

3D 조각가공 시스템을 위한 3 차원 복원 방법

이원석[†] · 정성종^{*}

3D Reconstruction Method for 3D Engraving Systems

Won-Seck Lee and Sung-Chong Chung

Key Words : 3D Engraving(3 차원 조각), 3D Reconstruction(3 차원 복원), Adaptive Median Filter, Fourier Transform, IGES, Image Processing, NURBS, TechArt.

Abstract

Design is important in the IT, digital appliance, and auto industries. Aesthetic and art images are being applied for better design satisfaction of the products. Various artistic image patterns are used to satisfy demand of design, but it takes much lead-time and effort to implement them for making dies and molds. In this paper, a hybrid reverse engineering method generating accurate 3D engraving models from 2D art images is proposed through image processing, 3D reconstruction, and NURBS interpolation methods. In order to generate the 3D model from the 2D artistic image, cloud points with z-depth are extracted according to intensity values of the image. An adaptive median filter and harmonic filter are used to obtain the intensity values accurately. NURBS surfaces are generated through the interpolation of the cloud points. Performance of the developed system is to be confirmed through the realization of Mona Lisa and Golden Gate Bridge.

기호설명
 $f(u,v)$: U,V 평면상의 Cloud Points
 $F(k,l)$: $f(u,v)$ 의 푸리에 변환
 $G(k,l)$: Harmonic 필터링된 $F(k,l)$
 h : 호모지니어스 값
 $H(k,l)$: Harmonic 필터
 k : 주파수 영역의 실수축
 l : 주파수 영역의 허수축
 $N_{i,l}$: 접속함수
 P : 조정점 행렬
 p_0 : 절단 주파수
 Q : Cloud Points 행렬
 S_{xy} : 사각형 영역
 S_{max} : 최대허용 사각형 영역
 U : 이미지 상에서의 x 축 좌표

V : 이미지 상에서의 y 축 좌표
 Z_{min} : 사각형 영역안에서의 최소 명암 값
 Z_{max} : 사각형 영역안에서의 최대 명암 값
 Z_{xy} : x,y 지점에서의 명암 값

1. 서론

IT, Digital Appliance, 자동차 산업과 같은 제조산업이 급속도로 발전함에 따라 제품기능의 평준화가 빠르게 진행되고 있다. 이에 따라 소비자의 성향이 제품의 기능과 더불어 디자인을 중요하게 여기는 방향으로 전환되고 있다.

이러한 소비자의 디자인 욕구를 충족시켜 주기 위하여 다양한 예술적인 이미지들이 사용되고 있다. 그러나 이러한 이미지들을 CAD 화하여 제품에 적용하는 과정은 많은 시간과 노력이 요구된다. 이와 같은 노동 및 시간 집약적인 CAD 디자인 생성과정을 개선하기 위하여 2D 이미지로부터 3D CAD 모델을 쉽게 생성하고

[†] 회원, 한양대학교 기계공학과

E-mail : labslee@naver.com

TEL : (02)2220-0444 FAX : (02)2298-4634

* 책임저자, 회원, 한양대학교 기계공학과

다양한 CAD 시스템에서 가시화 및 수정이 가능한 중립 CAD 파일을 생성하는 CAD System 이 요구된다.

2D 이미지에서 3 차원 CAD 복원방법에 관한 선행 연구 중, Shape from silhouette⁽¹⁾은 정밀한 3 차원 복원결과를 얻기 위해서는 다수의 이미지와 정밀한 Camera calibration 장치가 필요하다. Shape from Shading⁽²⁾기법은 한 장의 Gray scale 이미지로부터 3 차원 형상을 복원하는 방법이지만 복원된 모델의 신뢰성이 낮다. Milan⁽³⁾등 은 Gray 이미지로부터 3 차원 Engraving 을 하는 방법을 제한하였지만 이 방법은 소음성분이 없는 단순한 이미지만을 적용하였고 실제 사진과 같은 복잡한 이미지에 적용이 어렵다.

본 논문에서는 2D 이미지로부터 3D CAD 모델을 생성하는 Hybrid reverse engineering system 을 제안한다. 3 차원 모델을 복원하는 방법은 다음과 같다. 첫번째 단계는 이미지상의 잡음을 제거하기 위해서 Gray scale 로 변환된 이미지에 적응 중간값 필터(Adaptive median filter)를 적용한다. 다음으로 이미지의 Intensity 정보를 바탕으로 Z 방향의 깊이값을 가지는 Cloud points 를 생성한다. 세번째 단계는 NURBS surface 의 평활도(Fairness)를 향상시키기 위해서 Cloud points 를 푸리에변환(Fourier transform)후 영역기반 Harmonic 필터를 적용하여 고주파 성분을 제거한다. 네번째 단계는 필터링된 Cloud points 를 NURBS 보간하여 NURBS surface 를 생성한다. 마지막으로 NURBS surface 를 IGES 파일로 변환하고 CATIA 상에서 가시화하여 본 논문에서 제안된 3 차원 복원방법을 검증한다.

2. 이미지 처리

2.1 적응 중간값 필터 알고리즘

3D 복원을 하고자 하는 이미지에는 작은 점과 같은 육안으로 보이지 않는 잡음(Noise)이 존재할 수 있다. 이러한 잡음들을 제거하지 않고 3D 복원을 진행하게 되면 복원된 CAD 의 표면이 거칠어지게 된다. 이러한 이미지상의 잡음을 제거하기 위하여 본 논문에서는 이미지를 Gray scale 로 변환한 후 적응 중간값 필터⁽⁴⁾ 적용하였다. 적응 중간값 필터 알고리즘은 Table 2.1.1 에서 보이는 것과 같이 두 가지 단계를 통해서 작동된다.

Table 2.1.1 Adaptive Median Filter Algorithm

Level A
$A1 = z_{med} - z_{min}, A2 = z_{med} - z_{max}$ If $A1 > 0$ and $A2 < 0$, Go to level B Else increase the window size If window size $\leq S_{max}$ repeat level A Else output z_{xy}
Level B
$B1 = z_{xy} - z_{min}, B2 = z_{xy} - z_{max}$ If $B1 > 0$ and $B2 < 0$, output z_{xy} Else output z_{med}



(a) Original image



(b) Filtered image

Fig. 2.2.1 Result of adaptive median filtering

2.2 적응 중간값 필터의 효과

적응 중간값 필터는 기존의 중간값 필터가 제거할 수 없는 Non-impulse 잡음 및 Salt and Paper 잡음을 제거한다. 이미지 본래의 형상을 보호하며 잡음 성분을 제거하기 때문에 이미지의 왜곡을 방지한다. 그림 2.2.1 은 적응 중간값 필터의 결과를 보여주며 필터를 통해서 더욱 선명한 이미지가 얻어지는 것을 확인할 수 있다.

3. Cloud Points 의 생성

본 논문에서는 Shape from Shading 의 방법과 같이 대상물의 깊이에 따라 빛의 반사율이 다른 점을 이용하여 Cloud Points 를 생성한다. Gray Scale 로 변환된 이미지는 반사율에 따라 Intensity value 가 0 에서 255 까지의 범위를 가진다. 본 논문에서

는 그림 3.1 에 보여지는 예와 같이 식 (1)을 통해 이미지 픽셀(pixel)의 Intensity value 를 기준하여 Z 축의 깊이를 가지는 Cloud Points 를 생성한다.

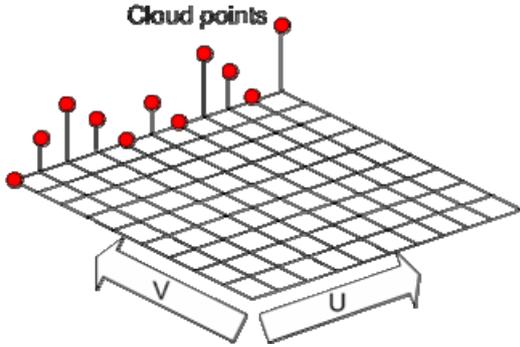


Fig. 3.1 Extraction of cloud points

$$z\text{-depth} = \frac{\text{Height}}{255} \cdot \text{Intensity value} \quad (1)$$

4. 평활도(Fairness) 향상

4.1 푸리에 변환

U,V 축 평면의 한 단면에 생성된 Cloud Points 를 도시하면 그림 4.2.1(a)와 같은 고주파 성분이 관찰된다. 이와 같은 고주파 성분은 제품의 가공시간이 증가시키며 표면을 거칠게 만들어 제품의 품질을 저하시킨다. 본 논문에서는 이러한 고주파 성분을 제거하기 위하여 식 (2)의 2 차원 푸리에 변환(Fourier transform)을 실시한 후 식(3)과 같은 Harmonic 필터를 적용한다.

$$F(k,l) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(u,v) \exp \left[-j2\pi \left(k \frac{m}{M} + l \frac{n}{N} \right) \right]$$

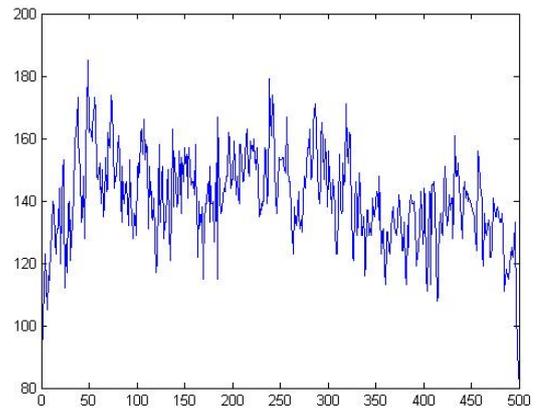
$$f(u,v) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} F(k,l) \exp \left[j2\pi \left(k \frac{m}{M} + l \frac{n}{N} \right) \right] \quad (2)$$

$$G(k,l) = H(k,l) \cdot F(k,l)$$

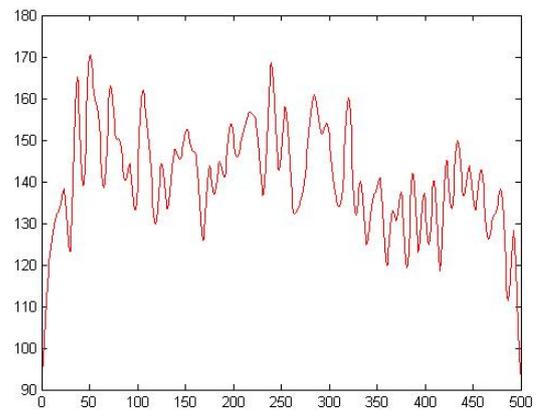
$$H(k,l) = \begin{cases} 1 & \text{if } P(k,l) \leq P_0 \\ 0 & \text{if } P(k,l) > P_0 \end{cases} \quad (3)$$

4.2 영역기반 Harmonic 필터

식 (3)의 H(k,l)는 F(k,l)의 특정 주파수를 사라지게 하는 Harmonic 필터이다. P_0 는 3 차원 복원된 표면의 평활도(Fairness)의 정도에 따라서 선택된다. Cloud Points 의 전체영역에 동일한 P_0 를 적용하게 되면 세밀하게 표현되어야 할 부분이 사라지게 되기 때문에 MSBF(Modified Simple Boundary follower) (5) 를 적용하여 이미지의 윤곽선 영역을 추출한 후 각 영역에 적합한 P_0 를 선택한다. 그리고 Harmonic 필터링된 G(k,l)를 식(2)의 푸리에 역변환(Fourier inverse transform)을 통해 시간영역으로 변환하여 Cloud Points 를 재배열 시킨다. 그림 4.2.1 과 그림 4.2.2 는 본 논문에서 고안된 Harmonic 필터를 통한 고주파 제거 효과를 보여준다.



(a) High frequency spatial data



(b) Filtered spatial data

Fig. 4.2.1 Enhancement of fairness through the harmonic filter



(a) 3D CAD model without the harmonic filtering



(b) 3D CAD model with the harmonic filtering

Fig. 4.2.2 Effect of the harmonic filter

5. NURBS surface 생성 및 보간

5.1 NURBS surface 생성

Harmonic 필터를 거쳐 재배열된 Cloud Point 를 식 (4)에 보인 비균일 B-spline 곡면^(6,7) 으로 모델링 한다.

$$P(u,v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m h_{i,j} P_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m h_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)} \quad (4)$$

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 & u_i \leq u < u_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+k-1} - u_i} N_{i,k-1}(u) + \frac{u_{i+k} - u}{u_{i+k} - u_{i+1}} N_{i+1,k-1}(u) \quad (5)$$

$$N_{i,1}(v) = \begin{cases} 1 & v_j \leq v < v_{j+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$N_{i,l}(v) = \frac{v - v_i}{v_{i+l-1} - v_i} N_{i,l-1}(v) + \frac{v_{i+l} - v}{v_{i+l} - v_{i+1}} N_{i+1,l-1}(v)$$

부드러운 NURBS 곡면을 얻기 위해서는 곡면을 표현하는 적당한 조정점, 매듭값 그리고 차수의 선정이 요구된다.

5.2 NURBS surface 보간

본 논문에서는 Cloud Point 를 통과하는 NURBS 곡면의 적절한 조정점과 매듭값을 구하기 위하여 임의의 차수의 곡면을 만드는 비균일 B-spline 곡면보간^(6,7) 을 적용한다. 곡면보간은 식 (6)과 같이 곡면모델이 $p, q(p=0, \dots, n, q=0, \dots, m)$ 번째 Cloud Point, Q 를 지나도록 조정점 P 를 구하는 과정이다.

$$Q_{p,q} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,k}(u_p) N_{j,l}(v_q) P_{i,j} \quad (a)$$

$$[Q] = [N_u][P][N_v]^T \quad (b) \quad (6)$$

$$[P] = ([N_u])^{-1} [Q] ([N_v]^T)^{-1} \quad (c)$$

$$u_0 = \dots = u_{k-1} = 0$$

$$u_{n+1} = \dots = u_{n+k} = 1$$

$$u_{i+k-1} = \frac{1}{k-1} \sum_{p=i}^{i+h-2} u_p, 1 \leq i \leq n-l+1$$

(7)

$$v_0 = \dots = v_{l-1} = 0$$

$$v_{m+1} = \dots = v_{m+l} = 1$$

$$v_{j+l-1} = \frac{1}{l-1} \sum_{q=j}^{i+l-2} v_q, 1 \leq j \leq m-l+1$$

6(a)를 행렬형태로 표현하면 곡면 조정점 P 는 식 6(c)를 통해 구해진다. 위 식에서의 접속함수 (blending function)를 결정을 하기 위해서는 매듭값 선정이 필요하다. 매듭값은 측정데이터의 할당된

매개변수를 이용하는 식 (7)과 같은 평균매듭법⁽⁷⁾을 적용한다. 평균 매듭법은 각 측정 데이터에 할당된 매개변수 u, v 의 평균값을 이용해 매듭값을 선정하는 방법이다. 따라서 곡면형상이 매듭값에 반영되며 접속함수 행렬요소를 대각선 방향에 위치시켜 수치적 안정성을 확보할 수 있다.

6. 실험

본 논문에서 개발된 Hybrid reverse engineering 시스템을 검증하기 위하여 회화적 이미지인 Mona Lisa와 실사 이미지인 Golden Gate Bridge를 3차원 복원하였다. 3차원 복원된 CAD 모델은 IGES 파일⁽⁸⁾로 변환되어 상용 CAD 시스템인 CATIA 상에서 가시화 되었다. 그림 6은 Mona Lisa와 Golden Gate Bridge의 3차원 복원결과를 보여준다.



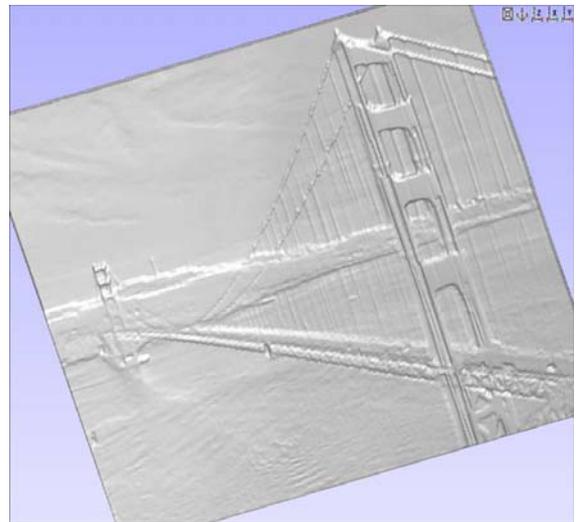
(a) Original 2D image of Mona-Lisa



(b) 3D reconstruction result



(c) Original 2D image of Golden-gate-bridge



(d) 3D reconstruction result

Fig. 6.1 Result of 3D Reconstruction

7. 결론

한 장의 2D 이미지로부터 효율적으로 3차원 복원을 하기 위해서 Hybrid reverse engineering 시스템을 설계하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2D 이미지의 Intensity 값을 기준하여 얻어진 Cloud Points를 영역기반 Harmonic 필터를 통해서 평활화한 후 NURBS 보간과 IGES 변환과정을 통해 3D CAD 모델을 생성하였다.
2. 적응 중간값 필터와 Harmonic 필터를 적용하여 CAD 모델의 곡면의 평활도가 증대하였다.
3. 개발된 CAD 시스템의 효용성을 다양한 이미지의 3차원 복원을 통하여 검증하였다.

참고문헌

- (1) Cheung, K. M., Simon, B. and Takeo, K., 2005, "Shape-From-Silhouette Across Time Part 1: Theory and Algorithm," *International Journal of Computer Vision*, Vol.62, No.3, pp.221~247.
- (2) Courteille, F., Crouzil, A., Durou, J. D. and Gurdjos, P., 2008, "3D-spline reconstruction using shape from shading: Spline from shading," *Image and Vision Computing*, Vol.26, pp.446~479.
- (3) Milan, S., and Pavel, N., 2000, "Transformation between Pictures from 2D to 3D," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.28, pp.69~84.
- (4) Rafael, C. Gonzalez, and Richard, E. Woods, 2002, "Digital Image Processing," *Prentice Hall*.
- (5) Gose, E., Johnsonbaugh, S., and Jost, 1996, "Pattern recognition and Image analysis," *Prentice-Hall*.
- (6) Lee, K. W., 1999, "Principle of CAD/CAM/CAE Systems," *Addison-Wesley*.
- (7) Lee, S. B., Kim, K. D., and Chung, S. C., 2000, "Machined Surface Inspection Based on Surface Fairing on the Machine Tool," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 24, pp.937~945.
- (8) Lee, S. B., and Chung, S. C., 1999, "On-the-Machine Measuring and Inspection System for Freeform Surfaces based on IGES Format," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 23, pp.590~607