

3차원 이미지 전송을 위한 오토인코더 기반 집적 영상 시스템 설계

김찬형, 조명진, 임승찬
한경국립대학교

{cksguddl841, mjcho, sclim}@hknu.ac.kr

Autoencoder-Based Integral Imaging for Three-Dimensional Image Transmission

Chan Hyung Kim, Myungjin Cho, and Seung-Chan Lim
Hankyong National University

요약

집적 영상 기술을 통해 3차원 이미지를 복원하기 위해서는 서로 다른 시점에서 기록된 다수의 고화질 요소 이미지의 전송이 요구된다. 본 논문에서는 고용량의 이미지 송수신을 효율적으로 처리할 수 있는 오토인코더 기반 3차원 집적 영상 시스템을 설계한다. 3차원 이미지 전송을 위해 오토인코더를 집적 영상 기술에 활용함으로써 효율적 압축 능력과 잡음에 대한 강건성을 달성할 수 있음을 모의 실험을 통해 확인하였다.

I. 서론

집적 영상(integral imaging) 기술은 3차원 정보를 생성하고 재생할 수 있는 방법으로써 완전 시차와 연속 시점을 제공하는 장점을 갖는다 [1]. 집적 영상 시스템에서 3차원 이미지를 전송하기 위하여, 송신단에서는 synthetic aperture integral imaging (SAII) 기술을 이용하여 서로 다른 시점을 가진 다수의 요소 이미지를 획득한 후 송신한다 [2]. 수신단에서는 volumetric computational reconstruction (VCR) 기술을 활용하여 원하는 깊이에서 수신된 요소 이미지들을 서로 중첩하고 평균화하여 3차원 이미지를 복원할 수 있다 [3]. 하지만, 고품질의 3차원 이미지를 재생하기 위해서는 많은 고해상도 요소 이미지의 송수신이 필요하므로 이 과정에서 시간 지연 및 채널 잡음이 불가피하다.

본 논문에서는 저지연-고신뢰 3차원 이미지 전송을 위하여 오토인코더 기반 집적 영상 시스템을 설계한다. 오토인코더는 인코딩을 통해 입력 데이터를 저차원의 잠재 공간으로 압축하고, 디코딩을 통해 데이터를 원본과 유사하게 복원할 수 있는 인공 신경망이다. 본 논문에서는 오토인코더의 데이터 차원 감소 능력과 잡음에 대한 견고성을 활용할 수 있도록 다수의 고해상도 요소 이미지의 고효율적-고신뢰 송수신 과정을 설계한다. 모의 실험을 통해 오토인코더 기반 집적 영상 시스템이 JPEG 기반 집적 영상 시스템 대비 고품질의 3차원 이미지 재생 및 정밀한 깊이 정보 추출이 가능함을 검증하였다.

II. 오토인코더 기반 3차원 집적 영상 시스템

본 논문에서 설계한 오토인코더 기반 3차원 집적 영상 시스템의 송신단에서는 SAII 기술을 통해 카메라 배열을 이용하여 서로 다른 시점을 가진 다수의 요소 이미지를

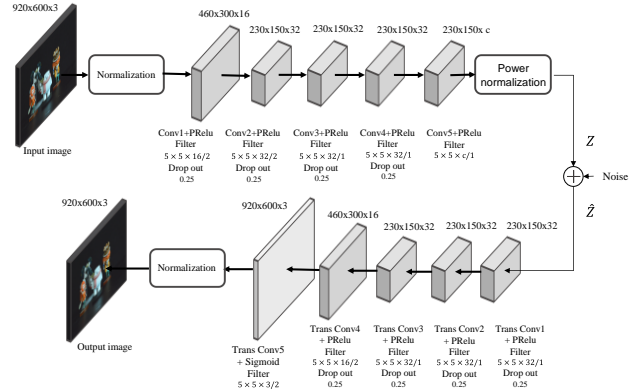


그림 2. 설계한 오토인코더 신경망 구조.

획득한다. 각 요소 이미지는 오토인코더의 인코더를 통해 압축되며, 평균 전력 제약 조건을 만족하도록 정규화된 후 송신된다. 수신단에서는 가우시안 백색 잡음이 더해진 각 요소 이미지를 오토인코더의 디코더를 통해 복원한다. 이렇게 복원된 다수의 2차원 요소 이미지를 VCR 기술을 적용하여 원하는 깊이에서 서로 중첩시켜 3차원 이미지를 재생할 수 있다.

그림 1은 제한한 집적 영상 시스템에 적용된 오토인코더의 구조를 보여준다. 각 요소 이미지를 픽셀의 최대값으로 나누어 0과 1 사이의 값을 가지도록 정규화한다. 인코더는 5개의 합성곱 신경망 층으로 구성되며, 활성화 함수로써 parametric ReLU (PReLU) 함수가 사용되었다. 오토인코더의 압축률 r 을 조절하기 위하여, 출력층의 차원을 $c = m / F_1 F_2$ 로 설정하였다. 이때, n 은 이미지의 전체 픽셀 수를 나타내며, F_1 과 F_2 는 출력층 필터 크기를 의미한다. 디코더는 인코딩의 역과정을 수행할 수 있도록

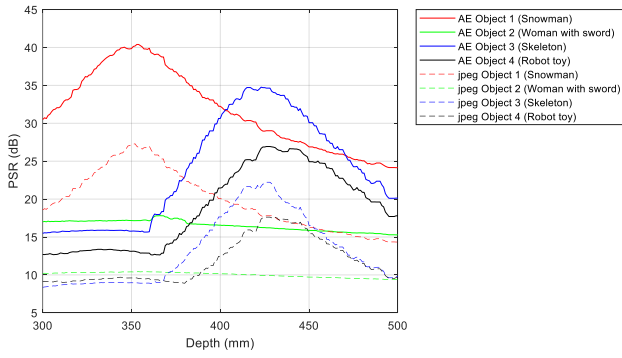


그림 2. 복원 깊이에 대한 PSR 성능 비교 결과.

설계되었다. 출력층의 활성화 함수로 시그모이드 함수를 적용하여 0과 1 사이의 값을 가지는 출력을 얻는다. 최종적으로, 픽셀의 최대값을 디코더 출력에 곱해줌으로써 송신된 모든 2차원 요소 이미지들을 복원한다.

III. 실험 결과

모의 실험을 통해 오토인코더 기반 집적 영상 시스템의 3차원 이미지 복원 성능을 평가한다. 설계한 시스템의 성능 검증을 위해, JPEG 기술을 활용한 집적 영상 시스템과 성능을 비교하였다. 모의 실험에서는 SAII 기술을 통해 얻어진 $920 \times 600 \times 3$ 크기의 100장의 요소 이미지를 인코딩을 통해 0.375의 압축률로 압축하였다. 압축된 요소 이미지들은 신호 대 잡음비가 0 dB인 환경에서 송신되었고, 수신단에서는 디코딩 후 VCR 기법을 통해 300~500mm의 깊이에서 3차원 이미지를 복원하였다. 복원된 3차원 이미지의 성능 평가를 위해, 총 네 개의 물체와의 비선형 상관 관계를 측정 후 peak sidelobe ratio (PSR) 성능을 평가하였다 [4].

그림 2는 다양한 깊이에서 복원된 3차원 이미지의 PSR 성능 결과를 보여준다. 모의 실험에서 고려된 네 가지 물체에 대해, 설계한 시스템(AE)은 비교 대상 시스템(JPEG) 대비 각각 1.48배, 1.71배, 1.56배, 1.53배 높은 PSR 성능을 달성함을 확인하였다. 또한, 각 물체에 대해 가장 높은 PSR 성능을 가지는 복원 깊이를 확인하여 해당 물체의 깊이를 추정 후 실제 위치[4]와 비교하였다. 설계한 시스템은 $-2 \sim 4$ mm 범위의 오차를 보이며 비교적 정확한 깊이 추정이 가능함을 검증하였다. 반면, 비교 대상 시스템에서는 특히 물체 3과 4에 대해 각각 -14 mm와 $+7$ mm의 큰 추정 오차를 보이는 사실을 관찰하였다.

그림 3과 4는 각 시스템을 통해 추정된 깊이에서 복원된 3차원 이미지 결과를 보여준다. 그림 3의 결과는 설계한 시스템이 오토인코더의 고효율 압축 및 잡음에 대한 강건성을 바탕으로 물체에 뚜렷한 초점이 맞춰지는 고품질의 3차원 이미지를 복원할 수 있음을 보여준다. 반면, 그림 4의 결과를 통하여 JPEG 기반 집적 영상 시스템에서 복원된 3차원 이미지는 시각적으로 품질이 열화되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 저지연-고신뢰 3차원 이미지 전송을 위한 오토인코더 기반 집적 영상 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템에서는 오토인코더의 효율적인 압축 능력과 노이즈에 대한 강인함을 바탕으로 요소 이미지의 고효율-고신뢰 송수신이 가능하며, 수신단에서 고품질의 3차원 이미지 복원이 가능함을 검증하였다.



그림 3. 설계한 집적 영상 시스템을 통해 추정된 깊이에서 복원된 3차원 이미지 결과.

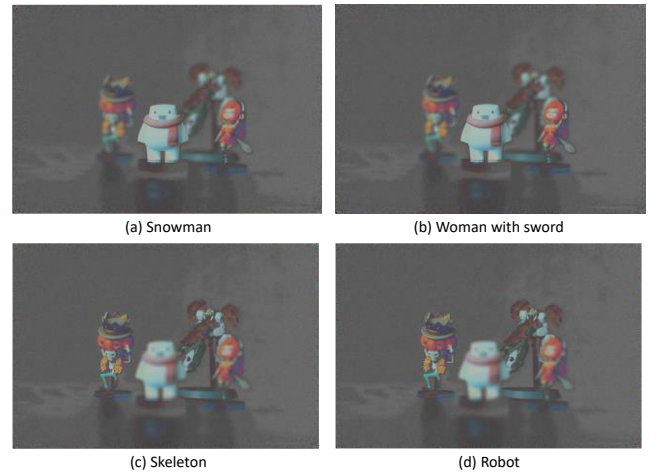


그림 4. 비교 대상 시스템을 통해 추정된 깊이에서 복원된 3차원 이미지 결과.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2024-RS-2023-00259991)

참 고 문 헌

- [1] G. Lippmann, "La photographie integrale," *Comptes-Rendus Academie des Sciences*, vol. 146, no. 9, pp. 446-451, May 1908.
- [2] J. Jang and B. Javidi, "Three-dimensional synthetic aperture integral imaging," *Opt. Lett.*, vol. 27, pp. 1144-1146, 2002.
- [3] B. Cho, P. Kopycki, M. Martinez-Corral, and M. Cho, "Computational volumetric reconstruction of integral imaging with improved depth resolution considering continuously non-uniform shifting pixels," *Opt. Lasers Eng.*, vol. 111, pp. 114-121, 2018.
- [4] S.-C. Lim and M. Cho, "Three-dimensional image transmission of integral imaging through wireless MIMO channel," *Sensors*, vol. 23, no. 13, pp. 1-17, Jul. 2023.