기술논문

MPEG 비트스트림 변환부호화기(Transcoder) 기술 및 전개방향

박구만*, 이광직**, 최성진**
*호남대학교 전자공학과, **서울산업대학교 매체공학과

1. 서론

최근 들어 멀티미디어 서비스가 확산되면서 비디오 및 오디오의 비중이 더욱 커지고 있다. 또한 기존의 아날로그 서비스로부터 디지털 방식으로의 전환도 활발하다. 디지털 비디오나 오디오는 저장매체나 전송매체의 용량에 비해 데이터 량이 지나치게 많다는 것은 잘 알려진 사실이다. 따라서 대표적인 압축 방식인 MPEG 등의 기술을 이용해 디지털 원신호(source)를 압축하고 있다. 더 나아가 원신호를 그대로 보관하기 보다는 압축된 상태의 비트스트림을 보관하고 있다가 재활용하는 시도가 활발해지고 있다. 현재 디지털 비디오 서비스를 하려면 디지털 원신호를 MPEG등과 같은 부호화기에 입력시켜 압축을 한 후 전송하는 것이 보통이다. 스튜디오에서는 나중에 사용하기 위해 원신호를 그대로 보관하고 있다. 하지만 원신호 대신 비트스트림을 저장하고 있다면 저장공간을 수십 배 절약할 수 있다. 스튜디오에서 신호를 압축된 비트스트림 상태로 저장하기 위해서는 비디오 검색(browsing), 화면내화면(picture in picture), 비디오 결합, 비디오 편집, 전송 비트율 변환 등의 다양한 응용이 가능해야만 한다. 따라서 최근에 원신호를 사용하지 않고 이 비트스트림을 그대로 활용하고자 하는 연구가 활발하다.

본 논고에서는 앞에 언급한 응용 가운데 특정 비트율(bit rate)을 가지는 MPEG 비트스트림을 다시 다른 비트율로 바꾸어 전송하는 비트율 변환부호화(transcoding) 방법에 대해서 논하고자 한다.

변환부호화의 정의는 비트율을 낮추는 것 뿐만 아니라 다른 부호화 방식으로 바꾸는 것도 포함된다. 예를 들어 JPEG방식의 비트스트림을 MPEG 비트스트림으로 바꾸는 것도 변환부호화이다. 여기에서는 좁은 의미의 비트율 변환에 관해서만 논하고자 한다.

변환부호화기는 그림1과 같이 MPEG 부호화기와 복호화기 사이에 있다. 비트율 변환부호화기의 기본적인 형태는 MPEG 복호기와 부호화기를 단순히 연결(cascade)해 놓는 것이다. 단순한 연결 형태이지만 실제로는 비트스트림 내의 여러 정보를 이용하고 하드웨어 면에서도 복호기와 부호화기의 중복 부분을 제거하므로 단순화된다. 즉, 완전히 복호화를 하기 보다는 일정한 범위 내에서 복호화한 후, 다시 다른 비트율의 비트스트림으로 바꾸는 것이다.

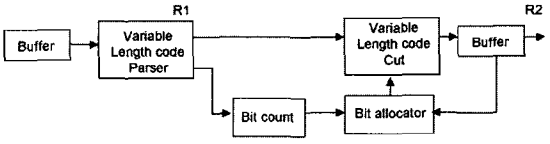

그림 1. 변환부호화기의 개념

변환 부호화기는 비트율이 R1인 비트스트림을 R2로 바꾸는 것이므로 비디오 원신호로부터 직접 R2로 부호화한 경우보다는 다소 성능이 떨어진다. 여기서 R1>R2이다. 따라서 연구의 초점은 회로의 복잡도를 줄이면서 직접 부호화기의 성능과 거의 동일한 시스템을 개발하는 것이다. 변환부호화기의 성능은 비트율의 제어 능력과 양자화기의 설계가 크게 좌우한다.

2. 변환부호화기의 필요성

디지털 방송을 위해 방송국에서 프로그램을 MPEG-2로 부호화하면 이 비트 스트림은 여러 전송매체를 통해 전송할 수 있다. 디지털 비트스트림이 생성되므로 매체가 전송할 수 있는 비트율만 만족하면 된다. 위성방송용 MPEG-2 비트스트림은 비트율만 변환하면 지상파 방송, 인터넷 방송, VOD 서비스, 위성을 통한 각 CATV의 헤드엔드로의 프로그램 공급 등 어디에나 적용이 가능하다. 이때, 각 매체의 전송 능력에 맞게 비트율을 바꾸어 주는 비트율 변환 부호기가 필요하다. 한번 방송을 한 후 저장매체에 저장하여 보관중인 방송 내용도 후에 다른 전송매체를 통해 재방송

을 하는 경우는 빈번할 것이다. 이 경우에도 전송 비트율이 달라질 가능성이 높다.

방송국에서 보관하고 있어야 할 영상은 크게 두 가지라고 볼 수 있다. 첫 번째는 방송되기 전 상태인 ITU-R Rec.601이나 SMPTE 260M등의 스튜디오 규격 신호이다. 이러한 신호들은 지나치게 저장공간을 많이 차지하는 단점이 있다. 두 번째는 이미 방송된 신호로서, MPEG-2 비트스트림과 같은 것이다. 방송 서비스를 하는 곳에서는 보통 두 가지 신호 모두 사용한다고 할 수 있다. 두 번째 신호는 MPEG같은 부호화기로 부호화한 비트스트림이다. 이러한 데이터는 원신호가 수십분의 1로 압축된 것이기 때문에 VTR 테잎이나 하드디스크의 용량을 적게 차지한다. 하지만 두 번째 신호는 이미 특정 비트율에 고정되어 압축 부호화되어 있기 때문에 나중에 다시 서비스하고자 할 때 다른 비트율로 바꾸어야 한다. 즉, 6Mbps로 부호화되어 저장되어 있는 비디오 신호를 3Mbps급의 DVD(digital video disc)에 기록하거나, 3Mbps급의 VOD서비스, 또는 수십Kbps에서 1Mbps사이의 인터넷 방송에 적용하려는 경우이다. 인터넷에서는 특히 영상의 시간적 해상도와 공간적 해상도가 매우 낮다. 이와 같이 응용 대상에 따라 전송 비트율이 다르기 때문에 비트율 변환부호화기가 필요하다.

3. 변환 부호화와 Scalability

MPEG에서는 품질이 높은 것과 좀 떨어지는 두가지 비디오를 하나의 비트스트림에서 제공하는 방법으로 SNR scalability 프로파일과 spatial scalability 프로파일을 정의하고 있다. 이러한 프로파일들은 하나의 비트스트림에 기본품질과 향상 품질의 두가지를 제공한다. 비트스트림 중에서 일부만 복호화하면 기본 품질이 되고 비트스트림 전체를 다 사용하면 향상 품질이 된다. 이 방법을 통해서도 비트율을 다르게 전송하는 것이 가능하다. 그러나 변환 부호화에 비해 다음과 같은 차이를 가진다.

- scalable 프로파일은 임의의 비트율로 변환할 수 없다. 두가지 비트율만 만족한다. 변환부호화기는 임의의 비트율로 선형 변환이 가능하다.
- scalable 프로파일은 부호화하기 전에 미리 목표 비트율을 알고 있을 때만 가능하다. 저장된 MPEG 비트스트림을 나중에 필요에 따라 다른 화질이나 목표 비트율에 맞출 수는 없다.

변환부호화기는 미리 채널의 허용 비트율을 알 필요가 없다.

4. 변환부호화기의 분류 및 용도

비트율 변환 부호화기는 복잡도에 따라 4가지로 분류할 수 있다. 이들 방식은 나름대로 적합한 용도를 가지고 있다.

4.1 방식1 - AC계수 제거방식[1]

하드웨어가 가장 단순한 방식이다. 비트스트림내의 DCT계수들 가운데 고주파 성분을 제거하여 원하는 목표 비트율에 맞추는 방식이다. 그림2에 블록도를 나타내었다. 이 방식에서는 가변길이 부호를 복호화해서 DCT계수로 환원하지 않고 비트열의 parsing만 해도 비트길이와 부호의 경계들이 파악될 수 있다. 비트율 조절 방법의 예를 그림3에 나타내었다. 비트할당기에서 화면내의 모든 MB에 대한 AC비트 사용결과를 파악해내고 새로운 비트율을 위해 줄여야 할 비율을 결정하면 그림3과 같은 그래프를 얻는다. 매크로 블록단위로 목표 비트량에 맞추어 가면서 초과되는 위치의 DCT계수를 제거한다. 이 방식은 P-화면의 추가 오차를 보상해주지 않고 DCT 계수를 잘라내기 때문에 누적오차(drift error)가 발생한다.

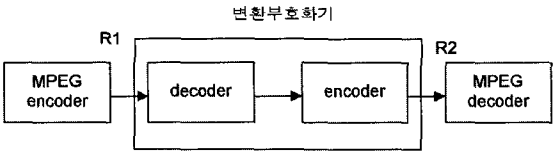

그림2. 고주파 AC계수를 제거하는 비트량 감소방법:방식1

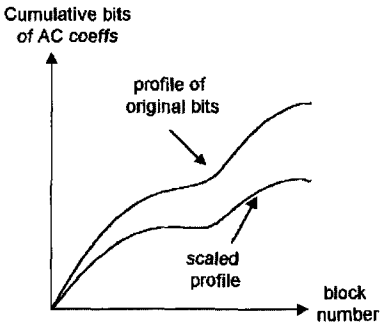

그림 3. 비트량 계산 그래프

방식1은 디지털 VCR(video cassette tape recorder)등에서 고속재생과 같은 특수재생(trick play) 또는 장시간기록용(extended play) 데이터를 생성하는데 사용한다. 비디오 테이프는 트랙으로 구성되어 있고 이 트랙에

MPEG 비트스트림을 기록할 수 있다.[3][4] 트랙은 크게 두가지 영역으로 나누어서 사용한다. 하나는 정상적인 재생을 위한 기록공간이고 나머지는 특수재생을 위한 비트스트림 기록 공간이다. 고속재생용 트랙은 기록공간이 상대적으로 대단히 적기 때문에 수신된 MPEG 비트스트림으로부터 상당부분의 데이터를 잘라내어 기록해야 한다. I-화면중에서도 DC계수와 1,2개 정도의 AC 계수를 추출하는 정도로 낮은 비트율을 만들어내야 한다.

또한 VCR 기록에서 중요한 응용은 장시간 기록용으로 테이프를 활용하는 것이다. 만약 테이프의 기록시간을 2배로 늘리고자 할 때는 입력된 비트스트림의 비트율을 1/2로 낮추어야 한다. 비슷한 응용으로서는 HDTV 수신신호를 받아서 SDTV급으로 기록하거나 또는 그에 해당하는 수상기로 재생할 때에도 필요하다.

여기서 VCR이나 TV 수상기는 대개 가정용이므로 복잡한 하드웨어를 사용해서 비용이 올라가는 것은 바람직하지 않다. 따라서 가장 품질은 떨어지지만 하드웨어가 단순한 방식1을 사용하게 된다.

4.2 방식2 - 재양자화

이 방식은 그림4에 나타낸 바와 같이 가변길이 복호화한 후, 역양자화를 하고 양자화 단계가 더 넓은(coarser) 양자화폭을 다시 적용하는 재양자화 방법이다. 비트율을 변환한 결과가 동일할 때 이 방법이 고주파 계수를 잘라버리는 방식1보다는 좋은 화질을 보인다.

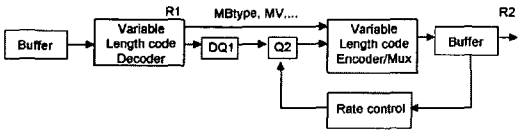

그림 4. 재양자화에 의한 비트율 변환부호화

이 방식에서도 P-화면의 누적오차를 보상해주지 않고 더 큰 양자화폭으로 재양자화하기 때문에 새로운 I-화면이 나올 때까지는 오차가 계속 누적된다.

X_n이 n번째 P-화면이라고 하면 이 화면을 복원하기 위해서 차분신호 D_n과 이전의 P-화면(I-화면도 상관없다)인 X_{n-1}이 필요하다.

$$X_n = X_{n-1} + D_n$$

n+1번째 화면도 P-화면이라면 다음과 같이 복원된다.

$$X_{n+1} = X_n + D_{n+1}$$

만약 방식2에 의해 변환부호화되면 차분 신호 D_n과 D_{n+1}은 재양자화에 의한 오차 E_n과 E_{n+1}을 포함하게 된다.

$$D'_n = D_n + E_n$$
$$D'_{n+1} = D_{n+1} + E_{n+1}$$

누적오차가 포함된 X'_n과 X'_{n+1}은 다음과 같이 복원된다. 다음 새로운 I-화면이 나올 때까지는 누적오차 E가 계속 더해진다.

$$X'_n = X'_{n-1} + D'_n = X'_{n-1} + D_n + E_n$$
$$X'_{n+1} = X'_n + D'_{n+1} = X'_n + D_{n+1} + E_{n+1}$$
$$= X'_{n-1} + D_n + E_n + D_{n+1} + E_{n+1}$$
$$= X'_{n-1} + D_n + D_{n+1} + E_n + E_{n+1}$$
$$\cdots$$

따라서 i번째 복원화면 X'_i의 누적오차는

$$E_n + E_{n+1} + \cdots E_i$$

가 된다.

재양자화되어 가변길이로 표현된 DCT 계수들은 다시 보조정보 부호들과 재결합되어 비트스트림이 완성되어 버퍼로 보내진다. 여기에서 보조정보에 해당하는 것들은 표1에 나타낸 것들이다. 보조 정보중에서 CBP(coded block pattern)등은 바뀔 수 있다. 재양자화 과정에서 매크로블럭내의 어느 블럭은 모든 계수가 0이 될 수 있기 때문이다. 이것은 모든 방식에서 공통적으로 일어난다.

표 1. 그대로 사용될 부호화 결정 정보들[6]

화 면 단 위	화면부호화모드와 구조, 양자화 가중치 행렬, scan 및 VLC 테이블
매크로블럭단위	MB 부호화 모드(intra/nonintra, MCP mode), Motion vectors, DCT types, quantizer scale, Bit count

방식2에서도 앞의 방식과 마찬가지로 사용한 비트량 사용 그래프를 비율제어(rate control)에 사용할 수 있으나 좀더 정밀한 비율제어 방식과 재양자화기가 필요하다. 방식2도 VCR등의 용도에 사용할 수 있다.

3. 방식3 - 움직임 보상

비트스트림이 역양자화되고 IDCT되어 화소영역까지 복호화된다. 움직임 보상을 하기 때문에 누적오차 문제

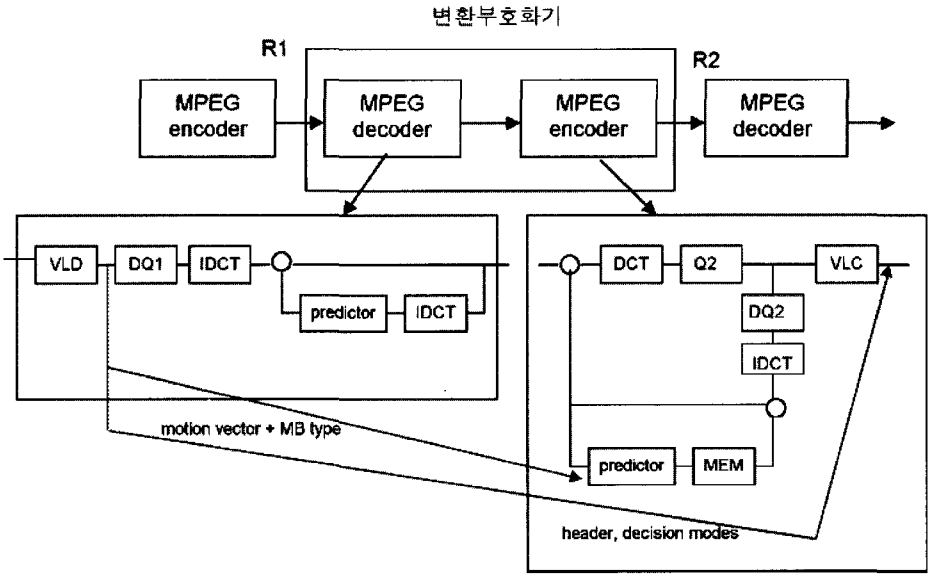

그림 5. 단순 연결형태의 변환부호화기

를 없앨 수 있다. 그러나 움직임 백터와 매크로블럭 타입과 같이 부호화 결정(decision modes) 정보는 그대로 사용한다.

앞의 방식에 비해 움직임 보상회로가 추가되므로 복잡해 보이지만 가장 계산량이 많은 움직임 추정 부분은 생략하므로 하드웨어의 복잡도가 현재의 반도체 설계 기술을 반영할 때 그다지 높지는 않다. 그림5의 변환부호화기는 MPEG 복호기와 부호화기를 연결해 놓은 그림이다. 이렇게 연결된 상태에서 중복 부분들을 제거해 보면 그림6과 같은 단순화된 회로를 얻을 수 있다[2]. 그림에서 보는 바와 같이 움직임 벡터와 보조정보는 그대로 활용한다.

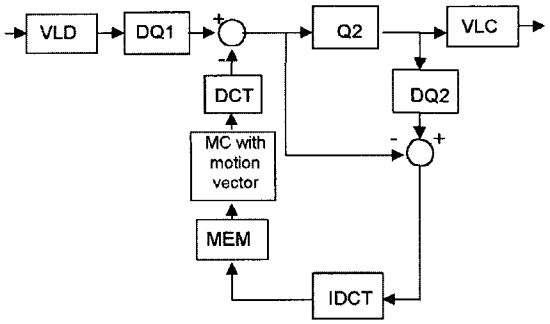

그림 6. 단순화시킨 변환부호화기

방식3은 하드웨어가 복잡해지는 대신 화질이 더 우수하다. 따라서 프로그램 공급자인 VOD(video on demand) 서버나 방송국 등에서 사용할 수 있다.

4.4 방식4 - 새로운 움직임 추정 및 부호화 결정

이 방식에서는 복원된(reconstructed) 화면에 기초하여 새로운 부호화 결정을 한다. 이 변환부호화기는 방식3에 움직임 추정을 추가한 것이므로 거의 단순히 MPEG 복호화기와 부호화기를 연결해놓은 것과 동일하다. 여기서는 새로운 매크로블럭 결정 모드를 사용한다. 비트율을 낮춘 비트스트림에는 높은 비트율에서 사용했던 부호화 정보들이 적합하지 않다고 보기 때문에 각종 부호화 결정을 새롭게 한다. 화면의 부호화 방법이 바뀔 수도 있다. 예를 들어 I-화면이 P-화면으로 바뀔 수 있다. 움직임 백터를 완전히 다시 구하기 보다는 미세조정(refinement)을 하는 경우도 있다[5]. 이 경우는 주어진 움직임 벡터 주변의 일정한 범위 내에서 다시 조사한다. 탐색 범위는 [-1, 1] 또는 [-3, 3]등이 될 수 있다.

5. 변환부호화에 관련된 기존의 연구

Morrison[8]은 변환부호화기내의 복호기와 부호화기가 서로 중복된 부분이 있으므로 이 부분들을 상쇄시

킨 단순화된 시스템을 제안하였다. 방식3에 해당한다. Assuncao[9]도 이와 유사한 방식을 제안하였다.

Keesman[2]도 기본적으로 복호기와 부호화기가 단순히 연결된 변환부호화기로부터 등가적인 단순화된 시스템을 유도하였다. 이 시스템은 방식3이며 등가적인 몇 단계의 회로 변형에 의해 중복부분을 제거하여 단순화된 회로를 유도하였다. 변환부호화 결과는 동일 비트율에서 직접부호화기에 비해 약 0.5 -1 dB 정도 떨어진다. 첫 번째 양자화기와 재양자화기의 표현(reconstruction) 레벨과 결정(decision) 레벨의 상호 포함 관계에 의해 재양자화기의 폭이 결정되면 두 개를 결합시키는 효과적인-양자화기(effective quantizer)를 제안하였다. 하지만 이 양자화기는 새로운 양자화기 모델이라기 보다는 두 양자화기간의 레벨을 통합한 정도이다. SUN[1]은 변환부호화기를 4가지로 분류하였고 각 방식마다 매크로블럭별로 비트를 할당하는 방안도 제안하였다. 특히 DCT 계수 삭제(cutting)보다 재양자화가 더 좋은 점을 나타내었다. 방식1과 방식2에서는 비율제어(rate control) 방법으로 비트 사용량에 대한 그래프를 통해 비트할당의 예를 보였으나 양자화 모델을 제시하지는 않았다. 여기에서는 한 화면 내에서 비트율 제어를 하였다. 고주파 계수 제거에서는 각 매크로 블록별로 비율에 맞는 비례 그래프를 통해 비트량을 할당하였다. 재양자화 기법에서는 목표 비트량과 실제 사용 비트량의 차이를 고려하면서 양자화 폭의 값을 조절하였다. 방식3중에서는 움직임 추정에서 구했던 움직임 벡터를 사용자 부호영역(user data)에 전송해서 이것을 이용해 변환부호화하는 것도 비교하였다.

Niklas[5]는 H.263에 기초한 2가지 비트율 변환 부호화기를 제시하였다. 이것들은 비율(rate) 낮추기 방법과 해상도 낮추기 방법이고 전체적으로 방식4에 가깝다. 주어진 움직임 벡터 대신에 주변을 다시 조사하여 더 정밀한 움직임 벡터를 탐색하였다. 또한 움직임벡터와 MBtype(macroblock type)을 단순히 그대로 사용할 때의 문제점을 지적하였다. 주어진 움직임 벡터는 원래의 양자화기에는 적합하지만 재양자화기에는 적합하지 않다. 재양자화기 Q2는 값이 크므로 양자화 후 어느 블록의 DCT 계수들은 모두 0이 될 수 있기 때문에 MBtype은 틀려질 수 있다. intermode의 매크로 블럭이 재양자화에 의해 skipped 모드가 될 수 있다. 이러한 문제에 대한 해결책으로 주어진 움직임 벡터 주변 최대 [-3, +3](대개의 경우[-1,+1])에서 움직임 벡터를 다시 구했다. 변경될 수 있는 매크로블럭 유형은 인트라에서 인트라, skipped에서 skipped, inter에서 skipped 또는 inter이다. 실험을 통해서 움직임 벡터를 미세조정 했을 때 비트율이 좀 더 낮아지는 것을 확인하였다. 또한 scalable 프로파일과도 비교하였다. Youn[10]도 화질을 향상하기 위해 움직임 벡터의 미세조정을 통해 좀더 좋은 화질을 유지하고자 했다.

Tudor[6]는 비트스트림에 이미 나타난 훼손정도를 모델링하였다. 또한 입력에 이미 나타난 비트율의 통계값을 사용하였다. 이것을 바탕으로 양자화기를 설계하였다. 일반적으로는 TM5[12]에서 제시한 양자화기를 사용하지만 변환부호화기에 적합하지 않다고 가정하여 MAP(maximum a posteriori) 양자화기를 새로 제안하였다. TM5에서는 표현레벨은 정의하지만 결정레벨은 정의하고 있지 않으므로 복호화할 때 표현레벨에 맵핑(mapping)하는데 어느정도 자유도가 있다. MAP 양자화기는 결정레벨을 규정함으로써 이러한 자유도를 이용하고 있다.

Assuncao[11]는 비율왜곡(rate-distortion)에 기초한 변환부호화기를 제안하였다. 왜곡(distortion)과 비트율을 변수로하고 비트율에 Lagranger multiplier가 곱해진 비용함수를 사용하였다. 이 비용함수가 최소가 되는 때의 양자화 폭이 목표 비트율을 만족한다. 또한 왜곡은 주파수영역에서 구하였다.

6. 변환 부호화기의 전개방향

지금까지 변환부호화기의 특징과 여러 방식을 소개하였다. 또한 기존의 연구중 대표적인 것들을 분석하였다. 대개의 경우는 역양자화와 IDCT하여 움직임 보상을 새롭게 하는 방식3에 주로 집중하고 있다. 이는 현재의 반도체 설계 기술면에서 크게 어렵지 않고 또한 누적오차를 없앨 수 있기 때문이다. 하지만 앞에서 언급한 바와 같이 응용 분야에 따라 방식2가 선호되기도 한다. 또한 방식3의 구조 속에서 기존의 TM5 대신 재양자화기에 적합한 양자화기 모델과 비율제어 방법의 개발이 주요 과제라고 할 수 있다.

7. 결 론

본 논고에서는 비트율 변환 부호화기의 정의와 필요성 등에 대해서 논하였다. 또한 MPEG-2의 scalable 프로파일과도 비교를 하였다. 변환 부호화기의 방식들마다 제각기 적합한 용도가 있다. 변환 부호화기는 단순히 압축 비트율을 낮추는 것 뿐 만 아니라 비트스트림 스위칭, 다중화, 다른 부호화 방식으로의 변환, 편집등의 영역에도 관계가 있다. 향후 디지털 서비스가 본격화되었을 때 각종 조작을 비트스트림 상태에서 그대로 실행할 수 있어야만 한다. 따라서 본격적인 디지털 비디오 서비스가 이루어지도록 활발한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] H.Sun, W.Kwok, and J.W.Zdepski, "Architectures for MPEG Compressed Bitstream Scaling", IEEE trans. on circuits and systems for video technology, vol., 6, No.2, pp.191-199, April., 1996.
[2] G. Keesman, R. Hellinghuizen, F. Hoeksema and G. Heideman, "Transcoding of MPEG bitstreams," Signal Processing: Image Communication, vol.8 pp.481-500, 1996.
[3] R.W.J.J Saeijs, et al.,"AN EXPERIMENTAL DIGITAL CONSUMER RECORDER FOR MPEG-CODED VIDEO SIGNALS", IEEE Trans.on CE.,vol.41, No.3, pp.97-121, Aug.,1995.
[4] N.Yanagihara, et al., "A Recording Method of ATV data on a Consumer Digital VCR", International Workshop HDTV93, 1993.
[5] Niklas BJork and Charilaos Christopoulos, "Transcoding Architectures For Video Coding," IEEE Transactions on Consumer Electronics,Vol.44,No.1, pp.88-98, Feb.,1998.
[6] P.N. Tudor and O H Werner, "Real-time Transcoding of MPEG-2 Video Bit streams," International Broadcasting Convention 97, Amsterdam, pp.286-301, 1997.
[7] Yasuyuki Nakagima, Hironao Hori and Tamotsu Kanoh, "Rate Conversion of MPEG Coded Video by Re-quantization Process", Proc. ICIP95, pp.40 8-411, 1995.
[8] D. G. Morrison, et. al., "Reduction of the bit-rate of compressed video while in its coded form," The 6th International Workshop on Packet Video, 1994.
[9] P. Assuncao and M. Ghanbari, "Post-processing of MPEG2 coded video form transmission at lower bit rates," Proc. IEEE International Conference in Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP'96, Vol.4, pp.1998-2001. 1996.
[10] J. Youn and M. Sun, "Motion Estimation For High Performance Transcoding," IEEE Intrenational Conference on Consumer Electronics 98, pp.136-137, 1998.
[11] P. Assuncao and M. Ghanbari, "Optimal Transcoding of Compressed Video", ICIP97, pp.739-742, 1997.
[12] International Organization for Standardization, Test Model Editing Committee, 1993. Test Model 5, April, ISO-IEC/JTC1/SC29/WG11/N0400.

필 자 소 개

박 구 만

- *1961년 3월 26일생*
- *1984년 2월 한국항공대학교 전자공학과 졸업(공학사)*
- *1986년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)*
- *1991년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)*
- *1991년 3월 ~ 1996년 8월 삼성전자 신호처리연구소 선임연구원*
- *1996년 9월 ~ 현재 호남대학교 전자공학과 조교수*
- *주관심 분야 : 영상신호처리, 디지털방송방식, 초고속영상통신.*

이 광 직

- *1992. 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)*
- *1996. 현재 서울산업대학교 매체공학과 교수*

최 성 진

- *1982. 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)*
- *1984. 광운대학원 전자공학과 졸업(공학석사)*
- *1991. 광운대학교 전자공학과 졸업(공학박사)*
- *1987 ~ 1992 인덕전문대학 전자과 조교수*
- *1992. 현재 서울산업대학교 매체공학과 교수*
- *주관심분야 : 영상통신, 디지털 TV방송*