

Trace 변환과 퍼지 가중치 평균을 이용한 곤충 발자국 인식

신복숙*, 김광백**, 우영운***

Insect Footprint Recognition Using Trace Transform and Fuzzy Weighted Mean

Bok-Suk Shin *, Kwang-Baek Kim**, Young Woon Woo ***

요약

이 논문에서는 곤충 발자국의 패턴을 인식하기 위해, Trace 변환을 이용하여 발자국의 인식에 필요한 특징을 추출하는 기법을 제안한다. Trace 변환을 이용하면 패턴의 이동, 회전, 반사에 불변하는 특징값을 얻을 수 있다. 이러한 특징값들은 곤충 발자국과 같이 다양한 변형이 존재하는 패턴을 인식하는 데에 적합하다. 이 방법은 특징값을 추출하기 위해서 병렬로 표현되는 trace-line을 따라 특징들을 일차적으로 도출하고, 또 다시 도출된 특징들은 diametric, circus 단계의 함수를 거치면서 새로운 특징값으로 재구성된다. 곤충의 발자국 패턴을 이용하여 실험한 결과 곤충 발자국의 이동, 회전 반사에 관계없이 동일한 특징값이 추출됨을 확인할 수 있고, 곤충발자국의 고유한 패턴을 찾아 인식하기 위해서 추출된 특징값들은 퍼지 가중치 평균을 이용하여 인식 실험을 수행하고 그 결과를 제시하였다.

▶ Keyword : Insect footprint recognition, Fuzzy weighted mean, Trace transform

• 제1저자 : 신복숙

* 부산대학교 전자계산학과 **신라대학교 컴퓨터정보공학부 ***동의대학교 멀티미디어공학과

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 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][4], 결국 인간이 곤충학적인 이론 배경을 가지지 못했을 경우에는 발자국을 추출, 분석, 분류하기 어려워진다.

따라서 본 논문에서는 곤충학적 지식 없이도 어떤 곤충의 발자국인지를 판단하기위해서 우선 인식의 기본단위가 되는 영역(세그먼트)을 이용하여 곤충의 발자국 좌,우 특성에 적합하고, 이동, 회전에도 무관한 특징값을 찾고자한다. 또한 추출된 특징값은 퍼지함수를 이용하여 패턴 인식 실험을 수행하고자 한다.

II. Trace 변환(Trace transform)

본 논문은 추출된 세그먼트의 특징값을 추출하기 위해서 Trace 변환 방법을 사용한다. Trace 변환은 입력 이미지가 이동, 회전, 반사와 같은 변환에도 영향을 받지 않는 특징값을 얻을 수 있는 장점이 있다[5][6]. 따라서 곤충의 특성상 좌, 우 대칭적인 발자국으로 인해 같은 개체임에도 불구하고 서로 불일치한 특성을 만드는 다른 특성 함수와는 달리, 서로 일관성 있는 특징값을 결정지을 수 있으므로 곤충 발자국의 인식에 있어서, 좌우 대칭 문제를 해결할 수 있다.

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

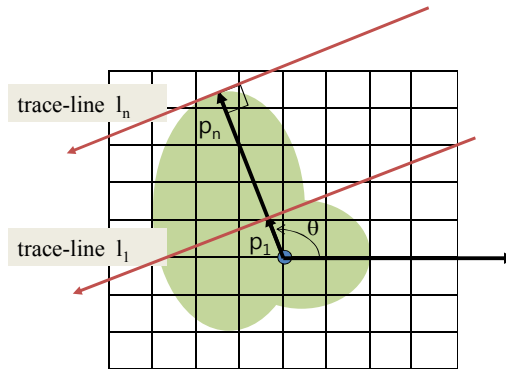


그림 1. Trace 변환의 각 파라미터

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

$$g(F:\theta,p,l) = T(F:\theta,p,l) \dots\dots\dots (1)$$

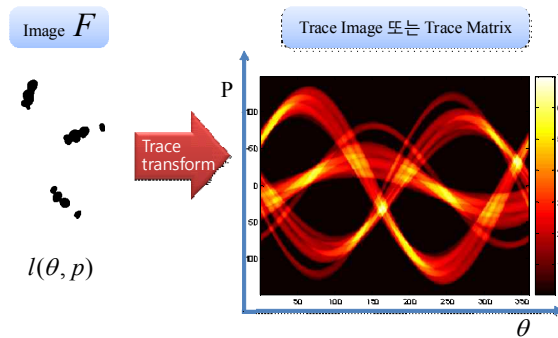


그림 2 세그먼트 이미지와 좌표공간에 표현된 Trace 이미지

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

III. 특징값 추출

Trace 변환에서 결정된 특성들을 이용하여 패턴 인식을 위한 고유한 특징을 찾고자 한다. 이를 위해서 3단계의 걸쳐 함수를 조합하고, 곤충 발자국에 적합한 특징값을 만든다. Trace 변환을 결정하기 위한 Trace 함수 T, Trace 변환에 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 일 때 2D 원본이미지 ($F; \theta, p, t$)의 특징값은 3단계의 절차적인 함수의 조합에 의해 결정되며 수식 (2)와 같이 정의된다.

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

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. ($T(F; \theta, p, t)$)

단계 2: Diametric 함수 P

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

단계 3: Circus 함수 Φ

- $\Phi(P(T(F; \theta, p, t)))$
- Diametric 매트릭스를 따라 특징값을 얻는다

IV. 곤충발자국 인식

세그먼트들을 이용하여 곤충 발자국을 구별할 수 있는 고유한 패턴을 찾아 어떤 곤충인지 판별하여야 한다.

본 실험의 대상인 곤충은 자유로운 움직임으로 인해 획득 영상의 방향 또한 다양해지게 된다. 따라서 이러한 곤충을 인식하기 위해서는 구조적인 제약에 독립적인 특징값을 Trace 변환 방법에 의해 추출하였다. 최종 특징값은 3단계의 함수 조합에 의해 결정되었으며, 본 실험에서는 5가지의 최종 특징값을 생성한다. 세그먼트별로 발생하는 특징분포 들은 다음 그림 3과 같이 곤충별로 다른 신호영역의 패턴으로 나타난다. 패턴은 특징성분별로 분산이 넓은 영역과 분산이 조밀한 영역을 모두 포함한다. 이러한 특징성분에서 변별력이 높은 영역을 추출하기 위해 분산을 이용한 가중치를 부여하고, 변별력이 높은 값들을 찾아낸다.

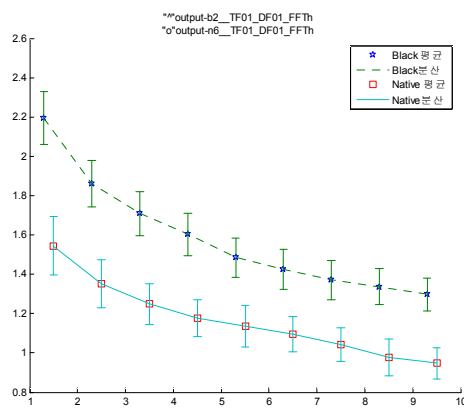


그림 3. 각 곤충에 따른 특징값의 분포

가중치는 여러 개의 세그먼트에서 발생하는 특징값의 분산과 다른 곤충의 특징값의 분산의 겹침 정도를 이용하여 가중치를 산출한다. 분산이 작을수록 분산의 분포가 떨어져 있을수록 높은 가중치를 가지도록 하였고, 가중치 산출 식은 수식 (3)과 같다.

$$\omega_j = normal(1 + \frac{vr_j(Insect^{k+1})_{min} - vr_j(Insect^k)_{max}}{vr_j(Insect^k)})$$

$$, vr_j(Insect^k) < vr_j(Insect^{k+1}) \dots\dots\dots (3)$$

추출해낸 특징성분을 이용하여 곤충을 구분 짓는 기준으로 정하고, 이외의 세그먼트를 활용하여 곤충의 판별 측도를 정한다. 이를 위해 본 실험은 퍼지함수의 퍼지수를 이용하여 개체를 구분 짓는다. 퍼지는 실제로 발생하는 명확하지 않는 사건에 대해서도 배제하지 않고 정량화 시키는 이론이다. 곤충의 발자국은 수많은 점 데이터로 구성되어 있고, 데이터와 구

분이 분명하지 않는 노이즈가 혼재되어 있어, 명확한 발자국과 그렇지 못한 발자국을 구별 하는 것은 어렵다. 이와 같이 불확실성을 내포하는 곤충 발자국의 경우에 무조건적으로 배제 시키지 않고 가능성의 대상으로 처리하기 위해 퍼지함수를 사용한다.

소속이 $m(F)$ 일때 1, $vr(F)_{min}$, $vr(F)_{max}$ 일때 0인 삼각형 소속함수를 사용하고 삼각형 소속함수는 수식 (4)와 같다.

$$\mu_{tr}(f_j) = \begin{cases} \frac{1}{(m_j - vr_{j_{min}})} (f_{ij} - m_j) + 1 & \dots\dots\dots (4) \\ -\frac{1}{(vr_{j_{max}} - m_j)} (f_{ij} - m_j) + 1 \end{cases}$$

특징성분 영역별로 다르게 나타나는 퍼지수는 특징차이가 분명한 영역이 우세하게 결정되도록 가중치를 곱하면서 퍼지수가 결정되고 퍼지수가 높게 나타나는 쪽으로 분류 된다. 퍼지 가중치 평균 수식은 수식 (5)과 같다.

$$h(f_{ij}) = \sum \mu_{tr}(f_{ij}) \cdot w_j \dots\dots\dots (5)$$

V. 실험결과 및 고찰

실험에서 사용된 곤충발자국 영상은 Auckland 대학교의 CITR(Communication and Information Technology Research)에서 제공된 것이며, Black Cockroach, Native Bush Cockroach의 2종의 세그먼트를 사용하여 실험을 하였다. 그림 4는 동일한 세그먼트에 대해 좌, 우, 이동, 회전 변환을 수행한 것이다. 그림 4의 오른쪽 이미지들은 왼쪽 세그먼트를 각각 Trace 변환을 수행한 이후의 Trace 이미지를 보여주고 있다. 그림 5는 그림 4의 Trace 이미지를 이용하여 3단계 함수 절차에 따른 특징이며, 4개의 세그먼트 모두 동일한 신호 결과를 보여주고 있다. 표 1은 최종 특징값 5종류를 비교 실험하였고 퍼지함수를 이용해 판별된 인식률을 보여준다.

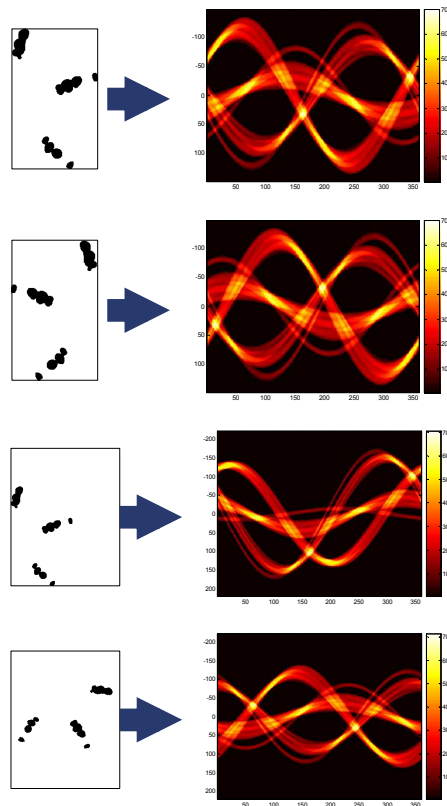


그림 4. 반사, 이동, 회전 변환된 세그먼트들과 각각의 Trace 이미지

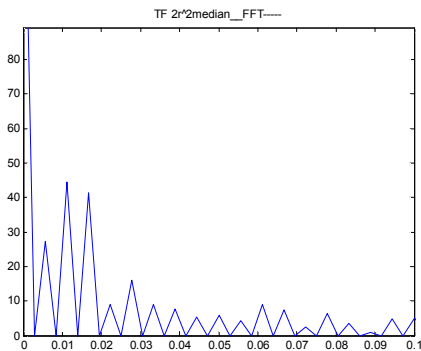


그림 5. 그림 4의 세그먼트를 이용하여 추출한 특징값

표 1. 특징별 인식률

패턴 종류	Black(#23)		Native Bush(#16)	
	True	성능	True	성능
특징1	10	43%	9	56%
특징2	10	43%	9	56%
특징3	12	52%	8	50%
특징4	11	48%	10	63%
특징5	13	57%	11	69%

- [3] J. Gray, Sir. Animal Locomotion, Weidenfeld & Nicolson, London, 1968.
- [4] Nils Hasler, Reinhard Klette, Bodo Rosenhahn and Warren Agnew, "Footprint recognition of rodents and insects," Technical Report in CITR, The University of Auckland, 2004.
- [5] Alexander Kadyrov, Maria Petrou, "The Trace Transform and Its Applications," IEEE Transactions on PAMI, 23(8), pp.811-828, 2001.
- [6] 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.

VI. 결론

이 논문에서는 곤충학적 지식 없이도 어떤 곤충의 발자국 인지를 판단하기 위해서 인식의 기본 단위영역을 이용하여 특징값을 추출하고 인식실험을 수행하였다. 곤충발자국과 같이 반사, 이동, 회전과 같은 다양한 변형이 존재하는 패턴을 이용하여 적합한 특징값을 찾기 위해서 Trace 변환을 이용하여 특징값을 추출 하였다. 또한 본 실험에서는 추출된 특징값을 이용하여 곤충발자국의 고유한 패턴을 찾고, 패턴에 따른 곤충을 구별 짓기 위해서 퍼지함수를 이용하였다. 이것은 곤충 발자국과 같이 수많은 점 데이터로 구성되어 있어 있는 경우 명확한 발자국과 그렇지 못한 발자국을 구별하기 어려운 문제를 가지고 있고 이와 같이 불확실성을 내포하는 곤충 발자국의 경우, 무조건적으로 배제 시키지 않고 구별하기 위해서 퍼지 가중치 평균을 이용하여 인식 실험을 수행하였다. 향후, 인식률을 향상시키기 위해 최적의 특징값을 찾고 패턴인식을 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] "Connovation - equipment instructions," 2004, (Accessed 5 May 2004) [http:// www.connovation.co.nz/mainsite/EquipmentInstructions.html](http://www.connovation.co.nz/mainsite/EquipmentInstructions.html).
- [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.