

특이점 추출을 위한 유전자 알고리즘 기반 지문영상 개선

조웅근⁰, 홍진혁, 조성배
연세대학교 컴퓨터과학과
생체인식 연구센터

{bearroot⁰, hjinh}@sclab.yonsei.ac.kr, sbcho@cs.yonsei.ac.kr

Fingerprint Image Enhancement based on Genetic Algorithms for Singularity Extraction

Ung-Keun Cho⁰, Jin-Hyuk Hong, Sung-Bae Cho
Department of Computer Science, Yonsei University
Biometrics Engineering Research Center

요 약

지문의 특이점은 인식이나 분류를 수행할 때 중요한 특징이다. 특이점 추출은 영상의 품질에 민감하기 때문에, 정확한 추출을 위해 영상의 품질을 향상시키는 것이 필요하다. 다양한 이미지 필터를 적절히 적용하면 개별필터를 적용하는 것에 비해 더 높은 품질을 얻을 수 있지만, 영상 필터가 다양할수록 성능이 좋은 필터 조합을 찾는 것이 어렵다. 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 특이점 추출율이 좋은 필터 조합을 찾는 방법을 제안한다. 진화에 의해 성능이 좋은 필터 조합을 자동으로 찾아주며, 전문가의 지식이 필요하지 않기 때문에 영상 개선의 여러 분야에 적용될 수 있다. 제안하는 방법을 NIST DB 4에 적용한 결과 기존의 영상 개선 방법보다 높은 성능을 획득하였다.

1. 서 론

특이점은 지문인식의 핵심적인 정보일 뿐 아니라 지문분류에서 중요한 특징으로 사용된다[1]. 지문 영상에서 특이점을 얼마나 정확히 추출하는가는 그 영상의 품질에 크게 의존하며, 일반적으로 지문 영상은 품질이 떨어지기 때문에 정확한 특이점 추출에 한계가 있다. 이 한계를 보완하기 위해 특이점 추출에 대한 방법과 함께 지문영상의 품질 향상을 위한 방법이 많이 연구되고 있다[2].

지문영상의 품질 향상을 위한 방법은 크게 전경 분리(segmentation)와 영상 개선(enhancement)으로 나뉜다[1]. 전경 분리는 지문영상을 지문영역과 배경영역으로 나누어 배경영역에서 추출된 특징을 제거하는 방법이며, 영상 개선은 지문의 윤선과 끝을 뚜렷하게 하여 더 정확한 특징 추출이 가능하도록 도와준다. 영상 개선 필터는 매우 다양하며, 지문영상 개선에 대한 많은 연구에서 여러 개의 필터를 동시에 적용하여 하나의 필터를 적용하는 것에 비해 더 높은 성능을 얻었으나, 대부분 전문가의 지식에 의해 그 종류와 순서가 결정되어 왔다[2].

다양한 영상 필터에서 성능이 좋은 조합을 찾는 문제는 어렵다. 가능한 조합을 모두 비교하는 것은 계산량이 많아 불가능하기 때문에, 휴리스틱 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 지문의 특이점 추출 성능을 적합도 함수로 하는 유전자 알고리즘을 이용하여 지문 영상 개선 필터 조합의 종류와 순서를 자동으로 결정하는 방법을 제안한다.

2. 관련 연구

2.1 특이점추출

특이점은 중심점(Core)과 삼각주(Delta)로 나뉘며, 사람이 쉽

게 찾을 수 있는 지문의 중요한 특징이다. 특히 특이점의 개수와 상호 위치는 분류의 기준이 되며 중심점의 위치는 인식 과정에 이용되기도 한다. Poincare 기법[1]은 특이점을 추출하기 위한 대표적인 방법으로 방향성 정보를 이용한다. 블록단위로 계산되는 방향성 정보는 영상의 품질에 민감하여 품질 향상을 위한 영상 개선 방법이 요구된다.

2.2 영상 필터

일반적인 영상 처리의 목표는 영상에서 물체를 인식하거나 영상을 분류하는 것으로, 정확한 특징의 추출은 영상 인식이나 분류 성능을 높인다. 저품질의 영상에서는 특징을 정확히 추출하기 힘들다. 영상 필터는 입력 영상에서 노이즈를 제거하거나 영상을 평활화(smoothing)하는 등 영상의 품질을 향상시키기 위해, 영상 처리 단계에서 가장 먼저 수행하는 전처리 과정이다. 대표적으로 히스토그램 기반, 마스크 기반, 모폴로지 기반 영상처리 등의 영상 필터가 있으며[3], 지문 분야에 특화된 가보필터도 있다[2].

2.3 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 환경에 적응하는 개체들은 그렇지 못한 개체들에 비해 더 높은 생존률을 가져 세대가 지날수록 적응력이 높은 개체들이 많이 살아남는다는 적자생존 원리를 기초로 한다[4]. 개체는 염색체로 표현되며, 한 세대의 개체들의 집합은 개체군이라 불린다. 한 세대의 개체군의 적합도가 평가된 후, 선택, 교차, 돌연변이 연산을 수행하여 다음 세대의 개체군을 생성한다. 진화의 세대가 진행되면서 적합도가 높은 개체들이 살아남게 된다. 유전자 알고리즘은 최적화, 기계학습 등에 널리 활용되고 있다.

3. 진화기반 영상 개선

본 논문에서는 지문의 특징을 정확히 추출하기 위해 다중의 영상 필터를 사용하여 품질을 향상시킨다. 여러 필터를 동시에 사용하는 것은 하나의 필터를 사용하는 것보다 더 좋은 효과를 얻을 수 있으며, m 개의 필터에서 n 개로 이루어진 필터 조합은 총 m^n 개가 가능하며, 모든 조합 중 특징 추출 성능이 가장 높은 조합을 찾을 때 모든 경우를 고려하는 방법은 비효율적이다. 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 사용하여 적절한 종류와 순서의 필터 조합을 결정하는 방법을 제안한다.

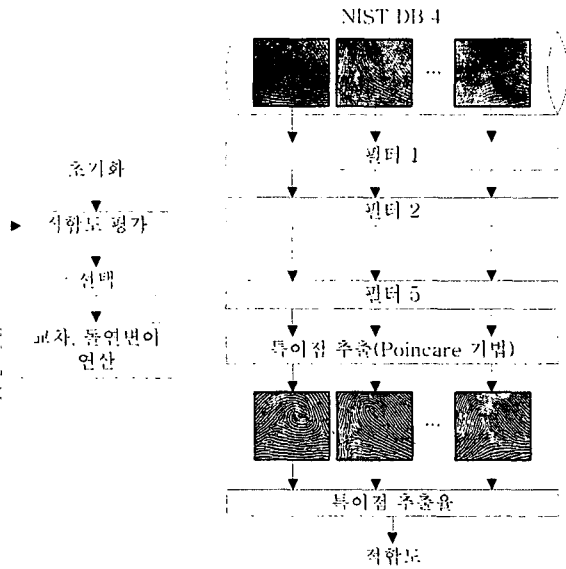


그림 1. 제안하는 방법의 수행과정

그림 1은 제안하는 방법의 수행과정을 보여준다. 세대가 지나면서 개체들의 적합도가 평가되며, 우수한 개체들을 선택하여 교차와 돌연변이 연산을 수행한다. 개체군에서 가장 높은 성능을 가지는 개체를 다음 세대에 유지시키는 엘리트 유지 전략을 함께 사용하였다. 표 1은 사용된 75개의 영상필터 종류를 보여주며, 염색체는 개별 영상필터에 해당하는 값을 가진다.

표 1. 영상필터의 종류와 효과

대분류	영상필터	종류	효과
히스토그램	밝기	3개 실수값	밝기 조절
	대비	3개 실수값	대비 조절
	스트레칭	-	명암값 분포 조절
	평활화	-	명암값 분포 평활화
	로그화	-	명암값 로그화
마스크	블러	5 마스크	영상을 흐리게
	셰이퍼	4 마스크	영상을 날카롭게
	중간값	11 마스크	잡음 제거
모폴로지	침식	11 마스크	영역내의 최소값
	팽창	11 마스크	영역내의 최대값
	제거	11 마스크	영역내의 틈 제거
	채움	11 마스크	영역내의 틈 확장
지문관련	가보	-	방향성에 따른 옵션 증폭
	무효과	-	없음

하나의 개체는 5개의 염색체로 구성되며, 최대 5개 이하의 필터를 적용하는 조합을 나타낸다. 그림 2는 개체의 염색체 구조와 교차, 돌연변이 연산의 예를 보여준다.

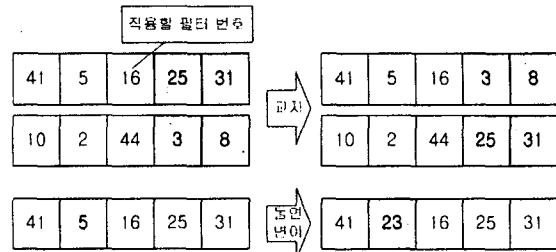


그림 2. 염색체 구조 및 유전자 연산

필터 조합은 특이점 추출 성능으로 평가되며, 특이점 추출에서 가장 대표적인 Poincare 기법을 사용하였다. Poincare 기법은 지문영상에서 블록단위로 계산되는 방향성 정보를 이용하여 특이점의 위치를 찾는 방법이다. 특이점은 중심점과 삼각주로 구분되며, 하나의 위치에 두 특이점이 동시에 존재하지 않는다. 추출 알고리즘을 사용하여 찾은 특이점 집합을 $S_d = \{s_{d1}, s_{d2}, \dots, s_{dn}\}$ 라 하고, 전문가에 의해 직접 특이점을 표시한 집합을 $S_e = \{s_{e1}, s_{e2}, \dots, s_{em}\}$ 라 할 때, 다음과 같이 정의한다.

- 추출 특이점(p): S_d 와 S_e 가 일정한 영역(20픽셀)안에 동시에 존재하는 특이점으로 추출 알고리즘으로 찾은 특이점
- 분실 특이점(a): S_e 에는 존재하지만 S_d 에는 존재하지 않는 특이점으로 추출 알고리즘으로 찾지 못한 특이점
- 의사 특이점(b): S_d 에는 존재하지만 S_e 에는 존재하지 않는 특이점으로 잘못 추출된 특이점

학습데이터 N 개에 대해서 특이점 분실율은 식 (1), 특이점 의사 추출율은 식 (2), 특이점 추출율은 식 (3)과 같이 구한다.

$$P(a) = \frac{\sum_{i=1}^N a_i}{\sum_{i=1}^N n(S_e)} \tag{1}$$

$$P(b) = \frac{\sum_{i=1}^N b_i}{\sum_{i=1}^N n(S_d)} \tag{2}$$

$$P(p) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (a_i + b_i)}{\sum_{i=1}^N (n(S_d) + n(S_e))} \tag{3}$$

필터의 성능을 평가하는 특이점 추출율을 유전자 알고리즘의 적합도 함수로 사용한다.

4. 실험 및 결과

4.1 실험 환경

표 2. 실험에서 사용된 매개변수

변수	값
개체군 수	30
염색체 길이	5
선택율	0.7
교차율	0.7
돌연변이율	0.3
엘리트 유지전략	Yes

제안하는 방법의 검증용 위해 대표적인 지문데이터인 NIST DB 4[5]를 사용하였다. NIST DB 4는 2000쌍의 지문 영상, 즉, 4000개의 지문영상으로 구성된다. 실험은 첫 번째 2000개의 학습 데이터를 이용하여 필터 조합을 찾아내고, 두 번째 2000개의 실험 데이터를 통해 필터들의 성능을 검증하였다. 표 2는 실험에서 사용된 유전자 알고리즘의 매개변수를 보여준다.

4.2 실험 결과

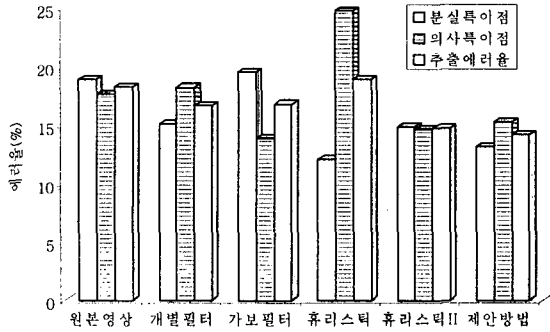


그림 3. 영상필터 성능비교

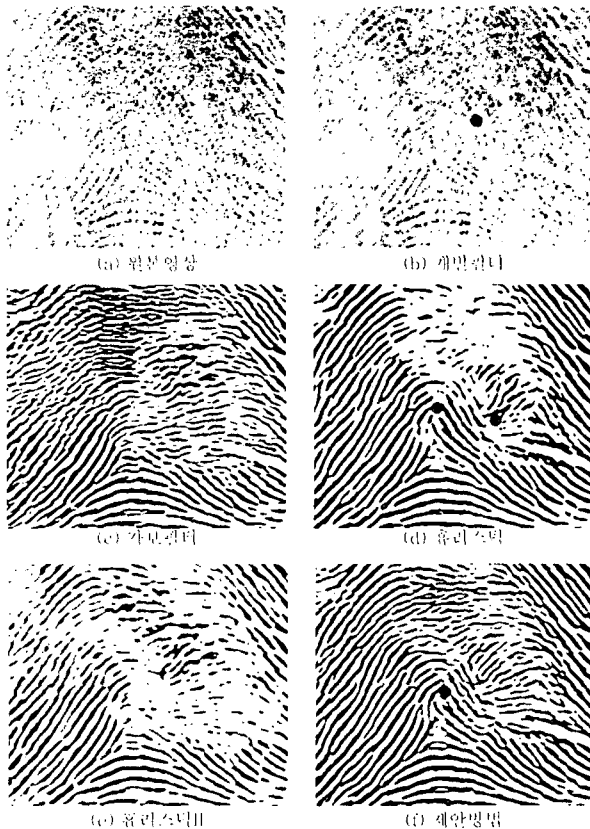


그림 4. 지문영상의 영상필터 효과 (●=중심점, ○=삼각주)

그림 3은 여러 가지 영상필터의 성능을 비교한 결과로, 제안한 방법은 개별적으로 우수한 필터로 구성된 휴리스틱 조합보다 더 좋은 영상 개선 성능을 가진 조합을 획득하였다. 그림 4

는 지문영상의 여러 가지 영상필터 효과의 예를 보여준다. 그림 4(b)는 개별필터 중 특이점 추출율이 가장 높았던 필터를 적용한 모습으로 Diamond 3X3 마스크를 사용한 Closing 필터를 거친 영상이며, 그림 4(c)는 지문분야에서 영상개선의 방법으로 많이 사용되고 있는 가보 필터를 거친 영상이다. 그림 4(d)는 휴리스틱 방법으로 구한 필터 조합인 성능이 좋은 5가지의 필터를 차례대로 적용한 영상이고, 그림 4(e)는 같은 필터 순서만 반대로 적용한 영상을 보여준다. 그림 4(f)는 제안한 방법으로 구한 필터 조합으로 Stretch, Gaussian 3X3 마스크를 사용한 Blur, Diamond 3X3 마스크를 사용한 Closing, 가보 필터를 차례대로 적용한 영상이다. 방향성을 기반으로 용선을 뚜렷하게 하는 가보필터의 경우, 용선과 골의 구분을 확실하게 하지만, 방향성 정보가 제대로 추출되지 않는 경우 영상 개선 성능이 좋지 않았다.

그림 4는 중심점과 삼각주가 하나씩 있는 경우이다. 개별필터는 지문영상의 틈을 제거하여 선을 더 부드럽게 이어지게 하는 효과를 주었으나, 오른쪽 윗부분의 영상이 흐릿하여 의사중심점을 추출하였다. 방향성 정보가 제대로 뽑히지 않았기 때문에 가보필터의 영상 개선이 제대로 되지 않았다. 휴리스틱 조합은 영상이 뚜렷한 부분은 뚜렷하게 해주었으나 그렇지 못한 부분의 여백이 많아 의사 추출율이 높았다. 제안한 방법은 다른 필터로 영상 품질을 향상시킨 후 마지막에 가보필터를 적용하여 더 선명한 영상을 얻었다.

5. 결 론

지문의 대표적인 특징인 특이점은 영상의 품질이 떨어지는 경우 정확한 추출이 힘들기 때문에, 영상의 품질을 향상시키는 것이 필요하다. 본 논문에서는 여러 종류의 기본적인 영상 필터에서 특이점 추출율을 높이는 필터 조합을 찾기 위해 유전자 알고리즘을 사용하였다. NIST DB 4를 이용한 실험에 의해 성능이 좋은 필터 조합을 찾았으며, 기존의 개별필터 뿐 아니라 휴리스틱 방법에 의한 조합보다 특이점 추출율이 더 높은 조합을 찾아내었다. 향후에는 더 높은 성능을 위해 지문영상의 종류에 맞는 필터 조합을 찾는 연구가 필요하다. 또한 필터 조합을 적용 후 더 정확해진 특이점을 이용한 분류가 필요하며, 적합도 함수를 변경함으로써, 지문 인식의 성능을 향상시키는 연구도 필요하다. 제안하는 방법에 의한 필터 조합은 전문가의 지식이 필요하지 않다는 장점이 있기 때문에, 다른 영상 처리 분야에서의 응용도 가능하다.

감사의 글

본 연구는 생체인식연구센터(KOSEF)에서 지원받았음.

참고 문헌

- [1] N. Ratha, and R. Bolle, *Automatic Fingerprint Recognition Systems*, Springer-Verlag, New York, 2004.
- [2] L. Hong, Y. Wan, and A. Jain, "Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 777-789, 1998.
- [3] R. Gonzalez, and R. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, Reading, MA. 1992.
- [4] D. Goldberg, *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley, 1989.
- [5] C. Watson, and C. Wilson, *NIST Special Database 4. Fingerprint Database*. National Institute of Standard and Technology, 1992.