

노-지퍼링 기법에 의한 가상객체 생성

김 기 호[†]·유 황 빈^{††}

요 약

3차원 컴퓨터그래픽스 기술과 가상현실 기술의 발달로 3차원 그래픽 데이터 활용이 활발히 일어나고 있으나, 3차원 데이터를 컴퓨터에 입력하여, 가상객체를 만들기 위해서는 많은 인력과 시간이 필요하다. 따라서 자동으로 가상객체를 생성하기 위한 3차원 스캐너의 개발이 필요하고, 개발된 3차원 스캐너로부터 추출된 정보로 빠르게 가상객체를 만드는 방법이 요구된다. 본 논문에서는 모아레 방식으로 획득된 거리영상으로 짜깁기(Zippering) 하지 않고 가상객체를 생성방법을 제안하였다.

Virtual Object Generation using No-Zippering Method

Ki-Ho KIM[†] · Hwang-Bin RYOU^{††}

ABSTRACT

The remarkable progress of computer graphic and virtual reality fields has increased the need of 3D graphic data for implementing more realistic environments. However, despite this trend, lots of time and labor required to process 3D graphic information extracted still limits its application only to the specific areas.

As one proper solution to this problem, 3D scanner acquiring graphic data in short time and new algorithm for a data processing are often mentioned. In this paper, A method generating a virtual object quickly by not zippering range data obtained from 3D moire-scanner is introduced and its effectiveness is examined.

1. 서 론

초기 컴퓨터는 사용의 편리성보다는 고가 장비의 효율적 사용에 중점을 두어 비트맵 방식 문자(text)[1-2]에 의한 메뉴선택(menu selection) 방식 인터페이스로 출발하여, 2차원 아이콘에 의한 그래픽 메뉴 방식으로 발전하는 컴퓨터 처리 부담(overhead)을 줄이려는 방향으로 진행되나, 컴퓨터의 성능이 급속히 향상되고 사용자들의 가시화(visualization) 욕구에 부응하기 위하여 가시화 소프트웨어 개발이 활발히 이루어지고[3-5], 많은 분야에서 3차원 컴퓨터그래픽스(CG)가 이용[6-9]되고, CG는 주변장비의 개발에 힘입어 인간이 느끼는 오감정보를 이용하여 인간과 컴퓨터가 자연스러

운 인터페이스를 구현하기 위한 가상현실(Virtual Reality) 기술[10]이 여러 분야에서 이용되고 있다[11-22]. 또한, 고부가가치 산업으로 인정받는 게임분야에서도 3차원 CG 기술을 도입하여, 2차원 게임 제작 생산성을 향상시키고[23], 한국형 게임 제작[24]과 3차원 게임 개발[25]이 이루어졌으며, 영상산업 분야에서도 SFX 영화 제작에 활용[26]되었다.

그러나, 불편없이 실생활에 3차원 CG기술과 가상현실 기술을 적용하기 위해서는 현실세계에 존재하는 물체들을 가상공간(virtual space) 내에 가상객체(virtual object)로 만들어야만 가상현실 세계에서 현실생활과 동일한 효과를 누릴 수 있으며, 가상객체의 움직임도 자연스러움을 유지하기 위한 객체별 동작패턴적용[27]과 획득한 동작 데이터(motion data)를 적용[28-30]할 필요가 있다.

[†] 준 회 원 : 한국전자통신연구원 선임연구원

^{††} 종신회원 : 광운대학교 전자계산원장

논문접수 : 2000년 11월 3일, 심사완료 : 2001년 1월 5일

가상현실 환경을 구축하기 위해서는 다양한 형태의 3차원 가상객체들이 신속하고 정확하게, 또한 자동적으로 입력하는 방법이 필요하다. 이때 단순한 가상객체들은 그래픽 기술을 이용하여 생성할 수 있으나 복잡한 가상객체를 그래픽 기술에 의해 실감나게 구현하는 데는 한계가 있으며 다양한 가상객체들을 그래픽 기술로 합성하는 데는 많은 인력과 시간이 드는데 비해 충분한 실감도를 제공하지 못한다. 따라서 실제계에 존재하는 3차원 가상객체들을 3차원 스캐너를 이용한 실물기반 모델링 기법[31-33]과 스테레오 비전을 이용한 이미지 기반 모델링 기법[34]을 통하여 컴퓨터에서 사용할 수 있는 가상객체를 생성하는 기술이 필요하며 실감도를 높이기 위한 텍스처 처리기술[35-36]도 필요하며 이를 효율적으로 처리하기 위해서는 그래픽스 렌더링(rendering) 툴킷 개발[37]이 요구된다.

본 논문 구성은 제2장에서 가상객체 생성과정과 방법에 대하여 설명하고, 제 3장에서 제안한 노-지퍼링 기법의 첫단계인 모아레를 이용한 3차원 좌표입력, 두 번째 단계인 초기 가상객체 생성기법, 세 번째 단계인 개선된 꼭지점 소거법을 적용하여 가상객체를 생성하는 방법을 설명한다. 그리고, 제4장에서는 제안한 노-지퍼링 기법에 의해서 구현된 시스템을 설명하고, 제5장에서 성능분석을 하고, 마지막으로 제6장에서 결론을 맺는다.

2. 가상객체 생성과정 및 방법

2.1 3차원 좌표입력 방법

3차원 좌표를 수동으로 입력하는 방법은 2차원 컴퓨터 모니터 평면을 통하여 3차원좌표를 X축과 Y축을 한 그룹으로 한 평면좌표 Pxy(X, Y), Y축과 Z축을 한 그룹으로 Pyz(Y, Z), 그리고, X축과 Z축을 한 그룹으로 Pxz(X, Z) 등 3개 그룹으로 나누어서 입력하거나, 2차원 디지털타이저를 이용하여 Pxy(X, Y)를 입력시키고, 높이를 좌표값으로 입력하는 방법들을 많이 이용하였으나 [6], 최근에는 3차원 스캐너 개발에 힘입어 자동으로 3차원 좌표를 입력하는 3차원 스캐너가 보급되기 시작하였다.

2.2 초기 가상객체 생성

거리 정보로부터 3차원 가상객체를 생성하는 연구는

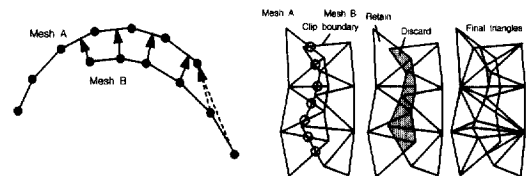
수 십년 동안 활발히 진행되어 왔다. 지금까지 진행된 연구들은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 거리 정보가 갖고 있는 기하학적 구조를 이용하는 지의 여부에 따라서 “비 조직화 알고리즘(unorganized point algorithm)”과 “조직화 알고리즘(organized point algorithm)”으로 구분된다.

비 조직화 알고리즘은 각 측정값들의 연결관계에 대한 어떠한 가정도 필요 없이 적은 입력자료로 가상객체를 만들 수 있는 있지만, 주어진 입력자료의 연관성을 찾아야하는 과정을 필수적으로 거쳐야 하는 단점이 있다. 조직화 알고리즘은 주어진 연결관계 정보로 빠르게 부조형 가상객체를 만들 수 있지만, 완벽한 가상객체를 생성하기 위해서는 짜집기(zippering) 과정을 거쳐야 하는 단점이 있다.

비조직화 알고리즘은 1992년 Hoppe가 제안한 “Surface Reconstruction from Unorganized Points”이 대표적인 알고리즘이다. 이 연구에서는 Wyvill의 변형된 마칭큐브 알고리즘을 이용하여 초기 가상객체를 생성할 때 필요한 접평면(tangent plane)과 부호화거리(signed distance)를 구하는 방법을 모든 점들이 독립적이라는 조건으로 파라미터(parameter)없이 부호화거리 함수를 구한 후에 윤곽선 추적법(contour tracing)으로 동일밀도표면(isosurface)을 얻어내는 방법이다.

조직화 알고리즘은 1994년에 Turk와 Levoy가 제안한 “Zippered Polygon Meshes”가 대표적인 알고리즘이다. 이 방법은 여러 장의 거리 영상을 조합하여 하나의 단일 가상객체를 생성하는 것으로서, 우선 각각의 거리 영상으로부터 삼각형 메쉬들을 생성한 후에 이 메쉬들을 짜집기라 불리는 과정을 거쳐 하나의 가상객체로 통합한다.

각각의 거리 영상으로부터 메쉬를 추출하는 것은 매우 용이하지만 짜집기 과정은 (그림 1)과 같이 겹치는 부분을 제거 해야하는 과정과 이격된 부분을 붙이는



$$E = \sum_{i=1}^n w_i \| A_i - R(B_i - B_c) - T \|^2$$

(그림 1) 지퍼링 방법에 의한 단면들을 합치는 과정

반복(iteration) 수행으로 많은 처리시간을 요구되고, 짜집기 부분에서 이음부분이 나타날 수 있다.[38]

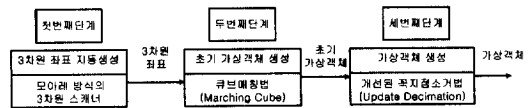
2.3 가상객체 간략화

가상객체 간략화 방법은 “적응형 분할법(adaptive subdivision)”, “소거법(geometry removal)”, “표본 추출법(sampling)” 등의 세 가지로 구분할 수 있으며, 생성된 결과가 원래의 형태를 유지하는지의 여부에 따라 “형태 유지 알고리즘(topology preserving algorithm)”과 “형태 단순화 알고리즘(topology simplifying algorithm)”으로 구분된다.

적응형 분할법은 임의의 단순한 모델부터 시작하여 원형과의 차이가 일정치 이하가 될 때까지 모델을 계속 분할해 가는 방법으로 초기의 단순한 모델에 대한 가정이 있어야 하므로 처리하는 물체의 형태에 제약이 따르는데 일반적으로 지도 모형과 같이 평면 위에 높이가 표현되는 경우에 주로 사용된다. 소거법은 적응형 분할법과는 반대로 원형으로부터 시작하여 단순화된 모델과 원형의 차이가 일정치 이상이 될 때까지 꼭지점이나 면을 제거해 나감으로써 가상객체를 단순화하는 방법이다. 이 방법은 대체로 단순화된 가상객체의 꼭지점들이 원형의 꼭지점들의 부분 집합이 되도록 함으로써 3차원 물체의 렌더링을 위한 방향 성분이나 색상, 무늬 등에 대한 정보를 유지할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 표본추출법은 원형에서 사용자가 지정한 수 만큼의 꼭지점들을 임의로 추출한 후 이들로부터 원형과 유사한 가상객체를 생성하는 방법이다.[39] 사용자가 원하는 가상객체의 수를 지정할 수 있다는 장점이 있으나 일반적으로 표본추출시에 균일한 분포를 갖게 되므로 곡면으로 이루어진 물체와 같이 변화가 완만한 물체에 적합한 방법이다. 마칭큐브에 의해서 생성된 모델은 사용자가 허용 가능한 거리 오차를 지정해 주면 각 꼭지점마다 국부적 토폴로지에 대한 거리를 측정하여 지정한 거리 오차 이내이면 해당하는 꼭지점을 지우는 꼭지점 소거법이 적당하지만, 이 방법에서 거리 오차를 계산할 때 바로 전 단계의 결과와 비교하게 되는데 이렇게 하면 오차가 누적될 수 있으므로 전 단계의 결과가 아닌 원형과 비교함으로써 거리 오차를 계산하는 방법이 요구되며, 정확한 크기의 가상객체를 획득할 수 있도록 소거량을 입력값으로 할 수 있는 개선이 요구된다.[40]

3. 제안된 노-지퍼링 기법 가상객체 생성

본 논문에서 제안된 노-지퍼링 기법 가상객체 생성 방법은 (그림 2)와 같이 크게 3과정을 거친다. 첫 번째 과정은 모아레 방식에 의하여 3차원좌표를 자동 생성하는 과정이며, 두 번째 과정은 입력되는 많은 량의 거리 영상자료로부터 마칭큐브를 이용하여 짜집기하지 않는 방법으로 빠르게 초기 가상객체를 생성하는 과정이며, 세 번째 과정은 초기가상객체를 효율적으로 사용하기 위해서 개선된 꼭지점소거법을 적용하여 가상객체를 만드는 과정이다[41-43].



(그림 2) 제안된 방법에 의한 가상객체 생성과정

3.1 모아레를 이용한 3차원좌표 자동생성

비슷한 주기의 두 개의 격자모양이 겹쳐지게 되면 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. 실제로 이 모아레 무늬를 획득하고 이를 이용해서 물체의 변위나 형상을 측정할 경우에 있어서 가시성을 높이는 일은 오차를 줄이고 정확한 측정을 하기 위한 매우 중요한 과정중의 하나이다. 일반적으로 모아레 무늬는 다음과 같은 조건이 만족될 때 뛰어난 가시성을 가지게 된다[44].

- 격자의 투명한 부분(spaces)과 불투명한 부분(bars)의 간격이 같을수록
→ 일반적으로 Ronchi ruling grating.
- 중첩되는 두 격자의 교차각이 작을수록(이하)
- 중첩되는 두 격자의 피치가 유사할수록

위에서 언급된 세 가지의 조건이 충족될 경우 우리는 높은 콘트라스트를 갖는 모아레 무늬를 얻게된다. 특히 세 번째 조건에서 1 : 1.05 정도의 격자피치의 비를 가지게 되면 격자피치의 20배 정도의 간격을 가지는 모아레 무늬를 얻게 된다[45].

모아레 무늬를 획득하기 위하여 1.5 : 1 축소결상을 하게 되는데, 이때 CCD소자 1 pixel에 해당하는 거리

는 따라서 15 μ m에 해당하고 pitch 100 μ m의 격자를 사용하고 있으므로 약 7 pixel에 걸쳐 기준 격자의 형상이 반복되게 된다. 이렇게 기준격자에 가려진 부분은 위상천이를 수행하여도 광강도의 변화가 없게 되어 측정 오차로 작용하여 실제적인 측정이 불가능하게 된다. 이러한 격자 보임을 제거하는 방법은 현재까지 2가지 방법이 소개되어 있다. 먼저 영상처리를 이용한 방법의 경우 푸리에 필터링을 통하여 기준격자와 상과 동일한 공간주파수를 제거하여 다시 영상을 재구성하는 방식이 있다. 이 방식의 경우 기준격자의 상과 비슷한 주파수를 가지는 모아레 무늬가 손실되어 측정결과의 왜곡을 가져 올 수 있고 영상처리에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

실시간 처리가 가능하면서 영상처리에서와 같은 왜곡현상을 발생시키지 않는 방법으로는 시적분 영상획득법(time-integral fringe capturing)이 있게 된다. 실제 CCD카메라의 영상획득시간(1/30초)내에 격자를 빠른 속도로 이송시키면서 영상을 획득함으로써 평균화 효과를 이용해서 격자를 제거할 수 있다. 더불어 시적분 영상획득법이 가지는 또 다른 장점은 자칫 격자 상에 발생할 수 있는 먼지나 흠집 등의 노이즈도 평균화 효과에 의해 제거 될 수 있다. 시적분 영상획득시 CCD소자에 맺히는 영상은 식 (1)과 같은 광강도를 가진다.

$$I_t(x) = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} T_r(x + vt) dt = A \left[1 + \frac{\sin(\tau v \pi / G)}{(\tau v \pi / G)} \cos \frac{2\pi}{G} (x - \delta + (\frac{\tau v}{2})) \right] \quad (1)$$

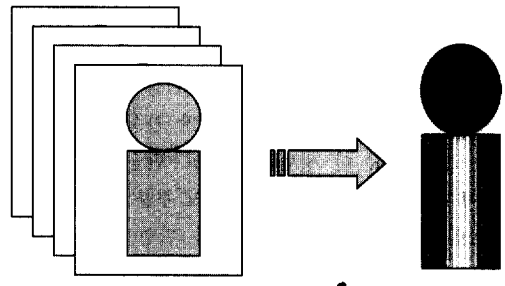
$T_r(x)$ 는 기준격자의 투과도이며 $I_t(x)$ 는 CCD에 의해 획득된 광강도, v 는 격자의 이송속도, τ 는 CCD의 영상획득시간을 나타낸다. 영상의 평균 광강도는 A로 정해지고, 기준격자의 주기적 성분의 크기를 나타내는 가시도는 $\sin \alpha (\tau v \pi / G)$ 로 나타내어진다. 노이즈로 작용하는 기준격자의 영상을 완전히 제거하기 위해서는 기준격자의 가시도가 0이 되어야 하는데, 이 조건을 만족하기 위해서는 $\tau v = 0, 2G, 3G \dots$ 를 만족해야 한다. 모터의 격자 이송속도를 위 조건에 따라 정확하게 컨트롤하면 기준격자에 의한 노이즈를 완전히 제거할 수 있지만, 실제적으로 이러한 조건을 완벽하게 만족시킬 수 없는 문제점이 있게 된다. 따라서, τv 값을 최대한 크게 하는 가운데 컨트롤을 수행하여 기준격자에

의한 영향을 최소화해야 한다.

시적분 영상획득법을 적용하기 위하여 투영되는 영상식모아레격자와 기준모아레격자를 동일한 이송 매카니즘 위에 위치시키고 두 격자를 동시에 정속도로 이송함으로써 기준격자의 영상과 각종 노이즈를 제거하여 모아레 무늬 가시도를 증가시켜 측정정도를 향상시킬 수 있었다[46].

3.2 초기 가상객체 생성

모아레 방식으로 입력된 3차원 좌표는 (그림 3)의 좌측그림과 같이 측정 방향에 따라 몇 개의 단면정보로 입력된다. 입력된 3차원 좌표들의 연결관계 및 구조에 대한 정보를 가지고 있어 조직화 알고리즘을 통하여 각 단면은 쉽게 가상객체를 생성할 수 있지만 처리된 결과들을 하나의 가상객체로 생성하기 위해서는 짜깁기 작업이 추가로 필요하다[43].



(그림 3) 모아레 단면정보를 이용한 3차원 초기가상객체 생성

그리고, 비 조직화 알고리즘을 이용하여 가상객체를 생성할 경우에는 비 조직화된 자료들이 동일한 접평면(Tangent Plane)에 위치시키기 위한 접평면 추정(Tangent Plane Estimation)과 접평면 적용(Tangent Plane Orientation)이 요구되는 단점이 있다.

따라서, 조직화 알고리즘의 단점인 짜깁기를 하지 않으면서, 비 조직화 단점인 접평면을 쉽게 구하는 방법을 제안한다.

3.2.1 마칭큐브(Marching Cube)

마칭큐브는 Lorensen에 의해 제안되어 CT나 자기공명장치 영상(MRI)과 같은 의료영상으로부터 두께를 갖는 3차원 입체모델(volume model)을 생성하는데 주로 이용되었으며, Hoppe는 마칭큐브를 단순화 시킨 Wyvill 알고리즘으로 가상객체 생성방법을 구현하였으

나, 접평면을 구하는데 많은 시간이 필요하다.

본 논문에서는 모아레 방식에 의한 3차원 입력자료로 간단히 접평면을 구하고 마칭큐브를 적용하여 초기 가상객체를 구하는 방법을 제안하였다.

마칭큐브에서는 3차원 물체가 포함된 공간을 격자 형태로 분할한다. 그렇게 되면 공간은 다수의 육면체로 구성되는데 마칭큐브에서는 이들 각각의 육면체들을 대상으로 하여 가상객체를 생성한다. 즉 3차원 물체의 표면이 지나가는 큐브(cube)에서는 큐브가 분할되면서 새로운 면이 나타나는데 이 면들이 우리가 생성하고자 하는 가상객체가 되는 것이다. 따라서 마칭큐브를 이용하여 가상객체를 생성한다는 것은 각 큐브에서 어떻게 분할이 일어날 것인가를 결정하는 문제로 귀착된다.

하나의 큐브에는 8개의 꼭지점이 있으므로 각 꼭지점에 대하여 물체의 바깥쪽에 있는지 혹은 안쪽에 있는지를 검사하면 그 큐브가 어떠한 형태로 분할될지를 결정할 수 있다. 각 꼭지점이 가질 수 있는 상태가 안쪽 또는 바깥쪽의 두가지이고 꼭지점의 수가 8개이므로 가능한 상태의 수는 $2^8 = 256$ 가지가 된다. 그런데 두가지의 대칭성을 이용하면 256가지에서 14가지로 가지 수를 대폭 줄일 수 있다. 첫번째로는 큐브의 표면 값에 대한 관계가 역전되더라도 분할된 삼각형 메쉬형태는 변하지 않는다는 것이다. 즉, 큐브를 이루는 꼭지점들이 각각 물체의 내부의 점인지 외부의 점인지의 여부가 뒤바뀐 두 경우의 분할 형태는 동일하다는 것이다. 따라서 8개 중의 꼭지점 중에서 네개의 꼭지점만을 고려하면 되므로 256가지에서 절반인 128가지로 줄일 수 있다. 두번째의 대칭성은 회전에 대한 대칭이다. 이 성질을 이용하면 14가지 상태만이 존재한다.

모든 꼭지점이 외부에 있거나 내부에 있는 0번의 경우와 같이 가장 단순한 경우에는 분할이 일어나지 않는다. 다음으로 1번의 경우는 하나의 꼭지점만 구분되는 경우로 세개의 모서리에서의 교차점을 이용하여 하나의 삼각형이 생성된다. 나머지 경우들에서는 다수의 삼각형들이 생성된다. 이 인덱스는 주어진 큐브의 형태에 따라 어떠한 삼각형이 어떠한 모서리들과의 교차점을 이용하여 생성될 것인지에 대한 정보를 제공한다. 본 논문에서는 다음과 같은 형태의 배열을 이용하여 각 모서리의 정보를 제공한다. 배열의 크기는 $256 * 16$ 으로 256가지에 대해서 배열을 잡은 이유는 앞에서 언급한 대칭성을 이용하여 14가지로 줄일 수 있으나

이 경우에는 각 큐브에서 매번 대칭성 검사를 해야 하므로 효율적이지 못하다. 따라서 배열을 정의할 때 한번 대칭성을 고려하여 정의를 한 후, 사용할 때에는 256가지에 대한 정보를 두는 것이 보다 효율적이다. 각 인덱스에 대해서는 16개의 숫자로 구성이 되는데 앞에서부터 3개씩 쌍이 되어 하나의 삼각형을 이루는 모서리들의 번호를 나타내고 있다. 하나의 큐브에 대해서 최대 생성될 수 있는 삼각형의 수는 5개이므로 15개를 넘지 않는데 각 큐브마다 생성되는 삼각형의 수가 다르므로 데이터의 끝을 나타내기 위하여 '-1'이라는 값을 사용하고 있고 따라서 총 16개의 숫자가 필요하다. 이렇게 구한 모서리에 대한 정보를 이용하여 실제 모서리들에서 어느 부분에서 교차하는 지를 구해야 한다. 마칭큐브의 큰 장점은 각각의 큐브에 대해서 독립적으로 연산을 적용할 수 있으며 그 연산이 미리 계산된 결과의 참조로 대체될 수 있다는 점이다.

3.2.2 꼭지점의 상태 결정

앞에서 언급한 바와 같이 마칭큐브를 적용하기 위해서는 (그림 8)과 같이 각 큐브에 속한 꼭지점들의 상태를 결정하여야 한다. 일단 상태만 결정되면 그 이후의 작업은 이미 만들어진 표를 이용하여 기계적으로 처리할 수 있다. 여기에서 말하는 상태란 각 꼭지점이 물체의 외부에 있는 점인지 아니면 내부에 있는 점인지의 여부와 물체의 표면까지의 거리에 대한 정보를 말한다.

부호화 거리(signed distance)를 활용하여 꼭지점의 상태를 구할 수 있다. 3차원 좌표계 상에 존재하는 임의의 점 p 와 알려진 메쉬 M 까지의 부호화 거리 $f(p)$ 는 p 와 M 에 속하는 가장 가까운 점 z 까지의 거리에 점이 Mesh의 외부에 있는지 내부에 있는지에 따라서 +1 또는 1을 곱한 것이다. 그런데 3차원 스캐너 등을 통하여 입력된 경우, 실제로 M 을 알 수 없으므로 추정값을 사용하게 되는데 각 측정값 p 에 대하여 M 에 근사하는 접평면(tangent plane)을 구하고 이 접평면과 p 와의 부호화 거리로서 실제의 부호화 거리를 대신한다. 이를 다음 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$f(\vec{p}) = dist_i(\vec{p}) = (\vec{p} - \vec{o}_i) \cdot \vec{n}_i \quad (2)$$

여기에서 O_i 는 접평면의 중심을 나타내며 n_i 는 접평면의 법선(normal) 벡터를 나타낸다.

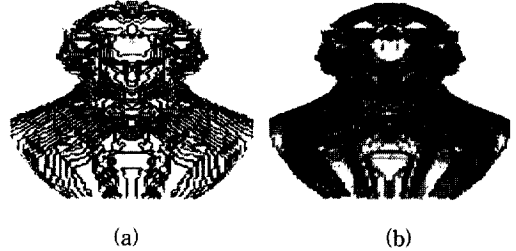
측정값의 기하학적 구조에 대한 정보를 사용하지 않았기 때문에 이를 구하기 위해 각 점들에 대해 인접한 점들과의 위치 관계를 보아 접평면을 찾아낸다. 이때 접평면의 가능한 방향은 서로 반대방향인 두가지가 가능하므로 이 중의 한가지로 선택하기 위하여 최적화 과정을 거쳐서 각 점들에서 일관된 접평면을 구하였다. 그러나 본 논문에서는 입력 데이터가 3차원 거리 영상으로 제한되므로 기하학적 구조를 이용할 수 없다. 즉, 3차원 거리 영상은 격자 형태로 데이터가 구성되므로 임의의 점들은 인접하는 네 측정값들을 가지게 된다. 이들을 서로 연결하면 네개의 삼각형을 구할 수 있다. 이들 각각의 삼각형 들에서는 외적(cross product)을 이용하여 법선벡터를 구할 수 있으며 구해진 네개의 법선벡터의 평균을 구함으로써 접평면의 법선 벡터를 대신한다. 또한 접평면의 중심점은 측정값의 위치를 그대로 사용한다.

3.2.3 큐브에서 가상객체 생성

일단 각 꼭지점의 상태가 결정되면 어떠한 삼각형이 생성될 것인지를 쉽게 결정할 수 있다. 그러나 이 정보는 삼각형이 어느 모서리와 교차하는 지를 알려줄 뿐이고 모서리의 어느 부분에서 교차하는지는 알려주지 않는다. 따라서 이를 결정하기 위한 별도의 방법이 필요하다. 가장 간단한 방법은 언제나 모서리의 중간에서 교차하도록 하는 것이다. 기존에 발표된 논문들에서 보면 입력되는 정보가 매우 세밀하므로 이 방법으로 하더라도 별 문제없이 정교한 모델을 생성할 수 있다고 말하고 있다. 그러나 본 논문에서는 타 논문에서 주장하는 단순하게 중간점을 선택하는 방법을 채택한 경우 (그림 4-a)와 같은 만족스럽지 못한 결과를 얻었다. 따라서 본 논문에서는 (그림 4-b)와 같이 부호화 거리를 이용하여 모서리에서 교차할 위치를 구하도록 하였다. 즉, 중간점에서 교차하는 경우와 부호화 거리를 이용하여 교차점을 구하는 경우 측정 정밀도에 따라서 (그림 4)와 같이 현격한 결과물의 차이를 나타내고 있다.

부호화 거리를 이용하여 교차점을 구하는 경우에는 우선 교차점을 구할 모서리를 구성하는 두개의 꼭지점 각각에서 부호화 거리를 계산한다. 이 부호화 거리의 절대값을 취하면 각 꼭지점에서 복원하고자 하는 물체의 평면까지의 거리가 된다. 따라서 각 꼭지점에서의 거리의 비율을 이용함으로써 모서리의 어느 부분에서

교차시킬 것인지를 결정할 수 있다.



(그림 4) 모서리 교차점 결정 방법 비교 : (a) 중간점 선택 (b) 부호화 거리의 비율 적용

3.3 가상객체생성 간략화

개선된 꼭지점 소거법(decimation)은 마칭큐브에 의해서 생성된 가상객체에 적합한 방법으로 사용자가 허용 가능한 거리 오차를 지정해 주면 이 알고리즘이 각 꼭지점들마다 국부적 위상학적 형태에 대한 거리를 측정하여 지정한 거리오차 이내이면 해당하는 꼭지점을 지우게 된다. 이 방법은 거리 오차를 계산할 때 바로 전 단계의 결과와 비교하게 되는데 이렇게 하면 오차가 누적될 수 있으므로 전 단계의 결과가 아닌 원형과 비교함으로써 거리 오차를 계산하는 방법을 개선함과 동시에 간략화 된 가상객체 크기를 입력값으로 주어질 수 있도록 1단계 소거법(Single-Pass Decimation)으로 개선하였다.

꼭지점 소거법은 먼저 가상객체에 존재하는 각 꼭지점에 대하여 기하학적 형태와 위상학적 형태를 고려하여 꼭지점이 특정한 제거 조건을 만족하면 꼭지점과 꼭지점이 연결된 모든 삼각형을 제거시킨다. 제거된 결과로 생긴 구멍(hole)은 다시 지역적인 삼각형화(triangulation)를 거쳐서 재구성된다. 위의 과정을 종결조건을 만족할 때까지 반복함으로써 간략화 된 가상객체를 얻을 수 있다.

3.3.1 기하학적 형태와 위상학적 형태를 고려한 꼭지점 분류

꼭지점 소거법의 첫 단계는 주어진 꼭지점의 기하학적 형태와 위상학적 형태를 알아내는 것이다. 즉, 주어진 꼭지점을 분류하고, 꼭지점에 이웃한 모서리(edge)들의 루프를 추출해 내는 것이다. 이 과정을 거치기 위해서는 각 꼭지점을 세 점 중의 한 점으로 갖는 삼각형의 집합을 각 꼭지점에 대하여 만들어 주어야 한

다. 즉, 각 꼭지점에 대해서 삼각형 집합(triangle set)을 만들어 주어야 한다. 이 과정에서 꼭지점의 개수는 상당히 많기 때문에 효율적으로 한 삼각형의 꼭지점을 비교해 보기 위해서 크기(size) 100인 해쉬 테이블(hash table)을 사용했다. 각 삼각형에 대해서 세 개의 꼭지점을 해쉬테이블에서 탐색하여 이미 삼각형 집합으로 되어 있으면 거기에 추가를 해 주고, 없으면 그 꼭지점을 해쉬 테이블에 등록을 하고 동시에 새로운 삼각형 집합도 만들어 준다.

이렇게 만들어진 삼각형 집합을 가지고 각 꼭지점과 그 주변의 삼각형을 살펴보면 각 꼭지점은 다음 세 가지의 꼭지점으로 분류될 수 있다. 주변 삼각형을 선회(traverse)하면서 연결된 꼭지점 리스트(vertex list)를 구한다. 그리고 그 양 끝점을 구한다. 꼭지점 리스트의 개수와 양 끝점의 개수로 다음 어느 범주에 꼭지점이 들어가는지를 판단할 수 있다.

3.3.2. 제거 조건 검사 및 꼭지점 제거

제거조건 적용과정에서는 꼭지점이 제거 가능한지 여부를 판별하여 제거가 이루어진다. 단순꼭지점과 가장자리꼭지점만이 제거 가능하며 복합꼭지점은 꼭지점을 소거했을 때 형태(topology)에 문제가 생기므로 불가능하다. 단순 꼭지점은 다시 특징되는 모서리 존재 여부에 따라 처리하는 방법이 조금 달라진다. 루프 꼭지점은 주위의 삼각형을 사용하여 이 꼭지점을 사용하지 않는 모서리들로 루프(loop)를 형성한다. 형성된 루프를 이루는 모든 꼭지점에 대한 평균평면(average plane)과 그 법선 및 평면과 꼭지점의 거리를 아래의 식으로 계산하여 후보 꼭지점과 평균평면과의 거리가 특정한 값 이하가 되면 제거된다.

제거되어 생긴 구멍은 다음 단계에서 다시 삼각형화(triangulation)되어서 메쉬가 되게 된다.

모서리를 공유하는 두 개의 삼각형의 법선(surface normal)을 비교하여 특정 각(feature angle) 이상인 것을 특징되는 모서리(feature edge)로 정의하고 한 꼭지점을 공유하는 두 특징되는 모서리가 동일 직선 상에 존재할 경우 이 꼭지점은 제거 가능하고 두 모서리는 한 모서리로 통합 될 수 있다. 이 처리는 루프 꼭지점의 특수한 경우로 처리가 된다.

가장자리경계 꼭지점의 처리는 먼저 가장자리를 이루는 두 모서리들의 양 끝점을 이어주는 가상의 선분을 생성시키는 것에서 시작한다. 이 선분과 제거 후보

가 되는 꼭지점의 거리를 비교하여 특정한 값 이하가 되면 제거한다.

꼭지점이 제거되면 일단 꼭지점 리스트에서 먼저 제거를 시킨다. 그리고 그 꼭지점을 인덱스로 갖는 삼각형 집합(triangle set)에서 각 삼각형의 꼭지점들을 선회하면서 그들의 삼각형집합에서 제거된 꼭지점이 있는 삼각형을 지운다. 그 이후에 제거된 꼭지점의 삼각형리스트를 전부 지워주면 삭제 과정이 끝나게 된다.

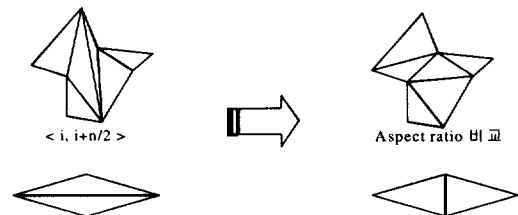
3.3.3 꼭지점 제거로 생긴 구멍의 삼각형화

두 번째 단계인 제거 조건 적용단계를 거쳐서 꼭지점과 삼각형 루프가 제거되면 가상객체에 구멍(hole)이 생기므로 다시 삼각형화(triangulation)를 통하여 구멍을 메워 주어야 한다. 주어진 다각형 내부를 여러 개의 삼각형으로 나누는 알고리즘은 여러 가지가 있다.

여기서는 수평선분 분석을 통한 삼각형화를 기반으로 하여 만들어진 것으로 새로운 꼭지점을 생성시키지 않으면서 오목다각형(concave polygon)에도 적용이 가능하며 대수적인 시간 내에 원하는 결과를 얻을 수 있는 빠른 다각형 삼각형화 알고리즘이다.

(그림 5)과 같이 되풀이 분할(Recursive Loop splitting) 알고리즘을 재귀적으로 적용함으로써 구멍을 한꺼번에 삼각형화하지 않고 쉽게 처리할 수 있다. 다각형을 점점 나눠가서 삼각형이 되면 나중작업을 멈춘다. 이 때 중요한 것은 다각형을 어떻게 나눌 것인가이다.

다각형의 임의의 두 꼭지점을 연결하는 분할라인(split line)을 구하고, 평균평면(average plane)과 분할평면(split plane)을 공유하고 서로 직교하는 평면을 구해서 분할평면이라고 한다. 이 분할평면과 분할라인을 가지고 aspect ratio를 구한다.



(그림 5) Recursive loop Splitting 알고리즘

꼭지점 i 와 j 를 통과하는 분할라인의 길이를 L_{sij} , 루프꼭지점과 분할평면의 거리를 D_{sk} 라고 할 때, aspect

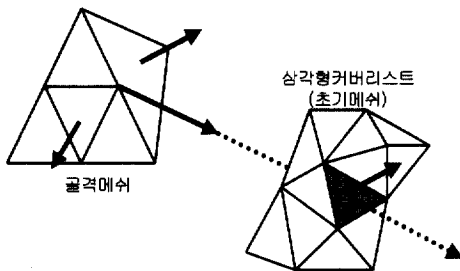
ratio AS_{ij} 가 제일 큰 i, j 다각형을 분할하게 된다. 이렇게 i, j 가 결정이 되면 $i-j$ 로 연결되는 다각형과 $j-i$ 로 연결되는 다각형에 대해서 이 알고리즘을 적용시켜 주면 된다. 만약 다각형 꼭지점의 개수가 3개라면 그것으로 삼각형을 만든다. 삼각형을 새롭게 만드는 것은 일단 삼각형리스트에 새로운 삼각형을 정의하고, 각 3개의 꼭지점에 해당하는 삼각형 집합에 이 삼각형을 추가시키면 된다.

3.3.4 삼각형 커버 리스트(Triangle coverage list)

소거작업(decimation) 과정 중에 나중에 분할작업(subdivision)에 의한 재 메쉬작업(remesh)에서 사용하기 위해서 삼각형 커버 리스트를 만드는 작업이 필요하다.

삼각형 커버 리스트란 (그림 6)과 같이 새로 생성되는 삼각형을 덮는 초기 가상객체의 부분 집합인 삼각형의 집합이다. 골격 가상객체(base mesh)의 각 삼각형을 분할작업하여 재 메쉬작업을 통한 여러종류의 가상객체를 만드는 과정에서 분할연결성(subdivision connectivity)을 만족하면서 초기 가상객체에 가까워지기 위해서 이 삼각형 커버 리스트와 비교해서 움직이는 과정이 필요하게 된다.

꼭지점이 소거되고 새로 삼각형화(triangulation)에 의해 생성되는 삼각형에는 소거된 삼각형이 가지고 있던 삼각형 커버 리스트가 더해지게 된다. 소거되는 삼각형들이 가지고 있던 리스트가 중복되는 경우가 있으므로 이 리스트 구조는 유니온(union) 구조로 처리하게 된다.



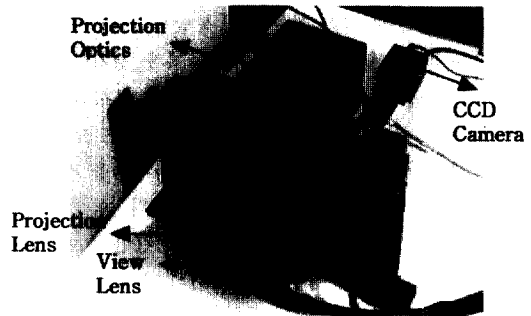
(그림 6) 삼각형 커버리스트를 이용하여 간략화 오차를 줄이는 과정

4. 가상객체생성 시스템 구현

4.1. 영사식 모아레 광학계 구현

(그림 7)은 실험용 광학계의 실물 사진을 보여주고

있다. 프로젝션렌즈, 결상렌즈 모두 동일한 렌즈를 사용하고 있으며, 모아레무늬를 보기 위한 릴레이렌즈와 CCD 카메라가 있다. 또한, texture mapping을 하기 위한 별도의 외부 조명이 있다. 광원으로는 자연스러운 컬러정보를 획득하기 위하여 백색광을 사용하였다. 300W의 할로젠램프를 사용하였다. 광원에서 나온 빛은 균일하게 격자를 조명하기 위하여 컨텐스 렌즈를 지나고 열팽창으로 인한 격자의 파손 및 격자이송장치의 열팽창을 방지하기 위하여 IR밴드를 제거하는 필터를 이용하여 적외선영역의 빛을 제거하였다. 정확한 격자를 제작하기 위하여 0.025 μm 의 위치분해능을 가지는 E-beam 리소그라피머신을 이용하여 크롬코팅이 된 반도체용 마스크(quartz glass)를 이용하여 제작하였다. 프로젝션 및 결상렌즈로는 광학계가 가지는 오차를 최소화하기 위하여 측정영역에서 렌즈의 수차와 왜곡이 잘 보정되어 있는 Nikon사의 50mm 표준렌즈를 사용하였다. 기준격자위에 형성된 모아레무늬를 획득하기 위하여 5배의 배율을 가지는 릴레이렌즈를 이용하였다.



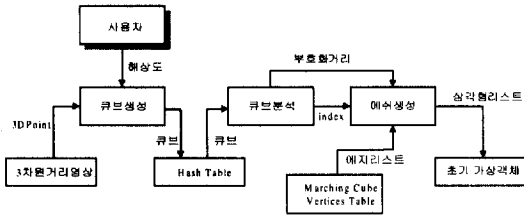
(그림 7) 영사식 모아레 광학계 사진

4.2. 초기 가상객체 생성모듈 구현

(그림 8)은 구현된 초기 가상객체 생성 모듈의 블록 다이어그램으로 3차원 거리 영상 자료를 입력받아 초기 가상객체를 출력시키는 모듈이다. 임의의 3차원 거리 정보를 사용하여 초기 가상객체를 생성하기 위해서는 우선 거리 영상이 저장된 파일을 로드 한다. 일반적으로 거리 영상은 한 면의 정보만을 제공하는데 3차원 물체를 완전히 복원하기 위해서는 다양한 각도에서 측정된 거리 영상이 모두 필요하다.

따라서 구현된 모듈에서도 이러한 기능을 제공하는데 각 면에서 측정된 거리 영상은 각각의 파일에 따로

저장된다. 여러 면에서 측정된 거리 영상을 합쳐서 모델을 만들기 위해서는 각각의 파일을 연속적으로 로드하면 된다. 그리하면 초기 가상객체 생성모듈에서 그 정보들을 기억하고 있다가 사용자가 "Create Mesh"의 메뉴를 선택하였을 때 각 방향에서 측정된 거리 영상을 차례로 적용하여 가상객체를 생성한다.



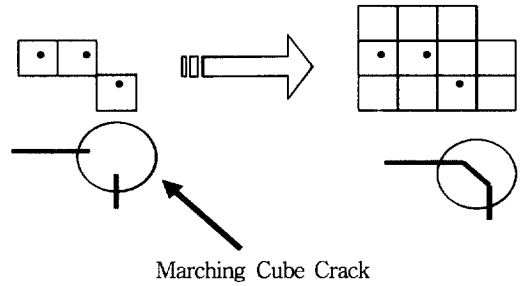
(그림 8) 초기가상객체 생성모듈 블록다이어그램

각 방향에서 측정된 거리 영상들이 로드 되면 점이 없는 부분은 측정값이 없는 부분이지만, 복원되는 가상객체에서 빈 공간을 없애기 위해서는 모델 내부에 빈 공간이 없어야 한다.

거리 영상이 모두 로드된 후에는 가상객체를 생성하게 되는데 이를 위해서는 "Create Mesh" 메뉴를 선택하면 된다. 그런데 이전에 해상도를 정의해 주어야 한다. 해상도는 본 연구에서 사용한 마칭큐브에서 각 큐브들의 크기를 결정하는 파라미터이다. 거리 영상이 로드된 후에 프로그램에서는 입력된 값들을 둘러싸는 물체의 대략적인 크기를 계산한다. 이 정보를 이용하면 물체가 차지하는 3차원 공간을 구할 수 있는데 이 공간을 격자 형태로 분할 한 것이 큐브가 된다. 이때 몇 개의 격자를 사용할 것인지를 결정하는 것이 해상도이다. 즉 해상도를 256으로 결정하면 물체가 차지하는 공간을 256 * 256 * 256의 격자로 구분한다. 따라서 해상도가 커질수록 큐브의 크기가 작아지고 따라서 물체를 좀더 세밀하게 표현할 수 있게 된다. 그러나 이 경우에 세밀하게 표현될 수 있는 반면 측정값이 세밀하지 못한 경우에는 빈 공간이 많이 생길 가능성이 있다. 따라서 해상도는 측정값의 해상도를 넘을 수 없으며 실험에 의하면 측정값의 해상도가 가상객체 생성 해상도의 2배정도 되는 것이 적당하다.

또한 마칭큐브는 (그림 9)의 좌측 그림과 같이 큐브가 서로 맞물려서 연결되는 경우에만 선으로 연결하고, 대각선으로 걸쳐서 연결되는 경우에는 다각형을 만들지 않기 때문에 선이 끊어지는 현상(Marching cube

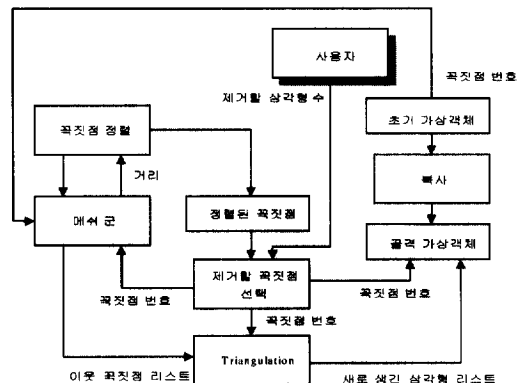
crack)이 생긴다. 이를 개선하기 위해서는 (그림 9)의 우측그림과 같이 끊어진 선을 연결하여야 한다.



(그림 9) 개선된 Marching Cube 방법

4.3 가상객체 간략화 모듈 구현

(그림 10)은 간략화 모듈 블록다이어그램으로 사용자가 입력자료로 제거할 삼각형의 개수 또는 소거량(decimation rate)을 입력하여 가상객체 간략화 모듈은 동작시킨다, 초기 가상객체는 각 꼭지점들을 각각의 평면에서 평면까지의 거리에 따라 정렬하여 정렬된 꼭지점을 갖도록 한다. 가장 거리가 짧은 꼭지점을 선택하는 작업으로 꼭지점의 수를 줄인다. 각 꼭지점에 둘러싸인 이웃 꼭지점들을 분석하여 꼭지점의 형태를 분석하고 이웃 꼭지점 리스트, 평균평면, 평균평면까지의 거리등을 계산하는 모듈인 메쉬군을 거치면 이웃하는 꼭지점 리스트를 얻을 수 있으며, 이를 이용하여 삼각분할을 거치면 새로운 가상객체가 만들어진다. 이를 초기 가상객체와 비교 분석하기 위하여 한 화면에 동시에 출력시킨다.

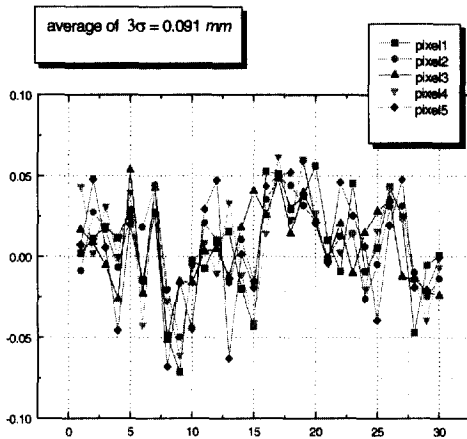


(그림 10) 골격 가상객체 생성모듈 블록 다이어그램

5. 실험 및 성능평가

5.1 3차원 시각정보 자동추출 시스템의 정밀도평가

본 연구에서 목표로 하는 모아레를 이용한 3차원 시각정보추출에서 측정시스템이 가지는 분해능은 0.5mm이다. 3차원시각정보추출에 있어서 측정시스템의 측정 분해능 및 반복능은 그 시스템을 평가하는 제일 중요한 기준이다. 투영식모아레기법을 이용한 3차원 형상 측정시스템이 가지는 정밀도를 평가하여 아래 (그림 11)과 같은 결과를 얻었다. 본 연구에서 개발된 모아레를 이용한 3차원 시각정보추출 시스템은 전체 측정영역대비 측정정밀도가 0.091mm로서 원래 목표로 했던 0.5mm이하의 측정정밀도를 충분히 만족하고 있음을 알 수 있다.



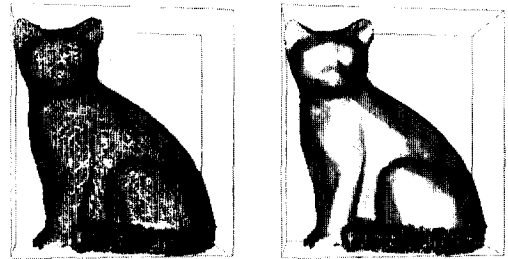
(그림 11) 투영식 모아레기법의 측정정밀도 평가

5.2 제안된 알고리즘을 이용한 가상객체 생성 결과

제안된 시스템을 다양한 대상에 대해 실험하였다. (그림 12), (그림 13)은 고양이 데이터에 대한 실험결과를 보여주고 있다.



(그림 12) 고양이 데이터에 대한 다양한 방향에서 취득한 모아레 영상



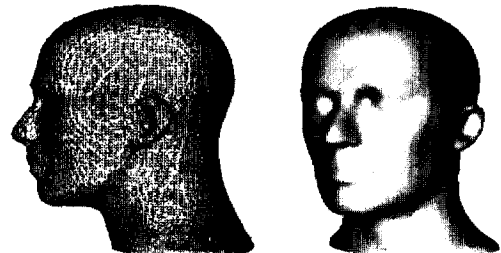
(그림 13) 모델링 결과(Wire frame 및 평활 명암법 적용 결과)

과를 보여주고 있다. 고양이 데이터는 4방향에서 모아레 영상을 취득하였는데, 그 중 및 방향에 대한 거리 영상 취득 결과를 (그림 12)에서 보여주고 있다. 이러한 4 방향에서 취득한 데이터를 이용하여 3차원 표면 모델을 추출한 결과가 (그림 13)에 나타나 있는데, 제안된 알고리즘이 잘 동작함을 알 수 있다.

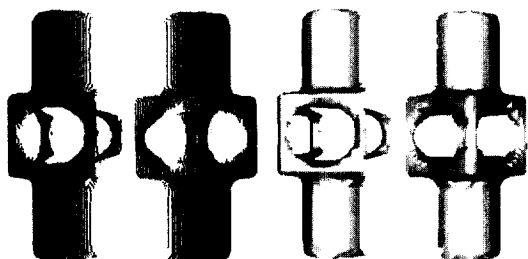
(그림 14), (그림 15)는 마네킹 데이터에 대해 제안된 방법을 적용한 결과인데, 4 방향에서 추출된 거리 영상을 사용하였다. (그림 16), (그림 17)은 기계 부품에 대해 4방향에서 모아레 영상을 구한 결과와 제안된 방법을 이용하여 표면 모델링 한 결과를 보여주고 있다. 이들에서 알 수 있듯이 제안된 방법은 실제 데이



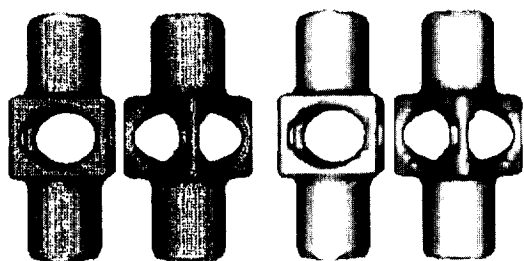
(그림 14) 마네킹 데이터에 대한 다양한 방향에서 취득한 모아레 영상



(그림 15) 모델링 결과(Wire frame 및 평활 명암법 적용 결과)



(그림 16) 기계부품 데이터에 대한 다양한 방향에서 취득한 모아레 영상



(그림 17) 모델링 결과(Wire frame 및 평활 명암법 적용 결과)

터에 적용해서 좋은 결과를 나타냄을 알 수 있다. <표 1>은 이러한 데이터 처리 결과를 나타내고 있는데, 각 모아레 영상 취득 방향, 데이터에 대한 큐브의 개수 및 최종 모델의 삼각형 표면조각의 개수를 나타내고 있다.

<표 1> 모델링 결과표

	거리영상 취득 방향	cube의 수	표면의 수
cat	4	27356	46714
mannequin	4	34462	55673
mechpart	4	16352	27400

5.3 가상객체 생성 속도평가

동일한 하드웨어 시스템 환경에서 동일한 입력자료로 가상객체생성 속도를 평가하기 위해서 많은 가상객체 생성방법들을 프로그래밍하기는 현실적으로 불가능하다. 따라서, 비교대상 알고리즘이 수행한 입력자료와 동일한 입력자료를 구하고, 비교대상 알고리즘을 구동한 시스템과 동일한 시스템을 구해서 본 논문 알고리즘과 비교하였다. 그러나 본 논문 알고리즘으로 입력자료는 모아레 스캐너로부터 추출된 자료로서 임의로 입력자료의 크기를 조절하기 곤란하여, 입력자료를 동

일한 크기로 만들기 힘들다

따라서, <표 2>와 같이 Hoppe 알고리즘에서 사용한 고양이 가상객체는 1,000개 Point로 이루어지고, No-Zippering알고리즘을 이용한 입력자료 고양이는 30,000개 Point로 30배의 차이를 두고 알고리즘 속도를 비교하였다. 그 결과 본 논문 알고리즘에 의해서 만들어진 가상객체 생성시간은 4배 차이가 났으나, 입력자료의 차이를 비교할 때 본 논문 알고리즘이 빠르다는 것을 알 수 있다.

<표 2> Hoppe알고리즘과 No-Zippering알고리즘과 생성 속도 비교표

가상객체이름	Point 개수	Hoppe 알고리즘	본 논문 알고리즘	비 고
고양이 (표준Object)	1,000개	15초		1/30배 입력자료를 1/4배속도차이만을 보임
고양이 (표준Object)	30,000개		60초	30배 입력자료를 4배속도차이로 해결함

6. 결 론

가상현실이나 컴퓨터 그래픽스 등의 분야에서는 3차원 캐릭터를 실물처럼 표현하는 능력이 멀티미디어 컨텐츠 관련 제품의 경쟁을 좌우하게 되었다. 이를 위하여 3D스캐너와 같은 시스템을 도입해서 실물로부터 가상객체를 반자동으로 생성하고, SoftImage 혹은 Wavefront, 3D Max Studio와 같은 소프트웨어를 사용하여 실감나는 캐릭터를 만들고, 캐릭터의 동작을 부여하여 만화영화, 전자게임, 가상현실환경 속의 주인공이 되게 하였다. 과거에는 3차원 캐릭터를 대부분이 수작업으로 만들었으나, 지금은 가상객체 자동생성시스템을 활용하여 캐릭터의 모델을 쉽게 만든다.

디지털 3차원 캐릭터가 영화 속에 등장하고, 영화의 성공에 결정적인 요인이 되었고, 전자게임의 주인공도 시스템을 사용하여 짧은 시간에 쉽게 제작하기 시작한 후부터, 3차원 객체의 자동 생성기술의 필요성이 증대되기 시작하였다.

본 논문에서는 위와 같은 3D 영상기술이 필수적인 멀티미디어시대를 맞이하여, 실제 물체의 형상을 똑같이 디지털 값으로 복원시켜서 사이버공간 또는 영상공간 상에서 사용되는 3차원 캐릭터를 노-지퍼링 방법을 제안하고, 제안된 방법으로 시스템과 소프트웨어를 개

말하였다.

참 고 문 헌

- [1] 유황빈, 김기호, '비트맵 방식의 한글 문자 표준화에 관한 연구보고서', 216쪽, 공업진흥청, Jan 1990.
- [2] K. H. Kim, H. B. Ryou, "A Study on the Data Compression of Image using Text Packing Method," KICS'90 Proceedings, pp.451-457, 3 Aug 1990.
- [3] 김기호, 김동현, 'Visualization 소프트웨어 개발에 관한 연구보고서(1)', 311쪽, 과학기술처, Aug 1991.
- [4] 김기호, 김동현, 'Visualization 소프트웨어 개발에 관한 연구보고서(2)', 173쪽, 과학기술처, Aug 1992.
- [5] 김기호, 김동현, 'Visualization 소프트웨어 개발에 관한 연구보고서(3)', 96쪽, 과학기술처, Nov 1993.
- [6] 김기호, 김동현, '3차원 CG 기술을 이용한 문화재 복원에 관한 연구보고서', 92쪽, 시스템공학연구소, May 1992.
- [7] 김기호, 김동현, '전시공간이 필요없는 가상전시장 시스템 개발', KCGS'94 Proceedings, pp.151-156, 21 Mar 1994.
- [8] 김기호, 김동현, '컴퓨터그래픽스를 이용한 CI 디자인에 관한 연구보고서(1)', 79쪽, 시스템공학연구소, Feb 1995.
- [9] 김기호, 김동현, '컴퓨터그래픽스를 이용한 CI 디자인에 관한 연구보고서(2)', 116쪽, 시스템공학연구소, Dec 1995.
- [10] 김기호, 김동현, '버추얼 리얼리티 응용 소프트웨어 개발에 관한 연구보고서', 158쪽, 시스템공학연구소, Mar 1993.
- [11] 김기호, 김동현, '입체 동화상 전시 시스템 개발에 관한 연구보고서', 317쪽, 과학기술처, Oct 1993.
- [12] K. H. Kim, D. H. Kim, "A Study on the Development of Virtual Showroom System," KCGS Journal, Vol.1, pp.115-123, 21 Mar 1995.
- [13] K. H. Kim, H. B. Ryou, "Hand Acupuncture Virtual Reality System," VRSJ'97 Proceedings, pp.272-275, 18 Sep 1997.
- [14] K. H. Kim, H. B. Ryou, "A Study on the Development of Hand Acupuncture Supporting and Training System using MR Technique," KIPS'99 Fall Proceedings CD, 8 Oct 1999.
- [15] K. H. Kim, H. B. Ryou, "VR Hand Acupuncture System using AR Technique," KIPS'97 Fall Proceedings, pp.1159-1164, 10 Oct 1997.
- [16] K. H. Kim, H. B. Ryou, "AR Scheme for Hand Acupuncture Virtual Reality System," HIS'97 Proceedings, pp.415-418, 23 Oct 1997.
- [17] K. H. Kim, H. B. Ryou, "3D Object Auto Generation and AR Scheme for Hand Acupuncture," KISS'97 Fall Proceedings, pp.367-370, 24 Oct 1997.
- [18] K. H. Kim, H. B. Ryou, "Next generation Video on Demand system(Stereoscopic Display)," NCS'98 Proceedings, pp.540-543, 3 Dec 1998.
- [19] K. H. Kim, H. B. Ryou, "A Virtual Reality Scheme for Hand Acupuncture Supporting System," Medicine Meets Virtual Reality 2000 Technology and Informatics 70 (ISO Press), pp.159-161, Jan 2000.
- [20] K. H. Kim, H. B. Ryou, "Wavelet-based Level-of-Detail Virtual Object Representation System," KIPS Journal, Vol.7, No.3, pp.766-755, Mar 2000.
- [21] K. H. Kim, H. B. Ryou, "Hand Acupuncture Supporting System for Mixed Reality Scheme," KIPS Journal, Vol.7, No.5, pp.1351-1360, May 2000.
- [22] K. H. Kim, H. B. Ryou, "Virtual Reality Technique for Alternative Medicine," ESK 2000 Proceeding CD, 10 Oct 2000.
- [23] 김기호, '2차원 게임 제작 생산성 향상을 위한 기술지도 보고서', 20쪽, 상공부, Jun 1994.
- [24] 김기호, 'CG를 이용한 한국형 게임 제작 기술지도 보고서', 19쪽, 과학기술처, May 1995.
- [25] 김기호, 'CG를 이용한 3차원 게임 개발 기술지도 보고서', 20쪽, 과학기술처, Jul 1996.
- [26] 김동현, 김기호, 'SFX 영화제작 시스템 구축 및 <구미호> 영화 제작에 관한 연구', 신씨네 영화사, Jul 1996.
- [27] K. H. Kim, H. B. Ryou, "A Study on the Development of Virtual Aquarium System," ESK 96 Proceeding, pp.166-170, 18 Oct 1996.
- [28] 김기호, 김동현, '원격 조작성을 위한 Motion Capturing 시스템 개발에 관한 연구보고서', 92쪽, 과학기술처, 원자력연구소, Jul 1996.
- [29] K. H. Kim, H. B. Ryou, "A Study on the Development of Motion Capturing System," KIPS'96 Fall

Proceedings, pp.1102-1105, 11 Oct 1996.

[30] K. H. Kim, H. B. Ryou, "A Study on the Motion Presentation in Virtual Space," Multimedia Workshop Proceedings, pp.153-157, 1 Nov 1996.

[31] 김기호, 정연구 '3차원 시각정보 자동추출 및 실감표현 기술개발(1) 보고서', 196쪽, 정보통신부, Dec 1997.

[32] Y. G. Chung, K. H. Kim, B. K. Koo, "3차원 가상물체 자동생성기술 및 시장동향", SERI 기술동향집, pp.18-47, Mar 1998.

[33] 김기호, 정연구 '3차원 시각정보 자동추출 및 실감표현 기술개발 최종보고서', 122쪽, 정보통신부, Dec 1999.

[34] B. K. Koo, K. H. Kim, "Stereo Matching Algorithm Based on Intensity and Feature," ITC-CSCC'98 Proceedings, 13 Jul 1998.

[35] D. H. Kwon, K. H. Kim, "Realization of an Organic Image : Synthetic Approach," Asia Display'98 Proceedings, 30 Sep 1998.

[36] D. H. Kwon, K. H. Kim, "fBm을 이용한 생체조직 텍스처어 생성", KSES'98 Fall Proceedings, pp. 203-206, 20 Nov 1998.

[37] J. S. Choi, K. H. Kim, "A Study on the Development of Graphics and Rendering Toolkit," KIPS'96 Fall Proceedings, pp.1120-1122, 11 Oct 1996.

[38] K. H. Kim, H. B. Ryou, "Virtual Character Generation using No-Zippering Method," KSES'98 Fall Proceedings, pp.45-49, 20 Nov 1998.

[39] K. H. Kim, H. B. Ryou, "A Basic Design to the Development of 3D Object Generation System," KCGS'97 Spring Proceedings, pp.57-62, 30 May 1997.

[40] K. H. Kim, H. B. Ryou, "A Study on the Development of Base Mesh Generation," KCGS'97 Spring Proceedings, pp.51-56, 30 May 1997.

[41] K. H. Kim, H. B. Ryou, "3D LOD Object Construction Based on Decimation Algorithm," KIPS'98 Spring Proceedings CD, 10 Apr 1998.

[42] K. H. Kim, H. B. Ryou, "Wavelet-based Level-of-Detail Mesh Generation," KICS'98 Fall Proceedings, pp.1273-1276, 7 Nov 1998.

[43] K. H. Kim, H. B. Ryou, "A Fast Generation of Volume Data from Range Images," KIPS'99 Spring Proceedings, pp.315-318, 9 Apr 1999.

[44] Y. G. Chung, K. H. Kim, "Image Based 3D Shape Recovering Scheme," Proceedings of the 12th Multimedia Conference, pp.279-284, 13 Nov 1998.

[45] Y. G. Chung, K. H. Kim, "Model Generation using Moire Based 3D Shape Extraction," KSES'98 Fall Proceedings, pp.99-104, 20 Nov 1998.

[46] D. H. Kwon, K. H. Kim, "Automatic Generation of 3D Models using ETRI-Moire Scanner," HCI'99 Proceedings, pp.652-657, 4 Feb 1999.



김 기 호

e-mail : khkim@etri.re.kr

1990년 광운대학교 전자계산학과
공학석사취득

1996년 광운대학교 전자계산학과
박사과정수료

1998년~현재 한국전자통신연구원
선임연구원

관심분야 : Medical VR, 입체영상, 입체음향, 실물모델링, 멀티미디어통신 및 응용, 네트워크 보안, 네트워크 게임



유 황 빈

e-mail : ryou@cs.kwangwoon.ac.kr

1975년 인하대학교 전자공학과
학사취득

1977년 연세대학교 대학원 공학
석사취득

1989년 경희대학교 대학원 공학
박사취득

1981년~현재 광운대학교 컴퓨터학과 교수

1994년~1995년 美 UCSD 교환교수

1995년~1997년 광운대학교 전자계산소장

2000년~현재 광운대학교 전자계산원장

관심분야 : 멀티미디어통신 및 응용, 네트워크 보안