

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제22권 제5호, 2017년 9월 (JBE Vol. 22, No. 5, September 2017)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2017.22.5.541>

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

차세대 비디오 코덱(JEM)의 고속 QTBT 분할 깊이 결정 기법

윤용욱^{a)}, 박도현^{a)}, 김재곤^{a)‡}

A Fast Decision Method of Quadtree plus Binary Tree (QTBT) Depth in JEM

Yong-Uk Yoon^{a)}, Do-Hyun Park^{a)}, and Jae-Gon Kim^{a)‡}

요 약

차세대 비디오 부호화 표준 기술 탐색을 진행하고 있는 JVET(Joint Video Exploration Team)의 참조 SW 코덱인 JEM(Joint Exploration Model)은 재귀적 QTBT(Quadtree plus Binary Tree) 분할 구조의 부호화단위(CU)를 제공한다. QTBT를 통하여 새로운 블록 형태를 추가하여 부호화 효율 이득을 얻을 수 있는 반면, 부호화 복잡도 또한 크게 증가하는 문제가 있다. 본 논문에서는 JEM 부호화기의 복잡도 감소를 위해 상위 분할 깊이(depth)와 현재 분할 깊이의 율-왜곡(Rate-Distortion: RD) 비용을 사용하는 고속 블록 분할 깊이 결정 기법을 제안한다. 실험결과 JEM 5.0 대비 AI(All Intra) 부호화 구조에서 0.7%의 BD-rate 증가에 21.6%의 부호화 시간 감소를 보였고, RA(Random Access)에서는 1.2%의 BD-rate 증가에 11.0%의 시간 감소 효과를 얻을 수 있었다.

Abstract

The Joint Exploration Model (JEM), which is a reference SW codec of the Joint Video Exploration Team (JVET) exploring the future video standard technology, provides a recursive Quadtree plus Binary Tree (QTBT) block structure. QTBT can achieve enhanced coding efficiency by adding new block structures at the expense of largely increased computational complexity. In this paper, we propose a fast decision algorithm of QTBT block partitioning depth that uses the rate-distortion (RD) cost of the upper and current depth to reduce the complexity of the JEM encoder. Experimental results showed that the computational complexity of JEM 5.0 can be reduced up to 21.6% and 11.0% with BD-rate increase of 0.7% and 1.2% in AI (All Intra) and RA (Random Access), respectively.

Keyword : future video coding, JVET, JEM, QTBT, fast depth decision, fast encoding

a) 한국항공대학교 항공전자정보공학부(Korea Aerospace University, School of Electronics and Information Engineering)

‡ Corresponding Author : 김재곤(Jae-Gon Kim)

E-mail: jgkim@kau.ac.kr

Tel: +82-2-300-0414

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3686-4786>

※ 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2016-0-00572, 초고실감 미디어 서비스 실현을 위해 HEVC/3DA 대비 2배 압축을 제공하는 5세대 비디오/오디오 표준 핵심 기술 개발 및 표준화)

※ 이 논문의 연구결과 중 일부는 “제29회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵(IPIU 2017)”에서 발표한 바 있음.

· Manuscript received April 17, 2017; Revised May 17, 2017; Accepted May 17, 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 H.264/AVC 대비 2배의 부호화 효율을 갖는 HEVC 표준화가 완료되어 스마트폰, UHD 방송 등에 빠르게 채택되고 있다. 하지만 5G의 새로운 모바일 인프라의 등장과 차세대 미디어로서 360도 VR(Virtual Reality)이 주목 받는 등 고화질의 실감 미디어 서비스가 빠르게 확산될 것으로 예상됨에 따라 보다 더 높은 성능의 비디오 압축의 필요성이 제기되고 있다. 이에 ITU-T VCEG과 ISO/IEC MPEG이 JVET(Joint Video Exploration Team)을 구성하여 2020년을 목표로 HEVC보다 2배의 압축 효율을 갖는 차세대 비디오 코덱 표준화를 진행 중이다.

현재 JVET은 차세대 비디오 부호화 기술을 탐색하고 있는 단계이며 이를 위한 참조 소프트웨어 코덱으로 JEM (Joint Exploration Model) 5.0을 배포하였다. JEM 5.0은 HEVC의 부호화 틀을 기반으로 이를 확장한 기술과 몇 가지의 새로운 부호화 틀들을 채택하여 현재 HEVC 대비 약 27%의 부호화 성능 향상을 보이는 반면에 10배에 달하는 복잡도 증가를 보인다^{[1][2]}. HEVC에서, 하나의 프레임은 동일 크기의 CTU(Coding Tree Unit)으로 분할되고, 이는 하나의 휘도 CTB(Coding Tree Blocks)와 두 개의 색차 CTB로 구성된다^[3]. 각 CTU는 재귀적으로 부호화단위(CU: Coding Unit)로 분할되어 부호화 과정에 따라 예측단위(PU: Prediction Unit), 변환단위(Transform Unit)를 갖는다. JEM의 추가적인 기술 중 대표적으로 기존 HEVC의 CU, PU, TU의 중복적인 부호화 블록 구조 개념을 없애고 그림 1과 같이 QTBT로 더 유연하고 다양한 CU 구조를 갖는 블록 분할 구조를 채택하였다. JEM의 CTC(Common Test Condition)에서는 기존 64×64의 CTU보다 더 큰 128×128 CTU에서 QT(Quad Tree) 최대 4단계, BT(Binary Tree) 최대 3단계의 부호화 분할 깊이(Depth)로 분할한다^[4]. 따라서 기존보다 더 유연하고 다양한 CU 분할 구조를 채용하여 고효율의 부호화를 가능하게 한다. 반면, 윗-왜곡 기반으로 QT, BT 각각에 대한 최적의 CU 분할 구조를 결정함으로써 복잡도 또한 크게 증가하게 되었다. HEVC 표준화 과정에서 H.264/AVC와 다른 블록 구조 개념을 도입하며, 복잡도 증가에 따른 다양한 고속 부호화 기법이 제시되었었다^[4-6]. JVET 또한 다양한 고속 부호화 기법이 제시되고 있으며,

BT 깊이와 CU 모드에 따른 SKIP DEPTH 결정 기법, 상위 깊이와 현재 깊이의 윗-왜곡 비용 정보를 이용한 깊이 제한 방법, 영상 특성에 따른 깊이 제한 방법 등이 있다^[7-10].

본 논문에서는 부호화 정보로 상위 깊이 CU의 윗-왜곡 비용과 현재 깊이 CU의 윗-왜곡 비용을 비교하여 현재 깊이 CU에서의 고속 블록 분할 깊이 탐색을 제한하는 고속 결정 기법을 제시한다.

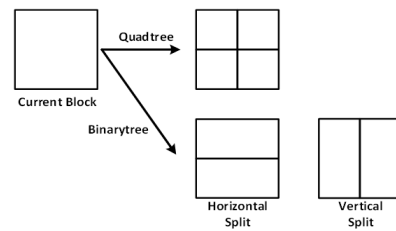


그림 1. JEM의 QTBT 블록 분할 구조
Fig. 1. QTBT block structure in JEM

II. 고속 블록분할 결정 기법

1. 블록분할 결정을 위한 부호화 정보

JEM의 QTBT 블록 분할은 분할 깊이의 초기 설정값에 따라 다양한 크기의 CU로 그림 2와 같이 재귀적으로 분할한다. 가능한 각 CU에 대해 부호화를 한 후 최소의 윗-왜곡 비용을 갖는 CU를 선택하기 때문에 상당한 복잡도를 야기한다. 본 논문에서는 이러한 복잡도를 감소시키기 위해 기존에 구해진 부호화 정보와 영상의 특성을 활용하여 CU의 블록 깊이를 고속으로 결정하고자 한다.

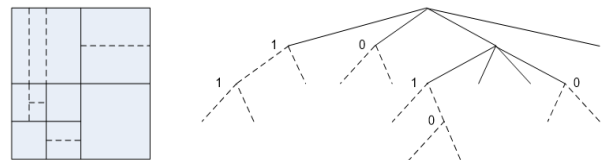


그림 2. 재귀적 QTBT 블록 분할 예
Fig. 2. Recursive QTBT block partition

본 논문에서 제안하는 기법은 상위 깊이와 현재 깊이의 윗-왜곡 비용을 비교하여 블록 분할 깊이를 결정한다. 제안 기법은 윗-왜곡 비용과 분할 깊이에 높은 상관성이 있다고

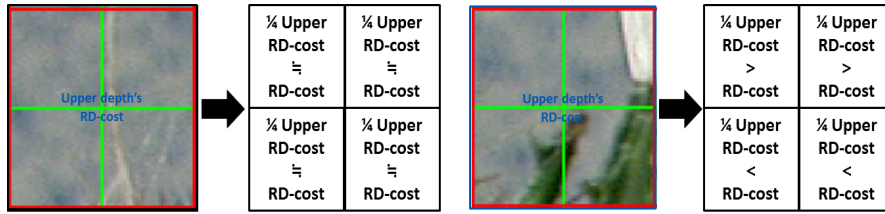


그림 3. 상위 깊이와 현재 깊이의 율-왜곡 비용 비교
 Fig. 3. Comparison RD-cost of upper depth with current depth

가정하였다. 즉, 높은 율-왜곡 비용을 갖는 블록은 보다 작은 율-왜곡 비용을 갖는 하위 깊이로 분할될 것이라 가정한다. 그림 3은 상위 깊이와 현재 깊이의 율-왜곡 비용을 비교한 예로 왼쪽 그림과 같이 비교적 밝기 변화가 없는 단순한 영상에서는 상위 깊이의 율-왜곡 비용의 1/4과 현재 깊이의 율-왜곡 비용이 유사하지만, 오른쪽 영상의 경우 밝기 변화가 심한 복잡한 블록에서는 율-왜곡 비용이 상위 깊이의 율-왜곡 비용의 1/4보다 높음을 확인할 수 있다.

2. 제안하는 블록 분할 결정

QT(또는 BT)로 분할된 현재 깊이의 첫 번째 CU를 참조

블록(Ref)으로 지정하고, 이 참조블록의 율-왜곡 비용과 상위 깊이의 율-왜곡 비용을 비교한다. 즉, 상위 깊이 CU에서의 율-왜곡 비용의 1/4(또는 BT의 경우 1/2)와 현재 깊이의 참조블록의 율-왜곡 비용을 비교하여 율-왜곡 비용에 따른 분할 깊이 정보를 기준으로 삼는다. 이 기준을 바탕으로 그림 4와 같이 현재 깊이의 나머지 블록의 깊이를 결정한다. 현재 깊이에서 분할된 블록의 율-왜곡 비용과 상위 깊이의 율-왜곡 비용 비교에 따라 표 1과 같이 6가지 경우로 나뉜다. 여기서 현재 깊이의 임의의 블록의 율-왜곡 비용이 상위 깊이의 1/4 율-왜곡 비용보다 크다는 것($1.2 \times \frac{1}{4} \text{Upper} < \text{Cur}$)은 현재 깊이의 다른 블록보다 상대적으로 복잡하다는 것을 의미할 수 있고, 참조블록의 율-왜곡 비용보다 크다는 것($1.2 \times \text{Ref} < \text{Cur}$)은 현재 깊이의 다른 블록보다 상대적으로 복잡하다는 것을 의미할 수 있고, 참조블록의 율-왜곡 비용보다 크다는 것($1.2 \times \text{Ref} > \text{Cur}$)은 현재 깊이의 다른 블록보다 상대적으로 복잡하다는 것을 의미할 수 있다.

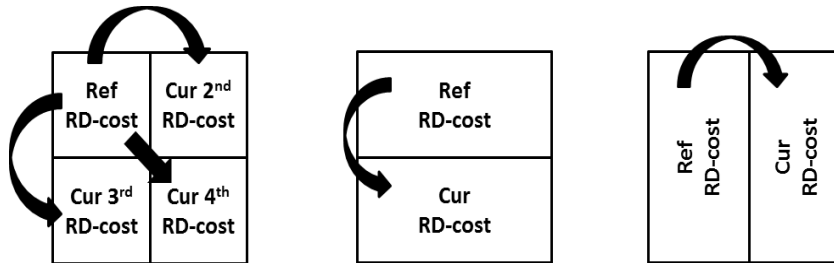


그림 4. 참조블록에 따른 깊이 적용 방법
 Fig. 4. Method of depth application according to reference block

표 1. 율-왜곡 비용 비교에 따른 6가지 Case 분류
 Table 1. 6-Case according to RD-cost

Condition		Case	
$1.2 \times \frac{1}{4} \text{Upper} < \text{Ref}$	$1.2 \times \frac{1}{4} \text{Upper} < \text{Cur}$	$1.2 \times \text{Ref} < \text{Cur}$	Case 1
		$1.2 \times \text{Ref} > \text{Cur}$	Case 2
	$1.2 \times \frac{1}{4} \text{Upper} > \text{Cur}$	$1.2 \times \text{Ref} > \text{Cur}$	Case 3
$1.2 \times \frac{1}{4} \text{Upper} > \text{Ref}$	$1.2 \times \frac{1}{4} \text{Upper} < \text{Cur}$	$1.2 \times \text{Ref} < \text{Cur}$	Case 4
		$1.2 \times \text{Ref} < \text{Cur}$	Case 5
	$1.2 \times \frac{1}{4} \text{Upper} > \text{Cur}$	$1.2 \times \text{Ref} > \text{Cur}$	Case 6

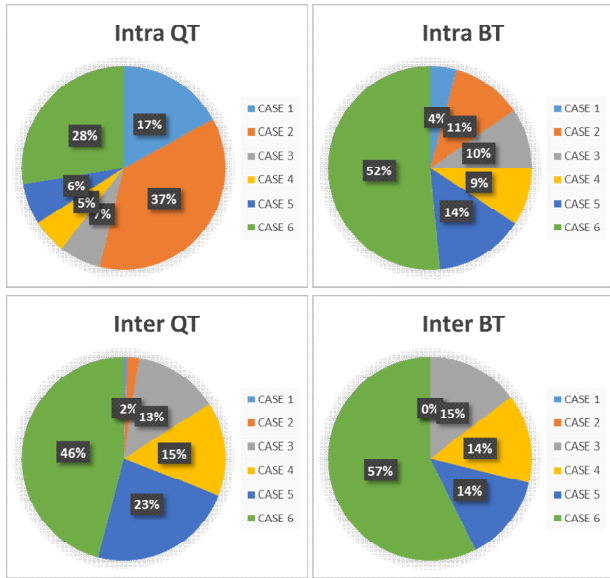


그림 5. 울-왜곡 비용에 따른 각 Case의 발생 확률(QT 및 BT, 예측모드)
 Fig. 5. Probability of occurrence according to each case of RD cost

는 것은 참조 블록보다 더 분할 될 가능성이 있음을 의미한

다. 그림 5는 표 1의 각 Case에 대한 발생분포를 나타낸 것으로, JEM의 테스트 시퀀스 클래스 A, B에 대해 각각 4개의 시퀀스에 대한 관측결과이다. QT 및 BT, 화면 내 예측 및 화면 간 예측 블록에 대해 각각의 분포를 구하였다.

표 2와 표 3은 표 1의 각 Case에 대한 분할 깊이의 변화를 관측한 것으로, 그림 5와 동일한 부호화에서 참조블록의 QTBT 분할 깊이를 기준으로 현재 블록의 분할 깊이가 감소, 유지, 또는 증가하는지에 대한 발생확률을 확인한 것이다.

예를 들면, Intra 모드의 ‘Case 2’에서 현재블록이 참조블록보다 QT 깊이가 증가할 가능성은 3%이다. 즉, 그림 5의 Intra 모드의 ‘Case 2’ 발생확률(37%)과 표 2의 ‘Case 2’에서 분할 깊이가 증가율(9%)을 곱한 확률이다. 따라서 전체 영상에서 울-왜곡 비용 비교의 분류가 ‘Case 2’이면서 깊이가 증가하는 경우가 3%임을 의미한다. 본 제안 기법에서는 이 관측 분포를 바탕으로 3%의 비율을 생략할 수 있는 수치라 판단하여 ‘Case 2’는 QT 깊이를 증가시키지 않고 참조블록과 동일한 깊이로 유지시킨다. 반면, ‘Case 1’에서 현재블록이 참조블록보다 QT 깊이가 증가할 가능성은 6%이다. 이

표 2. Case별 분할 깊이 변화(Intra, QT/BT)
 Table 2. Depth variation for each case (Intra, QT/BT)

Intra		QT		BT		Intra		QT		BT	
		Rate(%)	Prob(%)	Rate(%)	Prob(%)			Rate(%)	Prob(%)	Rate(%)	Prob(%)
Case1	감소	5	1	3	0	Case2	감소	24	9	16	2
	유지	58	10	76	3		유지	67	25	76	8
	증가	37	6	21	1		증가	9	3	8	1
Case3	감소	17	1	47	5	Case4	감소	4	0	3	0
	유지	79	5	46	4		유지	63	3	42	4
	증가	5	0	7	1		증가	33	2	56	5
Case5	감소	5	0	7	1	Case6	감소	7	2	18	9
	유지	75	5	66	9		유지	88	24	71	36
	증가	20	1	26	4		증가	5	1	11	6

표 3. Case별 분할 깊이 변화(Inter, QT/BT)
 Table 3. Depth variation for each case (Inter, QT/BT)

Intra		QT		BT		Intra		QT		BT	
		Rate(%)	Prob(%)	Rate(%)	Prob(%)			Rate(%)	Prob(%)	Rate(%)	Prob(%)
Case1	감소	5	0	0	0	Case2	감소	14	9	0	0
	유지	41	0	0	0		유지	71	25	0	0
	증가	55	0	0	0		증가	14	3	0	0
Case3	감소	31	4	36	5	Case4	감소	3	0	5	1
	유지	66	9	60	9		유지	62	9	54	8
	증가	3	0	4	1		증가	35	5	41	6
Case5	감소	4	1	9	1	Case6	감소	17	8	16	9
	유지	64	15	67	9		유지	76	35	74	43
	증가	33	8	24	3		증가	7	3	9	5

경우 QT 깊이를 유지시키지 않고 참조블록보다 증가시킨다. 증가의 정도는 식 (1)에 따라 결정된다. 즉, 식 (1)로 주어진 율-왜곡 비용의 비 α 에 따라서 깊이를 유지하거나 1 또는 2 증가시킨다.

$$\alpha = \frac{2 \times Cur + Ref}{Cur + 2 \times Ref}, \begin{cases} \alpha < 1.05 & , \text{Keep Depth} \\ 1.05 \leq \alpha < 1.1 & , \text{Increase 1 Depth (1)} \\ \alpha \geq 1.1 & , \text{Increase 2 Depth} \end{cases}$$

III. 실험 결과 및 분석

제안한 기법을 JEM 5.0에 구현하여 성능을 확인하였다. JEM의 테스트 시퀀스 클래스 A1, A2, B를 사용하였으며 QP는 22, 27, 32, 37로 설정하였다^[11]. 표 4는 Main Profile의 AI에서 실험한 제안 기법의 고속 블록 분할 결정 기법의 성능이고, RA에서의 실험성능은 표 5에 나타내었다. JEM

5.0을 Anchor로 하고 부호화 시간 변화량은 식 (2)를 사용하였다.

$$\Delta T(\%) = \frac{T_{proposed} - T_{JEM 5.0}}{T_{proposed}} \times 100 \quad (2)$$

표 4에서와 같이 제안 기법은 AI에서 기존 JEM 5.0 대비 평균 0.7%의 BD-rate 증가에 21.6%의 복잡도 감소를 보였고, RA 에서는 평균 1.2%의 BD-rate 증가와 11.0%의 복잡도 감소를 보였다. 실험 결과에서 B class 영상이 A class보다 상대적으로 복잡도 감소가 낮음을 볼 수 있다. 이는 CTU 단위로 부호화를 할 때, 영상의 해상도가 낮을수록 CTU에 포함되는 영상 정보가 많아지기 때문이라 볼 수 있다. 제안 기법에 깊이의 증가뿐만 아니라 특정 경우에서 참조블록 대비 깊이의 감소도 고려한다면 추가적인 성능이 예상된다.

표 4. 율-왜곡 비용을 이용한 고속 블록 분할 결정 기법 실험결과(AI, Anchor: JEM 5.0)

Table 4. Experimental results of fast QTBT depth decision using RD-cost (AI, Anchor: JEM 5.0)

Class	Sequence	Y	U	V	ΔT
A2 4096×2160	Tango	0.5%	-0.1%	0.1%	-29%
	Rollercoaster	0.5%	0.1%	0.1%	-26%
Average		0.5%	0.0%	0.1%	-27.5%
A1 3840×2160	CatRobot	0.6%	-0.4%	-0.1%	-14%
	Drums	0.5%	0.3%	0.2%	-31%
Average		0.6%	-0.1%	0.1%	-22.5%
B 1920×1080	BasketballDrive	1.3%	0.2%	0.2%	-16%
	Cactus	0.9%	0.1%	0.1%	-14%
Average		1.1%	0.2%	0.2%	-15%
Total Average		0.7%	0.0%	0.1%	-21.6%

표 5. 율-왜곡 비용을 이용한 고속 블록 분할 결정 기법 실험결과(RA, Anchor: JEM 5.0)

Table 5. Experimental results of fast QTBT depth decision using RD-cost (RA, Anchor: JEM 5.0)

Class	Sequence	Y	U	V	ΔT
A2 4096×2160	Tango	1.2%	1.5%	2.0%	-13%
	Rollercoaster	1.2%	1.9%	1.9%	-13%
Average		1.2%	1.7%	2.0%	-13%
A1 3840×2160	CatRobot	1.3%	1.2%	1.5%	-11%
	Drums	1.5%	1.4%	1.2%	-14%
Average		1.4%	1.3%	1.4%	-12.5%
B 1920×1080	BasketballDrive	0.7%	-0.2%	1.3%	-7%
	Cactus	1.2%	0.6%	1.7%	-8%
Average		1.0%	0.2%	1.5%	-7.5%
Total Average		1.2%	1.1%	1.6%	-11%

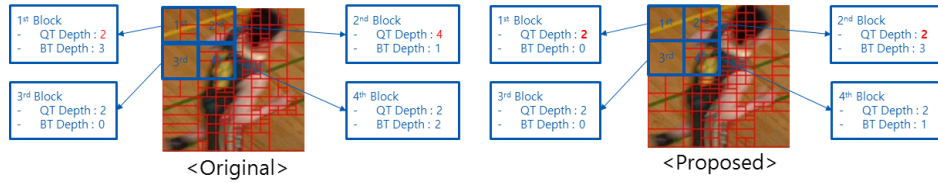


그림 6. 고속 블록 결정 기법 적용 전후의 블록 분할 예
Fig. 6. An example result of fast block partition method

그림 6은 기존 JEM 5.0과 비교해 제안 기법의 부호화 블록의 변화를 확인한 예이다. 제안 기법에 의해 기존에 비해 큰 CU로 부호화되었음을 확인할 수 있다. 따라서 이와 같은 변화들은 약간의 부호화 성능저하를 가져온다.

IV. 결론

본 논문은 JEM의 고속 부호화를 위하여 상위 깊이와 현재 깊이의 율-왜곡 비용을 이용한 QTBT 블록 분할 깊이 결정 기법을 제시하였다. 블록 분할 깊이 제한을 위해서 기존에 부호화 과정에서 얻어지는 3가지 율-왜곡 비용을 사용하였다. 상위 깊이와 현재 깊이의 부호화 정보를 이용하여 현재 깊이의 블록 분할 깊이를 예측해 볼 수 있다는 것을 확인하였다. 실험결과 기존 JEM 5.0 대비 AI 부호화 모드에서 0.7%의 BD-rate 증가에 21.6%의 복잡도 감소를 보였고, RA 부호화 모드에서는 1.2%의 BD-rate 증가와 11.0%의 복잡도 감소를 보였다. 제안 기법에서 참조블록의 깊이의 유지, 증가뿐만 아니라 감소도 고려한다면 추가적인 복잡도 감소가 예상된다.

참고 문헌 (References)

- [1] J. Chen, E. Alshina, G. J. Sullivan, J. -R. Ohm, and J. Boyce, "Algorithm Description of Joint Exploration Test Model 5," JVET document, JVET-E1001, Jan. 2017.
- [2] X. Li, K. Suehring, "Report of AHG3 on JEM software development," JVET document, JVET-E0003, Jan. 2017.
- [3] I. Kim, J. Min, T. Lee, W. Han, "Block Partitioning Structure in the HEVC Standard," IEEE Trans. Circuits. Syst. Video Technol., vol. 22, no. 12, pp. 1697-1706, Dec. 2012.
- [4] J. G. Jang, H. Y. Choi, and J. G. Kim, "Fast PU Decision Method Using Coding Information of Co-Located Sub-CU in Upper Depth for HEVC," J. Broadcasting Engineering, vol. 20, no. 2, Mar. 2015.
- [5] J. W. Kim, D. H. Kim, J. G. Kim, "An Early Termination Algorithm of Prediction Unit (PU) Search for Fast HEVC Encoding," J. Broadcasting Engineering, vol. 19, no. 5, Sep. 2014.
- [6] H. M. Yoo, S. Y. Shin, J. W. Suh, "Fast CU Decision Algorithm using the Initial CU Size Estimation and PU modes' RD Cost," J. Broadcasting Engineering, vol. 19, no. 3, May. 2014.
- [7] J. An, H. Huang, K. Zhang, Y. W. Huang, S. Lei, "Quadtree plus binary tree structure integration with JEM tools," JVET document, JVET-B0023, Feb. 2017.
- [8] Y. Yamamoto, T. Ikai, Y. Yasugi, "AHG5: Improved fast encoding setting," JVET document, JVET-E0023, Jan. 2017.
- [9] P. -H. Lin, Y. -J. Chang, C. -L. Lin, C. -C. Lin, "AHG5: Improved fast algorithm in JEM 4.0," JVET document, JVET-E0078, Jan. 2017.
- [10] Z. Wang, S. Wang, J. Zhang, S. Ma, "Local-constrained quadtree plus binary tree block partition structure for enhanced video coding," In. Proc. Visual Communications and Image Processing (VCIP), 2016.
- [11] K. Suehring, X. Li, "JVET common test conditions and software reference configurations," JVET document, JVET-B1010, Feb. 2017.

저 자 소 개



윤 용 욱

- 2017년 2월 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 학사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 석사 과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-5105-5437>
- 주관심분야 : 비디오 부호화, 영상처리, 360 VR 비디오



박 도 현

- 2016년 2월 : 국립한밭대학교 멀티미디어공학과 학사
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 석사 과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-5873-0132>
- 주관심분야 : 비디오 부호화, 영상처리, 360 VR 비디오



김 재 곤

- 1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1992년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 석사
- 1992년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 박사
- 1992년 3월 ~ 2007년 2월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원/팀장
- 2001년 9월 ~ 2002년 7월 : 뉴욕 콜롬비아대학교 연구원
- 2015년 12월 ~ 2016년 1월 : UC San Diego, Visiting Scholar
- 2007년 9월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-3686-4786>
- 주관심분야 : 비디오 부호화, 비디오 신호처리, 영상통신, 디지털방송 미디어