

3D 프린팅을 위한 콘텐츠 인지 기반 3D 개인 피규어 생성 시스템

임성재^{0*} 황본우 윤승욱 전해령 박창준 최진성

한국전자통신연구원 SW·콘텐츠연구소 차세대콘텐츠연구본부

sjlim@etri.re.kr, bhwang@etri.re.kr, suyoon@etri.re.kr, hrjun@etri.re.kr, chjpark@etri.re.kr, jin1025@etri.re.kr

3D Figure Creation System Based on Content-Awareness for 3D Printing

Seong-Jae Lim^{0*}, Bon-Woo Hwang, Seung-Uk Yoon, Hye-Ryeong Jeon,
Chang-Joon Park, and Jin-Sung Choi

ETRI, SW·Creative Content Research Lab., Computer Graphics Lab.

요약

본 논문은 3D 프린팅을 위한 3D 개인 피규어 생성 및 콘텐츠 인지 기반 피규어 변형, 조합 시스템을 제안한다. 3D 객체의 3D 프린팅을 위해서는 적층가공 기법의 슬라이싱시에 무결성이 보장되어야 하며, 프린터 종류에 따라 객체의 내부를 비우는 등의 제약 조건이 따른다. 본 논문은 3D로 복원된 자신의 얼굴을 적용한 개인 피규어를 자동 생성하는 기술과 생성된 3D 개인 피규어의 고유 기능을 유지하고 성공적인 3D 프린팅을 보장하는 콘텐츠 인지 기반 외형 변형, 두께 조정, 조합 기술을 소개한다. 기존 전문가들이나 숙련된 디자이너만 쓸 수 있었던 3D 저작도구에 비해 간단한 조작으로 다양한 외형 변형, 두께 조정, 모델 조합 등이 가능하다.

Abstract

We present a system for generating 3D personalized figures. This system provides 3D figures model modification and combination functions based on the content-awareness. The integrity of the 3D model must be guaranteed at the time of slicing of the 3D model for 3D printing. In addition to this, with 3D printing, we generally have to print a hollow model in order to save money, time, and the integrity of the print. This paper proposes the automatic algorithm that creates the 3D individual figures with depth sensor and the easy UI functions for deformation, thickness adjustment, and combination of the generated 3D figures model based on the content-awareness. Our proposed method maintains the unique features of the generated 3D figures and ensures the successful 3D printing.

키워드: 3D 프린팅, 3D 피규어, 콘텐츠 인지, 변형

Keywords: 3D printing, 3D figure, content-awareness, deformation

1. 서론

최근 FDM(Fused Deposition Modeling)관련 특허가 만료되면서 FDM기법의 3D 프린터가 급속하게 확산되고 있다. 3D 프린터가 갖는 장점은 프로토타입 제작에서부터 end-point 제품까지 그 활용범위가 넓어 관련업계 뿐만 아

니라, 의료, 국방, 교육, 항공, 엔터테인먼트 등 폭넓은 산업 분야에 활용되고 있다.

그러나 하드웨어의 폭발적인 성장에 비해 3D 프린팅 대상인 3D 모델 제작은 대부분 기존 외산 3D 저작도구에 의존하고 있는 실정이다. 이또한 복잡한 기능과 UI로 도구 사용법에 대한 일정한 학습이 필요한 실정이다. 또한 기존 3D

*corresponding author: Seong-Jae Lim/ETRI(sjlim@etri.re.kr)

저작도구로 생성, 편집, 출력한 3D 모델을 바로 3D 프린팅해보면 모델의 무결성 문제, 두께(hollow) 생성의 필요, 객체의 기능성 문제, 3D 프린팅별 특성에 따른 고려사항 등 다양한 이유로 3D 프린팅에 실패하는 사례가 많다.

본 논문은 위와 같이 고가의 복잡하고 3D 프린팅에 바로 적용하지 못하는 기존 3D 저작도구의 문제점을 보완하며 최근 각광받고 있는 개인 피규어 산업에 응용할 수 있는 3D 개인 피규어 자동생성 시스템을 제안한다.

최근 개인화된 고품질 콘텐츠를 원하는 추세와 저가형 3D 프린터의 확산이 맞물려 개인화된 3D 프린팅용 콘텐츠 생성에 대한 수요가 급증하고 있다. 특히 개인용 3D 피규어 및 캐릭터 분야가 일반 사용자의 수요를 주도하고 있는 추세이다.

기존의 스캐너를 이용한 3D 스캔 또는 사진기반 복원을 통해 생성된 3D 얼굴 모델 데이터는 사람과 같은 동적물체의 스캔시 발생하는 오류로 편집에 상당한 시간이 소요되는 문제가 있고 또한 바로 3D 프린팅에 사용하기 어려운 모델을 생성하여 후처리 편집 과정이 필수적이다. 또한, 3D 프린팅에 적합한 형태로 모델을 수정하는 과정에는 전문적 경험과 지식이 필요하며, 성공적인 3D 프린팅을 위해 많은 시행착오를 겪게 된다. 따라서 후처리 과정을 단순화하고, 시행착오를 줄여 3D 프린팅 성공률을 높일 수 있도록 도와주는 차별화된 기술이 필요하다.

본 논문에서는 3D 프린팅에 적합하도록 오류가 없고 별도 편집이 필요하지 않은 얼굴 템플릿 모델을 미리 제작하고, 이를 저가형 깊이 센서를 통해 초기 복원된 3D 얼굴 모델의 형태와 유사하게 변형한 후, 다양한 피규어 바다와 결합한다. 이렇게 생성된 개인 피규어는 콘텐츠 인지(Content-Awareness, CA)기반 3D 모델 편집 기술로 변형 및 조합 처리되고 끝으로 다양한 3D 프린터에 적합한 파일 형태로 출력된다.

Hao Li[1]는 깊이 센서를 이용하여 3D 외형을 복원하는 알고리즘을 제안하였다. 각도를 변경하며 캡처 복원한 3D 데이터를 정합하여 하나의 3D 모델을 생성하고 텍스처링하는 알고리즘으로 내부 두께 생성이나 다양한 조명환경에서 발생할 수 있는 일관되지 않는 텍스처 등의 문제점이 존재한다.

Tenal[2]는 고가의 다수 카메라를 사용하여 복원한 얼굴 모델에 템플릿을 정합하여 개인 피규어를 생성하는 알고리즘을 제안하였다. 그러나 고가의 다수 카메라를 사용하므로 얼굴 모델을 피규어에 정합하기 위해 빈 영역에 대한 스티칭이 필요하고, 텍스처는 기존 템플릿 모델의 텍스처를 따라가 자기 피부색을 나타내지 못하는 문제점이 존재한다. 프로세싱 시간 또한 약 20여분이며 사용자 수작업이 필요하다.

Zollhofer[3]는 모퍼블 모델(morphable model)을 키넥트 로 복원한 얼굴 데이터에 피팅(fitting)하여 3D 얼굴 모델

을 생성하는 기법을 제안하였다. 그러나 얼굴 일부분에 대한 제한적 적용으로 개인 피규어 모델 생성과 3D 프린팅에는 다소 적합하지 않는 문제점이 있다.

Powder 방식의 3D 프린터는 비싼 재료비로 인해 가능하면 3D 모델의 내부를 비우는 것이 좋다. 이를 위해서 3D 모델의 두께를 생성하는데 기존 3D 저작도구로는 한계가 있다. 3D 프린팅을 위한 모델의 오류, 두께 생성 등의 후처리를 위한 고가의 외산 소프트웨어가 존재하지만 전문적 경험과 지식이 필요하다. 본 논문에서는 템플릿 모델과 피규어 모델의 내부 두께를 미리 생성하고 비선형적 복합 속성 객체 자동 생성 기술로 초기 제작된 몇 개의 피규어 모델을 정해진 속성에 따라 사용자가 특정 속성값을 선택하면 그에 맞는 속성 결합 모델이 자동으로 생성된다. 이는 간단한 슬라이드바 조작으로 피규어 외형을 몇 가지 속성에 따라 변형시킬 수 있으며 이때 내부 두께나 외형의 메쉬 오류 등이 발생하지 않도록 조절되는 특성을 갖는다.

본 논문은 3D 개인 피규어 생성 기술과 3D 피규어 편집 기술로 구성된다. 2장에서는 3D 개인 피규어를 생성하기 위한 깊이 센서 기반 데이터 획득, 캡처 데이터 전처리, 개인 피규어 모델 생성 알고리즘을 소개한다. 3장에서는 3D 피규어 편집을 위한 객체 모델링 및 라이브러리 구축, 속성별 객체 생성 및 변형, 객체 구성요소 조합 기술을 소개한다. 4장에서는 실험 결과를 보여주고, 실제 3D 프린팅한 결과와 비교한다.

2. 3D 개인 피규어 생성

2.1 깊이 센서 기반 데이터 획득

깊이 센서 기반 데이터 획득을 위해 키넥트 퓨전[4] 알고리즘을 사용하였다. 키넥트 센서로부터 스트리밍되는 깊이 데이터를 혼합하여 실시간으로 외형 모델을 복원한다. 이를 위해 객체 주위를 몇 번씩 스캔하며 ICP(iterative closet point) 알고리즘 기반 프레임간 모델의 상관관계를 계산하여 키넥트 포즈를 구한다. 위와 같이 프레임간 복원된 볼륨 모델을 중첩하며 최종 3D 포인트 모델을 복원한다.

그림 1은 키넥트를 이용하여 얼굴의 전면부를 복원한 결과를 보여준다.



Figure 1. Face Capture using Depth Sensor

2.2 캡처 데이터 전처리

캡처된 3D 얼굴 모델은 3D 상의 독립된 포인트 클라우드를 단순 메쉬화하였기 때문에 버텍스 중복, 군집화, 홀(hole) 등의 문제로 모델 복잡도가 높고 3D 프린팅에 적합하지 않다. 본 논문에서는 Quadric error metric 기반 버텍스의 최적 위치값 계산 알고리즘[5]을 통해 중복 버텍스 처리, 홀 처리 등 위와 같은 문제점을 해결하며 무결한 메쉬 모델로 만든다. 얼굴 영역 이외의 비관심영역 제거와 개인 피규어 모델 생성 단계에서 얼굴 템플릿 모델의 전이를 위한 특징점 추출은 비강체(non-rigid) 얼굴 트래킹 알고리즘을 사용한다. Haar detection 결과를 초기값으로 기하학적 모양 조건과 핵심 파트별 상관패치 비교를 통해 그림 2(a)와 같이 특징점의 위치를 최적화 한다. 이렇게 추출한 특징점을 seed point로 얼굴 영역 검출을 통해 얼굴 정면영상과 마스크 영상을 그림 2(b)와 같이 생성한다. 이렇게 생성한 영상과 마스크는 개인 피규어의 텍스처 맵 생성에 사용된다.



Figure 2. (a)Feature Extraction, (b)Image and Mask

2.3 개인 피규어 모델 생성

개인 피규어 모델의 얼굴 모델 생성을 위해서 2.2에서 전처리된 캡처 모델의 외형에 템플릿 얼굴 모델의 외형을 변형 및 전이한다. 본 논문은 어파인 변형에 기반한 그래프 구조 기반 외형 변형 기법을 응용하였다. 그래프 구조의 장점은 다양한 모델 포맷과 모양의 복잡도에 영향을 받지 않고, 직관적인 조작성이 가능하며, 지역적 강직성(rigidity)을 통한 모델의 세밀한 모양을 보존한다는 점이다.

본 논문에서는 보다 사실적이며 세밀한 외형 전이를 위해서 노드와 정점으로 그래프 구조를 생성하고 회전(rotation), 정규화(regularization), 노드 제약(constraints) 등의 변형 파라미터를 최적화하는 방법을 제안한다.

그래프 구조는 미리 정의된 수의 특정 위치 정점을 노드로 설정하고 각 노드로부터 모든 정점의 거리값을 계산하여 거리값에 따라 정점들을 노드에 바인딩하는 과정으로 생성한다. 이때 거리값은 각 정점들의 노드에 대한 변형 가중치로 사용된다. 노드 설정의 방법은 다양하지만 본 논문에서는 눈, 코, 입 등 보다 세밀하게 다루어야 하는 부분을 중심으로 미리 노드를 구성하였다[6].

외형 전이는 아래와 같은 식의 연산으로 이뤄진다.

$$D = S(E_v(E_n)) \quad (1)$$

S는 페이스 노말(normal)에 대해 평균값(mean) 필터링과 미디언(median) 필터링을 적용한 메쉬 스무딩(smoothing)을 나타낸다. E는 회전, 정규화, 노드 제약 등의 변형 파라미터로 구성된 목적 함수(objective function)를 나타낸다.

$$E = E_{rot} + E_{reg} + E_{con} \quad (2)$$

개인 고유 얼굴 모델 생성은 템플릿 얼굴 모델을 최대한 복원된 얼굴 외형에 맞추는 것이 핵심이며 이때는 지역적 특성까지도 변형되어야 하기 때문에 본 논문에서는 위와 같이 노드와 정점에 대해서 최적화를 수행하였다.

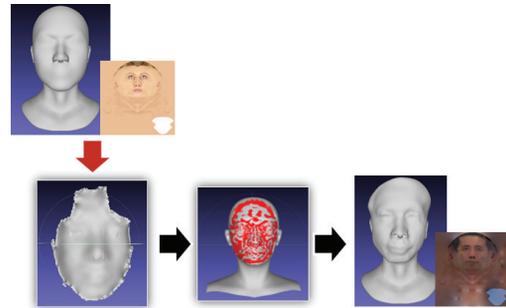


Figure 3. 3D Individual Face Model Generation

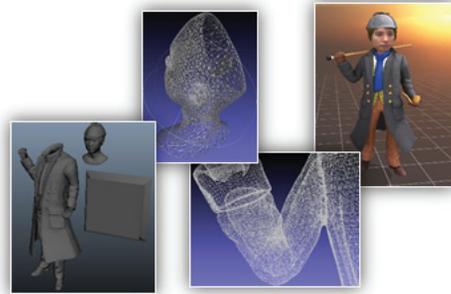


Figure 4. 3D Personalized Figures Model(3D printable)

3. 3D 개인 피규어 편집

3.1 객체 모델링 및 라이브러리 구축

CA기반 3D 개인 피규어를 메쉬 외형 무결성과 객체 내부 두께 속성을 유지하며 사용자의 간단한 슬라이드바 조작으로 변형시키기 위해 기본 속성 객체(1개)와 원하는 속성별 변형 객체(속성수 N개)를 디자이너가 미리 제작한다. 이렇게 제작된 속성별 변형 객체는 변형 기울기(deformation

gradients) 기반의 비선형적 행렬 변환 기법을 통해 자동으로 속성 사이의 객체 라이브러리를 생성한다.

그림 5(a)는 디자이너가 미리 제작한 기본객체와 변형 속성별 제작 데이터를 보여주고, 그림 5(b)는 비선형 변형 기법에 의한 자동 생성 데이터를 보여준다. 사용자는 속성 슬라이드바를 조정하여 자동 생성된 데이터의 보간된 객체 데이터를 실시간으로 확인하며 변형할 수 있다.

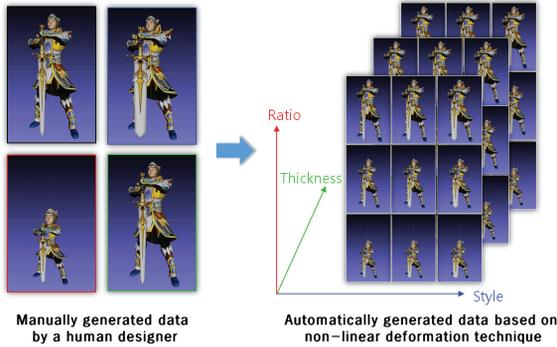


Figure 5. (a)Reference Object and Library with three variation properties, (b)Automatic Generated Library

3.2 속성별 객체 생성 및 변형

속성은 전문 디자이너가 사용자의 요구 사항을 고려하여 실사형 피규어 객체에 대한 대표적인 객체 변형 속성으로 비율, 스타일, 두께를 정의한다.

그림 6은 기본 속성 객체와 변형 속성별 객체를 보여준다.

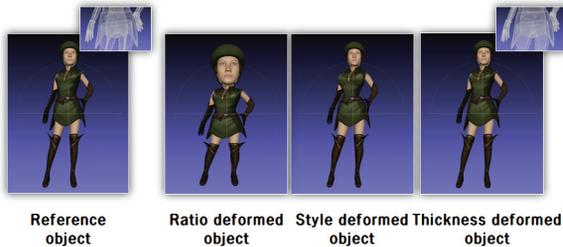


Figure 6. (a)Reference Object, (b)Objects with three variation properties

사용자는 속성별 특징값을 슬라이드바로 결정하여 간단한 조작으로 새로운 형태의 객체를 생성할 수 있다. 만약, 사용자가 비율 0.3, 스타일 0.7, 두께 0.8의 속성별 특징값을 선택하였다면 아래 그림 7과 같은 객체 변형을 할 수 있다.

새로운 형태의 객체는 강제 회전과 스트레칭 정도를 반영한 변형 기법이 기반의 비선형적 행렬 변환식을 통해 생성되고 생성된 객체 데이터 사이의 보간 객체 데이터는 선형

적 행렬 변환식을 통해 생성되므로 전문 디자이너에 의해 만들어진 기존 객체의 메쉬 외형 무결성과 내부 두께 메쉬는 보장된다.



Figure 7. Results of three variation properties(Ratio 0.3, Style 0.7, Thickness 0.8)

그림 8과 9는 비율 속성과 두께 속성변형 결과를 나타낸다.



Figure 8. Examples of the Ratio Property Adjustment



Figure 9. Examples of the Thickness Property Adjustment

3.3 객체 구성요소 조합

객체 라이브러리 중에서 사용자가 원하는 조합으로 새로운 객체를 생성할 수 있다. 이는 보조 메쉬 구조를 통해 조합 객체간 상관 관계를 고려하여 제작하므로 조합부 연결의 결합성을 보장한다.

그림 10은 캐주얼 의상과 슈트 의상 사이의 조합 결과를 나타낸다.



Figure 10. Examples of the Combined 3D Figures

조합된 객체에 대한 사용자의 다양한 변형 요구를 반영하기 위해 3D 객체 전역 변형 기술을 반영하여 조합 객체 변형을 한다. 그림 11은 조합 객체에 키와 체중의 속성을 부여하고 속성별 특징값을 조정하여 3D 개인 피규어 조합 객체의 속성을 변형한 결과를 나타낸다.



Figure 11. Examples of the Height and Weight Properties Adjustment

4. 실험

본 논문은 3D 개인 피규어 자동 생성과 생성된 3D 피규어의 간단한 슬라이드바 조작을 통한 변형, 조합 등의 편집을 위해 unity3D 엔진 기반 사용자 친화형 GUI를 제안한다. 개발환경은 Intel i7 3.4GHz CPU와 nVidia GeForce GTX 680이며 캡처에서 피규어 자동생성까지 약 2~3분의 처리 시간이 소요되었다. 간단한 GUI 조작에 의한 피규어 편집은 그림 8~11에서 보여주는 것처럼 사용자가 속성별 슬라이드바 조작으로 피규어의 비율, 두께, 스타일을 손쉽게 실시간 변형할 수 있으며, 머리, 상, 하체 조합 및 조합모델의 키, 체중 변형도 쉽게 편집할 수 있다.

이렇게 제작 및 편집된 피규어를 파우더 방식으로 3D 프린팅한 결과는 그림 12와 같다.



Figure 12. 3D Printed Figures using the CA based Personalized Figure Creation System (a)Global Deformation Figures, (b)Combined Figures

5. 결론

본 논문은 3D 프린팅에 적합한 3D 개인 피규어 자동생성 및 3D 피규어 모델 변형, 조합 시스템을 제안하였다. 기존 3D 저작도구의 복잡한 기능과 조작도구에 비해 일반 사용자가 쉽고 간단한 조작으로 3D 모델을 변형 및 조합할 수 있도록 콘텐츠 인지 기반 3D 모델 변형, 조합 알고리즘을 개발하였다. 또한 최근 3D 프린터의 급속한 보급과 확산으로 각광받고 있는 개인 3D 피규어 제작을 캡처, 생성, 편집, 출력까지 일반 사용자도 쉽게 할 수 있도록 모든 과정을 자동화한 시스템을 보여주었다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임. [No.10047093, 3D 프린팅을 위한 실물 정보 기반 3D 콘텐츠 생성 및 편집 기술(표준화연계)]

References

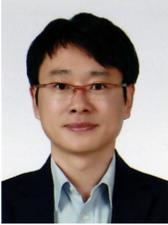
- [1] Hao Li, Etienne Vouga, Anton Gudym, Jonathan T. Barron, Linjie Luo, and Gleb Gusev, "3D Self-Portraits," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 32, no. 6, 2013.
- [2] J. Rafael Tena, Moshe Mahler, Thabo Beeler, Max Grosse, Hengchin Yeh, and Iain Matthews, "Fabricating 3D Figurines with Personalized Faces", *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 33, no. 6, pp. 36-46, 2013.
- [3] Michael Zollhofer, Michael Martinek, Gunther Greiner, Marc Stamminger, and Jochen Submuth, "Automatic Reconstruction of Personalized Avatars from 3D Face Scans," *Computer Animation and Virtual Worlds*, pp. 195-202, 2011.
- [4] Shahram Izadi, David Kim, Otmar Hilliges, David Molyneaux, Richard Newcombe, Pushmeet Kohli, Jamie Shotton, Steve Hodges, Dustin Freeman, Andrew Davison, and Andrew Fitzgibbon, "KinectFusion: Real-time 3D Reconstruction and Interaction Using a Moving Depth Camera," *UIST '11*, 2011.
- [5] Michael Garland, and Paul S. Heckbert, "Surface Simplification Using Quadric Error Metrics", *SIGGRAPH '97*, pp. 209-216, 1997.
- [6] Seong-Jae Lim, Bon-Woo Hwang, Seung-Uk Yoon and Jin Sung Choi, "My Own 3D Fairy Tale Service System for Mobile Devices", *2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics*, pp. 124-126, 2015.

〈저자 소개〉



임성재

- 2004년 펜실베니아대학교(UPenn) 의학영상연구소 visiting scholar
- 2006년 광주과학기술원(GIST) 정보통신공학과 박사
- 2006년~현재 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
- 관심분야: 3D프린팅, 3D얼굴복원, 컴퓨터 비전 및 그래픽스, VR/AR



황본우

- 1995년 성균관대학교 전자공학과 학사
- 1997년 성균관대학교 전자공학과 석사
- 2002년 고려대학교 컴퓨터학과 박사
- 2005년 버추얼미디어 기술이사
- 2008년 카네기멜론대학교(CMU) 로봇공학연구소 박사후과정
- 2008년~현재 한국전자통신연구소(ETRI) 선임연구원
- 관심분야: 3D프린팅, 3D얼굴복원, 컴퓨터 비전 및 그래픽스



윤승욱

- 2000년 서강대학교 전자공학과 학사
- 2002년 광주과학기술원(GIST) 정보통신공학과 석사
- 2006년 마이크로소프트 리서치-아시아 (MSRA) 인턴연구원
- 2008년 광주과학기술원(GIST) 정보통신공학과 박사
- 2009년~현재 한국전자통신연구소(ETRI) 선임연구원
- 관심분야: 3D프린팅, 3D얼굴복원, 컴퓨터 비전 및 그래픽스



전혜령

- 2006년 고려대학교 법학과 학사
- 2009년~현재 한국전자통신연구원(ETRI) CG기술연구실 기술원
- 관심분야: 컴퓨터그래픽스, 3D 모델링, 애니메이션



박창준

- 1994년 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1996년 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 2000년 경북대학교 전자공학과 공학박사
- 1998년~현재 한국전자통신연구원(ETRI) CG기술연구실 실장
- 관심분야: 3D프린팅, 비전 및 3D 복원, 게임



최진성

- 1989년 경북대학교 전자공학과 학사
- 1994년 경북대학교 전자공학과 석사
- 1994년 시스템공학연구소
- 1997년~현재 한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원, 부장
- 관심분야: 3D프린팅, VR/AR, 비전 및 3D 복원