

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제22권 제3호, 2017년 5월 (JBE Vol. 22, No. 3, May 2017)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2017.22.3.381>

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

S-JND 기반의 HEVC 주관적 율 제어 알고리즘

김재련^{a)}, 심동규^{a)†}

S-JND based Perceptual Rate Control Algorithm of HEVC

JaeRyun Kim^{a)} and Donggyu Sim^{a)†}

요 약

본 논문에서는 주관적 화질 기반의 비트 분배를 수행하는 율 제어 알고리즘을 수행하는 HEVC (High Efficiency Video Coding) 부호화 방법을 위한 연구를 진행하였다. 본 논문은 이러한 단점을 해소하고자 율 왜곡 최적화 시의 화질 측정에서 주관적 화질을 고려할 수 있는 율 제어 알고리즘을 통한 HEVC 부호화 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 영상을 하나의 CTU 마다 인지 시각적 중요도를 측정하여, 이를 이용하여 픽처 단위, CTU 단위에서의 비트 분배 시 적응적인 분배를 수행한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 HEVC 참조 소프트웨어 16.9 버전 대비 CTC (Common Test Condition) Class B 영상에서 평균적으로 BD-rate 3.12%의 성능향상과 BD-PSNR의 0.08dB 향상 및 목표 비트율에의 비트 정확도 0.07% 증가를 보였다. 또한 주관적 화질 측정 결과도 기존 HEVC의 참조 소프트웨어에 적용된 율 제어 알고리즘 대비 DSCQS 스케일에서 평균 0.16 향상된 것을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the perceptual rate control algorithm is studied for HEVC (High Efficiency Video Coding) encoder with bit allocation based on perceived visual quality. This paper proposes perceptual rate control algorithm which could consider perceived quality for HEVC encoding method. The proposed rate control algorithm employs adaptive bit allocation for frame and CTU level using the perceived visual importance of each CTU. For performance evaluation of the proposed algorithm, the proposed algorithm was implemented on HM 16.9 and tested for sequences in Class B under the CTC (Common Test Condition) RA (Random Access) case. Experimental results show that the proposed method reduces the bitrate of 3.12%, and improves BD-PSNR of 0.08dB and bitrate accuracy of 0.07% on average. And also, we achieved MOS improvement of 0.16 with the proposed method, compared with the conventional method based on DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale).

Keyword : HEVC, Perceptual rate control, S-JND

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) 지원에 의해 연구되었음.

· Manuscript received January 20, 2017; Revised March 13, 2017; Accepted April 13, 2017.

Copyright © 2017 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 네트워크 가용 대역폭의 증가에 따른 4G 네트워크의 기술 발전과 모바일 기기의 발전에 따라 전 세계적으로 스마트 기기가 널리 보급되는 추세로 이에 따라 스마트 기기를 통한 모바일 데이터 트래픽 또한 꾸준히 증가하고 있다. 모바일 데이터 트래픽은 데이터, 파일, 비디오, VoIP, 게임 등으로 구성되어 있으며, 최근 Cisco 사가 발표한 글로벌 모바일 데이터 트래픽 전망에 대한 공식 보고서^[1]의 내용에 따르면 이 중 가장 많은 부분을 차지하는 것이 비디오임이 밝혀진 바 있다. 최근 들어 Full HD 해상도를 넘어 4K 및 8K 해상도의 영상에 대한 수요가 많아짐에 따라 초고해상도 및 높은 비트레이트를 가진 영상이 활성화 되는 추세로, 기존 비디오 압축 표준이었던 H.264/AVC (Advanced Video Coding)^[2]의 압축 효율 저하가 문제점으로 대두되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ISO/IEC MPEG (Moving Picture Experts Group)과 ITU-T VCEG (Video Coding Experts Group)은 JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding)를 결성하였다. JCT-VC는 2013년 1월에 기존 비디오 압축 표준인 H.264/AVC에 비해 부호화 측면에서 동일 주관적 화질 대비 50%의 효율을 갖는 HEVC (High Efficiency Video Coding)를 표준화 완료하였다^{[3][4]}. 현재 HEVC는 초고해상도 영상을 효과적으로 압축하기 위한 여러 기술을 포함하고 있다. 기존 H.264/AVC에서 매크로 블록 (MB: Macro Block) 단위로 부호화를 수행하여 부호화 성능에 한계가 있었던 것과는 다르게, HEVC에서는 다양한 크기의 코딩 유닛 (CU: Coding Unit)을 적용하고, 예측과 변환에 사용되는 블록의 크기 또한 따로 사용하여, 예측 유닛 (PU: Prediction Unit)과 변환 유닛 (TU: Transform Unit)의 개념을 적용한다^[5]. 이와 더불어 HEVC는 화면 내 예측 수행 시에 35개의 방향을 이용하여 H.264/AVC 보다 정밀한 화면 내 예측의 수행이 가능하게 되었으며^[6], 정밀도를 더욱 향상시키기 위해 화면 간 예측 내에서는 움직임 보상을 위해 8-tap 필터를 사용하고, 병합 (Merge) 및 AMVP (Advanced Motion Vector Prediction)를 사용할 수 있다^[7]. 또한, H.264/AVC와 달리 HEVC에서는 디블록킹 필터 (Deblocking filter)와 샘플 적응적 오프셋 (SAO: Sample Adaptive Offset)의 두 가지 필터를 사용하

여 복원 영상에서 나타나는 블록킹 현상 (Blocking artifact) 및 링잉 현상 (Ringing artifact)을 제거한다^[8]. 이처럼 기존 비디오 압축 표준 H.264/AVC보다 더 폭넓은 기술을 가진 HEVC를 사용하면 고해상도 비디오를 효율적으로 압축할 수 있기 때문에, 다양한 환경에서 HEVC 기반의 압축이 서비스 되고 있다. Apple 사의 iPhone 6와 iPhone 6 Plus 모델에 HEVC 기반 압축을 지원하는 Facetime 카메라가 탑재되었고, 공중과 방송 및 유선 방송에서 HEVC를 이용하여 실험방송을 하는 등, 여러 디바이스 및 시스템에 HEVC를 기반으로 하는 서비스가 활발해 지는 추세이다. 추후 방송 및 통신 등 멀티미디어 분야에서 HEVC를 기반으로 하는 서비스가 더욱 많아질 것으로 전망하고 있다^[9].

앞서 나열한 것과 같이 다양한 환경에 놓인 소비자들에게 HEVC 기반의 서비스를 제공하기 위해서는 효율적인 율 제어 기술이 필요하다. 이를 위해 HEVC의 참조 소프트웨어인 HM (HEVC reference Model)^[10]에서는 율 제어 알고리즘 (Rate control algorithm)을 사용한다. 율 제어 알고리즘은 제한된 대역폭을 가진 네트워크 환경이나, 제한된 용량의 저장장치 사용자들에게 효율적인 압축 성능을 제공하기 위해 필수적인 기술 중 하나라고 할 수 있으며, 가용 대역폭 내에서 최대의 압축 효율을 얻기 위한 기술이다^{[11][8]}. HM에 적용된 율 제어 알고리즘은 부호화 시에 발생하는 비트량을 목표 비트량에 가깝게 조절하며 최고의 화질을 갖는 영상을 제공하기 위한 목적으로 율 왜곡 최적화 (RDO: Rate-Distortion Optimization)를 수행한다^[12]. 율 왜곡 최적화를 수행할 때에 왜곡을 측정하기 위해 화질을 측정하게 되는데, 이 때 화질을 측정하는 방법으로는 객관적인 화질 측정과 주관적인 화질 측정이 있다. 객관적인 화질 측정은 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio), MSE (Mean Squared Error) 등의 척도를 이용할 수 있고, 주관적인 화질 측정은 MOS (Mean Opinion Score) 등의 방법을 통해 수행할 수 있다. 주관적 화질 측정 방법보다 객관적 화질 측정 방법이 소모되는 비용이 적고 시간 소모 또한 적다는 장점이 있기 때문에, HM에서는 화질 측정 시에 PSNR을 사용하여 객관적인 화질 평가를 수행한다. 하지만 객관적인 화질 평가를 통한 화질 측정은 주관적인 화질 평가 대비 시청자가 직접 느끼는 인지 화질과의 상관도가 낮다는 단점이 존재하기 때문에 이를 개선하기 위해 여러 연구가 활발히

수행되고 있다^{[13][14][15][16][17]}.

본 논문에서는 주관적 화질 기반의 율 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법에서는 인지 시각적 중요도 측정을 위해서 인지 시각적 민감도와 인지 시각적 관심도를 함께 반영할 수 있는 S-JND (Saliency-Just Noticeable Difference) 모델을 사용한다. S-JND 모델은 인지 시각적 민감도를 측정을 위한 JND (Just Noticeable Difference) 모델과 인지 시각적 관심도 측정을 위한 Saliency를 병합한 모델이며, 이를 통해 측정된 인지 시각적 중요도는 사람이 영상을 볼 때 어느 부분에 관심을 가지고 보고, 어느 부분의 변화를 더욱 민감하게 느끼는지를 동시에 판단할 수 있다^[16]. 본 논문은 S-JND 모델을 이용하여 인지 시각적 민감도와 인지 시각적 관심도를 기반으로 인지 시각적 중요도를 측정한다. 측정된 인지 시각적 중요도는 율 제어 알고리즘 내에서 수행하는 율 왜곡 최적화 시 사용된다. 율 왜곡 최적화에서는 측정되는 화질과 인지 화질과의 상관도를 높이기 위해 사람이 직접 느끼는 인지 시각적 중요도를 사용하여 이에 따라 적응적으로 비트 분배를 수행할 수 있다. 본 논문에서는 S-JND 모델 기반의 인지 시각적 중요도에 따라 적응적인 비트 분배를 수행하는 주관적 율 제어 알고리즘 기반의 HEVC 부호화 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 HM의 율 제어 알고리즘 및 S-JND 모델에 대해 간단히 소개하고, 3장에서는 제안하는 주관적 율 제어 알고리즘에 대해 소개한다. 4장에서는 제안하는 율 제어 알고리즘을 HM에 적용한 실험 결과에 대해 분석하며, 최종적으로 5장에서는 본 논문에 대한 결론과 향후 연구의 진행 방향에 대해 기술하면서 본 논문을 마친다.

II. 기존 HM에 적용된 율 제어 알고리즘 및 S-JND 모델 개요

앞서 상술한 바와 같이, HEVC는 기존 비디오 압축 표준인 H.264/AVC가 근래의 초고화질 및 고비트레이트의 비디오 압축 시에 직면한 문제점을 보완하기 위해 표준화가 진행되어 2013년 1월에 완성된 최신 비디오 압축 표준이다.

HEVC는 H.264/AVC와 비교하여 동일 주관적 화질에서 50%의 비트율을 절감함에 따라 약 2배의 압축 효율을 가진다. 이에 따라 HEVC는 많은 멀티미디어 분야에서의 서비스를 통해 널리 응용될 것으로 전망되고 있는 추세이다^[9]. H.264/AVC와 비교하여 HEVC는 다양한 부호화 블록 구조, 더 많은 화면 내 예측 방향의 개수, 움직임 보상을 위한 8-tap 필터 및 병합, AMVP 기술, 여러 개의 인 루프 필터 (In-loop filter) 등 다양한 압축 기술을 사용한다. 이를 통해 동일한 주관적 화질에서 H.264/AVC와 비교하였을 때 50%의 압축 효율을 낼 수 있다.

본 장의 1절에서는 HEVC의 참조 소프트웨어인 HM이 효율적인 비트 관리를 위해 적용하고 있는 율 제어 알고리즘에 대해 소개한다. 또한 2절에서는 본 논문에서 제안하는 주관적인 화질 기반의 율 제어 알고리즘에 적용한 S-JND 모델에 대해서 소개하고 본 장을 마친다.

1. 기존 HM에 적용된 율 제어 알고리즘 개요

다양한 환경에서 HEVC를 서비스하기 위해서 HEVC의 참조 소프트웨어인 HM에서는 율 제어를 효율적으로 수행하기 위해 율 제어 알고리즘을 적용한다. 율 제어 알고리즘은 제한된 네트워크 대역폭을 사용하는 통신 시스템이나 저장 공간이 제한된 시스템 내에서 효율적인 율 제어를 위해 필수적인 알고리즘이라고 할 수 있다. 율 제어 알고리즘은 주어지는 목표 비트율을 만족하는 최대 화질을 달성하는 것을 목표로 하는 알고리즘이다. 따라서 HEVC 부호화기 내에서 수행되는 율 제어 알고리즘은 부호화 시 발생하는 비트량을 목표 비트율에 맞는 비트량에 가깝게 조절하며, 사용 가능한 비트량을 사용하여 최고 화질의 영상 제공을 목표로 한다. 이 때, 최고의 화질이 갖는 의미는 최저 왜곡과 동일하기 때문에, 이러한 목적을 달성하기 위해 율 제어 알고리즘은 율 왜곡 최적화를 수행한다. 율 왜곡 최적화는 발생하는 비트율과 왜곡 간의 최적화를 위한 것으로, 왜곡을 측정하기 위해 영상의 화질을 측정하는 방법을 사용한다.

일반적으로 영상의 화질은 두 가지로 분류할 수 있다. 먼저, 화소의 값 간의 수학적인 차이를 계산하여 화질을 측정하는 객관적인 화질과 사람이 직접 영상을 본 후 느끼는

화질을 평가하여 측정하는 주관적인 화질이 그것이다. 영상 부호화기에서는 화질을 측정할 때 주로 입력 영상과 복원 영상 간의 수학적 차이를 계산하는 객관적인 화질 측정 방법을 사용하며, 이는 SAD (Sum of Absolute Difference), SSE (Sum of Squared Error), MSE 및 PSNR 등으로 측정이 가능하다. 객관적 화질 측정 방법은 화소의 값에 따른 수치적 화질 비교가 가능하며, 여러 영상 사이의 작은 차이도 비교가 가능하고 구현이나 실험에 드는 비용이 상대적으로 적다는 장점을 가지고 있다. 특히 HEVC에서는 영상의 화질 측정 시에 앞서 나열한 객관적 화질 측정 방법 중 PSNR을 주로 사용한다. 이에 반하여 주관적인 화질 측정 방법은 사람이 직접 느끼는 화질을 평가하는 방법이라고 할 수 있으며, 여러 명의 피실험자들을 대상으로 측정되는 MOS 값 등을 통해 화질을 나타낼 수 있다. 하지만 실험 환경이 정해지지 않은 주관적인 화질 평가는 디스플레이와 피실험자 간의 거리나 실험 당시의 조도 등의 주변 환경 조건에 따라 아주 다양한 실험 결과를 초래할 수 있기 때문에 여러 가지 권고안이 수립되었고, 가장 대표적으로는 ITU-R (International Telecommunication Union - Radio-communication sector)에서 발표한 권고안인 BT.500-11^[19]가 있다. BT.500-11에 따르면, DSIS (Double Stimulus Im-

pairment Scale)나 DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) 등의 방법을 통해 주관적 화질 평가 방법을 수행할 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이, 객관적 화질 측정 방법에 비해 주관적인 화질 측정 방법은 사람이 직접 측정을 수행해야 하며, 비용적인 측면에서 더 많은 소모를 야기하기 때문에 영상 부호화기에서 사용하기에는 힘들다는 단점이 존재한다. 하지만 화질을 직접 느끼는 것은 사람이기 때문에 인지 화질과의 상관도가 낮은 객관적 화질 측정 방법의 한계를 극복하기 위하여 주관적 화질 측정 방법에 대한 연구의 필요성이 대두되었고, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[13][14][15][16][17]}. 앞서 언급한 바와 같이, 현재 HM 내 윌 제어 알고리즘에서 윌 왜곡 최적화를 수행할 때 화질 측정을 위해 PSNR을 측정하는 객관적 화질 측정 방법을 사용한다. 본 절에서는 HM에 적용되어 있는 객관적 화질 기반의 윌 제어 알고리즘을 소개한다.

그림 1은 HM에 적용된 윌 제어 알고리즘의 블록도를 나타낸다. 전체 블록도의 입력 값은 입력 영상(Input sequence)이며, 이를 통해 결과 비트스트림(Output bit-stream)이 생성되고, 생성된 비트스트림은 다시 입력 영상의 윌 제어 알고리즘을 수행하기 위해 사용될 수 있다. 윌 제어 알고리즘은 입력 영상, 목표 비트율 (Target bit-rate), 부호화기의 결과

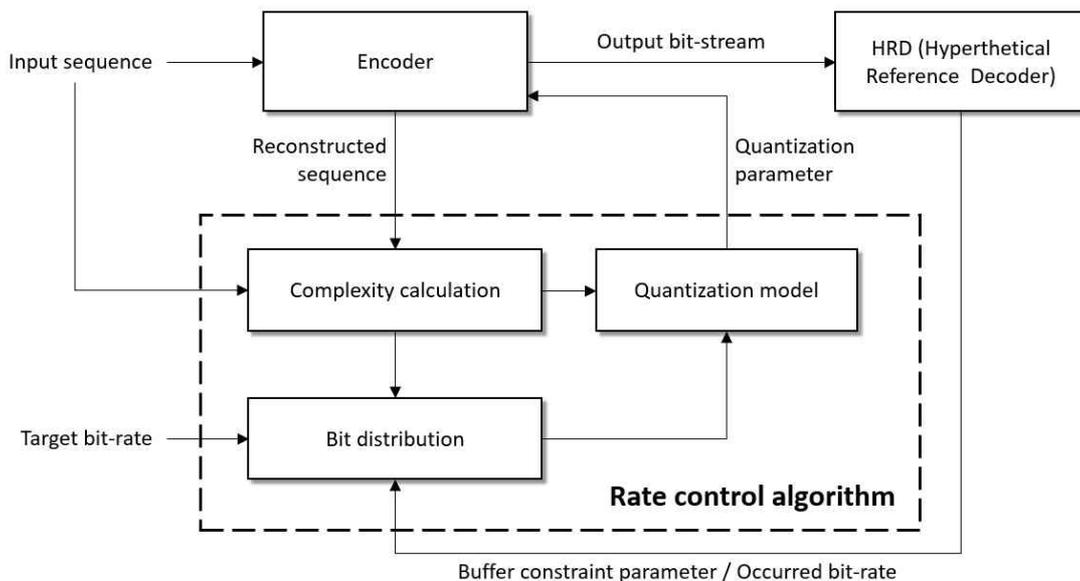


그림 1. HM에 적용된 윌 제어 알고리즘의 블록도
 Fig. 1. Block diagram of rate control algorithm for HM

로 출력된 비트스트림이 가상 참조 복호화기 (HRD: Hypertetical Reference Decoder)를 거치면서 얻어진 버퍼 제한 파라미터 (Buffer constraint parameter)와 발생 비트율 (Occurred bit-rate), 부호화기로부터의 복원 영상 (Reconstructed sequence)를 통해 수행될 수 있다. 율 제어 알고리즘은 먼저, 입력 영상과 복원 영상으로부터 복잡도를 계산하는 복잡도 계산부 (Complexity calculation)를 가진다. 이를 통해 계산된 복잡도는 가상 참조 복호화기를 통해 생성된 버퍼 제한 파라미터와 발생 비트율, 입력 값으로 설정된 목표 비트율과 함께 비트 분배에 사용되어 진다. 결과적으로 분배된 비트와 함께 계산된 복잡도는 양자화 모델에서 양자화 파라미터 (QP: Quantization Parameter)를 결정하는데 쓰인다. 결정된 양자화 파라미터를 기반으로 부호화기에서는 부호화를 재수행하는 구조를 가지고 있다. 그림 1에서 보이는 율 제어 알고리즘 내 비트 분배 모델에서는 여러 개의 파라미터를 전달받아 율 왜곡 최적화 과정을 수행하고, 이에 따라 비트율을 결정할 수 있다.

HEVC의 표준화 과정 중에 화소 단위로 목표 비트율과 양자화 파라미터 사이의 관계를 정의하는 URQ (Unified Rate-Quantization) 모델 기반의 율 제어 알고리즘^{[20][21]}, 주어진 비트율과 λ 사이의 관계를 기반으로 양자화 파라미터를 결정하는 R- λ 모델 기반의 율 제어 알고리즘^[22] 등 여러 가지 율 제어 알고리즘이 제안되었다. 현재 HEVC의 참조 소프트웨어인 HM에서는 [22]에서 제안된 R- λ 모델 기반의 율 제어 알고리즘이 사용되고 있으며, 해당 율 제어 알고리즘은 GOP (Group Of Pictures), 픽처 (Frame), CTU (Coding Tree Unit) 레벨에서 각각 비트를 할당할 수 있다. 먼저, 영상 전체에 할당된 비트를 GOP 레벨로 분배하는 GOP 레벨의 비트 분배를 수행하고 나면, 한 GOP에서는 해당 GOP 내에 존재하는 각 픽처에 대해 비트 분배를 수행한다. 이후에는 픽처 단위로 분배된 비트가 픽처 내 각 CTU에 분배됨으로써 비트 분배가 끝나게 된다. CTU 레벨의 비트 분배 수행 시에는 λ 와 비트율 간의 관계를 기반으로 양자화 파라미터를 결정한다. R- λ 모델을 기반으로 하는 율 제어 알고리즘은 비트율과 왜곡 사이의 관계를 식 (1)과 같이 근사화 함으로써 표현할 수 있다.

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

식 (1)에서 D 는 왜곡을 나타내고, R 은 비트량을 의미하며, λ 는 라그랑지안 곱 (Lagrangian multiplier)을 나타낸다. D 와 R 함수에 파라미터로 입력되는 $mode$ 와 QP 는 각각 부호화 모드와 양자화 파라미터를 의미하는 부호화 파라미터이다. HM에서는 λ 값으로 양자화 파라미터 QP 에 대해 고정된 값이 사용되며, 이를 통해 율 왜곡 비용인 $RDcost$ (Rate-Distortion cost)가 결정된다. 식 (1)은 비트율과 왜곡 사이의 관계를 근사화하여 다음 식 (2)로 표현할 수 있다.

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

식 (2)에서는 화소 당 비트 수를 나타내는 비트율인 R 과 모델 파라미터인 C 와 K 를 이용하여 MSE로 정의되는 왜곡 D 를 결정할 수 있다. 또한, 표현된 왜곡과 비트율의 관계를 통해 식 (2)를 기반으로 왜곡과 비트율 그래프에서 한 점에 대한 접선의 기울기를 의미하는 λ 를 정의할 수 있다. 이는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

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

식 (3)에서 α 와 β 는 모델 파라미터이며, 결과인 λ 는 비트율 R 에 대한 값으로 결정된다. 이후, 식 (4)를 거쳐 λ 를 통해 각 CTU에 사용될 QP가 결정된다.

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

이처럼 R- λ 모델을 기반으로 하는 율 제어 알고리즘은 λ 값과 양자화 파라미터 값인 QP를 이용하여 각 CTU의 부호화를 수행한다. 이 때, CTU를 부호화함에 따라 실제 발생한 비트량을 기반으로 하여 모델 파라미터인 α 와 β 를 계속해서 업데이트하면서 사용한다. R- λ 모델 기반의 율 제어 알고리즘에서는 이처럼 꾸준히 업데이트되는 α 와 β 를 사용하는 적응적 율 제어를 수행할 수 있다.

2. S-JND (Saliency-Just Noticeable Difference) 모델 소개

본 절에서는 본 논문에서 주관적 율 제어 알고리즘을 위

해 사용하는 S-JND 모델에 대해 소개한다. 본 논문은 주관적 울 제어 알고리즘을 이용한 HEVC 부호화 방법을 제안한다. 주관적 울 제어 알고리즘이란, 사람이 직접 느끼는 인지 화질을 기반으로 한 울 제어 알고리즘으로, 이는 울 제어 알고리즘 내에서 울-왜곡 최적화를 수행 시, 왜곡을 위한 화질을 측정할 때 객관적 화질이 아닌 주관적 화질을 측정하는 방법이라고 설명할 수 있다. 이를 위해 인지 화질 기반의 알고리즘이 사용되어야 하는데, 인지 화질은 사람의 눈과 직접적인 연관이 있으므로, 인간의 시각적 특징을 분석하면 이를 잘 활용할 수 있게 된다. 본 논문에서는 인간 시각적 특징으로 인지 시각적 민감도인 휘도 순응 (Luminance adaptation)과 인지 시각적 관심도인 Saliency를 사용하였다^[7]. 본 논문에서 사용하는 인지 시각적 민감도, 즉 휘도 순응을 수학적으로 모델링한 JND 모델은 다음과 같은 그래프로 표현할 수 있다.

그림 2는 평균 배경의 밝기값 대비 JND threshold를 나타낸 그래프이며, 평균 밝기값이 0이나 255인 아주 어둡거나 밝은 부분에서 보다 중간 밝기값 정도에서 JND threshold가 낮은 값을 보인다. 이는 평균 배경 밝기값이 최대이거나 최소인 경우보다는 중간정도의 밝기값을 가질 때, 인간이 밝기 변화에 민감하다는 의미를 가진다. 따라서 사람이 느끼는 민감도는 중간 밝기에서 가장 높다고 할 수 있다. 또한 본 논문에서 사용하는 인지 시각적 관심도는 사람이 주시하는 부분인 관심 영역 (ROI: Region Of Interest)와 관계가 있다. 사람이 영상을 볼 때 주로 관심을 가지고 보는 부분, 즉 관심 영역은 정적인 부분보다 동적인 부분으로, 가만히 있는 물체보다 움직이는 물체에 흥미를 느끼기 쉬우며, 이

를 움직임 민감도 (Motion sensitivity)라 한다. 본 논문에서는 인지 시각적 관심도를 표현하기 위해 움직임 민감도를 사용한다. 본 논문에서는 앞서 언급한 두 가지 인지 시각적 특징을 이용할 수 있는 S-JND 모델^[6]을 사용한다. S-JND 모델은 인지 시각적 민감도를 표현하는 JND 모델과 인지 시각적 관심도를 표현하는 Saliency 값을 함께 고려할 수 있는 모델로 인지 시각적 중요도를 측정할 수 있고, 식 (5)와 같이 수식화된다.

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

JND_{th} 는 JND threshold로 그림 2에서 나타난 것과 같이 0부터 255까지로 정의된 평균 밝기 값에 따라 결정된 값을 사용한다. Saliency 값을 의미하는 S 는 인지 시각적 민감도로 0부터 1사이의 값을 가진다. 인지 시각적 중요도 관점에서 JND threshold와 Saliency 값은 역의 관계에 있기 때문에, S-JND 모델로부터 얻을 수 있는 S-JND threshold를 울 제어 알고리즘에 다음과 같은 방법을 이용한다. S-JND 모델을 통해 얻을 수 있는 S-JND threshold는 식 (5)에서 $SJND_{th}$ 로 표현되며, JND 모델과 같이 threshold 형식으로 적용하기 위해 JND threshold에 Saliency 값을 1에서 뺀 값으로 변경시켜 곱한 값으로 설정한다. 하지만 JND threshold에 비해 Saliency 값이 상대적으로 낮은 비율의 값으로 적용된다는 문제가 발생하여, offset α 를 사용하여 조정하였다. 본 논문에서는 실험적으로 구한 α 를 사용하였고, 이 값은 0.5로 고정된 값이다. 본 논문에서는 식 (5)의 결과인 S-JND threshold 값을 다시 0부터 1 이내로 정규화

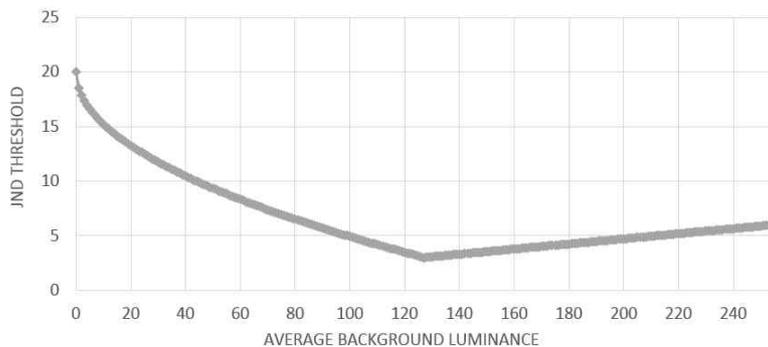


그림 2. JND 모델의 평균 배경 밝기 값과 JND threshold의 관계 그래프
 Fig. 2. A graph for relation of average background luminance and JND threshold

하여 사용된다.

III. S-JND 모델을 이용한 주관적인 율 제어 방법

본 논문에서는 인지 품질을 고려할 수 있도록 주관적 화질 기반의 율 제어 알고리즘을 사용하는 HEVC 부호화 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 율 제어 알고리즘 내에서 픽처 단위와 CTU 단위의 비트 분배를 수행할 때, 각 픽처와 CTU에 대한 인지 시각적 중요도를 측정한다. 이후, 측정된 인지 시각적 중요도에 따라 적응적인 비트를 분배함으로써 주관적 화질을 고려할 수 있는 율 제어 방법이다. 본 장의 1절에서는 본 논문에서 제안하는 인지 시각적 중요도 기반의 율 제어 알고리즘에 대해 설명하고, 2절에서는 본 논문의 인지 시각적 중요도를 기반으로 픽처 단위의 비트 분배 과정에 대하여 설명한다.

1. 제안하는 S-JND 모델 기반의 율 제어 알고리즘 개요

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

본 논문에서 제안하는 주관적 화질 기반의 율 제어 알고리즘의 전체적인 흐름도를 나타낸다. 앞서 서술한 바와 같이, 제안하는 율 제어 알고리즘에서는 비트 분배를 수행할 때, 인지 화질 기반의 적응적 비트 분배를 수행한다. 본 논문에서는 인지 화질을 기반으로 적응적 비트 분배를 수행할 때, 인지 시각적 중요도를 측정하여 사용한다. [16]에서 제안한 인지 시각적 중요도에 따른 CTU 레벨에서의 적응적 비트분배 알고리즘에서 사용된 것과 같이, CTU 단위로 인지 시각적 중요도를 측정하여 사용하며, 본 논문에서는 64×64 크기의 CTU 크기의 인지 시각적 중요도를 측정하여 사용하였다. 이는 S-JND 모델로부터 얻을 수 있는 S-JND threshold를 통해 측정될 수 있는데, 이에 대한 설명

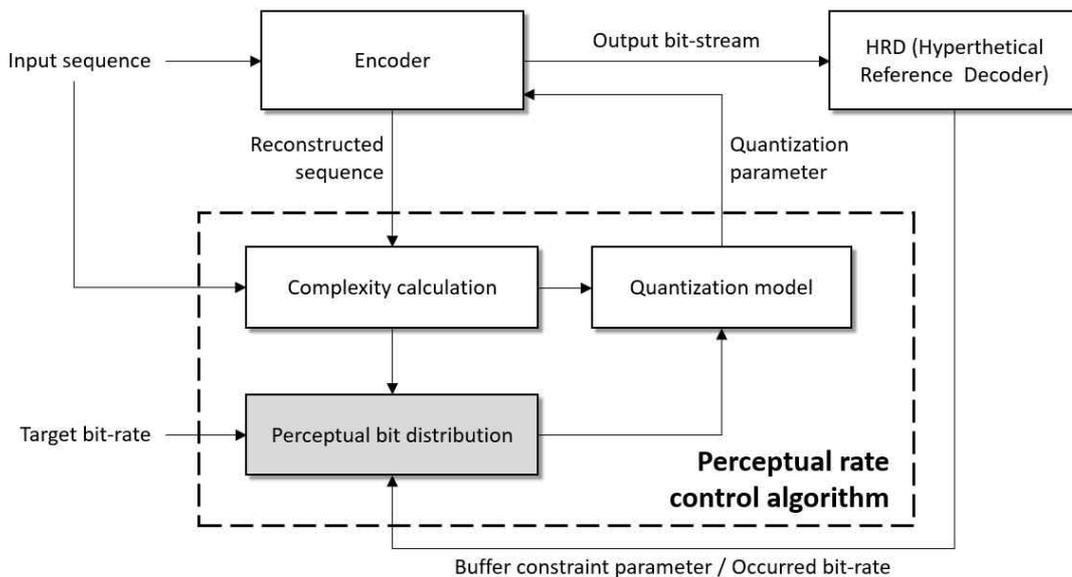


그림 3. 제안하는 율 제어 알고리즘의 블록도
 Fig. 3. Block diagram of proposed rate control algorithm

은 3.2절에서 설명하도록 한다. 측정된 인지 시각적 중요도는 GOP에서 픽처로의 비트 분배 수행과 픽처에서 CTU로의 비트 분배 수행에 사용될 수 있다. 현재 부호화가 진행되고 있는 영상이 포함된 GOP에 할당된 목표 비트량과 R-λ 모델로부터 정해진 부호화 파라미터들을 전달받으면, 인지 시각적 중요도에 따라 적응적으로 한 픽처에 할당될 비트가 계산되고, 이를 이용하여 픽처의 부호화가 수행된다. 이후 픽처의 부호화가 수행될 때는 픽처 내에 존재하는 CTU로의 비트 분배를 수행할 때, 인지 시각적 중요도에 따라 각 CTU에 할당될 비트를 결정해준다. 이 때, 계속해서 부호화 파라미터의 업데이트가 일어나며, 이후 부호화 과정

에서는 업데이트 된 부호화 파라미터를 사용하여 부호화를 수행한다. 한 픽처에 존재하는 모든 CTU의 부호화가 끝나고, GOP 내에 존재하는 모든 픽처의 부호화가 끝나면, R-λ 모델은 다음 GOP의 부호화를 위해 다시 부호화 파라미터 계산하여 다음 픽처의 부호화에 사용할 수 있도록 전달한다.

2. 픽처 레벨의 율 제어를 위한 주관적인 비트 할당 방법

본 절에서는 율 제어 수행 시, GOP에서 픽처 레벨로의

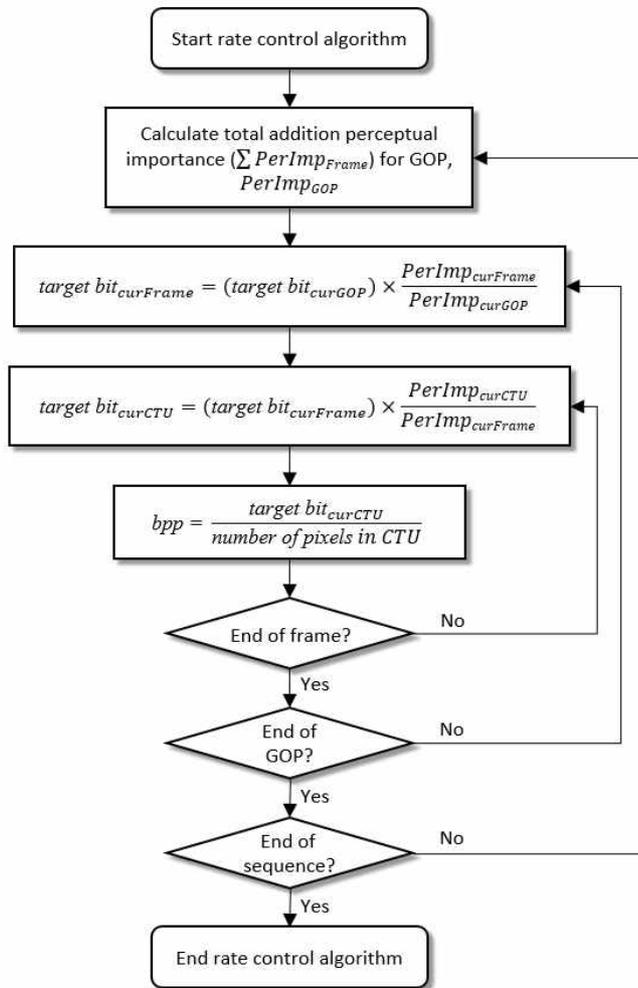


그림 4. 제안하는 픽처 레벨을 위한 목표 비트 결정 모델
 Fig. 4. Proposed target bit decision model for frame level

비트 분배 즉, 픽처 레벨에의 비트 분배 과정을 단계별로 소개한다. 픽처 레벨의 비트 분배 과정은 크게 세 단계로 구성할 수 있으며, 다음 그림 4와 같다.

그림 4는 제안하는 픽처 레벨 율 제어를 위한 주관적인 비트 할당 방법에 대하여 상세히 나타내고 있다. 먼저 픽처 레벨의 율 제어를 수행할 때, 필요한 입력은 하나의 GOP, 즉 GOP 내에 있는 픽처들과 각 픽처가 가지고 있는 인지 시각적 중요도이다. 본 논문에서는 해당 인지 시각적 중요도를 부호화 수행 전에 전처리를 통해 미리 만들어 놓는다고 가정한다. 이 때 [16]에서 사용한 인지 시각적 중요도를 사용하는데, $PerImp_{CTU}$ 는 다음과 같은 과정을 거쳐 수식화 될 수 있다.

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

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

식 (6)은 하나의 픽처 내에 존재하는 모든 CTU에 대하여 각 CTU가 가지는 S-JND threshold를 모두 더한 값을 $SJND_{Frame}$ 로 계산한다. 이후, 식 (7)에서는 식 (6)에서 계산된 $SJND_{Frame}$ 과 $SJND_{CTU}$ 의 비율을 계산하여 하나의 CTU가 가지는 인지 시각적 중요도, $PerImp_{CTU}$ 를 구한다. 이를 통해 계산된 CTU 별 인지 시각적 중요도를 이용하여 입력된 GOP의 인지 시각적 중요도를 계산하며, 이는 GOP에서 픽처로의 비트 분배를 수행할 때 다음과 같은 과정을 거쳐서 만들어진다. 식 (8)은 입력 받은 각 픽처의 인지 시각적 중요도를 더하여 GOP가 가지고 있는 총 인지 시각적 중요도를 계산하는 과정을 수식화한 식이다.

$$PerImp_{GOP} = \sum_{NumofFG} PerImp_{Frame} \quad (8)$$

$PerImp_{Frame}$ 은 각 픽처가 가지고 있는 인지 시각적 중요도로, 이는 앞서 언급한 바와 같이 [16]에서 사용하였던 CTU 별 인지 시각적 중요도인 $PerImp_{CTU}$ 를 모두 더한 값으로 사용한다. GOP 내에 존재하는 픽처의 개수를 나타내는 $NumofFG$ 만큼의 픽처들이 가지고 있는 인지 시각적 중요

도를 모두 더하면 하나의 GOP가 가지는 인지 시각적 중요도 $PerImp_{GOP}$ 가 계산된다. 이렇게 계산된 GOP의 인지 시각적 중요도 $PerImp_{GOP}$ 와 각 픽처가 가지고 있는 인지 시각적 중요도 $PerImp_{Frame}$ 의 비율은 다음 식 (9)로 계산된다.

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

식 (9)에서 $PerImpRatio_{Frame}$ 은 GOP 내에서 각 픽처가 인지 시각적 관점에서 얼마나 중요한지를 나타낸다. 이 값을 통해 GOP에 할당된 목표 비트를 각 픽처로 할당할 때, 다음과 같이 식 (10)처럼 적응적으로 분배할 수 있다.

$$tb_{curFrame} = tb_{curGOP} \times PerImpRatio_{curFrame} \quad (10)$$

식 (10)에서 tb_{curGOP} 는 현재 GOP가 가지는 목표 비트량이다. 식 (10)에서는 tb_{curGOP} 에 현재 픽처가 가지는 인지 시각적 중요도 비율 $PerImpRatio_{curFrame}$ 을 곱하는 과정을 통해 현재 픽처에 할당할 비트량 $tb_{curFrame}$ 이 계산될 수 있다. 이런 과정을 통해 한 GOP에서 GOP가 가진 모든 픽처로의 인지 시각적 중요도에 따른 적응적 비트 분배가 수행이 될 수 있는데 이 때, 각 픽처에 할당된 비트가 기존 방법을 통하여 분배된 비트와 큰 차이가 나게 하지 않기 위하여 기존 방법을 이용한 비트 분배와의 10% 미만 범위 내로 조절해주는 과정을 수행할 수 있다. 이후 CTU로의 분배를 동일한 방법으로 수행할 수 있으며, 이는 다음에서 보이는 식 (11)과 식 (12)를 통해 수행된다.

$$PerImpRatio_{CTU} = \frac{PerImp_{CTU}}{PerImp_{Frame}} \quad (11)$$

$$tb_{curCTU} = tb_{curFrame} \times PerImpRatio_{curCTU} \quad (12)$$

식 (11)과 식 (12)는 [16]에서 제안하는 CTU 레벨 율 제어를 위한 주관적 비트 할당 방법으로, 상기 설명된 픽처 레벨 율 제어를 위한 주관적 비트 할당 방법에 사용되는 식 (9), 식 (10)과 동일한 방법으로 수행되며, 이를 위한 설명은 생

략한다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 인지 시각적 중요도 기반의 울 제어 알고리즘을 제안하였다. 본 장에서는 제안하는 알고리즘을 적용한 HEVC 부호화기의 부호화 성능 및 주관적 화질을 측정하기 위하여 HEVC 참조 소프트웨어인 HM 16.9 버전을 기반으로 구현하였다. 해당 알고리즘의 성능 평가를 위해 가장 많이 사용되는 크기의 Class B 영상을 공통 실험 조건 CTC (Common Test Condition)^[25] RA (Random Access) 구조 실험 조건에서의 성능을 비교한다. 아래 표 1은 실험을 수행한 환경을 나타낸다. RA 구조 외 Low-delay나 All intra 구조의 경우 대해서는 본 논문에서 언급하지 않는다.

표 1. 실험 환경

Table 1. Experimental environments

| | |
|-----|--|
| CPU | Intel (R) Core (TM) i7-3960X CPU 3.30GHz |
| OS | Windows 7 Ultimate K |
| RAM | 16.0 GB |

제안하는 방법의 실험은 CTC에서 사용되는 여러 실험 영상의 Class 중에서 Class B 영상들을 대상으로 진행되었으며, 아래 표 2는 Class B에 해당하는 영상들의 상세한 정보를 나타낸다.

표 2. 제안하는 방법의 성능 검증을 위해 사용된 CTC 실험 영상의 정보
Table 2. Information of CTC test sequences used for performance evaluation of proposed algorithm

| Class | Resolution | Sequence name | Number of frame | Frame rate (fps) | Bit-depth |
|-------|------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------|
| B | 1920×1080 | Kimono | 240 | 24 | 8 |
| | | ParkScene | 240 | 24 | |
| | | Cactus | 500 | 50 | |
| | | BasketballDrive | 500 | 50 | |
| | | BQTerrace | 600 | 60 | |

표 3은 실험 영상에 해당하는 목표 비트율과 비트율 지점

을 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 BP1, BP2, BP3, BP4로 설정하였다. 추후 기술되는 내용에는 각 영상에 대한 목표 비트율을 비트율 지점을 사용하여 표현한다.

표 3. 각 실험 영상의 목표 비트율과 비트율 지점

Table 3. Target bit-rate and bit-rate point

| Class (Resolution) | Sequence name | Target bit-rate (Kbps) | Bit-rate point |
|---------------------|-----------------|------------------------|----------------|
| Class B (1920×1080) | Kimono | 4868 | BP1 |
| | | 2228 | BP2 |
| | | 1080 | BP3 |
| | | 535 | BP4 |
| | ParkScene | 7789 | BP1 |
| | | 3414 | BP2 |
| | | 1561 | BP3 |
| | | 712 | BP4 |
| | Cactus | 18374 | BP1 |
| | | 5882 | BP2 |
| | | 2724 | BP3 |
| | | 1357 | BP4 |
| | BasketballDrive | 17616 | BP1 |
| | | 6147 | BP2 |
| | | 2836 | BP3 |
| | | 1435 | BP4 |
| | BQTerrace | 39754 | BP1 |
| | | 7377 | BP2 |
| | | 2321 | BP3 |
| | | 987 | BP4 |

본 논문에서는 기존의 울 제어 알고리즘과 제안하는 울 제어 알고리즘에 대한 실험을 통하여 주관적 및 객관적 성능을 비교한다. 먼저, 본 논문에서 제안하는 주관적 울 제어 알고리즘의 성능을 기존 울 제어 알고리즘과 비교하였다. 표 4는 표 2의 실험 영상들을 기존 HM 16.9에 적용된 울 제어 알고리즘과 제안하는 CTU 레벨의 주관적 울 제어 알고리즘의 성능을 비교하기 위한 표이며, RA 구조에서 부호화한 객관적 성능을 비교하여 나타내었다.

표 4. 기존 율 제어 알고리즘 대비 제안하는 주관적 율 제어 알고리즘의 부호화 성능 비교

Table 4. Comparing encoding performance between conventional and proposed rate control algorithm

| Sequence | Bitrate point | Anchor 1 | | Proposed | | BD-rate (%) | BD-PSNR (dB) | Bit accuracy (%) |
|-----------------|---------------|----------------|-------------|----------------|-------------|-------------|--------------|------------------|
| | | Bitrate (Kbps) | PSNR-Y (dB) | Bitrate (Kbps) | PSNR-Y (dB) | | | |
| Kimono | BP1 | 4870.73 | 41.30 | 4870.78 | 41.37 | -3.2 | 0.10 | 0.00 |
| | BP2 | 2229.00 | 39.29 | 2229.27 | 39.42 | | | -0.01 |
| | BP3 | 1084.21 | 36.86 | 1080.86 | 36.95 | | | 0.31 |
| | BP4 | 546.635 | 34.35 | 544.90 | 34.35 | | | 0.32 |
| ParkScene | BP1 | 7791.76 | 39.76 | 7792.57 | 39.84 | -1.9 | 0.06 | -0.01 |
| | BP2 | 3415.30 | 37.23 | 3415.42 | 37.29 | | | 0.00 |
| | BP3 | 1563.02 | 34.44 | 1561.78 | 34.51 | | | 0.08 |
| | BP4 | 733.05 | 31.83 | 731.97 | 31.89 | | | 0.15 |
| Cactus | BP1 | 18378.00 | 38.37 | 18377.86 | 38.50 | -3.6 | 0.08 | 0.00 |
| | BP2 | 5884.66 | 36.58 | 5884.82 | 36.66 | | | 0.00 |
| | BP3 | 2731.01 | 34.43 | 2725.94 | 34.52 | | | 0.19 |
| | BP4 | 1378.94 | 32.15 | 1376.58 | 32.18 | | | 0.17 |
| BasketballDrive | BP1 | 17625.08 | 39.09 | 17623.07 | 39.17 | -3.0 | 0.07 | 0.01 |
| | BP2 | 6150.67 | 37.21 | 6150.43 | 37.28 | | | 0.00 |
| | BP3 | 2838.10 | 35.19 | 2838.25 | 35.28 | | | -0.01 |
| | BP4 | 1438.74 | 33.06 | 1436.81 | 33.11 | | | 0.13 |
| BQTerrace | BP1 | 39756.46 | 37.32 | 39756.27 | 37.43 | -3.9 | 0.07 | 0.00 |
| | BP2 | 7379.35 | 35.15 | 7379.77 | 35.22 | | | -0.01 |
| | BP3 | 2338.57 | 33.44 | 2337.46 | 33.47 | | | 0.05 |
| | BP4 | 1019.15 | 31.58 | 1018.34 | 31.63 | | | 0.08 |
| Average | | 6457.62 | 35.93 | 6456.66 | 36.00 | -3.12 | 0.08 | 0.07 |

표 4는 본 논문에서 제안하는 픽처 레벨 및 CTU 레벨의 율 제어 알고리즘과 기존의 율 제어 알고리즘과의 비교를 진행한 결과이다. 표 4에서 ‘Anchor 1’은 HM 16.9에 적용된 기존 율 제어 알고리즘을 통해 부호화한 결과이며, ‘Proposed’는 HM 16.9에 제안하는 픽처 레벨 및 CTU 레벨에서의 주관적 비트 분배를 통한 율 제어 알고리즘을 적용한 부호화 결과이다. 성능 분석을 위해 BD-rate, 목표 비트 율에의 비트 정확도와 객관적 화질을 측정하였다. 표 4에서 볼 수 있듯이, BD-rate는 기존 알고리즘 대비 3.12% 정도의 성능 향상을 보였으며, 비트 정확도 또한 약 0.07%의 성능 향상이 있었다. 제안하는 방법에 대한 성능을 객관적인 화질 측면에서 검증하기 위하여 BD-PSNR^[26]을 사용하였다. 이는 실제 발생한 비트율과 객관적 화질 지표인 PSNR을 기반으로 동일 비트율에서 화질의 개선 정도를 백분율로 변환한 결과를 의미한다. 제안하는 방법의 객관적 화질을

PSNR로 비교했을 때, 평균 0.08dB 향상되어 기존 방법보다 좋은 성능을 보였다. 이는 텍스처의 유무에 따른 S-JND threshold 값의 차이가 야기하는 결과라고 할 수 있다. 텍스처가 없고 매끄러운 부분은 S-JND threshold가 높게 설정되어 비트가 더 적게 할당되고 이에 따라 높은 QP로 부호화 되는 반면, 텍스처가 있는 부분에서는 S-JND threshold가 낮게 설정되어 비트를 더 많이 할당 받음에 따라 낮은 QP로 부호화되기 때문이다. 이는 덜 복잡한 부분의 부호화 시 단축된 시간을 복잡한 부분의 부호화에 소모함으로써 약간의 BD-rate의 감소를 보일 수 있다. 또한, 복잡한 부분에 보다 정확한 부호화를 진행하여 BD-PSNR을 향상시킬 수도 있다. 이를 통해, 제안하는 주관적인 율 제어 알고리즘과 기존 율 제어 알고리즘의 성능 비교 시, BD-rate의 감소와 BD-PSNR의 향상을 통해 제안하는 방법의 부호화 성능이 더 좋아진 것을 확인할 수 있었다.

표 5. [16]에서 제안하는 CTU 레벨 주관적 울 제어 알고리즘 대비 제안하는 주관적 울 제어 알고리즘의 부호화 성능 비교
 Table 5. Comparing encoding performance between conventional algorithm for CTU level ([16]) and proposed rate control algorithm

| Sequence | Bitrate point | Anchor 2 | | Proposed | | BD-rate (%) | BD-PSNR (dB) | Bit accuracy (%) |
|-----------------|---------------|----------------|-------------|----------------|-------------|-------------|--------------|------------------|
| | | Bitrate (Kbps) | PSNR-Y (dB) | Bitrate (Kbps) | PSNR-Y (dB) | | | |
| Kimono | BP1 | 4870.96 | 41.36 | 4870.78 | 41.37 | -0.4 | 0.01 | 0.00 |
| | BP2 | 2229.25 | 39.41 | 2229.27 | 39.42 | | | 0.00 |
| | BP3 | 1080.87 | 36.95 | 1080.86 | 36.95 | | | 0.00 |
| | BP4 | 544.62 | 34.34 | 544.90 | 34.35 | | | -0.05 |
| ParkScene | BP1 | 7793.07 | 39.83 | 7792.57 | 39.84 | -0.3 | 0.01 | 0.01 |
| | BP2 | 3415.39 | 37.29 | 3415.42 | 37.29 | | | 0.00 |
| | BP3 | 1561.78 | 34.51 | 1561.78 | 34.51 | | | 0.00 |
| | BP4 | 732.15 | 31.85 | 731.97 | 31.89 | | | 0.03 |
| Cactus | BP1 | 18377.90 | 38.49 | 18377.86 | 38.50 | -0.5 | 0.01 | 0.00 |
| | BP2 | 5885.05 | 36.65 | 5884.82 | 36.66 | | | 0.00 |
| | BP3 | 2725.91 | 34.50 | 2725.94 | 34.52 | | | 0.00 |
| | BP4 | 1379.55 | 32.16 | 1376.58 | 32.18 | | | 0.22 |
| BasketballDrive | BP1 | 17622.88 | 39.18 | 17623.07 | 39.17 | -0.2 | 0.01 | 0.00 |
| | BP2 | 6150.64 | 37.27 | 6150.43 | 37.28 | | | 0.00 |
| | BP3 | 2838.25 | 35.27 | 2838.25 | 35.28 | | | 0.00 |
| | BP4 | 1436.77 | 33.10 | 1436.81 | 33.11 | | | 0.00 |
| BQTerrace | BP1 | 39756.32 | 37.43 | 39756.27 | 37.43 | 0.1 | 0.00 | 0.00 |
| | BP2 | 7379.66 | 35.22 | 7379.77 | 35.22 | | | 0.00 |
| | BP3 | 2337.10 | 33.48 | 2337.46 | 33.47 | | | -0.02 |
| | BP4 | 1018.18 | 31.63 | 1018.34 | 31.63 | | | -0.02 |
| Average | | 6456.82 | 36.00 | 6456.66 | 36.00 | -0.26 | 0.01 | 0.01 |

표 5에서 ‘Anchor 2’는 [16]에 적용된 CTU 레벨의 주관적 비트 분배를 통한 울 제어 알고리즘을 적용하여 부호화한 결과를 나타내고, ‘Proposed’는 표 4에서와 마찬가지로 HM 16.9에 제안하는 픽처 레벨 및 CTU 레벨에서의 주관적 비트 분배를 통한 울 제어 알고리즘을 적용한 부호화 결과를 나타낸다. BD-rate는 [16]에서 제안하는 CTU 레벨의 주관적 울 제어 방법과 제안한 방법의 전체 비트율을 비교한 지표로 0.26%의 성능 향상을 보였다. 또한, 표 5에서 볼 수 있는 것처럼 [16]에서 제안하는 방법과 제안하는 방법의 비트 정확도에서도 0.01%의 성능 향상이 있었다. 표 4에서 보여 지듯이 제안하는 방법의 객관적 화질을 PSNR로 비교했을 때, 제안하는 방법의 객관적 화질이 평균 0.01dB 향상되었으며, 전체적으로 더 좋아지는 것을 확인할 수 있다.

표 6은 [15]에 적용된 JND 모델 기반의 울 제어 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 성능을 비교하기 위한 표이다. ‘RC based on JND’는 JND 모델 기반의 울 제어 알고리즘^[15]을 적용한 부호화 결과를 나타내고, ‘Proposed’는 HM 16.9에 제안하는 방법의 부호화 결과를 나타낸다. 전체적인 성능을 비교하였을 때, 제안하는 방법의 성능이 JND 모델 기반의 울 제어 알고리즘보다 낮게 평가된 것을 알 수 있다. 하지만, JND 모델 기반의 울 제어 알고리즘보다 성능이 낮게 나왔다고 하더라도, [15]에서 제안하는 울 제어 알고리즘은 인간 시각적 특성 중 시각적 민감도만을 고려할 수 있는 모델인 반면, 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 시각적 민감도뿐만 아니라 시각적 관심도까지 고려할 수 있는 모델이기 때문에 연구에 대한 명확한 차이가 존재한다고 할 수 있겠다.

표 6. [15]에서 제안하는 JND 기반 율 제어 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 RA 구조에서의 부호화 성능 비교
Table 6. Comparing encoding performance with random access structure between rate control based on JND ([15]) and proposed algorithm

| Sequence | Bitrate point | RC based on JND | | Proposed | | BD-rate (%) | BD-PSNR (dB) | Bit accuracy (%) |
|-----------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|-------------|-------------|--------------|------------------|
| | | Bitrate (Kbps) | PSNR-Y (dB) | Bitrate (Kbps) | PSNR-Y (dB) | | | |
| Kimono | BP1 | 4868.68 | 41.38 | 4870.78 | 41.37 | 7.3 | -0.22 | -0.04 |
| | BP2 | 2227.89 | 39.56 | 2229.27 | 39.42 | | | -0.05 |
| | BP3 | 1066.24 | 37.21 | 1080.86 | 36.95 | | | 1.19 |
| | BP4 | 535.15 | 34.82 | 544.90 | 34.35 | | | -1.82 |
| ParkScene | BP1 | 7795.28 | 39.91 | 7792.57 | 39.84 | 8.9 | -0.28 | 0.03 |
| | BP2 | 3415.97 | 37.49 | 3415.42 | 37.29 | | | 0.02 |
| | BP3 | 1561.41 | 34.89 | 1561.78 | 34.51 | | | -0.02 |
| | BP4 | 716.56 | 32.31 | 731.97 | 31.89 | | | -2.16 |
| Cactus | BP1 | 18379.98 | 38.36 | 18377.86 | 38.50 | 9.4 | -0.20 | 0.01 |
| | BP2 | 5882.41 | 36.79 | 5884.82 | 36.66 | | | -0.04 |
| | BP3 | 2722.45 | 34.93 | 2725.94 | 34.52 | | | -0.01 |
| | BP4 | 1356.80 | 32.69 | 1376.58 | 32.18 | | | -1.43 |
| BasketballDrive | BP1 | 17615.06 | 39.05 | 17623.07 | 39.17 | 6.9 | -0.16 | -0.03 |
| | BP2 | 6145.53 | 37.41 | 6150.43 | 37.28 | | | -0.03 |
| | BP3 | 2834.81 | 35.55 | 2838.25 | 35.28 | | | -0.04 |
| | BP4 | 1435.20 | 33.48 | 1436.81 | 33.11 | | | -0.11 |
| BQTerrace | BP1 | 39763.40 | 37.39 | 39756.27 | 37.43 | 9.4 | -0.13 | 0.02 |
| | BP2 | 7378.09 | 35.29 | 7379.77 | 35.22 | | | -0.02 |
| | BP3 | 2321.79 | 33.75 | 2337.46 | 33.47 | | | -0.68 |
| | BP4 | 1006.48 | 32.00 | 1018.34 | 31.63 | | | -1.20 |
| Average | | 6451.46 | 36.21 | 6456.66 | 36.00 | 8.38 | -0.20 | -0.32 |

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. 표 7은 주관적 화질 평가를 위한 테스트 장치 및 실험 정보를 나타낸다. 주관적 화질 평가를 위해 5명의 비디오 코덱 전문가들과 6명의 비전문가들이 모여 총 11명의 피실험자들이 화질 평가를 진행하였고 ITU-R BT.500-11^[19]에

제시된 DSCQS 스케일을 사용하였으며, 화질 측정에는 MOS를 사용하였다. 화질 측정 결과는 아래 보이는 그림 5와 같다.

그림 5는 HM 16.9에 적용된 기존 율 제어 알고리즘과 제안하는 율 제어 알고리즘의 주관적 비트분배 기반의 율 제어 알고리즘의 주관적 화질을 비교한 그림이다. 각 알고리즘의 주관적 화질을 측정한 결과를 막대그래프로 나타냈으며, 각각 평가된 최대 및 최소 화질 값 또한 함께 선형 그래프로 나타내었다. 그림 5와 같이, MOS 값은 전체적으로 기존 방법 대비 제안하는 방법에서 높게 측정되었으며, 평균적으로 0.16 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

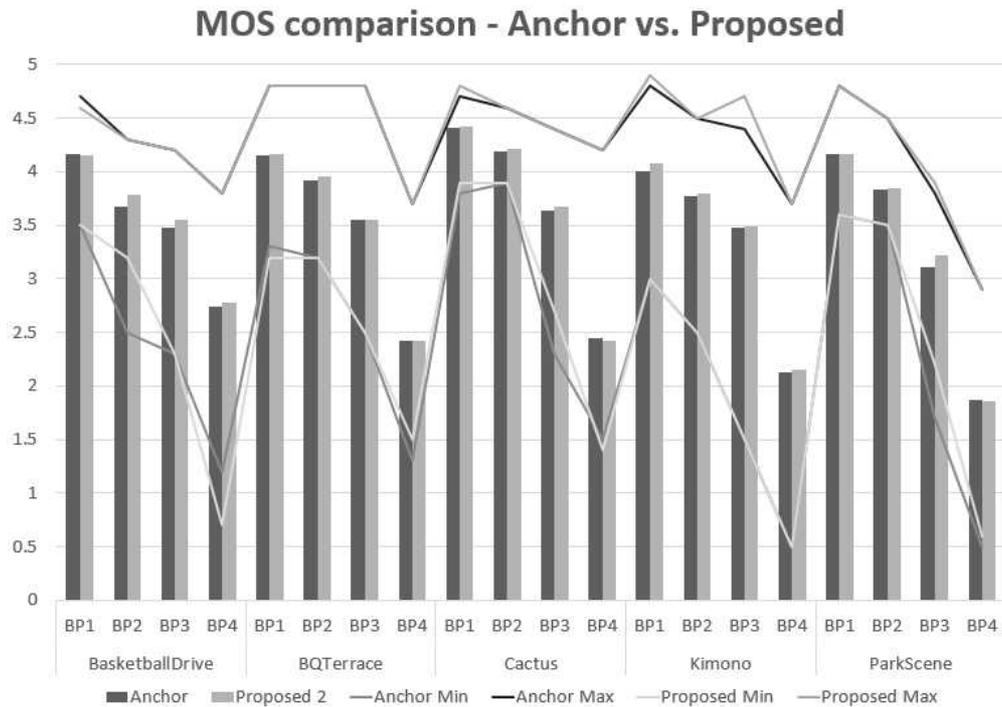


그림 5. 기존 윌 제어 방법과 제안하는 윌 제어 방법의 주관적 화질 비교 평가 결과
 Fig. 5. Experimental result of perceived visual quality for conventional and proposed rate control method

기존 방법을 수행했을 때의 할당된 비트량의 10% 이내 범위 미세 조절만 허용하였기 때문에 제안하는 방법의 주관적 화질 성능 차이가 크지 않았던 것으로 판단된다. 하지만, 10% 이내의 범위 내에서의 조절에도 불구하고 주관적인 성능 향상을 확인하였으므로, 주관적 화질이 고려된 윌 제어 방법임을 입증했다고 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 인지 화질을 고려하기 위한 S-JND 모델 기반의 주관적인 화질 기반의 윌 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 인지 시각 특성을 이용한 윌 제어 방법은 사람의 시각적 민감도와 시각적 관심도를 이용한 S-JND 모델을 기반으로 인지 시각적 중요도를 측정한 후, 이를 이용하여 픽처 레벨과 CTU 레벨에서 비트를 적응적으로 분배한다. 제안하는 방법을 HM 16.9 버전에 적용하여 CTC RA 구조로 Class B 영상을 부호화한 결과, 기존 윌 제어

알고리즘 대비 평균 3.12%의 비트가 감소했고 BD-PSNR은 0.08dB 향상이 있었으며 비트 정확도 또한 0.07% 증가하였다. 또한, DSCQS 스케일에서 주관적 화질을 평가한 결과, 기존 방법과 비교하여 평균적으로 0.16 MOS 값의 증가를 보였다. 따라서 제안하는 윌 제어 알고리즘은 인지 화질을 향상시켰으며, 부호화 성능까지도 향상시키는 결과를 얻을 수 있었다. 향후에는 본 논문에서 제안한 윌 제어 알고리즘을 기반으로 윌 제어 관점에서의 성능 향상 방법에 관한 연구가 필요하다고 생각된다.

참고 문헌 (References)

- [1] Cisco, *Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2015 - 2020* Cisco White Paper, Feb. 2016.
- [2] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjontegaard and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC video coding standard," *IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no. 7, pp. 560-576, Jul. 2003.
- [3] B. Bross, W. J. Han, G. J. Sullivan, J. R. Ohm and T. Wiegand, "High

- Efficiency Video Coding (HEVC) text specification draft 10 for FDIS & last call," *Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC)*, JCTVC-L1003_v34, Geneva, CH, Jan. 2013.
- [4] J. R. Ohm, G. J. Sullivan, H. Schwarz, T. K. Tan and T. Wiegand, "Comparison of the coding efficiency of video coding standards-including High Efficiency Video Coding (HEVC)," *IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 1668-1683, Dec. 2012.
- [5] I. K. Kim, J. Min, T. Lee, W. J. Han and J. Park, "Block partitioning structure in the HEVC standard," *IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 1697-1706, Dec. 2012.
- [6] J. Lainema, F. Bossen, W. J. Han, J. Min and K. Ugur, "Intra coding of the HEVC standard," *IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 1792-1801, Dec. 2012.
- [7] G. Sullivan, J. Ohm, W. Han and T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) standard," *IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 1649-1668, Dec. 2012.
- [8] A. Norkin, G. Bjøntegaard, A. Fuldseth, M. Narroschke, M. Ikeda, K. Andersson, M. Zhou and G. Auwera, "HEVC deblocking filter," *IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 1746-1754, Dec. 2012.
- [9] Y. J. Ahn, S. J. Park and D. G. Sim, "Implementation and commercialization techniques of HEVC codec," *The Magazine of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 41, no. 19, pp. 939-947, Oct. 2014.
- [10] <http://hevc.kw.bbc.co.uk/trac/browser/tags/HM-16.9>, HM 16.9 S/W.
- [11] D. G. Sim and H. H. Jo, *Understanding of HEVC standard and technology*, HongRung Publishing Company, Korea, 2015.
- [12] 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)*, Chengdu, China, pp. 154-157, Jul. 2010.
- [13] C. Chou and Y. Li, "A perceptually tuned subband image coder based on the measure of Just-Noticeable-Distortion profile," *IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 5, no. 6, pp. 467-476, Dec. 1995.
- [14] Z. Wei and K. N. Ngan, "Spatio-temporal Just Noticeable Distortion profile for grey scale image/video in DCT domain," *IEEE transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 19, no. 3, pp. 337-346, Mar. 2009.
- [15] 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.
- [16] J. Kim, Y. J. Ahn, W. Lim and D. G. Sim, "A perceptual rate control algorithm with S-JND model for HEVC encoder," *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 21, no. 6, pp. 929-943, Nov. 2016.
- [17] S. Goferman, L. Zelnik-Manor, A. Tal, "Context-aware saliency detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 34, no. 10, pp. 1915-1926, Oct. 2012.
- [18] W. Lim, J. Nam and D. Sim, "Scalable multi-view video coding based on HEVC," *IEIE transactions on Smart Processing and Computing*, vol. 4, no. 6, pp. 434-442, Dec. 2015.
- [19] Recommendation ITU-R BT.500-11, "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures," *Recommendation ITU-R BT.500-11*, ITU-Telecommunication Standardization Sector, no. 22, pp. 25-34, Jan. 2002.
- [20] H. Choi, J. Nam, J. Yoo, D. Sim and I. V. Bajić, "Rate control based on unified RQ model for HEVC," *Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC)*, JCTVC-H0213, San Jose, CA, Jan. 2012.
- [21] H. Choi, J. Yoo, J. Nam, D. Sim and I. V. Bajić, "Pixel-wise Unified Rate-Quantization model for multi-level rate control," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 7, no. 6, pp. 1112-1123, Dec. 2013.
- [22] B. Li, H. Li, L. Li and J. Zhang, "Rate control by R-lambda model for HEVC," *Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC)*, JCTVC-K0103, Shanghai, China, Oct. 2012.
- [23] V. Sze, M. Budagavi and G. J. Sullivan, *High Efficiency Video Coding (HEVC): algorithms and architectures*, Springer International Publishing, Sep. 2014.
- [24] Mathias Wien, *High Efficiency Video Coding (HEVC): coding tools and specification*, Springer International Publishing, Sep. 2014.
- [25] F. Bossen, "Common test conditions and software reference configurations," *Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC)*, JCTVC-L1100, Geneva, CH, Jan. 2013.
- [26] G. Bjøntegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-curves," *ITU-Telecommunications Standardization Sector*, VCEG-M33, pp. 290-294, Austin, TX, Apr. 2001.

저 자 소 개



김 재 련

- 2015년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2017년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-8735-0542>
- 주관심분야 : 영상신호처리, 영상압축, 컴퓨터비전



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