

HDTV용 영상 처리 장치의 설계 및 ASIC 구현

한 동 일
LG 전자 DTV 연구소

1. 서론

기존의 아날로그 방식인 NTSC나 PAL 방식의 TV 방송 방식에 비해서 일본의 고선명 텔레비전 전송 방식인 MUSE(Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding)나 미국의 HDTV는 고 음질 및 고 화질의 음향과 영상을 제공함으로써 시청자에게 새로운 서비스를 제공하고 있다. 특히 미국의 HDTV는 8-VSB, MPEG과 Dolby AC-3에 기초한 완전 디지털 방식의 고선명 텔레비전 방송 방식을 사용하고 있다. 미국은 완전 디지털 방식의 방송 규격을 채택함으로써 다채널 방송, 데이터 방송, 다 포맷 방송 등 다양한 형태의 방송을 제공하고 있으며 현재 미국 뿐만 아니라 캐나다, 한국, 대만, 그리고 아르헨티나에서도 미국 방식의 방송 규격을 채택하고 있다. 특히 기존의 NTSC 방송에 비교하여 디지털 방송 방식은 압축 기술을 이용하여 CD 수준의 고 음질을 제공하고 6배 이상의 영상 해상도를 가지는 고품위의 영상을 기존의 NTSC용 대역폭(6MHz)을 이용하여 전송할 수 있다. 특히 미국형 HDTV의 경우 다양한 프레임 율(frame rate)의 영상을 포함하여 18 가지의 고 화질(High Definition) 및 표준 화질(Standard Definition) 영상[1]을 전송한다. 그리고 디스플레이 기술의 발전에 의해서 기존의 CPT(Color Picture Tube) 뿐만 아니라 프로젝션 TV, LCD(Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), PALC(Plasma Addressed Liquid Crystal) 등 다양한 종류의 디스플레이 장치가 개발되고 있으며 추후 고선명 TV(HDTV)의 디스플레이 장치로 사용될 예정이다.

기존의 CPT나 프로젝션 TV 등은 다양한 해상도의 영상을 디스플레이 할 수 있으나 깜박임 주파수(flicker frequency)를 고려할 때 60Hz 이상의 필드 율(field rate)로 디스플레이 할 필요가 있다. 또한 LCD, PDP 등의 디스플레이 장치들은 제한된 해상도의 디스플레이만이 가능하다. 그러므로 다양한 프레임 율과 해상도로 입력되는 영상들을 사용되는 디스플레이 장치에 적절하게 디스플레이 하기 위해서는 영상 포맷 변환[2-

4](image format conversion) 과 프레임 율 변환(frame rate conversion)을 수행하여야 한다. 또한 비월 주사 형태로 입력된 영상을 순차 주사 형태의 디스플레이 장치에 디스플레이 하거나 매우 큰 비율로 포맷 변환을 수행하기 위해서는 순차 주사화[5-10](de-interlacing) 과정을 수행하여야 한다. 이러한 변환들을 수행하기 위해서는 MPEG 복호화(decoding) 된 영상을 디스플레이 형태로 변환시키는 별도의 영상 처리 장치가 필요하다. 고품위의 영상 출력을 위해서는 74.25MHz 영상 처리 속도[11]가 필요하며 FIR 필터링, 색 좌표 변환(color space conversion), D/A 변환 등의 부가적인 기능도 수행하여야 한다. 이러한 고속 처리를 수행하고 HDTV를 상용화 하기 위해서는 앞서 언급한 기능들을 ASIC으로 구현하는 것이 필수적이다. 본 고에서는 포맷 변환 장치를 포함한 여러 종류의 영상 변환 장치를 ASIC으로 구현한 방법에 대해서 논의하고자 한다.

2. 시스템 구성

그림 1에 HDTV용 영상 처리 장치(Video Display Processor: VDP)의 구성도를 나타내었다. 그림 1에 나타난 바와 같이 HDTV용 VDP는 ATV 인터페이스 부, NTSC/VGA 인터페이스 부, 그래픽 데이터 인터페이스 부, SDRAM 인터페이스부, 순차 주사 변환부와 프레임 율 변환부를 포함하는 포맷 변환부, PIP 변환부, PIP 제어부, 색 좌표 변환부, 그래픽 처리부, D/A 변환부 등으로 이루어져 있다. 그리고 최종 출력 포맷은 1920x1080 30Hz 비월 주사 방식으로 출력한다.

미국형 HDTV에서는 표 1과 같은 포맷[1]의 영상을 허용하고 있다. 다양한 영화 프로그램을 제공하기 위하여 24Hz의 영상 입력을 허용하고 있으며 순차 주사 방식과 비월 주사 방식의 영상을 동시에 허용하고 있다. 또한 59.94Hz 와 60Hz 계열의 프레임 율을 동시에 허용하고 있다. ATV 인터페이스 부는 MPEG MP@HL 비디오 디코더로부터 출력되는 매크로 블럭(Macro block)

HDTV용 영상 처리 장치의 설계 및 ASIC 구현

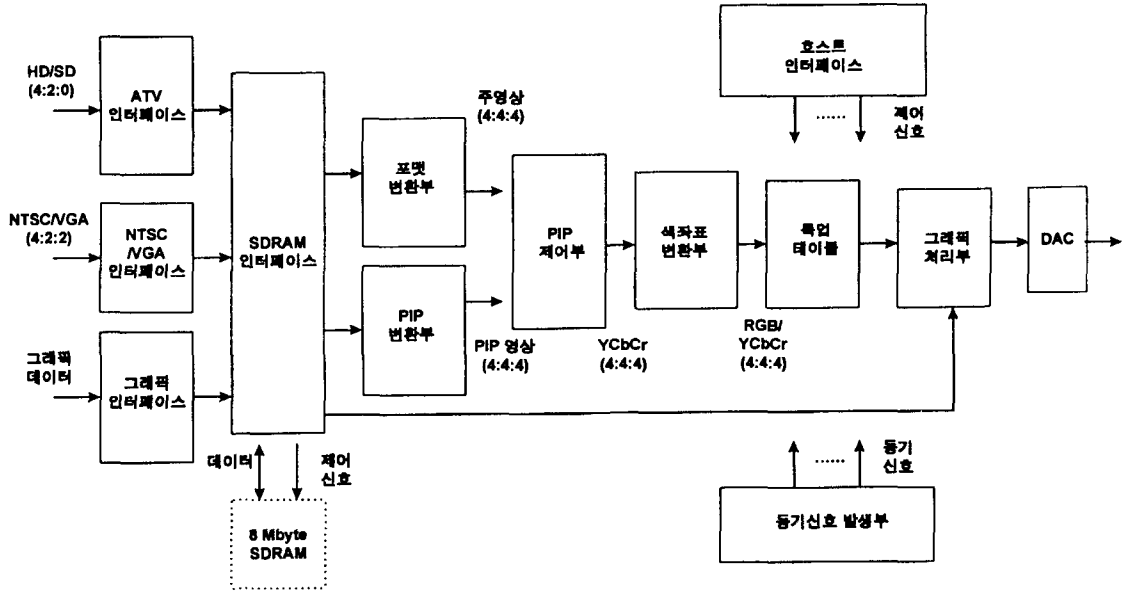


그림 1. HDTV용 VOP의 구성도

표 1. 허용되는 HDTV 영상 포맷(4:2:0 chrominance format)

해상도(HxV)	프레임 울(frame rate)	화면비(Aspect ratio)	주사방식(Scan type)
1920×1280	30Hz, 24Hz 30Hz	16:9 16:9	순차 주사 비월 주사
1280×720	60Hz, 30Hz, 24Hz	16:9	순차 주사
704×480	60Hz, 30Hz, 24Hz 30Hz	16:9 or 4:3 16:9 or 4:3	순차 주사 비월 주사
640×480	60Hz, 30Hz, 24Hz 30Hz	4:3 4:3	순차 주사 비월 주사

표 2. NTSC/VGA 입력 영상 포맷(4:2:2 chrominance format)

해상도(HxV)	프레임 울(frame rate)	화면비(Aspect ratio)	주사방식(Scan type)
720×480(NTSC)	30Hz	4:3	비월 주사
720×480(DVD)	30Hz	4:3	비월 주사
768×480(NTSC)	30Hz	4:3	비월 주사
768×480	60Hz	4:3	순차 주사
640×480(VGA)	60Hz, 72Hz	4:3	순차 주사
1024×768(VGA)	60Hz	4:3	순차 주사

으로 구성된 표 1과 같은 종류의 영상을 입력 받아서 디스플레이 형태에 따라서 영상을 줄여서 SDRAM(Synchronous DRAM)에 저장한다. HDTV 시스템의 경우 MPEG에 기초한 디지털 영상 뿐만 아니라 기존의 아날로그 NTSC 영상을 동시에 제공할 필요가 있다. 또한 다양한 멀티미디어 환경을 제공하기 위해서는 DVD나 VGA 영상 등을 제공할 수 있어야 한다. 이를 위하여 HDTV용 VDP는 NTSC/VGA 인터페이스를 두고 있으며 표 2와 같은 다양한 아날로그 영상 신호를 처리할 수 있다.

그래픽 처리부는 호스트 프로세서로부터 그래픽 데이터를 입력 받아서 그래픽 처리부가 읽어 갈 수 있도록 SDRAM에 저장하는 역할을 수행한다. 영상 처리에 필요한 데이터 입출력 속도를 얻기 위해서 7425MHz로 입출력 가능한 16 x 1M bit의 SDRAM 4개를 병렬로 구성하였으며 DTV와 NTSC/VGA 영상, 그래픽 데이터를 저장하는 역할을 수행한다. HDTV 영상의 경우 프레임 을 변환을 위해서 2 프레임의 영상을 저장하며 NTSC 영상의 경우 순차 주사 변환을 위해서 2 프레임의 영상을 저장한다. 각각의 영상을 저장하기 위해서 사용되는 메모리 양과 데이터 처리 비율을 표 3과 표 4에 나타내었다.

2.1. 포맷 변환기

포맷 변환기는 순차 주사 변환부, 수직 포맷 변환부, 수평 포맷 변환부, 그리고 경계 부분의 영상을 강조하기 위한 FIR 필터로 이루어져 있다. 출력 영상의 해상도가 1920x1080으로 입력 영상의 해상도보다 높으므로 영상 신호의 주파수 대역을 제한하기 위한 필터는 사

표 3. 메모리 사용량

Data Types	Data Size(Mbytes)	usage(%)
ATV 2 frames	6.267	74.7
NTSC 2 frames	1.475	17.6
Graphics data	0.524	6.3
Total	8.266	98.5

표 4. 총 메모리 사용 비율

Data Types	Data Bandwidth(Mbytes/sec)	usage(%)
ATM input	99.5	16.8
Main display	199.1	33.6
NTSC input	26.5	4.5
PIP output	26.5	4.5
Graphics data	74.6	12.6
Total	426.3	72.0

용할 필요가 없다. 그림 2에 나타낸 바와 같이 2-탭의 선형 보간 필터를 이용하여 수직 방향과 수평 방향으로 선형 보간을 수행하면 포맷 변환을 수행할 수 있다.

그림 2-(a)와 2-(b)에 각각 3:8 포맷 변환과 2:5 포맷 변환 예를 나타내었다. 3:8 포맷 변환 시에는 x/8 연산이 사용되는데 이 연산은 shift right 연산(SHR)으로 간단히 구현된다. 2:5 포맷 변환 시에는 x/5 연산이 사

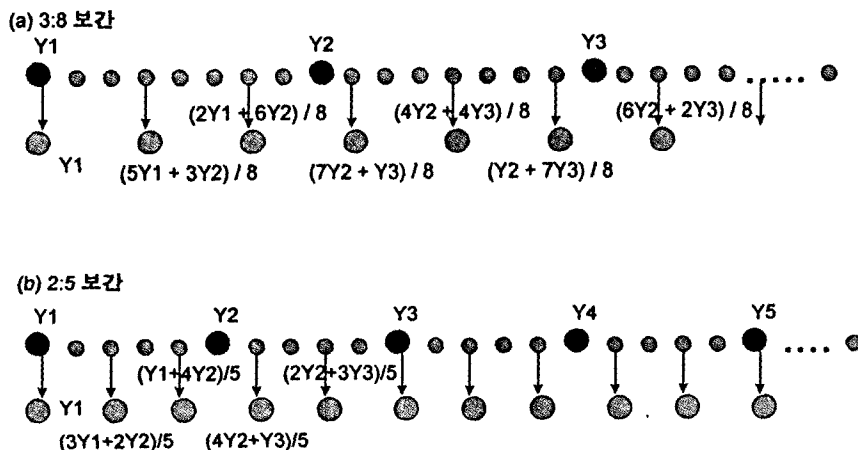


그림 2. 보간 예

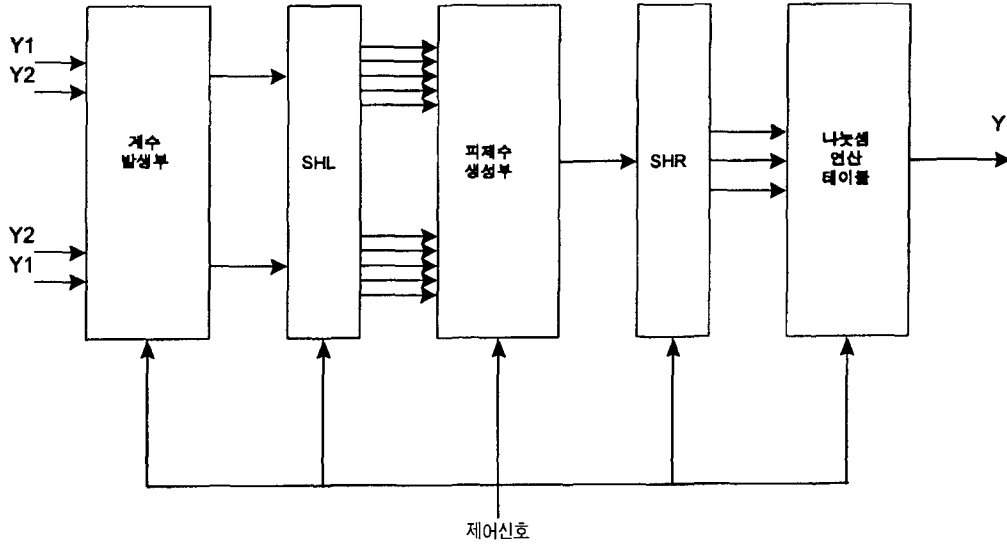


그림 3. 휘도 성분 보간부

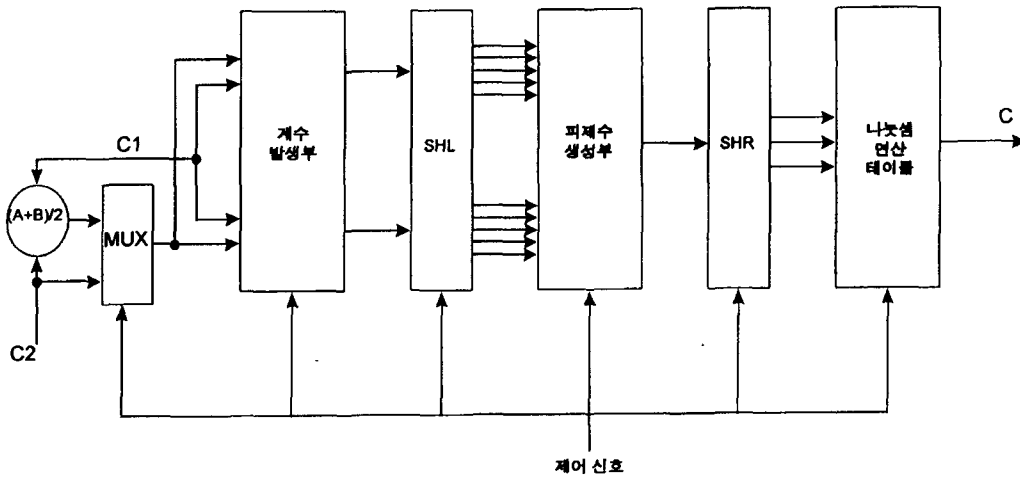


그림 4. 색 성분 보간부

용되는데 이 연산은 하드웨어로 간단히 구현하기 힘들며 입력에 대한 출력 값을 테이블 형태로 저장한 별도의 나눗셈 연산 테이블을 이용하여 나눗셈을 수행한다. 그리고 입출력 포맷 변환 비에 따라서 SHR 연산기와 나눗셈 연산 테이블이 동시에 사용되기도 한다. 피제수 부분은 두개의 휘도 성분 화소에 대해서 계수가 주기적으로 곱하여 지는 형태를 취한다. 그러므로 계수 발생부와 shift left 연산기(SHL)를 이용하여 주기적으로 발생시킬 수 있는 다양한 계수를 발생시킨다. 그리고 피

제수 발생부는 제어 신호에서 입력되는 계수 중에서 적절한 계수를 취함으로써 입력되는 휘도 성분 화소로부터 원하는 출력 화소를 생성해 낼 수 있다.

휘도 성분에 대한 포맷 변환부를 그림 3에 나타내었다. 4:2:2로 샘플링[12] 된 색 신호를 4:2:2 형태로 출력할 때에는 그림 3에 나타낸 블럭을 색 성분에 대해서 동일하게 적용할 수 있으나 4:4:4 형태로 출력할 때에는 부가적인 처리가 필요하며 그림 4에 나타낸 바와 같이 평균치 발생부를 추가함으로써 구성할 수 있다.

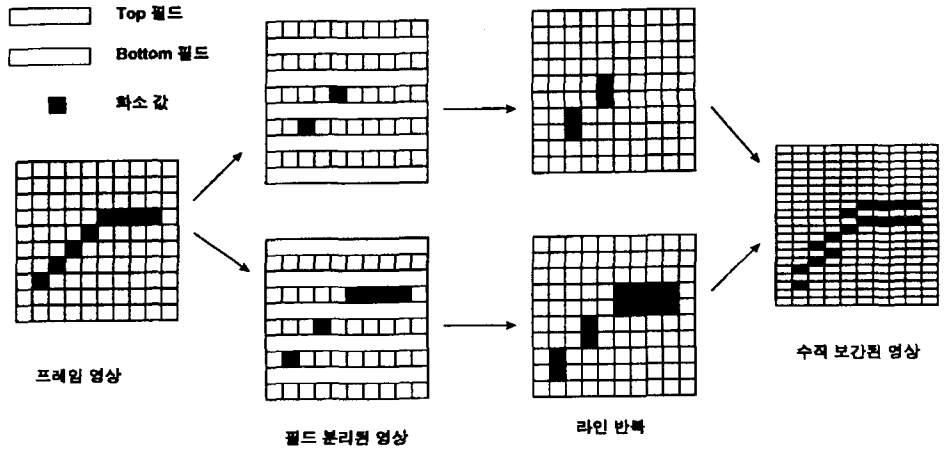


그림 5. 비월 주사 영상에서의 포맷 변환

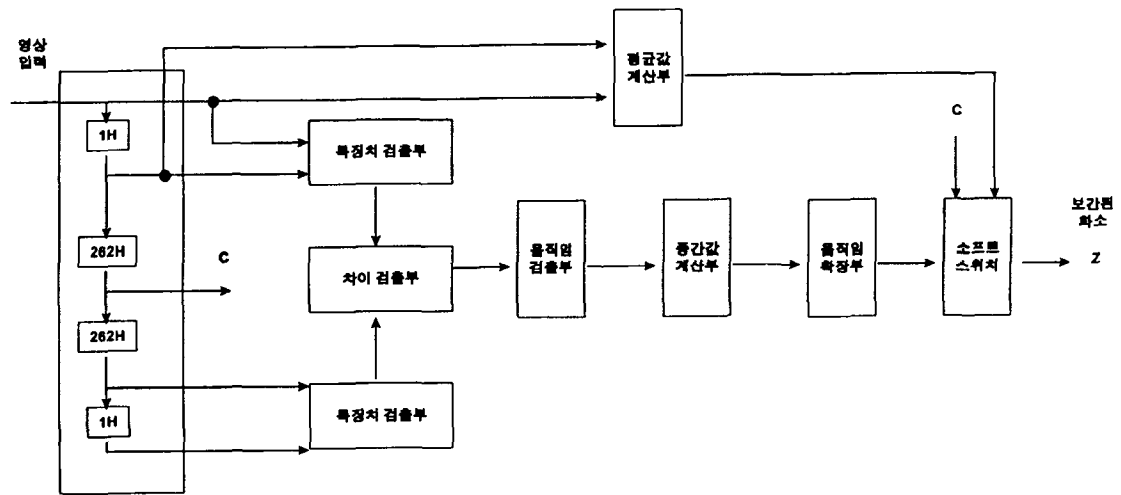


그림 6. 순차 주사화부

2.2. 순차 주사화부(De-interlacer)
 순차 주사화부는 비월 주사 방식의 표준 화질(SD) 영상이나 NTSC 영상들을 고화질(HD)의 영상으로 변환시킬 때에 꼭 필요한 부분이다. 비월 주사 방식의 영상은 영상의 신호 대역을 압축함으로써 주어진 대역폭을 효과적으로 사용하여 영상의 해상도를 높이는 방법으로 NTSC나 PAL 방식의 아날로그 방송 방식에서 효과적으로 사용되어 왔다. 그러나 비월 주사 방식의 영상은 순차 주사 방식의 영상에 비해서 매우 복잡한 포맷 변환을 필요로 한다. 그림 5에 비월 주사 방식의 영상을 수직으로 두 배의 해상도를 갖도록 변화시킬 때에 발생할 수 있는 문제점을 나타내었다. 순차 주사

방식의 영상의 경우에 사용할 수 있는 라인 반복 방법을 각 필드 영상에 대해서 수행한 다음에 프레임으로 구성하면 두 개의 직선으로 구성된 입력 영상이 지그재그 형태의 선으로 변형되게 된다. 이와 같이 순차 주사 방식과 동일한 포맷 변환 방식을 비월 주사 방식의 영상에 그대로 적용하면 심각한 화질 열화를 발생시킬 수 있다.
 이러한 문제를 해결하기 위해서는 먼저 비월 주사 방식의 영상을 순차 주사 방식의 영상으로 변환시키는 것이 필요하며 그 다음 필요한 포맷 변환을 수행하여야 한다. 순차 주사화를 효과적으로 수행하기 위한 다양한 방법[5-10]들이 제안되고 있으며 움직임 적응형

순차 주사화(Motion adaptive de-interlacing) 방법이 ASIC으로 구현 가능한 복잡도로써 좋은 성능의 결과를 제공해 준다.

그림 6에 HDTV용 VDP에 적용된 움직임 적응형 순차 주사화 방법을 나타내었다. 그림 7에 나타난 바와 같이 Tk에서의 'z' 값을 계산하기 위하여 Tk와 Ti에서 'a'와 'b' 값들로부터 움직임 검출에 필요한 특징치들을 추출한다. 각 특징치들의 차이로부터 각 화소에서 움직임의 존재 여부를 검출하게 된다. 이러한 방법으로 추출한 움직임 값은 잡음이 존재하게 되는데 중간값 필터를 이용함으로써 감소시킬 수 있다. 움직임 적응형 순차 주사화 방법은 움직임이 검출되면 Tk필드에 존재하는 'a', 'b' 화소를 이용하여 'z' 값을 생성하며 움직임이 없을 경우에는 Ti필드에 존재하는 'c' 값을 이용하여 'z' 값을 생성한다. 이때 움직임 검출부의 오차로 인해서 움직임을 틀리게 판단할 수 있는데 움직임이 없는 경우를 움직임이 있다고 판단하는 경우에는 현재 필드의 영상을 이용하므로 약간의 화질 열화만이 생기지만 움직임이 있는 경우에 움직임이 없다고 판단하면 다른 필드에 있는 영상 데이터를 가져옴으로써 심각한 화질 열화가 발생할 수 있다. 그러므로 이러한 경우를 방지하기 위하여 움직임 확장부를 이용한다. 움직임 확장부는 움직임의 유무를 판단하기 어려울 때에는 움직임이 존재하는 부분으로 설정하여 순차 주사화 과정에서 생길 수 있는 화질 열화를 최소화 시키는 역할을 수행한다. 소프트 스위치 부분은 움직임 검출 값의 의하여 'z' 값을 기준으로 위 아래 라인에서 계산된 현재 필드에서의 평균값과 이전 필드에 존재하는 'c' 값의 선형 결합으로 'z' 값을 계산하는 역할을 수행한다.

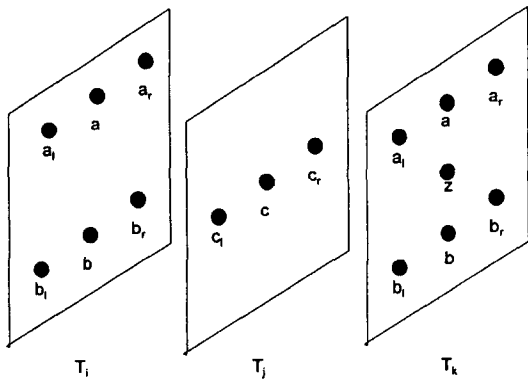


그림 7. Ti, Ti, 그리고 Tk에서의 필드 영상

2.3. PIP 변환부 및 디스플레이 제어부

NTSC와 PAL 방식과 같은 아날로그 방식의 TV에

서는 PIP 등의 기능을 구현하기 위해서는 추가적인 메모리를 필요로 한다. 그리고 메모리와 인터페이스를 위해서 별도의 A/D, D/A 변환기들을 필요로 하게 된다. 그러므로 이러한 기능을 갖는 아날로그 TV들은 부가 기능이 없는 TV에 비해서 매우 고가의 TV가 된다. 이에 반해 HDTV는 기본적으로 MPEG 복호화를 위하여 메모리를 필요로 한다. 그러므로 여분의 메모리를 효과적으로 이용하면 PIP, POP, Multi-PIP 등의 다양한 기능들을 별도의 비용 추가 없이 구현할 수 있다.

HDTV용 VDP에서는 HDTV 영상과 NTSC/VGA 영상을 동시에 입력 받아서 PIP 기능을 이용하여 동시에 디스플레이 가능하다. 이때 PIP용 영상은 ATV 인터페이스부나 NTSC/VGA 인터페이스부에서 PIP 디스플레이 크기로 줄여서 메모리에 저장하고 PIP 변환부에서는 원하는 디스플레이 시점에 메모리에서 읽어 내어 디스플레이 함으로써 메모리 사용 시 생길 수 있는 메모리 사용 폭주 현상을 방지할 수 있다.

2.4. 영상 변환부

HDTV에서는 효과적인 압축 및 영상 처리를 위하여 YCbCr 색 좌표(color space)[12]를 사용하고 있다. 인간의 눈은 휘도 성분에 비해서 색 성분에 훨씬 둔감하게 반응하므로 YCbCr 색 좌표계에서 색 신호 성분의 샘플 수를 휘도 성분에 비해서 줄임으로써 부가적으로 데이터 양을 줄일 수 있다. 그러나 대부분의 디스플레이 장치들이 RGB 색 좌표 영상을 요구하므로 색 좌표를 변환시킬 필요가 있으며 아래와 같은 행렬의 곱셈 연산을 하드웨어로 구성함으로써 구현 가능하다. SMPTE274M에서 정해진 표준 계수 값을 사용하는 HDTV 영상과는 달리 NTSC/VGA 영상들은 조금씩 다른 YCbCr/RGB 변환 계수들을 갖는다. 이를 위해서는 3X3 행렬의 계수 값을 조절 가능하도록 디자인해야 하며 HDTV용 VDP에서는 10비트를 이용해서 3X3 행렬의 계수를 구성할 수 있도록 하였다. SMPTE274M에서 정해진 YCbCr/RGB 영상 간의 변환식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} G \\ B \\ R \end{bmatrix} = \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 256 & -48 & -120 \\ 256 & 475 & 0 \\ 256 & 0 & 403 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ Cb-128 \\ Cr-128 \end{bmatrix}$$

위의 연산은 9 개의 곱셈기를 파이프 라인 구조로 구현하여 고속으로 곱셈이 가능하도록 구현하였다. 디스플레이 장치에 따라서 YCbCr 형태의 영상 입력을 필요로 하는 경우도 있으며 3X3 행렬의 계수 값을 다음과 같이 단위 행렬로 함으로써 다음과 같이 YCbCr 출력을 얻을 수도 있다.

$$\begin{bmatrix} G \\ B \\ R \end{bmatrix} = \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 256 & -48 & -120 \\ 256 & 475 & 0 \\ 256 & 0 & 403 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ Cb-128 \\ Cr-128 \end{bmatrix}$$

일반적으로 브라운 관을 사용하는 디스플레이 장치에서는 브라운관의 디스플레이 특성을 고려하여 카메라에서 역 보정을 취하기 때문에 영상 처리 장치에서 별도의 γ 수정이 필요 없지만 LCD나 PDP와 같은 디스플레이 장치를 이용할 경우는 별도의 γ 보정을 하여야 한다. 그리고 PDP와 같은 디스플레이 장치의 경우는 디스플레이 특성이 매우 비선형적이기 때문에 단순한 γ 값의 변경으로는 원하는 디스플레이 특성을 얻기가 어렵다. 그래서 HDTV용 VDP에서는 룩업 테이블(Lookup Table)을 이용하여 필요한 입력력 특성을 프로그래밍 할 수 있도록 설계하였다. 룩업 테이블 방식을 이용함으로써 기존의 아날로그 신호 영역에서 처리되던 밝기 조절(Brightness control), 명암 조절(Brightness control), 흑 레벨 신장(black level expansion), 자동 빔 제한(auto-beam limitation) 등의 기능도 디지털 영역에서 간단한 프로그램으로 쉽게 구현할 수 있게 되었다.

2.5. 그래픽 처리부

그래픽 처리부는 메모리에 저장되어 있는 그래픽 데이터를 영상과 함께 디스플레이 하는 역할을 담당한다.

최근 아날로그 TV의 경우에도 기존의 OSD(On-screen Display) 기능이 점점 화려해지고 있는 추세이나 HDTV의 경우는 현재 표준화 작업이 진행되고 있는 ATVEF 규격(Advanced Television Enhancement Forum Specification)을 구현하기 위해서는 PC 수준의 그래픽 기능이 요구되고 있으며 다양한 데이터 방송, 부가 기능 등을 그래픽 처리부를 이용하여 구현하여야 한다. 또한 HDTV에 대한 많은 규격 제정 작업들이 현재 진행 중에 있기 때문에 이러한 부분들은 하드웨어로 구현하지 못하고 그래픽 처리부의 기능을 보강하여 추후 소프트웨어로 처리를 하여야 한다. 또한 화상의 사용자 데이터(Picture user data)로부터 얻어지는 자막 데이터[13]를 입력 받아 이를 처리하는 기능도 수행하여야 한다. 이러한 기능들을 위하여 HDTV용 VDP에서는 그래픽 기능으로서 4/16/256 색상 및 실제 색상(true color)을 지원하며 영상 계층(video layer) 이외에 1개의 커서 계층(cursor layer) 및 2개의 독립적인 OSD 계층을 두고 있다. 영상의 해상도와 비교하여 그래픽 영상의 해상도는 최소 2x2 크기의 해상도를 가질 수 있다. 전 화면 실시간 애니메이션을 위해서는 540x960x60 byte/sec = 31Mbyte/sec의 데이터 전달 속도를 필요로 한다. 이를 고려하여 그래픽 데이터의 고속 입출력을 위해서 DMA(Direct Memory Access)를 지원하고 있으며 최대 36MByte/sec으로 그래픽 데이터를 전송할 수

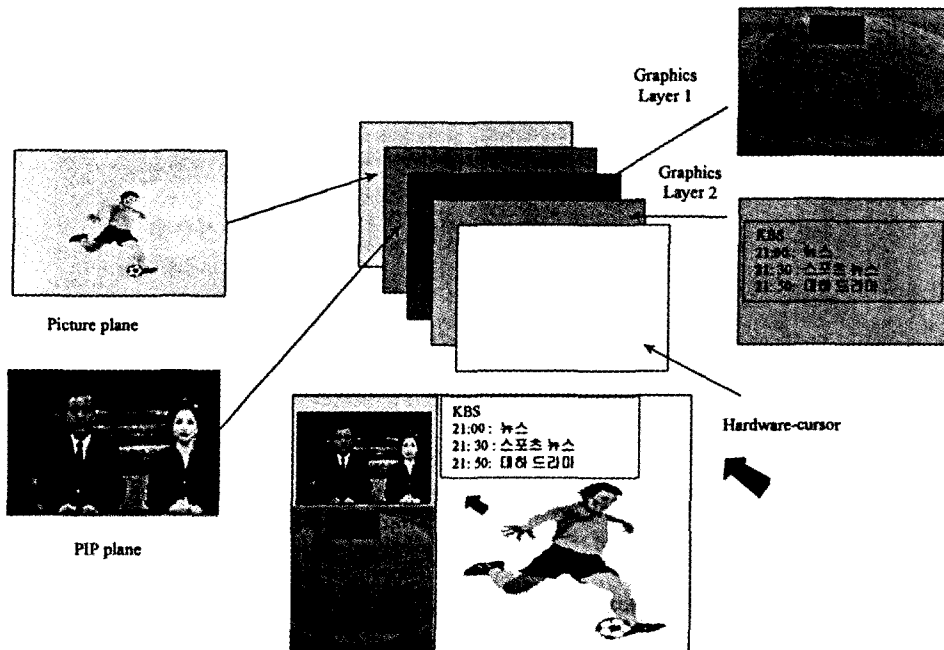


그림 8. 그래픽 영상의 예

있게 디자인 하였다. 그림 8에 그래픽 디스플레이 예를 나타내었다.

3. 결론

VHDL을 이용하여 제안한 알고리즘 및 영상 처리 방법들을 디자인하였으며 'Synopsys'를 이용하여 논리 합성(Synthesis) 하였다. VHDL 디자인을 검증하기 위하여 하드웨어 에뮬레이터(emulator)를 이용하였으며 대부분의 기능들을 에뮬레이터를 이용하여 검증하였다. 복수 개의 클럭을 사용함으로써 생기는 메타 안정성(meta-stability) 문제도 에뮬레이터를 이용하여 검증하였다. 테스트를 위한 회로를 첨가하여 최종적인 게이트 크기는 52만 게이트로 구현되었고 실리콘 다이 크기는 9.78mm x 9.78mm로 구현되었다. 0.35 μ m triple-metal

CMOS 공정으로 제작되었으며 304핀 PQ2 패키지가 사용되었다. 그림 9에 HDTV VDP의 레이아웃 도면(layout plot)을 나타내었다. 제작된 ASIC 칩은 현재 미국형 HDTV 방송 수신에 사용되는 Set-top Box 및 HDTV 세트에 사용되고 있다.

참고 문헌

1. ATSC Digital Television Standard A/53(1995)
2. Bhavesh Bhatt and et al., "Grand Alliance HDTV multi-format scan converter", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 41, no. 4, pp. 1020-1031, Nov. 1995.
3. Jae S. Lim, "A Proposal for an HDTV/ATV Standard with Multiple Transmission Formats",

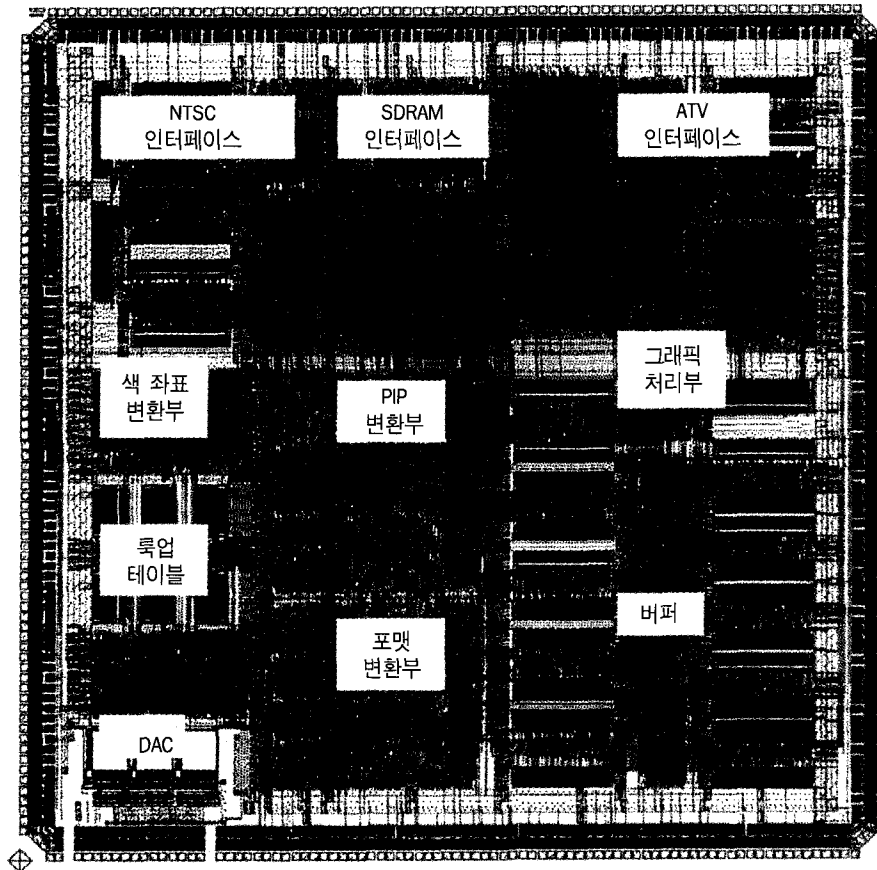


그림 9. HDTV용 VDP의 레이아웃 도면

- SMPTE Journal, Aug. 1993
4. Jae S. Lim, "Advanced Television System", U.S. Patent 5,508,746
 5. G. de Haan and P. W. A. C. Biezen. "Time-recursive de-interlacing for high-quality television receivers", Proc. of the Int. Workshop o HDTV and the Evolution of Television, November 1995, Taipai, Taiwan, pp. 8B25-8B33.
 6. Faroudja et al., "Improving NTSC to Achieve Near-RGB Performances", SMPTE Journal, pp. 750-761 Aug. 1987
 7. Faroudja et al., "Video scan converter including the modification of spatially interpolated pixels as a function of temporal detail and motion", U. S. patent 5,488,422.
 8. T. Doyle, "Interlaced to sequential conversion for EDTV applications", in proc. 2nd Int. Workshop Signal Processing of HDTV, Feb. 1988, pp. 412-430.
 9. C. J. Kuo, C. Liao and C. C. Lin, "Adaptive Interpolation Technique for Scanning Rate Conversion", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 6, no. 3 June 1996, pp. 317-321.
 10. L. Vanderdorpe et al. "Motion-compensated conversion from interlaced to progressive formats", Signal processing: Image communication 6, 1994, pp. 193-211.
 11. SMPTE 274M(1995), Standard for television, 1920 x 1080 Scanning and Interface
 12. ISO/IEC 13818-2:1996, Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video
 13. EIA-708: EIA Standard: Advanced Television Closed Captioning(1997)

필자소개



한동일

- 1988. 고려대학교 전자전공학부(학사)
- 1990. 한국과학기술원 전기 및 전자공학부(석사)
- 1995. 한국과학기술원 전기 및 전자공학부(박사)
- 1995 ~ 현재. LG전자 DTV연구소 책임 연구원
- 주관심 분야: HDTV, 영상 처리, ASIC 디자인