

일반논문-10-15-4-06

능률적 RGB 비디오 압축 부호화를 위한 잔여신호의 적응적 주파수-선택 가중 예측 기법

정진우^{a)}, 최윤식^{a)}, 김용구^{b)‡}

An adaptive frequency-selective weighted prediction of residual signal for efficient RGB video compression coding

Jinwoo Jeong^{a)}, Yoonsik Choe^{a)}, and Yong-Goo Kim^{b)‡}

요 약

대부분의 비디오 부호화 시스템은 YCbCr 색 공간에서 부호화가 수행되나 초고화질 비디오가 사용되는 분야에서는 YCbCr 색 공간에서 부호화하는 것이 RGB 색 공간에서 부호화하는 것에 비해 높은 압축 효율을 제공하지 않기 때문에 RGB 공간에서 부호화하는 것이 선호된다. RGB 비디오 신호의 압축 부호화 효율을 증대시키기 위하여 본 논문은 잔여신호의 적응적 주파수-선택 가중 예측 기법을 제안한다. RGB 비디오 신호의 색 평면간 상관도를 최대한 활용하기 위해, 제안 기법은 잔여신호 평면 사이의 주파수 영역에서의 부호 일치도와 상관 강도에 근거하여 적응적으로 잔여신호 평면 간 예측될 주파수 영역과 그에 상응하는 예측 가중치를 선택한다. 실험 결과는 최신의 비디오 압축 표준인 H.264/AVC에서 4:4:4 비디오 부호화의 공통 모드에 비해 약 13% 정도 압축 부호화 성능을 개선시켰음을 보여준다.

Abstract

Most video coding systems use YCbCr color space for their inputs, but RGB space is more preferred in the field of high fidelity video because the compression gain from YCbCr becomes disappeared in the high quality operation region. In order to improve the coding performance of RGB video signal, this paper presents an adaptive frequency-selective weighted prediction algorithm. Based on the sign agreement and the strength of frequency-domain correlation of residual color planes, the proposed scheme adaptively selects the frequency elements as well as the corresponding prediction weights for better utilization of inter-plane correlation of RGB signal. Experimental results showed that the proposed algorithm improves the coding gain of around 13% bitrate reduction, on average, compared to the common mode of 4:4:4 video coding in the state-of-the-art video compression standard, H.264/AVC.

Keyword : RGB video coding, Residual color space transform, selective prediction scheme

I. 서 론

비디오 신호를 다루는 다양한 상용 응용 분야들에서는 대부분 YCbCr 색 공간에서 압축 부호화를 수행한다. 일반적인 비디오 신호 획득 장치가 RGB 색 공간에서 동작함에

a) 연세대학교 전기전자공학부

School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

b) 한독미디어대학원대학교 뉴미디어학부

Newmedia Dept., KGIT (Korean German Institute of Technology)

‡ 교신저자 : 김용구(ygkim@kgit.ac.kr)

·접수일(2010년3월16일), 수정일(2010년6월14일), 게재확정일(2010년6월16일)

도 불구하고, YCbCr 색 공간에서 부호화가 수행되는 이유는 RGB 형식의 신호가 색 평면 사이에 매우 높은 상관 관계를 가지고 있어 이를 직접 부호화 할 경우 압축 성능이 떨어지기 때문이다. 또한 YCbCr 형식의 신호에서 색차 신호에 해당하는 Cb, Cr 색 평면의 경우에는 휘도 신호 (Y)에 비해 인간 시각 체계에 의한 분해능이 크게 떨어지기 때문에, 추가적인 서브-샘플링에 의해 주관적 화질에 큰 손실 없이 높은 압축 부호화 효율을 제공할 수 있다. 그러나 디지털 시네마나 의료 영상 등과 같은 초고화질을 요구하는 비디오 응용 분야에 있어서는 RGB 색 공간과 YCbCr 색 공간 사이의 변환에서 발생하는 반올림 오차에 의해 기본적으로 화질 열화가 발생하고, 요구되는 고화질 영역에서의 압축 효율이 두 색 공간에서 큰 차이를 보이지 않거나 오히려 YCbCr 색 공간에서의 부호화가 더 나쁜 성능을 보이기도 한다³⁾. 반올림 오차가 발생하지 않으면서 색 공간의 상관도를 제거할 수 있도록 설계된 YCoCg 색 공간²⁾을 사용한다 할지라도, 초고화질 영역에서의 부호화 효율은 RGB 색 공간에서의 그것에 비해 뚜렷이 개선된 성능을 제공하지 못하고, 따라서 영상의 획득 신호 공간에 해당하는 RGB 색 공간에서의 직접적인 압축 부호화 효율 증대를 위한 연구는 초고화질을 요구하는 비디오 응용 분야에 매우 중요한 의미를 가진다 할 수 있다.

이와 같은 RGB 데이터의 효율적인 압축 부호화를 수행하기 위해 현재까지 다양한 연구들이 진행되었다. 최신 비디오 압축 부호화 국제 표준인 H.264/AVC¹⁾에서는 High 4:4:4 Intra Profile과 High 4:4:4 Predictive Profile과 같은 RGB 색 공간 비디오 데이터의 압축 부호화를 위한 프로파일들을 지원하고 있다. 본 논문에서는 영상제작 혹은 전문가용 배포 및 의료 영상 등의 응용에 보다 적합한 Intra profile 분야에 중점을 둔다. RGB 데이터를 효율적으로 압축하기 위해 H.264/AVC는 RGB 색 공간의 각 데이터 평면을 동일한 부호화 모드로 처리하는 공통 모드 (common mode)와 각 평면을 독립적으로 처리하는 독립 모드 (independent mode)를 제공하고 있다. 이와 같은 H.264/AVC 표준의 RGB 색 공간 데이터 부호화 기법은 특별한 색 공간 처리 과정을 위한 연산량 증대 없이 높은 부호화 성능을 제공할 수 있는 장점이 있지만, 색 평면 사이의 상관 관계를 직접적

으로 이용하지 않기 때문에 RGB 색 평면 간의 높은 중복성을 활용한 성능 개선의 여지를 가지고 있다. 이러한 색 평면 사이의 중복성을 제거함으로써 RGB 신호의 부호화 효율을 증대시키기 위한 다양한 연구 결과들이 보고되고 있는데, RGB 중 한 색 평면 데이터로부터 다른 색 평면의 데이터를 직접적으로 예측하고 그 차이 신호만을 부호화 하는 원 신호 예측 방법¹⁰⁻¹¹⁾과 각 색 평면 별로 Intra/Inter 예측을 수행한 후 한 색 평면의 잔여신호에서 다른 색 평면의 잔여신호를 예측하는 잔여신호 예측 방법^{4,9)} 등이 그것이다. 이들 중 잔여신호 예측 방법이 원 신호 예측 방법에 비해 보다 우수한 압축 성능을 제공하는 것으로 알려져 있기 때문에, 본 논문에서는 잔여신호 예측 방법의 성능 개선에 중점을 두도록 한다.

잔여신호 예측 방법은 RGB의 각 색 평면에 대한 인트라 및 인터 예측에 의해 발생하는 잔여신호 (residual signal)가 높은 평면 간 상관도를 가지고 있다는 사실에 근거하여, 이러한 잔여신호 사이의 중복성을 제거하기 위한 기법이다. 효과적인 잔여신호 중복성 제거를 위해 '잔여신호 색 변환 (RCT - Residual Color Transform)' 방식이 제안되었는데^{4,5)}, RGB 색 공간에서 발생한 잔여신호를 YCoCg 색 공간으로 변환하여 부호화를 수행함으로써 추가적으로 평균 1%의 비트율 감소에 해당하는 압축 성능 개선을 이루었다. 하지만, Blue 색 평면에 대부분 집중되어 있던 잡음 신호가 변환을 통하여 다른 색 평면으로 확산되는 현상 때문에, 잡음이 존재하는 비디오 데이터의 부호화에서는 오히려 부호화 효율이 저하되는 단점을 나타낸다. 이와 같은 잡음 확산의 문제를 피하면서 효과적으로 잔여신호 평면 간에 존재하는 중복성을 제거하기 위해, 잔여신호 평면 사이에서 직접 예측을 사용하는 기법들이 제안되었다^{6,9)}. 이 중 Kim 등은 Green 색 평면의 잔여신호를 기준으로 Blue와 Red 색 평면의 잔여신호를 공간 영역에서 직접 예측하여 압축 부호화를 수행하는 잔여신호 예측 (RCP - Residual Color Prediction) 기법을 제안하였다^{6,7)}. 이 방식은 RCT에 비해 평균 7% 정도의 추가적인 압축 성능 향상을 이루었지만, 마찬가지로 예측에 의한 Green 색 평면의 잡음이 다른 색 평면으로 전파되는 문제를 피할 수 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 D. Marpe 등은 공간 영역에서의 예측 대신

주파수 영역에서의 잔여신호 예측 기법을 제안하였는데, 이는 잡음 신호가 주로 고주파 영역에 분포하는 사실에 착안하여 선택적으로 저주파 영역에만 예측을 수행할 수 있도록 함으로써 잡음 전파에 의한 성능 열화를 개선할 수 있도록 한 것이다^{[8][9]}. 보다 상세히, 주파수 영역 잔여신호 예측 방식에서는, 매크로블록을 단위로, 예측을 수행하지 않는 경우와 전체 주파수 데이터의 저주파 1/4 영역까지만 예측에 사용하는 경우, 그리고 모든 주파수 영역 데이터를 예측에 사용하는 경우를 두어, 이를 선택적으로 사용함으로써 특정 색 평면에 존재하는 잡음이 예측을 통해 다른 색 공간에 전파되는 것을 막고, 이를 통해 보다 높은 압축 부호화 성능을 얻도록 한 것이다. 이 방식은 효과적인 적응적 주파수 영역 예측을 통하여 RCP에 비해 평균 2% 정도의 추가적인 성능 개선을 이루었지만, 중간 주파수 대역이나 고주파에 존재할 수 있는 높은 잔여신호 상관도의 효율적 이용이라는 측면에서 상관도를 적절히 이용하지 못했을 가능성이 있다는 제약점을 가지고 있다.

이와 같은 제약점을 극복하고 주파수 영역에서 잔여신호 평면 간의 예측 효율을 더욱 개선하기 위해 본 논문에서는 잔여신호 평면 간 주파수 상관도를 광범위하게 분석하였다. 분석된 주파수 영역 잔여신호 평면 간 상관도를 기반으로 기존의 방식들을 평가하고, 이들 방식의 제한점을 보다 효과적으로 개선하기 위해, 본 논문에서는, 상관도의 부호 일치도에 기반 한 선택적 주파수 계수 예측 방식을 제안한다. 또한 예측의 정확도를 더욱 높일 수 있도록 상관 강도의 추정과 그에 따른 적응 가중 예측을 수행하는 방식을 고안함으로써, 더욱 높은 압축 부호화 성능 개선을 이룰 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 잔여신호 DCT 계수의 평면 간 상관 관계를 폭넓게 조사하고, 이를 통해 주파수 영역 잔여신호 예측을 위한 기존 기법들을 평가한다. 이 후 3장에서는 제안된 상관 계수 부호 일치도에 따른 선택적 주파수 영역 가중 예측 기법을 소개한다. 같은 장에서 예측에 사용 될 주파수 계수 선택을 위한 적응적 기법 및 적응적 예측 가중치 설정 방식 등을 자세히 설명한다. 제 4장에서는 제안 알고리즘을 성능을 보여주기 위해, 디지털 카메라로 촬영된, 그리고 필름 스캔으로 생성된 방

대한 고해상도 비디오 테스트 데이터에 대한 컴퓨터 모의 실험을 통해, H.264/AVC의 공통 모드와 대표적 주파수 영역 잔여신호 예측 방식^[8]의 성능을 제안 방식의 성능과 비교, 분석하고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. R/G/B 잔여신호 평면 간 주파수 상관도

주파수 영역에서 잔여신호 DCT 계수의 평면 간 상관도를 조사하기 위하여, 우리는 주파수 영역 별로 Green과 Blue 색 평면 간의 상관 계수(correlation coefficient)와 Green과 Red 색 평면 간의 상관 계수를 산출하였다. 이는 Green 색 평면의 DCT 계수를 이용하여 Blue와 Red 색 평면의 DCT 계수를 예측하기 때문이다. 여기서는 실제 Green과 Blue 색 평면 간의 상관 계수를 구하는 방식에 대하여 설명한다.

이해를 돕기 위해, 실제 임의의 m 번째 매크로블록을 부호화한다고 가정하면, m 번째 매크로블록에서 Green과 Blue 색 평면의 잔여신호 간의 상관도를 높이기 위해 Green과 Blue 잔여신호 평면을 동일한 예측 모드로 예측한다. 예측된 신호와 원 신호의 차이인 잔여신호를 구한 다음, Green과 Blue 색 평면의 잔여신호에 대하여 각각 DCT를 수행한다. Green과 Blue 색 평면의 DCT 계수를 이용하여 동일한 주파수 영역에 있는 DCT 계수 간 상관 계수를 산출하도록 한다. 각 주파수 영역 별 상관 계수는 식(1)로 구할 수 있다.

$$\rho_{G_m, B_m}(i) = \frac{COV(G_m(i), B_m(i))}{\sigma_{G_m}(i)\sigma_{B_m}(i)}, \quad i \in [1, M^2] \quad (1)$$

여기서 $\rho_{G_m, B_m}(i)$ 는 m 번째 매크로블록에서 Green과 Blue 잔여신호 평면 사이의 i 번째 주파수 영역의 상관 계수를 의미한다. i 번째 주파수란 $M \times M$ DCT를 수행할 경우, M^2 개의 DCT 계수가 발생하고, 이를 지그재그 스캔하여 DC부터 나열한 후, i 번째에 위치한 DCT 계수를 의미한다. $G_m(i)$ 와 $B_m(i)$ 는 m 번째 매크로블록에 속하는 Green과 Blue 잔여신호 평면의 각 변환 블록에서 구한 i 번째 주파수

계수 집합을 의미한다. COV 는 공분산(covariance)을 의미하며, $\sigma_{G_m}(i)$ 와 $\sigma_{B_m}(i)$ 는 $G_m(i)$ 와 $B_m(i)$ 에 속하는 주파수 계수들의 표준 편차를 의미한다. 4×4 DCT를 수행할 경우, 총 16개의 주파수 영역이 발생하고, 16개의 주파수 영역마다 각각의 상관 계수가 산출되며, 8×8 DCT를 수행할 경우, 64개의 주파수 영역마다 각각의 상관 계수가 산출된다. 그리고 주파수 영역 별 상관 계수는 각 매크로블록에서 동일한 주파수 영역에 위치한 DCT 계수로부터 산출된다. 예를 들어 4×4 DCT를 수행할 경우, DC 주파수 영역의

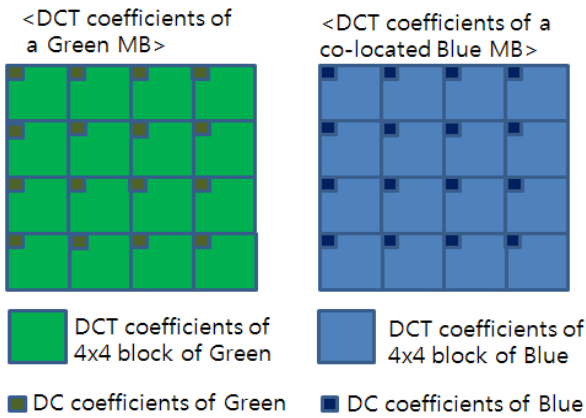


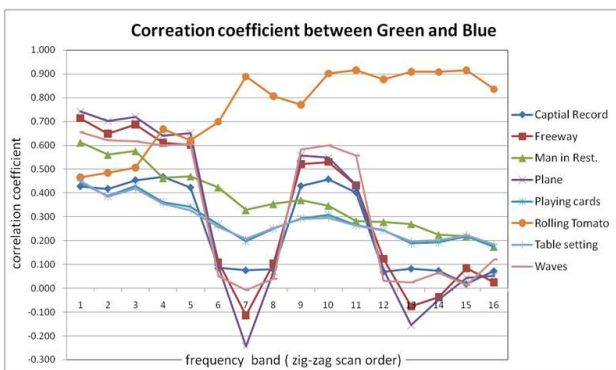
그림 1. 4×4 DCT에서 Green과 Blue 잔여신호 평면 간의 DC 상관 계수를 산출하기 위한 DCT 계수
 Fig. 1. DCT coefficients for calculating correlation coefficient of DC between Green and Blue residual color plane using 4×4 DCT

상관 계수는 그림 1과 같이 한 개의 매크로블록에서 DC인 DCT 계수만을 모은 후, 이 계수들에 식 (1)을 적용하여 Green 과 Blue 잔여신호 평면 또는 Green과 Red 잔여신호 평면 간의 DC 계수 상관 계수를 산출한다. 이와 같은 방법으로 모든 주파수 영역에 대하여 잔여신호 평면 간 상관 계수를 산출하도록 한다.

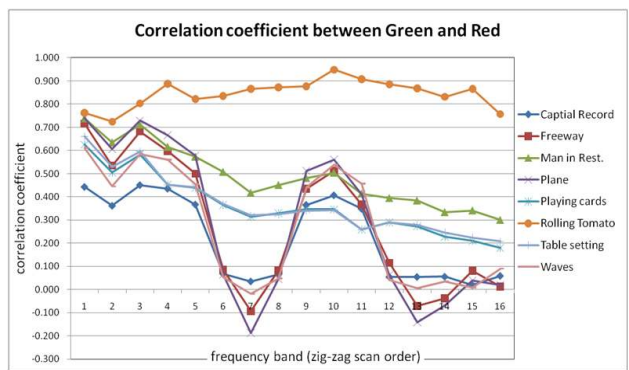
영상마다 상관 계수를 조사하기 위하여, RGB 색 공간을 가지는 다양한 동영상에 대하여 잔여신호 평면 간 상관 계수를 산출하였다. 이를 위해 매크로블록에서 산출된 상관 계수를 프레임 별로 평균 하여 식 (2)와 같이 프레임의 주파수 영역 별 상관 계수를 산출하였다. 여기서 F 는 한 프레임 안에 존재하는 매크로블록의 수를 의미한다.

$$\overline{\sigma_{G_m B_m}(i)} = \frac{1}{F} \sum_{m=0}^{F-1} \rho_{G_m B_m}(i), \quad i \in [1, M^2] \quad (2)$$

잔여신호 평면 간 상관 계수가 높을수록 색 평면 간 DCT 계수가 서로 유사한 값을 가짐으로 잔여신호 평면 간의 예측 효율이 높을 것으로 예상할 수 있다. 4×4 DCT를 수행할 경우, 다양한 테스트 동영상의 프레임 상관 계수는 그림 2와 같다. 그림 2는 동영상의 첫 번째 프레임의 Green과 Blue 잔여신호 평면에서 구한 주파수 영역 별 상관 계수와 Green과 Red 잔여신호 평면에서 구한 주파수 영역 별 상관 계수를 보여준다. 사용된 영상은 RGB 비디오 압축 부호화



(a) Green과 Blue 잔여신호 평면 간 상관 계수



(b) Green과 Red 잔여신호 평면 간 상관 계수

그림 2. 다양한 영상에 대한 주파수 영역에서 잔여신호 평면 간 상관 계수

Fig. 2. Correlation coefficients between residual color planes in frequency domain for various video sequences

를 위한 표준 테스트 동영상들이다.

그림 2의 세로 축은 상관 계수를 의미하며, -1과 1 사이의 값을 가진다. 가로 축은 지그재그 스캔한 순서로 정렬된 주파수 대역이며, 1은 DC 주파수 영역을, 16은 가장 높은 주파수 영역을 의미한다. 그림 2를 살펴보면 영상에 따라 상관 계수가 높은 주파수 영역이 상이함을 알 수 있다. 특히 기존의 주파수 영역 잔여신호 예측 기법[8]에서는 고주파 영역에 분포하는 잡음이 다른 색 평면으로 확산되는 현상을 방지하기 위해 저주파 영역만을 예측에 사용하였는데, 그림 2에서 볼 수 있듯이 Capital Record, Freeway, Plane, Waves와 같은 실험 영상에서는 저주파 영역뿐만 아니라 특정 중간 주파수 영역에서도 높은 상관관계가 나타남을 확인 할 수 있다. 그러나 기존 방법에서는 이와 같은 동영상에서도 4개의 저주파 계수들만 예측에 사용하거나, 또는 모든 주파수 영역 데이터를 예측에 사용함으로써 잔여신호 평면 간의 주파수 상관도를 최대한 활용하지 못하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 4x4 DCT를 수행할 경우뿐만 아니라, 8x8 DCT를 수행할 경우에도 유사한 현상을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 주파수 영역에 따른 잔여신호 평면 간의 상관도를 최대한 활용하여 RGB 동영상의 압축 부호화 효율을 개선할 수 있는 알고리즘을 제안하도록 한다.

III. 적응적 주파수-선택 잔여신호 가중 예측 기법

본 장에서는 RGB 잔여신호의 색 평면 간 상관도를 최대한 이용하여 부호화 효율을 증대시킬 수 있는 적응적 주파수-선택 잔여신호 가중 예측 기법을 제안한다. 이를 위해, 잔여신호 평면 간 상관도에 기반한 선택적 주파수 계수 예측 기법을 제안한다. 또한, 기존의 예측 방법은 잔여신호 평면 간 DCT 계수의 상관 강도를 고려하지 않고 항등 함수로 예측을 수행하여 예측의 정확성이 저하되었는데, 이를 개선하기 위해 잔여신호 평면 간 상관 강도의 추정과 그에 따른

적응 가중치를 사용하여 주파수 계수 예측을 수행하는 기법을 제안한다. 마지막으로 예측에 사용 될 주파수 영역 선택을 위한 적응적 기법 및 적응적 예측 가중치 설정 방식 등을 H.264/AVC에 구현하는 방법에 대하여 설명한다.

1. 잔여신호 평면 간 주파수-선택 예측 기법

2장에서 동영상에 따라 잔여신호 평면 간 DCT 계수의 상관도가 상이한 형태로 그룹화 됨을 확인하였다. 이는 기존의 잔여신호 예측 기법들이 잔여신호 평면 간 상관도를 효과적으로 사용하지 못하고 있음을 보여주며, 따라서 높은 상관도를 갖는 주파수 영역을 모두 예측에 사용하고, 낮은 상관도를 갖는 주파수 영역들을 예측에서 배제함으로써 효과적 예측 효율 증대를 기대할 수 있다. 우리는 2장에서 잔여신호 DCT계수의 주파수 영역 별 상관 계수를 이용하여 주파수 영역 별 상관도를 판단하였는데, 이와 같은 실제 상관 계수를 산출하기 위해서는 많은 연산을 필요로 한다. 따라서 단순한 연산으로써 잔여신호 평면 간의 상관도를 산출하여 효과적으로 이를 부호화에 적용할 필요가 있는데, 이를 위해 본 논문에서는 잔여신호 DCT 계수의 평면 간 부호 일치도 (SA - Sign Agreement)를 상관 계수를 대체할 새로운 측도로 제안한다.¹⁾ 부호 일치도란 예측치(predictor)로 사용될 DCT 계수와 예측될 DCT 계수의 부호가 일치하는 정도를 나타내는데, 항등 함수 예측을 사용하는 경우, 예측치의 부호와 예측될 DCT 계수와의 부호가 같은 경우에는 부호화 이득을 얻을 수 있고, 이 부호가 다를 경우에는 부호화 측면에서 손실을 얻는다는 사실에 기반 한다. 또한 예측을 통하여 각 DCT 계수가 얻거나 잃는 이득이 유사하다고 가정하면, 부호화 이득은 예측치와 예측될 DCT 계수의 부호가 같은 경우의 수에 비례한다고 할 수 있다. 이것을 나타내는 것이 부호 일치도이고, 따라서 부호 일치도가 클수록 더욱 높은 예측 부호화 성능을 제공할 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 부호 일치도, SA는 식 (3)과 같이 구하여 진다.

1) 그림 2를 보면, 음의 상관도를 가지는 경우 그 상관도가 높은 주파수 계수는 존재하지 않는 것으로 간주할 수 있다. 이와 같은 색 평면 간 잔여신호의 주파수 계수 상관도 특성을 이용하여 예측을 수행할 주파수 대역 선택의 방식을 가능한 간략화하기 위해 본 논문에서는 음의 상관도가 큰 경우 및 그 가능성은 고려하지 않는다.

$$SA = S_L - S_D \tag{3}$$

$$N = S_L + S_D \tag{4}$$

여기서 S_L 은 예측치와 예측될 DCT 계수의 부호가 같은 경우를, S_D 는 예측치와 예측될 DCT 계수의 부호가 서로 다른 경우의 수를 의미한다. 식 (4)의 N 은 한 매크로블록에서 동일한 주파수 영역에 위치한 DCT 계수의 개수를 의미한다. 예를 들어 4x4 DCT를 사용할 경우, 한 매크로블록에는 16개의 4x4 DCT 블록이 있으므로 동일한 주파수 영역마다 16개의 DCT 계수가 존재한다. 따라서 4x4 DCT를 사용할 경우 N 은 16이며, 8x8 DCT를 사용할 경우 N 은 4이다. 4x4 DCT를 사용할 경우, 주파수 영역마다 SA 는 16부터 -16까지의 값을 가질 수 있으며, 8x8 DCT를 사용할 경우 주파수 영역마다 SA 는 4부터 -4까지의 값을 가진다. 그리고 SA 가 높을수록 그 주파수 영역에서 잔여신호 평면 사이의 예측으로 인한 부호화 성능 개선이 클 것이라고 기대할 수 있다.

그림 3은 4x4 DCT를 수행한 경우에, 다양한 테스트 동영상의 첫 번째 프레임의 프레임 부호 일치도를 주파수 영역별로 보여준다. 매크로블록 별로 산출된 주파수별 부호 일치도를 한 프레임에서 평균하여 프레임 부호 일치도를 산출하였다. 그림 3을 살펴보면 부호 일치도와 그림 2의 상관 계수의 형태가 거의 일치함을 알 수 있으며, 이는 부호 일치도를 이용하여 색 평면 간의 상관도를 판단 할 수 있음을

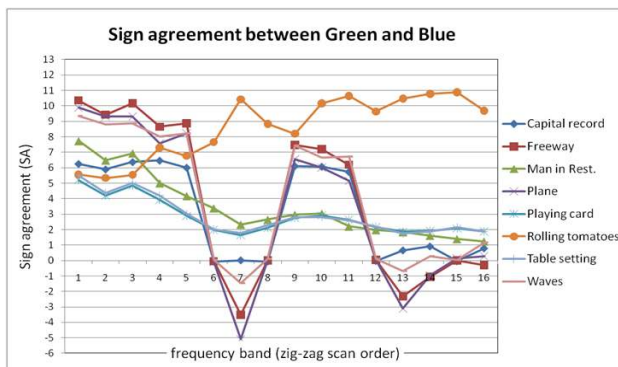
나타낸다. 따라서 본 논문에서는 부호 일치도를 사용하여 상관도가 높은 주파수 영역만을 선택하고, 선택된 주파수 영역에서 잔여신호 DCT 계수의 평면 간 예측을 수행하도록 한다.

2. 주파수 영역에서의 적응적 가중 예측 기법

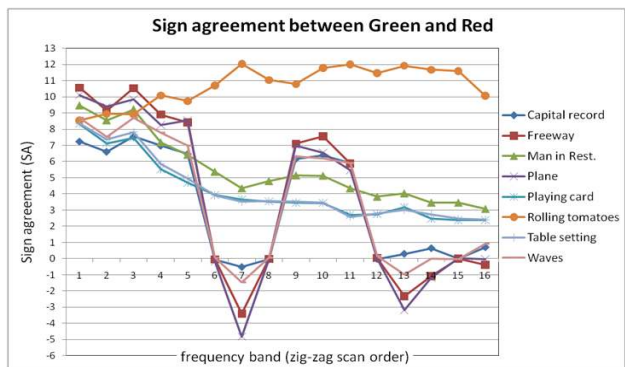
기존의 예측 방법은 잔여신호 평면 간 상관 강도를 고려하지 않고 모든 주파수 데이터 영역에서 동일한 항등 함수를 사용하는 방식이었다. 그러나 그림 3에서 볼 수 있듯이 주파수 영역마다 잔여신호 평면 간 상관 강도가 크게 다르므로 모든 주파수 영역에 동일한 예측 함수를 사용할 경우, 예측 효율이 저하 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 잔여신호 평면 간 상관 강도를 추정하고 이에 기반 하여 주파수 영역 별로 적응적인 예측 함수를 사용하도록 한다. 본 논문에서는 주파수 영역에서의 적응적 가중 예측을 사용하기 위하여 식 (5)와 같이 오프셋이 0인 선형 함수를 사용하도록 한다.

$$F_{BG}(G(i)) = w_{BG}(i) \times G(i) \tag{5}$$

식(5)는 i 번째 주파수 영역에서 Green 색 평면의 잔여신호로 Blue 색 평면의 잔여신호 예측할 때 사용되는 예측 함수를 의미하며, $w_{BG}(i)$ 는 i 번째 주파수 영역을 위한 가



(a) Green과 Blue 잔여신호 평면 간의 부호 일치도



(b) Green과 Red 잔여신호 평면 간의 부호 일치도

그림 3. 다양한 영상에 대한 주파수 영역에서 잔여신호 평면 간의 부호 일치도

Fig. 3. Sign agreements between residual color planes in frequency domain for various video sequences

중치를, $G(i)$ 는 Green 색 평면 잔여신호에서 i 번째 주파수 영역의 DCT 계수를 의미한다. $w_{BG}(i)$ 는 모든 매크로블록에 적응적으로 산출할 수 있으며, Green 색 평면의 잔여신호로 Red 색 평면의 잔여신호를 예측할 경우에도, 동일한 과정으로 수행된다. 식 (6)은 예측 함수를 이용하여 예측한 식을 나타낸다. $rB(i)$ 는 i 번째 주파수 영역에서 Green 색 평면의 잔여신호로 Blue 색 평면의 잔여신호를 예측한 잔차 신호를, $rR(i)$ 는 i 번째 주파수에서 Green 색 평면의 잔여신호로 Red 평면의 잔여신호를 예측한 잔차 신호를 각각 나타내며, 예측이 수행된 주파수 영역에서는 잔차 신호, $rB(i)$ 와 $rR(i)$ 가 부호화 된다.

$$\begin{aligned} rB(i) &= B(i) - F_{BG}(G(i)) \\ rR(i) &= R(i) - F_{RG}(G(i)) \end{aligned} \quad (6)$$

그리고 위의 가중치, $w_{BG}(i)$ 또는 $w_{RG}(i)$ 는 최소제곱오차(Mean square error) 기법을 이용하여 산출되어 진다. 예측은 오프셋이 0인 식 (5)와 같이 이루어지므로 $w_{BG}(i)$ 는 식 (7)과 같이 간단하게 구할 수 있으며, $w_{RG}(i)$ 도 동일한 방법으로 산출할 수 있다.

$$w_{BG}(i) = \frac{E(B(i)G(i))}{E(G(i)^2)} \quad (7)$$

위와 같이 주파수 영역 별로 예측에 사용 될 색 평면의 상관 강도에 따라 적응적으로 가중치를 결정하여 예측의 정확성을 높임으로써 부호화 효율의 증대를 기대할 수 있다.

3. 주파수 선택을 위한 threshold 기법

본 논문에서는 주파수 영역 별로 부호 일치도를 산출한 후, 상관도가 높은 주파수 영역만을 선택하여 색 평면간 예측을 수행하도록 한다. 이를 위하여 예측에 사용될 주파수 영역과 예측에 사용되지 않을 주파수 영역을 구분할 필요가 있으며, threshold 기법을 사용하여 예측에 사용될 주파수

영역을 선택한다. threshold는 다음과 같이 산출될 수 있다.

Green 색 평면의 잔여신호로 Blue 색 평면의 잔여신호를 예측한다고 가정하자. 만약 i 번째 주파수 영역에서 예측을 수행한다면 Blue 색 평면에서 실제 부호화 되는 것은 잔차 신호 $rB(i)$ 이고, 만약 예측을 수행하지 않는다면 잔여신호 $B(i)$ 가 부호화 된다. 이와 같은 경우, 예측을 통하여 부호화 이득을 얻기 위해서는 식 (8)을 만족해야 한다. 여기서 DCT 계수를 부호화 하는데 필요한 비트량은 부호(sign)를 부호화하는 비트와 크기(level)를 부호화하는 비트가 있으며, 부호를 부호화하는 데 필요한 비트량은 부호에 상관없이 모든 DCT 계수에서 동일하고 크기를 부호화하는데 필요한 비트량은 그 크기에 비례한다고 가정하였다.

$$\begin{aligned} |rB(i)| < |B(i)| \text{ 또는} \\ |B(i) - w_{BG}(i) \times G(i)| < |B(i)| \end{aligned} \quad (8)$$

$w_{BG}(i)$ 가 0보다 크다고 가정하면²⁾, 식 (8)의 해는 식 (9)와 같이 구할 수 있으며 해의 범위는 그림 4와 같다.

$$\begin{cases} B(i) > \frac{1}{2}w_{BG}(i) \times G(i), G(i) > 0 \text{ 일 때} \\ B(i) < \frac{1}{2}w_{BG}(i) \times G(i), G(i) < 0 \text{ 일 때} \end{cases} \quad (9)$$

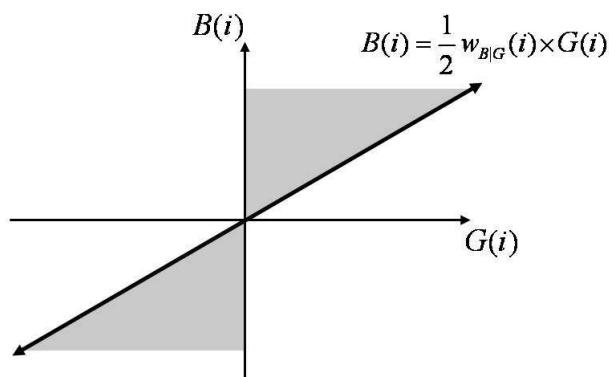


그림 4. 식 (5)를 이용하여 예측을 수행했을 경우, 예측을 통해 부호화 이득을 얻을 수 있는 영역

Fig. 4. The region of positive coding gain through the prediction using equation (5)

2) 제 1절에서 설명했던 바와 같이, 음의 상관도를 이용하는 경우는 본 논문에서 고려하지 않으므로 일반성의 결여 없이 예측에 사용되는 가중치는 양의 값을 가지는 것으로 간주할 수 있다.

그림 4를 살펴보면 비록 $B(i)$ 와 $G(i)$ 의 부호가 같을 지라도 부호화 이득에서 손실을 보는 영역이 있음을 알 수 있는데, 이는 두 주파수 계수가 예측 가중치에 비해 매우 큰 차이를 가지는 경우이다. 비록 두 색 평면 잔여신호의 주파수 계수들이 매우 높은 상관도를 보이지만 (그림 1), 예측을 통한 부호화 성능 개선의 가능성을 극대화하고 이를 간단한 연산으로 처리할 수 있도록 하기 위해 그림 4의 제1, 3사분면에 존재하는 모든 주파수 계수가 균일 분포를 가진다고 가정하자. 또한 N 개의 특정 주파수 대역 샘플 중 부호가 같은 DCT 계수의 수를 S_L 이라 하고, 부호가 다른 DCT 계수의 수는 S_D 라고 하면, 그림에서 볼 수 있듯이 S_L 개의 DCT 계수 중 $S_L(1-0.25w_{BG}(i))$ 개의 DCT 계수만 예측에 의한 이득을 얻을 수 있으며, $0.25w_{BG}(i)S_L$ 개의 DCT 계수는 예측에 의해 손실이 발생한다. 따라서 한 주파수 영역에서 각 샘플의 예측을 통해 얻는 이득과 손실의 양이 모두 동일하다고 가정하면, DCT 계수가 예측으로 인해 부호화 이득을 얻기 위해서는 양의 이득으로 얻는 샘플의 수가 음의 이득을 얻는 샘플의 수보다 많아야 한다. 양의 이득을 샘플의 수는 $S_L(1-0.25w_{BG}(i))$ 이고 음의 이득을 얻는 샘플의 수는 $S_D+S_L \times 0.25w_{BG}(i)$ 이므로 이는 식(9)와 같이 표현할 수 있다.

$$S_L - S_L \times 0.25w_{BG}(i) > S_D + S_L \times 0.25w_{BG}(i) \quad (9)$$

식 (4)를 변형시키면 $S_D = N - S_L$ 이므로, S_D 를 식 (9)에 적용시키면 식 (9)는 식 (10)과 같이 S_L 과 N 에 대한 식으로 표현할 수 있다.

$$S_L > \frac{2N}{4 - w_{BG}(i)} \quad (10)$$

식 (10)을 산출한 방법과 동일한 방법으로, 식 (9)는 식 (11)과 같이 S_D 와 N 에 대한 식으로 표현할 수 있다.

$$-S_D > \frac{2N}{4 - w_{BG}(i)} - N \quad (11)$$

그리고 부호 일치도는 식(10)과 식 (11)을 이용하여 예측 가중치 및 N 에 대하여 식으로 나타낼 수 있고, 이는 식 (12)와 같이 정리할 수 있다.

$$SA > \frac{4N}{4 - w_{BG}(i)} - N \quad (12)$$

이상의 유도에 따라, 본 논문에서는 부호 일치도가 식 (12)에서 산출한 threshold보다 큰 주파수 영역에서만 선택적으로 예측을 수행하고, 그 이외의 주파수 영역에서는 잔여신호 평면 간 상관도가 적다고 판단하여 잔여신호 평면 간 예측을 수행하지 않는다.

4. H.264에 대한 제안 알고리즘 구현

위에서 제안한 방법은 각각의 매크로블록마다 잔여신호 평면 간의 상관도에 따라서 예측에 사용될 주파수 영역과 예측 가중치를 적응적으로 선택하여 예측을 수행하므로 현재 매크로블록의 잔여신호 평면 간의 상관도를 가장 잘 반영할 수 있다. 현재 매크로블록의 상관도를 정확히 얻기 위해서는 현재 매크로블록의 잔여신호 평면의 DCT 계수 정보가 필요하다. 그러나 복호기는 복호하려는 현재 매크로블록의 DCT 계수를 미리 알 수 없으므로, 매크로블록마다 예측을 수행할 주파수 영역과 가중치 등의 정보를 전송해야 할 필요가 있다. 이 정보를 부호화하기 위해서는 많은 비트가 필요하기 때문에 본 논문에서는 미리 부호화 된 주변 블록의 정보를 이용하여, 현재 매크로블록이 예측에 사용할 주파수 영역과 가중치를 산출하도록 한다.

이를 위해 현재 매크로블록은 그림 5와 같이 이미 복호된 이전 매크로블록 행의 정보를 사용하여 현재 매크로블록을 위한 예측을 수행할 주파수 영역과 예측 가중치를 산출한다. 즉 j 번째 매크로블록 행에 위치한 매크로블록들을 복호하기 위하여 필요한 예측될 주파수 영역과 예측 가중치 정보는 이미 복호된 $j-1$ 번째 행의 매크로블록들이 가지는 양자화된 Green/Blue/Red 잔여신호 평면의 DCT 계수를 활용하여 위에서 제안한 방법을 기반으로 산출한다. 이는 현재 매크로블록과 주변 매크로블록과의 높은 유사성과 통계

적 안정성을 위한 최소한의 데이터 확보라는 측면을 고려한 결과이다.

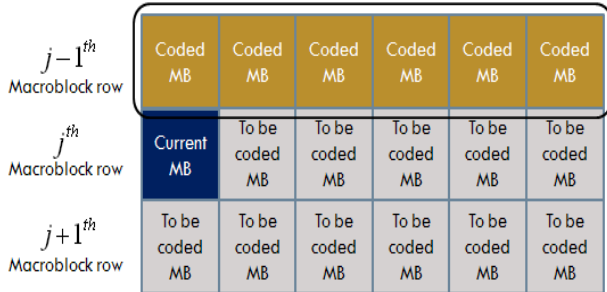


그림 5. 현재 블록의 예측 정보를 얻기 위한 주변 매크로 블록
Fig. 5. Neighbouring macroblocks to obtain the prediction information of current macroblock

여기서, 인트라 4x4, 인트라 8x8, 인트라 16x16 모드의 DCT계수 분포는 서로 상이하기 때문에, 예측에 사용될 주파수 영역과 예측 가중치는 매크로블록의 모드 별로 분리하여 산출한다. 즉, 이전 매크로블록 행에서 매크로블록들을 인트라 4x4 모드, 인트라 8x8 모드, 인트라 16x16 모드로 각각 분류한 후, 인트라 4x4 모드로 부호화된 매크로블록의 정보만을 이용해서 예측에 사용될 주파수 영역과 예측 가중치를 산출하고, 이를 현재 매크로블록의 인트라 4x4 모드를 복호 할 때 사용한다. 인트라 8x8 모드와 인트라 16x16 모드도 마찬가지로 방법으로 복호를 수행한다. 이와 같이 예측에 사용될 주파수 영역과 예측 가중치를 이미 복호된 매크로블록을 이용하여 산출함으로써 제안한 방법으로 인한 추가 비트는 필요하지 않다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 색 평면 잔여신호의 적응적 주파수-선택 가중 예측 알고리즘 성능을 검증하기 위하여 H.264/AVC의 참조 소프트웨어인 JM 9.5에 제안 알고리즘을 구현하여 성능을 평가하였다. 우리는 제안하는 방식을 적응적 선택 예측 모드로 정의하였으며, 제안 알고리즘이 효과적으로 예측을 수행하지 못하는 경우에 대한 대책으

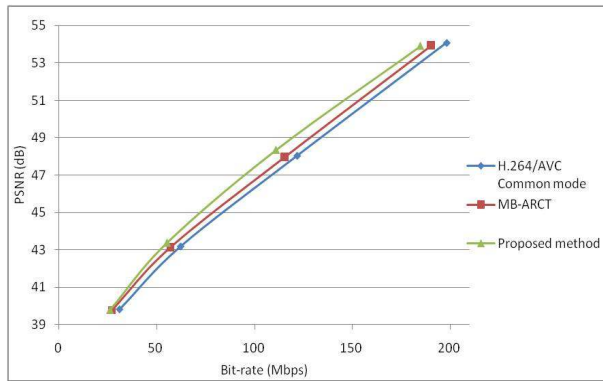
로 색 평면 간 예측을 사용하지 않는 모드를 추가하여 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 영상은 표준 테스트 동영상인 10bits RGB 4:4:4 포맷을 가진 Captial Record (CR), Freeway (FW), Plane (PL), Wave (WV)와 같이 바이퍼 카메라 (고해상도 디지털 카메라)로 촬영한 영상과 Man in restaurant (MIR), Playing card (PC), Rolling tomatoes (RT), Table setting (TS)과 같은 필름을 스캔한 고해상도 영상으로 구성된다. MIR을 제외한 모든 영상은 1920x1080의 해상도를 가지며 MIR 영상은 1920x896의 해상도를 지닌다. 실험을 위해 각 영상의 60프레임을 부호화 했으며 프레임-율은 24fps이다. Profile 은 High 4:4:4 Intra Profile이 사용되었으며, CABAC(Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding)^[13], RDO(Rate-distortion optimization)^[14], adative rounding^[15] 등의 부호화 선택사항을 적용하였다. 실험에서 QP(Quantization Parameter)는 12, 18, 24, 30의 4 가지를 사용하였으며, 제안 알고리즘과 기존 RGB 비디오 부호화 알고리즘의 부호화 효율을 비교하기 위해 BDRATE와 BDPSNR을 사용하였다^[12]. 비교 실험 대상으로는 H.264/AVC의 공통 모드와 기존의 대표적 주파수 영역 잔여신호 예측 방식^[8]을 선택하였다.

표 1은 제안 알고리즘과 기존 알고리즘들과의 성능 비교 결과를 보여준다. 제안 알고리즘은 H.264/AVC 공통 모드와 비교하여 평균 13.52%의 비트 절감 효과를 보여주며 기존의 주파수 영역 잔여신호 예측 방식 알고리즘과 비교해서는 평균 3.89%의 비트 절감 효과를 보여 준다. 특히 제안 알고리즘은 표1에서 볼 수 있듯이 CR, FW, PL, WV 영상에서 기존의 주파수 영역 잔여신호 예측 방식에 비해 높은 부호화 이득을 제공함을 알 수 있다. 이들 영상은 그림 1에서 볼 수 있듯이 저주파 영역뿐만 아니라 고주파 영역에서도 높은 상관도를 가지는 영상들이다. 기존의 알고리즘은 고주파 영역에 존재하는 높은 잔여신호 상관도를 적절히 활용하지 않은 것에 반하여 제안 알고리즘은 고주파 영역에 존재하는 상관도를 효율적으로 활용함으로써 이들 영상에서 높은 부호화 효율을 얻을 수 있었다. 기존의 주파수 영역 잔여신호 예측 방식에서 고주파 영역을 예측에 사용하기 위해서는 모든 주파수 데이터를 예측에 사용하여야 하며, 이 경우 그림 1에서와 같이 상관도가 낮은 주파수 대

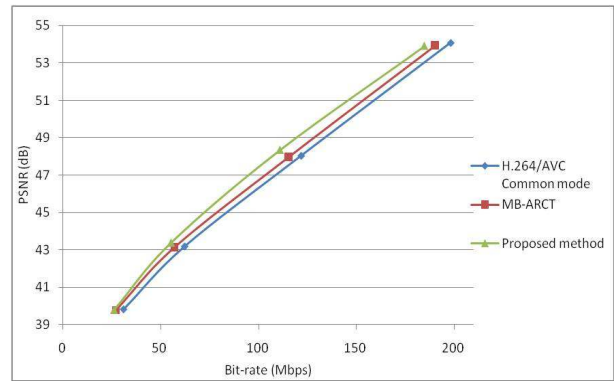
표 1. 기존 알고리즘과 제안 알고리즘과의 성능 비교

Table 1. Performance of comparison the proposed algorithm compared to previous algorithms

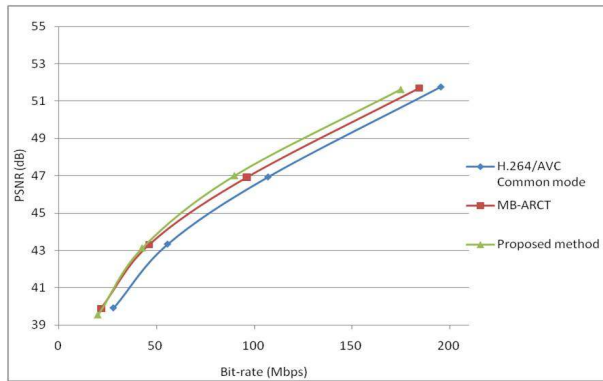
sequence	MB-ARCT ^[8] vs. H.264/AVC common mode		Proposed method vs. H.264/AVC common mode		Proposed method vs. MB-ARCT ^[8]	
	BDPSNR (dB)	BDRATE (%)	BDPSNR (dB)	BDRATE (%)	BDPSNR (dB)	BDRATE (%)
CR	0.444	-5.792	0.925	-11.782	0.458	-6.341
FW	0.876	-9.326	1.332	-13.825	0.431	-4.949
MIR	0.659	-11.244	0.857	-14.250	0.172	-3.346
PL	0.760	-12.577	1.102	-17.548	0.299	-5.641
PC	0.313	-4.337	0.433	-5.941	0.117	-1.667
RT	0.837	-22.759	0.884	-22.056	0.025	0.960
TS	0.203	-2.716	0.323	-4.243	0.117	-1.563
WV	0.480	-10.704	0.850	-18.486	0.343	-8.611
Average	0.572	-9.929	0.838	-13.516	0.319	-3.894



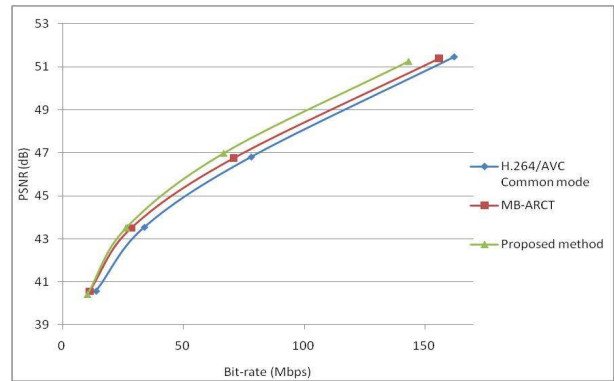
(a) Capital Record



(b) Freeway



(c) Plane



(d) Waves

그림 6. 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 RD 그래프

Fig. 6. RD-graph of the proposed algorithm and previous algorithms

역까지 예측에 포함하게 됨으로써 부호화 효율이 저하될 수 있다. RT 영상의 경우 제안 알고리즘은 기존 기법에 약

1% 정도의 성능 열화를 보임을 알 수 있다. 이는 그림 1에서 볼 수 있듯이, RT 영상은 전 주파수 영역에서 평균 0.9

정도의 높은 상관도를 보임으로써 예측 계수를 1로 사용하는 기존 주파수 영역 잔여신호 예측 방식에서도 잔여신호 평면 간 예측을 효율적으로 할 수 있는 반면, 제안 알고리즘에서는 복호된 영상의 부분을 사용하여 적응적 주파수 영역 예측을 수행하기 때문에 복호 오류(양자화 오류)에 의한 상관도 왜곡과 예측 계수 추정에 발생할 수 있는 오차 때문에 예측 정확도에 약간의 문제가 발생할 여지가 있기 때문이다. 추가적으로 그림 6에 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 RD 성능을 도시하였다. 그래프에서 볼 수 있듯이 제안 알고리즘은 45dB 이상의 초고화질 영역에서 최대 1dB 이상의 화질 향상을 보임을 알 수 있으며, 양자화 오류가 적은 높은 비트율 영역에서 약간 더 개선 정도가 큰 것을 볼 수 있다.

표 2와 표 3은 제안한 알고리즘과 기존 알고리즘의 부/복

호화 시간을 보여준다. 실험은 인텔 쿼드2 코어 2.4GHz와 4GB의 시스템 메모리를 가지고 진행되었다. 부호화 시간은 각각의 QP 별로 60 프레임을 부호하여 부호화 시간을 산출한 후, 이 값을 영상 별로 평균을 낸 값이다. 복호화 시간도 동일한 방법으로 산출하였다. 표 2는 부호화 시간을 나타내며 $T_{H.264,EN}$, $T_{MB-ARCT,EN}$, $T_{Proposed,EN}$ 은 각각 H.264/AVC 공통 모드, 기존 주파수 잔여 예측 방식, 제안 알고리즘의 부호화 시간을 나타낸다. H.264/AVC 공통 모드의 부호화 시간을 1로 두면, 평균적으로 기존 방식은 2.89배, 제안 알고리즘은 2.03배 만큼의 부호화 시간이 소요된다. 이와 같은 현상이 나타나는 이유는 기존 방식은 예측을 수행하지 않는 모드와 전체 주파수 데이터의 저주파 1/4 영역까지만 예측에 사용하는 모드, 그리고 모든 주파수 영역 데이터를 예측에 사용하는 모드 중, 최적의 모드를 RDO를 사용

표 2. 기존 알고리즘과 제안 알고리즘과의 부호화 시간 비교

Table 2. Encoding time of comparison the proposed algorithm compared to previous algorithms

sequence	$T_{H.264,EN}$	$T_{MB-ARCT,EN}$	$T_{Proposed,EN}$	$T_{MB-ARCT,EN} / T_{H.264,EN}$	$T_{Proposed,EN} / T_{H.264,EN}$
	시간 (s)	시간 (s)	시간 (s)		
CR	1259.91	3637.09	2561.61	2.89	2.03
FW	1569.13	4494.50	3137.03	2.86	2.00
MIR	1165.08	3322.59	2344.67	2.85	2.01
PL	1292.66	3704.62	2619.56	2.87	2.03
PC	1527.01	4494.02	3114.59	2.94	2.04
RT	1279.89	3626.50	2567.34	2.83	2.01
TS	1614.87	4733.14	3305.21	2.93	2.05
WV	1186.72	3446.91	2425.03	2.90	2.04
Average	1361.91	3932.42	2759.38	2.89	2.03

표 3. 기존 알고리즘과 제안 알고리즘과의 복호화 시간 비교

Table 3. Decoding time of comparison the proposed algorithm compared to previous algorithms

sequence	$T_{H.264,DE}$	$T_{MB-ARCT,DE}$	$T_{Proposed,DE}$	$T_{MB-ARCT,DE} / T_{H.264,DE}$	$T_{Proposed,DE} / T_{H.264,DE}$
	시간 (s)	시간 (s)	시간 (s)		
CR	65.06	62.68	65.78	0.96	1.01
FW	75.07	71.65	76.35	0.95	1.02
MIR	53.92	50.88	55.01	0.94	1.02
PL	63.06	58.95	63.07	0.93	1.00
PC	66.36	65.33	67.48	0.98	1.02
RT	58.22	54.81	58.23	0.94	1.00
TS	70.40	69.61	71.68	0.99	1.02
WV	60.86	58.29	60.73	0.96	1.00
Average	64.12	61.53	64.79	0.96	1.01

하여 선택함으로써 예측을 수행하지 않는 모드만 존재하는 H.264/AVC 공통 방식에 비해 대략 3배 정도의 부호화 시간이 소요되기 때문이다. 반면에 제안한 알고리즘은 예측을 수행하지 않는 모드와 제안한 적응적 선택 예측 모드를 가짐으로 H.264/AVC 공통 모드에 비해 대략 2배 정도의 부호화 시간이 소요된다. 비록 제안한 알고리즘은 가중치 계산과 같은 추가적인 계산이 필요하지만 이는 부호화 과정의 전체 시간에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 오히려 제안 알고리즘은 기존 방식에 비해 부호화 시간을 단축하면서 더 높은 압축 효율을 보임을 알 수 있다. 표 3은 복호화 시간을 나타내며 $T_{H.264,DE}$, $T_{MB-ARCT,DE}$, $T_{Proposed,DE}$ 는 각각 H.264/AVC 공통 모드, 기존 주파수 잔여 예측 방식, 제안 알고리즘의 복호화 시간을 나타낸다. H.264/AVC 공통 모드의 복호화 시간을 1로 두면, 평균적으로 기존 방식은 0.96배, 제안 알고리즘은 1.01배 만큼의 복호화 시간이 소요된다. 기존 방식이 H.264/AVC 공통 모드에 비해 복호화 시간이 줄어드는 이유는 예측을 보상하기 위한 연산은 단순한 덧셈 연산으로 이로 인해 증가되는 연산량은 미미한데 반해, 예측으로 인해 CABAC으로 복호해야 할 데이터의 양이 작아짐으로써 엔트로피 복호화의 시간이 줄어들기 때문이다. 이는 기존 방식이 H.264/AVC 공통 모드에 비해 압축 효율이 크게 높은 MIR, PL, RT 영상 등에서 복호화 시간이 더 크게 줄어드는 현상으로써 확인할 수 있다. 같은 현상으로 제안 알고리즘에서는 엔트로피 복호화 시간은 크게 줄어드나, 예측 가중치와 주파수 선택을 위한 계산으로 인해 연산량이 증가함으로써 기존 방식에 비해 복호화 시간이 커짐을 알 수 있다. 그러나 이로 인해 증가되는 복호화 시간은 미미함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 RGB 비디오 압축 부호화의 효율을 개선하기 위해 색 평면 간 잔여신호의 상관도에 기반 한 적응적 주파수 영역 가중 예측 기법을 제안하였다. 제안 기법은 색 평면 간 잔여신호의 주파수 대역별 상관도를 선택적으로 활용하여 적응적 가중 예측 방식으로 잔여신호 예측을 수행함으

로써, 기존의 대표적 RGB 색 공간에서의 비디오 압축 방식에 비해 매우 높은 부호화 효율을 제공할 수 있었다. 제안 기법은 H.264/AVC의 공통 모드에 비해 평균 13.5% 정도 부호화 효율을 증가시켰으며, 기존의 대표적 주파수 영역 잔여신호 예측 방식[8]에 비해서는 평균 3.9% 정도의 부호화 효율을 개선시켰다. 현재로는 의료 영상 및 디지털 시네마 등의 전문 영역에서만 RGB 색 공간에서 압축 부호화를 사용하고 있지만, 신뢰도 높은 영상에 대한 요구와 관심이 지속적으로 증가하고 있기 때문에 본 논문에서 제안한 RGB 압축 부호화 알고리즘의 중요성은 더욱 커질 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Advanced Video Coding for Generic Audiovisual services, ITU-T Rec. H.264, ITU-T, 2007
- [2] H. Malvar and G. Sullivan, "YCoCg-R a color space with rgb reversibility and low dynamic range", JVT, Trondheim, Doc. JVT-I014r3, July 2003
- [3] G. Sullivan, "Approximate theoretical analysis of RGB to YCbCr to RGB conversion error", JVT, Trondheim, Doc. JVT-I017-L, July 2003
- [4] W.-S. Kim and H.-M. Kim, "Residue Transform", JVT, Waikoloa, Hawaii, USA, Doc. JVT-J038, Dec. 2003
- [5] D. Marpe, H. Kirchhoffer, V. George, C. Fehn, P. Kauff, and T. Wiegand, "MB-adaptive residual colour transform for 4:4:4 coding", JVT, Bangkok, Thailand, Doc. JVT-R071, Jan. 2006
- [6] W.-S. Kim, D.-S. Cho, and H.-M. Kim, "Inter plane prediction for RGB video coding", in Proc. IEEE ICIP, vol. 2. Singapore, pp.785-788, Oct. 2004
- [7] Y.-H. Kim, J.-H. Park, J.-W. Kim, B. Choi, and J. Paik, "Efficient RGB video coding using adaptive inter-plane residual prediction", in Proc. IEEE ICCE, Las Vegas, NV, Jan. 2008, pp. 1-2
- [8] D. Marpe, H. Kirchhoffer, and T. Wiegand, "CE5: Color transform issues and related results", JVT, Geneva, Switzerland, Doc. JVT-S073, Apr. 2006
- [9] D. Marpe, H. Kirchhoffer, V. George, P. Kauff, and T. Wiegand, "Macroblock-adaptive residual colour transforms for 4:4:4 coding", in Proc. IEEE ICIP, Atlanta, GA, pp.3157-3160, Oct. 2006
- [10] B. C. Song, Y. G. Lee, and N. H. Kim, "Block adaptive inter-color compensation algorithm for RGB 4:4:4 video coding", IEEE Trans. Circuit Syst. Video Tech., vol. 18, no. 10, pp. 1447-1451, Oct. 2008
- [11] Y.-H. Kim, B. Choi, and J. Paik, "High-fidelity RGB video coding using adaptive inter-plane weighted prediction", IEEE Trans. Circuit Syst. Video Tech., vol.19, no.7, pp. 1051-1056, July 2009

- [12] G. Bjontegaard, "Calculation of average PSNR difference between RD curves", ITU-T VCEG, Austin, TX, Doc. VCEG-M33, Apr. 2001
- [13] D. Marpe, H. Schwarz, and T. Wiegand, "Context-based adaptive binary arithmetic coding in the H.264/AVC video compression standards", IEEE Trans. Circuit Syst. Video Tech., vol.13, no.7, pp. 620-636, July 2003
- [14] G. J. Sullivan and T. Wiegand, "Rate-distortion optimization for video compression", IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, vol.15, no.6, pp. 74-90, Nov. 1998
- [15] G. J. Sullivan, "Adaptive quantization encoding technique using an equal expected-value rule", JVT, Hong Kong, China, Doc. JVT-N011, Jan. 2005

저 자 소 개



정진우

- 2004년 9월 : 연세대학교 전기전자공학과 학사
- 2006년 9월 : 연세대학교 전기전자공학과 석사
- 2006년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사 재학 중
- 주관심분야 : 비디오/영상 신호 처리



최윤식

- 1979년 2월 : 연세대학교 전기공학과 학사
- 1984년 5월 : Case Western Reserve 대학 시스템공학과 석사
- 1987년 5월 : Pennsylvania 주립 대학 전기공학과 석사
- 1990년 12월 : Purdue 대학 전기공학부 박사
- 1993년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학 교수
- 주관심분야 : 비디오/영상 신호 처리 및 해석



김용구

- 1993년 : 연세대학교 전기공학과 졸업
- 1995년 : 연세대학교 전기및컴퓨터공학과 공학석사
- 2001년 : 연세대학교 전기전자공학과 공학박사
- 2001년 ~ 2002년 : 연세대학교 전파통신연구소 박사후연구원
- 2002년 ~ 2006년 : (주)온타임텍 멀티미디어연구소 연구소장/이사
- 2006년 ~ 2009년 : 연세대학교 전기전자공학부 연구교수
- 2009년 ~ 현재 : 한독미디어대학원대학교 뉴미디어학부 교수
- 주관심분야 : 모바일 비디오/영상 통신, 3D/UHD 멀티미디어 신호처리 및 응용