

신발 곡면의 3차원 격자 데이터의 평면화에 관한 연구

A Study on the Flattening of 3D Mesh data of Shoes

이윤정*, 김영봉**

부경대학교 일반대학원 전자계산학과*, 부경대학교 공과대학 전자컴퓨터정보통신 공학부**

Yun-Jung Lee(leeyj01@pknu.ac.kr)*, Young-Bong Kim(ybkim@pknu.ac.kr)**

요약

캐드(CAD) 시스템은 우리가 사용하는 대부분의 산업 제품을 제작하는데 필수적으로 사용되고 있는 중요한 기술로 알려져 있다. 이러한 캐드 기술은 최근 컴퓨터 그래픽스 기술의 발달과 더불어 3차원 캐드 시스템으로 영역을 확장해 나가고 있다. 특히 신발 제조와 같은 특수한 영역의 CAD 시스템들도 3차원 캐드로 발전해 나가고 있다. 신발 설계를 위한 3차원 캐드 시스템은 가죽이나 천 같은 2차원의 부품들을 붙여서 3차원의 제품을 생산하는 작업의 특성상 2차원 데이터와 3차원 데이터 간의 호환성을 제공해야 한다. 또한 실제 작업 현장에서 일하는 많은 신발 캐드 디자이너들은 2차원 CAD 환경에 더 익숙하며 작업 효율도 높다. 그러므로 3차원 신발 모델링과 2차원 모델링 사이의 변환은 3차원 캐드시스템에서 무엇보다 중요하다. 본 논문에서는 신발과 같은 3차원 모델의 격자 데이터를 2차원 데이터로 변환하기 위한 평면화(flattening) 방법을 제안한다.

■ 중심어 : | 캐드 시스템 | 평면화 |

Abstract

CAD system is a very important technology in designing many products which we are using today. This CAD technology have enlarging its area into 3D CAD systems with the development of computer graphics technologies. In particular, such advances have also been realized in special area such as the CAD system for designing shoes. 3D CAD systems for shoes design must provide compatibility between 3D and 2D data because shoes are made using 2D parts of pieces of leather or cloth. Many designers get high performances using 2D shoe CAD systems because they have had long practices with the 2D systems. Therefore, to get the mapping between 2D modeling and 3D modeling is one of very important components in 3D CAD system. In this paper, we proposed a flattening method that convert 3D shoes data to 2D data.

■ keyword : | CAD System | Flattening |

1. 서론

컴퓨터 기술의 급속한 발전은 여러 생산 장비들을 컴

퓨터화 하는데 큰 역할을 하고 있다. 특히 CAD/CAM 기술의 발전은 부품의 설계에서 제품의 생산에 이르는

* 본 연구는 2004년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음

접수번호 : #060313-002

접수일자 : 2006년 03월 13일

심사완료일 : 2006년 03월 22일

교신저자 : 이윤정, e-mail : leeyj01@pknu.ac.kr

일관된 생산 공정을 갖추게 되었다. 특히 신발 제조 분야에서도 CAD를 이용한 신발 디자인에 대한 가치가 점점 증가하게 되었다.

신발 CAD 시스템들은 몇 년 전만 해도 2차원 설계 시스템들을 사용하였으나, 최근에 들어 3차원 CAD 시스템에 대한 관심이 높아져 가고 있다[1-4]. 그러나 신발 디자인에 있어서 숙련된 기술자들은 여전히 2차원 CAD 시스템 환경에 익숙해 있으며 이러한 숙련자들의 경험이 아주 중요하다. 또한 신발은 2차원인 가죽, 합성가죽, 헝겂 등의 갑피로부터 신발 조각을 만들고 이를 이어 붙여 3차원 신발을 만들어 나간다[5-7]. 따라서 3차원 신발 캐드 시스템은 3차원 신발 데이터를 입력받아 단순히 모델링하거나 시뮬레이션 하는 기능에서 벗어나 신발 조각 부품들의 설계 및 할출(Grading) 등과 같은 2차원 상에서 이루어지는 모든 설계 작업들과 병행되어야 한다. 이를 위해서는 3차원 신발 모델의 데이터를 2차원 형태로 변환하고 이 데이터들의 일관성을 유지하는 것이 중요하다.

3차원 모델을 2차원 형태로 평면화 하는 기술은 신발이나 옷과 같이 평면화 된 재료 상에서 필요 부분을 재단하고 조립하여 볼륨감 있는 입체 형태의 제품으로 만들어 내는 산업에서는 필수적인 부분이라 할 수 있다. 그러나 아직까지도 모델의 표현과 가공에 있어서 3차원 모델 데이터를 2차원으로 변환하는 기술은 많은 숙련자들의 경험에 의존하고 있으며, 이러한 입체 모델의 평면화 기술의 어려움으로 인해 소수의 연구 결과만이 현재 실용화가 되고 있는 실정이다[6-8].

본 논문에서는 3차원 물체를 디지털 데이터화 한 뒤 이 물체가 가지는 고유 기하학적 정보의 손실을 최소화 하며 2차원 물체로 펼치는 방법을 제안한다.

디지털 데이터화 된 3차원 모델은 작은 크기의 다각형 형태로 구성되며 각 다각형의 기하정보인 면적과 각 변의 길이, 내각의 크기 등의 3차원 상의 정보를 유지하면서 2차원 형태의 모델로 변환된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3차원 물체의 디지털라이징에 대해 설명하고, 3장에서는 3차원 신발 모델을 평면화하는 방법에 대해서 기술한다. 4장에서는 제안 방법을 신발 모델에 적용한 실험 결과를 보이고

마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 3차원 신발 모델의 디지털라이징

본 논문에서는 여러 종류의 3차원 모델 가운데 특히 2차원 형태의 합성섬유나 피혁 패턴들을 부품으로 갖는 신발 제품을 대상으로 평면화 하는 기술을 적용하였다.

신발에 대한 3차원 모델 데이터를 얻기 위해서 라스트[1][2]라고 하는 실제 신발 형태와 크기를 가지는 모형이 필요하며 이 모형의 표면을 격자화 하는 과정을 거쳐야 한다. 격자화[3]는 측정기로 측정할 점들을 표시하기 위해 모델의 표면에 격자 모양을 그려주는 과정이다. 격자화 된 신발 모형은 최종적으로 삼차원 접촉식 측정기를 통하여 디지털 데이터화 된다. [그림 1]은 신발 모형 표면에 격자를 표시한 것이다.

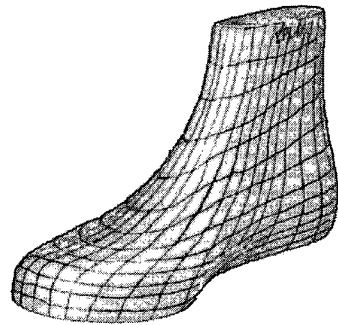
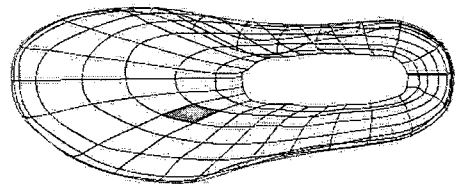
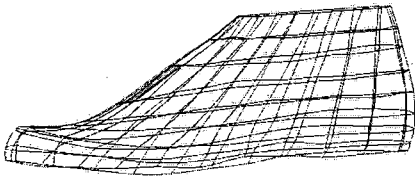


그림 1. 격자화 된 신발 모형

[그림 2]는 3차원 접촉식 측정기를 통해 입력 받은 모델 데이터를 메쉬 구조로 표현한 것이다.



(a) 위에서 본 모양



(b) 측면에서 본 모양

그림 2. 신발 모형의 3차원 격자 구조

III. 3차원 라스트의 평면화

신발과 같은 3차원 객체는 3차원 입력기를 사용하여 획득한 데이터를 그대로 사용하고 있다. 신발 모형의 3차원 표현을 위해 획득된 데이터에서 각 격자를 하나의 다각형 또는 곡면패치로 표현하고 있다. 그러나 [그림 1]에서 보듯이 격자 사이의 간격이 비교적 조밀하기 때문에 다각형으로 간주하여도 큰 오차를 보이지 않는다.

디지털화된 신발데이터를 바로 2차원으로 바꿀 수가 없기 때문에 일반적으로 가장 많이 사용하는 방법이 [그림 3]에서 보여주듯이 신발의 앞쪽 끝과 뒤쪽 끝 부분을 연결한 선을 활용하여 둘로 나누는 방법이다. 이를 위해 디지털링 단계부터 이를 고려한 격자선을 그려 주는 것이 바람직하다. 이와 같은 방법으로 나누었을 때 아래와 위쪽의 크기가 비슷하다는 특징을 가지고 있다.

신발의 평면화는 이렇게 나누어진 각 부분을 따로 평면화 하는 작업을 수행하게 된다. 각각의 평면화가 완전히 이루어진 다음에는 앞쪽 부분을 연결하여 하나의 평면에 신발 격자를 표현하게 된다.

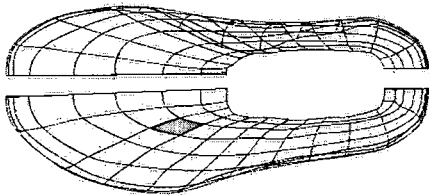


그림 3. 2등분 된 신발 모형

기존의 신발을 평면화한 여러 시스템들은 면적을 주요 결정인자로 하였다. 그러나 신축성에 따른 소재의 특

성을 감안하면 면적 뿐만 아니라 각 메시의 내각과 길이에 대한 고려를 하는 것이 더 적합함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 면적을 보존하면서 각 격자점 사이의 관계를 유지하는 방법을 고려하기 위하여 아래에 기술된 4가지 방법을 적절히 혼합하여 3차원 모델을 2차원 공간에 평면화하는 작업을 수행하게 된다.

1. 면적 보존법

[그림 3]에서 진하게 표시된 패치는 [그림 4]의 3차원 좌표 상의 다각형 $abcd$ 로 표현될 수 있다. 다각형 $abcd$ 에서 밑변 ab 는 [그림 5]와 같이 2차원 좌표 공간 상의 적절한 위치 $a'b'$ 에 놓이게 되며 점 c' 의 위치는 각 α 를 통해 결정된다.

점 d' 는 [그림 5]에서처럼 선분 $b'c'$ 와 평행하고 점 h 를 통과하는 직선 n 과 선분 $a'b'$ 에 평행하고 점 k 를 지나는 직선 m 과의 교점으로 결정된다.

이 때 선분 $a'k$ 와 선분 $c'h$ 의 길이는 [그림 4]에 있는 삼각형 abd 와 삼각형 bcd 의 면적을 각각 그 밑변의 길이로 나뉘 얻을 수 있으며, 직선 m 과 n 의 교점 d' 는 식 (1)과 같이 직선에 대한 매개 변수 방정식을 이용해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= A \times t + k.x, y = B \times t + k.y \text{ (직선 } m) \\ x &= C \times s + h.x, y = \times s + h.y \text{ (직선 } n) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} a \times t + k.x &= c \times s + h.x \\ b \times t + k.y &= d \times s + h.y \end{aligned}$$

여기서, A 와 B 는 [그림 5]의 벡터 $a'b'$ 의 x 와 y 의 성분값, C 와 D 는 벡터 $b'c'$ 의 x 와 y 의 성분값, $k.x$ 와 $k.y$ 는 점 k 의 x 와 y 좌표값, $h.x$ 와 $h.y$ 는 점 h 의 x 와 y 좌표값이다.

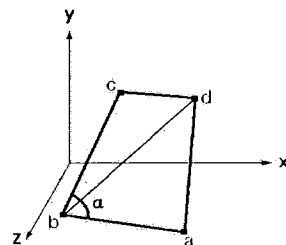


그림 4. 3차원 공간상의 폴리곤

$$\begin{aligned}
 T.x &= P.x \times 0.8 + Q.x \times 0.05 + R.x \times 0.1 + S.x \times 0.05 \\
 T.y &= P.y \times 0.8 + Q.y \times 0.05 + R.y \times 0.1 + S.y \times 0.05 \\
 T.z &= 0.0f
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서, P, Q, M, S는 앞서 제시한 4가지 평면화 방법에 의해 결정된 각각의 좌표 값을 순서대로 나타낸다. 가중치는 평면화할 대상에 따라 적절히 변경하여 대상에 적합한 가중치를 다르게 사용할 수 있다.

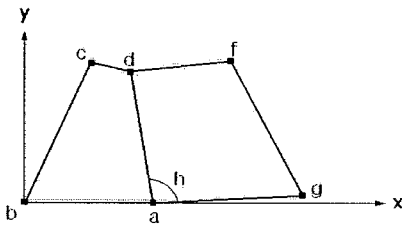
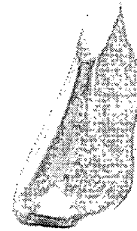


그림 9. 인접한 다각형의 구성

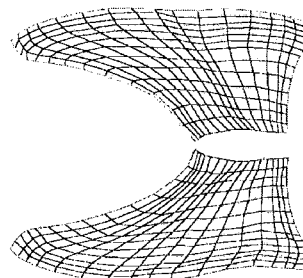
3차원 메시를 이루는 모든 다각형들은 최초의 메시를 선택하여 평면에 대응되는 다각형을 [그림 9]의 a,b,c,d와 같이 구한다. 그리고 다음 다각형에 대해서는 메시의 한변이 미리 평면화된 결과가 있으므로 나머지 두점에 대한 대응점 f와 g를 구하면 된다. 점 g는 선분 ad와 각 h를 이용해 결정할 수 있다. 점 f는 앞서 설명한 4가지 방법을 동일하게 적용함으로써 얻을 수 있다. 그리고 이 방법을 이용하여 한 열의 모든 메시들을 먼저 평면화한다. 그런 후 위의 메시와 아래쪽에 있는 메시를 차례로 같은 방법으로 대응되는 다각형을 구하는 과정을 반복하여 전체적인 메시를 평면화 하게 된다.

IV. 실험 결과

본 실험은 VC++ 6.0, OpenGL 라이브러리 기반의 Pentium4 2.4GHz, Main Memory 512MB 환경에서 이루어졌으며 3차원 모델 스캔을 위해 MicroScibe G2를 사용하였다. 모델링을 위해 사용한 모델은 265mm 크기의 운동화 라스트이며, 렌더링을 위해서 Hermit surface[9]를 사용하였다.



(a) 신발 모형의 3차원 모델링



(b) 신발 모델의 평면화 결과

그림 10. 실험 결과

[그림 10(a)]는 운동화 모형의 셰이딩 결과이며 [그림 10(b)]는 이를 제안 방법을 통해 평면화한 결과를 보여 주고 있다. 그리고 [그림 11]은 제안 방법과 현재 작업 현장에서 많이 활용되고 있는 독일의 ShoeMaster 제품의 평면화 결과를 비교한 것이다. 그림에서 실선은 제안 방법의 평면화 결과이고, 점선 부분으로 된 것은 ShoeMaster 제품의 평면화 결과이다. 그림에서 보듯이 제안 기법과 상용 시스템 간에 큰 오차가 없다. 즉, 두 방법에서 2차원 평면상의 하나의 격자점과 3차원 라스트 상의 격자점 사이의 대응관계가 크게 다르지 않기 때문에 두 차원의 대응을 위한 함수로 사용하는데 적합함을 알 수 있다. 대응관계는 라스트의 표면과 아래 그림의 공간 내에서만 이루어지게 된다.

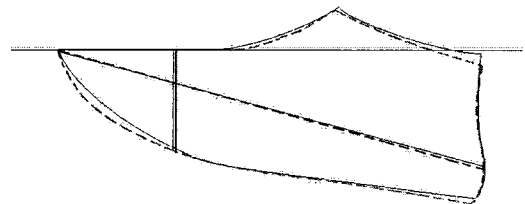


그림 11. 제안 기법과 ShoeMaster 제품의 평면화 결과 비교

위에 이루어진 대응관계를 바탕으로 실제적인 신발을 구성하는 다양한 자유곡면의 2차원 3차원 조각을 디자인 하게 된다.

V. 결론

본 논문은 3차원 입체를 모델의 기하학적 정보를 이용하여 2차원 평면으로 전개하는 방법을 기술하였다. 입체 형태의 모델을 평면화하기 위해 입체를 작은 단위의 다각형으로 구성하였고, 다각형의 면적과 각 변의 길이 그리고 다각형의 내각 크기를 입체 모델이 가지고 있던 정보와 동일하게 유지하는 기법을 이용하여 모델을 2차원 평면상에 전개시켰다.

이와 같은 기술은 옷이나 신발과 같은 2차원 형태의 부품을 결합하여 입체 형태의 제품을 만들어 내는 분야에 매우 유용하게 쓰이며, 나아가 3차원 모델에 최소 왜곡을 가지는 텍스처를 적용시켜 3차원 모델의 사실성을 높이는데 기여할 수 있다.

- [4] M. R. Hawes, D. Sovak, M. Miyashita, S. J. Kang, Y. Yoshihuku, and S. Tanaka, "Ethnic differences in forefoot shape and the determination of shoe comfort," *Ergonomics*, Vol.37, No.1, pp.187-196, 1994.
- [5] L. Kos and J. Duhovnik, "A system for footwear fitting analysis," *International design conference DESIGN 2002*, 2002.
- [6] M. Kouchi, "Analysis of foot shape variation based on the medial axis of foot outline," *Ergonomics*, Vol.38, No.9, pp.1911-1920, 1995.
- [7] M. Kouchi and E. Tsutsumi, "Relation between the medial axis of the foot outline and 3D foot shape," *Ergonomics*, Vol.39, No.9, pp.853-861, 1996.
- [8] H. B. Lee, *A Method for Constructing Mapping Sources of the Cloth 3D models*, HCI2003, 2003.
- [9] M. E. Mortenson, *Geometric Modeling*, John Wiley & Sons, Inc, 1939.

참고문헌

- [1] F. T. Cheng and D. B. Perng, "A systematic approach for developing a foot size information system for shoe last design," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.25, pp.171-185, 1991.
- [2] M. Mochimaru, M. Kouchi, and M. Dom, "Analysis of 3-D human foot forms using the Free Form Deformation method and its application in grading shoe lasts," *Ergonomics*, Vol.43, No.9, pp.1301-1313, 2000.
- [3] S. H. Kim, K. K. Jang, and H. Huh, "New CAD Datarization technique of Shoe Lasts for Automation of the Adaptive Lasting Machine," the proc. of KSME spring conference, pp.122-12, 2001.

저자소개

이윤정(Yun-Jung Lee)

정회원



- 1995년 2월 : 부경대학교 전자계산학과(학사)
- 1999년 2월 : 부경대학교 전산정보학과(석사)
- 2004년 2월 : 부경대학교 전자계산학과(박사 수료)

<관심분야> : 3D 모델링, 애니메이션

김 영 봉(Young-Bong Kim)

정회원



- 1987년 2월 : 서울대학교 계산통계학과(학사)
 - 1989년 2월 : 한국과학기술원 전산학과(석사)
 - 1994년 8월 : 한국과학기술원 전산학과(박사)
- 1994년 3월~1995년 2월 : 삼성전자 정보기술 연구소
선임연구원
- 1995년 3월~현재 : 부경대학교 컴퓨터 멀티미디어 공학부 부교수로 재직중
- <관심분야> : 3D 모델링, 애니메이터