

모바일 IPTV를 위한 네트워크 코딩 기술 연구

건국대학교 | 정윤호 · 조미영 · 김기천*

1. 서론

최근 몇 년 동안 온라인을 통한 음악 및 라디오 방송, Video on Demand, IPTV 서비스와 같은 인터넷을 통한 멀티미디어 데이터 스트림의 전송이 크게 증가하고 있다. 게다가 최근에는 KT와 같은 ISP(Internet Service Provider) 사업자들이 그들의 가입자를 위해 IPTV 서비스와 같은 Video on Demand를 본격적으로 제공하기 시작하면서 인터넷을 통한 멀티미디어 데이터 스트림의 전송은 기하급수적으로 늘어날 전망이다. 특히 광역권의 거주자들이 동시 다발적으로 사용할 수 있는 IPTV 서비스는 IP 통신의 차세대 통신 트래픽의 한 분류가 될 수 있다. 또한 수백만명의 사용자가 수백 kbps 이상의 스트림 데이터를 동시에 사용한다면 기존의 인터넷 백본망을 통한 미디어 데이터 전송은 많은 문제를 유발할 수 있다. 이는 일반적인 데이터 전송과는 다른 높은 전송률과 그에 따른 전송 지연 및 패킷 유실과 같은 미디어 스트림 데이터만의 고유한 특성 때문이다. 이러한 미디어 스트림 데이터를 제한되고 가변적인 대역폭을 가지는 인터넷 망을 통해 전송한다면 사용자에게 고화질의 멀티미디어 데이터를 제공하기에는 어려움이 존재한다.

이를 해결하기 위해 최근에는 멀티미디어 스트림 응용 서비스를 위한 효율적인 자원 할당, 전송량 향상, 전송 에러의 최소화를 목적으로 네트워크 코딩 기법을 적용하는 연구가 있어 왔다[5,6]. 네트워크 코딩은 기본적으로 통신 네트워크의 전송 속도 향상을 목적으로 통신 자원을 효율적으로 사용하는 것이며[2], 특히 IPTV 서비스 시 사용되는 멀티캐스트 네트워크에서 최대 전송 효율을 얻는 새로운 형태의 정보전달 기법이다. 네트워크 코딩은 최초로 멀티캐스트 유선 상황

에 적용하기 위해 고안하였으며[1], 최근 연구 결과 무선 상황에서도 구현 가능하다는 것이 확인되고 실제적으로 증명되었다[4]. 네트워크 코딩은 소스노드에서 목적노드까지 다중 홉으로 전송되는 네트워크에 적용되는 기법이며 통신 네트워크에서 중계 역할을 담당하는 노드에서 네트워크 코딩이 적용된다. 이러한 다중 홉 통신은 무선 통신 네트워크에서 활용도가 높지만 여러 가지 제약 사항도 고려해야 한다.

IPTV 서비스를 제공하기 위해서 네트워크 코딩을 적용할 때 현재의 OSI 프로토콜 스택의 어느 계층에서 네트워크 코딩을 처리해야 할지를 결정해야 한다. 또한 멀티미디어 서비스 시 각 노드에서 패킷 손실 및 지연으로 인한 데이터 비동기화와 네트워크 연결 상태의 가변성도 고려해야 한다.

본고에서는 제한적인 인터넷 환경에서 효율적인 모바일 IPTV 서비스를 위해 네트워크 코딩(Network Coding)을 적용한 멀티미디어 데이터 전송방식을 소개한다. 본고의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 네트워크 환경에 따른 네트워크 코딩 관련 기술들을 정리하였고, 3장에서는 모바일 IPTV 서비스 환경에서 사용되는 라우팅 프로토콜에 대해서 다루었다. 4장에서는 IPTV 서비스를 위해 네트워크 코딩을 사용할 경우 고려해야 하는 여러 가지 사항에 대해 언급하였다. 5장에서는 멀티미디어 전송을 위한 네트워크 코딩 기술에 대해 설명하였으며 6장에서 결론으로 마무리한다.

2. 네트워크 코딩 관련 기술

2.1 The Butterfly Network

네트워크 코딩의 아이디어는 비교적 간단하다. 네트워크 상에서 임의의 노드가 데이터를 전송할 경우, 노드는 이전에 받은 임의의 데이터와 전송할 데이터를 유기적으로 결합하여 네트워크 코딩된 데이터를 전달하게 된다. 이는 기존의 Store and Forward 방식의 데이터 전송보다 같은 전송기회에 여러 데이터를 인코딩하여 전송하게 된다. 이를 통해 전체적으로 네

* 중신회원

† 본 연구는 지식경제 프론티어 기술개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천기반 기술개발사업의 09C1-C1-30S 과제로 지원된 것임

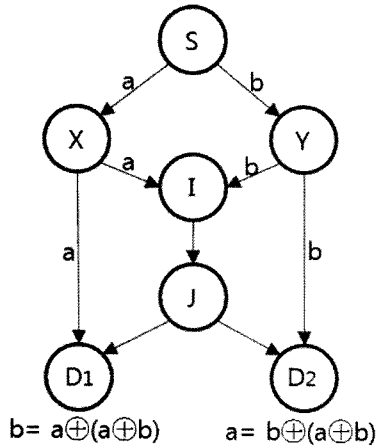


그림 1 Butterfly Network

트위크 노드들의 전송 효율을 향상시키고 네트워크 병목 현상을 완화하여 준다. 또한 네트워크 코딩 기술은 네트워크 성능(throughput)을 높여주어 이론상으로 머물러 있던 네트워크 성능이 실제 네트워크에서도 얻어질 수 있다는 것을 증명할 수 있기 때문에 현재 많은 각광을 받고 있는 기술 중 하나이다. [1]에서는 유선의 multicast 환경에서 이를 증명하였고, 추후 많은 논문들에서 무선의 환경에서도 가능함을 보였다.

그림 1에서와 같은 Butterfly Network의 경우 노드 D1과 D2는 정해진 시간동안 노드 S로부터 동일한 양의 데이터를 받고자 한다. 각 노드들은 연결된 링크를 통해 오류 없이 데이터를 송·수신 한다고 가정한다. 노드 S가 데이터 a, b를 D1, D2 노드로 전송하고자 할 때 네트워크 코딩을 적용하지 않았을 경우, I와 J 노드에서 하나의 단위시간동안 두 개의 데이터를 전송할 수 없기 때문에 최대 전송효율을 얻지 못한다. 그러나 네트워크 코딩을 적용하였을 경우 노드 I에서 데이터 두 개를 XOR연산을 수행한 후에 노드 J로 전송하게 된다. 노드 D1은 노드 A로부터 a를 전송 받고 노드 D로부터 $a \oplus b$ 데이터를 전송 받는다. 두 링크로부터 수신된 데이터로 XOR연산을 통해 전송 받지 못한 데이터 b를 얻을 수 있다. 이 때 단위 시간 동안 두 개의 데이터를 전송하였으므로 주어진 네트워크상에서의 전송 효율은 최대 전송 효율을 만족하게 된다.

2.2 무선 환경에서의 네트워크 코딩

네트워크 코딩은 통신 네트워크에서 중간 노드에 해당하는 통신 장비에서 이루어지는 것으로 서버에서 단말까지 다중 홉으로 전송되는 네트워크에서 적용되며 무선 통신 네트워크에서도 활용도가 높다. 또한 무선 환경에서의 네트워크 코딩 기술은 유선 환경에서

의 네트워크 코딩 기술과 유사하다. 하지만 무선 네트워크 환경에서만 발생할 수 있는 채널충돌로 인한 패킷 유실, 노드의 상황에 따른 전송률 및 대역폭 변경 등의 문제를 극복하기 위해서는 유선 환경에서의 네트워크 코딩 기술과는 다른 접근 방식이 필요하다.

우선, 무선 네트워크의 경우 서버와 클라이언트 사이에 다중 전송 경로가 존재하며 노드 간 통신은 일반적으로 브로드캐스팅(Broadcasting) 통신을 사용한다.

그림 2에서는 간단한 무선 네트워크 환경에서 XOR 네트워크 코딩을 적용하여 전송효율을 향상시키는 방법을 도식화 하였다. XOR를 통한 네트워크 코딩 방식은 Alice-Bob topology, X topology 등 다양한 토폴로지에서 각 소스 노드가 목적지 노드로 패킷을 전송할 경우 중간 노드가 네트워크 코딩 후 1번의 브로드캐스팅을 통해 각 목적지로 패킷을 전송해 패킷 전송 횟수를 줄여주는 기술이다.

Bob과 Alice는 서로간의 데이터 교환을 위한 중간 노드 R을 경유하여 데이터를 전송할 수 있다고 가정한다. 네트워크 코딩을 적용하지 않는 Store and forward 방식에서 Bob과 Alice가 서로의 데이터를 교환하기 위해서는 총 4번의 데이터 전송이 이루어 져야 한다. 하지만 중간 노드에서 XOR 네트워크 코딩을 적용하였을 경우 중간노드 R은 Bob과 Alice에서 받은 패킷을 XOR하여 브로드캐스팅 전송을 한다. 네트워크 코딩된 패킷을 받은 Bob과 Alice 노드는 자신이 가지고 있는 데이터에 네트워크 코딩된 데이터를 다시 XOR하여 상대방이 전송한 패킷을 받을 수 있다. 이는 총 3번의 데이터 전송으로 상대방의 패킷을 받아 볼 수 있으며, Store and Forward 방식에 비해 25%의 전송효율을 보이고 있다.

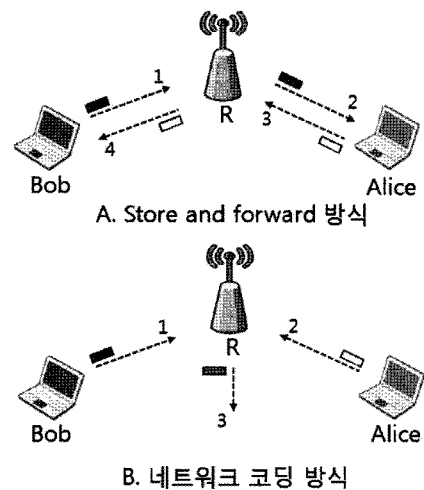


그림 2 무선 Point-to-Point 통신

2.3 Linear Network Coding

지금까지 많은 방식의 네트워크 코딩기술이 제안되었다. 그중 Linear Network Coding 기술[8]은 다른 코딩 기법에 비해 비교적 낮은 복잡성과 멀티캐스트 데이터 전송 시 네트워크 수용성의 문제를 어느 정도 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이는 멀티캐스트 데이터 전송 환경에서 패킷이 중간 노드들을 거칠 때마다 변형(linear transformation)되어 목적지가 받고자 하는 패킷 개수만큼 선형 방정식(linear equation)을 받게 되면 해석이 가능하다는 특징이 있다. 변형이란 패킷이 노드를 거칠 때마다 패킷 앞에 coefficient라는 vector가 붙어 패킷을 변형시키는 것으로 만약 coefficient가 1이면 linear coding을 의미하고, 1보다 작은 값 중에 임의의 값을 선택해 패킷이 변형되면 random linear coding이라고 한다[9]. 이를 통해 각 목적지가 같은 패킷을 불필요하게 받는 것을 막아주고, 목적지의 채널 상황이 다양해서 패킷 성공 수신률이 서로 다를 때 전송 실패 후 재전송 패킷 횟수를 줄여주기 때문에 이득이 있다. 네트워크 코딩에 따른 성능에 있어서도 처리해야 할 패킷 개수의 증가에 따라 선형적으로 처리 시간이 증가하게 된다.

아래 그림 3은 Butterfly Network 상에서 Random Linear Network Coding을 통한 데이터 전송과정을 모델링하였다. Random Linear Network Coding은 T. Ho et al.에 의해 처음 제안되었으며 네트워크 토폴로지에 관계없이 적용될 수 있는 장점을 가지고 있다[18].

그림 3에서 D1과 D2는 정해진 시간동안 노드 S로부터 동일한 양의 데이터를 받고자 한다. 소스 노드 S는 random coefficients $\{\alpha_1, \beta_1\}$ 를 생성한 후, 보내고자 하는 데이터 a, b와 생성된 coefficients를 $\alpha_1a + \beta_1b$ 인코딩한다. 인코딩된 데이터를 이웃 노드 X에게 전

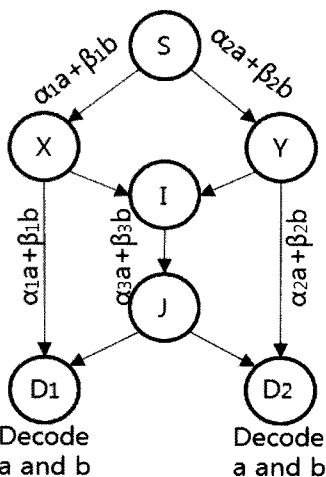


그림 3 Random Linear Network Coding

송하다. 동일한 방식으로 소스 노드 S는 random coefficients $\{\alpha_2, \beta_2\}$ 를 생성한 후, 보내고자 하는 데이터 a, b와 생성된 coefficients를 $\alpha_2a + \beta_2b$ 인코딩한다. 이를 이웃 노드 Y에게 전송한다. 이를 X와 Y 노드는 전송받은 데이터를 변경 없이 연결된 링크의 이웃노드에게 전송한다. 노드 I에서는 노드 X와 노드 Y에서 받은 데이터를 random coefficients를 사용하여 $\alpha_3a + \beta_3b$ 패킷을 생성한다. 노드 I는 생성한 패킷을 노드 J에게 전송한 후, 노드 J는 받은 패킷을 변경 없이 연결된 이웃 노드 D1과 D2에게 전송한다. 노드 D1은 노드 X에게서 받은 패킷 $\alpha_1a + \beta_1b$ 과 노드 J에게서 받은 패킷 $\alpha_3a + \beta_3b$ 을 이용하여 디코딩을 한 후, 소스 노드 S가 보낸 a, b 데이터를 얻는다. 동일한 방법으로 노드 D2는 노드 Y가 보낸 패킷과 노드 J가 보낸 패킷을 디코딩하여, 소스 노드 S가 보낸 a, b 데이터를 얻는다.

3. 모바일 IPTV 관련기술

IPTV 서비스란 QoS, QoE, 보안, 양방향성 및 신뢰성을 제공하는 IP 기반의 네트워크에서 전송되는 비디오, 오디오, 텍스트, 그래픽, 데이터와 같은 멀티미디어 서비스를 말한다. IPTV 서비스는 IPTV 방송 센터에서 특정 멀티캐스트 주소를 목적지로 하여 방송을 송출하며 사용자가 재요청 할 경우 해당 멀티캐스트 주소로 Join하여 방송을 수신하는 형태로 이루어진다.

3.1 멀티캐스트 라우팅 프로토콜

특정 멀티캐스트 주소에 대하여 IGMP/MLD 프로토콜을 사용하여 멤버를 확인한 라우터들은 데이터 전송 및 전달을 위해 트리를 구성한다.

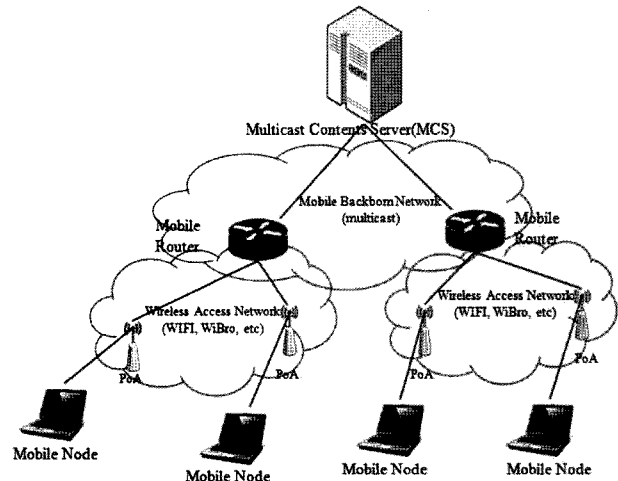


그림 4 라우터 간 멀티캐스트 트리

그림 4는 멀티캐스트 라우터(MR)간 멀티캐스트 트리 구성 예제이다[17]. IGMP(Internet Group Management Protocol)와 MLD(Multicast Listener Discovery) 프로토콜은 각각 IPv4 및 IPv6 서브넷 망에서, 호스트와 라우터 간에 수행되는 시그널링 기술로서, 라우터로 하여금 서브넷 호스트의 그룹 멤버십 정보를 파악할 수 있도록 한다. 또한 IGMP는 그룹 탈퇴의 경우에도 사용된다. IGMP를 통해 호스트의 그룹 멤버십 정보를 파악 한 라우터는, 상위의 라우터에게 멀티캐스트 데이터 전송을 요청하고, 이에 따라 멀티캐스트 트리가 구성되는데, 이를 멀티캐스트 라우팅 프로토콜이라 한다.

멀티캐스트 라우팅 프로토콜은 라우터 간 트리구성을 위해 사용되는 시그널링 프로토콜로서 트리 구성 방식 및 세부 알고리즘에 따라 다양한 프로토콜이 제안되어 왔다. 이 중에서 특히 다음 프로토콜이 주로 사용되고 있다.

- PIM-SM (Protocol Independent Multicast-Sparse Mode) : 기존 IP 멀티캐스트 모델인 수신자 초기 구성원 모델을 사용하고 최단 공유 경로 트리를 지원한다. 특정 unicast 라우팅 프로토콜에 의존하지 않고 변화하는 네트워크에 적응하기 위해 soft-state 매커니즘을 사용한다.
- PIM-SSM (PIM-Source Specific Multicast) : 모든 멀티캐스트 비디오 소스를 미리 파악함으로써 간단하고 효율적으로 사용되며 새로운 채널이 요청될 때 용이하게 확장할 수 있다.

3.2 무선망 멀티캐스트 기술

무선/이동통신망에서 멀티캐스트 데이터 전송을 위해서 무선 링크계층에서의 멀티캐스트 전송 기술이 요구된다. 현재 3GPP 이동통신망에서는 멀티캐스트 기술 표준을 MBMS(Multimedia Broadcast Multicast Services)라 한다. 본래 MBMS는 3GPP의 무선망 접속 기술인 W-CDMA, HSPA에서 논의된 기술이다.

MBMS는 데이터 패킷을 다수의 사용자들에게 동시에 전송하는 서비스를 말하며 멀티미디어 데이터 전송을 목적으로 하고 있다. 이러한 MBMS에서 멀티캐스트 서비스를 제공하기 위해서는 그림 5와 같은 구조로 시스템이 구성된다.

MBMS에서 기존의 VoD(Video on Demand) 서비스는 Serving 게이트웨이와 PDN(Public Data Network) 게이트웨이를 거쳐서 Streaming 서비스를 제공하는 데 반해 멀티캐스트 서비스는 MBMS 게이트웨이와 BM-SC

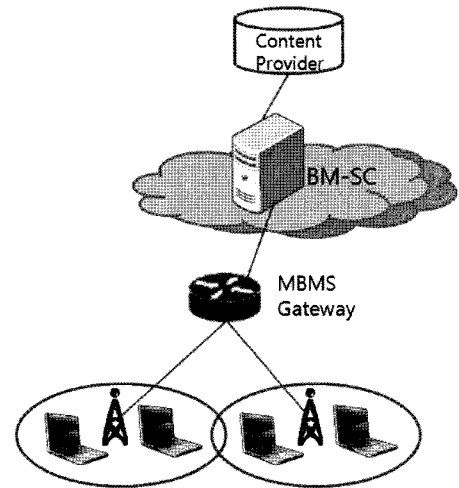


그림 5 3GPP/MBMS 멀티캐스트 서비스 구조

(Broadcast / Multicast Service Center)를 거쳐서 제공된다. 이때 BM-SC는 MBMS 서비스 관리 및 데이터 전송 제어를 위해 사용된다.

MBMS 시스템의 주요 특징은 아래와 같다.

- 기존 무선망구간은 1-1 유니캐스트 전송만 허용하는 반면에, MBMS는 무선구간에서 1-N 멀티캐스트 전송을 위해 Uu 인터페이스를 새로이 정의함.
- MBMS 서비스 관리 및 데이터 전송 제어를 위해 BM-SC (Broadcast Multicast - Services Center) 노드를 도입하고, SGmb(제어 평면) 및 SGi(데이터 평면) 인터페이스를 정의함.
- SGmb 인터페이스는 멀티캐스트 사용자 가입/관리, 세션 가입/등록/관리 등의 “서비스 제어” 기능을 제공한다. 반면에, SGi 인터페이스는 PDN Gateway(라우터)간 멀티캐스트 데이터 전송을 위한 것으로, 멀티캐스트 라우팅 프로토콜 등이 SGi 인터페이스로 사용됨.

4. IPTV 서비스를 위한 네트워크 코딩 시 고려사항

4.1 OSI 계층에서의 네트워크 코딩

실 환경에서 모바일 IPTV 서비스 시, 네트워크 코딩 기술을 적용하기 위해서는 기존에 제안하는 방식과는 다른 고려사항이 존재한다. 그 중 첫 번째는 현재의 OSI 프로토콜 스택의 어느 계층에서 패킷에 대한 네트워크 코딩을 처리해야 할지를 결정해야 한다. 네트워크 코딩을 적용할 OSI 프로토콜의 계층은 네트워크의 환경 및 적용할 응용 프로그램에 따라 달라질 수 있다. 지금까지 실 환경에서의 서비스를 위해 제안되거나 구현된 네트워크 코딩 기술의 대부분은

MAC과 IP 계층 사이에 네트워크 코딩을 위한 임의의 계층을 사용한다. 이는 각 노드들이 인코딩 및 디코딩을 위해 데이터를 Transport 계층이나 Application 계층까지 전송할 필요가 없기 때문에 패킷에 대한 전송지연을 최소화 할 수 있다. 하지만 이와 같은 방식은 IPTV 서비스와 같은 IP-based 환경에서는 적당하지 않다. 이는 MAC과 IP 계층 사이에 패킷에 대한 네트워크 코딩을 적용하였을 경우, 패킷 전송 시작 노드들은 전송된 데이터의 IP를 확인하기 위해 패킷에 대한 디코딩 및 인코딩을 주기적으로 처리함으로써 전체 노드의 패킷처리 지연을 가져올 수 있기 때문이다. 이를 방지하기 위해 IPTV 서비스 환경에서 패킷에 대한 네트워크 코딩은 IP 계층 상위에서 이루어져야 한다.

IP 계층 상위에서의 각 노드가 패킷을 네트워크 코딩하여 이웃노드에게 전송하는 방식은 [13]의 P2P 프로토콜을 이용한 멀티미디어 데이터 전송에서 소개되었다. [13]의 경우 일반적으로 전송지연이 큰 P2P 실시간 스트리밍 프로토콜에서 네트워크 코딩으로 인한 추가적인 전송 지연은 전체 네트워크 성능에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타난다. 이보다는 서버와 각 단말노드까지 서로 다른 네트워크로 데이터가 전송되거나 다른 단말노드 사이에 데이터 전송이 가능한 Overlay 네트워크에서 IP 계층 상위에서의 네트워크 코딩이 IP 계층 하위에서의 네트워크 코딩보다 더 낫은 성능을 보이고 있다. 이는 네트워크 코딩을 통해 단말노드는 특정 패킷을 받을 때 까지 기다리기 보다는 주어진 멀티미디어 세션 동안 이웃노드에게 필요한 정보를 받을 수 있기 때문이다. 이 이외에도 최근에는 Cross-Layer 접근방식을 이용한 네트워크 코딩 연구도 진행되고 있으며, 이를 통한 효율적인 멀티미디어 전송 기술 연구도 진행 중에 있다[10,11].

4.2 데이터 비동기화와 네트워크의 가변성

모바일 IPTV 서비스를 위한 네트워크 코딩 기술을 적용할 경우 처리해야 할 두 번째 이슈는 멀티미디어 서비스 시 각 노드에서 패킷 손실 및 지연으로 인한 데이터 비동기화와 네트워크 연결 상태의 가변성이다. IPTV 서비스와 같은 실시간 비디오 스트림 전송 서비스는 패킷 지연과 그에 따른 데이터 동기화에 민감하다. 특히, 수시로 변하는 네트워크 연결 상태에 맞는 네트워크 코딩 기술을 적용하는 것은 쉽지 않다.

이러한 어려움을 극복하기 위해 랜덤 코딩(Random Coding), 패킷 태깅(Packet Tagging), 버퍼링(Buffering) 등을 이용한 실 환경에서의 NC 적용 연구가 있어왔

다[5,14].

일반적인 네트워크 코딩의 경우 각 목적 노드에서 복호 행렬(Decoding Matrix)의 역행렬이 존재하도록 노드에서는 local coding vector를 결정해야 한다. local coding vector는 노드에 연결된 링크로 나가는 데이터에서 입력 데이터 심볼에 곱해지는 선형계수 벡터(linear coefficient vector)이다. 이때 벡터의 차원은 노드의 입력 링크의 수가 된다.

local coding vector를 잘 결정하기 위해서는 전체 네트워크의 연결 상태를 알아야 가능하다. 하지만 이와 같은 방법은 네트워크의 연결 상태가 수시로 변화하는 실 환경에서는 적합하지 않다. 그러나 랜덤 코딩을 이용한 경우, 주어진 네트워크 노드에서 랜덤하게 local coding vector 성분을 결정한다[14]. 이때 코딩 벡터의 성분들은 독립적이고 동일한 확률을 가진다. 예를 들면, 데이터 심볼이 유한체 28에 속한 원소이고, 코딩 계수가 유한체 216에 속한 원소이면, 복호 행렬은 99.6%정도 가역(invertible) 행렬이 된다. 필요한 노드에서 랜덤하게 local coding vector를 결정하고, 선형 결합만을 수행하면 된다.

패킷 태깅의 경우 각 목적 노드에서 데이터 심볼을 복원하기 위해서 복호 행렬, 즉 global coding vector를 알고 있어야 한다. global coding vector는 노드에 연결된 링크로 나가는 소스 데이터 심볼의 계수 벡터이다. 이 때, 벡터의 차원은 소스 데이터 심볼의 수가 된다. 이를 위해 노드에 연결된 링크를 지나서 모든 데이터 패킷에 global coding vector를 붙여서 전송한다[5]. 예를 들어 그림 6과 같이 코딩 벡터를 데이터 패킷 앞에 붙여서 링크를 통해 전송하면 된다. 데이터 패킷이 충분히 길면, 코딩 벡터의 길이에 대한 부담은 크지 않다. 또한, 목적노드에서 네트워크의 연결 상태나 Decoding Matrix를 얻기 위한 추가 연산이 필요하지 않게 된다.

이론적인 네트워크 코딩의 경우 각 수신노드에 도착하는 패킷의 동기가 정확하다고 가정한다. 그러나 실제 네트워크에서는 패킷 유실 및 패킷 충돌, 트래

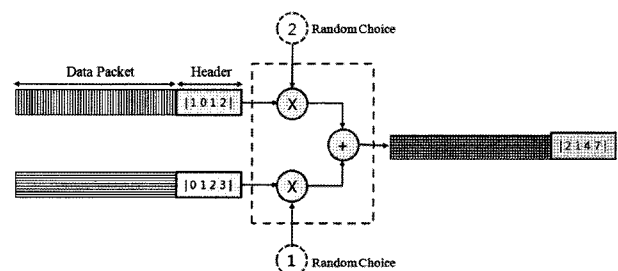


그림 6 랜덤 코딩과 패킷 태깅

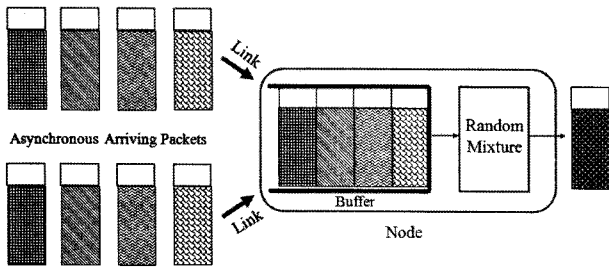


그림 7 버퍼링

픽 초과 등으로 인해 각 노드에 도착하는 패킷의 수는 일정하지 않다. 또한 소스 노드에서는 단위 시간 동안 데이터 심볼을 연속적으로 만들어내어 노드에 대한 패킷 수신 동기를 맞추기가 어렵다. 이를 위해 소스 노드에서 데이터 심볼을 발생하는 단위 시간을 generation이라 한다[5]. 각 패킷의 헤더에 generation 순서를 붙인 후 이를 이용하여 수신 노드에서는 데이터 동기화를 맞춘다. 위 그림 7은 버퍼링을 나타낸 그림이다. 그림과 같이 두 개의 링크로부터 들어오는 패킷을 generation에 따라 버퍼에 순서대로 쌓는다. 그리고 generation에 따라 랜덤 코딩해서 링크로 내보낸다. 각 노드에서 나중에 도착한 이전 generation의 패킷은 버린다.

4.3 네트워크 코딩으로 인한 처리지연

네트워크 인/디코딩에 따른 처리 지연과 패킷 코딩을 통한 전송률 향상 사이에는 trade-off 관계를 가지고 있다. 네트워크 코딩을 통한 전송률 향상을 위해 보다 많은 데이터 패킷을 인코딩하여 전송하게 되면 전체적으로 적은 패킷 교환으로도 수신 노드에서는 필요한 데이터를 얻을 수 있다. 하지만 많은 데이터를 인/디코딩 함에 있어 시스템의 처리지연은 오히려 전체적인 시스템 성능 저하 및 원활한 서비스를 방해하는 요인이 될 수 있다. 이는 특히 서비스 처리지연이 큰 데이터 전송 시 중요한 문제가 될 수 있다. 반대로 적은 양의 데이터를 네트워크 코딩하여 전송한다면, 상대적으로 노드들의 시스템 처리는 원활하게 이루어진다. 하지만 노드가 필요한 데이터를 받기 위해 더 많은 양의 네트워크 코딩된 패킷 교환이 이루어져야 하며, 이는 네트워크 코딩을 통한 전송률 향상이 작아지는 결과를 초래한다. 이에 서비스에 적절한 크기의 네트워크 패킷 처리가 실시간 스트리밍 서비스에 있어서 중요한 고려사항이 될 수 있다[15].

5. 멀티미디어 전송을 위한 네트워크 코딩 기술

미디어 스트림 전송에 네트워크 코딩 기술을 응용하기 위해서는 제한적이고 가변적인 대역폭을 가진

스트림 네트워크 특성과 패킷 지연 및 유실에도 원활한 서비스를 유지할 수 있는 스트림 통신 프로그램의 상황을 적절히 고려해야 한다. 이러한 미디어 스트림의 특성을 고려하여 네트워크 성능을 향상하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. [21,22]에서 Apostolopoulos는 다중 점(multiple state) 인코딩을 사용하여 다중 경로 미디어 스트림 시스템을 제안하였고, T. Nguyen와 A. Zakhor[3]는 이와는 다른 여러 개의 비디오 소스 시스템이 클라이언트 노드에게 순차적으로 미디어 데이터를 전송하는 FEC 기반의 분산 비디오 스트림 프레임워크를 제안하였다. FEC 기반의 분산 비디오 스트림에서는 Reed-Solomon 코드 방식을 사용하여 패킷 유실에 따른 미디어 전송문제를 해결하였고, 다중 경로의 이점을 효율적으로 이용하였다. 이밖에도 실시간 미디어 데이터를 주고 받기 위해서는 서비스 사용자 그룹의 확장성을 고려해야 할 뿐만 아니라 미디어 콘텐츠를 분산된 사용자에게 실시간으로 전송해야하는 어려움이 존재한다. 이를 해결하기 위해 최근에는 네트워크 코딩 기술을 사용하여 미디어 스트림 전송을 위한 연구가 진행되어 왔다. 이 중 M. Wang과 B. Li[19]은 C. Gkantsidis and P. Rodriguez[18]에 의해 제한된 random network coding 프레임워크를 사용하여 동시에 여러 클라이언트에게 양질의 미디어 데이터를 전송할 수 있는 실시간 P2P 스트림 시스템을 구현하였다. 또한 다중 경로 미디어 전송을 위한 네트워크 코딩에서는 여러 방식의 random 네트워크 코딩기법을 사용하여 서버와 클라이언트 사이의 데이터 전송 경로에 따라 다른 네트워크 코딩 기술을 사용하는 연구도 진행되었다[20].

5.1 다중 경로(Path Diversity)를 이용한 네트워크 코딩 기술

클라이언트는 서버에서 보내온 패킷을 모두 받은 후, NC 디코딩을 통해 서버에서 보내온 원본 데이터를 생성한다. 또한, Multicast 방식의 데이터 전송 시, N 개의 전송 기회 중 P_1, P_2, \dots, P_L 까지 L 개의 미디어 패킷을 클라이언트에게 전송할 수 있다고 가정한다. Media Server는 패킷을 네트워크 인코딩하여 클라이언트에게 전송하고, 이를 받은 클라이언트는 적절한 디코딩 과정을 통해 원상태의 미디어 패킷을 생성할 수 있다.

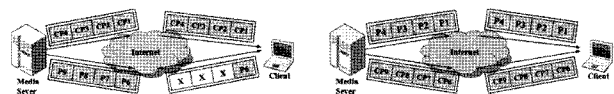


그림 8 다중경로 스트림 데이터 전송기술: (A) Priority Network Coding; (B) Systematic Network Coding

Priority Network Coding 기술에서 서버는 전송 우선순위에 따라 패킷을 결합한다. 예를 들어 서버는 전송한 L 개의 패킷 사이에 중요한 패킷 $P_k(P_1, P_2, \dots, P_k)$ 를 네트워크 코딩을 사용하여 인코딩 한 후, 패킷을 전송할 수 있는 시간동안 인코딩 된 우선순위 데이터를 먼저 전송한 후, 이를 받은 클라이언트는 인코딩 된 우선순위 패킷을 디코딩하여 미디어 스트림에 필요한 패킷 $P_k(P_1, P_2, \dots, P_k)$ 를 사용할 수 있다. 이와 같은 방식은 네트워크 대역폭이 제한되어 있거나 패킷 유실이 많은 네트워크 환경에 적합하다. 하지만 이와 같은 방식은 네트워크 코딩을 하지 않고 보내는 패킷 P_{k+1}, \dots, P_L 의 패킷 유실로 인해 양질의 미디어 스트림 서비스를 제공하지 못하는 단점을 가지고 있다.

Systematic Network Coding 에서 서버는 각 수신할 단말기에게 패킷을 P_1, P_2, \dots, P_L 순으로 순차적으로 전달하게 된다. 이 데이터는 NC를 통한 인코딩을 하지 않는다. 이후, Media Server는 다음 패킷을 전달하기 전에 여분의 전송 기회에 패킷을 네트워크 인코딩하여 전송하게 된다($L < N$). 그러므로 Media Server는 남은 전송기회에서 $CP = \sum_{i=1}^L \alpha_i P_i$ 의 네트워크 코딩된 데이터를 보내게 된다. 결과적으로 서버는 L 개의 패킷(P_1, P_2, \dots, P_L)과 $N-L$ 개의 NC된 패킷을(CP_1, \dots, CP_{N-L}) 보내게 된다. 기존의 Unicast 방식에서는 클라이언트에서 네트워크 코딩된 인코딩 패킷을 모두 받을 때까지 기다려야 하지만, Systematic Network Coding은 전송한 패킷을 모든 패킷을 받을 때까지 기다리지 않고 필요한 패킷만을 바로 사용할 수 있고, 이후 유실된 패킷에 대해서는 디코딩을 통하여 얻을 수 있다. 이를 통해 Priority Network Coding에 비해 보다 양질의 서비스를 제공할 수 있다.

6. 결론

모바일 IPTV 서비스를 위해서는 다양한 기술적 문제들이 해결되어야 한다. 모바일 IPTV는 모바일인 만큼 수신노드의 이동성이 큰 특징과 시간의 제약 받지 않고 시청할 수 있는 공간적 제약을 극복할 수 있다는 특징이 있다. 이를 통해 이동 중에도 미디어 콘텐츠를 받을 수 있는 서비스를 제공할 수 있다. 하지만 모바일 IPTV는 데이터를 수신하는 경로가 무선인 만큼 대역폭이 수신노드의 위치 및 상황에 따라 수시로 변경되고, 그로 인해 시스템이 안정적이지 못하고, 심지어 연결이 끊길 수도 있다. 이를 해결하기 위해 멀티미디어 스트림 응용 서비스를 위한 효율적

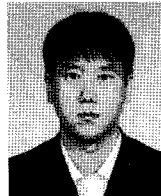
인 자원 할당, 전송량 향상, 전송 에러의 최소화를 목적으로 네트워크 코딩 기법을 적용하는 연구가 있어 왔다

네트워크 코딩은 멀티미디어 통신의 품질을 극대화 하기위해 수신 노드의 상태 혹은 패킷의 중요도에 따른 코딩을 달리 적용할 수 있으며, Overlay 네트워크 뿐 만 아니라 무선 메쉬 네트워크에서도 효율적으로 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 미디어스트림 서비스에 네트워크 코딩을 적용하기 위해서는 아직 풀어야 할 다양한 문제가 존재한다. 예를 들어 OSI 계층에서의 네트워크 코딩의 적용문제, 디코딩 복잡성에 따른 패킷 지연처리 등의 문제가 있을 수 있다. 본고에서는 기존의 통신 네트워크에서 사용되던 네트워크 코딩 기술을 모바일 IPTV에 적용되는 과정에서 발생할 수 있는 여러 가지 문제점에 대해서 논의하였다. 또한 멀티미디어 데이터를 효율적으로 전송하기 위한 네트워크 코딩 기술을 소개하였다.

참고문헌

- [1] R. Ahlswede, N. Cai, S. -Y. R. Li, and R. W. Yeung, "Network information Flow", IEEE Trans. Info. Theory, Vol. 46(4), pp.1204-1216, 2000.
- [2] 김성륜, 황준, "무선 통신 네트워크에서 네트워크 코딩과 계층간 최적화," 한국통신학회지, 제25권 제5호, 2008.
- [3] T. Nguyen and A. Zakhor, "Multiple sender distributed video streaming," IEEE Transactions on Multimedia, vol. 6, no. 2, pp. 315 - 326, April 2004.
- [4] S. Katti, H. Rahul, W. Hu, D. Katabi, M. Medard and J. Crowcroft, "XORs in the air: practical wireless network coding," Proc. ACM SIGCOMM, 2006.
- [5] P. A Chou, Wu, and K. Jain, "Practical Network Coding," Allereon Conference on Communication Control, and Computing, Monticello, IL, Oct. 2003.
- [6] Katabi, D, Katti, S, Wenjun, Hu, Rahul, H, Medard, M, "On Practical Network Coding for Wireless Environments," Communications, International Zurich Seminar, pp.84-85, 2006.
- [7] Gkantsidis, PR Rodriguez, "Network Coding for Large Scale Content Distribution" IEEE INFOCOM 2005, 24th Annual Joint, 2005.
- [8] S.-Y.R. Li, R. W. Yeung, and N. Cai, "Linear Network Coding," IEEE Trans. Information Theory, vol. 49, no. 2, pp. 371-381, Feb 2003
- [9] S. Chachulski, M. Jennings, S. Katti, and D. Ka-

- tabi, "Trading Structure for Randomness in Wire-
less Opportunistic Routing," in Proc. of ACM SIG-
COMM, 2007.
- [10] S. A. Khayam, S. S. Karande, H. Radha, and D. Loguinov, "Performance Analysis and Modeling of Errors and Losses over 802.11b LANs for High-Bitrate Real-Time Multimedia," Signal Processing: Image Communication, August 2003.
- [11] S. S. Karande, K. Misra, and H. Radha, "CLIX: network coding and cross-layer information exchange of wireless video," in Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'06), Atlanta, Ga, USA, October 2006.
- [12] E. Magli and P. Frossard, "An Overview of Network Coding for Multimedia Streaming," in International Conference on Multimedia and Expo 2009, Cancun, Mexico, June 2009.
- [13] M. Wang and B. Li, "R2: Random push with random network coding in live peer-to-peer streaming," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 25, no. 9, pp. 1655-1666, Dec. 2007.
- [14] T. Ho, et al., "A random linear network coding approach to multicast," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 52, no. 10, pp.4413-4430 OCT, 2006.
- [15] M. Wang and B. Li, "How practical is network coding?" Quality of Service, 2006. IWQoS 2006, 14th IEEE International Workshop on, pp. 274-278, Jun 2006.
- [16] 고석주 "이동통신망에서의 모바일 IPTV 표준기술", OSIA Standards & Technology Review, 제35권 제2호, 2009.
- [17] IETF MBONE Deployment WG, <http://www.ietf.org/html.charters/mboned-charter.html>
- [18] T. Ho, M. Medard, J. Shi, M. Effros, and D. R. Karger, "On randomized network coding," in Proc. of 41st Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, October 2003.
- [18] C. Gkantsidis and P. Rodriguez, "Network coding for large scale content distribution," in Infocom, 2006.
- [19] M. Wang and B. Li, "Lava: A reality check of network coding in peer-to-peer live streaming," in INFOCOM, May 2007.
- [20] D. Nguyen, T. Tran, T. Pham and V. Le, "Internet Media Streaming using Network Coding and Path Diversity", IEEE GLOBECOM 2008.
- [21] J. Apostolopoulos, "Reliable video communication over lossy packet networks using multiple state encoding and path diversity," in Proceeding of The International Society for Optical Engineering (SPIE), January 2001, vol. 4310, pp. 392-409.
- [22] J. Apostolopoulos, "On multiple description streaming with content delivery networks," in InfoComm, June 2002, vol. 4310.
- [23] 김재홍, 박현철, "네트워크 코딩의 개요," 한국통신학회지, 제25권 제5호, 200



정운호

2006 : 금오공대 컴퓨터공학과 학사
 2006-2008 : 레드게이트 연구원
 2008-현재 : 건국대학교 컴퓨터공학과 석사과정
 관심분야 : 무선네트워크, 시스템보안
 E-mail : jyh07@konkuk.ac.kr



조미영

2009 : 성신여자대학교 학사
 2009-현재 : 건국대학교 컴퓨터공학과 석사과정
 관심분야 : 무선네트워크, 센서네트워크
 E-mail : mbcjmy12@konkuk.ac.kr



김기천

1988 : 서울대 계산통계학 학사
 1992 : 미국 Northwestern Univ. 박사
 1992-1996 : 한국통신기술(주) 선임연구원
 1996-1998 : 신세기 통신(주) 책임연구원
 1998-현재 : 건국대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야 : mobile wireless network, NGN
 E-mail : kckim@konkuk.ac.kr