

고화질 입체 줌 카메라 개발과 동향조사

The Development of Stereoscopic 3D Camera System

□ 이 연 우 / 주식회사 스테레오비이 대표

1. 개 론

오늘날 정보 산업은 영상, 음성, 데이터 등에 관한 압축 및 조작기술과 집적회로, 신호처리, 통신 그리고 다중화 기술이 급속하게 발전함에 따라 방대한 정보를 효율적으로 다룰 수 있게 됨으로써, 지금까지 개별적으로 처리되던 음성, 영상, 일반 텍스트 데이터가 (하나의) 디지털 형식에 의해 처리/전송되는 멀티미디어의 환경으로 이전하고 있다. 이러한 멀티미디어 정보 중에서 인간에게 시각정보를 제공하는 영상 데이터는 다른 음성이나 일반 텍스트 정보에 비해 정보가 클 뿐만 아니라 제공하는 정보량도 가장 많은 편이다. 또한 인간의 감각에 부합하는 직관적 정보처리 욕구는 보다 사실적이고 현장감 있는 미디어를 추구하게 되고, 이러한 경향에 따라 3차원 입체 영상 정보처리에 관한 연구가 활발하게 진행되고

있다. 실제로 우리가 살고 있는 현상계는 상하, 좌우만이 존재하는 2차원 평면이 아니고 깊이 (depth) 및 시간이 존재하는 4차원의 세계이다. 이처럼 인간이 가진 감각계에 부응하는 정보의 전달을 위해서는 인간의 생활공간을 그대로 재현할 수 있는 입체 영상 정보와 관련된 기술의 개발이 필요하다. 따라서 사람들은 현재의 2차원 평면영상을 벗어나 현실감을 제공하는 3차원 입체 영상 처리기술에 대한 관심이 높아지고 있고 이 기술을 통신, 방송, 가상현실, 교육, 의료, 오락 등 여러 분야에 활발한 접목을 추진 중에 있고 대규모의 새로운 시장창출이 예상된다. 이런 시점에 3차원 영상처리 기술을 여러 응용 분야에 접목하기 위한 (원천) 기술 연구를 조기에 시작할 필요가 있다.

인간이 입체감을 느끼게 되는 주된 이유는 우리 눈의 시차 때문이다. 약 65 mm 떨어진 오른

쪽 눈과 왼쪽 눈에 비친 상은 조금 다르다. 이 양안에 결상된 미세한 상의 차이를 뇌가 해석함으로써 사람은 입체를 느끼게 된다. 이렇게 두 눈에 입체적으로 구성된 서로 다른 두개의 상을 보임으로서 입체를 느끼게 되는 방식을 '양안식 입체' (Stereoscopic 3D - 간단히 'S3D' 라고 한다) 라고 한다. 본 논문에서는 3 차원 입체 영상 처리 시스템의 핵심 기술이 되는 스테레오 줌 카메라의 개발의 동향과 필요성, 그리고 개발 시 고려해야 될 것들을 살펴보고자 한다.

2. 입체 카메라 기술의 기술현황 및 발전 방향

현재 인간의 실감화 추구 욕을 뉴미디어 산업 화시키기 위해서는 저렴하게 보급할 수 있는 입체단말기, 입체영상을 실사 또는 그래픽 적으로 만들어내는 입체제작기술, 입체정보를 효율적으로 조작할 수 있는 입체정보 조작 기술 등이 개발되어야 한다. 특히 이중에서 현재 활발하게 상업화가 진행 중인 양안식 입체분야에서는 입체제작 기술과 입체단말기 기술개발이 우선 추진되어야 할 것이다.

특히 입체제작 기술에서는 전통 시장인 필름에 의한 대화면 영화관용 영상제작 기술에서 개인용 소형 입체단말기에 사용될 디지털 방식의 영상제작 기술개발이 필요하다. 이는 시장흐름의 변화와 더불어 영상 및 미디어 기술의 발전 추세에 따른 것으로 지금까지와는 다른 새로운 기술이 개발되어야 함을 의미한다. 이 기술의 개발방향은 고화질화(HDTV급)와 디지털화로 요약되며 이러한 기술의 확보를 통해 뉴미디어 분야에서의

지식산업 강국으로서의 입지를 강화할 수 있게 될 것이다.

현재 시장에서는 두 가지 분야 산업용 로봇비전, 콘텐츠웨어 제작용 - 에서 입체 카메라가 개발되어 사용되고 있다. 콘텐츠웨어 제작용 카메라는 다이내믹한 입체감 생성을 위해 줌기능을 가지는 카메라가 필수적이며, 산업용에서는 고정초점 입체카메라를 사용해도 무방하다. 본 논문에서는 콘텐츠웨어용 고화질 카메라 개발을 주 목적으로 한다.

한편 화질에 따라서는 두 가지 등급-SD 및 HD급-에서 개발이 시도되고 있다. SD급이나 HD급 모두 주요 카메라 개발업체-소니, 파나소닉, 도시바, 히다치 등-가 입체줌 카메라 개발을 추진한 사례는 없다. 현재 콘텐츠웨어 제작에 관심을 가지고 있는 업체가 자체적으로 또는 시스템 개발 업체에 의뢰하여 자신의 용도에 맞는 사양의 입체카메라를 개발하여 사용하고 있다.

SD급의 경우 일본의 몇몇 업체가 콘텐츠 제작용 입체줌 카메라를 개발하였으나, 입체감 제어를 위한 메커니즘 제어의 문제 등으로 인해 제대로 보급되지 못하고 있다. 유럽에서는 1996년 DISTIMA 프로젝트의 일환으로 PAL 방식의 입체줌 카메라 개발이 추진되었으나, 마찬가지로 상용화 되지는 않았다. 한편 국내에서는 원자력 발전소 및 해양연구소와 같이 위험하거나 열악한 환경 하에서 작업을 수행하기 위한 로봇에 입체시각을 부여함으로써 작업의 효율성을 높이기 위해 이 분야에 대한 연구가 꾸준하게 시도되고 있으나 본격적인 실용화는 앞에서와 마찬가지로 되고 있지 않다.

HDTV급의 경우 현재 220만 화소급 3CCD

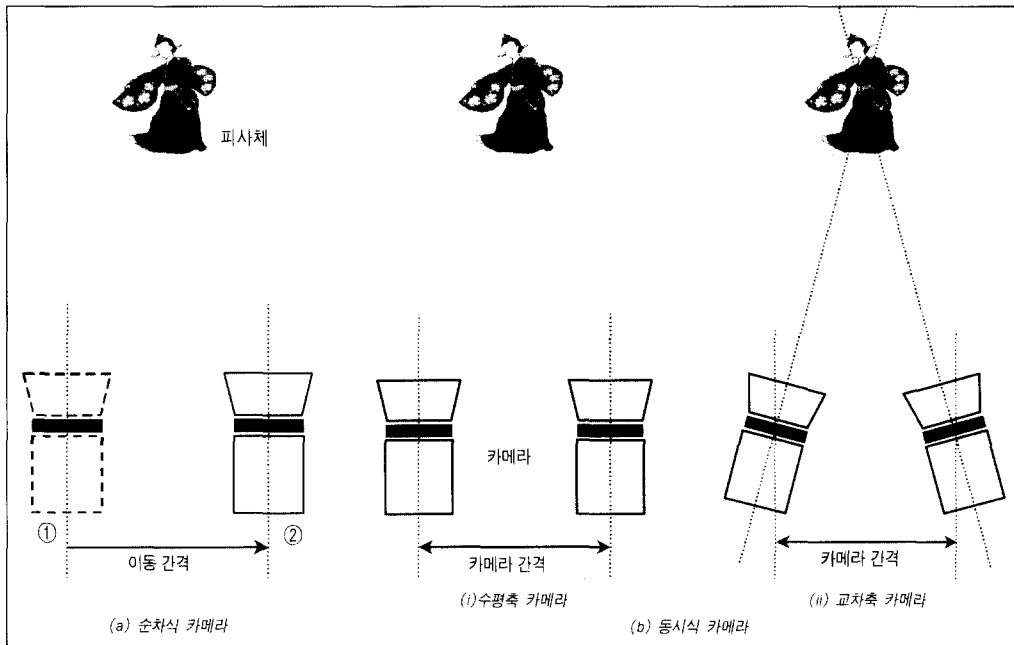


그림 1. 입체 TV 카메라 방식

IKEGAMI 카메라를 채용한 줌카메라를 NHK가 개발하여 1997년 겨울 나가노 동계올림픽에서 시연한 바 있다. 하지만 자신들이 개발한 HDTV급 입체줌 카메라를 상용으로 외부에 공급하고 있지 않다. 한편 국내에서는 ETRI를 중심으로 2002년 월드컵을 입체중계하기 위한 HDTV급 입체줌 카메라 개발이 국내 몇몇 업체와 협조하여 현재 추진 중이며 당사도 이 사업에 주도적으로 참여하고 있다.

3. 입체 줌 카메라(Stereoscopic Zoom Camera)

1) 입체 카메라 구성방식

양안식 입체TV에서는 오른쪽 눈과 왼쪽 눈에

대응하는 화상이 필요하다. 이를 얻기 위한 카메라 구성방식이 몇 가지 있는데, 그림 1.에서 입체 TV 카메라의 주요 구성방식을 설명한다.

입체 카메라 구성방식은 크게 순차식 카메라 방식과 동시식 카메라 방식으로 나눌 수 있다. 동시식 카메라 방식은 다시 수평축(수평식) 카메라 방식과 교차축(수렴식) 카메라 방식으로 나눌 수가 있다.

그림 1(a)는 순차식 카메라 방식으로 좌측에 해당하는 영상을 획득하기 위해 먼저 좌측에서 피사체를 촬영하고 우측으로 이동하여 한번 더 촬영하는 방식이다.

이 방식은 카메라 1대를 가지고 이동거리를 선정함으로 양안(이동거리 65mm) 뿐만 아니라 다시점의 상을 얻을 수 있다는 장점이 있지만, 움직이는 피사체를 촬영하기가 곤란하며 촬영시 반드

시 수평적으로 정렬을 맞추어야 하는데 이것이 용이하지 않아 실제 촬영시스템 구현이 어렵다는 점이 단점이다.

그림 1(b)는 동시식 카메라 방식인데 이 방식에서는 각각의 눈에 해당하는 두 대의 카메라로 영상을 획득하는 방식이다. 카메라 간격(Interaxial Distance)은 통상 65 mm 정도로 유지되나 반드시 이 간격을 유지해야 하는 것은 아니다. 이 방식은 카메라의 크기가 커 간격이 두 눈에 비해 더 떨어지는 경우가 많으나 움직이는 피사체의 실시간 촬영이 가능해 입체 카메라에서 가장 보편적으로 사용하는 방식이다.

크기가 큰 대형 카메라에서는 하프미러(Half Mirror)나 보조광학계를 사용해서 등가적으로 카메라 간격을 작게 할 수 있지만, 최근 CCD를 사용한 소형 카메라에서는 보조광학계를 사용하지 않고 카메라 간격을 동공간격(瞳孔間隔)과 같은 65 mm로 할 수 있다. 그렇지만 두 대의 카메라를 사용하기 때문에 카메라 특성의 동일화 내지 균일화를 위해 카메라의 설계 및 제작에 상당한 주의를 기울여야 한다. 이에 대해서는 추후에 논의하기로 한다.

교차식 카메라는 그림 1(b) (ii)에서와 같이 광축이 피사체 공간 속에서 교차하는 방식으로 카메라 오른쪽 영상과 왼쪽영상 간의 공간 왜곡이 생겨 두통을 유발시킨다. 이 방식은 주시각 제어 및 제작이 간단하여 이 분야 연구에 입문할 때 입체 카메라 시험용

으로 많이 쓰이고 있으나 다음절에서 설명한 공간왜곡에 의한 두통유발 등으로 콘텐츠 제작용으로는 사용하지 않고 있다. 양안식 입체의 가장 큰 문제는 두통발생이다. 이 두통유발의 주된 원인이 공간 왜곡으로 밝혀지면서 평행식 카메라 방식이 표준으로 자리잡게 되었고 현재 대부분의 상업용 입체 카메라는 평행식으로 개발되고 있다.

평행식 카메라는 그림 1(b) (i)에서와 같이 두 광축이 피사체와 평행하게 된 방식으로 공간 왜곡이 없어 두통의 유발을 억제 할 수 있는 장점이 있으나, 주시각 제어 및 카메라 개발이 용이하지 않다는 문제점을 가지고 있다.

2) 입체 시스템의 구조

입체 카메라와 디스플레이 시스템은 기본적으로면서 유일한 6개의 파라미터로 나타낼 수가 있다[1].

카메라 시스템 구조는 (1)두 카메라 사이의 거리(inter axial)와 (2)수렴 거리(Convergence Distance), 그리고 (3)CCD 셀 크기와 렌즈의 초점 거리에 의해 결정되는 카메라의 뷰필드(View

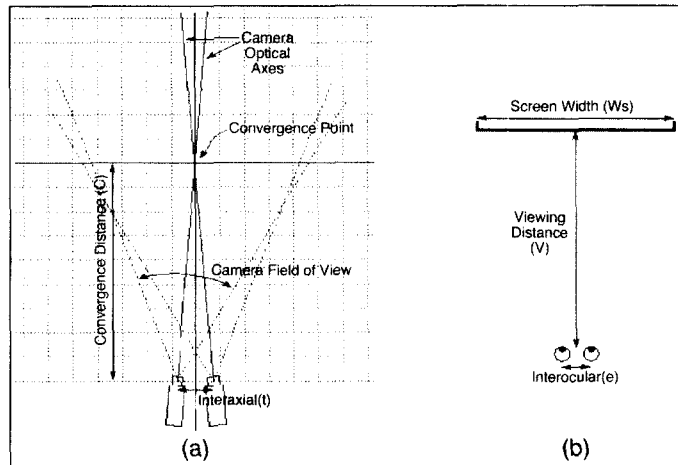


그림 2. (a)일반적인 입체 카메라의 기하학적인 구조 (b) 입체 디스플레이 시스템

Field of View)로 나뉘지고, 또한 디스플레이 시스템은 (1)관찰자가 스크린을 보는 거리(Viewing Distance)와 (2)수평 폭에 의해 측정되는 스크린의 크기(Screen Width), 그리고 (3)관찰자의 두 눈 사이의 거리(inter ocular)로 나눌 수 있다.

어떤 대상을 바라볼 때 두 눈이 교차하게 되는데 이런 작용을 폭주(Convergence)라 하고 이때 대상물과 시선이 이루는 각을 폭주각이라 한다. 폭주에 의한 깊이감을 근거리에서 큰 효과를 보일 수 있지만 멀어지면 폭주각이 작아지므로 이 효과는 급격히 작어진다. 대략 20m까지 유효하다. 또 두 대의 카메라가 같은 위치에 있지 않고 수평방향으로 평행하게 떨어져 있으므로 어떤 물체를 바라볼 때 주시점으로부터 벗어난 물체에 대해서는 좌우영상에서 간격차가 발생하는데 이 같은 간격차이를 '양안시차(Disparity)'라 한다.

양안 상에 간격이 있을 때 양안시차가 어느 정도 이하일 때에는 상이 하나로 융합하여 간격량의 크기에 따라 주시하고 있는 점 앞에 또는 뒤로 명확한 깊이감을 느끼나(이를 '호러터'라고 한다) 이 간격이 너무 클 때는 이중상이 보여 입체적으로 느낄 수 없다. 일반적인 입체 디스플레이에서는 이 합성효과가 가장 많이 활용되고 있다.

3) 입체 카메라의 기하학적인 구조

입체 비디오 시스템의 기하학적 모델링은 3개의 좌표 변환 과정에 의해 나타낼 수 있다.

첫 번째는 객체/카메라 공간의 x,y,z 좌표계에서 두 개의 CCD에 상이 맺히는 x,y 위치 변환이고, 두 번째는 세팅된 좌우영상의 x,y 위치의 CCD 좌표에서 입체 디스플레이 좌표계의 변환이고 세 번째가 관찰자의 이미지 공간(Viewer Space)에서 x,y,z 좌표계를 세팅시키는 방법이다.

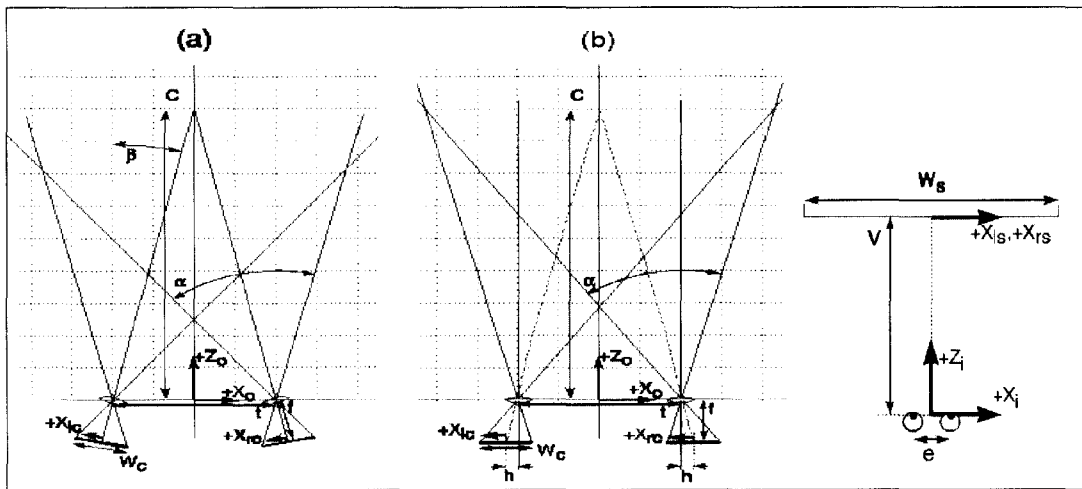


그림 3. (a) 수평식 카메라 구조의 파라미터(평면) (b) 수평식 카메라 구조의 파라미터 (평면) (c) 뷰 파라미터

이를 요약하면 다음과 같다.

객체 공간	- - ->	CCD 좌표	- - ->	스크린 좌표	- - ->	이미지 공간
(x, y, z)		(x_c, y_c)		(X_s, Y_s)		(X_i, Y_i, Z_i)

4. 입체 왜곡

입체 왜곡은 양안 이미지에서 실제적으로 보여지는 대상과 카메라를 통해 변환된 씬(Scene) 이미지 사이의 차이를 말한다. 이 절에서는 카메라 렌즈가 가지는 본래의 특성과 이들의 조합으로 생기는 여러 가지 효과로 인한 이미지 왜곡들을 논의 할 것이다.

1) 깊이감 평면 곡률(Depth plane curvature)

그림 4(a)와 그림 4(b)는 교차축 카메라와 평행축 카메라에 의해 생성되는 공간 좌표계의 기하학적 모델에 대한 그림이다[1].

이는 피사체의 개체공간 좌표계가 촬상계 및 투사계를 거쳐 최종 사용자의 눈에 인지되는 공간의 깊이감 변화를 분석한 것으로 그림 4(b)를 기준으로 설명하면 맨 뒷단의 직선은 가장 원거리의 수평객체 공간이 (입체)이미지 공간에서 변환된 좌표를 가상적으로 표시한 것이며 격자 중간의 굵은 실선은 실 객체공간에 1m떨어진 위치에서의 피사체 좌표계이며 가는 실선으로 이루어진 격자는 (입체)이미지 공간에서 관람자의 눈에 인지되는 공간을 의미한다. 그림 4(a)의 교차축 카메라에 의해 생성되는 이미지 좌표계는 객체공간이 관람자에게 좌우로 왜곡되어 디스플레이 됨을 알 수 있다. 이미지 중앙의 객체에 비해 좌우 가장자리로 갈수록 심하게 (공간이) 왜곡됨을 알 수 있다. 이와는 반대로 평행축 카메라에서는 객체공간이 새로이 구성된 이미지 공간에서 평행하게 전개되어 깊이 왜곡에 의한 공간정보 왜곡효과는 전혀 발생하지 않는다.

이러한 깊이 평면 곡률은 디스플레이 상에서 객체의 거리를 잘못 인식하게 되고, 카메라가 패

닝하면 더 심한 왜곡을 유발시킨다.

2) 쓸림 왜곡(Shear distortion)

양안 입체 디스플레이에서 관찰자의 시점(Viewing position)이 정면이 아닌 좌우에 있을 때 공간감이 다소 다르게 나타나는 왜곡현상을 말한다.

그림 4(c)에서 볼 수 있는 것처럼, 관찰자가 좌측에서 관람하게 되면 입체 이미지 공간을 표현하는 모니터의 입체 이미지가 비스듬하게 쓸리게 (shear) 보여진다. 이러한 쓸림왜곡으로 인해 관람자와 깊이 편차는 별로 없으나 좌우로 멀리 떨어진 두개 객체의 거리를 잘못 인식할 수 있다. 그림 4(c)에서는 왼쪽 이미지 평면에 있는 물체가 오른쪽 평면에 있는 물체보다 가깝게 인식되는

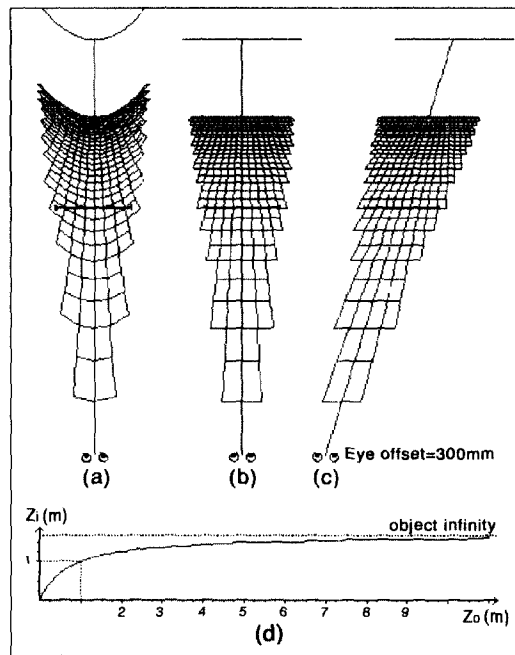


그림 4. (a) 교차축 카메라의 3D 맵 (b) 수평축 카메라의 3D 맵 (c) 쓸림 왜곡의 3D 맵 (d) 입체공간에서의 이미지 거리와 실 객체 거리의 관계

경향을 가진다. 이 현상은 수평식이나 교차축 모두에서 발생한다.

3) 깊이의 비선형성 (Depth non-linearity)

그림 4(d)는 카메라에서 실 객체공간에서 객체까지의 거리(Z_0)가 (입체) 이미지 공간(Z)에서 어떻게 달라지는지를 보여주는 것으로 객체공간에서 1m 떨어진 객체공간의 물체가 입체 이미지 공간에서 1m 근방(0~2m)에서는 다소 선형적이거나 이 구간을 벗어나면 이미지 공간이 압축되어 표현되어짐을 알 수 있다. 이는 광학계의 공간표출 능력에 기인한 것으로 이러한 왜곡효과를 역이용하면 독특한 공간효과를 갖는 촬영 술을 구현할 수 있다. 이 왜곡효과는 두 가지 카메라 방식 모두에서 나타난다.

4) 키스톤 왜곡

키스톤 왜곡은 교차축 카메라 구조의 카메라에서만 나타나는 왜곡으로 각기 다른 평면에 위치한 두 카메라의 이미지 센서로 인해 입체 이미지의 수직 시차가 서로 다른데서 온다.

이는 결상소자가 교차됨으로 인해 입체감 형성에 필요한 수평시차 이외에 수직시차가 양 끝단

에서 발생하게 되어 입체합성을 저해하는 큰 요인이 되며 이미지 끝 부분에서 가장 커진다. 이는 앞서 설명한 깊이감 평면 곡률과 함께 입체를 합성할 때 두통을 유발시키는 대표적 원인 중의 하나로 밝혀져 있다. 반면 평행식 카메라 구조에서 키스톤 왜곡이 전혀 발생하지 않는다.

5) 배럴 왜곡(Barrel distortion)

이는 종종 pin-cushion 왜곡 또는 배럴(barrel) 왜곡이라고도 부르는 것으로 렌즈 방사 왜곡(Lens radial distortion)의 또 다른 형태이다. 즉 광각렌즈에서 객체공간에서의 일정한 면적이 렌즈의 중심과 가장자리에서 각각 다른 면적으로 결상되는 특징에 의해 발생하는 수직 시차(induced vertical parallax)이다.

이러한 렌즈 방사 왜곡은 렌즈가 구형이라는 구조에서 오는 왜곡으로 렌즈 중앙으로부터 여러 방사형 거리에서 다른 초점거리가 생긴다. 렌즈 중앙으로부터 초점거리의 증가를 pin-cushion 왜곡이라 부르고 반대인 경우를 barrel 왜곡이라고 부른다.

그림 6은 1/2" CCD 카메라에 마운트된 캐논 35mm 렌즈의 배럴(barrel) 왜곡을 보여주고 있

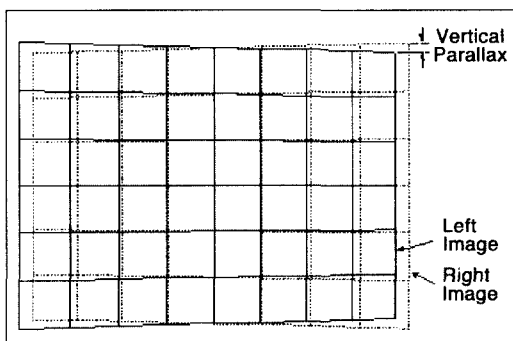


그림 5. Keystone 왜곡에 의한 수직 시차

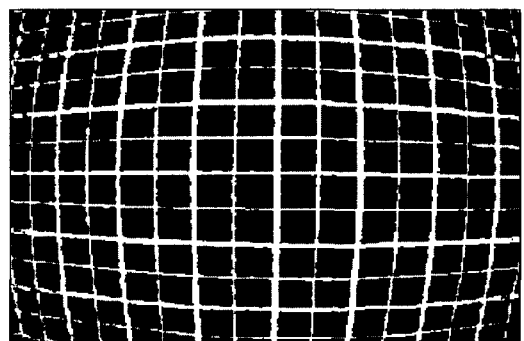


그림 6. 35mm 렌즈에서 렌즈 방사 왜곡

다. 수직 시차의 디스플레이는 렌즈 중앙으로부터 방사 거리에 의존하고, 수평 시차는 이미지 연속과 렌즈의 특성에 의존한다.

이러한 특성은 광각인 경우에 발생하는데 최근에는 렌즈설계 기술의 발달에 의해 이러한 왜곡에 의한 효과는 점차 해소되고 있다.

5. 기타 고려 사항

지금까지는 두 가지 카메라 방식에서 발생하는 기하학적 왜곡에 대해 논의하였으나 본 절에서는 두 대의 카메라를 사용하므로 발생하는 문제에 대해 논의하겠다[4].

1) 밝기 차와 프레임 차

먼저 오른쪽 영상과 왼쪽 영상의 휘도 차는 시각적인 부담을 증가시키거나 입체감의 성립시간을 지연시킨다. 휘도 차에 대한 주관평가 실험법의 결과, 화면전체 및 수직방향 화면상의 1/4이 움직이는 경우, 허용치는 화면적체 또는 비교적 큰 휘도차가 있는 경우는 6dB, 화면의 1/4이 급격한 휘도차를 갖는 경우 3dB의 허용치를 갖는 것으로 되어있다. 이렇듯 두대의 카메라를 사용하여 촬영하는 경우 카메라 밝기에 대한 신호출력 변환특성을 엄격하게 제어할 필요가 있다.

또한 디스플레이 되는 프레임에 시차가 존재하는 경우에 좌우 프레임간 36msec이하의 시간 지연에서는 양안입체시가 성립되고 있으나 50msec를 초과하면 양안입체시의 성립이 무너지게 되므로 두 대의 카메라의 동기를 반드시 일치시킬 필요가 있다.

2) 광학적 특성 동조제어

위에 언급된 카메라가 가지는 특성 차에 의해 입체시에 영향을 미치는 요인 뿐만 아니라 두개의 광학계를 사용하게 됨으로서 고려해야할 사항도 여러 가지이다.

그중에 두개의 광학계가 동일한 줌 비율로 변환되어야 하나 실제로 현재 광학렌즈를 생산하는 회사에서는 스테레오용 광학계를 염두에 두고 생산을 하고 있지 않으므로 입체용 줌 광학계를 선택할 때에는 비슷한 특성이 있는 광학계를 별도로 선별 구매함이 바람직하다.

또 한 가지 중요한 문제는 줌 영상을 획득할 때 카메라의 줌 제어 특성 - 이동시간 등 - 이 다르므로 해서 이를 동일하게 제어하는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 입체전용 광학계의 개발이 시급한 실정이다.

6. 결 론

지금까지 본 논문에서는 입체줌 카메라 개발 필요성과 개발 시 필요한 기본적인 고려사항을 살펴보았다. 카메라 방식에 있어서는 기본적으로 개발이 다소 까다롭기는 하지만 교차축 보다는 수평식을 채용해야만 두통을 확실히 제거할 수 있으므로 이러한 방식으로 개발해야 하며 이러한 기초적인 사항 이외에도 두 대의 카메라를 사용하므로 필요적으로 발생하게 되는 카메라의 광학기 변화 특성제어나 광학계의 줌 동조제어와 같은 문제를 해결해야만 제대로 된 입체줌 카메라를 개발할 수 있다.

인간의 실감화 추구 욕이 점증하는 이 때에 새로운 뉴미디어 산업을 조기활성화 하기 위해서는

앞서 언급한 고화질 입체 줌 카메라 개발뿐만 아니라, 저가에 보급할 수 있는 입체단말기, 입체영상을 실사 또는 그래픽 적으로 만들어내는 입체 제작 기술, 입체정보를 효과적으로 조작할 수 있는 입체정보 조작기술 등이 활발하게 연구되어야 할 것이다.

비록 지금까지 입체가 인간의 기본적인 감각체계이지만, 아직까지 그러한 미디어를 손쉽게 접할 수 없어 인간의 정보처리 능력이 평면적인 미디어에 집착하고 있다. 하지만 정보통신 기술의 발달로 인해 인간의 실감화에 부합하는 입체단말기를 쉽게 접할 수 있는 기술적 환경이 점차 가지 화됨에 따라 이 분야에 대한 연구개발을 선진국

보다 앞선 연구를 수행함으로써 우리의 앞선 정보통신 인프라와 우리나라가 가진 우수한 두뇌자원을 잘 접목하면 지식정보 사회에서 선진국에 도달할 수 있는 가능성이 상당히 높다. 즉 양안식 입체단말기용 고화질 입체줌 카메라 개발을 시도하여 양호한 입체감 형성을 위한 풀디지털 방식의 카메라 개발 제어기술의 확보가 필요하며 이러한 카메라 개발이 완료되면, 입체단말기용 콘텐츠웨어 제작 분야에서 세계적 제작 경쟁력을 갖추게 되므로 이 분야에서의 시장선점이 가능해지며, 뉴미디어 시장을 선도할 수 있게 될 것으로 예상된다.

● 참고 문헌 ●

- [1] Andrew Woods, "Image Distortions in Stereoscopic Video Systems", SPIE, 1993.
- [2] D. Diner, "A New Definition of Orthostereopsis for 3-D Television," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 1053-1058, October 1991.
- [3] C. Smith, "3-D or not 3-D?" New Scientist, Vol.102 #1407, pp. 40-44, April 1984.
- [4] NHK 방송기술 연구소, "3차원 영상 기초", pp. 58~67, 1995.

필자 소개



이 연 우

- 1984년 : 광운대학교 전자공학과 학사
- 1986년 : 광운대학교 대학원 석사
- 1992년~현재 : (주)스테레오피아 대표
- 주관심분야 : 입체영상처리, 입체감성공학, 콘텐츠 웨어 제작