

---

# ±1LSB 이하의 오차를 가지는 복합 영상 부호화기의 설계 및 구현

김주현\* · 강봉순\*\*

## Design and Implementation of Video Encoder with Error less than ±1 LSB

Ju-Hyun Kim\* · Bong-soon Kang\*\*

---

본 논문에서 사용한 Synopsys사의 Design Analyzer와 Altera사의 software는 IDEC을 통해 지원 받았음.  
이 논문은 2003년도 동아대학교 교내학술연구비(공모과제)에 의해 연구되었음.

---

### 요 약

본 논문에서는 다양한 표준을 지원하는 NTSC, PAL 복합 영상 부호화기의 설계 및 구현에 관한 내용이다. 복합 영상 부호화기는 ITU-R BT.601 4:2:2, ITU-R BT.656, RGB중 하나의 입력을 받아서 NTSC, PAL등의 S-video 신호와 복합 영상 신호로 바꾸어 준다. 하드웨어 복잡도를 줄이기 위해서 곱셈기를 사용하지 않는 구조로 설계하였다. 명암 신호와 색차 신호를 위한 디지털 필터의 bit width는 하드웨어 설계 시 발생할 수 있는 오차를 1 least significant bit (LSB) 이하가 되도록 정하여 양질의 복합 영상 신호를 만들 수 있도록 하였다. 제안된 영상 부호화기는 Altera FPGA인 APEX20K600EBC652-3을 이용하여 실시간 검증을 수행하였다.

### ABSTRACT

This paper presents the design of a multi-standard NTSC/PAL video encoder. The encoder converts International Telecommunication Union-Recommendation (ITU-R) BT.601 4:2:2, ITU-R BT.656 or RGB inputs from various video sources into National Television Standards Committee (NTSC) or phase-alternate line (PAL) TV signals in both S-video and composite video baseband signals (CVBS). The encoder adopts multiplier-free structures to reduce hardware complexity. The hardware bit width of programmable digital filters for luminance and chrominance signals, along with other operating blocks, are carefully determined to produce high-quality digital video signals of 1 least significant bit (LSB) error or less. The proposed encoder is experimentally demonstrated by using the Altera APEX20K600EBC652-3 device.

### 키워드

CVBS, NTSC, PAL, Video encoder

### 1. 서 론

NTSC, PAL과 같은 TV 영상 신호를 전송하기

위해서 composite video baseband signals (CVBS) 신호를 사용한다. 복합 영상 부호화기는 컴포넌트 영상신호 (ex RGB or YCbCr)등을 입력 받아서 컴

---

\*동아대학교 전자공학과 박사과정  
접수일자 : 2004. 06. 11

\*\*동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 조교수

포지트 신호(ex NTSC, PAL)로 바꾸어 주는 역할을 한다. 여기서 RGB는 색상을 표현하기 위한 기본 요소인 빨강, 초록, 파랑을 나타내는 것이며, YCbCr은 명암신호인 Y와 색차신호인 Cb,Cr을 나타낸다. 디지털로 만들어진 복합 영상 부호화기는 성능에 가장 큰 영향을 미치는 필터를 프로그램화할 수 있고, 사용자에 의해서 여러 가지 동작모드를 선택할 수 있다는 장점이 있다[1]. 단점으로는 아날로그 출력을 위해서 CMOS DAC를 사용해야 하며, 영상신호의 대역폭인 6MHz의 필터 설계가 어렵다는 것이다[2,3].

디지털 복합 영상 부호화기는 다양한 표준입력 신호를 받을 수 있다. ITU-R BT.601 표준으로 입력 신호를 받을 경우 명암 신호인 Y는 13.5MHz의 디지털 데이터이고, 색차 신호인 CbCr은 6.75MHz의 디지털 데이터를 각각(Cb, Cr) 번갈아 가면서 13.5MHz의 신호로 만든 것이다. 이는 사람의 눈이 명암의 변화에는 민감하게 반응하지만 색상의 변화에는 덜 민감하기 때문에 이점을 이용하여 데이터를 압축했기 때문이다[4]. ITU-R BT.656은 BT.601의 샘플링 주파수인 13.5MHz를 2배 올려서 Y와 CbCr을 하나의 채널로 전송하는 방식이다[5]. 이를 사용하면 BT. 601를 사용했을 때 보다 데이터 전송에 필요한 채널 수를 반으로 감소시켜 IC의 입출력 핀수를 줄일 수 있다. CVBS 신호는 각 표준에 따라 특성이 상이하다. 이러한 신호에 대한 표준이 ITU-R BT.470이다[6]. 표 1은 각 표준에 대한 특징을 요약한 것이다. 3개의 NTSC와 8개의 PAL 신호는 color sub-carrier 주파수인 Fsc와 pedestal 크기가 상이함을 알 수 있다.

## II. 알고리즘

표 1과 같이 다양한 sub-carrier 주파수를 지원하기 위해서, 제안된 디지털 복합 영상 부호화기는 27MHz의 동작주파수를 사용한다. 입력 신호의 샘플링 주파수가 동작주파수 보다 낮기 때문에 interpolation 필터를 사용하여 샘플링을 높이게 된다. 표 1의 출력 포맷으로 바꾸기 위해서 입력되는 YCbCr 신호는 아래의 수식을 사용하여 YUV 신호로 변환된다. 아래의 수식은 모든 M,4.43/NTSC와 M,N/PAL 출력 포맷일 때 사용되는 수식이다[1].

표 1. CVBS의 각 표준 포맷  
Table. 1 Standard format for CVBS

| 출력 포맷             | Fsc(MHz)     | Pedestal Levels (IRE) | 해상도 (line×pixel) |
|-------------------|--------------|-----------------------|------------------|
| M/NTSC            | 3.5795454545 | 7.5                   | 525×858          |
| J/NTSC            | 3.5795454545 | 0                     | 525×858          |
| 4.43/NTSC         | 4.43361875   | 7.5                   | 525×858          |
| M/PAL             | 3.5756118881 | 7.5                   | 525×858          |
| B,D,G,H,I/PAL     | 4.43361875   | 0                     | 625×864          |
| N/PAL             | 4.43361875   | 7.5                   | 625×864          |
| Combination N/PAL | 3.58205625   | 0                     | 625×864          |

$$\begin{aligned}
 Y &= 0.591(Y - 16), \\
 U &= 0.504(Cb - 128), \\
 V &= 0.711(Cr - 128).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

수식 1은 보면 하드웨어 곱셈기를 사용해야만 구현할 수 있다. 곱셈기는 하드웨어 크기가 크므로 이를 사용하지 않고 구현하기 위해서 수식 2와같이 변환하였다.

$$\begin{aligned}
 Y &= \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{16} + \frac{1}{32}\right) \times (Y - 16), \\
 U &= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{256}\right) \times (Cb - 128), \\
 V &= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{64} + \frac{1}{128}\right) \times (Cr - 128).
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

수식 2에서 1/256은 (Cb-128) 값을 이진수로 표현하였을 때, 소수점을 아래로 8bit 내린 것을 의미한다. 다시 말해서 입력이 8bit이면 출력은 16bit (8bit정수, 8bit소수)가 된다. 이렇게 해서 곱셈기를 사용하지 않고, 덧셈기와 쉬프트만으로 수식 1을 구현할 수 있다.

복합 영상 부호화기에서 디지털 필터는 성능에 많은 영향을 미친다. 필터가 하는 역할은 신호대 잡음비를 높여 주고, 각 표준에서 허용하는 대역폭으로 CVBS신호를 제한하는 역할을 한다. 표준에서 제안하는 대역폭은 명암 신호인 Y는 6MHz, 색차 신호인 UV는 1.5MHz를 권장하고 있다[1]. 수식 3은 제안된 부호화기에서 사용된 4개의 Y 필터 전달 함수를 보여주고 있다. 4개의 필터는 모두 순차적으로 연결되어 하나의 특성을 가지는 필터를 형성하게 된다. 수식 3에서 gain은 4개의 필터 계수가 정규화 되어 있지 않기 때문에 정규화 시키기 위한 값이다. 필터의 모든 계수와 gain 값은 2의 지수 승으로 설계되었다. 그래서 곱셈기가 없이 하

드웨어로 구현 할 수 있다. 그림 1은 수식 3의 전달 함수에 해당하는 주파수 응답 곡선이다. 색차 신호인 UV를 제한하는 필터도 수식 3과 유사한 구조로 설계되었다[7].

$$\begin{aligned}
 H_1 &= \{1 + (1 + \frac{1}{2})Z^{-1} + Z^{-2}\}/2, \\
 H_2 &= \{1 + (2 - \frac{1}{4} - \frac{1}{8})Z^{-1} + Z^{-2}\}/4, \\
 H_3 &= \{1 + (1 + 2 - \frac{1}{2} + \frac{1}{4})Z^{-1} + Z^{-2}\}/4, \\
 H_4 &= \{1 - (1 + 2)Z^{-1} + (8 - \frac{1}{2})Z^{-2} \\
 &\quad - (1 + 2)Z^{-3} + Z^{-4}\}/2 \times gain.
 \end{aligned} \tag{3}$$

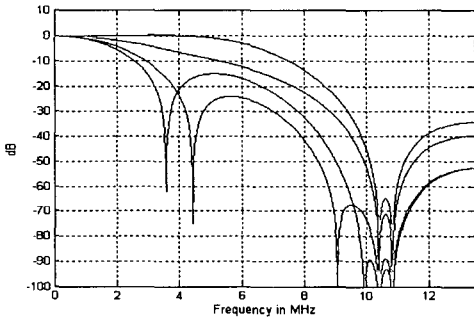


그림 1. 명암 필터의 주파수 응답  
Fig. 1 Frequency responses of luminance filter

대역 제한된 UV신호는 sine과 cosine를 사용하여 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 변조를 하게 된다. 이때 sub-carrier를 만들기 위해서 제안된 복합 영상 부호화기에서는 Discrete time oscillator (DTO)를 사용하였다. 수식 4는 DTO의 동작을 설명해주는 수식이다[1].

$$p = \frac{F_{SC}}{F_S} q \tag{4}$$

여기서 FSC는 sub-carrier 주파수이고, FS는 부호화기의 동작 클럭 주파수, q는 DTO의 크기를 나타내는 값, p는 만들고자 하는 sub-carrier에 해당하는 디지털 값이다. FSC는 표 1에서 각각의 출력 포맷에 의해서 고정된 값이고, FS도 동작주파수인 27MHz로 고정된다. 그래서 q값은 부호화기의 성능을 최대한으로 높이고, 하드웨어 사이즈를 고려하여 적절히 선택되어 져야 한다. NTSC는 4 fields (2 frame)마다 위상이 반복되고, PAL은 8 fields (4

frame)마다 자기 위상으로 돌아오는 특성을 가지고 있다.[1]. 즉 4 frame까지 위상 오차가 발생하지 않도록 q값이 결정되어 진다면, 4 frame 마다 DTO를 리셋하면 sub-carrier의 위상오차는 전혀 발생하지 않게 된다. 표 2는 q값을 달리하여, 각 프레임 후의 위상 값에 해당하는 ROM address 값을 나타내고 있다. DTO에서 출력되는 값은 sine, cosine ROM의 address 값으로 사용되는데, 여기서는 address가 10bit이라고 가정할 것이다.

표 2. CVBS의 각 표준 포맷  
Table. 2 Standard format for CVBS

| q 크기<br>(bit) | 해당 frame 이후의 첫 픽셀의 위상 |   |     |   |
|---------------|-----------------------|---|-----|---|
|               | 1                     | 2 | 3   | 4 |
| 30            | 513                   | 1 | 513 | 1 |
| 32            | 512                   | 0 | 512 | 0 |

q의 크기가 32bit인 경우 1frame 이후에 180° 위상에 해당하는 512(address가 10bit인 경우)가 출력되고, 4frame 이후에 원래 위상인 0°에 해당하는 0이 출력되어야 한다. 하지만 q의 크기가 30bit인 경우 1frame 이후에는 513, 4frame 이후에는 1이 출력되어서 오차가 발생함을 알 수 있다. 이는 위상으로 0.35°에 해당하는 값으로 오차가 계속해서 누적되면 위상은 점점 어긋나게 된다. 그래서 제안된 영상 부호화기에는 위상오차가 발생하지 않는 최소의 크기인 32bit로 DTO를 설계하였다. DTO의 출력이 sine, cosine ROM의 address로 사용되는데, ROM의 address, data bit 크기가 sub-carrier의 정확성을 결정하게 된다. bit 크기를 결정하기 위해서 각각의 bit에 해당하는 sub-carrier를 만들어서 FFT를 구해본 결과 address bit는 10bit, data bit는 10bit을 사용했을 때, 하드웨어 사이즈를 고려하여 가장 적절한 크기임을 알 수 있었다[8]. Sub-carrier가 만들어 지면, 수식 5를 이용하여 복합 영상 부호화기의 최종 출력신호인 CVBS를 만들 수 있다.

$$\begin{aligned}
 CVBS &= Y + C \\
 &= Y + (U \sin ut + V \cos ut) \text{ for NTSC} \\
 &= Y + (U \sin ut \pm V \cos ut) \text{ for PAL}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Y는 명암 성분을 나타내는 것이고, C는 색차 성분인 UV 신호를 QAM 변조를 한 신호를 나타내는 것이다. 그림 2는 ITU-R BT. 470 표준을 만족하는 75% color bar M/NTSC의 CVBS 신호의 출력을 나타낸다. 그림 3은 수식 5를 이용하여 floating point로 계산되어진 CVBS와 하드웨어 설계에 의

하여 fixed point로 연산되어진 CVBS와의 차이 값을 나타내고 있다. 모든 오차 값이  $\pm 1$  LSB(10bit 기준) 이하이므로, 하드웨어가 가질 수 있는 최소한의 오차로 설계되었음을 알 수 있다.

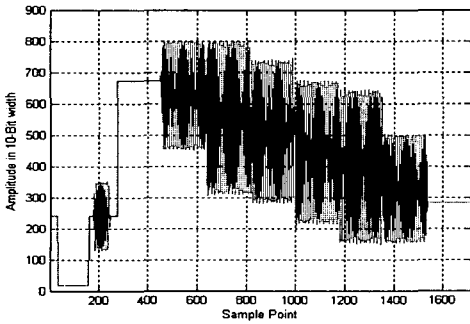


그림 2. M/NTSC의 color bar CVBS  
Fig. 2 color bar CVBS of M/NTSC

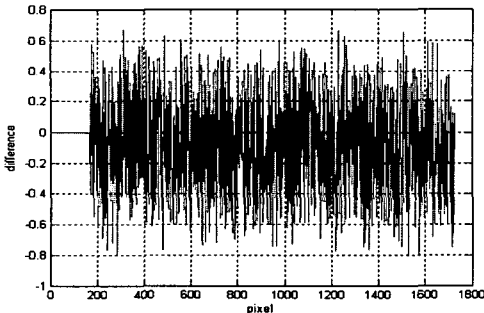


그림 3. 하드웨어 설계 오차 값  
Fig. 3 The error value generated by designed structure

### III. 하드웨어 구현

그림 4는 제안된 복합 영상 부호화기의 블록 다이어그램을 보여준다. 부호화기는 총 14개의 블록으로 구성되어 있다. 첫 번째로 Data\_sync 블록은 외부에서 들어오는 모든 data를 동작 주파수인 27MHz로 동기화 시켜주는 역할을 한다. Time\_gen 블록은 입력되는 동기신호를 기준으로 부호화기에서 필요한 모든 제어 신호를 만들어 준다. Pattern\_gen 블록은 부호화기가 입력 신호를 받지 않고도, 간단하게 테스트 할 수 있도록 표준 영상 패턴을 만들어 주는 블록이다. 만들어 주는 패턴은 color bar, stairs, ramps, cross hatches 이고 각 출

력모드에 맞게끔 자동적으로 생성되어진다. Format\_con 블록은 입력 신호가 BT.656인 경우에 BT. 601로 바꾸어 주는 역할을 한다. BT. 656은 동기신호가 data 채널에 모두 포함되어 있기 때문에 동기신호를 분리하기 위해서 반드시 필요하다. Interpolator 블록은 입력 신호가 BT.601이든 BT. 656이든 모든 data 샘플 주파수가 13.5MHz이므로 이를 부호화기의 동작 주파수인 27MHz로 업샘플링 하는 역할을 한다. Con\_matrix 블록은 수식 2와 같이 YCbCr 신호를 YUV 신호로 바꾸어 주는 블록이다. Y\_lpf 블록은 명암 신호인 Y 신호를 표준에 맞게끔 대역을 제한하고, 신호 대 잡음 비를 향상시킬 수 있도록 해주는 필터링 역할을 한다. U\_lpf, V\_lpf도 색차신호인 UV 신호를 필터링 하는 블록이다. 대역 제한된 Y 신호에는 동기 신호인 horizontal sync, vertical sync가 삽입되어야 하는데 이를 Add\_sync 블록에서 행해진다. Sub\_gen 블록은 QAM 변조를 하기위한 sine, cosine 신호를 실시간으로 만들어 주는 블록으로서, DTO와 ROM을 포함하고 있다. 대역 제한된 UV 신호와 Sub\_gen 블록에서 만들어진 sub-carrier를 가지고 QAM 변조를 하고, 이를 동기 신호가 삽입된 Y신호와 더해서 부호화기의 최종 출력이 CVBS 신호를 만들어 주는 블록이 Modulator 블록이다. S-video를 위해서 Y와 C성분이 따로 출력된다. 제안된 부호화기는 여러 가지의 입력모드와 출력모드를 지원하도록 설계되었다. 이를 제어하기 위해서 I2C 프로토콜을 사용하여 I2C 블록에서 통신을 하게 된다. 부호화기를 제어하기 위한 각종 제어 정보는 Cont\_reg 블록에 저장된다.

제안된 부호화기는 VHDL을 이용하여 설계되었고, Synopsys 시뮬레이터를 이용하여 검증되었다 [9]. 모든 검증이 수행된 후에 TSMC 0.25-um library로 합성하여, 전체 시스템이 동작 주파수인 27MHz를 만족하는지를 테스트 하였다. 표 3에서 각각의 블록에 대한 gate count와 동작 속도를 나타내고 있다. one gate는 2-input Nand를 나타내며, 총 gate count는 58416개임을 알 수 있었다. 가장 동작 속도가 느린 Y\_lpf의 경우 최대 동작 시간인 27.25ns(36.70MHz)로 동작 주파수인 37ns(27MHz)를 만족함을 알 수 있었다.

### IV. 실험 결과

본 논문에서 제안된 복합 영상 부호화기는 Altera FPGA인 APEX20K600EBC652-3을 이용하여

실시간 검증을 하였다. 사용된 검증 보드를 그림 5에서 보여주고 있다. 제안된 복합 영상 부호화기는 입력 신호로 컴포넌트 신호를 사용한다. 이러한 컴포넌트 신호를 만들기 위해서 DVD 플레이어에서 출력되는 컴포지트 신호를 Samsung 복합 영상 부호화기인 KS0127B를 이용하여 컴포넌트 신호로 바꾸어 설계되어진 부호화기에 입력하였다. FPGA에서 출력되는 디지털 신호를 아날로그 신호로 바꾸기 위해서 Analog Device ADV712KB50 DAC를 이용하였다[10].

의 성능을 테스트하기 위한 장비로 Vectorscope라는 장비가 있다. 표준 영상 신호인 color bar 입력을 하였을 경우에 Vectorscope의 표준 좌표에 모든 점들이 들어가는지를 확인하여 입력되어진 color bar가 잘 부호화 되었는지를 판단하게 된다. 그림 7, 8은 각 출력 모드 of color bar를 Leader사의 5212 Vectorscope에 입력하여 측정된 자료이다. 제안된 복합 영상 부호화기의 color bar 출력이 모든 표준 좌표 안에 정확히 들어감을 알 수 있다.

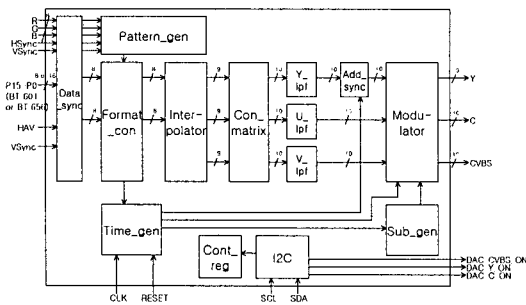


그림 4. 복합 영상 부호화기의 블록 다이어그램  
Fig. 4 Block diagram of the proposed video encoder

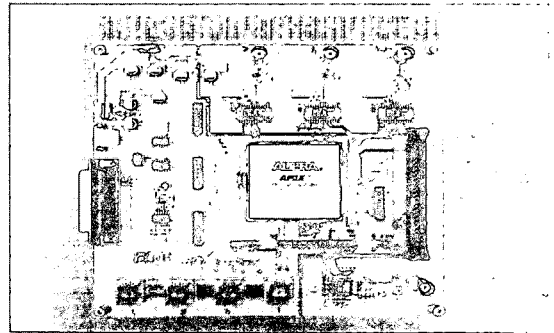


그림 5. 복합 영상 부호화기의 검증 보드  
Fig. 5 Demonstration PCB board

표 3. 하드웨어 크기와 동작 최대 시간  
Table. 3 Hardware complexity and maximum timings

| Logic module | Gate counts | Max timings (ns) |
|--------------|-------------|------------------|
| Data_sync    | 287         | 5.07             |
| Time_gen     | 2,873       | 11.29            |
| Pattern_gen  | 9,075       | 16.59            |
| Format_con   | 1,148       | 7.66             |
| Interpolator | 1,929       | 7.35             |
| Con_matrix   | 2,601       | 16.15            |
| Y_lpf        | 12,206      | 27.25            |
| U_lpf        | 7,544       | 23.07            |
| V_lpf        | 7,544       | 23.07            |
| Add_sync     | 1,380       | 16.02            |
| Sub_gen      | 2,019       | 19.92            |
| Modulator    | 6,114       | 16.42            |
| I2C          | 3,017       | 10.64            |
| cont_reg     | 679         | 6.19             |
| Total        | 58,416      | -                |

그림 6는 그림 5의 검증 보드를 사용하여, TV로 실시간 테스트를 한 사진이다. 입력 패턴으로는 75% color bar를 사용하였다. 복합 영상 부호화기

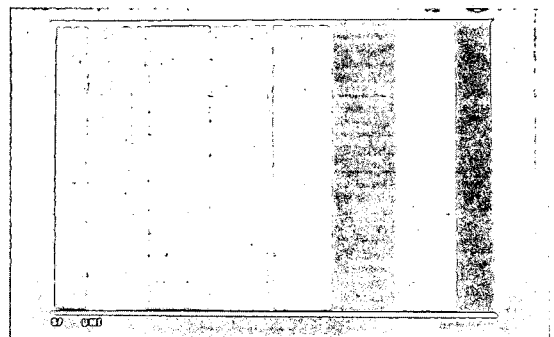


그림 6. M/NTSC의 실시간 테스트 화면  
Fig. 6 Live video for M/NTSC

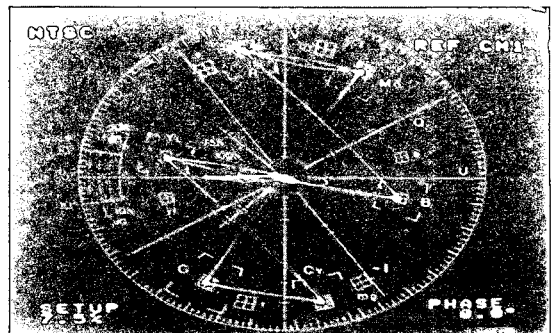


그림 7. M/NTSC의 Vectorscope  
Fig. 7 Vectorscope of M/NTSC

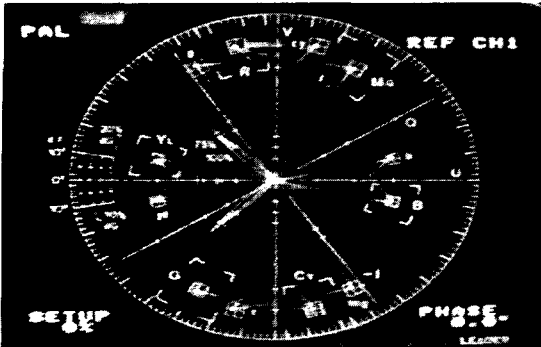


그림 8. B,D,G,H,I/PAL의 Vectorscope  
Fig. 8 Vectorscope of B,D,G,H,I/PAL

### V. 결 론

본 논문에서는 고성능의 복합 영상 부호화기의 구조를 제안하였다. 복합 영상 부호화기는 하드웨어 크기를 줄이기 위해서 곱셈기를 사용하지 않는 구조로 설계되었다. QAM 변조에 사용되는 sine과 cosine을 만들어주는 DTO의 크기를 복합 영상 부호화기가 동작하는 동안 오차가 전혀 발생하지 않도록 결정하였다. 하드웨어의 bit 크기를 최종 출력 오차가  $\pm 1$  LSB 이하가 되도록 설계하여 고성능의 복합 영상 부호화기를 구현하였다. 설계 되어진 복합 영상 부호화기는 FPGA를 사용하여 실제 TV에서 실시간 테스트 하였으며, 동작 하는데 전혀 문제가 없음을 확인 하였다. 제안된 복합 영상 부호화기는 HDTV settop box, DVD player등 다양한 영상 출력기기에 응용해서 사용될 수 있다.

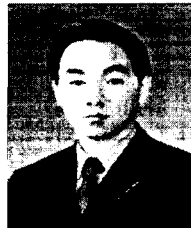
### 참고문헌

[1] K. Jack, Video Demystified: a Handbook for the Digital Engineer(LLH Technology Publishing, Eagle Rock, 2001).  
 [2] S. Dutta, IEEE Trans. VLSI Systems 9, 313(2001).  
 [3] H. Mizosoe, K. Maeda, Y. Kubo, Y. Tsuru and K. Kuroki, IEEE Trans. Consumer Electronics, 47, 420(2001).  
 [4] ITU-R BT.601-5, Studio Encoding Parameters of Digital(1995).

[5] ITU-R BT.656-5, Interfaces for Digital Component Video Signals(1998).  
 [6] ITU-R BT.470-6, Conventional Television Systems,(1998).  
 [7] J. Kim, D. Hong and B. Kang, KISPS Conference, 73-76(2002).  
 [8] G. J. Borse, Numerical Methods with MATLAB, a Resource for Scientists and Engineers(PWS Publishing Company, Boston, 1997).  
 [9] B. Kang, O. Moon, C. Hong, H. Lee, B. Cho and Y. Kim, J. Korean Phys. Soc. 41, 865(2002).  
 [10] Analog Devices, High Quality 10-Bit Digital CCIR-601 to PAL/NTSC Video Encoder Datasheet(2000).

### 저자소개

#### 김주현(Ju-Hyun Kim)



2002년 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자전공 졸업(공학사)

2004년 동아대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

2004년~현재 동아대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※관심분야 : System IC Design

#### 강봉순(Bong-soon Kang)



1985년 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1987년 미국 University of Pennsylvania 전기공학과(공학석사)

1990년 미국 Drexel University 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

1989년~1999년 삼성전자 반도체 수석연구원

1999년~현재 동아대학교 전기전자컴퓨터 공학부 조교수

※관심분야 : System IC Design