

특집논문-04-09-3-03

계층적 깊이영상 정보의 압축 부호화를 위한 전처리 방법

윤 승 옥^{a)‡}, 김 성 열^{a)}, 호 요 성^{a)}

A Preprocessing Algorithm for Layered Depth Image Coding

Seung-Uk Yoon^{a)‡}, Sung-Yeol Kim^{a)} and Yo-Sung Ho^{a)}

요 약

최근 영상기반 렌더링 기법 중에서 계층적 깊이영상(layered depth image)에 관한 연구가 주목을 받고 있다. 계층적 깊이영상은 여러 시점에서 생성된 깊이영상을 합하여 하나의 데이터 구조로 만든 것으로, 임의 시점의 영상을 간단한 변형(warping) 함수를 사용하여 쉽게 생성할 수 있다. 반면, 한 장의 영상이 다시점 깊이 데이터를 포함하므로 용량이 매우 큰 단점이 있다. 본 논문에서는 계층적 깊이영상의 압축 부호화를 위한 새로운 전처리 방법을 제안한다. 계층적 깊이영상은 계층의 수가 늘어나 계층의 후미로 갈수록 화소의 밀도가 낮아지는 현상이 두드러진다. 기존의 방법은 이러한 특성을 이용하기 위해 변환을 수행하기 전에 데이터 모으기 기법을 사용하였지만, 깊이정보 사이의 상관관계를 전혀 고려하지 않았다. 본 논문에서는 이전의 두 값을 연결하는 직선과 현재 값 사이의 최단거리를 계산한 후, 이 값으로 현재의 깊이 값을 대체하여 변환 효율을 향상시킨다.

Abstract

The layered depth image (LDI) is an efficient approach to represent three-dimensional objects with complex geometry for image-based rendering (IBR). LDI contains several attribute values together with multiple layers at each pixel location. In this paper, we propose an efficient preprocessing algorithm to compress depth information of LDI. Considering each depth value as a point in the two-dimensional space, we compute the minimum distance between a straight line passing through the previous two values and the current depth value. Finally, the minimum distance replaces the current attribute value. The proposed algorithm reduces the variance of the depth information; therefore, it improves the transform and coding efficiency.

Keywords : Image-based rendering, layered depth image, coding, data compression

I. 서 론

지난 수년간 3차원 모델기반 렌더링(model-based rendering) 기법에 관한 많은 연구가 진행되었으며, 그 결과 더욱 현실감있는 영상을 얻는데 유용한 모델링과 렌더

링 도구들이 개발되었다. 그러나 모델기반 렌더링 기법은 복잡한 물체의 경우 모델링이 어렵고, 처리 시간이 많이 걸린다는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 컴퓨터 그래픽스 분야에 새롭게 등장한 것이 바로 영상기반 렌더링(image-based rendering) 기법이다.

영상기반 렌더링은 여러 시점의 2차원 영상을 이용하여 3차원 공간의 임의 시점에서 본 영상을 생성하는 방법이다. 이러한 접근 방식은 2차원 영상을 입력으로 사용하므로 생성하려는 영상의 복잡도와 무관하다. 또한, 원하는 장면을 생성하기 위해 복잡한 3차원 모델을 만드는 것보다 영상이

a) 광주과학기술원 정보통신공학과
Department of Information and Communications Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

‡ 본 연구는 광주과학기술원(GIST)과 광주과학기술원 실감방송 연구센터를 통한 대학IT연구센터(ITRC), 그리고 교육부 두뇌한국21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

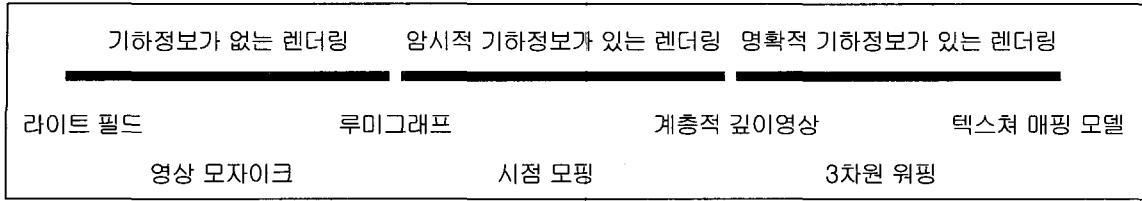


그림 1. 영상기반 렌더링 기술의 분류
 Fig.1. Classification of image-based rendering techniques

나 사진을 얻는 것이 훨씬 쉽다. 하지만 영상기반 렌더링 데이터 역시 용량이 매우 크므로, 이에 대한 압축 및 부호화가 필수적이다.

최근에는 이러한 영상기반 렌더링 기법 중에서 계층적 깊이영상(layered depth image, LDI)에 관한 연구가 주목을 받고 있다. LDI는 여러 시점에서 생성된 깊이 영상을 합성하여 하나의 데이터 구조로 만든 것으로, 임의 시점의 영상을 간단한 변형(warping) 함수를 사용하여 쉽게 생성할 수 있다. 반면, 하나의 LDI가 여러 계층의 깊이정보 데이터를 포함하므로 용량이 매우 큰 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 LDI의 깊이정보를 압축하기 위한 새로운 전처리 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 영상기반 렌더링 기법의 종류를 소개하고, III장에서 LDI의 생성 및 데이터 구조에 대해 설명한다. IV장과 V장에서는 각각 기존의 LDI 압축 기법과 제안한 전처리 방식을 기술하고, VI장에서 실험결과를 분석한다. 마지막으로 VII장에서 결론을 맺는다.

II. 영상기반 렌더링 기법의 분류

1. 영상기반 렌더링 기술동향

영상기반 렌더링은 최근에 고전적인 모델기반 렌더링의 대체 기술로 각광을 받고 있다. 영상기반 렌더링 기술은 기하학 정보의 사용 유무에 따라 크게 기하정보가 없는 렌더링, 암시적 기하정보가 있는 렌더링, 그리고 명확한 기하정보가 있는 렌더링으로 분류할 수 있다^{[1][2]}. 기하정보가 없는 렌더링 방법은 플레넵틱 함수(plenoptic function)의 특성을 이용하여 새로운 시점의 장면을 재현하는 것으로, 빛 정보와 텍스처 정보만을 이용한다. 루미그래프(lumigraph)와 라이트 필드(light field) 렌더링이

이 범주에 속한다. 암시적 기하정보가 있는 렌더링 방법은 새로운 시점의 장면을 재현하기 위해 입력 영상들의 위치적 관련성을 이용하며, 암시적이란 용어를 사용한 이유는 기하정보가 직접적으로 렌더링에 이용되지 않기 때문이다. 이 방식은 3차원 위치정보를 투영행렬 계산을 통해 얻고, 얻은 정보를 새로운 장면 재현을 위해 사용한다. 시점 모핑(view morphing) 기법이 이 범주에 속한다. 마지막으로, 명확한 기하정보가 있는 렌더링 방법은 직접적으로 깊이정보와 같은 3차원 정보를 사용하며, 전통적인 텍스처 매핑 방법이 이 범주에 속한다. 본 논문에서 기술하는 LDI도 여기에 속하며, 최근 이에 관한 연구가 활발하다. 그림 1은 다양한 영상기반 렌더링 기술의 분류를 나타낸다.

2. 루미그래프

루미그래프는 4차원 플레넵틱 함수를 이용하여 복잡한 모델의 완벽한 형상을 부호화하고, 모델의 복잡도와는 독립적으로 객체를 표현한다^[3]. 플레넵틱 함수는 모든 3차원 공간 좌표 (x, y, z) 에서 모든 2차원 방향 (θ, ϕ) 로 빛의 흐름을 나타내는 5차원적인 함수이다. 만약 공기가 투명하다고 가정하면 빈 공간을 통하는 광선의 광휘는 상수이다. 또한, 관심영역을 객체의 불투명한 표면에 남아있는 빛으로 더 제한한다면, 객체를 둘러싼 표면에 대해서만 플레넵틱 함수의 값을 표현하면 된다. 그러므로 객체에 대한 플레넵틱 함수는 4차원으로 줄어들 수 있으며, 루미그래프에서는 이 4차원 함수를 (s, t, u, v) 의 매개변수로 표현한다.

3. 라이트 필드 렌더링

라이트 필드 렌더링은 여러 장의 2차원 영상을 사용하여 정적 3차원 장면을 재현한다^[4]. 각각의 영상은 라이트

필드라는 빛 분할 정보를 가지고 있으며, 이를 그림 2에 나타내었다. 아무리 복잡도 높은 객체라 할지라도 2차원 영상에 담을 수 있기 때문에 라이트 필드 렌더링에서는 장면 콘텐츠에 대한 어떠한 제약도 없다. 그러므로 렌더링 화질은 사용 가능한 2차원 영상의 수에 따라 결정된다. 하지만, 라이트 필드 렌더링은 실세계와 같은 렌더링 결과를 얻기 위해 수천 장의 영상이 필요하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 렌더링하는 동안 지역 기억장치에 해당 정보를 저장할 뿐만 아니라, 이 정보들을 전송하기 위해 영상 압축 기술이 필수적이다.

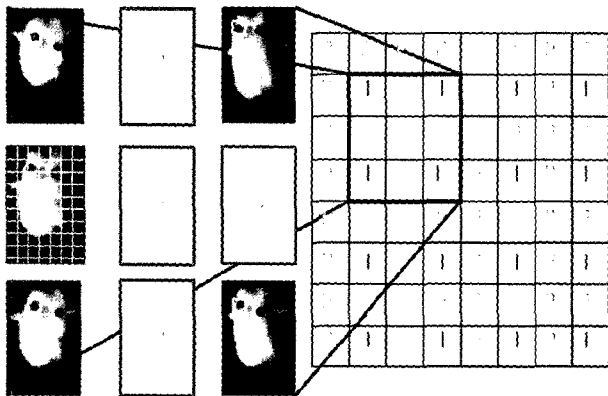


그림 2. 라이트 필드의 데이터 구조
Fig. 2. Data structure of the light field

III. 계층적 깊이영상의 생성 및 데이터 구조

1. 계층적 깊이영상의 생성

LDI는 복잡한 기하정보를 갖는 3차원 물체나 장면을 영상기반 렌더링 기법을 이용하여 표현하는 방법 중 하나이다. 다각형 메쉬를 사용해서 모델을 표현하는 방식과 달리, LDI는 여러 시점에서 얻은 다수의 깊이 영상을 합성하여 하나의 데이터 구조를 생성한다. 따라서 각 LDI 화소는 색상정보 외에 화소와 카메라 사이의 거리를 나타내는 깊이 정보와 LDI의 렌더링을 지원하는 추가적인 특성정보를 담고 있다. 또한, LDI는 각 화소의 위치마다 다수의 계층을 가지므로, 이 정보를 이용하면 새로운 카메라 위치에서 3차원 물체를 효과적으로 렌더링할 수 있다.

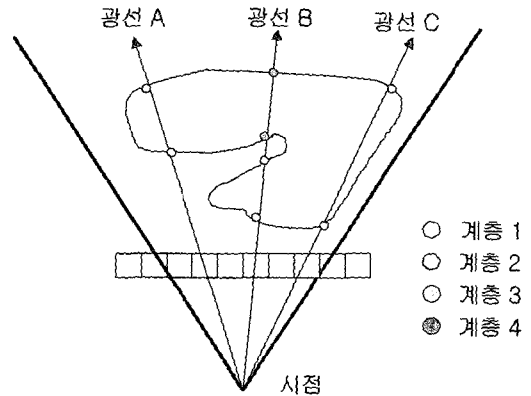


그림 3. LDI 생성의 개념도
Fig. 3. Conceptual diagram of the generation of LDI

그림 3은 이러한 특징을 갖는 LDI의 생성 방식을 나타내고 있다^[5]. LDI를 생성하기 위해 그림 3에서 보는 바와 같이, 기준 시점에서 물체를 향해 광선을 투과시킨다. 이때, 광선 A는 물체와 두 곳에서 만나게 되며, 광선 B는 네 곳에서 만난다. 따라서 광선 A가 통과하는 LDI 화소에는 2개의 계층이 생성되며, 광선 B가 통과하는 화소에는 4개의 계층이 형성된다. 이처럼 모든 화소 위치마다 같은 수의 계층이 형성되는 것이 아니라, 광선과 물체의 교차점의 개수에 따라 생성되는 계층의 수가 달라진다.

그림 4는 또 다른 LDI 생성 방식을 나타낸다^[5]. 컴퓨터 그래픽스를 이용해 생성된 모델이 아닌 실제 물체에 대해서는, 여러 시점에서 깊이영상을 획득하여 이를 합성하는 방식을 사용한다. 카메라 시점 C2와 C3의 위치에 있는 깊이영상을 공통의 시점 C1로 변형(warping)하여 LDI를 생성할 수 있다. 입력 카메라 시점인 C2와 C3의 화소를 공통 카메라 시점으로 변형할 때 2개 이상의 화소 값이 같은 위치로 매핑되면, 그 위치에서 매핑된 화소들이 가지고 있는 원래의 깊이 값을 비교한다. 만약 깊이 값의 차이가 미리 정한 임계치보다 크면 현재 화소 위치에 새로운 계층이 추가된다. 그렇지 않고 깊이 값의 차이가 임계치보다 작으면, 두 화소 값의 평균값으로 현재 계층의 값을 갱신하고 새로운 계층은 추가하지 않는다. 후자에 해당하는 경우가 공통의 카메라 시점으로 변형되는 c와 d이다. c와 d 화소는 깊이 값이 거의 일치하므로 두 화소의 깊이 값의 평균을 취하고 이를 하나의 계층으로 통합한다.

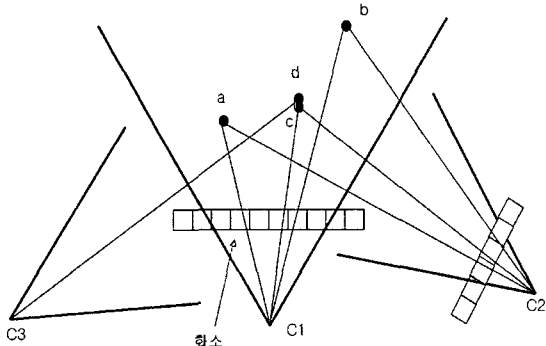


그림 4. 다수의 깊이영상을 이용한 LDI의 생성
Fig. 4. Generation of LDI using depth images

이렇게 생성된 LDI는 한 장의 영상 구조에 다수의 깊이 정보를 포함한다. 그림 5는 LDI의 데이터 구조를 나타내며, 각 LDI 화소 위치에 서로 다른 수의 계층이 존재함을 알 수 있다^[5]. 이렇게 한 영상 구조에 모든 부가정보를 포함하게 되면 가려진 영역(occlusion region)을 처리할 때 기존의 우선순위 기반 화소선택법^[6]을 사용할 수 있어 유용하다.

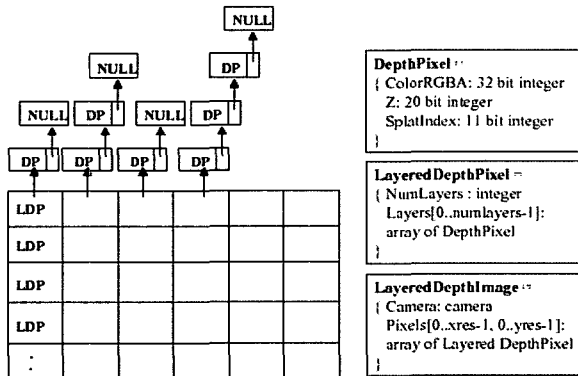


그림 5. LDI 데이터 구조
Fig. 5. Data structure of LDI

IV. 기존의 LDI 압축 방법

고해상도의 LDI는 방대한 양의 데이터를 포함한다. 휘도와 색상정보만으로 이루어진 일반적인 영상과 달리, 각 LDI 화소는 63비트의 정보를 포함하고 있다. 우선 R, G, B, 알파 채널에 각각 8비트가 할당되며, 20비트는 깊이 값에, 11비트는 렌더링을 위한 부가정보인 스플랫 테이블(splat

table)에 할당된다. 예를 들어, Cathedral LDI는 총 14MByte의 데이터를 포함하고 있으며, 해상도는 1024 x 1024이고 1,588,812개의 깊이 값을 가지고 있다. 그림 6은 다양한 LDI를 나타내며, 표 1은 다양한 LDI의 해상도와 그에 따른 총 데이터양을 보여준다^[7].

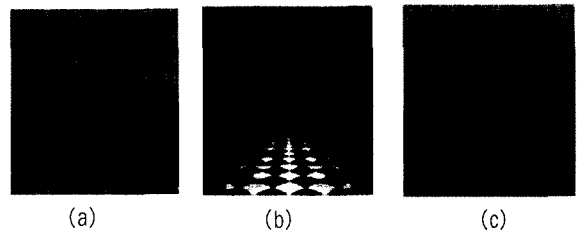


그림 6. LDI: (a) Sunflower, (b) Cathedral, (c) Stream
Fig. 6. LDI: (a) Sunflower, (b) Cathedral, (c) Stream

표 1. 해상도에 따른 LDI의 용량
Table 1. Data size and resolution of LDI

LDI	해상도	계층수	화소수	용량(MB)
Sunflower	1024 x 1024	6	463,821	5.55
Cathedral	1024 x 1024	12	1,125,690	10.86
Stream	1024 x 1024	24	1,588,812	14.10

LDI는 다중 계층구조를 가지며, 후미의 계층으로 갈수록 낮은 화소 밀도를 가진다. 또한, 각 화소는 다수의 속성 값을 가지고 있다. 기존의 압축 방식은 이런 LDI의 특성을 이용하기 위해 LDI를 각 구성요소로 분리하여 이를 독립적으로 압축하였다. 그러나 LDI의 특수한 데이터 구조로 인해 기존의 MPEG이나 JPEG과 같은 압축기법을 그대로 적용하기가 어렵다. 그러므로 각 계층별로 데이터를 한 곳으로 모으고, 모인 데이터를 압축하기 위해서 형태 적응적 웨이브렛 변환(shape adaptive wavelet transform)이 사용된다. 웨이브렛 계수는 양자화되고 비트평면 부호기와 함께 엔트로피 부호화된다^[7].

V. 제안된 전처리 알고리즘

LDI는 각 화소마다 색상, 깊이, 스플랫 인덱스 정보를 포함하고 있으며, 어떤 위치에는 화소가 존재하지만 다른 위치에는 존재하지 않을 수 있다. 특히, 계층이 늘어날수록

화소의 밀도가 낮아지는 특성이 있다. 기존 알고리즘은 이러한 LDI의 특성을 이용하기 위해 데이터 모으기 기법을 사용하여 웨이브렛 변환의 효율을 향상시켰지만, 구성요소 별로 인접한 화소간의 유사성은 전혀 고려하지 않은 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위해 새로운 전처리 방법을 제안한다.

화소에 대한 (x, y) 좌표 값과 깊이를 나타내는 z 값을 살펴보면, y 축을 고정하였을 때 (x, z) 값이 변하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 1차원인 속성 정보를 2차원 공간상의 한 점으로 해석할 수 있게 된다. 본 논문에서는 깊이 정보에 대해 인접한 값 사이의 유사도를 판별하는 기준으로 유클리드 거리를 사용한다. 즉, 이전의 두 깊이 값을 연결하는 직선과 현재의 값 사이의 최단거리를 계산하여, 현재 화소의 깊이 값을 계산된 최단거리로 대체한다. 이를 그림 7에 나타내었다.

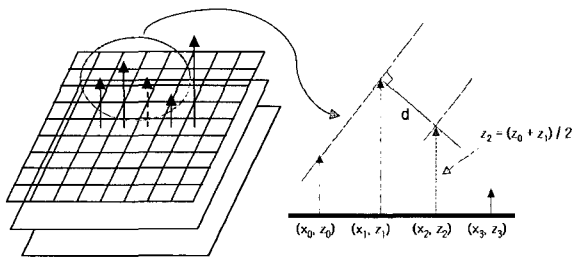


그림 7. 깊이 값 사이의 최단거리 계산
Fig. 7. Calculation of the minimum distance among depth values

이전 두 점을 A, B라 하고, 현재 점을 C라 할 때, A와 B를 잇는 직선과 C 사이의 최단거리 d는 다음과 같이 계산된다.

$$d = \frac{|(A-B)^\perp \cdot (C-A)|}{|A-B|} \quad (1)$$

여기서 A^\perp 는 A에 수직인 벡터를 나타낸다. 제안된 알고리즘은 현재 값을 예측하여 최단거리로 대체하므로, 차분 부호화 방식의 개념과 유사하다. 하지만 차분 부호화의 경우 현재 값을 이전 값과 동일하다고 가정하는데 반해, 제안한 방식은 유사도가 증가하거나 감소하는 방향에 현재 값이 위치한다고 생각하는 차이가 있다. LDI에서는 인접한 화소가 항상 존재하는 것이 아니므로 바로 이전 값과의 차이를 계산할 경우, 이 차이가 후미 계층으로 갈수록 점점

커지는 단점이 있다. 따라서 LDI 데이터 구조에는 제안한 방식이 더 적합하다.

제안한 전처리 단계를 수행한 후에 데이터 모으기와 웨이브렛 변환을 수행한다. 이때, 각 계층별로 깊이 값이 존재하지 않는 경우도 존재하므로, 이를 해결하기 위해 비어있는 화소에 대해서는 이전 두 점의 평균값을 삽입하고, 최종적으로 데이터 모으기 연산을 수행하기 전에 임시로 삽입된 평균값을 제거한다.

VI. 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 LDI의 깊이 정보를 압축하기 위해, 화소의 깊이 값을 제안된 알고리즘을 통해 계산한 최단거리로 대체하였다. 실험 데이터는 그림 8에 나타난 두 장의 LDI를 사용하였다. Ball 영상은 246 x 246, Flower 영상은 690 x 476의 해상도를 가지며 모두 세 계층으로 구성되어 있다.

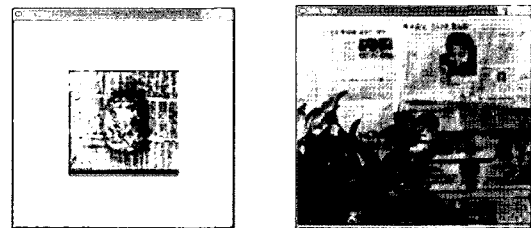


그림 8. LDI 실험 데이터: (a) Ball, (b) Flower
Fig. 8. Test LDIs: (a) Ball, (b) Flower

표 2는 원본 LDI와 전처리 후 LDI에 대해 깊이 값의 표준편차를 비교한 결과이다. 여기서 원본은 전처리를 수행하기 전 영상, 즉 기존 방식을 말한다. 전처리 후는 제안한 방식을 나타내며, 최단거리로 대체된 값들의 표준편차가 원본 LDI에서의 표준편차보다 적어도 40% 이상 감소하였다.

표 2. 깊이 값의 표준편차 비교
Table 2. Standard deviations of depth information

	Ball		Flower	
	전처리 전	전처리 후	전처리 전	전처리 후
계층 1	51.98	27.06	1815.07	364.46
계층 2	118.14	49.81	3080.90	609.16
계층 3	160.31	74.16	3749.96	769.95

표 4. 차분 부호화 방식과의 표준편차 비교

Table 4. Performance comparison

	Ball			Flower		
	전처리 전	차분 부호화	제안한 방식	전처리 전	차분 부호화	제안한 방식
계층 1	51.98	21.05	27.06	1815.07	399.82	364.46
계층 2	118.14	47.24	46.28	3080.90	924.50	613.61
계층 3	160.31	74.57	65.66	3749.96	1459.07	756.03

표 3은 웨이브렛 변환과 가변길이 부호화를 거친 후 기존 방식과 제안한 방식의 깊이정보의 데이터양을 비교해서 보여준다. 전처리 전은 전처리 단계가 없는 기존의 방식을 가리키며, 전처리 후는 제안한 방식을 나타내고 있다. 제안한 알고리즘을 적용한 경우에는 데이터 사이에 차이가 감소하여 데이터 분포가 한쪽 방향으로 몰리게 되므로 변환 효율이 증가한다. 따라서 표 3의 실험 결과에서와 같이 기존 방식인 전처리 전에 비해 총 데이터양이 20% 이상 감소했음을 확인할 수 있다.

표 3. 깊이정보의 데이터양 비교 [단위: kBytes]

Table 3. Size of depth information [kBytes]

Ball			Flower		
전처리 전	전처리 후	감소율(%)	전처리 전	전처리 후	감소율(%)
78.62	67.54	21.15	415.66	363.78	20.56

표 4는 차분 부호화 방식과 제안한 방식을 비교한 결과를 나타낸다. 즉, 전처리 단계가 없는 기존의 방식을 전처리 전으로 표기하였으며, 기존 방식에 차분 부호화를 이용한 전처리 단계를 추가하였을 경우를 차분 부호화로 표기하였다. 그리고 이 두 가지 방법과 제안한 방식을 비교하였다. 제안한 방식은 이전의 깊이 값들을 이용하여 현재 화소의 깊이 값을 예측하는 방식이므로 일종의 예측 부호화 방식으로 볼 수 있다. 대표적인 예측 부호화 방식으로 차분 부호화 방식이 많이 사용되기 때문에, 기존 방식에 차분 부호화를 적용한 경우와 제안한 방식과의 표준편차를 비교하였다. 표 4에 나타난 비교 결과를 살펴보면 계층이 증가할수록 제안한 방식의 표준편차가 크게 감소함을 확인할 수 있다. 특히, 데이터양이 많은 Flower LDI의 경우에는 제안한 방식을 이용했을 때의 표준편차가 가장 작음을 관찰할 수 있다. 이는 LDI 데이터의 구조가 후미 계층으로 갈수록 화소의 밀도가 낮아지는 특성을 가지므로, 이전 값을 그대로 예측에 사용하는 차분 부호화 방식의 경우는 계층이 증가할수록 예측오차가 점점 커지기 때문에 나타나는 현상이다.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 계층적 깊이영상(layered depth image, LDI)의 깊이정보를 압축하기 위한 전처리 알고리즘을 제안하였다. LDI에서는 계층이 늘어날수록 후미 계층에서 화소의 밀도가 낮아지는 특성이 있으므로, 데이터 모으기를 사용하여 변환 효율을 높일 수 있다. 여기에 추가적으로 구성 요소 영상별로 인접한 화소간의 유사성을 고려하면 변환 효율이 더욱 향상된다. 유사성을 판단하는 기준으로 유클리드 거리를 이용하였으며, 1차원 깊이정보를 2차원 공간상의 점으로 해석하여 최단거리를 계산하였다. 현재 화소 위치의 속성 값을 이 값으로 대체하여 계층별로 속성 값 사이의 표준편차를 줄일 수 있었고, 결과적으로 변환 효율을 증가시켜 LDI 데이터의 가장 중요한 정보 중 하나인 깊이정보를 효과적으로 압축하였다. 향후 연구로 더 많은 계층을 가지며 고해상도인 다양한 LDI를 생성하여 제안한 알고리즘의 타당성 및 복잡도에 대한 추가 실험을 수행할 계획이다.

참 고 논 문

- [1] H. Shum and S.B. Kang, "A review of image-based rendering techniques," Proceedings of VCIP, pp. 2-13, June 2000.
- [2] H. Shum, S.B. Kang, and S. Chan, "Survey of image-based representations and compression techniques," IEEE Transaction on Circuit and Systems for Video Technology, Vol. 13, No. 11, pp. 1020-1037, November 2003.
- [3] S.J. Gortler, R. Grzeszczuk, R. Szeliski, and M.F. Cohen, "The lumigraph," Proceedings of SIGGRAPH, pp. 43-54, August 1996.
- [4] M. Levoy and P. Hanrahan, "Light field rendering," Proceedings of SIGGRAPH, pp.31-42, August 1996.
- [5] J. Shade, S.J. Gortler, and R. Szeliski, "Layered depth images," Proceedings of SIGGRAPH, pp. 291-298, July 1998.
- [6] L. McMillan, "A list-priority rendering algorithm for redisplaying projected surfaces," University of North Carolina, 95-005, 1995.
- [7] J. Duan and J. Li, "Compression of the layered depth image," IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 12, pp. 365-372, March 2003.

저 자 소 개



윤 승 욱

- 2000년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (학사)
- 2002년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (석사)
- 2002년 9월~현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
- 주관심분야 : 영상기반 렌더링 데이터 압축 및 부호화, 3차원 메쉬 모델링 및 압축, MPEG-4 기반 컴퓨터 애니메이션



김 성 열

- 2001년 2월 : 강원대학교 정보통신공학과 (학사)
- 2003년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (석사)
- 2003년 3월~현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
- 주관심분야 : 디지털 신호처리 및 영상신호처리, 3차원 메쉬 모델링 및 압축, 멀티미디어 전송



호 요 성

- 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (학사)
- 1983년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (석사)
- 1983년 3월~1995년 9월 : 한국전자통신연구소 선임연구원
- 1989년 12월 : University of California, Santa Barbara, Department of Electrical and Computer Engineering (박사)
- 1990년 1월~1993년 5월 : 미국 Philips 연구소, Senior Research Member
- 1995년 9월~현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 교수
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, 영상신호처리 및 압축, 초저속 영상통신, 디지털 TV와 고선명 TV 방식, 멀티미디어 통신 방식