

IP 방송제작 기술 22

SMPTE ST 2110-21

글. 조인준 KBS 미디어기술연구소 차장

지난 두 번의 연재를 통해서 SMPTE ST 2110의 핵심인 무압축 비디오 데이터 IP 전송을 위한 SMPTE ST 2110-20 'Professional Media Over Managed IP Networks : Uncompressed Active Video'의 소개를 마쳤습니다. 이번 연재에서는 지금까지의 데이터 전송 중심의 표준들과는 다르게 비디오 패킷들이 네트워크상에서 어떻게 움직여야 하는지에 관한 표준인 SMPTE ST 2110-21 'Professional Media Over Managed IP Networks : Traffic Shaping and Delivery Timing for Video'에 대해 소개하겠습니다.

앞서 말씀드렸듯이 SMPTE ST 2110-21은 비디오 데이터 전송 포맷에 관한 표준이 아닌 네트워크 상에서의 데이터 패킷이 어떻게 움직여야 하는가에 관한 표준입니다. 이 표준은 네트워크를 통해 전송되는 패킷이 만족해야 하는 모델인 Network Compatibility Model과 Virtual Receiver Buffer Model을 정의하고 있습니다. 그럼 이 두 모델을 이해하기 위해 필요한 Packet Read Schedule에 대한 이해를 마친 후 각 모델에 대한 설명을 이어가겠습니다.

• Packet Read Schedule

Packet Read Schedule은 수신 장치의 버퍼에 들어온 비디오 패킷을 처리하기 위해 버퍼에서 하나씩 뽑아 읽어내는 타이밍을 정의한 것입니다. Packet Read Schedule에는 Gapped Packet Read Schedule과 Linear Packet Read Schedule의 두 종류가 있습니다. Gapped Packet Read Schedule은 [그림 1]과 같이 SDI 신호의 Vertical Blanking 구간에 대응되는 휴지 기간(T_{offset}) 뒤에 비디오 패킷을 버퍼에서 읽어내는 방식이고, Linear Packet Read Schedule은 [그림 2]와 같이 SDI 신호의 Vertical Blanking을 고려하지 않고 동일한 시간 간격으로 패킷을 버퍼에서 읽어내는 방식입니다.

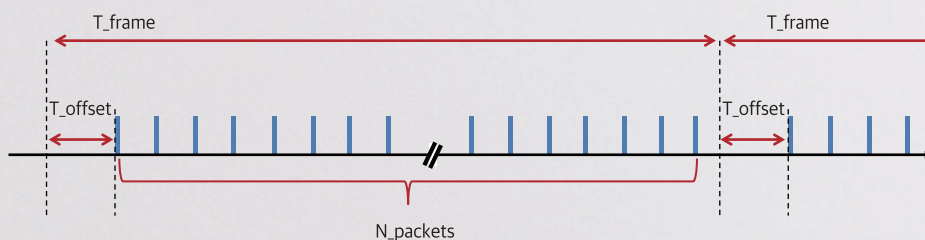


그림 1. Gapped Packet Read Schedule

Gapped Packet Read Schedule을 나타낸 [그림 1]의 T_{frame} 은 비디오 한 프레임의 시간과 같고, $N_packets$ 는 비디오 프레임 하나를 구성하는 모든 패킷의 수이며, T_{offset} 은 SDI 신호의 Vertical

Blanking 구간에 해당하는 시간입니다. T_{offset} 의 경우 실제로는 SDI 신호의 Vertical Blanking 구간보다 아주 약간 길다고 합니다. 이유는 카메라, 비디오 서버 등의 비디오 패킷 송신 장치에서 패킷을 만들어 보내는데 미세한 딜레이가 있어 수신 버퍼에 아주 약간 늦게 도달할 수 있고, 이를 제대로 수신 버퍼에서 읽기 위해서는 Vertical Blanking에 미세하게 딜레이가 추가된 T_{offset} 이후에 버퍼의 데이터를 읽어내는 것이 안전하기 때문입니다. [그림 1]과 같은 수신 버퍼의 데이터 읽기 방식이 Gapped Packet Read Schedule이라 불리는 것은 T_{offset} 동안 데이터를 읽지 않고 이후에 데이터 읽기를 시작하기 때문입니다.

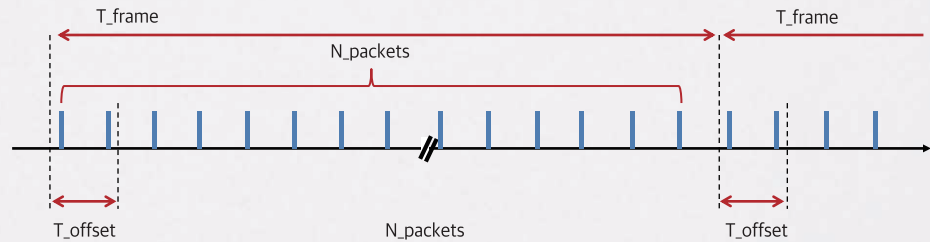


그림 2. Linear Packet Read Schedule

[그림 2]는 Linear Packet Read Schedule을 나타냅니다. T_{frame} , N_{packet} , T_{offset} 은 모두 [그림 1]과 동일한 변수이며 [그림 1]과는 다르게 T_{offset} 구간에서도 다른 구간과 마찬가지로 수신 버퍼에서 데이터를 읽어냅니다. 등간격으로 수신 버퍼에서 데이터를 읽어내기 때문에 Linear Packet Read Schedule이라고 합니다.

그렇다면 이제 본론으로 들어가서 앞서 이야기한 Network Compatibility Model과 Virtual Receiver Buffer Model에 관한 설명을 드리겠습니다.

• Network Compatibility Model

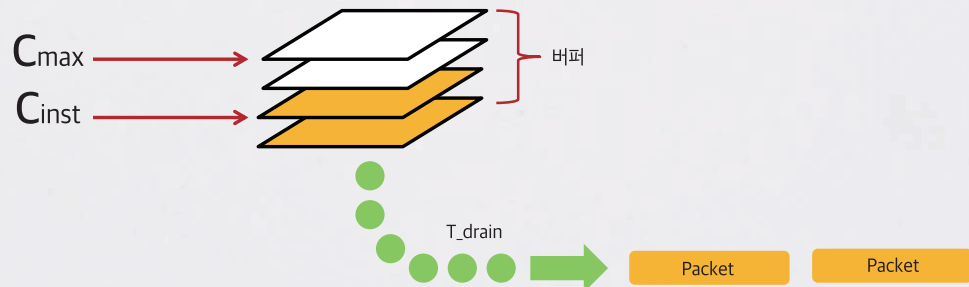


그림 3. Network Compatibility Model

Network Compatibility Model은 비디오 패킷 송신 장치에서 보낸 패킷으로 인해 네트워크 스위치의 버퍼에서 오버플로우(Overflow)가 발생하는지 체크하기 위한 모델입니다. [그림 3]의 버퍼는 네트워크 스위치 내부의 버퍼를 나타내며, 비디오 패킷을 송신하는 장치로부터 수신된 패킷들이 일시적으로 머물다가 T_{drain} 의 시간 간격으로 하나씩 목적지를 향해 빠져나가는 곳입니다. [그림 3]의 C_{max} 는 버퍼가 저장할 수 있는 패킷의 최대 수이며, C_{inst} 는 현재 버퍼 내부에 잔존하는 패킷의 수입니다. 만약 T_{drain} 의 시간 간격으로 패킷이 빠져나가는 버퍼에 남아있는 패킷 수인 C_{inst} 가 C_{max} 를 넘는다면, 해당 네트워크 스위치의 버퍼는 오버플로우가 발생한 것이고, 완벽한 비디오 패킷 전송에 실패하게 됩니다. 반대로 C_{inst} 가 항상 C_{max} 이하로 유지된다면 비디오 패킷 송신 장치를 떠난 모든 패킷은 네트워크 스위치를 거쳐 정상적으로 목적지로 전달이 되는 것이고, 해당 비디오 패킷 송신 장치는 Network Compatibility Model에 부합하게 됩니다.

• Virtual Receiver Buffer Model

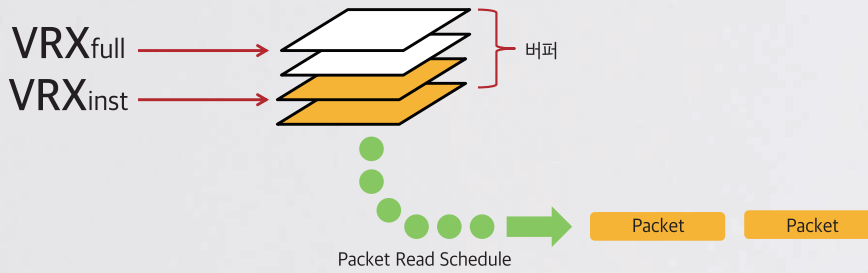


그림 4. Virtual Receiver Buffer Model

[그림 4]의 Virtual Receiver Buffer Model은 얼핏보면 [그림 3]의 Network Compatibility Model과 유사해 보이지만 Network Compatibility Model이 비디오 패킷 송신 장치로 인한 네트워크 스위치 내부 버퍼의 오버플로우 여부를 테스트하는 것에 반해 Virtual Receiver Buffer Model은 비디오 패킷 송신 장치로 인한 수신 장치 버퍼의 오버플로우 또는 언더플로우 여부를 테스트하는 모델입니다. 그래서 [그림 3]의 경우 버퍼에서 패킷이 빠져나가는 시간인 T_{drain} 이 일정하지만, [그림 4]에서는 [그림 1] 또는 [그림 2]의 Packet Read Schedule과 동일한 시간 패턴으로 버퍼에서 패킷이 빠져나가게 됩니다. [그림 4]의 VRX_{full} 은 수신 장치의 버퍼가 저장할 수 있는 패킷의 최대 수이며, VRX_{inst} 는 현재 버퍼 내부에 잔존하는 패킷의 수입니다. 만약 Packet Read Schedule에 따라 패킷이 빠져나가는 버퍼에 남아있는 패킷 수인 VRX_{inst} 가 VRX_{full} 을 넘는다면, 해당 수신 장치의 버퍼는 오버플로우가 발생한 것이고, 잔존한 패킷이 하나도 없어서 Packet Read Schedule에 따라 패킷을 읽어 낼 수 없다면, 해당 수신 장치의 버퍼는 언더플로우가 발생한 것입니다. 수신 장치에서 오버플로우나 언더플로우가 발생했다는 것은 비디오 프레임을 구성하기 위한 패킷을 제시간에 온전히 수신하지 못한 것이므로, 정상적인 영상을 출력할 수 없는 상태가 됩니다. 만약 버퍼에 잔존하는 패킷의 수인 VRX_{inst} 가 항상 VRX_{full} 이하로 유지된다면 비디오 패킷 송신 장치를 떠난 모든 패킷은 정상적으로 수신 장치에 전달되는 것이고, 해당 비디오 패킷 송신 장치는 Virtual Receiver Buffer Model에 부합하게 됩니다.

지금까지 설명한 Network Compatibility Model과 Virtual Receiver Buffer Model을 모두 만족하는 비디오 패킷 송신 장치는 SMPTE ST 2110-21 표준에 부합하는 장치가 됩니다. 그런데 여기에서 설명이 필요한 한가지가 더 남아 있습니다. 비디오 패킷 송신 장치는 구현 방법에 따라서 3가지 타입으로 나뉩니다. SMPTE ST 2110-21에서는 비디오 패킷 송신 장치를 Sender라고 부르는데, 패킷 전송 타입에 따라 Narrow Sender(Type N), Narrow Linear Sender(Type NL), Wide Sender(Type W)의 세 가지로 구분됩니다.

• Narrow Sender

Narrow Sender는 Gapped Packet Read Schedule에 맞도록 비디오 패킷을 송신하는 장치이며, 이 타입의 Sender에 적용되는 Network Compatibility Model과 Virtual Receiver Buffer Model의 C_{max} 및 VRX_{full} 은 다음의 식으로 계산됩니다. 참고로, 모든 Sender 관련 C_{max} 및 VRX_{full} 의 계산에 사용되는 $N_{packets}$ 와 T_{frame} 은 [그림 1]의 $N_{packets}$, T_{frame} 과 동일합니다.

$$C_{max} = MAX(4, INT(\frac{N_{packets}}{43200 \times R_{active} \times T_{frame}}))$$

$$R_{active} = \frac{\text{액티브 비디오 라인 수}}{\text{총 비디오 라인 수}}$$

$$VRX_{full} = MAX(INT(\frac{1500 \times 8}{MAXIP}), INT(\frac{N_{packets}}{27000 \times T_{frame}}))$$

• Narrow Linear Sender

Narrow Linear Sender는 Linear Packet Read Schedule에 맞도록 비디오 패킷을 송신하는 장치이며, 이 타입의 Sender에 적용되는 Network Compatibility Model과 Virtual Receiver Buffer Model의 C_{max} 및 VRX_{full} 는 다음의 식으로 계산됩니다.

$$C_{max} = MAX(4, INT(\frac{N_packets}{43200 \times T_frame}))$$

$$VRX_{full} = MAX(INT(\frac{1500 \times 8}{MAXIP}), INT(\frac{N_packets}{27000 \times T_frame}))$$

• Wide Sender

Wide Sender는 Linear Packet Read Schedule을 가정하여 패킷을 송신하지만, Narrow Sender나 Narrow Linear Sender와 같이 비디오 패킷을 비교적 균일한 패턴으로 송신하지 않고, 부분 부분 한꺼번에 비디오 패킷을 몰아서 송신하는 패턴의 Sender이며, 대부분 소프트웨어 기반의 영상 장치가 이에 해당한다고 합니다. 이런 타입의 Sender에 적용되는 Network Compatibility Model과 Virtual Receiver Buffer Model의 C_{max} 및 VRX_{full} 는 다음의 식으로 계산됩니다.

$$C_{max} = MAX(16, INT(\frac{N_packets}{21600 \times T_frame}))$$

$$VRX_{full} = MAX(INT(\frac{1500 \times 720}{MAXIP}), INT(\frac{N_packets}{300 \times T_frame}))$$

	C_{max}	VRX_{full}
Type N	4	8
Type NL	4	8
Type W	16	720

표 1. 1080i 59.94Hz 비디오의 C_{max} 와 VRX_{full}

각 sender 타입에 따른 C_{max} 및 VRX_{full} 계산식을 알아보았으며, 예로 [표 1]에 국내 HD 방송 표준인 1080i 59.94Hz 비디오의 C_{max} 와 VRX_{full} 값을 계산해 보았습니다.

지금까지 적지 않는 내용이 설명되었습니다. 그렇다면 위에서 나열한 각 Sender 타입에서 정의한 C_{max} 와 VRX_{full} 값을 가지고 뭘 어떻게 하는 걸까요? 대답은 간단합니다. Network Compatibility Model과 Virtual Receiver Buffer Model에 C_{max} 및 VRX_{full} 값을 대입한 후 T_drain과 sender 타입에 따른 Packet Read Schedule에 따라 버퍼에서 패킷이 빠져나가는 시뮬레이션을 통해 sender에 의해 버퍼에 오버플로우나 언더플로우가 나는지 가상 실험을 하는 것입니다. 만약 이 가상 실험에서 버퍼에 문제가 생기면 해당 sender는 SMPTE ST 2110-21을 준수하지 못하는 sender가 됩니다.

지금까지 SMPTE ST 2110-21에 대해 알아보았습니다.

다음 연재에서도 SMPTE ST 2110 계열의 또 다른 표준들에 관해 계속 다루겠습니다. 📺