
곤충 발자국 패턴 인식을 위한 Trace Transform 기반의 특징값 추출

신복숙* · 조경원** · † 차의영*

Feature Extraction Using Trace Transform for Insect Footprint Recognition

Bok-Suk Shin* · Kyoung-won Cho** · † Eui-Young Cha*

요 약

이 논문에서는 곤충 발자국의 패턴을 인식하기 위해, 인식의 기본 단위인 세그먼트를 자동 추출하는 기법과 Trace transform을 이용하여 발자국 인식에 필요한 특징을 추출하는 기법을 제안하였다. Trace transform 방법을 이용하면 패턴의 이동, 회전, 반사에 불변하는 특징값을 얻을 수 있다. 이러한 특징값들은 곤충 발자국과 같이 다양한 변형이 존재하는 패턴을 인식하는 데에 적합하다. 특징값을 도출하기 위한 첫 번째 단계로는 추출된 세그먼트에 대한 Trace transform을 통해 새로운 Trace 이미지를 생성시킨다. 그런 다음, 병렬로 표현되는 trace-line을 따라 특성 함수에 의해 특징들이 일차적으로 도출되고, 또 다시 도출된 특징들은 diametric, circus 단계의 함수를 거치면서 새로운 특징값으로 재구성된다. 2가지 서로 다른 곤충의 발자국 패턴을 이용하여 실험한 결과 곤충 발자국의 이동, 회전, 반사에 관계없이 인식에 적합한 특징값들이 추출됨을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In a process of insect foot recognition, footprint segments as basic areas for recognition need to be extracted from scanned insect footprints and appropriate features should be found from the footprint segments in order to discriminate kinds of insects, because the characteristics of the features are important to classify insects. In this paper, we propose methods for automatic footprint segmentation and feature extraction. We use a Trace transform method in order to find out appropriate features from the extracted segments by the above methods. The Trace transform method builds a new type of data structure from the segmented images by functions using parallel trace lines and the new type of data structure has characteristics invariant to translation, rotation and reflection of images. This data structure is converted to Triple features by Diametric and Circus functions, and the Triple features are used for discriminating patterns of insect footprints. In this paper, we show that the Triple features found by the proposed methods are enough distinguishable and appropriate for classifying kinds of insects.

키워드

Insect footprint recognition, ART2 algorithm, Clustering, Feature extraction, Trace transform

* 부산대학교 전자계산학과

** 춘해대학 보건행정과

† 교신저자

I. 서론

현대 사회는 국가 간의 교역이 많이 이루어짐에 따라 항공기나 선박을 통한 곤충의 이동이 전 세계적으로 이루어지고 있다. 본래 각 지역에서 토종으로 서식하던 곤충은 아무런 문제가 되지 않지만 한 지역의 곤충이 다른 지역으로 유입되는 경우 그 지역의 생태계나 환경에 악영향을 줄 수가 있다.

현재 뉴질랜드의 환경 관련 회사인 Connovation은 무인으로 곤충들의 발자국을 남길 수 있도록 하는 장치를 개발하여 활용하고 있다[1]. 트래킹 터널이라고 불리는 이러한 장치는 비용 효율이 높아서 쥐와 같은 작은 포유류, 파충류 그리고 각종 곤충들의 움직임을 추적하거나 획득한 발자국을 이용하여 개별적인 특성을 분석하는데 널리 사용되고 있으며, 향후 선박의 컨테이너 등에서 몰래 유입되는 곤충을 파악하기 위한 도구로 활용될 계획이다[2].

트래킹 터널에 의해 수집된 발자국은 경험적 지식이 많은 몇몇 생물학자들에 의해 인지하게 되는데, 대부분의 이러한 방법은 곤충 종류마다 달라지는 발자국의 형태학적인 요소를 활용하여 개별적인 발자국을 추출하고 있고[3], 결국 인간이 곤충학적인 이론 배경을 가지지 못했을 경우에는 발자국을 추출, 분석, 분류하기 어려워진다.

곤충의 발자국은 미세한 점들이 부분적으로 연결되고 이러한 구성들이 분산된 형태로 나타난다. 입력영상으로부터 개체별로 발자국을 분류해내는 일은 쉬운 일이 아니며, 개체별로 발자국을 추출하기 위해서 기존 연구에서는 곤충의 종류와 크기, 다리의 위치, 보폭과 같은 구조적인 형태학적 요소를 이용하여 추출하고 있다 [3][4]. 또한 앞선 연구[5][6]에서는 세그먼트를 추출하기 위해서 다양한 크기로 분산된 점 데이터를 이용하여 발자국의 구조적인 요소를 고려하지 않고 개체별로 세그먼트를 추출한다. 그리고 픽셀정보를 이용하여 방향, 위치에 무관한 특징값을 추출하여 패턴 인식을 수행하고 있다. 곤충의 발자국은 곤충의 배를 중심으로 좌, 우가 서로 대칭인 발자국을 남긴다. 이런 이유로 대칭적인 정보이더라도 동일한 개체임을 판단할 수 있는 특징값을 찾을 필요가 있다. 그러나 관련 연구[6]에서는 좌, 우가 서로 대칭적인 세그먼트를 함께 사용할 경우 특징값의 차이가 발생하고, 좌, 우 세그먼트를 혼재하여 인식 실험

을 할 경우에는 인식률이 저하되는 결과를 보였다.

따라서 이 논문에서는 추출된 세그먼트를 이용하여 특징값을 추출할 때 좌, 우에 상관없이 일관성 있는 값을 얻기 위해서 Trace transform 방법을 사용하였으며, 좌, 우 대칭에 무관함은 물론 이동, 회전에도 무관한 특징값을 추출할 수 있는 기법을 제안하였다.

II. 본론

1. Clustering 기법

이 논문은 예외적이지 않고 정확한 개체별 발자국을 분류하기 위해서 군집의 클러스터링 효과가 뛰어난 신경회로망 알고리즘인 ART2를 이용하여 추출한다[7][8]. ART2 알고리즘은 곤충이 가지고 있는 구조적인 요소를 고려하지 않고도, 쉽게 개체별로 발자국을 분류할 수 있는 특성을 지니고 있다.

ART2는 클러스터를 동적으로 생성하기 때문에, 다량으로 발생하는 패턴의 개수에 영향을 받지 않고 실시간으로 처리할 수 있는 장점을 가지고 있다. ART2 신경망은 기존의 경쟁학습의 약점인 안정성을 보장하여 제안한 비지도 학습의 네트워크로 기존에 학습되었던 것이 새로운 학습에 의해 지워지지 않도록 새로운 지식을 자동적으로 전체 지식 베이스에 일관성 있는 방법으로 통합한다. 이러한 신경망은 첫 번째 입력을 첫 번째 클러스터의 대표 패턴으로 선택하고 다음 입력이 들어오면 기존의 클러스터들의 중심 간의 거리가 초기에 설정한 임계값보다 작으면 같은 클러스터로 분류되고 그렇지 않으면 새로운 클러스터를 생성하는 과정을 거친다.

2. 자동 임계값 ART2

곤충의 발자국처럼 다양한 크기로 분산된 점 데이터로부터 예외적이지 않고 정확한 클러스터링을 위해 비지도 학습 알고리즘 ART2를 사용하였다. 이러한 ART2 알고리즘에 의해 판단되는 클러스터 결과는 주어진 학습단계를 반복 수행함에 따라 변화하는 클러스터의 중심 값 w_i^* 와 초기에 설정되는 임계값 σ 에 의해 결정됨을 알 수 있다. ART2 신경망 알고리즘의 vigilance test에서 적용되는 임계값 σ 는 입력 패턴의 특성에 따라 각기 다르게 설정되어지며, 기존의 연구에서는 입력 패턴의 경험적인 축적 데이터를 통해 임의로 지정하고 있다. 또한

임계값은 클러스터링 신뢰도를 결정짓는 중요한 요소로 작용하고 있으며, 군집의 결과를 결정짓는 요소인 임계값을 입력패턴에 적합한 값을 찾는 것이 무엇보다 중요하다.

인식 대상인 곤충들은 생물학적으로 발의 크기와 보폭이 서로 달라 기존의 ART2 알고리즘으로 수행할 경우 임계값 설정에 어려움이 있다.

예를 들어 Black Cockroach의 경우에는 발자국의 간격이 조밀하고 Native Bush Cockroach의 경우에는 발자국의 간격이 상대적으로 넓어 Black Cockroach의 발자국에 대하여 군집화가 잘 수행되도록 임계값을 설정하면 Native Bush Cockroach의 발자국을 군집화 할 때 군집화 되지 못하는 픽셀이 발생하며, Native Bush Cockroach의 발자국에 대하여 군집화가 잘 수행되도록 임계값을 설정하면 Black Cockroach의 발자국을 군집화 할 때 군집화 되지 못하는 픽셀이 발생하게 된다. 이런 이유로 곤충 발자국과 같이 곤충의 크기와 종류에 따라 달라지는 발자국 영상에서 곤충발자국에 적합한 임계값을 초기에 지정 할 수 없는 어려움이 있다.

따라서 이 논문에서는 곤충 발자국이 가지고 있는 특징에 적합하면서, 곤충의 크기와 종류의 구별이 명확하지 않는 입력패턴을 이용하여 개체별 발자국을 추출하기 위해, 유사도의 정도를 결정짓는 임계값 즉, 신경망 알고리즘에 사용할 임계값 σ 를 자동으로 결정한다. 임계값은 입력패턴 공간상에 존재하는 모든 점들 간의 거리와 거리의 축적 정도를 이용하고 있으며, 축적 정도를 추적하여 극대 값을 추출하여 임계값 σ 를 지정하게 된다[5].

3. Trace transform

본 논문은 추출된 세그먼트의 특징값을 추출하기 위해서 Trace transform 방법을 사용한다. Trace transform은 입력 이미지가 이동, 회전, 반사와 같은 변환에도 영향을 받지 않는 특징값을 얻을 수 있는 장점이 있다[9][10]. 따라서 곤충의 특성상 좌, 우 대칭적인 발자국으로 인해 같은 개체임에도 불구하고 서로 불일치한 특성을 만드는 다른 특성 함수와는 달리, 서로 일관성 있는 특성값을 결정지을 수 있으므로 곤충 발자국의 인식에 있어서, 좌우 대칭 문제를 해결할 수 있다.

Trace transform의 기본 원리는 그림 1과 같다. 그림 1에 나타나 있는 것처럼 trace-line l 은 원점에서 l 까지 이

어지는 거리 p 와 방향 벡터인 θ 에 의해 특성이 결정된다. 여기서 l 은 $l = \{(x,y) : x\cos\theta + y\sin\theta = p\}$ 이며, 만약 p 가 음수이면 $l(\theta,p) = l(\theta + \pi, -p)$ 이 된다.

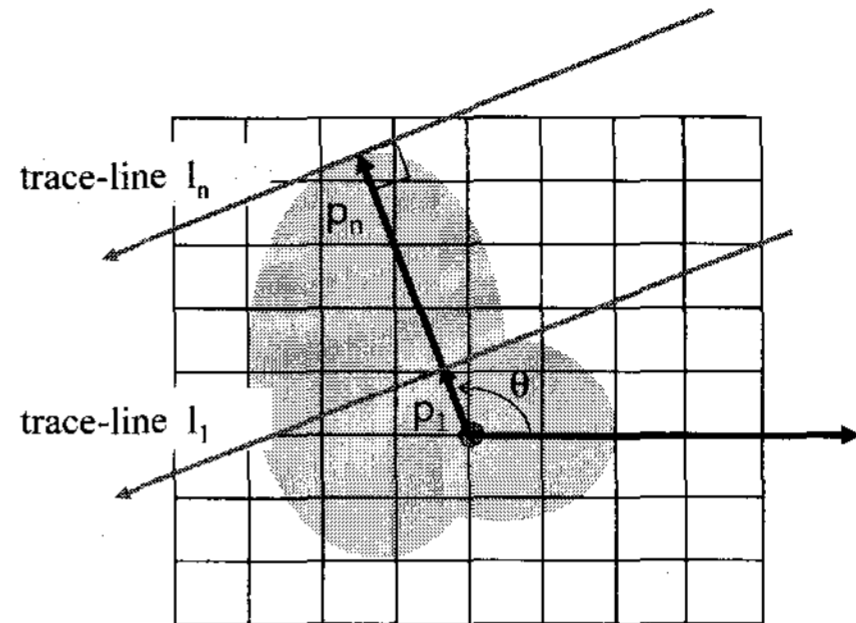


그림 1. Trace transform의 각 파라미터
Fig. 1. Parameters of trace transform

그림 2와 같이 이미지 F 가 $l(\theta,p)$ 에 의해 결정된 특성을 수평축 θ , 수직축 p 인 공간에 표현하는 것을 Trace transform이라고 부르고, 생성된 매트릭스를 Trace 매트릭스라고 부른다. Trace transform을 결정하는 함수는 수식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$g(F:\theta,p,l) = T(F:\theta,p,l) \tag{1}$$

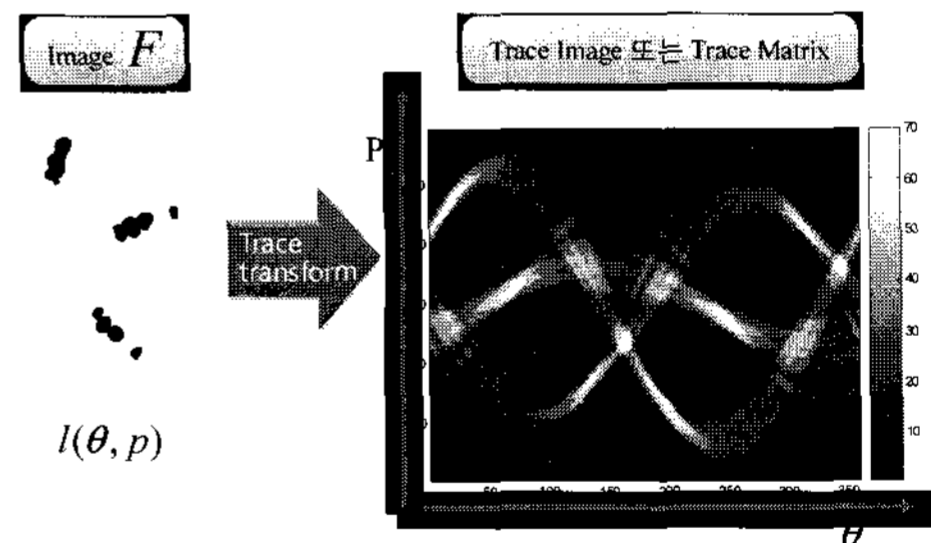


그림 2. 세그먼트 이미지와 좌표공간에 표현된 Trace 이미지

Fig. 2. Segment Image and a trace image visualized in 3D space.

Trace transform에 의해 생성된 Trace 매트릭스는 다음과 같은 특성을 가지고 있다. 원본 이미지를 회전 시킬 경우 2차원으로 표현한 Trace 이미지는 수평축 θ 축을 따라 이동하는 형태로 나타나고, 원본 이미지를 이동 시킬 경우 Trace 이미지는 수직축 p 방향으로 위, 아래 이동된 형태를 보인다. 이것은 원본 이미지의 회전과 이동은

Trace 이미지의 이동으로 반영되며, 이동벡터 a, b 가 θ_i 좌표를 가지고 있을 때 $acos(\theta_i - b)$ 형태로 나타나게 된다. 이런 이유로 Trace transform에서 결정된 Trace 매트릭스에서 측정된 값 자체에는 변함없이 동일함을 알 수 있다. 이것은 Trace transform은 입력 이미지가 이동, 회전, 반사 변환에 영향을 받지 않는 불변의 특징값을 얻을 수 있다.

4. 특징값 추출

Trace transform에서 결정된 특성들을 이용하여 패턴 인식을 위한 고유한 특징을 찾고자 한다. 이를 위해서 3 단계의 걸쳐 함수를 조합하고, 곤충 발자국에 적합한 특징값을 만든다. Trace transform을 결정하기 위한 Trace 함수 T, Trace transform에 의해 생성된 Trace 이미지를 이용하여 특징을 찾는 Diametric 함수 P, 그리고 Diametric 함수에 의해 생성된 Diametric 매트릭스를 따라서 특징값을 얻어내는 Circus 함수 Φ 를 사용한다.

$F(x, y)$ 형태를 취하고 있는 이미지가 파라미터 θ, p, t 일때 2D 원본이미지 $(F; \theta, p, t)$ 의 특징값은 3단계의 절차적인 함수의 조합에 의해 결정되며 수식 (2)와 같이 정의된다.

$$\Pi(F) = \Phi(P(T(F; \theta, p, t))) \quad (2)$$

특징값을 추출하기 위한 절차는 다음과 같다

단계 1: Trace 함수 T

- 범위가 $[0, 2\pi]$ 인 θ 와 범위가 $[p_{max}, p_{min}]$ 인 Trace 이미지를 생성한다. ($T(F; \theta, p, t)$)
- Trace transform을 결정하는 Trace 함수 T는 수식 (3)과 같다.

$$T = \int \xi(t) dt \quad (3)$$

단계 2: Diametric 함수 P

- Diametric 함수 P에 의해 Diametric 매트릭스가 생성된다. ($P(T(F; \theta, p, t))$)
- 함수 P는 수식 (4)와 같다.

$$P = \int t^2 \xi(t) dt \quad (4)$$

여기서 $t = x - c, c = median_x\{x, f(x)\}$

단계 3: Circus 함수 Φ

- $\Phi(P(T(F; \theta, p, t)))$
- Diametric 매트릭스를 따라 특징값을 얻는 함수 Φ 는 수식 (5)와 같다.

$$\Phi = FFT(\xi(t)) \quad (5)$$

III. 실험결과 및 고찰

실험에 사용된 곤충발자국 영상은 Auckland 대학교의 CITR(Communication and Information Technology Research)에서 제공된 것이며, Black Cockroach, Native Bush Cockroach의 2종류를 비교 실험하였다.

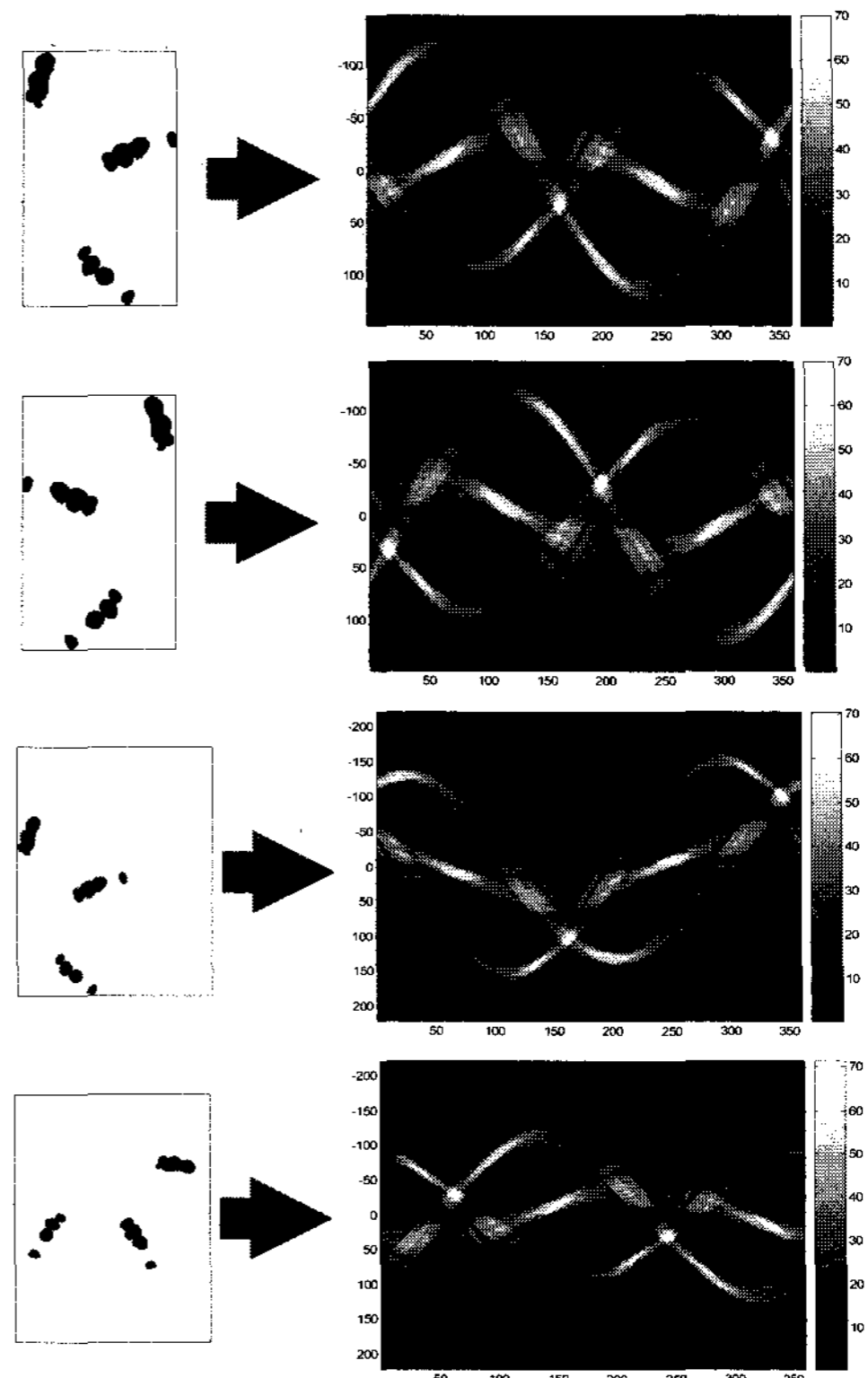


그림 3. 반사, 이동, 회전 변환된 세그먼트들과 각각의 Trace 이미지
Fig. 3. Comparison of trace images by reflection, translation and rotation

그림 3의 왼쪽 세그먼트들은 초기 곤충 발자국 영상을 Abutaleb 이진화 기법[11]을 이용하여 이진화한 후에 추출된 세그먼트들이며, 동일한 세그먼트에 대해 좌, 우, 이동, 회전 변환을 수행한 것이다. 그림 3의 오른쪽 이미지들은 왼쪽 세그먼트를 각각 Trace transform을 수행한 이후의 Trace 이미지를 보여주고 있다. 그림 4는 그림 3의 Trace 이미지를 이용하여 3단계 함수 절차에 따른 특징이며, 4개의 세그먼트 모두 동일한 신호 결과를 보여주고 있다. 그림 4는 추출한 곤충의 특징값을 비교한 그림이며, 각각의 특징값들이 다른 분포로 나타남을 알 수 있다.

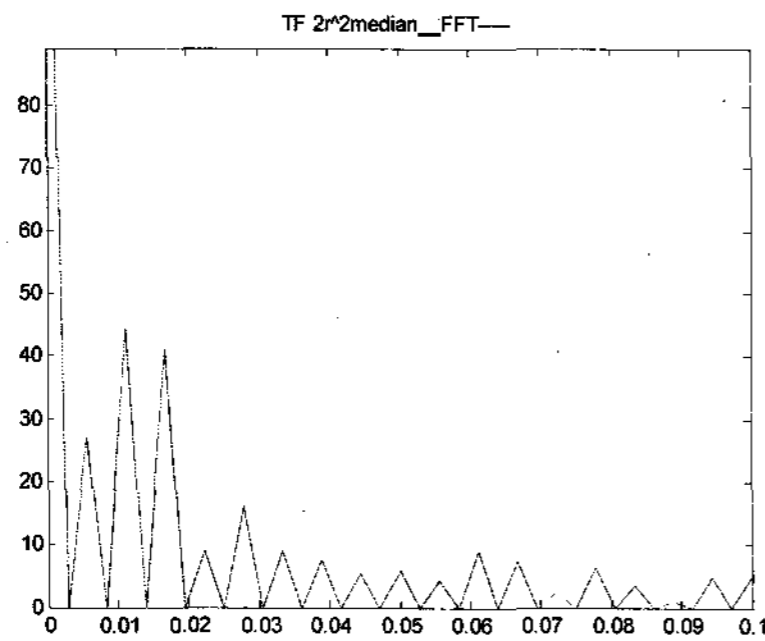


그림 4. 그림 3의 세그먼트를 이용하여 추출한 특징값
Fig. 4. Triple features using segments of fig.3

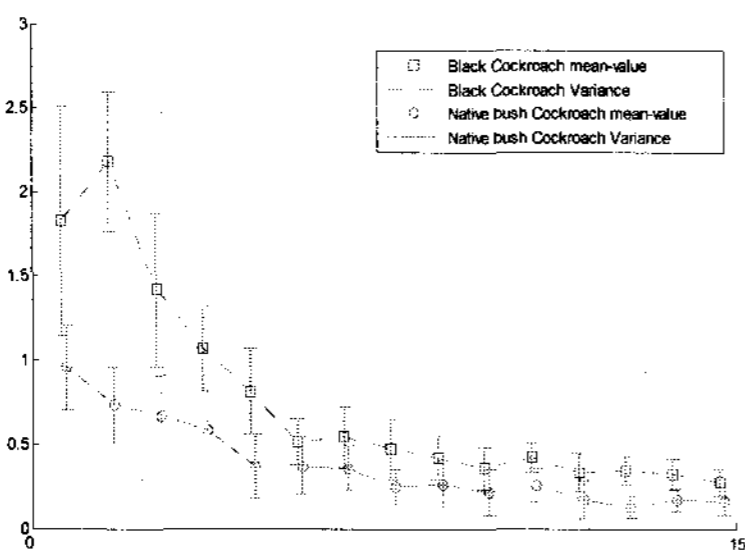


그림 5. 각 곤충에 따른 특징값의 분포
Fig. 5. Distribution of triple features for two different insects

IV. 결론

이 논문에서는 곤충의 발자국을 인식하기 위한 전 단계로서 인식 대상이 되는 의미 있는 단위인 세그먼트를 자동 임계값 설정 ART2를 이용하여 추출하였다. 또한 Trace transform을 이용하여 좌, 우 대칭적인 발자국에 적

합한 특징값을 추출함으로써 이전 연구의 문제점을 해결하였다. 향후 연구 과제로는 변별력이 더욱 높은 다양한 특징값들을 찾아내고 이에 적합한 인식기를 개발하는 것이 필요하다

참고문헌

- [1] [http:// www.comnovation.co.nz](http://www.comnovation.co.nz)
- [2] Whisson, D.A., R.M. Engeman, and K. Collins, "Developing relative abundance techniques(RATs) for monitoring rodent population," *Wildlife Research*, Vol. 32, pp. 239-244, 2005.
- [3] J. Gray, Sir. *Animal Locomotion*, Weidenfeld & Nicolson, London, 1968.
- [4] M. Sezgin and B. Sankur, "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 13, pp.146-165, Jan, 2004.
- [5] Bok-Suk Shin, Eui-Young Cha, Young Woon Woo and Reinhard Klette, "Segmentation of Scanned Insect Footprints Using ART2 for Threshold Selection," LNCS 4872, Springer, pp.311-320, 2007.
- [6] 신복숙, 차의영, 이임건 "세그먼트 적합성 판단을 위한 계층적 최근접 검색 기법," *해양정보통신학회 추계학술대회논문집*, Vol.11, No.2, pp.418-421, 2007.
- [7] Simon H.aykin, *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, MacMillan, 1994.
- [8] G. A. Carpenter and S. Grossberg, "The ART of Adaptive Pattern Recognition," *Journal of IEEE Computer*, Vol.21, No.3, pp.77-88, 1988.
- [9] Alexander Kadyrov, Maria Petrou, "The Trace Transform and Its Applications," *IEEE Transactions on PAMI*, 23(8), pp.811-828, 2001.
- [10] Maria Petrou, Alexander Kadyrov, "Affine Invariant Features from the Trace Transform," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.26, no.1, pp.30-44, Jan., 2004.
- [11] Young W. Woo, "Performance Evaluation of Binarizations of Scanned Insect Footprints", LNCS 3322, Springer-verlag, pp.669-678, 2004.

저자소개



신복숙(Bok-Suk Shin)

1998년 2월 : 동의대학교 컴퓨터공학과 공학사

2001년 8월 : 동의대학교 컴퓨터공학과 공학석사

2002년 3월 ~ 2003년 2월 : 동의대학교 게임영상산업 연구소 P.M 연구원

2004년 8월 : 부산대학교 전자계산학과 박사과정 수료

※ 관심분야 : 컴퓨터그래픽, 영상처리, 컴퓨터비전, 인공신경망



조경원(Cho, Kyoung-won)

1998년 2월 : 고신대학교 의료경영학과(이학사)

2000년 8월 : 연세대학교 보건대학원 보건정보학과(보건학석사)

2006년 2월 : 경북대학교 의과대학 보건학과(보건학박사)

2002년 3월 ~ 현재 : 춘해대학 보건행정과 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 의료정보, 데이터베이스



차의영(Eui-Young Cha)

1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사

1982년 2월 : 서울대학교 전자계산학과 이학석사

1998년 8월 : 서울대학교 컴퓨터공학과 공학박사

1985년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 인공신경망, 신호처리, 컴퓨터비전