

고성능 지문인식을 위한 그리드 기반 매칭 알고리즘

양승룡,^o 김성민, 조성배

연세대학교 컴퓨터과학과

{saddo, smkim, sbcho}@sclab.yonsei.ac.kr

A Grid-based Matching Algorithm for High Performance Fingerprint Recognition

Seung-Ryong Yang, Seong-Min Kim, Sung-Bae Cho

Dept. of Computer Science, Yonsei University

요약

지문은 사람마다 고유한 특징 정보를 가지고 있어 오래 전부터 가장 신뢰할 수 있는 생체 특징으로 알려져 왔다. 따라서 범죄수사, 출입통제, 출입금 서비스 등 많은 분야에서 지문을 이용하여 개인 인증을 실시하고 있다. 그러나 지문인식은 아직까지 인식성능, 처리속도, 대용량 지문 분석 등에서 많은 문제점을 가지고 있다. 특히, 지문인식에서 인식성능은 다양한 지문수집 환경의 변화와 실시간 인증에 적응하도록 요구되고 있다. 본 논문에서는 지문인식에서 흔히 사용하는 특징점 추출 방식을 개선하여 전체적인 인식성능을 향상시키기 위한 방법으로 그리드 기반 매칭 방법을 제안하고 기존의 매칭 알고리즘과 비교하여 결과를 분석한다. Nitgen DB 4로 실험한 결과, 일반적인 매칭 알고리즘인 Jain의 특징점 패턴 정렬 매칭 방법 보다 인식성능이 우수함을 알 수 있었다.

1. 서론

지문인식은 개인의 신원을 확인하기 위한 방법으로 가장 널리 알려진 생체 인증 기법이다[1]. 지문은 땀샘이 융기하여 일정한 흐름을 형성한 것으로 지구상에 동일한 지문을 지닌 사람이 없다는 사실은 통계학적으로 증명되어 왔다. 이를 통해 지문은 개개인을 식별하는 확실한 인증수단이라는 개념이 오래 전부터 형성되어 있어 많은 사람들의 신뢰를 얻고 있다.

지문 인식은 크게 입력된 지문 영상의 잡음을 없애고 이를 수치화 하는 전처리 과정과 이 정보를 비교하는 매칭 단계로 구분할 수 있다. 매칭 단계는 특징점의 정보로 매칭을 수행하는 특징점 패턴 매칭(point pattern matching)이 가장 일반적이며 Jain은 이를 좀 더 보완하여 특징점 패턴 정렬 매칭(alignment of point pattern matching) 알고리즘을 제안하였다[2]. 그러나 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘의 경우 특징점이 어느 한 부분으로 치우치면 인식성능이 나빠질 수 있다. 본 논문에서는 이와 같이 정렬 단계에서 특징점들이 한 지역에 편중될 경우 발생할 수 있는 문제점들을 분석하여 제시하고, 이를 개선하기 위한 방법으로 격자 구조를 이용한 그리드 기반 매칭 알고리즘을 제안한다.

2. 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘

지문 센서로부터 지문영상이 획득되면 효과적인 지문인식을 위하여 특징점을 추출하게 된다[3]. 지문은 융선과 골로 구분할 수 있으며 이들이 가지고 있는 특이한 정보를 특징으로 사용한다. 특징점을 추출하기 위해 사용되는 알고리즘에는 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 그림 1에서와 같이 Ratha 등이 사용한 특징점 추출 방법을 이용하였다[4].

Jain은 기존의 특징점 패턴 매칭 알고리즘이 입력된 지문영상의 노이즈와 왜곡현상으로 인해 제대로 정렬되지 않는 문제점을 개선하기 위하여 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘을 제안하였다[2]. 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘은 지문입력장치에 의해 지문영상이 획득되면 이를 바탕으로 융선정보를 이용하여 특징점을 추출한다. 특징점이 추출되면 다음 단계로 참조 특징점(reference minutiae) 검사가 이루어지며 이는 입력지문과 템플릿 지문의 특징점이 있을 때 이 특징점이 동일한 지문의 동일한 상대 위치의 점인가를 찾는 단계이다. 정렬 단계를 위한 전단계로 두 융선(ridge)이 동일한 융선이라

판단되면 융선의 회전량과 좌표 이동량을 계산하여 그 각도와 이동량 만큼 특징점을 원점으로 나머지 점들을 회전하고, 이동시킨다[2].

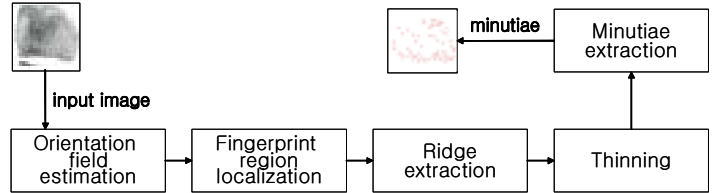


그림 1. 특징점 추출 단계

정렬 과정을 마치면 참조 특징점을 기준으로 나머지 점들을 극 좌표화된 값으로 변환하여 편집 거리(edit distance)를 구한다[5]. 이때 편집 거리는 정렬 단계를 마친 입력 지문의 특징점과 템플릿 지문의 특징점을 매칭시키기 위해, 매칭이 안될 경우에 대한 페널티를 최소화하거나 매칭되었을 경우 매칭량을 최대화 하는 방법이다.

특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘에서 사용하는 동적계획법은 현재 상황에 대한 최적화된 방법을 찾는 알고리즘으로 부분의 최적화된 결과를 조합하여 현재의 최적화된 방법을 갱신하는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 최적화 알고리즘이지만, 잡음 등으로 인하여 특징점 정보에 오차가 생기거나 페널티 값, 바운드(bound) 값 등의 상수값이 완벽하게 정해지지 않아 부정확한 결과를 가져다 줄 수도 있다.

3. 그리드 기반 매칭 알고리즘

3.1 개요

특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘은 현재 상황에서 입력 지문의 m 번째 점을 뺀 경우와 템플릿에 저장된 지문에서 n 번째 점을 뺀 경우에는 특정 페널티를 붙이고, m 번째 점과 n 번째 점을 매칭시키는 경우에는 그 융선 간의 차이를 계산하여 처리한다. 이 경우 우연히 속성이 다른 점이나 잡음으로 인해 특징점이 선택 될 경우에도 위치만 가깝다면 매칭되어 처리되므로 그 결과에 오차가 생길 수 있다. 따라서 본 논문에서는 입력된 지문영상을 그리드로 구분하여 특징점들의 분포에 따라 가중치를 부여하는 방법으로 그림 2와 같이 그리드 기반 매칭 알고리즘을 이용한 지문인식 시스템을 제안한다.

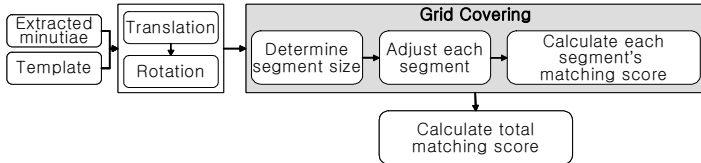


그림 2. 그리드 기반 매칭 알고리즘을 이용한 지문인식 시스템

이 방법은 지문의 특징점이 있는 위치를 그림 3과 같이 구간별로 나누고, 특징점의 분포상태에 따라 가중치를 부여하여 구간별 매칭 점수를 계산한 후, 이를 마지막에 합산하는 방법이다. 예를 들어, 입력 지문의 특징점과 템플릿에 저장된 특징점의 대부분이 A_{41} 에 모여 있고(1:N), 하나의 매칭된 특징점 쌍이 A_{14} 에 있다고 (1:1) 가정할 경우 특징점 패턴 정렬 매칭 방법은 A_{41} 에 매칭된 특징점들이 많기 때문에 A_{41} 의 매칭 결과가 대부분 반영된다. 그러나 같은 구역에 특징점이 많이 모인 경우, 잡음으로 인한 오차가 발생할 수 있고, A_{14} 의 특징점 쌍의 매칭도 A_{41} 만큼 중요하므로 A_{14} 와 A_{41} 의 가중치를 적절히 조절하면 이런 문제를 해결할 수 있다. 즉 A_{41} 이나 A_{14} 에 동등하게 1/16의 가중치를 부여한 후 매칭된 상태에 따라 우선순위를 부여하여 가중치를 조절하는 방법이다. 그림 3에서 A_{12} 는 0:0 매칭에 해당되고 A_{11} 의 경우는 0:N 매칭에 해당되어 각각 가중치를 받는다.

입력지문의 특징점 템플릿지문의 특징점

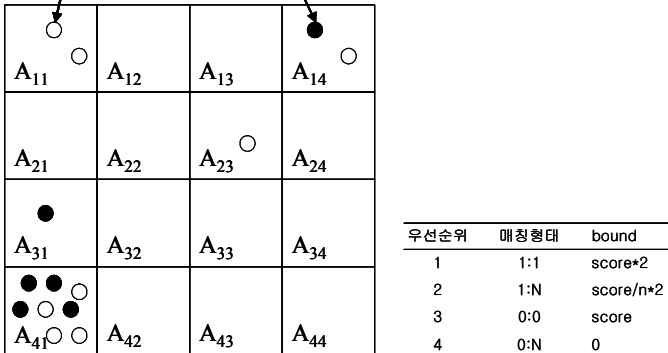


그림 3. 그리드를 이용한 특징점 매칭과 가중치 결정

3.2 매칭 알고리즘

본 논문에서 제안한 그리드 기반 매칭 알고리즘은 격자(grid) 형태로 좌표의 범위를 나누어 각 격자 내부의 정보에 따라 다음 단계의 진행 여부나 매칭 점수를 갱신시켜나감도 하였다. 즉 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘이 특징점들 사이의 유사성을 최적화하는 방법인데 비해, 그리드 기반 매칭 알고리즘은 특징점의 분포를 분석한 후 각 그리드마다 가중치를 달리하여 매칭 결과를 얻는 방법이다. 또한 이 방법은 전체 범위에 해당하는 구간을 처리하도록 한 다음 특징점들의 분포에 따라 구간을 1/4로 축소해나가면서 재귀적으로 진행되도록 하였다.

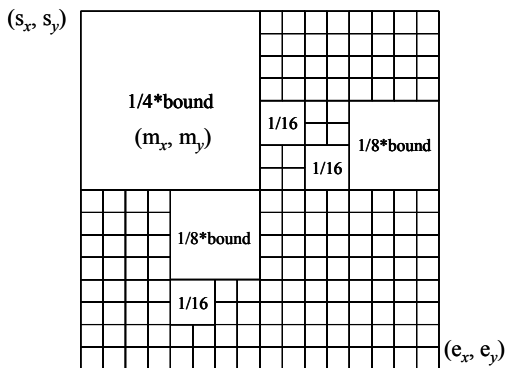


그림 4. 지문영상을 그리드 단위로 나누는 예

그림 4는 지문영상을 그리드 단위로 나누는 형태를 나타내고 있다. 그림에서 시작점 (s_x, s_y)부터 끝점 (e_x, e_y)까지 구간의 크기별로 가중치를 준 후, 현재 처리하고 있는 구간의 특징점 정보를 분석하여 더 이상 구간을 나눌 필요가 없는 상태(입력지문과 템플릿 지문의 특징점이 현재 구간에 한 개씩 있고, 두 점이 가까운 위치에 존재할 경우 또는 1:N, 0:0, 0:N으로 매칭된 경우)이면 현재 가중치에 바운드 값을 곱하여 매칭 점수를 갱신하고, 그렇지 않으면 현재 구간을 다시 4등분 하여 그 처리 범위를 줄인 후 위의 과정을 반복한다. 현재 처리 구간을 4등분 한 이유는 처리 구간을 재귀적으로 분할해 갈 때 단계마다 동일하게 적용이 가능하기 때문이며, 각 분할된 부분은 하나의 독립된 부분 문제로 이전 단계와 동일하게 처리된다. 이 알고리즘의 세부 처리 과정은 표 1과 같다.

표 1. 그리드 기반 매칭 알고리즘

```

procedure quad( $s_x, s_y, e_x, e_y, score$ )
begin
  if ( $s_x \leq e_x$  and  $s_y \leq e_y$ ) then
    begin
      if ( $e_x \geq \text{points of temp image} \geq s_x$ )
        temp_count=temp_count+1
      get temp point of current segment
      if ( $e_x \geq \text{points of input image} \geq s_x$ )
        inp_count=inp_count+1
      get input point of current segment
      if (temp_count=0 and inp_count=0) then
        return score*boundk and exit procedure
      if (temp_count=0 or inp_count=0) then
        return 0 and exit procedure
      if (temp_count=1 and inp_count=1) then
        return score*boundr and exit procedure
      if (temp_count=1 and inp_count>1) then
        return score*boundo/inp_count and exit procedure
      if (inp_count=1 and temp_count>1) then
        return score*boundo/temp_count and exit procedure
      /*
       위의 경우에 해당되지 않을 때 현재 처리 구간을 분할
        $m_x, m_y$  : 구간의 중간 점
       */
       $m_x = (s_x+e_x) / 2$ 
       $m_y = (s_y+e_y) / 2$ 
      return quad( $s_x, s_y, m_x, m_y, score*1.08 / 4$ ) +
        quad( $m_x+1, s_y, e_x, m_y, score*1.08 / 4$ ) +
        quad( $s_x, m_y+1, m_x, e_y, score*1.08 / 4$ ) +
        quad( $m_x+1, m_y+1, e_x, e_y, score*1.08 / 4$ )
    end
  else return 0
end procedure
  
```

4. 실험 결과

본 연구는 지문인식 분야에서 널리 알려진 Nitgen DB 4의 지문 영상들 중 400개를 대상으로 전처리 단계를 거친 후 추출된 특징점을 이용하여 매칭 실험을 하였다. 또한 최종적으로 선택한 임계값과 상수값을 기준으로 10번 실험하여 평균을 구하였다. 그리고 잡음이 많은 지문영상에 대한 실험을 위하여 평활화(smoothing)를 수행했을 경우와 그렇지 않을 경우에 대한 실험도 진행하였다.

그림 5는 그리드 기반 매칭 알고리즘을 이용하여 특징점들을 매칭한 결과의 예로서 동일인의 지문영상을 이용하여 실험한 결과이다. 그림에서 오른쪽 영상은 그리드로 분할되어 매칭된 결과영상으로 같은 색상의 두꺼운 점이 매칭된 특징점 쌍이고 실선은 구간을 그리드로 분할한 모습이다. 그림 5(a)의 왼쪽은 동일인의 서로 다른 두 개의 지문 영상을 매칭한 것으로 이에 대한 그리드 분할 영상이 오른쪽 영상이다. 잡음은 주로 외곽에 있고 주요 특징점은 주로 가운데 부분에 있게 되므로 중심부에서 매칭이 많이 이루어짐을 알 수 있다.

그림 5(b)의 왼쪽 두 개의 지문도 동일인의 다른 지문으로 가운데 지문 영상을 보면 평활화 과정이 이루어지지 않아 잡음이 많이 발생하였다. 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘의 경우 잡음으로 인한 특징점이 모두 매칭 대상이 되어 오차가 발생할 가능성이 높지만 그리드 기반 매칭 알고리즘의 경우 점의 분포에 따라 바운드 값이 변화하므로 오차가 발생할 확률이 낮아진다. 즉 그림 5(b)의 오른쪽 매칭 영상에서 위쪽 그리드에 잡음이 많으므로 아래쪽 그리드 매칭 결과의 비중이 상대적으로 높아진다. 그림 5(c)는 같은 지문에 대한 매칭 결과를 나타낸 것으로 비교적 매칭점 분포가 정확하게 이루어져 있음을 알 수 있다.

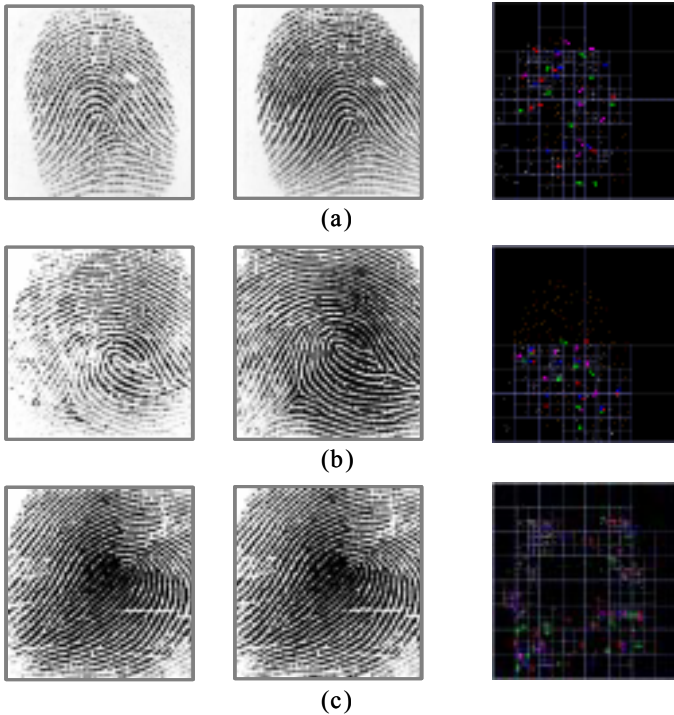


그림 5. 그리드 기반 매칭 알고리즘을 이용한 특징점 매칭 예. (a) 일반적인 동일한 지문의 매칭 결과, (b) 잡음이 많은 경우의 동일한 지문 매칭 결과, (c) 같은 지문에 대한 매칭 결과

표 2는 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘과 그리드 기반 매칭 알고리즘의 인식성능을 비교한 결과이다. 표에서와 같이 타인수락율(false accept rate)과 본인거부율(false reject rate)로 나누어 평가한 결과, 그리드 기반 매칭 알고리즘을 이용한 방법이 Jain의 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘에 비하여 인식성능이 향상되었음을 알 수 있다. 즉 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘은 타인수락율이 0% 일 때 본인거부율이 12%였으나[5] 그리드 기반 매칭 알고리즘은 타인수락율이 0%일 때 본인거부율이 4.17%로 상대적으로 우수한 결과를 나타내었다.

표 2. 인식성능 실험결과 비교 (%)

	그리드 기반 매칭	특징점 패턴 정렬 매칭
타인수락율	0.00	0.00
본인거부율	4.17	12.00

표 3은 지문영상의 평활화를 진행한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교한 것으로 실험결과 평활화를 한 경우가 인식성능이 훨씬 우수함을 알 수 있다.

표 3. 그리드 기반 매칭에서 평활화에 따른 실험 결과 (%)

	평활화	비평활화
타인수락율	0.00	0.00
본인거부율	3.62	9.23

그림 6은 그리드 기반 매칭 알고리즘을 이용한 실험에서 타인수락율과 본인 거부율과의 관계를 ROC 커브로 나타낸 것으로 실선은 평활화가 수행된 지문영상에 대한 결과이고 점선은 평활화가 이루어지지 않은 영상에 대한 결과이다.

표 4는 그리드 기반 매칭 알고리즘의 수행시간을 나타내고 있다. 매칭 결과를 얻기까지의 수행시간은 특징점의 수에 비례하므로 정확히 산출하기는 곤란하나 시간 복잡도는 평균적으로 $O(n^3)$ 정도 소요되며 입력 지문과 비교 지문의 정점의 수가 다소 많은 200개인 경우 약 1분여 정도 시간이 소요되었다. 같은 특징점 수

를 가진 지문영상을 이용하여 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘과 비교한 결과 평균적으로 수행시간은 감소하였으나 크게 개선되지는 못하였다.

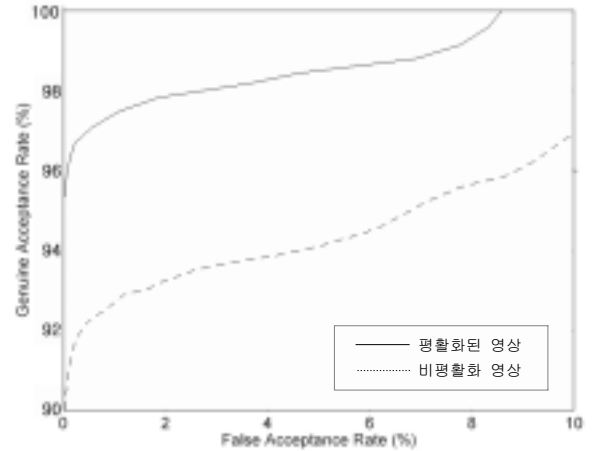


그림 6. 그리드 기반 매칭 알고리즘을 이용한 인식성능 ROC

표 4. 그리드 기반 매칭 알고리즘 수행시간 (sec)

	평균시간	최소시간	최대시간
본인 인증	1.32	0.10	30.4
타인 인증	16.0	0.18	52.2

5. 결론

지문인식을 위한 매칭 알고리즘은 대부분 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘과 같이 정점의 유사성을 이용하는 것이 대부분이다. 그러나 이러한 방법의 경우 내부 처리 단계가 복잡하고 특정 데이터에 대해 오류를 범할 수 있으므로 이를 개선한 여러 방법들이 연구되고 있다. 본 논문에서 제안한 그리드 기반 매칭 알고리즘은 정점들의 분포에 따른 통계치를 분석하여 매칭 결과를 얻으므로 잡음의 영향을 적게 받으면서 특징점들의 분포가 일정하지 않더라도 비교적 우수한 인식성능을 얻을 수 있다. 따라서 이 알고리즘의 장점을 잘 활용한다면 특징점 패턴 정렬 매칭 알고리즘의 단점을 보완하고 지문인식 시스템의 성능을 향상하여 보다 높은 인식율을 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 생체인식연구센터의 지원으로 작성되었습니다.

참고문헌

- [1] J. L. Wayman, Fundamentals of Biometric Authentication Technologies, *International Journal of Image and Graphics*, Vol. 1, No. 1, pp. 93-113, 2001.
- [2] A. K. Jain, L. Hong and R. Bolle, On-line Fingerprint Verification, *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 19, No. 4, pp. 302-314, 1997.
- [3] A. Roddy and J. Stosz, Fingerprint Features: Statistical Analysis and System Performance Estimates, *Proc. of IEEE*, Vol. 85, No. 9, pp. 1390-1421, 1997.
- [4] N. Ratha, S. Chen, and A. K. Jain, Adaptive Flow Orientation Based Feature Extraction in Fingerprint Images, *Pattern Recognition*, Vol. 28, No. 11, pp. 1657-1672, 1995.
- [5] L. Hong, A. K. Jain, R. Bolle and S. Pankanti, Identity Authentication Using Fingerprints, *Proc. of First Int'l Conf. Audio and Video-Based Biometric Person Authentication*, Switzerland, pp. 103-110, March 1997.