

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제21권 제6호, 2016년 11월 (JBE Vol. 21, No. 6, November 2016)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2016.21.6.929>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

S-JND 모델을 사용한 주관적인 율 제어 알고리즘 기반의 HEVC 부호화 방법

김재륜^{a)}, 안용조^{a)}, 임웅^{a)}, 심동규^{a)†}

A Perceptual Rate Control Algorithm with S-JND Model for HEVC Encoder

JaeRyun Kim^{a)}, Yong-Jo Ahn^{a)}, Woong Lim^{a)}, and Donggyu Sim^{a)†}

요약

본 논문에서는 인지 화질을 고려하기 위해 S-JND 모델 기반의 율 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 율 제어 알고리즘은 인간이 가지는 시각 시스템의 특징을 반영하기 위하여 시각적 민감도와 시각적 관심도를 동시에 반영할 수 있도록 제작된 S-JND (Saliency-Just Noticeable Difference) 모델을 사용한다. 율 제어 알고리즘을 통해 비트를 분배하는 과정에서 픽처 내에 존재하는 각 CTU (Coding Tree Unit)가 가지는 S-JND threshold를 구한다. 각 CTU의 threshold는 적응적으로 적절한 비트를 분배하는데 사용되고, 따라서 제안하는 비트 분배 모델은 인지 화질을 향상시킬 수 있다. 제안하는 방법의 성능 검증을 위해서 제안하는 방법을 HM 16.9에 구현하였으며, CTC (Common Test Condition) RA (Random Access), Low-delay B와 Low-delay P의 경우에 Class B와 Class C 영상들에 대해 실험 하였다. 실험 결과, 제안하는 방법은 기존 율 제어 알고리즘 대비 평균 2.3%의 비트율이 감소했고 BD-PSNR은 약 0.07dB 향상이 있었으며 비트 정확도 또한 0.06% 정도 증가하였다. DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) 방법으로 측정된 결과, 제안하는 방법은 기존 방법 대비 0.03 MOS (Mean Opinion Score) 향상을 보였다.

Abstract

This paper proposes the rate control algorithm based on the S-JND (Saliency-Just Noticeable Difference) model for considering perceptual visual quality. The proposed rate control algorithm employs the S-JND model to simultaneously reflect human visual sensitivity and human visual attention for considering characteristics of human visual system. During allocating bits for CTU (Coding Tree Unit) level in a rate control, the bit allocation model calculates the S-JND threshold of each CTU in a picture. The threshold of each CTU is used for adaptively allocating a proper number of bits; thus, the proposed bit allocation model can improve perceptual visual quality. For performance evaluation of the proposed algorithm, the proposed algorithm was implemented on HM 16.9 and tested for sequences in Class B and Class C under the CTC (Common Test Condition) RA (Random Access), Low-delay B and Low-delay P case. Experimental results show that the proposed method reduces the bit-rate of 2.3%, and improves BD-PSNR of 0.07dB and bit-rate accuracy of 0.06% on average. We achieved MOS improvement of 0.03 with the proposed method, compared with the conventional method based on DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale).

Keyword : HEVC, S-JND, Rate control, Perceptual quality

Copyright © 2016 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

1. 서론

최근 Full HD를 넘어 4K 및 8K 해상도를 갖는 초고화질 비디오 서비스의 수요가 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 새로운 비디오 압축 표준을 제정하기 위하여 ISO/IEC MPEG (Moving Picture Experts Group)과 ITU-T VCEG (Video Coding Experts Group)이 JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding)를 결성하였다. JCT-VC는 기존 비디오 압축 표준은 H.264/AVC (Advanced Video Coding)에 비해 동일한 주관적 화질 측면에서 약 50% 이상, 동일한 객관적 화질 측면에서 약 40% 이상의 부호화 효율을 갖는 차세대 비디오 압축 표준 HEVC (High Efficiency Video Coding) version 1을 완성하였다^{[1][2][3][4]}. 최근 Apple사의 iPhone 6와 iPhone 6 Plus에 HEVC를 지원하는 FaceTime 카메라 모듈이 탑재되었고, 유선방송 및 공중파 방송에서 HEVC를 이용하여 4K UHD TV 지상파 실험방송 및 생중계 실험방송을 하는 등 여러 디바이스나 시스템에서 HEVC 기반의 압축이 서비스되고 있다. 또한 추후에는 HEVC가 방송 및 통신 등의 멀티미디어 분야에서 더욱 많이 쓰일 것으로 전망하고 있다^[5]. HEVC는 사용할 수 있는 대역폭 내에서 최대 화질을 달성하기 위한 최소 비트를 생성하기 위해 율 제어 (Rate control) 알고리즘을 사용한다^[6]. 특히 율 제어 알고리즘은 대역폭이 제한되어 있는 통신 시스템이나 저장 공간이 제한된 시스템 내에서 필수적이라고 할 수 있다.

HEVC 참조 소프트웨어에도 이러한 율 제어 알고리즘이 적용되어 있으며, 해당 율 제어 알고리즘은 율 왜곡 최적화 (RDO: Rate-Distortion Optimization)를 수행한다^[7]. 율 왜곡 최적화는 목표 비트량에서 최대의 압축 효율을 내기 위

한 기술로, 부호화 시에 발생하는 비트량을 목표 비트량에 가깝게 조절하며 가용한 비트량을 사용하여 최고 화질의 영상을 제공하기 위한 목적을 가진다. 이처럼 율 왜곡 최적화를 수행할 때 왜곡을 측정하기 위해 영상의 화질을 측정하며, 화질 측정을 위한 방법으로 객관적 화질 측정 방법과 주관적 화질 측정 방법 중 한 가지를 선택하여 사용할 수 있다. 사람이 직접 느끼는 인지 화질은 주관적 화질과의 상관도가 더 높지만, 객관적 화질 측정 방법에 비해 비용이 많이 들고, 시간 소모가 많다는 단점이 존재한다. 따라서 HEVC 참조 소프트웨어인 HM (HEVC reference Model)에서는 두 가지 화질 측정 방법 중 객관적 화질 측정 방법을 사용한다. 객관적 화질 측정 방법에는 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio), MSE (Mean Squared Error) 등의 여러 가지 방법이 존재하지만, HM은 이 중에서 가장 널리 사용되는 PSNR을 사용하여 객관적 화질을 측정한다. 하지만 전술된 것과 마찬가지로, HM에 적용된 율 제어 알고리즘은 인간이 느끼는 화질과의 상관도가 더 높은 주관적 화질이 고려되지 않은 알고리즘이기 때문에 이를 개선하기 위한 율 제어 알고리즘의 필요성이 대두되었고, 현재 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[8][9][10][11]}. 본 논문에서는 주관적 화질을 고려한 S-JND (Saliency-Just Noticeable Difference) 모델^[8] 기반의 율 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 주관적 화질을 고려하기 위해 인간 시각 시스템의 시각적 민감도와 시각적 관심도를 함께 고려하는 S-JND 모델을 사용한다. S-JND 모델을 통해 픽처 내에 존재하는 각 CTU의 S-JND threshold를 구할 수 있고, 구해진 threshold를 이용하여 각 CTU의 인지 시각적 중요도가 계산된다. 제안하는 율 제어 알고리즘에서는 비트 분배 시, 하나의 픽처 내에 존재하는 전체 CTU의 인지 시각적 중요도 대비 각 CTU가 가지는 인지 시각적 중요도의 비율을 구하고 이를 이용하여 각 CTU에 비트를 적응적으로 할당한다. 본 논문에서는 전술된 과정과 같이 각 픽처에서 CTU로의 비트 분배를 인지 시각적 중요도에 따라 적응적으로 수행하는 율 제어 알고리즘을 HEVC 부호화기에 적용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 HEVC 표준에 적용된 율 제어 알고리즘을 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 주관적 화질 향상을 위한 율 제어 알고

a) 광운대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Engineering, Kwangwoon University)

‡ Corresponding Author : 심동규(Donggyu Sim)

E-mail: dgsim@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5470

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2794-9932>

※ 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2014R1A2A1A11052210) 및 2016년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

· Manuscript received August 4, 2016; Revised September 13, 2016; Accepted September 20, 2016.

리즘을 소개한다. 4장에서는 제안하는 율 제어 알고리즘을 적용하여 진행한 실험결과에 대해 평가 및 분석을 한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문에 대한 결론 및 향후 연구 진행 방향을 살펴보고 결론을 맺는다.

II. HEVC 참조 소프트웨어의 율 제어 알고리즘

저장 공간에 제약이 있는 시스템이나 대역폭에 제한이 있는 네트워크 시스템에서는 해당 시스템의 가용 범위에 맞는 비트율을 맞추는 것이 중요하다. 이를 위해 일반적인 비디오 압축에서는 목적에 따라 다양한 양자화율을 이용하여 압축률을 조절하는 것이 가능하다. HEVC 참조 소프트웨어인 HM은 이처럼 다양한 목적을 가진 시스템에 서비스를 제공하기 위해서 율 제어 알고리즘을 사용한다^[2]. 율 제어 알고리즘의 목표는 가용 범위에 있는 비트율을 맞추고 동시에 높은 화질의 복원 영상을 얻는 것이다. 이를 위해 율 제어 알고리즘은 율 왜곡 최적화^[13]를 수행하여 최적의 모드를 결정한다. HM의 율 제어 알고리즘은 정해진 비트량 내에서 화질을 향상시키기 위해 PSNR 등의 객관적인 지표를 사용하여 화질을 측정하고 율 왜곡 최적화를 수행한다. 본 장에서는 HM에 적용된 객관적 화질 기반의 율

제어 알고리즘을 간단하게 소개한다.

그림 1은 HM에 적용된 율 제어 알고리즘을 나타내는 블록도이다. 입력 영상이 부호화기의 입력 값이 되어 출력 비트스트림을 만들어내면, 가상 참조 복호화기에서는 이를 이용하여 발생 비트량과 버퍼 제한 파라미터를 결정하여 율 제어 모듈에 전달한다. 율 제어는 복잡도 계산, 비트 분배 모델, 양자화 모델이 적절한 상호관계를 가지고 동작하는 알고리즘으로, 먼저 원본 영상과 복원 영상을 이용하여 복잡도를 계산한다. 계산된 복잡도를 전달받은 비트 분배 모델에서는 복잡도와 더불어 입력 인자로 입력받은 목표 비트량, 발생 비트량과 버퍼 제한 파라미터를 모두 고려하여 부호화에 사용할 적절한 비트를 결정한다. 양자화 모델에서는 결정된 비트량에 따른 QP (Quantization Parameter)를 결정하여 부호화기에 전달한다. 이러한 율 제어 과정을 거쳐 결정된 QP를 통해 다시 한 번 부호화를 수행하면 부호화 과정이 끝이 난다. 해당 율 제어 알고리즘 과정 중 비트 분배 모델에서는 여러 가지 파라미터를 전달받아 율 왜곡 최적화 과정을 거쳐 비트율을 결정하는데, 이 때 왜곡을 계산하기 위하여 화질 측정을 수행한다. 화질을 측정하는 방법에는 객관적 화질 측정과 주관적 화질 측정이 있다. 인간이 실제로 느끼는 화질을 측정하기 위해서는 주관적 화질 측정 방법을 이용하는 것이 가장 정확하지만, 화질 측정에 걸리는 시간이 길고 많은 비용이 필요하다는 단점이 있

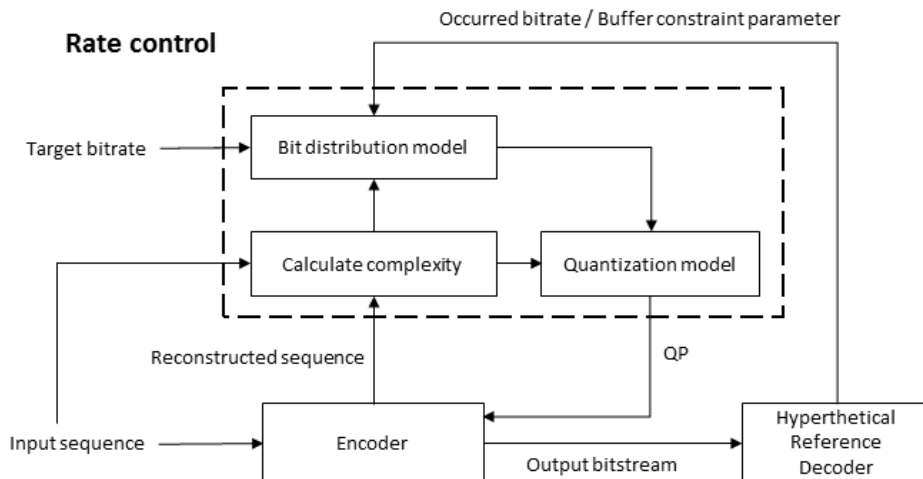


그림 1. HM의 율 제어 알고리즘
 Fig. 1. Rate control algorithm of HM

어 H.264/AVC의 참조 소프트웨어인 JM (Joint Model)과 HEVC의 참조 소프트웨어인 HM에서는 주로 객관적 화질 측정 방법을 사용한다^{[6][14]}.

HEVC 표준화 과정 중에 여러 가지 율 제어 알고리즘이 제안되었다. [15]에서 제안된 URQ (Unified Rate-Quantization) 모델 기반의 율 제어 알고리즘은 화소 단위로 목표 비트율과 QP 값 사이의 관계를 정의하여 사용한다^[16]. 현재 HM에는 [12]에서 제안된 R- λ 모델 기반의 율 제어 알고리즘이 적용되어 있으며, 이는 주어진 비트율과 λ 간의 관계를 기반으로 하여 QP를 결정한다^[17]. R- λ 모델 기반의 율 제어 알고리즘은 GOP (Group Of Pictures), 픽처(Frame), CTU (Coding Tree Unit) 레벨의 비트 할당 방법을 포함한다. GOP 레벨에서는 부호화 하고자 하는 픽처당 평균 비트량을 영상 전체에 할당된 비트로부터 계산한다. 각 GOP에 대한 비트할당이 완료된 후에 다시 각 픽처 단위의 비트할당을 수행하고, 픽처 단위로 결정된 비트를 다시 한 번 해당 픽처 내의 각 CTU에 대해 비트를 할당한다. CTU 단위에서는 주어진 비트율과 λ 간의 관계를 기반으로 하여 부호화 파라미터 중 하나인 QP를 결정한다. 이 때, R- λ 모델 기반의 율 제어 알고리즘은 수식 (1)과 같이 비트율과 왜곡 간의 관계를 근사화하여 표현할 수 있다.

$$RDcost = D(mode, QP) + \lambda \cdot R(mode, QP) \quad (1)$$

D 는 왜곡을 나타내고, R 은 비트량을 의미하며, $mode$ 와 QP 는 부호화 파라미터로 각각 부호화 모드와 양자화 파라미터를 의미한다. 또한 λ 는 라그랑지안 곱 (Lagrangian multiplier)으로, HM에서는 양자화 파라미터에 대해 고정된 값이 사용되며 이로 인해 $RDcost$ 로 표현되는 율 왜곡 비용이 결정된다. 일반적으로 양자화 파라미터 값에 대해 발생하는 비트량과 영상의 화질 간의 최적화를 수행하기 위해 율 왜곡 최적화가 수행된다. 여기서 R- λ 모델 기반의 율 제어 알고리즘은 수식 (2)와 같이 비트율과 왜곡 간의 관계를 근사화하여 표현할 수 있다.

$$D(R) = CR^{-K} \quad (2)$$

R 은 화소 당 비트 수로 정의되는 비트율을 의미하며, C

와 K 는 모델 파라미터를 의미한다. 또한 이로 인해 결정되는 D 는 MSE로 정의되는 왜곡을 나타낸다. 수식 (2)에서 표현된 왜곡과 비트율 간의 관계를 통해 λ 를 정의할 수 있다. 이때, λ 는 왜곡과 비트율 간의 관계 그래프에 존재하는 한 점에 대한 접선의 기울기를 의미하며, 다음 수식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\lambda = -\frac{\partial D}{\partial R} = CK \cdot R^{-K-1} = \alpha \cdot R^\beta \quad (3)$$

α 와 β 는 모델 파라미터이며, 수식 (3)을 통해 비트율 R 에 대한 λ 를 도출할 수 있다. 이에 따라 결정된 λ 로부터 수식 (4)을 통해 각 CTU에 해당하는 QP를 결정한다.

$$QP = 4.2005 \ln \lambda + 13.7122 \quad (4)$$

이와 같이 R- λ 모델 기반의 율 제어 알고리즘은 주어진 비트율에 대한 λ 와 QP를 이용하여 각 CTU를 부호화 하고, 실제로 발생한 비트량을 이용하여 모델 파라미터 α 와 β 를 업데이트 하여 사용하면서 적응적인 율 제어를 수행한다.

III. 제안하는 S-JND 모델 기반의 율 제어 알고리즘

앞서 설명한 바와 같이, HEVC 참조 소프트웨어인 HM에 적용된 율 제어 알고리즘은 객관적인 화질 지표인 PSNR을 사용하기 때문에 사람이 직접 느끼는 인지 화질과의 상관도가 낮다는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위하여 인지 화질을 고려할 수 있는 율 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 율 제어 알고리즘은 화질 측정 시에 객관적 화질 측정 지표 대신 주관적 화질 측정 지표를 사용함으로써 인지 화질을 개선할 수 있다. 본 논문에서는 인지 화질을 고려하기 위해 S-JND 모델 기반의 율 제어 알고리즘을 제안한다. 본 절에서는 S-JND 모델에 대해 간략하게 소개하고, S-JND 모델 기반의 인지 화질을 고려하기 위한 율 제어 알고리즘을 소개한다. 또한 해당 알고리즘을 HEVC 부호화에 어떻게 적용하는지 설명한다.

1. 제안하는 방법에 적용한 S-JND (Saliency-Just Noticeable Difference) 모델 소개

본 논문에서 제안하는 방법은 인간이 직접 느끼는 화질을 고려하기 위해서 인간의 시각 특성이 반영된 S-JND 모델^[8]을 사용한다. 본 절에서는 논문에서 사용되는 S-JND 모델에 대해 살펴본다. 인간이 직접 느끼는 화질은 인간 시각 시스템과 밀접한 관련이 있기 때문에 인간 시각 시스템이 가지는 특성을 고려하면 인지 화질을 향상시킬 수 있다^[14]. 따라서 인지 화질 향상을 위해 인간 시각 시스템의 특성을 살펴볼 필요가 있다. 인간 시각 시스템은 시각적 민감도와 시각적 관심도로 표현할 수 있다. 시각적 민감도는 사람이 물체를 볼 때 느끼는 민감도를 나타내며, 본 논문에서는 시각적 민감도를 위해 휘도 순응 (Luminance adaptation) 특성을 사용한다. 휘도 순응 특성이란 배경의 밝기에 따라 사람이 인지할 수 있는 밝기 변화량이 달라지는 특성으로, 아주 밝거나 아주 어두운 부분보다는 중간 밝기의 배경에서 일어난 밝기 변화를 더 쉽게 인지할 수 있다는 특징을 갖는다. 본 논문에서는 이 휘도 순응 특성을 수학적으로 모델링한 JND (Just Noticeable Difference) 모델^{[18][19]}을 사용한다. JND 모델은 그림 2와 같이 도식화할 수 있다. 그림 2는 평균 배경 밝기에 따른 사람이 인지 가능한 밝기 변화 값의 관계를 보인다. 여기서 luminance JND value는 JND threshold로도 표현이 가능하며, 이는 사람이 인지할 수 있는 밝기 차이를 나타내기 때문에 낮은 값을 가질수록 해당 밝기의 배경에서 작은 밝기 차이도 인지할 수 있다는 의미를 가진다. 따라서 그림 2를 통해 배경이 아주 어둡거나 아주 밝은 부분에 비해 중간 밝기를 가지

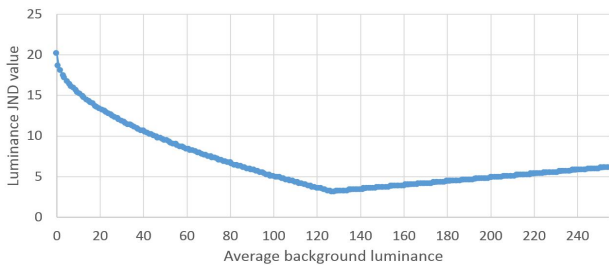


그림 2. JND 모델의 평균 배경 밝기 값과 인지 가능한 밝기 값 차이의 관계
 Fig. 2. A graph of JND threshold depending on average background luminance

는 배경에서 밝기 변화가 일어났을 때 더 쉽게 인지할 수 있음을 알 수 있다.

이와 함께 시각적 관심도는 사람이 주시하는 부분, 즉 관심 영역 (Region of interest)으로 표현할 수 있다. 인간은 눈을 통해 수많은 정보들을 인식하여 신경을 통해 뇌로 전달한다. 전달한 많은 정보들을 개인적인 경험, 기억 및 학습 등에 의하여 영상의 일부를 선택하여 보게 되는데, 이를 주시 (Attention)라고 한다. 영상에 있어서 사람의 관심도는 정적인 물체보다 동적인 물체에서 더 높게 나타나는데, 이를 움직임 민감도 (Motion sensitivity) 라고 한다. 본 논문에서는 사람의 시각적 관심도를 표현하기 위해 움직임을 측정하여 Saliency 값으로 사용하였다. S-JND 모델은 시각적 민감도와 시각적 관심도를 동시에 고려하기 위하여 JND 모델과 Saliency 값을 모두 사용한다. 본 논문에서 사용하는 S-JND 모델은 수식 (5)와 같이 수식화될 수 있다.

$$SJND_{th} = JND_{th} \times [(1 - Sal) + \alpha] \quad (5)$$

JND_{th} 는 JND threshold로 그림 2에서 보여진 luminance JND value이며 0부터 255까지로 정의된 평균 밝기 값에 따라 정해진 값을 사용한다. Sal 은 Saliency 값을 의미하며 시각적 민감도를 나타내고 0부터 1사이의 값을 가진다. JND threshold와 Saliency 값은 인지 시각적 중요도 관점에서 역의 관계에 있다. 따라서 S-JND 모델을 율 제어에 적용할 때 JND 모델과 같은 형식으로 적용하기 위해 Saliency 값을 반전시켜 JND threshold에 곱한 값을 S-JND threshold로 사용하며, 수식 (5)에서 $SJND_{th}$ 로 표현되었다. 하지만 Saliency 값이 JND threshold에 비해 상대적으로 작은 비율의 수치로 적용되는 문제가 발생하여, offset 값을 사용하였고 수식 (5)에서 α 로 표현하였다. 본 논문에서는 α 를 실험적으로 구하여 0.5로 사용하였다. 최종적으로 구해진 S-JND threshold는 0에서 1 사이의 값으로 정규화하여 사용한다.

2. 제안하는 S-JND 모델 기반의 율 제어 알고리즘

본 논문은 인지 시각 특성을 고려한 율 제어 알고리즘을 사용하여 HEVC 부호화기의 인지 품질을 고려할 수 있는 방법을 제안한다. 그림 3은 제안하는 율 제어 알고리즘의

블록도를 나타낸다. 제안하는 율 제어 알고리즘을 사용하여 부호화하는 방법은 기존 HM에서 사용하는 율 제어 알고리즘을 그대로 적용하지만, 비트 분배 시에 S-JND 모델을 사용하여 주관적으로 비트 분배를 수행한다. 비트를 적응적으로 분배하기 위해서 S-JND threshold가 낮게 측정되어 인지 시각적 중요도가 높은 부분에 대해 비트를 더 많이

할당하고, S-JND threshold가 높게 측정되어 인지 시각적 중요도가 낮은 부분에 대해서는 비트를 덜 할당한다.

그림 4는 제안하는 방법에 대한 전체 흐름도를 나타낸다. 그림 4와 같이 본 논문에서는 율 제어 알고리즘 수행 시, 각 CTU에 비트를 분배함에 있어 인지 시각적 중요도에 따라 적응적으로 비트를 할당하는 방법을 제안한다. 제안하

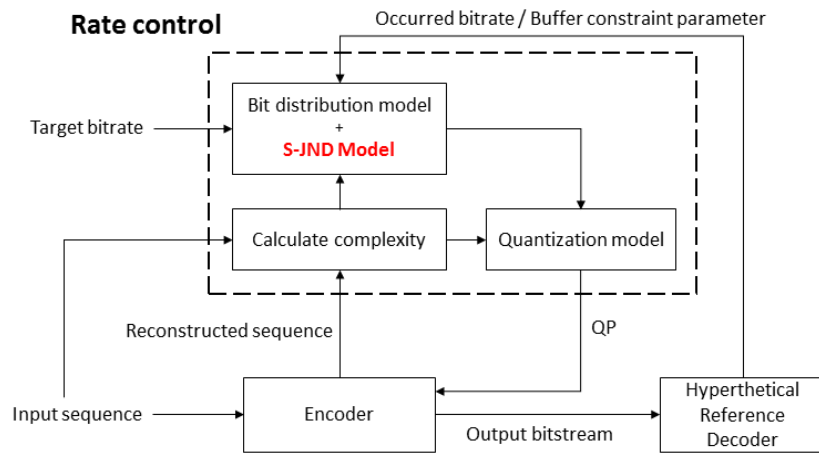


그림 3. 제안하는 S-JND 모델 기반의 율 제어 알고리즘
Fig. 3. Proposed rate control algorithm based on S-JND model

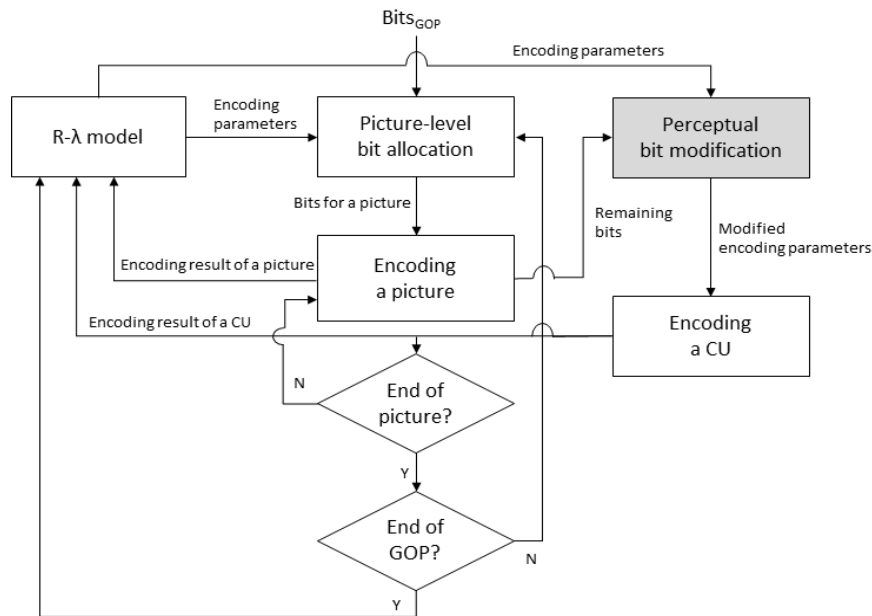


그림 4. 제안하는 율 제어 알고리즘의 전체 흐름도
Fig. 4. Overall flowchart of the proposed rate control algorithm

는 방법은 S-JND 모델을 이용하여 각 CTU 별로 비트를 분배하기 위해 각 CTU 별로 S-JND threshold를 구한다.

제안하는 울 제어 알고리즘은 S-JND threshold를 이용하여 픽처 내에서 각 CTU의 중요도 비율을 계산하고 이에 해당하는 비율로 픽처에 배정된 비트를 각 CTU에 분배한다. 이와 같은 과정을 위해서 수식 (6)과 같이, 픽처 내에 존재하는 모든 CTU에 대해 각 CTU에 해당하는 S-JND threshold를 모두 더하여 한 픽처가 가지는 총 S-JND threshold를 구한다.

$$SJND_{Frame} = \sum_{NumofCTUinFrame} SJND_{CTU} \quad (6)$$

$SJND_{CTU}$ 는 각 CTU가 가지는 S-JND threshold이고, $SJND_{Frame}$ 는 한 픽처가 가지는 총 S-JND threshold를 의미한다. 다음과 같은 식을 통해 구해진 $SJND_{Frame}$ 를 이용하여 각 CTU의 중요도를 수식 (7)과 같이 계산한다.

$$PerImp_{CTU} = \frac{SJND_{Frame}}{SJND_{CTU}} \quad (7)$$

$PerImp_{CTU}$ 는 각 CTU가 가지는 인지 시각적 중요도로, 한 픽처가 가지는 S-JND threshold에 대해 각 CTU가 가지는 S-JND threshold의 비율을 역수로 취한 값을 사용한다. 이때, 한 픽처 내에 존재하는 각 CTU의 S-JND threshold 비율을 역수로 취한 값을 사용하는 이유는 인지 시각적 중요도와 S-JND threshold가 역의 관계에 있기 때문이다. 수식 (7)로부터 구해진 CTU 별 인지 시각적 중요도를 이용하여 각 CTU가 한 픽처 내에서 차지하는 중요도 비율을 구하기 위해 수식 (8)과 (9)를 사용한다.

$$PerImp_{Frame} = \sum_{NumofCTUinFrame} PerImp_{CTU} \quad (8)$$

$$PerImpRatio_{CTU} = \frac{PerImp_{CTU}}{PerImp_{Frame}} \quad (9)$$

수식 (8)을 통해 CTU의 인지 시각적 중요도를 모두 더하여 전체 픽처가 가지는 인지 시각적 중요도인 $PerImp_{Frame}$

을 구한다. 또한, 수식 (9)에서 각 CTU 별 픽처 내에서의 인지 시각적 중요도로 표현된 $PerImpRatio_{CTU}$ 를 구한다. 수식 (9)를 통해 구해진 CTU의 인지 시각적 중요도를 통해 하나의 CTU가 취할 수 있는 목표 비트율을 계산하는 과정은 수식 (10)과 같다.

$$T_{curCTU} = T_{curPc} \times PerImpRatio_{CTU} \quad (10)$$

T_{curPc} 는 한 픽처에 할당된 비트를 나타내며, 한 CTU에 할당할 목표 비트율인 T_{curCTU} 는 T_{curPc} 에 각 CTU의 인지 시각적 중요도 비율인 $PerImpRatio_{CTU}$ 를 곱하여 사용한다. 이 때, T_{curCTU} 는 기존 HM에 적용된 울 제어 알고리즘에서 사용하는 비트 할당 방법으로 계산된 비트량의 10%의 오차 내에서만 조절이 가능하다. 만약 10%의 오차가 넘어갈 시에는 기존 울 제어 알고리즘과의 큰 차이가 남으로 인해 야기되는 문제를 줄이기 위하여 이를 10% 오차 범위 내의 값으로 조절하여 사용한다. 해당 과정을 거치면 한 CTU에서 사용 가능한 목표 비트량이 계산되고, 계산된 목표 비트량을 이용하여 R-λ 모델 기반의 λ 값을 결정한다. 부호화기에서는 결정된 λ로부터 수식 (4)를 통해 구해지는 QP를 이용하여 부호화가 수행된다. 본 논문에서 제안하는 주관적인 울 제어 알고리즘은 전송된 내용과 같이 인지 시각적 중요도를 고려하여 각 CTU에 할당될 목표 비트량을 적응적으로 결정할 수 있다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 울 제어 알고리즘의 부호화 성능 및 주관적 화질을 측정하기 위하여 HEVC의 참조 소프트웨어인 HM 16.9에 제안하는 알고리즘을 구현하였다. 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 HEVC 표준화 과정 중에 사용되는 CTC (Common Test Condition)^[20] RA (Random Access), Low-delay B, Low-delay P 구조 실험조건에서의 압축 성능, 객관적 화질 및 주관적 화질을 비교하였으며 CTC에서 사용되는 실험 영상 중 Class B와 Class C에 해당하는 영상들을 대상으로 성능 측정을 수행하였다.

표 1. 제안하는 알고리즘의 성능 검증을 위해 사용된 HEVC 실험 영상의 상세한 정보

Table 1. Information about HEVC test sequences used for performance evaluation of proposed algorithm

Class	Resolution	Sequence name	Number of frame	Frame rate (fps)	Bit-depth	Random Access
B	1920×1080	Kimono	240	24	8	Main
		ParkScene	240	24		
		Cactus	500	50		
		BasketballDrive	500	50		
		BQTerrace	600	60		
C	832×480	RaceHorses	300	30		
		BQMall	600	60		
		PartyScene	500	50		
		BasketballDrill	500	50		

표 1은 Class B와 Class C에 해당하는 영상들의 상세한 정보를 나타낸다.

표 2는 표 1의 실험 영상에 해당하는 목표 비트율과 비트율 지점을 나타낸다. 제안하는 울 제어 알고리즘의 성능을 측정하기 위하여 각 영상에 대해 CTC RA 구조로 부호화 했을 때의 비트율과 동일한 목표 비트율을 설정하였으며, 각 목표 비트율에 해당하는 비트율 지점을 설정하여 R1, R2, R3, R4로 설정하였다. 추후 기술되는 내용에는 각 영상에 대한 목표 비트율을 비트율 지점을 사용하여 표현한다.

본 논문에서는 기존의 울 제어 알고리즘과 제안하는 울 제어 알고리즘에 대한 실험을 통하여 주관적 및 객관적 성능을 비교한다. 표 3은 표 1의 실험 영상들을 RA 구조에서 부호화한 객관적 성능을 비교하여 나타내었다. 표 3에서 ‘Anchor’는 HM 16.9에 적용된 기존 울 제어 알고리즘을 통해 부호화한 결과를 나타내고, ‘Proposed’는 HM 16.9에 제안하는 울 제어 알고리즘을 적용하여 부호화한 결과를 나타낸다. 성능 분석을 위해 BD-rate, 목표 비트율에의 비트 정확도와 객관적 화질을 측정하였다. BD-rate는 기존 방법과 제안한 방법의 전체 비트율을 비교한 지표로 2.3%의 성능 향상을 보였다. 또한, 표 3의 기존 방법과 제안하는 방법의 비트 정확도에서도 0.06%의 성능 향상이 있었다. 객관적 화질 측면에서 제안하는 방법의 성능을 검증하기 위하여 BD-PSNR^[21]을 사용하였다. 이는 실제 발생한 비트율과 객관적 화질 지표인 PSNR을 기반으로 동일 비트율에서 개선된 화질을 백분율로 계산한 결과를 의미한다. 표 3에서 보여 지듯이 제안하는 방법의 객관적 화질이 평균

표 2. 각 실험 영상의 목표 비트율과 비트율 지점

Table 2. Target bitrate and bitrate point for each test sequence

Class (Resolution)	Sequence name	Target bitrate (Kbps)	Bitrate point
Class B (1920×1080)	Kimono	4868	R1
		2228	R2
		1080	R3
		535	R4
	ParkScene	7789	R1
		3414	R2
		1561	R3
		712	R4
	Cactus	18374	R1
		5882	R2
		2724	R3
		1357	R4
	BasketballDrive	17616	R1
		6147	R2
		2836	R3
		1435	R4
BQTerrace	39754	R1	
	7377	R2	
	2321	R3	
	987	R4	
Class C (832×480)	RaceHorses	5986.300	R1
		2533.344	R2
		1184.400	R3
		581.495	R4
	BQMall	4558.842	R1
		2131.627	R2
		1069.082	R3
		564.931	R4
	PartyScene	8540.952	R1
		3891.048	R2
		1833.244	R3
		867.296	R4
	BasketballDrill	4318.326	R1
		2080.679	R2
		1020.184	R3
		541.115	R4

표 3. RA 구조를 사용한 경우의 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 부호화 성능 비교

Table 3. Comparing encoding performance with random access structure between conventional and proposed algorithm

Class (Resolution)	Sequence	Bitrate point	Anchor		Proposed		BD- rate (%)	BD- PSNR (dB)	Bit accuracy (%)	Time saving (sec)
			Bitrate (Kbps)	PSNR-Y (dB)	Bitrate (Kbps)	PSNR-Y (dB)				
Class B (1920×1080)	Kimono	R1	4870.731	41.30	4870.964	41.36	-2.8	0.09	0.00	0.31
		R2	2229.002	39.29	2229.253	39.41			-0.01	0.58
		R3	1084.210	36.86	1080.869	36.95			0.31	0.56
		R4	546.635	34.35	544.622	34.34			0.38	0.84
	ParkScene	R1	7791.762	39.76	7793.068	39.83	-1.6	0.05	-0.02	1.73
		R2	3415.296	37.23	3415.386	37.29			0.00	1.08
		R3	1563.022	34.44	1561.780	34.51			0.08	0.98
		R4	733.051	31.83	732.153	31.85			0.13	0.80
	Cactus	R1	18377.995	38.37	18377.898	38.49	-3.1	0.07	0.00	1.25
		R2	5884.658	36.58	5885.053	36.65			-0.01	0.35
		R3	2731.012	34.43	2725.914	34.50			0.19	0.64
		R4	1378.942	32.15	1379.548	32.16			-0.04	0.61
	Basketball Drive	R1	17625.075	39.09	17622.879	39.18	-2.8	0.06	0.01	2.05
		R2	6150.673	37.21	6150.642	37.27			0.00	0.89
		R3	2838.098	35.19	2838.250	35.27			-0.01	0.69
		R4	1438.735	33.06	1436.774	33.10			0.14	0.80
	BQTerrace	R1	39756.460	37.32	39756.320	37.43	-4.0	0.07	0.00	11.36
		R2	7379.351	35.15	7379.659	35.22			0.00	1.00
		R3	2338.570	33.44	2337.101	33.48			0.06	0.44
		R4	1019.151	31.58	1018.178	31.63			0.10	2.83
Class C (832×480)	RaceHorses	R1	5991.964	39.71	5989.850	39.79	-1.3	0.05	0.04	0.38
		R2	2535.598	36.56	2535.666	36.61			0.00	0.34
		R3	1185.374	33.55	1185.709	33.60			-0.03	0.84
		R4	582.461	30.74	582.430	30.79			0.01	0.74
	BQMall	R1	4562.198	40.40	4562.749	40.51	-1.7	0.07	-0.01	0.97
		R2	2133.998	37.88	2134.446	37.95			-0.02	0.61
		R3	1073.685	35.12	1071.069	35.16			0.24	1.06
		R4	572.772	32.57	571.696	32.59			0.19	0.78
	PartyScene	R1	8545.317	38.96	8543.400	39.04	-1.9	0.08	0.02	0.16
		R2	3893.509	35.39	3893.352	35.47			0.00	0.13
		R3	1835.061	32.23	1835.070	32.32			0.00	0.00
		R4	877.962	29.46	876.154	29.51			0.21	0.45
	Basketball Drill	R1	4320.522	41.13	4320.939	41.18	-1.7	0.07	-0.01	-0.23
		R2	2082.645	38.21	2083.087	38.28			-0.02	-0.32
		R3	1021.834	35.21	1021.874	35.30			0.00	0.63
		R4	544.372	32.71	543.821	32.77			0.10	0.61
Average			4747.55	35.79	4746.88	35.86	-2.32	0.07	0.06	1.03

0.07dB 향상되었으며, 전체적으로 더 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 텍스처의 유무에 따른 S-JND threshold 값의 차이가 야기하는 결과라고 할 수 있다. 텍스처가 없고 매끄러운 부분은 S-JND threshold가 낮게 설정되어 비트를

더 적게 할당되고 이에 따라 높은 QP로 부호화 되는 반면, 텍스처가 있는 부분에서는 S-JND threshold가 높게 설정되어 비트를 더 많이 할당 받음에 따라 낮은 QP로 부호화되기 때문이다. 이러한 실험결과와 함께 해당 알고리즘의 복

잡도에 대한 분석을 위하여 부호화 시간을 비교한 결과, 제안하는 알고리즘이 평균 1.03초정도 빨라진 것을 알 수 있었다. 따라서 기존 알고리즘 대비 복잡도가 크게 높은 편은 아님을 확인하였다.

표 4는 표 1의 실험 영상들을 Low-delay B 부호화 구조

를 사용하여 부호화한 객관적 성능을 비교하여 나타내었다. Low-delay B 부호화 구조로 부호화한 실험 결과, BD-rate의 0.26% 증가, BD-PSNR의 0.02dB 저하, 비트 정확도의 0.33% 하락으로, 기존 방법보다 낮은 성능을 보였지만, 대체적으로 성능의 큰 차이는 보이지 않았다.

표 4. LD-B 구조를 사용한 경우의 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 부호화 성능 비교
Table 4. Comparing encoding performance with low-delay B structure between conventional and proposed algorithm

Class (Resolution)	Sequence	Bitrate point	Anchor		Proposed		BD-rate (%)	BD-PSNR (dB)	Bit accuracy (%)
			Bitrate (Kbps)	PSNR-Y (dB)	Bitrate (Kbps)	PSNR-Y (dB)			
Class B (1920×1080)	Kimono	R1	4868.928	41.37	4772.434	41.20	4.6	-0.15	-1.94
		R2	2228.956	39.16	2186.431	38.93			-1.82
		R3	1080.806	36.58	1052.568	36.32			-2.47
		R4	535.835	34.00	527.339	33.81			-1.28
	ParkScene	R1	7789.592	39.47	7698.106	39.38	2.2	-0.07	-1.16
		R2	3414.829	36.79	3379.701	36.69			-0.98
		R3	1561.726	34.25	1549.672	34.16			-0.68
		R4	712.663	31.85	710.585	31.72			-0.11
	Cactus	R1	18375.875	38.41	18344.074	38.52	-0.8	0.02	-0.15
		R2	5883.712	36.56	5870.494	36.57			-0.17
		R3	2725.665	34.67	2714.246	34.63			-0.30
		R4	1358.674	32.49	1354.366	32.50			-0.07
	Basketball Drive	R1	17617.450	39.09	17561.899	39.14	1.3	-0.03	-0.30
		R2	6149.276	37.12	6124.870	37.08			-0.32
		R3	2837.709	35.01	2824.076	34.92			-0.36
		R4	1436.700	32.74	1432.074	32.64			-0.09
	BQTerrace	R1	39755.839	37.43	39732.914	37.57	-6.7	0.12	-0.05
		R2	7379.126	35.12	7378.500	35.24			0.01
		R3	2322.950	33.21	2318.576	33.32			-0.02
		R4	988.927	31.30	988.155	31.42			0.08
Class C (832×480)	RaceHorses	R1	5986.909	40.02	5984.382	40.12	-1.3	0.05	-0.02
		R2	2534.104	36.64	2533.074	36.71			0.02
		R3	1185.287	33.60	1184.804	33.62			0.04
		R4	582.396	30.80	582.136	30.82			0.04
	BQMall	R1	4561.182	39.98	4560.808	40.14	-1.1	0.05	0.01
		R2	2133.868	37.37	2133.598	37.43			0.01
		R3	1071.080	34.66	1071.045	34.67			0.00
		R4	566.914	32.03	566.867	31.99			0.01
	PartyScene	R1	8543.046	37.94	8542.318	37.98	2.8	-0.13	0.01
		R2	3892.904	34.02	3892.630	34.06			0.01
		R3	1834.968	30.79	1834.827	30.39			0.01
		R4	868.958	28.12	868.835	28.07			0.01
	Basketball Drill	R1	4320.174	40.46	4319.314	40.39	1.3	-0.05	0.02
		R2	2082.437	37.36	2082.085	37.27			0.02
		R3	1021.836	34.64	1021.689	34.61			0.01
		R4	542.737	32.45	542.677	32.48			0.01
Average			4743.17	35.49	4728.95	35.46	0.26	-0.02	-0.33

표 5. LD-P 구조를 사용한 경우의 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 부호화 성능 비교

Table 5. Comparing encoding performance with low-delay P structure between conventional and proposed algorithm

Class (Resolution)	Sequence	Bitrate point	Anchor		Proposed		BD- rate (%)	BD- PSNR (dB)	Bit accuracy (%)
			Bitrate (Kbps)	PSNR-Y (dB)	Bitrate (Kbps)	PSNR-Y (dB)			
Class B (1920×1080)	Kimono	R1	4868.970	41.13	4792.277	40.99	4.1	-0.14	-1.54
		R2	2229.010	38.96	2192.767	38.75			-1.54
		R3	1080.825	36.32	1054.671	36.10			-2.27
		R4	535.840	33.70	526.980	33.53			-1.34
	ParkScene	R1	7789.815	39.23	7725.545	39.19	1.6	-0.05	-0.80
		R2	3414.845	36.66	3384.114	36.59			-0.85
		R3	1561.731	34.19	1546.477	34.11			-0.88
		R4	712.674	31.81	709.534	31.70			-0.25
	Cactus	R1	18375.878	38.18	18349.381	38.31	-1.7	0.04	-0.12
		R2	5883.864	36.38	5873.044	36.41			-0.12
		R3	2725.755	34.52	2715.188	34.51			-0.26
		R4	1358.675	32.36	1354.343	32.38			-0.07
	Basketball Drive	R1	17617.380	38.90	17568.832	38.95	0.3	-0.01	-0.26
		R2	6149.199	36.90	6131.465	36.88			-0.22
		R3	2837.747	34.73	2827.812	34.69			-0.23
		R4	1436.645	32.40	1433.113	32.37			-0.02
BQTerrace	R1	39755.752	36.98	39729.597	37.13	-7.2	0.12	-0.06	
	R2	7379.096	34.66	7372.577	34.77			-0.03	
	R3	2323.034	32.81	2318.888	32.92			0.00	
	R4	988.929	30.93	987.916	31.06			0.10	
Class C (832×480)	RaceHorses	R1	5986.998	39.71	5984.626	39.81	-1.5	0.06	-0.02
		R2	2534.135	36.38	2533.074	36.45			0.02
		R3	1185.311	33.45	1184.810	33.49			0.04
		R4	582.413	30.73	582.203	30.75			0.04
	BQMall	R1	4561.134	39.58	4560.784	39.74	-1.8	0.07	0.01
		R2	2133.741	36.99	2133.593	37.08			0.01
		R3	1071.108	34.38	1071.057	34.41			0.00
		R4	566.955	31.82	566.875	31.81			0.01
	PartyScene	R1	8542.966	37.14	8542.315	37.19	3.2	-0.13	0.01
		R2	3892.863	33.55	3892.598	33.63			0.01
		R3	1835.012	30.59	1834.917	30.13			0.01
		R4	868.962	28.05	868.870	28.02			0.01
	Basketball Drill	R1	4320.143	40.11	4319.317	40.05	0.6	-0.02	0.02
		R2	2082.425	37.13	2082.066	37.08			0.02
		R3	1021.822	34.53	1021.711	34.53			0.01
		R4	542.738	32.35	542.633	32.42			0.02
Average			4743.18	35.23	4731.00	35.22	-0.27	-0.01	-0.29

표 5는 표 1의 실험 영상을 Low-delay P 부호화 구조를 사용하여 부호화한 실험결과를 나타내며, 실험 결과는 BD-rate가 기존 방법보다 0.27% 정도 성능향상을 보였고, BD-PSNR은 0.01dB 하락해 큰 차이를 보이지 않았다. 비트 정확도 또한 0.29%정도 성능 저하를 보였지만 대체적으로 큰 차이를 보이지 않았다.

또한, 표 6에서는 JND만을 사용한 울 제어 알고리즘^[22]

과의 성능을 비교하여 나타내었다. 이는 RA 구조를 사용한 경우에만 비교를 수행하였으며, 전체적으로 [22]에서 제안하는 알고리즘과의 성능을 비교하였을 때 성능이 낮게 나오는 것을 확인할 수 있다. 이는, [22]에서 제안한 알고리즘은 울 제어 알고리즘의 비트 분배가 수행되는 GOP 단계와 픽처 단계에서 모두 비트 분배를 수정한 반면 제안하는 알고리즘은 픽처 단계에서의 비트 분배만 수행하였기 때문이

표 6. RA 구조를 사용한 경우의 JND 기반의 율 제어 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 부호화 성능 비교

Table 6. Comparing encoding performance with random access structure between rate control based on JND and proposed algorithm

Class (Resolution)	Sequence	Bitrate point	JND based RC		Proposed		BD-rate (%)	BD-PSNR (dB)	Bit accuracy (%)
			Bitrate (Kbps)	PSNR-Y (dB)	Bitrate (Kbps)	PSNR-Y (dB)			
Class B (1920×1080)	Kimono	R1	4868.68	41.38	4870.96	41.36	7.7	-0.24	-0.05
		R2	2227.89	39.56	2229.25	39.41			-0.05
		R3	1066.24	37.21	1080.87	36.95			1.19
		R4	535.15	34.82	544.62	34.34			-1.77
	ParkScene	R1	7795.28	39.91	7793.07	39.83	9.1	-0.29	0.03
		R2	3415.97	37.49	3415.39	37.29			0.02
		R3	1561.41	34.89	1561.78	34.51			-0.02
		R4	716.56	32.31	732.15	31.85			-2.19
	Cactus	R1	18379.98	38.36	18377.90	38.49	9.9	-0.21	0.01
		R2	5882.41	36.79	5885.05	36.65			-0.04
		R3	2722.45	34.93	2725.91	34.50			-0.01
		R4	1356.80	32.69	1379.55	32.16			-1.65
	Basketball Drive	R1	17615.06	39.05	17622.88	39.18	7.2	-0.16	-0.03
		R2	6145.53	37.41	6150.64	37.27			-0.04
		R3	2834.81	35.55	2838.25	35.27			-0.04
		R4	1435.20	33.48	1436.77	33.10			-0.11
	BQTerrace	R1	39763.40	37.39	39756.32	37.43	9.3	-0.13	0.02
		R2	7378.09	35.29	7379.66	35.22			-0.02
		R3	2321.79	33.75	2337.10	33.48			-0.66
		R4	1006.48	32.00	1018.18	31.63			-1.19
Average			6451.46	36.21	6456.82	36.00	8.64	-0.21	-0.33

라고 생각된다. 하지만, [22]에서 제안된 알고리즘은 인간 시각적 특성 중 시각적 민감도만을 고려할 수 있는 JND 모델만을 사용하였기 때문에, 본 논문에서 제안하는 S-JND 모델을 기반의 율 제어 알고리즘에서와 같이 인간 시각적 관심도까지 고려하지 못하였다는 단점이 존재한다.

표 7. 주관적 화질 평가 실험 정보

Table 7. Experimental information for subjective quality assessment

Display	Samsung 47LG50FD
Type and size	47 inch 16:9
Resolution	UHD
Number of subjects	11
Viewing distance	1m (0.75H)

본 논문에서 제안하는 율 제어 알고리즘은 인지 화질을 고려하는 알고리즘이기 때문에 주관적인 화질 평가가 필요하다. 이를 위해 ITU-R BT.500^[23]에 제시된 DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) 방법을 사용

하였다. 표 4는 주관적 화질 평가를 위한 테스트 장치 및 실험 정보를 나타낸다. 8명의 비디오 코덱 전문가들과 3명의 비전문가들이 모여 총 11명의 피실험자들이 주관적 화질 평가를 진행하였고 화질 측정은 MOS (Mean Opinion Score)를 사용하였다. 주관적 화질 측정은 실험에 소요되는 시간과 인력 비용 문제로 인해, 가장 대중적으로 사용되는 해상도를 가지는 Class B를 CTC RA 구조로 부호화한 결과에 대해서만 진행하였다. 화질 측정 결과는 그림 5와 같다. MOS 값은 전체적으로 기존 방법 대비 제안하는 방법에서 높게 측정되었으며, 평균적으로 0.03 높은 MOS 결과를 보였다. 또한, MOS 값의 최대, 최소를 비교했을 때에도 몇몇 영상에서는 낮은 화질로 평가받았으나 전반적으로 높은 화질로 평가되었다. 이는 기존 율 제어 기법의 안정적인 성능을 유지하기 위해 기존 방법을 수행했을 때의 할당된 비트량의 10% 이내 범위로의 미세 조절만 허용하였기 때문에 제안하는 방법의 주관적 화질 성능 차이가 크지 않았던 것으로 판단된다. 하지만, 10% 이내의 범위 내에서의 조절

MOS comparison - Anchor vs. Proposed

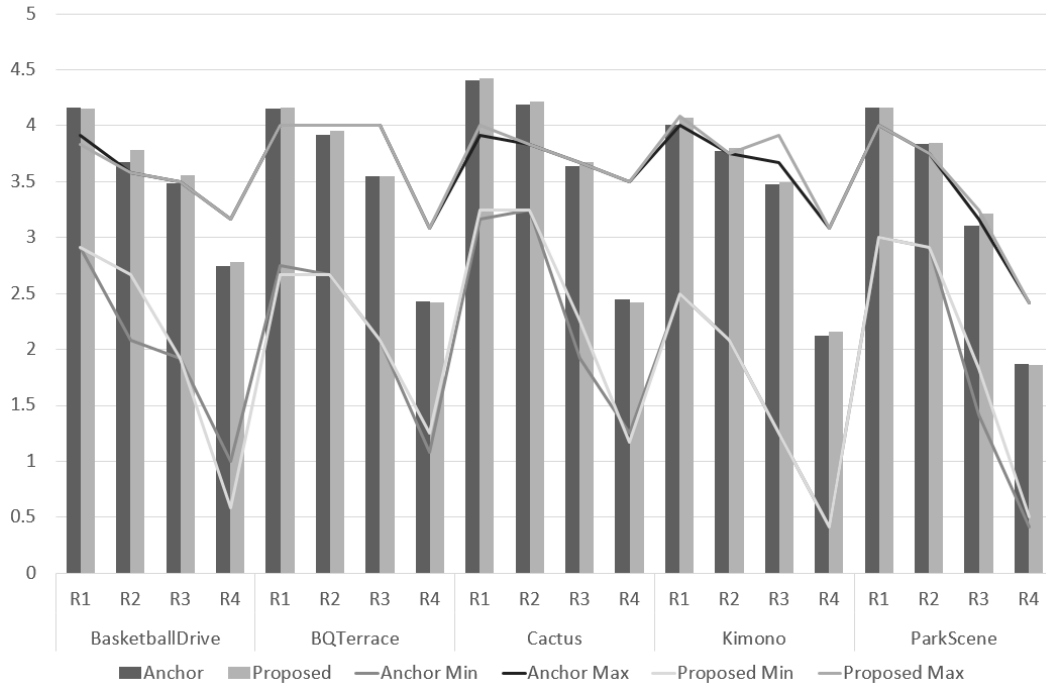


그림 5. 기존 율 제어 알고리즘과 제안하는 율 제어 알고리즘으로 부호화한 결과 영상의 MOS 결과
 Fig. 5. MOS comparison result between two encoded sequences of conventional rate control and proposed rate control

에도 불구하고 주관적인 성능 향상을 확인하였으므로, 주관적 화질이 고려된 율 제어 방법임을 입증했다고 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 인지 화질을 고려하기 위하여 S-JND 모델 기반의 율 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 인지 시각 특성을 이용한 율 제어 방법은 사람의 시각적 민감도와 시각적 관심도를 이용한 S-JND 모델을 기반으로 CTU에 비트를 적응적으로 분배한다. 제안하는 방법을 HM 16.9 버전에 적용하여 CTC RA 구조로 Class B와 Class C 영상을 부호화한 결과, 기존 율 제어 알고리즘 대비 평균 2.3%의 비트가 감소했고 BD-PSNR은 0.07dB 향상이 있었으며 비트 정확도 또한 0.06% 증가하였다. Low-delay B와 Low-delay P 구조로 부호화한 결과도 마찬가지로 객관적

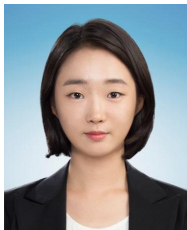
성능의 큰 차이를 보이지 않았다. 또한, 주관적 화질을 평가한 결과, 기존 방법과 비교하여 평균적으로 0.03 MOS 값의 증가를 보였다. 따라서 제안하는 율 제어 알고리즘은 인지 화질을 향상시켰으며, 부호화 성능까지도 향상시키는 결과를 얻을 수 있었다. 향후에는 율 제어 관점에서 제안한 율 제어 알고리즘의 성능을 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

참고 문헌 (References)

- [1] G. J. Sullivan, J. Ohm, W. J. Han and T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) standard," in *Circuits and Systems for Video Technology*, IEEE Transactions on, vol. 22, no. 12, pp. 1649-1668, Dec. 2012.
- [2] H. H. Jo, E. K. Ryu, J. H. Nam, D. G. Sim, D. H. Kim and J. H. Song, "Parallel method for HEVC deblocking filter based on coding unit depth information," *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 17, no. 5, pp. 742-755, Sep. 2012.
- [3] Y. J. Ahn, T. J. Hwang, D. K. Lee, S. M. Kim, S. J. Oh and D. G. Sim,

- “Study of parallelization methods for real-time HEVC encoder implementation,” *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 18, no. 6, pp. 835-849, Nov. 2013.
- [4] Y. J. Ahn and D. G. Sim, “Intra block copy analysis to improve coding efficiency for HEVC screen content coding,” *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 20, no. 1, pp. 57-67, Jan. 2015.
- [5] Y. J. Ahn, S. J. Park and D. G. Sim, “Implementation and commercialization techniques of HEVC codec,” *The Journal of Korea Institute of Electronics Engineers*, vol. 41, no. 19, pp. 89-97, Oct. 2014.
- [6] D. G. Sim and H. H. Jo, “Understanding of HEVC standard and technology,” HongRung Publishing Company, Korea, 2015.
- [7] Q. Lin and G. Feng, “The bit allocation and RDO mode based rate control algorithm,” 2010 International Conference on Anti-Counterfeiting Security and Identification in Communication (ASID), pp. 154-157, Jul. 2010.
- [8] J. Kim, W. Lim, J. Y. Lim and D. G. Sim, “A perceptual rate control algorithm based on S-JND model,” in Winter Conference on The Korean Institute of Communications and Information Sciences, Jan. 2016.
- [9] W. Lim, H. Jo and D. Sim, “Perceptual coding based on JND model for High Efficiency Video Coding,” in International Conference on 3 Dimensional Systems and Applications, Seoul, Korea, 2014.
- [10] Guan-Lin Wu, Yu-Jie Fu, Sheng-Chieh Huang and Shao-Yi Chien, “Perceptual quality-regulable video coding system with region-based rate control scheme,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 22, no. 6, Jun. 2013.
- [11] X. Wang, L. Su, Q. Huang, C. Liu and L. Duan, “Motion based perceptual distortion and rate optimization for video coding,” 2012 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. (ICME), pp. 1061-1066, Jul. 2012.
- [12] B. Li, H. Li, L. Li and J. Zhang, “Rate control by R-lambda model for HEVC,” JCT-VC of ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCTVC-K0103, Shanghai, China, Oct. 2012.
- [13] G. J. Sullivan and R. Wiegand, “Rate-distortion optimization for video compression,” *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 15, no. 6, pp. 74-90, Nov. 1998.
- [14] W. Lim and D. G. Sim, “Coding unit-level multi-loop encoding method based on JND for perceptual coding,” *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 52, no. 5, pp. 147-154, May. 2015.
- [15] H. Choi, J. Nam, J. Yoo, D. Sim and I. V. Bajic, “Rate control based on unified RQ model for HEVC,” JCT-VC of ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCTVC-H0213, San Jose, CA, Jan. 2012.
- [16] H. Choi, J. Yoo, J. Nam, D. Sim and I. V. Bajic, “Pixel-wise unified rate-quantization model for multi-level rate control,” *IEEE Journals & Magazines*, vol. 7, no. 6, pp. 1112-1123, 2013.
- [17] B. Lin, H. Li, L. Li and J. Zhang, “Lambda domain rate control algorithm for High Efficiency Video Coding,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 23, no. 9, pp. 3841-3854, 2014.
- [18] C. Chou and Y. Li, “A perceptually tuned subband image coder based on the measure of Just-Noticeable-Distortion profile,” in *Circuits and Systems for Video Technology*, *IEEE Transactions on*, vol. 5, no. 6, pp. 467-476, Dec. 1995.
- [19] Z. Wei and K. N. Ngan, “Spatio-temporal Just Noticeable Distortion profile for grey scale image/video in DCT domain,” in *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 19, no. 3, pp. 337-346, Mar. 2009.
- [20] F. Bossen, “Common test conditions and software reference configurations,” JCT-VC of ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, JCT-VC H1100, San Jose, CA, Jan. 2012.
- [21] G. Bjontegaard, “Calculation of average PSNR differences between RD-curves,” ITU-T SG16/Q.6, VCEG-M33, Austin, TX, Apr. 2001.
- [22] J. Kim, W. Lim and D. G. Sim, “Rate control encoding method of HEVC for improving perceptual visual quality,” in Summer Conference on The Institute of Electronics and Information Engineers, June. 2016.
- [23] ITU-R BT.500-11, “Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures,” Jan. 2012.

— 자 자 소 개 —



김재련

- 2015년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2015년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-8735-0542>
- 주관심분야 : 영상압축, 컴퓨터비전, 영상신호처리

저 자 소 개



안 용 조

- 2010년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2012년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2016년 8월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 박사
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-0012-0905>
- 주관심분야 : 영상압축, 최적화 및 병렬화



임 응

- 2008년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2010년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2016년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2016년 4월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원(ETRI) 방송통신융합연구부문 연구원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-1772-0683>
- 주관심분야 : 영상압축, 컴퓨터비전, 영상신호처리



심 동 규

- 1993년 2월 : 서강대학교 전자공학과 공학사
- 1995년 2월 : 서강대학교 전자공학과 공학석사
- 1999년 2월 : 서강대학교 전자공학과 공학박사
- 1999년 3월 ~ 2000년 8월 : 현대전자 선임연구원
- 2000년 9월 ~ 2002년 3월 : 바로비전 선임연구원
- 2002년 4월 ~ 2005년 2월 : University of Washington Senior research engineer
- 2005년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-2794-9932>
- 주관심분야 : 영상신호처리, 영상압축, 컴퓨터비전