

개선된 동적 타임 워핑 알고리즘을 이용한 효율적인 필기문자 감정

장석우*, 박영재**, 김계영***

Efficient Handwritten Character Verification Using an Improved Dynamic Time Warping Algorithm

Seok-Woo Jang*, Young-Jae Park**, Gye-Young Kim***

요약

본 논문에서는 온라인 환경에서 필기 문자열을 입력받고, 입력된 문자열의 유사성을 자동으로 분석하여 두 필적이 동일인에 의해 작성된 것인지 판단하는 새로운 필적 감정 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 먼저 온라인으로 입력된 문자열에 회전 프로젝션(circular projection) 방법을 적용하여 모양, 방향 등과 같이 문자열이 가진 고유의 특징을 추출하여 벡터의 형태로 저장한다. 그런 다음, 문자 인식 분야에서 많이 사용되는 기존의 동적 타임 워핑 알고리즘을 개선하여, 이를 입력된 두 문자열의 특징 벡터의 유사성을 추출하는데 적용한다. 본 논문에서 개선된 동적 타임 워핑 알고리즘은 최적화 문제에서 좋은 결과를 산출한다고 알려진 분기 한정법(branch and bound)의 개념을 기존의 동적 타임 워핑 알고리즘에 효과적으로 결합함으로써 기존의 동적 타임 워핑 알고리즘의 효율을 향상시켰다. 제안된 필기 문자열 감정 알고리즘의 성능을 확인하기 위한 실험에서는 다양하게 입력된 필기 문자열을 가지고 제안된 방법의 성능을 비교 하였으며, 그 결과 제안된 방법이 기존의 알고리즘에 비해 보다 효율적으로 필적을 감정하였음을 검증하였다.

Abstract

In this paper, we suggest a efficient handwritten character verification method in on-line environments which automatically analyses two input character string and computes their similarity degrees. The proposed algorithm first applies the circular projection method to input handwritten strings and extracts their representative features including shape, directions, etc. It then calculates the similarity between two character strings by using an improved dynamic time warping (DTW) algorithm. We improved the conventional DTW algorithm efficiently through adopting the branch-and-bound policy to the existing DTW algorithm which is well-known to produce good results in the various optimization problems. The experimental results to verify the performance of the proposed system show that the suggested handwritten character verification method operates more efficiently than the existing DTW and DDTW algorithms in terms of the speed.

• 제1저자 : 장석우 교신저자 : 김계영

• 투고일 : 2010. 03. 09, 심사일 : 2010. 03. 16, 게재확정일 : 2010. 03. 29.

* 안양대학교 디지털미디어학과 교수 ** 숭실대학교 컴퓨터학부 박사과정 *** 숭실대학교 컴퓨터학부 교수

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2009년도 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음

▶ Keyword : 동적 타임 워핑(Dynamic Time Warping), 필기 문자(Handwritten Character), 감정(Verification), 특징(Features)

1. 서론

컴퓨터와 사람 사이의 인터페이스 장치들은 그 동안 주로 키보드와 마우스 위주로 사용되었으나, 최근 들어 터치스크린(touch screen)과 전자펜을 이용한 펜-인터페이스를 장착한 컴퓨터 및 정보통신 단말기기의 보급량이 꾸준히 증가하고 있다. 다시 말해, 정보 입력의 패러다임(paradigm)이 다시 쓰는 방향으로 전환되고 있는 추세로 이 현상은 오프라인(off-line)과 온라인(on-line)의 융합 등의 다양한 관점에서 매우 긍정적이라고 할 수 있다.

전자펜을 이용하여 서명을 하거나 메모를 할 수 있는 기능을 탑재한 스마트폰과 같은 모바일 기기나 개인용 컴퓨터의 사용이 많아짐에 따라 오프라인이나 온라인으로 입력된 필적이나 서명을 분석하여 개인을 식별하는 필적 감정에 대한 연구 및 관련 응용 프로그램의 개발도 활발히 진행되고 있다. 일반적으로, 필적 감정은 두 가지 이상의 필적 사이에서 개인 필적의 고유한 특징을 분석하여 이들의 필자가 동일한 사람인지의 여부를 판단하는 일이다.

이런 감정 업무는 유서 대필, 보안수사, 서명 검증, 그리고 범죄 수사 등의 다양한 분야에서 유용하게 활용되고 있고, 현재 이러한 감정 작업은 국가에서 인정한 감정 기관 및 일부 사립 감정원에서 수행되고 있으며, 감정 전문가의 판단 기준에 의하여 필적의 유사성을 판별하고 있다. 그러나 감정 전문가에 의해 필적의 유사성을 판단하기 때문에 객관성이 결여되며, 소요 시간과 처리 비용의 문제를 발생시킨다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 주관적인 요소를 최대한 배제하고, 과학성을 부여하려고 컴퓨터를 이용한 자동적인 분석 방법들이 연구되고 있으며, 이런 방법들을 통해 기존에 수행되던 필적 인식 수작업을 점점 줄여나가고 있다[1].

필기 문자열을 감정하는 방법들은 보통 온라인이나 오프라인 환경에서 수행된다. 온라인 환경에서의 분석 방법은 디지털타이저(digitizer)나 타블렛(tablet) 등의 입력장치를 이용하여 필적 및 서명을 입력하고, 이를 분석하는 방법이다. 이 방법은 필적 및 서명이 입력되는 순서와 각 문자의 중심 사이의 거리를 이용하여 입력된 두 문자열의 유사도를 도출하는 방법으로, 주로 입력되는 순서와 관련이 있는 특징을 이용하여 패턴인식 작업을 수행함으로써 유사도를 추출한다. 그리고 오프라인 환경에서의 분석 방법은 필적이나 서명을 컴퓨터의

입력장치인 스캐너를 통하여 그림 및 사진 파일의 형태로 저장하여 분석하는 방법으로 필적이나 서명에 대해 입력 순서를 부여하기가 어려우며, 필적이나 서명에 대한 다른 특징을 추출하여 분석하는 형태를 취하고 있다.

일반적으로, 필기 문자열을 감정하는 세부 방법으로는 구조적인 특징의 유사도를 이용하여 오프라인에서 서명을 검증하는 방법[2], HMM(Hidden Markov Model) 분류기를 이용하여 효율적으로 필기 문자열을 감정하는 방법[3], HMM 분류기와 SVM(Support Vector Machine) 분류기를 각각 이용하여 오프라인에서 서명을 감정하는 방법[4], 동적 타임 워핑(DTW: Dynamic Time Warping) 알고리즘을 이용한 다이나믹 프로그래밍을 통해 지역적인 특징을 비교하여 서명을 감정하는 방법[5], 그리고 DTW 알고리즘을 이용하여 추출한 유사도를 마할라노비스(Mahalanobis) 거리 추출 알고리즘을 통해 비유사도로 변환하여 측정하는 방법[6] 등이 있다. 이 방법들 중에서 DTW 알고리즘을 이용한 필적 감정 방법들은 가장 많이 사용되고 있는 방법 중의 하나이다.

기존의 DTW 방법은 시계열 패턴 인식에 일반적으로 많이 사용되는 동적인 타임 워핑 알고리즘으로 대부분의 연산시간을 상관표(correlation table)를 작성하는데 소비한다. 그리고 이 연산시간을 줄이고자 전역 경로 제약조건(global path constraint)을 설정하여 연산 범위에 제한을 두는데, 이것은 패턴의 내용을 고려하지 않은 시간축에 의한 제한이다. 따라서 본 논문에서는 패턴의 형태에 따라 적응적으로 전역 경로 제약조건을 설정하여 보다 효율적으로 패턴인식을 수행하는 분기 한정적인 동적 타임 워핑 알고리즘을 새롭게 제안하고, 제안된 DTW 알고리즘을 이용하여 온라인 환경에서 필기 문자열이 동일인에 의해 작성된 것인지보다 효율적으로 판단한다. 그림 1은 본 논문에서 제안한 개선된 DTW 알고리즘을 이용한 필적 감정 알고리즘의 전체적인 개요도를 보여준다.

그림 1에서 보는 바와 같이 제안된 시스템은 필기 문자열을 디지털타이저를 통해 입력 받은 후에 문자열 영역만을 벡터의 형태로 저장한다. 그리고 저장된 문자 영역들에 원형 프로젝션(circular projection) 방법을 이용하여 문자열이 가진 고유의 특징을 추출한다. 그런 다음, 본 논문에서 제안한 개선된 DTW 알고리즘을 이용하여 두 필기 문자열 사이의 정합을 수행하여 유사도를 결정하는데, 이 유사도가 일정 범위 이내에 속할 경우에만 두 필기 문자열은 동일인에 의해 작성된 것으로 감정한다.

필적 감정 시스템

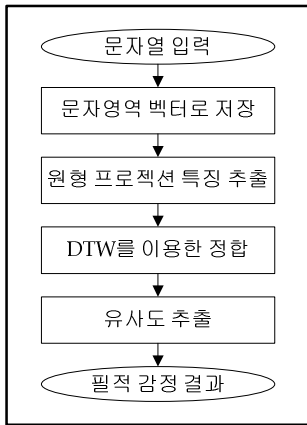


그림 1. 시스템 개요
Fig. 1. Overall Flow

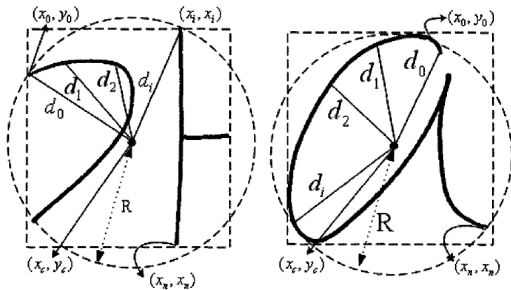


그림 2. 특징 추출
Fig. 2. Feature Extraction

1장에서는 본 연구를 수행하게 된 연구 동기 및 배경, 그리고 전체적인 개요를 기술하였다. 2장에서는 온라인으로 입력받은 필기 문자열의 화소값들을 벡터로 저장하고, 저장된 문자열로부터 회전 프로젝션을 통해 고유한 특징을 추출하는 방법에 대해 소개한다. 3장에서는 개선된 동적 타임 워핑 알고리즘을 이용하여 두 필기 문자열을 정합하여 유사도를 구하는 알고리즘을 기술한다. 그리고 4장에서는 본 논문에서 수행한 실험 결과를 보이고, 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

II. 문자열의 특징 추출

본 논문에서는 사용자가 디지털타이저를 이용하여 필기 문자열을 입력하고 있는 동안 그 자료를 획득하여 확별로 저장한다. 즉, 온라인 환경에서 문자열을 전자펜을 통해 입력 받으

므로 오프라인 환경에서처럼 복잡한 세그멘테이션 알고리즘을 통하여 문자열의 영역 분할 작업을 수행할 필요는 없다. 그리고 이와 같이 입력 받은 두 필기 문자열에 있는 획들을 획 대 획 비교를 통하여 획의 유사성을 산출함으로써 두 필적이 동일인에 의해 작성된 것인지를 감정한다.

획 대 획 비교를 통하여 문자열의 유사성을 평가하기 위하여 추출하는 특징의 엄격한 기준은 문자의 크기와 모양, 그리고 방향이 일치하여야 한다. 그러나 글자의 크기는 문자열 전체에서 일관성만 있으면 큰 문제가 되지 않으므로, 본 논문에서는 모양과 방향의 2가지 성분만을 사용하여 글씨의 유사성을 평가한다. 따라서 문자의 크기에는 독립적이며, 모양과 방향에 따라 다른 평가가 가능한 효과적인 특징을 추출해야 한다. 따라서 본 논문에서 추출하고자 하는 특징은 그림 2와 같이 회전 프로젝션을 이용하여 어떤 필기 문자열의 중심에서 인킹(inking)된 흑화소들 위치까지의 거리를 최소 포함원의 반경 R로 나누어 정규화한 거리들이다[1][7].

하나의 필기 문자를 구성하는 흑화소의 위치들을 식 (1)과 같이 C라고 할 때, 본 논문에서 사용하는 문자열 특징을 추출하는 절차는 다음과 같다.

$$C = \{(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\} \dots\dots\dots (1)$$

첫째, C의 위치들에 의해 구성되는 최소 포함 사각형(MER: minimum enclosing rectangle)의 좌측 상단의 좌표인 (x_{min}, y_{min}) 와 우측 하단의 좌표인 (x_{max}, y_{max}) 를 산출한다. 둘째, 추출된 최소 포함 사각형의 중심점인 (x_c, y_c) 를 계산한다. 셋째, C의 위치들을 모두 포함하는 최소 포함원의 반경 R을 계산한다. 마지막으로, 다음 식 (2)를 이용하여 최소 포함 사각형의 중심점과 문자의 흑화소에 해당하는 화소 사이의 거리를 추출한 후 최소 포함원의 반경 R로 나누어 정규화(normalized)된 거리 L를 산출한다. 그러므로 L를 구성하는 모든 요소는 0 에서 1 사이의 범위 내의 값을 가지게 된다.

$$L = \{l_0, l_1, \dots, l_n\} \dots\dots\dots (2)$$

$$l_k = \frac{\sqrt{(x_k - x_c)^2 + (y_k - y_c)^2}}{R}$$

$$\text{where } 0 \leq l_k \leq 1$$

본 논문에서는 이와 같이 추출된 정규화된 거리 L를 이용하여 추출된 특징들을 문자의 확별로 관리한다. 그리고 이 특징들은 다음 절에서 자세히 설명하게 될 분기한정법을 이용하여 개선한 동적 타임 워핑 알고리즘의 입력으로 사용되어 두

필기 문자열 사이의 정합 경로를 찾음으로써 획득되는 유사도 정도를 측정하기 위해 사용된다.

III. 개선된 DTW를 이용한 정합

서로 다른 길이의 시계열 패턴에 적용되는 DTW는 일반적으로 5 가지의 제약조건(constraint)을 가진다. 이 중에서 전역 경로 제약조건은 그림 3과 같이 두 패턴 사이의 전 구간에 걸친 허용 가능한 탐색 영역을 제한하는 조건이다. 예를 들어, 동일한 패턴일 경우 지속시간이 다르지만 대략 시간의 차이는 0.5배에서 2배는 초과하지 않는다는 조건[8]을 설정함으로써 탐색공간을 축소하는 역할을 한다. 그러나 이 조건은 두 패턴의 내용을 고려하지 않은 시간축에 의한 단순 제한이다.

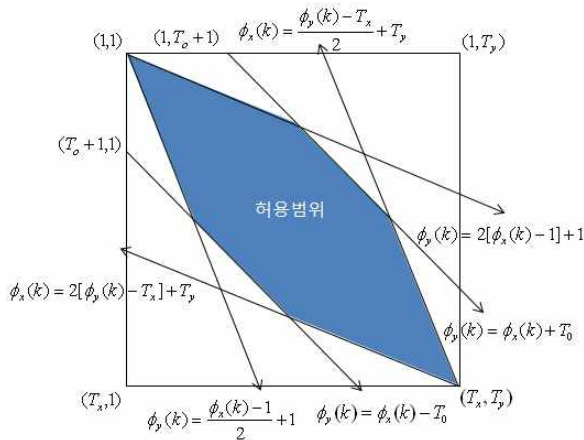


그림 3. DTW의 전역 경로 제약
Fig. 3. Global Path Constraint of DTW

따라서 본 논문에서는 최적화 문제에서 사용되는 분기 한정법(branch-and-bound method)을 활용[9]하여 두 패턴의 형태에 따라 적응적으로 변화하는 전역 경로 제약조건을 적용함으로써 보다 효율적으로 탐색공간을 축소시킨다. 제안된 방법에서는 경로 탐색 시 현재까지의 거리, 앞으로 예상되는 거리, 그리고 전체 예상되는 거리를 통해 유효한 경로의 값만을 이용하여 상관표를 작성한다. 그림 4는 분기 한정법을 이용하여 유효한 경로를 선택한 예를 보여준다. 그림에서 검정색 부분은 경로 계산을 수행하지 않은 영역이며, 흰색 부분은 유효한 경로로 판단하여 경로를 계산한 영역이다. 제안된 방법은 이와 같이 선택된 탐색영역 내에서 기존의 방법과 마찬가지로 역추적을 통해 정합 경로를 구하므로 탐색시간을 단축할 수 있다.

$$Bound = \alpha \sum_{i=1}^n |F_i - S'_i| \dots\dots\dots (3)$$

제안된 DTW 방법에서는 먼저 예상되는 서로 다른 두 개의 패턴 $F(f_1, f_2, f_3, \dots, f_n)$ 와 $S(s_1, s_2, s_3, \dots, s_m)$ 사이의 정합 거리를 구하기 위해 1대 1 정합을 수행한다. 그러나 두 패턴의 길이가 서로 다를 경우에는 1대 1 정합이 불가능하므로, 패턴 F 와 S 중에서 길이가 짧은 패턴 S 를 F 와 길이가 같도록 선형 보간(interpolation)하여 S' 을 생성한다. 그런 다음, 패턴 F 와 S' 을 1대 1 매칭하여 예상되는 전체 경로 거리를 나타내는 Bound 값을 식 (3)을 사용해 산출한다. 그런데 S' 이 너무 정확하게 보간되어 Bound 값이 실제 두 패턴 사이의 거리보다 짧게 나올 경우에는 유효한 경로를 찾을 수가 없는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 α 값을 이용하여 Bound 값을 조정한다.

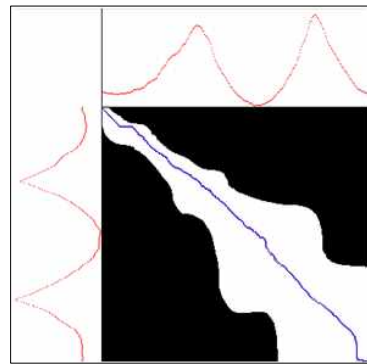


그림 4. 제안 방법의 경로 제약
Fig. 4. Path Constraint of the Proposed Method

그런 다음, 전역 경로 제약조건을 고려하여 상관표의 왼쪽 상단 $D_{(1,1)}$ 부터 식 (4)의 방식으로 누적 거리(cumulative distance)인 $D_{(i,j)}$ 를 정의하는데, 이는 현재 정합하고자 하는 두 패턴 사이의 거리 $d(f_i, s_j)$, 그리고 상관표 $D_{(i,j)}$ 와 인접한 세 요소 ($\delta_{(1,1)}$, $\delta_{(1,0)}$, $\delta_{(0,1)}$)의 누적 거리 중에서 최소 값을 더하여 할당한다.

$$D_{(i,j)} = d(f_i, s_j) + \min(\delta_{(1,1)}, \delta_{(1,0)}, \delta_{(0,1)}) \dots\dots\dots (4)$$

$$\delta_{(x,y)} = D_{(i-x, j-y)}$$

```

function BrB-DTW(Array F[], Array S[])
{
    Array S1[];
    int Length1 = Length of Array F[];
    int Length2 = Length of Array S[];

    for i = 1 to Length1 - 1 // 선형 보간
    {
        dx = ceiling(i * (Length2 / Length1)) - (i * (Length2 / Length1));
        S1[i] = S[i] * dx + S[i + 1] * (1 - dx);
    }

    double Bound = 0;
    for i = 1 to Length1 // 두 패턴 사이의 예상되는 한계값 산출
        Bound = Bound + (F[i] - S1[i]);

    Bound = Bound * alpha; // 한계값 조정

    int ProfitTable[];
    ProfitTable[0] = Bound;

    for i = 1 to Length1 // Profit Table 작성
        ProfitTable[i] = ProfitTable[i-1] - (F[i] - S1[i]);

    double D[Length1][Length2];
    // 상관표 초기화
    for i = 0 to Length1
        D[i][0] = Infinity;

    for i = 0 to Length2
        D[0][i] = Infinity;

    D[0][0] = 0;

    for j = 1 to Length2
    {
        for i = 1 to Length1
        {
            k = min(i, ((Length1) * j) / Length2); // Profit Table의 위치 계산

            CurrentCost = min(D[i - 1][j], D[i][j - 1], D[i - 1][j - 1]);

            if (CurrentCost > Bound) // 현재 거리와 한계값에 따른 전역경로 제약
                continue;

            CurrentCost = CurrentCost + (F[i] - S1[i]);

            if (CurrentCost + ProfitTable[k] <= Bound) // 현재 거리, 예상 거리, 한계값에 따른 전역경로 제약
                D[i][j] = CurrentCost;
            else
                D[i][j] = Infinity;
        }
    }

    OptimalPathSearchwithBacktracking(); // 기존의 DTW와 같이 역추적을 통해 최적 경로 탐색
}

```

그림 5. 개선된 DTW의 의사 코드
 Fig. 5. Pseudo-code of the Improved DTW

본 논문에서는 상관표의 값을 구할 때 Bound 값과 경로 탐색 시 남은 두 패턴의 예상 정합 거리를 의미하는 Profit 값을 이용하여 전역 경로를 제약한다. 그리고 Profit 값은 상관표를 작성할 때 유효 경로를 찾기 위해 빈번하게 이용되므로 식 (5)와 같이 Profit 테이블을 생성하여 사용한다.

$$Profit_{(0)} = Bound \dots\dots\dots (5)$$

$$Profit_{(i)} = Profit_{(i-1)} - |(F_i - S'_i)|$$

Profit의 초기값은 두 패턴을 정합하였을 때 예상되는 전체 거리이기 때문에 Bound 값으로 초기화한다. 제안된 분기 한정적인 DTW는 기존의 전형적인 DTW나 특징값의 1차 미분을 입력으로 사용한 DDTW(Derivative DTW)[10]와는 달리 연산량을 줄이기 위해 식 (6) 및 식 (7)과 같이 앞서 계산한 Profit 값과 Bound 값을 이용하여 계산할 값이 유효한지의 여부를 판단해 전역 경로를 제약한다.

$$\min(\delta_{(1,1)}, \delta_{(1,0)}, \delta_{(0,1)}) \leq Bound \dots\dots\dots (6)$$

$$(D_{(i,j)} + Profit_{(k)}) \leq Bound \dots\dots\dots (7)$$

식 (7)에서 k 는 Profit 테이블에서 현재 위치에 대한 Profit 값을 참조하기 위한 인덱스이며, 식 (8)과 같이 계산한다.

$$k = \min(i, \frac{N \times j}{M}) \dots\dots\dots (8)$$

위의 과정을 통해 상관표를 작성한 후에는 $D_{(n,m)}$ 부터 $D_{(1,1)}$ 까지 역추적(back-tracking)을 통해 최적의 정합 경로를 계산한다. 그림 5에서는 본 논문에서 제안한 분기 한정적인 DTW 알고리즘의 의사 코드(pseudo-code)를 보여준다.

IV. 실험결과

본 논문에서는 실험을 위해서 인텔 펜티엄 Core 2 Duo 2.66GHz의 CPU와 4GB의 메모리가 장착된 컴퓨터를 이용하였고, 운영 체제는 마이크로 소프트의 윈도우 7을 사용하였다. 그리고 컴파일러는 비주얼 C++를 사용하여 프로그램을 개발하였다. 제안된 방법의 성능을 측정하기 위한 실험 데이터로는 온라인으로 필기 문자열 500개를 입력받아 사용하였다. 다시 말해, 5명의 서로 다른 사람 A, B, C, D, E가 10 가지 종류의 문자열을 각 문자열 당 10번씩 반복해서 작성하도록 하여 실험 데이터를 획득했다.

그리고 제안하는 방법의 성능을 비교 평가하기 위해 본 논문에서는 기존의 방법 중 DTW 알고리즘을 이용한 방법과 DDTW 알고리즘을 이용한 방법도 구현하여 필적 감정을 테스트 하였다. 그림 6은 입력된 필적 패턴을 제안된 분기 한정적인 DTW에 적용하여 전역 경로를 제약한 예를 보여준다. 그림 6에서 좌측의 그림은 동일한 필적 패턴을 비교한 결과를 나타내며, 우측의 그림은 서로 다른 필적 패턴을 비교한 결과를 각각 나타내고 있다. 그리고 그림에서 검은색의 영역은 상관표를 작성할 때 계산하지 않은 영역을 표시하고, 흰색의 영역은 유효한 경로라고 판단하여 계산한 영역을 나타낸다.

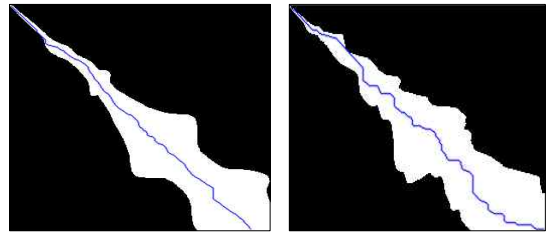


그림 6. 전역경로 제약
Fig. 6. Global Path Constraint

제안된 방법의 동일한 필적 패턴을 비교하는 경우에는 상관표를 작성하기 이전에 계산한 Profit 값이 비교적 정확하여 탐색 영역이 급격하게 좁아지는 것을 확인할 수 있으며, 다른 필적 패턴의 비교에서는 예상한 결과 값과 실제 값의 차이가 커서 탐색 영역이 넓어지는 결과를 확인할 수 있다. 그리고 동일 패턴의 비교에서는 탐색 영역이 급격하게 좁아졌음에도 불구하고 기존의 전역 경로 제약조건을 사용해서 산출된 최적 경로를 전역 경로에 대부분 포함하고 있다.

표 1은 500개의 필적 패턴에 적용된 DTW 알고리즘의 평균 탐색 경로 최소 거리와 평균 연산 시간에 대한 실험 결과를 보여준다. 최소 거리의 경우 DDTW는 입력되는 패턴을 미분을 이용하여 수정하므로 다른 두 개의 DTW 최소 거리와는 다소 차이가 발생했다. 제안된 방법은 전형적인 DTW와 비슷한 최소 거리를 나타내고 있으며, 연산 시간은 DTW 보다 빠른 결과를 얻을 수 있었다.

표 1. 평균 최소거리와 연산시간 비교
Table 1. Comparison of Average Distance and Time

입력 패턴	DTW		DDTW		개선된 DTW	
	거리	시간	거리	시간	거리	시간
동일	3.654	0.109	0.799	0.311	3.636	0.087
상이	34.328	0.162	2.321	0.366	35.593	0.113

연산 시간을 비교해 볼 때 제안된 방법은 다른 방법에 비해 속도가 향상되었음을 확인할 수 있다. 본 실험에서 사용된 필적 패턴의 특징은 서로 다른 길이를 가진 1차원 데이터로, 실험 결과를 보면 필적 패턴의 차원이 늘어날 만큼 연산 시간이 증가했음을 확인할 수 있다. 입력된 패턴의 내용에 따라 적용적으로 전역 경로를 제약한 제안한 방법의 경우 패턴의 특징 길이가 늘어날 경우에 보다 분명하게 연산 시간이 감소했음을 확인할 수 있었다.

그림 7은 패턴의 길이가 증가함에 따라 변화하는 연산시간을 그래프로 보여준다. DDTW는 입력 데이터를 직접 변환하기 때문에 데이터의 수가 늘어날수록 급격히 연산시간이 증가하며, 제안된 방법은 패턴에 적응적으로 전역 경로를 제한하였기 때문에 기존의 DTW 보다 연산시간이 감소했다.

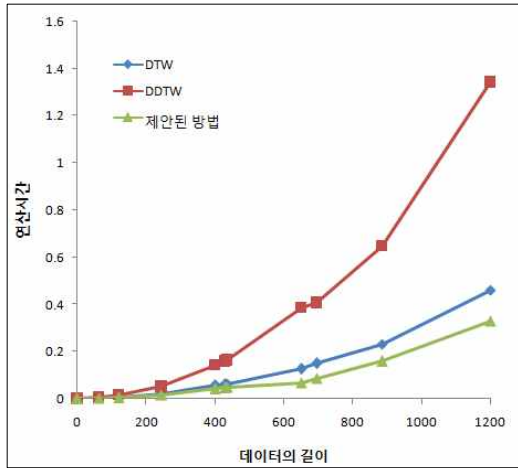


그림 7. 패턴 길이에 따른 연산시간 변화량
Fig. 7. Time Variance by Pattern Length

V. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 온라인 환경에서 필기 문자열을 입력받고, 입력된 문자열의 유사성을 자동으로 분석하여 두 필적이 동일인에 의해 작성된 것인지를 판단하는 새로운 필적 감정 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 먼저 온라인으로 입력된 문자열에 회전 프로젝션(circular projection) 방법을 적용하여 모양, 방향 등과 같이 문자열이 가진 고유의 특징을 확실히 추출하여 벡터의 형태로 저장한다. 그런 다음, 문자 인식 분야에서 많이 사용되는 기존의 동적 타임 워핑 알고리즘을 개선하여, 이를 입력된 두 문자열의 특징 벡터의 유사성을 추출하는데 적용하였다. 기존의 DTW 알고리즘은 패턴을 고려하지 않은 시간축에 의한 전역 경로 제약조건을 사용하였으나 제안된 알고리즘에서는 최적화 문제에서 좋은 결과를 산출한다고 알려진 분기 한정법을 효과적으로 사용함으로써 전역 경로 제약조건을 패턴에 따라 유동적으로 적용할 수 있었다. 그 결과 탐색 범위가 축소되었으며, 연산 시간도 입력패턴에 따라 상당수 향상되었음을 확인하였다. 특히, 필적 패턴의 길이가 증가할수록 보다 좋은 속도 향상의 효과를 보였다.

향후 연구로는 보다 다양한 필적 실험 데이터를 가지고 제

안된 필기 문자열 감정 시스템의 성능을 비교 평가할 예정이며, 본 논문에서 사용된 여러 파라미터들을 효과적으로 조율하는 연구를 수행할 것이다.

참고문헌

- [1] Basabi Chakraborty and Goutam Chakraborty, "A New Feature Extraction Technique for On-line Recognition of Handwritten Alphanumeric Characters," *Information Sciences*, Vol. 148, No. 1/4, pp. 55-70, 2002.
- [2] Kai Huang and Hong Yan "Off-Line Signature Verification Using Structural Feature Correspondence," *Pattern Recognition*, Vol. 35, No. 11, pp. 2467-2477, 2002.
- [3] Alan McCabe "Hidden Markov Modeling with Simple Directional Features for Effective and Efficient Handwriting Verification," *International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, Vol. 5, No. 3, pp. 216-219, 1988.
- [4] Edson J. R. Justino, Flavio Bortolozzi, and Robert Sabourin, "A Comparison of SVM and HMM Classifiers in the Off-Line Signature Verification," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 26, No. 9, pp. 1377-1485, 2005.
- [5] Marc Parizeau and Rejean Plamondon, "A Comparative Analysis of Regional Correlation, Dynamic Time Warping, and Skeletal Tree Matching for Signature Verification," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, No. 7, pp. 710-717, 1990.
- [6] B. Fang, C. H. Leung, Y. Y. Tang, K. W. Tse, P. C. K. Kwork, and Y. K. Wong, "Off-Line Signature Verification by the Tracking of Feature and Stroke Positions," *Pattern Recognition*, Vol. 36, No. 1, pp. 91-101, 2003.
- [7] 김계영, "전역특징과 지역특징을 통한 필기문자열의 품질 평가시스템" *한국인터넷정보학회논문지*, 제 5권, 제 6호, 121-128쪽, 2004년 12월.
- [8] L. Rabiner and B. H. Juang, "*Fundamentals of Speech Recognition*," Prentice Hall, 1993.
- [9] L. G. Mitten, "Branch-and-Bound Methods: General Formulation and Properties," *Operations Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 24-34, 1970.

- [10] Eamonn J. Keogh and Michael J. Pazzani, "Derivative Dynamic Time Warping," In Proceedings of the First SIAM International Conference on Data Mining, pp. 1-11, April 2001.

저자 소개



장석우

2000년 8월: 숭실대학교대학원 컴퓨터학과 (공학박사)

2009년 3월 - 현재:

안양대학교 디지털미디어학과 교수

관심분야: 로봇비전, 증강현실, HCI, 게임, 비디오 색인 및 검색 등



박영재

2008년 8월: 숭실대학교대학원 컴퓨터학과 (공학석사)

2008년 9월 - 현재:

숭실대학교대학원 컴퓨터학과 박사과정

관심분야: 컴퓨터비전, 패턴인식, 영상처리, 증강현실 등



김계영

1996년 2월: 숭실대학교대학원 컴퓨터학과 (공학박사)

2001년 3월 - 현재:

숭실대학교 컴퓨터학과 교수

관심분야: 컴퓨터 비전, 형태인식, 생체인식, 증강현실, 신호 처리 등