

Gabor Wavelet을 이용한 온라인 입력 서명의 분할

구 자 훈, 이 종 현, 김 재 희
연세대학교 전기 전자공학과 Computer Vision 연구실
전화 : 02-2123-4537 / FAX : 312-4584

A Segmentation Method for On-line Signatures Using Gabor Wavelet

JaHoon Ku, Jonghyon Yi, Jaihie Kim
Computer Vision Lab., Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei Univ.
E-mail : airfunk@unitel.co.kr

Abstract

This paper describes a new algorithm for segmenting continuous handwritten signatures sampled by a digitizer. Signatures are segmented by three procedures. The first step is to calculate the pen tip speed. Then the Gabor wavelet is carried out on the acquired data from the first step. Finally, the local minima of the filtered output are selected as segmentation points of the signature. The proposed method is experimented with numerous signatures with various length and complexity.

I. 서론

최근 전자 상거래의 발달로 사용자 인증 문제가 대두되고 있다. 이러한 문제 해결을 위해 개인의 서명을 통하여 자동으로 본인 여부를 확인하는 연구가 계속 진행되고 있다. 서명은 분실 할 위험이 없고, 또 지문인식처럼 사용자에게 불필요한 불편감을 유발시킬 우려도 없다는 장점이 있다.

온라인 서명 검증은 테블릿 위에 전자 펜으로 쓰여진 필기 데이터를 실시간으로 입력받아서 서명자의 진위를 자동으로 판별하는 과정이다.

온라인 서명의 검증 방법은 크게 함수적 접근 방법과 매개변수적 접근 방법과 구조적 접근 방법으로 나누어진다. 함수적 접근 방법은 입력 신

호를 시간에 따른 특징함수로 나타낸 후 서명의 시작에서 끝까지 모든 함수 값을 비교함으로써 서명의 진위를 판별하고[1], 매개변수적 접근 방법은 서명으로부터 서명의 특징이 되는 매개변수를 추출, 이를 매개변수 공간에 대응시킴으로써 등록된 서명과 거리를 구하여 진위 여부를 판별하게 된다[2]. 구조적 접근 방법은 서명을 구성하는 획 조각을 집합으로 나타내어 국부적인 중요한 부분을 선택적으로 사용하는 검증 방법이다[3][4]. 본 논문에서는 서명을 구조적으로 표현하기 위해, 서명 구성의 최소 단위를 형성하기 위한 서명의 분할 방법을 제안한다.

서명을 분할하기 위해서는 다음 조건을 만족해야 한다[4].

첫째, 분할되는 특징점은 서명의 회전, 위치이동, 크기 변화에 불변이어야 한다.

둘째, 동일한 서명들은 국부적인 변화(local variation)가 있더라도, 분할점의 위치는 일관되게 추출되어야 한다.

셋째, 분할되어 얻어지는 서명의 모양은 일정 개수의 최소단위로 정의 가능해야 한다.

기존 서명 분할 방법으로는 Y축 국부 극대점을 기준으로 분할하는 방법[5], 속력의 국부 극소점을 기준으로 분할하는 방법[3], 곡률의 국부 극대점으로 분할하는 방법[6] 등이 있다.

본 논문에서는 Gabor 필터를 이용하여 서명을 분할하는 방법을 제안한다. 온라인으로 얻은 서명 데이터로부터 속력특징함수를 구하여 그 특징 함수에 Gabor 필터를 적용한다. 얻어진 결과의 극소 값을 서명의 분할점으로 정의한다.

II. 기존의 서명 분할 방법

2.1 Y축 극대점을 이용한 서명 분할

Dimauro, Impedevo 와 Pirlo[5]등은 서명 내에서 y축의 국부 극대점을 추출하여 서명을 분할하는 방식을 행하였다. 이 방법은 영문 서명에서는 일관성 있는 분할점을 얻을 수 있다. 따라서 영문 서명에서는 안정적인 적용이 가능하지만 한글 한자 일본어 등의 동양계 서명에서는 획의 분할점이 수직 방향의 펜의 움직임뿐만 아니라 수평 방향의 움직임도 많이 존재하므로 이 방법으로는 수평 방향의 분할점을 얻을 수 없고, 동일한 서명자의 서명일지라도 y축 극대점이 일관성 있게 얻어지지 않는다. 그리고 회전에 따라 분할점의 위치가 변하기 때문에 이 방법에 의한 분할을 수행할 경우 매우 정확한 회전 보정이 전제되어야 한다.

2.2 속력의 극소점을 이용한 서명 분할

김성훈[3]등은 속력에 의한 국부 극소점을 추출하여 이를 분할점으로 하는 분할 방식을 행하였다. 이 방법은 속력 산출 식(1)에 의해 각 점에서의 속력 값을 구한 후 속력의 국부 극소점으로 분할점을 얻어낸다.

$$s[n] = \sqrt{\frac{(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2}{t_n}} \quad (1)$$

$$n = 2, 3 \dots N$$

$x_n, y_n = n$ 번째 점의 X, Y 좌표

$t_n = n-1 \sim n$ 번째 점 사이의 시간

$N =$ 전체 점의 개수

이 방법은 영문 서명뿐만 아니라 한글을 비롯한 동양계의 언어의 서명에도 매우 효과적이며, 대부분의 경우 동일한 위치에서 분할이 발생한다. 하지만 이 방법은 펜의 일시적인 정지, 또는 펜의 미끄러짐등의 국부적인 변화에 민감하고, 원에 가까운 형태에서는 분할점의 위치와 개수가 일정하지 않는 경우가 발생한다. 또한, 완만한 곡선에서는 분할 위치가 직관적인 위치와 일치하지 않는 경우가 발생한다.

2.3 곡률의 극대점을 이용한 서명 분할

이 방법은 서명 획의 각 점에 대해 곡률의 국부 극대점을 추출하여 이를 분할점으로 하는 방식으로 현재까지 Plamondon[6] 등의 연구가 있다. 이 방법은 분할되는 점이 서명의 회전, 위치 이동, 크기 변화에 불변일 뿐만 아니라 동일한 서명의 샘플들 간에 국부적인 변화가 있더라도 변화가 없는 동일 부분에서는 분할점의 위치가 서

로 일치한다. 또한 분할되는 점이 직관적인 점과 일치한다. 그러나 속력의 국부 극소점과 마찬가지로 원에 가까운 형태에서는 분할점의 위치와 개수가 일정하지 않는 것이 문제로 작용한다.

III. 일반적인 서명의 주파수 특성과 Gabor filter

3.1 일반적인 서명의 주파수 특성

기존의 필기행위 관련 연구와 서명행위 관련 연구에서[3] 일반적인 필기행위는 15 Hz에서 20 Hz의 Cut-off 주파수를 갖는다고 보고되었다. 본 논문에서는 초당 100개의 샘플을 받아들이는 전자펜과 태블릿을 이용하여 서명자의 서명을 입력받는다. 입력된 서명으로부터 그림 1과 같은 속력 신호를 추출하고, Fourier Transform에 의한 주파수해석을 하여, 대부분의 주파수 성분이 20 Hz 이내에 존재하는 것을 확인하였다.

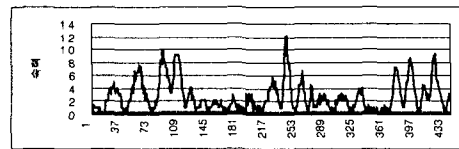
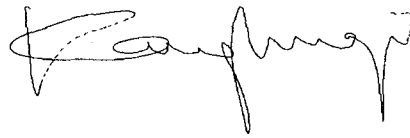


그림 1. 입력 서명과 추출된 속력 특징 신호

3.2 일차원 Gabor filter

일차원 Gabor 필터는 신호에서 원하는 특정 주파수 성분을 추출할 수 있는 대역 통과 필터의 하나이다. 일차원 Gabor 필터는 정현파와 가우시안 함수를 변조(modulation)함으로써 만들어진다. 가우시안 함수는 필터의 크기를 결정하고, 정현파의 주파수는 필터가 추출하는 주파수 성분을 결정한다.

$$G(t) = e^{-\frac{(t-t_0)^2}{\alpha^2}} e^{j\omega t} \quad (2)$$

α : effective width

ω : frequency

Gabor 필터는 중심주파수와 대역폭의 비가 같은 고정 상대 대역폭(constant relative bandwidth)을 갖는다. 다시 말하면 중심주파수가 커질수록 대역폭도 그에 비례하여 넓어지고 공간에 나타나는 필터의 크기는 중심주파수에 반비례한다.

IV. Gabor 필터를 이용한 서명 분할 방법

인간의 필기행위는 반복적인 훈련과 사회적인 습관에 의해 숙련되며, 따라서 일반적인 필기행위의 주파수적인 특징을 대부분 포함하는 주파수 대역이 존재할 것이다. 또한 서명자의 서명행위는 개인만의 숙달된 근육 운동으로서, 서명자의 고유한 특성을 반영한다. 따라서 숙달된 서명은 개인의 특징을 잘 반영하는 고유한 주파수 대역을 갖는다. 본 논문에서는 Gabor 필터를 사용하여 중심 주파수 별로 서명 신호를 분석하고, 그 결과를 이용하여 서명을 분할한다. 그림 2는 Gabor 필터를 이용한 서명 분할 과정을 설명하는 그림이다. 서명자의 서명은 on-line 테블릿을 통해 초당 100개의 샘플로 입력받는다. 전처리 과정은 잡음제거 과정과 크기 정규화 과정으로 이루어진다. 전처리 과정의 결과로 나온 서명 신호로부터 식(1)을 이용하여 서명의 속력 특징을 추출한다. 그림 2와 같이 추출된 속력 신호에 대하여 각각 $\pi/32$ (1.56Hz), $\pi/16$ (3.12Hz), $\pi/8$ (6.25Hz), $\pi/4$ (12.5Hz)의 중심 주파수를 갖는 Gabor 필터를 적용한다. 마지막으로 서명의 분할 과정은 Gabor 필터링한 결과값들의 극소점을 찾아 그 점을 서명 분할점으로 결정한다.



그림 2. Segmentation 과정

서명 특징 신호의 Gabor 필터링된 결과와 그 극소점을 이용한 서명 분할점은 그림 3에서 그림 6에 보였다.

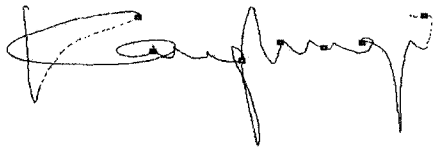
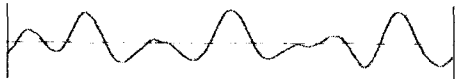


그림 3. $\omega = \pi/32$ 필터의 출력 신호와 서명 분할 결과

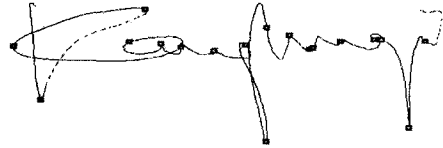
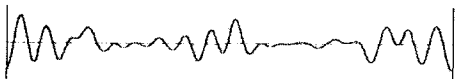


그림 4. $\omega = \pi/16$ 필터의 출력 신호와 서명 분할 결과

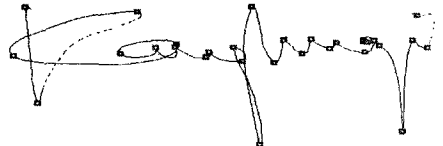


그림 5. $\omega = \pi/8$ 필터의 출력 신호와 서명 분할 결과



그림 6. $\omega = \pi/4$ 필터의 출력 신호와 서명 분할 결과

위의 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 Gabor 필터를 이용한 서명 분할은 $\pi/16$ 와 $\pi/8$ 의 중심 주파수 필터를 이용한 경우에 좋은 결과를 얻을 수 있다. 실험 결과 서명의 길이가 짧고 간단한 경우에는 $\pi/16$ 의 중심 주파수를 갖는 필터를, 그리고 서명의 길이가 길고 복잡한 경우에는 $\pi/8$ 중심주파수 필터를 적용하여 더 좋은 서명 분할 결과를 얻을 수 있었다. 또한 $\pi/32$ 필터를 이용하는 경우에는 너무 적은 수의 분할점을 얻을 수 있었으며, $\pi/4$ 필터를 적용한 경우에는 지나치게 많은 수의 분할점이 추출되어 좋지 않은 결과를 얻었다.

V. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 서명의 분할되는 점이 직관적인 위치에 가까운지를 알아보기 위해 곡률의 극부 극대점으로 분할하는 방법과 본 논문에서 제안한 방법을 비교한다. 본 논문에서는 다양한 길이와 복잡도를 갖는 10 종류의 서명을 이용하여 실험했다.

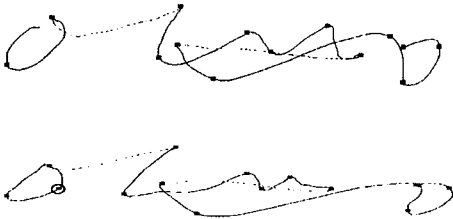


그림 7. 곡률에 의한 분할에서 분할점을 일반적으로 추출하지 못한 예

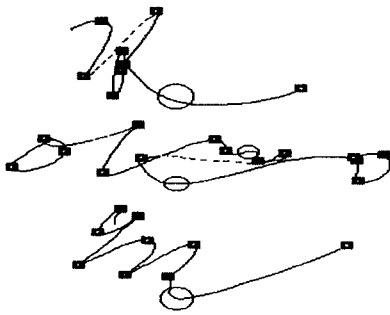


그림 8. 곡률을 이용한 분할 결과 예

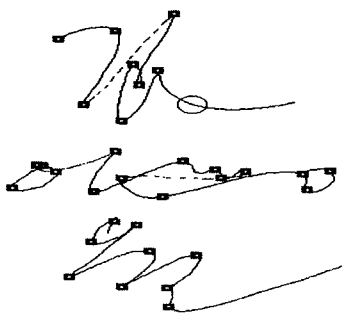


그림 9. 제안한 방법을 이용한 분할 결과 예

곡률을 이용한 분할의 문제점은 그림 7처럼, 동일한 서명일지라도 분할점이 일정한 위치에서 발생하지 않는 것이다. 곡률을 이용한 분할은 서명의 형태를 반영하므로 완벽한 원이나 반 타원처럼 곡률이 크게 변하지 않는 부분을 포함하는

서명에서는 일정한 분할점을 찾지 못한다.

서명자가 서명을 할 때, 펜의 방향 전환에 의해 펜 끝의 속력이 변하게 되고, 그 속력 변화는 서명자의 독특한 주파수 특성을 반영한다. 본 논문에서 제안한 방법은 서명의 속력 특징 신호의 특정 주파수 대역의 특성을 이용하여 획의 방향 전환과 같은 분할점을 찾는다.

그림 8과 그림 9에서 두 방법을 이용한 서명의 분할 결과를 보였다. 그림 7, 8, 9에서 원으로 표시된 부분은 일반적으로 분할되지 않는 위치를 표시한 것이다.

VI. 결론

본 논문에서는 서명을 분할하기 위해서 서명의 속력 특징 신호에 Gabor 필터를 적용하고, 필터링된 출력 신호의 극소점들을 이용하였다. 실험 결과 $\pi/16$ 와 $\pi/8$ 의 중심 주파수를 갖는 필터를 사용하여 서명을 분할할 때 좋은 서명 분할 성능을 보이는 것을 확인하였다. $\pi/4$ 의 중심 주파수를 갖는 필터를 사용하는 경우 지나치게 많은 분할점을 찾았고, $\pi/32$ 의 중심 주파수를 갖는 필터의 경우 주파수가 너무 낮아 서명의 분할에는 적합하지 않았다. 또한, 서명에 소요되는 시간과 서명의 복잡도에 따라, 짧고 간단한 서명에는 $\pi/16$ 의 중심 주파수를, 길고 복잡한 서명에는 $\pi/8$ 의 중심 주파수를 갖는 필터를 적용할 때 최적의 분할 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 유재룡, "온라인 서명 검증을 위한 특징의 비교 분석 및 적용에 관한 연구", 연세대학교 대학원 석사 학위 논문 1994
- [2] 박명수, "온라인 서명 검증에서 특징 집합에 대한 각 서명별 가중치 설정 방법", 연세대학교 대학원 석사 학위 논문 1994
- [3] 김성훈, "필기 행동 특성에 기초한 서명의 구조적 표현과 이를 이용한 온라인 서명 검증", 연세대학교 대학원 박사 학위 논문 1995
- [4] 이진호, "구조적 분석에 의한 온라인 서명 검증", 연세대학교 대학원 석사 학위 논문 1998
- [5] G. Dimauro, S. Impedovo, G. Piro, "A Signature Verification System based on a Dynamical Segmentation Technique," Proc. of International Workshop on Frontier of Handwriting Recognition '93, pp262-271, 1993
- [6] Jean-Jules Brault and Rejean Plamondon "Segmenting Handwritten Signature at Their Perceptually Important Points," IEEE. Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 15, No. 9, September pp 953-957, 1993