

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제24권 제6호, 2019년 11월 (JBE Vol. 24, No. 6, November 2019)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2019.24.6.965>

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

Stereo 360 VR을 위한 실시간 압축 영상 획득 시스템

최민수^{a)}, 백준기^{a)†}

Real-Time Compressed Video Acquisition System for Stereo 360 VR

Minsu Choi^{a)} and Joonki Paik^{a)†}

요 약

본 논문에서는 Stereo 4K@60fps 360 VR 실시간 영상 획득 시스템을 영상 스트림 획득과 영상 인코딩(encoding), 영상 스티칭(stitching) 모듈로 나누어 설계하였다. 시스템은 6대의 카메라로부터 HDMI Interface를 통해 획득된 6개의 2K@60fps의 영상 스트림을 스티칭을 통하여 실시간으로 Stereo 4K@60fps 360 VR 영상을 획득한다. 영상 획득 단계에서는 멀티 스레드(Multi-Thread)를 이용하여 각 카메라로부터 실시간으로 영상 스트림을 획득하였다. 영상 인코딩 단계에서는 영상 획득과 영상 스티칭 모듈 간의 전송 리소스를 줄이기 위하여 멀티 스레드를 이용한 Raw Frame 메모리 전송과 병렬 인코딩을 하였다. 영상 스티칭 단계에서는 스티칭 Calibration 전처리작업을 통하여 스티칭 실시간성을 확보하였다.

Abstract

In this paper, Stereo 4K@60fps 360 VR real-time video capture system which consists of video stream capture, video encoding and stitching module is been designed. The system captures stereo 4K@60fps 360 VR video by stitching 6 of 2K@60fps stream which are captured through HDMI interface from 6 cameras in real-time. In video capture phase, video is captured from each camera using multi-thread in real-time. In video encoding phase, raw frame memory transmission and parallel encoding are used to reduce the resource usage in data transmission between video capture and video stitching modules. In video stitching phase, Real-time stitching is secured by stitching calibration preprocessing.

Keyword : 360 VR, Parallel HW Encoding, Video Stitching, Stitching Calibration

a) 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과(Dept. of Image Engineering, Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia and Film, Chung-Ang University)

† Corresponding Author : 백준기(Joon ki Paik)

E-mail: paikj@cau.ac.kr

Tel: +82-2-820-5407

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8593-7155>

※ This research is supported by Ministry of Culture, Sports and Tourism(MCST) and Korea Creative Content Agency(KOCCA) in the Culture Technology(CT) Research & Development Program 2017 (R2017030018).

· Manuscript received September 5, 2019; Revised November 4, 2019; Accepted November 12, 2019.

I. 서론

5G 시대가 도래함에 따라 게임, 스포츠 중계, 교육, 영상 서비스 등 다양한 분야에서 VR(Virtual Reality) 서비스가 주목받고 있다. 하지만 360 VR 영상의 경우 영상의 해상도, 품질 등의 이유로 사용자들에게 외면 받고 있는 실정이다^{[1][2]}. 그 이유는 사람들이 VR영상을 고품질로 멀미감 없이 느끼기 위해서는 8K 이상의 해상도와, 130FPS 이상의 높은 프레임율(framerate)을 필요로 하기 때문이다^{[3][4]}. 이에 VOD 서비스 환경에서는 제한적으로 8K 360 VR 영상 스트리밍 서비스가 제공되고 있으나, LIVE 스트리밍 환경에서는 8K급의 360 VR 영상 스트리밍 서비스가 이루어지고 있지 않다.

최근 NVIDIA에서 실시간으로 360 VR 영상을 생성할 수 있는 기술을 VRWorks^[6]에서 발표하였으나 생성되는 영상은 4K Stereo, 30FPS 정도로 사람들이 고품질로 느끼기에 여전히 부족함이 있다. 이에 본 논문에서는 실시간으로 생성되는 4K급 360 VR 영상에서 프레임율을 높이기 위한 방안으로 병렬 인코딩(encoding) 스케줄링 기법을 제안하고, 제안하는 방식을 적용한 360 VR카메라 시스템 실험 환경을 구축하여, 실험을 수행하였다. 실험에서는 생성된 360 VR 영상의 비트율(bitrate)과 프레임율을 측정하고, 기존 연구들과 비교하여 생성된 영상에 대한 품질을 검증하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 관련 연구로 360 VR 영상을 생성하기 위한 사전 연구를 수행하고, 3장에서 실시간 360 VR영상 생성 시 프레임율을 높이기 위한 병렬 인코딩 기법을 제안하고 이를 적용한 360 VR 카메라 시스템을 설계한다. 4장에서는 제안하는 360 VR 카메라 시스템을 사용하여 실험을 수행하고 기능과 성능을 검증하였다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 360 VR Video 실시간 획득 기술

NVIDIA VRWorks 360 Video SDK는 영상 스티칭(stitching)을 지원하는 라이브러리로, 실시간 영상 스티칭과 오

프라인 고품질 영상 스티칭을 지원한다^{[5][6]}. SDK는 최대 32개의 영상 스트림에 대한 스티칭을 지원하며, 스티칭 과정에서 GPU 가속화 기능을 통해 GPU의 성능을 최대한 활용한다. 또, 영상 스티칭을 위해서 별도의 Calibration 전처리작업을 진행하는데, 이는 각 카메라에서 획득된 영상 샘플과 카메라 및 렌즈의 정보를 입력 받아 특징점 추출과 이미지등록을 미리 수행하여 스티칭 속도를 향상시킨다.

기존 영상 획득 과정은 카메라로부터 획득된 Raw Frame을 별도의 전처리과정 없이 전송하기 때문에 영상 획득 장비와 영상 스티칭 장비간 영상 전송에 많은 대역폭 리소스를 차지한다. 또한, 해상도가 높아질 수록 더욱 각 모듈 간 Raw Frame 전송에 필요한 대역폭 리소스가 증가하기 때문에 두 모듈 간 전송 리소스 부담이 증가한다. 본 논문에서는 각 모듈 간 대역폭 리소스를 최소화하기 위하여 카메라로부터 획득된 영상을 병렬로 인코딩 하고, 압축 영상 단위로 스티칭을 하여 360 VR 영상으로 출력한다.

2. 360 VR 영상 카메라

KOLOR의 오토파노(AutoPano), VIDEOSTITCH의 비디오스티치 스튜디오(VideoStitch Studio) 등은 프레임 단위 스티칭 솔루션으로 각 카메라로부터 전달받은 영상들을 매 프레임으로 나누어 스티칭을 진행한다. 색 보정, 마스크링 등과 같은 다양한 기능을 제공하여 4K급 이상의 고해상도, 고품질의 스티칭 영상을 제공하나 실시간 스티칭은 지원하지 않는다.

일체형 360 VR 카메라를 통한 영상 획득은 2대의 어안렌즈 혹은 다수의 일반 렌즈를 이용하여 각 카메라로부터 영상 스트림을 획득하고, 이를 자체적으로 스티칭 하여 360 VR 영상으로 제공한다. [표 1]은 상용 일체형 360 VR 카메라에

표 1. 일체형 360 VR 카메라의 획득 영상 정보

Table 1. Captured video information of integrated 360 VR camera

Device	Num of Lens	Video Resolution	Frame Rate	Bitrate
360 Round	17	4096 x 4096	30fps	120Mbps
Yi 360	2	3840 x 1920	30fps	6Mbps
Insta360 Pro	6	3840 x 1920 3840 x 3840	30fps 24fps	40Mbps
Orah i4	4	4096 x 2048	30fps	25Mbps

서 실시간 360 VR 영상 획득을 통해 얻을 수 있는 360 VR 영상의 최대 정보를 나타낸다. 기기 자체적으로 영상 획득과 스티칭을 수행하기 때문에 영상은 4K급의 고해상도를 지원하나, 높은 프레임율과 비트율을 지원하지 못한다.

III. 본 론

1. 실시간 영상 병렬 인코딩 기법 제안

실시간 영상 병렬 인코딩 모듈은 [그림 1]과 같이 메모리 전송 스레드(Thread)와 인코딩 스레드로 구성된다. 메모리 전송 스레드는 CPU의 메모리에 저장되어 있는 6개의 영상 스트림을 계속적으로 체크하여 우선순위에 따라 일정 Time-Block 이상의 영상 스트림이 누적되면 이를 GPU의 메모리로 전달한다. 영상 스트림을 전달하는 과정은 첫 번째 영상 스트림을 실시간으로 처리한 뒤 나머지 영상 스트림을 순차적으로 전달한다.

인코딩 스레드는 GPU의 메모리를 계속적으로 체크하여 메모리에 영상 스트림이 전달된 경우 GPU의 HW 인코더

(encoder)를 이용하여 병렬 인코딩을 시작한다. HW 인코더는 최대 두개의 세션으로 나누어져 병렬적으로 인코딩 된다. 메모리 전송 스레드의 메모리 전송 시간은 인코딩 스레드의 인코딩 시간에 비해 상대적으로 매우 짧기 때문에 HW 인코더는 영상 스트림의 모든 전송을 기다리지 않고 세션 별로 첫 번째 영상 스트림의 전송이 완료되면 인코딩을 진행한다.

2. 실시간 360 VR 영상 생성 시스템 설계

실시간 360 VR 영상 생성 시스템의 구조는 [그림 2]와 같다. 시스템은 제안하는 실시간 영상 병렬 인코딩 기법을 기반으로 실시간 영상 스트림 획득 모듈, 실시간 영상 스티칭 모듈과 함께 구성한다. 실시간 영상 스트림 획득 모듈은 카메라로부터 영상 스트림을 획득한다. 획득한 영상 스트림은 스티칭 Calibration을 위하여 실시간 영상 스티칭 모듈로 첫 프레임을 전달한 뒤 지속적으로 실시간 영상 병렬 인코딩 모듈로 전달한다. 실시간 영상 스티칭 모듈은 스티칭 Calibration 작업을 진행한 뒤, 실시간 영상 병렬 인코딩 모듈로부터 전달받은 영상을 스티칭한다.

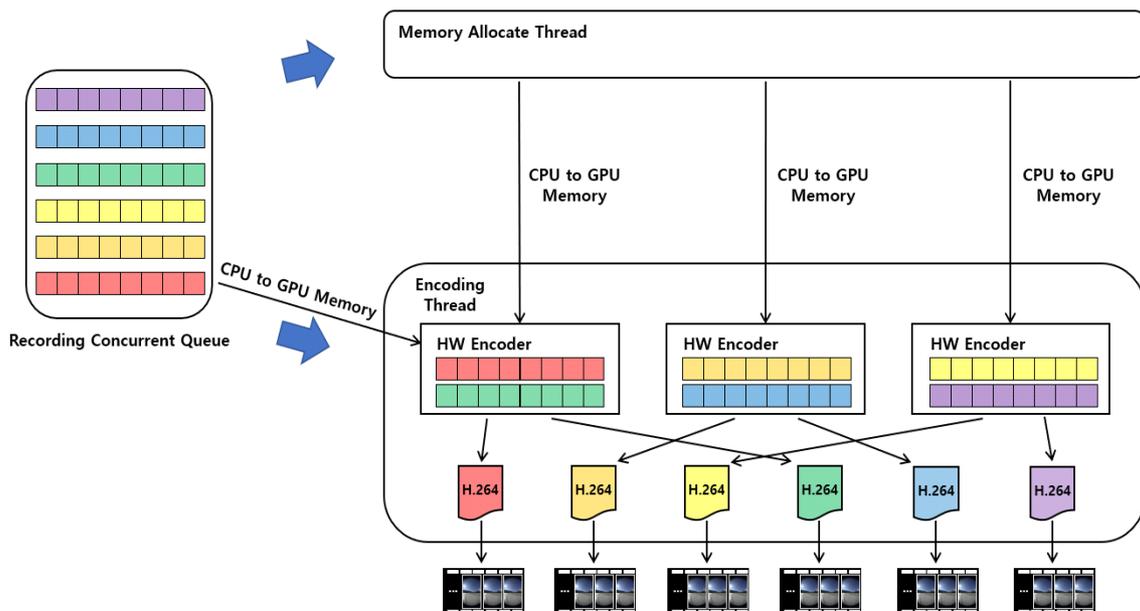


그림 1. 실시간 영상 병렬 인코딩 모듈 구조
 Fig. 1. Real-time video parallel encoding module structure

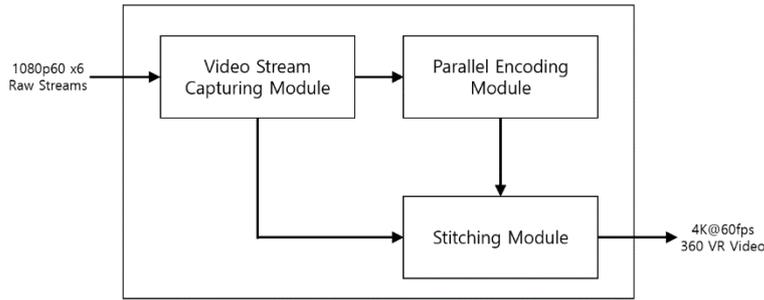


그림 2. 실시간 360 VR 영상 생성 시스템 구조도
Fig 2. Real-time 360 VR Video Acquisition System structure

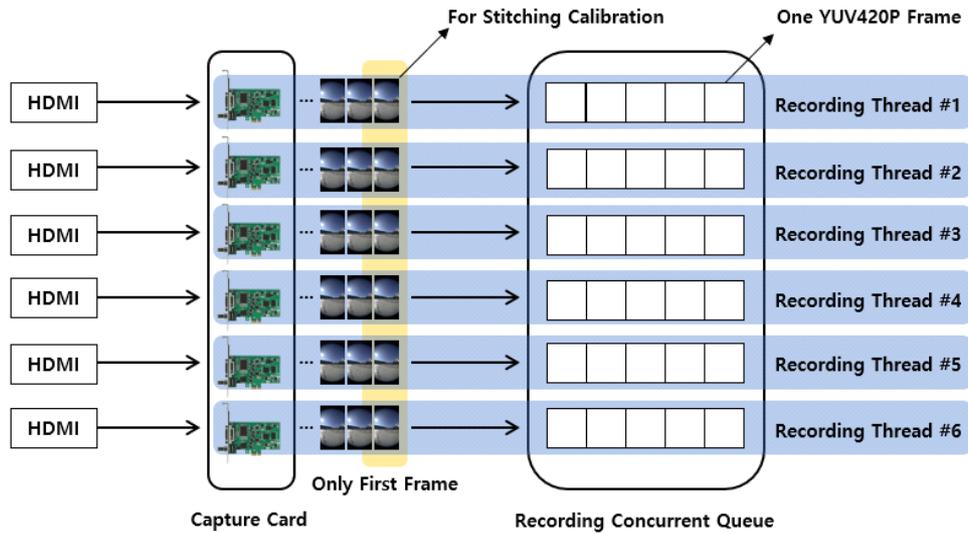


그림 3. 실시간 영상 스트림 획득 모듈 구조
Fig. 3. Real-time video stream capturing module structure

360 VR 영상 획득을 위한 실시간 영상 스트림 획득 모듈의 구성은 아래 [그림 3]과 같다. HDMI Interface를 통해 획득되는 360 VR 영상 획득 카메라의 각 영상 스트림은 실시간으로 YUV420P 포맷의 Raw Frame 기반의 연속적인 영상 스트림(2K@60fps)으로 획득된다. 실시간 영상 스트림 획득 모듈은 멀티 스레드(Multi-Thread)를 기반으로 Capture Card의 버퍼에 저장되어 있는 영상 스트림을 체크하고 CPU의 메모리로 전달한다. 획득된 영상 스트림의 첫 번째 Raw Frame은 실시간 영상 스티칭 모듈로 전달되는데, 이는 실시간 영상 스티칭 모듈에서 영상 스티칭을 진행하기 전 스티칭 Calibration 전처리작업에 사용된다.

실시간 영상 스티칭 모듈은 [그림 4]와 같이 스티칭 Cali-

bration과 영상 스티칭으로 구성된다. 스티칭 Calibration은 영상 스트림 획득 모듈에서 획득된 Raw Frame과 사전 정의된 Camera Rig Configuration 값을 이용하여 최초 1회 전처리작업을 진행한다. Camera Rig Configuration 값은 카메라 리그 시스템의 정보를 가지고 있는 XML 파일로, 스티칭 Calibration을 진행한 뒤 스티칭에 필요한 특징점 추출, 이미지 등록, 이미지 병합이 고려된 Calibrated Camera Rig Configuration 값으로 출력된다. 영상 스티칭은 Camera Rig Configuration 값, Media Configuration 값, 스티처(stitcher) Configuration 값을 이용하여 실시간 영상 병렬 인코딩 모듈로부터 전달받은 압축된 영상 스트림들을 스티칭 하여 360 VR 영상(Stereo 4K@60fps)으로 출력한다.

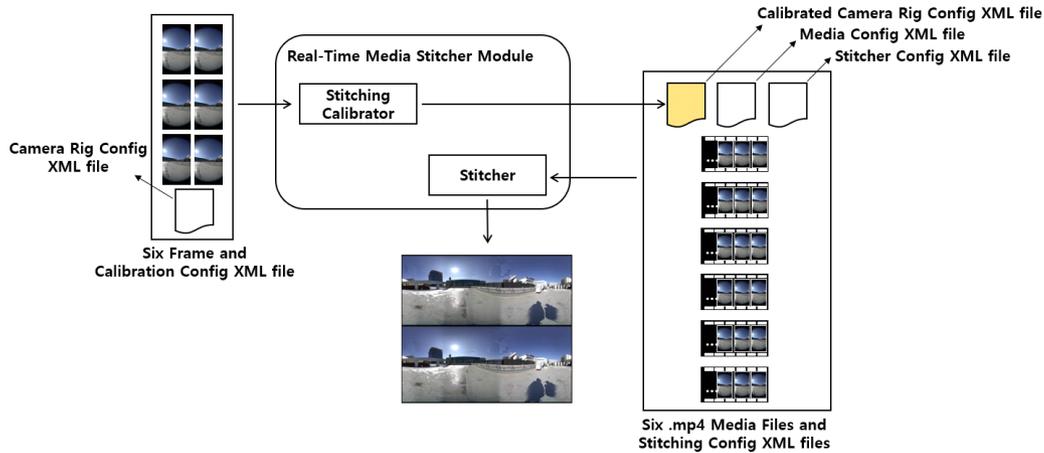


그림 4. 실시간 영상 스티칭 모듈 구조
 Fig. 4. Real-time media stitching module structure

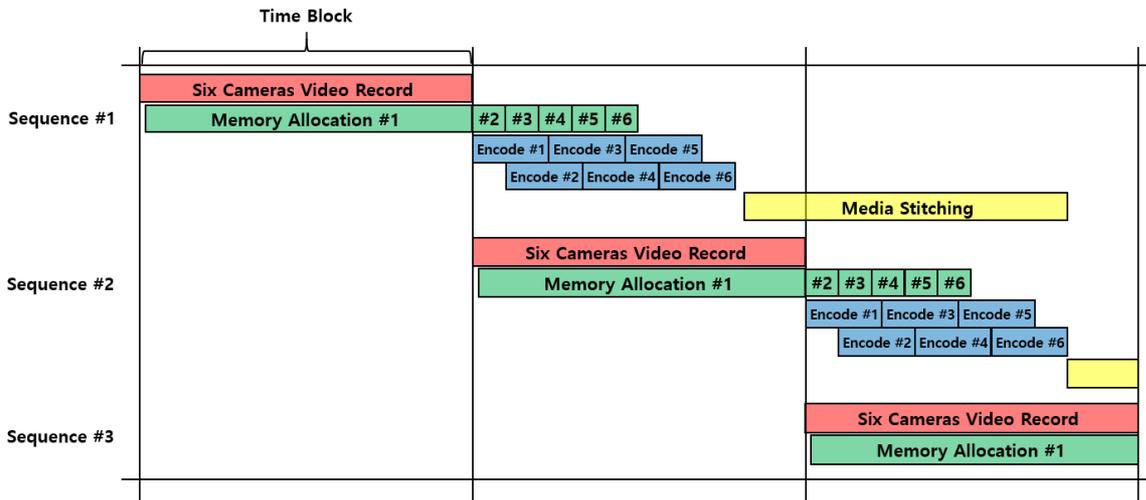


그림 5. Stereo 4K 360 VR 영상 실시간 획득 시스템 작업 순서
 Fig. 5. Real-time stereo 4K 360 VR video acquisition system workflow

[그림 5]는 Stereo 4K 360 VR 영상 실시간 획득 시스템에서 각 모듈의 작업 간 Sequence를 나타낸다. Capture Card는 6대의 카메라로부터 일정 Time-Block간격으로 영상 획득을 시작한다. 영상 획득의 시작과 동시에 카메라의 영상 스트림은 각 Capture Card의 버퍼에 저장되고 실시간 영상 스트림 획득 모듈의 멀티 스레드를 통하여 CPU의 메모리로 전송된다. 실시간 영상 인코딩 모듈의 스케줄러는 CPU의 메모리에 저장되어 있는 영상 스트림 중 하나를 선정하여 실시간으로 영상을 GPU의 메모리로 전송한다. 이

후 나머지 다섯 개의 스트림 또한 순차적으로 전송한다. 실시간 병렬 인코딩 모듈은 GPU의 메모리로 영상 스트림이 전송됨과 동시에 영상 인코딩을 시작한다. 이후 다섯 개의 영상 스트림이 전송될 때마다 2개의 세션을 이용하여 영상을 병렬 인코딩 한다. 압축된 영상은 실시간 영상 스티칭 모듈은 압축된 영상을 실시간으로 스티칭 한다.

위와 같이 영상 스트림 획득부터 영상 스티칭까지의 과정은 일정 Time-Block 주기로 반복된다. 각 모듈은 독립적으로 동작하기 때문에 현재 Sequence의 처리가 완료되면

다음 Sequence로의 처리가 가능하기 때문에 실시간으로 동작된다.

IV. 실험 및 결과

1. 실험 환경 구축

이 장에서는 카메라 리그 시스템의 6대의 카메라를 통하여 2K@60fps 영상들을 입력 받고 설계한 시스템을 통하여 이를 Stereo 4K@60fps 360 VR 영상으로 출력한다. 시스템은 일정 Time-Block을 주기로 카메라로부터 영상을 획득하고, 인코딩한 뒤 스티칭을 진행한다. 따라서, 영상의 실시간성을 보장하기 위해서는 각 모듈 간의 처리시간이 Time-Block의 주기보다 짧아야 한다. 실험은 각 모듈 별 처리 시간의 실시간성을 검증하고, Time-Block에 따른 처리 시간의 차이를 확인한다.

성능실험을 위하여 사용된 시스템은 실시간 영상 스트림 획득 모듈과 실시간 영상 병렬 인코딩 모듈이 탑재되어 있

표 2. 실험 장비 스펙

Table 2. Specification of Experiment environment devices

	Real-Time Video Capture System	Real-Time Video Stitching System
CPU	Intel Xeon Gold 6136 (3GHz, 12 Core)	Intel Xeon E5-2687W v4 (3GHz 12 Core)
RAM	DDR4 128GB	DDR4 64GB
GPU	NVIDIA Titan V[7] 3ea	NVIDIA Titan Xp[8] 4ea (SLI Connected)

는 실시간 영상 시스템과 실시간 영상 스티칭 모듈이 탑재되어 있는 실시간 영상 스티칭 시스템으로 구성된다. 각 시스템의 사양은 [표 2]와 같다. 각 모듈들은 C/C++과 CUDA Toolkit을 이용하여 구현하였다.

실시간 병렬 인코딩 성능을 검증하기 위해 적용된 인코딩 스펙은 [표 3]과 같다. 높은 수준(High Quality)의 인코딩 영상을 획득하기 위하여 인코딩 모드는 NVIDIA Video Codec SDK에서 제공하는 NV_ENC_PRESET_HQ_GUID Preset^[9]을 적용하였다. 또한, 실시간 병렬 인코딩 모듈은 H.264/AVC 코덱을 통해 영상을 인코딩하기 때문에, H.264/AVC 코덱을 지원하는 모든 디코더(decoder)를 통하여 영상 디코딩이 가능하다.

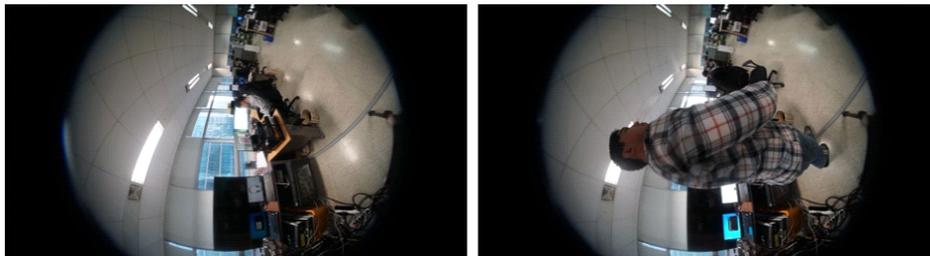
표 3. 인코딩 테스트 스펙

Table 3. Specification of encoding test

	Specification
SW Version	CUDA Toolkit 9.2 NVIDIA Video Codec SDK 8.2
Video Codec	H.264/AVC
Video Resolution	1920 x 1080
Framerate	59.94 fps
GOP Length	15
QP(Quantization Parameter)	20
Encoding Mode	NV_ENC_PRESET_HQ_GUID

2. 실험 결과

제안한 실시간 병렬 인코딩 기법의 인코딩 성능향상을 검증하기 위해 영상의 복잡성에 따른 직렬 인코딩과 병렬 인코딩의 인코딩 성능을 측정하였다. 영상의 복잡성을 나



(a) Low Complexity

(a) High Complexity

그림 6. 영상 복잡성에 따른 인코딩 샘플

Fig. 6. Encoding sample according to video complexity

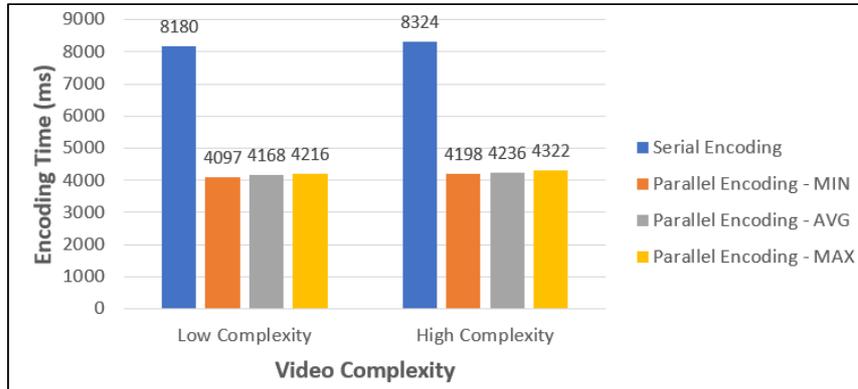


그림 7. 직렬 인코딩과 병렬 인코딩의 인코딩 성능
 Fig. 7. Encoding performance of serial and parallel encoding

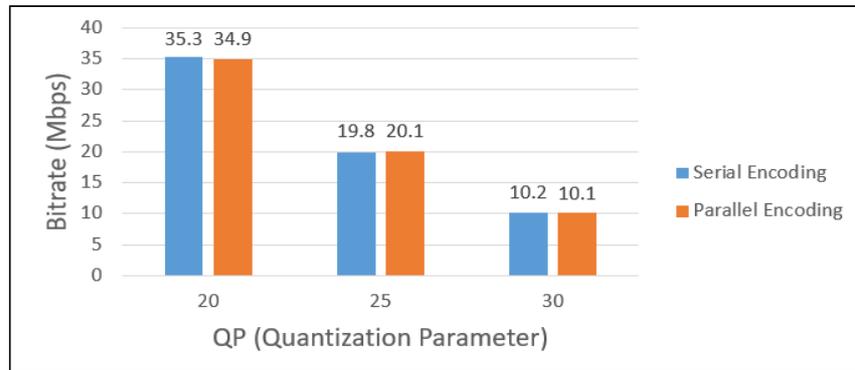


그림 8. 직렬 인코딩과 병렬 인코딩의 QP 값에 따른 영상 비트율 수준
 Fig. 8. Video Bitrate Levels According to QP Values of Serial Encoding and Parallel Encoding

타내기 위해 [그림 6-(a)]와 같이 변화량이 거의 없는 영상과 [그림 6-(b)]와 같이 영상에 변화량이 큰 영상을 인코딩 샘플로 선정하였고, 인코딩 샘플의 Time-Block은 10초로 구성하였다. 측정된 결과는 [그림 7]과 같다.

영상 인코딩 동작은 2개의 세션으로 병렬 인코딩 되는데, 두 번째 세션의 인코딩 시작 시점은 첫 번째 세션의 영상 인코딩이 시작된 이후 두 번째 영상 스트림의 메모리 전송이 완료된 시점이다. 메모리 할당 동작의 속도는 9ms/s로 영상 인코딩 속도와 비교하여 상대적으로 매우 적기 때문에 두 세션의 영상 인코딩은 거의 동시에 처리된다고 볼 수 있다. 따라서 병렬 인코딩 속도는 직렬 인코딩 속도의 절반이 된다. 또한 2개의 세션으로 병렬 인코딩이 진행되기 때문에 인코딩 시간의 편차도 절반으로 줄어든다. 인코딩 시간의 최소값과 최대값은 영상의 복잡도와 상

관없이 평균값과 비교하여 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다.

다음으로 병렬 인코딩으로 인한 영상의 품질 변화를 실험하기 위하여 QP(Quantization Parameter) 값에 따른 직렬 인코딩과 병렬 인코딩의 영상 비트율 수준을 [그림 8]과 같이 측정하였다.

영상의 비트율 수준은 인코딩 방식에 상관없이 동일한 수준으로, 영상의 품질 하락 없이 병렬 인코딩의 성능 개선을 확인하였다.

실시간 영상 스티칭 모듈의 실시간성을 검증하기 위하여 동일한 환경에서 Time-Block에 따른 영상의 스티칭 성능을 측정하였다. 측정된 결과는 [그림 9]와 같으며, Time-Block에 따른 전체 스티칭 시간과 단위시간(초)에 따른 스티칭 시간을 나타낸다.

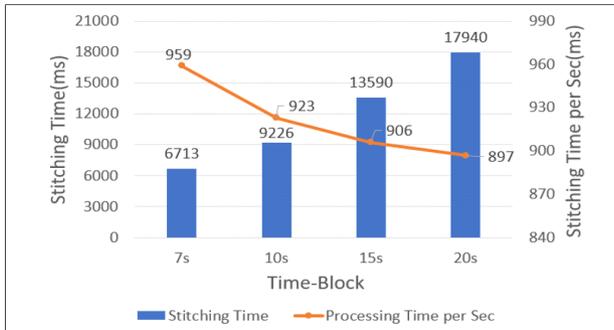


그림 9. 실시간 영상 스티칭 성능
Fig. 9. Performance of real-time video stitching

영상 스티칭 동작은 매 스티칭 마다 초기화를 위한 전처리과정을 거치기 때문에 영상의 Time-Block의 크기가 커질수록 초기화를 위한 전처리과정의 비중이 적어지고, 단위 시간 별 스티칭 처리속도가 감소한다. 하지만, Time-Block이 커질수록 실시간 영상 병렬 인코딩 모듈과 실시간 영상 스티칭 모듈의 처리시간이 증가하기 때문에 영상 획득 시작점부터 360 VR 영상이 출력되는 시점까지의 처리시간이 증가한다. 따라서, 응용프로그램에 따라 Time-Block 시간 대비 지연이 되지 않는 범위에서 가장 짧은 Time-Block을 선정하는 것이 가장 효율적이다.

[표 4]는 기존 일체형 360 VR 카메라와 제안하는 360 VR 영상 획득 시스템으로부터 실시간으로 획득할 수 있는 최대수준의 영상 정보를 나타내고 있다. 제안하는 360 VR 영상 획득 시스템은 Stereo 4K 해상도를 지원함에도 불구하고 60fps 프레임률과 135Mbps 수준의 비트율을 지원하여, 기존 일체형 360 VR 카메라와 비교하여 상대적으로 더 높은 수준의 360 VR 영상 획득을 할 수 있다.

표 4. 360 VR 영상 획득 장비의 획득 360 VR 영상 정보
Table 4. Captured video information of 360 VR acquisition device

Device	Video Resolution	Frame Rate	Bitrate
360 Round	4096 x 4096	30fps	120Mbps
Yi 360	3840 x 1920	30fps	6Mbps
Insta360 Pro	3840 x 1920 3840 x 3840	30fps 24fps	40Mbps
Orah i4	4096 x 2048	30fps	25Mbps
Proposed Device	3840 x 3840	60fps	135Mbps

V. 결론

본 논문에서는 LIVE 스트리밍 환경에서 360 VR 영상을 사용자에게 멀미감 없이 제공하기 위하여 실시간 병렬 인코딩 기법을 기반으로 실시간 360 VR 생성 시스템을 제안하고 실험을 통해 검증하였다. 그 결과 Stereo 4K@60fps의 360 VR 영상을 실시간으로 획득하였으며, 기존 360 VR 영상 획득 장비와 비교하여 프레임율과 비트율이 더 높음을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 기법을 적용하였을 때, 멀미감 저감 효과를 통한 360 VR 콘텐츠 제작 서비스에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

하지만 아직 고품질로 라이브 스트리밍을 하기에는 해상도 측면에서 부족한 부분이 있다. 이에 지속적인 연구를 통해 고품질, 고해상도의 360 VR 영상을 실시간으로 생성할 수 있는 기법에 대한 연구를 수행해 나갈 것이다.

참고 문헌 (References)

- [1] J. Jang, H. Kim, J. Yang, S. Yoon, W. Park, "Design of 8K 360 VR Video edge streaming system based on IPTV set-top box", The 9th International Conference on Convergence Technology in 2019, pp.216-217, July 2017.
- [2] H. Kim, W. Choi, S. Yang, "Implementation of High Quality 360 VR Video Low-latency Live Streaming System using Multi Level Tile Caching based on MPEG DASH SRD", Journal of Korea Multimedia Society, Vol.21, No.8, pp.942-951, Aug 2018.
- [3] H. Kim, "A Study on the 16K 360 VR Tiled Video Streaming based on Edge Computing for Smart Home Media Service", Doctor's Thesis of Kwangwoon University, Seoul, Korea, 2019.
- [4] H. Kim, T. Le, E. Ryu, "360-degree video offloading using millimeter-wave communication for cyberphysical system", Transactions of Emerging Telecommunications Technologies, Vol.30, No.4, Apr 2018.
- [5] J. Li, M. Fan, G. Wang, X. Li, R. Sun, "Panorama video stitching system based on VR Works 360 vrd0", 2018 Chinese Automation Congress, pp.715-720, Nov 2018.
- [6] NVIDIA VRWorks - 360 Video, <https://developer.nvidia.com/vrworks/vrworks-360video/> (accessed Aug 2019)
- [7] NVIDIA Titan V, <https://www.nvidia.com/en-us/titan/titan-v/> (accessed Aug 2019)
- [8] NVIDIA Titan Xp, <https://www.nvidia.com/en-us/titan/titan-xp/> (accessed Aug 2019)
- [9] High performance video encoding with NVIDIA GPUs, <https://goo.gl/Bdjdgm> (accessed Aug 2019)

저 자 소 개



최 민 수

- 2013년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 학사
- 2019년 3월 ~ 현재 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 석사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-0086-4004>
- 주관심분야 : 360 VR, Deep Learning, 디지털 영상처리



백 준 기

- 1984년 : 서울대학교 제어계측공학과 학사 졸업
- 1987년 : 노스웨스턴대학교 전기 및 컴퓨터공학과 석사 졸업
- 1990년 : 노스웨스턴대학교 전기 및 컴퓨터공학과 박사 졸업
- 2017년 ~ 현재 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-8593-7155>
- 주관심분야 : 영상복원, 신호처리, 반도체