Han, Ted "Taekyoung" Kwon, Yanghee Choi

School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

1. 서론

인터넷 도입 초기에는 원격 접속이나 파일 전송, 메일과 같이 특정 단말이 다른 단말과 직접적으로 통신하는 형태의 응용만이 사용되었기 때문에 현재 인터넷 구조는 단말만을 식별하는 형태로 설계되어 있다. 하지만 인터넷이 널리 보급됨에 따라 점차 사용자가 원하는 정보를 검색하거나 필요로 하는 서비스나 파일을 제공받는 식으로 인터넷의 사용 형태가 변화하게 되었다. 단말 중심의 인터넷 구조와 컨텐츠 중심의 사용 형태 사이의 괴리로 인한 여러 가지 문제점들을 해결하기 위해, 네트워크 내에서 서비스나 데이터를 식별하고자 하는 컨텐츠 중심 네트워크(Content-oriented Network, 이하 CON)이 고안되어 연구되고 있다[1]. CON에서는 사용자가 컨텐츠를 보다 쉽게 제공받을 수 있게 되고 응용 개발자들 또한 보다 확장성 있게 응용을 개발할 수 있게 된다.

CON에서는 기존 인터넷의 lookup-by-name 패러다임이 아닌 route-by-name 패러다임[2]에 기반한 새로운 name resolution 구조가 필요하다. 또한, 컨텐츠 중심 네트워크에서는 보다 효율적인 컨텐츠 전송을 지원하기 위해 in-network caching 기법의 사용이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 아직 자세히 연구된 바 없는 route-by-name 패러다임 하에서의 in-network caching 기법에 대해 연구한다. 또한 우리는 본 논문에서 인기도에 기반한 in-network caching scheme을 제안하고 해당 기법이 route-by-name 패러다임에 적용될 때 발생하는 caching 기회의 증대와 전송 경로의 최적화 사이의 trade-off 관계에 대해 탐구하고자 한다.

2. 본론

본 논문에서는 caching을 사용하는 타 연구 분야에서 가장 효과적이라고 이미 알려진 Least-Recently Used 전략과 Least-Frequently Used 전략을 적절히 조합한 Least Recently/Frequently Used (LRFU) 교체전략[3]을 이용한 in-network caching 기법을 제안한다. 해당 교체전략을 위해 각 node들은 다음의 수식에 기반하여 컨텐츠의 인기도(F)를 계산한다.

$$F(i) = \frac{N(i)}{2^{\frac{T(i)}{T_{interval}}}}$$

위 식에서 i 는 해당 컨텐츠의 색인을, N 은 i 의 접근회수를, T 는 i 가 cache된 후의 소요시간을 의미한다. 컨텐츠의 인기도는 매우 급격하게 변화하기 때문에 그를 보다 더 빠르게 반영하기 위해서 $T_{interval}$ 변수를 도입하여 해당 주기마다 F 를 반으로 줄이게 된다. 또한, 방금 cache된 컨텐츠는 N 이 낮아서 불리해질 수 있으므로 T_{guard} 를 두어 T_{guard} 보다 작은 컨텐츠는 교체 대상에서 제외하도록 한다.

한편, 컨텐츠가 어느 경로를 통해서 전달되는지는 resolution path에 따라 결정된다. 따라서, resolution된 후 해당 컨텐츠를 요청한 단말에게 어느 경로를 통해서 전달할 것인지에 따라서 해당 컨텐츠가 어느 node에 cache될지가 결정된다. 그러므로, 해당 컨텐츠를 가장 최적화된 전송 경로를 통해서 단말에게 전달하는 전략이 항상 시스템 전체의 성능을 최적화해주지는 않는다. 이 경우 네트워크 내에서 cache될 수 있는 기회를 전혀 갖지 못하게 되기 때문이다. 따라서, cache될 기회를 높이는 전략과 해당 컨텐츠를 보다 빠르게 전송하고자 하는 전략 사이에서의 trade-off 관계가 발생하게 된다. 이는 네트워크의 토폴로지와 컨텐츠를 요청하고 보유하는 단말의 위치에 따라서 많은 변수가 생기게 된다. 하지만 일반적으로 가장 많은 cache 기회를 갖는 hop-by-hop, 가장 빠른 전송 경로를 선택하는 end-to-end, 사용자 단말이 연결된 마지막 네트워크 node에서만 2번의 cache 기회를 갖도록 하여 앞선 2가지 전략을 절충한 first-and-last의 3가지 전략이 가능하다.

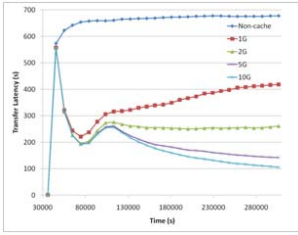


그림 1. caching 효과

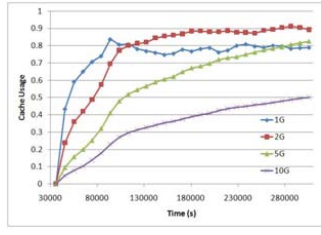


그림 2. 저장소 사용량

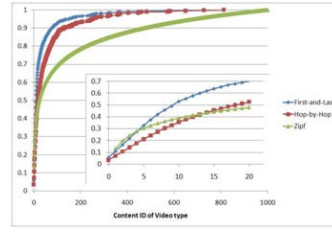


그림 3. replica 개수분포

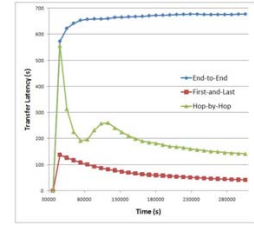


그림 4. 전략별 성능

본 논문에서는 실제 인터넷에서 사용되고 있는 네트워크 토폴로지와 인터넷에서 측정된 실제 트래픽 측정 결과에 기반하여 실험 환경을 구축하고 제안된 caching 기법과 3가지 전략의 성능을 비교하였다. 먼저 우리는 제안한 in-network caching의 효과를 보여주기 위해서 저장소의 크기를 1Gbytes, 2G, 5G, 10G로 변화시키며 그에 따른 성능 차이를 caching을 사용하지 않은 경우와 비교하였다. 그림1을 통해 저장소의 크기와 무관하게 in-network caching 기법이 콘텐츠 전송을 2배 가량 향상시킨다는 것을 알 수 있다. 초반에는 caching을 사용한 경우와 그렇지 않은 경우와 동일한 성능을 보였지만 caching을 사용할 때는 콘텐츠들이 네트워크 내에 cache되기 시작함에 따라 곧 평균 전송 시간이 급속히 줄어드는 것을 볼 수 있다. 실험시간 10만초에서 평균 전송 시간이 조금 상승하였다가 다시 줄어드는 것을 볼 수 있는데 이것은 3만초에 전송을 시작했던 대용량 콘텐츠들의 전송이 10만초 부근에서 종료되어 전체평균에 포함되기 시작했기 때문에 일어나는 현상으로 caching의 성능과는 무관한 현상이다. 또한, 5G와 10G의 경우 큰 성능 향상이 없는데 이것은 사용량 변화를 보여주는 그림2에서 보듯이 5G의 크기만으로도 이미 충분히 caching을 지원할 수 있기 때문이다. 5G는 실험에 사용된 전체 콘텐츠의 크기인 480G의 1%도 되지 않는 크기라는 것을 감안해볼 때 본 논문에서 제안한 caching 기법은 매우 작은 저장소만으로도 전체 시스템의 성능을 크게 향상시킨다는 것을 알 수 있다.

또한, 우리는 route-by-name 패러다임에서의 caching에서 가능한 3가지 전략의 성능을 비교하였다. 그림3은 first-and-last 전략과 hop-by-hop 전략을 취한 경우, 콘텐츠들이 네트워크 node들에 몇 개가 cache되어 있는지를 normalize해서 보여준다. 그림에서 Zipf는 콘텐츠가 원래 가지고 있는 인기도의 분포를 나타낸다. 그림에서 보듯이 hop-by-hop이 보다 인기도를 잘 반영하고 있다. 하지만 높은 인기도를 지닌 콘텐츠에 대해 두 전략이 유사한 분포를 보이는 작은 그래프에서 보듯이 first-and-last가 hop-by-hop에 비해 떨어지지 않는 caching 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 하지만 first-and-last는 hop-by-hop에 비해 50% 가량 짧은 경로로 전송되기 때문에 그림4에서 보듯이 전체 성능에서는 first-and-last가 우월한 성능을 보인다. 또한, caching을 사용하지 않는 hop-by-hop의 경우 caching을 사용하는 나머지 두 전략에 비해 매우 떨어지는 성능을 보이고 있다.

3. 결론

현재 인터넷에는 단말 중심의 구조와 콘텐츠 중심의 사용형태 사이의 괴리로 인한 여러 가지 문제점과 이로 인한 한계들이 표출되고 있다. 이를 극복하기 위해 콘텐츠 중심의 식별자를 도입하려는 콘텐츠 중심 네트워크가 제안되어 연구 되고 있다. 본 논문에서는 콘텐츠 중심 네트워크에서 전송 성능을 향상하기 위해 사용할 수 있는 caching 기법에 대해 연구하였다. 우리는 인기도에 기반한 교체 전략을 취하는 in-network caching 기법을 제안하고 해당 기법이 전송 성능을 두 배 가량 향상시킨다는 것을 합리적인 실험을 통해서 검증하였다. 또한, DNS와 같은 현재 인터넷의 lookup-by-name 패러다임이 콘텐츠 중심 네트워크에서는 route-by-name 패러다임으로 변화할 것으로 예상되며 이러한 route-by-name 패러다임에서 in-network caching 기법을 사용할 경우에는 전송 기회의 증대와 전송 경로의 최적화라는 trade-off 관계가 발생되며 여기서 hop-by-hop, end-to-end, first-and-last라는 서로 다른 3가지 전송 전략이 가능하다. 우리는 실험을 통해 각 전략의 성능을 비교하여 trade-off 관계를 균형있게 조합한 first-and-last 전략이 가장 뛰어난 성능을 보인다는 것을 확인하고 그의 이유를 분석하였다.

참고문헌

- [1] T. Koponen, M. Chawla, B.-G. Chun, A. Ermolinskiy, K. H. Kim, S. Shenker, and I. Stoica. A data-oriented (and beyond) network architecture. In SIGCOMM '07, pages 181 - 2, 2007.
- [2] M. Gritter and D. R. Cheriton. An architecture for content routing support in the internet. In the 3rd Usenix Symposium on Internet Technologies and Systems (USITS), pages 37 - , 2001.
- [3] D. Lee, J. Choi, J. Kim, S. Noh, S. Min, Y. Cho, and C. Kim. Lrfu: A spectrum of policies that subsumes the least recently used and least frequently used policies. IEEE Transactions on Computers, 50(12):1352 - 61, 2001.