

MPACS 시스템에서 Scalable 구조를 이용한 심장 조영상의 계층적 부호화에 관한 연구

한영오, 정계우, 안진호, 박종관, 신중인*, 박상희
연세대학교 전기공학과, * LG 전자 video 연구실

A Study on the Hierarchical Coding of the Angiography by Using the Scalable Structure in the MPACS System

Young Oh Han, Jae Woo Jung, Jin Ho Ahn, Jong Kwan Park, Joon In Shin*, Sang Hui Park

Dept. of Electrical Engineering Yonsei Univ, * Video lab, LG electronics Corp.

Abstract

In this paper, we propose an effective coding method of the angiography by using the scalable structure in the frequency domain for MPACS(Medical Picture Archiving and Communication System). We employed the subband decomposition method and MPEG-2 system which is the international standard coding method of the general moving picture. After the subband decomposition is applied to split an input image into 4 bands in the spatial frequency domain, the motion compensated DPCM coding method of MPEG-2 is carried out for each subband. As a result, an easily controllable coding structure is accomplished by composing the compound bit stream for each subband group. Follows are the simulation results of the proposed scheme for the angiography. A scalable structure which can be easily controlled for a loss of transmission or the band limit can be accomplished in the MPEG-2 structure by the subband decomposition minimizing the side information. And by reducing the search area of the motion vector between -4 and 3, the processing speed of a codec is enhanced by more than two times without a loss of the picture quality compare with the conventional DCT coefficients decomposition method. And the processing speed is considerably improved in the case of the parallel construction of each subband in the hardware.

1. 서론

디지털 의료영상은 환자를 진단하기 위한 전기적 신호로 이루어진 영상이다. 최근에는 기존에 사용되고 있던 X선 필름등을 대체하여 비용절감 및 이용의 편리성을 추구하고 동시에 의료영상의 효율적 관리를 위하여 의료영상 저장 및 전송 시스템인 MPACS에 관한 연구가 국내외에서 활발히 진행중에 있다. 그러한 의료영상의 디지털 부호화 기술은 압축율은 낮지만 정보의 손실이 없어서 복원영상에 대한 충분한 신뢰성이 존재하는 가역 부호화(reversible coding) 방식과 약간의 정보 손실을 감수하면서도 높은 압축율을 얻고자 하는 비가역 부호화(irreversible coding)로 분류할 수 있다.[1][2]. 의료영상은 환자의 진단이라는 목적의 특수성으로 인하여 정확성이 요구된다. 특히 심장 조영상과 같이 혈관이 진단대상인 경우에는 에지의 특성이 잘 복원되어야 할 필요가 있고, 또한 심장 조영상은 동영상에 해당하기 때문에 조영제가 투입되기 전후의 심장의 변화에 따른 영상의 변화가 부호화된 후 좋은 화질로 복원되어야 한다. 그리고 진단의 시간 제약이라는 상황에 적용하기 위해서는 복원과정도 간단해야 한다. 또한 의료영상의 부호화 방식은 표준화가 되어있지 않아서 각 시스템간의 상호 호환성이 없다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하면서 심장 조영상과 같은 의

료 동영상의 부호화에 대한 새로운 접근 방법으로 일반 동영상의 부호화의 표준안으로 채택되고 있는 MPEG-2 기법을 이용하면서 필요에 따라서 영상의 크기를 적절히 제어할 수 있고 전송로의 대역제한 또는 손실에 비교적 유연히 대처할 수 있으며 표준안으로서 호환성을 지닐 수 있는 새로운 의료용 동영상 계층적 부호화 기법을 제안하고자 한다.

II. 대역분할 부호화

1. 영상신호의 대역분할

대역분할 부호화는 1976년, Crochiere가 처음으로 음성신호의 부호화에 적용하였고, 그 후 영상신호에도 적용되기 시작하였다. 1984년 Vetterli는 1차원 신호의 대역분할 및 합성기법을 다차원 특성을 갖는 신호에 확장했으며 1차원 직각 대칭 필터(QMF : Quadrature Mirror Filter)를 이용하여 분리 가능한 2차원 QMF를 구현함으로써 2차원 신호의 대역분할 및 합성에 대한 이론을 확립하였다.[6] 1986년, Woods등은 정지영상신호에 대하여 4대역 분할 및 합성을 이용한 대역부호화를 행하여 좋은 결과를 얻었다.[7] 그 후, 일반영상 및 의료영상등에 대하여 DPCM, PCM, VQ등과 결합되어 그 효율성이 입증되어 왔다.[8][9] 분리가능한 필터를 이용하여 구성된 4대역 대역분할 및 합성 필터트리 는 그림 1과 같고[6] 본 연구에서는 그림의 필터트리를 이용하였다.

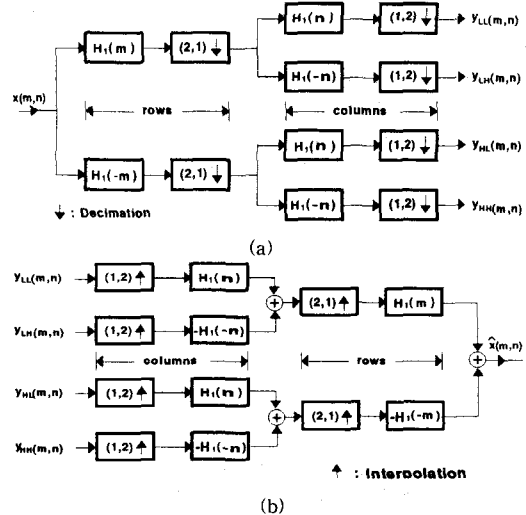


그림 1. 분리가능한 4대역 필터트리

(a)분할 필터트리 (b)합성필터트리

Fig. 1. Separable 4 bands filter tree.

(a)analysis filter tree (b)synthesis filter tree

2. 비트 할당

대역분할에 의하여 분리된 각 신호들은 각 대역별로 자기 다른 통계적인 특성을 지니게 되기 때문에 대역별 비트할당이 가능하다. 랜덤 벡터 $\mathbf{X} = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_M)$ 에 대하여 각 팩터의 요소는 평균 0과 분산,

$$\sigma_k^2 = E[X_k^2] \quad (1)$$

전체 대역을 부호화하는데 쓰이는 평균 비트 R 은,

$$R = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M R_k \quad (2)$$

가 된다. 동일한 크기의 대역폭을 갖고 대역이 중첩되지 않는 각 대역의 대역분할에 있어서의 최적 비트할당은 다음 식으로 구할 수 있다.[10]

$$R_{k,opt} = R + \frac{1}{2} \log_2 \frac{\sigma_{xk}^2}{\left[\prod_{k=1}^M \sigma_{xk}^2 \right]^{1/M}}$$

$$= R + \frac{1}{2} \log_2 \left[\frac{\sigma_{xk}^2}{\sigma_{gsm}^2} \right] \quad (3)$$

그런데 식 (3)는 높은 비트율(즉, 낮은 압축율)에 대해서만 정확한 값을 가지며, 특히 낮은 비트율(즉, 높은 압축율)에서는 음수의 비트할당이 발생할 가능성이 매우 높다.[11][12] 이 문제를 해결하기 위해서 음수값이 발생하는 경우에는 적절한 문턱값인 T 로 올리고(본 연구에서는 T 를 0.1로 함), 원래의 목표 비트율을 초과하는 비트수 만큼을 각 대역의 할당된 비트에서 고르게 차감함으로써 평균 비트율 R 을 유지하면서 음수의 비트 발생을 억제하는 방법을 사용했다. 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$R_k = \begin{cases} T & R_k < T \\ R_k & R_k \geq T \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{그리고, } R_i = \begin{cases} R_i - (T - R_k) / (M - 1) & R_k \geq T \\ R_i & R_k < T \end{cases} \quad (5)$$

III. 대역분할 scalability

1. 부호화를 위한 전처리 방법

본 논문에서는 서론에서 기술한 바와 같이 동영상 부호화 방법에 있어서 국제 표준화 방법을 사용하면서, 간단한 수정만으로도 scalability의 실현이 가능한 그림 2,3과 같은 대역분할 및 Sub-GOP의 구성 방법과 그림 4와 같은 부호화기 및 복호화기를 이용하여 2개의 계층, 즉 원영상과 같은 해상도의 하위계층과 그 1/2 해상도의 상위계층을 갖는 scalable 구조를 제안한다.

먼저 부호화기의 입력영상을 그림 2처럼 4대역으로 분할하고 각 대역별로 그림 4의 부호화기에 의하여 움직임 보상 DPCM 부호화를 거친다. 그리고 나서 부호화된 비트열을 메모리에 저장하면서 그림 3과 같은 Sub-GOP를 구성하게 된다.

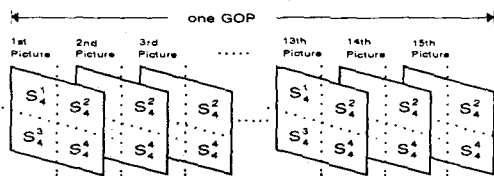


그림 2. 하나의 GOP에서의 대역 분할
Fig. 2. Subband Decomposition in one GOP

GOP의 모든 부호화가 끝나면 최종적으로 MUX에서 그림 5와 같이 Sub-GOP순으로 순차적인 비트열을 구성하게 된다.

이 구조에서는, 각 대역의 정보가 서로 다른 특성을 갖기 때문에 DCT 영역에서의 scalability를 실현하는 방법과는[3][4][5] 달리,

동일한 정보를 반복하여 부호화하지 않는다. 따라서 한정된 대역의 채널을 사용하는 경우 작은 크기의 해상도를 갖는 영상만을 추출하여 부호화함으로써 대역의 낭비를 최소화 할 수 있으며,

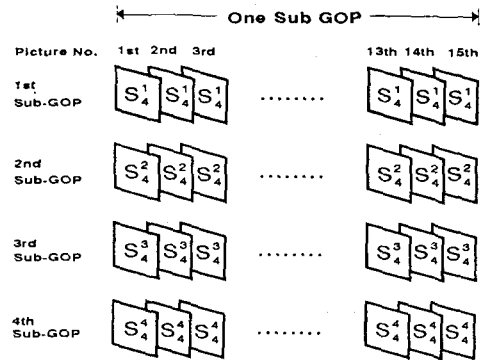


그림 3. 하나의 GOP에서의 대역군의 구조
Fig. 3. Subband Group in one GOP

또한 복호화기측에서는 원하는 해상도의 대역만을 추출할 수 있기 때문에 보다 간단하게 scalability를 실현할 수 있다(그림 4). 한편 MPEG-2 표준안의 양자화기는 일정한 범위의 값으로 양자화하도록 그 값들이 미리 설정되어 있고 전송율에 문제가 있는 경우에만 양자화 계단간격을 확장하는 방법을 이용하며 하드웨어의 실용화를 고려하여 정수값만을 처리하도록 하고 있다.[3] 그런데 대역분할된 영상은 FIR필터를 거친 후의 신호이므로 음수의 계수를 포함할 수도 있고 상위대역(즉, LH, HL, HH 대역)은 그 분산이 매우 낮기 때문에 그대로 부호화할 때는 정수치리에 의하여 고주파 영역이 손상될 우려가 있다. 따라서 대역분할된 영상을 표준안의 부호화기에 입력하여 최적의 부호화를 실현하기 위해서는 적절한 정규화를 이용한 전처리가 선행되어야 한다.

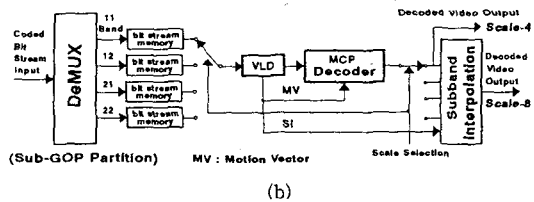
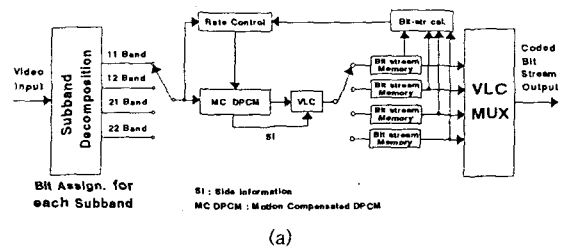


그림 4.
(a) 제안된 공간 주파수 영역에서의 스키텔러블 부호화기
(b) 제안된 공간 주파수 영역에서의 스키텔러블 부호화기

본 논문에서는 전처리 방법으로 다음과 같은 방법을 사용하였는데 부호화 및 전송시 약간의 주변정보가 추가되었지만 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 대역분할후의 LL대역은 에너지 집중도가 현저히 높은 부분으로서 이 정보를 기준으로 하여 나머지 대역의 신호들을 정규화하고 부동소수점들은 정수처리한다. 즉,

$$\text{Step 1: } S_{mn}(i, j) = S_{mn}(i, j) - T_{mn}$$

$$\text{Step 2: } NS_{mn}(i, j) = \frac{S_{mn}(i, j)}{D_{mn}} \times (D_{LL}) \quad (6)$$

$$\text{Step 2: } NS_{mn}(i, j) = \frac{S_{mn}(i, j)}{D_{mn}} \times (D_{LL}) \quad (7)$$

Step 3 : $NS_{mn}(i, j) = RoundOff(NS_{mn}(i, j))$ (8)

여기서, $mn = Subband Number$ (즉 LH, HL, HH), i, j 는 각 화소의 좌표, $S_{mn}(i, j)$ 은 원신호의 화소값, T_{mn} 은 정규화를 위한 각 대역의 문턱지(여기서는 최소값), $NS_{mn}(i, j)$ 은 정규화된 신호의 화소값, D_{mn} 은 각 대역의 특성에 기초한 정규화 인자, 즉 $S_{mn}(i, j)$ 의 화소중 최소값과 최대값의 폭, 그리고 (D_{LL}) 은 LL 대역의 특성에 기초한 정규화 인자, 즉 LL 대역의 화소중 최소값과 최대값의 폭이다. 정규화하기 전 원래 신호들의 기준값인 각 대역의 최대값 및 최소값은 부호화된 데이터를 복호화한 후의 원 영상을 복원하는 과정인 보간과정에서 정확한 계산을 할 수 있도록 주변정보로서 각 대역 분할된 영상과 함께 부호화하여 전송한다. 그 값은 원래는 부동 소숫점으로 나타나지만 부호화기의 특성을 고려하여 정수처리하면 전체적인 값의 범위는 -256 ~ +255가 되므로 9비트의 고정길이 부호화가 가능하다.

2. 비트열의 구성

본 논문에서 제안한 부호화기(그림 4(a))에 의하여 발생되는 비트열은 그림 3과 같이 대역분할된 영상들인 Sub-GOP들의 순차적인 구조를 갖고 있으며 전송한 바와 같이 각 GOP는 Sub-GOP들의 합으로 구성된다. Sub-GOP의 순서는 그림 4(a)에 나타난 것처럼 거대역, 즉 LL 대역만이 모인 Sub-GOP부터 시작하여 상위 대역순으로 부호화되어 순차적인 비트열을 구성하게 된다. 또한 각 대역별로 GOP내에 Sub-GOP를 구성했기 때문에 복호화기측에서 각 Sub-GOP 식별용 부호는 4개 필요한데, 부호의 길이는 표준안의 Start Code와 동일한 32비트의 부호를 사용하며 그 각각은 그림 5와 같이 주변정보로서 각 Sub-GOP의 제일 앞부분에 위치시킨다. 전송을 조정은 I-2절과 같은 비트할당 방법을 이용하고 심각한 화면의 전환이 없는 경우를 가정하여 각 Sub-GOP별로 평균분산을 계산하여 sequence의 시작부분에서 Sub-GOP에 대한 비트할당을 한 후, 표준안의 전송을 조정방법을[3] 이용하여 각 Sub-GOP별로 전송율을 조정했다(그림 4(a)).

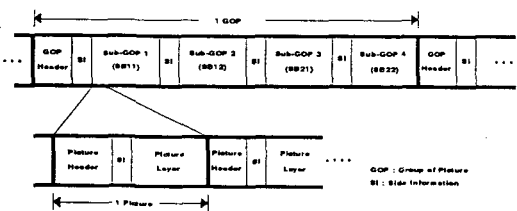


그림 5. 부호화된 비트열의 구조
Fig. 5. Structure of Coded Bit Stream

IV. 실험 및 결과 고찰

실험용 영상으로는 352x288 크기의 심장 조영상 60프레임을 사용했으며 X선 영상이기 때문에 휘도신호만을 사용하였다. 각 화소당 8비트의 계조도(256 gray level)를 갖고 있으며, 색도신호를 갖고 있지 않기 때문에 부호화시에는 MPEG-2의 구조에서 휘도신호만을 처리하는 방식을 취하였다. 실험에 사용한 계층은 2개의 계층, 즉 상위계층 및 하위계층이고 그림 4의 부호화기와 복호화기를 이용했으며 GOP내의 화상의 수는 표준안에 따라서 15개로 했고 그림 2,3의 대역 분할 방법을 이용했다. 기존의 방식은 그림 MPEG-2의 scalable구조[3]를 이용했다. 전송율은 3Mbps의 전송율(실제 발생 비트량은 3418828bps, 압축율 7.1:1)로 움직임 벡터를 찾기 위한 움직임 추정의 탐색영역은 표준안의 반화소 탐색영역의 범위(-8 ~ 7.5, forward_f_code=backward_f_code=1인 경우) 그리고 1/2의 범위(-4 ~ 3, forward_f_code=backward_f

_code=1인 경우)로 실험을 했다.

복원된 영상의 화질을 평가하기 위한 지표는 영상신호의 객관적 평가에 가장 널리 이용되는 식인 PSNR을 사용했는데 식 (9)로 정의된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [s(i, j) - \hat{s}(i, j)]^2} [dB] \quad (9)$$

$s(i, j)$: original pixel value

$\hat{s}(i, j)$: reconstructed pixel value

대역분할 및 합성시의 필터는 필터의 길이가 길어질수록 PSNR이 높아지는 특성이 있지만 처리시간이 길어지고 하드웨어의 복잡도가 높아지는 단점이 있다.[13] 따라서 본 논문에서는 하드웨어 구현시의 실시간 처리를 고려하여 Johnston의 12A형 QMF필터[14]를 사용했는데 부호화를 하지 않은 대역분할 및 합성시의 PSNR은 53.5dB였다. 이 때의 실험영상으로는 심장 조영상 60프레임을 이용하여 평균을 취하였다. 전송한 것처럼 정규화를 위한 주변정보는 9비트의 고정길이 부호화가 되므로 각 대역의 영상에는 각각 2x9비트(최대값, 최소값)(9비트)만의 주변정보가 발생되었다. 352x288 규격의 심장조영상의 경우 $(2x9)/(352x288)=0.00018\text{bpp}$ 의 주변정보가 발생된다. 그리고 각 대역군을 구별하기 위한 Sub-GOP 식별용 부호는 각 Sub-GOP당 1개씩 필요하므로 이로 인한 주변정보의 발생은 32비트 $(176x144)=0.00126\text{bpp}$ 로서 대역 분할에 의하여 발생된 주변정보의 총합은 0.00144bpp가 된다. 표 1은 제안된 구조에 의하여 복원된 3Mbps에서의 심장조영상의 PSNR과 기존의 방법에 대한 비교 데이터이다. 제안된 대역분할 구조에서의 탐색영역은 표준안의 반화소 탐색영역과 동일한 범위(-8 ~ 7.5) 그리고 제안된 범위 (-4 ~ 3)로 나타내었다. 실험 결과 대역분할에 의한 scalable 구조는 MPEG-2의 scalable 구조에 비해서는 낮은 PSNR을 보였지만, 사진 1에서 볼 수 있듯이 시각적인 화질의 열화는 볼 수 없었다. 또한 대역분할 구조에서는 제안된 탐색범위에 의한 결과가 표준안과 동일한 탐색범위에 대한 결과에 비해서는 조금 더 향상된 결과를 보임을 알 수 있다. 이는 대역분할을 하는 경우에는 원래의 영상보다 크기가 작아지기 때문에 탐색 영역을 축소하는 것이 화질 및 처리 속도면에서 훨씬 유리하다는 것을 의미한다. 실험은 Work Station SUN4 670MP에서 하였는데 기존의 탐색영역을 적용하는 경우 심장 조영상 60 프레임의 부호화 속도는 약 2시간, 제안된 탐색영역을 적용하는 경우는 약 1시간으로서 화질의 열화없이 부호화 및 복호화의 수행 속도를 2배 이상 높일 수 있음을 알 수 있었고, 더우기 각 대역별로 병렬처리를 하도록 하드웨어 구성을 하면 원래의 표준안의 구조보다 더욱 빨라지리라 것을 예측할 수 있었다. 그리고 상위 계층에 대한 부호화의 결과는 PSNR로 나타낼 때 I-Picture는 44.56dB, B-Picture는 42.81dB 그리고 P-Picture는 42.96dB로서 2개의 계층을 이용하는 방식에서는 LL 대역을 상위 계층으로 사용하기 때문에 좋은 화질을 유지하고 있음을 알 수 있다.

표 1. 탐색범위에 따른 평균 PSNR (3Mbps, 60프레임)

	대역 분할 방법		DCT 계수 분할 방법
	제안된 탐색범위	표준안의 탐색범위	
I Picture	40.97	40.56	45.18
B Picture	39.97	39.76	43.48
P Picture	40.18	40.02	44.01

사진 1(a) 및 (b)는 각각 그림 4의 부호화기에 의하여 부호화되기 전의 심장조영상의 원영상 및 부호화, 복호화를 거친 후의 복원된 휘도신호에 대한 영상의 사진이다. 37번째 프레임을 촬영하였다.

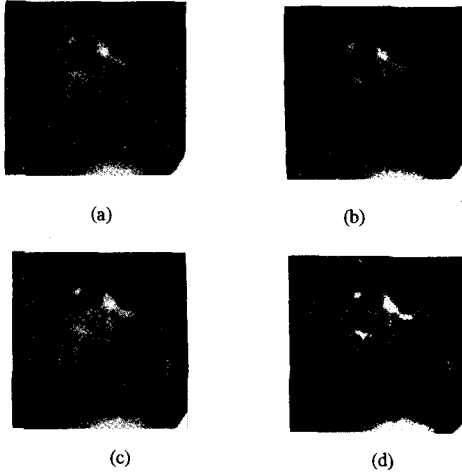


사진 1. (a) 원 영상 (37번째 프레임)
 (b)복원 영상 1 (LL, LH, HL, HH 대역 사용)
 (c)복원 영상 2 (LL 대역만 사용)
 (d)복원 영상 3 (LH, HL, HH 대역 사용)
 Photo. 1. (a) Original Image (37th frame)
 (b) Decoded Image 1(Using LL, LH, HL, HH bands)
 (c) Decoded Image 2(Using only LL band)
 (d) Decoded Image 3(Using LH, HL, HH bands)

복원된 각 대역의 영상들은 대체로 충실하게 복원 되었음을 알 수 있다. 이 사진들에서 알 수 있듯이 대역 분할한 영상에 대하여 매크로블럭의 크기를 16x16으로 설정하여 부호화를 하는 경우, 실제의 원 영상에 대해서는 32x32의 4배의 크기가 뒤에도 불구하고 큰 열화 없이 비교적 충실하게 복원될 수 있음을 알 수 있다. 사진 1(c)는 기저대역, 즉 LL 대역을 제외한 나머지 3개의 대역을 절단한후 복원한 하위계층의 영상이고 (d)는 절단된 3개의 대역을 원 영상의 크기로 합성 복원한 영상이다. 사진 1(c)에서 알 수 있듯이 상위대역(LH,HL,HH 대역)을 모두 절단하는 경우에도 시각적인 화질의 열화는 거의 없음을 확인하였다. 그림 6은 전송로의 손실이 있거나 그림 4(b)의 부호화기에서 일부대역을 절단하는 경우의 최종 복호화된 영상의 PSNR을 원래의 전 대역 복호화시의 PSNR과 비교하여 나타낸 그래프이다.

그리고 표 2는 각 대역을 절단했을 때의 복호화된 화상의 평균 PSNR이다. 표 2 및 그림 6에 나타나 있듯이 일부 대역(특히 HH 대역)을 절단하는 경우에도 성능의 저하는 미소함을 알 수 있다.

표 2.각 대역 절단시의 복호화 성능(60 프레임, Popple)

	전대역 복호화	LH 대역 절단	HL 대역 절단	HH 대역 절단	LH-HH 대역 절단
I 화상	40.79	38.97	40.42	40.74	38.70
P 화상	39.97	38.32	39.53	40.04	38.12
B 화상	40.18	38.31	39.74	40.21	38.09

V. 결론

본 연구에서는 MPACS시스템에 있어서 의료 동영상인 심장 조영상의 효과적인 계층적 부호화를 위하여 다중해상도를 지닌 새로운 scalable구조를 제안하였다. 일반 동영상 국제 표준안의 구조에 scalable구조를 적용하기 위하여 대역분할 방법을 이용하였다. 입력된 심장 조영상을 4대역으로 분할하여 전처리를 한 후, 동일한 대역들의 집합인 Sub-GOP들에 대한 부호화를 하고 multiplexer에서 순차적인 비트열을 구성하였다.

본 연구에 의하여 얻은 결과는 다음과 같다. 첫째, 일반 동영상의 표준안 구조에 대역분할 방법을 적용한 새로운 scalable 구조를 이용하여 의료 동영상인 심장 조영상의 계층적 부호화 방식을 실현할 수 있었다. 둘째, 대역분할 방법을 적용해도 주변정보가 거의 발생하지 않음을 알 수 있었다. 셋째, 대역 분할된 영상에서의 움직임 벡터의 탐색영역을 반화소 탐색영역의 반으로 줄임으로서 화질의 열화없이도 처리속도를 향상시켜 의료진단에 유용하게 쓰일 수 있음을 알 수 있었고, 영상들을 각 대역별로 병렬처리할 수 있도록 하드웨어를 구성하는 경우에는 그 처리속도가 더욱 향상될 수 있음을 추정할 수 있었다. 또한 일부 대역을 절단하여 전송하거나 복호화해도 전체 성능의 저하는 아주 미소하기 때문에 전송로의 대역 제한, 손실등이 있을 경우에도 화질의 손실을 최소화 하면서 유연하게 대응할 수 있는 구조를 가짐을 확인하였다. 그러나, 대역분할에 의한 2계층의 scalable 구조를 실현하는 경우 상위계층의 화질은 매우 뛰어나지만, 각 대역을 모두 합성하여 하위계층을 구현하는 경우에는 시각적으로는 판단하기 힘들어도 불구하고 PSNR은 단일계층의 복원영상보다 약간의 열화가 있었다. 그러므로 대역분할 및 합성단의 최적의 필터를 구성하여 하위계층의 해상도를 향상시킬 수 있는 방안과 더불어, 기존의 부호화 방법과의 호환성을 유지하면서도 3계층 이상의 다중 해상도를 갖는 구조에 관한 연구가 뒤따라야 할 것이다.

VI. 참고문헌

- [1]P.Roos, M.A.Viegever, M.C.A.Van Dijke & J.H.Peters, "Reversible Intraframe compression of Medical Images", IEEE Trans. on Medical Imaging, Vol.7, NO.4, pp.328-336, Dec.1988.
- [2]P.Roos & M.A.Viegever, "Reversible Interframe compression of Medical Images : A Comparison of Decorrelation Method", IEEE Trans. on Medical Imaging, Vol.10, NO.4, pp.538-547, Dec.1991.
- [3]ISO-IEC/JTC1/SC29/WG11, MPEG 93/457, "MPEG-2 Test Model 5", April,1993
- [4]M.R.Civanlar, A.Puri, "Scalable Video Coding in Frequency Domain", SPIE Visual Communication & Image Processing, Boston, MA. pp.1124-1134, Nov.1992
- [5]J.Arnold, E.O'Brien & R.Brandis, "A Simple Frequency Scalable Coder for Interlaced Video Sources", IEEE Visual Signal Processing & Communications, Workshop Proceedings, Melbourne Australia, Sep. 1993
- [6]M.Vetterli, "Multi-dimensional Subband Coding : Some Theory and Algorithm", Signal Processing, vol.6, NO.2, pp. 97-112, April 1984.
- [7]J.W.Woods & S.D.O'Neil, "Subband Coding of Images" IEEE Trans. on Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP- 34, No. 5, pp.1278-1288, October, 1986.
- [8]H.Garavi & A.Tabatabai, "Subband coding of Monochrome & Color Images", IEEE Trans. on Circuit and Systems, vol. CAS-35, No.2, pp.207-214, Feb. 1988.
- [9]한영오, 김형석, 신중인, 박현수, 박상희, "심장조영상 부호화에 관한 연구", 의공학회지, 제14권, 제2호, pp.177-183, 1993년, 5