

고화질 비디오 압축 기술을 위한 국제 표준화 동향

김우식, 김현문 (삼성종합기술원 컴퓨팅팀)

1. 서론

최근 멀티미디어 산업계의 급속한 발전에 힘입어 관련 기술의 표준화 활동이 활발하게 진행되어 왔다. 특히 비디오 압축 기술의 경우 디지털 방송, DVD, 모바일 및 인터넷 VOD, 캠코더, 화상 회의 시스템, 감시 시스템 등 다양한 응용 분야에 핵심 기술로 자리 잡게 되었다. 이들이 사용한 기술은 ISO/IEC MPEG-2 또는 MPEG-4, 그리고, ITU-T의 H.263 또는 H.263+와 같은 표준화된 기술을 사용함으로써 산업계에 빠르게 적용될 수 있었다. 이와 같은 비디오 압축 기술 표준에 대한 중요성이 전 세계적으로 인지되면서 각국의 우수 회사 및 기관에서 적극적으로 새로운 비디오 압축 기술 개발 및 표준화를 위해 힘써 왔다.

근래에는 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Moving Picture Experts Group (MPEG)과 ITU-T SG16 Q.6 Video Coding Experts Group (VCEG)이 공동으로 비디오 압축 기술 표준을 제정하기 위하여 지난 2001년 Joint Video Team (JVT)을 구성하고 활발한

기술 교류를 통해 JVT 표준안을 작성하여, 지난 2003년 각각 ISO/IEC MPEG의 MPEG-4 Part 10 advanced video coding (AVC) International Standard (IS)와 ITU-T의 H.264 Recommendation으로 제정되었다.^[1] H.264/MPEG-4 AVC는 기존의 압축 표준 기술에 대해 같은 화질에서 두 배 이상의 압축 효율을 높이는 성과를 이루었고, 그 결과 많은 응용 분야에 적용되고 있다. 예를 들어 케이블 TV 방송, HD-DVD, 3GPP 기반 무선 기기 응용 분야 등을 위해 H.264/MPEG-4 AVC를 사용하고, 국내에서는 위성 및 지상파 DMB용 비디오 코덱으로 사용하고 있다.^[2]

이과 같이 새로운 압축 기술의 개발과 표준화가 활발하게 진행된 이유는 제한된 전송 환경 및 저장 매체를 효율적으로 사용하기 위함이다. 특히 영상의 크기가 점점 더 커지고 고화질화 되면서 새로운 기술 개발 없이는 시장의 요구를 충족시켜 줄 수 없었기 때문이다. 다만 압축 효율이 두 배로 늘어난 것과 동시에 계산량도 함께 증가하게 되었다. 따라서, H.264/MPEG-4 AVC에서는 각 응용 분야의 특성에 맞추어 프로파일을 만들었는

데, 모바일 및 인터넷 응용 분야를 주요 목표로 한 Baseline 프로파일과 Extended 프로파일, 방송 관련 분야를 목표로 한 Main 프로파일이 그것이다.

그러나, 이 세 개의 프로파일을 만든 이후에도 더욱 더 고화질을 요구하는 응용 분야를 고려한 기술 개발이 필요하다는 요청이 들어왔고^[4], 이러한 요구에 부응하여 다시 네 개의 고화질용 프로파일을 만들게 되었고, 이 프로파일들은 HD-DVD, 디지털 시네마, 포스트 프로덕션, 방송 영상 배급, 감시 시스템 등의 응용 분야를 목표로 기술 개발 및 표준화가 추진되었다. 또한 고화질 평면 디스플레이의 급속한 발전과 고화질 콘텐츠의 보급으로 고화질 영상 부호화 기술은 일반 소비자들에게도 곧 파급 효과가 미칠 것으로 기대된다.

고화질 비디오 부호화를 위해 진행된 이 표준은 Fidelity Range Extension (FRExt)이라는 이름으로 진행되었고, High/High 10/High 4:2:2/High 4:4:4의 네 가지 프로파일로 구성되며 상위 프로파일은 하위 프로파일의 기술을 포함하는 구조로 되어있다. 구체적으로 추가된 기술은 먼저 기존에 YCbCr 색상계만 사용하던 것에서 벗어나 RGB, XYZ 등의 색상계를 지원할 수 있도록 확장하였고, 또한 4:2:0 색상 포맷 외에 4:2:2 및 4:4:4 색상 포맷을 지원하며, 화소당 비트 수도 8 비트에서 12 비트까지 확장되었다. 그 외에 압축 효율을 높이거나 주관적 화질을 높이기 위한 몇 가지 기술들이 추가되었다. 다음 장에서 각 분야별로 자세한 기술 내용을 살펴해보도록 하겠다.

II. FRExt에서 사용된 고화질 비디오 압축 기술

1. 색상계 확장

카메라에서 처음 영상을 취득할 때에는 주로 RGB 색상계를 사용한다. 그리고, 일반적으로 비디오 부호화를 할 때에는 RGB 영상을 YCbCr 색상계로 변환한 후에 YCbCr 영상을 압축한다. 압축된 영상을 복호화하여 디스플레이 할 때에는 다시 RGB 색상계로 복원하여 사용한다. 이와 같이 색상 변환을 하는 한 가지 이유는 처음 컬러 TV가 나왔을 당시에 기존의 흑백 TV와의 호환성을 고려하기 위한 것이다. 즉, RGB 영상을 YCbCr 영상으로 색상 변환을 수행하면 휘도 성분은 Y 신호로, 색상 성분은 Cb 및 Cr 성분으로 분리된다. 이 때 Y 신호는 흑백 TV에 사용할 수 있는 정보를 가지고 있다. 그러나, 색상계의 변환 과정에서 색상의 왜곡이 발생하는 것을 피할 수 없게 된다.^[4]

최근에 진행된 FRExt 표준화 과정에서는 카메라로부터 취득된 RGB 영상을 색상 변환 없이 그대로 RGB 색상계에서 부호화하는 방법들이 제안되었고, 그 중에서 residual color transform (RCT) 방법이 채택되었다.^[5] RCT는 RGB 영상을 바로 코덱으로 입력 받은 후에 시공간 예측 부호화를 수행하여 레지듀 영상을 생성한다. 그 뒤에 각 색상 성분의 레지듀 성분 간의 중복되는 정보를 제거하기 위하여 K-L 변환을 기반으로 하여 개발된 YCgCo 변환^[6]을 수행한다. 다음 식 1은 부호화 시에 RGB 레지듀 값을 변환하는 식을 나타내고 식 2는 복호화 시의 역변환 식을 나타낸다.

$$\Delta^2 B = \Delta R - \Delta B$$

$$t = \Delta B + (\Delta^2 B \gg 1)$$

$$\Delta^2 R = \Delta G - t$$

$$\Delta^2 G = t + (\Delta^2 R \gg 1)$$

$$t = \Delta^2 G' + (\Delta^2 R' \gg 1)$$

$$\Delta G' = \Delta^2 R' + t$$

$$\Delta B' = t - (\Delta^2 B' \gg 1)$$

$$\Delta R' = \Delta B' + \Delta^2 B'$$

식 1

식 2

이 때 ΔX 는 X 색상 성분의 레지듀 신호를 나타내고, $\Delta^2 X$ 는 RCT 수행 결과 얻은 신호이다. 이 값을 각 성분에서 다시 각 블록 단위로 변환 및 양자화를 수행하고 엔트로피 부호화를 수행하여 비트열을 생성한다. $\Delta^2 X'$ 는 비트열로부터 복호화한 값을 역양자화 및 역변환을 하여 얻은 각 색상 성분의 값이고, 이 값들을 RCT 역변환하여 $\Delta X'$ 를 생성하게 된다. 그림 1은 이와 같은 수행 순서를 블록도로 나타낸 것이다.

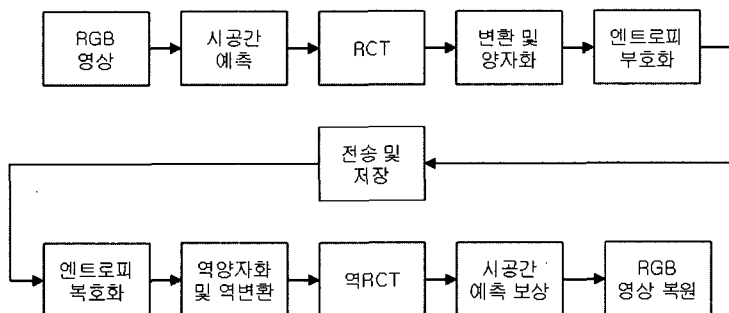
RCT는 불필요한 색상 변환 과정을 제거하여 색상 왜곡의 가능성을 없애고, 계산량을 줄이며, 또한 색상 성분간 중복되는 정보를 효과적으로 제거하여 압축 효율을 높이는 효과가 있다.

2. 색상 포맷 확장

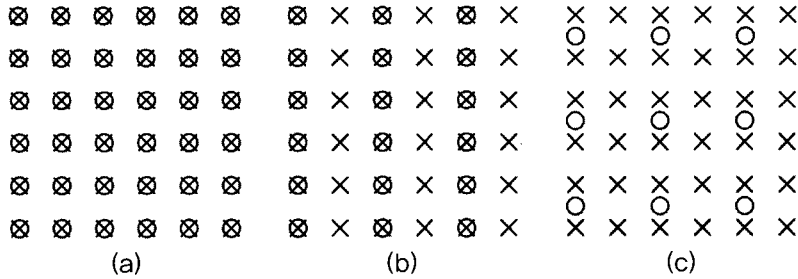
H.264/MPEG-4 AVC 표준안의 Baseline/Main/Extended 프로파일은 YCbCr 4:2:0 색상 포맷만 지원한다. 이것을 확장하여 4:2:2 및 4:4:4 색상 포맷을 지원할 수 있도록 한 것이 Hi 4:2:2 및 Hi 4:4:4 프로파일이다. 이때 Hi 4:4:4 프로파일은 Hi 4:2:2 프로파일의 모든 기능을 포함한다. 그림 2는 각 색상 포맷에서 화소의 위치를 나타낸다.

색상 포맷이 바뀔 때 따라 매크로블록의 구성이 달라지게 되고, 따라서 처리해야 할 블록의 수가 틀리게 된다. 휘도 성분의 경우에는 변하는 것이 없지만, 색상 성분 경우에는 색상 성분의 인트라 예측 방법 및 DC 변환 방법의 변형이 불가피하다. 그리고, 움직임 보간 필터, 인루프 디블록 필터, coded block pattern (CBP) 등이 영향을 받을 수 있다. 현재 FRExt에서는 이전의 H.264/MPEG-4 AVC와 마찬가지로 휘도와 색도 성분 간에 서로 차별화된 방법을 사용하여 부호화 및 복호화를 하고 있다.

FRExt에는 4:4:4와 4:2:2 외에 4:0:0 포맷이 추가되어 있다. 이것의 주요 목적은 그레이 알파 채널 부호화를 지원하기 위한 것이



〈그림 1〉 RCT를 이용한 부호화 및 복호화 블록도



(그림 2) H.264/MPEG-4 AVC에서 색상 포맷에 따른 수평 및 수직 화소 위치 (a) 4:4:4 색상 포맷 (b) 4:2:2 색상 포맷 (c) 4:2:0 색상 포맷

다. 색상 포맷이 다르기 때문에 일반 영상 데이터와는 별도로 부호화되어 전송 또는 저장 된다.

3. 화소 당 비트 수 확장

지금까지 일반적으로 널리 사용되어온 비디오 압축 방법에서는 화소 당 비트 수로 8 비트를 사용해 왔다. 즉, 각 화소의 값은 0부터 255 범위의 값을 갖는다. 그러나, 고품질 영상 압축을 위해서는 보다 세밀하게 각 화소의 값을 나타낼 필요성이 있다. 예를 들어 화소 당 비트 수가 10 비트인 경우 나타낼 수 있는 값의 범위는 0에서 1023까지가 된다. 물론 이렇게 세밀한 값의 차이를 나타내기 위해서는 디스플레이의 표현력이 충분히 뒷받침 되어야 한다.

FRExt에서는 고품질 영상 압축을 위해서 화소 당 비트 수를 12 비트까지 지원한다. 그리고, 확장된 화소 당 비트 수를 지원하기 위해서 기존에 있었던 기능들은 화소 당 비트 수에 가변적이 되도록 변경되었다. 예를 들어 양자화 시에 사용자가 입력한 양자화 계수 값에 화소 당 비트 수의 여섯 배 되는 값을 더하여 새로운 양자화 계수 값을 생성하

고, 이 값으로 양자화를 수행한다. 그리고, 가중 예측 부호화에서는 화소 당 비트 수의 값에 따라 옵셋 값을 조정한다. 그 밖에 클립핑 함수나 중간 값으로 -8 비트의 경우 128 - 채워주는 경우 등이 화소 당 비트 수의 값에 따라 적응적으로 변화하게 된다.

또한 각 색상 별로 서로 다른 화소 당 비트 수를 사용할 수 있도록 하였다. 이것은 색상 변환 시에 각 색상 별로 변환 식의 정밀도가 달라서 변환에 의한 오류가 다를 수 있기 때문이다. 따라서, 정밀도가 떨어지는 색상 성분의 화소 당 비트 수를 높여서 떨어지는 정밀도를 높여줄 수 있다. 반대로 특정 성분의 비트량 또는 화질을 조정하기 위해서 FRExt에서는 각 색상 성분 별로 독립적인 양자화 계수를 사용할 수 있도록 하였다.

4. 기타 부가 기능 추가

FRExt에는 위에서 설명한 확장 기능 외에 몇 가지 부가적인 기능들이 더 추가되었다. 그 중에서 몇 가지만 살펴해보도록 하겠다.

H.264/MPEG-4 AVC에서는 기본적으로 4 × 4 블록 단위의 정수 직교 변환을 사용하고 있다. 여기에 추가적으로 FRExt에서는 8 × 8

블록 단위의 정수 직교 변환을 사용하여 압축 효율을 높일 수 있게 하였다.

그리고, FRExt에서는 무손실 부호화 기능이 새롭게 추가되어 응용 분야를 넓혔다. 무손실 부호화는 양자화 계수의 값에 따라 수행되며, 변환 및 양자화 부분을 건너 뛰어 무손실로 부호화를 한다.

그 외에 주관적 화질을 높이기 위해서 양자화 시에 각 변환 계수 별로 가중치를 부여하는 양자화 행렬 방법이 추가되었다.

그리고, 몇 가지 부가 정보 (SEI message: supplemental enhancement information message)가 추가로 채택되었다.

필름 잡음 (film grain) 재생 부가 정보는 필름 영상을 부호화할 때에 필름의 특성상 많이 포함되어 있는 잡음을 전처리를 통해 제거하고 이에 따른 주관적 화질 저하를 막기 위해서 제거된 필름의 통계적 특성을 부가 정보로 부호화하여 복호화 시에 이 정보를 참조하여 제거된 잡음을 비슷하게 생성하여 복호화된 영상에 더하는 방법이다.

그 밖에 인루프 디블록 필터를 거치지 않고 출력이 가능하도록 하는 방법, 인터레이스 기능을 이용하여 스테레오 영상을 부호화하는 방법 등이 부가 정보에 추가되었다.

5. 프로파일

마지막으로 위의 각 기능과 프로파일의 관계에 대해 알아본다. 앞서 언급한 바와 같이 H.264/MPEG-4 AVC는 처음에 Baseline/Main/Extended 프로파일로 구성되었고, 그 후 FRExt에 Hi/Hi 10/Hi 4:2:2/Hi 4:4:4가 추가되었다. 각 프로파일의 기능에 대해서 정리해보면 다음 표 1과 같다.^[6]

III. 성능 평가

다음 그림 3은 2004년 5월 Blu-ray Disc Founders (BDF)에서 실시한 주관적 화질 평가 결과를 보여준다.^[7] 이 실험에서 가로축 6개 방법에 대하여 블라인드 테스트가 진행되

〈표 1〉 프로파일에 따라 지원되는 기능

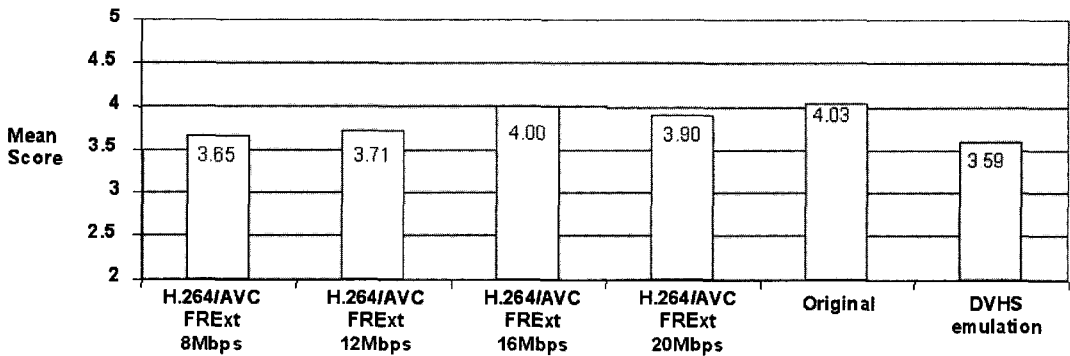
Coding Tools	High	High 10	High 4:2:2	High 4:4:4
Main Profile Tools	X	X	X	X
4:2:0 Chroma Format	X	X	X	X
8 Bit Sample Bit Depth	X	X	X	X
8x8 vs. 4x4 Transform Adaptivity	X	X	X	X
Quantization Scaling Matrices	X	X	X	X
Separate Cb and Cr QP control	X	X	X	X
Monochrome video format	X	X	X	X
9 and 10 Bit Sample Bit Depth		X	X	X
4:2:2 Chroma Format			X	X
11 and 12 Bit Sample Bit Depth				X
4:4:4 Chroma Format				X
Residual Color Transform				X
Predictive Lossless Coding				X

었으며 여기서 마지막 “DVHS emulation”은 MPEG-2 24 Mbps를 사용하여 부호화한 것이다. 각 방법에 따라 1920×1080@24p의 세 가지 필름 영상을 압축하여 실험을 수행하였다. 세로축은 평가자가 다음 기준에 따라 주관적으로 평가한 결과이다.

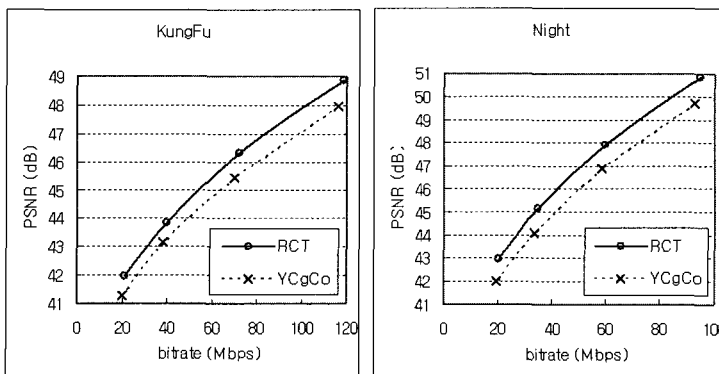
- 5: Excellent (As same as original)
- 4: Good
- 3: Fair (Acceptable quality for HD package media)
- 2: Poor
- 1: Very Poor

평가 결과를 살펴보면 H.264/MPEG-4 AVC FRExt 8 Mbps로 부호화한 결과가 MPEG-2 24 Mbps로 부호화한 결과보다 더 좋은 것을 볼 수 있다. 그리고, H.264/MPEG-4 AVC FRExt 16 Mbps로 부호화한 결과가 원본 영상과 거의 동일한 결과를 보이는 것을 알 수 있다.

한편 그림 4는 RCT를 이용한 RGB 고화질 영상의 압축 효율에 대한 객관적 화질 평가 결과를 울-왜곡 곡선을 사용하여 보여준다. 비교 대상은 YCgCo 변환식을 RGB 영상을 색상 변환한 뒤에 부호화한 결과이다. 실험 영상은 Thomson Viper 3 CCD 카메라를 사용해서 취득한 고화질 영상으로 1920×1080@24p 해상도 및 화소당 10비트를 갖는 영상을 사용하였



〈그림 3〉 주관적 화질 평가 결과



〈그림 4〉 RCT를 이용한 RGB 부호화에 대한 객관적 화질 평가 결과

다. 실험 결과를 통해 RGB 영상을 색상 변환 없이 직접 부호화하는 방식의 우수성을 볼 수 있다.

IV. 결론

이상에서 최근 고화질 비디오 압축 기술에 대한 동향을 H.264/MPEG-4 AVC FRExt의 제정 배경 및 과정, 그리고 그 세부 기술 내용을 통해 살펴보았다. 최근 LCD 및 PDP 등 평판 디스플레이의 고화질화가 가속화되고, 고화질 영상 콘텐츠의 보급이 점점 늘어가면서 고화질 비디오 압축 기술에 대한 요구는 곧 소비자에게까지 그 영향력을 넓혀 갈 것으로 전망된다.

비록 FRExt 제정 과정에서 몇 가지 새로운 기술들이 제안 및 채택되었지만, 고화질 영상을 압축하기 위해서는 이제까지 해왔던 비디오 압축 기술에서 벗어나 보다 새로운 시각을 가지고 신기술 개발에 박차를 가해야 할 것이다. 산업계 또한 기존의 고정 관념에서 벗어나 새로운 영상 산업 시대를 향하여 열린 마음으로 다가가야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] "Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC)," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6*, Document JVT-G050, Mar. 2003.
- [2] G. J. Sullivan, "Overview of known H.264 / MPEG-4 pt. 10 / AVC deployment plans and status," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6*, Document JVT-L009, Jul. 2004.
- [3] WG11 Requirements Group, "Call for proposals for extended sample bit depth and chroma format support in the advanced video coding standard (ITU-T H.264 & ISO/IEC 14496-10)", *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11*, Document N5523, Mar. 2003.
- [4] G. J. Sullivan, "Approximate theoretical analysis of RGB to YCbCr to RGB conversion error," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6*, Document JVT-I017, Sep. 2003.
- [5] W.-S. Kim, D. Birinov, and H. M. Kim, "Residue color transform," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6*, Document JVT-L025, Jul. 2004.
- [6] H. Malvar and G. Sullivan, "YCoCg-R: A color space with RGB reversibility and low dynamic range," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6*, Document JVT-I014 Jul. 2003.
- [7] T. Wedi and Y. Kashiwagi, "Subjective quality evaluation of H.264/AVC FRExt for HD movie content," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q.6*, Document JVT-L033, Jul. 2004.

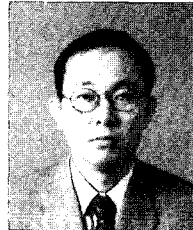
- [8] G. J. Sullivan, P. Topiwala, and A. Luthra, "The H.264/AVC advanced video coding standard: Overview and introduction to the fidelity range extensions," *SPIE Conf. Applications of Digital Image Processing XXVII*, Aug. 2004.

저자소개



김우식

1999년 2월 서강대학교 전자공학과 학사 졸업
 2001년 2월 서강대학교 전자공학과 석사 졸업
 2001년 1월 - 현재 삼성종합기술원 근무
 주관심 분야 동영상 압축 및 화질 개선 알고리즘 개발,
 H.264 및 MPEG-4 비디오 코덱 개발



김헌문

1986년 2월 - 1991년 7월 한국 전자 통신 연구원
 1996년 2월 - 1998년 3월 LG 반도체 책임 연구원
 1998년 3월 - 1999년 11월 LNK 선임 연구원
 1999년 11월 - 2002년 4월 Intel 선임 연구원
 2002년 4월 - 2003년 2월 Elution 책임 연구원
 2003년 3월 - 현재 삼성종합기술원 상무
 주관심 분야 영상 압축