

Symmetric-Invariant Boundary Image Matching Based on Time-Series Data

Sanghun Lee[†] · Junsang Bang^{**} · Seongwoo Moon^{***} · Yang-Sae Moon^{****}

ABSTRACT

In this paper we address the symmetric-invariant problem in boundary image matching. Supporting symmetric transformation is an important factor in boundary image matching to get more intuitive and more accurate matching results. However, the previous boundary image matching handled rotation transformation only without considering symmetric transformation. In this paper, we propose symmetric-invariant boundary image matching which supports the symmetric transformation as well as the rotation transformation. For this, we define the concept of image symmetry and formally prove that rotation-invariant matching of using a symmetric image always returns the same result for every symmetric angle. For efficient symmetric transformation, we also present how to efficiently extract the symmetric time-series from an image boundary. Finally, we formally prove that our symmetric-invariant matching produces the same result for two approaches: one is using the time-series extracted from the symmetric image; another is using the time-series directly obtained from the original image time-series by symmetric transformation. Experimental results show that the proposed symmetric-invariant boundary image matching obtains more accurate and intuitive results than the previous rotation-invariant boundary image matching. These results mean that our symmetric-invariant solution is an excellent approach that solves the image symmetry problem in time-series domain.

Keywords : Time-Series Matching, Image Matching, Boundary Image Matching, Rotation-Invariant, Symmetric Transformation

시계열 데이터 기반의 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭

이 상 훈[†] · 방 준 상^{**} · 문 성 우^{***} · 문 양 새^{****}

요 약

본 논문에서는 대칭 변환을 지원하는 윤곽선 이미지 매칭 문제를 다룬다. 이미지 매칭에서 이미지의 대칭 변환을 지원하는 것은 직관적이고 정확한 매칭을 위한 매우 중요한 요소이다. 그러나 기존 이미지 매칭에서는 이미지의 회전 변환만 고려하였을 뿐 대칭 변환은 고려하지 않았다. 본 논문에서는 기존 회전-불변 윤곽선 이미지 매칭에 대칭 변환까지 지원하는 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭을 제안한다. 이를 위해, 먼저 이미지 대칭의 개념을 정의하고, 어떠한 대칭각을 사용하더라도 회전-불변 매칭의 결과는 동일함을 정형적으로 증명한다. 또한, 대칭 변환을 위해 이미지 윤곽선으로부터 대칭 시계열을 효율적으로 추출하는 방법을 제안한다. 그런 다음, 이미지를 대칭하여 생성한 대칭 시계열과 원본 이미지 시계열을 직접 대칭하여 생성한 대칭 시계열을 사용한 회전-불변 매칭 결과가 동일함을 정형적으로 증명한다. 실험 결과, 제안하는 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭은 회전 변환만을 지원하는 기존 이미지 매칭에 비해 보다 정확하고 직관적인 결과를 도출하는 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭이 이미지의 대칭 변환 문제를 시계열 도메인에서 해결한 우수한 해결책을 의미한다.

키워드 : 시계열 매칭, 이미지 매칭, 윤곽선 이미지 매칭, 회전-불변, 대칭 변환

1. 서 론

최근 문서 검색[1, 2], 이미지 매칭[3], 바이오 시퀀스 매칭[4] 등 여러 응용 분야에서 대용량 데이터 기반의 시계열

매칭 연구가 활발히 진행되고 있다[5-8]. 여기에서, 시계열 데이터(혹은 시퀀스)란 일정한 간격으로 이루어진 연속된 실수값의 시퀀스이다. 이러한 시계열 데이터의 예로는 기상 데이터, 주식 데이터, 의료 데이터, 이미지 윤곽선 데이터 등이 있다. 본 논문에서는 이중 대용량 이미지 데이터베이스를 대상으로 하는 윤곽선 이미지 매칭 문제를 다룬다. 윤곽선 이미지 매칭은 이미지의 윤곽선을 시계열로 변환한 후, 시계열 매칭 기술을 사용하여 유사 이미지를 찾는 방법이다[7, 9, 10].

윤곽선 이미지 매칭에서 대칭 변환(symmetric transformation)[11-13]은 직관적이고 정확한 매칭을 위한 매우 중요한 요소이다. 기존 시계열 매칭 연구에서는 이미지의 모

※ 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2014R1A2A2A01002548).

※ 이 논문은 2015년도 한국정보처리학회 춘계학술발표대회에서 '시계열 데이터 기반의 대칭 변환 윤곽선 이미지 매칭'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것이다.

† 준 회 원: 강원대학교 컴퓨터과학과 박사과정

** 준 회 원: 강원대학교 컴퓨터과학과 학사과정

*** 준 회 원: 강원대학교 컴퓨터과학과 석사과정

**** 종신회원: 강원대학교 컴퓨터과학과 교수

Manuscript Received: July 6, 2015

Accepted: August 4, 2015

* Corresponding Author: Yang-Sae Moon(ysmoon@kangwon.ac.kr)

양에 따른 직관적 매칭을 지원하기 위해 회전-불변 이미지 매칭을 사용하였다[14]. 회전-불변 매칭[15, 16]은 이미지가 회전되더라도 동일한 매칭 결과를 얻는 방법으로[7, 9], 이 기법을 사용하면 회전된 이미지의 경우도 정확하게 검색해 낼 수 있다. 하지만 이미지가 대칭되어있는 경우 이미지를 회전시키더라도 정확한 이미지 매칭을 할 수 없다. 즉, 보다 정확하고 직관적인 이미지 매칭을 위해서는 이미지의 회전뿐 아니라 대칭도 함께 고려해야만 한다. 따라서 본 논문에서는 단순한 대칭 변환 이미지 매칭이 아닌 회전 변환을 함께 지원하는 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭을 제안한다. Fig. 1은 본 논문에서 다루는 이미지 대칭의 필요성을 나타낸다. 그림에서 보듯이, 대칭을 고려하지 않은 Fig. 1(a)의 경우 두 이미지가 유사하지 않는 것으로 판단될 수 있으나, 대칭을 고려한 Fig. 1(b)의 경우 두 이미지는 유사하다 판단된다.

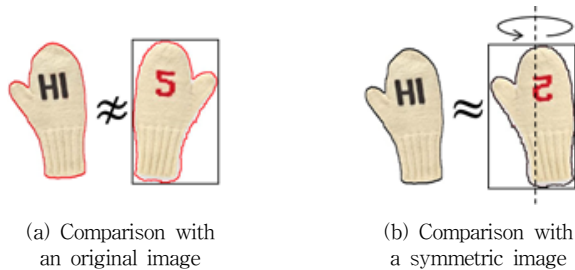


Fig. 1. Motivating Example of Symmetric Transformation in Boundary Image Matching

대칭 변환을 지원하기 위해서는 이미지로부터 대칭 시계열을 생성해야 한다. 이미지로부터 대칭 시계열을 생성하는 방법으로는 이미지 도메인 방법과 시계열 도메인 방법이 있다. 먼저, 이미지 도메인 방법은 일정 축을 기준으로 이미지를 대칭시킨 후 대칭된 이미지로부터 시계열을 추출하는 방법이다. 이 방법은 이미지를 직접 대칭시킴으로써 매우 직관적이며, 시계열 추출 과정이 기존 방법과 동일하여 구현이 용이한 장점이 있다. 하지만, 이미지를 구성하는 모든 점들을 대칭해야 하며 대칭축에 따라 서로 다른 시계열이 추출되는 문제가 있다. 다음으로, 시계열 도메인 방법은 이미지를 먼저 시계열로 변환한 후, 시계열을 직접 대칭 변환하는 방법이다. 이 방법 역시 시계열 추출 과정은 기존 방법과 동일하다. 하지만, 이미지 도메인 방법과는 다르게 이미지 윤곽선을 나타내는 시계열을 직접 대칭시키므로 매우 간단한 연산만이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 시계열 도메인에서의 대칭 변환, 즉 시계열을 직접 대칭 변환하여 대칭 시계열을 생성하는 방법을 사용하며, 이를 회전-불변 이미지 매칭에 활용함으로써, 회전-불변과 대칭-불변을 동시에 지원한다.

실험 결과, 본 논문에서 제안한 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭은 기존 회전-불변 윤곽선 이미지 매칭에 비해 보다 직관적이고 정확한 매칭을 수행하는 것으로 나타났다. 또한, 대칭-불변 매칭의 경우 수행시간이 기존 회전-불변 매칭에

비해 상수 배에 불과하여 큰 오버헤드가 되지 않음을 확인하였다. 이 같은 결과로 볼 때, 본 논문의 대칭-불변 이미지 매칭은 윤곽선 이미지 처리에 있어서 중요한 회전과 대칭 변환을 동시에 지원하는 우수한 방법이라 사료된다. 특히, 이미지 도메인의 문제를 시계열 도메인[3, 5]에서 해결했다는 점에서 매우 새로운 접근법이라 할 수 있다.

2. 관련 연구

시계열 매칭은 사용자에 의해 주어진 질의 시계열과 시계열 데이터베이스에 저장된 데이터 시계열을 비교하여 질의 시계열과 유사한 데이터 시계열을 찾는 작업이다[7, 9, 14]. 시계열 매칭에는 유클리디안(Euclidean) 거리[7, 9], DTW(Dynamic Time Warping) 거리[17], Edit 거리[18] 등이 유사 척도로 사용된다. 본 논문에서는 이중 직관적이며 가장 많이 사용되는 유클리디안 거리를 사용한다.

모양 기반의 이미지 매칭에서는 주로 객체의 외부 윤곽선이나 영역을 이용한다[7, 9, 10]. 본 논문에서는 이중 외부 윤곽선을 이용하는 간단한 방법인 CCD(Centroid Contour Distance) 방법[7, 9]을 활용한다. CCD 방법은 평면 좌표상 이미지의 외부 윤곽선에 대한 중심점을 기준으로 n 개 방향의 일정한 각도($\Delta\theta = 2\pi/n$)로 나누어 중심점과 외부 윤곽선과의 거리를 계산하여, 이미지를 n -차원 공간의 점으로 매핑 한다. Fig. 2는 CCD 방법에 의해 윤곽선 이미지가 n -차원 공간의 점, 즉 n -차원 시계열로 변환된 예제를 나타낸다. 이와 같이 CCD 방법을 사용하면 외부 윤곽선 이미지를 시계열로 나타낼 수 있고, 이에 따라서 효율적인 시계열 매칭 기법을 윤곽선 이미지 매칭에 활용할 수 있다.

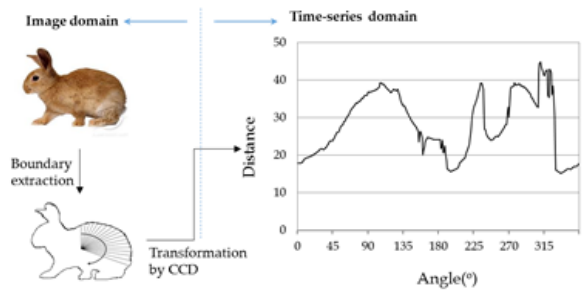


Fig 2. Example of Converting a Boundary Image to a Time-series by CCD

시계열 도메인에서 이미지 모양에 대한 매칭 문제는 참고 문헌 [10, 14, 19] 등에서 우수한 해결책이 제시된 바 있다. 이들 연구에서는 하한, 엔빌로프, 삼각부등식 등을 사용하여 회전-불변 거리 계산을 효율적으로 감소시켰다. 하지만 이들 연구는 이미지의 회전 변환만 고려하였을 뿐 대칭 변환에 대한 문제는 해결할 수 없다. 따라서, 본 연구는 기존의 회전 변환 문제를 포함하여 대칭 변환까지 해결하는 윤곽선 이미지 매칭이라 할 수 있다.

윤곽선 이미지 매칭의 최근 연구 중 주목받는 내용이 회

전 변환의 지원이다[10, 14-16]. Moon 등[14]은 회전-불변 기능을 지원하기 위해 이미지 윤곽선에서 추출한 시계열을 한 칸씩 이동하면서 시계열 매칭을 수행한다. 즉, 시계열을 한 칸씩 이동하는 것은 이미지를 한 칸씩 회전하는 것과 동일하다. 따라서, 시계열을 한 칸씩 n 번 이동하여 시계열 매칭을 수행하면 모든 회전 이미지를 사용한 이미지 매칭과 동일한 결과를 얻는다. 회전-불변 윤곽선 이미지 매칭을 위한 시계열 이동은 다음과 같이 정의한다.

정의 1: 길이 n 인 시계열 $T(= \{t_0, t_1, \dots, t_{n-1}\})$ 가 주어졌을 때, T 를 k 칸 이동시킨 시계열 $T^k(= \{t_0^k, t_1^k, \dots, t_{n-1}^k\})$ 를 k -이동 시퀀스라 정의하며 t_i^k 는 Equation (1)로 정의한다.

$$t_i^k = t_{(i+k+n)\%n} \quad (1)$$

여기에서, $i = 0, 1, \dots, n-1$ 이며, $-n < k < n$ 이다.

정의 1에 따라, T 의 1-이동 시퀀스 T^1 은 $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_0\}$ 이고, 10-이동 시퀀스 T^{10} 은 $\{t_{10}, \dots, t_{n-1}, t_0, \dots, t_9\}$ 이다. 또한, (-5)-이동 시퀀스 T^{-5} 는 $\{t_{n-5}, \dots, t_{n-1}, t_0, \dots, t_{n-6}\}$ 이며 이는 $T^{(n-5)}$ 와 동일하다. 본 논문에서는 대칭 변환과 회전 변환을 동시에 지원하기 위해 대칭 변환된 시계열에 k -이동 시퀀스를 적용하여 회전-불변 매칭을 수행한다.

3. 대칭 변환 개념과 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭

3.1 이미지 대칭과 시계열 대칭

본 논문에서는 이미지가 임의의 축에 대칭되는 경우를 가정하고 윤곽선 이미지 매칭 문제를 다룬다. 이 같은 대칭 변환은 기존 윤곽선 이미지 매칭에서 다루지 않은 새로운 접근법이다. 또한, 본 논문에서는 대칭 변환과 함께 기존 회전 변환을 동시에 지원함으로써, 이미지 대칭뿐 아니라 회전에 대한 문제를 함께 해결한다. 서론에서 설명한 바와 같이, 기존 회전-불변 윤곽선 이미지 매칭에 대칭 변환을 적용하기 위해서는 대칭된 이미지로부터 얻은 시계열, 즉 대칭 시계열을 생성해야 한다. 대칭 시계열을 추출하는 방법에는 이미지 도메인 방법과 시계열 도메인 방법이 있다. 이 중 우선 이미지 도메인에서의 대칭 시계열 생성을 위한 이미지 대칭 변환을 다음과 같이 정의한다.

정의 2: 질의 이미지 I 와 각 θ 가 주어졌을 때, 이미지 I 를 구성하는 모든 점들을 직선 $y = \tan\theta \cdot x$ 에 대해 대칭 이동하여 재구성한 이미지 I_θ 를 **대칭 변환 이미지**라 정의하며 이때의 각 θ 를 **대칭각**이라 부른다. 단, $\theta \leq \pi$ 이고, $\theta = \pi/2$ 이면 $x=0$ 이다.

정의 2에 의해 생성된 대칭 변환 이미지 I_θ 에서 윤곽선을 추출하고 추출한 윤곽선에 CCD를 사용하여 시계열을 추출하면 대칭 시계열을 생성할 수 있다. 본 논문에서는 이렇게 생성된 대칭 시계열을 $T_\theta(= \{t_{\theta,0}, t_{\theta,1}, \dots, t_{\theta,n-1}\})$ 라 표현한다. Fig. 3은 원본 이미지와 대칭된 이미지, 그리고 이들의 윤곽선에 해당하는 시계열들을 나타낸다. Fig. 3(A)의 원본 이미지를 $\theta = \pi/2$ 에 대해 대칭한 이미지가 Fig. 3(B)이며, 이들 이미지에서 시계열을 추출하는 과정을 나타낸다. Fig. 3(B)를 보면, 대칭각 $\theta = \pi/2$ 이므로, 직선 $x=0$ 에 대해, 즉 y 축에 대해 Fig. 3(A)의 원본 이미지가 대칭된다. y 축 대칭은 이미지를 구성하는 모든 점들의 x 좌표만 부호가 바뀌므로 대칭된 이미지에서 추출된 시계열 $T_{\pi/2}$ 는 그림 3(A)와 정반대 시계열인 Equation (2)와 같이 구성된다.

$$T_{\frac{\pi}{2}} = \left\{ t_{\frac{\pi}{2},0}, t_{\frac{\pi}{2},1}, \dots, t_{\frac{\pi}{2},n-1} \right\} = \{t_{n-1}, t_{n-2}, \dots, t_0\} \quad (2)$$

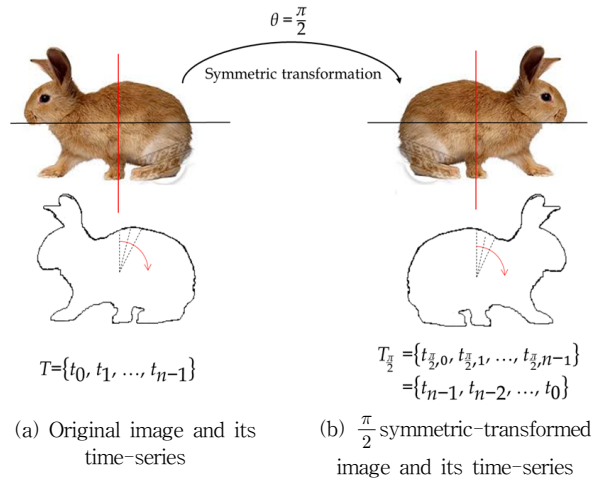


Fig 3. Process of Extracting Time-series from Original and Symmetric Image

대칭 변환 이미지는 대칭각 θ 에 따라 매번 다른 이미지가 생성된다. 따라서, 서로 다른 대칭각으로 이미지들을 대칭하고 이들을 기존 시계열 매칭에 적용하면 서로 다른 매칭 결과를 얻게 된다. 그러나 직관적으로 생각했을 때 이미지를 대칭하였다 해서 매칭 결과가 달라져서는 안 된다. 즉, 이미지가 대칭되더라도 매칭 결과가 동일한 대칭-불변 기능을 지원해야 한다. 그런데 저자들은 대칭된 이미지에 회전-불변 매칭을 수행하면 서로 다른 대칭각을 사용한다 하더라도 동일한 매칭 결과를 얻는다는 사실을 발견하였다. 즉, 대칭 변환된 이미지를 회전-불변 매칭에 적용할 경우 이미지의 대칭각을 고려하지 않아도 된다는 사실이다. 정리 1이 이러한 성질을 나타낸다. 정리 1은 서로 다른 대칭각을 사용하여 생성한 두 대칭 변환 이미지를 회전-불변 매칭에 적용할 경우 동일한 매칭 결과를 얻음을 설명한다.

정리 1: 질의 이미지 I 와 두 대칭 각 α, β 가 주어졌을 때, 대칭 변환 이미지 I_α 와 I_β 의 회전-불변 윤곽선 이미지 매칭 결과는 동일하다.

증명: 대칭 이미지 I_α 에서 추출한 시계열을 $T_\alpha (= \{t_{\alpha,0}, t_{\alpha,1}, \dots, t_{\alpha,n-1}\})$, I_β 에서 추출한 시계열을 $T_\beta (= \{t_{\beta,0}, t_{\beta,1}, \dots, t_{\beta,n-1}\})$ 라 하자. 정의 2와 Equation (2)에 따라, 대칭 시계열 T_α 는 이미지 I 가 $\frac{\pi}{2}$ 에 의해 대칭된 I_α 로부터 추출된 시계열이다. 또한, 정의 1에 따라 대칭 시계열 T_α 를 한 칸씩 n 번 이동하면 모든 회전 이미지의 대칭 시계열을 얻을 수 있다. 만일, T_α 를 a 칸 이동하면 T_a 를, b 칸 이동하면 T_b 를 얻을 수 있다고 하자. 다시 말해, T_a 는 T_α 의 a -이동 시퀀스이며, T_b 는 T_α 의 b -이동 시퀀스라 하자. 그러면, Equation (3)이 성립한다.

$$\begin{aligned}
 D(T_\alpha^k, T_\beta) &= \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} |t_{\alpha, (i+k+n)\%n} - t_{\beta, i}|^2} \\
 // \text{유클리디안 거리 정의} \\
 &= \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} |t_{\frac{\pi}{2}, (i+a+k+n)\%n} - t_{\frac{\pi}{2}, (i+b+n)\%n}|^2} \\
 // a-, b-이동 시퀀스 \\
 &= \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} |t_{\frac{\pi}{2}, (i+a+b-a+n)\%n} - t_{\frac{\pi}{2}, (i+b+n)\%n}|^2} \\
 // k = b-a인 k가 항상 존재함 \\
 &= \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} |t_{\frac{\pi}{2}, (i+b+n)\%n} - t_{\frac{\pi}{2}, (i+b+n)\%n}|^2} \\
 &= 0
 \end{aligned} \tag{3}$$

Equation (3)에 의해 T_β 는 T_α 가 $(b-a)$ 만큼 이동한, 즉 T_α 의 $(b-a)$ -이동 시퀀스와 동일하다. 결국, T_β 로 윤곽선 이미지 매칭을 수행한 결과는 T_α 를 $(b-a)$ 만큼 이동(회전)한 매칭 결과와 동일하다. 이는 두 대칭 이미지로 회전-불변 매칭을 사용할 경우, 두 매칭 결과가 동일함을 의미한다.

정리 1은 어떤 대칭각을 사용하더라도 회전-불변 매칭을 사용하면 그 결과가 같음을 나타낸다. 결국, 회전-불변 매칭에 대칭 변환을 적용할 경우 오직 하나의 대칭각만을 고려하면 회전과 대칭 변환을 동시에 지원할 수 있음을 의미한다.

이미지 도메인 방법과는 달리, 시계열 도메인에서는 이미지에서 추출한 시계열을 직접 대칭하여 대칭 시계열을 얻는다. 이미지 도메인 방법은 이미지를 대칭시키는 과정에서 이미지를 구성하는 모든 점들을 대칭하기 때문에 매우 많은 연산이 발생한다. 즉, 이미지를 구성하는 모든 2차원 점들을 대칭시켜야 하므로 $n \times n$ 의 이미지의 경우 $\Theta(n^2)$ 의 대칭 연산이 발생한다. 하지만, 이미지 매칭을 위한 시계열은 CCD

로 추출하므로 이미지의 윤곽선 점들만을 고려하면 된다. 따라서, 이미지 윤곽선 이외의 내·외부 점들은 대칭하지 않고, 오직 윤곽선 점들만 대칭시켜 시계열을 추출하면 $\Theta(n)$ 의 대칭 연산만이 필요하며, 이는 이미지 전체를 대칭시키는 것보다 빠르게 대칭 시계열을 생성한다. 그럼에도 불구하고, 윤곽선을 구성하는 점들 또한 적지 않고, 따라서 윤곽선을 대칭시키는 과정 또한 많은 연산 오버헤드가 발생한다. 본 논문에서는 이 같은 이미지 도메인에서의 대칭 오버헤드를 완화시키기 위해 원본 이미지에서 시계열을 추출한 후 추출한 시계열을 직접 대칭 변환하는 방법을 사용한다. 일반성을 잃지 않는 한, 추출된 시계열은 360개의 엔트리로 구성된다고 가정한다. 정의 3은 이러한 시계열 도메인에서의 대칭 변환을 나타낸다.

정의 3: 이미지 I 로부터 추출한 시계열 $T (= \{t_0, t_1, \dots, t_{n-1}\})$ 의 대칭 변환 시계열 $T^s (= \{t_0^s, t_1^s, \dots, t_{n-1}^s\})$ 의 t_i^s 는 Equation (4)로 정의한다. 즉 $T^s = \{t_0^s, t_1^s, \dots, t_{n-2}^s, t_{n-1}^s\} = \{t_{n-1}, t_{n-2}, \dots, t_1, t_0\}$ 이라 정의한다.

$$t_i^s = t_{n-i-1} \tag{4}$$

여기에서, $i = 0, 1, \dots, n-1$ 이다.

다음으로, 정리 2는 시계열 T 의 대칭 시계열인 T^s 를 사용한 회전-불변 매칭 결과가 대칭 이미지 I_θ 로부터 추출한 대칭 시계열인 T_θ 의 회전-불변 매칭 결과와 동일함을 나타낸다.

정리 2: 이미지 I 로부터 추출한 시계열 T 의 대칭 시계열 T^s 와 대칭 이미지 I_θ 로부터 추출한 대칭 시계열 T_θ 의 회전-불변 매칭 결과는 동일하다.

증명: 정의 3에 따라 대칭 시계열 T^s 는 $\{t_{n-1}, t_{n-2}, \dots, t_0\}$ 이고, Equation (2)에 따라 대칭각 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 로 이미지를 대칭하여 추출한 시계열 T_θ 또한 $\{t_{n-1}, t_{n-2}, \dots, t_0\}$ 으로 동일하다. 정리 1에 따라 어떠한 대칭각을 사용하여 회전-불변 매칭을 수행하더라도 결과는 T_θ 를 사용한 결과와 동일하므로, 대칭 시계열 T^s 를 사용한 매칭 결과 또한 모든 대칭각을 적용한 매칭 결과와 동일하다.

정리 1과 정리 2에 따라 본 논문의 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭에서는 원본 이미지로부터 추출한 윤곽선 시계열을 직접 대칭하여 회전-불변 이미지 매칭에 사용한다.

3.2 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭

본 논문에서 다루는 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭은 다양한 각도에서 촬영된 동일한 이미지에 대해 기존 시계열

매칭에서 다른 이미지로 판단되는 문제를 해결한다. 실제로 카메라를 사용하여 촬영한 이미지를 살펴보면 피사체를 촬영한 위치와 각도에 따라 이미지에 찍힌 피사체의 모양이 각각 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 이에 따라, 본 절에서는 기존의 회전 변환과 함께 대칭 변환을 지원하는 윤곽선 매칭의 구체적 방법을 제안한다. Fig. 4는 본 논문에서 제안하는 대칭-불변 이미지 매칭의 전체 동작 프레임워크를 나타낸다. 그림에서 보듯이, 제안하는 대칭-불변 이미지 매칭은 클라이언트-서버 구조로 되어있으며, 기존 회전 변환은 물론 대칭 변환까지 함께 지원한다.

제안하는 대칭-불변 매칭의 동작 절차는 다음과 같다.

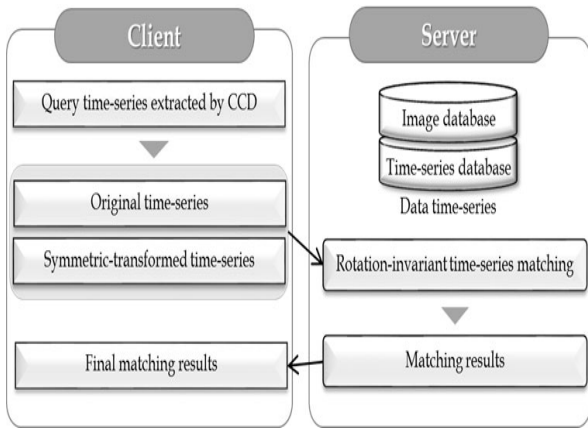


Fig. 4. Overall Working Framework for Symmetric-invariant Boundary Image Matching

먼저, 질의 이미지의 윤곽선으로부터 시계열을 추출한다. 그리고 추출된 시계열 데이터를 대칭시켜 대칭 시계열을 추가로 생성한다. 다음으로, 원본 시계열과 대칭 시계열에 대해 각각 회전-불변 매칭을 수행한다. 마지막으로, 매칭된 각각의 결과로부터 최종 결과를 도출한다. 정리 1과 2에 의해 회전-불변 매칭을 함께 사용하면 하나의 대칭각($=\frac{\pi}{2}$)만 사용하여도 모든 각에 대한 대칭을 고려하는 것과 같은 결과를 얻게 된다. Fig. 5는 대칭-불변 이미지 매칭 과정을 나타낸 알고리즘이다. 알고리즘의 입력은 시계열 데이터베이스, 이미지 윤곽선으로부터 추출한 시계열 데이터(질의 시퀀스), 허용치 ϵ 이다. 먼저, 라인 (1)에서는 이미지로부터 추출한 시계열 데이터를 대칭 변환한다. 다음으로, 라인 (2)에서는 원본 시계열 Q 를 사용하여 회전-불변 매칭 알고리즘인 $RI_Matching$ 을 수행한다. $RI_Matching$ 에 대한 자세한 설명은 참고문헌 [14]를 참조한다. 그런 다음, 라인 (3)에서는 대칭 시계열 Q^s 를 사용하여 회전-불변 이미지 매칭을 수행한다. 마지막으로, 라인 (4)에서는 라인 (2)와 (3)에서 얻은 결과를 취합하여 최종 결과를 반환한다.

```

Procedure  $SI\_Matching()$  //SI = Symmetric-Invariant
Input DB: set of data sequences
        Q: query sequence extracted from the query image
         $\epsilon$ : tolerance
(1)  $Q^s := symmetric\_transformation(Q)$ ;
(2)  $R_1 := RI\_Matching(Q, DB, \epsilon)$ ;
    //rotation-invariant matching using the original query
    sequence Q.
(3)  $R_2 := RI\_Matching(Q^s, DB, \epsilon)$ ;
    //rotation-invariant matching using the symmetric-
    transformed query sequence  $Q^s$ .
(4) Merge  $R_1$  and  $R_2$ ; return the final similar results;
    
```

Fig. 5. Algorithm of Symmetric-invariant Boundary Image Matching

4. 성능 평가

본 실험에서는 제안하는 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭의 수행시간과 정확도를 평가한다. 정확도 실험은 대칭-불변 매칭 결과와 기존 회전-불변 매칭 결과가 얼마나 많이 질의 이미지와 유사·동일한 것인지를 판단한다. 수행시간은 대칭-불변 매칭이 회전-불변 매칭에 비해 얼마나 더 많은 시간이 소요되는지를 논의한다. 실험을 수행한 클라이언트와 서버의 하드웨어 플랫폼은 Intel Xeon 3.1GHz, 4.0GB RAM, 1TB HDD를 장착한 HP 워크스테이션이며, 소프트웨어 플랫폼은 CentOS 5.9 Linux 운영체제로 동일하다. 데이터 시계열과 질의 시계열은 약 100가지 계열로 이루어진 1만 개 이미지에서 윤곽선을 추출한 후, 이를 길이 360의 시계열로 변환하여 구성하였다[9].

Fig. 6은 하나의 질의 이미지에 대해 회전-불변 매칭과 대칭-불변 매칭의 결과 중 가장 유사한 상위 5개 이미지를 각각 나타낸 것이다. Fig. 6(a)는 질의 이미지이고, Fig. 6(b)가 회전-불변 매칭 결과, Fig. 6(c)는 대칭-불변 매칭 결과이다.

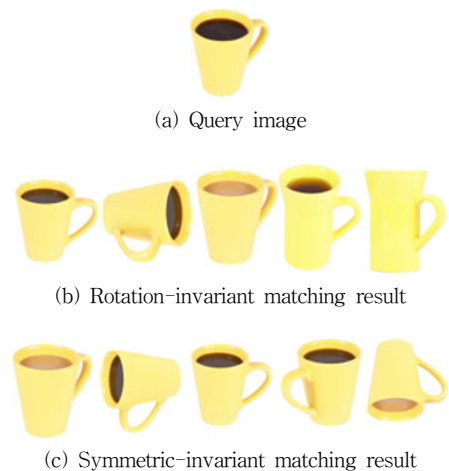


Fig. 6. Comparison of Rotation- and Symmetric-invariant Matching Results

그림에서 볼 수 있듯이, 대칭과 회전 변환을 적용한 Fig. 6(c)의 결과가 회전 변환만을 적용한 Fig. 6(b)의 결과에 비해 보다 유사한 이미지들을 검색하는 것을 알 수 있다.

그림 7은 대칭-불변 매칭과 기존 회전-불변 매칭의 수행 시간을 측정한 결과이다. 허용치 ϵ 은 50, 60, 70, 80으로 달리하였으며, 각 허용치에 대해 50개의 질의 이미지를 사용한 후, 그 결과를 평균하였다. 실험 결과, 제안하는 대칭-불변 매칭이 기존 회전-불변 매칭보다 평균 1.7배 수행시간이 증가한 것으로 나타났다. 이 같은 결과를 보이는 이유는 앞서 설명한 바와 같이, 대칭-불변 알고리즘이 대칭 변환과 기존 회전 변환 모듈을 지원하기 때문이다. 즉, 대칭 변환의 추가 지원에 따라 약 2배의 시간이 더 소요되는 것이다. 그림을 보면, 수행시간이 허용치에 따라 증가하기는 하나, 그 증가 속도가 두 기법 모두 선형적($O(n)$)임을 알 수 있다. 이는 제안하는 대칭-불변 매칭이 실용적으로 사용 가능한 방법임을 의미한다.

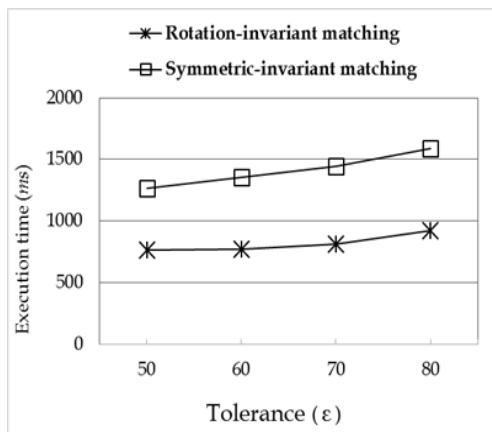


Fig. 7. Execution Time Comparison of Rotation- and Symmetric-invariant Matching

마지막으로, Fig. 8은 대칭-불변 매칭과 회전-불변 매칭의 정확도를 실험한 결과이다. 실험 환경은 Fig. 7과 동일하며, 매칭 결과 이미지가 주어진 질의 이미지와 동일하되 회전이나 대칭이 이루어진 이미지의 비율을 측정하였다. 정확도 실험에서는 보다 직관적이고 공평한 결과를 얻기 위해 매칭 결과로 검색된 이미지 중 질의 이미지와 같은 계열에 포함되지 않는 결과는 제거하였다. 예를 들어, 컵 이미지(Fig. 6(a))를 질의 이미지로 사용한 경우, 컵 계열이 아닌 다른 계열(과일인 사과, 채소인 피망 등)이 검색된 경우에는 정확도 실험에서 해당 결과 이미지를 제외하였다. 이는 계열이 다른 경우 매칭 결과가 왜곡될 수 있으므로, 이로 인한 정확도 왜곡을 방지하기 위해서이다. Fig. 8의 결과를 요약하면, 제안하는 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭의 정확도가 기존 회전-불변 윤곽선 이미지 매칭보다 정확도가 약 10% 향상되었다. 이 같은 결과를 볼 때, 제안하는 대칭-불

변 윤곽선 이미지 매칭은 기존 회전-불변 윤곽선 이미지 매칭에 비해 정확한 매칭을 수행하며, 성능 또한 크게 저하되지 않는 우수한 연구라 사료된다.

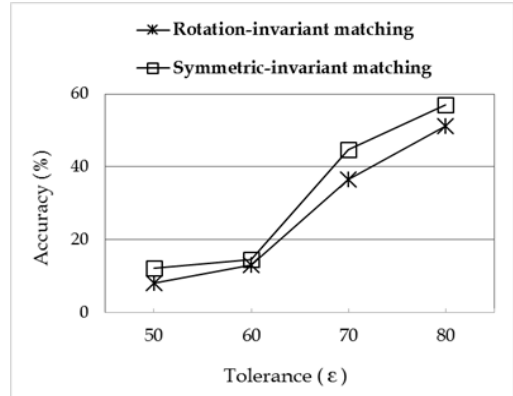


Fig. 8. Accuracy Comparison of Rotation- and Symmetric-invariant Matching

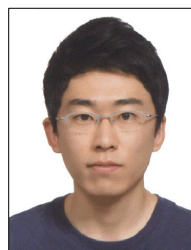
5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 윤곽선 이미지 매칭에서 대칭 변환을 지원하는 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭을 제안하였다. 제안한 기법은 여러 각도에서 촬영된 이미지에 대하여 대칭 변환과 회전 변환을 동시에 지원함으로써 기존 윤곽선 이미지 매칭에 비해 보다 직관적인 매칭 결과를 제공한다. 본 논문에서는 먼저 이미지 매칭의 개념을 정의하고, 이미지로부터 대칭 시계열을 생성하는 두 가지 방법을 제안하였다. 또한, 어떠한 대칭각을 사용하더라도 회전-불변 매칭의 결과는 동일함을 정형적으로 증명하였다. 실험 결과, 제안하는 대칭-불변 윤곽선 이미지 매칭은 기존 회전-불변 매칭에 비해 약 1.7배의 추가 시간이 발생하나 10% 이상의 정확하고 직관적인 결과를 도출하는 것으로 나타났다. 이 같은 결과로 볼 때, 제안하는 대칭-불변 매칭은 기존 윤곽선 이미지 매칭에서 해결하지 못한 대칭 변환 문제를 시계열 도메인에서 해결하는 우수한 접근법이라 사료된다. 또한, 제안한 기법은 기존 회전-불변 매칭의 프레임워크에 대칭 변환을 적용한 것으로서 그 구현이 용이하고, 추후 회전이나 대칭 변환뿐 아니라 다른 변환으로의 확장도 용이한 장점이 있다. 향후 연구로는 스케일-불변 매칭에 대한 대칭 변환과 노이즈 제거 매칭에 대한 대칭 변환 문제를 연구할 예정이다.

References

[1] G. Navarro, "Spaces, Trees, and Colors: The Algorithmic Landscape of Document Retrieval on Sequences," *ACM Computing Surveys*, Vol.46, No.4, Article 52, Mar., 2014.

- [2] J. Kumar, P. Ye, and D. Doermann, "Structural Similarity for Document Image Classification and Retrieval," *Pattern Recognition Letters*, Vol.43, pp.119-126, July, 2014.
- [3] P. B. Patil and M. B. Kokare, "Interactive Semantic Image Retrieval," *Journal of Information Processing Systems*, Vol.9, No.3, pp.349-364, Sept., 2013.
- [4] Z. Xu, K. Cheng, Y. Ding, Z. Tian, and H. Zhao, "A Multiple Genome Sequence Matching Based on Skipping Tree," *Int'l Journal of Machine Learning and Computing*, Vol.5, No.1, pp.78-85, Feb., 2015.
- [5] R. Agrawal, C. Faloutsos, and A. Swami, "Efficient Similarity Search in Sequence Databases," in *Proc. of the 4th Int'l Conf. on Foundations of Data Organization and Algorithms*, Chicago, Illinois, pp.69-84, Oct., 1993.
- [6] Y.-S. Moon, K.-Y. Whang, and W.-S. Han, "General Match: A Subsequence Matching Method in Time-Series Databases Based on Generalized Windows," in *Proc. of Int'l Conf. on Management of Data, ACM SIGMOD*, Madison, Wisconsin, pp.382-393, June, 2002.
- [7] B.-S. Kim, Y.-S. Moon, M.-J. Choi, and J. Kim, "Interactive Noise-Controlled Boundary Image Matching Using the Time-Series Moving Average Transform," *Multimedia Tools and Applications*, Vol.72, No.3, pp.2543-2571, Oct., 2014.
- [8] J. Han, M. Kamber, and J. Pei, "Data Mining: Concepts and Techniques," 3rd Ed., Morgan Kaufmann, 2011.
- [9] Y.-S. Moon, B.-S. Kim, M. S. Kim, and K.-Y. Whang, "Scaling-Invariant Boundary Image Matching Using Time-Series Matching Techniques," *Data & Knowledge Engineering*, Vol.69, No.10, pp.1022-1042, Oct. 2010.
- [10] M. Vlachos, Z. Vagenas, P. S. Yu, and V. Athitsos, "Rotation Invariant Indexing of Shapes and Line Drawings," in *Proc. of ACM Conf. on Information and Knowledge Management*, Bremen, Germany, pp.131-138, Oct. 2005.
- [11] S. R. Arashloo, "Multiscale Binarised Statistical Image Features for Symmetric Face Matching Using Multiple Descriptor Fusion Based on Class-Specific LDA," *Pattern Analysis and Applications*, May, 2015. (Published online).
- [12] C. Carlet, G. Gao, and W. Liu, "A Secondary Construction and a Transformation on Rotation Symmetric Functions, and Their Action on Bent and Semi-Bent Functions," *Combinatorial Theory, Series A*, Vol.127, pp.161-175, Sept., 2014.
- [13] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, "Image Processing, Analysis, and Machine Vision," 4th ed., Cengage Learning, 2014.
- [14] Y.-S. Moon and W.-K. Loh, "Triangular Inequality-based Rotation-Invariant Boundary Image Matching for Smart Devices," *Multimedia Systems*, Vol.21, Issue.1, pp.15-28, Feb., 2015.
- [15] G. C. Oscós, T. M. Khoshgoftaar, and R. Wald, "Rotation Invariant Face Recognition Survey," in *Proc. of the 15th Int'l Conf. on Information Reuse and Integration*, Redwood City, California, pp.835-840, Aug., 2014.
- [16] G. Lian, "Rotation Invariant Color Texture Classification Using Multiple Sub-DLBPs," *Visual Communication and Image Representation*, Vol.31, pp.1-13, Aug., 2015.
- [17] W.-S. Han, J. Lee, Y.-S. Moon, S.-W. Hwang, and H. Yu, "A New Approach for Processing Ranked Subsequence Matching Based on Ranked Union," in *Proc. of Int'l Conf. on Management of Data, ACM SIGMOD*, Athens, Greece, pp.457-468, June, 2011.
- [18] M. Pawlik and N. Augsten, "A Memory-Efficient Tree Edit Distance Algorithm," in *Proc. of the 25th Int'l Conf. on Database and Expert Systems Applications*, Munich, Germany, Part I, pp.196-210, Sept., 2014.
- [19] W.-K. Loh, S.-P. Kim, S.-K. Hong, and Y.-S. Moon, "Envelope-based Boundary Image Matching for Smart Devices Under Arbitrary Rotations," *Multimedia Systems*, Vol.21, Issue.1, pp.29-47, Feb., 2015.



이 상 훈

e-mail : sanghun@kangwon.ac.kr

2011년 강원대학교 컴퓨터과학과(학사)

2013년 강원대학교 컴퓨터과학과(석사)

2013년~현 재 강원대학교 컴퓨터과학과 박사과정

관심분야 : Data Mining & Knowledge Discovery, Data Mining Applications, Privacy-Preserving Data Mining



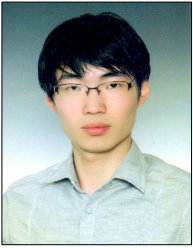
방 준 상

e-mail : jsbang@kangwon.ac.kr

2010년~현 재 강원대학교 컴퓨터과학과

학사과정

관심분야 : Data Mining & Knowledge Discovery, Data Mining Applications



문 성 우

e-mail : swmoon@kangwon.ac.kr
2014년 강원대학교 컴퓨터과학과(학사)
2014년~현재 강원대학교 컴퓨터과학과
석사과정
관심분야: Data Mining & Knowledge
Discovery, Data Mining
Applications, Visualization,
Image Processing



문 양 세

e-mail : ysmoon@kangwon.ac.kr
1991년 한국과학기술원 과학기술대학
전산학과(학사)
1993년 한국과학기술원 전산학과(석사)
2001년 한국과학기술원 전자전산학과
전산학전공(박사)
1993년~1997년 현대전자산업(주)
주임연구원
2001년~2002년 (주)현대시스템 선임연구원
2002년~2005년 (주)인프라벨리 기술위원(이사)
2005년~2008년 한국과학기술원 첨단정보기술연구센터 연구원
2008년~2009년 미국 퍼듀대학교 방문연구원
2012년~2013년 강원대학교 기획부처장
2014년~현재 강원대학교 IT대학 부학장
2005년~현재 강원대학교 컴퓨터과학과 교수
관심분야: Data Mining, Knowledge Discovery, Stream Data,
Storage System, Database Applications, Mobile/
Wireless Communication Services & Systems