

특집논문-06-11-4-09

## 깊이맵의 정보 분해와 경계 평탄 필터링을 이용한 다시점 영상 생성 방법

김 성 열<sup>a)</sup>, 이 상 범<sup>a)</sup>, 김 유 경<sup>a)</sup>, 호 요 성<sup>a)†</sup>

### Generation of Multi-view Images Using Depth Map Decomposition and Edge Smoothing

Sung-Yeol Kim<sup>a)</sup>, Sang-Beom Lee<sup>a)</sup>, Yoo-Kyung Kim<sup>a)</sup>, and Yo-Sung Ho<sup>a)†</sup>

#### 요 약

본 논문은 깊이맵의 정보 분해(information decomposition)와 적응적 경계 평탄 필터링(adaptive edge smooth filtering)을 이용하여 다시점 영상을 생성하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 깊이맵의 경계 영역에 평탄 필터링을 수행한 후, 깊이맵을 네 가지 종류의 분해 영상, 즉, 규칙 메쉬 영상, 경계 영상, 특징점 영상, 계층의 수 영상으로 변환한다. 그런 다음, 네 가지의 분해 영상에 3차원 메쉬 표현법을 적용하여 3차원 장면을 생성하고, 3차원 공간에서 가상 카메라의 위치를 변경하여 생성한 3차원 장면으로부터 다시점 영상을 추출한다. 실험 결과는 제안한 방법이 rubber-sheet 문제를 최소화하여 다시점 영상을 성공적으로 생성할 수 있었고, 깊이맵의 정보 분해를 통해 실시간으로 3차원 장면을 렌더링할 수 있었음을 보여준다. 또한, 제안한 방법은 기존의 방법과 달리 깊이맵 정보를 보존하기 때문에, 깊이 키잉(depth keying)과 같이 깊이 정보를 이용하는 3차원 응용에 활용할 수 있다.

#### Abstract

In this paper, we propose a new scheme to generate multi-view images utilizing depth map decomposition and adaptive edge smoothing. After carrying out smooth filtering based on an adaptive window size to regions of edges in the depth map, we decompose the smoothed depth map into four types of images: regular mesh, object boundary, feature point, and number-of-layer images. Then, we generate 3-D scenes from the decomposed images using a 3-D mesh triangulation technique. Finally, we extract multi-view images from the reconstructed 3-D scenes by changing the position of a virtual camera in the 3-D space. Experimental results show that our scheme generates multi-view images successfully by minimizing a rubber-sheet problem using edge smoothing, and renders consecutive 3-D scenes in real time through information decomposition of depth maps. In addition, the proposed scheme can be used for 3-D applications that need the depth information, such as depth keying, since we can preserve the depth data unlike the previous unsymmetric filtering method.

Keywords: Multi-view Video Generation, Depth Map Decomposition, Edge Smoothing, 3-D TV

## I. 서 론

디지털 정보화 시대를 맞이하여 초고속 네트워크가 널리 사용되고 3차원 디스플레이 기술이 급속히 발달함에 따라 다양한 3차원 오디오 비디오 정보를 이용한 응용들이 출현하고 있다. 특히, 3차원 TV<sup>[1]</sup>는 고품질의 오디오 비디오 콘

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

† 교신저자 : 호요성(hoyo@gist.ac.kr)

※ 본 연구는 광주과학기술원(GIST) 실감방송연구센터(RBRC)를 통한 정보통신부대학IT연구센터(ITRC)와 교육인적자원부 두뇌한국 21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

텐츠와 사용자 중심의 상호작용 기술(user-friendly interactions)을 제공하는 차세대 방송으로 대두되고 있다.

3차원 TV를 실현하기 위해서는 3차원 비디오를 효율적으로 표현하고, 다시점 영상을 효과적으로 생성하는 기술을 개발해야 한다. 최근에, 깊이맵 기반 표현법(depth image-based representation, DIBR)<sup>[2]</sup>이 3차원 TV의 핵심요소기술로 떠오르고 있다. DIBR은 깊이맵과 색상 영상을 이용하여 3차원 장면을 표현하는 기술이다. DIBR은 기존의 기하학 모델링 기술로 표현하기 어려운 복잡한 장면이나 연속적인 3차원 장면을 2차원 영상처럼 쉽게 처리한다.

깊이맵은 다시점 카메라로부터 획득한 2차원 영상을 스테레오 정합<sup>[3]</sup> 과정을 거쳐 얻어지거나, 깊이 카메라<sup>[4]</sup>의 적외선 센서를 통해 직접 추출된다. 일반적으로, 깊이맵은 256 레벨의 깊이 정보를 포함하는 흑백 영상으로 제공된다. 깊이맵의 화소의 밝기 값(intensity)과 해당 화소 위치는 실제 3차원 장면에 대한 기하학 정보를 2차원 공간으로 투영한 정보를 의미한다.

깊이맵으로부터 다시점 영상을 생성하기 위해서, 영상 기반 렌더링(image-based rendering, IBR)<sup>[5]</sup> 기술을 사용한다. IBR은 카메라의 내부 및 외부 정보를 이용하여 깊이맵 정보를 3차원 공간으로 투영한 뒤에, 원하는 시점의 2차원 공간으로 재 투영하여 다시점 영상을 얻는다. 그러나 깊이맵을 생성할 때 발생하는 오류, 즉, 카메라 정보의 부정확성, 폐색에 대한 문제 등으로 만족할만한 다시점 영상을 생성할 수 없다. 따라서 사용자가 원하는 시점에서의 장면을 생성하기 어려울 뿐만 아니라, 생성된 다시점 영상도 신뢰할 만한 품질을 갖지 못한다. 더욱이, 깊이맵을 획득할 당시의 카메라에 대한 내부 및 외부 정보를 정확히 알지 못하면, 깊이맵을 3차원 공간으로 재 투영하는 것도 불가능하다.

본 논문에서는 메쉬 구조를 기반으로 3차원 장면을 생성하고 가상 카메라(virtual camera)의 위치를 변경하여 다시점 영상을 생성한다. 메쉬 기반 표현법<sup>[6, 7]</sup>은 깊이맵의 화소 위치와 해당 밝기 값을 그대로 3차원 정보로 간주하거나 깊이맵 정보를 3차원 워핑을 거쳐 3차원 공간으로 투영한 뒤에, 메쉬 구조를 이용하여 3차원 장면을 렌더링한다. 이 논문에서는 카메라의 내부 및 외부 정보가 없다고 가정하

고 깊이맵 정보를 그대로 3차원 정보로 간주하여 3차원 장면을 생성한다. 그림 1은 깊이맵을 이용하여 메쉬 기반의 3차원 장면을 생성하는 것을 보여준다.

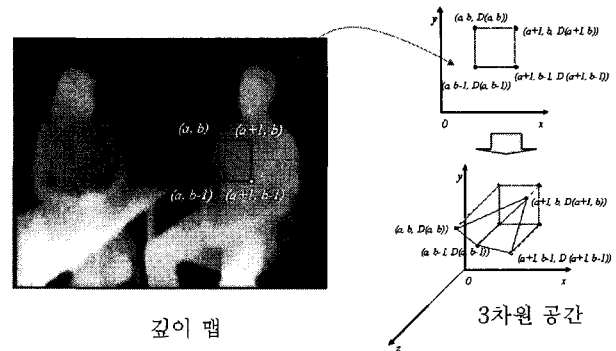


그림 1. 깊이맵으로부터 3차원 장면 생성

Fig 1. Construction of a 3-D scene with a depth map

메쉬 기반 표현법은 깊이맵으로부터 특징점(feature point)을 추출하고, 이를 기반으로 메쉬 삼각화 기법을 활용하여 3차원 장면을 생성한다. 메쉬 기반 표현법은 그래픽 가속기를 이용하여 3차원 장면을 실시간으로 렌더링할 수 있지만, 프레임마다 특징점의 위치정보가 불규칙하기 때문에 이를 연결성 정보로 제공하므로 별도의 3차원 정보 처리가 필요하다.

이러한 문제를 해결하는 방법은 깊이맵의 모든 픽셀을 특징점으로 간주하는 것이다. 하지만, 이 접근방식은 3차원으로 모델링해야 하는 삼각형의 개수가 기하급수적으로 늘기 때문에 실시간 렌더링이 어렵다. 결과적으로, 실시간으로 다시점 영상을 생성할 수 없게 된다. 본 논문에서 제안하는 깊이맵의 정보 분해법은 메쉬 기반 표현법을 이용한 DIBR의 한 방법으로 깊이맵의 규칙성을 유지하면서 3차원 장면을 실시간으로 렌더링한다.

본 논문의 2장에서는 메쉬 기반 표현법으로 다시점 영상을 생성하는 기존의 방법을 소개한다. 3장에서는 깊이맵의 경계 영역에 평탄 필터링을 하는 방법을 설명한다. 4장에서는 깊이맵의 정보를 중요도에 따라 분해하는 방법을 소개하고, 5장에서 제안한 방법을 이용하여 다시점 영상을 생성하는 과정을 설명한다. 그리고 6장에서는 실험한 결과를 보여주며, 7장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 기존의 다시점 생성 방법

### 1. Rubber-sheet 문제

메쉬 기반 표현법은 비폐색(disocclusion) 영역을 채우기 위한 방법으로 선형 보간법(linear interpolation)을 사용한다. 하지만, 선형 보간법을 이용하여 3차원 장면을 생성하고 다시점 영상을 추출하면 심각하게 왜곡된 영상을 얻는다. 이러한 현상을 일반적으로 rubber-sheet 문제<sup>[8]</sup>라 한다. 다시 말해, rubber-sheet 문제란 선형 보간법을 사용하는 모든 3차원 장면에서 발생하는 왜곡으로서, 앞쪽에 위치한 객체의 경계 부분에서 배경까지 부자연스럽게 색상이 뻗어진 모습을 말한다. 그림 2는 3차원 모델링 과정에서 발생한 rubber-sheet 문제를 보여준다.



그림 2. Rubber-sheet 문제  
Fig 2. Rubber-sheet problem

### 2. 비대칭 필터링을 이용한 다시점 영상 생성

다시점 영상 생성할 때 발생하는 rubber-sheet 문제를 해결하기 위해서, Zhang은 비대칭 가우시안 필터를 깊이 영상 전체에 적용하였다<sup>[9]</sup>. Zhang의 전처리 방법은 비폐색 영역에 의해 발생하는 기하학적 잡음을 줄였고, 다시점 영상의 화질을 향상시킬 수 있었다. 그러나 비대칭 가우시안 필터링 방법은 깊이 키잉(depth keying)<sup>[10]</sup>과 같이 깊이 정보를 사용하는 다양한 멀티미디어 응용에서 깊이맵을 효율적으로 사용할 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문은 전처리하는 동안 깊이맵의 변형을 최소화한다. 그림 3은 비대칭 필터를 적용한 깊이맵을 보여준다.

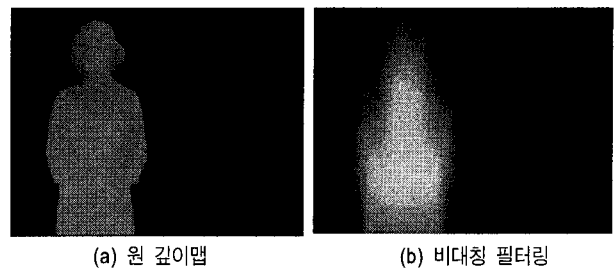


그림 3. 비대칭 필터링을 사용한 깊이맵  
Fig 3. Depth map after asymmetric filtering

## III. 깊이맵의 적응적 경계 평탄 필터링

메쉬 기반 표현법으로 얻어진 3차원 장면에서 다시점 영상을 획득하기 위해, 본 논문은 깊이맵에서 객체 경계를 찾고 이 영역을 평탄 필터링한다. 제안하는 적응적 경계 평탄 필터링은 객체 경계를 탐색하기 위해서 깊이맵에 Sobel 필터를 적용하는 단계와 탐색된 경계 주변에 가우시안 필터를 적용하는 두 단계로 나누어진다.

대부분의 비폐색 영역은 깊이 정보의 불연속성이 심한 객체의 경계에서 찾을 수 있다. 이러한 가정 하에 본 논문의 전처리방법은 기존의 비대칭 필터링과 달리 필터링하는 영역을 최소화하여 깊이맵의 심각한 변형이 일어나지 않는다. 깊이 값의 불연속성 크기에 따라 윈도우 크기가 다른 가우시안 필터를 깊이맵의 경계에 적용하면 필터링하는 영역을 더욱 줄일 수 있다. 깊이 값의 불연속성에 따라 최적화된 윈도우 크기를 선택하기 위해서, 비폐색 영역과 깊이 값의 불연속성 사이의 관계를 유도한다<sup>[11]</sup>. 그림 4는 비폐색 영역과 깊이 값의 불연속성 간의 관계를 보여준다.

그림 4는 가상 카메라 배열이 원호 수렴일 때, 비폐색 영역과 깊이 값의 불연속성 간의 관계를 나타낸다. 여기서  $h$ 는 원래의 시점에서의 영상 평면 1에서는 보이지 않다가 가상 시점에서의 영상 평면 2에서 나타나게 되는 비폐색 영역의 길이를 말하고,  $d$ 는 깊이 값의 불연속성 크기를 말한다. 또한,  $\theta$ 는 가상 카메라가 이동한 회전 각도를 말한다. 그림 4의 삼각형 영역에서 다음과 같은 식을 유도한다.

$$h = d \sin \theta \tag{1}$$

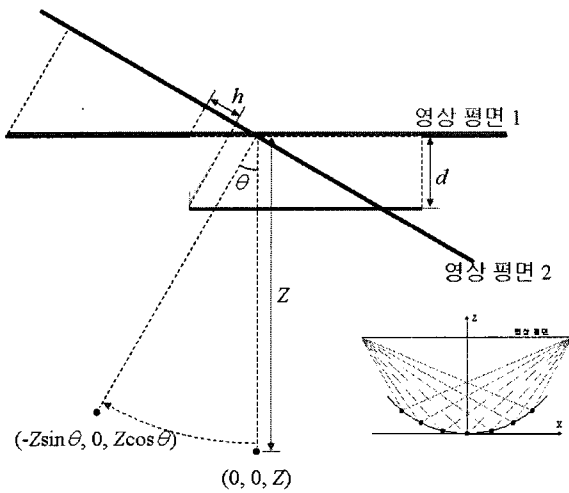


그림 4. 비폐색 영역과 깊이 값의 불연속성 간의 관계  
 Fig 4. Relation between depth values and disocclusion

식 1로부터 깊이 값의 불연속성 크기와 가상 시점의 이동 관계를 알면, 비폐색 영역의 길이를 쉽게 예측 가능하다. 결과적으로, 윈도우의 가로 방향의 크기는  $h$ 와 같다. 그림 5는 제안한 방법을 통하여 얻어지는 깊이맵을 보여준다. 그림 5(a)는 Sobel 필터를 통해 객체의 경계를 추출한 결과이고, 그림 5(b)는 적응적 경계 평탄 필터링의 결과이다. 그림 5(b)에서 보듯이, 제안한 적응적 경계 평탄 필터링은 기존의 비대칭 필터링보다 깊이맵의 왜곡을 최소화한다.



(a) 경계추출 (b) 경계 평탄 필터링  
 그림 5. 평탄 필터링한 깊이맵의 비교  
 Fig 5. Comparison of depth map after smooth filtering

#### IV. 깊이맵의 정보 분해

본 논문에서는 깊이맵의 특징점 정보를 규칙적으로 표현하고 3차원 장면을 실시간으로 렌더링하기 위해, 깊이맵을 중요도에 따라 분해하는 방법을 소개한다. 깊이맵의 정보

분해는 깊이맵을 규칙 메쉬 영상, 경계 영상, 특징점 영상, 계층의 수 영상으로 분해한다.

##### 1. 규칙 메쉬 영상

규칙 메쉬 영상은 깊이맵을 일정한 샘플링율(sampling rate)로 다운샘플링하여 얻어진다. 격자셀(grid cell)은 2차원 비디오 부호화의 기본 단위인 매크로 블록(macroblock)과 상응하는 것으로, 깊이맵 정보 분해의 기본 단위이다. 격자셀의 크기를  $p \times q$ 로 정하면, 규칙 메쉬 영상은 깊이맵을 수평축으로 샘플링을  $p$ 로, 수직축으로 샘플링을  $q$ 로 다운샘플링한다.  $n$ 번째 규칙 메쉬 영상  $B_n$ 은  $n$ 번째 깊이맵  $D_n$ 으로부터 식 2를 이용하여 얻는다.

$$B_n(i, j) = D_n(x, y) \begin{cases} x = i \times (p-1) \\ y = j \times (q-1) \end{cases} \quad (2)$$

$$(0 \leq x < W, 0 \leq y < H, 0 \leq n < N)$$

여기서,  $i$ 와  $j$ 는 규칙 메쉬 영상의 수평수직 좌표이고,  $x$ 와  $y$ 는 깊이맵의 수평수직 좌표를 나타낸다.  $W, H, N$ 은 깊이맵의 가로축, 세로축 해상도, 깊이맵의 총 프레임수를 의미한다.  $D_n(x, y)$ 는 깊이맵의  $(x, y)$  위치의 밝기 값을 나타내고,  $B_n(i, j)$ 는 규칙 메쉬 영상의  $(i, j)$  위치의 밝기 값을 나타낸다. 그림 6은 깊이맵으로부터 규칙 메쉬 영상을 생성하는 과정을 보여준다. 만약 깊이맵의 수평수직 해상도가  $W \times H$ 이고 격자셀의 크기가  $p \times q$ 이면, 규칙 메쉬 영상의 수평 수직 해상도는  $(W/p+1) \times (H/q+1)$ 이다. 일반적으로 격자셀의 크기는  $8 \times 8$  또는  $16 \times 16$ 으로 정의한다.

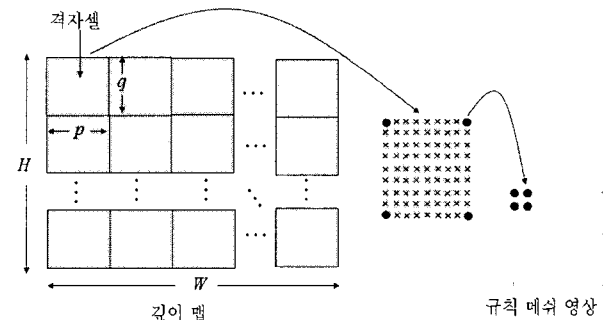


그림 6. 규칙 메쉬 영상의 생성 과정  
 Fig 6. Generation of regular mesh images

## 2. 경계 영상

본 논문에서는 경계 영상을 이용하여 경계 부분을 독립적으로 처리한다. 일반적으로 깊이맵으로부터 생성한 3차원 장면은 경계 부분에서 왜곡이 심하게 나타난다<sup>[12]</sup>. 3차원 장면의 경계 영역을 찾기 위해, 경계 평탄 필터링 과정에서 추출한 경계 부분을 이용한다. 해당 경계 부분은 quadtree 모드나 full modeling 모드로 표현한다. 경계 영상은 두 모드에 필요한 깊이 값을 모은 것이다.

적용할 모드를 결정하기 위해, 먼저 격자셀이 경계 영역에 포함되어 있는지에 대한 유무를 판별한다. 만약, 격자셀에 포함된 경계 영역이 격자셀의 반 이상을 차지하면 full modeling 모드로 처리하고, 그렇지 않으면 quad-tree 모드를 사용한다. 그림 7(a)의 첫 번째부터 네 번째까지는 quad-tree 모드를 나타내고, 그림 7(a)의 다섯 번째는 full modeling 모드를 보여 준다. 또한, 그림 7(b)에서 보듯이, quad-tree 모드에서 부격자셀은 16개의 후보자들 중에 하나로 표현된다. 부격자셀에 포함된 경계를 Radon 변환<sup>[13]</sup>하여 경계의 주방향을 결정하고, 16개 후보자 중 하나를 선택하여 quad-tree 모드를 만든다.

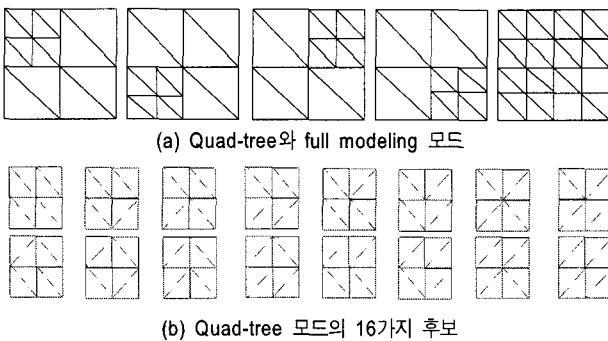


그림 7. 경계 영역의 표현  
Fig 7. Representation of the region of edges

그림 8(a)에서 보듯이, quad-tree 모드는 한 격자셀을 표현하기 위해 10개의 깊이 정보가 필요하다. 깊이맵으로부터 추출한 10개의 깊이 정보는 래스터 스캐링 순서에 따라 경계 영상에 할당한다. 그림 8(b)에서 보듯이, full modeling 모드는 21개의 깊이 정보가 필요하다. 추출한 21개의 깊이 정보는 quad-tree 모드와 같이 경계 영상에 할당한다.

여기서, 주목할 점은 경계 영상에서 제공하는 깊이 정보와 어떠한 모드를 사용했는지에 대한 정보가 있으면, 경계 영역을 표현할 수 있다는 점이다. 따라서 별도의 모드 정보를 제공해 주어야 하는데, 4.4절에서 소개할 계층의 수 영상이 모드 정보를 제공한다.

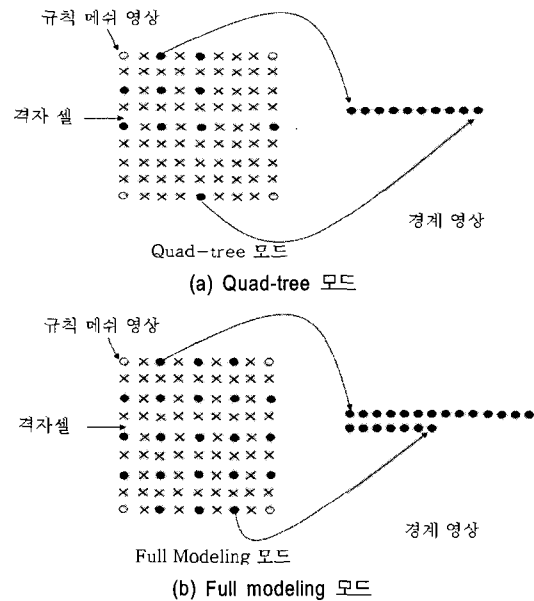


그림 8. 경계 영상의 생성 방법  
Fig 8. Generation of boundary images

## 3. 특징점 영상

특징점 영상은 경계 영역이 아닌 영역의 품질을 향상시킨다. 특징점은 3차원 표면의 외형을 결정할 때, 영향력이 큰 꼭지점을 의미한다. 특징점 영상이란 이러한 특징점을 모아 2차원 영상으로 출력한 것을 의미한다. 그림 9는 특징점 영상을 생성하는 방법을 보여준다. 격자셀마다 가장 영향력이 큰 특징점을 모아 첫 번째 특징점 영상을 만든다. 또한, 두 번째로 영향력이 큰 특징점을 모아 두 번째 특징점 영상을 만든다. 나머지 특징점 영상들도 이와 같은 방식으로 생성한다. 주목할 점은 경계 영역이 아닌 격자셀의 대부분은 깊이 정보가 비슷하기 때문에, 1개 내지 2개의 특징점 영상으로 표현할 수 있다. 특징점은 최대값 거리 알고리즘을 이용하여 추출한다<sup>[14]</sup>.

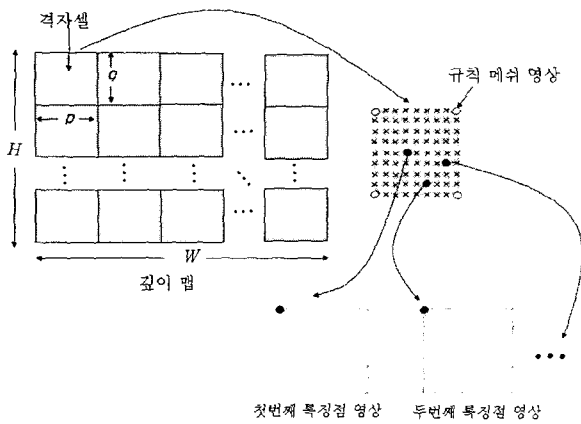


그림 9. 특징점 영상의 생성 방법  
Fig 9. Generation of feature point images

예를 들어, 특징점 영상의 총 개수가  $n$ 인 경우, 계층의 수 영상의 한 화소 값이  $n$ 보다 크면, 해당 격자셀은 경계 영역을 포함하고, 규칙 메쉬 영상과 경계 영상을 이용하여 quad-tree나 full modeling 모드로 표현한다. 만약 계층의 수 영상의 한 화소 값이 0이 아니면서  $n$ 보다 작으면, 해당 격자셀은 계층의 수 영상의 화소 값만큼의 특징점 영상과 규칙 메쉬 영상으로부터 추출한 정보로 표현한다. 마지막으로, 계층의 수 영상의 화소 값이 0이면, 격자셀은 오직 규칙 메쉬 영상의 4개의 꼭지점 정보로 표현한다. 계층의 수 영상은 3차원 장면을 구성하는 정보를 포함하기 때문에 무손실 부호화 방법을 이용하여 전송한다.

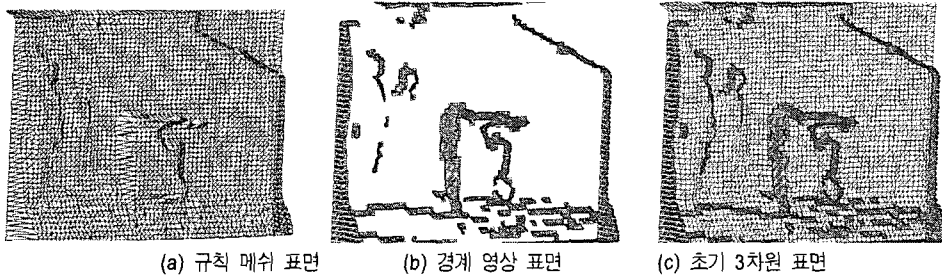
4. 계층의 수 영상

계층의 수 영상은 격자셀이 경계 영역을 포함하는지에 대한 유무 정보, 경계 영역을 포함할 때의 경계 영역을 표현할 모드 정보, 경계 영역을 포함하지 않는 격자셀에서의 특징점 개수를 영상으로 나타낸 것이다.

V. 회전각에 따른 다시점 영상 제작

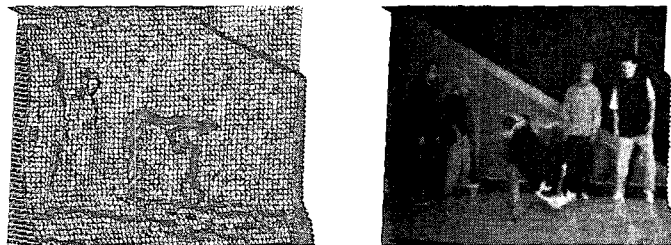
1. 깊이맵의 정보 분해를 이용한 3차원 장면 렌더링

깊이맵의 정보 분해를 이용하여 3차원 비디오를 렌더



(a) 규칙 메쉬 표면 (b) 경계 영상 표면 (c) 초기 3차원 표면

그림 10. 초기 3차원 표면의 생성  
Fig 10. Generation of initial 3-D surfaces



(a) 최종 3차원 표면 (b) 텍스처 매핑 결과

그림 11. 최종 3차원 표면의 생성  
Fig 11. Generation of final 3-D surfaces

링하는 단계는 크게 두 가지로 나누어진다. 하나는 초기 3차원 표면을 생성하는 단계이고, 다른 하나는 초기 3차원 표면을 향상시키는 단계이다.

그림 10은 초기 3차원 표면을 생성하는 단계를 보여준다. 초기 3차원 표면은 규칙 메쉬 영상으로만 생성한 3차원 표면(그림 10(a))과 경계 영상으로 생성한 3차원 표면(그림 10(b))을 결합하여 그림 10(c)와 같이 완성한다. 결과적으로, 초기 3차원 표면을 생성할 때는 계층의 수 영상, 규칙 메쉬 영상, 경계 영상이 필요하다.

초기 3차원 표면을 향상시키는 단계는 특징점 영상을 사용한다. 그림 11은 최종 3차원 표면을 보여준다. 초기 3차원 표면의 경계 영역이 아닌 부분은 4.3절에서 언급했듯이, 특징점 영상을 이용하여 표현한다. 그림 11(a)는 초기 3차원 표면에 특징점을 추가하여 3차원 표면을 향상시킨 모습을 보여준다. 그림 11(b)는 최종 3차원 표면에 텍스처를 입힌 결과를 보여준다.

2. 가상 카메라의 회전각에 따른 다시점 영상 생성

최종 3차원 장면으로부터 다시점 영상을 생성하기 위해, 가상 카메라를 3차원 장면의 중심점으로부터 좌측  $k^\circ$  에서부터 우측  $k^\circ$  까지  $1^\circ$ 씩 회전하면서  $(2k+1)$ 개의 다시점 영상을 획득한다. 여기서, 가상 카메라의 회전각  $k$ 는 사용자가 미리 정한다. 일반적으로, 메쉬 기반 표현법으로 다시점 영상을 생성하면, 다시점 카메라 시스템에서 획득한 다시점 영상과 달리, 제한된 시야각의 영상만을 생성할 수 있기 때문에, 회전각  $k$ 를  $15^\circ$  내외에서 정한다. 그림 12는 제안하는 다시점 영상 생성 시스템의 전체 블록도를 보여준다.

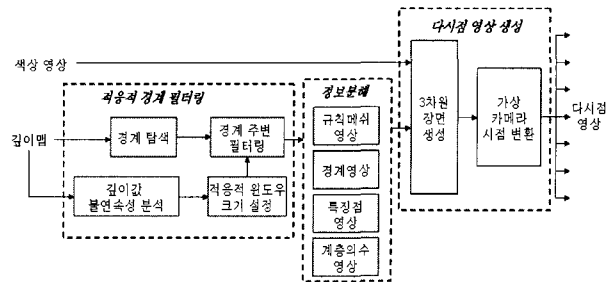


그림12. 제안하는 다시점 생성 방법의 블록도  
Fig 12. Block diagram of the proposed system

VI. 실험 결과

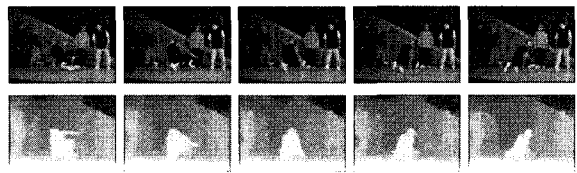
본 논문은 제안한 방법을 실험하기 위해, Home-shopping<sup>[4]</sup>과 Breakdancers<sup>[12]</sup> 시퀀스를 사용하였다. 두 실험 시퀀스는 모두 100 프레임으로 이루어져 있고, Home-shopping은 720×480 해상도이며, Breakdancers는 1024×768 해상도를 갖는다. 그림 13은 두 실험 시퀀스 첫 다섯 프레임의 다시점 영상을 보여준다. 본 실험에서는 격자셀의 크기를 16×16으로 정하였다.

그림 14는 깊이맵의 정보를 분해한 결과를 보여준다. 첫 번째 줄부터 세 번째 줄까지는 1번 프레임부터 5번 프레임까지의 규칙 메쉬 영상, 경계 영상, 계층의 수 영상을 보여준다. 네 번째와 다섯 번째 줄은 첫 번째와 두 번째 특징점 영상을 보여준다. 분해 영상의 해상도는 Home-shopping이 46×31이고, Breakdancers는 65×49이다.

그림 15는 3차원 장면을 생성한 결과를 보여준다. 계층의 수 영상, 규칙 메쉬 영상, 경계 영상, 두 개의 특징점 영상을 이용하여 3차원 표면을 생성시킨 후, 텍스처 매핑 과



1st 프레임 2nd 프레임 3rd 프레임 4th 프레임 5th 프레임  
(a) Home-shopping



1st 프레임 2nd 프레임 3rd 프레임 4th 프레임 5th 프레임  
(b) Breakdancers

그림 13. 실험 시퀀스  
Fig 13. Tested sequences

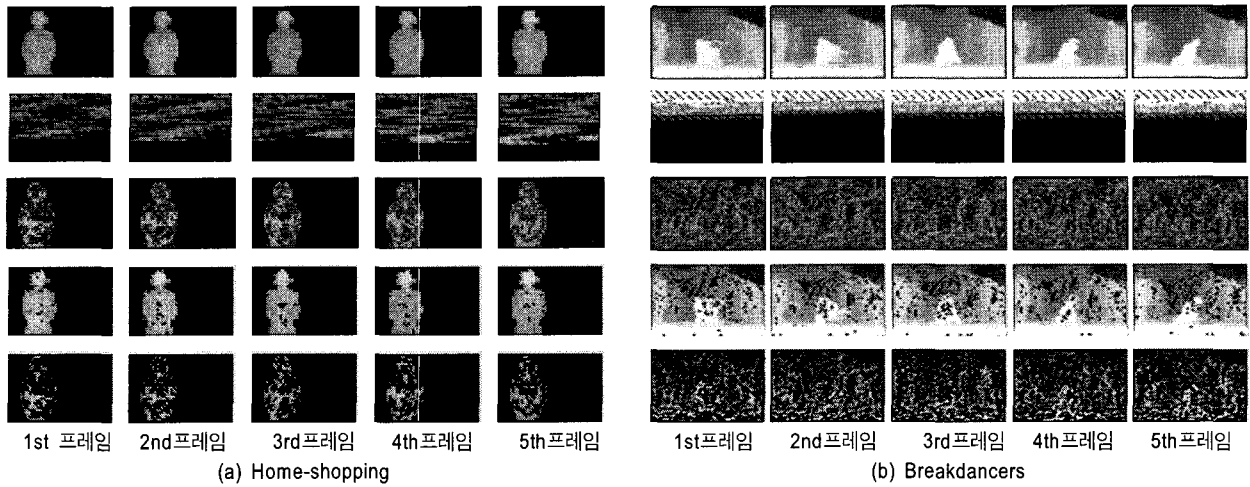


그림 14. 깊이맵의 정보 분해 결과  
 Fig 14. Results of information decomposition of depth maps

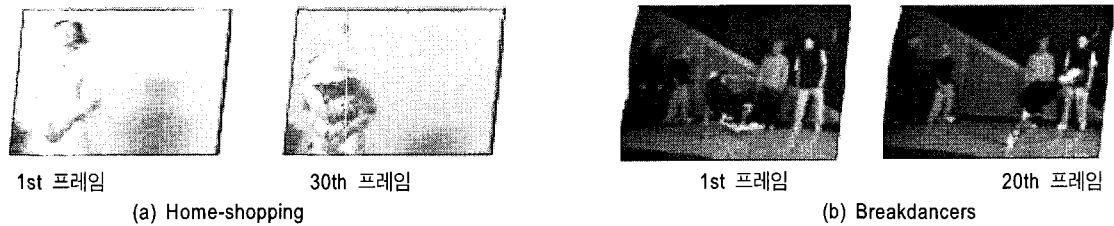


그림 15. 3차원 장면 생성 결과  
 Fig 15. Results of generation of 3-D scenes

정을 통해 3차원 장면을 성공적으로 생성하였다. 그림 16은 3차원 장면을 이용하여 다시점 영상을 획득한 결과를 보여준다. 그림 16(a)는 rubber-sheet 문제가 발생한 것을 보여주고, 그림 16(b)와 그림 16(c)는 기존의 비대칭 필터링과 제안한 적응적 경계 평탄 필터링을 수행하여 다시점 영상을 생성한 결과를 보여준다. 가상 카메라의 회전 각은 순서대로 3차원 장면 중심으로부터  $-10^\circ$ ,  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $+5^\circ$ ,  $+10^\circ$ 로 정하였다. 그림 16(b)와 그림 16(c)에서 보듯이, 기존의 방법과 제안한 방법은 rubber-sheet 문제를 최소화하여 다시점 영상을 성공적으로 생성하였다. 하지만, 그림 16(b)의 Home-shopping 시퀀스에서  $-10^\circ$ 과  $+10^\circ$ 의 영상을 보면, 쇼핑호스트의 얼굴이 많이 찌그러져 보인다. 반면에 제안한 방법은 쇼핑호스트의 얼굴모양을 어느 정도 일정하게 유지하였다. 그 이유는 제안한 적응적 경계 평탄 필터링 방법이

기존의 방법보다 깊이정보의 왜곡을 최소화하였기 때문이다. 경계 평탄 필터링을 거친 깊이맵의 화질에 대한 신뢰성을 평가하기 위해 깊이 정보를 이용하는 3차원 응용분야인 깊이 키잉을 사용하여 제안한 방법의 성능을 검증하였다. 여기서 가우시안 필터의 분산은 10으로 설정하였다. 필터의 윈도우 크기는 필터의 분산의 3배인 30으로 설정했으며, 단순한 실험을 위해 필터링하는 영역을 고정했다. 그림 17은 단순한 깊이 키잉의 결과를 나타낸다. 노란색의 구는 여성 모델의 뒤에 있도록 설정되었다. 그림 17(a)와 그림 17(b)를 비교했을 때, 기존의 비대칭 가우시안 필터를 사용하는 방법이 성능 면에서 좋지 않음을 알 수 있었다. 그림 17(a)에서 볼 수 있듯이, 여성 모델의 뒤에 있는 구가 모델을 침범하는 것을 알 수 있는데, 깊이 키잉에서는





(a) 평탄 필터링을 하지 않은 결과



(b) 기존의 비대칭 필터링을 이용한 다시점 영상 생성



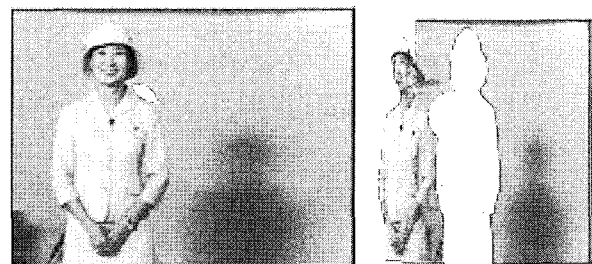
(c) 제안한 평탄 필터링을 이용한 다시점 영상 생성

그림 16. 다시점 영상 생성 결과

Fig 16. Generation results of multi-view images



(a) 비대칭 필터 적용



(b) 제안한 적응적 경계 평탄 필터링 방법

그림 17. 깊이 키잉 결과

Fig 17. Depth keying results

이러한 결과가 발생하지 말아야 한다. 반면에, 제안하는 방법은 구를 모델 뒤에 정확히 위치시키고 있다는 것을 알 수 있다. 결과적으로, 제안한 방법은 깊이 키잉에 있어서 신뢰할 만한 깊이 영상을 제공하고 깊이 키잉의 결과 역시 만족스럽다는 것을 알 수 있었다.

또한, 화질 측면에서 제안한 방법의 성능을 평가하기 위해, 가상의 시점에서의 원 영상을 얻어낸 다음 합성 영상과 비교를 통해 화질을 평가하는 방법을 선택했다. 비교 방법은 다음과 같다. 첫 번째, 가상의 시점으로 이동하여 컴퓨터 그래픽스 모델로부터 원 영상을 획득한다. 두 번째, 컴퓨터 그래픽스 모델을 이용하여 원 시점에서의 깊이 영상과 텍스처 영상을 추출한다. 세 번째, 깊이 영상과 텍스처 영상을 이용하여 3차원 장면을 모델링한다. 마지막으로, 가상 시점으로 이동하여 다시점 영상을 획득한다. 주의해야 할 점은 원 영상과 합성 영상을 획득하는 가상 시점의 위치가 정확히 일치해야 한다는 점이다. 끝으로, 원 영상과 합성 영상의 화질을 비교한다. 화질 비교 방법을 그림 18에 나타내었다.

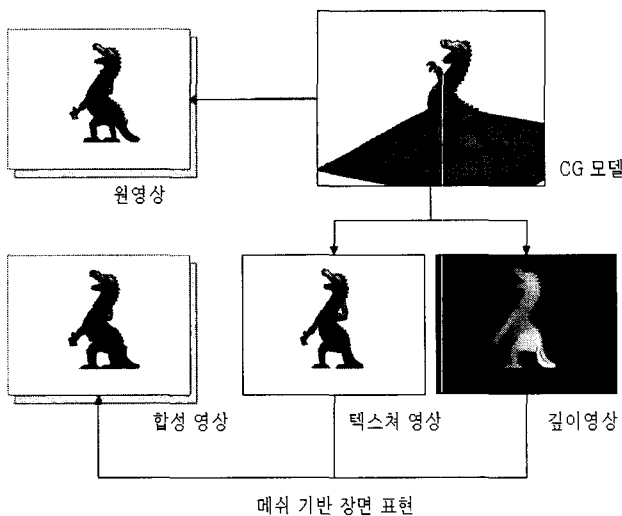


그림 18. 화질 비교 방법  
Fig 18. Comparison method of visual quality

가상 카메라는 중심에서부터 각각 좌측 5°, 10°, 15°로 회전되었고, 필터의 윈도우 크기는 10으로 고정되었다. 표 1은 화질 비교 결과를 나타내고 있다. 여기서 제안하는 방법이 기존의 방법에 비해 화질의 열화를 줄인다는 것을 알

수 있었다. 또한, PSNR 결과를 통해 가상 카메라로부터 획득되는 다시점 영상은 가상 카메라가 중심점으로부터 멀어질수록 화질이 떨어진다는 것을 확인할 수 있었다.

표 1. 화질 비교 결과  
Table 1. Results of visual quality

시점	PSNR (dB)	
	비대칭 필터 적용	제안한 방법
좌측 5°	30.8417	32.9546
좌측 10°	28.9481	31.8405
좌측 15°	28.1003	30.9747

렌더링 속도의 성능을 평가하기 위해, full modeling 모드와 같이 깊이맵의 모든 정보를 사용하여 3차원 장면을 렌더링하였을 때와 깊이맵의 정보 분해를 이용하여 3차원 장면을 렌더링하였을 때를 비교하였다. 두 조건은 모두 깊이맵의 규칙성을 유지하여 별도의 3차원 처리가 필요 없다. 격자 셀 크기를 8×8과 16×16으로 정하였다.

표 2에서 보듯이, 격자셀의 크기가 8×8인 경우 제안한 방법이 full modeling에 비해 렌더링 속도가 약 20배 이상이 증가하였다. 특히, 16×16으로 격자셀 크기를 정하면 연속적인 3차원 장면을 실시간으로 렌더링할 수 있었다.

표 2. 렌더링 속도 비교  
Table 2. Comparison of rendering time

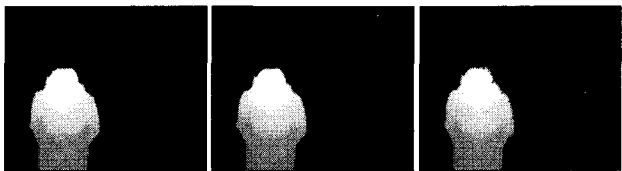
테스트 시퀀스	프레임률 (frames/sec.)		
	Full modeling	정보분해	
		8×8	16×16
Home-shopping	0.65	12.82	32.24
Breakdancers	0.50	10.21	24.82

깊이맵의 화질을 비교하기 위해서 정보 분해로 얻어진 영상을 선형 보간하여 생성한 영상과 원 깊이맵을 비교하였다. 그림 19는 원 깊이맵과 격자셀의 크기를 8×8과 16×16로 정했을 때 보간한 영상을 보여준다. 표 3은 원 영상에 대한 보간한 영상의 PSNR를 나타낸다. 그림 19와 표 3에

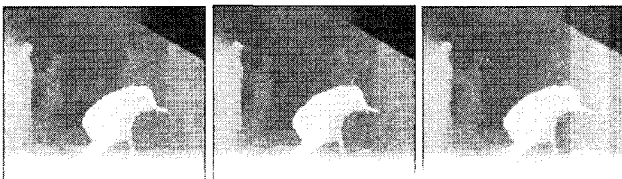
서 보듯이, 격자셀의 크기가 커지면 커질수록 렌더링 속도를 증가하지만 깊이맵의 화질이 급격히 떨어짐을 알 수 있었다. 따라서 네트워크 상황이나 응용에 따라 적절하게 격자셀의 크기를 결정하는 것이 중요하다.

표 3. 격자셀에 따른 깊이맵의 화질 비교  
Table 3. Comparison of visual quality for depth maps

테스트 시퀀스	PSNR (dB)	
	8 × 8	16 × 16
Home-shopping	44.29	34.33
Breakdancers	42.35	30.27



원 깊이맵                      격자셀: 8 × 8                      격자셀: 16 × 16  
(a) Home-shopping의 화질 비교



원 깊이맵                      격자셀: 8 × 8                      격자셀: 16 × 16  
(b) Breakdancers의 화질 비교

그림 19. 원 깊이맵과 보간한 깊이맵  
Fig 19. Original and interpolated depth maps

## Ⅶ. 결 론

본 논문은 깊이맵의 정보 분해와 적응적 경계 평탄 필터링을 이용하여 다시점 영상을 생성하는 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 깊이맵을 특징점의 중요도에 따라 계층적으로 분해하고 특징점 정보의 규칙성을 제공함으로써, 3차원 장면을 빠르게 렌더링하였고, 별도의 3차원 정보처리 없이 기존의 2차원 비디오 시스템에 쉽게 연동되었다. 또한, 메쉬 기반 표현법을 이용하여 생성한 3차원 장면으로부터

다시점 영상을 생성하기 위해, 전처리 단계에서 경계 영역에 평탄 필터링을 수행하여 rubber-sheet 문제를 최소화하였다. 실험결과에서 보듯이, 정보 분해의 격자셀의 크기와 가상카메라의 회전각 크기를 응용에 맞게 설정하면, 제한된 시야각이지만 다시점 영상을 성공적으로 생성할 수 있었다. 제안한 방법은 다양한 3차원 응용 시스템에서 3차원 비디오를 표현하고 처리하는 기술로 활용될 수 있다.

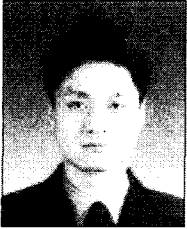
## 참 고 문 헌

- [1] C. Fehn, E. La Barre, and S. Pastoor, "Interactive 3-D TV concepts and key technologies," Proceedings of the IEEE, vol. 94, no. 3, pp. 524-538, 2006.
- [2] A. Ignatenko and A. Konushin, "A framework for depth image-based modeling and rendering," Proc. Graphicon, pp. 169-172, 2003.
- [3] C. Zitnick and T. Kanade, "A cooperative algorithm for stereo matching and occlusion detection," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 7, pp. 675-684, 2000.
- [4] S.M. Kim, J. Cha, J. Ryu, and K.H. Lee, "Depth video enhancement of haptic interaction using a smooth surface reconstruction," IEICE Trans. on Information and System, vol. E89-D, pp. 37-44, 2006.
- [5] J. Shade, S. Gotler, and R. Szeliski, "Layered depth images," SIGGRAPH, pp. 291-298, 1998.
- [6] S. Grewatsch and E. Muller, "Fast mesh-based coding of depth map sequences for efficient 3D video reproduction using OpenGL," Proc. of International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing, 2005.
- [7] B. Chai, S. Sethuraman, H. Sawhey, and P. Hattract, "Depth map compression for real-time view-based rendering," Pattern Recognition Letters, vol. 25, pp. 755-766, 2004.
- [8] W.R. Mark, L. McMillan, and G. Bishop, "Post-rendering 3D warping," Proc. of Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 7-16, 1997.
- [9] L. Zhang and W. J. Tam, "Stereoscopic image generation based on depth images for 3D TV," IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 51, pp. 191-199, 2005.
- [10] R. Gvili, A. Kaplan, E. Ofek, and G. Yahav, "Depth keying," SPIE Electronic Imaging, vol. 5006, pp. 564-574, 2003.
- [11] 이상범, "깊이맵의 전처리를 통한 다시점 영상 생성 방법," 광주과학기술원 석사논문, 2006.
- [12] C. Zitnick, S. Kang, M. Uyttendaele, S. Winder, and R. Szeliski, "High-quality video view interpolation using a layered representation," SIGGRAPH, pp. 600-608, 2004.
- [13] P. Toft, "Radon transform: theory and implementation," Ph.D. Thesis, Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, 1996.
- [14] J.T. Tou and R.C. Gonzalez, Pattern recognition principles, Addison-Wesley Publishing Company, 1974.

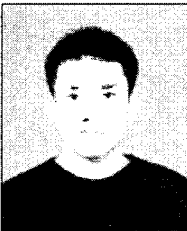
---

 저 자 소 개
 

---

**김 성 열**

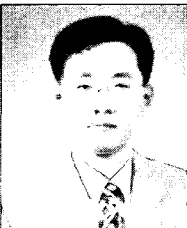
- 2001년 2월 : 강원대학교 정보통신공학과 (학사)
- 2003년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (석사)
- 2003년 2월 ~ 현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
- 주관심분야 : 3차원 메쉬 모델링 및 압축, 디지털 신호처리, 멀티미디어 전송, 3차원 TV

**이 상 범**

- 2004년 8월 : 경북대학교 전자전기공학부 (학사)
- 2006년 9월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (석사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
- 주관심분야 : 깊이맵 기반 렌더링, 3차원 메쉬 모델링 및 압축, 디지털 신호처리, 3차원 TV

**김 유 경**

- 2005년 8월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 (학사)
- 2005년 8월 ~ 현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사과정
- 주관심분야 : 깊이맵 표현 및 렌더링, 디지털 신호처리, 3차원 TV

**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, 멀티미디어 시스템, 디지털 TV와 고선명 TV, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감방송