

論文99-36C-1-7

## 화상정보처리를 위한 엔트로피 부호화기 설계

### (Design of Entropy Encoder for Image Data Processing)

林 順 子 \* , 金 煥 容 \*

(Soon-Ja Lim and Hwan-Yong Kim)

#### 요 약

MPEG-II 기반의 HDTV/DTV Encoder 구성부중 하나인 엔트로피 부호화기(entropy encoder)를 설계하였다. 설계된 엔트로피 부호화기는 생성된 비트스트림이 버퍼에 저장될 경우 버퍼의 고갈을 막기위해 제로 스텝핑 블록을 첨가함으로써 9Mbps의 비트율로 출력된다. 또한, AC 계수와 DC 계수 table로 PROM이 아닌 조합회로를 사용하여 회로 내부에 Critical path가 발생하지 않도록 하였다. 패커부의 경우 배럴 쉬프트 하나를 사용하여 24비트 단위로 패킹을 하도록 하였으며, 헤더정보 부호화부, 입력정보 지연부, 부호화부 그리고 버퍼 제어부로 구성된다. 설계된 회로는 VHDL function 시뮬레이션을 통하여 검증하였고, 실제공정 파라미터로는 0.8 $\mu$ m Gate Array 설계방식을 적용하여 Gate compiler로 P&R을 수행한 결과 전체 Layout의 핀 수와 Gate수는 각각 235개와 약 120,000개로 측정되었다.

#### Abstract

In this paper, we design a entropy encoder of HDTV/DTV encoder blocks on the basis of MPEG-II. The designed entropy encoder outputs its bit stream at 9Mbps bit rate by inserting zero-stepping block to protect the depletion of buffer in case that the generated bit stream is stored in buffer and uses not only PROM bit combinational circuit to solve the problem of critical path, and packer block, one of submerge, is designed to packing into 24 bit unit using barrel shifter, and it is constructed to blocks of header information encoder, input information delay, submerge, and buffer control. Designed circuits is verified by VHDL function simulation, as a result of performing P&R with Gate compiler that apply 0.8 $\mu$ m Gate Array specification, pin and gate number of total circuits has been tested to each 235 and about 120,000.

#### I. 서 론

정보화 사회에서 필수적인 수단인 하나가 컴퓨터와 통신매체의 결합이고 기존의 통신매체를 이용하여 보다 많은 정보를 보내려는 인간의 욕구는 데이터 압축이라는 새로운 연구분야를 탄생시켰다. 영상 압축을 위한 시스템의 구현에 있어서 영상 데이터 자체의 양이 제한적인 전송로의 용량을 초과하기 때문에 많은

기법의 영상 데이터 압축기술을 사용하여 영상 데이터의 양을 감소시키는 방법들이 제안되었고 그 중 효과적인 여러 방법들은 이미 JPEG, H.261, MPEG 등에 의해 국제적인 표준화가 이루어졌다. 이러한 응용분야로 동영상 압축 기술이 HDTV에도 적용되기 시작했다. 고선명 TV (HDTV : High Definition TV)는 기존의 칼라TV에 비해 약 4배 이상의 해상도와 CD(Compact Disc)에 상응하는 하이파이 음질이며 방송 화면은 16:9로서 현장감 있는 화면을 제공한다.<sup>1)</sup>

[2] [3] HDTV은 72년 일본에서 CCIR의 연구과제로 채택한 것을 필두로 세계 각국이 독자적인 개발

\* 正會員, 圓光大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng. Wonkwang University)

接受日字:1998年6月29日, 수정완료일:1998年12月22日

을 시작했다. 국내에서도 89년 3월을 기점으로 HDTV 개발을 위해 연구기관, 학계, 방송사를 중심으로 민간공동 개발추진위원회가 구성되면서 HDTV에 대한 구체적인 추진 계획이 마련되어, 94년 6월 국산 수상기 개발을 완료로 1단계 사업을 마무리하였다. MPEG(Moving Picture Expert Group)은 동영상 압축 기술의 표준으로 호칭되면서 MPEG-I은 주로 저장매체를 통한 동영상 표현이 주목적이고 MPEG-II는 저장미디어 뿐만 아니라 통신, 방송미디어의 확장을 고려해서 작성되었다.<sup>[4][5]</sup> MPEG-II 표준을 따르는 엔트로피 Coding은 Source의 통계적인 특성을 이용한 방법으로 무손실 부호화 기법에 매우 효과적이라고 할 수 있다. 엔트로피 Coding 방법의 하나로 가변길이부호화(Variable Length Coding)는 런LENGTH 부호화(Run-Length Coding)와 함께 손실 없는 데이터 압축에 널리 사용되는데 이 방법은 통계적으로 발생확률이 높은 입력데이터에 짧은 코드를 발생시키고 발생확률이 낮은 입력코드에 길이가 긴 코드를 발생시켜 손실 없이 전체 평균 비트율을 낮추는 기법이다.<sup>[6]</sup>

본 논문에서는 매크로 블록번지, 움직임 벡터, DCT 계수 등의 화상정보를 가변길이 부호화한 다음 MPEG-II Video Syntax의 계층 구조에 따라 부호 데이터를 나열하고, 나열된 부호화 데이터중 프레임의 시작마다 PES(Packetized Elementary Stream) 헤더를 부쳐 PES 패킷화한 다음 버퍼에 저장하기 위한 데이터를 출력하는 MPEG-II 기반의 HDTV/DTV Encoder 구성부중 하나인 엔트로피 부호화기(entropy encoder)를 설계하였다. 설계된 부호화기는 생성된 비트스트림 버퍼에 저장된 다음 9Mbps의 일정 비트율로 출력되며, 버퍼 고갈을 막기 위해 제로 스테핑 블록을 첨가하였고, AC 계수와 DC 계수 table로 PROM이 아닌 조합회로를 사용하여 회로 내부간의 Critical path가 발생하지 않도록 하였다.

## II. 비디오 인코더와 엔트로피 부호화기

MPEG-II HDTV 비디오 인코더의 블록도는 그림 1과 같다. 원영상데이터를 프레임별로 저장하고 DCT 변환부에서는 움직임 보상부에서 제공되는 기준 영상 데이터와 비교하여 차분 값을 계산한 후 DCT 변환을 한다. 그 결과를 양자화부에서 양자화한다. 양자화된

데이터는 역양자화부와 역DCT변환부를 거쳐 움직임 보상부로 전달된다. 움직임예측부는 매크로 블록단위로 움직임 벡터를 예측하여 움직임보상부로 전달한다. 엔트로피 부호화기는 가변길이 부호화를 수행하고 이 결과를 버퍼제어부에 저장하여 부호화된 데이터로 출력한다. 그리고 울제어부는 영상 부호화 출력 비트율을 일정하게 유지할 수 있도록 양자화 파라미터를 제어한다.<sup>[8]</sup>

비디오 인코더 블록도에서는 DCT변환부 ⇒ 양자화 ⇒ 엔트로피 부호화법을 사용하고 있다. 엔트로피 부호화(Entropy coding)는 양자화된 DCT계수, 움직임 벡터의 차신호, 그리고 MB에 관련된 각종 정보가 부호화 대상이다. VLC(variable length coding)는 발생확률이 높은 부호들에 대해서는 부호당 짧은 비트를 할당하고, 발생확률이 낮은 부호들에 대해서는 부호당 긴 비트를 할당하는 Huffman부호 즉, 엔트로피 부호화기법이며 MPEG의 마지막 단계는 엔트로피 부호화 과정이다. 엔트로피 부호화는 DCT계수 및 부호화 대상정보들을 좀 더 압축할 수 있도록 한다. 엔트로피 부호화 방법에는 Huffman 부호화 방법과 산술 부호화 방법으로 나눌 수 있다. 산술 부호화 방법은 우수한 정보 압축 효율을 나타내는 무손실 부호화 기법으로 Huffman 부호화 방법에 비해 5~10%의 압축율을 증가시킬 수 있다.

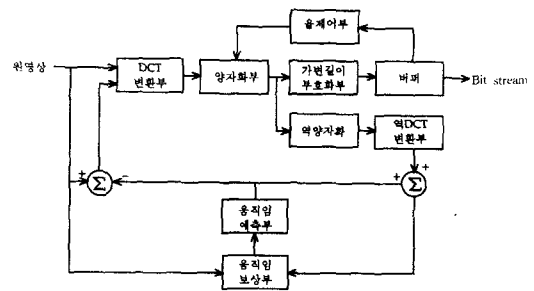


그림 1. 비디오 인코더 블록도

Fig. 1. Block diagram of Video Encoder.

그러나 높은 압축율에도 불구하고 많은 계산시간으로 인한 실시간 처리의 어려움과 입력 심벌의 수만쯤 덧셈 연산기와 비교기가 필요하게 되어 입력 심벌의 종류가 늘어나면 실제로 하드웨어의 복잡도가 높아지게 된다.<sup>[8]</sup> 따라서 본 논문에서는 HDTV 시스템이나 비디오 코딩 시스템에서 표준으로 사용되는 Huffman 부호화 방법을 적용한 엔트로피 부호화기를

설계했다. 그림 2는 비디오 인코더중 Huffman 부호화 방법을 적용한 엔트로피 부호화기의 블록도이다.

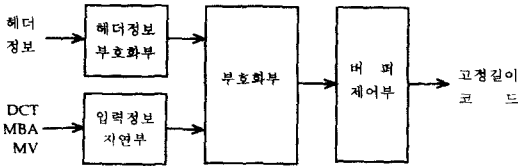


그림 2. 엔트로피 부호화기 블록도  
Fig. 2. Block diagram of Entropy encoder.

### III. 엔트로피 부호화기 설계

엔트로피 부호화기의 하위 블록에는 헤더정보 부호화부, 입력정보 지연부, 부호화부, 그리고 버퍼제어부로 나누어지며 엔트로피 부호화기로 입력되는 움직임 벡터, 양자화 계수 및 관련 정보들은 각기 다른 매크로 블록에 해당하는 것들이므로 입력 정보 지연부(indelay)에서는 이들을 지연시켜 같은 매크로 블록에 해당하는 데이터들이 같은 시점에 헤더정보 부호화부와 부호화부로 전달 되도록 한다. 헤더정보 부호화부에서는 신택스의 계층구조를 나타내는 헤더코드와 확장코드를 생성한다.

부호화부는 양자화된 변환 계수를 가변길이 부호화하는 DCT 블록, 움직임 벡터를 가변길이 부호화하는 움직임 벡터블록, 매크로 블록 주소 부호화부, 기타정보 부호화부가 있고 버퍼의 고갈을 막기 위한 제로스 터핑 블록 그리고 부호화부에서 출력되는 가변길이 코드를 24비트의 고정길이 데이터로 바꾸어 쓰기 클럭과 함께 버퍼로 전달되는 패커로 구성된다. 엔트로피 부호화기를 구성하는 하위 블록들의 상세한 설명은 다음과 같다.

#### 1. 헤더정보 부호화부

헤더정보 부호화부는 시퀀스 계층이하 슬라이스 계층 이상을 구분하는 헤더부호(header code) 및 확장부호(extension code)를 생성하고 PES(Packetized Elementary Stream) header를 이들 헤더와 확장부호 앞에 삽입한다. 여기서 생성되는 헤더부호 및 확장부호에는 MPEG-II 신택스 상의 시퀀스 계층, GOP(Group Of Picture)계층, 픽처 계층과 슬라이스 계층의 시작을 알리는 헤더와 확장부(extension)가 있다. 나머지 부호들은 다른 부호화부에서 생성한다. 그리고 채널 전환시의 신속한 복호화를 위해 시퀀스 헤더

(sequence header)와 시퀀스 확장부(sequence extension)를 주기적으로 삽입하는 기능을 헤더정보 부호화부에서 한다. 헤더정보 부호화부는 헤더메모리블록, 기준 데이터발생블록, 헤더정보 발생블록, 헤더-캡션-패쉬 부호화블록, 슬라이스 헤더블록으로 구성된다. 헤더메모리블록은 헤더, 캡션 및 패쉬정보를 메모리에 저장하고 부호화를 위해 읽어 내야 할 시점에서 어드레스를 발생시켜 각각의 정보를 신택스 구성에 맞게 내보내주는 역할을 한다. 기준데이터 발생 블록은 픽처의 주기를 나타내는 M 값에 따라 10bit의 기준데이터를 발생시켜 픽처의 그룹에 따른 I, B, P픽처의 순서를 나타내주는 역할을 한다. 그리고 헤더정보 발생블록은 픽처타입 및 HDTV 인코딩의 병렬처리를 위한 모듈번호에 따라 헤더정보를 부호화하여 헤더 데이터, 길이, 유효신호를 발생시킨다. 또한 헤더-캡션-패쉬 부호화블록은 시퀀스의 순서에 따라 패쉬, 헤더, 캡션 데이터 순으로 부호화를 한다. 슬라이스 헤더블록은 데이터의 유효구간과 길이를 입력받아 6번째 매크로블록 이후로 슬라이스 헤더의 시작을 나타내는 정보를 출력한다. 헤더정보 부호화부의 블록도는 그림 3과 같다.

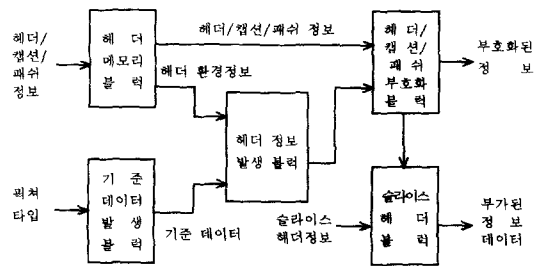


그림 3. 헤더정보 부호화부 블록도  
Fig. 3. Block diagram of Header Information encoder.

#### 2. 입력정보 지연부

엔트로피 부호화를 위해 VLC로 입력되는 데이터들에는 매크로블록 주소, DCT 계수, 움직임 벡터 등이 있다. 처리 지연시간이 다른 입력데이터를 매크로블록 단위로 지연시켜서 각 부호화 블록에 전달되도록 한다.

VLC로 입력되는 움직임벡터, 움직임추정방향, 매크로블록 인트라 여부 신호, 필드 또는 프레임 DCT 여부 신호, 매크로블록 부호화 여부신호등은 서로 다른 매크로블록 타이밍을 갖도록 한 이후에 부호화를 행해

야 한다. 이러한 지연 역할을 하는 것이 입력정보 지연부이며 블록도는 다음 그림 4와 같다.

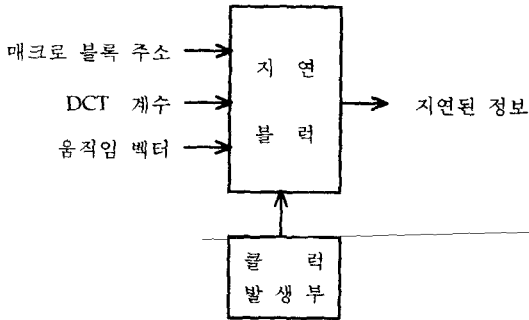


그림 4. 입력정보 지연부의 블록도  
Fig. 4. Block diagram of Input information delay.

3. 부호화부

부호화부는 양자화 변환 계수 부호화부(DCT), 매크로 블록 주소 부호화부(MBA), 움직임 벡터 부호화부(MV), 기타정보 부호화부(CODMUX), 패커버퍼와 패커 블록으로 구성된다.

각각의 하위블록 부호화부에서 출력되는 코드들은 모두 좌측 정렬이 되며 기타정보 부호화부에서 각각의 선택스에 맞도록 재배열된다. 그리고 패커에서는 기타정보 부호화부에서 출력되는 가변길이 코드를 고정길이 데이터로 바꾸어 출력한다.

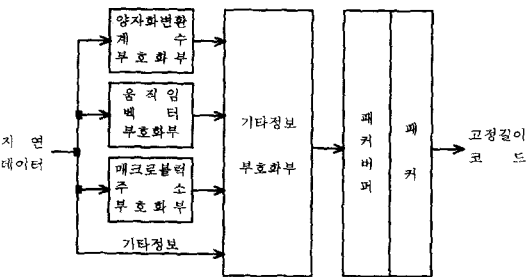


그림 5. 부호화부의 블록도  
Fig. 5. Block diagram of Submerge.

양자화 변환 계수 부호화부는 양자화 변화 계수를 가변길이 부호화한다. 양자화 변환계수 부호는 해당 매크로 블록이 intra 블록인지 또는 non-intra 블록인지에 따라 DC 코드와 AC 코드로 구분되어 부호화되고 블록의 마지막 계수의 부호 뒤에는 EOB 코드가 뒤따른다. 이때 각각의 계수를 저장하기 위해 PROM을 사용하여 VLC 테이블을 설계할 경우 회로 내부간의 Critical path가 발생하게 된다.<sup>[7]</sup> 따라서 본 논문에서는 회로의 부피는 커지지만 Critical path가 발

생하지 않도록 조합회로를 사용하여 VLC 테이블을 설계하였다.

움직임 벡터 부호화부는 한 슬라이스 내에서 같은 타입의 이전의 매크로 블록과 현 매크로 블록의 차를 부호화한다. 매크로 블록주소 부호화부(MBA) 블록에서 매크로블록 코드는 현재의 매크로블록주소와 이전의 스킵되지 않은 매크로블록 주소와의 차를 가변길이 부호화함으로써 생성된다.

기타정보 부호화부에서는 제로 스테핑(zero stuffing)을 포함하여 부호 다중화 기능과 기타 정보들에 대한 부호화를 행한다. 기타정보 부호화부 내에 제로 스테핑 블록은 버퍼에 고갈이 생기려 할 때 영(zero)으로 버퍼를 채워서 고갈(underflow)을 막는다. 즉, 지극히 단순한 내용의 프레임이 지속되는 경우에 출력어부에서 양자화 파라미터를 조정하더라도 비트 발생률 증가가 미미하여 버퍼 고갈을 막을 수 없어서 버퍼에 적당한 양의 영을 채워넣는 것이다. 버퍼고갈을 막기 위한 제로 비트 스테핑은 시작코드 앞의 여유시간에 행한다. 시작코드의 여유시간 중 각각의 코드 생성부에서 출력되는 코드가 차지하지 않는 여유 시간 구간은 헤더 앞의 슬라이스당 164 클럭주기 동안이다. 다중화되는 코드중 긴 코드가 24비트이므로 한 클럭당 24비트의 영을 할당할 경우 한 프레임당 270Kbits 정도의 영을 삽입할 수 있다. 슬라이스 헤더 앞에 스테핑을 행하는 것은 버퍼의 참 정도가 1/7이하가 될 때이다. 슬라이스 앞 여유시간이 164 클럭 주기이므로 3.936Kbits(164클럭\*24클럭)의 영이 삽입되는 것이다. 단 제일 처음의 슬라이스 헤더 앞에는 약 150Kbits의 영이 스테핑 된다.

패커 버퍼 블록은 기타정보 부호화부에서 출력되는 최종 값을 패커로 전달하기 전에 패커와 타이밍(timing)을 맞추기 위해 버퍼링하여 패커로 전달한다. 패커블록은 부호다중화부로부터 입력받은 24bit 가변길이 코드를 코드의 유효비트수, 코드 유효시간 구간 들로써 고정길이의 8bit 데이터로 변환시켜 출력한다. 가변길이의 24비트 데이터를 고정길이의 24비트 데이터로 접합시키기 위해 한 개의 배럴 슈프트가 사용되었다.

4. 버퍼제어부

부호화부로부터 전달받은 매크로 블록당 부호화된 비트수와 프레임당 부호화된 비트수를 출력한다. 버퍼

제어부는 화면 분할에 따른 최종 코드 조합을 위해 각 인코더 모듈의 가변길이 부호화기 출력은 버퍼에 저장되어야 한다. 그러므로 저장된 데이터를 코드조합부로 전달하기 위한 제어가 필요하다.

버퍼제어부의 블록도는 그림 6과 같다.

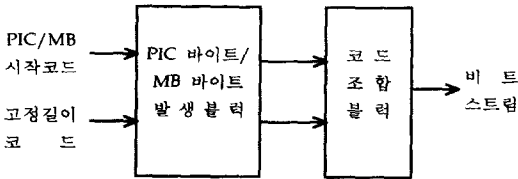


그림 6. 버퍼제어부의 블록도  
Fig. 6. Block diagram of Buffer control.

5. 엔트로피 부호화기

MPEG-II 기반의 HDTV/DTV Encoder 구성부 중 하나인 엔트로피 부호화기는 헤더 정보 부호화부에서 헤더 및 확장 코드를 생성하기 위한 정보는 메모리 (RAM)에 써넣은 다음 그 정보를 비디오 신택스의 구성 순서대로 읽어들이어서 헤더 및 확장 코드를 생성하고, 부호화부에서는 양자화 변환 계수 부호화부, 매크로 블록 주소 부호화부, 움직임 벡터 부호화부, 기타정보 부호화부에서 각기 부호화를 수행하고 부호화된 데이터를 MPEG-II 비디오 비트 스트림 신택스의 계층 구조대로 나열한 다음 고정길이를 바꾼다. 버퍼는 부호화부로부터 전달받은 유효신호로 이전 프레임의 부호화된 비트수와 각 매크로 블록당 부호화된 비트수를 출력하는 역할을 한다.

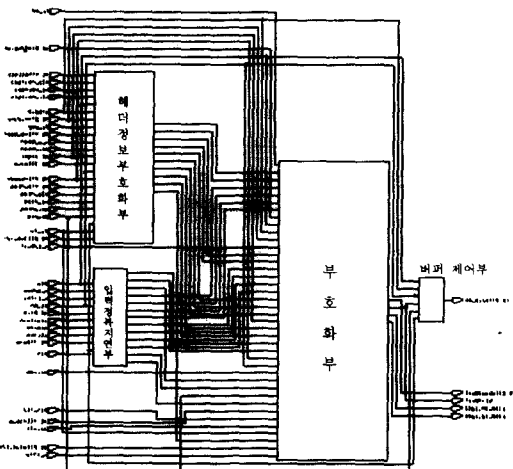


그림 7. 엔트로피 부호화기의 전체 블록도  
Fig. 7. Total block diagram of Entropy encoder.

IV. 모의 검증 및 Layout 결과

헤더 및 확장 코드들은 시퀀스 종류나 픽처(picture)의 종류에 따라 달라지므로 해당 코드 생성을 위한 정보들을 바꾸어 주어야 한다. 그래서 RAM에 써넣은 다음 비디오 신택스 구성순서대로 읽어 들여서 헤더 및 확장 코드를 생성한다. 본 논문에서는 프레임마다 양자화된 영상 데이터를 RAM 컴파일 방법을 사용하여 VHDL function 시뮬레이션을 통하여 검증하였고, 또한 Layout에서 추출한 SDF 파일을 이용하여 Post-simulation을 수행한후 function 시뮬레이션과 동일한 결과를 얻었으며 그림 8은 전체회로의 최종 출력만을 나타냈다.

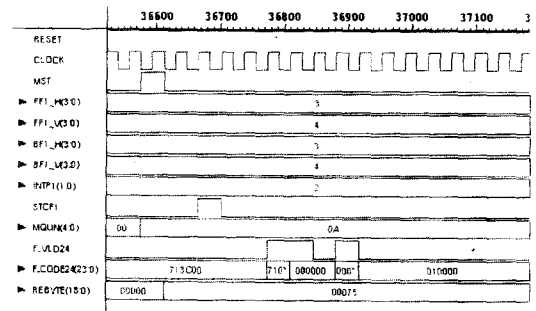


그림 8. 최종출력 신호 파형도  
Fig. 8. Signal diagram of Last output.

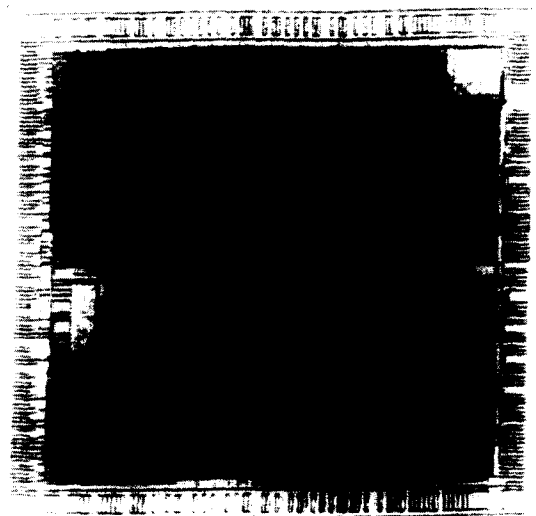


그림 9. 엔트로피 부호화기의 Phantom LAYOUT  
Fig. 9. Phantom LAYOUT of Entropy encoder.

F\_VLD24는 부호다중화된 출력을 고정 길이를 패킹하여 최종 출력하는 F\_CODE24 [23:0] 와 같이 출

력되며 유효 값을 나타낸다. 제로스터핑을 할 때 픽처 스타트 신호가 입력된 후 8 주기가 되면 최초의 유효 출력이 나오며, 제로스터핑을 하지 않았을 때는 5번째 매크로 블록 이후 5 주기이면 최초의 유효출력이 나오게 된다. 매크로 블록 스타트 신호 입력시 1 주기일 때 계산되는 버퍼의 최종출력은 그림 8과 같이 나타난다.

엔트로피 부호화기를  $0.8\mu\text{m}$  Gate Array 설계방식을 적용하여 Gate compiler로 P&R을 수행한 결과 전체 Layout의 핀수와 Gate수는 각각 235개와 약 120,000개로 측정되었으며, 그림 9는 Phantom Layout을 나타낸다.

## V. 결 론

본 논문에서는 매크로 블록번지, 움직임 벡터, DCT 계수 등의 화상정보를 가변길이 부호화한 다음 MPEG-II Video Syntax의 계층 구조에 따라 부호 데이터를 나열하고, 나열된 부호화 데이터중 프레임의 시작마다 PES(Packetized Elementary Stream) 헤더를 부쳐 PES 패킷화한 다음 버퍼에 저장하기 위한 데이터를 출력하는 MPEG-II 기반의 HDTV/DTV Encoder 구성부중 하나인 엔트로피 부호화기(entropy encoder)를 설계하였으며 헤더정보 부호화부, 입력정보지연부, 부호화부 그리고 버퍼 제어부로 구성된다. 버퍼는 9Mbps의 일정한 비트율로 비디오 데이터를 전송하는데 9Mbps의 일정비트율 출력은 프레임당 평균 발생 비트량으로 300Kbits 정도를 필요로 한다. 프레임당 150Kbits 이상의 비트 발생률을 갖는 영상에 대해서 엔트로피 부호화기는 버퍼 고갈을 막을 수 있으며, AC 계수와 DC 계수 table로 PROM이 아닌 조합회로를 사용하여 회로 내부간의 Critical path가 발생하지 않도록 하였다. 참고문헌 [9]에서는 패킷을 배럴 쉬프트(32비트) 2개로 설계하므로써 부호화부에서 출력되는 데이터의 길이를 32비트에 맞추기 위해 내부회로가 첨가되어야 하므로 게이트 수가 늘어나게 된다. 설계된 부호화기는 게이트 수를 줄이기 위해 부호화부의 패커인 경우 배럴 쉬프트 하나를 사용하여 24비트 단위로 패키징을 하였고 버퍼 고갈을 막기 위해 제로 스텀핑 블록을 첨가하여 설계하였으며, VHDL function 시뮬레이션을 통해 검증하였고, 또한 Layout에서 추출한 SDF 파일을 이용하여 Post-

simulation을 수행하여 function 시뮬레이션과 동일한 결과를 얻었다. 현재 엔트로피 부호화기에서 버퍼의 효율적인 제어를 위한 방법을 연구 중에 있으며 VLC 기능부의 모델링을 통해 향후 MPEG-II 코덱 통합 단일 ASIC의 Embedded 블록으로서의 IP화가 가능하다고 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Erigid Gavin, "Digital terrestrial high-definition television - What's good for America in good for Europe", Telecommunication Journal, vol. 60-VI, 1993.
- [2] 기술정보편찬보급팀, "제3세대 텔레비전 HDTV", 한국전자통신연구소, 1994
- [3] Carlo Basile, "Baseband Video Processing and the Transmission of HDTV Signals", IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, vol. 1, no. 1, March 1991.
- [4] ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11 MPEG-II Test Model 5 March, 1995.
- [5] ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11 MPEG 92/229 Information on requirements for MPEG-II Video Jv1. 1992.
- [6] P.Pirsch "VLSI Implementations for Image Communications" ADVANCES IN IMAGE COMMUNICATION 2 pp. 14-18, pp. 345-349, 1993.
- [7] Mark I. Krivocheev, "The first twenty years of HDTV : 1972-1992", SMPTE Journal, Oct., 1993.
- [8] 이상욱 "영상통신을 위한 기초 연구" 한국과학재단 연구보고서 1994년
- [9] 조돈민 외 8인 "MPEG-2 부호기를 위한 DCT 계수 부호화부 및 패커부 설계", 한국통신학회 종합학술대회 논문집, 1996

---

저 자 소 개

---

林 順 子(正會員)

1985년 2월 원광대학교 전자공학과  
(공학사). 1991년 8월 원광대학교 대  
학원 전자공학과(공학석사). 1997년  
8월 원광대학교 대학원 전자공학과  
박사과정 수료. 주관심분야는 멀티미  
디어 통신, 영상정보 처리 및 압축,

이동통신시스템, ASIC

金 煥 容(正會員) 第35卷 S編 第9號 參照