행동궤적의 패턴 분류를 위한 에너지 최소화 모델

강 진 숙[†] · 김 진 숙[††] · 차 의 영[†††]

요 약

본 논문은 외부 자극에 대한 생물 행동의 복잡하고 다양한 특징들을 추출하고 분석하기 위한 방법을 제안한다. 이를 위해 물 속 생물인 깔따구의 행동궤적으로부터 얻어 낸 속도 벡터의 위상영상에 적응적이고 수리적인 방법인 에너지 최소화 모델을 적용한다. 즉, 다이아지논이라는 약물이 처리되기 전과 후의 깔따구의 행동궤적의 특징을 위상영상으로부터 찾아내어 행동 패턴을 분류하고 이 약물에 대한 깔따구의 적응적 행동 특징을 추출하는 것이다. 특징추출을 위해 도입한 방법은 T. Chan과 L. Vese에 의해 제안된 개선 Active Contour 모델에 근거한 것으로 Active Contour를 진화시키는 과정에서 생성되는 에너지함수 값의 변화를 이용한 것이다. Active Contour 모델이란 주어진 영상에 놓인 커브를 그 커브에 의해 분할된 부분영상들의 에너지 값들의 합을 최소화하는 방향으로 변화하게 함으로써 영상 내 객체의 경계를 찾는 영상분할 방법이다. 깔따구의 행동궤적 데이터는 CCD 카메라를 통해 0.25초 간격으로 약물을 처리하기 전과 후 4일 간을 관찰하여 획득하고, 이 행동궤적 데이터에서 행동의 특징 요소가 되는 속도벡터 성분을 15-20분 간격으로 추출하여 위상영상을 만든다. 그리고 이 위상영상에 Active Contour를 적용함으로써 시간에 따라 감소하는 에너지 함수 값의 그래프에서 구해진 기울기 변화에 대한 수리적 계산과 분석을 통해 깔따구 행동궤적의 특징을 찾고 행동 패턴을 분류한다. 또한, 에너지 최소화 모델은 약물 처리된 깔따구의 반응적인 행동이 이에 적응하고 있음을 효과적으로 보여준다.

Energy Minimization Model for Pattern Classification of the Movement Tracks

Jin-Sook Kang[†] · Jin-Sook Kim[††] · Eui-Young Cha[†††]

ABSTRACT

In order to extract and analyze complex features of the behavior of animals in response to external stimuli such as toxic chemicals, we implemented an adaptive computational method to characterize changes in the behavior of chironomids in response to treatment with the insecticide, diazinon. In this paper, we propose an energy minimization model to extract the features of response behavior of chironomids under toxic treatment, which is applied on the image of velocity vectors. It is based on the improved active contour model and the variations of the energy functional, which are produced by the evolving active contour. The movement tracks of individual chironomid larvae were continuously measured in 0.25 second intervals during the survey period of 4 days before and after the treatment. Velocity on each sample track at 0.25 second intervals was collected in 15-20 minute periods and was subsequently checked to effectively reveal behavioral states of the specimens tested. Active contour was formed around each collection of velocities to gradually evolve to find the optimal boundaries of velocity collections through processes of energy minimization. The active contour which is improved by T. Chan and L. Vese is used in this paper. The energy minimization model effectively revealed characteristic patterns of behavior for the treatment versus no treatment, and identified changes in behavioral states as the time progressed.

키워드 : 진화곡선(Active Contour), 에너지 최소화(Energy Minimization), 특징추출(Feature Extraction), 패턴 분류(Pattern Classification)

1. 서 론

인구증가와 산업발달로 말미암은 자연환경과 생활환경 오염은 인간의 삶과 생태계에 심각한 문제를 일으키고 있다. 이에 따라 수질오염으로부터 자연과 생활환경을 관리하고 보전하기 위해 수질 오염물질을 제거하거나 감소시키기 위한 오염방지 및 탐지 시설을 설계하고 시공, 운영하는 등의 수질오염에 대한 대책이 시급히 강구되고 있는 실정이다. 하천에 측정망을 설치하여 그 지역의 수질오염상태를 측정하고 다각적인 연구와 실험분석을 통해 오염되어 가는 자연과 생활환경을 보호해야 한다. 이를 위해 수질환경 모니터링 시스템의 설계와 도입은 국내외에서 필수 불가결한 문제라고 할 수 있다. 수질 환경을 모니터링하기 위해 화학 오염 물질에 민감하게 반응하는 수중 생물체의 행동반응을 관

※ 본 연구는 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소의 지원으로 수행되었음.
† 준 회 원 : 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과
†† 정 회 원 : 동의공업대학 컴퓨터정보계열 교수
††† 종신회원 : 부산대학교 컴퓨터공학과 교수
논문접수 : 2003년 10월 24일, 심사완료 : 2004년 4월 29일

찰하는 것이 다른 테스트 방법보다 나음을 Lemly와 Smith, Dutta등이 언급하였다[1, 2]. 본 논문은 수질을 모니터링하기 위해 수질오염에 민감하면서도 환경 독성 물질에 노출된 국내 물 속 생물체인 송사리나 깔따구를 이용하여 정상적인 상태와 오염물에 노출된 비정상적인 상태의 움직임을 카메라로 추적하고 행동에 대한 데이터들을 획득한다. 이와 같은 환경 데이터는 방대하고 다변적이므로 획득된 데이터를 분석하기 위해 필요한 관심 영역의 데이터 특징을 추출하는 것은 필수적인 처리과정이다. 그러나 데이터의 방대함과 다양함으로 인해 분석과 관련된 데이터 특징을 추출해내는 과정은 복잡할 수 있다.

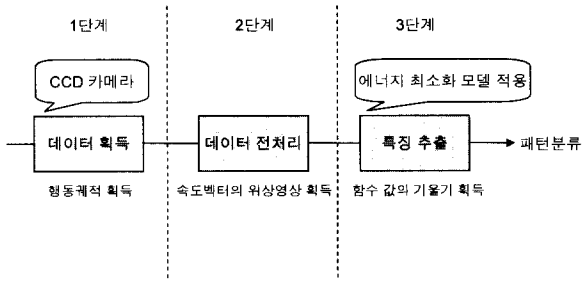
본 논문은 관찰된 물 속 유충인 깔따구의 행동궤적 데이터에서 깔따구의 행동 상태에 대한 특징을 추출하는 방법을 제안한다. 여기서 사용되는 방법은 Active Contour 모델 이론에서 나온 에너지 최소화 모델이다. 에너지 최소화 모델을 적용하기 위한 위상영상은 0.25초 간격으로 CCD 카메라에 의해 관찰하여 획득된 깔따구의 행동궤적에서 행동의 특징요소가 되는 속도벡터 성분만을 추출하여 15-20분 간격으로 만든 것이다. 이렇게 만들어진 위상영상에 Active Contour를 올려놓고 위상영상에 존재하는 객체의 경계를 찾도록 곡선을 변화시킨다. 약물 처리 전과 후의 각각의 위상영상에서 변화하는 Active Contour에 의해 관찰되는 에너지의 최소화 과정의 분석을 통해 깔따구의 행동 패턴이 특징적으로 분류되는 것을 알 수 있다. 또한 이 실험을 통해 깔따구가 약물에 적응적으로 행동하고 있는 것도 함께 관찰할 수 있다.

본 논문의 구성을 살펴보면 2장에서는 에너지 최소화 모델의 이론적인 배경인 Active Contour 모델에 관하여 전개하고, 3장에서는 본 논문에서 제시하고자 하는 특징추출 방법을 알고리즘과 함께 제안한다. 4장과 5장에서는 제안한 방법에 의해 수행된 실험과 결과분석, 그리고 분석된 내용에 따른 결론을 제시한다.

2. 관련 연구 및 이론

2.1 관련 연구

생태학 분야에서 독성 화학 물질에 대한 생물체의 행동반응에 관한 연구가 국내외에서 많은 관심을 받고 있다. 생물체의 행동궤적의 모니터링과 이렇게 하여 획득된 행동궤적 데이터의 분류를 통해 생물체의 상태 및 물 속 생물체일 경우 물의 오염 정도를 측정할 수 있다. 그러나 생물체의 행동유형 감시와 관련된 자동적 움직임 추적 시스템 개발은 아직 많이 이루어지지 않은 실정이다. Kwak 등은 송사리의 움직임 패턴을 분류하기 위하여 인공 신경망의 다층 퍼셉트론을 사용하였으며 Kim 등은 웨이블릿 변환과 인공신공망을 사용하여 수질의 오염 여부를 판단하는 시스템 개발에 관한 연구를 하였다[3, 4]. 일반적으로 패턴 인식 또는 분류는 세 단계로 나누어진다. 즉, 물리적인 아날로그 데이터를 획득하는 단계와 획득된 데이터의 전처리 단계, 그리고 판별 함수를 이용한 분류 단계로 나눌 수 있다. (그림 1)에서의 패턴 분류 과정과 같이 본 논문에서 우리는 CCD 카메라를 이용하여 수조 안의 깔따구의 행동궤적을 획득하였으며 획득된 데이터로부터 생물체 움직임의 방향과 빠르기 정보를 갖고있는 속도벡터의 위상영상을 전처리 단계에서 구하였다. 마지막 단계에서 Active Contour 모델의 에너지 최소화 함수를 이용하여 각 위상영상의 특징이 되는 함수의 기울기를 구하였다. 여기서 우리는 개발된 에너지 최소화 모델을 통해 약물 처리 전과 후의 생물체 행동패턴을 잘 분류할 수 있었다.



(그림 1) 패턴 분류 과정

2.2 Active Contour 모델

영상처리 분야에서 영상분할은 주어진 영상을 인식하기 위한 전처리 단계이다. Active Contour 모델은 영상이 담고 있는 객체를 인식하기 위해 영상 내에 존재하는 객체를 배경으로부터 추출해내는 영상분할 방법으로 이용되는 모델 중 하나이다[5, 6]. 이 방법의 기본적인 아이디어는 영상 내에 존재하는 객체 추출을 위해 주어진 영상에 Active Contour를 입력하고 주어진 영상에 제약조건을 주면서 Active Contour가 영상에 있는 추출하고자하는 객체의 경계에서 멈출 때까지 이를 진화시키는 것이다.

전통적 Active Contour 모델은 1987년 M. Kass, A. Witkin 그리고 D. Terzopoulos에 의해 탄생되었다[7]. Snake 또는 Deformable Contour라고도 불리어지는 Active Contour는 외부적인 제약 에너지에 의해 인도되고, 선이나 경계선과 같은 영상 특징을 향해 이 곡선을 진화시키는 영상 에너지에 의해 영향을 받는 에너지 최소화 곡선(energy minimization spline)으로 정의되고 있다[8-11]. 따라서 다음의 수식에서 보여지는 것과 같이 에너지 함수는 Active Contour 자체의 내부적 에너지, 영상 자체가 가지고 있는 영상 에너지와 외부 제약조건 에너지의 합이다.

$$E^* = \int_0^1 E_{snake}(v(s))ds = \int_0^1 E_{int}(v(s)) + E_{image}(v(s)) + E_{con}(v(s))ds \quad (1)$$

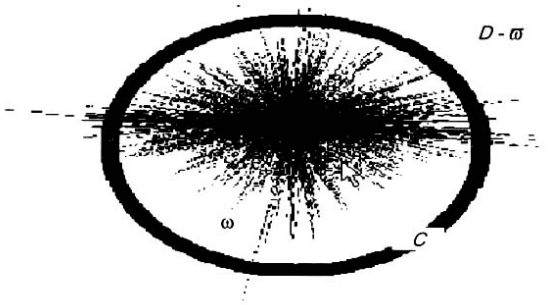
영상 에너지 E_{image}중 객체의 경계를 나타내는 경계선의 에너지 E_{edge}는 주어진 영상 I_0의 픽셀의 광강도값 변화를 나타내는 그라디언트(gradient)를 사용한다. 즉, $E_{edge} = -|\nabla I(x,y)|^2$이다. 이처럼 전통적인 Active Contour 모델은 영상에서 추출하고자하는 객체의 경계에서 진화하는 Active Contour가 멈추도록 하기 위해 영상의 광강도 값의 변화를 이용한다. 즉, Active Contour는 픽셀의 광강도 값의 변화가 급격한 곳인 그라디언트의 절대값인 $|\nabla I_0|$의 값이 최대인 점에 위치하게 된다. 영상 내에 놓여진 Active Contour는 이 에너지가 최소화되는 방향으로 진화하게 되므로 에지가 있는 객체를 영상의 배경으로부터 추출해 내는데는 그라디언트에 의해 정의된 이 모델이 효과적이다. 그러나 실제 영상은 경계가 불분명할 수도 있고, 잡영이 많을 수도 있으며, 심지어 경계가 불연속적인 특징을 가질 수도 있다. 그렇게 된다면 전통적인 Snake로는 이러한 객체를 추출하는데 어려움이 있게 된다. Chan과 Vese는 이러한 취약점을 극복하고자 그라디언트에 기반한 에지 함수를 사용하지 않고 Mumford와 Shah에 의해 제안된 Mumford-Shah 에너지 함수와 Level Set 공식을 이용한 새로운 Active Contour Model을 제시하고 있다[10, 11]. Chan과 Vese의 Active Contour는 원 영상에 진화하는 곡선(evolving active contour)를 입력하고, 입력된 곡선에 의해 생성되는 분할된 영역의 영상 광강도 값과 Level Set 함수 값에 의존하는 Mumford-Shah 함수를 최소화하는 방향으로 이 Active Contour를 진화시킨다. 진화하는 곡선이 더 이상 움직이지 않으면, 이는 영상 내 객체의 경계에 멈추어 선 것을 의미하며 결과적으로 영상분할이 수행된 것이다. 주어진 영상은 시간의 흐름에 따라 진화하는 Active Contour에 의해 분할된다. 즉, 진화커브의 안과 밖으로 영상이 분할되고 각 부분영상은 진화하는 곡선이 객체의 경계에 가까이 갈수록 smooth 영역이 된다. 부분 영상은 Lipschitz와 Heaviside 함수로 표현된 Level Set 공식을 이용하여 Mumford-Shah 에너지 함수를 최소화하는 방향으로 Active Contour를 진화시킨다. 본 논문의 이론적 기반이 되는 모델은 에지함수가 필요 없는 Chan과 Vese에 의해 개선된 Active Contour이며 이 모델의 이론은 다음과 같다.

실험에 의해 만들어 진 영상을 수학적 모델로 표현하기 위해 D를 유계(bounded)인 열린 집합(open set)으로 ∂D를 경계로 갖는 R^2의 부분집합이라 두고, I_0를 $I_0 : \overline{D} \rightarrow R$인 주어진 영상이라 둔다. 여기서 $\overline{D}$는 D와 D의 경계인 ∂D를 합한 집합이다. Active Contour $C(s)$를 $C(s) : [0,1] \rightarrow R^2$인 매개 변수 곡선이라 두자. 에지 함수가 필요 없는 Active Contour 모델의 기본 아이디어는 주어진 영상 I_0 내에 놓여진 곡선 C에 의해 생성되는 에너지 함수 $F(C)$의 값을 최소로 만드는 것이다. 에너지 함수 $F(C)$는 다음과 같다.

$$F(C) = \int\int_{Inside(C)} |I_0(x,y) - c_1|^2 dA + \int\int_{outside(C)} |I_0(x,y) - c_2|^2 dA \quad (2)$$

아래의 (그림 2)은 실험에 의해 획득된 속도 벡터에 관한 위상영상이 Active Contour C에 의해 두 영역으로 나누어진 영상이다. 위 식 (1)에서 c_1은 아래의 (그림 2)에서와 같이 Active Contour C의 내부에 있는 영상의 광강도 값의 평균값이며 c_2는 진화곡선 C의 외부에 있는 영상의 광강도 값의 평균값이다.

$I_0(x,y)$는 영상 내의 좌표 (x,y)에서 광강도 값이다.



(그림 2) 영상과 Active Contour

위의 (그림 2)에서 ω는 Active Contour C의 내부 영역이다. 식 (1)의 $F(C)$를 일반화하여 $F(C)$의 값이 최소화되는 방향으로 곡선 C를 진화시키는 방법을 구하기 위해 Mumford-Shah 함수를 도입하였다[12, 13]. 영상분할을 위한 Mumford-Shah 에너지 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F^{MS}(I, C) = \mu \cdot Length(C) + \lambda \int\int_D |I_0(x,y) - I(x,y)|^2 dA + \int\int_{D \setminus C} |\nabla I(x,y)|^2 dA \quad (3)$$

위 식 (3)에서 $I(x,y)$는 Active Contour C에 의해 분할된 영역의 광강도의 평균값인 c_1과 c_2를 함수값으로 갖는 계단함수이다. 주어진 영상 I_0에 놓여진 Active Contour C를 처리하기 위해 Level Set 함수 ϕ를 다음과 같이 도입한다[14].

$$\begin{cases} C = \partial\omega = \{(x,y) \in D \mid \phi(x,y) = 0\} \\ inside(C) = \omega = \{(x,y) \in D \mid \phi(x,y) > 0\} \\ outside(C) = D \setminus \overline{\omega} = \{(x,y) \in D \mid \phi(x,y) < 0\} \end{cases}$$

Heaviside 함수 H와 δ_0는 다음과 같이 정의된다.

$$H(\phi) = \begin{cases} 1, & \text{if } \phi > 0 \\ 0, & \text{if } \phi < 0 \end{cases}$$

$$\delta_0 = \frac{d}{dt} H(\phi)$$

Mumford-Shah 함수를 위의 식과 곡선 C에 대한 Level Set 함수 ϕ와 Heaviside 함수 H를 이용하여 나타내면 다음의 식 (4)와 같다. 여기서 μ, ν, λ_1 그리고 λ_2는 0이상인 상수이다.

$$\begin{aligned} F^{MS}(I,\phi) &= \mu \cdot \int\int_D \delta_0(\phi(x,y)) |\nabla \phi(x,y)| \, dA \\ &+ \nu \cdot \int\int_D H(\phi(x,y)) \, dA \\ &+ \lambda_1 \int\int_D |I_0(x,y) - c_1|^2 H(\phi(x,y)) \, dA \\ &+ \lambda_2 \int\int_D |I_0(x,y) - c_2|^2 (1 - H(\phi(x,y))) \, dA \end{aligned} \tag{4}$$

위 식 (4)를 정규화하기 위하여 H를 D에서 이계미분 가능인 $H_\varepsilon(\phi) = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{2}{\pi}\arctan\left(\frac{\phi}{\varepsilon}\right)\right)$ 함수로 그리고 $\varepsilon \to 0$ 이면 $\delta_\varepsilon \to \delta_0$이고 $\delta_\varepsilon = \frac{d}{dt} H_\varepsilon$함수로 두어서 Mumford-Shah 함수를 다시 나타내면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} F_\varepsilon^{MS}(I,\phi) &= \mu \cdot \int\int_D \delta_\varepsilon(\phi(x,y)) |\nabla \phi(x,y)| \, dA \\ &+ \nu \cdot \int\int_D H_\varepsilon(\phi(x,y)) \, dA \\ &+ \lambda_1 \int\int_D |I_0(x,y) - c_1|^2 H(\phi(x,y)) dA \\ &+ \lambda_2 \int\int_D |I_0(x,y) - c_2|^2 (1 - H(\phi(x,y))) dA \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 Active Contour C에 의해 정의되는 Level Set 함수 ϕ에 대한 $F_\varepsilon^{MS}(I,\phi)$에너지 함수의 최소화를 위해 이것과 관련된 ϕ에 대한 Euler-Lagrange 방정식을 다음과 같이 추론할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial t} &= \delta_\varepsilon(\phi)\left[\mu \operatorname{div}\left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|}\right) - \nu - \lambda_1 (I_0 - c_1)^2 \right. \\ &\left. + \lambda_2 (I_0 - c_2)^2\right] = 0 \text{ in } (0,\infty) \times D \end{aligned} \tag{6}$$

3. 제안하는 알고리즘 및 방법

본 논문에서는 깔따구의 약물 반응에 관한 행동을 자동적 장치로 획득하고 분석, 인식하기 위해서 Active Contour 이론에서 에너지 최소화 모델을 도입하였다. 이 실험에서 수조에 투여될 약물인 다이아지논은 우리나라에서 살충·방역용으로 쓰이는 독성물질로서 상수도원과 하천의 오염뿐만 아니라 살포 뒤, 대기 및 빗물의 고농도 오염을 야기시키기도 하는, 현재 우리의 주변에서 환경오염의 커다란 문제가 되는 물질이다. 다이아지논을 수조에 투여하기 전과 후의 깔따구의 행동을 낮(명기)과 밤(암기)을 각각 10시간과 14시간으로 설정하여 4-5일 간의 행동궤적을 CCD카메라를 이용한 실험장치를 통하여 획득한다. 이 약물에 대한 깔따구 행동의 행동궤적을 분석하기 위하여 0.25초 간격으로 2500초 동안 관찰하여 얻은 행동궤적(movement track)에서 속도벡터를 계산하여 위상벡터(velocity vector) 영상을 구한다. 생물체의 행동속력과 방향을 나타내는 속도벡터는 생물체의 약물에 대한 중요한 반응이다[4]. 이 때 각 윈도우간의 비연속성을 해결하기 위하여 30초의 중첩시간을 두어 처리하였다. 이렇게 얻어진 속도벡터의 위상영상에 다음과 같은 알고리즘을 적용하여 약물에 대한 깔따구의 행동 특징을 추출하였다.

① 구해진 위상벡터 영상 위에 초기 Active Contour ϕ^0를 놓는다(초기의 Active Contour는 원으로 하여 위상벡터 영상의 바깥쪽에 둔다.).

② 이 Contour에 의해 분할된 영상에서 Contour 내부의 픽셀 평균값 c_1^n과 Contour 외부의 픽셀 평균값 c_2^n을 구한다.

③ 위의 c_1^n, c_2^n와 Active Contour ϕ^n에 대한 에너지 함수 값 f^n을 구한다.

④ Euler-Lagrange 등식에 의해 구해진 식을 통해 ϕ^{n+1}을 구한다.

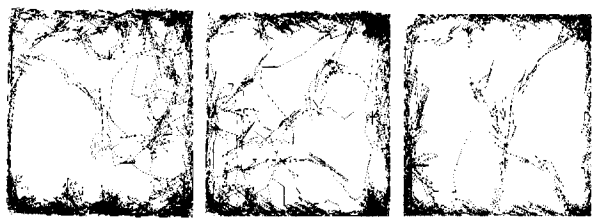
⑤ 위의 ②와 같은 방법으로 Active Contour ϕ^{n+1}의 c_1^{n+1}과 c_2^{n+1}를 구한다

⑥ c_1^{n+1}과 c_2^{n+1}를 이용하여 Active Contour ϕ^{n+1}에 대한 에너지 함수 값 f^{n+1}을 구한다.

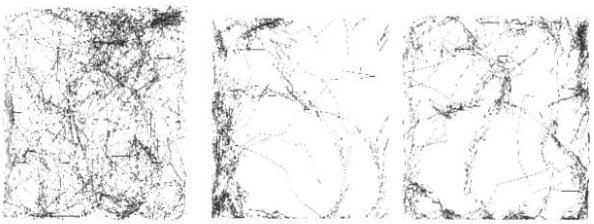
⑦ 구해진 에너지 함수 값을 이용하여 $\log(\frac{f^n}{f^{n+1}})$의 값을 계산한다.

⑧ 에너지 함수 값이 일정 임계 치에 도달할 때까지 위의 ③~⑦단계를 반복한다.

위의 알고리즘대로 실험방법을 설명하면 다음과 같다. 4~5일 동안 관찰하여 획득한 행동궤적에서 깔따구의 행동을 분석하기 위해 15분을 한 윈도우로 하여 구한 깔따구의 행동궤적은 다음의 그림과 같이 획득된다.

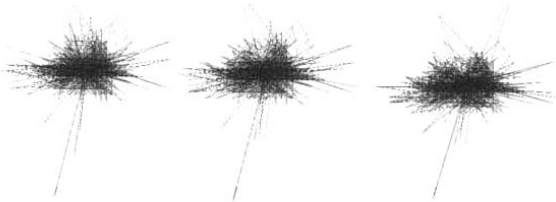


(그림 3) 약물 처리 전 깔따구의 행동궤적

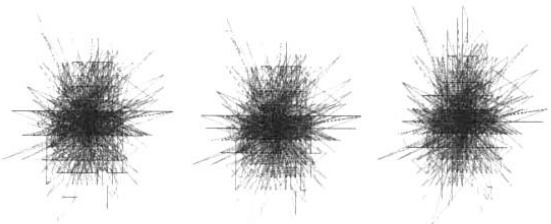


(그림 4) 약물 처리 후 깔따구의 행동궤적

각각의 행동궤적에서 계산해 낸 속도벡터의 위상영상은 다음과 같이 얻어진다.



(그림 5) 약물 처리 전 속도벡터의 위상영상



(그림 6) 약물 처리 후 속도벡터의 위상영상

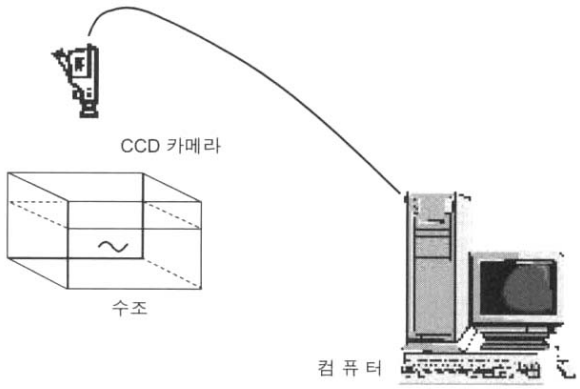
위와 같이하여 얻은 각각의 위상영상에 (그림 2)와 같이 Active Contour를 올려놓고 에너지 최소화 모델 알고리즘을 적용하면 객체의 경계 즉, 위상영상에서 속도벡터의 경계를 찾기 위하여 진화 곡선이 경계를 향하여 움직인다. 위의 알고리즘 2에서 5를 반복하면서 영상의 에너지가 정해놓은 임계값까지 최소화되면서 객체의 경계가 있는 방향으로 Active Contour가 움직인다. 본 논문의 에너지 최소화 모델은 최소화되는 과정의 에너지 값을 구하여 시간에 대한 에너지 함수 그래프를 그리고 이에 따른 기울기의 변화를 구한다. 이 그래프와 기울기 값을 통해 위상영상의 특징에 따라 에너지 최소화 과정이 다름을 볼 수 있다. 이 그래프의 특징을 이용하여 위상영상을 분류할 수 있고 따라서 깔따구의 움직임 패턴을 분류할 수 있다. 다시 말하자면, 행동궤적의 특징에 따라 그래프가 분류됨을 볼 수 있다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 실험환경 구축 및 데이터의 특징

CCD 카메라를 이용하여 깔따구가 들어있는 수조에 약물인 다이아지논 0.001ppm을 처리하기 전과 후로 나누어, 각각 이틀 간 낮 10시간, 밤 14시간 동안을 0.25초 간격으로 깔따구의 연속적인 행동궤적을 획득한다. 아래의 (그림 7)에서와 같이 카메라를 위에서 아래로 향하는 위치에 두어서 깔따구의 행동을 관찰하고 수조의 크기는 8㎝×8㎝×3㎝(가로×세로×높이)이며 물은 약 50㎖가 채워진 수조이며 물의 온도는 23±0.5℃이다. 이렇게 하여 획득된 데이터에서 15분 동안의 행동궤적을 잘라서 0.25초 간격으로 움직임에 관한 속도벡터를 구한다. 이 데이터를 이용하여 속도에 대한 위상벡터 영상을 얻는다. 본 논문의 실험은 WindowsXP 상에서 Visual C++6.0을 사용하여 수행되어졌다.

수조에 들어있는 깔다구의 행동궤적 획득 장치는 다음의 (그림 7)과 같다.



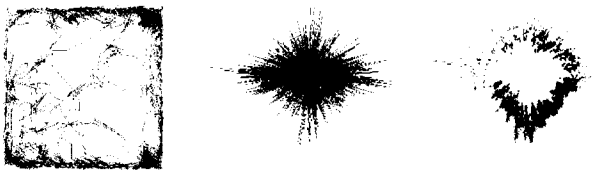
(그림 7) 깔따구 행동궤적 획득 장치

기존의 생물학자들에 의한 깔따구의 행동 특성 연구에 있어서의 특징 파라미터로는 생물체의 속력(speed), 역방향 움직임 정도, 구불구불한 움직임(meander), y-축을 기준으로 한 최대 움직임 거리, 방향 전환 비율, 전체 움직임 궤적 중 움직인 시간의 비율 등이 있다. 앞의 여섯 개의 파라미터 모두를 이용할 뿐만 아니라 속도벡터 하나 만을 연구하기도 하는데 이는 속도벡터가 속력과 방향 그리고 방향 전환을 내포하고 있기 때문이다. 따라서 속도벡터의 위상영상 특징을 연구함으로써 생물체 행동의 특성을 충분히 연구할 수 있다. 본 논문에서는 특징 벡터를 속도벡터로 하여 연구하였으며 원하는 결과를 얻을 수 있었다.

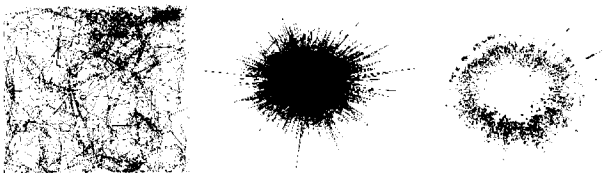
4.2 실험결과 및 분석

다음 (그림 8)과 (그림 9)은 약물인 다이아지논 처리 전과 처리 후에 CCD 카메라를 이용하여 관찰한 15분 동안의 깔따구의 행동궤적과 속도에 관한 위상벡터 영상, 그리고 에너지 최소화 모델을 이용하여 그 위상벡터의 경계선을 찾는 Active Contour의 움직임을 보여주고 있다. (그림 8)과 (그림 9)은 생물학자의 계속적인 관찰에 의해 찾아낸 controlled 상태와 treated 상태의 대표적인 깔따구의 행동궤적이다. 여기서 controlled 상태란 독극물인 다이아지논이 처리되지 않은 상태이고 treated 상태란 약물이 처리된 상

태를 말한다. controlled 상태에서 깔따구는 상하 좌우 운동을 주로 하고 treated 상태에서는 모든 방향으로 움직이고 있음을 행동궤적과 속도의 위상영상을 보고 알 수 있다.



(그림 8) controlled상태의 행동궤적, 위상벡터, Active Contour



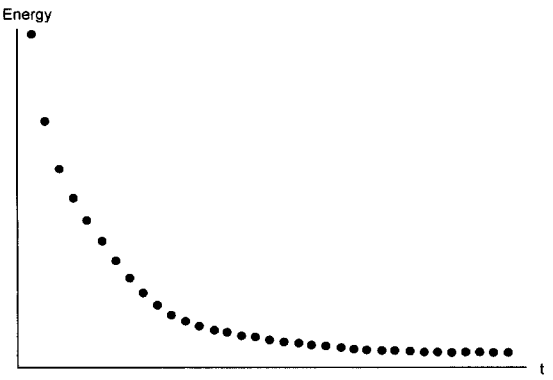
(그림 9) treated 상태의 행동궤적, 위상벡터, Active Contour

본 논문에서 우리는 깔따구의 행동궤적의 특징을 구해내기 위해 속도의 위상벡터 영상에 Active Contour를 두어 진화하는 곡선에 따라서 변하는 영상의 에너지 함수 값을 구하여 시간에 대한 변화율을 계산하였다. 최소화되는 과정에서 에너지 함수 값들의 변화율을 계산하기 위해 semi-log 그래프에 의한 기울기를 다음의 수식을 이용하여 구하였다.

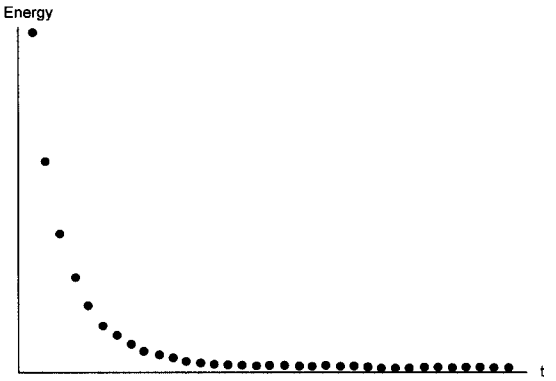
$$slope = \frac{\log Y_2 - \log Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{\log(\frac{Y_2}{Y_1})}{X_2 - X_1} \quad (7)$$

위 식 (7)에서 Y_1과 Y_2는 시간 변수인 X_1과 X_2에서 영상의 에너지 함수 값이고 $X_2 - X_1$은 시간의 변화량이다.

아래의 그래프는 제안방법인 에너지 최소화 알고리즘에 의해 controlled 상태와 treated 상태의 속도에 관한 위상벡터 영상에서 시간에 따라 최소화되는 에너지 함수 값을 그래프로 나타낸 것이다.



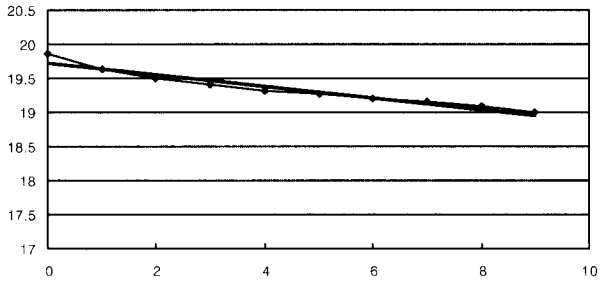
(그림 10) 에너지 최소화 과정(controlled)



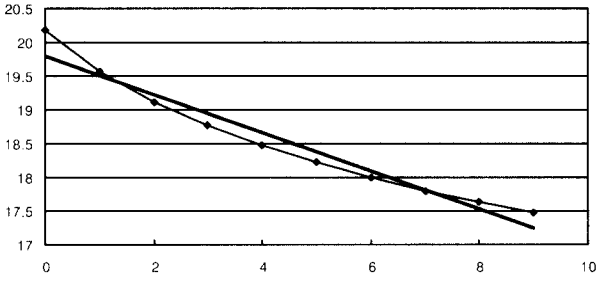
(그림 11) 에너지 최소화 과정(treated)

위의 (그림 10)과 (그림 11)에서 보는 바와 같이 controlled 상태와 treated 상태에서 에너지 최소화 과정이 다름을 명백하게 알 수 있다. 따라서 깔따구의 상태에 따른 행동궤적의 특징을 에너지 최소화 모델을 이용하여 찾아내어 행동을 분류할 수 있다.

아래의 (그림 12)와 (그림 13)은 위의 식 (7)을 이용하여 구한 에너지 최소화 그래프의 semi-log 기울기에 관한 그래프이다. 그래프에서 가로축은 시간을 나타내고 세로축은 semi-log 기울기 값을 나타낸다. (그림 12)는 기울기의 변화가 완만하고 (그림 13)은 기울기의 변화가 (그림 12)보다 완만하지 않다는 것을 확실하게 보여준다. 생물학자의 깔따구의 약물 반응에 대한 행동궤적의 관찰에 의해 밝혀진 대로 기울기의 변화가 완만한 것은 controlled 상태일 때이고 기울기의 변화가 큰 것은 treated 상태일 때임을 알 수 있다. 아래와 같이 controlled 상태와 treated 상태의 깔따구의



(그림 12) controlled 상태의 semi-log 기울기



(그림 13) treated 상태의 semi-log 기울기

행동궤적이 에너지 최소화 모델에 의해 분류되어 짐을 볼 수 있다.

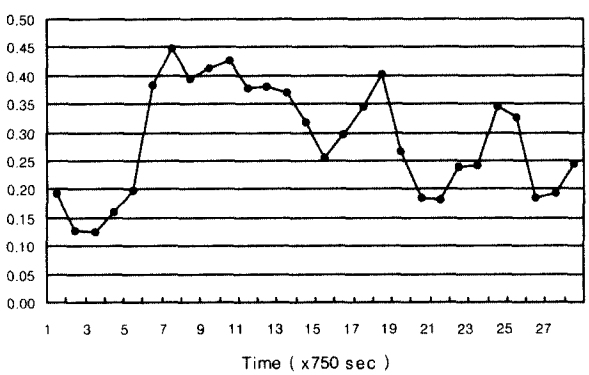
위의 (그림 12)와 (그림 13)에 나타나는 에너지 최소화 함수 값의 semi-log 그래프에서 직선의 기울기를 수치적으로 구하여 비교하면 다음의 <표 1>과 같이 깔따구의 상태에 따른 움직임 특징이 수치적 임계값을 가지며 나누어지는 것을 알 수 있다. 즉, treated 상태의 기울기의 절대값이 controlled 상태의 기울기의 절대값보다 크며 각각의 상태가 수치에 의해 나누어짐을 알 수 있다.

〈표 1〉 에너지 함수 값 기울기

controlled 상태	treated 상태
-0.08488	-0.28405
-0.18825	-0.25637
-0.17630	-0.26444
-0.17459	-0.32257

위의 <표 1>에서와 같이 controlled 상태와 treated 상태의 행동궤적에서 구한 속도의 위상벡터 영상 위에 놓인 Active Contour가 위상벡터의 경계를 찾는 과정에서 얻어지는 에너지 함수 값을 통하여 깔따구의 상태에 따른 행동 패턴의 특징이 분류될 수 있음을 볼 수 있다. 즉, 에너지 최소화 모델은 약물에 대한 깔따구의 행동 궤적의 특징을 분류하며 생물학자의 관찰에 의한 행동특징과 부합하고 있음을 알 수 있었다.

다음의 (그림 14)는 약물을 처리하고 난 뒤 약 6시간 동안 관찰한 깔따구의 행동궤적을 연속적으로 시간에 대한 에너지 최소화 곡선의 semi-log 기울기 값을 나타낸 그래프이다. 이 그래프는 약물 처리 후 깔따구의 행동패턴을 보여주는 그래프이며 위에서 움직임 궤적의 특징을 구한 것과 같이 부분적으로 최대인 점은 treated된 상태의 특징을 나타내며 부분적으로 최소인 점은 controlled 된 상태의 특징을 나타낸다. 이 그래프는 생물학자의 분석과 동일하게



(그림 14) 약물 처리 후 에너지 최소화 곡선의 기울기 변화

깔따구가 약물 처리에 적응적으로 움직이고 있음을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 약물에 반응하여 움직이는 수중 생물체의 행동을 관찰하여 행동궤적의 패턴을 분류하는 기법을 제시하고 있다. 여기서 적용된 에너지 최소화 모델은 영상에서 객체의 경계를 찾는데 활용되는 Active Contour 이론에서 응용된 것이다. 생물체의 행동 패턴을 분류하기 위해 먼저, CCD 카메라를 이용하여 획득된 행동궤적에서 행동의 주요 특징인 속도를 구하여 만든 위상영상을 구하였으며 그런 후, 이 위상영상에 제안하는 방법을 적용하여 행동궤적의 특징과 패턴을 분류할 수 있었다. 즉, 본 논문에서 제안하는 에너지 최소화 모델의 실험을 통해 약물인 다이아지논이 처리되기 전과 후의 깔따구 행동궤적의 특징을 찾아내어 패턴을 분류할 수 있을 뿐만 아니라 연속적인 에너지 최소화 모델의 적용으로 구해진 시간에 대한 에너지의 semi-log 그래프가 약물 처리된 깔따구의 행동이 이에 적응하고 있음을 효과적으로 보여주는 것을 알 수 있었다. 우리나라의 물속 생물인 깔따구를 이용하여 물 속에 녹아있는 약물에 대한 반응을 영상시스템에 의한 기법으로 분석함으로써 에너지 최소화 모델은 물 속 생물체의 행동을 분석할 뿐만 아니라 나아가 중요 하천의 약물오염을 경보할 수 있는 방법으로 제안할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Dutta, H., Marcelino, J., Richmonds, Ch., "Brain actylcholinesterase activity and optomotor behavior in bluegills, Lepomis macrochirus exposed to different concentrations of diazinon," Arch. Intern. Physiol. Biochim. Biophys., 100(5), pp.331-334, 1992.

[2] Lemly, A. D., Smith, R. J., "A behavioral assay for assessing effects of pollutants of fish chemoreception," Ecotoxicology and Environmental Safety, 11(2), pp.210-218, 1986.

[3] Inn-Sil Kwak, Tae-Soo Chon, Hyun-Min Kang, Nam-Il Chung, Jong-Sang Kim, Sung-Cheol Koh, Sung-Kyu Lee and Yoo-Shin Kim, "Monitoring the Movement Tracks of Medaka(Olyzias latipes) in Response to Sub-Lethal Treatments of an Insecticide by Using Artificial Neural Networks," Vol.120, pp.671-681, 2002.

[4] 김철기, 차의영, "수질 모니터링을 위한 유해 물질 유입에 따른 생물체의 행동 반응 분석 및 인식," 정보처리학회논

문지B, 제9-B권 제5호, pp.663-672, 2002.
[5] B. R. Lee, A. Ben Hamza and Hamid Krim, "An active contour model for image segmentation : A Variational Perspective," IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing, Orlando, Florida, May, 2002.
[6] M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle, "Image processing, Analysis and Machine Vision," PWS Publishing, 1999.
[7] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos, "Snakes : Active contour models," Int. J. Comput. Wis., Vol.1, pp.321-331, 1988.
[8] G. Aubert and L. Vese, "A variational method in image recovery," SIAM J. Numer.Anal., Vol.34, No.5, pp.1948-1979, 1997.
[9] V. Casslles, R. Kimmel and G. Sapiro, "On geodesic active contours," Int. J. computer Vision, 22(1), pp.61-79, 1979,
[10] R. Malladi, J. Sethian and B. Vemuri, "A Topology Independent Shape Modeling Scheme," Proceedings of SPIE Cong. on Geometric Methods in Computer Vision II, San Diego, Vol.2031, pp.246-258, July, 1993.
[11] E. Trucco and A. Verri, Introductory Techniques for 3-D Computer Vision, New Jersey, Prentice Hall, 1998.
[12] T. Chan, L. Vese, "Active Contours without Edges," IEEE Trans. Image Processing, Vol.10, No.2, pp.266-277, February, 2001.
[13] D. Mumford and J. Shah, "Optimal approximation by piecewise smooth functions and associated variational problems," Commun. Pure Appl. Math., Vol.42, pp.577-685, 1989.
[14] S. Osher and J. Sethian, "Fronts Propagation with curvature dependent speed : Algorithm based on Hamilton-Jacobi Formulation," J. Comput. Phys., Vol.79, pp.12-49, 1988.

강 진 숙

e-mail : jiskang@pusan.ac.kr
1985년 부산대학교 수학과(학사)
1988년 부산대학교 교육대학원 수학교육과 (교육학석사)
1993년 부산대학교 대학원 수학과(이학박사)
1997년~1998년 벨기에 루벤대학교 연구원
2003년 부산대학교 대학원 전자계산학과(이학박사)
1989년~현재 부산대학교 수학과 시간강사
관심분야 : 생체인식, 웨이블릿 이론, 컴퓨터비젼

김 진 숙

e-mail : jinsook@dit.ac.kr
1995년 Technische Universitaet in Berlin (학사, 석사)
1996년~1997년 한국전산원 연구원
2003년 부산대학교 대학원 멀티미디어협동과정(공학박사)
1997년~현재 동의공업대학 컴퓨터정보계열 부교수
관심분야 : 컴퓨터비젼, 신경회로망 이론, 웨이블릿

차 의 영

e-mail : eycha@pusan.ac.kr
1979년 경북대학교 전자공학과(학사)
1982년 서울대학교 대학원 전자계산학과 (이학석사)
1998년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)
1981년~1985년 한국전자기술연구소 연구원
1995년~1996년 University of London 방문교수
1985년~현재 부산대학교 전자계산학과 교수
관심분야 : 컴퓨터비젼, 신경회로망 이론, 웨이블릿, 워터마킹