

# CCN에서 계층화된 비디오 콘텐츠 기반 패킷 스케줄링 모델

이정환<sup>o</sup>, 안성원, 유혁  
고려대학교 정보통신대학 컴퓨터학과  
{Jhlee, swahn, hxy}@os.korea.ac.kr

## Layered video content awarded packet scheduling model over content centric network

JungHwan Lee<sup>o</sup>, SeongWon Ahn, Chuck Yoo  
Korea University

### 요 약

비디오 데이터는 인코딩 단계의 특성상 패킷 드롭과 네트워크 딜레이에 무척 민감하다. 그렇기 때문에 레이트 컨트롤을 통해 대역폭이 변화하는 네트워크 환경에 대응 하고자 하는 연구가 진행 되어왔다. 하지만 콘텐츠 중심의 네트워크 환경에서는 소스 노드 뿐만 아니라 중계 노드들 또한 데이터를 전송함으로써 레이트 컨트롤을 위해 소스 노드에 접근 하는 것은 콘텐츠 중심의 네트워크의 장점을 상쇄 시킨다. 이 문제를 해결 하기 위해 계층별 비디오 콘텐츠 정보를 활용한 중계 노드 에서의 패킷 스케줄링 모델을 제안한다. 이로써 콘텐츠 중심의 네트워크에서의 사용자 네트워크 환경에 적응적으로 동작하는 효율적인 비디오 스트리밍이 가능하다.

### 1. 서 론

최근 비디오 압축 기술의 발달과 유, 무선 네트워크의 확대로 인해 효율적인 비디오 스트리밍을 위한 연구가 꾸준히 진행 되고 있다.

그 대표적인 예로 비디오 데이터의 특성을 고려한 패킷 스케줄링 기법, 네트워크 환경을 고려한 가변적 레이트 컨트롤(rate control)기법, 사용자의 피부로 체감하는 화질 향상을 위한 QoE(Quality of Experience)기법 등이 신호처리, 네트워크, 더 나아가서는 심리학에 이르기 까지 다양한 분야에서 통합적으로 진행되고 있다. 하지만 현재 네트워크 망에서 전체 트래픽 중 비디오 데이터 트래픽의 양이 약 70%를 차지하고 있고, 앞으로 그 양은 더 늘어날 것으로 예상하고 있지만, 늘어나는 비디오 데이터 특히 특정 시간과 특정 콘텐츠에 집중되는 환경에서의 비디오 전송에서는 아직도 많은 연구가 필요하다.

이러한 상황에서는 온 디맨드(On demand) 서비스와 실시간 서비스 모두 높은 네트워크 복잡도와 단일 비디오 데이터에 대한 요구도가 높아짐에 따라 두 분야에서 융합적인 연구가 진행되어야 한다.

그러기 위해서는 첫 번째로 단일 비디오 데이터에 대한 다수의 사용자의 요구의 문제를 해결 하여야 한다.

또한 비디오 데이터는 특성상 에러와 딜레이(Delay)에 민감하다. 만약 하나의 패킷 드롭(Drop)이 일어 났을 경우, 패킷이 포함하는 프레임 타입에 따라 주변 프레임에 영향을 미칠 수 있고, 타임라인 안에 들어 오지 못하는 패킷들은 Decoding에 사용 할 수가 없다. 그렇기 때문에 높은 압축률과 네트워크 친화적인 H.264/AVC기술과 이를 기반으로 세 가지 기능의 레이어드(Layered) 기법(시간적, 공간적, 화질적)을 적용한 H.264/SVC이 있다. H.264/SVC는 네트워크를 고려한 코덱 으로서 다양한 네트워크 상황에 대체 할 수 있을 뿐만 아니라 콘텐츠 특징에 따라 다른 레이어드 기법을 적용 할 수 있다[1].

사용자의 요구가 집중 될 때의 문제를 해결 하기 위한 네트워크 연구로는 기존 IP기반의 네트워크에서 발생 하는 문제점(구조적 보안문제, 주소체계의 한계점, 서비스 확장의 어려움)을 해결 하기 위한 새로운 네트워크 즉 미래 네트워크에서의 연구가 진행 중이다.

미래 네트워크 플랫폼은 소프트웨어 혹은 하드웨어 기반의 네트워크 가상화를 통해 프로그램 가능한 네트워크 망을 구축하며, 궁극적으로는 콘텐츠 기반의 능동적인 망 구성과 네트워크 별로 다양한 프로토콜이 가능하게 함을 목표로 한다. 대표적인 예로써 Parc연구소에서 진행 중인 CCN(Content Centric Network)가 있다[2]. CCN는 기존의 IP주소체계를 콘텐츠기반의 새로운 주소체계를 제시 하고 있으며, Chunk 단위의 콘텐츠 데이터의 정보를 중계 노드가 저장하고 있다. 또한 사용자 요구에 따라서 중계 노드에서 다수의 사용자에게 비디오 데이터를 멀티

※본 연구는 Seoul R&BD Program(WR080951) 지원으로 수행하였음

캐스트 해 줄 수 있다[3].

우리는 위의 두 가지 분야의 특징을 이용하여 효과적이고 확장성 있는 Layered 기반의 H.264/SVC 코덱을 통해 인코딩된 비디오 데이터와 콘텐츠 기반의 새로운 네트워크 구조인 CCN의 장점을 이용한 패킷 스케줄링 모델을 제안한다. 이 모델은 콘텐츠의 계층화 정보와 타임 라인의 데드 라인 시점을 이용하여, 다수의 사용자가 서로 다른 네트워크 환경에서 데이터를 요청하였을 경우 중계 노드에서 콘텐츠의 계층화 정보와 타임라인을 기준으로 분석하여 패킷 스케줄링을 한다. 이를 통해 비트스트림 컨트롤을 중계 노드에서 일어남으로써 네트워크 상황에 빠르게 대체 할 수 있으며, CCN의 장점인 콘텐츠 분산환경에서의 하나의 미디어 소스를 이용하여 다양한 사용자 환경에 맞추어 전송 가능하다는 장점이 있다.

## 2. 관련 연구

본 연구에서는 CCN환경에서의 레이어드 비디오 코덱을 이용한 패킷 스케줄링 모델로써 콘텐츠 중심의 네트워크 환경이라는 새로운 구조와 계층적 비디오 데이터의 이해를 위해 각각의 내용을 나누어 설명하고자 한다.

### 2.1 단계적 비디오 코덱

기존 비디오 스트리밍 연구의 문제점은 다양한 환경을 갖는 네트워크 채널에 적응적으로 동작하는 인코더가 부족하다는 것이었다. 카메라나 저장 장치로부터 영상 정보를 입력 받은 미디어 서버는 네트워크를 통해 다양한 네트워크 환경과 다양한 사용자 기기 성능을 가지고 있는 다수의 사용자에게 전송한다. 하지만 다양한 환경의 사용자 지원을 위해서는 서버에서 동일 콘텐츠에 대한 복수개의 다른 비트율을 가진 데이터를 가지고 있어야 한다. 이는 저장 공간의 낭비와 네트워크 상황에 유연한 반응을 하기 어렵다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결 하기 위해 네트워크 친화적이며, Rate-Control을 인코딩 단계에서 지원 하기 위한 연구가 진행 되었다.

그리고 그 결과 H.264/SVC(Scalable Video Coding) 인코더가 개발 되었다. SVC는 높은 압축률과 높은 네트워크 친화력을 자랑하는 H.264/AVC(Advance Video Coding)기술을 기반으로, 그 동안 부분적으로 적용해 왔던 레이어드 기법을 본격적으로 적용 하였다. 또한 시간적, 공간적, 화질적 세 가지 확장성 기능을 지원 하고 있으면서도, H.264/AVC에 비해 10% 내외의 추가적인 데이터만을 갖고 있다. SVC로 인코딩 된 데이터는 사용자 디바이스 성능과 네트워크 환경에 따른 차별적 스트리밍을 할 수 있다. 즉 One-Source Multi-User 가 가능해진 것이다.

비디오 스트리밍을 효과적으로 하기 위한 또 다른 연구분야로는 비디오 데이터의 특성을 고려한 패킷 단계의 전송 정책에 관한 연구다. 비디오 데이터는 인코딩 특성상 다른 우선순위를 갖는 특징을 갖는다. 예를 들어 I,P,B 프레임 별, GOP(Group of Picture)위치 별, SVC와 같은 레이어드 코딩 기법에서는 단계별로 우선순위가 다르게 결정된다. 또한 실시간 스트리밍 모델에서는 효과적인 비디오 스트리밍을 위해 큐잉 딜레이와 사용자 버퍼를 고려한 패킷 스케줄링 정책 또한 존재한다[4].

우리는 레이어드 기법을 적용한 SVC코덱으로 인코딩 된 비디오 데이터의 단계별 정보와 활용 가능한 네트워크 리소스 정보 그리고 콘텐츠의 타임 라인을 고려한 패킷 스케줄링 정책을 제안 한다. 이를 통해 다양한 환경의 사용자들에게 차별적인 패킷 전송 정책을 적용 함으로써, 특정한 파일 혹은 특정한 시간에 비디오 데이터에 대한 요구가 몰릴 때에도 안정적인 비디오 전송이 가능하다.

### 2.2 콘텐츠 중심 네트워크

현재의 인터넷은 60~70년대 설계된 구조와 프로토콜이 지금까지 유지되어 비효율적이고 확장성이 어려운 경직된 구조로 되어있다.

이러한 이유로 전세계적으로 미래의 인터넷 환경에 대한 연구(FCN, DDS, CCN)가 진행되고 있다[5]. 미래 인터넷의 핵심적인 사항은 다양한 형태의 네트워킹 기술이 공존 할 수 있어야 하며, 새로운 기술이 쉽게 수용될 수 있는 확장성을 가져야 한다는 것이다. 하지만 현재 인터넷 환경을 기반부터 재 구축하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 미래 인터넷은 현재의 환경을 수용하면서 새로운 네트워킹 패러다임으로 확장해 가야 한다는 것이 보편적인 의견이다[5].

새로운 네트워킹 패러다임 중에서도 콘텐츠 중심의 네트워크에 관한 연구가 활발 한다. 그 이유는 현재 발생하는 트래픽 중 90%이상이 비디오 데이터와 P2P에서 발생 하기 콘텐츠 중심이기 때문이고, 앞으로 사용자들이 고화질 영상에 대한 요구가 높아짐으로써 이 비율은 더 높아질 것으로 예상하고 있기 때문이다.

따라서 본 연구는 콘텐츠 중심의 네트워크 환경에서의 패킷 스케줄링 정책을 제안하고 있다. 콘텐츠 중심 라우팅 기법의 내용은 첫 번째, IP주소체제 대신 콘텐츠 이름을 기반으로 한 주소체제를 사용 한다는 점이다. 두 번째, 패킷이 두 가지 타입(Interest, Data)으로 정의되어 있다는 것이다. 사용자는 필요한 콘텐츠를 Interest 패킷을 이용하여 인접 노드에게 브로드캐스팅(Broadcasting) 하고, Interest 패킷을 청취한 노드들은 자신의 캐시정보를 검색하여 Data 패킷으로 RPF(Reverse Path Forwarding)방식을 이용하여 콘텐츠를 전송 한다[4]. 세 번째, 포워딩

모델이 달라졌다는 것이다. RPF를 이용해 사용자가 전달한 데이터 요청이 콘텐츠를 가진 노드에 도착하면 역방향 경로를 통해 콘텐츠가 전달된다. 이때 중계 노드들이 버퍼 메모리에 콘텐츠 정보를 저장한 후 다음 노드로 전달 하게 된다. 이러한 과정을 거쳐 같은 콘텐츠에 대한 요구가 있을 경우 중계 노드에서 콘텐츠를 전송하게 된다.

그림 1은 CCN에서의 패킷 포워드 엔진 모델이다. 크게 세 부분으로 구성 되어 있는데, FIB(Forwarding Information Base), Content Store(버퍼 메모리), PIT(Pending Interest Table)로 되어 있다.

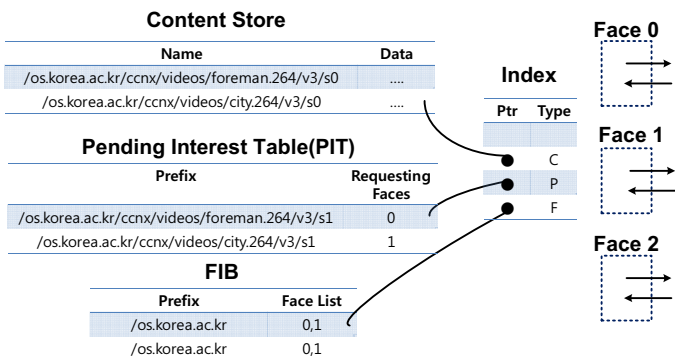


그림 1 CCN 포워드 엔진 모델[6]

FIB는 Interest 패킷을 포워딩 하기 위해 사용한다. Content Store는 중계 노드의 버퍼 메모리로서 콘텐츠에 대한 정보를 기억하고 있다. 마지막으로 PIT는 포워딩 된 Interest 패킷에 대한 콘텐츠 정보를 기억하고 있다. 결론적으로 CCN은 Interest 패킷을 이용하여 라우팅을 하고, 이렇게 만들어진 경로를 이용하여, Data 패킷을 전달 한다.

이러한 구조를 이용하여 콘텐츠를 갖고 있는 중계 노드에서 콘텐츠 정보를 이용한 Data 패킷 스케줄링을 함으로써 네트워크 변화에 빠르게 반영 할 수 있으며, 레이트 컨트롤을 위해 소스 노드까지 가야 하는 오버헤드를 줄 일 수 있다.

### 3. 계층적 비디오 콘텐츠 기반 패킷 스케줄링 모델

본 논문에서 사용한 계층적 비디오 코덱은 H.264/SVC이다. 2장에서 설명한 H.264/SVC의 세 가지 확장성 모델 중에서도 본 논문에서는 화면 크기 즉 해상도를 기반으로 한 확장성 기법을 이용했다. 해상도를 이용한 단계적 모델을 사용한 이유는, 사용자가 시간적 확장성 기능 보다 사용자의 체감 화질이 높으면서, 화질적 확장성 보다 계산 복잡도가 낮다는 장점이 있기 때문이다. 또한 본 논문에서는 해상도뿐만 아니라 콘텐츠의 데드라인 정보를 기반으로 한 패킷 스케줄링 정책을 제안 하고 있다. 패킷 데드라인 정보는 CCN 환경에서 콘텐츠 정보를 갖고

있는 중계 노드들이 여러 개의 콘텐츠를 여러 사용자가 동시에 원할 때 많은 부하를 받게 된다. 즉, 하나의 노드에서 여러 세션으로 포워딩을 해야 하는 것이다. 이때 사용자 기기의 버퍼 메모리와 콘텐츠의 데드라인 정보를 분석하여 패킷 스케줄링에 반영하여, 노드의 부하를 분산 시킬 수 있다. 예를 들면, 데드라인이 얼마 남지 않은 경우라면 빠르게 포워딩 해줌으로써 네트워크 자원을 다른 노드가 활용 할 수 있을 것이고, 데드라인이 많이 남은 경우라면, 정상적인 포워딩으로 다른 콘텐츠와 형평성을 맞출 것이다.

비디오 스트리밍 모델에서 또 다른 고려 사항은 바로 끊김 없는(Seamless) 스트리밍이 되어야 한다는 것이다. 그렇기 때문에 네트워크 상황(Delay, Bandwidth)이 또 다른 고려사항이 된다. 결과적으로 패킷 스케줄링 정책을 위해서는 콘텐츠의 계층적 정보, 데드라인과 타임 라인 정보, 네트워크 상황에 관한 정보를 분석하여 패킷 스케줄링 정책에 반영한다.

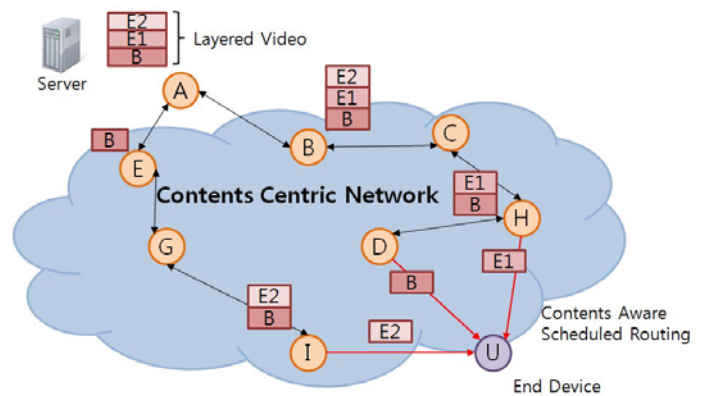


그림 2 CCN에서의 계층적 비디오 데이터 전송 모델

그림 2는 계층적 비디오 데이터 전송에 대한 전체 모습을 보여 주고 있다. CCN에 포함된 중계 노드들이 계층화된 비디오 데이터를 저장하고 있고, 사용자의 요구에 따라서 multi source-one user의 상황이 됨을 보여 주고 있다. 그림 2 에서의 B 패킷은 Base Layer의 정보를 담은 패킷이고 E1, E2 는 Enhancement Layer의 정보를 담고 있는 패킷이다.

여기서 중계 노드들이 서로 다른 계층의 비디오 데이터를 갖는 이유는 CCN의 정책상 LRU(Least Recently Used) 혹은 LFU(Least Frequently Used) 방식으로 콘텐츠 정보를 업데이트 하기 때문이다.

전체 구조에서 보자면, 우선 처음 사용자가 Interest 패킷으로 원하는 콘텐츠를 브로드캐스팅 하여, 중계 노드들의 통신을 통하여 소스 노드에서 콘텐츠를 찾는다. 그 다음 단계로 소스 노드에서 사용자에게 역방향의 경로로 Data 패킷을 이용하여 콘텐츠를 전송한다. 이 때 콘텐츠 전송에 참여 했던 중계 노드들이 전송된 콘텐츠의 정보를 캐시 메모리에 보관 하고 있으며, 이 콘텐츠가 어디에서 왔는지에 대한

정보를 테이블로 유지하고 있다. 그 후, 다른 사용자가 같은 콘텐츠를 찾을 때 중계 노드가 테이블을 확인한 후, 콘텐츠가 있는지 검색하고, 있을 경우 자신이 Data 패킷을 만들어 전송 하게 된다. 결론적으로 콘텐츠 중심 네트워크에서는 원하는 콘텐츠를 찾아 소스 노드까지 가야 할 필요가 없다는 것이다. 또한 사용자의 특성상 동일한 콘텐츠를 동일한 시간대에 요구가 많을 경우 트래픽이 분산되므로 인해 원활한 비디오 스트리밍 서비스를 할 수 있다.

하지만, CCN에서도 사용자 환경에 대응하기 위해서는 소스 노드까지 가야 하거나, 중계 노드가 동일 콘텐츠에 대한 다수의 비트에 대한 정보를 보관하고 있어야 한다. 이러한 이유로 인해 콘텐츠 기반의 패킷 스케줄링이 필요 하다. 콘텐츠 중심의 네트워크에서 콘텐츠 기반 패킷 스케줄링은 IP기반의 네트워크 환경보다 더 큰 장점을 갖는다.

첫 번째로 중계 노드의 로컬 메모리에서 보내지는 Data 패킷을 거치는 노드들이 최종 사용자 네트워크 환경에 따라 패킷 스케줄링 정책을 반영할 수 있다. 두 번째로 패킷 드롭이 일어 났을 경우, 콘텐츠를 가지고 있는 가장 가까운 노드에게 데이터를 받을 수 있다. 이것은 딜레이에 민감한 비디오 데이터에게 끊임 없는 비디오 스트리밍을 하기 위한 큰 장점이 된다. 더욱이 하나의 패킷이 여러 프레임에 영향을 미치는 비디오 데이터의 특징으로서 화질 열화를 줄이는 역할을 한다.

#### 4. 결론

본 연구는 미래 인터넷의 큰 흐름인 콘텐츠 기반 네트워크 환경에서의 패킷 스케줄링 정책에 대한 연구이다. 콘텐츠 기반 네트워크는 사용자가 콘텐츠가 어디에 있는지는 상관 없으며, 어떤 콘텐츠를 원하는지 요청하면 네트워크 망 안에서 콘텐츠를 찾는다. 하지만 사용자 네트워크 환경에 적응적으로 대체 하기 위한 레이트 컨트롤을 위해서는 결국, 소스 노드까지 도달해야 한다는 단점이 있다. 우리는 이러한 문제를 해결 하기 위해서 계층화된 비디오 데이터를 이용하여 중계 단계의 노드에서 추출된 콘텐츠 정보를 패킷 단계에서의 스케줄링 만으로도 컨트롤이 가능한 스케줄링 모델을 제안 하였다. 또한 콘텐츠의 데드라인 정보를 이용하여 중계 노드에 집중될 수 있는 문제를 주변 노드에게 분산 시키는 이점도 포함하고 있다. 하지만 콘텐츠 중심 네트워크 프로토콜에서 계층화된 비디오 정보 스케줄링을 위해 필요한 패킷단위의 오버헤드와 실제 망 구성을 통한 실험은 CCNx 프로젝트[4]를 통해 앞으로 더 연구해야 할 부분이다.

#### 5. 참고문헌

- [1] Thomas Schierl, Thomas Stockhammer, Thomas Wiegand "Mobile Video Transmission Using Scalable Video Coding" IEEE TRANSACTIONS, Vol. 17, No. 9, September 2007
- [2] Van Jacobson, Diana K. Smetters, Nicholas H. Briggs, Michael F. Plass, Paul Stewart, James D. Thornton and Rebecca L. Braynard, "VoCCN: voice-over content-centric networks", Proceedings of the 2009 Workshop on Re-architecting the Internet (ReArch 2009), pp.1-6, Dec. 2009
- [3] L.-J. Chen, C.-H. Yu, C.-L. Tseng, H. hua Chu, and C.-F. Chou. "A content-centric framework for effective data dissemination in opportunistic networks", IEEE Journal of Selected Areas in Communications, pp.761-772, June 2008
- [4] Y. Zhang, S. Qin and Z. He, "Fine-Granularity Transmission Distortion Modeling for Video Packet Scheduling over Mesh Networks", Multimedia IEEE Transactions on (2009), Vol 12, pp.1-12, Issue 1
- [5] Yosra Barouni, Marco Bicudo and Promethee Spathis, "Content centric routing for future generation networks", Proceedings of the 28th IEEE international conference on Computer Communications Workshops, pp.331-332, April 2009
- [6] CCNx protocol URL: <http://www.ccnx.org/releases/latest/doc/technical/CCNxProtocol.html>

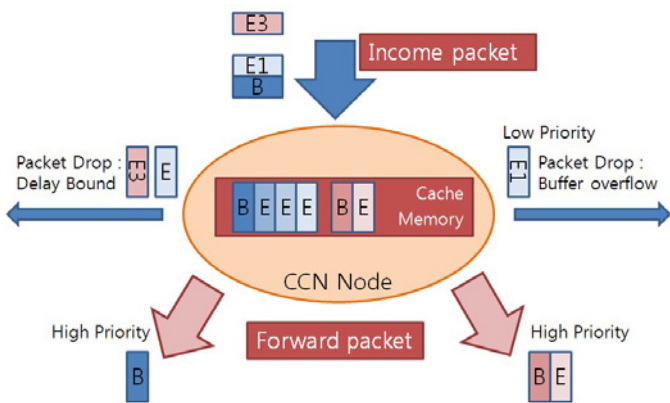


그림 3 실시간 모델에서의 패킷 스케줄링 정책

그림 3은 콘텐츠 중심 네트워크에서의 실시간 비디오 전송시 패킷이 어떻게 전달 되며, 계층화된 다양한 콘텐츠의 비디오 패킷이 중계 노드를 거치면서 사용자 환경에 적응적으로 대체 하는 흐름을 보여준다. 실시간의 특성상 딜레이를 넘어 가는 패킷에 대해서는 패킷 드롭이 일어 나며, 계층화된 비디오 데이터에 대한 우선순위를 반영해 패킷을 포워딩 하고 있다.