

논문96-1-2-03

VTR기록을 위한 HDTV 영상신호의 압축 알고리즘

조돈민*, 박동권*, 원치선*, 박진우**, 여지희***, 구형서***, 이종화***

Compression Algorithm of HDTV Video Signals for VTR Recording

Don Min Cho*, Dong Kwon Park*, Chee Sun Won*, Jin Woo Park**,
Ji Hee Yeo***, Hyoung Seo Koo***, and Jong Hwa Lee ***

요 약

본 논문에서는 HDTV 신호를 디지털 VTR에 저장하기 위한 웨이블릿 변환 기반 압축 방법을 제안하였다. 웨이블릿 기반 압축 방법은 기존에 잘 알려져있는 DCT를 기반으로한 압축 방법과는 다르게 낮은 주파수 영역에서 공간 영역의 정보를 그대로 유지하고 있다. 그러므로 웨이블릿 기반 압축 방법의 이러한 특성은 VTR의 편집 및 변속 기능에 매우 적합하다. 또한 본 논문에서 사용한 웨이블릿 변환 필터는 쉬프트 연산과 덧셈만으로 곱셈을 대체할 수 있으므로 계산상의 복잡도를 감소시킬 수 있었다. 4 : 1 정도 압축시 복원된 HDTV 신호는 방송용으로 사용하기에 충분한 화질을 유지 했다.

Abstract

In this paper we propose a Wavelet-based compression algorithm of HDTV video signals for the purpose of recording HDTV signals in the digital VTR. Comparing to the DCT-based compression method, which only yields unrecognizable DCT coefficients, the low frequency components of Wavelet coefficients maintain recognizable spatial domain information. So, it is more suitable for various VTR operations such as editing and multi-speed mode operations. Also, the adopted Wavelet filter can be implemented with simple shift operations, which can reduce the computational complexities substantially. The quality of reconstructed HDTV signals with a 4 : 1 compression ratio turns out to be good enough for the studio use.

I. 서 론

디지털 HDTV 시스템의 개발은 이미 많은 발전이 진행된

*동국대학교 전자공학과

Dongguk University, Dept of Electronics Eng.

**고려대학교 전자공학과

Korea University, Dept. of Electronics Eng.

***KBS기술연구소

KBS Technical Research Institute

상태이며, 이제 필요한 것은 디지털 HDTV 신호를 실제 방송에 적용하는 것이다. 즉, 좋은 HDTV 영상을 만들기 위한 기술 축적을 위해 가능한 모든 환경하에서 HDTV용 프로그램을 만들 필요성이 있다. 또한 만들어진 HDTV 프로그램을 저장할 수단도 필요하다. 그러나 디지털 HDTV 신호는 많은 정보량을 포함하고 있으므로 저장에 소요되는 공간이 매우 크다. 그러므로 디지털 HDTV 신호의 경제적인 저장 방법은 필수적으로 요구된다. 비록 HDTV 신호를 압축하지 않고 저장할 수 있는 디지털 VTR이 이미 상용화되어 있기는 하나

그것보다는 HDTV 신호를 압축하여 표준 TV용으로 개발된 기존의 D-5 VTR등에 저장하는 것이 보다 경제적이다. HDTV 신호에서의 중복성은 HDTV 카메라의 기술적인 한계로 인하여 표준 TV에서의 중복성보다 매우 크므로 동일한 압축율로 압축했을 경우 HDTV의 화질 저하는 표준 TV의 경우보다 작다^[1]. 따라서 압축된 HDTV 신호의 영상 화질은 과도하게 압축되지 않는한 방송 실험용으로 충분하다^{[1][2]}.

HDTV 신호를 VTR에 저장하기 위한 압축 방법으로 DCT를 기반으로한 압축 방법^[2]과 웨이브렛을 기반으로한 압축 방법^[3]이 이미 제안되었다. DCT를 이용한 방법은 8x8 Y 성분 2개와 Cr 및 Cb 성분 각각 1개로 매크로 블록 (Macro Block)을 형성하고 DCT 계수를 매크로 블럭 단위로 적응 양자화한다^[2]. 웨이브렛 변환을 이용한 방법은 웨이브렛 변환 계수에 대해 산술 부호화를 적용하여 영상 압축의 효과를 얻는다^[3]. 본 논문에서는 VTR의 변속 및 편집 특성에 더 적합한 웨이브렛 변환을 기반으로 하여 새로운 양자화 및 버퍼 통제 기법을 갖는 압축 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II 장에서는 압축된 HDTV 신호를 기존의 디지털 VTR에 기록/재생하는 한 예로 D-5 VTR에 압축된 HDTV 비디오 신호를 기록/재생하기 위한 시스템을 설명한다. 제 III 장 및 IV 장에서는 제 II 장에서 정의한 시스템 및 압축율에 맞추어 웨이브렛 변환을 이용한 새로운 알고리즘을 제안하고 제 V 장에서는 실험 결과를 제시하였다. 마지막으로 제 VI 장에서 본 논문을 마감한다.

II. 시스템 환경 정의

1125/60 HDTV 신호의 Y 신호를 74.25MHz로 샘플링하고 Cr 및 Cb를 각각 37.125MHz로 샘플링하여 8비트로 양

자화 했을때 발생하는 데이터율은 1.188Gbps가 된다. 이 중에 실제로 전송되는 유효프레임 크기 1920x1035를 고려하면 유효 데이터율은 954Mbps가 된다. D-5 VTR 은 13.5MHz의 샘플링 주파수에 10비트 양자화 모드와 18MHz의 샘플링 주파수에 8비트로 양자화하는 두가지의 모드가 존재한다. 따라서 ITU-R 601 포맷을 13.5MHz의 모드로 샘플링했을때 발생하는 데이터율은 221Mbps이며, 18MHz로 샘플링했을 때는 236Mbps가 된다. 이들 두개의 모드 중에 데이터율이 높은 18MHz의 모드로 HDTV 신호를 받아들이기 위해서는 954Mbps를 적어도 1/4 압축해야 한다. 이와 같이 HDTV 신호를 약 1/4 압축하여 D-5 VTR에 압축하는 형태의 블록도는 그림 1과 같다^[1]. 본 논문에서는 HDTV 신호를 현행 표준 TV의 데이터율 정도로 압축하는 4:1 압축율로 고정하여 사용한다. 그러나 본 연구의 결과는 다른 압축율을 갖는 VTR 녹화용으로 쉽게 확장될 수 있다.

III. 쌍직교 웨이브렛 변환

정규 직교 웨이브렛 기저로 구성된 대부분의 필터는 완전한 재구성 조건을 만족하지만 차수가 무한하다. Daubechies^[5]에 의한 유한 차수의 완전한 정규 직교 기저를 사용하는 웨이브렛 변환 필터는 비대칭 구조를 갖기 때문에 대칭 구조를 갖는 유한 차수의 필터를 필요로하는 영상처리에는 부적합하다. 따라서 최근에는 쌍직교 기저^{[4][5]}를 사용하는 쌍직교 웨이브렛 변환이 이용되고 있다. 즉, 웨이브렛 변환은 분해 및 합성시 동일한 필터를 사용하나, 쌍직교 웨이브렛 변환은 정규 직교 조건이 완화된 쌍직교 기저를 사용하므로 분해 및 합성시에 사용되는 필터가 서로 다르다.

QMF(Quadrature Mirror Filter)에서는 분해 필터와 합성 필터가 서로 미러(mirror) 영상이면서 대칭(선형 위상)

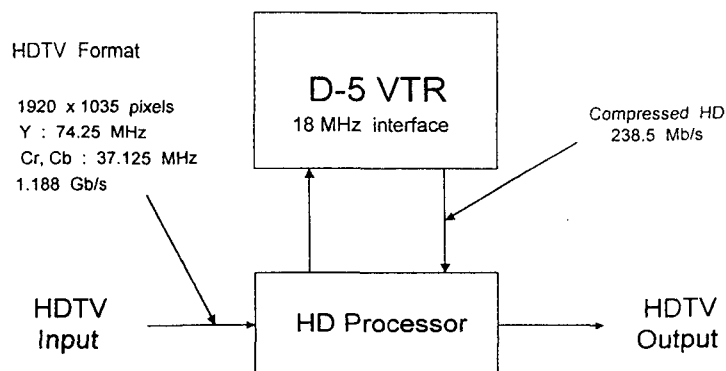


그림 1. HDTV 신호와 D-5 VTR의 인터페이스
Fig 1. Interface of HDTV Signal and D-5 VTR

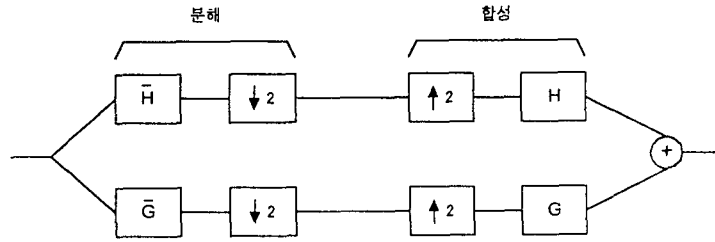


그림 2. 필터 뱅크의 구조
Fig 2. Structure of Filter Bank

관계이며, 필터의 길이가 같다. 그러나 이러한 조건을 배제할 경우 필터의 디자인이 좀 더 용이해지며, 완전 복원(perfect reconstruction)을 할 수 있다.

본 논문에서는 표 1에서와 같은 쌍직교 기저를 사용 하였다. 표 1에서 h_n 과 \tilde{h}_n 은 각각 저역 통과 특성을 갖는 분해 및 합성 필터를 의미한다. 또한 고역 통과 특성의 분해 및 합성 필터는 다음과 같이 구할 수 있으며, 그림 2는 필터 뱅크의 구조를 나타낸다.

$$g_n = (-1)^{n+1} \tilde{h}_{-n} \quad (1)$$

$$\tilde{g}_n = (-1)^{n+1} h_{-n} \quad (2)$$

표 1. 스플라인 필터
Table 1. Spline Filter

| n | 0 | ±1 | ±2 | ±3 | ±4 |
|-----------------------|-------|-------|------|-------|-------|
| $2^{-1/2}h_n$ | 45/64 | 19/64 | -1/8 | -3/64 | 3/128 |
| $2^{-1/2}\tilde{h}_n$ | 1/2 | 1/4 | 0 | 0 | 0 |

앞에서 정의한 웨이브렛 필터를 사용하여 영상 데이터와 콘볼루션을 하고 2:1로 서브 샘플링함으로써 저역 통과 및 고역 통과 웨이브렛 계수를 구할 수 있다. 그리고 2-D 웨이브렛 변환은 분리 가능하므로 수평 방향으로의 1-D 콘볼루션과 수직 방향으로의 1-D 콘볼루션을 연속적으로 수행함으로써 구할 수 있다. 그러므로 웨이브렛 계수를 계산하기 위해서는 영상 데이터를 수평 및 수직 방향으로 스캔하며 곱셈 연산을 해야하고 이 연산을 DCT 변환과 비교했을 경우 계산의 복잡도를 증가시키는 요인이 된다. 그러나 다행히도 표 1에서 제시된 스플라인 필터의 계수와와의 콘볼루션은 쉬프트 연산과 덧셈만으로 대체할 수 있으므로 계산상의 복잡도를 감소시킬 수 있다. 예를 들면, 표 1에서의 계수들은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{1}{2} = 2^{-1}, \frac{1}{4} = 2^{-2}$$

$$\frac{3}{128} = 2^{-6} + 2^{-7}, \frac{3}{64} = 2^{-5} + 2^{-6}, \frac{1}{8} = 2^{-3},$$

$$\frac{19}{64} = 2^{-2} + 2^{-5} + 2^{-6}, \frac{45}{64} = 2^{-1} + 2^{-3} + 2^{-4} + 2^{-6}$$

즉, 이들 계수 곱셈을 간단한 쉬프트와 덧셈 연산만으로 구현함으로써 전체적인 계산 시간을 감소시킬 수 있다.

IV. 웨이브렛 계수의 양자화

본 논문에서 사용한 HDTV 영상 데이터의 구조는 1920 × 1035 크기의 Y 성분과 각각 960 × 1035 크기의 Cr, Cb 성분으로 구성 되어 있는 4:2:2 샘플 구조를 갖는다. 입력 영상이 field 구조로 되어 있기 때문에 frame 구조로 바꾸고, Cr 성분과 Cb 성분을 합쳐 CrCb로 만들어 Y 성분과 같은 크기의 영상으로 그림 3과 같이 배열한다. 그 다음 1920 × 1035 컬러 HDTV 영상의 휘도 신호와 색 신호에 대해 표 1의 스플라인 필터를 적용하여 웨이브렛 변환을 한 후 그림 3과 같이 계수를 양자화 한다. 양자화 과정을 통하여 데이터를 1/4로 압축시 Y 영역과 CrCb 영역에 대해 영상의 중요도가 크고 변환 계수의 동적범위(dynamic range)가 크며, 인간의 시각에 좀 더 민감한 Y 영역에 대해서는 버퍼의 65%를 할당하고 CrCb 영역에 대해서는 버퍼의 35%만을 할당한다. 그리고 복호화 과정은 그림 4와 같이 Y 성분과 CrCb 성분의 압축 데이터를 각 대역별로 복호화한 후 역웨이브렛 변환을 통하여 원래의 Y 성분과 CrCb 성분으로 복원한다. 그리고 복원된 영상에는 blank line이 삽입되고 field 구조의 4:2:2의 format으로 변환되어 출력된다.

웨이브렛 변환에 의해 분해된 각 블럭들은 데이터의 중요도와 인간의 시각적 특성을 고려하여 그림 5에서와 같이 각각 적절한 방법으로 양자화 된다. 즉, ① 영역은 LL-LL 영역(가장 낮은 주파수 성분)으로 가장 중요한 정보가 들어 있고 원영상의 형태를 유지하는 영역이다. 이 영역의 데이터

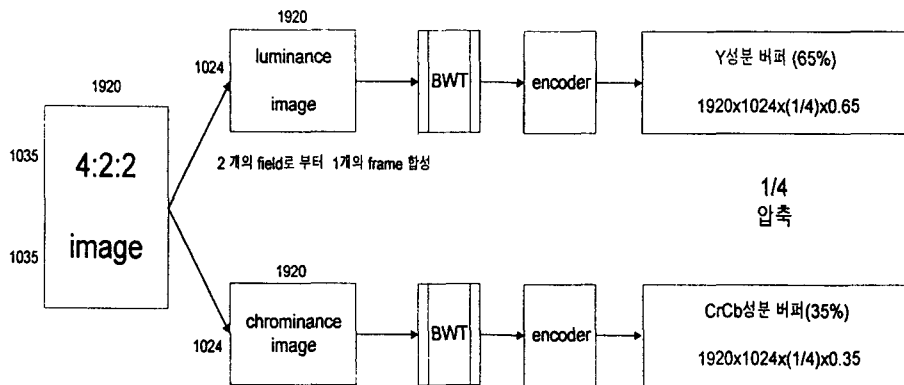


그림 3. 쌍직교 웨이블릿 변환을 이용한 영상압축 부호화부
Fig 3. Encoder Block Diagram

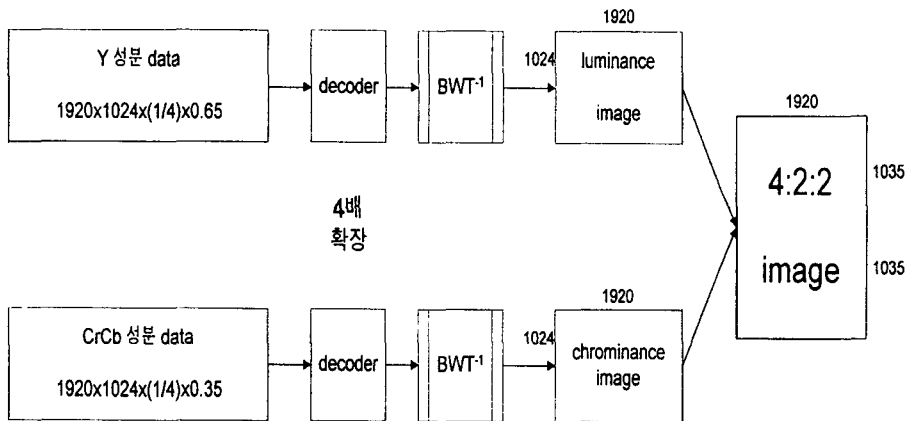


그림 4. 쌍직교 웨이블릿 변환을 이용한 영상압축 복호화부
Fig 4. Decoder Block Diagram

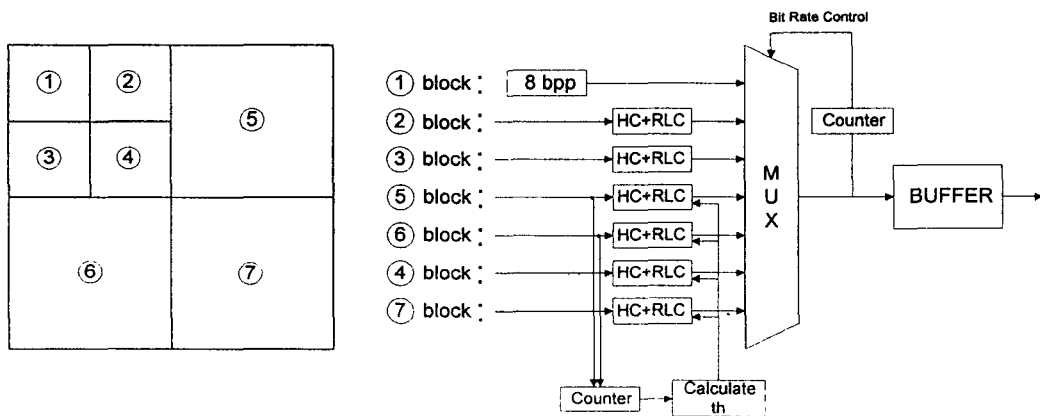


그림 5. 각 블럭별 양자화 방법
Fig 5. Quantization of Wavelet Coefficients

는 변속 모드시 활용하며, 따라서 임의의 위치에서의 데이터가 독립적으로 복호화될 수 있도록 8비트 PCM으로 부호화된다. 또한 필터의 계수값은 음수값을 가질 수 있으며, LL-LL 영역 데이터의 히스토그램을 보면 -20~265 정도의 분포를 갖는다. 그러나 8비트 PCM으로는 이 모든 범위를 포함할 수 없기 때문에 인간의 시각적 특성을 이용한다. 즉, 245를 초과하는 범위의 데이터에 대해서는 245의 값으로 제한을 하고 246~255의 값의 범위에는 음수 부분의 값을 코딩하도록 한다. 즉, 히스토그램을 보면 245 이상의 값을 갖는 데이터의 발생빈도 보다 음수 값의 데이터 발생빈도가 월등히 많고 인간 시각 특성상 어두운 부분의 영상에 대한 잡음 및 왜곡에 보다 민감하기 때문에 음수값의 데이터를 코딩하는데 246~255의 영역을 사용한다. 그리고 ②와 ③영역은 각각 LL 영역의 가로와 세로 방향의 고주파 영역으로서 화질에 상당한 영향을 미치는 부분이다. 그러므로 정보의 손실없이 코딩하기 위하여 Huffman 및 Run-Length 코딩을 적용한다. 즉, ②와 ③영역은 아직 저주파 성분이 중요하므로 표 2와 같은 고정된 양자화 테이블을 이용하여 가변길이 부호화를 하고 부호화된 값은 다시 Run-Length Coding 된다. 또한 ④, ⑤, ⑥, ⑦ 영역에서는 예지를 갖는 비교적 중요한 부분에서는 큰 계수값을 가지므로 표 3, 4와 같이 문턱치 th값을 넘는 계수값만 가변길이 부호화하게 된다. 이때 th의 결정은 실시간 처리를 위하여 간단한 알고리즘을 사용하여 ⑤, ⑥ 영역으로부터 th를 구한다. 즉, ⑤와 ⑥영역의 계수값의 절대치 중 0~9 사이의 데이터 발생 빈도를 카운트하여 카운트 레지스터 X_0, X_1, \dots, X_9 에 기록한 후 그 누계가 임계치 L을 최초로 넘었을 경우를 th로 결정하게 된다. 즉, 웨이브렛 계수값들을 스캔하면서 만약 계수값의 절대치가 $i-0.5$ 와 $i+0.5$ 사이의 범위에 속하면 해당 카운터의 레지스터 X_i 를 1 증가 시킨다. 이렇게 얻은 카운터값에 대해 식 (3)을 만족하는 th를 구한다.

표 2. 블럭 ②와 ③에 대한 양자화 테이블
Table 2. Quantization Table for Blocks ② and ③

| Wavelet Coefficients | class (3bits) | Bit allocation |
|----------------------------|---------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 bit |
| -1,1 | 1 | 1 bit |
| -3,-2, 2,3 | 2 | 2 bits |
| -7,....,-4, 4,....,7 | 3 | 3 bits |
| -15,....,-8, 8,....,15 | 4 | 4 bits |
| -31,....,-16, 16,....,31 | 5 | 5 bits |
| -63,....,-32, 32,....,63 | 6 | 6 bits |
| -127,....,-64, 64,....,127 | 7 | 7 bits |

표 3. 블럭 ④⑤⑥⑦에 대한 양자화 테이블(Y 성분)
Table 3. Quantization Table for Blocks ④⑤⑥⑦ (Y components)

| Wavelet Coefficients | class (3bits) | Bit allocation |
|--|---------------|----------------|
| -th-0, th+0 | 0 | 1 bit |
| -2,-th-1, th+1,2 | 1 | 2 bits |
| -6,-5,-4,-th-3, th+3,4,5,6 | 2 | 3 bits |
| -14,-13,-12,-11,-10,-9,-8,-th-7, th+7,8,9,10,11,12,13,14 | 3 | 4 bits |
| -22,-21,-20,-19,-18,-17,-16,-th-15, th+15,16,17,18,19,20,21,22 | 4 | 4 bits |
| -37,-35,-33,-31,-29,-27,-25,-th-23, th+23,25,27,29,31,33,35,37 | 5 | 4 bits |
| -60,-57,-54,-51,-48,-45,-42,-th-39, th+39,42,45,48,51,54,57,60 | 6 | 4 bits |
| -91,-87,-83,-79,-75,-71,-67,-th-63, th+63,67,71,75,79,83,87,91 | 7 | 4 bits |

표 4. 블럭 ④⑤⑥⑦에 대한 양자화 테이블(CrCb 성분)
Table 4. Quantization Table for Blocks ④⑤⑥⑦ (Cr Cb components)

| Wavelet Coefficients | class (3bits) | Bit allocation |
|--|---------------|----------------|
| -th-0, th+0 | 0 | 1 bit |
| -2,-th-1, th+1,2 | 1 | 2 bits |
| -6,-5,-4,-th-3, th+3,4,5,6 | 2 | 3 bits |
| -10,-9,-8,-th-7, th+7,8,9,10 | 3 | 3 bits |
| -18,-17,-16,-15,-14,-13,-12,-th-11,th+11,12,13,14,15,16,17,18 | 4 | 4 bits |
| -26,-25,-24,-23,-22,-21,-20,-th-19,th+19,20,21,22,23,24,25,26 | 5 | 4 bits |
| -34,-33,-32,-31,-30,-29,-28,-th-27,th+27,28,29,30,31,32,33,34 | 6 | 4 bits |
| -42,-41,-40,-39,-38,-37,-36,-th-35, th+35,36,37,38,39,40,41,42 | 7 | 4 bits |

$$th = (\{L > \sum_{i=0}^9 X_i\} \text{를 만족하는 최소 } i) + 1 \quad (3)$$

여기서 상수 L 값은 경험적으로 결정하며, Y 성분의 경우 $L = 0.38 \times (\text{영상 사이즈})$, CrCb 성분의 경우 $L = 0.48 \times (\text{영상 사이즈})$ 로 계산한다. 만약 버퍼에 overflow가 발생하면

그 이후의 데이터에 대해서는 부호화하지 않는다. 이때 overflow가 발생하는 영역이 어디냐에 따라서 화질에 큰 영향을 주게 되는데 코딩 순서를 ①②③⑤⑥④⑦의 순서로 하여 영향을 최대한 줄이고 th의 계산 과정에 overflow가 발생하지 않도록 th를 구하는 작업이 중요하다. 그리고 Y 성분과 CrCb 성분에 대한 데이터의 히스토그램을 보면 Y 성분은 -80~80 정도에서, CrCb 성분은 -40~40 정도의 레벨에서 데이터가 많이 존재하기 때문에 표 3, 4와 같이 각각 다른 양자화 테이블을 사용하여 코딩 한다.

V. 실험 결과

웨이브렛 변환시 Daubechies나 Antonini가 제안한 필터를 사용하여 실험 할 경우 본 논문에서 사용한 9-3 스플라인 필터를 사용하여 실험한 결과보다 약간 더 좋은 PSNR을 얻을 수 있다. 그러나 계수의 복잡성을 고려하여 본 실험에서는 하드웨어 구현이 용이하고 화질도 만족시킬 수 있는 9-3 스플라인 필터를 사용하였다. 또한 LL 영역에 대하여 반복적으로 웨이브렛 변환을 수행 할 수 있으나 본 논문에서는 아주 높은 압축율을 필요로 하는 것이 아니라 정해진 압축율 4:1을 유지하면서 고화질을 얻을 수 있고 변속 모드시 압축 데이터에 대하여 웨이브렛 역변환 과정없이 영상을 재생 할 수 있도록 하기 위하여 2 레벨 웨이브렛 변환만을 실시하였다. 그리고 4:1의 압축율을 유지하기 위해서 고주파 영상 영역의 데이터를 많이 압축하는데 이 때 스칼라 양자화를 하는 것보다는 문턱치 값을 이용하여 Run-Length 코딩을 하는 것이 정해진 압축율을 유지하는데 조금 어렵기는 하지만 좋은 화질을 나타내었다.

본 논문에서는 제안한 웨이브렛 기반 압축 방법을 테스트 하기 위하여 4 종류의 HDTV 영상 20 프레임에 대하여 실험을 하였다. 실험 결과 4 종류의 영상 모두 40dB 이상의 높은 PSNR을 나타내며, 이 경우 원영상과 비교해 볼 때 주



그림 6. HDTV 영상 연속물 1
Fig 6. HDTV Image Sequence 1

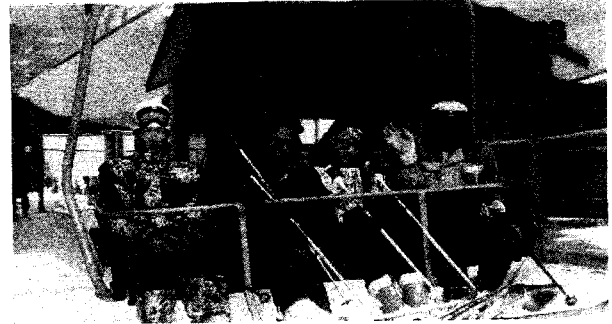


그림 7. HDTV 영상 연속물 2
Fig 7. HDTV Image Sequence 2

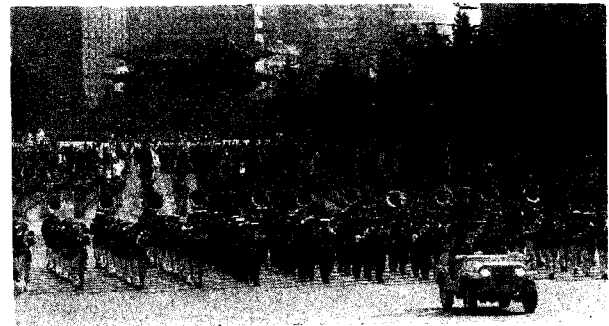


그림 8. HDTV 영상 연속물 3
Fig 8. HDTV Image Sequence 3



그림 9. HDTV 영상 연속물 4
Fig 9. HDTV Image Sequence 4

관적인 화질의 차이를 발견할 수 없었다. 따라서 화질의 측면에서 웨이브렛 변환을 이용한 압축 방법은 방송용으로 사용이 가능하다. 그림 6, 7, 8 그리고 9는 실험에 사용한 HDTV 비디오 시퀀스의 각각 첫 프레임에 나타내며, 이들과 시퀀스의 5개의 연속 프레임에 대한 PSNR을 그림 10,

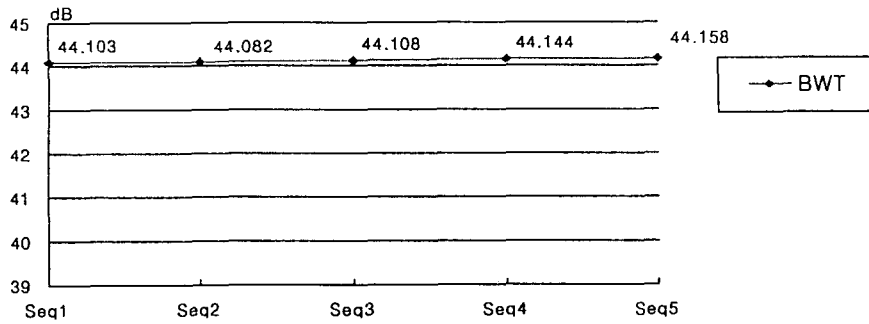


그림 10. HDTV 영상 연속물 1의 PSNR
Fig 10. PSNR of HDTV Image Sequence 1

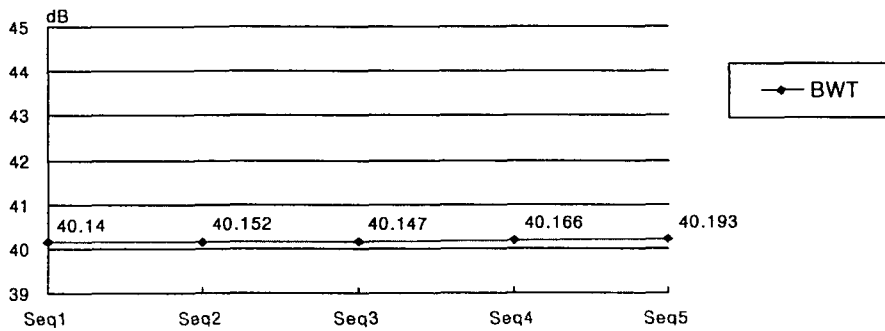


그림 11. HDTV 영상 연속물 2의 PSNR
Fig 11. PSNR of HDTV Image Sequence 2

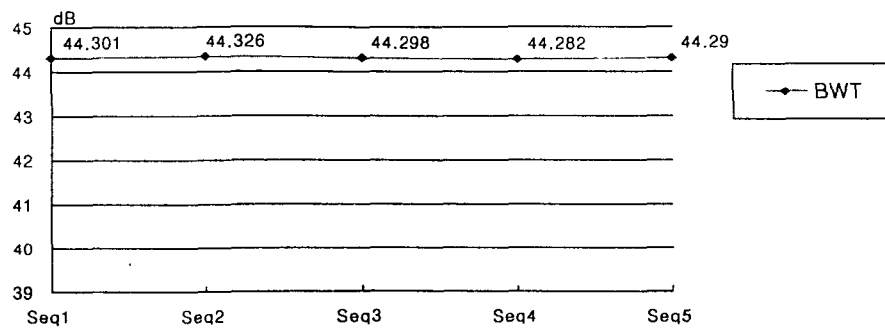


그림 12. HDTV 영상 연속물 3의 PSNR
Fig 12. PSNR of HDTV Image Sequence 3

11, 12 그리고 13에 각각 나타내었다.

VI. 결론

본 논문에서는 HDTV 영상을 1/4 압축하여 현행 TV급을

위한 디지털 VTR에 기록하기 위하여 웨이브렛 변환을 기반으로 한 압축 방법을 제안하였다. 제안된 압축 방법은 영상 압축시 40 dB 이상의 고화질을 유지하므로 화질에 관련한 방송용 VTR로 충분히 사용가능하며, DCT 기반 압축 방법과는 달리 저주파 영역의 계수가 원 영상의 형태를 유지하

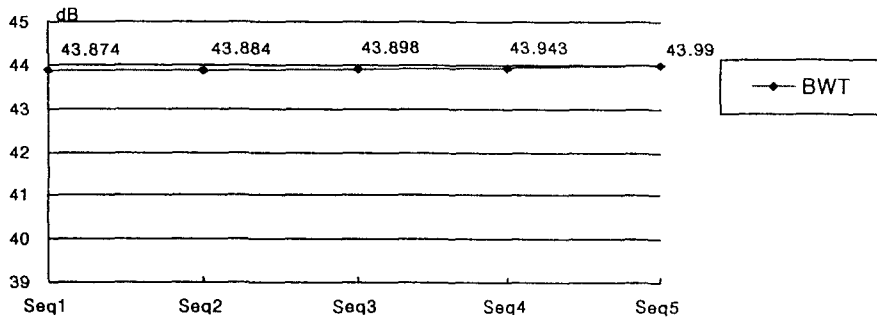


그림 13. HDTV 영상 연속물 4의 PSNR
Fig 13. PSNR of HDTV Image Sequence 4

로 이 부분의 데이터를 충분히 활용할 경우 보다 효율적인 방송 작업이 가능하다. 또한 하드웨어 구현성에 대해서는 본 연구에서 사용한 스플라인 필터를 단순한 쉬프트 연산과 덧셈만으로 구현하여 계산의 복잡도를 감소시킬 수 있으므로 실시간 처리를 위한 구현이 가능하다. 따라서 HDTV 영상을 1/4 압축하여 VTR에 기록하기 위한 압축 방법으로는 저주파 영역의 데이터를 이용하여 프로그램 편집, 변속 기능 등을 이용할 수 있는 웨이브렛 변환을 기반으로 한 압축 방법이 보다 효율적인 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] K. Suesada, K.Ishida, J.Takeuchi, I.Ogura, and P.Livingston, "D-5:1/2in Full Bit Rate Component VTR Format," *SMPTE Journal*, pp 507-516, August 1994.

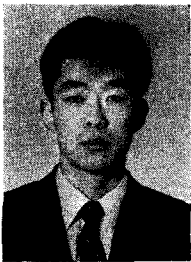
[2] S.J.Owen, I.Ogura, K.Suesada, "D5:1/2" Full-bit Component Digital VTR Format," *Proc. of International Broadcasting Convention*, pp.110-115, September, 1994.

[3] T. Vlachos, "Wavelet-based Compression of Digital HDTV for Studio Recording," *IEEE Image Proc. and Its Applications*, Conference Publication no. 410, pp. 316-320, July 1995.

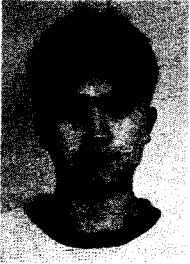
[4] M. Antonini, M. Barlaud P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," *IEEE Trans. Image. Processing*, vol. 1, no. 2, pp.205-220, Apr. 1992.

[5] A. Cohen, I. Daubechiee, J. C. Feauveau "bior-thogonal Bases of Compactly Supported Wavelets," *Communications on Pure Applied Mathematics*, vol. XLV, 485-560, 1992.

저 자 소 개



趙 敦 敏
1992년 동국대학교 전자공학과 졸업
1995년 ~ 현재 동국대학교 전자공학과 대학원 석사과정
주관심 분야 : 영상압축



朴東權

1996년 동국대학교 전자공학과 졸업
 1996년 ~ 현재 동국대학교 전자공학과 대학원 석사과정
 주관심 분야 : 영상압축, 영상분할



元致善

1982년 고려대학교 전자공학과 졸업
 1986년 매사추세츠대학원(엠펙스트) 석사
 1990년 동 대학원 박사
 1989년 ~ 1992년 금성사 선임연구원
 1992년 ~ 현재 동국대학교 전자공학과 부교수
 주관심 분야 : 영상분할, 영상압축, 디지털 비디오 시스템



朴鎭雨

1979년 고려대학교 전자공학과 졸업
 1984년 클렘슨대학교 전기. 전자공학과 석사
 1987년 버지니아주립대학교 전기. 전자공학과 박사
 1982년 ~ 1986년 클렘슨대학교, 버지니아주립대학교 교육 및 연구조교
 1986년 ~ 1987년 Fiber and Electro Optic Research Center, Associate
 1988년 ~ 1989년 명지대학교 전자공학과
 1992년 ~ 1994년 한국방송개발원 비상임연구원
 1989년 ~ 현재 고려대학교 전자공학과 부교수
 주관심 분야 : 디지털 통신/방송시스템



呂知熙

1987년 고려대학교 전자공학과 졸업
 1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1990년 ~ 현재 한국방송공사(KBS) 기술연구소 근무
 주관심 분야 : HDTV, 영상신호처리, 방송장비



具亨書

1985년 한양대학교 전자공학과 졸업
 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1991년 ~ 현재 한국방송공사(KBS) 기술연구소 근무
 주관심 분야 : HDTV, 영상신호처리, 방송장비

李 鍾 和

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업

1982년 서울대학교 전자공학과 대학원 석사

1982년 한국방송공사(KBS) 입사, 기술연구소 근무

1994년 KBS 기술연구소 차장

1995년 서울대 전자공학과 대학원 박사

1996년 ~ 현재 : KBS 기술연구소 근무

주관심 분야 : HDTV, 위성방송, 영상신호처리