

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.6.121>

IIBC 2017-6-16

## B-Spline 곡선을 이용한 터치펜 잡음제거

### Touch-Pen Noise Reduction Using B-Spline Function

이상범\*

Sang-Bum Lee \*

**요 약** 최근에 터치펜이 내장된 모바일 기기가 증가하고 있다. 터치가 가능한 디바이스는 펜을 터치 보드에 접촉하는 순간부터 신호의 정확도와 반응 속도가 매우 중요하다. 따라서 터치 신호에 포함된 잡음을 빠르고 효과적으로 제거할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 터치스크린에 펜으로 입력된 터치 포인트 좌표에 섞인 노이즈를 제거하는 방법을 제안한다. 효과적인 필터링을 위해서는 먼저 입력된 신호 중에서 노이즈에 해당하는 좌표를 빠르게 Sampling함으로써 노이즈를 1차적으로 제거 한다. 그 다음으로 터치 좌표의 전체보정을 위해 B-Spline 곡선의 특성을 이용하여 좌표의 포인트를 보정하게 된다. 이는 다른 알고리즘들 보다 실시간성을 보장할 수 있다. 성능 평가 방법은 터치패드에 대각선을 10개의 구간을 나누어 오차 픽셀들을 기준 값들과 비교 평가하였다. 평균 오차는 7.1픽셀이며, 우리가 제안한 방법은 평균 4.1오차를 보였다. 따라서 우리가 제안한 방법을 이용하여 정확한 좌표에 표현 할 수 있는 터치 펜 시스템을 제시하였다.

**Abstract** Recently, a lot of people use touch-pen devices such as smart phones and tab computers. To generate the picture and text, a user can give input or control the touch-pen device through simple or multi-touch gestures by touching the screen with a special stylus pen and/or one or more fingers. The accuracy and response time from the moment of contact with the touch board is very important to the touch device. Therefore, research is needed to find a way of removing the noise included in the touch signal quickly and efficiently. In this paper, we propose a method for removing a noise mixed in with a touch point coordinate which has been caused by a input pen on the touch screen. For effective filtering, the fast sampling of the coordinate corresponding to the noise from the input signal is required primarily. Secondly the total compensation of the touch coordinates using the characteristics of the B-Spline curve is applied to correct coordinates of the points. This method can ensure a real-time response than other algorithms. The applied performance evaluation method is comparing error pixels with evaluation values by dividing 10 intervals on the touch pad diagonally. Usually the average error is 7.1 pixels but our proposed method shows an average 4.1 errors. Therefore, our proposed touch pen method can express the input signal on the coordinates more correctly.

**Key Words** : B-Spline, Noise Reduction, TouchPad

## 1. 서 론

최근 스마트폰, 태블릿 PC와 같은 소형 모바일 디바이

스의 보급이 빨라지고 있다. 따라서 태블릿 PC와 같은 스마트 디바이스 기기에 필수적인 터치스크린의 보급이 확대 되었다<sup>[10]</sup>. 이는 휴대성을 극대화하기 위해 상대적

\*정회원, 단국대학교 컴퓨터학과  
접수일자: 2017년 5월 25일, 수정완료: 2017년 11월 25일  
게재확정일자: 2017년 12월 8일

Received: 25 May, 2017 / Revised: 25 November, 2017 /

Accepted: 8 December, 2017

\*Corresponding Author: sblee@dankook.ac.kr

Dept. of Computer Science in Dankook University, Korea

으로 작은 크기의 디스플레이로 인해서 문자 입력의 경우에는 가상의 키보드를 가장 많이 이용하지만, 크기가 작아 빈번한 오타가 발생하여 사용자의 불편이 크다. 이러한 단점을 극복하기 위해 펜을 이용하여 필기 인식과 같은 새로운 입력방식이 주목 받고 있다. 펜을 이용한 입력 방식은 UI가 직관적이며 자유로운 표현이 가능하다는 장점이 있다.

가독성과 내구성이 뛰어난 정전용량 방식은 최근 모바일과 패드의 제품에 널리 사용되고 있다. 정전 용량 방식은 인체의 접촉에 의해 변화되는 정전용량을 감지하여 2차원 접촉 정보를 생성해 내며, 물리적으로 2개의 전도성 물질이 존재 할 때 생성되는데, 하나는 터치스크린 센서 전극 패턴으로 하나의 전도체를 구현하고, 인체의 손가락이나 펜을 이용하여 접촉 부위가 또 다른 역할을 하게 된다.

터치스크린 장치는 인체의 접촉 유무에 따라서 변화하는 정전 용량을 감지하여 접촉 위치를 생성해 내는 장치이며, 검출 원리에 따라서 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 자기용량(self-capacitance)방식이며 둘째는 상호용량(Mutual-capacitance)방식이 개발되어 있다.

자기용량 방식은 터치센서 칩에서 구동되는 정전 용량의 변화를 발생함으로써 나타나는 특성을 이용한다. 이는 직접 전하를 충전/방전하여 전압의 변화를 측정하는 방식이다. 상호용량 방식은 Tx 채널에 구동신호를 인가하여 전기장을 형성하고, 이로 인해 Rx 채널에 유기되는 전압을 측정하는 방식으로 구분 된다.

여기서 중요한 점은 센싱 방법에 따라 칩에서 생성된 신호는 터치 패드의 전극을 통해 접촉 부위에 전달되는데, 접촉 시 발생하는 정전용량 변화된 정보를 이용하여 2차원 위치를 검출 할 수 있는데 접촉부위와 함께 이웃간 존재하는 전극간의 정전용량 비율에 의해 결정한다. 이와 함께 회로 및 외부 노이즈 및 의도하지 않은 접촉에 의한 접촉 정보 생성을 막기 위하여 필터링 기술이 추가되어 안정적인 접촉 정보를 생성한다.

터치 센싱 기술과 같이 핵심 기술 이외에 좌표 연산 기술, 기생 성분 보상 기술, 저전력 설계 기술 등이 있지만 최근에는 노이즈 제거 기술이 중요하게 대두되고 있다.

터치 패드에서 선을 표현 할 수 있는 방법은 점으로 연결하거나 선으로 연결하는 방법이 있다. 이는 모두 일정 구간 내에서 함수가 선형으로 근사하는 것을 가정하

고 있다. 선형적인 근사 방법은 근본적으로 몇 가지 문제점을 가지고 있는데 그 중에서 대표적인 문제점은 그리고자 하는 확률 밀도함수의 그래프는 연속적인 반면에 터치스크린의 표현 방법은 픽셀 방법으로 이산적인 표현만 가능하다는 것이다. 따라서 부드러운 형태의 선을 표현하기 위해서는 점의 수를 늘리거나 연결하는 선의 간격을 작게 해야 한다. 그러나 몇 개의 점을 늘릴 것인지, 몇 개의 구간으로 나누어 직선으로 연결할 것인지를 결정하는 것은 스마트 디바이스가 지원하는 해상도의 영향을 받기 때문에 점의 수와 구간의 수는 상대적으로 변해야 한다. 또한 곡률 변화가 큰 부분에서는 점을 찍거나 선을 연결하는 방식은 제대로 곡선을 근사시킬 수 없다.

이러한 문제점을 보완하기 위한 대안으로 점이나 선이 아닌 곡선을 이용한 근사를 이용할 수 있다. Wegman과 Carr(1993)은 부드러운 곡선을 표현하기 위해서 3차 스플라인, B-스플라인, 베지어 등 여러 가지 보간과 근사 방법을 제시하였다. 이러한 곡선들을 이용할 때 좀 더 빠르고 부드럽게 곡선을 간사시킬 수 있다<sup>[1,2]</sup>.

1장에서는 제안한 논문의 간략한 소개를 시작으로 2장에서는 선형 스플라인과 카디널 스플라인, B-스플라인을 설명한다. 3장에서는 실험 환경과 조건들을 설명하고 4장에서 결론으로 제안한 방법의 평가를 제시 한다.

## II. 시스템 구성

터치펜에서 취득된 데이터는 터치패드와 펜의 인접한 사이에 값들로  $x$ ,  $y$ 값을 가진다. 이는 터치되는 순간 이는 2차원 매트릭스로 표현 할 수 있는데 이를 인접한 점들과 연결하면 하나의 선이 된다. 이는 선을 이용하여 글씨나 그림과 같은 모양을 그릴 수 있도록 설계하기 위함이다. 여기서 문제는 많은 노이즈 데이터가 분포되어 취득 된다는 점이다. 본 논문에서는 이러한 터치펜의 움직임은 라인을 예측하고 검출 하고 노이즈 데이터에 강한 알고리즘인 B-Spline을 제안하였다.

아래의 그림 1과 같이 2차원 매트릭스의 검정색 블록의 곡선에 대한 선을 표현하기 위해서 곡선 함수  $f(x)$ 가 필요하다.

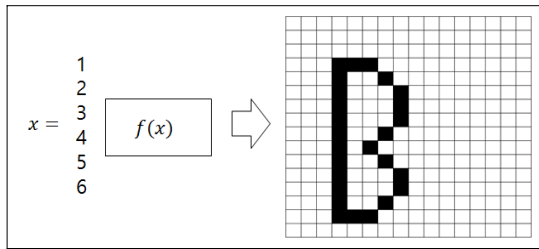


그림 1. f(x) 곡선 함수  
 Fig. 1. f(x) B-Spline Function

위의 f(x) 해를 도출하기 위한 방법으로 Spline 함수를 이용하는 방법을 제안 한다. Spline 함수는 크게 5가지 정도로 요약 할 수 있는데, Linear Spline, Cardinal Spline, B-Spline, Bezier Curve와 Nurbs 등이 있다. 본 논문에서는 Spline의 기본이 되는 Linear Spline, Cardinal Spline, B-Spline을 설명하고, 우리가 제안한 방법인 B-spline을 자세히 알아보고, B-Spline을 터치패드에서 취득한 데이터에 적용하였을 때의 특징을 설명한다.

### 1. 선형 스플라인(Linear Spline)

두 점의 좌표를 잇는 선을 이용하여 여러 개의 점들을 이어서 표현한 것을 폴리곤(polygon)이라고 한다. 이는 곡선 위에 있는 몇 개의 점을 선택하고, 이 점을 직선으로 이어 곡선을 표현하는 방법이다.

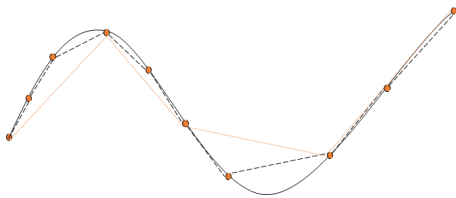


그림 2. 곡선과 5점과 10점 표현  
 Fig. 2. Spline and 5point, 10 point

위 그림 2는 검정 실선과 같은 곡선을 나타내기 위해 10개의 점과 5개의 점을 이용하여 2개의 폴리곤을 각각 표현하였다. 위 그림에서 보듯이 점들의 개수에 따라서 실제 곡선에 가까워지는 특징을 볼 수 있다.

### 2. 카디널 스플라인(Cardinal Spline)

카디널 스플라인은 접선 벡터를 곡선의 방위각을 고려하여 곡선을 표현할 수 있으며, 지역적 곡선 생성이 가능하다. 아래의 식 (1) 과 같이 tangent를 의미한다.

$$g_k = (1-c) \frac{S_{k+1} - S_{k-1}}{t_{k+1} - t_{k-1}} \quad (1)$$

매개변수 c는 장력(tension)이고 이는 0과 1사이의 값을 가진다. 이는 장력의(tension) 길이이며, 장력(c)이 1이면 0인 장력을 생성하고, 장력(c)가 0이면 Catmull-Rom spline을 생성한다. Catmull-Rom spline이란 장력을 0으로 두면, 아래의 식 (2)과 같은 결과가 나온다. 이는 식 (1) 에 (1-c)인 장력이 없는 스플라인이라고 할 수 있다.

$$g_k = \frac{S_{k+1} - S_{k-1}}{t_{k+1} - t_{k-1}} \quad (2)$$

즉 식 (2) 와 같이 카디널 스플라인의 장력(tension)이 0이면 Catmul-room spline 이라 부른다. 마지막으로 모든 상황에 대해 카디널 스플라인은 양 끝점에 대해서 선의 연결이 되지 않는다.

### 3. B-스플라인 (B-Spline)

B-spline 곡선은 터치 디바이스로부터 취득된 다수의 x, y 좌표 값을 갖는 점에서 정의 되는 부드러운 곡선을 표현하기 위해 사용된다. 각각의 일정 구간별로 다항식으로 표현되기 때문에 몇 개의 노이즈로 인해서 제어점을 변경하여도 전체 곡선에는 영향을 미치지 않는 성질이 있다. 또한 기본적인 곡선은 제어점을 통과하지 않는 특성을 가진다.

B-spline 곡선은 제어점과 기저함수들의 선형조합으로 표현하는 방법을 B-spline을 곡선으로 표현한 방법이다.

$$C = \{C_0, C_1, C_2, \dots, C_n\}$$

$$Y = \{-di, h, \dots, 0, h, \dots, nh, \dots, (n+di)k\}$$

$$f(t) = \sum_{i=0}^n c_i S_{i,di}(t)$$

$$S_{i,di}(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } t_i \leq t \leq t_{i+1} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$S_{i,di}(t) = \frac{t - t_i}{t_{i+di} - t_i} S_{i,di-l}(t) \quad (3)$$

$$+ \frac{t_{i+di} - t}{t_{i+di} - t_{i+1}} S_{i+1,di-l}(t)$$

여기서  $C_i$ 는  $i$ 개의 제어점을(control point) 의미하고,  $S_{i,d}$  를 B-spline 기저함수(B-spline basis function)라 한다.  $t_i$ 는 knot vector의  $n$ 개의 실수이고, 이를 통한 근사화된 함수  $f(t)$ 라 정의한다.

식 (3)의  $di$ 차의 재귀적인 piece-wise 다항식으로 정의하며 De Boor Cox의 점화식에 의해 정의 된다. 또한 동일한 간격의 knot vector에 대한 3차 B-spline의 기저함수는 식 (4)와 같다.

$$S_{i,3}(t) = \begin{cases} (t+3)^3/6 & -2 < t \leq -1 \\ (-3t^3 - 6t^2 + 4)/6 & -1 \leq t < 0 \\ (3t^3 - 6t^2 + 4)/6 & 0 \leq t < 1 \\ (2-t)^3/6 & 1 \leq t < 2 \end{cases} \quad (4)$$

터치 신호에서 취득된 데이터  $(x_i, y_i)_{i=0}^m$  와 knot vector에서 기저함수  $S_{i,3}(t)$  에 대한 제어점  $C_i$ 는 최소자승법(Least Square Method)을 통한 근사화로 값을 계산한다.

$$\min_{f \in S_{i,3}} \sum_{i=0}^m (y_i - f(x_i))^2 \quad (5)$$

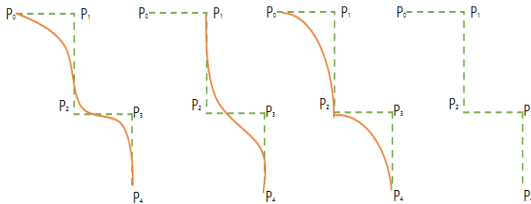


그림 3. F(x) 곡선 함수  
Fig. 3. F(x) B-Spline Function

위 식 (5)의  $S_{d,r}$ 은 취득된 knot vector  $\tau$  에 대한  $n$ 차원 B-spline space 이다.

$$P(t) = (1-t)2P_0 + 2t(1-t)P_1 + t^2P_2, 0 \leq t \leq 1 \quad (6)$$

위의 식 (6)처럼 B-spline 곡선은 3차 베지어 곡선과 달리 제어점의 개수에 제한이 없는 게 특징이다. 두 개의 점이 주어진다면 두 점을 잇는 직선과 같고, 위 그림과 같이 네 개의 점( $P_0, P_1, P_2, P_3$ )이 주어지면 중간 점  $P_1$  과  $P_2$ 가 이 곡선 모양의 제어점이 되고, 이때의 곡선 식은 2차 베지어 공식과 동일하게 된다. 단  $P_0$ 와  $P_4$  사이의 제어점은  $P_1, P_2, P_3$  이다<sup>[3,4,5,6,7]</sup>.

#### 4. SAMPLING 방법

비교 평가하기 위해 만든 Sampling 방법은 터치패드에서 펜의 x, y의 위치를 측정하여 오는 일련의 데이터 중에서 10개의 좌표값 산술 평균을 이용하여 좌표의 불확실성을 제약하였다. 이는 원본 데이터의 좌표 30 Frame rate의 속도로 예측된 데이터는 정상적으로 직선을 그었을 때 반듯한 직선의 결과가 나오지 않기 때문에 Sampling 비율이 높으면 직선에 강인한 점이 발견되었으나 동그라미를 입력하였을 때 취약성이 나타므로 좌표값을 10 Sampling rate로 고정하여 측정 하였다.

### III. 실험 환경 및 결과

우리가 제안한 방법은 터치 패드의 디바이스에서 터치의 신호를 받을 수 있도록 PC와 연결하여 취득 하였다.

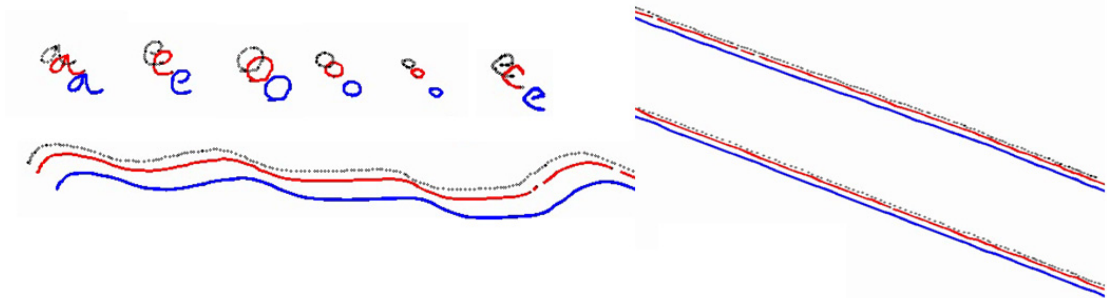


그림 4. 검정 : 원본 점, 빨강: 포인트 축소, 파랑: 제안한 방법 결과  
Fig. 4. black : original point, Red: Sampling, Blue: Our Method

취득된 데이터는 B-Spline방법과 Sampling 방법으로 비교·평가 하였다. 더 나아가 우리는 직관적으로 표현하기 위해 그림 4와 같이 실시간으로 데이터를 좌표 표시 방법으로 구현 하였다. 우리는 해상도 1366\*768인 16:9 환경의 디바이스에서 그림 5와 같이 왼쪽 모서리 끝과 오른쪽 모서리 끝을 터치패드 전용 펜을 이용하여 직선을 그어 평가 하였다.

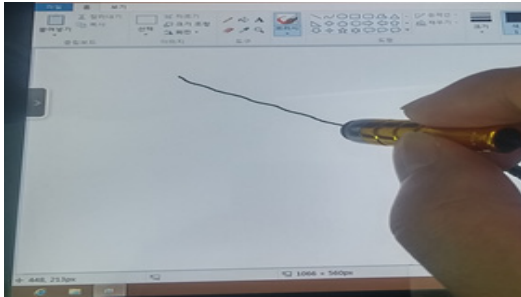


그림 5. 실험 환경  
 Fig. 5. Test Bad

터치펜에서 취득 된 점들은 평균  $\pm 7.1 Pixel$ 의 오차로 터치펜의 좌표를 얻을 수 있다. 이 점들을 이용하여 휴리스틱하게 Ground truth를 설정하고 비교 실험을 진행 하였다. 10개의 구간을 나누어 평균 픽셀 오차를 구하였다.

그림 4에서 와 같이 대각선 구간을 10등분 하여 구간 내에 Ground truth 와 Pixel 비교하여 오차를 측정하였다. Sampling 방법은 평균 5.4 Pixel의 오차를 보였으며, 우리가 제안한 B-spline 방법을 이용하여 4.1 Pixel 오차를 보였다. 이처럼 빠른 연산과 표현을 가능하게 함과 동시에 보정 효과를 보였다.

**표 1. 실험 결과**

**Table 1. Measurement Result**

측정 단위 : Pixel Error

구간	Sampling	Our Method
1	5	4
2	5	3
3	4	2
4	4	2
5	6	5
6	5	3
7	7	7
8	5	5
9	8	6
10	5	4

**IV. 결론**

본 논문에서는 샘플링 수를 줄인 방법과 우리가 제안한 방법을 비교 평가 하였다. 그림 4는 원본 포인트를 나타내고, 빨간 선은 Sampling한 비교 데이터, 파란색 선은 우리가 제안한 알고리즘을 적용한 결과를 나타내고 있다. 두 알고리즘의 성능은 무난한 성능을 보이고 있으나 노이즈가 강하게 생기는 곳에서 우리가 제안한 방법의 성능이 강인함을 보였다.

Sampling 방법은 데이터의 노이즈를 분류하기 전에 데이터 수를 1/2로 줄임으로써 상대적으로 노이즈가 감소한 것으로 보이지만 직선의 연장선상에서 평가하면 노이즈가 선을 표현할 때 가중치가 높은 현상을 볼 수 있었다. 따라서 우리가 제안한 알고리즘은 노이즈에서 Sampling 보다 평균 1.3 픽셀의 강한 면을 보였다. 터치펜에서 취득한 데이터를 1차 필터를 이용할 때 선의 방향을 미리 고려한 예측 모델을 생성하면 노이즈에 강인한 라인을 만들 수 있을 것으로 예상된다.

**References**

[1] Wegman, Edward J., and Daniel B. Carr. "26 Statistical Graphics and Visualization." Computational Statistics (1993): 857 - 958. doi:10.1016/s0169-7161(05)80150-6.

[2] Unser, M., A. Aldroubi, and M. Eden. "B-Spline Signal Processing. I. Theory." IEEE Transactions on Signal Processing 41, no. 2 (1993): 821 - 833. doi:10.1109/78.193220.

[3] Eck, Matthias, and Hugues Hoppe. "Automatic Reconstruction of B-Spline Surfaces of Arbitrary Topological Type." Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH '96 (1996). doi:10.1145/237170.237271.

[4] Mainar, E., and J.M. Peña. "Corner Cutting Algorithms Associated with Optimal Shape Preserving Representations." Computer Aided Geometric Design 16, no. 9 (October 1999): 883 - 906. doi:10.1016/s0167-8396(99)00035-7.

- [5] Lu, Feng, and Evangelos E. Milios. "Optimal Spline Fitting to Planar Shape." *Signal Processing* 37, no. 1 (May 1994): 129 - 140. doi:10.1016/0165-1684(94)90171-6.
- [6] Ma, Weiyin, and JP Kruth. "Parameterization of Randomly Measured Points for Least Squares Fitting of B-Spline Curves and Surfaces." *Computer-Aided Design* 27, no. 9 (September 1995): 663 - 675. doi:10.1016/0010-4485(94)00018-9.
- [7] Li, Weishi, Shuhong Xu, Gang Zhao, and Li Ping Goh. "Adaptive Knot Placement in B-Spline Curve Approximation." *Computer-Aided Design* 37, no. 8 (July 2005): 791 - 797. doi:10.1016/j.cad.2004.09.008.
- [8] Park, Sang-Bong. "Design and Implementation of Low Power Touch Screen Controller for Mobile Devices." *The Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication* 12, no. 6 (December 31, 2012): 279 - 283. doi:10.7236/jiwit.2012.12.6.279.
- [9] Park, Sang-Bong, and Jeong-Hwa Heo. "Implementation and Design of Control Circuit for Touch Screen with Faster Response Time." *The Journal of the Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication* 14, no. 1 (February 28, 2014): 155 - 159. doi:10.7236/jiibc.2014.14.1.155.

#### 저자 소개

##### 이 상 범(정회원)



- 1989년: LOUISIANA STATE UNIV. 컴퓨터과학 석사
- 1992년: LOUISIANA STATE UNIV. 컴퓨터과학 박사
- 1993년~현재: 단국대학교 컴퓨터과학과 교수