

디지털 비디오의 시작 - 1

Digital Video Signal 개요

시작하기 앞서

사람들은 디지털 텔레비전을 뭔가 아주 과학적이고 심지어는 복잡한 것으로 생각하는 경우가 많다. 그러나 최종 결과를 살펴보면 예전부터 존재했던 무엇인가가 있음을 알 수 있다. 그것은 바로 텔레비전 엔지니어들이 처음부터 추구해 온, 예술가의 성능을 관객에게 전달하기 위한 비디오와 오디오의 품질을 더욱더 향상시키기 위한 노력이다. 디지털 텔레비전에 있어 새로운 점은 여기저기서 메시지를 얻는 방식뿐이다.

프로그램 비디오, 디지털 오디오, 그리고 관련 보조 데이터 신호 모두가 디지털 텔레비전 신호를 이룬다. 이젠 웬지 아주 먼 과거로 느껴지는 아날로그 세계의 텔레비전에서는, 비디오와 오디오는 소스에서 가정의 텔레비전 수상기에 이르기까지 완전히 별개의 경로에서만 존재할 수 있다. 하지만 디지털 신호는 훨씬 더 자유롭게 비디오, 오디오 및 다른 신호들을 하나의 데이터 스트림으로 구성할 수 있다.

원하는 것을 추출하기 위해 데이터를 어떻게 구성하는가, 이것이 우리가 알아야 하는 전부이다.

UHD 기술의 설명에 앞서 이번 호에선 디지털 방송 데이터 구성에 대하여 다시 한 번 생각할 수 있는 시간을 가지고, 순차적으로 SD, HD, Dual Link, 3G, 4K/UHD에 대하여 설명하도록 하겠다.

컴포넌트 디지털 비디오

디지털 비디오는 그 기본 형태에 있어, 비디오 및 필요로 하는 보조 데이터의 변화를 수용하기에 충분히 빠른 숫자 데이터를 가진 아날로그 전압의 수치 표현이다.

초기 아날로그 특수효과 장비 설계자들은 프로세싱 중에 적, 녹, 청 비디오 채널을 가능한 한 분리하는 것이 유리하다는 점을 인지하였다. NTSC 및 PAL 부호화/복호화 프로세스는 투명하지 않으며 여러 번의 부호화 및 복호화는 점진적으로 신호의 품질을 저하시킨다.

카메라의 신호는 독립 채널의 적, 녹, 청 정보로 시작하며, 가정으로의 전송을 위해 이를 NTSC 또는 PAL로 부호화하기 전에 형식을 가능한 한 적게 생성하면서 시스템을 통해 이 신호들을 처리하는 것이 가장 좋다. 그러나 세 가지의 대등한 채널 정보를 텔레비전 장치를 통하여 처리하는 것에는 논리적 및 현실적 문제가 있다. 실질적



그림 1. 아날로그 전압 신호(웨이브폼) 표현과 전압의 수치 표현(디지털 비디오 데이터)

으로 이 세 가지 신호들은 하나의 와이어 또는 일반적으로 하나의 동축케이블에 공존하여야 한다. 따라서, 적, 녹, 청 비디오 채널의 세 가지 컴포넌트를 Luma 및 두 색차 신호로 이루어진 보다 효율적인 세트로 간단히 행렬화 할 수 있다. 즉, 그 각각을 디지털화하고, 단일 동축 케이블 상에 데이터를 다중화할 수 있다. SDI(Serial Digital Interface) 디지털 비디오가 하나의 물리적 케이블에서 처리되어 혼동이 올 수 있지만, SDI 디지털 비디오는 컴포넌트 성분이 존재하는 신호이다.

현재 우리는 고속의 숫자 데이터 스트림을 처리할 수 있다. 이 데이터 신호에 NTSC 또는 PAL 비디오 신호의 5~6MHz 에너지보다 훨씬 빠른 속도로 변하는 에너지가 들어 있더라도, 상당히 먼 거리에서도 손실 없이 그리고 훨씬 적은 유지 보수 작업으로 이를 처리할 수 있으며 비디오 신호가 디지털 도메인에 있다면, 개별 프로세싱을 위해 그 컴포넌트를 쉽게 추출하여 추가 손실이나 채널 간의 상호 작용 없이 디지털 도메인에서 이들을 다시 결합시킬 수 있다.

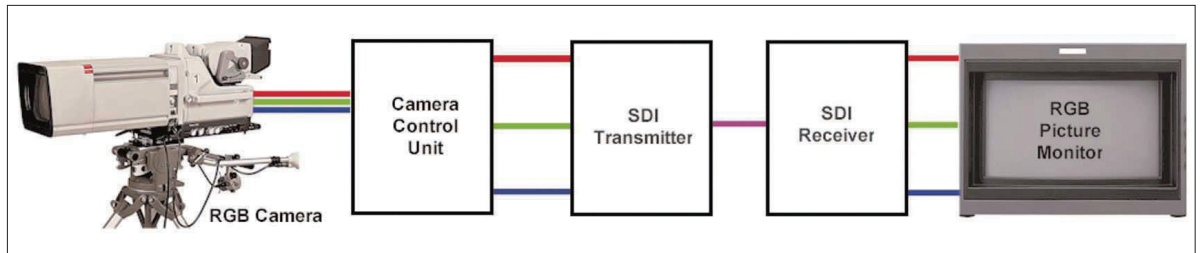


그림 2. 디지털 전송으로 아날로그 신호 저하를 피할 수 있다.

컴포넌트 디지털 부호기 및 복호기를 대체하면, 위 그림처럼 접속도가 복잡하지 않으며 성능이 보다 우수해진다. 현재 단일 동축 케이블의 에너지는 표준 화질 신호(SD)의 경우 270Mb/s의 데이터 전송률을 가지며, 고화질 신호(HD) 경우 1.485Gb/s 또는 그 이상이다.

R'G'B' 에서 Luma 및 색차 신호로 변환

비디오 컴포넌트인 적, 녹, 청은 카메라 픽업 디바이스에서 비롯된 것이며 비디오 컬러 관리 시 조작자들이 거의 항상 사용하고 있다. 그러나 RGB는 세 가지 모든 컴포넌트가 동일한 대역폭이어야 하므로 비디오 프로세싱 중 이미지 전달에 있어 대역폭 효율이 가장 우수한 방법은 아니다. 인간의 시각은 색상의 변화보다 휘도의 변화에 보다 민감하므로, 전 대역폭 luma 정보를 유도하여 나머지 가용 대역폭에 색차 정보를 할당함으로써 대역폭 효율을 향상시킬 수 있다.

비디오 신호 컴포넌트들을 luma 및 색차 값으로 처리하면 전달되어야 할 정보량을 줄일 수 있다. 하나의 전 대역폭 luma 채널 (Y')이 밝기 및 신호의 상세 정보를 묘사하게 하면, 두 색차채널들 (R'-Y' 및 B'-Y')을 대략 luma 채널 대역폭의 절반으로 제한할 수 있으며 또한 충분한 색상 정보를 제공할 수 있다. 이로써 간단한 선형 행렬로 R'G'B' 및 Y', R'-Y', B'-Y' 간의 변환이 가능하다. 색차 채널들의 대역폭 제한이 행렬에 따라 이루어진다. 채널들이 디스플레이용 R'G'B' 아날로그 부호화에 흔히 쓰이는 Y', R'-Y', B'-Y'로 복원될 때, 밝기 상세 정보가 전 대역폭에 복원되며 공간 색상 상세 정보는 적절한 방식으로 제한된다. 다음의 [표 1]은 부호기 및 복호기에서 일어나는 R'G'B'에서 Y', R'-Y', B'-Y'로의 변환 과정을 다루고 있다.

감마 보정 R'G'B' 컴포넌트들은 행렬화되어 감마 보정 컴포넌트 luma, 지정 Y' 및 두 색차 컴포넌트를 생성한다. luma 및 색차 컴포넌트들은 R', G' 및 B'에서 [표 1]에 나와 있는 값들로 유도된다(각 계수의 단위는 볼트임).

[표 1]은 R'G'B'에서 Y', (R'-Y'), (B'-Y')로의 변환에 대한 전압 범위를 보여준다. Luma 신호는 0~700mV의 동적 범위를 가지고 있으며, 색차 신호 R'-Y' 및 B'-Y'는 여러 컴포넌트 형식으로서의 변환에 대한 스케일링 함수에 따라 동적 범위가 다를 수 있다. Y'P'bP'r로 표시된 아날로그 컴포넌트 형식은 스케일되므로 두 색차 값은 $\pm 350\text{mV}$ 의 동적 범위를 가지게 된다. 이로써 비디오 신호 프로세싱이 더욱 간단해진다. 아날로그 Y'P'bP'r 값들은 오프셋되어 디지털 표준에 일반적으로 쓰이는 Y'C'bC'r 값들을 생성하게 된다. 그 결과인 비디오

아날로그 인코딩에 흔히 쓰이는 Y', R'-Y', B'-Y'

형식	1125/60/2:1, 720/60/1:1	525/59.94/2:1, 625/50/2:1, 1250/50/2:1
Y'	$0.2126 R' + 0.7152 G' + 0.0722 B'$	$0.299 R' + 0.587 G' + 0.114 B'$
R'-Y'	$0.7874 R' - 0.7152 G' - 0.0722 B'$	$0.701 R' - 0.587 G' - 0.114 B'$
B'-Y'	$-0.2126 R' - 0.7152 G' + 0.9278 B'$	$-0.299 R' - 0.587 G' + 0.886 B'$

Y', P'b, P'r 아날로그 컴포넌트

형식	1125/60/2:1 (SMPTE 240M)	1920 x 1080 (SMPTE 274M) 1280 x 720 (SMPTE 296M)	525/59.94/2:1, 625/50/2:1, 1250/50/2:1
Y'	$0.212R' + 0.701G' + 0.087B'$	$0.2126R' + 0.7152G' + 0.0722B'$	$0.299R' + 0.587G' + 0.114B'$
P'b	$(B'-Y') / 1.826$	$[0.5 / (1 - 0.0722)] (B'-Y')$	$0.564 (B'-Y')$
P'r	$(R'-Y') / 1.576$	$[0.5 / (1 - 0.2126)] (R'-Y')$	$0.713 (R'-Y')$

디지털 정량화를 위해 스케일되고 오프셋된 Y', C'b, C'r

형식	1920x1080 (SMPTE 274M) 1280x720 (SMPTE 296M)	525/59.94/2:1, 625/50/2:1, 1250/50/2:1
Y'	$0.2126 R' + 0.7152 G' + 0.0722 B'$	$0.299 R' + 0.587 G' + 0.114 B'$
C'b	$0.5389 (B'-Y') + 350 \text{ mV}$	$0.564 (B'-Y') + 350 \text{ mV}$
C'r	$0.6350 (R'-Y') + 350 \text{ mV}$	$0.713 (R'-Y') + 350 \text{ mV}$

표 1. Luma 및 chroma 비디오 컴포넌트

컴포넌트는 단색 비디오 신호와 유사한 Y' 또는 luma 채널이며, 디지털 데이터로 정량화하기에 모두 적절히 스케일된, 밝기 정보 없이 색 정보를 전달하는 두 색차 채널인 C'b 및 C'r이다.

디지털 비디오 인터페이스

아날로그 세계의 비디오를 연결하는 디지털 인터페이스를 이 시점에 간단히 살펴볼 필요가 있다. [그림 3~5]의 블록 다이어그램들이 비디오 제작 장비가 디지털 컴포넌트 비디오 신호들을 어떻게 다루는지를 이해하는데 도움이 될 것이다. 이 블록 다이어그램들은 표준 화질(SD) 시스템을 묘사하고 있지만, 고화질 형식에 대한 개념을 갖추고 있다. 고화질 형식(HD)의 경우, 샘플링 및 데이터 전송률이 훨씬 빠를 것이며 빠른 데이터 전송률로 작동하는 회로의 크기를 최소화하기 위하여 시스템 전체에 걸쳐 luma 및 chroma에 대한 별개의 10비트 버스를 유지하여야 할 수도 있다.

감마 보정 RGB[그림 3]는 선형 행렬에서 luma 컴포넌트인 Y', 그리고 두 스케일된 색 컴포넌트인 P'b 및 P'r로 변환된다. 인간의 눈은 색상의 변화보다 밝기(디테일)의 변화에 더욱 민감하므로, 이는 시스템을 통해 Y' 신호가 높은 대역폭(표준 화질의 경우 5.5MHz)에서 전달된다. luma 및 색 신호는 저역 통과 필터를 거쳐 샘플링(디지털라이징) 프로세스에서 앨리어싱을 일으킬 수 있는 높은 비디오 주파수들을 제거하게 된다. 여과된 luma 신호는 아날로그 대 디지털 변환기에서 SD 신호의 경우 13.5MHz의 속도로 샘플링되어 13.5Mb/s의 10

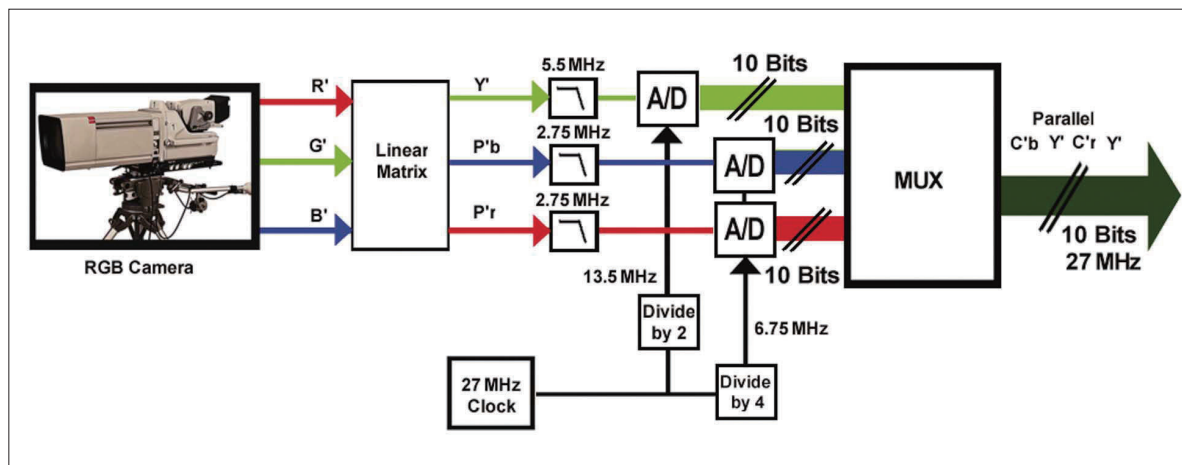


그림 3. RGB 비디오 신호의 디지털화

비트 데이터 스트림을 생성한다. 두 색 채널은 여과된 다음, 아날로그 대 디지털 변환기에서 6.75MHz의 속도로 샘플링되어 6.75Mb/s의 두 데이터 스트림을 생성한다. 세 가지 비디오 채널이 다중화되어 27Mb/s(SD)의 단일 10비트 병렬 데이터 스트림을 생성하게 된다.

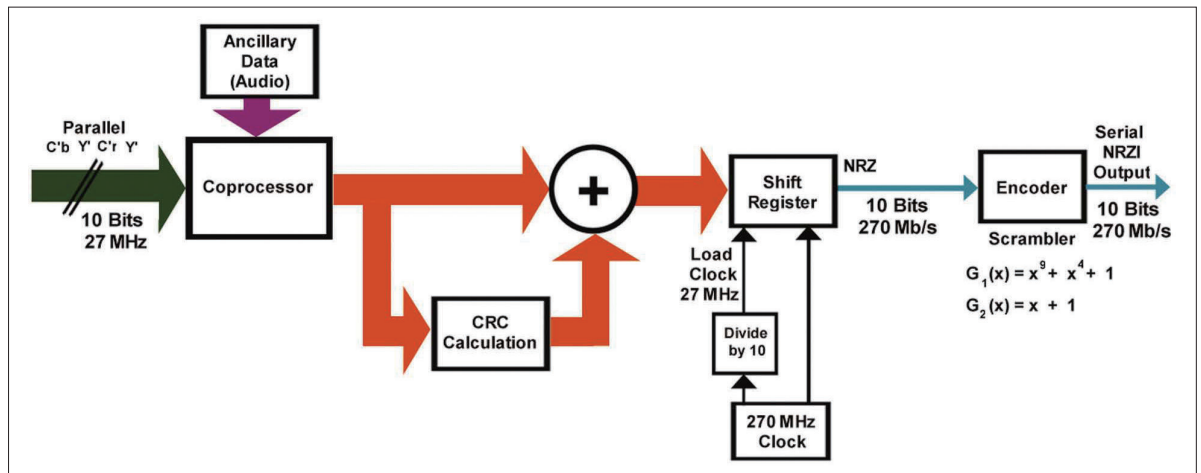


그림 4. 병렬 데이터 스트림의 프로세싱(Processing) 및 직렬화(Serializing)

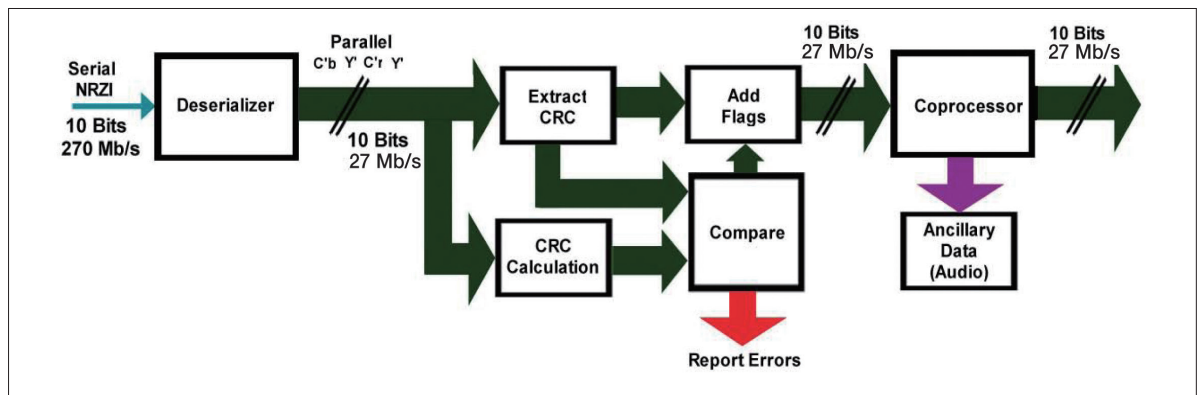


그림 5. SDI 수신기-비디오 데이터를 병렬로 변환시킴

보조 처리기[그림 4]를 사용하여 타이밍 레퍼런스 신호, AES/EBU 형식 디지털 오디오, 기타 보조 데이터를 추가한다. 데이터에 대한 체크섬(checksum)을 계산하여 병렬 데이터 스트림에 추가한다. 그런 다음, 27Mb/s, 10비트 병렬 데이터가 쉬프트 레지스터 또는 직렬 변환기로 로드되어, 본 예에서는 270Mb/s의 속도로 클럭되고 표준 화질 ITU-R.BT-656/ SMPTE 259M에 준하는 효율적인 전송을 위해 스크램블 된다.

수신기에서 [그림 5] 반 클럭 주파수의 에너지가 감지되어 인입되는 270Mb/s 데이터 신호에 적절한 아날로그 등화가 적용된다. 새로운 270MHz 클럭이 NRZI 신호 단에서 복구되고, 등화 신호가 샘플링되어 그 로직 상태를 결정하게 된다. 직병렬 변환기는 부호기의 스크램블링 알고리즘에 맞는 알고리즘을 이용하여 데이터를 해독하고 27Mb/s의 10비트 데이터 스트림을 출력한다. 수신기가 내장된 체크섬을 추출하여 수신 데이터에서 생성한 새로운 체크섬과 비교한 다음 오류를 보고하고 데이터 스트림에 고유의 플래그를 추가하며 보조 처리기는 오디오 또는 기타 보조 데이터를 추출한다.

요약하며

UHD 방송 서비스를 준비/설치/시작까지 특별한 이슈 없는 순조로운 진행을 위해 가장 기본이 되는 디지털 비디오 신호 개요를 설명하였고, 시리얼 디지털 인터페이스(SDI)에 대한 추가 상세 정보 및 기타 SDI 신호의 물리적 특성(Jitter, Eye Diagram)은 다음 호에 순차적으로 설명하여, UHD 기술을 이해하기 위한 기본 정보를 줄 수 있길 기대한다. 📺