

에지 확장기법을 이용한 3차원 카툰 실루엣 렌더링

도주영^{*)} 양태천^{**} 류관우^{*}
*경북대학교 컴퓨터공학과
**경성대학교 정보과학부 컴퓨터과학전공
djy@naver.com, tcyang@star.kyungsung.ac.kr, kwryu@hosanna.net

3D Cartoon Silhouette Rendering using Edge Extension Technique

Joo-Young Do^{*)} Tae-Cheon Yang^{**} Kwan-Woo Ryu^{*}
*Dept. Of Computer Engineering, Kyungpook National University
**Dept. Of Computer Science, Kyungsung University

요 약

3차원 정보를 바탕으로 실제 세계의 장면이나 물체를 비사실적으로 표현하기 위한 방법으로 비사실적 이미지 렌더링(Non-Photorealistic Rendering:NPR)기법을 사용하고 있다. 현재 기존의 2차원에서의 NPR기법을 기반으로 3차원에 확장된 방법까지 다양한 표현방법이 연구되고 있다. 본 논문에서는 3차원의 물체를 사람이 직접 그린 듯한 표현에 중점을 둔 3차원 카툰렌더링 효과를 나타내기 위한 효과적인 기법을 제안한다. 이러한 카툰렌더링 표현은 현실세계의 3차원 정보를 인간에게 보다 감각적이고 효과적으로 전달 할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 비사실적 이미지 표현에서 가장 기본이 되는 실루엣 에지를 추출하고, 추출한 실루엣 에지를 표현하기 위한 효과적인 방법을 제시하여 보다 핸드 드로잉(hand drawing)에 가까운 카툰 렌더링(Cartoon Rendering)을 실시간으로 나타내는데 중점을 두고 있다.

1. 서 론

현재의 컴퓨터 그래픽스에서는 3차원의 정보를 이용해서 실제 세계의 장면이나 물체를 표현하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 컴퓨터 그래픽스의 응용분야가 넓어짐에 따라 사실적 렌더링(photorealistic rendering)에서는 제대로 표현할 수 없었던 인간의 생각이나 감정, 느낌을 표현하는데 보다 확장된 영역을 제공한다는 점에서 비사실적 이미지 렌더링(nonphotorealistic rendering)에 관한 연구에 관심과 중요성이 높아지고 있다.

본 논문에서는 NPR기법에 관한 연구를 바탕으로 비사실적 이미지 표현을 위한 새로운 분야로 개발되고 있는 카툰 스타일의 이미지 렌더링에 관한 연구에 중점을 두고 있다.

카툰 렌더링(Cartoon Rendering)은 사람이 직접 손으로 그린 듯한 표현을 위해서 나타내고자 하는 장면이나 물체를 추상화하여 간략하게 나타낸다. 이 기법은 복잡하고 시간이 많이 걸리는 3차원 모델을 간략하고 명확하게 표현하는 새로운 기법으로 사람들이 인식하기에 쉽고, 재미있어 효과적인 이미지 전달을 가능하게 하는 장점이 있다. 전통적인 셀 애니메이션 방식에서는 매 장면을 사용자의 개입을 통해 나타냄에 따라서 많은 인력이 필요하게 되고, 빠른 처리 시간을 요구하는 시스템에서 활용하기 어렵다. 따라서 사용자와 즉각적인 상호작용이 중요시되는 다양한 분야에서 활용하려면 실시간 카툰 렌더링을 위한 기술이 필요하다. 또한 사용자의 고시각적 요구가 크게 증가함에 따라 다양한 성능을 가지는 사용자 시스템에서의 실시간 수행은 주요 요소 중 하나가 되었다.

본 논문에서는 오늘날의 PC 기반에서 실시간으로 수행되는 비사실적 이미지 렌더링을 위한 카툰 렌더링 기법을 제시하고 있다. 이를 위해 2장에서는 기존의 NPR 기법의 연구 흐름을 분석해 보고, 3차원 모델에서의 NPR 기법의 적용에 대해 살펴본다. 그리고 3장에서는 3차원 카툰 렌더링 표현을 위한 실루엣 에지 추출과 렌더링 방법을 제안한다. 4장은 실험 환경과 특징에 대하여 논의하고, 5장에서는 나온 결과를 토대로 결과 및 효과를 분석하고 향후 연구과제를 알아본다.

2. 관련연구

NPR은 컴퓨터를 이용한 예술적 이미지를 표현하기 위한 하나의 독립된 분야로 연구되고 있다. 세부적으로 NPR은 그 표현되는 스타일이나 목적에 따라 다양하게 연구되고 있다.

Markosian은 사용자의 개입 없이 3차원 모델을 실시간으로 렌더링하여 표현한 것으로 모델에서 보여지는 면과 에지를 결정하기 위해 Appel의 Hidden-Line algorithm을 사용하고 있다[2]. 또한 비사실적 이미지 렌더링에서의 성능 개선을 목적으로 실루엣을 빠르게 찾기 위해 Fast Randomized Algorithm[1]을 제안하였다.

Gooch는 3차원 Light-Model을 이용하여 사용자의 개입 없이 실루엣과 2가지색의 빛을 이용하여 사람이 인식하기 쉽도록 하는 기술적 일러스트레이션 방법을 제시하였다.[3]

Winkenbach는 3차원 모델 위에 스트로크 텍스처(stroke texture)를 우선 순위에 따라서 추가시켜 연필 스케치의 밀도를 조절하여 나타내고, 모델의 표면에 대한 가시화(visibility) 방법으로 BSP Tree를 사용하여 나타내었다. 그리고 영역의 텍스처와 저장된 인접정보를 유지하기 위해 Half-Edge 자료구조를 사용하여 외곽선(boundary outline)과 내곽선(interior outline)을 생성하였다.[4]

페인트 렌더링 효과의 대표적인 예는 1998년 Hertzmann[5]에 의한 연구로 사용자의 개입 없이 다양한 크기의 커브 브러쉬 스트로크(curve brush stroke)를 이용하여 2차원적 이미지를 예술작품과 같은 유희를 표현한 것이 있다.

Decaudin의 카툰 렌더링 시스템은 깊이 버퍼(Z-Buffer)와 법선 버퍼(Normal Buffer)를 이용하여 실루엣 에지를 추출하고, 그림자 효과를 위해 빛의 음영을 나타내어 표현하고 있다.[6] 하지만 실루엣 에지의 단일선만을 추출하여 표현함으로 핸드 드로잉과 같은 효과를 표현하는데 미흡하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 비사실적 이미지 표현 방법 중에서 3차원의 물체를 사람이 직접 그린 듯한 표현에 중점을 둔 3차원 카툰 렌더링 효과를 나타내기 위해 새로운 실루엣 커브 생성 방법을 제안하고 있다.

3. 카툰 실루엣

3.1 카툰 실루엣 커브 구성

다양한 NPR의 표현 스타일 중 최근 빠르게 연구되고 있는 카툰 렌더링 기술은 일러스트레이션(illustration)이 필요한 아동용 도서에서 의학적에 이르기까지 사진이나 그림을 대신하여 보다 효율적인 이미지 인식을 위해 사용되고 있다.

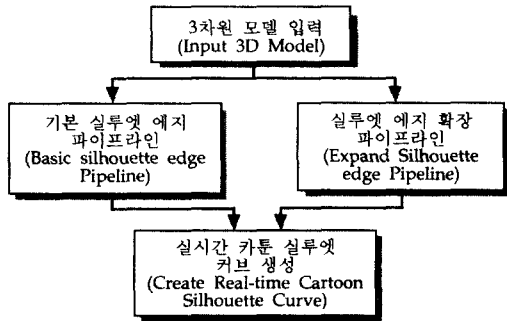


그림 1. 카툰 실루엣 커브 구성도

그림 1은 본 논문에서 구현된 카툰 렌더링의 기본 구성도이다. 기본 실루엣 에지와 실루엣 에지를 확장하는 카툰 실루엣 커브 파이프라인을 결합(composition)하여 효과적인 카툰 실루엣 커브를 생성한다.

3.2 실루엣 에지 추출

카툰 렌더링 표현에 있어 실루엣 에지 추출(silhouette edge detection)은 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 본 논문에서 실루엣 에지 추출은 다음 두 가지 개념을 중점적으로 포함하여 따른다. 첫째, 실루엣은 관찰자 시점에 따라 매 장면 위치가 바뀌어도 실시간으로 결정할 수 있고, 둘째 시각적으로 무리 없이 일관성을 가지고 표현되는 패스(path)를 선택하여 실루엣 에지를 생성하게 된다.

삼각 메쉬(triangle mesh)를 기반으로 하는 모델의 실루엣 에지를 추출하기 위해서 각 정점(vertex)에 대해서 시점 벡터(view vector) V_i 를 가지는 3차원 모델의 표면에 대한 법선 벡터(normal vector)를 N_i 이라 정의하고 주어진 시점에서 실루엣을 계산한다.

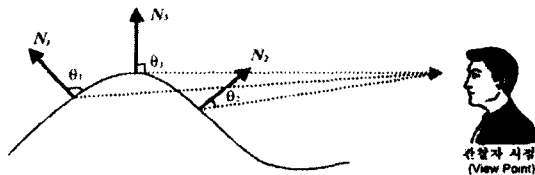


그림 2. 법선 벡터(Normal Vector)

시점 벡터 V_i 와 법선 벡터 N_i 의 계산식 :

$$D_i = N_i \cdot (X_i - V_i)$$

$\theta_1 = D_i > 0$: 보이는 다각형(visible polygon)

$\theta_2 = D_i < 0$: 보이지 않는 다각형(non-visible polygon)

$\theta_3 = D_i = 0$: 시점방향에 수직 ($\theta = 90^\circ$)

먼저 삼각 메쉬에서 모든 정점 X_i 에 대해 법선 벡터 N_i 를 구하고, 시점 벡터 V_i 를 가지는 에지에 인접한 두 다각형에 대한 D_i 값에 따라서 실루엣 에지를 결정한다. 즉 그림 2에서 보는 것과 같

이 위의 계산식에 따라서 $D_i = 0$ 일 때를 값으로 가지는 모델 표면의 주어진 두 다각형 사이에 공유되는 에지들의 집합으로 실루엣이 생성된다.

이렇게 생성된 실루엣 에지는 관찰자의 시점이 바뀌는 매 장면마다 실시간으로 렌더링 되어 나타난다. 일반적으로 카툰 스타일의 이미지 표현에서 외곽선을 그릴 때에는 물체의 표면과 유사한 어두운 색이나 점정색을 사용하게 된다.

본 논문에서는 사용자 정의에 의한 파라미터 값(parameter value)에 따라서 실루엣의 굵기를 조절할 수 있고, 사용자가 원하는 색을 적용하여 렌더링 할 수 있도록 제공하고 있다. 그림 3에서는 위 단계에서 찾아진 실루엣 에지를 렌더링한 결과를 나타낸다.

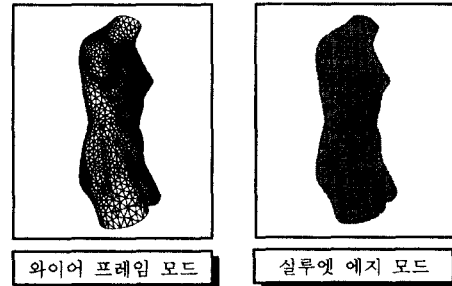


그림 3. 실루엣 에지 추출(silhouette edge detection)

3.3 카툰 실루엣 에지 렌더링

본 논문은 실시간 실루엣 에지 렌더링 과정을 통해 사람이 직접 그린 듯한 카툰 실루엣 커브 결과를 얻기 위해 아래와 같은 단계를 수행하게 된다.

1. 모델에서 실루엣 에지(silhouette edge)를 찾는다.
2. 주어진 라인 두께(LineWidth)에 따라서 보이는 다각형(visible polygon)을 렌더링 한다.
3. 카툰 스타일의 실루엣 에지 표현을 위해 에지 확장 파라미터 값(ExpandValue)에 따라 에지를 확장한다.
4. 모든 카툰 실루엣 커브를 렌더링 한다.
5. 관찰자 시점의 이동에 따라 위 단계를 반복 수행한다.

그림 4은 위의 각 단계별로 이루어진 렌더링 결과를 통합하여 카툰 실루엣 커브를 획득하여 나타내는 과정을 보여주고 있다.

본 논문에서는 카툰 스타일의 실루엣 에지를 표현하기 위해 먼저 기본 실루엣 에지와 개선된 Rossignac의 depth function[7]을 바탕으로 실제 사람이 직접 그린 듯한 카툰 실루엣 커브를 실시간으로 나타내는 카툰 렌더링을 목적으로 한다.

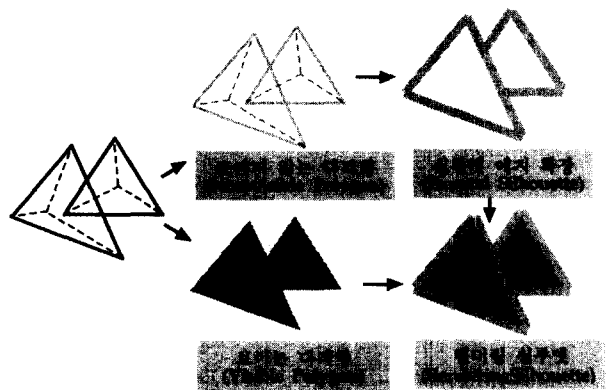


그림 4. 카툰 실루엣 에지(Cartoon Silhouette edge)

모델에 대한 기본 실루엣을 결정한 다음에 에지 확장 방식을 사용해 나타난 실루엣 커브는 결이 거친 실루엣(rough silhouette)을 보다 잘 표현 할 수 있게 된다. 이러한 에지 확장 함수(Edge Expand Function)는 각각의 삼각 메쉬에 대해 보이지 않는 다각형(Non-visible Polygon)일 경우를 추출해서 해당 에지를 확장시켜 실루엣 에지를 표현하게 된다.

본 논문에서 제시한 실루엣 표현 방식은 기존의 카툰 렌더링에 관한 연구에서 사용되고 있는 실루엣 에지 표현 방법과는 달리 핸드 드로잉에 근접한 표현이 가능하게 됨으로써 효과적인 카툰 스타일을 나타낼 수 있다. 또한 실루엣 에지 결정과 더불어 카툰 스타일의 실루엣 커브 표현을 실시간으로 수행하게 된다.

4. 실험환경 및 특징

본 논문은 PentiumII 400MHz, 64M M.M, WinNT환경 하에서 OpenGL 라이브러리와 C를 이용하여 구현하였다. 데이터는 Stanford Graphics Lab.과 Washington GRail에서 획득하였다.

카툰 실루엣 커브를 표현하기 위해 인접한 두 다각형 사이의 실루엣 에지 추출 결과와 에지 확장 방식을 통합한 새로운 스타일의 실루엣 커브를 실시간으로 생성하고, 사용자의 입력 파라미터 값에 따라 실루엣의 굵기와 색의 조절이 가능하다. 따라서 다양한 스타일의 카툰 실루엣 커브를 실시간으로 렌더링 하여 표현 할 수 있다.

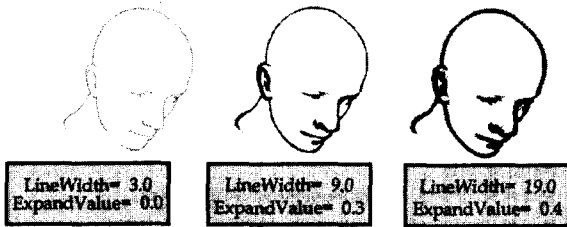


그림 5. 파라미터 값에 따른 실루엣 커브

그림 5는 라인의 두께(LineWidth)와 에지 확장 파라미터 값(ExpandValue)에 의해 실루엣 에지의 굵기를 조절하여 나타난 렌더링 결과로 각각의 파라미터 값을 적절히 조절함으로써 다양한 실루엣 커브 표현이 가능하다

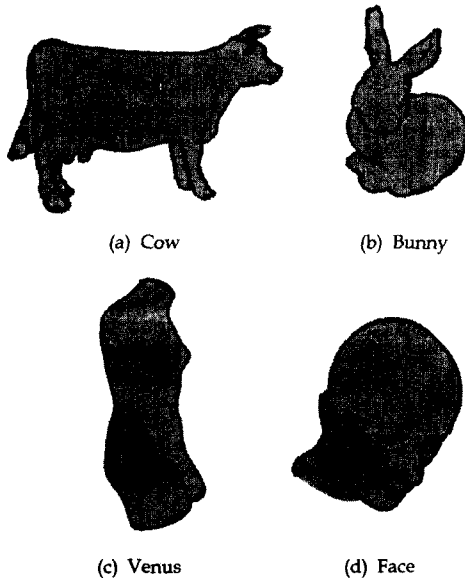


그림 6. 카툰 실루엣 커브 렌더링 결과

그림 6는 다양한 모델에 대해 카툰 실루엣을 적용한 결과를 보여 주고 있다. 라인의 두께(LineWidth=15.0)와 에지 확장 파라미터 값(ExpandValue=3.0)를 적용하여 렌더링한 결과이다.

표 1은 본 실험을 위해 사용된 각 모델들의 vertex와 triangle 정보를 보여주고 있다.

Data	Number of Vertex	Number of Triangle
Cow_model	2,904	5,804
Bunny_model	4,620	6,945
Venus_model	2,838	5,672
Face_model	6,738	13,408

표 1. 모델 데이터(Model data)

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 3차원 정보를 이용하여 사람이 직접 그린 듯한 핸드 드로잉 표현을 구현하는데 중점을 두고, 일반 PC기반 시스템에서 실시간으로 수행되는 카툰 렌더링 기법을 제안하고 있다.

제안한 방법은 관찰자의 시점에 따라 매 장면 위치가 바뀌어도 시각적으로 무리가 없는 자연스러운 실루엣을 생성하기 위해 에지 확장 방식을 바탕으로 렌더링 결과를 실시간으로 나타낸다.

기존의 카툰 렌더링에 관한 연구는 기본적인 외곽선(outline) 표현에만 중점을 두고 있는 반면, 본 논문에서는 새로운 스타일의 카툰 실루엣 커브를 이용하여 보다 핸드 드로잉에 근접한 표현이 가능하다는 장점이 있다.

본 논문의 향후 연구는 보다 효과적인 카툰 렌더링을 위해 실루엣 커브 표현뿐만 아니라 음영 효과와 여러 가지 칼라를 추가하여 다양한 카툰 스타일에 활용할 수 있다. 또한 보다 빠른 실루엣 에지 추출과 결정을 위한 알고리즘을 개발함으로써 속도를 개선하여 복잡한 모델에 대한 적용도 이루어질 수 있다.

6. 참고 문헌

- [1] Markosian, Michael A.Kowalski, Samuel J.Trychin, Lubomir D.Bourdev, Daniel Goldstein and John F.Hughes. Real-Time Nonphotorealistic Rendering. *Proceedings of SIGGRAPH 97*, pages 415-420, August 1997.
- [2] Appel. The notion of quantitative invisibility and the machine rendering of solids. *In ACM National Conference '67 Proc.* pages 387-393, 1967.
- [3] Gooch, Bruce Gooch, Peter Shirley, and Elaine Cohen. A Non-photorealistic Lighting Model for Automatic Technical Illustration. *In Computer Graphics, Proceedings of SIGGRAPH 98.* pages 447-452, July 1998.
- [4] Winkenbach and David H. Salesin. Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration. *Proceedings of SIGGRAPH 94* (Orlando, Florida, July 24-29, 1994). in *Computer Graphics, Annual Conference Series*, 1994.
- [5] Hertzmann, Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes. *SIGGRAPH 98 Conference Proceedings.* page 453-460. Orlando, Florida, July, 1998.
- [6] Decaudin. Cartoon-Looking Rendering of 3D-Scenes. *Research Report INRIA #2919*, June 1996.
- [7] Rossignac and M.van Emmerik. Hidden contours in a frame-buffer. *In Workshop on Computer Graphics Hardware, Eurographics '92 Proceedings*, pages 31-38, Sept. 1992.