

노트 제거를 이용한 NURBS 인체 모델 근사 곡면에 대한 제안

조준우, 권오현*, 한성수

영남대학교 섬유패션학부, *섬유의류연구정보센터

A NURBS Approximation Surface Representing Human Body by using Knot Removal

Joon Woo Jo, Oh Hyun Kwon*, Sung Soo Han

School of Textiles, Yeungnam University, Kyungsan, Korea

*RICTA, Yeungman University, Kyungsan, Korea

1. 서론

최근 어패럴 카드 시스템을 지원하기 위해 3차원 레이저 스캐너로부터 획득된 데이터를 해석적 곡면으로 재구성하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이를 위해 역공학(reverse engineering)을 이용하여 인체를 모델링 하는 시도는 패션, 의료 등의 분야에서 그 수요가 증가하고 있지만, 그 대상이 되는 인체가 매우 불규칙하기 때문에 기하학, 해석학적으로 접근하기가 어렵고, 시도 또한 미비한 실정이다. 산업 공학 전반에 걸쳐 주류를 이루는 곡선 모델로는 NURBS를 들 수 있다. 그리고, 기존의 인체 모델링에 대한 연구에서도 NURBS를 사용하여 그 적합성을 이미 검증 받은 바이다. 단, 실린더형 곡면을 사용하여 인체를 모델링 하는 과정은 곡면 생성 과정에서 불필요한 데이터 증가를 수반하게 되고, 아울러 각 단면곡선에서 필요로 하는 조정점(control point) 수를 임의로 결정해야 하는 문제가 있다. 때문에, 사용자에게 타당하다고 여겨지는 기준을 두고 그 데이터를 적절하게 제거하면서도 전체 곡면 형상에는 크게 영향을 미치지 않는 방법이 필요하게 된다. 따라서 본 연구에서는 NURBS 곡선, 곡면을 이용한 인체의 표현 과정 중 허용오차(tolerance)를 도입하여 곡선의 근사 정도를 결정하고, 노트 제거(knot removal) 알고리즘을 적용하여 곡면 생성 과정 중 증가하는 데이터를 제거하여 효율적인 모델러 개발을 지원하고자 하였다.

2. 최소제곱 NURBS 근사

2.1. 단면 곡선

본 연구에서 적용한 NURBS 곡선은 조정점이라는 정보에 의해 그 곡선의 형상이 결정된다. 즉, 조정점의 위치 및 조정점의 개수에 따라 최종 곡선의 형상이 결정되는 것이다. 전체적인 곡면을 구성하기 위해 본 연구에서 사용되어진 곡면은 스킨드(skinned) 곡면이므로 단면 곡선의 형상이 최종 곡면의 결과물에 상당히 중요한 부분을 차지하게 된다. 최종 곡면을 생성하기 위해서는 스킨드 곡면의 특성상 각 단면곡선마다 가지는 조정점 개수가 일치하여야 하는데, 이를 위해 쉽게는 각 단면곡선을 생성시킬 때 조정점 개수를 임의로 고정시키고 작업을 진행하는 방법이 있다. 하지만, 이러한 방법은 각 단면곡선의 복잡한 정도에 따라 유동적으로 조정점을 할당하지 못하므로, 형상이 복잡한 다른 단면곡선을 잘 표현하지 못하거나, 간단한 형상에 필요 이상의 많은 조정점을 사용해야한다는 단점이 있다. 또한, 몇 개의 조정점이 타당한 숫자인지 근사 툴(tool)을 사용하는 사람이 결정해야 하는데, 그 결정기준이 명확하지 않을 뿐 아니라 결과적으로는 시행착오를 거치면서 기준을 결정해야만 한다. 따라서 본 연구에서는 최소 제곱 근사법을 사용하여 근사 곡선을 생성하고, 그 과정에 있어서 허용오차를 근사 기준으로 도입하였다.

주어진 입력점이 Q_0, \dots, Q_m ($m > n$)일 때, 차수 p 인 NUBS 곡선은 아래 식(2.1)과 같다.

$$C(u) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) P_i \quad 0 \leq u \leq 1 \quad (2.1)$$

시작점과 끝점을 제외한 나머지 입력점들에 대해서 근사곡선이 최소 자승 조건을 만족시키도록 한다.

$$\sum_{k=1}^{m-1} |Q_k - C(\bar{u}_k)|^2 \quad (2.2)$$

식 (2.2)을 조정점 벡터 P 에 대해 미분하여 그 값이 0이 되면 최소자승조건을 만족시키게 된다.

$$f = \sum_{k=1}^{m-1} |Q_k - C(\bar{u}_k)|^2 = \sum_{k=1}^{m-1} |R_k - \sum_{i=1}^{n-1} N_{i,p}(\bar{u}_k) P_i|^2 \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial P_i} = \sum_{k=1}^{m-1} & \left(-2N_{i,p}(\bar{u}_k) R_k + 2N_{i,p}(\bar{u}_k) \sum_{i=1}^{n-1} N_{i,p}(\bar{u}_k) P_i \right) \\ & - \sum_{k=1}^{m-1} N_{i,p}(\bar{u}_k) R_k + \sum_{k=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n-1} N_{i,p}(\bar{u}_k) N_{i,p}(\bar{u}_k) P_i = 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

식(2.4)는 아래 식(2.5)과 같이 결정되지 않은 조정점 P_1, \dots, P_{n-1} 에 대한 선형방정식이 된다.

$$(N^T N) P = R \quad (2.5)$$

따라서, 식(2.5)로부터 조정점 P 를 구할 수 있다.

위 수식을 실제 데이터에 적용하여 본 결과를 Fig. 1, 2, 3에 나타냈었다. 점 데이터는 인체의 키 방향으로 1.298 m 높이에서 신체 단면을 형상을 추출한 것이고, Fig.1은 데이터에 대한 보간을, Fig.2는 동일한 데이터에 대한 최소자승 근사 결과를, Fig.3은 두 결과를 비교한 것이다.

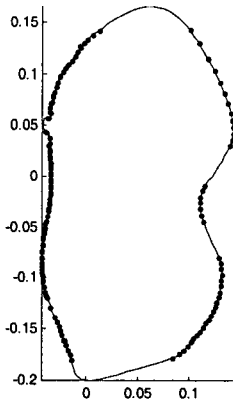


Fig. 1 An interpolation curve for a cross sectional data.

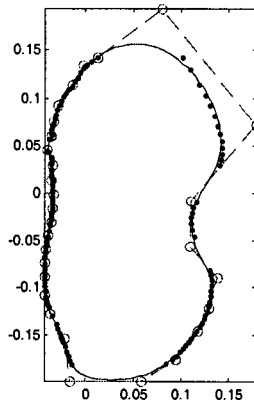


Fig. 2 An approximation curve for a cross sectional data.

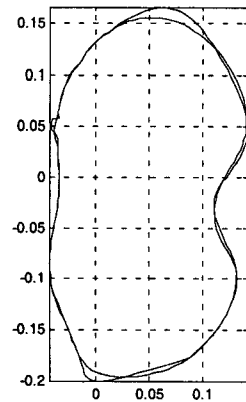


Fig. 3 Comparison between the interpolation curve and the approximation curve.

2.2. 근사 기준

2.1절에서 소개한 근사법을 가지고 실제 곡선을 근사할 때 그 근사 정도를 결정할 기준이 필요하게 된다. 본 연구에서는 이를 위해 최종적으로 근사된 곡선이 각 원시데이터로부터 떨어진 거리를 계산하여, 그 값이 사용자가 지정한 허용 오차값 내부에 존재하도록 하였다. 즉, 허용오차를 0으로 하면 근사 곡선을 보간 곡선과 완전히 일치된다. 앞서 보인 Fig.2에서는 허용 오차를 0.007m로 주어 근사를 수행한 것이다. 이렇게 계산되어진 deviation을 기준으로 반복적인 근사 작업을 통해 주어진 허용오차를 만족시키는 근사 곡선을 생성하게 되는데, 세부적인 알고리즘은 Fig.4에 나타낸 것과 같다. 단, 이 작업에서 나타나는 노트(knot)는 NURBS 곡선의 매개 변수 값으로, 노트가 늘어나면 조정점도 늘어나므로, 데이터의 개수를 나타낼 때 노트를 사용하여 나타내었다.

```

ALGORITHM
Interpolate Q;
n = the number of control points after removing knots of an interpolation curve;
Approximate Q using n;
do
    isapp = false;
    for i=1 to num(Q)
    do
        ER[i] = Calculated error of i-th point;
        if ER[i] > Tol
        then isapp = true; break;
        end
    end
    if isapp == true
    then Increase control points; Re-approximate;
    end
while(isapp)

```

Fig. 4 A program for curve approximation with a specific tolerance.

2.3. 허용오차(tolerance)를 적용한 곡선 결과

2.2절의 방법을 여러 개의 단면곡선에 적용시켰을 때 결과를 Table 1에 나타내었다. 허용 오차값이 0.01일 경우 곡선과 원시데이터 사이의 거리는 모두 1cm 이내에 있게 되고, 0.007일 경우 7mm 내부에 있게 된다.

2.4. 허용오차를 적용한 곡면의 생성

2.2절에서 만들어진 여러 개의 단면곡선을 사용하여 스킨드 곡면을 구성하기 위해서는 2.1절에서 밝힌바와 같이 모든 곡선의 조정점 개수가 같아야 하므로 노트병합이라고 하는 과정이 필요하게 된다. 각각 상이한 노트를 하나로 통합하는 과정 중에 많은 수의 노트가 늘어나고, 이는 곧 조정점의 증가로 이어지므로, 노트를 통합하고 난 다음 다시 허용오차를 도입하여 노트를 제거하는 과정이 필요하게 된다. 단, 이 과정에서는 Fig.5에 나타낸 것과 같이 이미 곡선을 근사할 때 생겨난 deviation이 존재하게 된다. 따라서 노트를 제거할 때 이를 고려하여야 한다. Table 2 는 이렇게 하여 얻어진 결과를 정리한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 단면곡선의 수가 증가할 수록, 허용오차가 감소할 수록, 데이터의 량은 증가하고 있다.

3. 결과

본 연구에서는 NURBS 근사를 사용하여 인체를 표현할 경우 결정해야할 인자중 하나인 조정점을 임의로 결정하는데 있어서 발생할 수 있는 문제를 고찰하였다. 조정점을 모든 곡선에 대해 동일하게 부여하고, 작업을 진행시키는 경우, 곡면을 생성할 시 작업이 간단해지는 장점은 있으나, 모든 곡선에 같은 조정점 수를 부여하므로, 세밀한 곡선의 표현과 데이터의 증가라는 상반되는 문제가 생기게 된

다. 따라서 본 연구에서는 임의의 조정점 결정보다는 합리적인 기준을 만들어 그 기준에 맞게 근사하고, 결과를 검증해 보았다. 본 연구의 결과로 인체의 단면곡선을 근사할 때 곡선의 조정점수에 의해 근사 곡선의 형상이 제한되는 문제를 해결할 수 있었으며, 또한, 그렇게 생성된 근사 곡선의 형태를 허용오차 내부로 유지하면서, 곡면 생성을 위한 노트병합과 노트제거를 수행 할 수 있었다. 따라서, NURBS 곡선을 저수준으로 제어 할 수 있는 인체 모델러 개발에 큰 기여를 할 것이라 생각한다.

4. 참고 문헌

1. Les Piegl, Wayne Tiller, "The Nurbs Book", Springer, pp.405-412(1996).
2. Joseph H. Nurre, Jeffery Connor, Erick A. Lewark, Jeffery S. Collier "On Segmenting the Three-Dimensional Scan Data of a Human Body", *IEEE transactions on medical imaging*, Vol.19, No.8, pp.787-797(2000).
3. Ioannis Douros, Laura Dekker, Bernard F. Buxton, "Reconstruction of the surface of the human body from 3D scanner data using B-splines", *The International Society for Optical Engineering*, vol.36, No.40, pp.234-245(1999).
4. 이남식, "컴퓨터를 이용한 3차원 인체형상의 표현 및 재현", 한국과학기술원 산업공학과 박사 학위논문(1987).

단면곡선 수	9	9
허용오차(m)	0.01	0.007
단면곡선	노트 수	노트 수
1	36	41
2	28	35
3	44	55
4	19	27
5	13	24
6	10	25
7	13	22
8	21	33
9	30	47

Table 1. Number of knots after approximation.

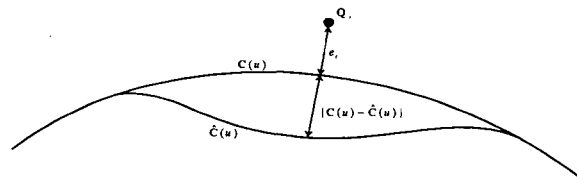


Fig. 5 Deviations before and after knot removal.

단면 곡선수	허용오차(m)	노트병합후 노트수	노트제거후 노트수	노트제거후 조정점수
9	0.01	218	22	18
	0.007	285	28	24
21	0.01	408	27	23
	0.007	571	31	27

Table. 2 Number of knots and control points at various tolerance for different number of cross sectional curves.