

# 다시점 카메라 모델의 기하학적 특성을 이용한 가상시점 영상 생성 기법

준회원 김 태 준\*, 정회원 장 은 영\*\*, 허 남 호\*\*, 김 진 웅\*\*, 종신회원 유 지 상\*

## Virtual Viewpoint Image Synthesis Algorithm using Multi-view Geometry

Tae-june Kim\* *Associate Member*, Eun-young Chang\*\*, Nam-ho Hur\*\*,  
Jin-woong Kim\*\* *Regular Members*, Ji-sang Yoo\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 다시점 동영상을 이용한 기저선(baseline)상의 가상시점 영상 생성과 기저선상 외의 가상시점 영상 생성을 위한 기법을 제안한다. 제안한 기법에서는 가상 시점을 생성하기 위하여 영상의 깊이(depth)정보와 고정된 카메라의 기하학적 특성을 이용한 3차원 워핑(warping) 방법을 적용한다. 영상의 실제 3차원 좌표는 영상의 깊이 정보와 카메라의 기하학적 특성을 이용하여 산출되고, 산출된 3차원 좌표는 임의의 위치의 가상 카메라에 투영(projection)되어 2차원의 가상 시점 영상이 생성된다. 제안한 방법에 의해 생성된 기저선상의 중간시점 영상은 기존의 방법으로 생성된 중간시점 영상보다 PSNR이 0.5dB 이상 향상된 결과를 나타내었고, 기저선상 외의 가상 시점 영상에서 나타나는 많은 미처리 영역을 보다 효과적으로 처리하여 가상시점 영상을 생성할 수 있었다.

**Key Words** : Virtual Viewpoint Image, 3D Warping, Camera Geometry, Baseline, Depth Image

### ABSTRACT

In this paper, we propose algorithms for generating high quality virtual intermediate views on the baseline or out of baseline. In this proposed algorithm, depth information as well as 3D warping technique is used to generate the virtual views. The coordinate of real 3D image is calculated from the depth information and geometrical characteristics of camera and the calculated 3D coordinate is projected to the 2D plane at arbitrary camera position and results in 2D virtual view image. Through the experiments, we could show that the generated virtual view image on the baseline by the proposed algorithm has better PSNR at least by 0.5dB and we also could cover the occluded regions more efficiently for the generated virtual view image out of baseline by the proposed algorithm.

### I. 서 론

디지털 방송은 미디어를 디지털화하여 다양한 매체를 통해 전달하는 서비스로, 기존의 아날로그 방

송보다 뛰어난 화질과 음질을 제공하고 채널 효율을 증대하는 효과도 있다. 미래의 방송은 HDTV가 제공하는 고화질의 콘텐츠와 소비자가 요구하는 정보를 양방향으로 제공하는 방향으로 발전하고 있다.

\* 본 연구는 지식경제부의 IT 원천기술개발사업(2008-F-011-02, 차세대 DTV 핵심기술 개발)과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(IITA-2009-(C1090-0902-0017))의 일환으로 수행한 연구로부터 도출된 것이다.

\* 광운대학교 전자공학과 디지털 미디어 연구실 ({mirrine@kw.ac.kr, jsyoo@kw.ac.kr}

\*\* 한국전자통신연구원 ({eychang, nhh, jwk}@etri.re.kr}

논문번호 : KICS2009-05-210, 접수일자 : 2009년 5월 20일, 최종논문접수일자 : 2009년 12월 8일

HDTV 이후의 차세대 방송 서비스로 UHDTV와 3DTV에 대한 관심이 날로 높아지고 있으며 이미 세계 각국에서는 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다.

유럽에서는 다시점 3DTV 서비스를 위한 콘텐츠 생성 및 전송 기술 연구를 위한 3D4YOU과제를 2008년부터 수행 중에 있고, ITU-R SG6에서 3DTV 방송 서비스 기술 개발에 대한 검토를 진행 중이다. 미국의 3D@Home Consortium에서는 3D 콘텐츠의 상용화 및 시장에서의 활성화 그리고 3DTV 상용서비스를 위한 전 분야의 논의를 하고 있고, 다수의 기관이 참여하고 있다. 또한 할리우드에서도 3D 영화 30여 편 이상을 2010년까지 제작할 예정에 있다. 일본은 2007년 12월부터 BS11 위성방송을 통해 3D 입체 방송을 상용 서비스하고 있고, 대만에서도 2015년까지 3D 인터랙티브 환경 및 3D 디스플레이 환경 구축을 목표로 하여 ITRI 및 3DIDA를 중심으로 1998년부터 3D 콘텐츠 획득, 생성 및 부호화, 3D 디스플레이, 그리고 3D 관련 기술을 개발하고 있다. 동영상 전문가 그룹인 MPEG에서 자유시점 텔레비전(freeviewpoint TV, FTV)에 대한 표준화 작업도 활발히 이루어지고 있다.

국내에서는 실감미디어산업협회(ARMI)를 중심으로 산업 진흥을 위한 다양한 활동이 이루어지고 있고 삼성, LG, 현대 등이 3DTV를 출시하였으며, 2010년 이후 형성될 본격적인 시장에 대비하고 있다. 뿐만 아니라, 여러 기관에서도 3D 서비스를 위한 핵심 기술 및 기반 시스템을 개발 중에 있으며, 차세대방송표준 포럼내의 3DTV 분과위원회 중심으로 표준화 활동도 활발하게 진행하고 있다.

일반적으로 입체감을 느낄 수 있는 스테레오 영상을 얻기 위해서는 양안에 해당하는 두 대의 카메라를 이용한다. 스테레오 양안방식은 입체감을 느낄 수 있는 시점이 하나로 제한되어 시청자가 제한된 시역을 벗어나면 입체감을 느낄 수 없거나 어지러움을 느낄 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 두 대 이상의 다시점 카메라로 영상을 획득하고 디스플레이하는 다시점 3D 디스플레이 시스템이 있다. 다시점 3D 디스플레이는 스테레오 3D 디스플레이보다 시점의 개수가 증가하기 때문에 관찰자의 시역이 확대되어 보다 자연스러운 입체 디스플레이가 가능하다. 그러나 시점의 개수가 증가함에 따라 데이터양도 증가하기 때문에 실시간 처리가 힘들고 초고속, 광대역의 전송채널이 요구된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제한된 개수의 스테레오 영상

으로부터 원하는 수만큼의 다시점 영상을 합성하기 위한 시점영상 합성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1][7]</sup>.

시점영상합성을 위한 방법에는 크게 스테레오 영상의 변이(disparity)정보를 이용하는 양방향 선형 보간법(bidirectional linear interpolation)과 깊이(depth) 정보를 이용하는 3차원 워핑(3D warping) 등이 있다<sup>[1][2]</sup>. 전자는 변이정보를 이용하여 스테레오 영상 사이의 제한된 중간시점 영상을 생성하는 방법에 해당하고, 후자는 영상의 깊이 정보와 카메라 파라미터를 이용하여 가상시점 위치의 가상 카메라를 정의하고, 영상의 실제 3차원 좌표를 산출한 뒤 가상 카메라에 투영하는 방법으로, 카메라 사이의 중간시점 영상뿐만 아니라 임의의 가상시점 위치의 영상을 생성하는 등 보다 자유로운 시점을 제공하는 방법이다. 두 방법은 변이 정보와 깊이 정보에 의존하기 때문에 잘못된 정보는 생성되는 가상시점 영상의 화질에 영향을 미친다. 따라서 고화질의 중간 및 가상시점 영상을 생성하기 위해서는 신뢰도 높은 변이 및 깊이 정보를 이용하는 것이 매우 중요하다.

본 논문에서는 고화질의 가상시점 영상을 생성하기 위하여 3차원 워핑 기법을 이용한다. 카메라의 내, 외부 파라미터를 이용하여 가상 시점의 가상 카메라를 정의하고, 기준시점 2차원 영상을 깊이 정보를 이용하여 각 화소의 3차원 좌표를 산출한다. 3차원 좌표로 산출된 기준시점 2차원 영상의 각 화소는 가상 카메라 위치로 투영되어 가상시점 영상을 생성한다. 이때, 생성된 가상시점 영상에는 소수점 단위의 3차원 좌표로부터 가상시점 영상의 정수화소 단위로 투영될 때 빈공간인 홀(hole)이 발생하고, 가려진 영역(occlusion)도 나타난다. 생성되는 가상시점 영상에는 깊이 영상의 부정확한 정보로 인한 에러 또한 존재한다. 기저선상을 벗어난 가상시점 영상에는 기저선상의 중간시점 영상보다 더 많은 미처리 영역이 나타난다. 본 논문에서는 이러한 미처리 영역 및 에러를 해결하기 위한 전, 후처리 기법을 제안하고, 결과 영상의 화질에 대한 객관적 화질 평가를 실시하였다.

본 논문의 II장에서는 3차원 워핑 기법을 이용한 카메라의 기하학적 구조에 기반한 가상시점 영상 생성 방법에 대하여 설명하고, III장에서는 고화질 가상시점 영상을 생성하기 위한 전, 후처리에 대한 기법을 제안한다. IV장에서는 실험을 통하여 제안한 기법의 성능을 객관적으로 평가하며, V장에서 결론

을 맺는다.

## II. 카메라의 기하학적 구조에 기반한 가상시점 영상 생성

카메라의 기하학적 구조에 기반한 가상시점 영상을 생성하기 위해서는 영상의 깊이 정보와 카메라의 내, 외부 파라미터를 이용하여 영상의 실제 3차원 좌표를 산출하고, 가상 카메라를 정의하여 가상 카메라 위치에 산출된 3차원 좌표를 투영하면 가상시점 영상이 생성된다.

### 2.1 카메라의 기하학적 구조

영상을 획득하는 카메라의 기하학적 구조는 그림 1의 핀홀 카메라(pinhole camera) 모델로 설명된다. 그림 1(a)는 핀홀 카메라의 3차원 구조를 나타내고, 그림 1(b)는 2차원 구조를 나타낸다. 일반적으로 핀홀 카메라에 맺히는 상은 Z축의  $-f$  위치에 역상으로 생긴다. 하지만 이 경우 3차원 좌표 상에서 해석하기가 쉽지 않기 때문에 영상이 맺히는 평면을 Z축상의 카메라 초점 거리  $f$ 로 옮겨 해석한다.

실제로 3차원 좌표상의 물체가 영상 평면에 투영되는 관계는 그림 1(b)과 같이 삼각 비례 법으로 해석이 가능하고, 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다<sup>[7]</sup>.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = K[R|T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $x, y$ 는 영상 평면에 물체가 투영되는 2차원 좌표이고,  $K$ 는 카메라 내부(intrinsic) 파라미터,  $R$ 과  $T$ 는 카메라의 회전(rotation)과 이동(translation)에 대한 카메라 외부(extrinsic) 파라미터로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

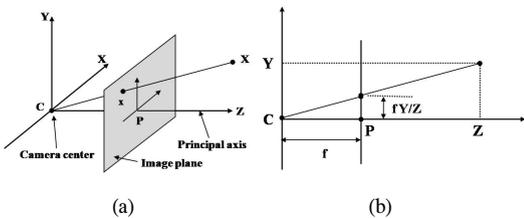


그림 1. 핀홀카메라의 기하학적 구조 (a) 3차원 구조, (b) 2차원 구조  
Fig. 1 Pinhole camera geometry (a) 3-dimensional structure and (b) 2-dimensional structure

$$T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

그리고  $X, Y, Z$ 는 투영되는 물체의 3차원 좌표를 나타낸다. 일반적으로 깊이 영상은 물체의 깊이를 0~255의 값으로 변환하여 표현한다. 가상시점 영상을 생성하기 위해서는 영상의 실제 3차원 좌표  $X, Y, Z$ 를 획득해야 하는데, 이때  $Z$ 를 산출하기 위하여 식 (3)을 이용한다.

$$Z(i, j) = \frac{1}{\left(\frac{P(i, j)}{255}\right) \times \left(\frac{1}{MinZ} - \frac{1}{MaxZ}\right) + \frac{1}{MaxZ}} \quad (3)$$

여기서  $Z(i, j)$ 는 카메라에서 객체까지의 실제 거리를 나타내고,  $P(i, j)$ 는 깊이 영상의 화소 값이다.  $MinZ$ 와  $MaxZ$ 는  $Z$ 값이 가지는 최소, 최대값을 나타낸다.

영상의 실제 3차원 좌표를 산출하기 위해서 식 (1)의 양변에  $K$ 의 역행렬을 이용하여 식 (4)를 구하고,  $R$ 은 직교행렬이므로, 양변에  $R$ 의 전치행렬을 적용하여  $\alpha, \beta, \gamma$ 에 관한 식 (5)를 유도한다. 이때,  $\alpha, \beta, \gamma$ 는 식 (5)의 중간 항에 의해 산출 되고, 식 (6)과 (7)로 나타낼 수 있다.

$$K^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} + T \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = R^T K^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + R^T T \quad (5)$$

$$\frac{\alpha}{\gamma} = \frac{X + R_1^T T}{Z + R_3^T T} \quad (6)$$

$$\frac{\beta}{\gamma} = \frac{Y + R_2^T T}{Z + R_3^T T} \quad (7)$$

식 (6), (7)을  $X, Y$ 에 관하여 정리하면 식(8), (9)와 같다.

$$X = \frac{\alpha}{\gamma} (Z + R_3^T T) - R_1^T T \quad (8)$$

$$Y = \frac{\beta}{\gamma} (Z + R_3^T T) - R_2^T T \quad (9)$$

### 2.2 가상시점 영상 생성

가상시점으로 영상을 투영시키기 위해서는 먼저 가상시점 카메라를 정의하고, 식 (8), (9)를 통해 산출된 영상의 실제 3차원 좌표  $X, Y, Z$ 와 카메라 내, 외부 파라미터를 이용해서 실제 기준시점의 영상을 가상시점 카메라 위치로 투영시켜 생성한다. 그림 2는 다시점 카메라와 가상시점 카메라를 나타낸 그림이다. 1, 2, 3번 카메라는 실제 기준시점 카메라이고, 4번 카메라는 기저선상의 중간시점 카메라를 나타낸다. 그리고 5번 카메라는 기저선상 외의 가상시점 카메라를 나타낸다.

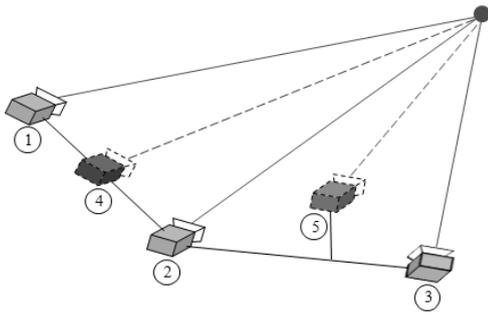


그림 2. 다시점 카메라와 가상시점 카메라  
Fig. 2 Multi and virtual viewpoint camera system

#### 2.2.1 기저선상의 중간시점 영상

기저선상의 중간시점 영상을 생성하기 위하여 먼저 가상시점 카메라를 정의해야 한다. 가상시점 카메라는 좌, 우의 기준시점 카메라 사이에 위치하고, 카메라 내, 외부 파라미터는 좌, 우 카메라의 파라미터를 이용하여 선형적으로 생성한다. 식 (10)은 가상시점 카메라의 내, 외부 파라미터를 구하는 식이다.

$$\begin{aligned} K_v &= ((1-r) \times K_L) + (r \times K_R) \\ R_v &= ((1-r) \times R_L) + (r \times R_R) \\ T_v &= ((1-r) \times T_L) + (r \times T_R) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서  $v$ 는 가상시점을  $L, R$ 은 각각 좌, 우 시점을 의미한다.  $r$ 은 0부터 1까지의 값을 가지며 좌, 우 카메라 사이의 거리 비율을 의미한다. 생성된 가상시점 카메라의 내, 외부 파라미터를 가지고 식



그림 3. 기저선상에 생성된 가상시점 영상 (a) 홀이 있는 경우, (b) 홀 처리된 경우

Fig. 3 Virtual viewpoint image on the baseline (a) with hole and (b) after hole filling

(11)을 이용하여 가상시점 영상을 생성한다.

$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ 1 \end{bmatrix} = K_v [R_v | T_v] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

그림 3은 식 (11)을 이용하여 1번 카메라 시점 영상을 이용하여 1번 카메라와 2번 카메라 사이  $r=0.5$ 인 위치에 생성한 가상시점 영상을 나타낸다. 그림 3(a)는 홀(hole)이 존재하는 가상시점 영상을 나타내고, (b)는 홀 처리된 가상시점 영상을 나타낸다. 가상시점 영상을 생성했을 때 홀이 발생하는 이유는 소수점 단위의 실제 3차원 좌표가 정수 화소 단위의 가상시점 영상으로 변환되기 때문이다. 이러한 홀은 소수점 이하의 단위가 버려짐으로써 1화소씩 발생하는데, 주변 화소들의 평균값을 이용하여 채워진다. 하지만 여전히 홀 처리 후에도 미처리 영역이 존재하는데, 기준시점 카메라 내부에 존재하지 않는 가려진 영역에 해당하며 다른 시점의 영상으로 보상한다. 가려진 영역 처리는 III장에서 설명한다.

#### 2.2.2 기저선상 외의 가상시점 영상

기저선상을 벗어난 위치의 가상시점 영상을 생성하기 위해서는 가상시점 카메라의 위치를 먼저 정의하여야 한다. 이를 위해서 카메라의 회전과 이동을 위한 외부 파라미터를 산출한다. 카메라의 내부 파라미터는 변화가 없기 때문에  $K_v = K$ 의 값을 가진다. 카메라의 회전은  $x, y, z$ 축의 3차원으로 이루어지므로, 각 축에 관한 회전 변환을 수행하면 식 (12)를 얻을 수 있다.

$$R' = R_x R_y R_z = \begin{bmatrix} \cos\theta_y \cos\theta_z & -\cos\theta_y \sin\theta_z & \sin\theta_y \\ \sin\theta_x \sin\theta_y \cos\theta_z + \cos\theta_x \sin\theta_z & -\sin\theta_x \sin\theta_y \sin\theta_z + \cos\theta_x \cos\theta_z & -\sin\theta_x \cos\theta_y \\ -\cos\theta_x \sin\theta_y \cos\theta_z + \sin\theta_x \sin\theta_z & \cos\theta_x \sin\theta_y \sin\theta_z + \sin\theta_x \cos\theta_z & \cos\theta_x \cos\theta_z \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서  $x, y, z$ 는 3차원 좌표축을 나타낸다. 가상시점 카메라의 회전 행렬은 산출된 회전행렬과 기준시점 카메라의 회전 행렬의 식에 의해 산출된다. 식 (13)은 가상시점 카메라의 회전행렬식을 나타낸다.

$$R_v = R' R \quad (13)$$

여기서  $R$ 은 기준시점 카메라의 회전행렬,  $R'$ 과  $R_v$ 는 산출된 회전행렬과 가상시점 카메라의 회전행렬을 각각 나타낸다. 가상시점 카메라의 이동 행렬은 식 (14)와 같이 기준시점 카메라의 이동 행렬과 이동 벡터의 합으로 표현된다.

$$T_v = T + T' = \begin{bmatrix} t_x + t_x' \\ t_y + t_y' \\ t_z + t_z' \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기서  $T$ 는 기준시점 카메라의 이동행렬을,  $T'$ 과  $T_v$ 는 이동벡터와 가상시점 카메라의 이동행렬을 나타낸다.

기저선상을 벗어난 가상시점 영상은 그림 4와 같이 재 정의된 내, 외부 파라미터를 식(11)에 적용하여 생성된다. 그림 4를 보면 기저선상에서 생성된 가상시점 영상보다 미처리 영역이 물체의 위쪽에 많이 존재하는 것을 알 수 있다. 이것은 가상시점 카메라의 위치가 기준시점 카메라보다 위로 이동을 하였기 때문에 나타나는 현상이다. 이러한 미처리 영역의 처리도 역시 III장에서 다룬다.

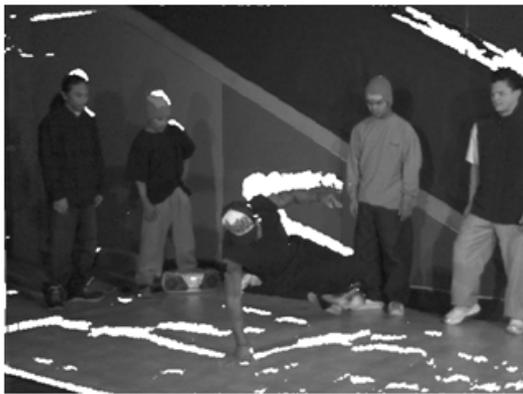


그림 4. 기저선상 외에 생성된 가상시점 영상  
Fig. 4 Generated virtual viewpoint image out of baseline

### III. 다시점 카메라 모델의 기하학적 특성을 이용한 가상시점 영상 생성 기법

#### 3.1 기저선상의 중간시점 영상

중간시점 영상은 산출된 가상 카메라의 파라미터와 3차원 좌표를 이용하여 생성된다. 이때, 두 가지 문제점이 발생할 수 있다. 첫 째는 깊이 영상의 경계와 기준시점 영상의 경계가 일치하지 않기 때문에 생기는 문제점이다. 두 번째는 생성된 중간시점 영상에 발생하는 가려진 영역 처리 문제이다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 깊이 영상의 경계부분을 제거하여 투영시키는 전처리 방법, 깊이 영상의 경계를 개선시키는 방법, 가려진 영역을 처리하는 방법 등을 제안한다.

##### 3.1.1 가려진 영역 처리

본 논문에서는 그림 5와 같이 3개의 기준시점 영상을 이용하여 중간시점 영상을 생성한다. 좌측, 중심, 우측 카메라가 존재할 때, 가상 카메라 파라미터는 좌측 카메라와 우측 카메라에 의해 선형적으로 생성되고, 중간시점영상으로 투영된다. 투영되는 지점이 그림 5와 같이 우측 카메라로부터 1/4, 3/4인 지점을 기준으로 다른 기준시점 카메라가 이용된다. 즉, 1/4 보다 작을 경우는 좌측 카메라 영상을 기준시점 영상으로 이용하여 투영시키고, 중심, 우측 카메라 영상으로 가려진 영역 및 미처리 영역을 처리한다. 1/4에서 3/4 지점까지는 기준시점 카메라가 중심 카메라가 되고, 좌, 우측의 카메라 영상이 가려진 영역을 처리하는데 이용된다. 3/4 이후의 지점에서는 기준시점 영상이 우측 카메라 영상이 되고, 좌측, 중심 카메라의 영상이 가려진 영역을 처리하는데 이용된다.

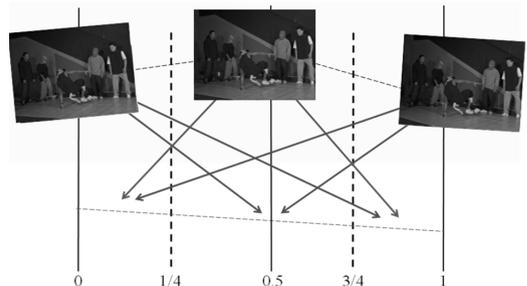


그림 5. 가려진 영역 처리 방법  
Fig. 5 Occlusion processing

3.1.2 전처리

전처리과정 없이 중간시점영상의 가려진 영역을 처리하면 가려진 영역 경계위치에 객체의 경계가 남아있는 잔상현상이 나타난다. 이러한 현상은 기준시점 영상에서 배경과 객체의 경계가 모호해서 그림 6과 같이 기준시점 영상과 깊이 영상의 경계가 일치하지 않기 때문에 나타난다.

객체의 경계 부분이 배경의 깊이 값을 가지면 생성된 중간시점 영상에 객체의 경계가 배경에 남아 있게 된다. 그림 7은 이러한 중간시점 영상에 존재하는 잔상효과를 보여주고 있다. 이러한 현상을 해결하기 위해서 기존에는 기준시점 영상에서 깊이 영상의 경계부분을 제거한 영상을 투영시켜 중간시점 영상을 생성하였다<sup>[3]</sup>. 그림 8은 기존의 참조 영상의 경계 제거 방법을 보여준다. 이러한 방법은 객체의 경계가 배경에 나타나는 현상을 효과적으로 제거할 수 있지만, 불필요하게 많은 영역이 제거되는 단점이 있다.

제거되지 않아도 되는 기준시점 영상의 경계 부분은 깊이 영상의 경계에서 큰 깊이 값을 가지는 객체 부분이다. 따라서 개선된 경계 영상을 이용해서 기준시점 영상의 경계를 제거하는 방법을 적용하면 보다 효과적으로 잔상을 제거할 수 있다. 그림 9는 개선된 경계 영상을 생성하는 방법을 나타낸다.



그림 6. 경계 불일치 (a) 확대된 합성 영상, (b) 깊이 영상과 기준시점 영상의 합성

Fig. 6. Boundary mismatching (a) zoomed synthesized image and (b) synthesis of depth and fundamental image

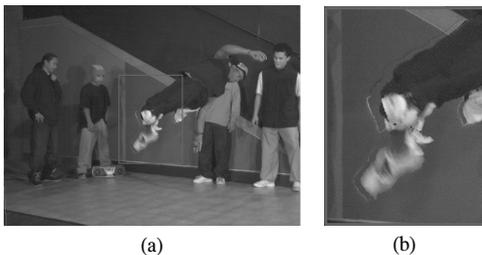


그림 7. 가려진 영역 처리 (a) 처리된 영상, (b) 사각형을 확대한 영상

Fig. 7. Occlusion process (a) processed image and (b) Zoomed part of processed image

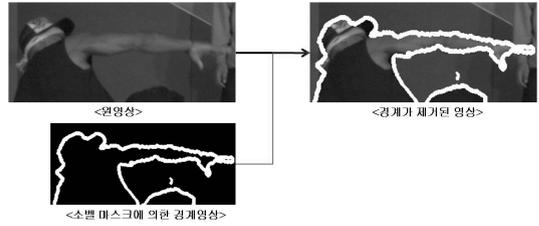


그림 8. 기준시점 영상의 경계 제거  
Fig. 8 Boundary elimination

그림 9(a), (b)는 깊이 영상과 소벨 마스크를 이용하여 구한 깊이 영상의 경계 영상을 나타내고, 그림 9(c)는 그림 9(a)와 (b)를 곱하여 얻는다. 이때, 객체와 배경의 깊이 값이 모두 나타나는데, 여기서 객체의 깊이 값을 제거하면 그림 9(d)와 같이 새로운 경계 영상을 얻을 수 있다. 새로운 경계 영상은 기존의 방법과 동일하게 기준시점 영상의 경계를 제거하는데 사용된다.

그림 10은 기존의 방법과 제안한 방법에 따른 결과 영상을 나타낸다. 그림 10(a), (c)는 기존의 방법과 새로운 방법으로 전처리를 하여 구한 경계 영상을 적용하여 생성한 중간시점 영상이고, 그림 10(b), (d)는 (a), (b)영상의 가려진 영역을 처리한 영상이다. 그림 10(a)는 그림 10(c)보다 객체 주변에 제거되는 영역이 더 많은 것을 확인할 수 있다. 가려진 영역을 처리한 후에도 그림 10(b), (d)와 같이 기존의 방법을 이용하는 경우 더 많은 미처리 영역이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 객관적 화질에도 영향을 미친다. 불필요한 원영상의 경

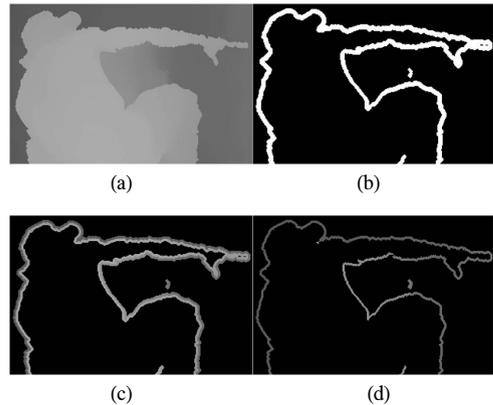


그림 9. 개선된 경계 영상 생성 (a) 깊이 영상, (b) 경계 영상, (c) (a) 와 (b)의 곱, (d) 개선된 경계 영상

Fig. 9 Refined edge image generation (a) edge image, (b) depth image, (c) multiple of (a) & (b), and (d) refined edge image

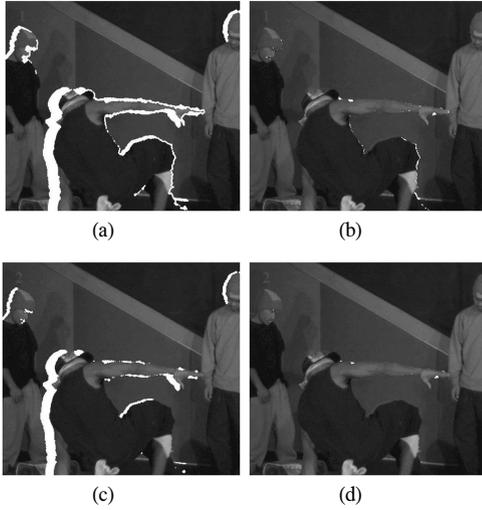


그림 10. 전처리 비교 (a) 기존의 방법, (b) 가려진 영역 처리 후, (c) 제안한 방법, (d) 가려진 영역 처리 후  
 Fig. 10 Comparison of pre-process (a) a conventional method, (b) occlusion processed image with (a), (c) A proposed method and (d) occlusion processed image with (c)

계가 제거되어, 다른 시점 영상으로 보상하면 원영상과의 밝기 또는 화질의 차에 의해 당연히 화질은 나빠지게 된다. 가려진 영역 처리 후에도 존재하는 미처리 영역은 주변의 깊이 값이 작은 배경에 부분의 화소 값을 삽입하는 방법으로 보상을 할 수 있다.

그림 11은 Layer Assignment를 이용한 잔상현상을 제거하는 방법을 설명하기 위한 그림이다<sup>5)</sup>. 여기서 사용하는 방법은 기본적으로 객체의 내, 외부 경계정보를 이용한다. 깊이 영상의 경계정보를 획득하고 그림 11(a)와 같이 표시한다. 깊이 영상의 경계를 제외한 영역을 이용하여 11(b)와 같은 중간시점 영상을 생성하고, 객체의 내, 외부 깊이 경계정보와 필터링 등의 후처리 작업을 이용하여 11(c)와 같은 최종 중간시점 영상을 생성한다.

Layer assignment는 객체의 경계정보를 제외한 영역과 객체의 내, 외부 경계정보 모두를 중간시점

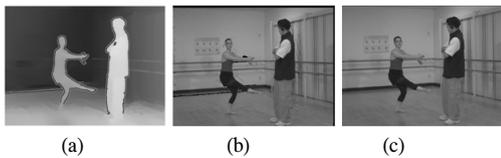


그림 11. Layer Assignment 방법, (a) 깊이영상의 경계표시, (b) 1차 투영, (c) 최종 중간시점 영상  
 Fig. 11. Layer Assignment, (a) Depth discontinuities, (b) Main layer projection, (c) Result



그림 12. (a) Layer Assignment와 (b) 제안한 방법의 비교  
 Fig. 12. Comparison with (a) Layer Assignment and (b) proposed method

위치에 투영시켜서 영상을 합성하는 방법을 이용한다. 이러한 방법은 기존의 방법과 유사한 방법이며 잔상을 나타내지 않는 객체의 내부 경계를 분리하는 작업을 하므로 복잡도만 높이는 결과를 가져온다<sup>3)(5)</sup>. 그림 12는 Layer Assignment와 제안한 방법을 이용한 결과 영상을 나타낸다. 복잡도가 낮은 제안한 방법과 비교해서 두 영상이 주관적으로 화질의 차이가 나지 않는 것을 확인할 수 있다.

### 3.1.3 깊이 영상 개선

일반적인 깊이 영상의 경계는 기준시점 영상의 경계와 일치하지 않고 또한 경계가 부드럽게 연결되지도 않는다. 이러한 깊이 영상의 경계는 투영되는 영상의 화질에 직접적인 영향을 미친다. 그림 11(a), (d)는 원본 깊이영상과 확대한 부분을 각각 나타낸다. 본 논문에서는 그림 11(a), (d)의 원본 깊이영상의 경계를 가지면서도 기준시점 영상의 경계와 유사한 경계를 얻기 위해서 형태학적(morphology) 연산을 이용한다. 대표적인 형태학적 연산에는 식 (15)와 (16)의 침식(erosion)과 팽창(dilation) 연산이 있고, 이를 이용한 열림(opening) 연산과 닫힘(closing) 연산을 정의할 수 있다.

$$E\{g(i,j)\} = g(i,j) \ominus s(i,j) = \min_{(l,m) \in D} \{g(i+l,j+m) - s(l,m)\} \quad (15)$$

$$D\{g(i,j)\} = g(i,j) \oplus s(i,j) = \max_{(l,m) \in D} \{g(i+l,j+m) + s(l,m)\} \quad (16)$$

여기서  $g(i, j)$ 는 원 영상을 나타내고,  $s(i, j)$ 는  $3 \times 3$  마스크를 나타낸다.

침식 연산의 경우 마스크 내의 가장 작은 값을 선택하기 때문에 일반적인 깊이 영상에서 배경이 객체를 침식하는 효과가 있고, 반대로 팽창 연산의 경우 마스크 내의 가장 큰 값을 선택하기 때문에 깊이 영상에서 객체가 배경으로 팽창하는 효과가 있다. 열림 연산은 침식 연산 후 팽창 연산을 수행

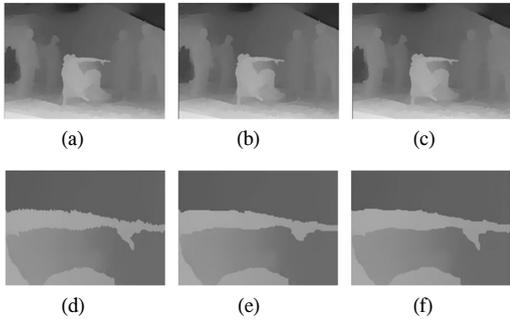


그림 13. 깊이 영상에 적용된 형태학적 연산 (a) 원 영상, (b) 열림 연산, (c) 닫힘 연산, (d),(e),(f) (a),(b),(c)의 확대 영상  
 Fig. 13 Morphological operations on depth image (a) original, (b) opening, (c) closing, (d),(e) and (f) zoomed (a),(b),(c)



그림 14. 개선 전 후의 깊이 영상을 이용한 중간시점 영상 (a) 개선 전, (b) 개선 후  
 Fig. 14 Generated image with depth image before and after process (a) before and (b) after

하는 것이고, 닫힘 연산은 팽창 연산 후 침식 연산을 수행하는 연산이다.

그림 13(a), (b), (c)는 열림 연산과 닫힘 연산을 수행한 깊이 영상을 원 영상과 비교한 그림이다. 그림 13(d), (e), (f)는 팔 부분을 확대한 그림이다. 열림 연산의 경우 배경이 보다 강조되기 때문에 객체가 손실되는 효과가 있는 반면 닫힘 연산을 수행한 결과는 깊이 영상의 경계가 개선되는 효과가 있다.

그림 14는 개선되기 전과 후의 깊이 영상을 이용하여 중간시점 영상을 생성한 그림이다. 그림 14(a)에서 보이는 경계 부분의 부정확한 값이 그림 14(b)에서는 많이 개선된 것을 확인 할 수 있다.

### 3.2 기저선상 외의 가상시점 영상

사용자가 보다 자유로운 시점 선택을 하기 위해서는 시점의 제약이 없어야 한다. 따라서 기저선상의 영상뿐만 아니라 기저선상 외의 가상시점 영상도 생성할 필요가 있다. 기저선상 외의 가상시점 영상에서는 위에서 설명한 가려진 영역 처리 방법으로 채워지지 않는 미처리 영역이 발생한다. 기존 방법에서는 2 시점 카메라를 사용하였기 때문에 처리

못하는 영역이 많이 있었다<sup>3)</sup>. 본 논문에서 3 시점의 카메라를 사용하여 보다 많은 미처리 영역의 처리가 가능하며, 남아있는 미처리 영역은 배경 영상을 적용하거나 후처리 방법을 적용하여 가상시점 영상을 생성한다.

#### 3.2.1 배경 영상 생성

기저선상 외의 가상시점 영상을 생성하면 많은 미처리 영역이 나타난다. 이러한 영역은 동일 시간 축상의 다른 시점 영상에 존재하지 않기 때문에 보상이 매우 어렵다. 본 논문에서는 이러한 미처리 영역을 시간축상 전, 후 영상들을 이용하여 보상하기 때문에 미처리 영역이 어떤 값을 가지는지 알아야 한다.

그림 15는 한 화소의 시간에 따른 값의 변화를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 시간축상의 전, 후 영상을 이용하면 대부분의 미처리영역을 보상할 수 있다. 배경 영상을 생성하기 위해서는 배경에 해당하는 화소 값과 깊이 값이 필요하다. 일반적으로 배경은 객체보다 깊이 값이 작으므로 배경 영상을 생성하기 위해서 작은 깊이 값에 해당하는 화소 값을 선택한다.

정확한 배경 영상을 생성시키기 위하여 확률개념도 도입한다<sup>8)</sup>. 시간축상에서 기준시점 영상의 프레임임을 동시에 관찰하면 배경에 해당하는 화소는 움직임이 거의 없기 때문에 움직이는 객체의 화소보다 발생할 확률이 상대적으로 높고, 또한 작은 깊이 값을 가질 확률이 높다.

그림 16은 화소 ‘p’에 나타나는 값들의 확률 분포를 나타낸다. 특정 화소 ‘p’에 나타나는 값들을 탐색해서 그림 16(b)와 같은 확률분포를 얻게 되면, 화소 ‘p’에 나타나는 가장 높은 확률을 가지는 값을 알 수 있다. 확률분포를 기준시점 영상과 깊이영상에 대하여 얻은 다음 높은 확률을 가지는 화소 ‘p’의 값을 이용하여 배경 영상을 생성한다. 보다 정확한 배경 영상을 생성하기 위해 그림 17과 같이 3가



그림 15. 시간에 따른 가려진 영역의 변화  
 Fig. 15 changing of occlusion

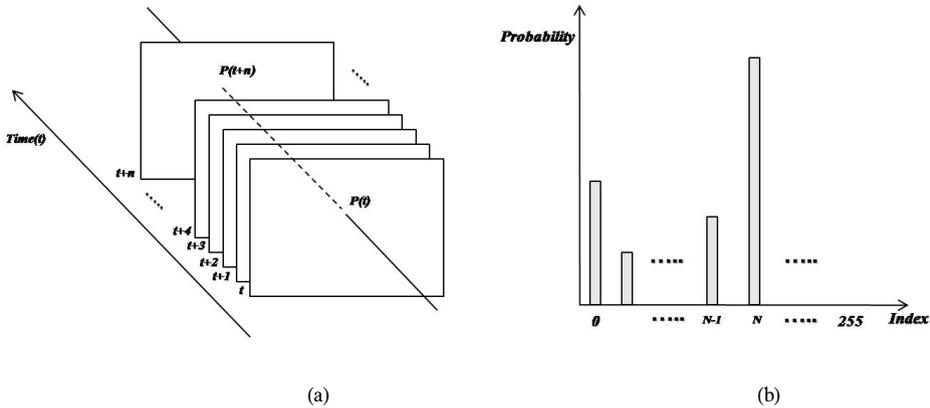


그림 16. (a) 시간축상의 영상, (b) 화소 'p'의 확률분포  
 Fig. 16 (a) frames in temporal axes and (b) probability distribution of pixel 'p'

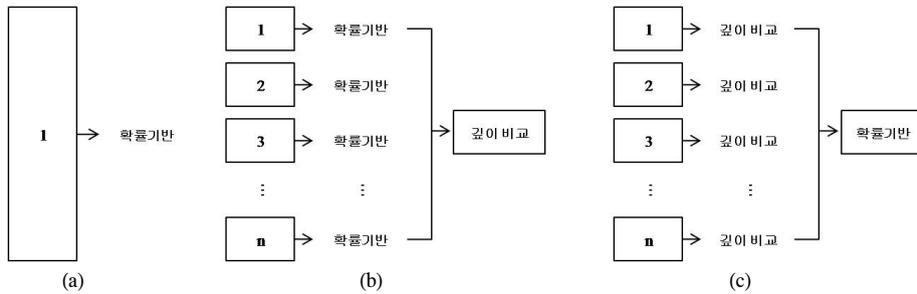


그림 17. 배경 영상 생성 (a) Mode1, (b) Mode2, (c) Mode3  
 Fig. 17 Background image generation (a) Mode1, (b) Mode2, (c) Mode3

지 방법을 제안한다.

Mode 1은 기준시점 전 영상에서 확률이 높은 값을 선택하여 배경 영상으로 취하는 방법이다. Mode 2는 기준시점 영상들을 시간축상에서 그룹으로 나누고 각 그룹에서의 확률 값으로 배경 영상을 생성시키고, 생성된 각 배경 영상의 깊이 값이 작은 화소 값을 선택하여 최종 배경 영상으로 취하는 방법이다. Mode 3은 각 그룹에서 깊이 값이 작은 기준시점 영상에 해당하는 값으로 배경 영상을 생성시키고, 생성된 각 배경 영상의 확률을 이용하여 최종 배경 영상을 생성시키는 방법이다.

그림 16은 생성된 배경 영상이다. 그림 18(a)는 깊이 영상에 대한 고려 없이 확률에만 의존하므로 부정확한 배경 영상이 생성된다. 객체의 움직임이 있을 때 주변의 밝기 변화와 그림자 때문에 정확한 배경을 찾지 못한다. 또한 동일한 화소 위치에 배경보다 객체가 많이 나타날 경우, 배경 영상을 생성할 때 객체를 배경이라 판단하는 문제점이 있다. 그림 18(b)는 (a)의 방법에 깊이 값을 고려하여 생성한

영상이다. 각 그룹간의 배경 영상에서 많은 오차를 내포하고 있기 때문에 최종적으로 생성되는 배경 영상 또한 정확한 배경을 갖지 못한다. 가장 성능이 우수하게 나타난 Mode 3은 우선적으로 깊이 값을 고려하여 생성된 각 그룹에서의 배경 영상을 확률을 고려하여 최종 배경 영상으로 생성하기 때문에 그림 18(c)와 같이 가장 정확하다. 따라서 배경 영상은 Mode 3을 이용하여 생성한다.

그림 19는 배경 영상 적용 전의 영상과 배경 영

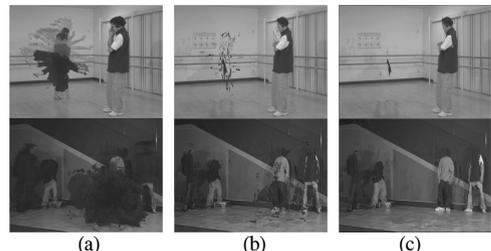


그림 18. 배경 영상 (a) Mode1, (b) Mode2, (c) Mode3  
 Fig. 18 Background image (a) Mode1, (b) Mode2, (c) Mode3

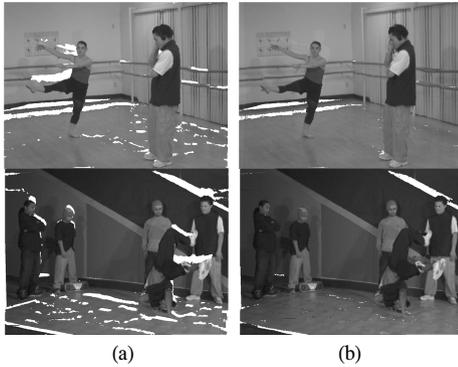


그림 19. 기저선상 외의 가상시점 영상 비교 (a) 배경 영상 적용 전, (b)배경 영상 적용 후

Fig. 19 Comparison of generated virtual viewpoint images out of baseline (a) before background image applied, and (b) after background image applied

상 적용 후의 영상을 비교한 그림이다. 대부분의 기저선상 외의 가상시점 영상에서 나타나는 미처리 영역은 객체의 배경에서 나타나므로 배경 영상을 이용하여 효과적으로 처리 할 수 있다.

### 3.2.2 후처리

배경 영상을 적용한 그림 19(b)에는 아직도 미처리 영역이 존재한다. 이러한 미처리 영역은 영상의 시간축상에도 존재하지 않는 영역이므로 처리하기 매우 어렵다. 본 논문에서는 영상 내부의 정보를 이용하여 처리하는 방법을 제안한다. 기존의 방법은 미처리 영역에 반사 효과(mirror effect)를 적용하여 처리하였다<sup>3)</sup>. 반사 효과는 미처리 영역 주변의 값들을 거울로 반사한 듯이 처리하는 방법이다. 이때 반사시키는 값들이 부정확한 값이면 반사된 값도 부정확하다는 단점이 있다. 이러한 문제 때문에 본 논문에서는 선형보간법(linear interpolation)을 적용한다.

미처리 영역의 끝단에 존재하는 화소 값을 미처리 영역의 구간 길이로 나누어 선형적으로 값을 더하거나 빼는 과정을 통해 선형 보간을 수행한다. 이 방법은 미처리 영역을 완벽하게 처리 할 수 있는 방법은 아니지만, 기존의 방법과 비교하여 화질이

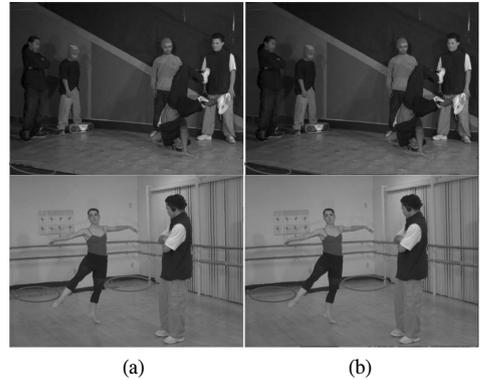


그림 20. 후처리 방법 비교 (a) 반사효과, (b) 선형보간법

Fig. 20 Post-processing comparison (a) mirror effect and (b) linear interpolation

주관적으로 향상되는 것을 알 수 있다.

그림 20(a)과 같이 반사 효과는 미처리영역 주변에 존재하는 값들을 반사시켜 보간하기 때문에 주관적 화질을 저해하는 문제가 있다. 반면 그림 20(b)의 선형보간법을 이용한 방법은 보다 자연스러운 기저선상 외의 가상시점 영상을 생성시킨다.

## IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 사용한 실험 영상은 MSR(microsoft research)에서 제공하는 Breakdancers와 Ballet 영상과 깊이영상, 그리고 다시점 카메라의 파라미터를 사용하였다. 카메라 간격이 약 20cm인 8 시점 영상으로, 1024x768의 해상도를 갖고 총 100 프레임으로 구성되어 있다.

객관적인 화질평가를 위해서 n번 카메라와 n+2번 카메라 사이에 n+1번 카메라 영상을 중간시점 영상으로 생성하여 원본 n+1번째 영상과 PSNR을 비교하였다. 비교 대상은 기존에 제안된 방법과 비교하였<sup>3),4)</sup>, 전체 100프레임에 대한 평균 PSNR을 표 1에 나타내었다.

기존의 방법1은 전처리 과정에서 기준시점 영상의 모든 경계를 제거하는 방법이고, 기존의 방법2는 가상시점 영상 합성 후에 미처리 영역의 경계를 제

표 1. 생성된 중간시점 영상의 PSNR 비교

Table 1. PSNR comparison of generated Intermediate viewpoint images

	0	1	2	3	4	5	6	7
기존의 방법1 <sup>3)</sup>	·	31.48	33.02	33.15	33.09	33.09	33.20	·
기존의 방법2 <sup>4)</sup>	·	31.98	32.77	33.24	33.02	33.91	32.75	·
제안한 방법	·	32.11	33.88	33.79	33.35	34.05	33.64	·

거하는 방법이다. 일반적으로 잔상현상이 나타나는 부분은 미처리 영역의 경계에서 나타나고 미처리 영역이 다른 시점의 영상으로 보상될 때 부 정확한 깊이 정보로 인해서 발생한다. 기존의 방법2는 기존의 방법 1과 비교해서 개선이 되었지만 복잡도가 증가한 측면이 있다. 제안한 방법은 가상시점 영상을 생성하기 위해서 경계가 제거된 원 영상만 필요하지만, 기존의 방법2는 합성되는 영상이 생길 때마다 미처리 영역의 경계를 추출하고, 제거하는 방법을 수행해야한다. 생성되는 가상시점 영상의 개수가 증가하면 기존의 방법2는 그 개수에 비례해서 처리속도가 증가하므로 제안한 방법에 비해서 비효율적이다.

그림 21은 기존의 방법2에서 나타나는 문제점과 제안한 방법으로 해결된 그림을 나타낸다. 기존의 방법 2에서는 미처리 영역의 경계를 제거하고 보상을 함으로 인해 미처리 영역의 경계정보가 영상에 나타난다. 그림 21(a)의 빨간색 원안에서 확인할 수 있다. 반면 제안한 방법에서는 객체의 외부 경계만을 제거함으로 인해 이러한 현상이 나타나지 않는다. 기존의 방법1에서는 객체의 내, 외부 경계를 모두 제거하기 때문에 제안한 방법과 마찬가지로 영상이 왜곡되는 현상이 나타나지 않는다.

주관적 화질평가를 위해서 ITU-R 권고로서 규정되어 있는 이중 자격 연속 품질 척도법인 DSCQS 방법을 이용하였다. 평가를 위해 15명의 평정자를 위촉하고 한번에 1명만 모니터 앞에 배치하여 같은 그림 자리의 A, B 두 개의 영상을 교대로 보며 화상의 품질을 평가하여 평가 용지에 기입하였다. 이때 “A영상-회색영상-B영상-회색영상” 순서로 보여 주었다. A, B 영상을 보여준 뒤, 회색 영상은 약 3초간 보여주었다. 여기서 A는 원영상이고, B는 생성된 중간시점 영상이다. DSCQS의 등급은 5개지만 0.5단위 점수를 부여함으로써 변별력을 높게 하였



그림 21. 기존의 방법2와 제안한 방법의 비교 (a)기존의 방법2, (b) 제안한 방법  
Fig. 21 Comparison with (a) previous method2 and (b) proposed method

표 2. 주관적 화질 평가표 및 결과  
Table 2. DSCQS table and result

점수	등급	결과
0.5, 1	Bad	
1.5, 2	Poor	
2.5, 3	Fair	
3.5, 4	Good	Breakdancers (3.92) Ballet (3.67)
4.5, 5	Excellent	

다. 각 등급별 분포하는 점수를 표 2에 나타내었다. 주관적 화질평가는 기저선상의 가상시점 영상에 대하여 수행하였고, 실험영상 모두 ‘Good’ 등급을 받았다. 결과 점수는 15명의 평정자 점수에 대해 평균을 낸 것이다.

제안한 방법은 기존의 방법들보다 평균 PSNR이 기존의 방법1보다 0.632dB, 기존의 방법2보다 0.525dB 향상 되는 것을 알 수 있다. 또한 주관적 화질평가에서도 Good 등급 이상의 좋은 결과를 얻었다. 깊이 영상의 불연속적인 경계를 제거하고, 경계 영상의 전처리를 통해 불필요하게 제거되었던 영상의 경계 부분을 없애고, 잔상을 남기는 부분만 제거해서 기존의 방법들보다 효율적인 방법임을 검증하였다. 객관적 및 주관적 화질평가를 하기 위해서는 생성된 영상에 상응하는 원본영상이 필요하다. 하지만, 기저선상외의 가상시점영상은 원본영상이 존재하지 않기 때문에 객관적 및 주관적 화질평가를 수행할 수 없기 때문에 기존의 방법2에 나타나있는 기저선상 외의 가상시점 영상 생성기법과 비교해서 기존의 방법이 내포하고 있는 문제점을 해결하고, 주관적으로 향상된 결과를 얻었다.

## V. 결 론

최근 다시점 동영상을 이용한 입체영상 구현에 관한 연구가 국내외의 기관 및 대학에서 활발히 진행되고 있다. 깊이 영상의 획득뿐만 아니라 최근에는 소수의 다시점 카메라를 이용해 보다 자연스러운 입체영상 구현하고, 2차원의 자유 시점 영상을 제공하기 위한 연구가 MPEG 및 HHI 등을 중심으로 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 다시점 동영상을 이용한 가상시점 영상 생성 기법을 제안하고 있다. 기존의 방법보다 고화질의 자유로운 시점을 사용자에게 제공하기 위하여 기저선상의 중간시점 영상 생성과 기저선상 외의 가상시점 영상을 생성하기 위한 방법을 제안

하였다<sup>[3],[4]</sup>. 제안된 방법이 기존의 방법들과 비교하여 고화질을 제공하기 위한 우수한 성능을 보여준다는 것을 객관적 및 주관적 화질평가를 통하여 검증하였다.

가상시점 영상을 생성하기 위하여 3시점 영상의 깊이 정보와 카메라 파라미터를 이용하여 기준시점 영상을 가상시점에 투영했을 때 나타나는 문제점을 전처리, 깊이 영상 개선, 배경 영상 생성, 후처리 기법 등의 과정을 통해 해결하였다. 3차원 투영에 의해 가상시점 영상을 생성하는 기법은 깊이 정보에 의존함으로써 정확한 깊이 영상이 필요하다. 깊이 영상이 불안정한 경우 생성되는 임의시점 영상의 화질에 직접적으로 큰 영향을 미치기 때문에 보다 자연스럽고, 복잡도가 낮은 처리로 가상시점 영상을 생성하기 위해서는 정확한 깊이 영상 생성에 관한 연구가 먼저 필요하다. 또한 카메라의 배열이 1차원적으로 구성되었을 경우 가상시점 영상을 생성하는데 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 보다 자유로운 구조의 3차원적인 넓은 간격의 카메라 배열을 구현하고, 정확한 깊이영상의 획득이 필요하다.

3차원 입체 영상 및 자유 시점 영상이 일반화되고 사용화 되면 가상시점 영상생성 기술은 필수요소 가 될 것이며, 방송, 영화, 군사, 의료, 항공, 우주, 교육 등 국내외 산업전반에 걸쳐 미디어의 새로운 방향을 제시할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] K. H. Bae, J. J Kim, E. S. Kim, "New disparity estimation scheme based on adaptive matching window for intermediate view reconstruction," *Optical Engineering*, Vol.42, No.6, pp.1778-1786, 2003.
- [2] C. L. Zitnick, S. B. Kang, M. Uyttendaele, S. Winder, and R. Szeliski, "High-Quality Video View Interpolation Using a Layered Representation," *ACM SIGGRAPH and ACM Trans. On Graphics*, Los Angeles, CA, USA, Volume 23, Issue 3, Aug., 2004 Page(s):600-608.
- [3] 박세환, 송혁, 장은영, 허남호, 김진웅, 김진수, 이상훈, 유지상, "다시점 동영상에서 임의시점영상 생성을 위한 가려진 영역 보상기법," *한국통신학회논문지*, 제33권 제12호(통신이론 및 시스템), 2008, 12, pp.1029-1038.
- [4] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 "International Organisation for Standardisation Organisation Internationale de Normalisation ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 CODING of Moving Pictures and Audio," M15597, July, 2008.
- [5] A. Smolic, K. Muller, K. Dix, P. Merkle, P. Kauff, T. Wiegand, "Intermediate view interpolation based on multiview video plus depth for advanced 3D video systems," *Image Processing*, 2008. ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on 12-15 Oct., 2008 Page(s):2448-2451.
- [6] Y. Mori, N. Fukushima, T. Fujii, M. Tanimoto, "View Generation with 3D Warping Using Depth Information for FTV," *3DTV Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video*, 28-30 May, 2008 Page(s): 229-232.
- [7] Richard Hartley and Andrew Zisserman, "Multiple View Geometry," Cambridge University, pp.152-247, Second Edition 2003.
- [8] YC Chung, JM Wang, SW Chen, "Progressive background images generation," *15th IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, Hsin-Chu, Taiwan, August 2002, pp 654-659.
- [9] J. Yao, W. Cham, "3D modeling and rendering from multiple wide-baseline images by match propagation," *Signal Processing: Image Communication*, Elsevier, Volume 21, Issue 6, July 2006 Page(s): 451-530.
- [10] M. Z. Brown, D. Burschka, G. D. Hager, "Advances in computational stereo," *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions on Volume 25, Issue 8, Aug., 2003 Page(s):993-1008.
- [11] D. Scharstein, R. Szeliski, R. Zabih, "A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms," *Stereo and Multi-Baseline Vision*, 2001. (SMBV 2001). *Proceedings. IEEE Workshop on 9-10 Dec., 2001* Page(s):131-140.
- [12] S. Eric, C. L. Williams, "View interpolation for image synthesis," *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and*

