

3D 집적 영상에서 영역 분할을 이용한 요소 영상의 압축 기법

정회원 강 호 현*, 신 동 학**, 종신회원 김 은 수*

Compression of Elemental Images Using Block Division in 3D Integral Imaging

Ho-Hyun Kang*, Dong-Hak Shin** *Regular Members*, Eun-Soo Kim* *Lifelong Member*

요 약

집적 영상 기술은 잘 알려진 3D 영상 기록 및 디스플레이 기술이다. 집적 영상에서 사용되는 대용량 데이터는 3D 영상을 저장하고 전송하기 위한 압축 기법을 요구한다. 기존의 압축 방법에서는 동일한 기록 시스템을 사용한 다할 지라도 요소 영상의 데이터 크기가 3D 물체의 위치, 조명과 렌즈 배열 등의 다양한 기록 조건에 따라 크게 달라진다. 본 논문에서는 기록 조건에 따른 요소 영상 특성의 의존성을 줄이기 위하여 집적 영상에서 요소 영상의 분할 영역을 이용한 압축 기법이 제안된다. 제안된 기법은 각 3D 물체의 픽업 위치에 따른 요소 영상의 지역적 유사성을 고려하여 향상된 압축률을 보여준다. 제안된 기법의 효율성을 보이기 위하여, 다양한 요소 영상들이 픽업되었고 표준 MPEG-4를 이용하여 압축이 진행되었다. 실험을 통하여 제안된 압축 기법이 기존의 압축 방식에 비하여 9%의 압축률 향상을 보였다.

key Words : 3D display, Integral imaging, elemental images, compression

ABSTRACT

Integral imaging is a well-known 3D image recording and display technique. The huge size of integral imaging data requires a compression scheme to store and transmit 3D scenes. In the conventional compression scheme, the data amount of elemental images depends on the various recording condition such as the positional location of a 3D object, the illumination and specification of the lenslet array even if an identical pickup system is used. In this paper, to reduce the dependence of the image characteristics of elemental images on the pickup conditions, a compression scheme using block division on the elemental image of integral imaging is proposed. The proposed scheme provides an improved compression ratio by considering the local similarity of elemental images picked up from three-dimensional objects according to a positional location. To test the proposed scheme, various elemental images are picked up and a compression process is then carried out using a standard MPEG-4. Based on compression ratio results, the proposed compression scheme is improved by approximately 9% compared with the conventional compression method.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업(IITA-2008-C1090-0801-0018)에 의하여 수행되었습니다.

* 광운대학교 차세대 3D 디스플레이 연구센터

** 동서대학교 영상콘텐츠학과 (shindh2@dongseo.ac.kr, ° : 교신저자)

논문번호 : #KICS2008-11-491, 접수일자 : 2008년 11월 6일, 최종논문접수일자 : 2009년 3월 5일

I. 서 론

최근 차세대 디스플레이 기술로서 3D 디스플레이에 대한 관심이 증가하고 있다^[1-4]. 이 3D 디스플레이 기술로서 가장 성공적인 3D 기술은 스테레오스코픽(stereoscopic)이며, 이 방식은 인간시각 시스템(human visual system)을 모방한 방식으로 가장 단순한 구조를 가지고 큰 입체감을 줄 수 있지만, 수평차로만 제한되고 양안에 들어오는 두 영상의 시차와 인간의 초점 기능 사이의 차이에 의해 어지러움 및 눈의 피로감을 느끼게 하는 큰 문제점을 가지고 있다. 그리고 이러한 피로감 없이 3D 영상을 느낄 수 있도록 하는 이상적인 방식이 홀로그래피 기술이다. 그러나 홀로그래피 기술의 경우에는 암실에서 레이저를 이용하여 홀로그램을 합성해야할 뿐만 아니라 사용하는 광원이 제한적이고 기존 방식의 과도한 정보량으로 인하여 실시간적 전송 및 디스플레이가 어려워 실질적인 응용이 크게 제한되고 있다.

이와 같은 기존 방식의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 방식으로 최근 집적 영상(integral imaging) 기법이 활발하게 연구 되고 있다. 이 기술은 1908년에 Lippman에 의하여 제안된 이후 실감 3D 영상을 효과적으로 재생하기 위해서 많은 연구가 진행되어 오고 있다^[4-10]. 일반적으로 집적 영상 기술은 그림 1과 같이 픽업부와 재생부로 구분된다. 집적 영상의 픽업부에서는 렌즈릿 배열과 2D 영상 센서로 구성되어 있다. 그림 1(a)의 픽업 과정에서 3D 물체로부터 발생된 빛의 세기 및 방향 정보는 렌즈 배열로 투영되고, CCD와 같은 2D 영상 센서를 사용하여 요소 영상 배열(elemental images)이라 불리는 작은 영상들의 모임으로 저장된다. 저장된 요소 영상은 3D 물체의 각 렌즈릿마다 다소 다른 형태의 투영 형상(perspective)을 가지게 된다. 그림 1(b)의 재생부는 픽업 과정의 역 과정을 거치게 된다. 즉, 저장된 요소 영상 배열은 디스플레이 패널 상에 표시되고, 3D 영상은 디스플레이 패널 앞의 렌즈 배열을 통하여 공간상에 복원된다.

집적 영상 기술에서 고 해상도의 3D 영상을 공중에 재생하기 위해서는 수많은 렌즈 배열을 이용하여 요소 영상 배열을 획득하여야 한다^[11,12]. 그러나 요소 영상 배열의 전체 크기가 증가하면 처리해야할 데이터 량이 크게 증가되며, 이것은 데이터의 전송을 어렵게 만드는 요인이 된다. 이러한 요소 영상 배열의 거대한 데이터 량을 줄이고자 하는 연구가 최근 보고되고 있다. 미국의 한 대학에서는 요소

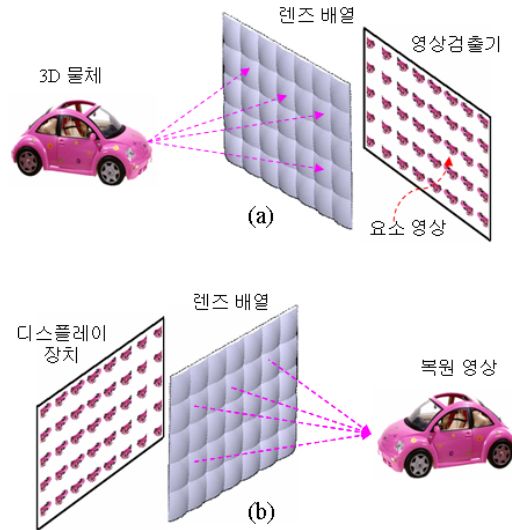


그림 1. 집적 영상 기술 (a) 픽업 (b) 디스플레이

영상 배열을 연속적인 프레임으로 만들고, 이 영상들을 MPEG-2 압축 알고리즘에 적용하는 기법이 집적 영상 기술에서의 효과적인 압축 방법이라 보고한 바 있다^[13]. 또한 최근 요소 영상 간의 상관도를 기반으로 하여 고유값과 고유벡터를 이용한 Karhunen-Loeve 변환을 이용한 압축 방식을 제안한 바 있다^[14]. 이들의 방식이 결과적으로 압축률을 향상시킬 수 있지만, 요소 영상 배열의 픽업되는 조건이 매우 제한적인 환경에서 획득한 영상을 사용하였다. 저장된 요소 영상 배열의 이미지 특성은 3D 물체의 위치, 조도, 사용된 렌즈 배열의 조건과 같은 다양한 픽업 조건에 영향을 미친다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 그러므로 이 방식은 압축 과정에 있어서 단지 요소 영상 배열의 조건에 매우 제한적이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 보다 높은 압축률을 얻기 위하여 집적 영상의 획득 조건에 요소 영상 배열의 영상 특성을 조사하고 이를 기초로 영역 분할을 적용하는 압축 기법을 제안한다. 또한 요소 영상 배열을 나열하는 새로운 방법을 추가적으로 제시한다. 제안된 기법은 렌즈 배열로부터 거리에 따른 3D 물체로부터 픽업된 요소 영상의 지역적 유사성을 고려하여 향상된 압축률을 제공한다. 제안된 기법의 효율성을 보이기 위해서 다양한 3D 물체에 대한 요소 영상 배열을 실제로 픽업하고, 압축과정에 있어서는 표준 MPEG-4 알고리즘을 이용한 압축을 시행하여 압축률을 계산한다.

II. 3D 물체의 픽업 위치에 따른 요소 영상 배열의 특성

그림 2는 집적 영상의 3D 물체로부터 요소 영상 배열의 획득을 위한 광학적 구성도를 보여준다. 집적 영상 기술에서 요소 영상 배열을 획득하기 위하여 렌즈 배열을 3D 물체의 앞에 놓는다. 요소 영상 배열은 픽업을 위한 렌즈 배열을 통해 CCD 카메라에 영상 데이터를 저장한다. 3D 물체들이 CCD 카메라에 저장될 때 요소 영상은 3D 물체의 위치, 조도, 렌즈릿의 조건과 같은 다양한 픽업 조건에 따라 많은 영향을 미치게 된다. 3D 물체들의 위치 변화는 렌즈릿 배열 상에 요소 영상 이미지들의 다양한 변화에 따라 영향을 미친다. 예를 들어, 요소 영상은 그림 2와 같이 물체의 렌즈릿으로부터 각기 다른 위치에 따라 획득된다. 요소 영상 배열은 그림 3(a)의 경우 3D 물체가 렌즈 배열에 가까이 위치될 때 요소 영상의 이미지들이 뒤집어 진 것과 같이 관찰되고, 요소 영상들 사이에 유사성이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 반면에 그림 3(b)와 같이 요소 영상 배열은 3D 물체가 렌즈릿으로부터 멀리 떨어질 때 요소 영상 배열의 물체가 마치 축소된 것과 같이 보여진다. 이 경우에 요소 영상들 사이에 큰 유사성을 가지게 된다.

그림 3의 경우, 3D 물체의 렌즈릿으로부터 다양한 위치에 따라 각기 다른 유사성을 가지게 된다.

요소 영상 배열의 유사성을 측정하기 위하여 CQ(correlation quality)가 적용된다. 요소 영상 배열 상에 요소 영상들은 압축 알고리즘을 적용하기 위해 회전 탐색 기법을 사용한 1차원 요소 영상 배열로 재배열된다^[14]. 1차원 재배열된 요소 영상들 중 두 요소 영상들, 즉 기준영상과 참조영상은 각각 E_i 와 E_j 이고, $M \times N$ 픽셀들로 구성된다. 두 요소 영상들 사이의 CQ은 다음과 같이 정의된다.

여기서 m 과 n 은 요소 영상 내의 좌표를 의미한다. 전체 요소 영상들의 개수 P 를 고려하여 평균 유사도 값(average correlation quality: ACQ)은 다음과 같이 정의된다.

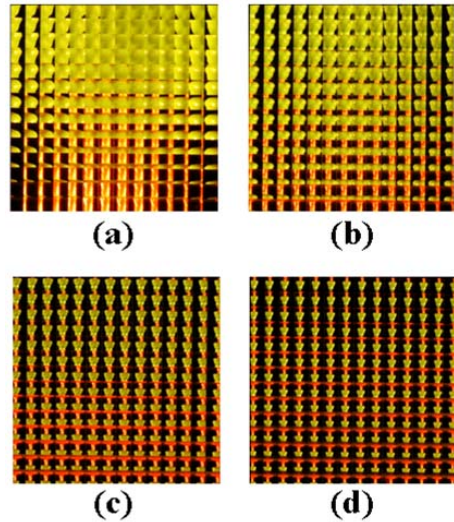


그림 3. 거리에 따른 요소 영상 배열의 특성 (a) 1cm (b) 3cm (c) 6cm (d) 9cm

ACQ는 그림 3과 같은 요소 영상 배열의 평균 상관도를 계산한다. 표 1은 3D 물체의 렌즈릿으로부터의 거리에 따라 픽업되어 계산된 ACQ 값을 나타낸다. 계산된 결과로부터 3D 물체의 위치가 렌즈릿으로부터 멀어질수록 ACQ값이 증가하는 것을 볼 수 있다.

$$ACQ = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P CQ(i) = \frac{1}{P} \left[\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{E_i(m,n)E_j(m,n)}{E_i^2(m,n)} \right\} \right] \quad (2)$$

3D 물체의 위치에 상관없이 획득된 요소 영상 배열의 ACQ값을 증가시키기 위해서 요소 영상 배열의 영역 분할 기법을 소개한다. 다시 말해서, 요소 영상들은 일률적으로 분할되고, 요소 영상 배열은 각각의 ACQ값을 계산하기 위하여 분할하여 평균값을 구한다. 이 평균값들을 표 1에 추가적으로 나타내었다. 이 결과들은 분할된 영역의 요소 영상들 사이에 유사성이 크기 때문에 영역 분할이 향상된 ACQ값을 제공한다.

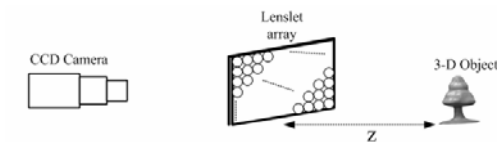


그림 2. 요소 영상 배열을 얻기 위한 광학적 픽업 시스템

표 1. ACQ의 비교

| 거 리 | 1cm | 3cm | 6cm | 9cm |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| 전체 요소 영상 배열의 ACQ | 0.6381 | 0.6070 | 0.7957 | 0.8640 |
| 분할된 요소 영상 배열의 평균 ACQ | 0.6515 | 0.7327 | 0.8760 | 0.9057 |

III. 요소 영상 배열 상에 영역 분할을 사용한 압축

본 논문에서 제안하는 압축 기법을 설명하기 위해 앞서 기존에 제안된 방법을 그림 4에 나타내었다.

이 방법에서는 요소 영상 배열에 속한 각 요소 영상들의 연속적인 프레임으로 만들고 이 영상들을 MPEG-2 압축 알고리즘에 적용하는 기법이다. 본 논문에서는 이 기존의 방법의 성능향상을 위하여 요소 영상 배열에서 요소 영상의 픽셀 특성을 고려하여 보다 높은 압축률을 얻고자 한다. 기존의 방법은 요소영상 배열 중 정 가운데에 위치한 요소 영상을 기준으로 하여 배열하는 단순 회전 탐색 방식을 적용하였다. 본 논문에서는 이러한 방식과의 비교를 위하여 기존의 탐색 방식을 압축 알고리즘에 적용하여 실험하였고, 그 결과를 제안된 방법과 비교한다.

그림 5는 본 논문에서 제안하는 압축 방법으로 요소 영상 배열에 영역 분할을 적용하는 방법을 보여준다. 영역 분할 단계가 제안된 기법과 비교하여 제안된 기법에 추가된다. 2장에서 설명한 것과 같이 영역 분할 단계는 요소 영상 배열을 위해 향상된 ACQ 값을 제공한다. 영역 분할 단계 후 각각의 분할된 요소 영상배열은 서브 요소 영상 배열로 언급한다. 서브 요소 영상 배열들은 그림 5에서 보여주는 것처럼 압축 과정 전에 1차원 요소 영상 배열로 재배열 된다. 여기서, 서브 요소 영상에 향상된 탐색 기법을 새로이 제시한다.

제안하는 탐색 기법은 그림 6의 과정과 같다. 이



그림 4. 기존의 요소 영상 배열 압축 방법

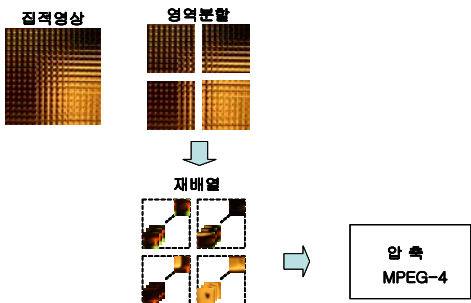


그림 5. 제안하는 분할 영역 압축 기법

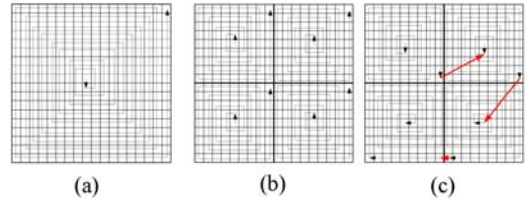


그림 6. 요소 영상 배열에서 회전 탐색 방법 (a) 기존의 방법 (b) 제안하는 탐색방법 I (c) 제안하는 탐색방법 II

탐색 기법은 4영역으로 분할된 서브 요소 영상의 형태이다. 비교를 위해 그림 6(a)는 기존의 탐색 방식인 단순 회전 탐색 방식을 나타낸다¹⁴⁾. 회전 탐색 방식은 기존의 방식에 비하여 요소 영상의 압축을 위한 탐색 알고리즘에 있어서 가장 좋은 압축 효율을 보였다. 그림 6(b)와 6(c)는 우리가 제안한 서브 요소 영상의 향상된 탐색 기법을 보여준다. 이 방식들은 4분할 회전 탐색 방식 (탐색 방식 I)과 연속 4분할 회전 탐색 방식 (탐색 방식 II)으로 각각 표시한다. 여기서 제안된 4분할 회전 탐색 방식은 독립적으로 각 서브 요소 영상에 적용되고, 그림 6(c)에서는 제안된 연속 4분할 회전 탐색이 제안된 회전 탐색 방식의 변형된 형태를 보여준다. 그림 6과 같이, 회전 탐색 방식을 사용한 각각의 서브 요소 영상 배열은 1차원 요소영상으로 재배열된다. 이렇게 재배열된 요소 영상들은 표준 MPEG-4 압축 알고리즘에 의하여 압축과정을 거치게 된다.

압축된 요소 영상 배열의 압축 정도를 입증하기 위하여, 압축 효율이 두 가지의 측정요소로 계산된다. 첫 번째는 압축률이고 다른 하나는 PSNR(Peak-to-prak Signal to Noise Ratio)이다. 압축률은 다음과 같이 정의되고,

$$r = \frac{\text{Original image size}}{\text{Compressed image size}} \quad (3)$$

PSNR은 다음과 같이 정의된다.

$$PSNR(I_o, I_u) = 10 \log_{10} \left(\frac{A^2}{SAD(I_o, I_u)} \right) \quad (4)$$

여기서 A 는 한 픽셀의 최대값을 의미하고, I_o 는 원 영상, I_u 는 복원 후에 획득된 영상을 나타낸다. MPEG-4에서 움직임 추정을 위한 탐색 기법으로는 SAD(sum of absolute difference)를 도입하였고, 알고리즘은 다음과 같다.

$$SAD(dx, dy) = \sum_{m=x}^{x+N-1} \sum_{n=y}^{y+N-1} |I_t(m, n) - I_{t-1}(m+dx, n+dy)| \quad (5)$$

여기서 I_t 는 현재의 요소 영상들을 나타내고, I_{t-1} 은 예측된 요소 영상들을 의미한다. (dx, dy) 는 영상 내의 움직임 벡터를 의미한다.

IV. 실험 및 결과

제안된 압축 기법을 보여주기 위하여, 우리는 그림 2와 같은 픽업 시스템을 이용하여 렌즈릿으로부터 각기 다른 위치에서 그리고 다양한 3D 물체들로부터 요소 영상 배열들을 획득했다. 실험에서 ‘주사위’와 ‘나무’의 두 가지 물체를 사용하였다. 렌즈릿은 ‘주사위’와 ‘나무’ 앞에 위치하고 렌즈를 통과한 영상 정보는 CCD 카메라에 저장된다. ‘나무’의 크기는 3 cm × 4.5 cm × 1.8 cm이고, ‘주사위’의 크기는 1.2 cm × 1.2 cm × 1.2 cm이다. 그림 7(a)는 ‘나무’가 렌즈릿으로부터 1 cm 떨어져 있는 경우(시나리오1)이다. 그림 7(b)는 ‘주사위’와 ‘나무’가 각각 렌즈 배열로부터 4 cm과 5.5 cm의 거리에서 픽업된 영상(시나리오2)이다. 그림 7(c)는 ‘주사위’가 렌즈 배열로부터 1 cm의 거리에 있을 때, ‘나무’가 5 cm의 거리에 있을 때의 영상을 보여준다(시나리오3). 각 요소 영상의 픽셀 수는 64×64이고, 요소 영상의 수는 324개이다.

제안된 기법에서, 얼마나 많은 블록이 요소 영상 배열에서 분할되어야 하는지를 결정하는 것이 분할 영역의 수가 압축 효율에 관계되어 있기 때문에 중요하다. 그것은 3D 물체의 수, 각 요소 영상들 사이에 저장된 요소 영상 배열의 크기 및 유사성에 달려있다. 주어진 요소 영상 배열을 위한 광학적 분할 영역 수를 찾는 것이 최고의 압축 효율을 얻기 위한 방법이다. 그러므로 요소 영상 배열의 지역적 유사성을 고려하여 최적의 블록 수를 결정할 수 있다. 그림 7로부터 요소 영상 배열에서 2×2개의 블록 영역이 제안된 기법의 효율성을 설명하기 위하여 사용되었다. 표 2는 각 조건의 실험 영상에 있어서 요소영상의 지역적 유사성을 고려한 ACQ값을 나타낸 것이다. 그림 7의 (a) 시나리오 1의 경우 기존의 탐색 방법을 적용한 경우 0.652로서 가장 낮은 상관도를 나타냈고, 제안하는 탐색 방법 1에서는 이 보다 개선된 0.727의 상관도의 향상을 보였으며,

표 2. 실험영상에 대한 ACQ의 비교

| | 단순 회전 탐색방법 | 제안하는 탐색방법 I | 제안하는 탐색방법 II |
|--------|------------|-------------|--------------|
| 시나리오 1 | 0.652 | 0.727 | 0.894 |
| 시나리오 2 | 0.657 | 0.660 | 0.695 |
| 시나리오 3 | 0.600 | 0.802 | 0.953 |

제안하는 탐색 방법 2에서는 0.894의 가장 향상된 상관도를 보였다. 시나리오 2와 시나리오 3의 경우도 기존의 방식에서 가장 낮은 상관도를 보였고, 제안하는 탐색방법 I, 제안하는 탐색방법II의 순으로 향상된 상관도를 보였다.

획득된 요소 영상 배열은 그림 6에서 보여진 것과 같은 탐색 기법을 이용하여 4분할로 나누고 이를 다시 1차원적 재배열 과정을 거친다. 재배열된 요소 영상 배열을 표준 MPEG-4 압축 알고리즘에 적용하기 위하여 요소 영상을 재배열하게 된다. 표 3은 MPEG-4 압축 알고리즘을 적용할 때, 각각의 요소 영상 배열에 대한 압축률과 PSNR을 보여준다.

표 3은 표 2의 결과와 같이 각 실험 영상에 대해서 기존의 탐색 방법과 제안된 탐색 기법의 상관도의 크기에 따라 상관도가 클수록 향상된 압축률의 결과를 보여주게 된다. 또한 제안된 기법의 효율성을 보여주기 위하여 요소영상의 JPEG 압축 결과가 첨부되었다. 집적 영상 시스템에서 요소 영상 배열을 적용한 MPEG-4는 JPEG과 비교했을 때, 압축률에 있어서 큰 향상을 보여준다. 제안된 기법이 사용될 때, 제안된 연속 회전 탐색 기법이 가장 높은 압축률의 결과를 보였다.

그림 7의 세 가지 영상에서 기존의 영역분할이 적용되지 않은 압축 방법과 비교했을 때, 각각 9.47%, 9.46%, 7.42%의 압축률 향상을 보였다. 표 3의 결과로부터 집적 영상 시스템에서 요소 영상의 제안된 압축 기법은 영역 분할을 사용하여 표 2에서와 같이 각 요소 영상 배열간의 향상된 유사성을 고려하였기 때문에 향상된 압축률의 결과를 가져왔다.

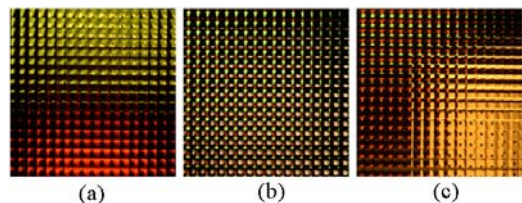


그림 7. 실험에 사용한 요소 영상 배열 (a) 시나리오 1 (b) 시나리오 2 (c) 시나리오 3

표 3. 집적 영상 압축 실험 결과

| | | JPEG | 단순회전 탐색방법 | 제안하는 탐색방법 I | 제안하는 탐색방법 II |
|-------|------|--------|--------------|-------------------|--------------------|
| 시나리오1 | r | 17.478 | 33.174 | 35.275 | 36.314 |
| | PSNR | 39.22 | 39.02 | 38.84 | 38.83 |
| 시나리오2 | r | 19.6 | 40.277 | 41.927 | 44.089 |
| | PSNR | 39.52 | 39.44 | 39.38 | 39.10 |
| 시나리오3 | r | 14.331 | 28.739 | 29.672 | 30.870 |
| | PSNR | 39.22 | 37.90 | 37.99 | 37.97 |

V. 결 론

결과적으로, 요소 영상들의 영역 분할 기법을 적용한 압축 방법을 제안하였고 3D 영상의 압축을 위한 실험적 결과들을 나타냈다. 우리는 요소 영상들을 위한 향상된 탐색 기법을 관찰하였고, 이러한 기법의 실험적 수치들이 계산되었다. 제안된 압축 기법은 기존의 압축 기법과 비교하였을 때, 압축 효율의 향상을 가져왔다. 압축률의 결과로부터 제안된 압축 기법은 기존의 압축률과 비교했을 때, 약 9%의 압축률 향상을 가져왔다.

참 고 문 헌

[1] S. A. Benton, ed., Selected Papers on Three-Dimensional Display (SPIE Optical Engineering Press, Gellingham, WA., 2001)

[2] T.-C. Poon and T. Kim, "Optical image recognition of three-dimensional objects," Appl. Opt. 38, 370-381 (1999)

[3] B. Javidi and E. Tajahuerce, "Three-dimensional object recognition by use of digital holography," Opt. Lett. 25, 610-612 (2000)

[4] G. Lippmann, "La photographie integrale," Comptes-Rendus Academie des Sciences Vol. 146, pp. 446-451 (1908).

[5] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography," Appl. Opt. Vol. 36, pp.1598-1603 (1997).

[6] O. Matoba, E. Tajahuerce, and B. Javidi, "Real-time three dimensional object recognition with multiple perspectives imaging," Appl. Opt. 40, 3318?3325 (2001)

[7] J.-S. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging with non-stationary micro-optics," Opt. Lett. Vol. 27, pp. 324-326 (2002).

[8] S.-W. Min, B. Javidi, and B. Lee, "Enhanced three-dimensional integral imaging system by use of double display devices," Appl. Opt. Vol. 42, pp. 4186-4195 (2003).

[9] R. Mart?nez-Cuenca, G. Saavedra, M. Mart?nez-Corral and B. Javidi, "Enhanced depth of field integral imaging with sensor resolution constraints," Opt. Express 12, 5237-5242 (2004)

[10] D.-H. Shin, E.-S. Kim and B. Lee, "Computational reconstruction technique of three-dimensional object in integral imaging using a lenslet array," Jpn. J. of Appl. Phys., vol. 44, no. 11, pp. 8016-8018, (2005).

[11] D.-C. Hwang, J.-S. Park, S.-C. Kim, D.-H. Shin and E.-S. Kim, "Magnification of 3-D Reconstructed Images in Integral Imaging using Intermediate-View Reconstruction Technique," Appl. Opt. Vol. 45, pp. 4631-4637 (2006).

[12] J.-H. Park et al, "Three-dimensional display scheme based on integral imaging with three-dimensional information processing," Opt. Express, Vol. 12, pp. 6020-6032 (2004).

[13] J.-S. Jang, S. Yeom, B. Javidi, "Compression of ray information in three-dimensional integral imaging," Optical Engineering 44(12), p.127001 (2005).

[14] S. Yeom, A. Stern, and B. Javidi, "Compression of 3D color integral images," Opt. Express Vol. 12, pp. 1632-1642 (2004).

강 호 현 (Ho-Hyun Kang)

정회원



2004년 2월 광운대학교 전자재료공학과 졸업

2007년 2월 광운대학교 전자공학과 석사

2009년 3월 광운대학교 전자공학과 박사수료

<관심분야> 3D 디스플레이, 집적영상, 광정보처리

신 동 학 (Dong-Hak Shin)

정회원



1996년 2월 부경대학교 정보통신공학과 졸업

1998년 2월 부경대학교 전자공학과 석사

2001년 8월 부경대학교 정보통신공학과 박사

2001년10월~2004년8월 도요하시

기술대학 연구원

2006년 3월~2007년8월 광운대 3DRC 연구교수

2007년 9월~현재 동서대학교 영상콘텐츠학과 연구교수

<관심분야> 3D 디스플레이, 집적영상, 광정보처리

김 은 수 (Eun-Soo Kim)

중신회원

한국통신학회지 Vol.24, No. 9A 참조