

모아레영상기반 3차원 형상정보 추출을 이용한 모델생성

정연구, 최이배, 김기호, 권대현
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정동161

Model Generation Using Moire Based 3D Shape Extraction

Yun Koo Chung, Yi-Bae Choi, KiHo Kim, Daniel D. Kwon
ETRI - Computer & Software Technology Laboratory, Taejon, Korea
ykchung@etri.re.kr

요약

3차원 형상정보 추출기술은 3D스캐너에 활용되어 실물로부터 3차원 모델을 생성하는데 사용되고 있다. 현재 까지 주로 사용되는 기술은 레이저광을 이용하여 3차원 모델을 만드는 기술과 스테레오기법에 의한 방법들이 사용되고 있었다. 본 논문에서는 모아레기법을 사용하여 영상정보를 프레임단위로 해석함으로써 3차원 영상 정보를 빠른 시간내에 추출하고, 수평 360도 방향에 대해서는 3~4프레임을 해석하여 형상정보를 통합하였고, 이로부터 3차원 모델을 생성하였다. 모아레기법의 장점은 3차원 정보를 레이저기법보다 정밀하게 추출할 수가 있었다. 본 논문에서는 모아레영상을 해석하여 3차원 형상정보를 추출하는 방법, 추출된 3차원 형상으로부터 메쉬최적화와 텍스처매핑(Texture Mapping)을 사용하여 3차원 모델을 형성하는 방법들을 제안한다.

1. 서론

3차원 형상복원 연구는 최근 멀티미디어 콘텐츠 생성과의 관련이 커지면서 활발하게 되었다.[1,2] 과거에는 순수 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용하여 실물과 유사한 모습을 재현하기 위한 연구가 이루어져 왔으나, 이에 대한 결과물을 만드는 시간과 결과물의 품질이 취약하여, 실물로부터 모델을 생성하는 연구가 최근에 이루어지고 있었다. 이 연구는 컴퓨터 그래픽스 기술과 컴퓨터비전 기술을 접목하여 실물로부터 3차원 형상을 만들고 이를 이용하여 실물과 흡사한 모델을 만들어내는 것이 목표이다.

최근에는, 가상현실기술, 멀티미디어 콘텐츠 제작기술, 컴퓨터 하드웨어 기술의 발달로 인하여 3차원 형상의 표현과 애니메이션의 요구가 커졌고, 사용자들은 더욱 높은 수준의 모델생성과 표현을 요구하게 되었다.[3]

이에 따라 실물과 같은 모습의 콘텐츠를 만드는 기술을 어떻게 하면 빠른 시간 내에 개발할 수 있는가에 관심이 높아졌다.

3차원 형상 자동추출시스템(3D 스캐너)은 외국에서는 이미 10년 정도의 역사를 갖고 상품으로 나오고 있었으나, 가격이 고가의 제품이어서 일반인은 쉽게 접근하기가 어려웠다. 또한, 3D스캐너를 이용하여 추출한 3차원 형상정보를 이용하여 다시 컴퓨터 공간상에서 사용할 수 있는 3차원 모델로 만들기 위해서는 여러 과정의 작업과 전문지식이 필요하므로 일반 사용자들은 이러한 시스템의 사용이 어려웠다.

이러한 배경하에 사회적 여건이 전자게임, 가상현실, 테마파크, 영화 등에서 실제적으로 가상이나 실물과 매우 유사한 모델을 제작하여 애니메이션에 활용이 되면서부터 3차원 형상의 제작에 대한 기술개발의 필요성과 기술수요가 크게 증가하였다. 다가오는 정보화 사회에서 전자상거래, 홈쇼핑 등의 분야에서도 3차원 가상환경 구축을 하기 위하여 실물로부터 3차원 형상의 모델생성기술에 대한 요구가 증대하게 되었다.

본문에서는 이러한 환경변화에 대하여, 그간 연구하여 온 연구결과와 이와 관련된 기술에 대한 소개를 하며, 실물기반 모델생성기술에 대한 전체적인 방법을 제안한다.

2. 모아레베이스 3차원 형상 추출

Active Vision 방식에서는 일반적으로 패턴을 갖는 조명을 물체에 비추고, CCD 카메라를 이용하여 물체로부터 영상을 취하고, 패턴 영상을 해석하는 방법으로서 이 기술은 3차원 형상정보를 얻는 제품화 기술로 발전이 되었다. 아직은 대부분이 크기가 1m이내의 소형 물체에 적용이 되고 있다. 전체 과정을 크게 2가지로서 3차원 형상정보의 추출부분과 추출된 3차원 형상정보를

이용하여 모델을 생성하는 부분을 나누어진다. 본 연구팀에서는 이러한 기술의 하나로서 모아레영상에 대한 연구를 하였으며, 이를 이용하여 3차원 형상과 모델생성을 하게된다.

1) 모아레 영상

일상생활에서 모아레 무늬를 어렵지 않게 대할 수 있다. 비슷한 주기의 두 개의 격자모양이 겹쳐지게 되면 그림 1에서 보는바와 같이 모아레 현상을 관찰 할 수 있다. 그림 1에서 겹쳐진 격자에 비해 넓은 간격을 가지는 밝고 어두운 색의 띠가 바로 모아레 무늬(Moire fringes)이다. 이 무늬는 두 개의 주기성을 가지는 격자형태의 물체가 겹쳐질 때 두 격자의 간섭에 의해 만들어진다. 이 무늬에는 3차원 형상정보를 갖고 있으며, 수학적으로 해석함으로써 3차원정보를 얻는다.[4.5]

모아레 영상은 그림 2에서 보는 바와 같이 일반적으로 백색광을 광원으로 사용하여 투영기(projector)를 이용해서 격자(grating)를 측정하고자 하는 물체의 표면에 주사하고 물체의 표면 위에 형성되어진 변형된 격자(deformed grating)를 결상 렌즈를 이용해서 투영한 격자와 동일한 피치를 가지는 기준격자(reference grating)위에 결상 시킴으로써 모아레 무늬를 얻는다.

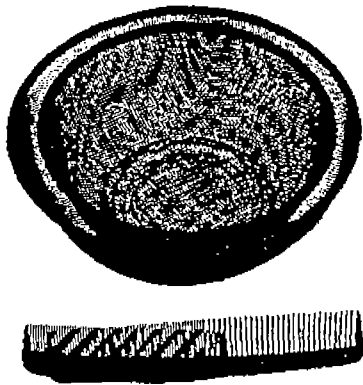


그림1 모아레 현상

2) 3차원 형상정보 추출 원리

그림 2는 모아레 형상추출 시스템의 원리를 나타내고 있다. f 는 사용된 렌즈초점거리이고, θ_1, θ_2 는 임의의 측정점 p 에 대한 영상 시스템과 결상시스템의 각도이고 l 은 결상렌즈에서 측정 기준면까지의 거리를 나타

내고 d 는 두 시스템의 광축사이의 거리이다. 영상 시스템과 결상시스템에 사용된 모아레격자는 동일한 격자로 가정하고 그 피치는 G 라고 한다. 그리고, $h(x)$ 는 x 좌표에 따른 측정물체의 높이를 나타내고 있다. 임의의 측정점 p 의 좌표를 $(x, h(x))$ 라고 할 때 CCD카메라에 결상된 임의의 측정점 p 에 대한 광각도와 그 점에서의 높이좌표는 아래의 식에 의하여 구할 수 있게 된다.

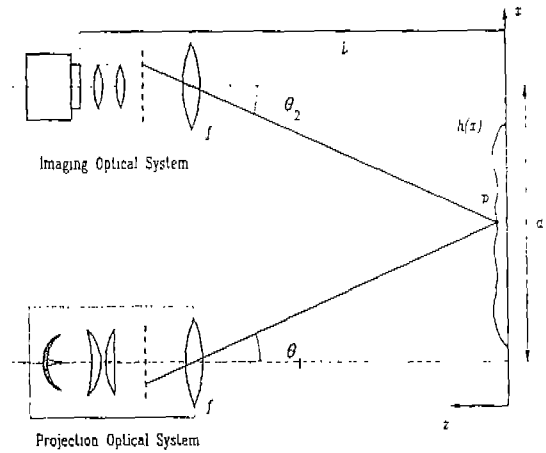


그림2 모아레영상 측정 원리

$$I(x, y) = M(x, y)[1 + v(x, y) \cos(\phi(x, y) + \Delta)] \quad (1)$$

$M(x, y)$ 는 평균광강도(mean intensity), $v(x, y)$ 는 간섭무늬의 정규화된 가시도(normalized visibility), $\phi(x, y)$ 는 측정대상의 초기위상, Δ 는 위상천이량을 나타낸다. $\Delta = 2\pi \delta / mg$ 로 두게 되면, 두 식 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$h(x, y) = \lambda_{eq} \phi(x, y) / 2\pi \quad (2)$$

$$\lambda_{eq} = mg / (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (3)$$

위 식에서 λ_{eq} 는 모아레무늬에 있어서 등가파장으로 정의된다.

$$\lambda_{eq} \approx l^2 g / fd \quad (4)$$

위상값은 위상을 천이시키면서 얻어진 데이터를 피팅하여 얻게 된다. 따라서 위상값과 등가파장을 구하므로써 식 (2)에 의하여 거리 좌표값 $h(x, y)$ 값을 구한다.

3. 3차원형상 추출시스템의 구현

위 원리를 이용한 시스템의 구조는 그림3과 같다. 시스템은 모아레 영상정보를 취득하는 광학장치와 격자를

이동시키는 모터를 제어하고 모아레 영상으로부터 3차원 영상정보를 계산하여주는 컴퓨터시스템. 대상물체가 놓여지는 회전테이블로 구성된다. 본 시스템에 의하여 추출된 영상결과는 그림4와 같이 물체상의 모든 위치 점에 대한 3차원 정보를 추출하여 낸다.

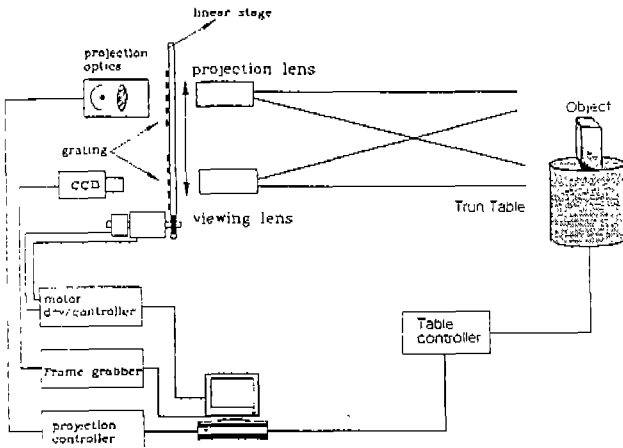


그림3 3차원영상 추출시스템 구성도

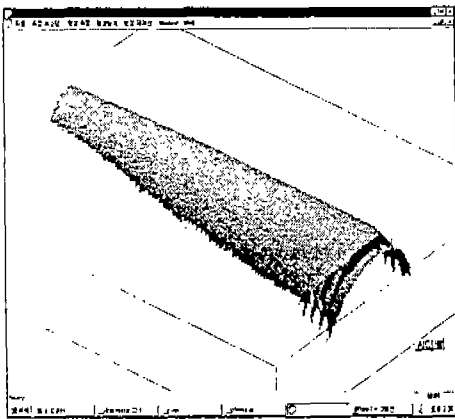


그림4 영상추출 결과

4. 측정오차 보정

3차원영상에 대한 좌표값 보정은 기본적으로 보정하려는 3차원 공간안에 광축에 수직하게 보정판(Calibration target)을 존재시켜 알고 있는 보정점의 3차원좌표와 측정기를 통해 구해진 픽셀(Pixel)위치와 모아레부너 위상을 연결할 수 있게 하고, 보정판을 광축을 따라 1번 움직이면서 위 과정을 반복하여, N개의

평면에 대해 보정점의 3차원좌표, 측정기상의 픽셀의 위치, 위상을 모두 구하여 이를 수학적으로 연결하여 보정을 수행하는 방식이다.

N개의 평면에 대해서 각 평면에서의 보정점의 평면좌표와 픽셀좌표를 연결하여 2차원보정행렬을 획득하고, 보정점의 평면좌표와 측정된 모아레부너위상을 이용해 평면상에서의 위상분포를 자유곡면모델링으로 재구성하게 됨으로써, N개의 2차원보정행렬과 위상분포를 획득하게 된다. 이 과정을 보정정보획득 과정으로 부른다. 보

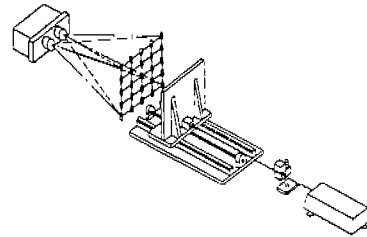


그림5 N-Plane 3D Calibration 장치 정정보획득이 완료되면, 측정기의 CCD 각각의 픽셀에 대해 보정을 수행한다.

실제 측정을 수행하고 보정을 수행할 때는 하나의 픽셀에서 측정된 위상값을 위상보정을 통해 구해진 위상과 높이간의 함수의 인수로 이용함으로써, 높이값으로의 보정이 이루어질 수 있고, 보정되어진 높이값으로부터 측정점의 2차원보정행렬을 통한 2차원 좌표값 산출도 가능해진다. 그림5는 Calibration장치의 구성도이다.

5. 수평 360° 방향의 3차원 영상추출

수평 360° 방향의 3차원영상을 추출하기 위하여 회전 table을 구성하고 전체 360° 를 N등분하여 측정을 하고 측정된 결과를 회전 table의 각도를 이용하여 정합하는 알고리즘을 이용하였다. 이를 위하여 절대위치 산출을 위하여 시스템에 대하여 Calibration을 먼저 수행하여 3차원 좌표값에 대하여 절대 좌표값을 얻는다. 그림 6은 회전 table 구성과 알고있는 회전각으로 table을 회전하고서 이에 따라 측정한 결과를 정합하는 알고리즘을 나타내고 있다.

기준 프레임 View1에서의 측정 데이터를 X_0^0 , 회전 table이 θ_1 만큼 회전하였을 때의 측정 데이터를 $X_{\theta_1}^0$, θ_2 만큼 회전하였을 때의 측정 데이터를

$X_{\theta_i}^{\theta_i}$ 라 하면, $X_{\theta_0}^0, X_{\theta_1}^{\theta_1}, X_{\theta_2}^{\theta_2}$ 를 정합하기 위하여 한 기준 프레임에서의 측정데이터로 좌표변환을 해주어야 한다. 이와 같이 좌표변환된 측정 결과를 통합함으로써 360° 전 영역에 대한 측정결과를 획득할 수 있다.

$$X_{\theta_i}^{\theta_i} = R^{\theta_i, \theta_0} X_{\theta_i}^{\theta_i}$$

$$X_{\theta_i}^{\theta_i} = R^{\theta_i, \theta_0} X_{\theta_i}^{\theta_i}$$

(R^{θ_i, θ_0} : Rotation matrix) (5)

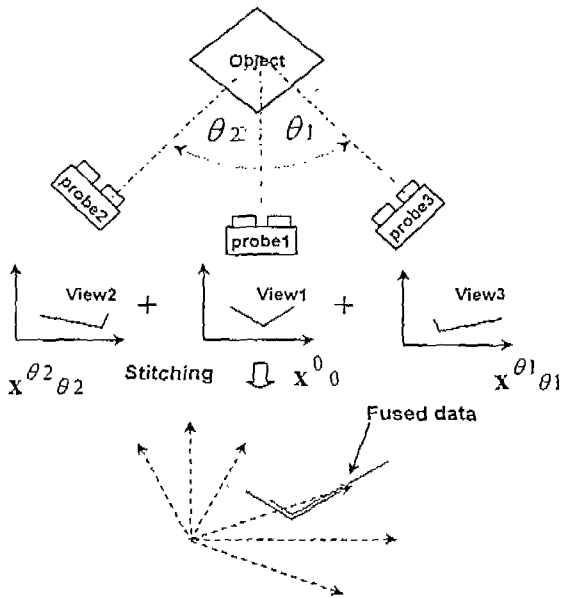


그림6 360방향의 시각정보추출을 위한 회전table과 정합알고리즘 적용

여기서 그림7과 같이 측정시스템의 절대좌표축과 회전 table 의 회전축사이에 offset 이 존재하게 되는데 이 offset을 (식 5)에 고려해 주어야 한다.

그러므로 절대좌표축과 회전축사이에 offset을 고려하게 되면 (식 6)과 같이 기준프레임으로 좌표변환된 측정데이터로 나타낼 수 있다.

$$X_{\theta_0}^0 = R^{\theta_0, 0} (X_{\theta_0}^{\theta_0} - offset)$$
 (6)

이와 같이 본 연구에서는 수평 360도 전영역에 대한 정합된 결과를 얻기 위하여 측정시스템의 절대좌표축에 대한 회전축의 offset을 측정하고, 회전 table 의 회전각으로부터 rotation matrix를 계산하고 각각의 회전각

(θ) frame에서의 측정결과를 기준 frame으로 좌표변환을 하여 정합할 데이터를 획득하였다.

좌표변환된 측정결과를 단순히 통합하면 그림8과 같이 겹치는 영역이 일치되지 않는 경우가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위하여 r, θ 좌표에 대하여 sorting과 resampling의 S/W과정을 이용하였다. 단순히 sorting과정만 거치게 되면 그림7과 같이 겹치는 영역부분에서는 조밀한 측정데이터를 가지는 문제를 가지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 sorting 된 결과(그림 8)를 $\Delta\theta$ 에 대하여 재 샘플링(resampling)을 한다.

그림9는 재 샘플링 과정을 나타낸다. 본 연구에서 사용한 재 샘플링은 먼저 단순 통합한 측정 결과를 data fairing 과정을 거친 후에 NUB(Non Uniform B-spline) control points를 취하여 재 샘플링을 하였다.

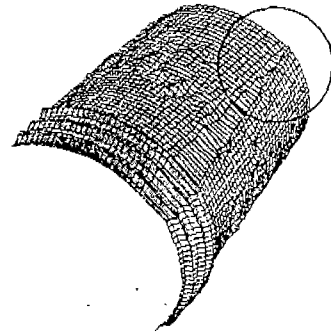


그림7 데이터 통합

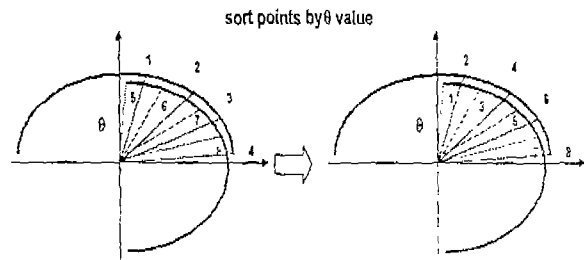


그림8 Sorting

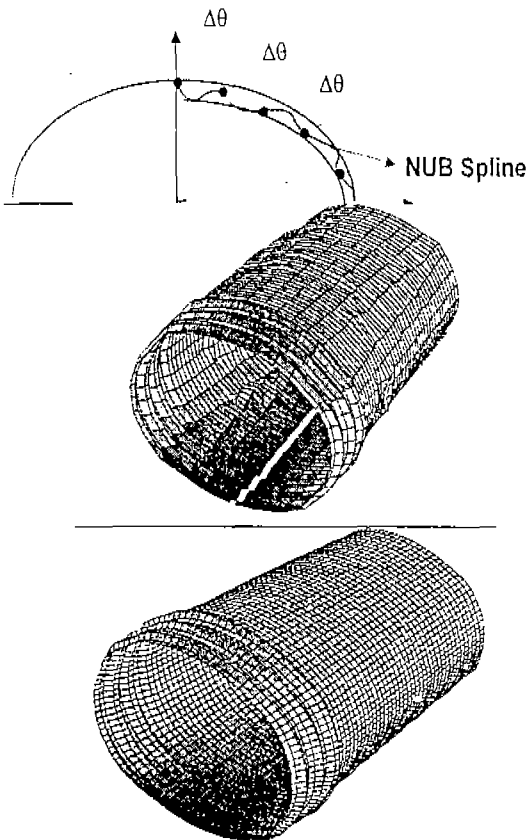


그림11 재샘플링 후의 컵형상

그림8과 같이 sorting 된 데이터를 재 샘플링함으로써 등간격의 $\Delta\theta$ 에 대하여 측정 데이터를 가지게 된다.

6. 추출한 정보로부터 3차원 모델링

생성된 초기 데이터는 한 프레임당 약 150,000점 이상의 데이터를 가지고 있어 컴퓨터에서 화면상의 디스플레이나 데이터 처리시에 많은 처리시간이 문제가 된다. 이를 해결하기 위해서 메쉬생성, 메쉬편집, 메쉬최적화의 과정을 통하여 데이터량을 최대한으로 축소시키면서 형태를 그대로 유지하는 것이 필요하다.

메쉬작업은 먼저 추출된 3차원 형상데이터로부터 초기 메쉬를 생성하고, 다음에 임의의 상세 수준에 해당하는 메쉬로 구성되는 모델을 생성한다.(그림 12) 마지막으로 생성된 메쉬 모델은 몇 개의 의미단위로 분할

하거나 몇 개의 객체를 계층적으로 모으는 작업이 있다. 웨이블릿을 적용하는 모듈은 다시 가장 단순한 형태의 기본 메쉬를 생성하는 "메쉬 간략화" 모듈과 기본 메쉬를 세밀하게 분할함으로써 "세분 연결성(subdivision connectivity)"을 만족하면서 초기 메쉬와 유사한 형태의 메쉬를 생성하는 모듈, 마지막으로 웨이블릿을 적용하는 모듈로 구성된다. 이러한 과정을 거쳐서 모델이 이루어진다.

7. 실험결과

그림 11은 수평 360° 방향의 시각정보를 추출한 결과이다. 그림 13은 360° 전 영역에 대하여 흑백 CCD카메라를 이용하여 3차원 형상을 구한 후에 texture mapping을 수행한 결과이다. 실험은 그림3의 3차원 형상추출시스템을 사용하여, 실물로부터 3차원 형상정보를 추출하고, 각 뷰에 대한 형상정보를 통합한 후에 이로부터 다시 메쉬최적화를 하여 데이터량을 10%이하로 줄인 후에 텍스처를 입히는 과정을 시험하여 보았다. 아직 오차보정을 하기 쉬운 도구를 개발하는 일이 남았다. 이 실험은 개발된 시스템을 통하여 3차원 모델을 만드는 전과정을 이온대로 구현되는 가를 확인하였다. 개발된 시스템을 효율적으로 활용하기 위해서는 계속적으로 프로그램의 효율성을 높이고, 사용자 인터페이스의 기능을 강화시켜야 한다.

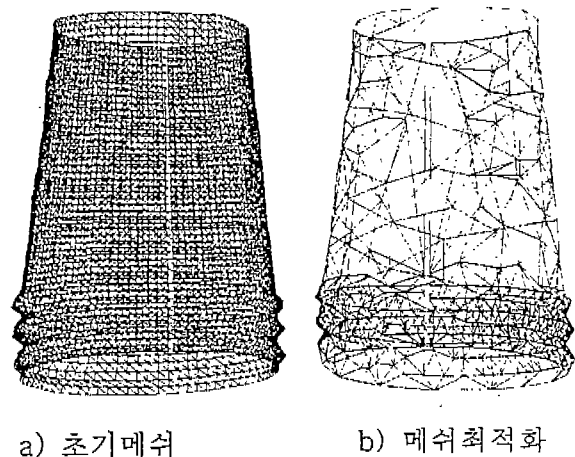


그림 12. 컵형상의 모델링



그림 13 수평 360도 측정결과

8. 결론

본 논문의 의미는 국내 연구기관에서는 처음으로 3차원 영상정보를 실물로부터 추출하여 모델을 생성하는 시스템을 구현한 데에 의의가 있다. 또한 본 시스템에서 사용한 모아레기법은 정밀도가 높기 때문에 정밀을 요하는 3차원 영상복원으로부터 소형물체에 대한 전체적인 형상의 복원에 효율성이 높게 사용될 수가 있다. 본 연구의 기여한 바는 Active Vision 방법으로 실물에 대한 영상을 전체적으로 생성하는 방법을 설정하였고, 실험을 통하여 결과들을 보여주었다.

남은 문제는 영상추출과정에서 발생하는 오차와 잡음 데이터의 처리, 여러 View에 대한 영상정보를 합칠 때에 잘 결합시키는 일이 있고, 전체적으로 모델을 쉽게 보정하는 부분과 자동화율을 높이는 일이 향후의 과제이다. 본 연구 결과들이 멀티미디어 콘텐츠의 제작에 활용이 되고, 이 분야의 연구활성화를 기대한다.

참고문헌목록

- [1] Saied Moezzi, et. al., "Virtual View Generation for 3D Digital Video", IEEE Multimedia, Jan.-Mar. 1997, pp. 18-26
- [2] Michitaka Hirose, "Image-Based Virtual World Generation", IEEE Multimedia, Jan.-Mar. 1997, pp 27-33
- [3] 원광연, "전산학으로서의 가상현실", 정보과학회지, 97.11, pp.5-13
- [4] M Idesawa, T.Yatagai, and T.Soma, "Scanning Moire method and measurement of 3-D shapes," Appl. Opt. 16, 2152-2162 (1977)

- [5] A. M. F. Wegdan, O. Pozimek, and S.Zijlsta, "Projection Moire fringe pattern prediction using the optical transfer function," Appl. Opt. 30, 1673-1677 (1991)