디지털 크리처 제작 기술 동향

Trends of Digital Creature Production Technology

융합 시대를 주도할 디지털콘텐츠 기술 특집

김재헌 (J.H. Kim) 디지털액터연구팀 선임연구원
성만규 (M.K. Sung) 디지털액터연구팀 선임연구원
김상원 (S.W. Kim) 디지털액터연구팀 선임연구원
장성준 (S.J. Chang) 디지털액터연구팀 선임연구원
김예진 (Y.J. Kim) 디지털액터연구팀 연구원
최병태 (B.T. Choi) 디지털액터연구팀 팀장

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 실사수준의 외형 표현 및 합성 기술
Ⅲ. 애니메이션 기술
Ⅳ. 디지털 식물 제작 기술
Ⅴ. 제작 생산성 향상 기술
Ⅵ. 라이브러리 구축
Ⅶ. 영상 제작을 위한 유틸리티
Ⅷ. 결론

* 본 연구는 정보통신부/정보통신연구진흥원과 문화관광부/한국문화콘텐츠진흥원이 공동으로 추진하는 '디지털 크리처(Creature) 제작 S/W 개발' [IT성장동력기술개발사업] 사업의 일환으로 수행하였음.

디지털 크리처란 인간, 동물 그리고 영화 "반지의 제왕"의 "골룸"이나 영화 "괴물"의 "괴물" 같은 상상 속의 캐릭터뿐만 아니라 나무나 숲과 같은 식물을 포함한 실사 수준의 영상으로 표현되는 디지털 생명체를 의미한다. 최근 전세계적으로 흥행에 성공한 블록버스터급의 영화는 대부분 발전한 CG 기술을 바탕으로 감독의 상상력이 그대로 영상으로 옮겨진 디지털 크리처가 등장하고 있으며 이로 인해 종래의 단편적인 역할에서 영화의 흥행을 좌우하는 핵심 기술로서 자리잡아 가고 있다. 특히, 영화 등 디지털 콘텐츠의 세계시장 규모를 생각하면 이러한 기술의 경제적인 중요성은 매우 크다고 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 디지털 크리처를 제작하기 위해 필요한 대표 기술들의 기술동향을 분석하고자 한다.

Ⅰ. 서론

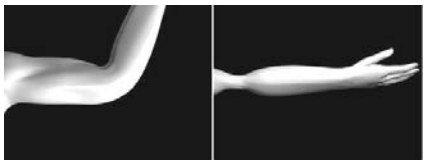
세계 디지털 콘텐츠 시장은 매년 15%의 높은 성장률을 보이고 있으며 이 중 50%를 차지하고 있는 디지털 영상 콘텐츠 시장은 2010년 2360억 달러로 성장할 것으로 예측되는 매우 거대한 시장이다. 최근 흥행에 성공한 블록버스터급 영화에는 감독의 상상력을 그대로 영상으로 옮겨 놓은 디지털 크리처가 등장하여 관객에게 지금까지 볼 수 없었던 볼거리를 제공하는 동시에 표현의 한계를 넘어서는 다양한 장르의 영상을 제공하여 관객을 극장으로 유도하는 중요한 요소로 작용하고 있다. 따라서 디지털 크리처 기술은 디지털 영상 시장의 점유를 위한 필수적인 기술로 점차 중요성이 크게 부각되고 있다. 본 논문에서는 이러한 디지털 크리처 제작기술의 대표 기술들에 대한 동향을 분석한다.

Ⅱ. 실사수준의 외형 표현 및 합성 기술

1. 크리처의 부드러운 몸체 움직임 표현 기술

영화 "괴물"에서와 같이 크리처의 부드러운 몸체(soft body)의 움직임을 표현하는 기술은 주로 모델의 뼈대 구조에 기반한 스키닝(skinning) 애니메이션 기법을 적용하고 있다. 스키닝 애니메이션 기법은 크게 선형 블렌드(linear blend), 포즈 공간 변형(pose space deformation), 해부학 모델(anatomical model) 기반으로 나뉘어진다.

국내외 게임회사들은 캐릭터를 구성하는 3차원 메시(mesh)를 캐릭터의 움직임에 따라 변형하기 위해 메시의 각 꼭지점의 위치를 캐릭터의 관절 위치에 결합시켜 선형 블렌딩하는 방법을 많이 사용한다. 하지만, 이 방법은 게임과 같이 유저와의 상호작용이 중요한 실시간 애플리케이션에 적당한 반면 근육의 팽창이나 수축에 따른 자연스러운 메시의 변형은 표현하기 힘들기 때문에 영화나 TV 방송 등과



(그림 1) 선형 블렌드(SSD)

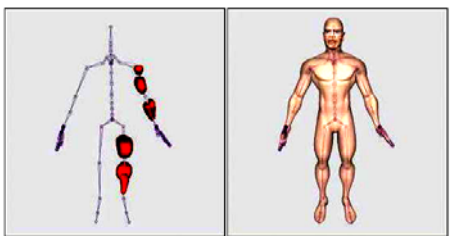
같은 고품질 영상에 적용하기에는 어렵다((그림 1) 참조).

SSD의 단점을 극복하고자 제안된 방법으로 미리 변형된 예제 shape skin을 준비하고 그 사이는 보간(interpolation)하여 좀 더 부드럽고 사실적인 근육 시뮬레이션 결과를 보여주는 PSD 방법이 있다((그림 2) 참조). 하지만 이 방법은 예제 shape skin을 원하는 동작마다 미리 준비해야 하는 단점때문에 복잡한 구조를 가진 모델에 적용하기에는 어렵다.

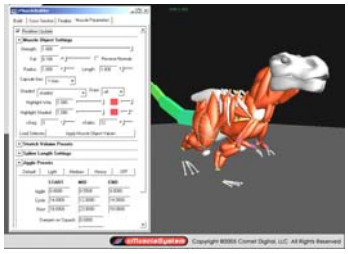
(a) PSD (b) SSD (c) Examples

(그림 2) PSD와 SSD의 비교

최근에는 사실적인 스킨 변형을 표현하기 위해 캐릭터를 근육과 스킨으로 구분하는 해부학 모델 방법이 토론토 대학을 중심으로 제안되었다((그림 3) 참조)[1]. 이 방법은 캐릭터가 해부학적 구조가 되어 있다고 가정하여 스킨과 근육으로 구분하고 근육이 변형됨에 따라 붙어 있는 스킨도 자동으로 변형되는 기법이다. 근육을 변형하는 방법에는 물리법칙을 이용한 질량-스프링(mass-spring) 모델과 유한 요소 모델(FEM), 동역학 모델(inverse kine-



(그림 3) 해부학 모델



(그림 4) Comet Muscle System

matic model) 혹은 순수 기하학적 방법 등을 이용한다.

Maya나 3D MAX와 같은 상용 소프트웨어에는 메시 변형을 위한 기능을 지원하고 있으며, 이와 별도로 대상 모델에 쉽게 스키닝 애니메이션을 적용하기 위한 외부 plug-in이 제공되고 있다. 대표적으로 Comet Muscle System, CorrectiveShape, HyperMatter, Bone Pro3, Creature Creator 등이 있으며 각 툴은 선형 블렌드 혹은 물리 기반 동역학 기법 등을 사용한다((그림 4) 참조).

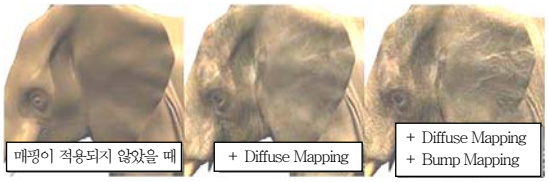
2. 크리처의 3차원 피부 질감 및 털 표현 기술

크리처 모델의 표면은 최신 렌더링 기법을 사용한다 하더라도 실제 모델과 같은 디테일을 표현하기는 어렵기 때문에 사실적인 피부 질감 및 털 표현을 위해선 texture mapping 기술이 필수이다.

Texture mapping은 texture 이미지를 취득하고 mapping 좌표계를 설정한 후 모델에 투영하는 단계로 나뉘어진다. Mapping에 사용되는 입력 이미지는 모델 표면의 특성을 표현하기 위해 diffuse나 normal 값 등을 저장하고 있는데 최근에는 표면의 디테일을 높이기 위해서 여러 개의 map을 동시에 적용하고 있다((그림 5) 참조).

● 용 어 해 설 ●

Texture Mapping: 외부에서 주어지는 값(diffuse, opacity, shininess 등)으로 변수나 색상 값을 대체하는 과정이다. 주로 비트맵 이미지를 사용하여 모델 표면의 무늬(색상)를 결정한다.

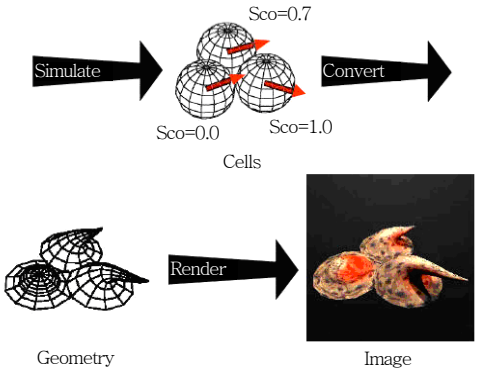


(그림 5) Mapping의 효과

Texture mapping은 모델 표면의 지형을 변화시켜 원하는 피부 질감을 나타내는 방법과 특정 map을 사용하여 모델 표면의 지형 정보의 변화 없이 표면의 디테일을 높이는 방법으로 나뉠 수 있다. 또한, 최근에는 조명 함수 및 표면의 Mesostructure를 표현하여 피부 질감을 향상시키는 방법이 제안되고 있다.

모델 표면의 지형을 변화시키는 기술로는 displacement mapping이 가장 대표적이다. 이 mapping 방법에서는 모델 표면의 지형을 height map의 밝기 값에 따라 변형시켜 폴리곤 수를 증가시켜 표면의 디테일을 향상시킨다. Fleischer 등이 제안한 cellular texture 기법[2]에서는 위치, 방향, 모양, 길이 벡터를 가진 구(sphere) 모양의 cell 개체를 파티클 시뮬레이터를 이용해 변형하여 피부의 표면을 모델링하기 때문에 비늘, 가시, 털과 같은 정교한 모양의 스킨 모델과 texture를 생성할 수 있다((그림 6) 참조).

Normal map을 이용하여 모델 표면의 지형 변형 없이 표면의 디테일을 표현하는 bump mapping 및 normal mapping 기법은 표면에 울퉁불퉁함이나 주



(그림 6) Cellular Texture

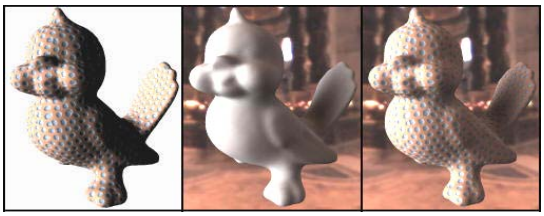
(그림 7) 동물 표피의 패턴 합성

름 등의 볼륨감을 주는 데 주로 사용된다. 모델 표면의 normal 값 변화를 따로 이미지로 저장해서 사용하기 때문에 표면의 지형 변형 및 폴리곤의 증가가 없고 게임과 같이 실시간성이 중요한 콘텐츠에 많이 적용되고 있다. 특히, 동물의 피부를 표현하는 texture mapping 기법이 많이 연구되고 있는데 reaction-diffusion을 이용한 합성 기법은 일정한 패턴 무늬를 가지고 있는 동물의 표피를 표현하는 데 사용된다[3]. 여기에 동물 모델의 부위에 따라 연속적으로 변화하는 무늬 패턴의 표현이 가능한 progressively-variant texture 기법도 제안되었다((그림 7) 참조)[4].

최근 texture mapping 기술은 2차원적인 map의 사용을 뛰어 넘어 보다 사실적인 3차원적인 표면의 질감을 표현하기 위해 조명의 반사 조건과 표면의 Mesostructure를 표현하기 위한 연구가 활발히 진행중이다. 물체의 표면에 반사되는 빛의 영향으로 생기는 그림자를 나타내기 위한 양방향 반사율 분포 함수(BRDF)[5]와 이를 texture에 적용한 양방향 텍스처 함수(BTF) 기법[6]은 기존의 평평하고 밋밋한 피부에 질감 특성을 반영하여 파충류와 같은 거친 피부에서 어류의 반짝이는 비늘까지 더욱 사실적인 피부 질감 표현이 가능해졌다.

특히, 물체의 BTF에 사전 컴퓨팅 처리된 래디언트 변환(PRT)을 추가한 bi-scale radiance transfer 기법은 물체 표면에 반사하는 빛뿐만 아니라 주위 조명의 환경까지 고려해 매우 사실적인 피부 질감을 표현하고 있다((그림 8) 참조)[7].

사실적인 깃털의 표현을 위해서는 parametric L-system과 BTF를 이용한 기법이 제안되어 다양한 깃털의 표현이 가능하다((그림 9) 참조)[8]. 하지



(a) BTF (meso-scale) (b) PRT (macro-scale) (c) Bi-Scale

(그림 8) Bi-Scale Radiance Transfer

(그림 9) Realistic Features

만, 이 방법은 깃털의 복잡한 구조 때문에 애니메이션에 적용하기 어려운 한계점을 개선해야 한다.

피부 질감 표현을 위한 상용 소프트웨어로는 Soft-Image XSI & Face Robot, Pixar RenderMan, JoeAlter Shave & Haircut, Maxon BodyPaint3D 등이 있으며 대부분 Maya나 3D MAX의 plug-in을 지원한다.

Ⅲ. 애니메이션 기술

본 장에서는 디지털 크리처의 움직임을 표현하는 애니메이션 기술 동향에 대해 기술한다. 디지털 크리처의 애니메이션 기술은 흔히 전통적인 키프레임 방식으로 제작되는데, 영화 등 상용 콘텐츠에 활용되기 위해서는 고도로 숙련된 애니메이터들의 많은 시간을 들인 수작업을 필요로 한다. 최근에는 이와 같은 시간과 노력을 필요로 하는 크리처의 애니메이션 제작을 쉽고 편리하게 하기 위한 기술들이 제안되고 있다. 대표적으로 본 장에서는 동작복제 기술, 애니메이션 저작을 위한 사용자 인터페이스 기술, 모션 퀄리티 향상을 위한 동작 필터링 기술, 집단 크리처 동작 처리 기술, 그리고 모션 라이브러리 확장 기술에 대한 국내외 기술 동향에 대해 설명한다.

1. 동작 복제 기술

인간형 캐릭터와는 달리 비인간형 크리처의 애니메이션은 생성하기 어렵다. 또한 인간형 크리처와는 달리 인간이 느끼는 다양한 감정에 따른 세밀한 동작을 표현하기는 기술적으로 더욱 어렵다. 이를 위해서는 인간형 크리처로부터 얻은 애니메이션 데이터를 비인간형 크리처로 복사(copy)하는 기술이 연구되고 있다((그림 10) 참조).

인간형 캐릭터의 동작에 대해서는 카네기멜론 대학, 위싱턴 대학, MIT, 위스콘신 대학을 중심으로 모션 캡처 데이터를 변형/편집하여 애니메이터들이 원하는 동작을 쉽게 생성할 수 있도록 하는 기술들이 제안되고 있다[9]-[12]. 상용 소프트웨어인 Maya의 경우, 기존의 모션 재편집을 위해 모션 리디렉션이나 계층 구조가 다른 골격구조간의 애니메이션 데이터에 회전 데이터를 추가할 수 있는 모션 리타깃팅 등 애니메이션 제작 도구가 크게 강화되었다[13]. 특히 이 두 가지는 과거에 만든 캐릭터의 모션 데이터를 다른 캐릭터(예: 사람과 새처럼 몸체 구조가 다른 것)에 적용시 유용하고 직선 경로를 걷는 캐릭터를 바탕으로 해서 커브를 도는 애니메이션을 만들 때 사용자의 노력을 상당부분 덜어 준다. 3D MAX의 경우에는 크기 및 골격구조가 서로 다른 biped의 정확한 IK 포지션을 유지하면서 모션을 재설정하게 해주는 기능이 있다[13].

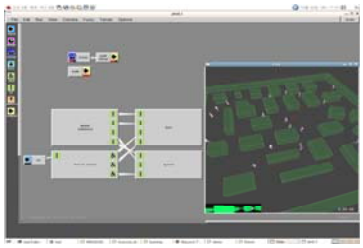
(그림 10) 비인간형 크리처로의 동작 복제

● 용 어 해 설 ●

Biped: 3D MAX에서 사용하는 표준 캐릭터 구조

2. 애니메이션 저작 사용자 인터페이스

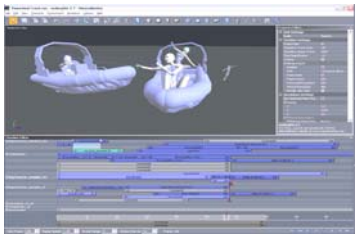
애니메이터들이 원하는 신(scene)을 저작하기 위해서는 애니메이터들에게 다양한 제어방법을 제공해 주어야 한다. 이를 위한 사용자 인터페이스가 중요한 문제로 최근 대두되고 있다. 특히 수많은 크리처들이 등장하는 신을 저작하기 위해서는 크리처들을 개별로 제어하지 못하므로 알고리듬을 이용해 자동으로 각각의 크리처를 제어하도록 하여야 한다. 대표적인 군중 시뮬레이션 소프트웨어인 massive에서는 massive-brain editor((그림 11) 참조) 기능을 통해 agent의 인공지능 구현을 위한 fuzzy 기반 회로를 편집하는 툴을 제공한다[14]. 마야 플러그인 소프트웨어인 AI/Implant의 경우, 영화나 애니메이션에서 새나 물고기가 군집하거나 격투하는 군중 등의 장면을 제작할 때 캐릭터의 움직임이 서로 영향을 주는 작업을 용이하게 하기 위해 스크립트 기반 사용자 인터페이스를 제공하여 원하는 군중의 행동양식을 기술하도록 하고 있다[15]. 순수 인공지능용 사용자 인터페이스로 프랑스의 MASA라는 인공지능 전문 벤처기업이 들고 나온 세계 최초의 상용 인공지능 엔진인 DirectIA의 경우에는 그래프 기반 사용자 인터페이스를 이용해 인공지능 회로를 구현하도록 하고 있다[16].



(그림 11) Massive Brain-Editor 사용자 인터페이스

3. 동작 필터링 기술

키 프레임 방식으로 제작된 크리처 애니메이션은 수작업을 통해 제작되는 게 보통이므로 흔히 물리적으로 타당하지 않은 모션이 생성된다. 이를 물리적으로 타당한 모션으로 변환하기 위해 필터링을 통해

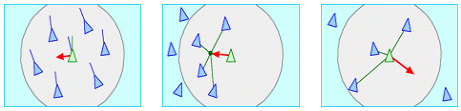


(그림 12) 엔돌핀 실행화면

모션을 변환한다. 동경 대학의 카츠 야마네 연구팀은 물리적으로 유효하지 않은 사람의 동작을 입력받아 유효한 동작으로 바꿔주는 동역학 필터를 개발하였다[17]. 이 기술은 다양한 걸음새가 존재하는 4족 동물의 경우에는 물리적으로 유효한 동작만으로는 자연스러움을 보장할 수 없어 적용이 곤란한 단점이 있다. 영국 내츄럴 모션사의 엔돌핀(endorphin)((그림 12) 참조)은 인간형 캐릭터의 동역학 시뮬레이션과 사전 정의된 간단한 동작 제어 리스트를 통한 부분적인 행동양식 표현이 가능하나 인간에 국한되어 있으며 사용자가 제어 가능한 제어기가 존재하지 않는다[18]. 대표적인 3D 소프트웨어인 Maya는 내부 컴포넌트인 dynamics를 이용해 동역학을 표현한다. 이 컴포넌트는 질량-스프링 모델을 이용하여 소프트한 크리처 몸체, 유체 및 옷감 등을 자연스럽게 표현한다[13].

4. 집단 동작 처리 기술

최근 영화에 등장하는 크리처는 주연급에 해당하는 캐릭터뿐 아니라 엑스트라에 해당하는 수많은 집단 크리처가 흔히 등장한다. 이를 시뮬레이션 하기 위해서는 각각의 크리처가 자신의 행동을 결정할 수 있도록 자율성(autonomy)과 제어성(controllability) 향상을 중심으로 연구되고 있다. 군집 행동을 표현하기 위하여 각 개체의 단순 행동의 조합으로 집단의 행동을 모사하는 boid 알고리듬이 널리 쓰이고 있다. Boid 알고리듬은 회피(separation), 정렬(alignment), 결속(cohesion)의 세 행동양식만으로 실제와 비슷한 움직임을 보이는 물고기떼 및 새떼 등을 시뮬레이션 하였다[19]. (그림 13)은 boid의 3가지의 행동양식을 나타낸다. Boid는 상대적으로 자연스러운 군집행동을 나타내지만 디자이너의 의도를 반영하는 복잡한 동작을 표현하기에는 부적절하며 서로를 타고 넘거나, 휘감는 뱀이나 쥐 등 2.5차원의 군집 등 물리적 제약조건을 가진 비정형 몸체의 이동 및 경로 계획에서는 부적합하다. Boid를 개발한 Reynold는 군중의 locomotion을 위해 steering behavior를 개발하기도 하였는데, 이 기술을 통해 crowd path following, leader following, unaligned collision avoidance, queuing, flocking 등과 같은 고차원의 복합 행동을 시뮬레이션 하였다[20].



(그림 13) Boid 알고리듬에 사용되는 3가지 행동양식

대표적인 군중 시뮬레이션 소프트웨어 제작사인 뉴질랜드의 매시브 소프트웨어사는 디지털 콘텐츠 제작에 사용할 수 있는 대규모 군중 제어 소프트웨어인 매시브(massive)를 제작 판매하고 있으며 반지의 제왕, 나니아 연대기 등 많은 영화 제작에 성공적으로 적용된 바 있다[14]. 최근에는 개별 개체간의 local한 상호작용이 global한 결과로 나타나는 individual-based 모델기법이 제안되었다. 이 기술은 각 개체가 자율 행동양식을 가지며 생물학적인 관점에서 각 크리처의 행동양식을 표현하였다. 대표적인 패키지로서 SWAM(Software Package for Multi-Agent Simulation of Complex System)이 있다[21].

5. 모션 라이브러리 확장 기술

크리처 애니메이션은 제작의 어려움 때문에 이미 만들어진 모션데이터를 활용하여 또 다른 모션 데이터를 생성하는 기술이 반드시 필요하다. 특히, 상상속의 크리처의 모션은 제작의 어려움 때문에 기존 동물의 애니메이션 데이터를 조합하여 새로운 모션을 생성하도록 해야 한다. 인간형 캐릭터의 경우, 모션데이터를 재활용하기 위해 신체 부위별 모션을 자

르고 붙여서 새로운 모션을 생성하는 스플라이싱 기술이 연구되고 있다. 버클리 대학의 연구팀에서는 각 부위별 모션을 임의로 붙인 후 적절한 자세임을 판별하는 방식으로 9배 이상 확장된 모션 컬렉션을 얻었으며[22], 위스콘신 대학에서는 이를 확장하여 인체를 상하부로 나누어 하부는 locomotion을 따르고, 상부는 다른 모션을 취하는 모션 합성 기법을 제안하였다. 버클리 대학의 연구와는 다르게, 상체와 하체를 서로 다른 모션 데이터를 이용할 때 나타날 수 있는 부자유스러운 부분을 타임워핑(timewarping) 방법을 이용해 자동으로 조정하였다[23]. (그림 14)는 컵을 들고 있는 상체모션과 걷는 하체모션을 결합하여 컵을 들은 체 걷는 모습을 생성한 모습을 나타낸다. 비인간형 크리처의 경우, 영화 나니아 연대기에 나오는 반인반수 크리처((그림 15) 참조)의 모션합성을 위해 인간의 상체모션과 말의 하체모션을 합성하여 크리처 모션을 표현하였다[24].

(그림 14) 상체모션과 하체모션을 다른 모션으로부터 결합하는 모션 스플라이싱 기술

(그림 15) 영화 나니아 연대기에 나오는 반인반수

Ⅳ. 디지털 식물 제작 기술

디지털 식물은 컴퓨터 그래픽스 기술을 통하여 식물의 줄기, 나뭇잎, 뿌리 등 나무의 모든 요소들을 제작하는 것을 말한다. 디지털 식물은 실제 존재하지 않는 식물을 제작하거나 가상 디지털 캐릭터와 상호 작용하는 식물을 표현하기 위해 특히 유용하다.

1. 디지털 식물 생성 및 성장 시뮬레이션

디지털 식물 모델을 컴퓨터 그래픽으로 사실감 있게 생성하기 위해서 필요한 요소는 크게 3가지이다((그림 16) 참조)[25].

첫째, 일반화된 실린더를 이용한 나무의 자세 표현이다. 이 방식은 기관의 축을 기준으로 기관의 교차점을 결정하는 생성 커브를 이용하여 생성한 일반화된 실린더를 이용하여 나무를 모델링하는 방식으로 주로 휘어진 줄기나 늘어뜨려진 나뭇잎을 표현할 때 많이 쓰인다.

둘째, 축에 따라 각종 기관을 배열하여 순차적인 변형을 주는 표현 방법이다. 이를 위해서는 우선 전체적으로 균일하게 기관의 요소들을 배열한다. 그리고 나서 기관의 특징에 맞게 나뭇잎 간의 크기 차이나 휘어짐 등의 순차적인 변형을 순차적으로 주고 마지막으로 무작위적인 변형을 적용한다.

셋째, 실루엣으로 시작해서 나무의 세부를 생성하는 방법이다. 우선 간단한 나무 모델을 이용하여 전체적인 숲이나 생태 시스템을 구성하고 그 나무 모델을 자세한 나무 모델들로 대체하는 방법을 말하

(a) 나무 자세 표현

(b) 체계적 배열 후 순차적 변형

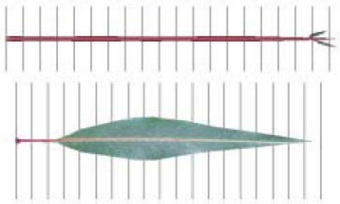
(c) 실루엣 생성 후 세부 모델

(그림 16) 디지털 식물 모델 생성

는데 생태계 시스템이나 숲을 모델링 할 때 많이 쓰인다.

2. 물리력에 의한 디지털 식물 애니메이션

디지털 식물 애니메이션을 위해서 주로 세그멘테이션 기반 방법을 주로 사용한다((그림 17) 참조)[26],[27]. 단순히 각 기관별로 노드를 배정해서 이를 연결하여 애니메이션하는 방식은 나뭇가지의 뒤틀림이나 수많은 나뭇잎의 움직임을 표현하기 어렵다. 따라서 각각의 기관에 대해서 많은 세그멘테이션들로 분리한 방식을 쓰게 된다. 여기서 각각의 세그멘테이션들은 강체(rigid stick)이고 각각의 회전축에 대해 움직임이 허용되도록 부드럽게 연결된 모델을 구성한다. 그래서 외부에서 바람 등의 힘이 전달될 시에 물리적으로 타당하도록 연결된 세그멘테이션 간의 고리를 통해 각각의 움직임이 전달되도록 반영하고 또한 이를 전체적으로 통합하여 전체 나무에 대한 움직임도 결정하여 자연스러운 애니메이션을 생성할 수 있게 된다.



(그림 17) 디지털 식물 애니메이션을 위한 세그멘테이션

Ⅴ. 제작 생산성 향상 기술

영화의 제작 생산성 향상 기술은 디지털 크리처 등의 컴퓨터 그래픽이 합성된 영상을 제작할 때, 불가피하게 수행되는 많은 수작업을 자동화하여 작업 효율을 높이고 제작기간을 단축하는 기술이라고 할 수 있다. 이러한 기술은 수작업으로 진행되는 기존의 작업을, 발전하는 컴퓨터의 계산능력과 컴퓨터 비전 기술을 활용하여 자동화시키는 것이 목표이다. 본 장에서는 대표적으로, 영화촬영현장에서 합성 결과 실시간 미리보기 기술, 비전센서 기반 자동 카메라 트래킹 기술, 디지털 분장 기술, 자동 로토스코핑(lotoscoping) 기술의 국내외 동향에 대해서 설명한다.

1. 합성 결과 실시간 미리보기 기술

컴퓨터 그래픽이 접목된 영화 제작 시에는 촬영현장에서 실사 배우나 배경을 대상으로 실사 장면을 촬영하고 실사영상을 스튜디오로 이동하여 CG로 만든 크리처 등의 객체를 후반 작업으로 합성하게 된다. 따라서 합성작업이 후반 작업으로 수행되기 때문에 합성 결과가 본래의 의도대로 이루어지지 않게 되는 경우나 합성 장면의 새로운 구도로의 촬영이 요구될 때에는 촬영 작업, 필름 현상 작업, 디지털 스캔 작업 등을 다시 거치게 되어 시간 및 비용의 손실이 막대하게 된다. 더욱이 배우의 재섭외, 기상, 조명 및 촬영세트의 재현이 어려워 재촬영이 불가능할 경우는 본래 계획의 수정이 불가피하며 작품의 수준을 저하시키는 문제가 빈번히 발생한다. 따라서 합성결과 실시간 미리보기 기술은 촬영 현장에서 합성 결과를 미리 확인해 볼 수 있어서 이러한 문제를 극복하며 영화 제작의 생산성 향상을 유도할 수 있다.

합성 작업 실시간 미리보기를 위해서는 실시간 카메라의 트래킹 기술이 필수적으로 필요하게 된다. 카메라 트래킹이란 매 영상 프레임마다 배경의 기하구조에 대한 카메라의 위치를 파악하는 기술로서 이를 바탕으로 해야만 CG 객체를 현실감 있게 합성하는 것이 가능하다. 카메라의 실시간 트래킹은 최근 컴퓨터 비전 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있는 분야이다. 컴퓨터 비전 기법만을 이용한 기술로서는, 영국의 임페리얼 칼리지에서 EKF와 배경에 존재하는 특징점이나 선분을 이용하여 실시간 카메라 트래킹을 구현하였고[28],[29], 브리스톨 대학에서 파티클 필터 및 UKF를 이용한 실시간 카메라 트래킹을 연구하였으며[30],[31] 미국 켄터키 대학의 가상환경 연구센터에서 RANSAC 기법을 이용해서

선형적 방법을 통하여 실시간 문제를 해결하였다[32]. 이러한 기술들은 배경 공간에 사전에 위치가 파악된 특징점들이 필요하지 않은 기술이어서 영화 촬영현장에서 쓰기에 유용한 방법들이라고 할 수 있으나 정밀도와 속도의 측면에서 여전히 개선의 여지를 보이고 있다. 국내에서는 AR Vision사에서 기계식 위치센서를 카메라 지지부에 부착하여 실시간으로 카메라를 트래킹하는 시스템을 개발하였다[33].

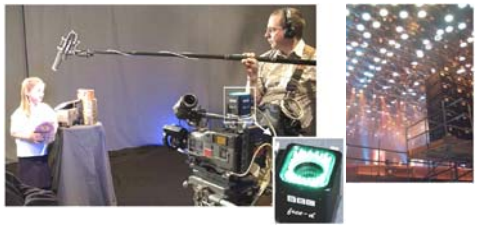
2. 비전 센서 기반 카메라 트래킹 기술

실사 영상의 촬영 시에 배경에 동적인 요소인 배우나 객체가 많이 존재하여 고정된 배경 영상 부분을 빈번히 가리게 되면 컴퓨터 비전 기법을 이용하여 카메라 트래킹을 자동으로 수행하기가 곤란해지며 고정된 배경 영상부분을 뽑기 위해 수작업으로 동적인 객체를 일일이 걸러내야 하는 문제가 생긴다. 이러한 문제가 발생하는 경우에 부가적인 위치센서를 카메라에 부착하여 카메라 트래킹을 수행할 수 있다. 이러한 센서로는 앞장에서 언급한 기계식 센서가 이용될 수도 있지만 동작 범위의 한계를 가질 수 있으며 이러한 한계가 상대적으로 적은 비전 센서가 유용한 해결책이 될 수 있다. 실제 영화 및 방송촬영 현장에서 사용되는 시스템으로서 영국 BBC 연구소의 Free-D라는 시스템[34]과 독일 Thoma사의 Walkfinder라는 시스템[35]이 있다.

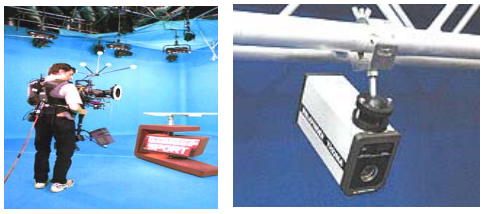
이 중 Free-D 시스템은 비전센서를 카메라에 직접 장착하고 위치가 파악된 천장의 마커를 센서가 측정함으로써 카메라의 위치를 파악하는 구조이다((그림 18) 참조). 그에 비해 Walkfinder 시스템은 외부에 고정된 비전 센서인 카메라를 다수 설치하고 카메라에 마커를 부착하여 트래킹을 수행한다((그림 19) 참조). 이러한 시스템들은 방송 촬영 시의 합성작업의 필요에 의해 처음 개발된 시스템이며 실시간 트래킹이 가능하여 합성 결과 미리보기 시스템으로도 이용 가능하다. 그러나 미리 위치가 파악된 마커 등과 같이 기반 시설의 설치가 필요하여 영화촬영현장에서 쓰기에는 편의성에 한계를 가지고 있다.

그 외 EU의 6번째 Framework Programme의 일환으로 최근에 개발된 시스템인 MATRIS 시스템은 카메라에 광각 비전 센서 및 관성 센서를 부착하여 마커의 필요 없이 트래킹을 수행하였으나 배경구조에 대한 모델을 미리 구해야 하는 단점이 있다((그림 20) 참조).

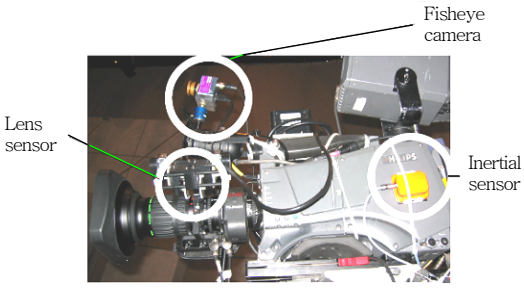
이러한 비전 센서 기반 카메라 트래킹 기술은 앞장의 합성 결과 실시간 미리보기 기술과 접목되어 상호 보완적인 관계를 가질 수 있다. 기술한 비전 센



(그림 18) Free-D 카메라 트래킹 시스템



(그림 19) Walkfinder 카메라 트래킹 시스템



(그림 20) MATRIS 카메라 트래킹 시스템

● 용 어 해 설 ●

EU Framework Programme: 유럽연합 각 회원국의 과학기술 정책을 조율, 중복 투자와 비효율성을 제거함으로써 유럽을 세계의 과학연구 및 기술 혁신 중심지로 발전시키는 것이 목표인 통합 연구 개발 계획

서 기반 시스템의 한계를 현재의 실시간 카메라 트래킹 기술로 극복이 가능하며 또한 동적 배경 상황에서 어려운 실시간 카메라 트래킹 기술은 비전 센서 기반의 시스템 구조로 극복이 가능하다.

3. 디지털 분장 기술

디지털 분장 기술은 배우의 얼굴에 실제 도구를 이용하여 분장을 하지 않고 CG 기술을 이용하여 분장을 하는 기술이다. CG를 이용하게 됨으로 해서 기존의 분장으로 할 수 없는 다양한 표현이 가능하게 된다. 디지털 크리처를 만들 때, 전체적으로 인간과 같은 형태이면서 신체의 일부만 특이한 형상을 가지도록 할 때 유용하게 쓰일 수 있는 기술이다. 이를 위해서는 CG 모델로 분장하고자 하는 신체 부위의 3차원 트래킹이 필수인데 많은 움직임 변수를 내포하고 있는 이 작업이 지금까지는 많은 시간과 노력을 필요로 하는 수작업으로 이루어짐으로 해서 영화제작의 효율성을 떨어뜨리게 되었다. 따라서 영화제작의 생산성 향상을 위해서는 이 작업의 자동화가 필요하다. 미국의 ILM사는 최근에 개봉한 영화인 "캐러비안의 해적 2"에서 iMocap이라는 장비를 직접 개발하여 이 과정을 자동화하였다[36]. 이 장비는 촬영용 카메라에 장착되는 모션캡처 카메라의 형태를 가지고 있으며 크리처 대역 배우의 몸에 부착되어 있는 마커의 위치를 찾음으로 해서 분장 부위의 3차원 트래킹이 가능하게 된다((그림 21) 참조).

(그림 21) "캐러비안의 해적 2"에서의 디지털 분장의 활용사례

이 시스템은 인간형의 디지털 크리처가 많이 등장하는 제작현장에서 효율적으로 사용되었으며 분장 부위의 생동감 있는 연출을 가능하게 하였으나 표정변화의 움직임까지 캡처하는 정밀도까지는 아직 구현되지 않았다.

4. 자동 로토스코핑 기술

로토스코핑 기술이란 원래 실사영상에서 움직이는 배우 등의 윤곽선을 추출하여 현실감 있는 애니메이션을 만드는 기술이었지만 현재는 디지털 영상에서 윤곽선을 추출하는 작업 자체를 일반적으로 부르는 말이 되었다. 이러한 윤곽선의 추출 결과는 대상이 되는 객체를 영상에서 지우거나 CG로 대체시키는 데 이용되며 영상에 디지털 크리처를 합성하기 위한 도구로 쓰일 수 있다((그림 22) 참조).

이러한 윤곽선을 매 프레임마다 찾아내는 작업을 수작업으로 할 경우 매우 많은 시간과 노력을 필요로 하며 따라서 윤곽선을 자동으로 추적하는 기술이 생산성 향상을 위해 필요하다. 워싱턴 대학에서는 키 프레임에 대해 윤곽선의 커브 최적화를 통해 트래킹의 일부 자동화를 이루었고[37] 대표적인 로토스코핑 소프트웨어는 Imageneer Systems사의 Motor가 있다[38].

(그림 22) "스타워즈", "반지의 제왕"에서의 로토스코핑 기술의 활용사례

Ⅵ. 라이브러리 구축

디지털 크리처 생성을 위한 다양한 모델데이터와 동작데이터들의 제작 및 DB 구축에 대해서 알아본다. 더불어 디지털 크리처의 배경으로 사용되는 디지

털 식물의 DB 구축에 대해서 살펴본다.

디지털 크리처 생성을 위한 각종 데이터의 획득은 두 가지로 나뉜다. 첫째는 인터넷 사이트[39]-[44]에서 판매중인 모델 및 동작 데이터들을 구입하여 사용하는 방법인데, 각 사이트에서 구매 가능한 데이터의 종류와 개수가 매우 제한적이다. 둘째는 전문제작업체에 맡기는 방법이다. 모델데이터의 경우 매시와 텍스처 등 기본 데이터만 구매 가능하지만, 매시 데포메이션과 사실적 피부 질감에 필요한 부가적인 데이터는 판매되지 않는다. 동작데이터의 경우 기본적으로 모션캡처 데이터를 구매할 수 있지만, 실제로 콘텐츠에서 사용하려면 다양한 방법으로 변형된 부가적인 동작데이터들이 필요하다. 전문제작업체는 독자적인 제작 파이프라인 위에서 인하우스 기술을 사용하여 이러한 부가적인 데이터들을 제작하여 제공하지만, 외부에서 재활용이 불가능하다.

대규모 디지털 크리처들의 모델 및 동작데이터들을 단시간 내에 제작하기 위해서 전문제작업체에선 표준화된 체계를 구축하여 사용한다. 영화 나니아 연대기에서 디지털 크리처 제작을 맡은 WETA Studio는 “Creature Kit”를 통해 영화에서 등장하는 다양한 크리처들을 2족과 4족으로 구분하고 각각 표준화된 공통 골격구조 위에서 크리처들을 제작하도록 함으로써 전체적인 작업의 효율성을 높였다[45].

디지털 식물 생성의 경우 예외적으로 식물의 기본 데이터뿐만 아니라 성장과 변형에 관련된 부가적인 데이터까지 다양하게 제공하고 있다. 대표적인 제품으로 “SpeedTree Library”[46] 등이 있는데, 이러한 제품들의 특징은 MAX나 Maya 같은 모델링 툴에 플러그인을 제공하여 부가적인 데이터를 표현한다.

Ⅶ. 영상 제작을 위한 유틸리티

디지털 크리처를 위한 콘텐츠의 제작과정에서 MAX나 Maya 같은 다양한 툴들이 사용된다. 그런데 이러한 상용툴에서 제공하지 못하는 기능과 상용툴의 오류로 인해 문제를 해결하는 과정과 수작업과정을 자동화하는 기능들이 대규모 작업에 있어서 작업효율 향상을 위해 요구된다. 모션편집, 애니매트로닉스, 대규모 군중 제작 분야에서 필요한 이러한 기능들은 상용툴에서 제공하는 스크립트나 플러그인을 사용하여 해결될 수 있다.

모션편집과 관련하여 대부분의 상용툴들은 quaternion 대신에 Euler-Angle 방식의 회전을 선호하는데 디자이너들이 다루기 쉽기 때문이다. 그러나 Euler-Angle 방식은 편집과정 중에서 gimbal-lock 등의 오류를 발생하기도 하는데 수백 이상의 다수의 크리처가 등장하는 애니메이션에서 이러한 문제는 수작업으로 쉽게 해결하기 힘들기 때문에 오류해결 유틸리티가 필요하다.

크리처의 모션편집과정에서 동작에 변형을 주는 여러 가지 방법들이 있다. 직선으로 걸어가는 동작으로부터 진행방향의 변형, 제자리 점프동작을 건물 위에서 아래로 뛰어내리는 동작으로 변형, 동작의 수행시간을 변형하는 작업들은 기존 상용툴에서 제작 가능하지만 많은 시간이 걸리므로 각 기능들에 대해 유틸리티를 제작하여 사용하는 것이 바람직하다.

디지털 크리처의 CG 영상과 애니매트로닉스를 서로 합성하는 과정에서 크리처의 동작데이터를 기계장치의 구동데이터로 전환하거나 영상합성과정을 통제하는 새로운 유틸리티들이 요구된다.

대규모 군중 크리처 애니메이션 제작에 있어 각 크리처들을 개별적으로 다루는 것은 거의 불가능하며 자동화하는 기능들이 많이 요구된다. Massive와 같이 군중제어에서 인공지능을 이용하지 않고 디자이너가 직접 제어하더라도 중간 동작들을 자동으로 생성하여 연결해주는 기능과 전쟁신에서 병과에 따라 무기를 자동으로 지정하고 연결하는 기능들에 대한 유틸리티들이 필요하다.

Ⅷ. 결론

본 논문에서는 갈수록 중요성이 부각되고 있는

디지털 크리처 제작기술에 대해 대표 기술의 동향을 분석하였다. 디지털 크리처 제작 기술은 미국을 중심으로 한 소수의 메이저 스튜디오가 독점하고 있으며 핵심 기술의 공개가 이루어지고 있지 않아 스튜디오가 영세한 기술 후진국의 진입 장벽이 상당히 높은 실정이다. 향후 메이저 스튜디오의 시장 점유가 굳어질 수 있는 현 시점에서 본 논문에서 언급한 기술을 중심으로 국가적 차원에서의 기술개발을 위한 노력이 시급한 실정이며 이를 통해 하청 위주의 국내 스튜디오의 체질개선과 기술적 경쟁력 강화를 이루어 막대한 경제적 효과를 거둘 수 있을 것으로 예상된다.

약 어 정 리

BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Function
BTF	Bidirectional Texture Function
DirectIA	Direct Intelligent Adaptation
EKF	Extended Kalman Filter
FEM	Finite Element Method
IK	Inverse Kinematics
PRT	Pre-computed Radiance Transfer
PSD	Pose Space Deformation
RANSAC	Random Sample Consensus
SSD	SubSpace Deformation
UKF	Unscented Kalman Filter

참 고 문 헌

[1] M. Pratscher, P. Coleman, J. Laszlo, and K. Singh, "Outside-in Anatomy based Character Rigging," *In Proc. of ACM SIGGRAPH/Eurographics SCA*, 2005, pp.329-338.

[2] Kurt W. Fleischer, David H. Laidlaw, Bena L. Currin, and Alan H. Barr, "Cellular Texture Generation," *In Proc. of ACM SIGGRAPH*, July 1995, pp.239-248.

[3] Greg Turk, "Generating Textures on Arbitrary Surfaces Using Reaction-Diffusion," *In Proc. of ACM SIGGRAPH*, July 1991, pp.289-298.

[4] J. Zhang, K. Zhou, L. Velho, B. Guo, and H. Shum, "Synthesis of Progressively-Variant Texture on Arbitrary Surfaces," *In Proc. of ACM SIGGRAPH*, July 2003, pp.295-302.

[5] F. Nicodemus, J. Richmond, and J. Hsia, "Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance," *National Bureau of Standards,* Washington, 1977.

[6] K. Dana, B. Van Ginneken, S. Nayar, and J. Koenderink, "Reflectance and Texture of Real-world Surfaces," *ACM Transactions on Graphics*, Jan. 1999, pp.1-34.

[7] Peter-Pike Sloan, Xinguo Liu, Heung-Yeung Shum, and John Snyder, "Bi-Scale Radiance Transfer," *In Proc. of ACM SIGGRAPH*, July 2003, pp.370-375.

[8] Y. Chen, Y. Xu, B. Guo, and H.Y. Shum, "Modeling and Rendering of Realistic Feathers," *In Proc. of ACM SIGGRAPH*, July 2002, pp.630-636.

[9] Jehee Lee, Jinxiang Chai, Paul S.A. Reitsma, Jessica K. Hodgins, and Nancy S. Pollard. "Interactive Control of Avatars Animated with Human Motion Data," *ACM Transactions on Graphics(SIGGRAPH 2002)*, Vol.21, No.3, July 2002, pp.491-500.

[10] Treuille, A. Lee, and Y. Popović, Z., "Near-optimal Character Animation with Continuous Control," *ACM Transactions on Graphics(SIGGRAPH 2007)*, Vol. 26, No.3, 2007.

[11] Eugene Hsu, Kari Pulli, and Jovan Popović, "Style Translation for Human Motion," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.24, No.3, 2005, pp.1082-1089.

[12] Lucas Kovar, Michael Gleicher, and Frederic Pighin, "Motion Graphs," *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2002)*, Vol.21, No.3, July 2002.

[13] AutoDesk, https://www.autodesk.com

[14] MASSIVE SOFTWARE, https:/www.massivesoftware.com

[15] AI/Implant, https:/www.ai-implant.com

[16] MASA, http://www.masa-sci.com/directia.htm

[17] K. Yamane, "Dynamics Filter-Concept and Implementation of Online Motion Generation for Human Figures," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol.19, No.3, June 2003, pp.421-432.

[18] Endorphin, http://www.naturalmotion.com/endorphin.htm

[19] Craig Reynolds, "Flocks, Herds and School: A Distributed Behavior Model," *Proc. of the 14th Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH 1987*, pp.25-34.

[20] Craig Reynolds, http://www.red3d.com/cwr/index.html
[21] SWAM, http://www.swam.org
[22] L. Ikemoto and D.A. Forsyth, "Enriching a Motion Collection by Transplanting Limbs," *Proc. ACM Symp. on Computer Animation*, 2004.
[23] R. Heck, L. Kovar, and M. Gleicher, "Splicing Upper-body Actions with Locomotion," *Computer Graphics Forum*, Vol.25, No.3, Sep. 2006, pp.459-466.
[24] Rhythm and Hues Studio, htts://www.rhythm.com
[25] P. Prusinkiewicz and L. Mndermann, "The User of Positional Information in The Modeling of Plants," *In Proc. of the 28th Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques*, ACM Press, 2001, pp.289-300.
[26] T. Sakaguchi and J. Ohya, "Modeling and Animation of Botanicall Trees for Interactive Virtual Environment," *In Proc. of ACM Symp. on Virtual Reality Software and Technology*, ACM Press, 1999, pp.139-146.
[27] C.W. Jason and D. Amitava, "Animating Real-time Realistic Movements in Small Plants," *In Proc. of the 2nd Int'l Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australasia and South East Asia*, Singapore, 2004.
[28] A.J. Davison, I. Reid, N.D. Molton, and O. Stasse, "MonoSLAM: Real-Time Single Camera SLAM," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.24, No.7, June 2007, pp.865-880.
[29] P. Smith, I. Reid, and A.J. Davison, "Real-Time Monocular SLAM with Straight Lines," *In Proc. of British Machine Vision Conf.,* Edinburgh, Sep. 2006, pp.17-26.
[30] M. Pupilli and A. Calway, "Real-Time Camera Tracking Using a Particle Filter," *In Proc. of British Machine Vision Conf.*, Edinburgh, Sep. 2005, pp.519-528.
[31] M. Pupilli and A. Calway, "Real-time Visual SLAM with Resilience to Erratic Motion," *In Proc. of IEEE Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, New York, USA, June 2006, pp.1244-1249.
[32] D. Nister, O. Naroditsky, and J. Bergen, "Visual Odometry," *In Proc. of IEEE Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, Washington, DC, USA, June-July 2004, pp.652-659.
[33] AR Vision, http://www.ar-vision.com
[34] BBC Research Projects, http://www.bbc.co.uk/rd/projects/virtual/free-d/index2.shtml
[35] THOMA, http://www.thoma.de/index.html
[36] John Knoll on On-Set Motion Capture for *Pirates 2*, http://www.studiodaily.com/filmandvideo/technique/how/6838.html
[37] A. Agarwala, A. Hertzmann, D.H. Salesin, and S.M. Seitz, "Keyframe-Based Tracking for Rotoscoping and Animation," *ACM Trans. Graphics*, Vol.23, No.3, 2004, pp.584-591.
[38] Imageneer Systems, http://www.imagineersystems.com
[39] Turbo Squid, http://www.turbosquid.com
[40] Poitra Visual, http://www.poitra.com
[41] 3d02, http://www.3d02.com
[42] Exchange3d, http://www.exchange3d.com
[43] Realworld Imagery, http://www.realworldimagery.com
[44] DAZ, http://www.daz3d.com
[45] D. Wright, B. Westehofer, J. Berney, and S. Farrar, "The Visual Effects of the Chronicles of Narnia: the Lion, the Witch and the Wardrobe," *ACM Computers in Entertainment*, Vol.4, No.2, Apr. 2006, Article 3A.
[46] Speedtree, http://www.speedtree.com