

# D2D 캐싱 시스템에서 마이크로 D2D 캐싱의 비율

임민중, 이지환, 김정현  
동국대학교

minjoong@dongguk.edu

## Ratio of Micro D2D Caching in D2D Caching Systems

Minjoong Rim, Jihwan Lee, Jeonghyun Kim  
Dongguk University

### 요 약

디바이스의 여유 저장 공간을 콘텐츠 캐시로 사용하는 D2D 캐싱 시스템에서는, 헬퍼라고 불리는 디바이스의 캐시에 주변 디바이스가 요구하는 콘텐츠가 있을 경우 이를 공급함으로써 무선 네트워크의 부담을 줄인다. 본 논문에서는 캐시를 인기 있는 콘텐츠를 저장하는 매크로 D2D 캐싱뿐만 아니라 주변 디바이스가 시청하고 있는 콘텐츠 청크의 약간 뒤 청크를 저장하는 마이크로 D2D 캐싱을 섞어 쓸 때, 마이크로 D2D 캐싱의 비율이 어떻게 되는지 살펴본다.

### I. 서 론

유선 및 무선 네트워크의 트래픽 양은 폭발적으로 증가하고 있으며 이는 주로 비디오 스트리밍 서비스의 증가에 기인한다 [1]. 유선 네트워크에서는 네트워크 부담을 줄이기 위하여 콘텐츠 캐시를 여러 지리적 위치에 분산적으로 배치하는 기술이 사용되고 있으며, 사용자에게 가까운 네트워크 가장자리에 캐시를 설치하는 형태로 발전하고 있다. 최근에는 무선 네트워크에서 모바일 트래픽의 증가를 해결하기 위하여 기지국이나 디바이스에 콘텐츠 캐시를 설치하는 기술에 대한 연구가 진행되고 있다 [2]. 디바이스의 여유 저장 공간을 콘텐츠 캐시로 사용하는 D2D(Device-to-Device) 캐싱 시스템에서는 헬퍼라고 불리는 디바이스가, 피크 시간이 되기 전 콘텐츠를 저장하고, 피크 시간이 되어 데이터 요구량이 많을 때, 헬퍼는 주변 사용자가 요구하는 콘텐츠가 캐시에 있을 경우, D2D 통신을 이용하여 사용자에게 콘텐츠를 공급함으로써 무선 네트워크의 부담을 줄인다 [3].

콘텐츠 캐시는 컴퓨터의 캐시와 유사한 개념을 가지고 있다. 컴퓨터의 캐시는 시간 및 공간적 지역성(temporal and spatial locality)에 기반을 두어, 한 번 사용된 데이터는 다시 사용될 가능성이 높다는 가정을 하고 있다. 이와 유사하게 비디오 콘텐츠도 서로간에 선호도의 차이가 커서, 인기 있는 콘텐츠는 여러 사용자에게 의해서 반복적으로 사용될 수 있다고 가정할 수 있다면, 캐시에 인기 있는 콘텐츠를 저장함으로써 오프로딩을 이룰 수 있다. 콘텐츠 저장은 피크 시간이 되기 전에 할 뿐만 아니라, 피크 시간에도 간헐적으로 데이터 요구량이 크지 않은 시간이 존재하여 추가적인 데이터 공급이 가능한 저부하 상태에 들어갈 수 있다면, 그 때마다 캐시를 업데이트함으로써 시간에 따른 인기도 변화를 반영할 수

있다. 인기가 높은 콘텐츠를 캐싱에 저장하는 방법을 본 논문에서는 매크로(macro) D2D 캐싱이라고 부른다.

그러나 실제 비디오 콘텐츠의 수는 거의 무한히 많은 데 비해 디바이스가 가지고 있는 여유 저장 용량은 크지 않기 때문에, 전체 콘텐츠 중 극히 일부분만 캐시에 저장 가능하며 D2D 캐싱 시스템은 원하는 오프로딩 성능을 얻기 어렵다. 본 논문에서는 피크 시간에도 간헐적으로 저부하 상태로 간다고 가정할 때, 캐시를 실시간 인기도를 반영하여 업데이트하는 대신, 더 사용될 확률이 높은 콘텐츠로 업데이트를 함으로써 오프로딩 성능을 향상시키는 방법에 대해서 논한다.

### II. 본론

컴퓨터 캐시는 한 번 사용된 데이터가 다시 사용될 수 있다는 개념뿐만 아니라, 순차적 프리페칭(sequential prefetching)의 개념을 사용하여 효율을 높인다. 필터 등과 같이, 데이터가 순차적으로 사용되는 응용에서는 미래에 사용될 것으로 예상되는 데이터를 미리 가져와 캐시에 저장하고 필요할 때 사용한다. 같은 개념이 비디오 콘텐츠 캐싱에서도 사용될 수 있다.

YouTube, Netflix 등 비디오 스트리밍을 할 때, 사용자는 비디오 콘텐츠를 한 번에 모두 가져오는 것이 아니라, 수 초 단위의 시그먼트(segment) 혹은 청크(chunk)라고 불리는 작은 단위로 가져온다. HTTP(Hyper Text Transfer Protocol) 서버는 비디오 콘텐츠를 잘게 쪼개서 많은 수의 청크를 만들어 저장하고, 사용자는 비디오가 플레이됨에 따라 필요한 청크를 순차적으로 하나씩 HTTP 서버에 요청하여 수신한다. 원활한 동영상 재생을 위해서 사용자는 약간의 순차적 프리페칭을 할 수 있다. 그러나 그 때의 프리페칭은 데이터를 가져오는 딜레이를 줄이거나 압축 재생과 데이터 패칭(fetching) 속도 사이의 불일치를 해결하기 위한 것으로 네트워크의 부하를 줄이기 위한 것과는 거리가 멀다. 사용하지 않을

확률이 있는 청크를 미리 가져올 경우 불필요한 네트워크 부하를 일으킬 수 있기 때문에 프리페칭은 제한적으로 수행된다. 헬퍼가 피크 시간에 간헐적으로 저부하 상태로 갈 때, 주변의 디바이스가 재생하고 있는 콘텐츠 청크의 약간 뒤의 청크를 프리페칭하여 저장하는 방법을 본 논문에서는 마이크로(Micro) D2D 캐싱이라고 부른다.

단순한 논의를 위하여 콘텐츠 청크의 재생 시간 및 데이터 크기는 모두 같다고 하자. 전체 콘텐츠 청크의 수는  $K_{total}$  개이고 콘텐츠는 인기 순으로 정렬되어 있으며 활성화된 하나의 단말에서  $k$  번째 콘텐츠 청크  $C_k^{macro}$  를 단위 시간 당 요청할 횟수의 기대값을  $R_k$  라고 하자. 현재 일시적으로 저부하 상태에 있고 저부하 시간 동안 최대  $K_{store}$  개의 청크를 갱신할 수 있으며, 다시 저부하 상태로 오기까지 과부하 시간은 청크 재생 시간의  $T$  배라고 하자. 헬퍼의 캐시의 크기는  $K_{cache}$  이고 헬퍼와 통신 가능한 주변의 활성화된 디바이스의 수를  $N$  이라고 하자. 간단한 논의를 위하여 하나의 디바이스가 헬퍼의 통신 범위를 넘어 이동해서 나갈 경우, 다른 하나의 디바이스가 통신 범위 내로 이동해서 들어와 항상  $N$  개의 디바이스가 유지된다고 가정한다.

헬퍼가 캐시를 마크로 D2D 캐싱으로만 사용할 경우 피크 시간이 시작되기 전, 1 부터  $K_{cache}$  까지의 콘텐츠 청크  $C_k^{macro}$  를 캐시에 저장하며 이 때 과부하 시간 동안 오프로딩 확률은 다음과 같다.

$$R_{macro} = \sum_{k=1}^{K_{cache}} R_k \quad (1)$$

헬퍼가 활성화된 디바이스들이 시청하고 있는 비디오 콘텐츠의 미래 청크를 프리페칭할 경우 그 디바이스가 비디오 시청을 그만두거나 혹은 이동을 통해 통신 반경을 넘어갈 경우 프리페칭된 콘텐츠 청크는 의미 없어진다. 미래 콘텐츠 청크들이 사용될 확률이 높은 순으로 정렬되어 있으며,  $k$  번째 콘텐츠  $C_k^{micro}$  가 사용될 확률을  $P_k$  라고 하자. 헬퍼는 캐시 공간의 일부를 마이크로 D2D 캐싱으로 사용한다고 할 때 최대  $K_{max} = \min\{K_{store}, K_{cache}, TN\}$  개의 청크를 갱신할 수 있다. 캐시에 저장된  $K_{cache}$  개의 콘텐츠 청크 중 마이크로 D2D 캐싱 콘텐츠 청크의 수를  $K_{micro} (\leq K_{max})$ , 마크로 D2D 캐싱 콘텐츠 청크의 수를  $K_{cache} - K_{micro}$  라고 할 때 과부하 시간 동안 오프로딩 확률은 다음과 같다.

$$R_{micro}(K_{micro}) = \sum_{k=1}^{K_{micro}} \frac{P_k + (1-P_k)R_{part}}{TN} + \frac{TN - K_{micro}}{TN} R_{part} \quad (2)$$

위 식에서  $R_{part} = \sum_{k=K_{micro}+1}^{K_{cache}-K_{micro}} R_k$  이다. 식 (2)가 최대가 되도록  $K_{micro}$  가 결정된다.

$$R_{micro} = \max_{K_{micro}} R_{micro}(K_{micro}) \quad (3)$$

실험에서는 콘텐츠 비디오 청크의 수  $K_{total}$  가 20000 개이고, Zipf 계수 0.6, 0.8, 또는 1 을 가지는 Zipf 분포를 가지며, 헬퍼의 캐시의 크기는  $K_{cache}$  는 200 개, 과부하 시간  $T$  는 20, 통신 가능한 주변의 활성화된 디바이스의 수  $N$  은 10, 미래 콘텐츠 청크들이 사용될 확률  $P_k$  는 모두 같은 값을 가지고 있다고 가정하고 0 에서 1 까지 변화시켰다. 그림 1 은 캐시에서의 마이크로 D2D 캐싱 비율을 나타낸다. 프리페칭이 된 청크의 사용 확률이 높을수록, 그리고 콘텐츠의 Zipf 계수가 작을수록 마이크로 D2D 캐싱 비율이 커지는 것을 볼 수 있다. 그림 2 는 마크로 D2D 캐싱과 마이크로 D2D 캐싱의 오프로딩 확률을 나타내고 있다. 프리페칭된 청크의 사용 확률이 낮을 경우 모든 캐시가 마크로 D2D 캐시로 사용되며 프리페칭된 청크의 사용

확률이 높아질수록 마이크로 D2D 캐싱의 비율이 높아지면서 성능도 향상되는 것을 볼 수 있다.

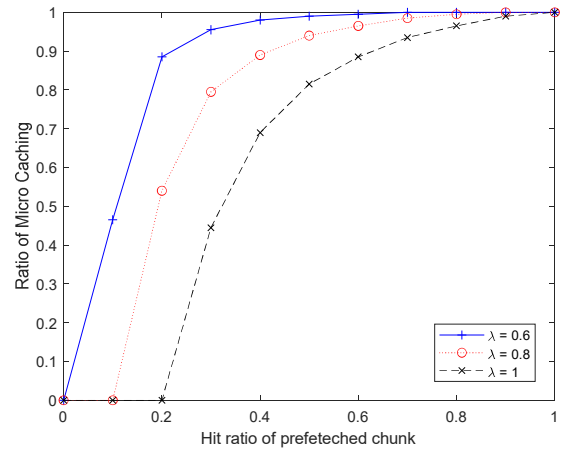


그림 1. 캐시에 저장된 마이크로 D2D 캐싱 비율

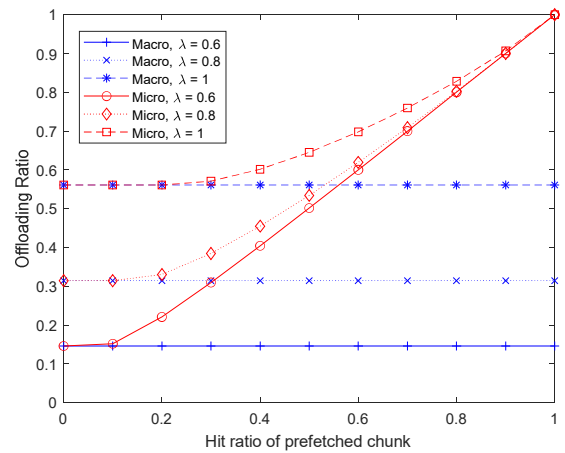


그림 2. 오프로딩 비율

### III. 결론

본 논문에서는 헬퍼의 캐시 공간을 마크로 D2D 캐싱과 마이크로 D2D 캐싱으로 나누었을 때 그 비율이 어떻게 되며 마이크로 D2D 캐싱으로 인한 성능 향상은 어떻게 되는지 살펴보았다. 디바이스의 여유 공간은 크지 않으므로 전체 콘텐츠의 극히 일부분만 저장 가능하며 마크로 D2D 캐싱만으로 성능이 나오기 어려울 때 마이크로 D2D 캐싱을 통해 성능 향상을 이룰 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2022R1F1A1062987).

### 참고 문헌

- [1] M. Gregori, et al. "Wireless Content Caching for Small Cell and D2D Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Commun., vol.34, no.3, pp.1222-1234, May 2016.
- [2] L. Li, G. Zhao, and R.S. Blum, "A Survey of Caching Techniques in Cellular Networks: Research Issues and Challenges in Content Placement and Delivery Strategies," IEEE Commun. Surveys & Tutorials, vol.20, no.3, pp.1710-1732, Third Quarter 2018.
- [3] M. Rim and C.G. Kang, "Content Prefetching of Mobile Caching Devices in Cooperative D2D Communication Systems," IEEE Access, vol.8, pp.141331-141341, August 2020.