

실사 수준의 디지털 영상콘텐츠 제작기술

Photo-Realistic Digital Image Content Production Technology

유비쿼터스 시대를 주도할
디지털콘텐츠 기술 특집

목 차

-
- I . 서론
 - II . 영상기반 모델링
 - III . 영상기반 렌더링
 - IV . 디지털액터 표현
 - V . 디지털액터 상호작용
 - VI . CG/실사 합성
 - VII . 결론

정일권 (I.K. Jeong)	디지털액터연구팀 선임연구원
김해동 (H.D. Kim)	디지털액터연구팀 선임연구원
박기주 (K.J. Park)	디지털액터연구팀 선임연구원
박창준 (C.J. Park)	디지털액터연구팀 선임연구원
백성민 (S.M. Baek)	디지털액터연구팀 연구원
추창우 (C.W. Chu)	CG기반기술연구팀 연구원
이인호 (I.H. Lee)	디지털액터연구팀 팀장

최근 흥행에 성공을 거둔 대부분의 영화는 첨단 CG 기술을 제작 공정의 50% 이상 활용하고 있으며 점차 영상 콘텐츠 제작에 CG 기술 사용 비율이 증가하는 추세이다. 본 논문에서는 ETRI 디지털콘텐츠연구단에서 연구 개발중인 실사 수준의 디지털 영상콘텐츠 제작기술에 관해 소개한다. 개발 기술은 현장 요구가 많은 대표적인 CG 기술인 영상기반 모델링, 영상기반 렌더링, 디지털액터 표현, 디지털액터 상호작용, CG/실사 합성 기술을 포함한다. 엑스트라급 디지털액터 및 디지털 환경 제작 도구를 개발하였으며, 최종적으로는 주연급 디지털액터 및 디지털 환경 제작 도구를 개발할 예정이다.

I. 서론

세계 영상콘텐츠 시장은 2007년 1,267억 달러로 예상되는(CAGR 17%) 고속 성장중인 거대 시장이다. 최근 흥행에 성공을 거둔 대부분의 영화(타이타닉, 스타워즈 에피소드, 반지의 제왕)는 첨단 CG 기술을 제작 공정의 50% 이상 활용하고 있으며, 점차 영상 콘텐츠 제작에 CG 기술 사용 비율이 증가하는 추세이다. 모델링, 렌더링, 디지털액터 표현 및 상호작용, CG/실사 합성 등이 영상 콘텐츠의 부가가치를 높이는 대표적인 CG 기술이며, 현재 성장·발전기에 있다. 디지털액터란 실제 배우 수준의 외형과 동작을 가진 3차원 가상 캐릭터이다.

본 논문에서는 ETRI 디지털콘텐츠연구단에서 연구 개발중인 실사 수준의 디지털 영상콘텐츠 제작 기술에 대해 소개한다. 개발 기술은 실존하는 물체의 영상을 통해 모델링 할 수 있는 영상기반 모델링, 영상을 이용하여 고품질의 렌더링 결과를 얻는 영상기반 렌더링, 사실적인 액터 표현을 위한 디지털액터 표현, 사실적인 액터 움직임을 위한 디지털액터 상호작용, CG와 실사를 합치는 CG/실사 합성 기술을 포함한다.

II. 영상기반 모델링

1. 개요

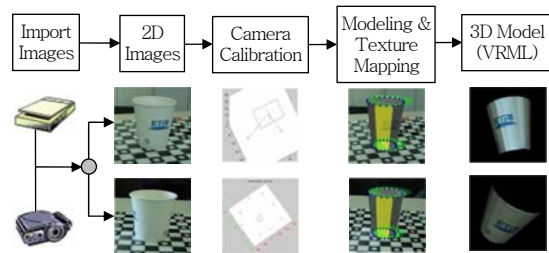
모델링은 이미 존재하거나 새롭게 만들어야 하는 다양한 유, 무형의 물체들을 컴퓨터로 구체화하는 과정으로, 애니메이션, 렌더링과 함께 컴퓨터 그래픽 분야의 큰 틀을 구성한다. 전통적으로 모델링은 디자이너들의 반복적인 수작업으로 이루어져 왔다. 주로 사용되는 소프트웨어는 Maya, 3D Studio Max, SoftImage 등이다. 이들은 폴리곤, NURBs, Subdivision Surface의 형식으로 그래픽 모델을 생성한다. 최근에 개봉하는 영화들은 실사와 컴퓨터 그래픽 모델의 절묘한 합성을 통해서 상상 속의 장면들을 연출하고 있으며, 그만큼 사람과 사물을 디

지털화하는 요구가 늘고 있다. 하지만, 수작업에 의한 전통적인 모델링 방식은 정확도가 많이 떨어지고, 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 이런 단점을 극복하기 위해서 3차원 스캐너와 같은 실측 기반 모델링 기술과 사진만을 사용하는 영상기반 모델링 기술이 연구되고 있다. 실측기반 모델링은 조밀하게 정확한 측정이 가능한 반면, 고가의 하드웨어와 생성된 대용량 데이터를 처리하는 기술이 필요하다. 영상기반 모델링은 실측기반 모델링 기술에 비해 모델의 품질이 다소 떨어지지만, 사진만을 이용하기 때문에 간편하게 모델링 할 수 있고, 입력 영상으로부터 텍스처를 직접 추출할 수 있는 장점이 있다. 디지털 영상을 만드는 과정에서는 이런 장단점들을 고려하여 두 방법을 적절히 선택하여 사용하며, 이렇게 생성한 3차원 모델을 컴퓨터 그래픽 소프트웨어에서 적절히 가공하여 사용한다.

2. 기술 동향 및 개발 기술

영상으로부터 3차원 모델을 생성하는 과정은 (그림 1)과 같다. 영상기반 모델링 기술의 주요 연구 테마는 카메라 보정과 관련되어 있으며, 카메라 보정 결과가 모델의 정확도에 가장 큰 영향을 미친다.

보통 영상간의 양안 시차를 구하는 기술을 영상 정합이라고 부르고, 사진으로부터 촬영카메라의 초점거리(focal length), 주축점(principal point) 등의 내부인자 및 위치와 방향을 알아내는 기술을 카메라 보정(camera calibration)이라고 부른다. 영상 정합은 인지과학분야에서 연구가 시작되어 최근에는 컴퓨터 비전 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있



(그림 1) 영상기반 모델링 과정

〈표 1〉 영상기반 모델링 소프트웨어 비교

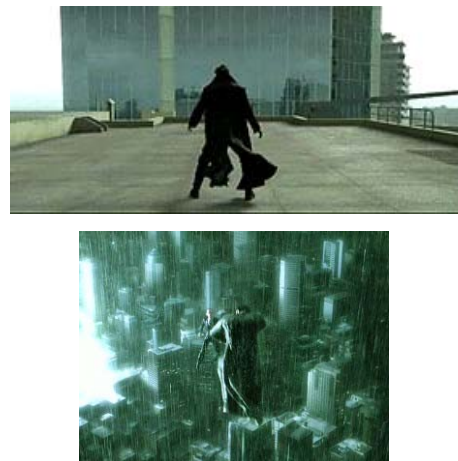
소프트웨어	ImageModeler	PhotoModeler	3D Modelette
개발사	RealViz	EOS Systems	ETRI
메시 형태	폴리곤	곡면(NURBs)	폴리곤, 곡면(NURBs)*
카메라 보정	<ul style="list-style-type: none"> 수동 영상 정합 대응점 기반 직각 정보를 이용한 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> 수동 영상 정합 대응점 기반 대표적 디지털 카메라의 내부인자 제공 보정 패턴을 이용한 오프라인 내부인자 보정 	<ul style="list-style-type: none"> 수동 영상 정합 대응점 또는 직사각형 정보 기반 디지털 카메라의 메타 정보를 이용한 안정적인 보정
편의성	<ul style="list-style-type: none"> 기본 도형(프리미티브) 지원 메시 편집 기능 텍스처 추출 기능 제한적 자동 메시 생성 기능 자동 매칭 기능(불안정) 	<ul style="list-style-type: none"> 곡선 기반 3차원 곡면 생성 메시 편집 기능 텍스처 추출 기능 	<ul style="list-style-type: none"> 기본 도형(프리미티브) 지원 곡선 기반 3차원 곡면 생성* 메시 편집 기능 텍스처 추출 기능
부가기능	<ul style="list-style-type: none"> 영상 내 그래픽 모델 합성 텍스처 좌표 편집 기능 		

주)*: 현재 개발중인 내용임

나, 아직까지도 영상정합과 관련하여 정립된 방법론은 없는 상황이다. 반면, 카메라 보정은 사진측량분야에서 연구가 시작되어 최근 10년 사이에 컴퓨터 비전 분야에서 이론적 기반이 확립되었다. 따라서, 현재 영상기반 모델링 분야에서 상용화되어 있는 대부분의 제품들은 사용자가 필요한 대응점 개수만큼 직접 영상 정합을 함으로써 카메라 보정을 수행한다.

영상기반 모델링 분야의 대표적인 소프트웨어는 프랑스 RealViz사에서 만든 ImageModeler[1]와 캐나다 EOS Systems에서 만든 PhotoModeler[2]가 대표적이다. 국내에서는 (주)일리시스에서 출시한 i.Modeler가 있다. <표 1>은 외국의 영상기반 모델링 소프트웨어와 ETRI에서 개발중인 영상기반 모델링 소프트웨어 3D Modelette의 기능을 비교한 것이다. 이들은 기능상의 큰 차이점은 없고, 사용자 인터페이스와 지원하는 부가 기능의 차이가 있다. 이는 관련 기반 이론의 한계에 기인한 것으로, 상용 제품에서는 이를 수작업을 위한 사용자 인터페이스로 대체하고 있다. ImageModeler는 다양한 사용자 인터페이스와 부가 기능이 돋보이며, PhotoModeler는 카메라 내부 인자의 오프라인 보정을 통해 정확성을 높였다.

영상기반 모델링 기술은 다양한 영상 콘텐츠에 적용되고 있다. 특히, 실제 촬영으로는 연출하기 힘



(그림 2) 영상기반 모델링 활용 사례 (영화 매트릭스 I(상), III(하))

든 카메라의 움직임이 있는 장면에서는 영상기반 모델링 기술로 제작한 디지털 촬영세트가 효과적이다. (그림 2)는 영상기반 모델링 기술을 사용한 영화 매트릭스의 한 장면이다.

3. 향후 과제

ETRI에서 개발중인 3D Modelette은 폴리곤 메시 생성 및 기본 도형 지원, 편집기능, 텍스처 추출 등 영상기반 모델링 소프트웨어의 기본적인 기능을

두루 갖추고 있을 뿐만 아니라, 촬영 조건에 따라 선택적으로 사용할 수 있도록 대응점에 기반한 카메라 보정 방법 외에, 영상 내 직사각형 정보를 이용하는 방법을 지원한다. 직사각형 제약 조건을 이용한 카메라 보정 방법은 영상 정합을 위해 사용자가 입력하여야 할 대응점의 개수를 줄였을 뿐만 아니라, 촬영한 영상들의 줌(zoom)이 일정해야 하는 제약없이 카메라 보정이 가능한 장점이 있다. 또한, 3D Mod-elette에서는 디지털 카메라로 촬영한 영상에서 제공하는 메타정보를 활용함으로써 언제나 안정적인 보정 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

기존 제품과의 차별성 확보를 위해 자동 영상 정합 방법을 개발할 예정이다. 직사각형 제약 조건 외에 카메라 보정 결과를 안정화할 수 있는 다른 제약 조건을 발굴하여, 특정 조건에서는 더 정확한 결과를 얻을 수 있도록 하거나 대응점 자동 매칭을 통해 사용자의 입력을 대폭 줄이는 것도 방법이다.

Ⅲ. 영상기반 렌더링

IBR 기술은 영상들을 이용하여 빠르게 고품질의 새로운 영상을 생성하는 기술로서, 영상으로부터 광원 정보를 이용하여 렌더링하는 경우는 특별히 영상 기반라이팅(IBL) 기술이라고 한다. 그리고, 물체 색을 좌우하는 반사 특성 정보를 이용하는 양방향반사율분포함수(BRDF)와 표면특성을 나타내는 양방향 텍스처함수(BTF)를 이용해 렌더링하는 것도 영상을 이용하므로 넓은 범주에서 함께 다룬다.

1. 기술 동향

IBR 기술은 기본적으로 이미지 재사용을 통해 고품질의 새로운 이미지를 빠르게 생성함을 목적으로 한다. 단순한 이미지 변형을 이용한 시점보간(view interpolation)이나 이미지 변형(image warping)을 기본으로 해서, 시점과 이미지 영역을 나눠 4차원 함수로 정의하여 기하학적 모델 없이 렌더링할 수 있는 light field나 lumigraph 방법과, 영상 내 픽셀

의 깊이 정보를 이용하여 입체감을 높은 계층적 깊이 이미지(LDI) 방법에 샘플링 속도를 향상시키기 위한 LDI tree 기법까지 제시되어 왔다.

Light field 혹은 lumigraph는 그 지점의 모든 방향 내 광휘(radiance)를 미리 계산하고, 저장할 수 있다는 것을 전제로 한다. 이러한 특성을 획득하거나 출력하는 하드웨어 시스템 개발로 효율성을 높이려는 연구가 계획되어 오고 있다.

IBL 기술은 주로 조명 집적구(light probe)를 이용하여 조명데이터를 수집하며, HDRI로 데이터를 만들어 영상 생성의 조명 정보로써 활용하여 실사 영상과 합성을 용이하게 한다[3]. 그리고, 최근에는 HDRI를 표현할 수 있는 하드웨어 시스템에 대한 연구도 진행되고 있다. (그림 3)은 조명 집적구의 한 예와 이를 얻기 위한 실제 촬영 장면이다.



(a) 조명 집적구 (b) 조명 집적구 촬영 장면

(그림 3) 조명 집적구를 위한 촬영

BRDF는 수학적 모델로 제시되어 많이 이용되어 왔다. 최근에는 이러한 수학적 모델보다는 실제 물체를 측정하거나 촬영된 영상으로부터 관련 정보를 추출하는 기술로 발전하고 있다. BRDF 개념을 확장한 SBRDF는 물체 각 지점의 특성이 조금씩 다른 BRDF 특성을 갖는다. 특징을 표현하기 위해 공간적인 영역과 진출입하는 광휘 영역을 고려하여 정의된다. 그리고, 영상으로부터 광원(light)과 뷰(view) 부분으로 요소화(factorization)하여 효율적으로 렌더링하는 연구도 계속 발전하고 있다.

텍스처 기술과 결합하여, BRDF로 물체표면의 근사적인 반사특성을 표현하고, BTF를 이용하여 물체의 세부적인 변화를 렌더링하는 방법도 제시되었다. BTF 기술을 향상시켜 자체 그림자(self shad-

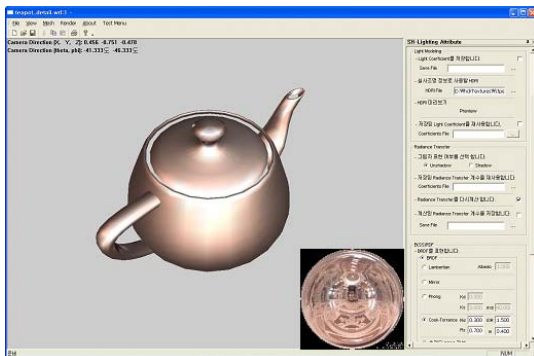
owing), 내부반사(interreflection) 처리가 가능한 TensorTexture 기술도 최근 소개되었다.

색표현모델(color appearance model) 연구는 디스플레이 장치에 의해 표현된 색과 주변 환경 변화에 따른 색을 인지하는 특성에 대한 상관관계를 수학적 규칙으로 모델링하는 것으로, 실제 인간의 색인지 특성을 알기 위해 기본적인 실험 데이터를 근거로 관련연구가 최근 활발히 진행되고 있다[4].

2. 개발 기술

실사 수준의 영상콘텐츠를 제작하기 위해 필요한 사실적인 영상 생성을 위한 HDRI, BRDF, 색표현 모델 생성 관련 기술에 대한 신기술 연구 개발 및 콘텐츠 적용에 대한 연구를 병행하였다.

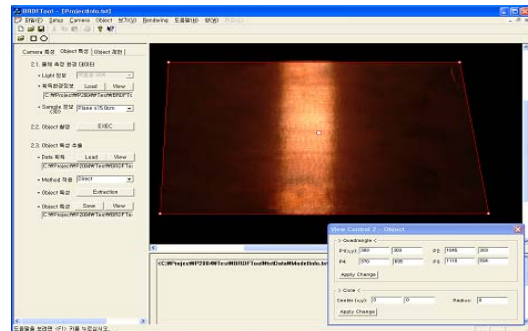
IBL 기술 중 하나인 HDRI 기술은 영상에서 광원 정보를 추출해 사실적인 렌더링을 할 목적으로 개발되었다. 조명 집적구를 이용하여 실제 환경의 광원 정보를 수집하고 이를 빠르고 효과적으로 처리하는 기술을 개발하였다. 구체적으로는 영상으로부터의 Spherical Harmonic을 이용한 조명 모델링 기술, 실측된 BRDF 데이터를 활용한 영상기반 조명 기술, 복잡한 Light Transport 표현 기술 등을 개발하였고, 실사 조명 정보를 활용한 셰이더를 개발하여 콘텐츠에 적용할 수 있도록 하였다. (그림 4)는 개발된 기술로 실사 조명 정보를 획득하여 주전자(utah teapot)를 렌더링한 효과를 보여주고 있다.



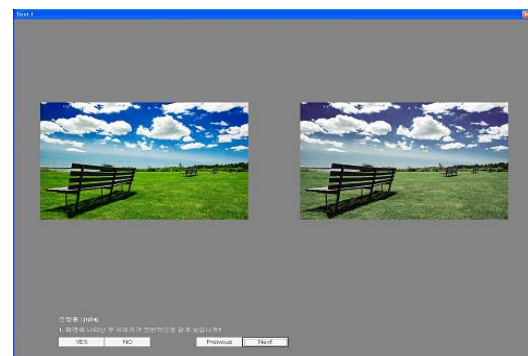
(그림 4) 실사 조명 정보를 이용한 렌더링

BRDF 기술은 물체의 정확한 반사정보 획득을 통해 사실적 렌더링을 하기 위해 개발되었다. 세부 개발 내용은 난반사체 실내 인공물의 BRDF 데이터를 획득할 수 있는 측정 기구, BRDF 데이터를 사실적으로 표현하기 위한 셰이더, 옷감의 난반사 속성을 분리해 처리하는 고품질 질감 표현 셰이더를 개발하여 콘텐츠에 적용하였다. (그림 5)는 영상에서 BRDF를 추출하기 위해 필요한 영역 설정을 처리하고 있다.

색표현모델 기술은 렌더링 결과를 인간적인 색인지 특성에 맞춰 색감을 바꾸거나 렌더링 때부터 고려하여 보다 인간 친화적으로 고품질 렌더링을 하기 위해 연구되고 있다. 현재까지 세부 연구 내용은 렌더링된 영상의 사실감을 평가하기 위한 관찰자 실험 환경 구축 및 실험방법 개발, 렌더링된 정지영상에 대하여 인간 시각특성을 반영하여 사실감 정도를 수치화하는 사실감 예측모델 개발 등이다. (그림 6)은



(그림 5) 영상으로부터 BRDF 추출



(그림 6) 영상 사실감 실험

두 개의 유사 영상에 대한 인간 시각 특성을 테스트 하기 위한 영상 사실감 실험에 활용된 프로그램이다.

개발된 IBR 관련 기술들은 기존 기술에 비해 다음과 같은 우수성을 갖는다.

- 실사 조명 정보와 실측에 의한 BRDF 데이터를 동시에 사용함으로써 고품질 영상 생성
- 카메라의 다분광 민감도(spectral sensitivity) 추정 모듈 개발을 통해 보다 사실적인 물체 표현
- 통계적 방법에 의한 영상 사실감의 과학적 평가

현재는, 디지털액터를 효과적으로 표현하기 위한 렌더링 기술 개발에 역점을 두어 연구하고 있다.

IV. 디지털액터 표현

1. 얼굴 표현

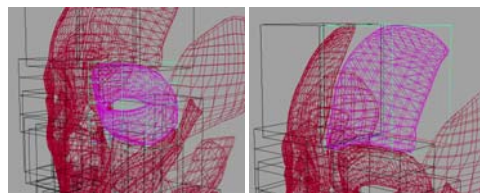
디지털액터 제작 중 가장 많은 시간과 기술이 필요한 분야는 디지털액터 표현, 그 중에서도 디지털액터의 얼굴 표현이라 할 수 있다. 그만큼 사실적인 표현이 요구되기 때문이다. 얼굴 표현은 크게 모델링, 렌더링, 애니메이션으로 구분된다.

디지털액터 얼굴 모델링은 3차원 얼굴 스캐너를 이용하여 정교한 3차원 포인트 클라우드를 얻고 이로부터 3차원 폴리곤 모델을 추출하여 실제 수작업을 크게 줄일 수 있다. 3차원 스캐너로 해결되지 않는 부분인 머리카락과 눈썹 등의 디테일은 수작업을 통해 제작을 한다. 디지털액터 얼굴 렌더링에서 가장 핵심적인 부분은 얼굴의 피부표현에 관한 부분인데 이는 앞에서 설명한 영상기반 렌더링 기술을 이용한다. 디지털액터 얼굴 애니메이션의 방법은 여러 가지가 있을 수 있으나 본 논문에서 제시하는 방법은 해부학적 얼굴 근육 시뮬레이션을 통한 얼굴 표현 재현과 이를 상용 모션캡처 시스템을 이용하여 제어하는 것이다. 해부학적 얼굴 근육 시뮬레이션 방법이 다른 얼굴 시뮬레이션 방법에 대해 갖는 장점은 다음과 같다.

- 얼굴 폴리곤 버텍스를 직접 제어하는 여타 방법에 비해 얼굴 표현을 얻는데 대상의 데이터량이 적음
- 얼굴 근육을 움직여 얼굴 표정을 생성하는 방법 이므로 얼굴 근육의 개수만큼의 조절을 통해 직 관적인 얼굴표정 생성 가능
- 실제 얼굴 표정을 만들어내는 해부학적 메커니 즘을 재현함으로써 해부학적 모듈설계와 이에 따른 모듈변경 용이(특히 피부의 토폴로지 구성 과 얼굴 근육의 움직임에 따른 피부 변화 측면 에서)
- 상용 모션캡처 시스템과의 연동 용이

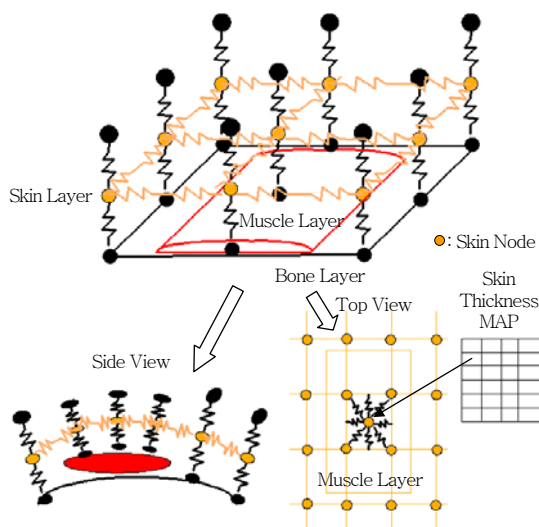
기존의 방법들[5],[6]과 본 방법의 차이는 근육에서 피부로 전달되는 힘벡터를 체적 유지 근육에 대한 사용자의 조작을 통해 생성하고 얼굴피부 토폴 로지에 전달하여 얼굴 표정을 생성한다는 것이다.

사용자가 UI를 통해서 3차원 폴리곤 형태의 이완 된 상태의 근육을 생성하면 이를 체적을 유지하며 수축 이완이 될 수 있게 한다. 기본적으로 augmented Lagrangian method에 기반하여 체적의 변화를 0으로 하며 래티스 버텍스의 움직임을 최소화하는 움직임을 근사화하는 방법이다. 이러한 체적 유지 근육을 통한 수축과 이완을 통해 각 버텍스들의 움직임을 종합하면 근육의 부분에서 어떠한 힘벡 터가 생성되는지 알 수 있다. 피부 토폴로지와 근육 과의 연관 관계를 통해 어떤 버텍스들을 묶어 종합 하여 하나의 힘벡터로 간주하는지 자동으로 계산되 어 지며, 이는 피부두께맵을 통해 사용자가 직접 제 어할 수도 있다. 체적유지근육의 조작은 Maya의 FFD 래티스를 개량하는 형태로 구현하여 사용자가 쉽게 사용할 수 있다(그림 7) 참조).



(그림 7) 얼굴 근육을 위한 체적유지 래티스 디포머

피부 토폴로지는 기본적으로 매스 스프링 댐퍼(MSD) 시스템을 사용하였다. 얼굴 피부 밑에는 얼굴 근육과 해골이 위치하는데 해골은 피부가 움직이지 말아야 할 조건을 제공하며 이 해골의 곡률과 유사하게 얼굴 표정이 변형되도록 한다. 그리고 얼굴 피부와 해골 사이에 근육이 배치가 되는데 피부의 잘못된 변형을 막기 위해 Kahler[5]가 제안한 방법을 병행하여 사용하였다. 그러나 그의 방법은 피부의 잘못된 변형을 제어하는 데는 기여를 하나 피부의 비선형적 움직임을 제어하는 데는 약점을 가지는데 개발된 방법에서는 피부 두께맵을 이용하여 피부 격자 사이를 분할하여 그 분할된 지역에 새로운 매스 스프링을 배치하여 이를 조절하는 방법으로 개선하였다. 그리고 근육의 움직임으로부터 보다 정확하게 얼굴피부로 힘을 전달하기 위해 피부와 근육의 매스 스프링 접점을 주위로 인접한 힘벡터들의 평균합을 통해 보다 정확하고 빠른 연산이 가능하도록 하였다. 해부학적인 얼굴 근육의 움직임은 사전에 피부 토폴로지가 정의되어 있다면 실제 근육을 배치한 것과 같은 효과의 힘벡터의 집합을 사전에 취득 가능하므로 이러한 힘벡터의 집합만으로도 매스 스프링으로 이루어진 얼굴 피부를 제어할 수 있다는 장점을 가진다.



(그림 8) 얼굴 피부를 위한 매스스프링 시스템



(a) 실사 영상 (b) 디지털액터

(그림 9) 실사 영상과 디지털액터의 비교

(그림 8) 시스템은 각 얼굴 근육의 수축과 이완을 0과 1사이에서 제어하는 단순한 UI만을 통해서도 다양하며 사실적인 얼굴 표정을 재현할 수 있다. (그림 9)에서 보듯이 실사 촬영된 사진과 비교해서 큰 손색이 없는 얼굴 표정을 얻을 수 있었다.

2. 옷감 및 헤어 시뮬레이션

완전한 인간 모습을 표현하기 위해서는 머리카락과 옷감은 빼놓을 수 없는 부분이다.

가. 옷감 시뮬레이션

옷감 시뮬레이션에서 중요한 것은 신체의 일부가 옷과 항상 부딪히므로 이에 대한 빠르고 효과적인 충돌 처리를 해야 하며 자연스러운 옷의 움직임이 되도록 균일한 메시를 생성하는 것이다. 또한 옷감의 재질에 따라 움직이는 모습이 달라지므로 이를 고려하여 시뮬레이션 해야 한다. 개발된 옷감 시뮬레이션은 이러한 문제들을 해결함으로써 빠르고 안정적인 결과를 얻을 수 있었다[7].



(그림 10) 옷감 및 헤어 시뮬레이션

특히 끈(string) 시물레이션인 경우 2차원적인 특성을 고려해야 하나 기존의 방법에서는 이를 잘 표현하지 못하고 있다. 끈 시물레이션은 다양한 액세서리를 시물레이션 할 수 있도록 함으로써 애니메이션 전체의 사실감을 더욱 높여준다(그림 10) 참조).

나. 헤어 시물레이션

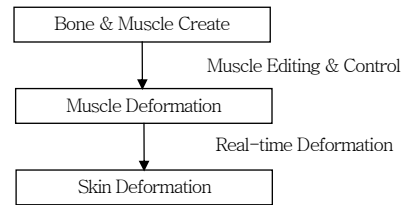
헤어 시물레이션에서의 최근 기술은 다양한 헤어 스타일을 만들 수 있는지에 초점이 맞추어지고 있다. 그뿐만 아니라 머리카락의 신체 부위와의 충돌, 바람에 의한 영향 등을 고려해야 한다. 또한 머리카락을 표현하기 위해서는 최종적으로 렌더링 과정을 거쳐야 하는데 기존의 기술에서는 매우 복잡한 광학 시물레이션 과정을 거치므로 속도가 느리며 콘텐츠에 적용하기 힘들다는 단점이 있다. 개발된 헤어 시물레이션 기술은 다양한 헤어스타일을 구성할 수 있으며 머리카락의 특성에 맞는 셰이더 개발을 통해 비교적 빠른 이미지를 출력할 수 있다.

3. 신체 디포메이션

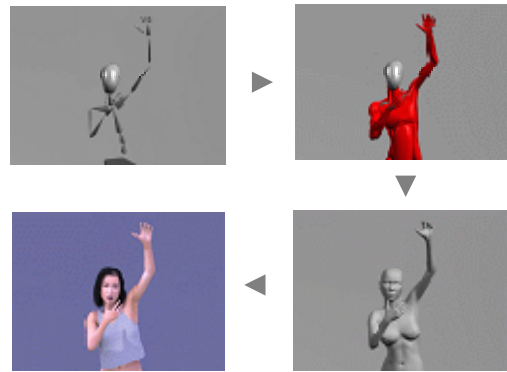
자연스러운 인체 표현과 편리한 캐릭터 셋업을 위한 해부학 기반 신체 디포메이션 기술을 개발하였다. 해부학 기반 디포메이션은 뼈에 의한 영향만 고려되던 기존의 스키닝 방법과 달리 뼈에 연결된 근육과 지방이 뼈의 움직임에 따라 자동 변형되고, 최종적으로 근육과 지방의 움직임에 따라 이에 연결된 피부가 자동으로 디포메이션 되는 방법이다.

실제 사람처럼 근육과 지방이 해부학 기반으로 자동 변형되고 이를 기반으로 피부가 디포메이션 됨으로써 morphing과 수작업에 의한 기존 방법에 비해 자연스러운 인체 표현이 가능하다. 또한, 근육과 지방을 자동으로 피부에 연결하도록 개발함으로써 버텍스 가중치 조절이 필요했던 기존 방법보다 캐릭터 셋업이 훨씬 편리해졌다.

개발 내용은 사용자가 원하는 뼈대 구조와 근육을 UI 조작으로 생성하는 해부학 기반의 캐릭터 셋업 도구와 자동으로 생성된 뼈와 근육에 피부가 연



(그림 11) 신체 디포메이션 기능 흐름도



(그림 12) 해부학 기반 신체 디포메이션 적용 과정

결되어 자연스러운 디포메이션을 자동으로 생성하는 도구 두 부분으로 이루어져 있다. (그림 11)은 기능 흐름도이고 (그림 12)는 실제 적용 과정을 보여주고 있다.

4. 비정형 물체 퍼포먼스 캡처

비정형 물체의 퍼포먼스 캡처 기술은 모션 캡처 장비에 의해 획득된 특정 퍼포먼스를 비정형 3차원 물체에서 재현하는 것이다. 인간의 얼굴 표정은 해부학적 관점에서 1) 목 골격의 움직임에 의한 얼굴 전체 모션(헤드 모션), 2) 하악골(아래턱)의 움직임에 의한 모션(턱 모션), 3) 얼굴 근육에 의한 피부 변화(스킨 모션)가 혼합되어 표현된다.

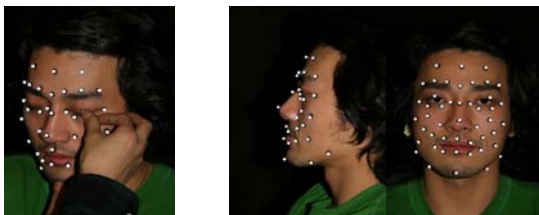
개발 기술은 1) 모션 캡처 데이터를 헤드 모션과 턱 모션, 스킨 모션으로 분해하고, 2) 각 모션을 해당되는 제어 구조(목 골격, 하악골, 얼굴 근육)의 파라미터 변화로 변환하고, 3) 모션 캡처와 동시에 획득한 음성을 분석해서 발음 관련 입술 및 구강구조 움직임을 정교화 한다.

특히 본 기술 중 핵심적인 세부 기술은 1) 모션 캡처 데이터를 텍 모션과 스킨 모션으로 분리하는 기술, 2) 스킨 모션으로부터 근육 제어 파라미터를 추출하는 기술, 3) 입술 및 구강구조 제어를 위해 음성을 음운학적으로 분석하는 기술이다.

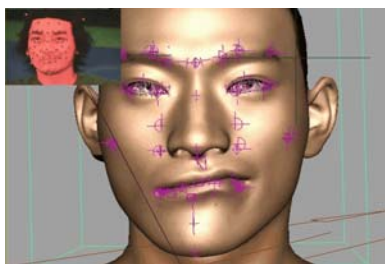
근육 제어 파라미터 추출 기술은 얼굴 표면 영역을 계층적으로 구조화 하여 얼굴 피부의 움직임을 전체에서 세부 영역으로 분석하며 최적의 근육 파라미터 값을 점진적으로 개선한다.

음운학 기반 음성 분석 기술은 음성 기록 데이터와 대사 텍스트를 이용하여 음소/음절별 발음 시간/강도를 추출하고, 한글 음운학의 발음 법칙에 근거한 수학적 조음 모델에 의해 입술 및 혀 애니메이션을 생성한다.

(그림 13)은 퍼포먼스 캡처를 위한 마커 세팅을, (그림 14)는 퍼포먼스 캡처된 결과 예를 보이고 있다.



(그림 13) 얼굴 모션 캡처용 마커 세팅



(그림 14) 퍼포먼스 캡처 예

V. 디지털액터 상호작용

1. 개요

디지털액터는 독립적이지 않고 주변 환경에 많은

영향을 받는다. 발이 땅을 파고 들지 않아야 하며, 계단이나 언덕과 같은 지형이 나오면 그에 해당하는 동작을 해야 한다. 또한 다른 캐릭터와 적절히 작용해야 한다. 이렇게 주변의 환경에 대해 반응하는 것을 상호작용이라 부른다.

디지털액터의 동작을 생성하는 방법은 크게 3가지로 분류할 수 있다. 첫번째는 키프레임 애니메이션 방식으로 애니메이터의 수작업으로 동작을 만드는 것이다. 두번째는 모션 캡처를 이용하는 방법으로 매우 자연스럽다는 장점이 있다. 세번째로는 물리 기반 동작 제어 방식인데 일련의 물리 법칙 혹은 경험적 법칙들을 프로그래밍 하여 동작을 생성하는 방법이다.

특히 쿼터니언을 이용한 동작 보간 방법이 제시된 후로는 모션 블렌딩 기법, 모션 연결 기법, 동역학 시뮬레이션 결과와 모션 캡처 데이터 혼합 기법과 같은 다양한 방법들을 통해 동작을 생성하고 변형하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

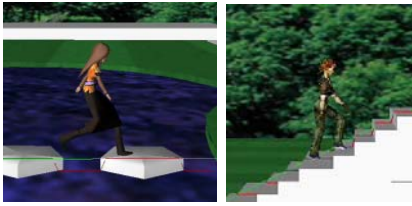
2. 동작 생성 및 변형 기술

모션 캡처 데이터를 이용하여 캐릭터 동작을 제어하는 기술은 꾸준히 발전되어 왔으며 단순히 한 동작 편집이 아닌 여러 데이터들을 이용하여 새로운 동작을 만드는 기술이 개발되고 있다. 모션 캡처 기반 동작 변형 기술은 자동으로 적절한 동작을 찾아 연결함으로써 새로운 긴 모션을 생성할 수 있으며 모션 데이터를 재 사용할 수 있다는 장점이 있다.

다른 연구로는 행동양식을 기반으로 하여 자동으로 움직이는 가상 환경을 구축하는 부분이 있다. 이러한 연구는 동작 데이터 자체보다는 상위 레벨인 인간의 감정이나 행동 성향을 기반으로 스스로 동작을 선택하는 방식을 제시하고 있다[8].

본 논문에서 제시하는 방법은 위에서 언급한 두 가지 방법을 혼합한 것으로 주변 환경을 인식하여 스스로 동작을 선택할 뿐만 아니라 환경에 따라 동작을 변형하는 기법이라고 할 수 있다.

주변 환경 인식을 위해 환경은 영역 맵 기반으로



(그림 15) 동작 변형 결과

구성되며 key posture 기반으로 유사도를 측정하여 적절한 동작 집합을 찾게 된다. 또한, 동작 변형을 위해 multi-layer 기반 블렌딩 기법을 개발하였다.

(그림 15)는 개발된 동작 변형 기술을 사용하여 단순 걷기 동작을 징검다리 건너기와 계단 오르기로 변형한 결과이다.

3. 군중 시뮬레이션 기술

최근 게임, 영화에서 대규모 군중 장면을 쉽게 볼 수 있다. 특히 ‘반지의 제왕,’ ‘트로이,’ ‘태극기 휘날리며’ 등에서는 군중 장면으로 인해 스펙터클한 장면을 연출할 수 있었다. 군중은 주인공에 비해 비중은 작지만 전체적인 콘텐츠의 품질에 영향을 주며 전체적인 흐름뿐만 아니라 각 객체들의 동작 및 상호작용 또한 중요한 요소이다.

기존의 방법은 파티클이나 간단한 오브젝트를 이용하여 시뮬레이션을 한 후 반복되는 동작을 갖는 몇 개의 캐릭터들을 이용해 무작위로 대치하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이러한 방법은 복잡한 환경에 적용하기는 부적합하다.

최근 영화에 사용되고 있는 Massive, Endorphin, Behavior와 같은 상용 소프트웨어는 성능이 우수하지만 복잡하고 프로그래밍 기반이어서 애니메이션이 배우기 어려운 단점이 있다.

본 논문에서 개발된 군중 시뮬레이션 도구는 사용자가 입력할 수 있는 UI 부분, 군중 생성 및 배치 부분, 시뮬레이션 적용 부분, 동작 적용 및 변형 부분으로 구성되어 있다.

UI 부분은 상용 소프트웨어인 Maya®에서 제공하는 스크립트 기반으로 구성되어 있으며 UI를 통해 군중의 속성을 지정할 수 있다. 군중 속성에 따라

다양한 형태의 군중 장면이 나타날 수 있다.

입력된 값에 따라 군중을 생성하고 배치하게 되면 시뮬레이션이 시작된다. 군중은 각각의 캐릭터들이 모여 이루어진 것이므로 각 캐릭터마다 개인의 동작을 적용하면 군중의 움직임이 될 수 있다. 개별적인 동작을 생성하기 위해서 각 캐릭터마다 두뇌(brain)와 센서(sensor)를 연결하였다. 센서에서는 자신의 주변에 있는 캐릭터나 장애물들을 인식하게 된다. 인식된 정보를 두뇌에 전달하면 지형 정보와 함께 판단하여 이동해야 할 위치 및 속도를 계산하고 어떠한 동작을 해야 할지 선택하게 된다.

만일 서로 부딪히거나 공격당했을 때 쓰러지는 동작이 필요한 경우에는 물리기반 시뮬레이션을 이용하여 동작을 생성함으로써 더욱 자연스러운 결과를 얻을 수 있었다.

쓰러지는 동작이 아닌 경우에는 앞에서 선택된 동작을 위해, 동작 적용 및 변형 부분에서 실제로 모션 캡처 데이터를 가공하여 적용하게 된다. 두뇌에 의해 결정된 속도에 해당하는 동작이 없을 수 있으므로 기존 데이터를 이용하여 적절한 동작을 생성하는 것이 요구되며, 언덕의 기울기나 계단의 높이 등 지형 정보에 따라 적절한 동작으로 변형하는 것이 필요하다.

사용되는 캐릭터는 23개의 관절을 가지고 있는데 메모리 사용을 줄이기 위해 모션 캡처 데이터를 씬에도 불구하고 키프레임을 정의해 사용하였다. 모션 LOD 기법은 가상 카메라와 캐릭터 사이의 거리를 기준으로 멀리 있는 캐릭터에는 원본 동작으로 복원이 가능할 정도의 최소한의 키 값만 넣어주는 방법으로 메모리 사용량을 줄임과 동시에 속도의 향상을 얻을 수 있었다.

기존에는 물고기나 새와 같은 사물을 boid라는 하나의 객체로 보고 시뮬레이션 하였으나 다 관절을 갖는 객체에는 적용할 수 없었다. 본 논문에서 제시한 방법은 인간형 캐릭터에만 국한되지 않으며 물고기 떼와 같은 장면에도 적용할 수 있다. 물리 기반 시뮬레이션 엔진을 이용하여 다 관절체로 모델링된 물고기가 그물 안에서 상호작용하며 움직이는 모습



(그림 16) 군중 장면 및 물고기 군집 장면

을 생성할 수 있었다(그림 16) 참조).

Ⅵ. CG/실사 합성

1. 배경

최근 영화 제작에서는 CG 기술이 흥행 성공 여부를 결정 짓는 역할을 많이 한다. ‘스타워즈 에피소드,’ ‘매트릭스,’ ‘해리포터,’ ‘반지의 제왕’ 등과 같이 대부분의 헐리우드 영화에서는 스펙터클한 장면과 지금까지는 상상으로만 그쳤던 장면들이 CG 기술을 통해 많이 연출되었다. 특히, 1954~1955년에 옥스포드 대학의 J.R.R. 톨킨 교수에 의해 만들어지고 전세계적으로 1억 6천만 부가 팔린 ‘소설 반지의 제왕’이 CG 기술이 발달한 현재에 와서야 영화화 되었는데 CG/실사 합성 기술의 발전이 있었기 때문이다.

2. 기술 동향 및 콘텐츠 적용 사례

CG/실사 합성 기술이란 카메라로 촬영한 실사 영상과 컴퓨터로 제작한 CG 영상을 합성하여 결과 영상을 만들어 내는 기술이다. Blue screen을 이용한 아날로그 방식의 크로마킹 기법을 통한 영상 합성이 전통적으로 사용되고 있으나, 최근에는 영화, 방송 등의 모든 매체가 디지털화됨에 따라 자동적인 영상 합성기술이 개발되고 있거나 일부가 상용화되고 있다.

특수 효과의 경우 대부분 미니어처 제작 및 촬영을 통해 영상 합성으로 영상물이 제작되었으나 최근에는 CG 모델링을 통해 실제와 같은 다양한 특수 효과가 만들어지고 있으며 이에 대한 특수효과 플러

그 인 소프트웨어 기술이 활발히 개발되고 있다. 특수 효과 기반의 영상 변형 기술은 ‘미이라,’ ‘슈렉,’ ‘스파이더맨’ 등에 적용되었으며, 물리 기반 특수효과 제작 기술의 경우 ‘매트릭스,’ ‘미이라,’ ‘스타워즈 에피소드,’ ‘반지의 제왕’에 적용되었다.

카메라 위치정보 추출에 의한 실사와 그래픽 영상의 합성기술의 경우 ‘해리포터,’ ‘반지의 제왕’ 등에 광범위하게 사용되었다. 최근에는 영국 Bristol 대학 및 미국 RTT대를 중심으로 컬러 어피어런스 기술을 이용하여 영상 합성의 품질을 높이고자 하는 연구가 수행되고 있다.

현재까지의 카메라 트래킹 기술[9],[10]은 적용 가능 영상 시퀀스의 종류에 제약이 있다. 또한, 일반적인 배경에 CG로 만든 객체를 정합시킬 때에는 디자이너의 수작업으로 배경 기하를 추출하는 기법이 많이 활용되고 있으며, 많은 시간이 소요되므로 이에 대한 자동화 연구가 필요한 실정이다. 그리고, Mokey, Combustion 등의 소프트웨어를 통해 움직이는 물체를 자동 삭제하고 해당 부분의 배경을 복원하는 기법이 많이 활용되고 있으나, 전봇대 등과 같이 움직이지 않는 물체를 삭제하고 배경을 복원하는 기술이 없기 때문에 많은 수작업을 통해 결과 영상을 만들어 내고 있다.

3. 개발 기술

가. 카메라 트래킹 기술

비디오 카메라로 촬영한 영상 시퀀스를 이용해서 카메라 정보를 자동으로 추출하는 기술이다. 이 기술은 비디오를 촬영할 때 사용한 카메라의 내부 특성과 카메라가 움직인 경로를 자동으로 추출하는 기술로 최근 영화에서 볼 수 있는 CG 영상과 실사 영상이 합성된 영상을 만드는 데 필수적인 기술이다.

(그림 17)은 영상 시퀀스에서 코너에 해당되는 특이점을 검출하고 이들을 추적한 결과를 나타낸다.

(그림 17)에서 노란색으로 이어진 점들의 추적 결과를 분석하여 영상 정합을 수행하게 되면 매 프레임에서의 카메라 위치, 자세, 초점 거리를 자동으



(a) 특이점 검출 결과 (b) 특이점 추적 결과
(그림 17) 카메라 모션 작동 트래킹을 위한 영상 시퀀스 분석

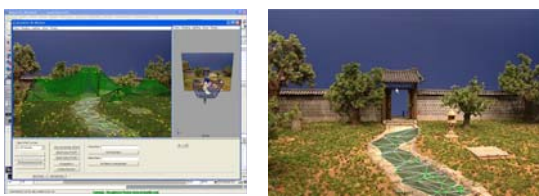
로 추출할 수 있다. 본 논문에서는 키프레임과 trifocal tensor에 의한 카메라 모션 복원 기법을 개발하였으며, 추출된 카메라 정보는 Maya 데이터 포맷으로 저장되어 CG/실사 합성에 편리하게 이용될 수 있도록 하였다.

나. 배경 기하정보 추출 기술

기존에 수작업으로 배경 기하 정보를 추출하던 과정을 자동화 할 수 있도록 하였다.

카메라 트래킹이 끝나면 특이점들의 3차원 좌표를 부산물로 얻을 수 있다. 또한, 사용자가 원하는 점의 3차원 위치도 스테레오 정합 기법을 이용하여 용이하게 얻을 수 있다. 이들 점들을 이용하여 자동으로 삼각화(triangulation) 할 수 있는 기법을 개발하고 이를 Maya 플러그인 소프트웨어로 구현하였다.

(그림 18)에서 보듯이 노란색으로 표시된 3차원 점들은 카메라 트래킹 과정을 거치면 자동으로 검출된다. Regression 기법으로 각 점들로부터 가장 가까운 평면을 하나 구한 후, 각 점들을 평면에 투영(projection)시키고, 이 평면에 존재하는 점들로



(a) Maya 플러그인 S/W로 구현된 자동 삼각화 기법 적용을 통한 배경 기하 추출 결과 (b) 길 부분 선택을 통한 3차원 기하 구조 추출 결과

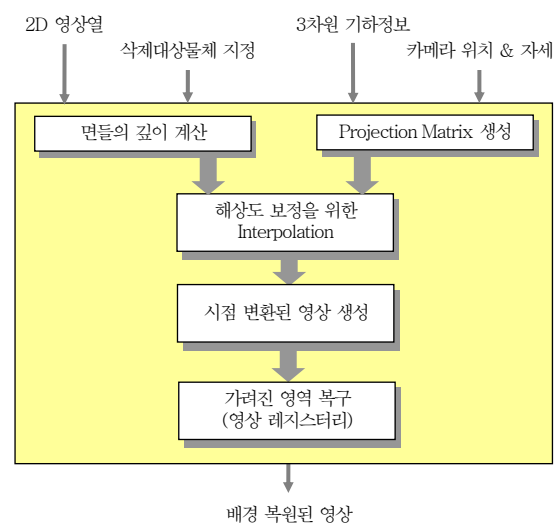
(그림 18) 영상 합성을 위한 배경 기하 자동 추출 예

Delaunay 삼각화를 시행한다. 그리고, 평면 위 점들을 다시 원래의 3차원 좌표로 복원하고, 삼각형을 형성하는 3점들을 단위로 하는 삼각형 리스트를 구하면 된다. 그러면 그림에서 보듯이 배경 기하 구조를 반영하는 연결된 삼각형들이 형성되게 된다. 이러한 리스트 중에서 사용자가 원하는 부분을 선택하면 그림에서 보는 바와 같이 돌담길에 대한 3차원 기하 구조를 얻을 수 있다. 따라서, 사용자가 원하는 임의의 배경에 CG 객체 등을 매우 용이하게 합성할 수 있게 된다.

다. 정적 물체 삭제 및 배경 복원 기술

본 연구에서는 (그림 19)와 같은 과정으로 정적 물체를 삭제하고 가려졌던 배경을 복원할 수 있는 기술을 개발하였다.

물체에 의해 가려진 배경을 관측할 수 있는 타시점의 영상을 카메라 3차원 정보를 이용하여 배경 복원하고자 하는 시점의 영상으로 만들고, 3차원적인 변형에 의한 영상의 열화 현상을 영상 interpolation 기법으로 해상도 보정한 후, 삭제시키고자 하는 영역에 삽입함으로써 정적 물체를 자동 삭제하고 배경을 복원하는 결과를 얻도록 하였다. 그에 대한 결과는 (그림 20)과 같다.



(그림 19) 정적 물체 삭제 및 배경 복원 기법 순서도



(a) 삭제 대상 영역이 마킹된 영상



(b) 대상 영역 삭제 및 배경 복원 결과

(그림 20) 정적 물체 일부분 삭제 및 배경 자동 복원

그림에서 보는 바와 같이, 가려진 영역을 관측할 수 있는 타시점 영상을 3차원적 변형과 해상도 보정을 통해 삽입함으로써 해당 영역을 삭제하고 배경 복원된 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

VII. 결론

최근의 영상 콘텐츠에서 CG 기술의 중요성은 날이 갈수록 커지고 있다. 소수의 메이저 제작사가 인하우스 소프트웨어 형태로 기술을 독점하고 있어 첨단 CG 기술의 독자 개발이 불가피한 상황이다.

본 논문에서는 실사 수준의 디지털 영상 콘텐츠 제작을 위한 영상기반 모델링 기술, 영상기반 렌더링 기술, 디지털액터 얼굴, 옷감, 머리카락, 신체 표현 기술, 디지털액터 상호작용 기술, CG/실사 합성 기술 개발 내용과 최신 기술 동향을 소개하였다.

실제 배우와 유사한 수준의 엑스트라급 디지털액터 제작 도구와 디지털 환경 제작 도구를 개발하였다. 최종적으로는 실제 배우 대신 사용 가능한 수준의 주연급 디지털액터 및 디지털 환경 제작 도구를 개발할 예정이다.

약어 정리

BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Function
BTF	Bidirectional Texture Function
CG	Computer Graphics
HDRI	High Dynamic Range Image
IBL	Image-Based Lighting
IBR	Image-Based Rendering
LDI	Layered Depth Image
LOD	Level of Detail
MSD	Mass-Spring-Damper
NURBs	Non-Uniform Rational B-spline
SBRDF	Spatial BRDF
UI	User Interface

참고 문헌

- [1] ImageModeler, <http://www.realviz.com/products/im/index.php>
- [2] PhotoModeler, <http://www.photomodeler.com>
- [3] <http://www.debevec.org/>
- [4] Charles Poynton, "Color Science and Color Appearance Models for CG, HDTV, and D-cinema," *SIGGRAPH 2004*, Course Note, 2004.
- [5] K. Kahler, J. Haber, and H. Seidel, "Geometry-based Muscle Modeling for Facial Animation," *In Proc. Graphics Interface 2001*, pp.37-46.
- [6] Y. Zhang, E.C. Prakash, and E. Sung, "A New Physical Model with Multilayer Architecture for Facial Expression Animation Using Dynamic Adaptive Mesh," *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*, Vol.10, No.3, May/June 2004.
- [7] Kwang-Jin Choi and Hyeong-Seok Ko, "Extending the Immediate Buckling Model to Triangular Meshes for Simulating Complex Clothes," *Eurographics 2003*, Granada, Spain, Sep. 2003.
- [8] D. Thalmman, S.R. Muss, and F. Garat, "Guiding and Interacting with Virtual Crowds," *In Proc. of EUROGRAPHICS Workshop on Animation and Simulation*, 1999, pp.22-34.
- [9] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2000.
- [10] Peter Sand and Seth Teller, "Video Matching," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.22, No.3, July 2004, pp.592-599.