

시계열 데이터 기반의 대칭 변환 윤곽선 이미지 매칭

방준상, 이상훈*, 문양세

강원대학교 컴퓨터과학과

{jsbang, sanghun, ysmoon}@kangwon.ac.kr

Symmetric Transformation Boundary Image Matching Based on Time-Series Data

Junsang Bang, Sanghun Lee, Yang-Sae Moon

Dept. of Computer Science, Kangwon National University

요 약

본 논문에서는 대칭 변환을 지원하는 윤곽선 이미지 매칭 문제를 다룬다. 이미지 매칭에서 이미지의 대칭 변환을 지원하는 것은 직관적이고 정확한 매칭을 위해 매우 중요한 요소이다. 그러나, 기존 이미지 매칭에서는 이미지 회전-불변만 고려하였을 뿐 대칭 변환은 고려하지 않았다. 본 논문에서는 기존 회전-불변 윤곽선 이미지 매칭과 함께 대칭 변환을 지원하는 새로운 윤곽선 이미지 매칭을 제안한다. 실험 결과, 제안하는 대칭 변환 매칭은 회전-불변만을 지원하는 기존 윤곽선 이미지 매칭에 비해 보다 정확하고 직관적인 결과를 도출하는 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 대칭 변환 윤곽선 이미지 매칭이 이미지의 대칭 변환 문제를 시계열 도메인에서 해결한 우수한 해결책임을 의미한다.

1. 서론

최근 문서 검색, 이미지 매칭, 바이오 시퀀스 매칭 등 여러 응용 분야에서 대용량 데이터 기반의 시계열 매칭 연구가 활발히 진행되고 있다[1, 2, 3, 4]. 여기에서, 시계열 데이터(혹은 시퀀스)란 일정한 간격으로 이루어진 연속된 실수 값의 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[3, 5, 6].

이미지 매칭에서 대칭 변환 지원은 매우 어려운 문제이다. 그 이유는 이미지 모양에 따라 고려해야 하는 대칭 정도, 위치, 각도가 매우 다양하기 때문이다. 특히, 이미지를 직접 대칭 변환 할 경우 매우 많은 연산 오버헤드가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이미지를 직접 변환하지 않고 윤곽선으로부터 시계열을 추출한 후 이미지 대신 시계열을 대칭 변환하여 시계열 매칭에 활용한다. 그림 1은 본 논문에서 다루는 이미지 대칭 변환의 필요성을 나타낸다. 그림에서 보듯이, 대칭을 고려하지 않은 그림 1(a)의 경우 두 이미지가 유사하지 않을 수 있으나, 대칭을 고려한 그

림 1(b)의 경우 두 이미지는 유사하다 판단된다.



(a) 원본 이미지 간 비교. (b) 대칭된 이미지 간 비교.
그림 1. 윤곽선 이미지 매칭에서 대칭 변환의 필요성.

기존 시계열 매칭 연구에서는 이미지의 모양에 따른 직관적 매칭을 지원하기 위해 회전-불변 이미지 매칭 방법을 사용하였다[7]. 회전-불변 매칭은 이미지 시계열을 한칸씩 이동하면서 시계열 간의 유사거리[3, 5]를 계산하는 방법이다. 이러한 매칭 기법을 사용하면 회전된 이미지에 대한 매칭 문제는 해결 할 수 있다. 하지만 이미지가 대칭되어 있는 경우 이미지를 회전시킨다 하더라도 정확한 이미지 매칭을 할 수 없다. 즉, 보다 정확한 이미지 매칭을 위해서는 이미지의 회전-불변 뿐만 아니라 대칭 변환도 고려해야 한다. 본 논문에서는 단순한 대칭 변환 이미지 매칭이 아닌 회전-불변을 함께 지원하는 대칭 변환 이미지 매칭 문제를 다룬다.

실험 결과, 본 논문에서 제시한 대칭 변환 이미지 매칭은 대칭 변환을 적용하지 않는 경우에 비해 보다 직관적이고 정확한 매칭을 수행하는 것으로 나타났다. 이 같은 결과를 볼 때, 본 논문의 대칭변환 이미

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

지 매칭은 윤곽선 이미지 처리에 있어서 중요한 변환을 지원하는 우수한 방법이라 사료된다. 특히, 이미지 도메인의 문제를 시계열 도메인[3, 5]에서 해결했다는 점에서 매우 효율적인 접근법이라 할 수 있다.

2. 관련 연구

시계열 매칭은 사용자에게 의해 주어진 질의 시계열과 시계열 데이터베이스에 저장된 데이터 시계열을 비교하여 질의 시계열과 유사한 데이터 시계열을 찾는 작업이다[3, 5, 7]. 시계열 매칭에는 유클리디안(Euclidean)[3, 5] 거리, DTW(Dynamic Time Warping)[8] 거리, Edit[9] 거리 등이 유사 거리 모델이 사용된다. 본 논문에서는 이중 직관적이며 가장 많이 사용되는 유클리디안 거리를 사용한다.

모양 기반의 이미지 매칭에서는 주로 객체의 외부 윤곽선이나 영역을 이용한다[3, 5, 6]. 본 논문에서는 이중 외부 윤곽선을 이용하는 간단한 방법인 CCD (centroid contour distance) 방법[3, 5]을 활용한다. CCD 방법은 평면 좌표 상 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 매핑한다. 그림 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.

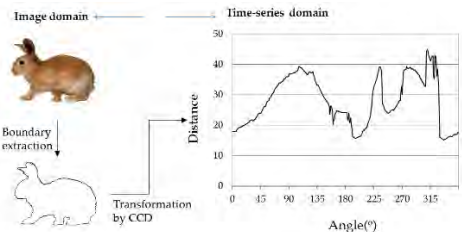


그림 2. CCD 방법에 의한 윤곽선 이미지의 시계열 변환 예.

시계열 도메인에서 이미지 모양에 대한 매칭 문제는 참고문헌 [6, 7, 10]등에서 우수한 해결책이 제시된 바 있다. 이들 연구에서는 엔빌로프, 하한, 삼각부등식 등을 사용하여 회전-불변 거리 계산을 효율적으로 감소시켰다. 하지만 이들 연구는 이미지 회전만 고려하였을 뿐 대칭 변환에 대한 문제는 해결할 수 없다. 따라서, 본 연구는 기존의 회전-불변 문제를 포함하는 일반화된 대칭 변환 윤곽선 이미지 매칭이라 할 수 있다.

3. 대칭 변환 윤곽선 이미지 매칭

윤곽선 이미지 매칭은 질의 윤곽선 이미지와 유사한 데이터 윤곽선 이미지들을 찾는 문제이다. 본 논문에서는 이미지가 좌우 또는 상하로 대칭된 경우의 매칭

문제, 즉 대칭 변환 문제를 다룬다. 이미지를 대칭 변환 하는 방법으로 이미지 도메인 방법과 시계열 도메인 방법이 있다. 먼저, 이미지 도메인 방법은 일정 축을 기준으로 이미지 전체를 대칭시킨 후 시계열 변환하여 거리 계산을 수행하는 방법이다. 반면에, 시계열 도메인 방법은 이미지를 먼저 시계열로 변환한 후, 시계열에서 직접 대칭 변환을 수행하는 방법이다. 이미지 도메인에서의 대칭 변환은 매우 많은 연산 오버헤드가 발생한다. 또한 회전-불변을 함께 적용하기 위해서는 이미지의 축을 매번 이동하면서 대칭 변환한 후 윤곽선을 재추출해야 하는 문제점이 있다. 본 논문에서 이 같은 문제를 해결하기 위해 시계열 도메인 방법을 사용한다. 시계열 도메인에서의 대칭은 시계열을 특정 위치를 기준으로 y 축 대칭시키는 매우 저비용의 연산을 사용하며, 회전-불변은 시계열을 한 칸씩 이동시킴으로써 해결할 수 있다.

본 논문에서 다루는 대칭 변환 윤곽선 이미지 매칭은 다양한 위치에서 촬영된 동일한 이미지에 대해 기존 시계열 매칭에서 다른 이미지로 판단되는 문제를 해결하고자 한다. 실제로 카메라를 사용하여 촬영한 이미지를 살펴보면 피사체를 촬영한 위치와 각도에 따라 이미지에 찍힌 피사체의 모양이 각각 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 기존 윤곽선 이미지 매칭에서는 이미지의 회전만 고려하였을 뿐 이미지의 모양, 즉 대칭은 고려하지 않았다. 따라서 서로 다른 위치(각도)에서 동일한 피사체를 촬영한 이미지가 유사하지 않는 이미지로 판단될 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해, 기존의 회전-불변 매칭과 함께 대칭 변환을 지원하는 윤곽선 매칭을 제안한다. 그림 3은 본 논문에서 제안하는 대칭 변환 이미지 매칭의 전체 동작 프레임워크를 나타낸다. 그림에서 보듯이, 제안하는 대칭 변환 매칭은 클라이언트-서버 구조로 되어있으며, 기존 회전-불변 매칭은 물론 대칭 변환 기반 회전-불변 매칭 모두를 지원한다. 그리고 매칭 결과로 반환된 각 결과를 비교 분석하여 최종 매칭 결과를 도출한다.

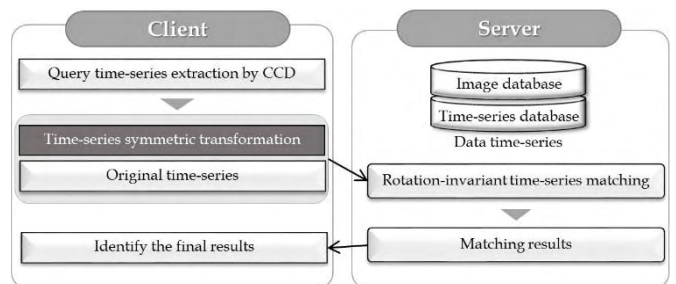


그림 3. 이미지 변환 대칭 전체 프레임워크.

제안하는 대칭 변환 매칭의 동작 절차는 다음과 같다. 먼저, 질의 이미지의 윤곽선으로부터 시계열을 추출한다. 그리고 추출된 시계열 데이터를 대칭 시킨다. 다음으로, 대칭되지 않은 시계열과 대칭된 시계열에 대해 각각 회전-불변 매칭을 수행한다. 마지막으로, 매칭된 각각의 결과를 비교·분석하여 최종 결과를 도

출한다. 그림 4는 대칭 변환 이미지 매칭 과정을 자세히 설명한 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 $RI-TI$ 를 수행한다. $RI-TI$ 에 대한 자세한 설명은 참고문헌 [7]을 참조한다. 그런 다음, 라인 (3)에서는 대칭 변환한 시퀀스 q^{st} 를 사용하여 회전-불변 이미지 매칭을 수행한다. 마지막으로, 라인 (4)에서는 라인 (2)와 (3)에서 얻은 결과를 비교·분석하여 최종 결과를 반환한다.

```

Procedure  $ST\_Matching()$ 
//ST = Symmetric Transformation
Input  $DB$ : a set of data sequences
 $q$ : query sequence from the image
 $\epsilon$ : tolerance
(1)  $q^{st} := symmetric\_transformation(q)$ ;
(2)  $R_1 := RI\_TI(q, DB, \epsilon)$ ;
//rotation-invariant matching using the original query sequence  $q$ .
(3)  $R_2 := RI\_TI(q^{st}, DB, \epsilon)$ ;
// rotation-invariant matching using the symmetric transformed query sequence  $q^{st}$ .
(4) Compare and analyze  $R_1$  and  $R_2$ ; and return the final similar results;
    
```

그림 4. 대칭 변환 매칭 알고리즘.

4. 성능 평가

본 실험에서는 대칭 변환 윤곽선 이미지 매칭의 수행시간과 정확도를 평가하였다. 정확도 실험은 대칭 변환을 수행하지 않은 경우의 결과 이미지와 대칭 변환을 수행한 경우의 결과 이미지가 얼마나 많이 질의 이미지와 유사·동일한 것인지를 판단한다. 수행시간은 대칭 변환을 고려한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 얼마나 더 많은 시간이 소요되는지를 논의한다. 실험을 수행한 컴퓨터의 하드웨어 플랫폼은 Intel Xeon 3.1GHz, 4.0GB RAM, 1TB 하드 디스크를 장착한 HP 워크스테이션이며, 소프트웨어 플랫폼은 CentOS 5.9 Linux 운영체제이다. 데이터 시퀀스와 질의 시퀀스는 1만개 이미지(약 100계열)에서 윤곽선을 추출[3, 5] 한 후, 이를 길이 360의 시계열로 변환하여 데이터 시계열과 질의 시계열을 구성하였다.

그림 5는 하나의 질의 이미지에 대해 대칭 변환을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 실험 결과 중 가장 유사한 상위 5개 이미지를 각각 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 질의 이미지이고, 그림 5(b) 대칭 변환을 적용하지 않은 매칭 결과, 그림 5(c)는 대칭 변환을 적용한 경우의 매칭 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 대칭 변환을 적용한 결과가 질의 이미지와 보다 유사한 결과를 검색하는 것을 알 수 있다.

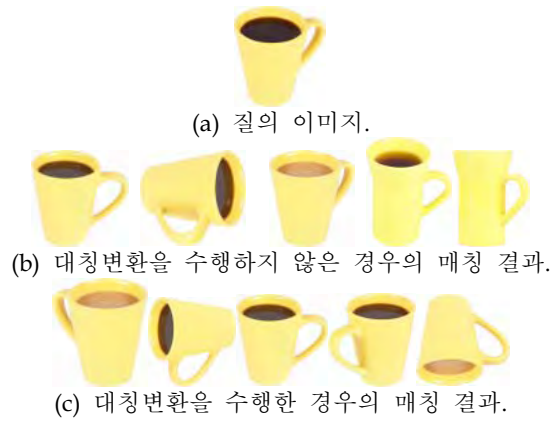


그림 5. 질의 이미지의 대칭 변환 적용 유무에 따른 매칭 결과.

그림 6은 대칭 변환 적용에 따른 수행시간을 측정한 결과이다. 허용치는 ϵ 은 50, 60, 70, 80으로 달리하였으며, 각 허용치에 대해 50개의 질의 이미지를 사용한 후, 그 결과를 평균하였다. 실험 결과, 제안하는 대칭 변환 이미지 매칭이 대칭 변환을 적용하지 않은 경우보다 약 1.7배의 수행시간 증가를 보였다. 이 같은 결과를 보이는 이유는 앞서 설명한 바와 같이, 제안하는 매칭 알고리즘이 대칭 변환 지원하는 회전-불변 뿐만 아니라 대칭 변환을 지원하지 않는 회전-불변 이미지 매칭도 함께 수행하기 때문이다. 즉, 대칭 변환의 추가 지원에 따라 약 2배의 시간이 더 걸리는 것이다. 그림을 보면, 수행시간이 허용치에 민감하기는 하나, 그 증가 속도가 다항식(polynomial)인 $O(n)$ 에 해당한다. 이는 제안하는 대칭 변환 매칭이 실용적으로 사용 가능한 방법임을 의미한다.

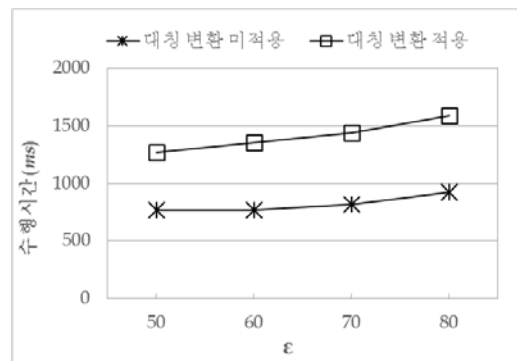


그림 6. 대칭 변환 이미지 매칭의 수행시간 비교.

마지막으로, 그림 7은 대칭 변환을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 정확도 실험 결과이다. 실험 환경은 그림 6과 동일하다. 이 실험에서는 보다 정확한 실험을 위해 매칭 결과로 검색된 이미지 중 질의 이미지의 계열에 포함되지 않은 경우에는 제거하였다. 예를 들어, 컵(그림 5(a))을 질의 이미지로 사용한 실험에서, 컵 계열이 아닌 다른 계열(과일: 모과, 채소: 피망)이 검색된 경우에는 정확도 실험에서 해당 결과 이미지를 제외하였다. 그림 결과를 요약하면, 대칭 변환을 적용한 실험의 정확도가 대칭 변환을 적용하지 않은 경우 보다 성능이 약 10% 향상된 것을 알 수 있다. 이 같은 결과를 볼 때, 제안하는 대칭 변환

윤곽선 이미지 매칭은 기존 회전-불변 윤곽선 이미지 매칭의 성능을 향상시킨 우수한 연구라 사료된다.

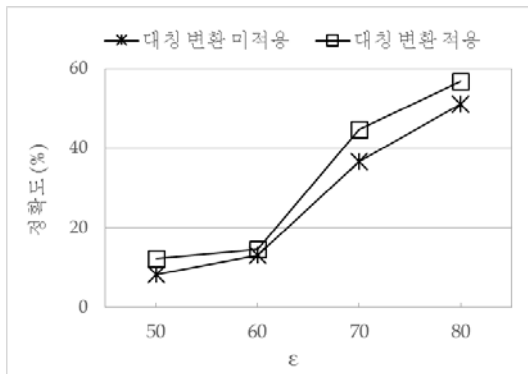


그림 7. 대칭 변환 이미지 매칭의 정확도 비교.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 대칭 변환을 지원하는 회전-불변 윤곽선 이미지 매칭을 제안하였다. 제안한 기법은 다른 각도에서 촬영된 이미지에 대하여 대칭 변환과 회전-불변을 동시에 지원함으로써 기존 윤곽선 이미지 매칭에 비해 보다 직관적인 매칭 결과를 제공한다. 제안한 방법은 기존 회전-불변 매칭의 프레임워크에 대칭 변환을 적용한 것으로서 그 구현이 용이하고 회전-불변뿐 아니라 다른 변환으로의 확장도 용이한 장점이 있다. 향후 연구로는 스케일-불변 매칭에 대한 대칭 변환과 노이즈 제거 매칭에 대한 대칭 변환 문제를 연구할 예정이다.

참고문헌

[1] R. Agrawal, C. Faloutsos, and A. Swami, "Efficient Similarity Search in Sequence Databases," In *Proc. the 4th Int'l Conf. on Foundations of Data Organization and Algorithms*, Chicago, Illinois, pp. 69-84, Oct. 1993.

[2] 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. Int'l Conf. on Management of Data*, ACM SIGMOD, Madison, Wisconsin, pp. 382-393, June 2002.

[3] 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*, June 2013 (published online).

[4] J. Han, M. Kamber, and J. Pei, *Data Mining: Concepts and Techniques*, 3rd Ed., Morgan Kaufmann, 2011.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] M. Pawlik and N. Augsten, "A Memory-Efficient Tree Edit Distance Algorithm," *Database and Expert Systems Applications Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 8644, pp. 196-210, Oct. 2014.

[10] 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, 29-47, Feb. 2015.