

3차원 신발 CAD 시스템의 구현

이건호, 김희준, 김영봉
부경대학교 전자계산학과

Implementation of 3D Shoe CAD System

Gun-Ho Lee, Hee-Jun Kim, Young-Bong Kim
Dept. of Computer Science, PuKyong Nat'l University

요 약

신발의 디자인과 설계는 기술의 부족으로 과거 수십년 동안 3차원 실물을 대상으로 직접 이루어지지 못했다. 불과 몇년 전까지만 해도 신발 설계는 신발모형을 본뜬 근사적인 2차원 Last상에서 숙련된 전문 신발 디자이너의 손에 의해서만 가능한 일이었으나 최근에는 컴퓨터 H/W와 그래픽스 기술의 빠른 성장에 힘입어 3차원 Last를 대상으로 직접 신발을 설계하는 기술들이 개발되어 보다 효율적인 신발 설계가 가능하게 되었다. 그러나 아직 국내에서는 이러한 기술에 대한 연구, 개발은 미미한 수준이다. 본 논문에서는 3차원 Last를 2차원 평면으로 펼쳐서 양 차원간의 기하정보를 적절하게 Mapping 시키고 3차원 Last상에 직접 스타일 라인을 생성, 설계한 다음 이를 인터랙티브하게 2차원 패턴으로 생성해내는 3차원 신발 캐드 시스템을 구현 하였다

1. 서론

신발 설계를 위한 2차원 CAD 시스템은 컴퓨터 H/W와 그래픽스 기술의 눈부신 발전에 의해 많은 발전을 거듭해 왔고 실제로 오늘날 신발의 제작에 대해서도 많은 비용과 시간, 노력의 절감 효과를 가져왔다. 그러나 2차원 Last의 설계를 통해 3차원 신발 모델을 제작하는 일은 궁극적으로 서로 다른 차원의 물체간의 비 일치성의 문제를 안고 있으며 아직까지도 2차원 신발 패턴의 디자인과 설계는 오랜 경험을 가진 전문 신발 디자이너에게만 가능한 고난이도의 기술이라는 한계를 극복하지 못하고 있다. 이와 같은 문제는 오늘날과 같은 현실에서 국내 신발 업계의 경쟁력 제고와 더 많은 비용 절감을 위해서 반드시 극복되어야 하는 문제이며, 따라서 좀 더 효율적이고 실제적인 신발 설계 기술을 개발할 필요성이 있다.

현재 국외에서 개발되어진 3차원 신발 전용 CAD 시스템으로는 프랑스 Lectra사의 ROMANS CAD, 영국 Usm사의 USM3과 Clarks사의 ShoeMaster, 호주의 ProCam사의 DIMENSION[m2] 등이 있다. 이처럼 국외에서는 3차원 신발 캐드 시스템이 이미 개발되어 신발 설계에 사용되고 있으나 아직 국내에서는 자체 기술로 개발되어 사용되고 있는 3차원 신발 전용 CAD 시스템은 극히 미미한 상태이고 신발 제조 업체

에서는 값비싼 외국 제품들을 전량 수입해서 사용하고 있다. 그러므로 중소기업에서는 비용 부담으로 인해 전용 시스템을 쉽게 접하기 힘든 실정이다.

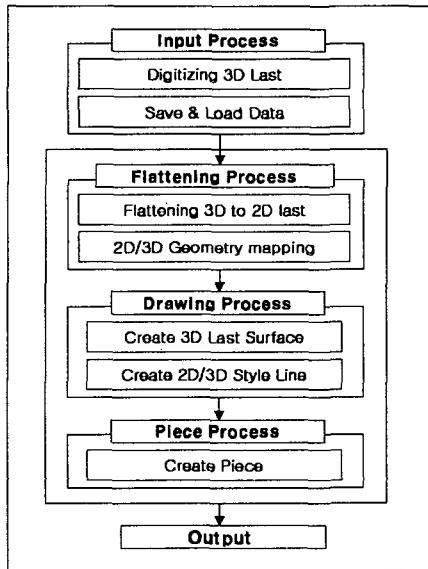
본 논문에서는 3차원 Last상에서 Design의 장점과 전통적 방법인 2차원 패턴 설계의 장점을 결합한 신발 전용 3차원 ShoeCAD 시스템을 개발할 것이다. 우리는 여기서 3차원 Last를 2차원 평면으로 Flattening하는 방법을 제시하며, 3차원 입체좌표와 2차원 평면좌표간의 Mapping방법을 제안한다. 또한 이를 토대로 3차원 Last상에서 직접 입력받은 스타일 라인을 통해 2차원 패턴을 생성하고 2차원 패턴상에서의 선의 수정도 3차원 Last상에 그대로 반영되게 하였다.

2. 3차원 ShoeCAD 시스템의 설계 및 구현

본 시스템의 궁극적 목표는 3차원 입력 장치에서 입력받은 3차원 Last정보를 2차원 평면으로 펼친 다음 3차원 Last상에서 스타일 라인을 디자인하고 2차원 패턴을 생성한 뒤 Grading을 적용시키는 것이다.

본 논문에서 구현한 3차원 ShoeCAD System은 크게 Data I/O, Flattening, Drawing, Piece 4개의 부분으로 나누어진다. 각 부분에서 생성되는 데이터들은 동적으로 할당되어 사용되고 프로그램 종료나 미사용

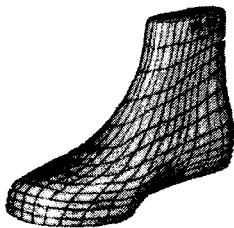
시에는 자동으로 메모리를 해제함으로써 메모리의 효율성을 높였다. 최종 설계를 마친 데이터는 SEG 화일이나 디자인 파일로 저장되고 차후 2차원 ShoeCAD 시스템으로 넘겨져 그레이딩 작업을 수행하게 된다. 그림1은 3차원 ShoeCAD 시스템에 대한 전체 구성도를 보여준다.



[그림1] 3차원 ShoeCAD System 구성도

2.1 Input Process

본 논문에서는 Last를 데이터를 얻기 위해 삼차원 접촉식 측정기를 이용한다. 먼저 발의 형상을 그대로 떠서 주조한 Last 준비하고 Last 표면에 격자를 구성한다. 격자의 구성은 측정기로 측정할 점들을 설정해주는 작업이다. 측정기에 의해 입력된 Data는 ASCII 코드 형태로 파일에 저장되게 된다. 그림2는 발 치수가 265mm인 라스트상에서 격자를 구성한 모습을 보여주고 있다.



[그림2] 격자로 구성된 Last

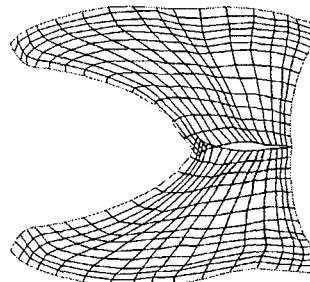
2.2 Flattening Process

2.2.1 Flattening 3D to 2D last

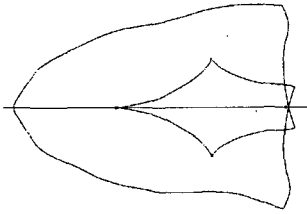
Flattening 과정은 신발 CAD 시스템에서 가장 핵심적인 부분으로 3차원 Last의 표면을 2차원 평면으로 펼쳐는 과정이다. Flattening의 주요 관건은 3차원 Last의 표면과 펼쳐진 2차원 표면이 얼마나 일치하는냐이다. 본 논문에서 Flattening을 위해서 제안하는 방법은 크게 3가지로 정리할 수 있다.

첫째, Last를 구성하는 폴리곤의 면적을 그대로 유지하면서 펼치는 방법을 사용한다. 먼저 입력받은 3차원 좌표 데이터를 이용해서 각 포인트들을 엮어 각각을 폴리곤으로 구성한다. 4개의 정점으로 구성된 각 폴리곤을 다시 2개의 삼각패치로 나눈 뒤 각 삼각형의 면적을 구한다. 기본적으로 3차원상의 좌표로 구성된 삼각패치의 밑변을 기준으로 잡아 2차원 공간에 놓여야할 삼각형의 3개 정점중 2개를 2차원 데이터 좌표공간에 옮기고서 나머지는 하나의 좌표는 면적을 이용해서 얻게 된다. 면적을 삼각형의 밑변으로 나누어 높이를 구하고 앞서 구한 면적과 높이, 법선벡터를 이용해서 정점의 좌표를 결정한다. 둘째, 폴리곤을 형성하고 있는 각 변의 길이를 그대로 보존하면서 펼친다. 이는 각 변의 길이를 반지름으로 하는 두 원의 교점을 이용하여 구한다. 셋째, 폴리곤의 내각을 그대로 유지하면서 펼친다. 두 변 사이의 각을 내적을 이용해 구한다. 위 세 가지 기준에 적절한 비중으로 묶어서 하나의 Cost Function을 만들고 Newton Raptson Method로 풀어 적절한 위치를 구한다.

기본 Flattening이 끝나고 나면 다음의 패턴 작업을 위해서 Heel, Toe, VampDepth 등의 신발의 기본 위치를 고려해 Center Line을 형성하고 신발의 Inside와 Outside를 일치시킨다. 그림3은 본 논문에서 제안한 방법으로 Flattening을 실시하였을 때의 결과를 보여주며 그림4는 Center Line을 중심으로 위치가 이동된 Flattening결과를 보여준다.



[그림3] Flattening된 Last



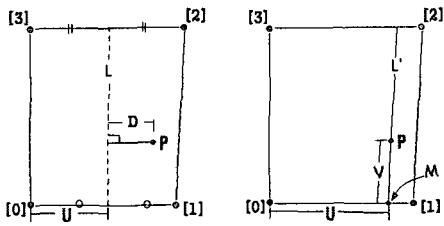
[그림4] Center Line에 정렬된 Last

2.2.2 2D/3D Geometry Mapping

3차원 ShoeCAD 시스템과 기존의 2차원 시스템을 구별 짓는 큰 특징이 있다면 그것은 입체감을 가지는 3차원 물체에 직접 스타일 라인을 그려 넣을 수 있다는 것이다. 일단 3차원 Last상에 스타일 라인이 입혀지면 펼쳐진 2차원 Last상의 같은 위치에도 동시에 같은 형태의 라인이 입혀지는 것이다. 이를 위해서 필요한 작업이 2D/3D Last간의 좌표 Mapping인데 실제로 세 번이 3차 곡선인 경우 내부점의 Mapping을 구하기는 거의 불가능하다.

본 논문에서는 Newton Raphson 방법을 적용하여 사각형 내의 한점에 대한 U, V 매개변수 값을 구하였다. 이 매개변수 값을 이용하여 3차원 Last상의 Polygon과 2차원 평면상의 Polygon 사이의 매핑에 활용하였다. 이 U, V값을 구하기 위하여 U=0.5를 시작점으로 하는 중선을 그림5의 (가)와 같이 그린다. 직선의 방정식을 이용하여 입력점과 중선 L과의 거리 및 방향을 계산한다. 이 거리 D가 Threshold 이내 있으면 해당 U값을 사용하고, 그렇지 않으면 U값을 방향에 따라 증감시킨다. 이 과정의 반복을 통해 그림 5의 (나)와 같이 입력점이 선분 L'에 근접하게 되며, 이 때의 U값을 매핑에 사용한다

V값은 직선[0][1]에서 U값이 가리키는 지점인 M과 입력점 사이의 거리를 구한 뒤 직선 L'의 길이로 나누면 구할 수가 있다. 이와 같은 방법으로 얻은 U와 V값을 통해서 2차원 Last 상에서도 같은 위치에 해당 하는 점을 얻어낼 수가 있다.

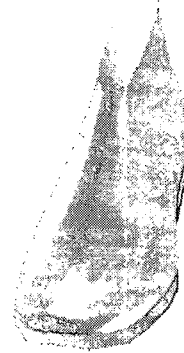


(가) (나)

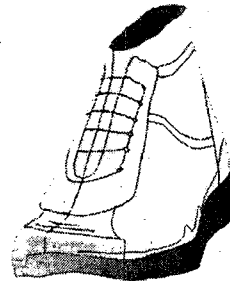
[그림5] 2D/3D Mapping

2.4 Drawing Process

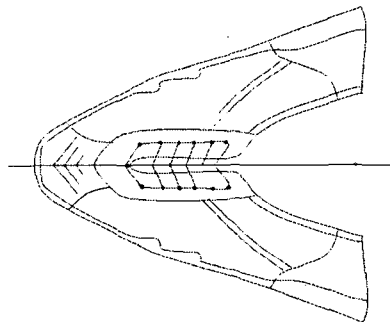
본 논문에서는 3D Last의 표면을 나타내기 위해 Hermite Surface를 이용한다. 아래 [그림6]은 측정기를 통해 입력받은 Last 데이터를 Hermite Surface를 이용해 Shading한 것이다. 그림7은 3차원 Last를 스타일 라인과 Drill, Mirror등의 기능을 이용해 디자인 한 모습이고 그림8은 이것이 그대로 2차원 Last에 반영된 모습이다.



[그림6] 3차원 Last의 Shading Model



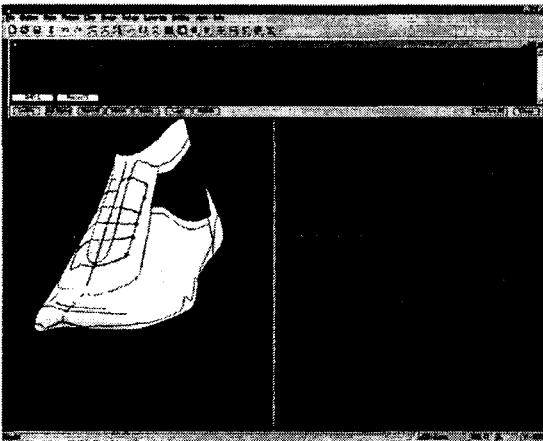
[그림7] 디자인된 3D Last



[그림8] 디자인이 반영된 2D Last

2.5 Piece Process

Piece는 신발 완성제품을 만들기 위한 신발의 갑피 부품을 말한다. 이 과정은 사용자가 모든 패턴에 대해 어떤 프리미티브들을 생성, 삭제, 추가등과 같은 편집을 할 수 있도록 하는 것이다. 이 기능은 2D Upper에 대해 디자인, Part-Piece들의 개발을 수행할 뿐만 아니라 3차원 Last 상에서는 볼륨감을 가진 입체적 Piece들을 동시에 생성해 사용자가 도면에 디자인한 패턴이 실제 신발에 부착 시켰을 때 어떠한 형상이 되며 또, 어떤 문제가 있는지 쉽게 발견할 수 있게 해준다. 통상적으로 Piece는 normal, mirror, score 3개의 그룹으로 분류되어진다. Normal은 선택된 프리미티브로 구성된 하나의 Piece를 생성한다. Mirror는 기준선에 대해 대칭적으로 같은 모양을 가진 패턴을 생성해주며 Score는 기준선을 중심으로 비대칭적인 Piece를 정의하는 기능이다. 그림9는 Normal Piece가 2차원 및 3차원 Last에 반영된 모습을 보여준다.



[그림9] Normal Piece의 생성

5. 결론 및 향후 연구 계획

본 논문은 3차원 Last상에 직접 스타일 라인을 생성, 설계한 다음 이를 인터랙티브하게 2차원 패턴으로 생성해내는 3차원 신발 캐드 시스템을 구현 하였다. 3차원 Last의 표면을 2차원 평면으로 펼치기 위해 분할된 각 삼각 패치들을 면적과 각도, 길이 유지방법을 이용하여 최대한 Last표면에 근사시켜 오차가 없도록 하였으며 양차원간의 좌표 Mapping을 위해 평면 다각형과 Newton Raphson Method를 이용한 근사적인 Mapping방법으로 3차원 Last 상에서 입력한 데이터가 2차원 Last상에서도 동일한 위치에 입력되게 하였

다. 뿐만 아니라 2차원상에서 생성된 Piece가 3차원상에서는 입체적이고 볼륨감 있는 실제 갑피 부품의 형상을 띄게 하여 완성후 모습을 미리 예측하게하거나 수정이 용이하게 하여 작업의 효율성을 더하였다. 향후, 우리는 작업의 효율성을 더욱 증대 시키기 위해 현재 시스템을 계속해서 업그레이드 할 것이며 대표적으로 다음과 같은 부분에서 향상 시킬 계획이다. 먼저, 3차원에 형성된 Piece에 텍스처 효과 부가하여 실물과 같은 효과를 더욱 증대시키고, Upper 뿐만 아니라 밑창도 함께 설계하여 시스템의 완성도를 높이며, Last의 Digitizing시 간편하고 효율적인 방법을 개발해 사용자의 편리를 더욱 도모할 계획이다.

[참고문헌]

- [1] Feng-Tsung Cheng, Der-Baau Perng, A systematic approach for developing a foot size information system for shoe last design, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol.25, p.171-185, 1991
- [2] Hawes, M.R., Sovak, D., Miyashita, M., Kang, S.J., Yoshihuku, Y. and Tanaka, S. Ethnic differences in forefoot shape and the determination of shoe comfort, Ergonomics, Vol. 37, No.1, p.187-196, 1994
- [3] Kouchi, M. Analysis of foot shape variation based on the medial axis of foot outline, Ergonomics, Vol.38, No.9, pp.1911-1920, 1995
- [4] Kouchi, M. and Tsutsumi, E., Relation between the medial axis of the foot outline and 3D foot shape, Ergonomics, Vol.39, No.9, pp.853-861, 1996
- [5] Seung-Ho Kim, Kwang-Keol Jang, Hoon Huh, New CAD Datarization technique of Shoe Lasts for Automation of the Adaptive Lasting Machine, the proc. of KSME spring conference, pp.122-127, 2001
- [6] Leon Kos and Joze Duhovnik, A system for footwear fitting analysis, International design conference- DESIGN 2002, 2002
- [7] Massaki Mochimaru, makiko Kouchi and Masako 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