

스테레오 영상의 변위 지도 성능 향상을 위한 전처리 과정 연구

조명아, 강형석, 김승환, 강동진, 김규현
경희대학교

maycho0305@hanmail.net, hyungsukky@daum.net, ksh7cy@naver.com,
cpffh0729@khu.ac.kr kyuheon.kim@khu.ac.kr

Preprocessing for performace improvement of Disparity Map Using Stereo Images

Myeongah Cho, Hyeongseok Kang, Seunghwan Kim,
Dongjin Kang, Kyuheon Kim
Kyung Hee Univ.

요약

본 논문은 스테레오 영상을 이용하여 3 차원 영상을 제공하기 위한 과정에서 중요한 변위 지도 생성 과정의 개선을 목적으로 한다. 변위 지도란, 서로 다른 시점의 두 영상 내에 매칭되는 대응점을 찾고 이와 같은 대응점들 간의 차를 통해 상대적 거리정보를 얻은 후, 이를 정규화하여 픽셀 값으로 나타낸 지도이다. 이에 본 논문에서는 변위 지도 생성 시, 물체들 간 대응점 매칭율을 높이기 위해 물체들의 외곽을 보존하여 형태를 뚜렷하게 하는 전처리 과정을 제안한다. 제안하는 방안은 제한 적용 히스토그램 평활화를 통해 물체들의 세부적인 특징들을 부각시키고, 양방향 필터를 통해 외곽을 뚜렷하게 하는 전처리 과정을 포함한다. 본 논문에서는 제한 적용 히스토그램 평활화와 양방향 필터의 처리 과정을 분석하고, 실험결과를 통해 제안하는 전처리 과정을 검증하였다.

I. 서론

최근 컴퓨터 영상과 카메라 제작 기술의 발달로 2 차원을 넘어선 3 차원 영상 기술 연구가 활발히 이루어지고 있다. 기존의 2 차원 영상이 지니는 공간적 제한을 벗어나 인간의 시각 능력을 컴퓨터에 접목시켜 실사와 비슷한 영상을 재현하는 3 차원 영상은 최근 그 수요가 급증하고 있다. 이러한 수요는 3D 영화뿐만 아니라 게임, TV, 스포츠 중계 등 다양하게 확산되어 가고 있으며 이는 다양한 분야에서 파급력을 지니고 있다.[1]

3 차원 영상을 제공하는 영상 처리 기술로는 스테레오 오스코픽 기술, 홀로그래피, 다시점 비디오 등이 있으며 그 중 다시점 비디오는 여러 개의 카메라를 이용해 다양한 시점의 2 차원 영상으로 3 차원 영상을 제공함으로써 사용자에게 시점의 자유도를 부여하고, 이를 통해 자연스러운 입체감을 제공할 수 있다.[2]. 다시점 비디오를 이용한 3 차원 영상의 구현은 카메라 변수를 통해 깊이 정보를 얻고, 두 시점 사이의 중간 시점 영상을 만드는 것으로 달성될 수 있다. 이와 같은 3 차원 영상의 품질은 깊이 정보에 가장 큰 영향을 받으며, 따라서 깊이 정보를 나타내는 깊이 지도 획득은 3 차원 영상 생성에 매우 중요할 것으로 보인다.[3]

깊이 정보를 나타내는 깊이 지도는 변위 지도와 카메라 변수의 곱을 통해 얻어진다. 카메라 변수는 카메라 내부 및 외부에서 얻을 수 있는 렌즈 왜곡, 초점 거리 등의 변수들을 의미하며, 이와 같은 카메라 변수는 두 시점의 스테레오 영상 캘리브레이션(Calibration) 과정을 통해 얻을 수 있다. 변위 지도는 스테레오 블록 매칭(Stereo Block Matching), 그래프컷, 신뢰도 확산 알고

리즘과 같은 다양한 방법을 통해 획득할 수 있다. 이 중, 스테레오 블록 매칭(Stereo Block Matching) 알고리즘은 두 시점의 스테레오 영상을 블록 단위로 비교해 영상 내의 대응점을 찾는 것으로, 대응점 간 픽셀차에 따라 물체의 상대적 거리 정보를 얻은 후 이를 정규화하여 변위 지도를 획득할 수 있다.

본 논문에서는 스테레오 블록 매칭 기법에서 개선된 변위 지도를 얻기 위한 전처리 과정을 제안한다. 전처리 과정에서는 대비 제한 적용 히스토그램 평활화(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, CLAHE), 양 방향 필터(Bilateral Filter)를 거쳐 영상을 처리하고 실험을 통해 대응점의 매칭률이 높아짐을 검증한다.

II. 전처리 과정

가) CLAHE(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)

본 절에서는 전처리 과정의 첫 단계인 CLAHE에 대한 설명과 이와 같은 처리가 영상에 미치는 효과에 대하여 기술한다. 히스토그램 평활화(Histogram Equalization, HE)는 영상의 명도값 분포를 나타내는 히스토그램을 균일하게 분포시키는 것이며 AHE(Adaptive Histogram Equalization), CLHE(Contrast Limited Histogram Equalization), CLAHE 등 다양한 방법이 있다.[4]

$$h(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N p(i) \quad (1)$$

$$p(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N p(i) \quad (2)$$

$$y(v) = \sum_{i=1}^N () = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N () \quad (3)$$

식(1)~(3)은 HE의 계산 과정에 사용되는 수식들이 다. 식(1)을 보면 'i'의 밝기 값을 갖는 픽셀의 개수를 구해 특정 값에 대한 픽셀 밀도를 나타내는 히스토그램을 구한다. 그 다음 식(2)와 같이 최대밝기 값이 grayLevel을 가질 수 있도록 히스토그램 정규화를 수행한다. 이 때, 변수 N은 영상 전체 픽셀의 개수를 의미한다. 그 후, 식(3)에서 나타난 방식으로 입력 화소 밝기 v에 대한 정규화 된 히스토그램 합산으로 평활화 함수를 계산한다. 그러나 HE는 전체 영상을 평활화 시키는 것이 목적이기에 비슷한 밝기 값이 밀집된 일부 영역에서는 충분한 효과를 보기 어렵다는 단점이 존재한다.

이러한 문제는 영상을 여러 개의 블록으로 나눈 뒤에, 블록 별로 HE를 수행하는 AHE를 통해 개선할 수 있다. 그러나 블록마다 수행하는 AHE는 명암 대비 강도가 지나쳐서 오히려 화질을 저하시킬 수도 있다는 단점이 존재한다. 이를 보완하기 위하여 CLAHE가 고안되었다. CLAHE는 ClipLimit를 지정하여 분할한 영상의 각 블록에 대해서 ClipLimit 값을 초과하는 픽셀의 개수를 재분배한다. ClipLimit 값은 식(4)를 통해서 구한다.

$$\text{ClipLimit} = h \times (1 - \text{ClipLimitParam}) \quad (4)$$

식(4)에서 ClipLimitParam은 0에서 1사이의 실수이고, 값이 클수록 히스토그램이 균일해져서 블록별 대비 효과가 강하게 일어난다. <그림 1>은 CLAHE 알고리즘을 수행하는 과정에서 픽셀값의 재분배를 도식화한 그림이다. <그림 1>에서 보이는 바와 같이, CLAHE 알고리즘은 히스토그램에서 ClipLimit를 초과하는 픽셀의 개수를 전체 값에 고루 분배함으로써 기존보다 평활화된 히스토그램을 얻을 수 있다.



그림 1. CLAHE 알고리즘의 픽셀 재분배

또한 영상을 분할해 블록별로 계산을 수행했기 때문에 블록간의 경계가 두드러지는 문제를 해결하기 위해 서로 인접한 네 개의 블록에 대해 히스토그램 보간을 수행한다. 이와 같은 히스토그램 보간은 식(5)를 이용한다. 식(5)에서는 입력되는 각 블록들 간의 거리를 가중치로 사용한다. α와 β는 블록 내 위치한 픽셀의 가중치를 정규화 한 것이고, 픽셀의 위치를 x, y라 할 때 블록의 높

이(h)와 폭(w)을 이용해 보간된 밝기 값 '을 얻어 보간된 영상을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \alpha = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{w} \right) \cdot \left(\frac{1}{h} + \frac{1}{w} \right) \\ & \beta = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{w} \right) \cdot \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{w} \right) \\ & * \alpha = 1 - \beta \end{aligned} \quad (5)$$

CLAHE 알고리즘은 이와 같은 방식으로 영상에 적용되며, CLAHE 알고리즘이 적용된 영상은 원 영상보다 세부적인 특성이 부각되고 비슷한 명도를 갖는 픽셀값들의 차이가 커져 영상 내 물체들의 외곽을 뚜렷하게 하는 효과를 가진다.

나) Bilateral Filter

본 절에서는 CLAHE 알고리즘을 적용한 영상을 입력으로 하여 양방향 필터(Bilateral Filter)를 적용하는 과정에 대하여 기술한다. 양방향 필터는 비선형 엣지 보존 스무딩 필터(non-iterative edge preserving filter)의 하나로 물체들의 엣지를 보존하는 동시에 내부 질감에 스무딩 처리를 하여 잡음을 제거하는 필터이다.[5] 잡음을 제거하기 위해 일반적으로 사용되는 필터는 지역 통과 필터로, 평균 필터, 가우시안 필터 등이 있다.

$$I(x, y) = \sum_{(u, v) \in \Omega} (I(u, v) - I(x, y)) \quad (6)$$

가우시안 필터는 공간상에서 픽셀값의 상관성을 고려한 필터로, 갑작스럽게 값이 변화하기 때문에 주변값과 상관성이 적은 잡음의 특성을 고려하여 잡음을 제거하는 스무딩 처리를 수행한다. 식(6)은 이와 같은 가우시안 필터의 수식이다. 여기서 σ는 가중치이며 값이 클수록 블러 처리가 강해지는 성질을 가진다. p는 필터 윈도우의 중심 픽셀좌표이며 q는 이웃픽셀좌표를 뜻한다. 중심픽셀

과 이웃 픽셀과의 거리를 고려한 다음 q 픽셀값인 I(q)를 곱한다. 가우시안 필터는 강력한 잡음 제거 필터로서의 역할을 수행하지만, 값이 빠르게 변화하는 구간인 엣지 부근도 잡음으로 판단하여 스무딩 처리하는 단점이 존재한다.

$$I(x, y) = \sum_{(u, v) \in \Omega} (I(u, v) - I(x, y)) \cdot \exp\left(-\frac{d(u, v)}{\sigma_s}\right) \cdot \exp\left(-\frac{|I(u, v) - I(x, y)|}{\sigma_r}\right) \quad (7)$$

양방향 필터는 이러한 가우시안 필터의 문제점을 해결하기 위해 고안된 필터이다. 양방향 필터는 기존의 가우시안 필터에 밝기 값 차이에 따른 가중치를 고려한 파라미터를 추가하여 중심 픽셀과 이웃픽셀 간의 연관성을 거리차와 밝기차로 나타낸다.[6] 식(7)은 양방향 필터의 수식이다. 식(7)에서 보이는 바와 같이 양방향 필터는 기존의 가우시안 필터의 수식에 밝기차를 구하는 함수인

를 추가하고, 이를 정규화 변수인 1로 나누어 수행된다. 즉, CLAHE로 인해 영상 내 세부적 특성과 외곽이 뚜렷해진 영상이 양방향 필터를 통해 물체의 세부적 질감은 스무딩 되고 외곽은 보존되는 효과를 얻게 된다. 이러한 전처리를 거친 영상은 스테레오 매칭 알고리즘을 통해 매칭율이 높은 변위 지도 획득이 용이해진다.

III. 변위 지도 생성

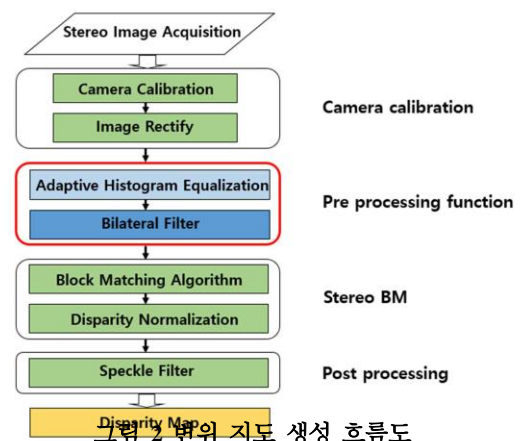


그림 2 변위 지도 생성 흐름도

본 장에서는 2장에서 제한한 전처리 과정을 거친 영상을 이용해 변위 지도를 생성하는 과정을 기술한다.

<그림 2>는 변위 지도 생성 과정을 도식화한 흐름도이다. <그림 2>에서 보이는 바와 같이 제안한 전처리 과정 이전에 두 시점에서 촬영한 스테레오 영상에 대한 카메라 캘리브레이션을 수행한다. 이는 영상을 정렬화하고 교정하며 변위 지도를 깊이 지도로 변환할 때 사용되는 카메라 초점, 주점 등의 정보를 얻는다. 이와 같은 영상 정렬화는 임의의 두 시점에서 촬영된 영상을 2 차원 변환을 통하여 모든 에피폴라 선이 평행하도록 함으로써 매칭을 더욱 정확하고 빠르게 만드는 작업으로 스테레오 매칭에서 필수적이다.[7] 캘리브레이션이 완료된 영상은 2 장에서 소개한 전처리 과정을 거치며, 전처리가 완료되면, 스테레오 매칭을 수행한다.

스테레오 매칭 알고리즘은 시점이 다른 두 영상 내에서 매칭되는 대응점을 찾아 변위 정보를 얻는 알고리즘이다. <그림 3>에서 보이는 바와 같이 좌측 영상을 기준으로 우측 영상 내 윈도우가 움직이며 SAD(Sum of Absolute Differences)값을 비교하고 SAD 값이 일정 범위 내에 있으며 그 중, SAD 값이 가장 작은 픽셀을 대응점으로 인식한다. 대응점 인식이 완료되면, 좌, 우 영상 각각 대응점의 픽셀차를 이용해 변위 정보를 얻는다.

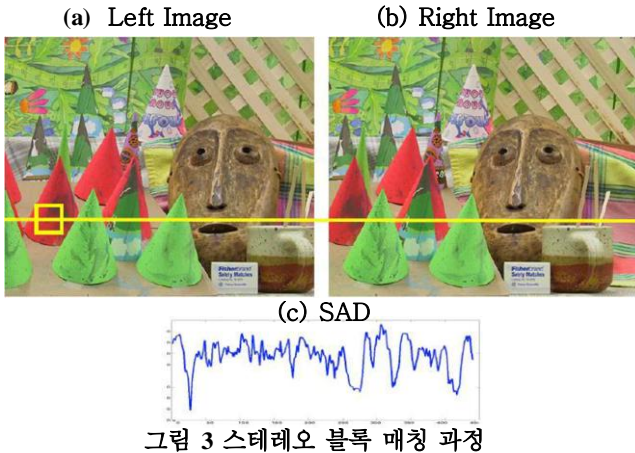


그림 3 스테레오 블록 매칭 과정

이 때 물체 내부 질감은 스무딩 처리하고 외곽은 보존하는 전처리를 거쳤기 때문에, 매칭율을 상승하여 더 정확한 변위 지도를 얻을 수 있다. 즉, 변위 지도에서 동일한 거리인 하나의 물체는 같은 밝기로 표현되고 거리차가 있는 물체들은 거리에 따라 밝기 차가 뚜렷하게 표현된다. 변위 정보를 이용해 0-255 값을 갖도록 정규화하여 변위 지도를 생성하고, 매칭 실패로 인한 노이즈를 제거하는 스펙클 필터를 거쳐 최종 변위 지도를 얻는다.

IV. 실험 및 검증

본 장에서는 앞서 제안한 전처리 과정 알고리즘을 이용하여 변위 지도를 얻고 그 결과를 해당 전처리를 수행하지 않고 획득된 변위지도와 비교하고 결과에 대하여 분석한다.

실험 과정은 다음과 같다. 먼저, 동일한 카메라 두 대를 일정 간격을 두고 배치한다. 이 때 외부 요인을 최소화 하기 위해 좌, 우 카메라 높이를 동일하게 하게 한다. 카메라 세팅이 완료되면 다음으로는 변위 지도 획득의 첫 단계인 카메라 캘리브레이션을 수행한다. 카메라 캘리브레이션에서는 체스보드를 좌, 우 카메라로 동시에

촬영하고, 이 영상 내 체스보드의 코너점을 검출한 뒤, 이를 통해 영상의 회전, 이동 행렬, 왜곡 행렬, Q 행렬 등을 구한다. <그림 4>는 좌, 우 영상의 코너점 검출 과정이고 <그림 5>는 이를 통해 얻은 회전 행렬과 이동행렬이다.



(a) Left Image (b) Right Image
그림 4 체스 보드를 이용한 카메라 캘리브레이션

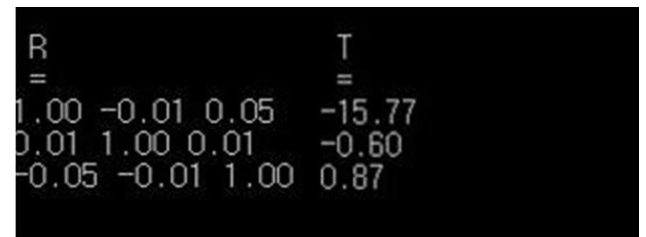


그림 5 캘리브레이션을 통한 교정 행렬 획득

다음은 변위 지도를 얻은 영상을 촬영하여 좌, 우 영상으로 입력받은 후, 카메라 캘리브레이션 단계에서 얻은 행렬들을 이용해 해당 영상들을 교정한다. 교정이 끝난 좌, 우 영상에 앞서 제안한 전처리 과정과 스테레오 블록 매칭 및 후처리 과정을 수행함으로써 최종적으로 변위 지도를 획득할 수 있다.

<그림 6>은 책 한 권을 좌, 우 카메라로 촬영하고 변위 지도를 획득한 결과이다. (a)는 캘리브레이션에서 얻어진 결과를 이용하여 입력 영상을 교정한 좌 영상이며 (b)는 전처리 과정에서 일반적으로 사용하는 필터인 평균 필터만 적용하여 생성한 변위 지도이다. <그림 6>에서 보이는 바와 같이, 평균 필터만 적용할 경우, 전처리 과정에서 외곽이 뚜렷하게 보존되지 않아 물체의 형태를 정확히 알아볼 수 없으며, 픽셀값들이 비슷한 배경에서는 대응점 찾기를 실패한 것을 확인할 수 있다.

(c)는 전처리 과정에서 양방향 필터를 이용한 것으로 물체의 외곽 보존과 질감 스무딩을 통해 외곽이 어느 정도 뚜렷해졌음을 확인할 수 있다. 마지막으로 (d)는 제안한 전처리 과정을 이용하여 얻은 변위 지도로 CLAHE를 이용한 히스토그램 평활화를 하여 외곽을 뚜렷하게 만들고 양방향 필터로 이를 보존한 결과 뚜렷한 외곽을 가진 변위 지도의 획득은 물론, 배경의 대응점 찾기의 성공률도 높아졌음을 확인할 수 있다.

<그림 7>은 두 개의 비슷한 픽셀값을 갖는 물체를 카메라로부터 서로 다른 거리에 두고 촬영하고, 이에 대한 변위 지도를 <그림 6>의 결과에 적용한 것과 동일하게 적용한 결과이다. <그림 7>에서 보이는 바와 같이, 변위 지도를 통해 두 물체와 배경의 상대적 거리를 밝기로 확인할 수 있으며 제안한 전처리 과정을 거친 (d)에서 가장 뚜렷하고 정확도가 높은 변위 지도가 획득된 것을 확인할 수 있다.

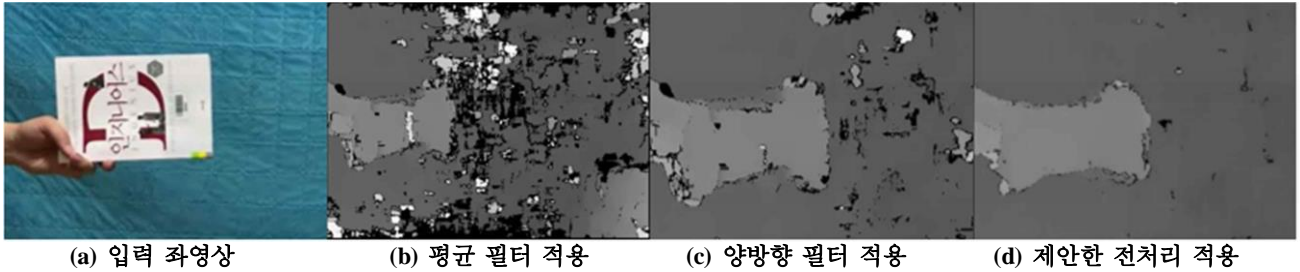


그림 6 한 물체를 촬영한 변위 지도

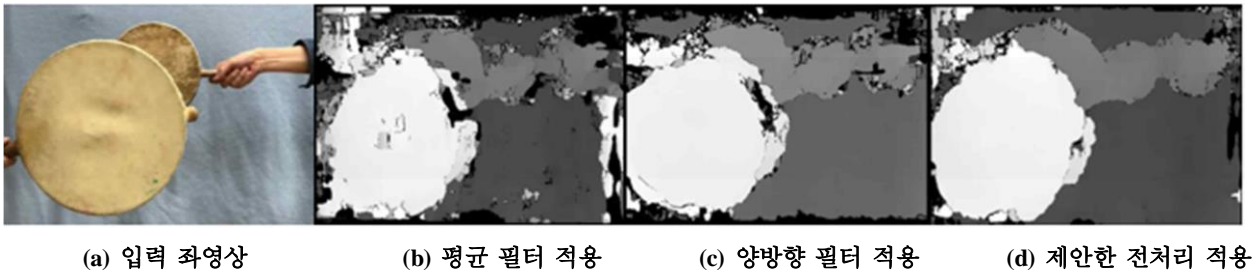


그림 7 두 물체를 촬영한 변위 지도

V. 결론

현재 변위 지도를 구하기 위한 가장 보편적인 방법으로 스테레오 블록 매칭 기법이 널리 사용되고 있다. 하지만 이와 같은 방법은 주변 환경과 물체의 형태 및 질감 등 다양한 요소들에 영향을 많이 받는다는 단점을 가지며, 또한 대응점을 찾을 때 픽셀값이 주요한 파라미터로 작용하기 때문에 물체와 배경의 색이 비슷하여 구분되지 않는 경우 제대로 된 변위 지도를 얻지 못하는 상황이 발생한다.

따라서 본 논문에서는 제한된 상황에서 변위 지도를 개선할 수 있도록 스테레오 블록 매칭 알고리즘에 적합한 전처리 과정을 제안하였다. 전처리 과정에서는 CLAHE 알고리즘으로 영상의 명도 분포를 넓혀서 외곽을 선명하게 만든 후, 양방향 필터를 사용하여 영상 내 물체의 외곽을 보존함과 동시에 앞서 CLAHE 에서 발생했던 노이즈를 제거하여 개선된 영상을 획득한다. 이와 같은 전처리 과정을 통하여 개선된 변위지도의 획득이 가능케 하였다.

본 논문에서 제안한 전처리 과정은 보다 생동감 넘치는 영상을 제작하는데 있어서 반드시 필요한 변위지도를 개선할 수 있는 알고리즘이다. 보다 정확한 변위지도를 활용하면 차세대 영상기술인 다시점 비디오 및 자유시점 비디오를 상용화할 수 있을 뿐만 아니라 게임, TV, 스포츠 중계 등 다양한 분야에 적용하여 보다 생동감 넘치는 영상을 제공할 수 있을 것으로 보인다. 앞서 말했듯이 스테레오 매칭 기법에는 블록매칭 방법 뿐 아니라 다양한 기법들이 존재하지만, 본 논문에서는 스테레오 매칭기법 중 블록 매칭기법만 고려하였다는 한계점이 존재한다. 따라서 블록매칭기법 이외의 다른 스테레오 매칭기법에 본 논문이 제안하는 전처리 과정을 적용하기 위해서는 앞으로 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 또한 앞으로 스테레오 영상에서 더 개선된 변위지도를 얻기 위한 연구가 발전된다면 스테레오뿐만 아니라 N 개 영상을 합성할 때에도 스테레오 매칭기법을 응용할 수 있을 것으로 보인다. 이는 2D 영상에서 차세대 영상기술인 3D 영상을 한층 더 빠르게 상용화시킬 수 있을 것으로 보인다.

다. 3D 영상이 상용화된다면 그에 따라 미래에 새로운 패러다임을 가지고 와 지금까지와는 다른 새로운 환경을 만들 수 있을 것으로 보인다.

* 본 논문은 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2015-0-00231, 퍼즐형 Ultra-wide viewing 공간 미디어 생성 및 소비 기술 개발]

참고문헌

- [1] 김옥중, 허남호, 김진웅, 유지상, “3D 영상 산업 및 표준화 동향”, 한국통신학회지 제 27 권 제 3 호, pp3-9, 2010.2.
- [2] Cheon Lee, Kwan Jung Oh, Yo Sung Ho, “Multi-view Video Coding using View Interpolation”, KCI Vol37 No2, pp128-136, 2007.3
- [3] Yun Suk Kang, Yo Sung Ho, “High-resolution Depth Generation using Multi-view Camera and Time-of-Flight Depth Camera”, IEEK, Vol48 No6, pp1-7, 2011.
- [4] Garima Yadav, Saurabh Maheshwari, Anjali Agarwal, “ Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Based Enhancement For Real Time Video System”, ICACCI, pp2392-2397, 2014.
- [5] C. Tomasi, R. Maduchi, “bilateral filtering for gray and color images”, IEEE international, 1998.
- [6] Yung - Yu Chuang, “Bilateral Filters for Digital Visual Effects”, National Taiwan University Department of Computer Science and Information Engineering, 2006.
- [7] WooSeok Jang, Cheon Lee, “Efficient Depth Map Generation for Various Stereo Camera Arrangements”, KICS, pp458-463, 2012.