

# MPEG-2 TM 5 부호기의 구조와 작동

김준기 · 이호석  
호서대학교 컴퓨터 공학과

## The overall structure and operation of MPEG-2 TM 5 encoder

Jun-Ki Kim · Ho Suk Lee  
Department of Computer Engineering, Hoseo University

### 요 약

본 논문은 MPEG-2 TM 5 video 부호기의 전체구조 및 처리과정을 기술한다. MPEG-2는 저장 매체, 통신, 방송 매체등을 위한 동영상 압축의 표준이다. MPEG-2 압축 방법에는 공간적 압축과 시간적 압축 방법이 있다. 공간적 압축 방법에는 화면에서의 중복성을 줄이기 위한 표본화 주파수(4:4:4, 4:2:2, 4:2:0 format), DCT, scanning(zigzag 혹은 alternate scanning)과 quantization 이 있고 시간적 압축 방법에는 움직임 예측(motion estimation)과 I,P,B-picture 를 사용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 MPEG-2 부호기의 핵심을 전체 구조, DPCM, MPEG bitstream syntax, MPEG-2 부호화 알고리즘, 움직임 예측, 움직임 벡터, rate control 그리고 가변길이 코딩(variable length coding)으로 구분하여 소개한다.

### 1. 서 론

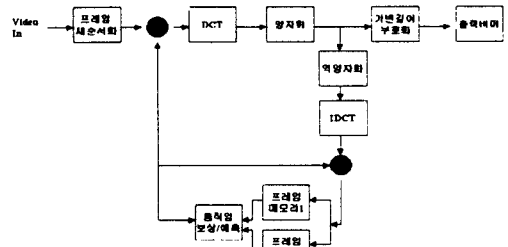
영상 부호화에 대한 국제 표준들이 많이 제정되었다. 화상 회나 화상전화에 많이 사용되는 H.261 이 제정 되었고 이후로 정지 영상의 표준인 JPEG(Joint Photographic Experts Group)이 완성되었다. 1992년에 첫 MPEG 표준인 MPEG-1(ISO-11172) 표준이 완성되었다. 1995년 초에 방송용으로도 사용할 수 있는 MPEG-2(ISO-13818)표준이 완성되었다.

MPEG(Moving Picture Experts Group)은 국제 표준화 기구(ISO: International Standard Organization)와 국제 전기 기술 위원회(IEC: International Engineering Consortium)가 표준화 작업을 위해 공동으로 구성된 공동위원회(JTC)의 JTC1/SC29/WG11 을 의미하기도 한다. MPEG 표준이라면 비디오만을 위한 것은 아니다. MPEG 표준 문서는 시스템, 비디오, 오디오, conformance, software, DSM-CC, NBC 오디오, 실시간 인터페이스, DSM-CC conformance 부분으로 나뉘어져 있다. MPEG-2는 기존의 MPEG-1 이 제한된 비트율(1.5Mbps)에서 제한된 화질만 보여주는데 비하여 좀더 고화질의 영상에 대한 표준이 필요해 제정되었다. MPEG-2는 10Mbps의 비트율에서 현재의 텔레비전 수준의 영상을 보여준다.[4]

MPEG-2 표준 규격에서는 부호기의 규제가 적다. 하지만 복호기의 경우에는 아주 세세하게 규격이 정해져 있다. 즉 압축되지 않은 입력 데이터를 MPEG-2 bitstream으로 만드는 것이 부호기의 역할이다. 그러나 MPEG-2 비디오 표준 문서에는 부호기의 역할에 대해서는 자세하게 나와 있지 않다. 본 논문에서는 MPEG Software Group에서 제작한 MPEG-2 TM 5 부호기에 대하여 전체 구조 및 처리과정에 대하여 소개한다 [1].

### 2. 전체 구조

MPEG-2 부호기의 전체구조는 <그림 1> 과 같다. 입력된 데이터는 frame 재순서화 과정을 거쳐게 된다. 이것은 B frame 때문인데 B frame은 이전의 참조 frame으로 사용되기 때문이다.



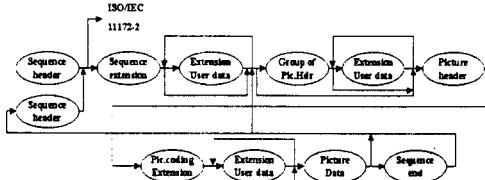
<그림 1> MPEG-2 부호기의 전체구조

Frame 재순서화를 거친 데이터는 DCT 과정[1][2][3]을 통하여 DCT 계수로 코딩되고 양자화를 거친 후 부호화된다. 이후 데이터는 가변길이 부호화 과정을 거쳐 출력버퍼에 저장된 후 bitstream 형식으로 출력된다. 이 과정이 인트라(Intra)코딩이다. 또한 인터(Inter) 코딩은 움직임 벡터를 추출해서 움직임 예측(motion estimation)을 하는 부분인데 대부분의 압축은 이곳에서 이루어진다. 여기서 양자화 과정 이후 역양자화와 역 DCT(IDCT)를 하는 이유는 이 과정을 수행하고 나면 DCT를 수행하기 전의 데이터와 거의 같은 데이터로 복원이 되며 이후 복원된 데이터를 가지고 움직임 예측을 수행하여 좀더 정확한 움직임 벡터를 구하기 때문이다. <그림 1>에서 보여주는 바와 같이 MPEG-2 부호기의 전체 구조는 DPCM(Differential Pulse Code Modulation) 구조이다[1][2][3].

### 3. MPEG-2 bitstream syntax

MPEG-2 비디오 데이터의 구성은 <그림 2>와 같다. 모든 중요한 정보는 header에 기록되어 있다. 비디오 전체 정보를

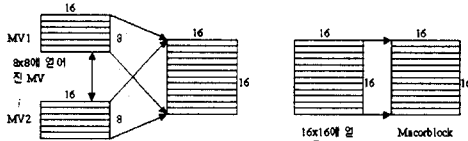
가지고 있는 곳은 sequence header 이며 편집을 위한 정보는 GOP header 에 picture 에 필요한 정보는 picture header 에 기록되어 있다. 또한 여러 가지의 확장(extension) 정보들이 따로 포함되어 있다. MPEG-2 비디오 데이터는 여러 개의 비디오 스트림으로 구성되어 있다. 또한 하나의 비디오 스트림으로 구성할 수도 있다. 이것이 MPEG-1 과 다른점이다. 레이어(layer)라 칭하는 bitstream 이 하나이면 확장 불가능한 비디오 스트림이라고 하고 레이어가 여러 개일 때를 확장 가능한 bitstream 이라고 한다. 여기서 처음 레이어를 base layer 라하고 나머지 레이어를 enhancement layer 라고 하며 이 레이어는 base layer 와 결합하여야 복호가 가능하다. 부호화 과정에서는 이 모든 bitstream 의 파라미터를 설정하게 되어 있다.



<그림 2> MPEG-2 비디오 데이터 구조

4. MPEG-2 부호화 알고리즘

MPEG-2 부호기의 전체 구조는 <그림 1> 과 같다. 그림에서와 같이 DCT 과정으로의 입력은 frame 자체일 수도 있고 움직임 보상되어진(motion compensated) frame 과 이전 frame 의 차이(difference)가 될 수도 있다. 전자는 I-picture(Intra picture)의 경우로, 해당 화면 정보만으로 부호화되고 움직임 예측(motion estimation)을 하지 않는 intra coding 이고 후자는 움직임 예측을 수행하는 P-picture(Predictive picture)나 B-picture(Bidirectionally-predictive picture)에 사용하는 inter coding 이다. MPEG-2 의 움직임 예측 방법으로는 <그림 3>에서 나타내는 것처럼 Field 별 또는 Frame 별 움직임 보상을 할 수도 있다[1][2][3].



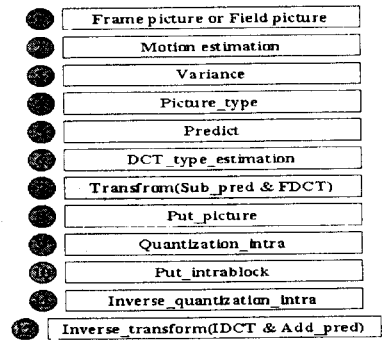
<그림 3> Field 예측과 Frame 예측

부호화 처리과정은 MPEG-1 과 MPGE-2 의 호환성을 유지하며 MPEG-1 인 경우는 frame picture 로 처리를 하고 MPEG-2 인 경우는 frame picture 뿐만 아니라 field picture 로도 부호화할 수 있다.

4.1 Intra coding

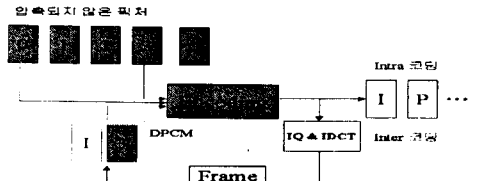
I picture 는 시간적 압축 기술을 사용하지 않고 공간적인 압축 기술만을 사용해서 압축한 picture 이다. 주로 I-picture 는 다른 picture 의 참조 picture 로서 역할을 한다. 시간적인 압축 기술을 사용하지 않으므로 부호화시 많은 비트수를 생성한다. 또한 단독으로 복호가 가능하고 임의 접근을 할 수 있는 기준 picture 가 된다. MPEG-2 부호기 에서 I-picture 는 intra 부호화를 한다. intra 부호화 과정은 <그림 4>와 같다. 우선 field picture 인가 frame picture 인가를 구분한 다음 picture 구조를 설정한다. MPEG-1 인 경우는 frame picture 구조이며 MPEG-2 인 경우는 frame 또는 field picture 구조를 가질 수 있다. 움직임 예측 과정에서는 현재 모든 picture 를 매크로 블록 단위로 처리를 한다. I-picture 는 intra picture 이므로 움직임 예측 과정을 거

치지 않으며 이곳에서는 매크로 블록의 타입을 검사하고 현재 매크로 블록의 평방 편차(Variance)를 구한다. Picture 타입으로는 I,P,B-picture 로 분리되어 진다.



<그림 4> Intra 부호화 과정

Predict 는 움직임 벡터에 따라서 픽셀 값들을 보간하는 작업으로 intra 코딩에서는 128 값으로 셋팅 되어지고 inter 코딩에서 사용되어진다. 다음으로 각 매크로블럭에 따라서 DCT type 을 설정한다. Transform 에서는 움직임 벡터의 DPCM 과정을 거치는 곳이다. <그림 5>는 데이터의 압축률을 위해서 현재 picture 의 움직임 벡터 값과 다음 picture 의 움직임 벡터의 차이값을 만들기 위한 작업이다[1][2][3][4].

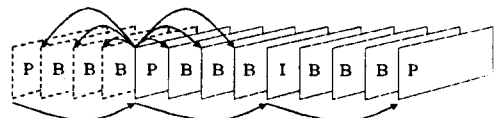


<그림 5> DPCM 수행 과정

이후 각각 매크로 블록을 FDCT 의 수행과정을 거친후 양자화 과정을 수행한다. 매크로 블록 안의 실제 데이터를 가변길이 코드화하여(variable length coding) 출력 버퍼에 저장한다.

4.2 Inter coding

Inter 코딩은 가장 최근의 I-picture 나 P-picture 를 참조 picture 로 움직임 예측 기술을 사용해서 부호화한 picture 이다. <그림 6>에서와 같이 P-picture 는 순방향 예측(forward prediction)을 사용해서 다음 화상을 추정한 picture 이고 P-picture 는 움직임 예측기술을 적용하기 때문에 I-picture 보다 발생 비트수가 적다. B-picture 는 순방향 예측 뿐만 아니라 역방향 예측(backward prediction)까지 포함한 세밀한 예측을 한 picture 이다. 그래서 I-picture 나 P-picture 보다 발생비트수가 아주 적다. 그러나 B-picture 는 역방향 예측을 하기 때문에 프레임 재순서화를 거치는 단점이 있다. Intra 코딩과 가장 큰 차이점은 움직임 예측을 사용한다는 것이다 [1][2][3][4].



<그림 6> 순방향 예측과 역방향예측

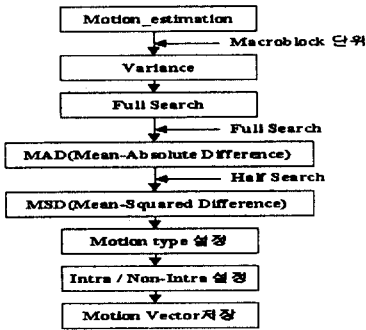
5. 움직임 예측

MPEG-2에서는 시간의 중복을 줄이기 위하여 움직임 예측을 사용한다. 현재의 picture와 다음 picture에서 이미지가 얼마나 움직였는지를 찾는 방법을 움직임 예측이라고 한다. 얼마만큼 움직였는지를 나타내는 것을 움직임 벡터라고 한다. TM5에서의 움직임 예측 과정은 <그림 7>과 같다. Picture 타입이 P-picture나 B-picture일 경우 움직임 예측 처리에 들어간다. MPEG-2 파라미터 파일에서 각각의 picture에 따라서 탐색 범위(f\_code)를 설정한다. 현 picture의 매크로 블록(16x16)의 편차(variance)를 구한다. 현 picture와 참조 picture의 사이에 full search를 통하여 두 매크로 블록간의 MAD(Mean Absolute Difference)값과 벡터 위치를 찾는 다음 halfsearch를 통하여 MSD(Mean Square Difference)값과 벡터 위치를 더 정확하게 찾는다. 이후 현 매크로블록에 대하여 움직임 벡터를 사용할 것인지 아닌지를 현 picture의 편차값과 예측후의 편차값을 비교하여 intra와 non-intra의 두 모드중 한가지를 선택한다. 움직임 벡터를 사용하여 half pixel 값으로 움직임 벡터를 저장한다. 이곳의 MSD 공식과 MAD 공식은 다음과 같다[1][2][3].

$$MSD(dx,dy) = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \{F(i,j) - G(i+dx, j+dy)\}^2$$

$$MAD(dx,dy) = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |F(i,j) - G(i+dx, j+dy)|$$

dx, dy = motion vector의 탐색 위치  
 F(i,j) = m x n의 매크로 블록 위치, G(i, j) = m x n의 참조 매크로 블록



<그림 7> 움직임 예측 처리과정

6. Rate Control과 adaptive quantization

부호기는 반드시 복호기의 입력 버퍼가 overflow나 underflow가 나지 않도록 bit rate를 조정해야 한다. 부호기는 입력 버퍼로부터 하나의 picture에 해당하는 모든 bitstream을 동시에 제거하기 때문에, 전체 bit 수는 picture 단위로 조정하면 된다. 부호기는 출력 bitstream에 적절히 균형을 이루게 하기 위해 picture들간의 bit 수를 할당한다. 부호기가 bit rate를 조정하는 한가지 방법은 quantizer scale을 변경하는 것이다. Quantizer scale 값은 각 슬라이스 헤더에 설정되어 있고 모든 매크로블록의 header부분에서 저장되어 있다. Picture들간의 bit 할당은 화면 내용에 따라 좌우된다. 만약 비디오상에 움직임이나 변화가 미비하면 높은 bit들이 I-picture에 할당되고 만약 변화가 많고 움직임이 크면 I-picture의 bit를 감소하고 P-picture에 많은 bit를 할당한다. 버퍼가 overflow 쪽으로 향하고 있으면 quantizer scale은 증가하게 될 것이고 overflow를 막지 못하면 부호기는 고주파 성분을 버리고 저주파 성분을 전송하게 된다. 또한 버퍼가 underflow로 향하고 있으면 quantizer scale은 감소될 것이고 그래도 충분하지 않다면 부호기는 bitstream에 매크로 블록 stuffing을 삽입하거나 시작 코드값에 0 값들을 덧붙일 것이다. 이런 작업을 위해 부호기는 buffer

fullness(버퍼포화)를 감시한다. 즉 quantizer scale 값을 증가하거나 감소하여 bit rate를 설정한다. TM5 모델에서의 rate control은 3 단계 알고리즘으로 되어있다[1][2].

1. Target bit allocation
2. Rate control
3. Adaptive quantization

7. 가변길이 코딩

MPEG-2 가변 길이 코딩(variable length coding)은 picture 타입에 따라 intra 블록과 non-intra 블록으로 구분되어 처리 된다. Intra 블록에서의 DC 계수들은 VLC를 사용하기에는 너무 많은 값들이 있기 때문에 VLC 테이블을 이용하지 않고 dct\_dc\_size와 dct\_dc\_differential의 두 부분으로 나누어 코딩한다. Dct\_dc\_size는 휘도 신호와 색신호에 대한 테이블이 있고 그 VLC 코드에 따라서 2bit에서 10bit까지 할당되어 있다. DC 계수의 Size 계산은 다음의 알고리즘으로 수행되어진다[1].

```
absval = (val<0) ? -val : val /* abs(val) */
/* compute dct_dc_size */
size = 0;
while (DC계수)
{
    DC계수 >>= 1;
    size++;
}
/* generate VLC for dct_dc_size (휘도 색조 테이블) */
put_bits(tab[size].code, tab[size].len);
/* append fixed length code (dct_dc_differential) */
if (size!=0)
{
    if (val>=0)
        DC계수 = val;
    else
        DC계수 = val + (1<<size) - 1; /* val + (2 ^ size) - 1 */
    put_bits(DC계수, size);
}
}
```

Size의 계산이후 dct\_dc\_size\_luminance와 dct\_chrominance의 DCT 테이블을 이용하여 테이블을 저장하게 된다. 다른 AC 계수들의 처리과정은 0 값이 반복을 나타내는 Run과 계수의 Level과 intra\_vlc\_format을 사용하여 코드를 만들고 MPEG-2에 있는 2개의 DCT 테이블 이용한다. 부호기에서는 두 VLC Table 중에 비트수를 적게 발생하는 것을 선택하고 Intra\_vlc\_format을 통하여 복호기에 알려준다.

8. 결론

본 논문에서는 MPEG-2 TM5 부호기의 전체 처리과정을 소개하였다. MPEG-2 압축율이 뛰어나고 처리 과정도 복잡하다. 여러 분야에의 응용에도 불구하고 복잡한 처리 과정으로 인하여 핵심 부분은 이해하기가 쉽지 않다. 본 논문에서는 부호화 과정에서 가장 중요한 부분인 DPCM, MPEG-2 부호화 알고리즘, 움직임 예측, rate control, 가변길이 코딩에 대하여 소개하였다. 부호화 과정을 자세히 알아 봄으로써 부호화 과정 또한 이해할 수 있다.

9. 참고 문헌

[1] MSSG, "MPEG-2 Source Code", 1994.  
 [2] Barry G. Haskell, Atul Puri, and Arun N. Netravali. Digital Video : An Introduction to MPEG-2, Chapman & Hall, 1997.  
 [3] Joan Mitchell, William Pennebaker, Chad Fogg, and Didier LeGall. MPEG Video Compression Standard, Chapman & Hall, 1997.  
 [4] ISO/IEC, "Mpeg-2 Systems Working Draft", 1995.