



다시점 3차원 영상을 위한 카메라 조정 및 영상 정렬 기술

+ 호요성 광주과학기술원(GIST) 교수

❶ 다시점 3차원 영상을 위한 카메라 조정 및 영상 정렬 기술

❷ 다시점 카메라의 색상 특성 및 교정 기술

❸ 영상 보간 및 깊이 영상 업샘플링 기술

디스플레이를 통해 재생되는 화면을 통해서도 입체감을 느낄 수 있는 3차원 입체 영상 기술은 최근 수년간 전 세계적인 큰 관심을 받으며 발전해왔다. 3D 영화를 상영할 수 있는 입체 스크린의 수는 지속적으로 증가하고 있으며, 스크린의 수요 증가에 따른 3차원 입체 콘텐츠의 제작 역시 활발히 진행되고 있다. 영화뿐 아니라 방송계에서도 3D 전문 채널 등을 통해 계속해서 입체 영상 콘텐츠를 방영하고 있으며, 2011년 대구 세계육상선수권, 2012년 런던 올림픽과 같은 큰 행사들이 3D로 중계되기도 했다.

또한 게임, 광고, 교육, 문화사업 등 다양한 영역에서 사용자들에게 더 생생하고 몰입감있는 정보를 제공하기 위해 3차원 입체 영상을 활용하고 있다. 몇 년 전까지만 해도 전시회에 가야만 볼 수 있었던 특별한 3차원 입체 영상이, 이제는 우리의 일상의 생활에서 어렵지 않게 접할 수 있는 시대가 된 것이다 [1].

이러한 3차원 영상의 시초는 기원전 300년경으로 거슬러 올라간다. 그리스의 수학자 유클리드(Euclid)가 인간의 두 눈이 시차(disparity)를 가지는 두 영상을 각각 받아들인다는 사실을 발견했고, 그것이 인간 시각 시스템에 의해 3차원 거리 정보로 인식된다는 것을 설명하였다.

이후 영국의 물리학자 찰스 휘트스톤(Charles Wheatstone)이 제작한 거울을 이용한 입체경(stereopsis)은 오늘날 3차원 영상 기술의 시초가 되었으며, 이후 다양한 입체경과 입체 카메라들이 개발되었다. 이후 영상 기술의 발전과 함께 3차원 영상은 영화 산업을 중심으로 부흥과 쇠퇴를 반복해왔으나, 2000년대 컴퓨터 그래픽스 기술의 발전으로 다양한 3차원 입체 영화가 제작되었고, 2009년 개봉한 영화 아바타(Avatar)의 전 세계적인 흥행에 힘입어 황금기를 보내고 있다 [2].

위와 같은 3차원 영화, 혹은 흔히 접할 수 있는 3차원 입체 영상은 대부분 양안식 영상(stereoscopic image)을 기반으로 제작된 것이다. 즉, 두 대의 카메라를 사용하여 시차를 가지는 양안식 영상을 촬영하고, 편광 안경 혹은 셔터 글라스(shuttered-glass)와 같이 양안의 입력을 구분해 줄 수 있는 장비를 착용하면 오른쪽 눈과 왼쪽 눈으로 시차를 가지는 영상이 각각 입력되어 깊이감을 느끼는 방식이다. 그러나 양안식 영상은 깊이감을 느낄 수 있는 범위가 좁고, 안경과 같은 특수한 장비를 사용해야 한다는 한계가 있다.

다시점 영상(multi-view image)은 여러 시점에서 다수의 카메라로 한 장면을 촬영한 다중 영상의 집합으로, 양안식 영상에 비해 넓은 범위에서 깊이감을 느낄 수 있으며, 무안경식 디스플레이를 통해 안경이 없이도 입체감을 느낄 수 있다. 다시점 영상을 이용하기 위해서는 원하는 시점 수 만큼의 카메라가 촬영에 필요하며, 촬영을 위한 카메라의 배열, 각 카메라의 동기화, 촬영된 다시점 영상의 전처리, 처리해야 할 데이터의 양 등 많은 부분을 고려해야 한다 [3].

본 원고에서는 다시점 영상을 이용한 3차원 영상의 제작을 위해 필요한 몇 가지 기술에 대해 소개하고자 한다. 먼저 2장에서는 다시점 영상의 촬영을 위한 다양한 카메라 배열과 카메라 시스템을 소개하고 그 특성에 대해서 알아본다. 3장에서는 다시점 카메라의 기하학적 구조와 카메라 조정(camera calibration)을 통한 카메라 매개변수(camera parameters)의 획득과 그 역할에 대해 설명한다. 4장에서는 카메라 매개변수를 이용한 다시점 영상 정렬 기술(image rectification)로 다시점 영상에 존재하는 기하학적 오차를 제거하는 방법 대해 설명한 후 5장에서 결론을 맺음으로 마무리한다.

다시점 3차원 영상의 촬영 기술

다시점 3차원 영상의 촬영을 위해서는 기본적으로 3대 이상의 카메라가 필요하다. 일반적으로 같은 모델의 카메라를 어떠한 형태의 배열로 구성하여 사용한다. 가장 일반적인 방법으로는 평행 카메라 배열을 예로 들 수 있다.

평행 카메라 배열은 [그림 1(a)]에서 보듯이 공간상의 일직선상에 카메라를 모두 같은 방향을 보도록 하여 배치한 것이다. 평행 배열에서 촬영된 다시점 영상은 [그림 2(a)]에서와 같이 넓은 촬영 범위를 가지며, 촬영된 영상으로부터 스테레오 정합(stereo matching) 등을 통한 변위 정보를 얻기가 수월하다.

한편, [그림 1(b)]와 같이 배열하는 방식을 수렴형 배열이라고 한다. 평행형과

달리 수렴형 배열에서는 다수의 카메라를 공간상에 존재하는 원호(arc)를 따라 배치하는 방법으로써, 카메라를 배치하는 각도에 따라 결정되는 각 카메라의 방향은 어떤 한 수렴점을 바라보게 된다. 수렴형 배열에서 촬영된 다시점 영상은 [그림 2(b)]과 같이 객체의 측면부와 같은 장면의 세밀한 부분에 대한 정보를 얻을 수 있으며, 좀 더 몰입감있는 3차원 영상을 제작할 수 있는 장점이 있다. 하지만 카메라 배열의 미세한 오차에 의해서도 영상이 촬영할 수 있는 범위가 멀리 벗어나는 등 카메라 배열 구성에의 어려움이 있으며, 음수값의 변위가 발생하는 등 평행 배열에서 촬영된 영상에 비해 더 복잡한 처리 과정이 필요하다 [4].

그림 1. 평행 및 수렴형 카메라 배열

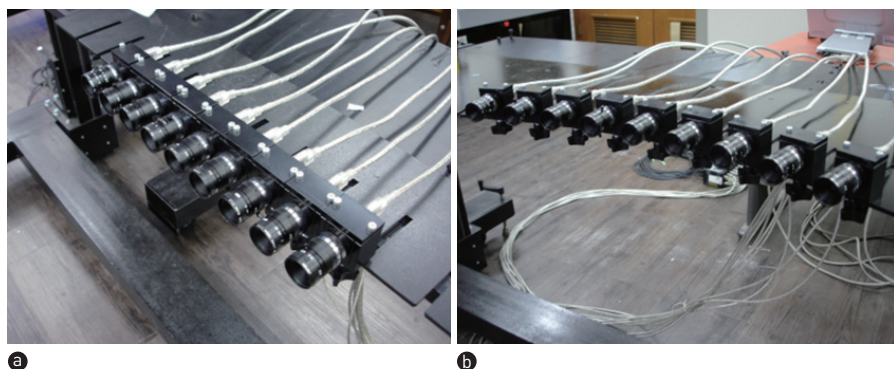
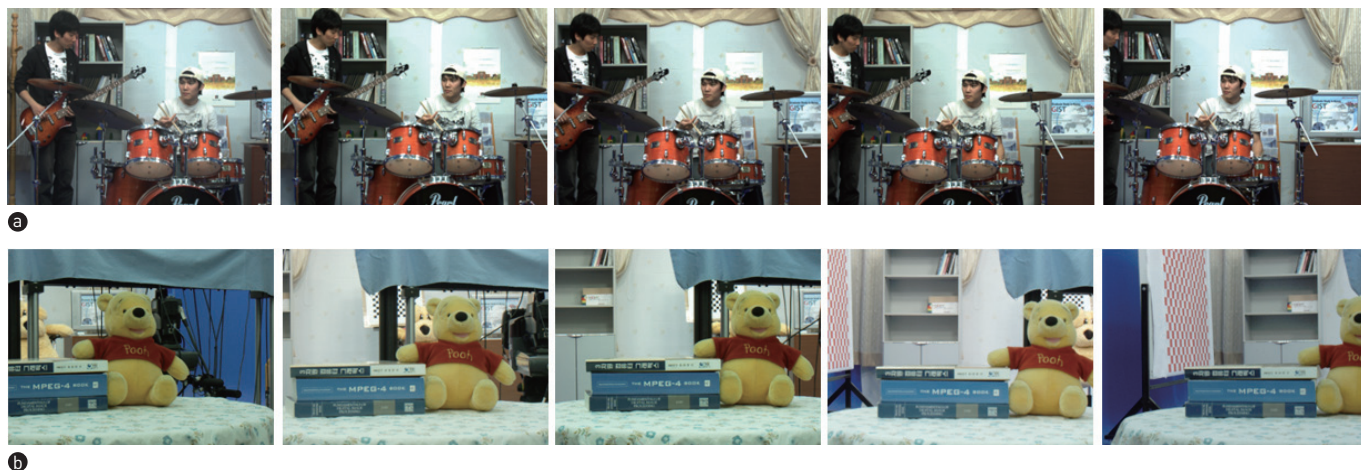


그림 2. 평행 및 수렴형 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상

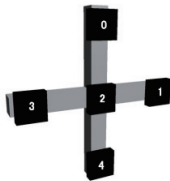


다시점 카메라의 배열에 있어 앞서 소개한 평행 및 수렴형 배열 외에 평행-수렴형 배열, 카메라를 쌓아 올리는 2차원 배열, 직교식 배열, 전방향 배열, 구형 배열 등 영상의 사용 목적에 따라 다양한 카메라 배열 방법이 존재한다. [그림 3]은 이러한 다양한 카메라 배열을 보여준다.

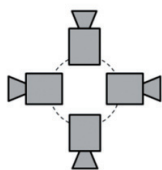
그림 3. 다양한 다시점 카메라 배열



a 2차원 배열



b 십자형 배열



c 방사형 배열

이와 같은 다시점 카메라를 이용해서 실제로 다시점 영상을 촬영하기 위해서는 다음과 같은 시스템이 구성되어야 한다. [그림 4]는 다시점 카메라 시스템을 보여준다. 먼저 각각의 카메라는 영상을 저장할 수 있는 매체에 일대일로 연결되어 있어야 한다. 다수의 카메라를 사용하면서 충분한 용량의 저장 공간이 확보되지 않거나, 여러 대의 카메라가 하나의 저장매체로 연결되어 있을

경우, 촬영된 영상 데이터가 손실될 가능성이 있다.

카메라는 또한 동기화장치(sync-generator)에 연결되어 있어야 한다. 동기화 장치에 설정된 프레임율(frame-rate)에 따라 각 카메라로 트리거(trigger) 신호가 전달되면 동기가 맞춰진 다시점 비디오를 획득할 수 있다. 마지막으로 저장매체와 동기화장치, 그리고 카메라는 시스템을 조정할 수 있는 컴퓨터에 연결되어 있어야 한다. 다시점 카메라 시스템을 이용하여 다시점 영상을 촬영할 때 주의할 점은 다음과 같다.

먼저 화면을 통해 나타나는 영상을 살펴보고 카메라의 위치를 재조정해야 한다. 카메라의 높낮이가 조금 다르거나 방향이 미세하게만 틀어져 있어도 영상에서 나타나는 효과는 매우 크기 때문이다. 그 다음으로 영상의 밝기, 색상, 초점 등을 일치시킨다. 조리개의 조절을 통해 다시점 영상의 밝기를 맞추고, 카메라의 화이트밸런스(white balance), 노출시간(exposure time), 이득(gain) 등을 조절하여 최대한 색상 특성을 일치시킨다. 마지막으로 렌즈의 초점거리를 조절하여 다시점 영상이 같은 깊이에 초점이 맞추어질 수 있도록 조절한다. 이러한 작업들은 촬영 이후 영상 처리과정을 통해 어느 정도 보정이 가능하지만, 촬영 이전에 미리 최대한으로 차이를 줄여놓은 후 알고리즘을 통해 보정하는 것이 더 효과적이다. 촬영 이후 다시점 영상의 색상을 보정하기 위해서는, 영상의 특성을 분석하여 혹은 표준 색상을 나타내는 색상차트를 미리 촬영한 후 차트 색상의 정보를 이용하여 다시점 영상 간 존재하는 색상의 불일치를 최소화할 수 있다 [5].

그림 4. 다시점 카메라 시스템

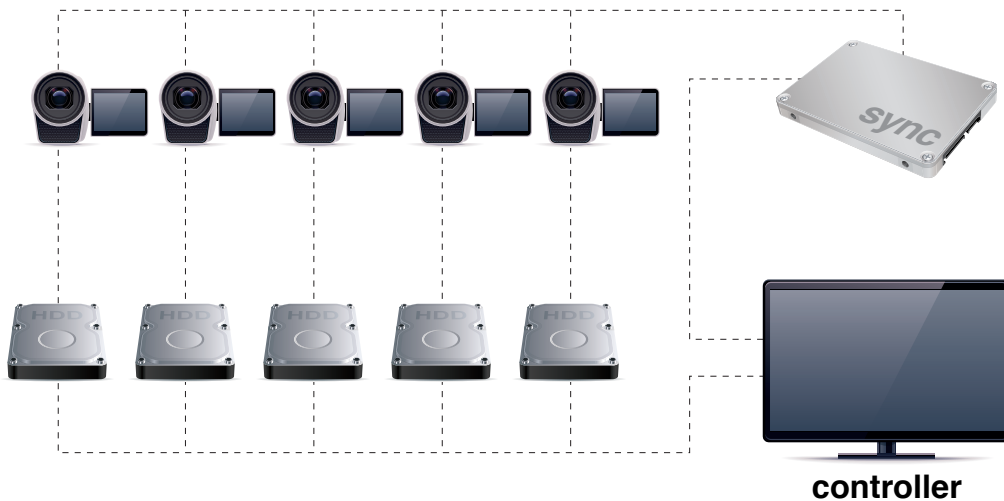


그림 5. 다시점 카메라의 기하학적 구조

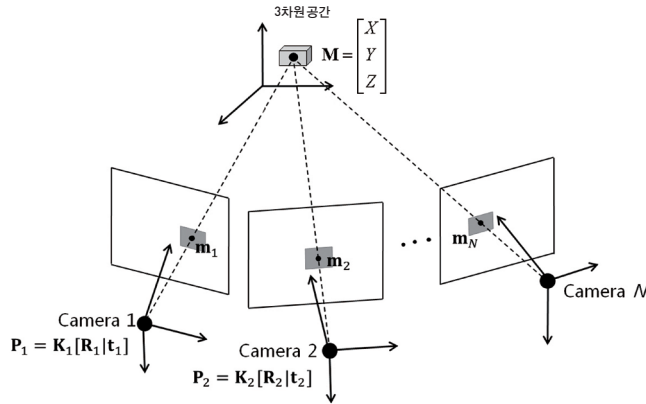
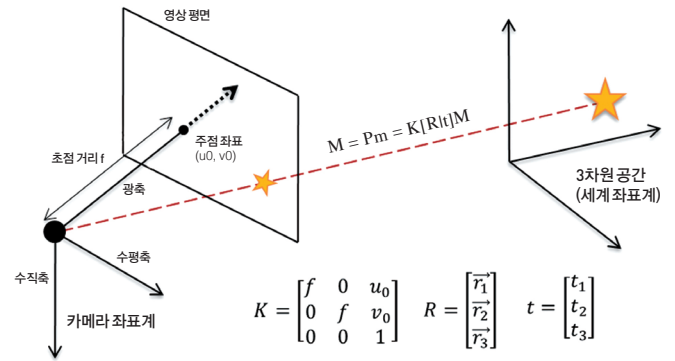


그림 6. 카메라 매개변수의 역할



다시점 카메라의 구조와

카메라 조정을 통한 카메라 매개변수 획득

2장에서 소개한 다시점 카메라를 이용하여 장면을 촬영한 다시점 영상은 [그림 5]와 같은 구조적 특성을 가진다. 이를 영상 혹은 카메라의 기하학(geometry)라고 한다. 일반적인 카메라의 동작과 마찬가지로, 3차원 공간상의 한 점이 다시점 카메라의 촬영에 의해서 각각의 영상 평면으로 투영(projection)되는 현상이다. 공간상의 한 점과 카메라 중심(camera center)을 잇는 선상에 존재하는 물체 중, 가장 앞쪽에 있는 물체의 색상 정보가 이 선이 영상 평면과 만나는 점의 화소 값으로 투영된다.

다시점 카메라의 기하학적 구조를 수학적으로 해석하면 다음과 같다. 3차원 공간의 한 점 M은 카메라의 촬영을 통해 2차원 평면의 점 m으로 투영되는데, 3차원 공간의 점을 2차원 평면의 점으로 투영시키는 행렬 P가 카메라의 투영 행렬(projection matrix)이다.

투영 행렬은 [그림 5]에 나타난 것처럼 3개의 행렬 혹은 벡터 성분으로 다시 세분되는데, 카메라의 내부 특성을 나타내는 행렬 K, 카메라의 방향을 나타내는 행렬 R, 카메라의 위치를 나타내는 벡터 t로 표현할 수 있다. K는 카메라의 내부(intrinsic) 변수, R과 t는 카메라의 외부(extrinsic) 변수로, 내부 변수와 외부 변수를 통틀어 카메라 매개변수라고 한다.

카메라 매개변수는 카메라의 특징을 수학적으로 모델링한다고 할 수 있다. 내부 변수 K는 카메라의 초점 거리(focal length)와, 카메라의 광축(optical axis)과 영상 평면이 만나는 점인 주점(principal point)의 좌표에 대한 정보를 가지고 있다. 회전 행렬 R은 3x3 행렬로, 각 행벡터는 순서대로 카메라의 수평축, 수직축, 광축을 나타낸다. 따라서 각 행벡터는 단위벡터이고, 서로 수직인 관

계를 가지고 있다. 벡터 t는 공간상의 임의의 원점에 대하여 카메라의 위치를 나타내는 벡터이다 [6]. [그림 6]은 카메라의 기하학적 구조와 함께 카메라 매개변수의 역할을 보여준다. 카메라 매개변수는 3차원 영상처리에서 반드시 필요한 필수 정보이다. 영상 정렬 및 워핑(warping), 깊이 생성, 임의의 시점 합성, 포인트 클라우드(point cloud) 생성, 3차원 모델링 등 대부분의 알고리즘들이 카메라 매개변수를 기반으로 동작하기 때문이다. 따라서 고품질의 다시점 3차원 입체 영상 제작 및 3차원 응용 구현을 위해서는 정확한 카메라 매개변수를 구하는 것이 매우 중요하다. 카메라에서 촬영된 영상으로부터 카메라 매개변수를 구하는 과정을 카메라 조정이라고 한다.

카메라 조정을 위해서는 다시점 카메라의 각 시점에서 자세를 변화시켜가며 촬영한 격자 무늬를 가지는 패턴 영상이 여러 장 필요하다. [그림 7]은 한 시점에서 촬영된 패턴 영상의 예를 보여준다. 촬영된 패턴 각 영상에 대해서 코너(corner) 점들을 찾아서 입력해주고, 격자의 한 변의 길이를 입력해주면 카메라의 초점 거리와 주점 좌표, 방향, 위치를 예측한다. 이 때 결정되는 것이 3차원 공간의 임의의 원점과, 공간을 정의하는 좌표계이다. 먼저 공간이 정의되어야 카메라의 위치와 특성 또한 정의될 수 있다 [7].

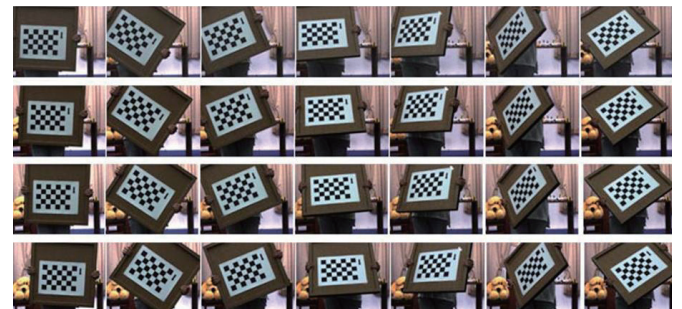


그림 7. 다시점 카메라의 카메라 조정을 위한 각 시점별 패턴 영상 촬영

다시점 영상 정렬을 통한 기하학 오차 보정 기술

2장에서 언급했듯이 다시점 카메라 배열을 구성할 때, 카메라의 방향 및 높낮이의 미세한 차이는 영상에서 많은 화소의 오차로 나타난다. 이러한 상태를 평행 다시점 카메라의 구조의 측면에서 표현한 것이 [그림 8(a)]에 나타나 있다. 카메라의 위치가 직선상이 아닌 불규칙하게 분포되어있고, 카메라의 방향 또한 다른 곳을 향하고 있다. 게다가, 동일한 모델의 카메라를 사용한다고 해도 초점거리, 주점좌표 등의 내부 특성은 각각 다르게 나타나기 때문에 [그림 8(a)]와 같은 결과가 나타난다. 다시점 카메라의 배치가 수동으로 이루어지기 때문에 불가피하게 나타나는 현상이며, 이와 같은 상태에서 촬영된 영상은 [그림 8(b)]와 같이 각 시점에서의 상응점들에 대해 수평 방향으로의 오차, 그리고 수직 방향으로의 변위가 일정하지 못한 기하학적 오차(geometric error)가 나타난다.

이러한 상태의 다시점 영상에서는 몇 가지 문제점이 발생할 수 있다. 먼저, 다시점 영상을 이용하여, 혹은 다시점 영상 중 두 시점을 선택적으로 이용하여 3차원 입체 영상으로 재생시에 시점 간의 높낮이 차이와 불규칙적인 변위로 인하여 입체 영상의 화질 저하는 물론 시각적 피로를 유발할 수 있다. 또한 무안경식 디스플레이를 통한 다시점 입체 영상을 시청할 경우, 시점 간 수직방향의 오차로 인해 자연스러운 시점이동을 기대할 수 없다. 그리고 스테레오

정합을 이용하여 색상 영상에 대한 변위 맵을 구할 때, 수평의 스캔라인으로의 탐색 뿐 아니라 수직 방향으로도 탐색을 해야 하기 때문에 복잡도가 매우 높아질 뿐 아니라 생성되는 변위 맵의 품질도 보장할 수 없다. 따라서 다시점 영상에 존재하는 기하학 오차는 반드시 보정되어야 하는데, 평행 카메라 배열에서 그 역할을 수행하는 것이 다시점 영상 정렬(image rectification)이다.

다시점 영상 정렬은 기하학적 오차가 존재하는 다시점 영상을 입력으로 받아서 각 카메라에 대한 변환식을 계산하고 적용하여 기하학적 오차가 제거된 다시점 영상을 출력하는 알고리즘이다 [8]. 변환식을 구하기 위해서는 촬영된 다시점 영상에 대한 카메라 매개변수가 필요하고, 이 원래의 카메라 매개변수를 기반으로 하여 새로운 카메라 매개변수를 예측하게 된다. 새로운 카메라 매개변수는 기하학적 오차가 보정된 이상적인 상태의 다시점 영상이 가지는 카메라 매개변수를 의미한다. 여기서 말하는 이상적인 상태의 다시점 영상이란, 각 카메라가 일직선상에 위치하고, 카메라 간 간격이 및 카메라의 방향이 동일하며, 모든 카메라의 내부 특성이 같은 상태를 말한다. [그림 9(a)]는 이와 같은 상태로 예측된 다시점 카메라의 구조를 보여준다. [그림 9(b)]는 마치 한대의 카메라를 수평 방향으로 일정한 간격만큼 옮겨가며 촬영한 결과와 같다고 할 수 있다.

그림 8. 평행 카메라 배열에서의 기하학적 오차

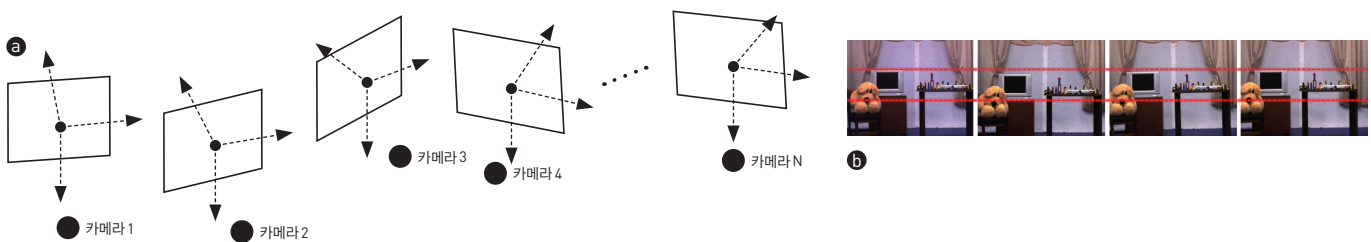


그림 9. 평행 카메라 배열에서의 다시점 영상 정렬

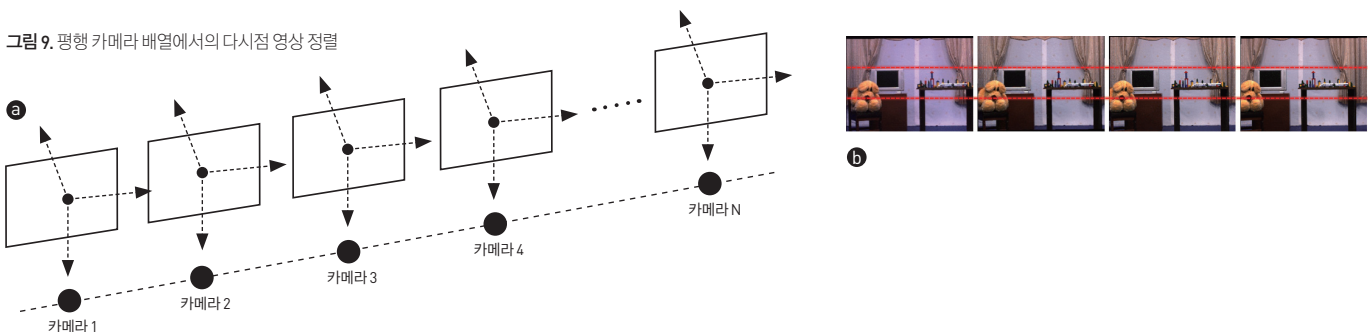
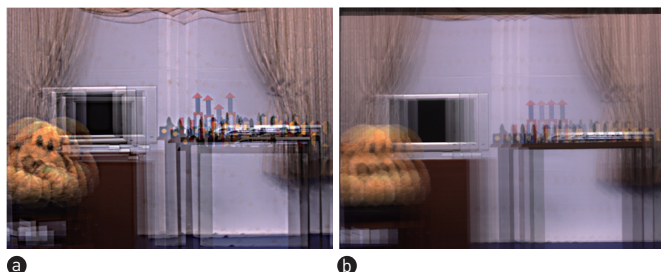


그림 10. 영상 정렬 전후의 다시점 영상



이렇게 예측된 카메라 매개변수와 기존 다시점 영상의 카메라 매개변수를 이용하면 각 시점의 영상에 적용 가능한 변환식을 얻을 수 있다. 각 시점에서의 기존, 그리고 예측된 매개변수들은 3장에서 소개한 카메라 투영 행렬로 나타내어지고, 이 투영 행렬들의 곱과 유사역행렬 연산을 이용하여 구해진 변환식을 호모그래피(homography)라고 한다. 호모그래피는 시점 별로 고유한 값을 가지며, 영상에 적용했을 때, [그림 9(b)]와 같은 결과를 얻을 수 있다. 결과를 살펴보면, 같은 객체에 대하여 시점 간 수직방향으로 존재하던 오차가 사라졌음을 알 수 있다. 또한 시점의 상응점 간 존재하는 불규칙한 변위값들 역시 일정한 값으로 변화된다. [그림 10]은 [그림 8]과 [그림 9]의 다시점 영상을 하나로 모아서 투영도를 조절함으로써 영상 정렬의 효과를 볼 수 있도록 한 그림이다. [그림 10(a)]에서 보듯이 촬영된 다시점 영상은 많은 기하학 오차를 가지고 있지만, 다시점 영상 정렬을 적용한 결과인 [그림 10(b)]를 보면 이러한 오차가 제거되고, 마치 수평 방향으로 일정하게 움직이면서 촬영한듯한 다시점 영상을 획득할 수 있다.

그런데 [그림 9(b)]에 나타난 것처럼, 정렬된 영상에는 검은 색 부분과 같은 영상의 손실이 나타난다. 이것은 [그림 8(a)]와 같이 무질서하게 배열되어있는 다시점 영상 평면들이 [그림 9(a)]와 같이 정렬되면서, 영상 평면들의 좌우 이동, 상하 이동, 전후 이동이 이루어졌기 때문이다. 이 이동은 영상의 움직임으로 나타나게 되며, 따라서, 영상 정보가 없는 곳은 검정색으로 나타나게 된다. 이 부분을 제거하려면 카메라 매개변수 예측 시 카메라의 초점 거리에 일정한 오프셋(offset) 값을 주어서 영상의 확대 효과를 이용할 수 있고, 혹은 영상의 비율에 맞게 검정색 영역들을 공통으로 잘라낸 후, 다시 원하는 해상도로 확대하는 방법을 이용할 수도 있다.

한편, 2장에서 설명한 여러 가지 다시점 카메라 배열에서도 위와 같은 기하학 오차는 발생한다. 본 장에서는 가장 많이 사용되는 평행 카메라 배열에 대해서만 설명했는데, 다른 모든 형태의 배열에 대해서도 동일한 과정을 통해 기하학 오차를 줄일 수 있다. 촬영된 다시점 영상의 카메라 매개변수를 획득하

고, 그 매개변수로부터 해당 배열의 이상적인 형태를 나타내는 새로운 카메라 매개변수를 예측하고, 두 매개변수들로부터 도출해낼 수 있는 변환식을 적용함으로써 기하학 오차 보정을 수행할 수 있다. 단, 영상 정렬이라는 용어는 모든 카메라의 영상 평면이 한 평면위에 있다는 뜻으로 사용되기 때문에, 평행형이 아닌 다른 카메라 배열에서는 영상 정렬이라는 용어를 사용하지 않고, 기하학 오차 보정이라는 용어를 사용한다.

이번 장에서 설명한 영상 정렬 혹은 기하학 오차 보정 기술을 적용할 때에는 주의할 점이 있다. 앞서 설명했듯이, 알고리즘을 수행하면 [그림 9(b)]와 같은 영상의 손실 부분이 필연적으로 발생하게 된다. 손실 영역의 발생량은 촬영 시의 카메라 배열과 연관이 있다. 즉, 카메라 배열에서 발생하는 오차를 최대한 줄여놓고 촬영한 다시점 영상에 대해 기하학 오차 보정을 수행하면 손실 영역이 많이 발생하지 않을 가능성이 크다. 하지만, 카메라 배열 자체에 큰 오차가 존재한다면, 기하학 오차 보정은 수행되어도 영상의 손실 부분이 매우 클 가능성이 높다. 따라서 다시점 영상의 촬영 단계에서부터 오차를 줄인다는 생각을 가지고 촬영한다면, 고품질의 다시점 3차원 입체 영상 콘텐츠를 획득할 수 있다.

결론

이번 호에서는 다시점 3차원 입체 영상을 위한 카메라 조정과 카메라 매개변수, 그리고 영상 정렬을 통한 다시점 영상의 기하학 오차 보정 기술에 대해 살펴해보았다. 사용자에게 입체감과 몰입감을 줄 수 있는 3차원 입체 영상의 제작을 위해서는 상황에 적합한 다시점 카메라 배열과 시스템을 구성한 후 촬영을 통해 영상을 획득해야 하는데, 일반적으로 평행 카메라 배열이 가장 많이 사용된다. 또 3차원 영상처리를 위해 카메라 조정 기술을 이용하여 카메라 매개변수를 계산하고, 이 카메라 매개변수를 이용하여 다시점 영상에 존재하는 기하학 오차를 제거함으로써 고품질의 다시점 3차원 입체 영상을 획득할 수 있다. 오차가 보정된 다시점 영상은 그 자체로도 훌륭한 입체 영상 콘텐츠로 활용될 수 있으며, 깊이 생성 및 중간시점 생성 등 좀 더 심화된 3차원 영상처리 과정에 대해 복잡도를 줄이고 품질을 높이는 역할을 수행할 수 있다.

참고문헌

- [1] ICT 표준화 전략맵 종합보고서 Ver. 2013, TTA, 2013.
- [2] 호요성, 오관정, "3차원 비디오의 이해와 분석," 진샘미디어, 2011.
- [3] 호요성, 김성열, "3차원 입체 영상 정보처리," 두양사, 2010.
- [4] Y.S. Kang and Y.S. Ho, "Geometrical Compensation for Multi-view Video in Multiple Camera Array," Proc. of International Symposium on Electronics in Marine (ELMAR), pp. 83-86, Sep. 2008.
- [5] J.I. Jung and Y.S. Ho, "Color Correction Algorithm Based on Camera Characteristics for Multi-view Video Coding," Signal, Image, and Video Processing (SIVP), s11760-012-0341, pp. 1-12, May 2012.
- [6] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision," Cambridge University Press, 2003.
- [7] 호요성, 이천, "다시점 3차원 영상처리 및 부호화 기술," 진샘미디어, 2013.
- [8] Y.S. Kang and Y.S. Ho, "An Efficient Image Rectification Method for Parallel Multi-Camera Arrangement," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 57, no. 3, pp. 1041-1048, Aug. 2011.