

NDI 및 AV over IP 기술 비교 및 현황

□ 김창수 / ㈜솔레이웍스

요약

최근 방송 시청 환경이 broadcasting에서 streaming으로 변화하고 있다. 이제는 방송 제작의 품질과 양적 수량에 대한 경쟁과 고민이 깊어지고 있는 상황에서 IP 기반의 방송 제작 기술이 주는 효율성과 가격적 경쟁력을 고려할 수밖에 없다. 본고에서는 ST2110, IPMX, NDI 등 AV over IP 기술들을 비교, 분석하여 각각의 기술들이 어떠한 방송 환경에 적합한지 논의하며 최근 관심이 많아지고 있는 NDI 기반 방송 제작 기술에 대해 분석하고자 한다.

I. 서론

오늘날, 디지털 기술의 발전으로 인해 영상 및 음성 신호를 쉽고 빠르게 전송할 수 있는 여러 대안이 되고 있는 기술들이 점점 더 많이 사용되고 있다. 기존 방송 제작 워크플로우는 SDI 신호 전송에 기반을 두고 있었으며 SDI 방식은 이미 오랫동안 사용되어 온 방식이기 때문에 안정적이고 보다 예측 가능한 전송 성능을 제공한다. 또한, 대부분의 방송 장비들이 SDI 인터페이스를 지원하기 때문

에 호환성이 뛰어나며, 전문적인 방송 분야에서 사용되는 표준 방식이다. 그러나, SDI 방식은 복잡한 케이블 구성과 많은 장비가 필요하며, 특히 4K/UHD 방송 제작을 위해서는 12G-SDI를 사용하여야 하고 이는 전송 거리에 제한을 가지며 특히 차세대 8K이상의 방송 제작을 위해서는 물리적 한계를 예상하고 있다.

반면에, 최근 도입되고 있는 ST2110에 기반한 IP 기반의 방송 제작 시스템을 사용하면, 하나의 네트워크를 통해 다양한 비디오 신호를 물리적 전송의 한계 없이 구성할 수

있다. ST2110 방식은 더욱 유연하고 확장성이 높으며, 여러 장소 간의 실시간 비디오 전송이 가능하며, 전송 거리에 제한이 없는 등 SDI 방식에서의 한계를 극복할 수 있다. 또한, IP 기반의 방식이기 때문에 SDI 방식보다는 복잡한 구성이 필요하지 않다.

하지만, ST2110 방식은 비교적 최근에 개발된 기술이기 때문에 호환성이 낮아 현재까지는 일반적으로 사용되는 방식은 아니며, 일부 방송 분야에서만 사용되고 있다. 또한, IP 기반의 전송 방식이기 때문에 전송 과정에서 발생할 수 있는 레이턴시 문제 등의 고민이 필요하고 현재까지 SDI 기반의 방송 제작 시스템에 비해서 가격이 다소 높고 대용량 네트워크에 대한 설계 및 관리 문제도 걸림돌이 되고 있다.

특히 여러 대안이 되고 있는 AV over IP 기술 중 NDI (Network Device Interface)와 IPMX, Dante AV는 최근에 빠르게 성장하고 있는 기술들 중 하나이다. 이 기술들은 대규모의 프로 방송 제작 시스템과는 거리가 있지만 현재 1인미디어 및 소규모 방송 제작 시스템이 활성화되어 가고 있는 상황에서는 주목하고 파악하고 있어야 할 기술들이다.

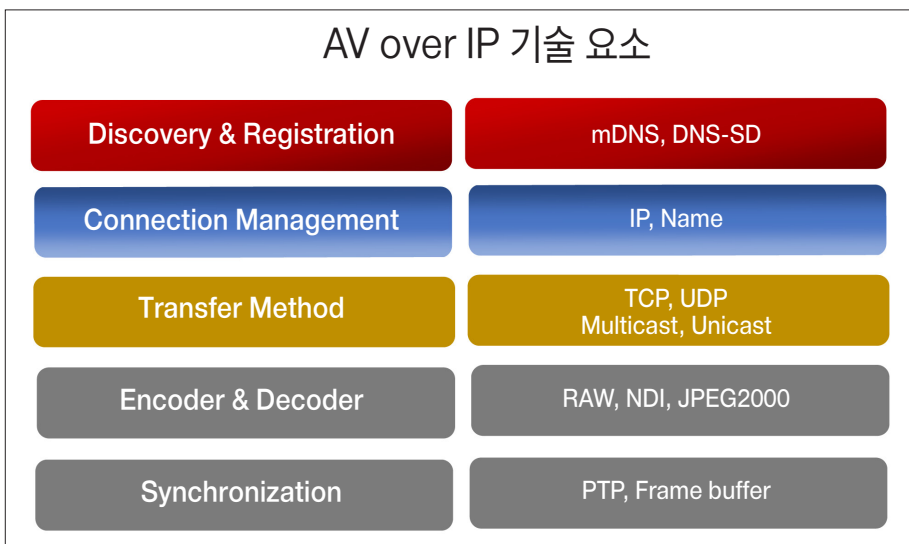
NDI와 IPMX, Dante AV 기술들은 기존의 전통적인 비

디오 및 오디오 전송 방식과는 다르게, IP 기반의 전송 방식과 적절한 압축 코덱을 사용하여 보다 높은 효율성과 유연성을 제공한다. 이러한 이점으로 인해, NDI와 IPMX, Dante AV는 미디어 산업 뿐만 아니라 교육, 의료, 기업 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

본고에서는 ST2110 기반 방송 제작 기술과 IPMX, NDI, Dante AV 기술에 대해 간략히 정리하고, 상세한 자료가 부족한 NDI 기술을 중심으로 타 AV over IP 기술들을 비교하여 특징들을 정리하고자 한다. 특히 비디오 오디오를 기존 인터넷망을 통해 전송하고자 하는 경우 NDI에서 채택한 QUIC와 SRT에 대해서도 비교 분석하고자 한다.

II. AV over IP 기술 개요

AV over IP 기반 방송 제작 기술은 크게 5가지 구성요소로 나눌 수 있으며 1. 네트워크에 연결된 노드(장비)를 검색하고 등록하는 Discovery & Registration 2. 등록된 노드(장비)를 연결하는 Connection management, 3. 연



<그림 1> AV over IP 요소 기술

결된 노드 간의 IP 기반 전송을 하기 위한 프로토콜, 4. IP 기반의 Video, Audio 전송을 위한 코덱, 5. 각 노드 간의 타이밍 동기를 위한 기술들이다.

각각 ST2110, IPMX, NDI, Dante AV를 각 기술적 요소를 중심으로 정리해 본다.

1. ST2110/IPMX 기반 방송 제작 기술

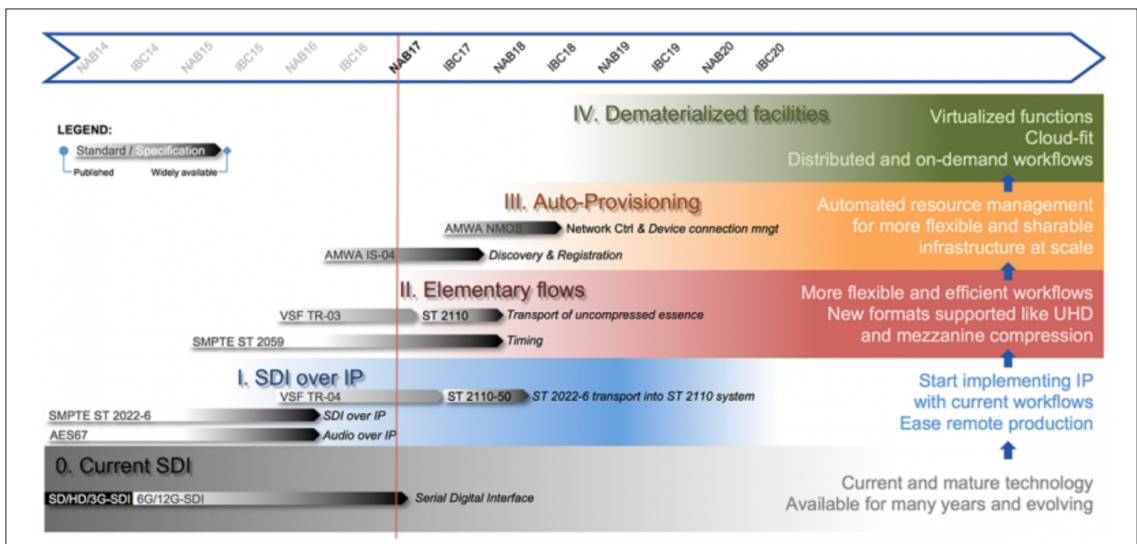
ST2110은 SDI 기반 방송 제작 기술에서 IP 기반 방송 제작 기술을 위해 만들어진 표준으로 이전 표준인 ST2022에 비해서 실제 유효한 Payload만 전송할 수 있으므로 더 효율적인 방식이다. 비디오/오디오 신호는 RTP 프로토콜을 사용하여 전송된다. RTP는 IP 기반의 멀티미디어 데이터를 전송하기 위한 프로토콜로, 실시간으로 데이터를 전송할 수 있도록 시간 동기화 및 오류 복구를 위한 메커니즘을 제공하며, ST2110에서는 RTP를 사용하여 안정적인 비디오 전송을 보장한다. 오디오 신호는 AES67 표준을 사용한다.

ST2110에서는 디바이스의 발견과 등록을 위해 AMWA (Advanced Media Workflow Association)의 NMOS (Networked Media Open Specifications) IS-04, IS-05

프로토콜을 사용한다. IS-04는 이름, 주소, 기능을 포함하여 네트워크 미디어 디바이스를 검색하고 등록하는 방법을 정의하고 IS-05는 IS-04를 기반으로 하며 미디어 연결의 설정, 수정, 해체를 포함하여 노드(장비)간 연결 관리를 위한 표준 인터페이스를 정의한다. 여기에는 네트워크 리소스를 예약하고 미디어 형식 및 프로토콜을 협상하는 기능이 포함된다.

ST2110-20/30은 비디오 오디오를 전송하기 위한 신호 규격에 대해서 정의하고 있으며 신호 포맷에 대해서는 명시하고 있지 않으나 현재 대부분의 방송급 영상 신호가 10bit로 코딩되어 있어 10bit 코딩의 비디오 신호를 비압축으로 전송하고 있다. 특히 요즘 ProAV 및 소규모 방송을 위해 준비하고 있는 IPMX는 wavelet 기반의 고품질 코덱을 사용하여 저지연, 고품질 비디오 전송을 지원할 수 있다.

ST2110에서는 PTP(Precision Time Protocol)를 사용하여 네트워크의 시간 동기화를 수행한다. PTP는 예전 IEEE1588을 기반으로 하여 네트워크 기반 방송 장비들의 타임 동기를 수행할 수 있도록 하는 내용들이 첨가되었다. ST2110에서는 PTP를 사용하여 비디오 및 오디오 신호의 동기화를 수행하며, 이를 통해 고품상도의 비디오 및 오



<그림 2> ST2110 milestone (출처 : JT-MN)

디오를 안정적으로 전송할 수 있다. 또한, ST2110에서는 NMOS API를 사용하여 디바이스 간의 상호 작용 및 동기화를 수행할 수 있으며 NMOS API는 디바이스 간의 정보 교환 및 상태 모니터링을 수행하며, 이를 통해 ST2110 기반의 방송 시스템을 효율적으로 운용할 수 있다.

2. NDI 기반 방송 제작 기술

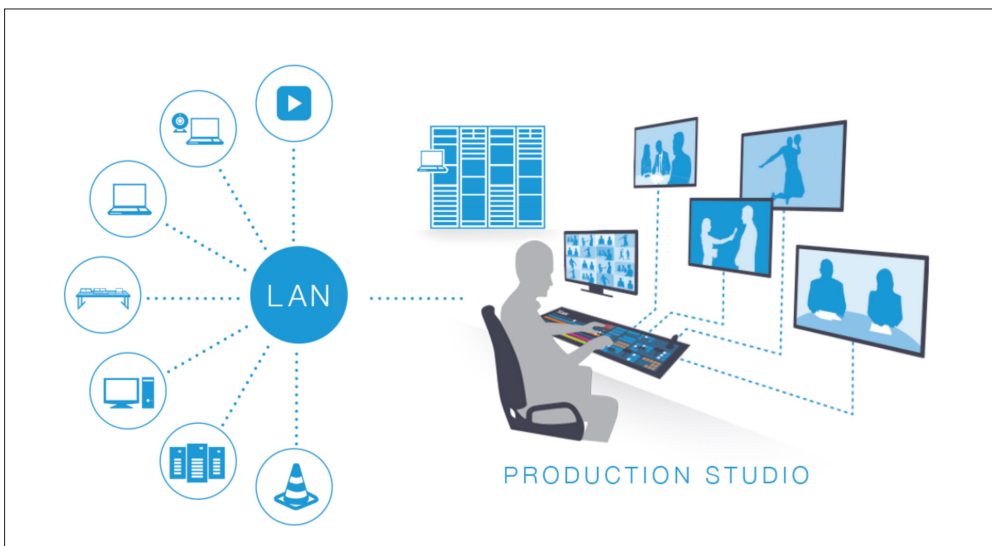
NDI(Network Device Interface)는 Newtek에서 제안하고 상품화한 기술로 소규모 방송 및 ProAV에 특화된 기술이다. NDI를 도입하고자 하는 방송 장비 제조사 및 관련 업계에 SDK 형태로 기술을 제공하며 무료 버전의 SDK와 유료 버전의 SDK를 제공한다. 무료 버전의 SDK는 압축이 풀린 비디오 프레임의 형태로 비디오를 처리할 수 있는 기능을 제공하며 유료 버전의 SDK는 NDI 신호를 코덱 레벨(비디오압축패킷)에서 처리할 수 있는 여러 API를 제공하여 고성능의 기능을 구현할 수 있도록 한다. NDI라는 용어는 특정 표준에 대한 설명보다는 Newtek에서 만들어 놓은 방송 제작 기술을 통칭한다고 보는 것이 맞을 것 같다.

NDI는 각 네트워크에 연결되어 있는 장비들을 mDNS

(Multicast Domain Name System) 프로토콜을 사용하여 IP에 대한 정보를 알지 않고도 Name을 기반으로 검색, 연결할 수 있다. 물론 mDNS 방식 이외에도 RDS 서버를 운용하여 서버 기반의 Discovery & Registration을 할 수도 있다.

NDI는 ST2110과 타 AV over IP 기술이 UDP 기반 Multicast 전송을 주로 사용하는 것에 비해 TCP, multi-TCP, UDP, RUDP를 모두 지원하며 Multicast 및 Unicast 전송을 할 수 있다.

ST2110이 비압축으로 비디오/오디오를 전송하는 것에 비해 NDI는 자체 기술인 코덱을 사용한다. NDI의 압축 방식과 관련하여 ‘High bandwidth NDI’, ‘NDI HX’, ‘NDI HX2’, ‘NDI HX3’의 방식이 있다. High bandwidth NDI는 Newtek 자체 기술로 개발한 코덱으로 오픈된 코덱은 아니기 때문에 정확히는 알 수 없으나 DCT 기반의 MPEG2 코덱의 I프레임을 압축하는 알고리즘을 일부 사용하는 것으로 파악하고 있다. NDI HX는 H.264 코덱을 사용하고 NDI HX2는 H.265를 사용하며, 최근에 새롭게 발표된 NDI HX3는 H.264 또는 H.265의 GOP 사이즈를 1~2정도로 설정하여 고품질의 비디오 압축을 할 수 있도록 하는 규격이다.



<그림 3 > NDI 기반 방송 제작 시스템 개념도 (출처 : ndi.tv)

NDI는 ST2110, DanteAV와 비교하여 네트워크에 연결된 장비 간 타이밍 동기화에 대한 방법이 빈약하다. 현재 NDI 버전5에서 일부 Genlock과 같은 기능을 제공하지만 PTP를 사용한 방식에 비해 정확도는 떨어진다. 현재 구현상에서는 NDI를 지원하는 비디오 스위처에서 Frame 버퍼링 방식을 사용하여 서로 다른 동기 타이밍을 갖는 비디오 신호를 동기화하고 있다.

3. Dante AV 기반 방송 제작 기술

Dante AV는 기존 Audio over IP의 연장선상에서 생각해 볼 수 있다. Dante는 IP 기반의 오디오 전송을 위한 기술로 현재 ProAV에 많이 사용되고 있다. IP 기반의 오디오 전송이면서도 PTP를 사용하여 저지연 전송을 할 수 있다. Dante AV 역시 공개 표준이 아닌 Audinate 주도의 라이선스 기반 기술이어서 내부의 정확한 기술과 정보를 알 수는 없으나 기존 Dante에 비디오도 같이 전송할 수 있도록 하는 기술로 봐도 될 것 같다. 기존 Dante AV는 디바이스의 발견과 등록을 위해 전용 Dante Controller 소프트웨어로 쉽게 Discovery & Registration할 수 한다.

Audinate는 최근 Dante AV의 기술로 Dante AV Ultra와 Dante AV-H를 발표하였다. Dante AV Ultra는 JPEG2000을 사용하며 JPEG2000은 wavelet 기반 압축 방식을 사용하여 고품질의 압축이 가능하다.

Dante AV-H는 Newtek사의 NDI HX와 비슷한 개념의 기술 라인업으로 보이며 비디오 코덱으로 JPEG2000 대신 H.264, H.265를 사용한다.

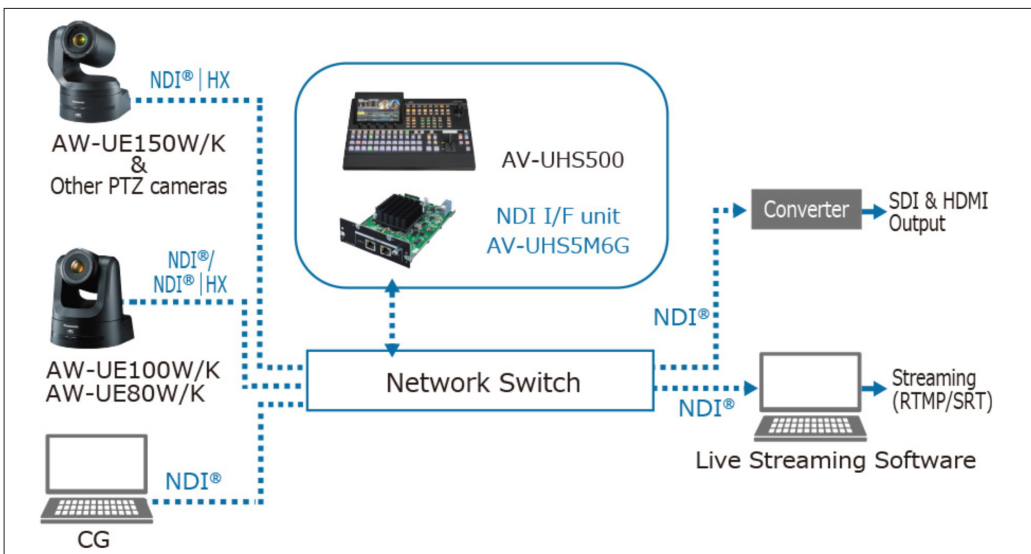
Dante AV는 내부적으로 정확한 동기화를 유지하기 위해 ST2110과 비슷하게 PTP(Precision Time Protocol)를 사용한다. 이를 통해 저지연의 비디오 오디오 전송이 가능하다.

III. NDI 기술

1. NDI 코덱

NDI가 다른 AV over IP 기술들에 비해서 소규모 방송 및 특히 Streaming 서비스에서 주목받았던 이유 중 하나는 NDI가 사용하고 있는 코덱이다.

High bandwidth NDI 코덱은 MJPEG과 비슷해 보이



<그림 4> NDI 시스템 구성 예 (출처 : Panasonic)

지만 압축 대비 화질면에서 뛰어나다. 비디오 압축률이 대략 1/20정도로 1080p60 비디오를 140Mbps로 압축하면 1Gbps UTP 케이블에 전송할 수 있다. 또 4K 비디오 신호도 광케이블을 쓰지 않고 1Gbps UTP 케이블을 통해 전송할 수 있는 장점이 있다.

특히 S/W 기반 최적화된 비디오 코덱을 지원한다. 이것은 고화질의 비디오를 encoding & decoding하기 위해 CPU 리소스를 적게 사용할 수 있도록 S/W 최적화한 것이며, 비디오 신호를 encoding & decoding하기 위해 필요로 하는 CPU 리소스를 최소화할 수 있다면 남은 CPU 처리 능력을 S/W 기반의 여러 부가 서비스를 제공할 수 있는 장점이 된다.

또 압축된 비디오/오디오 신호는 UTP 기반의 Gigabit ethernet으로 전송할 수 있어 별도의 하드웨어 캡처 장비나 변환 장비 없이 서버와 같은 장비에서 NIC(Network Interface Card)로 손쉽게 비디오/오디오 신호를 받아 처

리할 수 있다.

NDI HX는 Newtek에서 개발한 코덱이 아닌 기존 H.264 코덱을 사용하며 NDI의 Discovery & Registration 기능과 NDI의 전송 모드들을 동일하게 사용할 수 있도록 한 일종의 NDI의 Profile이라고 볼 수 있다.

NDI HX2는 NDI HX와 같이 또 다른 Profile이며 NDI HX가 H.264를 사용한다면 NDI HX2는 H.265 코덱을 사용한다.

NDI HX3에서는 기존에 널리 쓰이고 있는 H.264, H.265 코덱을 사용하며 Low latency 특성을 갖도록 B프레임을 사용하지 않으며 GOP 사이즈를 2 이내로 하여 I only, 또는 IPIP 형태의 프레임 특성을 갖게 된다.

2. 비디오/오디오 IP 전송

NDI는 IP 기반의 전송을 위해서 여러 모드를 지원한




CODECs for NDI

- ✓ **High Bandwidth NDI codec : SHQ (FPGA 구현)**
 - Newtek에서 제공하는 native 코덱
 - DCT기반의 **Intra based visually lossless**코덱
 - 1080p60 : 140Mbps, 8bit 4:2:2
 - 4K60p : 250Mbps, 8bit 4:2:0
 - Latency : ~2 Frames

- ✓ **NDI HX (상용 ASIC)**
 - H.264 코덱 사용
 - I, P frame사용
 - Inter Frame Interval < 100ms
 - Latency : 5~10 Frames

- ✓ **NDI HX2 (상용 ASIC)**
 - HEVC 코덱 사용
 - I, P frame사용
 - Inter Frame Interval < 100ms

- ✓ **NDI HX3 (Quality, Bandwidth, Latency ≅ High bandwidth NDI)**
 - H.264, HEVC 코덱 사용
 - I frame only or GOP = 2
 - Bandwidth > 60Mbps

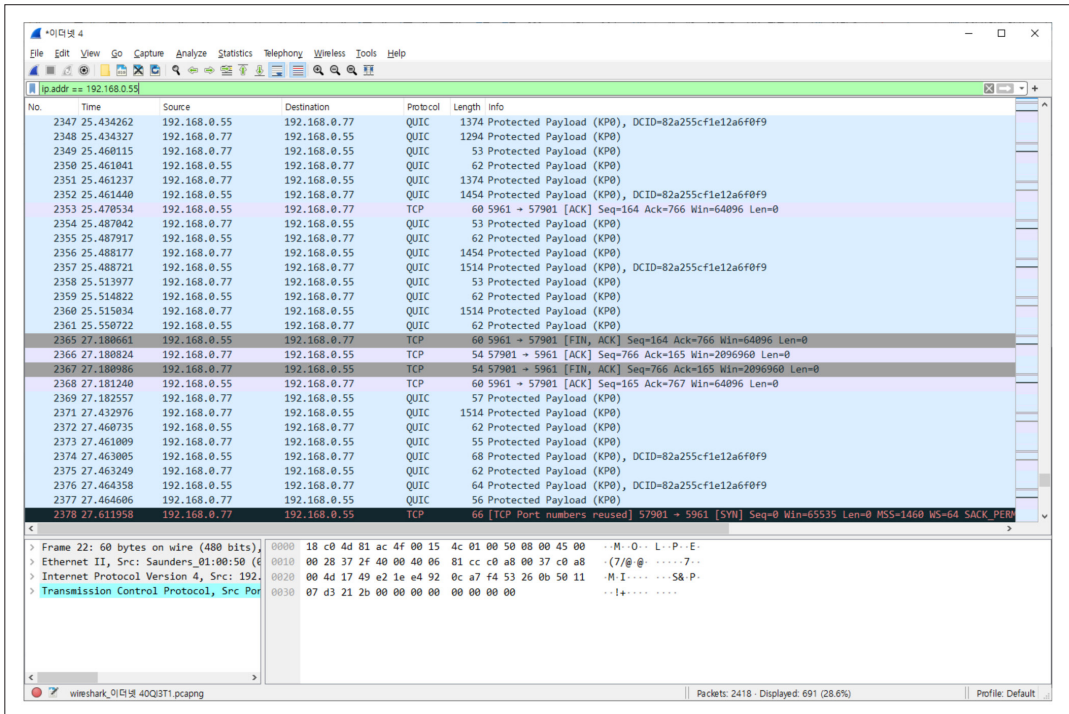




<그림 5 > NDI 코덱

IP Transmission in NDI

- ✓ TCP, UDP
- ✓ RUDP
 - Reliable UDP
 - NDI version 5이후 디폴트 전송방식
- ✓ Multi-TCP
 - Multi Connection 사용
 - NDI version 4에서 디폴트 전송방식
- ✓ Unicast / Multicast 지원
- ✓ 전송방식의 변경은 JSON포맷의 configuration방식을 사용
 NDI source와 NDI sink사이에 자동으로 감지, 변경함.
- ✓ NDI device의 Detection&Registration은 mDNS 또는 RDS서버와 같은 방식 지원

<그림 6 > NDI IP 전송 방식



<그림 7 > NDI RUDP(Reliable UDP) 모드 프로토콜 분석

다. 기존 ST2110을 기반으로 한 방송 제작 시스템이 RTP/UDP의 Multicast 전송을 주요 전송 모드로 사용하고 있다면 NDI는 소규모 방송에 적합한 Unicast 전송 방식을 주로 사용한다. 물론 Multicast 전송 방식도 지원을 하고 있지만 Multicast 전송은 네트워크를 구성할 때 많은 주의가 필요하다. 특히 Multicast는 초기 비디오/오디오 전송을 위해 고안된 것이 아니기 때문에 IGMP 그룹에 'join' 하는 것은 빠른 응답을 지원하지만 'leave'는 시간이 걸릴 수 있다. 이는 많은 비디오 신호를 절체하는 경우 주어진 대역폭을 폭주할 수 있는 가능성이 있으며 네트워크는 전체 대역폭을 계산하여 여유 있는 성능의 것을 사용하여야 한다.

NDI는 버전4에서 디폴트 전송으로 Multi-TCP 전송을 사용하였다. Multi-TCP 전송 방식은 네트워크에 연결된 장비 간에 논리적 연결을 다중으로 하여 저지연, 고신뢰 전송을 지원하도록 하였다.

NDI 버전 5에서는 디폴트 전송 방식으로 RUDP (Reliable UDP) 방식을 지원하게 되었으며 WireShark와 같은 프로토콜 분석기로 분석해 본 결과 QUIC 프로토콜인 것을 알게 되었다.

최근 내부 연구소 LAN 네트워크에서 TCP, Multi-TCP, UDP와 관련하여 많은 실험을 해 보았고 패킷 손실이 없는 LAN 환경에서는 TCP, Multi-TCP, UDP, RUDP 각각의 전송 프로토콜을 사용한 비디오, 오디오 전송에서 차이 없는 성능을 보여 주었다.

3. NDI를 사용한 구축 사례

NDI 기술 및 구축 사례는 COVID19 이후 급격하게 성장하여 중·소규모 및 ProAV의 방송 제작용으로 적용되고 있으며 최근에는 대형 방송사에서도 채택하여 사용하고 있다. 국내에서는 최근 '아리랑TV'도 NDI 기반의 스튜디오를 구축하여 방송 제작을 하고 있다. '아리랑TV'는 메타버스의 'M', 인공지능의 'A', 확장 현실의 'X'의 첫 글자들을 모은 'MAX프로젝트'의 플랫폼으로 NDI 기반 4K 방송 제작 시스템을 구축하였다.

'아리랑TV'의 NDI 기반 방송 제작 시스템은 Newtek의 Tricaster를 메인 스위처로 사용하여 NDI 4K PTZ 카메라와 4K NDI 컨버터를 사용하여 기존 방송급 카메라 및 기존 SDI 방송 장비와 연동하였다. NDI와 같은 IP 기반의



<그림 8> 아리랑TV 방송 시스템

방송 제작 기술을 도입하여 기존 SDI 방송 장비와의 호환 문제를 해결하고 예산을 절감하였음에도 사용 및 활용성을 증가할 수 있었다고 한다.

4. SRT(Secure Reliable Transport)와 QUIC의 비교

NDI는 여러 전송 모드를 활용하여 LAN 환경 뿐 아니라 WAN 환경에서도 사용할 수 있도록 설계되었으며 NDI bridge라는 무료 유틸리티를 제공한다. 최근 인터넷망을 통한 비디오/오디오 전송 및 원격 방송 제작이 중요한 기능이 되고 있고 QoS가 보장되지 않는 네트워크에는 신뢰할 수 있는 전송 방식이 필요하다.

TCP는 인터넷망에서 신뢰할 만한 전송을 보장해 주지만 데이터 전송을 목적으로 만들어진 것으로 패킷 손실이 발생하면 패킷 재전송과 TCP 프로토콜 내부의 윈도우 사이즈가 줄어드는 slow start 알고리즘으로 실시간 비디오 전송에는 적합하지 않다.

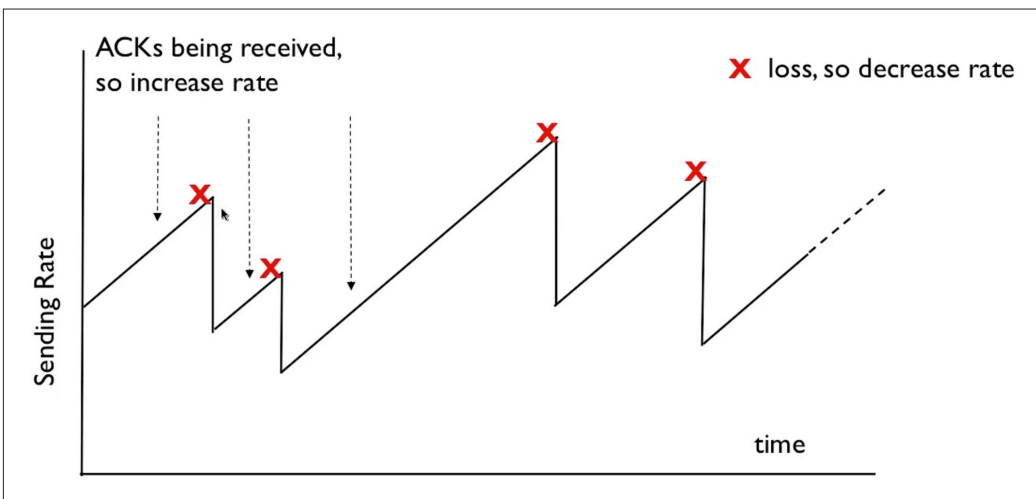
QUIC 프로토콜과 SRT 프로토콜은 둘 다 UDP 기반의 전송 방식으로 기존 TCP 기반 전송의 취약점을 보완하여

안정적이고 신뢰성 있는 비디오 전송을 위해 개발된 전송 프로토콜이지만 각각의 특징과 장단점이 있다.

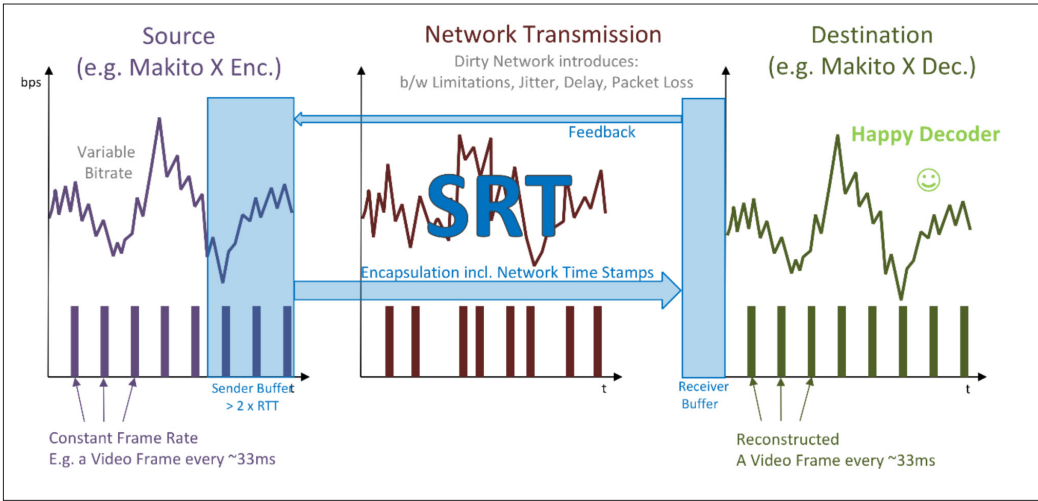
QUIC 프로토콜은 Google에서 개발된 UDP 기반의 프로토콜로, 대부분의 브라우저에서 이미 지원하고 있으며 SSL/TLS 암호화를 기본적으로 제공하여 보안성이 뛰어나다. 이중화 및 다중화 기능을 내장하여 안정적인 전송을 지원하며, 연결을 설정하는 과정에서 속도가 빠르다. QUIC은 속도가 빠른 대신 CPU 부하가 많아지고, 네트워크 대역폭이 좁은 환경에서는 전송 성능이 떨어지는 단점이 있다.

반면에, SRT 프로토콜은 속도와 안정성을 모두 고려한 프로토콜로, 높은 대역폭 환경에서 안정적인 전송을 지원한다. 전송 시 패킷 손실이 발생하면 손실된 패킷에 대해 재전송하거나 FEC(Forward Error Correction) 기능을 사용하여 오류복구를 할 수도 있다.

QUIC와 비교하면 SRT는 대기 시간 관리 기능을 통해 전송 지연을 최소화한다. 수신기는 전송 시간이 지연된 패킷에 대해 최대 대기 시간을 설정할 수 있으며, 이를 초과하는 패킷은 버려진다. 이를 통해 전체적인 전송 속도를 유지하면서도, 일정한 레이턴시를 유지할 수 있다. 또한,



<그림 9> TCP Slow Start 알고리즘



<그림 10> SRT 전송 알고리즘 (출처 : Haivision)

오픈 소스로 확장성이 뛰어나서 다양한 플랫폼에서 쉽게 사용할 수 있다.

IV. 결론

본고에서는 기존 SDI 기반 방송 제작 기술의 대안이 되고 있는 여러 AV over IP 기술들에 대해 비교하여 정리해 보았다. NDI 기반 방송 제작 기술은 ST2110에 비해 전송 레이턴시와 각 방송 장비 간의 동기화 부분에 대한 단점에도 불구하고 구축 비용의 절감과 특히 요즘 스트리밍

방송을 위해서는 좋은 대안이 될 수 있다. 특히 SDI 기반 방송 제작 기술에서 IP 기반의 방송 제작으로의 전환은 하드웨어 기반에서 소프트웨어 기반 방송 제작 기술의 방향이라고 생각해 볼 수 있다. 특히 NDI의 최적화된 코덱과 유연한 SDK를 활용하면 AI 기반 워크플로우 및 각종 부가 서비스를 접목할 수 있는 좋은 기술임을 알 수 있다. 다만 NDI와 같은 AV over IP 기술들이 외국의 기술들을 일부 라이선스를 통하여 개발할 수밖에 없다는 점이 아쉽고 국내에서도 이런 관련 기술들이 개발되고 세계시장에서 주도권을 가질 수 있는 기술 개발과 상용화할 수 있는 기회를 만들 수 있기를 기대한다.

※ 이 원고는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-01028, 클라우드-IP 기반 고품질 미디어 제작 기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] <http://ndi.tv>
- [2] <https://www.haivision.com/blog/broadcast-video/created-srt-difference-srt-udt/>
- [3] https://specs.amwa.tv/is-04/releases/v1_3_2/
- [4] https://specs.amwa.tv/is-05/releases/v1_1_2/
- [5] <https://pro-av.panasonic.net/en/products/NDITech/>
- [6] https://dvnest.com/user_20220628/, “아리랑TV, NDI로 스마트 라이브 스튜디오 구축”
- [7] <https://www.salrayworks.com>

저 자 소 개



김 창 수

- 1999년 : 건국대학교 일반대학원 전자공학과 석사
- 2009년 : 중앙대학교 일반대학원 전기전자공학과 박사수료
- 2006년 ~ 2019년 : ㈜루먼텍 연구소장
- 2019년 ~ 현재 : ㈜슬레이웍스 대표이사
- 주관심분야 : NDI, ST2110, IPMX 등의 AV over IP, 하드웨어 기반 영상처리, OTT 방송플랫폼