

# 범프 매핑된 오브젝트에 대한 카툰 렌더링\*

이원규<sup>o</sup>, 이선영<sup>†</sup>, 이인권<sup>‡</sup>

연세대학교 컴퓨터과학과<sup>o†‡§</sup>

blazeq@cs.yonsei.ac.kr<sup>o</sup>, shepherd@cs.yonsei.ac.kr<sup>†</sup>, iklee@yonsei.ac.kr<sup>‡</sup>

## Cartoon Rendering for Bump Mapped Object

Won-Kyu Lee<sup>o</sup>, Sun-Young Lee<sup>†</sup>, In-Kwon Lee<sup>‡</sup>

Dept. of Computer Science, Yonsei University<sup>o†‡</sup>

### 요약

본 논문에서는 실사 렌더링에서 디테일한 조명 효과를 위해 쓰이는 범프 매핑 기술을 이용하여 기하적으로 복잡한 지오메트리를 표현 하되, 이미지 스페이스 상의 실루엣 검출 기법과 카툰 셰이딩을 적용하여 만화적인 스타일을 연출하였다. 이 연구를 통해 기존의 카툰 렌더링된 3D 씬에 범프매핑으로 표현된 오브젝트가 자연스럽게 어울릴 수 있고, 빌보드 이미지에도 카툰 렌더링을 적용하여 빛에 대한 변화 효과를 보여줄 수 있다.

## 1. 서론

카툰 스타일 렌더링은 구분이 뚜렷한 2-3단계의 레벨로 나누어 채색하는 셀 셰이딩(CEL shading)과 외곽선으로 이루어진다. 이러한 카툰 스타일 렌더링은 애니메이션 필름이나 TV 광고, 게임 등에 활발하게 이용되어 오고 있다. 외곽선과 2톤 셰이딩의 자동 생성에 대한 연구는 많이 이루어져 왔다. 그러나 기존의 연구들에서는 표면의 재질 표현이 상당히 중요한 객체에 대해서는 특별한 고려를 하지 않은채 단순하게 표면을 셰이딩 하므로 재질 표현에 한계가 있다. [12]에서는 파타클 시스템을 응용한 graftal 개념을 도입하여 디테일한 표면 표현을 하였고, [14]에서는 부피 정보를 NPR에서 표현하는 연구가 이루어졌다. 그러나 실제 전통적인 2D 애니메이션들은 대부분 특별하면서 간단한 무늬 형태로 재질을 표현한 것을 확인할 수 있고, 이를 카툰 렌더링에 적용하였을 때 기존의 카툰 스타일보다 훨씬 아티스틱한 효과를 표현할 수 있다. 본 논문은 이렇게 복잡하고 디테일한 표면이 특징이 되는 객체의 카툰 스타일 렌더링을 제안한다. 우리의 시스템은 크게 범프 맵핑과 실루엣 디텍션, 카툰 셰이딩으로 나눌 수 있다. 범프 맵핑을 위해 사용한 범프맵은 노멀맵(normal map)을 사용하였고, 이 노멀맵에 이미지 공간 외곽선 검출 기법(image space edge detection)을 적용하여 Edge feature들을 찾아내었다. 그리고 기존의 카툰 셰이딩 기법을 사용하였다.

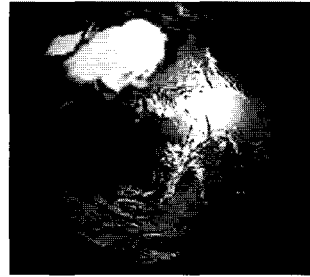


그림 1: 범프맵 적용의 예.

## 2. 관련 연구

[10]에서는 처음으로 3D 카툰 렌더링 기법이 제시되었고, 그 이후 NPR 분야에서 활발한 연구가 진행되어 왔다. 카툰 렌더링의 연구는 주로 객체의 외곽선 검출, 객체의 표면 셰이딩, 하이라이트, 그림자 등의 영역에서 이루어지고 있다. 폴리곤 모델에서 실루엣 엣지(silhouette edge)를 찾는 것에 대한 연구는 보통 3개의 카테고리로 나뉘어진다. 첫 번째는 이미지 스페이스에서 여러 단계의 렌더링을 통해 실루엣 엣지를 검출하는 방법으로 깊이(depth) 정보를 이용한 것[13]과 폴리곤의 scaling을 이용한 방법[9]이 있다. 이미지 스페이스에서의 실루엣 엣지는 어떤 종류의 폴리곤이든 구애받지 않고 가능하고 구현이 쉽지만 여러 번의 렌더링이 필요하기 때문에 다소 느리고 실루엣의 컨트롤에 제약이 있다는 단점이 있다. 두 번째는 오브젝트 스페이스, 세 번째는 하이브리드 스페이스에서 찾는 것인데 여기서 우리는 렌더링 화면의 이

\*본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (R01-2004-000-10117-0 (2004))의 지원으로 수행되었음.



그림 2: 카툰 렌더링의 예.

미지를 이용하여 이미지 스페이스에서 실루엣 엣지를 그렸다. 카툰 렌더링의 웨이딩은 보통 조명에 대한 램버트 반사식(노멀 벡터  $N$ 와 반사 벡터  $L$ 의 내적,  $N \cdot L$ )으로 계산한다. [10]에서는 기본적으로 Phong Shading 기반으로 하고 있는데 flat color를 얻기 위해서 shading 수식에서  $N \cdot L$ 을 제외하여 얻었다. 그리고  $N \cdot L < 0$ 를 만족하는 영역에 backface shadowing을 더하여서 표면의 어두운 부분을 채색함으로 기본적으로 2톤 웨이딩이 가능했다(그림 2 참조). [15]에서는 비사실적인 조명을 도입하여 일러스트레이션 테크닉의 웨이딩을 했는데, 메탈 객체의 웨이딩과 톤 기반 웨이딩이 가능했다.

범프 맵핑(bump mapping) 테크닉은 3D 물체의 표면에 디테일(detail)을 추가하기 위한 방법으로 제안되었다[1]. 이는 3D 물체에 복잡한 기하학적 컬러 디테일을 실시간으로 만들 수 있기 때문에 아주 유용하게 사용하여 왔다. 범프 맵(bump map)은 3D 물체에 입힐 2D 텍스처를 의미하지만 그 생성되는 방법에 따라 다양하게 존재한다. [3]에서는 범프 맵에 대하여 다음과 같이 분류하고 있다.

- 변위맵(displacement map): 각 texel(texture pixel) 마다 대응되는 폴리곤의 점과 노멀 방향으로 실제 표면의 점까지의 거리를 저장한다.
- 법선맵(normal map): 각 texel 마다 대응되는 점에 대해 실제 표면의 3D 노멀값을 저장한다.
- 조명맵(light map): 각 texel 마다 미리 계산된 셰이딩 값(RGB 값, 또는 기본 컬러값에 대한 intensity)을 저장한다. 주로 고정된 조명에 따라 설정된 정적 컬러값만을 표현한다.

표면에 작은 범프 맵을 반복적으로 입힘으로 표면이 매우 섬세한 객체들의(예를 들면 굴 껍질이나 벽돌의 표면) 표현도 가능하네, 또 다른 장점으로는 작은 계산 시간으로 풍부한 디테일을 표현할 수 있다는 것이다.(그림 1 참조) 이러한 특징으로 원본의 디테일한 객체를 간단화(simplified)된 메쉬(mesh) 형태로 저장해 놓고 원본 모델의 기하학적 디테일(geometry details)을 그대로 나타내기 위해 범프맵을 유용하게 사용하였다[4]. 본 논문은 법선맵(normal map)의 형태로 범프맵을 이용하였다. 노멀맵은 보통 객체를 다른 조명 상태에 따라 여러 차례 렌더링을 한 이미지들의 합성으로만 들어진다. 본 논문은 이와 같이 범프맵을 응용하여 표면 재질을 만화적으로 표현함으로써 효과적인 카툰 스타일 렌더링을 구현하는 방법을 제안한다.

### 3. 범프맵의 카툰 스타일 렌더링 기법

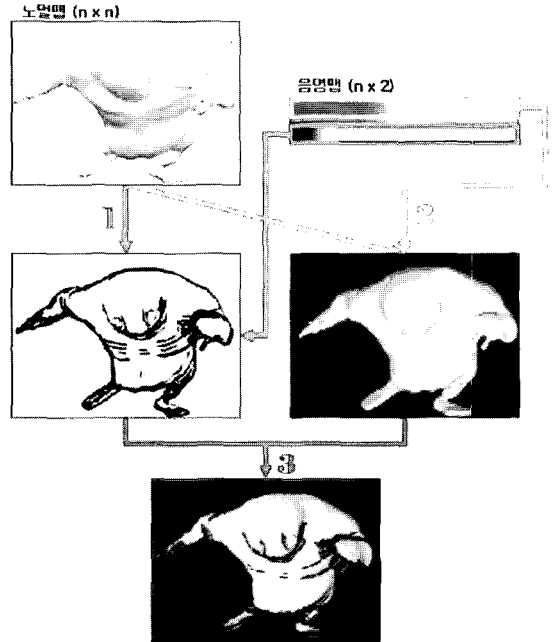


그림 3: 전체 렌더링의 과정.

그림 3은 노멀맵이 입혀진 사각형 폴리곤을 렌더링하는 과정을 보여준다. 각 단계의 연산들은 매 픽셀에 대해 처리되어 최종 화면을 구성한다. GPU의 프로그래머블 픽셀 셰이더를 사용하여 한 패스에 처리하였다.

사용된 텍스처들은 다음과 같다.

- 노멀맵( $n \times n$  pixels)
  - R: 노멀 벡터의  $x$  성분
  - G: 노멀 벡터의  $y$  성분
  - B: 노멀 벡터의  $z$  성분
  - A: 알파값
- 음영맵( $n \times 1$  pixels) - 음영값을 나타낸다.
- Edge맵( $n \times 1$  pixels) - 특정 구간이 Edge weight 0로 되어 있다.

실제 구현에서는 편의상 음영맵을  $n \times 2$  픽셀 사이즈로 만들어 첫 번째 row의 픽셀값들은 음영값을 채우고, 두 번째 row의 픽셀값들은 Edge Weight값으로 사용하였다.

Edge 디텍션과 웨이딩 방법은 다음과 같다.

1. 노멀맵에서 현재 선택된 노멀 벡터에 대해 8개 이웃 노멀 벡터들을 비교하여, 노멀 벡터의 변화가 큰 픽셀을 찾는다. 이미지 프로세싱에서 많이 사용되는 라플라시

안 필터를 이용해 노멀의  $x, y, z$  각 방향에 대한 불연속 점을 구한다. 픽셀  $X$ 에 대해서 이웃을  $A, H$ 라고 할 때,  $X$ 에서의  $C1$  불연속성은 다음과 같은 식으로 구한다. 불연속점  $L$ 은 다음과 같다.

$$L = (8X - A - B - C - D - E - F - G - H) / 3 \quad (1)$$

노멀벡터의 각 성분에 대한 discontinuity  $L_x, L_y, L_z$ 를 구한 다음, 그 중에서 최대값을 선택한다.

$$M = \max(L_x, L_y, L_z) / 3 \quad (2)$$

2. 노멀맵으로부터 픽셀의 노멀 벡터와 알파 값을 얻는다. 오브젝트 스페이스의 라이트 벡터와 노멀 벡터를 내적한 값을 음영맵에 대한 텍스처 좌표로 사용하여 음영값  $C$ 를 얻는다.

$$C = \text{sampling}(\text{ShadeMap}, \text{Light} \cdot \text{Normal}) \quad (3)$$

3.  $(1 - M)$ 값을 Edge맵에 대한 텍스처 좌표로 사용하여 edge Weight를 얻는다. 특정 임계값 이상에서는 1이고, 임계값 이하에서는 0에 가까운 값을 얻을 수 있다. 0에 가까울 수록 픽셀의 컬러값이 어두워진다.

$$W = \text{sampling}(\text{EdgeMap}, 1 - M) \quad (4)$$

Edge에 대한 Weight와 음영값  $C$ 를 곱하여, 현재 픽셀의 컬러를 구한다. 여기에 노멀맵에 저장해둔 알파값을 이용하여 블렌딩된 최종 픽셀값을 결정한다.

$$C' = C \times W \quad (5)$$

#### 4. 구현 및 결과

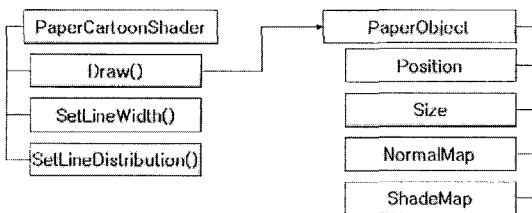


그림 4: 클래스 구조도.

우리는 카툰 스타일의 범프매핑을 위해 사각형 오브젝트에 씌워진 노멀맵을 이용하여 장면을 구성해 보았다. 구현은 Nvidia의 Cg를 사용하였다. 위 그림 4은 데모에서 사용한 클래스 구조도이다. PaperCartoonShader 클래스는 Cg를 위한 컨텍스트 초기화 및 해당 Pixel 프로그램에 대한 변수 등을

관리한다. PaperObject는 노멀맵과 음영맵을 갖는 사각형 오브젝트로서 PaperCartoonShader를 이용하여 렌더링할 수 있다. 구현에는 arbvp1 버전의 버텍스 셰이더와 vertex shader와 fp3 버전의 픽셀 셰이더를 사용했다. 2톤 셰이딩을 위한 음영맵과 Cool-to-Warm 셰이딩을 모방하기 위한 음영맵을 사용하여 결과물을 만들어 보았다. 그림 5는 Edge의 굵기를 변화시켰을 때의 결과를 보여준다. 그림 6는 광원의 위치를 변경했을 때, 셰이딩이 변하는 것을 보여준다. 그림 7은 복잡한 기하에서 노멀맵을 추출하여 평면에 입혀 뿌린 결과이다. 상세한 재질감을 유지한 채 카툰 렌더링이 적용된 것을 볼 수 있다.



그림 5: Edge의 굵기를 변화 시켰을 때 장면.



그림 6: 광원의 위치를 변화 시켰을 때 장면.

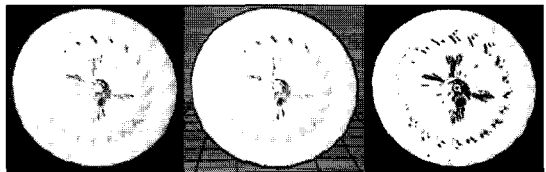


그림 7: 복잡한 재질에 카툰 렌더링을 적용했을 때 장면.

#### 5. 결론

본 논문에서 제시한 방법을 통해, 복잡한 기하를 범프매핑으로 표현하여 카툰 셰이딩을 적용할 수 있었다. 카툰 셰이딩 장면에서의 복잡한 오브젝트 표현 뿐 아니라, 배경 빌보드에 대한 조명효과로도 사용할 수 있다. 이 외에도 환경 매핑과 같은 실사 렌더링 기법을 카툰 스타일의 장면과 이질감 없이 사용하기 위한 방법들을 고안할 수가 있을 것이다.

## 참고 문헌

- [1] J. F. Blinn, Simulation of wrinkled surfaces, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAP 78), vol. 12, pp.286-292, 1978.
- [2] C. Curtis, Loose and Sketchy Animation. Proc. of ACM SIGGRAPH '98, pp.317, 1998.
- [3] M. Trarini, P. Cignoni, C. Rocchini, R. Scopigno, Real time, accurate, multi-featured rendering of bump mapped surfaces, Computer Graphics Forum 19(3), 2000.
- [4] V. Krishnamurthy and M. Levoy, Fitting smooth surfaces to dense polygon meshes, Computer Graphics Proc., Annual Conf. Series (Siggraph 96), ACM Press, pp. 313-324, 1996.
- [5] P. Cignoni, C. Montani, C. Rocchini, and R. Scopigno, High Quality Pictorial Detail Acquisition and Patching on 3D Objects, Springer KG, Wien New York, pp. 119-230, 1999.
- [6] H. Rushmeier, F. Bernardini, J. Mittleman, G. Taubin, Acquiring Input for Rendering at Appropriate Levels of Detail : digitizing a piet, Eurographics Rendering Workshop 1998, Springer Wien, 1998.
- [7] H. Rushmerier, G. Taubin and A. Guezic, Applying Shape from Lighting Variation to Bump Map Capture, Eurographics Rendering Workshop 1997, Springer Wien, pp. 35-44, 1997.
- [8] J. Buchanan and M. Sousa, The edge buffer: a data structure for easy silhouette rendering, Proc. of NPAR 00, Annecy, Fr., 39-42, 2000.
- [9] R. Raskar and M. Cohen, Image precision silhouette edges, In Proceeding of I3D, pp. 135140, 1999.
- [10] P. Decaudin, Cartoon-Looking Rendering of 3D-Scenes, Research Report INRIA #2919, June, 1996.
- [11] A. Lake, C. Marshall, M. Harris, and M. Blackstein. Stylized rendering techniques for scalable real-time 3d animation, NPAR 2000: Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, pp. 13-20, June 2000.
- [12] M. Kaplan, Bruce Gooch and Elaine Cohen, Interactive Artistic Rendering, Proc. of NPAR '00, Annecy, Fr., 2000.
- [13] T. Saito and T. Takahashi. Comprehensible rendering of 3D shapes, Proceedings of SIGGRAPH '90, pp. 197-206, 1990.
- [14] D. Ebert and P. Rheingans. Non-Photorealistic Rendering of Volume Models, Visualization 2000, Salt Lake City, UT, Oct, 2000.
- [15] A. Gooch, B. Gooch, P. Shirley, and E. Cohen, A Non-Photorealistic Lighting Model For Automatic Technical Illustration, ACM Siggraph '98, 1998.

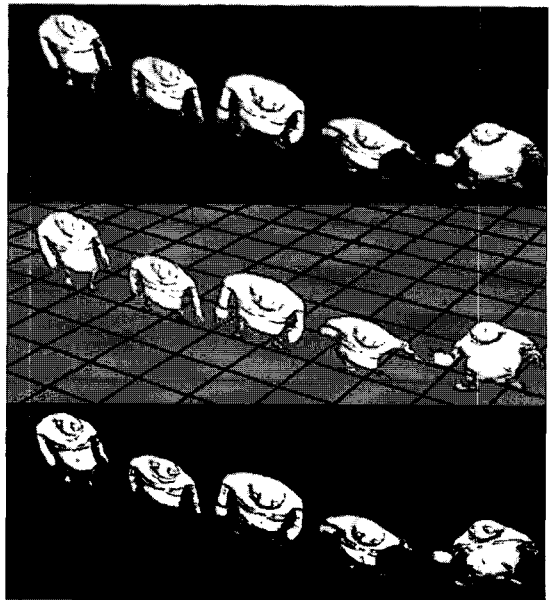


그림 8: 여러 음역 텍스처를 적용한 장면.