

시간적 상관도를 활용한 조건부 대체 알고리즘 성능 개선

이 승 준*, 손 인 수*, 김 성 훈**, 정 승 원**, 정 경 훈*, 강 동 욱*

Performance Improvement of Conditional Replenishment Algorithm Using Temporal Correlation

Seung-Jun Lee*, Insu Son*, Sung-Hoon Kim**, Seong-won Jung**,
 Kyung-hoon Jung*, Dong-Wook Kang*

요 약

지상파 방송 환경에서 지상파 UHD 사용자 선택형 입체미디어 서비스를 제공할 때, 비대칭적인 양안 영상의 화질 문제는 항상 대두됐다. 이를 해결하기 위해, 양안 영상의 상관도를 활용한 조건부 대체 알고리즘이 연구된 바 있다. 기존의 알고리즘은 고화질 기준 영상을 시차 보상하여 저화질 부가 영상에 적용하는 방식으로 화질을 개선 시켜왔다. 본 논문은 조건부 대체 알고리즘에 시간적 상관도를 이용하여 더욱 효율적으로 부호화 하는 확장된 알고리즘을 제안한다. 이전 시각에 이미 보상되어 복원된 고화질의 부가 영상을 이용해, 현재 시각의 저화질 부가 영상을 움직임을 보상한다. 제안하는 알고리즘은 이전 알고리즘에 비해 실사 및 애니메이션 540P, 1080P 클립에 대해 각각 평균 30.5%, 19.8% 의 개선된 비트 절감율을 보였다.

Key Words : Hybrid 3DTV, Conditional Substitution Algorithm, Image quality improvement

ABSTRACT

When providing fixed/mobile broadcast convergence 3DTV services in a terrestrial broadcasting environment, the problem of image quality of asymmetric binocular images has always emerged. To solve this problem, a conditional replenishment algorithm using the correlation of binocular images has been studied. Existing algorithms have improved image quality by compensating the high-definition reference image in a parallax manner and applying it to the low-definition additional image. This paper proposes an extended algorithm that uses temporal correlation to encode conditional replenishment algorithms more efficiently. By using a high-definition additional image that has already been compensated and restored at the previous time, motion compensation is performed on the low-definition additional image of the present time. The proposed algorithm showed Bit saving performance of 19.8% and 30.5% on average for real-film and animation clips 540P and 1080P clips, respectively, compared to previous algorithms.

※ 본 연구는 한국전자통신연구원 연구 운영비 지원 사업의 일환으로 수행되었습니다. [23ZH1200, 초실감 입체공간 미디어·콘텐츠 원천 기술 연구]

• First Author : Kookmin University, Multimedia Signal Processing Lab., ysjtue2000@kookmin.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Kookmin University, Multimedia Signal Processing Lab., dwkang@kookmin.ac.kr, 중신회원

* Kookmin University, Multimedia Signal Processing Lab., insu1503@kookmin.ac.kr; khjung@kookmin.ac.kr, 정회원

** Electronics & Telecommunications Research Institute, steve-kim@etri.re.kr; jsw@etri.re.kr, 정회원

논문번호 : 202210-237-C-RE, Received September 30, 2022; Revised December 4, 2022; Accepted December 11, 2022

I. 서 론

본 논문은 융합형 3DTV 시스템에서 양안 영상의 화질 차이를 좁혀, S3D(Stereoscopic 3D) 영상의 화질 개선을 위한 방법을 제안한다. 융합형 3DTV는 전송 대역폭의 효율적인 활용을 고려하여, 고해상도의 기준 영상과 저해상도의 부가 영상 사이의 합성을 통해 3D 서비스를 제공하는 시스템을 말한다. 이 시스템에서 S3D 영상은 저해상도의 부가 영상(우 영상)을 기준 영상(좌 영상)의 고해상도만큼 업스케일링 하여 합성하는 방식으로 제작된다. 업스케일링 된 부가 영상은 기준 영상 대비 화질이 떨어지게 되고, 이 둘의 합성은 결국 S3D 영상의 화질 저하로 이어진다. 하지만 BSE(Binocular Suppression Effect)^[1]에 의해, 양안의 화질이 비대칭적이어도 그 차이 값이 일정 임계를 넘지 않는다면 인간은 주관적으로 고화질인 기준 영상의 화질을 S3D 영상의 화질로 인식하게 되므로 융합형 3DTV 시스템은 효율적인 S3D 서비스 방식이라고 할 수 있다.

한편, 업스케일링 된 부가 영상과 기준 영상 사이의 화질 차이가 BSE 유효 구간 밖에 있을 때, 시청자는 이질감을 느낀다^[2]. 따라서 부가 영상과 기준 영상 사이의 화질 차이를 좁힐 필요가 있으며, 선행연구로써 조건부 대체 알고리즘(CRA: Conditional Substitution Algorithm)^[3]이 제안되었다. 조건부 대체 알고리즘은 기준 영상의 블록을 시차 보상하여 부가 영상의 블록을 대체하는 방식으로 부가 영상의 화질을 개선 시키고, 나아가 S3D 영상의 화질을 개선 시킨다. 이때, 부가 영상의 화질을 개선하는 데 사용될 데이터를 VEI(Video Enhancement Information)라 정의하며, 일반적으로 이는 매우 작은 용량을 갖는 부가 데이터이다. 융합형 3DTV 시스템이 대역폭의 효율적인 활용을 고려하기 때문에, 소량의 부가 정보로 부가 영상의 화질을 최대한 개선하는 것을 목표로 한다.

본 논문에서는 이전 알고리즘을 계승하며, 이전 프레임과 현재 프레임 사이의 시간적 상관 정보를 추가로 활용하는 확장된 조건부 대체 알고리즘을 제안한다. 본문에서 확장된 알고리즘의 이해를 위해, 기존의 알고리즘을 설명한 뒤, 실험을 통해 부호화 효율 향상을 입증한다.

II. 본 론

2.1 기존의 조건부 대체 알고리즘

전체적인 알고리즘 설명에 앞서 기준 영상은 고해

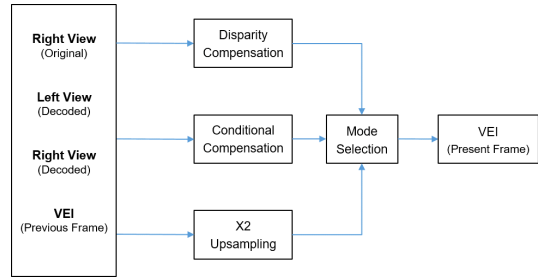


그림 1. 기존의 조건부 대체 알고리즘.
Fig. 1. Conditional Substitution Algorithm.

상도의 좌안 영상, 부가 영상은 저해상도의 우안 영상으로 정의한다. 그림 1은 기존의 조건부 대체 알고리즘을 표현한 개략도이다. 기존의 조건부 대체 알고리즘은 하나의 프레임 내부를 블록 단위로 나누어, 블록마다 3가지 모드의 후보 블록을 생성한 뒤, 가장 화질이 개선된 블록의 정보를 선택하는 방식이다. 첫 번째로, 현재 시각의 기준 영상의 블록과 부가 영상의 블록 간의 시차를 추정한 뒤, 이를 기준 영상 블록에 보상하여 후보 블록을 생성한다. 두 번째로, 이전 프레임에 적용되었던 시차 정보들을 재활용하여 후보 블록을 생성한다. 마지막으로, 부가 영상을 기준 영상의 해상도만큼 업스케일링 했을 때의 후보 블록을 생성한다. 그리고 생성된 3가지 후보 모드 중 PSNR의 개선율과 개선에 이용되는 정보를 부호화한 비트열의 길이를 고려한 라그랑주 승수법(Lagrange Multiplier Method)을 통해 최적의 모드를 결정한다. 결과적으로 해당 블록의 위치 정보와 모드 정보 및 관련된 시차 정보로 구성된 하나의 부가 정보를 생성하며, 이를 VEI라 한다.

2.2 기존의 조건부 대체 알고리즘

시간적 상관도란 급격한 화면의 전환이 이루어지지 않았다면, 현재 프레임과 이전 프레임 사이에는 미세한 차이만 있을 뿐, 거의 유사하다는 특징을 말한다. 이에 따라 연속된 프레임 사이에는 높은 시간적 중복성을 갖게 되고, 이를 감소시키기 위해, 연속된 두 프레임 사이의 움직임 변위를 추정하는 움직임 추정(Motion estimation)과 추정된 변위만큼 보상하는 움직임 보상(Motion compensation)기법이 사용된다. 움직임 추정은 영상 프레임을 작은 블록들로 나눈 뒤, 현재 블록이 시간이 흐름에 따라 이동되었을 때, 이동한 블록을 예측하는 것이다. 현재 프레임을 기준으로 앞, 뒤 영상 프레임만으로도 예측이 가능하다면, 압축률은 더욱 높아진다.

조건부 대체 알고리즘에서 이전 시각에서 얻어진 부가 데이터를 이용하면 개선된 화질의 이전 부가 영상 프레임 생성할 수 있으며, 이를 복원 영상 프레임이라 부른다. 현재 부가 영상 프레임과 복원 영상 프레임 사이의 시간적 상관도를 활용한다면, 움직임 보상을 통한 더 효율적인 화질 개선 정보를 얻을 수 있다. 그림 2. 는 제안하는 확장된 조건부 대체 알고리즘의 개략도이고, 적용 대상은 P-frame이다. 이전 프레임의 정보가 없는 I-frame은 시차 보상 모드가 적용된다. 움직임 추정 및 보상 모드는 이전 시각의 부가 데이터를 이용해 복원 영상 프레임을 만들고, 해당 프레임과 현재 부가 영상 사이의 움직임 벡터를 추정한 뒤, 움직임 보상을 시행한다. 움직임 보상을 위해 이전 시각의 프레임을 이미 정해진 부가 정보로 복원하는 작업이 선행되며, 이 과정에서 고품질의 기준 영상과 같은 해상도의 부가 영상이 생성이 가능하다. 즉 고품질의 복원 영상과 현재 저화질의 영상 사이의 움직임 벡터를 추정하여 보상을 한다. 조건부 보상 모드는 이전 알고리즘의 조건부 보상 모드의 확장으로 재사용할 부가 정보를 시차 벡터 정보로 한정하지 않고 움직임 벡터를 포함하는 것이다, 이전 프레임 복원에 사용했던 시차나 움직임 정보가 존재하는 화소들에 대해서 그 시차나 움직임 정보를 재사용하는 방식으로 요약할 수 있다. 즉 기존 알고리즘에 “움직임 추정 및 보상” 모드를 추가하고, “이전 프레임 시차에 의한 조건부 보상” 모드를 “이전 프레임의 시차와 움직임 벡터에 의한 조건부 움직임 및 시차 보상” 모드로 확장함으로써, 더 효율적으로 부가 정보를 생성하며, 새로운 시차나 움직임 벡터의 추정 대신 기존 데이터를 이용하므로 더 많은 비트를 절약할 수 있다.

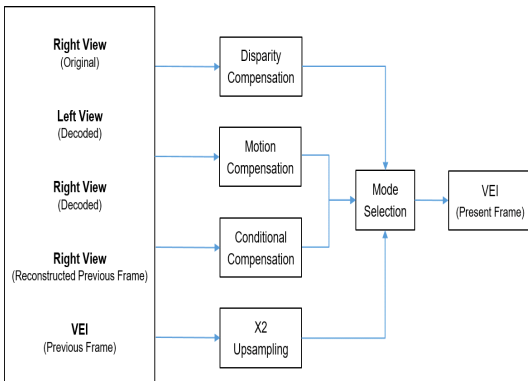


그림 2. 확장된 조건부 대체 알고리즘.
Fig. 2. Extended Conditional Substitution Algorithm.

III. 성능 평가 방법 및 실험 결과

3.1 실험 환경 및 방법.

UHD 스테레오 영상에 대하여 실험을 진행하였으며, 실험 시퀀스에 대한 정보는 표 1과 같다. UHD 급 화질을 가지면서 스케일러빌리티(scalability)를 실험할 수 있는 공동 실험 조건(CTC: Common Test Condition) 환경이 갖춰있지 않은 관계로, 시퀀스의 주관적 화질을 고려하여 ITU-T P.910 권고안에 따라 CTC와 최대한 같은 SI(Spatial perceptual information), TI(Temporalperceptual information)^[4]를 갖는 시퀀스를 선정하여 부호화를 진행하였다. 각각의 값을 구하는 식은 식 (1), (2)로 표현된다. 값의 선정 방식은 일정 time interval 내의 최대 SI값과 TI 값을 선택하는 것으로 SI는 한 프레임 내의 수직 방향의 엣지 성분과 수평 방향의 엣지 성분의 요소별 유클리드 거리의 표준편차를 의미하고, TI는 연속된 두 프레임의 화소별 차이의 표준편차를 의미한다. SI가 높을수록 프레임 내 복잡도가 높으며, TI가 높을수록 프레임 간의 화면 전환률이 높다. 실험 시퀀스로는 24fps 실사 영상 *Secrete of the Universe*와 애니메이션 영상 *Nutjob*, *Sweet Rollercoaster*에 대해서 복잡한 화면과 단순한 화면을 대표하는 두 구간씩의 영상 클립을 사용하였다. 화면의 복잡도는 SI를 기준으로 평가하였으며, 선택된 클립의 SI를 표 1에 나타내었다. 클립마다 65 프레임의 부호화 결과를 산출하였다.

$$SI = \max_{time} std_{space} [Sobel(F_n)]. \quad (1)$$

$(F: frame, n : frame_{vm})$

$$TI = \max_{time} std_{space} [M_n]. \quad (2)$$

$(M = F_i - F_j).$

표 1. 시퀀스 정보.
Table 1. Sequence Info.

Class	Sequence		Resolution	
	Name/part	SI	BL	EL
Ani- mation	NJ P1	170.8	540P, 1080P	2160P
	NJ P2	251.7		
	SRC P1	190.6		
	SRC P2	131.2		
Real Film	SOTU P1	124.3		
	SOTU P2	254.7		
Allocated Bitrate	BL : 2 Mbps EL : 15 Mbps VEI : 400, 800, 1200, 1600 Kbps			

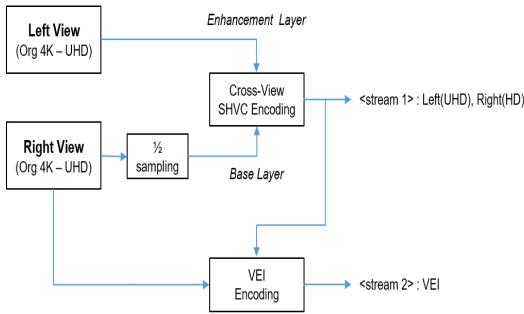


그림 3. 융합형 3DTV 시스템과 조건부 대체 알고리즘을 결합한 실험 개략도
 Fig. 3. An experimental schematic that combines a hybrid 3DTV system with a conditional replenishment algorithm.

그림 3은 실험에 대한 개략도이다. 조건부 대체 알고리즘을 적용할 기준 영상과 부가 영상은, 방송 시나리오를 고려하여 각각 15Mbps, 2Mbps의 비트율을 할당하여 부호화하였다. 사용된 코덱은 SHVC 참조 소프트웨어인 SHM-12.4 이고, 기준 영상을 EL, 부가 영상을 BL로 하는 Cross-View SHVC^[5] 방식을 선택했다. VEI 부호화는 400 ~ 1600Kbps로 4구간으로 나누어 비트를 할당하여 수행되었다. 수신단에서 얻어지는 <stream1>은 SHVC 복호화되고, 복호화된 두 영상과 수신된 <stream 2>를 이용해 VEI 부호화 하여 화질이 개선된 UHD 해상도의 부가 영상을 얻을 수 있다.

3.2 실험 결과 및 분석.

이전 알고리즘 대비 확장된 알고리즘의 부호화 성능은 B-DBR(Bjontegaard-Delta Bitrate)^[6], B-DSNR을 사용하여 평가 및 비교하였다. 표 2는 이전 알고리즘 대비 확장된 알고리즘의 비트 절감율과 PSNR 상승을 비교를, 표 3은 이전 알고리즘 대비 확장된 알고리즘의 복잡도 비교를 나타낸다. 부가 영상이 540P, 1080P일 때, 각각에 대해 평균 30.5%, 19.8%의 부호화 효율이 개선됨을 확인하였다. 두 부호화기에 대한 복잡도를 추정하기 위해, 각각에 대한 실행시간을 측정하여 비교하였다. 부가 영상의 해상도가 1080P인 시퀀스의 클립을 기준으로 측정하였으며, 할당 VEI 비트율은 500 Kbps이다. 확장된 알고리즘은 이전 알고리즘 대비 평균 34.9%의 실행시간 증가율을 보인다. VEI 부호화 특성 상 실행시간이 15분 내외로 매우 짧기 때문에, 약 35%의 실행시간 증가율 대비 UHD-HD 조합에서 20%의 부호화 효율 향상은 의의가 있다.

표 2. 시퀀스의 4 구간에 대한 B-DBR, B-DSNR 성능
 Table 2. B-DBR and B-DSNR performance for 4 intervals of the sequences.

(a) 부가 영상의 해상도 540P: 성능 비교
 (a) Resolution of the additional video is 540P: performance comparison.

Sequence		B-DBR	B-DSNR
540P	NJ P1	-42.99	0.449
	NJ P2	-50.71	0.792
	SRC P1	-18.56	0.091
	SRC P2	-29.72	0.543
	SOTU P1	-25.85	0.125
	SOTU P2	-15.18	0.029
Avg		-30.5	0.34

(b) 부가 영상의 해상도 1080P: 성능 비교
 (b) Resolution of the additional video is 1080P: performance comparison.

Sequence		B-DBR	B-DSNR
1080P	NJ P1	-23.08	0.157
	NJ P2	-35.32	0.289
	SRC P1	-16.19	0.076
	SRC P2	-20.01	0.197
	SOTU P1	-11.58	0.04
	SOTU P2	-12.61	0.023
Avg		-19.80	0.13

표 3. 이전 알고리즘 대비 제안 알고리즘 실행시간
 Table 3. Proposed algorithm run time compared to previous algorithm.

Sequence (1080P)	Bitrate	Run Time (s)	
		previous	proposed
NJ P1	500Kbps	769.2	975.3
NJ P2		887.1	1271.4
SOTUP1		824.7	901.7
SOTUP2		1097.6	1571.6
SRCP1		1029.4	1481.5
SRCP2		993.9	1422.3
Avg		933.7	1270.6

그림 3 ~ 그림 8은 실험에 사용된 클립에 대하여, 이전 알고리즘과 현재 알고리즘의 R-D 성능을 비교한 것이다. 부가 영상의 해상도가 540P일 때 성능 개선의 폭이 넓어지는 것은, 기준 영상의 해상도로 업스케일링 하는 과정에서 더 큰 PSNR 손실을 갖기 때문이다.

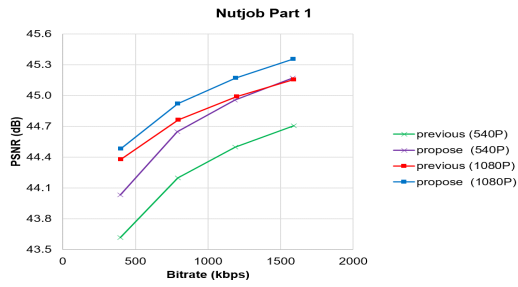


그림 4. NJ P1
Fig. 4. NJ P1



그림 8. SOTU P1
Fig. 8. SOTU P1

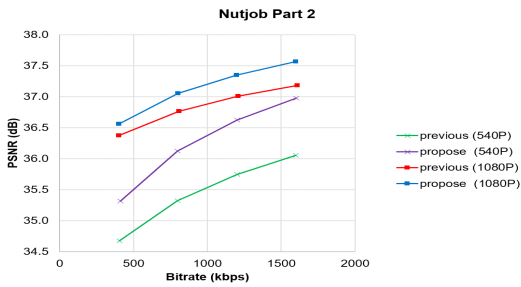


그림 5. NJ P1
Fig. 5. NJ P1

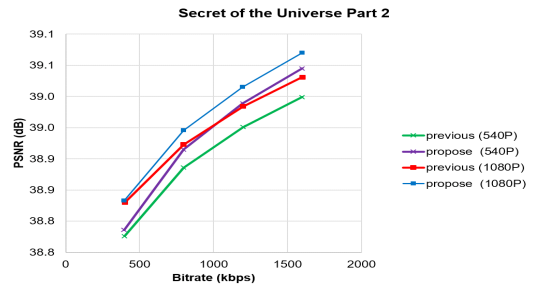


그림 9. SOTU P2
Fig. 9. SOTU P2

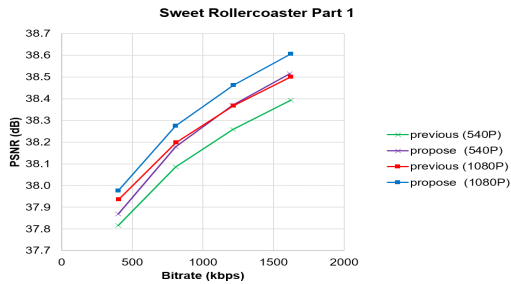


그림 6. SRC P1
Fig. 6. SRC P1

그림 9~그림 14는 부가 영상을 알고리즘을 통해 화질을 개선 시킨 예시이다. 좌측은 부가 영상을 기준 영상만큼 단순히 업스케일링을 진행한 이미지를, 우측은 조건부 대체 알고리즘을 통해 화질을 개선 시킨 이



그림 10. 알고리즘 적용 예시 - NJ P1
Fig. 10. Algorithm application example - NJ P1



그림 7. SRC P1
Fig. 7. SRC P1



그림 11. 알고리즘 적용 예시 - NJ P2
Fig. 11. Algorithm application example - NJ P2



그림 12. 알고리즘 적용 예시 - SRC P1
Fig. 12. Algorithm application example - SRC P1



그림 13. 알고리즘 적용 예시 - SRC P2
Fig. 13. Algorithm application example - SRC P2

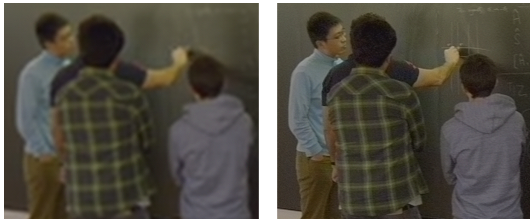


그림 14. 알고리즘 적용 예시 - SOTU P1
Fig. 14. Algorithm application example - SOTU P1



그림 15. 알고리즘 적용 예시 - SOTU P2
Fig. 15. Algorithm application example - SOTU P2

미지를 나타낸다.

IV. 성능 평가 방법 및 실험 결과

비대칭적 화질을 갖는 융합형 3DTV 시스템에서 양안의 화질 차이가 과도하게 클 때 나타나는 이질감을 해결하기 위해 조건부 대체 알고리즘이 사용되고 있다. 본 논문은 시차 보상된 기준 영상을 이용한 기존의 조건부 대체 알고리즘에 움직임 보상된 이전 프

레이م 영상을 이용한 조건부 대체 방법을 추가한 확장된 조건부 대체 알고리즘을 제안한다. 4K-UHD 좌 영상에 대하여 우영상의 해상도가 540P와 1080P일 때, 제안하는 방식을 통해 VEI 부호화 과정에서 이전 알고리즘 대비 각각 평균 30.5%, 19.8%의 부호화 효율 개선을 달성하였다. 또한 1080P의 실험 클립에 대하여, 제안하는 확장된 알고리즘이 이전 알고리즘 대비 평균 34.9%의 실행시간 증가율을 보였으나, VEI 부호화의 평균 실행시간은 15분 내외로 시간에 크게 구애받지 않는 특징을 갖고 있기 때문에, 약 20%의 부호화 효율 향상은 큰 의미를 갖는다.

References

- [1] L. B. Stelmach and W. J. Tam, "Stereoscopic image coding: Effect of disparate image quality in left- and right-eye views," *Signal Processing: Image Commun.*, vol. 14, pp. 111-117, 1998.
([https://doi.org/10.1016/S0923-5965\(98\)00031-9](https://doi.org/10.1016/S0923-5965(98)00031-9))
- [2] X Wang, G. Y. Jinag, J. M. Zhou, Y. Zhang, F. Shao, Z. J. Peng, and M. Yu, "Visibility threshold of compressed stereoscopic image: Effects of asymmetrical coding," *The Imaging Sci. J.*, vol. 61, pp. 172-176, 2013.
(<https://doi.org/10.1179/1743131X11Y.0000000035>)
- [3] ATSC, *3DTV Terrestrial Broadcasting Part5: Service Compatible 3D-TV using Main and Mobile Hybrid Delivery*, ATSC A/104 Part 5, 2015.
- [4] ITU-T, "Subjective video quality assessment methods for multimedia applications," ITU-T Recommendation P.910rev, pp. 2-5, 2008.
- [5] D. W. Kang, K. H. Jung, J. W. Kim, and J. H. Kim, "Hybrid 3DTV systems based on the cross-view SHVC," *J. Broadcast Eng.*, vol. 23, no. 2, pp. 316-319, 2018.
(<https://doi.org/10.5909/JBE.2018.23.2.316>)
- [6] G. Bjontegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-Curves," *ITU SG16 Doc. VCEG-M33*, 2001.

이 승 준 (Seung-Jun Lee)



2021년 2월: 국민대학교 전자
시스템 공학 졸업
2021년 3월~현재: 국민대학교
대학원 전자공학 석사과정
<관심분야> 영상처리, 딥 러닝,
비디오 코딩

손 인 수 (Insu Son)



2020년 8월: 국민대학교 전자공
학 졸업
2020년 8월~현재: 국민대학교
전자공학과 석사과정
<관심분야> 영상처리, 딥 러닝,
비디오 코딩

김 성 훈 (Sung-Hoon Kim)



1994년: 국민대학교 전자공학
졸업
1996년: 국민대학교 전자공학석
사
2008년: 국민대학교 전자공학박
사
2008년~현재: ETRI 책임연구원
<관심분야> 지상파 및 모바일 DTV, 3DTV 및
UHDTV 방송 시스템

정 승 원 (Seong-won Jung)



2021년 2월: 동아대학교 대학원
통신공학 석사
2021년 3월~현재: ETRI 연구원
<관심분야> 비디오 압축 및 실시
간 처리

정 경 훈 (Kyung-hoon Jung)



1987년 2월: 서울대학교 전자공
학 졸업
1989년 2월: 서울대학교 대학원
전자공학 석사
1996년 2월: 서울대학교 대학원
전자공학 박사
1991년 12월~1997년 2월: 한국
영상산업진흥원 선임연구원
1997년 3월~2005년 2월: 한동대학교 전산전자공학부
교수
2005년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수
<관심분야> 멀티미디어신호처리, 디지털 방송

강 동 옥 (Dong-Wook Kang)



1986년 2월: 서울대학교 전자공
학 졸업
1988년 2월: 서울대학교 대학원
전자공학 석사
1995년 2월: 서울대학교 대학원
전자공학 박사
1995년~현재: 국민대학교 전자
공학부 교수
2000년 9월~2001년 8월: Lucent Technology MTS.
<관심분야> 비디오 코딩, 영상통신