

# 콘텐츠 중심 네트워크에서의 적응적 비디오 스트리밍

최낙중, 황재현

Bell Labs Seoul, Alcatel-Lucent

## 요약

최근 인터넷 트래픽 폭증 문제가 대두되면서 네트워크 자원의 효율적인 활용을 통한 데이터 전달이 중요한 이슈로 부각되고 있다. 이런 관점에서, 대표적인 핵심 미래인터넷 구조인 콘텐츠 중심 네트워크에서의 핵심 응용인 적응적 비디오 스트리밍 기법에 대한 연구가 필요한 시점이다. 본 고에서는 현재 인터넷에서 사용되고 있는 적응적 비디오 스트리밍 기법이 콘텐츠 중심 네트워크 환경에서 동작할 경우 발생하는 다양한 문제점들을 실험을 통해 살펴보고, 향후 연구 주제를 논의한다.

## I. 서론

현재 인터넷은 문제가 발생할 때마다 임시(ad-hoc) 해결책을 적용(patch)하는 방식으로 진화해 왔다. 그러나 최근 들어 이런 임시 방편이 아닌 보다 근본적으로 인터넷의 문제를 해결하기 위해 다양한 미래인터넷에 대한 연구가 진행되었다. 최근 몇 년간 미래인터넷의 대표적인 핵심 구조로서, 콘텐츠 중심 네트워크 (CCN; Content-Centric Networking) [1]가 많은 관심을 받아왔다. 인터넷 사용 패턴이라는 측면에서 사용자들은 누가 데이터를 가지고 있는지가 아닌 데이터 자체를 원한다. 이는 다양한 인터넷 트래픽 측정 연구 결과에서 콘텐츠 전달 네트워크 (CDN; Content Delivery Network), P2P (Peer-to-Peer) 네트워크가 차지하는 비중을 보면 확인할 수 있다.

한편, 인터넷 트래픽 구성이라는 측면에서는 비디오 트래픽이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 지속적인 증가 추세를 보일 것으로 예상된다 [2]. 특히, IPTV 서비스 등이 보편화되면서 비디오 스트리밍 서비스는 대표적인 핵심 응용이 되었고, 인터넷 사용자들은 더욱더 고품질의 비디오 스트리밍 서비스를 요구하게 될 것이다. 그러나 인터넷 환경에서는 비디오 스트리밍 세션 기간 동안 다양한 이유로 인해 네트워크 대역폭 보장이 불가능하기 때문에, 지속적으로 가용한 네트워크 대역폭

을 측정하고, 이에 따라 비디오의 품질을 조절해야 한다. 일반적으로 이런 방식을 적응적 비디오 스트리밍 (adaptive video streaming) 기법이라고 하며, 현재는 인터넷 비디오 트래픽의 단지 17% 정도에 불과하지만, 최근 TDG Research 조사에 따르면 2015년까지 인터넷 비디오의 51% 정도를 차지하게 될 것으로 예상된다 [3].

따라서 대표적인 미래인터넷 구조인 콘텐츠 중심 네트워크에서의 핵심 응용인 적응적 비디오 스트리밍 지원 연구는 필연적이라고 할 수 있다. 본 고에서는 현재 인터넷 환경에서 TCP 연결을 사용하는 HTTP 기반의 적응적 비디오 스트리밍 기법이 콘텐츠 중심 네트워크에서 사용될 때, 특히 네트워크 내 캐싱 기능과의 조합이라는 측면에서 어떤 성능을 보이는지를 실제 테스트베드를 통한 실험 결과로 살펴본다. 그리고 이런 새로운 환경에서 발생하는 문제점들이 무엇이며, 향후 가능한 연구 방향을 논의한다.

## II. 비디오 스트리밍을 위한 네트워크 및 단말 관점의 핵심 요소 기술

본 장에서는 본 고에서 고려하는 미래인터넷 구조와 비디오 스트리밍을 위한 기술적 배경이 되는 핵심 패러다임으로써, 네트워크 관점에서의 콘텐츠 중심 네트워크와 단말 관점에서의 적응적 비디오 스트리밍에 대해 살펴본다.

### 1. 콘텐츠 중심 네트워크

인터넷은 초창기에 IP 호스트 간 point-to-point 통신이라는 목표로 설계되었다. 그러나 현재 인터넷의 주요 사용 패턴은 사용자들 간의 데이터 확산(dissemination)으로, 설계 목표와 실제 사용 패턴의 불일치로 야기되는 비효율성이 심각하다. 누가 콘텐츠를 가지고 있는지가 아닌 콘텐츠 자체가 핵심 속성이 되어야 한다는 패러다임 이동이 이루어지고 있다. 물론 콘텐츠 전달 네트워크나 P2P 네트워크 등 현재 IP 네트워크 상에서 오

버레이로 동작 가능한 임시(ad-hoc) 솔루션이 제시되기는 했지만 근본적인 해결책은 되지 못하고 있다.

콘텐츠 중심 네트워크라는 새로운 패러다임은 메커니즘 측면에서 이름 기반 라우팅(routing-by-name)과 네트워크 내 캐싱(in-network caching), 두 가지 주요 특징으로 규정지을 수 있다. 이름 기반 라우팅은 경로를 찾을 때 콘텐츠를 가진 호스트가 아닌 콘텐츠 자체에 기반한 동작을 가능하게 한다. 따라서 하나의 콘텐츠가 자연스럽게 다수의 지점(예를 들어, 서버나 라우터)에서 획득이 가능하다. 네트워크 내 캐싱은 인기 있는 콘텐츠를 추후 사용자의 요구에 대비하여 네트워크 내에 임시로 저장함으로써 전체적인 데이터 확산 시간과 서버 및 네트워크 부하를 감소시킬 수 있다.

프로토콜 관점에서 콘텐츠 중심 네트워크는 콘텐츠 수신자 혹은 소비자(consumer)가 Interest 패키지를 사용하여 데이터 전달 과정을 시작한다. 즉, 사용자는 Interest 패키지를 네트워크로 전송함으로써 콘텐츠를 요청하고, 해당 콘텐츠를 가진(영구 저장하고 있는 콘텐츠 공급자(publisher) 혹은 임시 저장하고 있는 경로상의 중간 라우터) 네트워크 상의 어떤 콘텐츠 서버 혹은 라우터라도 Data 패키지로 응답할 수 있다. 콘텐츠 중심 네트워크 구조에서 데이터는 사용자의 요청에 대한 응답으로만 전송될 수 있는 수신자 기반 전송 프로토콜(receiver-initiated transport protocol)이기 때문에 각 네트워크 링크에서 하나의 Interest 패키지는 하나의 Data 패키지에 대응된다. 이런 특성은 혼잡 제어(congestion control) 기능을 중단 호스트가 아닌 네트워크 상에서 hop-by-hop으로 수행할 수 있다는 장점을 준다.

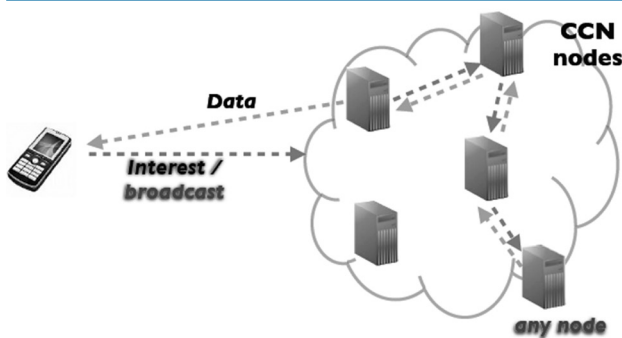


그림 1. 콘텐츠 중심 네트워크에서 데이터 전달

## 2. HTTP 기반 적응적 비디오 스트리밍

HTTP 기반 적응적 비디오 스트리밍의 목표는 동적인 네트워크 환경에서도 향상된 사용자 경험 품질(QoE; Quality of Experience)을 제공하는 것이다. 현존하는 HTTP 기반 적응적 비디오 스트리밍 기법은 다양한 방식으로 구현되었지만 기본적

인 아이디어는 동일하다. 먼저 비디오 파일이 다수의 비트 속도(bit-rate)와 해상도(resolution)로 인코딩 되어 콘텐츠 서버에 저장된다(예를 들어, 모바일 장비를 위한 150Kbps에서부터 고해상도를 위한 6Mbps까지 7-10개의 다른 인코딩 버전). 각 인코딩 버전은 비디오 청크(chuck)라는, 일반적으로 2초에서 30초 사이의 길이를 가지는 일련의 비디오 조각으로 나뉘어진다. 비디오 클라이언트는 먼저 가용한 오디오와 비디오 스트림에 대한 정보(예를 들어, 인코딩, 청크 길이 등)를 포함하는 manifest 파일을 다운로드 받는다.

기본적으로 비디오 클라이언트는 HTTP를 사용하여 하나의 비디오 청크를 요청한다. 각 비디오 청크를 다운로드 하는 동안 네트워크 대역폭(network bandwidth)을 측정하고, 다음 비디오 청크의 비트 속도를 속도 결정 알고리즘(RDA; Rate Determination Algorithm)에 따라 결정한다. 비디오 청크 단위의 비디오 전송은 클라이언트가 비디오 청크 단위로 비트 속도를 변경할 수 있는 기회를 제공한다. 이 때는 가용한 대역폭, CPU 처리 능력, 스크린 크기, 버퍼 상태 등을 종합적으로 고려해야 하며, 특히, 비디오 플레이가 멈추지 않도록 버퍼의 균형을 잘 맞추어야 한다.

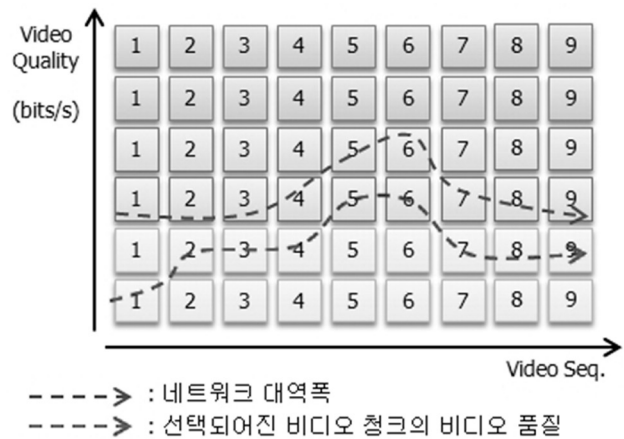


그림 2. 적응적 비디오 스트리밍의 개념

표준화된 HTTP를 사용하기 때문에 NAT (Network Address Translator)나 방화벽(firewall)을 쉽게 통과할 수 있고, cache, proxy, 콘텐츠 전달 네트워크 같은 현존하는 웹 인프라를 그대로 활용할 수 있다. 또한, HTTP는 비상태보존 프로토콜이기 때문에 서버에 세션 정보가 저장될 필요가 없다. 요청되는 비디오 청크 품질과 타이밍은 전적으로 비디오 클라이언트에 의해 결정된다. 최근 다양한 표준화 기구에서 관련 기술에 대한 논의가 진행 중이며, MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) [4]가 첫 번째 관련 국제 표준으로 볼 수 있다.

### III. 콘텐츠 중심 네트워크에서 적응적 비디오 스트리밍의 성능 평가

본 장에서는 II장에서 설명한 두 가지 핵심 패러다임이 공존함을 가정하여, 적응적 비디오 스트리밍의 성능을 실제 콘텐츠 중심 네트워크 테스트베드를 통하여 평가한다.

#### 1. 실험 환경 구축

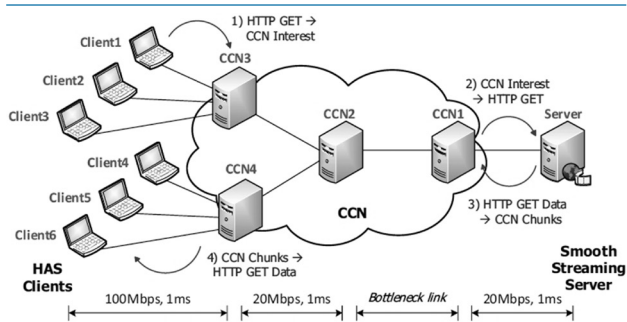


그림 3. 테스트베드 구성도

〈그림 3〉과 같은 콘텐츠 중심 네트워크 환경을 구축하고, 적응적 비디오 스트리밍을 위해서 아파치 기반의 웹 서버와 MS Silverlight (5.0.61118.0 버전) 클라이언트 [5]를 사용한다. 현재 인터넷에서 적응적 비디오 스트리밍 기법은 HTTP 기반으로 동작하기 때문에 콘텐츠 중심 네트워크와 상당 부분 개념을 공유하고 있다. 콘텐츠(혹은 데이터) 소비자가 URL (혹은 URI 형태의 이름) 기반으로 콘텐츠(혹은 데이터)를 요청하는 형태이며, 콘텐츠 제공자 혹은 웹 캐싱 서버(혹은 중간 콘텐츠 라우터)가 해당 콘텐츠(혹은 데이터)를 제공할 수 있다. 본 실험에서는 콘텐츠 중심 네트워크 deployment 첫 단계로 IP 네트워크와의 호환성을 위해 CCNx 소프트웨어 패키지에서 제공하는 HTTP Proxy 및 NetFetch 응용을 사용한다. 최근 발표된 콘텐츠 중심 네트워크를 위한 VLC DASH 패치를 사용한다면 특정 속도 적응 알고리즘을 콘텐츠 중심 네트워크에 직접 구현도 가능하다 [6]. 비디오 콘텐츠는 MS 사이트에서 제공되는 “Big Buck Bunny”를 사용했으며, 230, 331, 477, 688, 991, 1427, 2056, 2962 Kbps 인코딩 버전을 제공한다. 비디오 청크는 2초의 길이를 가진다. DummyNet 소프트웨어 [7]를 사용하여 네트워크 대역폭과 지연 시간을 조정한다.

#### 2. 성능 평가

1) 고정된 대역폭, 하나의 비디오 스트리밍 세션: 네트워크 내 캐싱 기능이 적응적 비디오 스트리밍에 미치는 영향을 살펴보

기 위해, FIFO, LRU, LFU 캐싱 정책 상에서 10명의 사용자가 순서대로 동일한 비디오 콘텐츠를 요청하는 시나리오로, 1Mbps bottleneck 링크를 가진다.

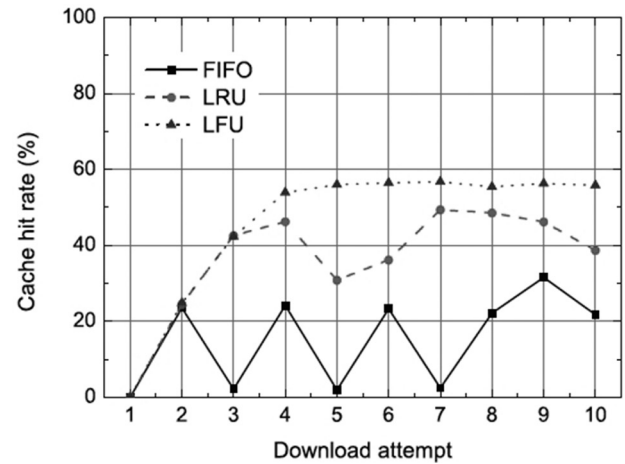
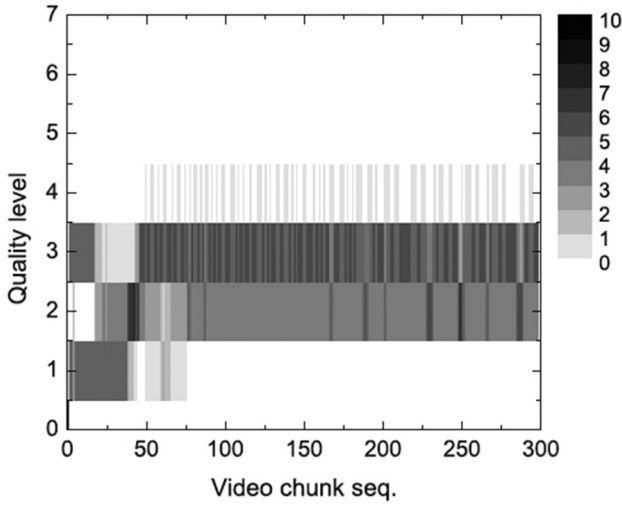


그림 4. Cache hit rate (%)

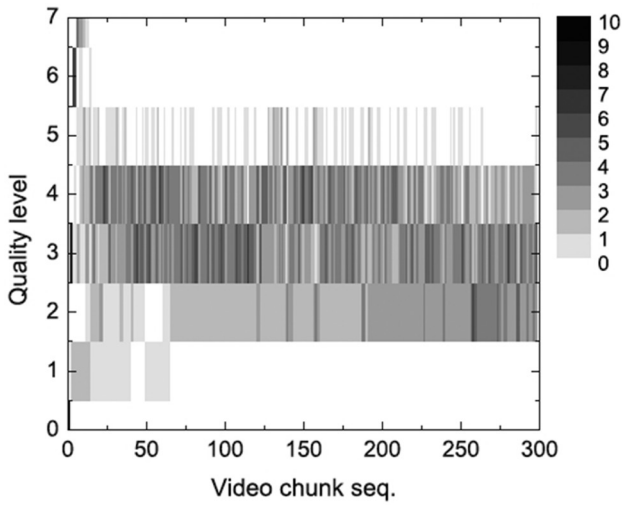
〈그림 4〉에서 볼 수 있듯이 이런 시나리오에서는 LFU 정책이 가장 좋은 성능이 보인다. 예를 들어, 안정화된 상태(4번의 다운로드 뒤)에서는 LFU, LRU, FIFO 정책이 대략 60%, 50%, 20% cache hit rate 성능을 보인다. FIFO 정책의 경우, 첫 번째 시도에서 각 캐시는 비어 있기 때문에 아무런 이득이 없지만, 두 번째 시도에서는 첫 번째 시도에서 캐시에 저장된 비디오 콘텐츠로 인해 20% 정도의 이득이 발생한다. 이는 비디오 클라이언트가 더 높은 네트워크 대역폭 제공이 가능한 상황으로 인지하고 더 높은 품질의 비디오 청크를 요청하게 한다. 캐시가 가득 찬 경우, FIFO 정책은 비디오 콘텐츠의 앞부분에 해당하는 비디오 청크를 삭제하여 세 번째 시도에서 cache hit rate 성능이 급격하게 떨어진다. 추후 다운로드 시도에서 이런 현상이 반복된다. 조금 더 긴 주기를 가지기는 하지만 LRU 정책에서도 유사한 현상이 관찰된다.

〈그림 5〉는 FIFO, LRU, LFU 캐싱 정책 상에서 비디오 청크 요청 패턴(10번의 동일한 비디오 콘텐츠 요청 동안 각 비디오 청크의 품질에 대한 요청 횟수)을 보여준다. 네트워크 cache hit rate 값이 증가할수록 요청되는 비디오 청크의 품질이 증가한다. LFU 정책이 사용될 경우 가장 많은 비디오 품질은 레벨 4 (991Kbps)로 bottleneck 링크의 대역폭과 대략적으로 일치한다.

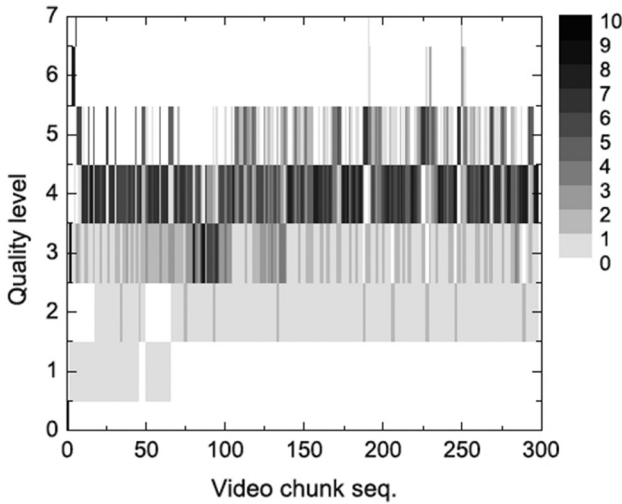
2) 변동하는 대역폭, 하나의 비디오 스트리밍 세션: 유용한 네트워크 대역폭이 지속적으로 변화는 실제 네트워크 환경을 고려하기 위해 30초 간격으로 0.3, 0.6, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 2.5, 2.0, 1.5, 1.0, 0.6Mbps 패턴으로 bottleneck 링크의 대역



(a) FIFO 정책



(b) LRU 정책



(c) LFU 정책

그림 5. 비디오 청크 요청 패턴

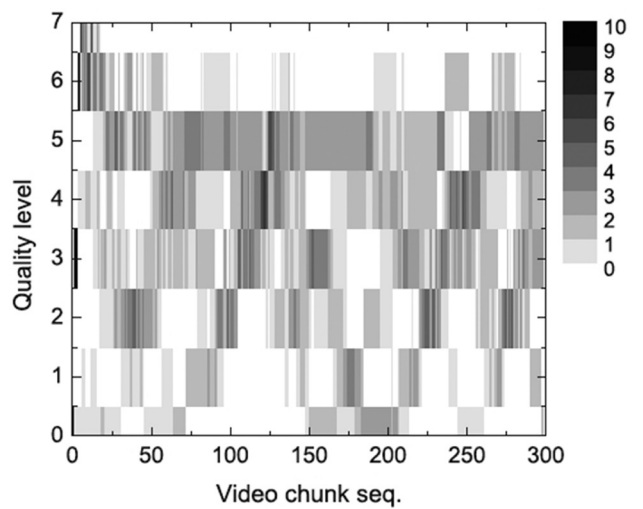


그림 6. LFU 정책, 비디오 청크 요청 패턴

폭을 조정한다.

〈그림 6〉은 LFU 정책이 사용될 때 비디오 청크 요청의 패턴을 보여준다. 〈그림 5(c)〉 결과와 비교하면, 특정 비디오 품질(991Kbps)에 집중되지 않고 다양한 비디오 품질에 대해 사용자 요청이 분산되는 것을 확인할 수 있다. 동적으로 네트워크 대역폭이 변동하는 경우에 네트워크 내 캐싱 기능이 제대로 역할을 못하고 있다. 즉, 현재 적응적 비디오 스트리밍 기법의 적응 메커니즘이 콘텐츠 중심 네트워크 내 캐싱 효율성을 떨어뜨린다.

3) 변동하는 대역폭, 다수의 비디오 스트리밍 세션: 비디오 콘텐츠 버전(품질)의 개수가 미치는 영향을 알아보기 위해) 4개(477, 688, 991, 1427 Kbps), ii) 2개(688, 991 Kbps), 두 개의 비디오 콘텐츠 세트에 대한 실험을 수행한다. 현실적인 비디오 스트리밍 환경을 고려하기 위해 10초 간격으로 6명의 비디오 클라이언트가 동일한 비디오 콘텐츠 스트리밍을 시작하고,

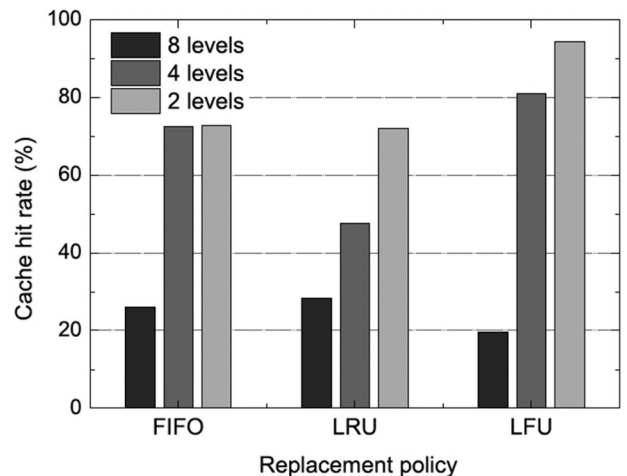


그림 7. 동적인 네트워크에서 cache hit rate

각 비디오 클라이언트는 10번의 비디오 스트리밍 세션을 반복한다. 또한, 이전 실험과 유사하게 1분 간격으로 9, 12, 15, 18, 15, 12Mbps 패턴으로 bottleneck 링크의 대역폭을 조정한다.

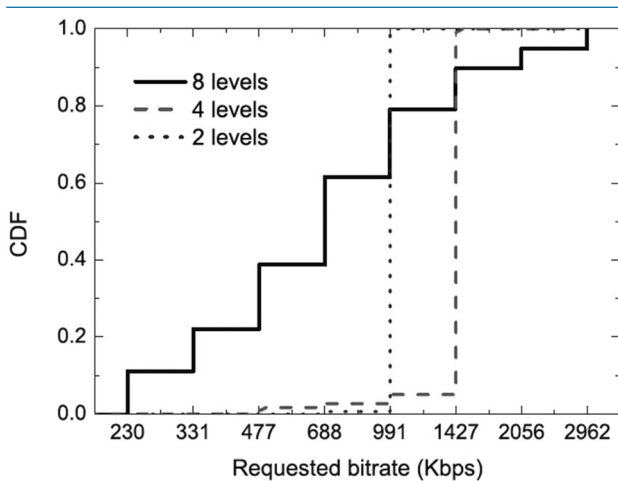


그림 8. 요청된 비디오 청크 버전에 대한 누적 그래프

〈그림 7〉은 FIFO, LRU, LFU 정책 상에서 세 가지 비디오 콘텐츠 세트(이전 8개의 비디오 품질에 대한 결과 포함)에 대한 cache hit rate 결과를 보여준다. 기본적으로 비디오 콘텐츠 버전의 개수가 감소하면 cache hit rate는 증가한다. 예를 들어, 8개 버전에서 2개 버전으로 감소하는 경우 LFU 정책의 경우 대략 75% 정도 향상된다. 하지만 이 경우, 적은 개수의 비디오 버전으로는 실제로 비디오 품질을 적응(adaptive)하기가 어렵다는 단점이 있다. 〈그림 8〉은 LFU 정책이 사용되었을 때 모든 비디오 클라이언트들이 요청한 비디오 품질의 누적 그래프를 나타낸 것으로, 비디오 품질의 적응성과 네트워크의 cache hit rate 사이의 trade-off 관계를 잘 보여준다.

이 시나리오에서 4개의 비디오 품질 세트는 2개의 비디오 품질 세트에 비해 더 높은 평균적인 비디오 품질을 제공할 수 있다. 이는 4개의 비디오 품질 세트가 지속적으로 변동하는 네트워크 대역폭에 대해 더 많은 옵션(더 좋은 적응성)을 제공할 수 있기 때문이다. 따라서 8개의 비디오 품질 세트가 더 좋은 성능을 제공할 것으로 예상되지만 실제로는 그래프에서 볼 수 있듯이 모든 비디오 품질에 대해 사용자 요청의 일정한 분포를 확인할 수 있다.

비디오 품질의 개수, 네트워크 내 캐시의 효율성, 비트 전송 알고리즘 사이의 복잡성으로 발생한 문제로 추측되며, 향후 이들 사이의 정확한 관계를 파악하기 위해 더욱 다양한 실험이 요구된다.

## IV. 관련 연구 이슈

기존 인터넷 환경에서 point-to-point 통신을 위한 TCP 기반으로 설계된 적응적 비디오 스트리밍 개념 및 기술을 multipoint-to-multipoint 통신의 콘텐츠 중심 네트워크 환경에서 구현하기 위해서는 아래와 같은 몇 가지 기술적인 이슈가 존재한다.

### 1. 네트워크 대역폭 측정(estimation)

기본적으로 적응적 비디오 스트리밍 기법은 응용(application) 계층에서 가용한 종단간 네트워크 대역폭을 지속적으로 측정하고, 이를 기반으로 다음 비디오 청크의 비트 속도를 결정한다. 따라서 정확한 네트워크 대역폭 측정 및 예측이 최대한의 대역폭을 활용하여 고품질을 제공하면서도 끊김 없는 비디오 스트리밍을 가능하게 하는 핵심 요소 기술이다. 기존 인터넷 환경에서 적응적 비디오 스트리밍 기술은 point-to-point 통신 기반의 TCP 연결을 사용한다. 따라서 가용한 네트워크 대역폭은 비디오 클라이언트와 서버 사이에 정의되고, 상대적으로 정적인 종단과 동적인 중간 네트워크의 혼재 상황에 따라 변동한다. 하지만 콘텐츠 중심 네트워크는 네트워크 내 캐싱 기능으로 인해 임의의 콘텐츠 라우터가 해당 비디오의 일부분을 저장하고 있을 수 있기 때문에 사용하고 있는 이름 기반 라우팅 기법에 따라 비디오 클라이언트는 다수의 물리적인 노드와 통신하는 형태를 갖는다. 이는 하나의 비디오 스트리밍 세션 내에서도 네트워크 대역폭의 측정과 예측에 있어 연속적인 변동의 폭을 크게 할 뿐만 아니라 이산적인(discrete) 큰 변화를 야기할 수 있다. 따라서 종단간 통신을 가정하는 기존의 네트워크 대역폭 측정 방식으로는 비디오 클라이언트의 비디오 품질 적응에 있어 이상 행동을 유발할 수 있다. 네트워크 대역폭 측정에 대한 필터링 기법을 개선할 수도 있겠지만, 장기적으로는 multipoint-to-multipoint 패러다임에 맞는 새로운 네트워크 대역폭에 대한 정의와 측정 및 예측 방법이 필요하다.

### 2. 무선 콘텐츠 중심 네트워크 환경

최근 등장하는 대부분의 단말들은 3G/4G 모바일 네트워크, WiMax, WiFi 등 다양한 무선 네트워크 인터페이스를 장착하고 있다. 무선 접속은 더 이상 가능한 옵션이 아니라 필수적인 환경이 되었고, 따라서 콘텐츠 중심 네트워크 역시 무선 환경을 고려하지 않을 수 없다. 그러나 무선 환경에서는 단말이 이동하거나 주위 환경의 변화로 인해 채널 품질이 동적으로 변하게 된다. 앞서 언급한 첫 번째 문제(네트워크 내 캐싱 기능으로 인한

다수의 종단이 존재)는 시간 축에서 본다면 상대적으로 긴 시간 축에서 유용한 네트워크 대역폭이 변동하지만, 무선 환경에서는 짧은 시간 축에서 급격하게 변동하게 된다. 이런 환경에서는 적응(adaptation)이라는 개념을 사용자 경험 품질이라는 측면에서 새롭게 정의할 필요가 있다. 즉, 무선 채널 품질 변화를 정확히 따라가면서 비디오 품질을 지속적으로 변경하는 것이 아니라 안정적으로 서비스 받을 수 있는 최대 비디오 품질을 찾아야 한다는 것이다. 최근 연구에 따르면 현존하는 적응적 비디오 스트리밍 기법은 무선 환경에서 좋은 성능을 보이지 못하는 것으로 보고되고 있고, 이를 개선하기 위한 연구들이 진행되고 있다 [8]. 또한 무선 자원은 항상 희소성이 크기 때문에 단말간 콘텐츠 공유 등의 기법을 통해 무선 자원을 효율적으로 활용할 수 있는 방법도 동시에 고려되어야 한다 [9].

### 3. 네트워크 내 캐싱 전략

콘텐츠 라우터의 임시 저장 공간(cache)은 인터넷에 존재하는 전체 콘텐츠 개수나 용량에 비해 극히 제한적이다. 따라서 이런 공간을 얼마나 효율적으로 활용하는지에 따라 전체 네트워크의 성능이 크게 달라질 수 있다. 콘텐츠는 Data 청크 단위로 쪼개져서 저장되며, 임시 저장 공간이 가득 찼을 경우에는 캐싱 대체(cache replacement) 알고리즘에 따라 저장되어 있던 Data 청크가 새로운 Data 청크로 대체된다. 기존 웹 캐싱 분야에서 FIFO, LFU, LRU 등 다양한 측면에서 지역성(locality)를 고려한 알고리즘이 제안되었고, 콘텐츠 중심 네트워크에서도 유사한 캐싱 정책을 바탕으로 비디오 친화적인 캐싱 기법을 개발할 수도 있다. 또한 이런 캐싱 정책은 비디오 콘텐츠의 준비 형태와 따로 생각할 수 없다. 예를 들어, 제공되는 비디오 콘텐츠의 품질 개수에 따라 사용자 요청이 얼마나 응집(aggregate)되거나 분산되는지가 결정된다. 즉, 아무리 인기도가 높은 비디오 콘텐츠라고 할지라도 인기도가 상대적으로 조금 낮은 비디오 콘텐츠보다 제공되는 비디오 품질이 훨씬 다양하다고 하면, 그만큼 사용자의 요구는 다른 비디오 품질에 대해 분산될 것이고, 실제로는 인기도가 낮은 비디오 콘텐츠의 특정 비디오 품질에 대한 요청이 더 많을 수 있다는 것이다. 더욱 효율적인 콘텐츠 중심 네트워크의 동작을 위해서 비디오 클라이언트와 네트워크 내 캐싱 기능과의 조율(coordination)이 필요할 수도 있다.

### 4. 비디오 인코딩 기법

기존 적응적 비디오 스트리밍 기법에서는 사용자 측면에서 동일한 비디오 콘텐츠라고 할지라도 네트워크 관점에서는 비디오 품질이 다르면 전혀 다른 콘텐츠가 된다. 따라서 동일한

비디오 콘텐츠의 서로 다른 비디오 품질 사이에서도 서로 간에 경쟁(competition)이 발생하여 네트워크 상의 캐싱 자원을 효율적으로 활용하지 못하게 되는 상황이 발생하게 된다. 이와 같은 상황을 해결하기 위해서 비디오 콘텐츠의 다양한 품질을 하나의 계층으로만 인코딩(H.264/AVC) 하지 않고 SVC(Scalable Video Coding)를 활용하여 계층적으로 인코딩 할 수 있다. SVC 기법에서는 BL(Base Layer) 외에 추가적으로 ELs(Enhancement Layers)를 수신하면 향상된 비디오 품질을 제공할 수 있다. 즉, 다양한 비디오 품질이 존재한다고 하더라도 어느 정도의 공통된 부분(최소한, BL 세그먼트)이 항상 요구되기 때문에 사용자 요청이 어느 정도 응집되는 효과를 가져와 네트워크 캐싱 기능의 효율성을 극대화할 수 있다(콘텐츠 전달 네트워크에서는 유사한 연구가 이미 진행 중이다 [10]). 또한, 전체 비디오 콘텐츠를 저장하기 위한 서버 공간 역시 절약이 가능하다. 그러나 인코딩 및 디코딩 오버헤드(최적의 경우, 10% 정도)로 인해 동일한 비디오 품질을 위해서는 하나의 계층으로 인코딩 된 경우보다는 더 높은 네트워크 대역폭이 요구되고, 하위 비디오 계층에 대한 의존성 때문에 좀더 복잡한 스케줄링이 필요할 것으로 예상된다.

## V. 결론

본 고에서는 현재 인터넷에서 사용되고 있는 적응적 비디오 스트리밍 기법이 콘텐츠 중심 네트워크에서 동작할 경우에 발생하는 문제점을 실험을 통해 살펴보고, 관련된 향후 연구 주제를 논의하였다. 최근 해당 주제와 관련된 연구 결과들이 콘텐츠 전달 네트워크라는 조금은 다른 분야에서 나오기 시작하였고, 대표적인 콘텐츠 중심 네트워크 프로젝트인 NDN(Named Data Networking) 프로젝트에서도 논의되기 시작하였다 [11]. 국내의 연구진들도 활발한 연구 및 논의를 통해 해당 연구 분야를 선도할 수 있기를 기대해본다.

### Acknowledgement

본고는 서울시산학협력사업(WR080951)의 일환으로 수행되었음.

## 참고 문헌

- [1] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F.

- Plass, N. H., Briggs, and R. L. Braynard, "Network Named Content," in Proc. ACM CoNEXT, 2009.
- [2] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2009–2014, White Paper.
- [3] Source: TDG Research, <http://www.tdgresearch.com>.
- [4] DASH Industry Forum, Overview of MPEG-DASH Standard, <http://dashif.org/mpeg-dash/>.
- [5] "Microsoft Silverlight," <http://www.microsoft.com/silverlight/>.
- [6] ITEC, DASH over CCN, [http://www-itec.uni-klu.ac.at/dash/?page\\_id=1097](http://www-itec.uni-klu.ac.at/dash/?page_id=1097).
- [7] "Dummynet," <http://info.iet.unipi.it/~luigi/dummynet/>.
- [8] S. Akhshabi, A. Begen, C. Dovrolis, "An Experimental Evaluation of Rate Adaptation Algorithms in Adaptive Streaming over HTTP," in Proc. ACM MMSys 2011.
- [9] Bing Han, Xiaofei Wang, Nakjung Choi, Ted "Taekyoung" Kwon, Yanghee Choi, "AMVS-NDN: Adaptive Mobile Video Streaming and Sharing in Wireless Named Data Networking," in Proc. IEEE INFOCOM NOMEN 2013, Turin, Italy, July 2013
- [10] Y. Sánchez, T. Schierl, C. Hellge, T. Wiegand, D. Hong, D. De Vleeschauwer, W. Van Leekwijck, Y. Lelouedec, "iDASH: Improved Dynamic Adaptive Streaming over HTTP using Scalable Video Coding," in Proc. ACM MMSys 2011.
- [11] NDNVideo, <http://ndn.ucla.edu/projects-and-code/apps/ndnvideo/>.

## 약 력



최 낙 중

2002년 서울대학교 공학사  
 2009년 서울대학교 공학박사  
 2009년~2010년 서울대학교 공과대학 박사후  
 연구원  
 2010년~현재 Bell Labs Seoul 책임연구원  
 관심분야: Future Internet, Wireless LANs,  
 Green Networking, Networked Cloud



황 재 현

2003년 가톨릭대학교 공학사  
 2005년 고려대학교 이학석사  
 2010년 고려대학교 이학박사  
 2010년~현재 Bell Labs Seoul 책임연구원  
 관심분야: TCP, 데이터센터 네트워크,  
 비디오 스트리밍, 콘텐츠 중심 네트워크