

## 단일 포식자-희생자 환경에서 포식자 추격 에너지 모델\*

이재문, 권영미  
한성대학교 멀티미디어공학과  
{jmlee, ymkwon}@hansung.ac.kr

### A Model of Pursuing Energy of Predator in Single Predator-Prey Environment

Jae Moon Lee, Young Mee Kwon  
Dept. of Multimedia Engineering, Hansung University

#### 요 약

일반적으로 생태계에서 포식자-희생자 모델은 생존 경쟁의 연구모델로서 많이 연구되어 왔다. 기존의 논문이 포식자-희생자의 개체 수 변화량에 초점을 맞추고 있는 반면, 본 논문은 포식자-희생자 모델에서 포식자가 희생자를 추격하기에 필요한 에너지 제어에 관한 연구를 하였다. 문제를 간단히 하기 위하여 한 마리의 포식자와 한 마리의 희생자가 있다고 가정하였고, 이를 기반으로 일정한 거리에 있는 포식자가 희생자를 추격하여 성공하기에 필요 에너지를 물리적 이론을 근거로 제시하였고, 시뮬레이션에 기반하여 소비 에너지 모델을 제안하였다. 실험을 통하여 제안된 두 에너지 모델이 자연스러운 추격하기에 올바르게 적용될 수 있음을 보였다.

#### ABSTRACT

In general, the predator-prey model has been studied as a model of struggle for existence in a ecosystem. While conventional papers have focussed on the population change of the predator-prey, this paper focused on controlling the energy needed for the predator to pursue the prey. For simplification, assume the environment which there are only single predator and prey. Based on the environment, a certain amount of energy needed for a predator to pursue the prey was suggested on a basis of physical theories and also the used energy model was suggested on a basis of the simulation. From experiments, it was proven that the suggested energy models were appropriate for natural pursuit.

**Keywords** : Predator(포식자), Prey(희생자), Energy(에너지), Force(힘), Pursuit(추격하기), Seek(찾아가기)

\* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임.(2012001091)(이재문)

\*\* 본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원과제임.(권영미)

Received: Jan. 03, 2013 Accepted: Jan. 28, 2013  
Corresponding Author: Jae Moon Lee(Hansung University)  
E-mail: jmlee@hansung.ac.kr

© The Korea Game Society. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

동물들의 집단적 조직은 다양한 영역에서 관찰된다. 바다 속의 어군들, 새들의 무리 짓기, 동물들의 이동, 벌레 또는 박테리아들의 군집, 군중들의 행동 등이다. 이러한 집단적 조직은 항상 포식자로부터 먹이의 대상이 된다. 일반적으로 포식자들조차 포획을 위하여 함께 행동하는 것으로 알려져 있다. 이러한 경우에 조직체는 방해물을 만났을 때 일사불란하게 행동하는 유사성이 있다.

집단행동은 컴퓨터 시뮬레이션 분야에서 많이 연구되어 왔다[1,2,3]. 이러한 모델중의 하나인 에이전트 기반 모델은 그들의 위치에 따라 다른 에이전트와 상호 작용한다[1,4,6,7]. 이 모델에서는 일반적으로 힘에 대한 법칙을 사용한다. 이러한 힘은 에이전트들을 모아서 군집을 이루도록 먼 거리에서 작용하는 인력함과 다른 에이전트와 충돌하지 않도록 가까운 거리에서 작용하는 척력함이 있다[1,5]. 그 외에 원하는 속도로 앞으로 나아가게 하는 자체 추진력, 방해물을 피하는 방해물 피하는 힘 등도 제안되었다[1,2]. 더하여 무리 짓기에서는 서로 같은 에이전트들끼리 무리를 이루도록 정렬힘을 적용하기도 한다[4]. 이러한 모델들은 자연에서 관찰되는 무리에 대한 현상들을 재현하는데 성공적으로 적용되었다. 또한 이러한 연구의 결과는 보행자 제어와 같은 유사한 문제를 해결하는데도 사용된다[5].

본 논문에서 사용하는 모델은 기본적으로 기존의 연구를 바탕으로 포식자와 희생자 사이에서 포식자의 에너지 제어에 대한 모델이다. 일반적으로 포식자와 희생자의 경우 포식자는 호시탐탐 희생자를 노릴 것이고 희생자는 포식자로부터 안전한 거리를 유지하면서 평화를 얻고자 할 것이다. 그러나 포식자는 충분한 휴식으로 일정 이상의 거리를 추격할 수 있다고 판단하는 경우 희생자를 공격하기 시작할 것이다. 이 경우 포식자와 희생자는 최대 속력에 도달하기 위하여 힘을 적용할 것이다. 본 논문에서 연구 내용은 이러한 환경에서 포식자가

희생자를 추격하기에 충분한 에너지를 분석하여 모델링하는 것이다.

이러한 모델링은 동물의 세계에서 먹이 사설을 시뮬레이션 하는데 기본 자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 다수의 동물들이 출현하는 게임이나 영상에 보다 향상된 사실감위하여 사용될 수 있다. 예를 들어 다수의 포식자와 희생자가 존재하는 환경에서 포식자가 모든 가능한 순간마다 희생자를 포획할 수 있다면 이는 자연 현상에 비해 비사실적일 것이다. 즉, 포식자가 희생자를 추격할 때 잡을 때까지 희생자를 무제한으로 추격하는 것보다는 포식자가 가진 에너지 내에서 추격하도록 하여, 현재 보유하고 있는 에너지의 양에 따라 추격에 성공하기도 하고, 실패하기도 하여야 할 것이다. 또한 다음 추격을 위해서는 필요 에너지를 축적하기 위한 일정 시간 동안 휴식하게 하는 것이 보다 사실적일 것이다. 이러한 시뮬레이션을 위해서는 포식자가 희생자를 추격하기에 필요한 에너지를 산출할 수 있어야 하며, 또한 추격 과정에서 소요되는 에너지를 계산할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이러한 에너지를 물리 이론에 근거하여 계산하고 시뮬레이션을 통하여 올바르게 보인다.

2장에서는 본 논문에서 가정하는 시스템과 기존의 연구를 바탕으로 추격하기와 도망가기에 대한 힘의 모델링을 소개하며, 3장에서는 물리적 이론에 근거하여 포식자에 대한 에너지 모델을 제시한다. 4장에서는 포식자로 사자와 희생자로 사슴을 가정하여 3장에서 제시한 에너지 모델이 올바르게 동작하는지를 실험을 통하여 확인하며, 5장에서 결론을 논한다.

## 2. 포식자와 희생자의 조종함

### 2.1 시스템 환경

본 논문의 기본이 되는 시스템 환경은 지구의 표면을 표현하는 2차원 무한 데카르트 평면이다. 이러한 환경은 새들이 날아다니는 하늘과 물고기들

이 유명한 바다와 같은 3차원으로 쉽게 변경될 수 있다. 시스템 환경에는 문제를 단순화하기 위하여 단순히 포식자와 희생자로 구분되는 두 가지 타입의 에이전트만 존재한다고 가정한다. 시스템 환경과 에이전트와의 상호작용은 오직 지면의 마찰만 존재한다고 가정한다. 보다 복잡한 시스템 환경을 모델링하기 위하여 바람, 나무 등이 존재할 수도 있다.

본 논문에서 포식자 에이전트를  $i$ 라 하며, 희생자 에이전트를  $j$ 라 한다. 또한  $m_i$ ,  $p_i$ ,  $v_{mi}$ ,  $v_i$ ,  $a_i$ ,  $E_i$ 는 각각 에이전트  $i$ 에 대한 현재의 질량, 위치, 최대속도, 속도, 가속도, 에너지를 표시한다. 또한 본 논문에서 언급되는 질량과 에너지, 시간은 스칼라이고 위치, 속도, 가속도, 힘은 벡터이다. 표시를 간단히 하기 위하여 스칼라와 벡터를 구분하기 위한 별도의 표시는 생략한다.

## 2.2 기본적인 조종힘

본 논문은 한 마리의 포식자와 한 마리의 희생자가 존재하는 환경이다. 포식자는 충분한 힘을 가진 경우 희생자를 공격하게 되고, 희생자는 포식자와 일정한 거리를 유지하면서 포식자를 경계한다. 포식자가 희생자를 공격하기 시작하면 희생자는 최대한 힘을 사용하여 포식자와 반대 방향으로 도망가게 된다. 즉, 포식자는 희생자에 대하여 인력힘의 하나인 추격힘이 작용하게 되며, 희생자는 포식자에 대하여 척력힘의 하나인 도망힘이 작용하게 된다.

에이전트의 자동적인 조종힘에 대한 가장 기본적인 힘들은 찾아가기(Seek)와 달아나기(Flee)이다 [1,2]. 찾아가기는 목표물을 향하여 최대 속도로 전진하는 힘으로 목표물을 향한 최대의 속도를 요망속도라고 할 경우 [2]에서는 이 힘을 요망속도와 현재 속도의 차이로 표현하였고, 달아나기는 그 반대의 힘으로 표현하였다[2]. 에이전트  $i$ 가 목표 지점  $p$ 에 대한 찾아가기 조종력  $f_s(i, p)$ 와 달아나기 조종력  $f_f(i, p)$ 는 지면의 마찰력을 고려하지 않는 경우 다음과 같다.

$$f_s(i, p) = m_i \frac{(p - p_i).norm() * v_{mi} - v_i}{\Delta t} \quad (\text{eq. 1})$$

$$f_f(i, p) = -f_s(i, p) \quad (\text{eq. 2})$$

여기서  $(p - p_i).norm()$ 은 벡터  $p - p_i$ 의 단위 벡터화를 의미한다.  $\Delta t$ 는 힘  $f_s(i, p)$ 가 적용되는 시간이다.

(eq. 1)에 의하면 찾아가기는 목표물 근처에서도 최대 속력을 유지하려는 하는 힘을 나타내므로 정작 목표물에 도착하게 되면 관성력에 의하여 목표물을 지나치게 된다[1,2]. 이런 경우 본 논문의 환경에서와 같이 포식자가 희생자를 추격하는 힘으로 표현하기에는 찾아가기는 적합하지 않다. [1,2]에서는 이러한 경우에 유용하게 적용할 수 있는 도착하기라는 조종힘  $f_a(i, p)$ 를 제안하였는데 이것은 찾아가기와 매우 유사하게 다음과 같이 정의한다.

$$f_a(i, p) = m_i \frac{\alpha (p - p_i).norm() * v_{mi} - v_i}{\Delta t} \quad (\text{eq. 3})$$

(eq. 3)에서  $\alpha$ 는  $\alpha \leq 1$ 으로 대부분의 경우 1의 값을 유지하나 특정 거리 이하의 경우 1보다 작은 값을 지정함으로써 자연스럽게 적은 힘으로 목표물에 접근하도록 한다.

포식자가 희생자를 추격하기 위한 조종힘으로 찾아가기나 도착하기를 직접적으로 적용하는 것은 바람직하지 않다. 이것은 희생자가 지속적으로 움직이기 때문이다. [2]에서는 효과적으로 추격하기 위해서는  $t'$  시간 이후 희생자의 위치를 예측하여 그곳으로 도착하기를 시도하는 것을 제안하였다.  $t'$ 는 두 에이전트 사이의 거리가 멀면 더 긴 시간이 필요하므로 두 에이전트 사이의 거리에 비례하도록 설정되어야 한다. 다음 (eq. 4)는 에이전트  $i$ 가 에이전트  $j$ 를 추격할 때 추격하기 조종힘이다.

$$f_p(i, j) = f_a(i, p_j + v_j \times t') \quad (\text{eq. 4})$$

희생자가 포식자에 대하여 달아나기도 포식자의 미

래 위치를 예측하면서 달아나기도 하여야 할 것이다. 따라서 (eq. 5)는 에이전트  $i$ 가 에이전트  $j$ 를 피해 도망갈 때 도망하기 조중힘이다.

$$f_e(i,j)=f_f(i,p_j+v_j \times t') \quad (\text{eq. 5})$$

본 논문에서는 포식자가 희생자를 추적하기 위하여 (eq. 4)와 같은 힘을 사용하여 에너지를 소비한다고 가정한다.

### 3. 포식자 에너지 제어 모델

#### 3.1 힘, 마찰력 및 에너지

운동 에너지는 일을 할 수 있는 능력을 나타내는 물리량이다. 관성의 법칙에 따라 등가속도 운동을 하는 어떤 물체가 마찰이 있는 평면 위에 놓여 있다고 가정하자. 이 물체에 운동 방향과 같은 방향의 힘을 가하면 힘을 받는 시간동안 물체의 속도는 점점 커진다. 운동 에너지란 임의의 거리를 등 가속으로 물체를 움직일 때 필요한 물리량으로 다음과 같이 정의 된다.

$$\frac{dE}{dr}=F=ma+m\mu \quad (\text{eq. 6})$$

상기 식에서  $ma$ 는 뉴턴의 힘을 의미하며  $m\mu$ 는 마찰력을 의미하고,  $r$ 은 거리를 의미한다. 상기 식이 의미하는 것은 일정한 힘을 가하여  $dr$ 만큼 움직이기 위해서는  $dE$ 만큼의 에너지가 필요하다는 것이다. 이 식을 적분하면,

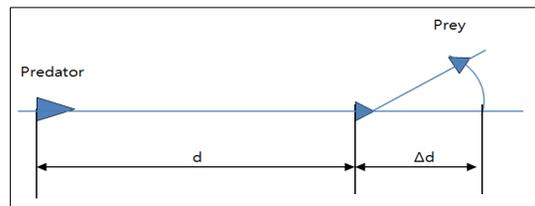
$$\begin{aligned} E &= \int_{r_0}^r (ma + m\mu)dr = \int_{r_0}^r m \frac{dv}{dt} dr + m\mu \Delta r \\ &= \int_{v_0}^v m \frac{dr}{dt} dv + m\mu \Delta r = \int_{v_0}^v mvdv + m\mu \Delta r \quad (\text{eq. 7}) \\ &= \frac{1}{2}m(v^2 - v_0^2) + m\mu \Delta r \end{aligned}$$

이 된다. 여기서  $r_0, v_0$ 는 각각 초기 위치와 속도이며,  $\Delta r$ 은 거리의 변화량인  $r - r_0$ 이다. 즉, 질량  $m$ 이 물체가 초기 속도  $v_0$ 에서  $v$  속도에 이르면서  $r_0$ 에서  $r$  위치에 도달하는데 필요한 에너지는 (eq. 7)과 같다는 것이다.

#### 3.2 포식자의 필요 에너지 모델

일반적으로 포식자가 희생자를 공격하는 경우는 포식자가 희생자를 추적하기에 충분한 에너지가 있다고 판단하는 경우 희생자를 공격하기 시작할 것이다. 이 경우 포식자와 희생자는 최대 속력에 도달하기 위하여 최대한의 힘을 사용할 것이다. 따라서 포식자의 경우 이 힘을 사용하기 위한 에너지가 필요할 것이고, 희생자의 경우 포식자의 공격으로부터 도망가기 위한 최소한의 에너지가 필요할 것이다. 본 논문에서는 포식자의 경우 이러한 에너지의 양이 제한적이고 희생자의 경우 에너지의 양이 무제한이라고 가정한다. 이 가정은 포식자의 경우 자신의 판단에 의하여 선택적으로 추적할 수 있지만, 희생자의 경우 포식자의 결정에 의하여 수동적으로 도망가야 할뿐만 아니라, 적어도 포식자 보다는 더욱 필사적이어야 하기 때문에 타당하다고 판단한다.

포식자가 희생자에 대한 공격여부를 판단하는 의사 결정은 비교적 간단하다. 즉, 현재의 위치에서 포식자가 희생자를 추적하기에 충분한 에너지를 가지고 있다면 추적을 시작하는 것이다.



[Fig. 1] Location of predator and prey

[Fig. 1]에서와 같이 포식자와 희생자가  $d$ 만큼 떨어져 있는 상태에서 포식자가 희생자를 성공적으로

로 추적하기 위해서는 희생자가  $\Delta d$ 만큼 움직이는 시간에 포식자는  $d + \Delta d$ 만큼 움직여야 한다. 추적하는 상황이기 때문에 두 에이전트는 최대 속력으로 추적하고 도망갈 것이다. 따라서 포식자를 에이전트  $i$ , 희생자를 에이전트  $j$ 라 하고, 각 에이전트들이 임의의 속도에서 최대 속도까지 선형적으로 속도를 증가시킨다고 가정하면 다음 등식에 성립한다.

$$\Delta r = d + \Delta d = \frac{v_{oi} + v_{mi}}{2} t_{mi} + v_{mi} (T - t_{mi}) = \frac{v_{oj} + v_{mj}}{2} t_{mj} + d + v_{mj} (T - t_{mj}) \quad (\text{eq. 8})$$

(eq. 8)에서  $T$ 는 추적에 필요한 총 시간이고,  $v_{oi}$ ,  $v_{mi}$ ,  $t_{mi}$ 는 각각 에이전트  $i$ 의 초기 속도, 최대 속도 및 최대 속도에 도달하는 시간이다.  $v_{oj}$ ,  $v_{mj}$ ,  $t_{mj}$ 는 각각 에이전트  $j$ 에 해당되는 것이다. (eq. 8)에서  $v_{oi}$ ,  $v_{oj}$ 는 추적 및 도망 직전의 속도이므로 0로 하여도 된다. 이들의 값을 0으로 하여 (eq. 8)을 재 정렬하면 다음과 같다.

$$v_{mi} T = d + v_{mj} T + \frac{v_{mi} t_{mi} - v_{mj} t_{mj}}{2} \quad (\text{eq. 9})$$

(eq. 9)에서  $t_{mi} = t_{mj} + \beta$ 라 하면 다음과 같이  $T$ 를 구할 수 있다.

$$v_{mi} T = d + v_{mj} T + \frac{\beta v_{mi} + (v_{mi} - v_{mj}) t_{mj}}{2} \quad (\text{eq. 10})$$

$$T = \frac{d}{v_{mi} - v_{mj}} + \frac{t_{mj}}{2} + \frac{\beta v_{mi}}{2(v_{mi} - v_{mj})}$$

(eq. 7)에서  $\Delta r$ 을 구하기 위하여 (eq. 8)에 (eq. 10)의 결과를 대입하면  $\Delta r$ 은  $\frac{v_{mi} d}{v_{mi} - v_{mj}} +$

$\frac{\beta v_{mi} v_{mj}}{2(v_{mi} - v_{mj})}$ 이 된다. 따라서 (eq. 7)에 의하여 희생자를 추적하는데 필요한 에너지  $E_n(i, j)$ 는 다음과 같이 된다.

$$E_n(i, j) = \frac{1}{2} m_i (v_{mi}^2 - v_{oi}^2) + m_i \mu \frac{v_{mi} d}{v_{mi} - v_{mj}} + e \quad (\text{eq. 11})$$

여기서  $e$ 는  $m_i \mu \frac{\beta v_{mi} v_{mj}}{2(v_{mi} - v_{mj})}$ 이다. (eq. 11)에서  $m_i$ ,  $v_{oi}$ ,  $v_{mi}$ ,  $v_{mj}$ ,  $t_{mi}$ 는 포식자가 경험적으로 이미 알고 있다고 할 수 있기 때문에, 변수는  $d$ 와  $\mu$ 이다. (eq. 11)은 상당히 일반적임을 알 수 있다. 예를 들어 현재의 속도( $v_{oi}$ )가 상당히 빨라서  $v_{mi}^2 - v_{oi}^2$ 이 작게 되면 필요한 에너지가 적게 된다. 또한 현재 포식자와 희생자의 거리가 멀면 필요한 에너지는 증가하게 되는데 이것은 (eq. 11)의 두 번째 항에 나타나 있다. 또한 두 에이전트의 최대 속도 차이( $v_{mi} - v_{mj}$ )가 비슷하면 추적에 필요한 시간이 많이 들어가므로 필요한 에너지가 많이 소요될 것이다. 이것도 (eq. 11)의 두 번째 항에 포함되어 있다.

### 3.3 포식자의 소비 에너지 모델

포식자가 일반적으로 희생자를 추적할 때 일정 시간 간격으로 자신의 에너지를 체크하고 이 에너지를 바탕으로 추적을 계속할 것인지 아니면 포기할 것인지를 결정할 것이다. 시뮬레이션에서 이러한 판단을 하기 위해서는 일정 시간 간격으로 소비된 에너지를 계산하고, 현재 보유하고 있는 에너지에서 지속적으로 삭감해 나가야 할 것이다.

본 논문에서는 (eq. 1,2,3)에 포함된  $\Delta t$  간격으로 추적에 소모하는 에너지를 계산하면 다음과 같다.

$$E_u(i, j) = [f_p(i, j) + m_i \mu] \Delta r \quad (\text{eq. 12})$$

여기서  $\Delta r$ 는 에이전트  $i$ 가  $\Delta t$  동안 이동한 거리이다.  $\Delta r$ 는  $(v_i + \frac{1}{2}a_i\Delta t)\Delta t$ 이므로  $\Delta r = (v_i + \frac{1}{2}\frac{f_p(i,j)}{m_i}\Delta t)\Delta t$ 이 성립한다. 이를 (eq. 12)에 대입하면 다음과 같이 계산된다.

$$E_u(i,j) = [f_p(i,j) + m_i\mu](v_i + \frac{1}{2}\frac{f_p(i,j)}{m_i}\Delta t)\Delta t \text{ (eq. 13)}$$

### 3.4 알고리즘

본 논문에서 제어하는 포식자와 희생자는 일반 게임 프로그램에서 사용되는 기법과 마찬가지로 매 순간마다 조종힘을 계산하고 계산된 조종힘에 따라 새로운 위치로 이동한다. 또한 포식자의 경우 필요한 에너지를 추적하기도 하고, 반대로 추적된 에너지를 사용하여 희생자를 추적하기도 한다. 다음 [Fig. 2]는 포식자를 제어하는 알고리즘이다.

```

UpdatePredator() // called by each time  $\Delta t$ 
{
    // change the status of predator
    if(!IsOnPursuit(i, j) == false){
         $E_n(i, j) = \text{NeedEnergy}(i, j)$  // compute Eq. (11)
        if( $E(i) \geq E_n(i, j)$ ){
            setOnPursuit(i, j) // start to pursuit
        }else{
            restoreEnergy(i) // in rest
            return;
        }
    }else if( $E(i) < 0$ ){
        resetOnPursuit(i, j) // give up to pursuit
        return;
    }

    // compute the steering forces and energy
     $f_p = \text{PursuitForce}(i, j)$  // compute Eq. (4)
     $E_u(i, j) = \text{UsedEnergy}(i, f_p, \Delta t)$  // compute Eq. (13)
     $E(i) -= E_u(i, j)$ 
     $p_i = \text{GetNewLocation}(i, f_p)$ 
}
    
```

[Fig. 2] Algorithm to control predator

[Fig. 2]는 포식자의 추격에 대한 알고리즘이다. 표현을 간단히 하기 위하여 희생자를 포획하는 순간은 생략하였다. 희생자의 경우 [Fig. 2]의 알고리즘과 유사하나 에너지가 무한대로 있다고 가정하는 것만 다를 것이다.

## 4. 실험

실험을 위하여 포식자-희생자 환경을 구현하였다. 구현에서 운영체제로 윈도우즈7을 사용하였고 사용 언어로는 C++를 사용하였다. 또한 “찾아가기”, “달아나기”, “추격하기” 및 “도망가기”는 [2,8]에서 제공하는 알고리즘을 그대로 사용하였다. 실험은 물리적 이론의 기초로 구해진 (eq. 11)의 필요 에너지와 “찾아가기”와 “추격하기”의 시뮬레이션으로 구해진 (eq. 13)의 소비 에너지의 총합이 시뮬레이션에서 얼마나 일치하는지를 확인하는 것이 목적이다.

실험에는 한 마리의 포식자와 한 마리의 희생자만 존재한다고 가정하였고, 이들은 2D 공간에서 움직이는 것으로 시뮬레이션 하였다. 따라서 이들은 주변의 다른 포식자나 다른 희생자의 영향이 없으므로 포식자는 희생자의 방향으로만 추격하고, 희생자는 포식자의 반대 방향으로만 달아나게 되어 이들은 시뮬레이션에서 직선 이동만 한다. 실험에 대한 기본 환경으로 (eq. 3)에서  $\alpha$ 는 1로 설정하였으며, 포식자의 크기( $\rho_i$ ), 질량( $m_i$ ), 최대속도( $v_{mi}$ )는 각각 5픽셀, 5kg,  $10\rho_i/\text{sec}$ 로 설정하였고, 희생자의 크기, 질량, 최대속도는 각각 포식자의 크기, 질량, 최대속도의 60%로 설정하였다. 이러한 설정하에 포식자와 희생자의 거리 및 마찰계수를 변수로 하여 [Fig. 2]의 알고리즘을 수행하면서 필요 에너지와 실제 소요된 소비 에너지를 측정하였다. (eq. 11)에서  $e$  값을 예측하기는 쉽지 않다. 이것은 포식자나 희생자가 최대속도에 도달하는 시간인  $t_{mi}$ ,  $t_{mj}$ 을 알 수 없기 때문이다. 그러한 이유로 본 실험에서는  $e$  값을 0으로 설정하여 계산한다.

[Table 1] Estimate energy and Consumed energy according to distance

distance	$16\rho_i$	$32\rho_i$	$64\rho_i$	$128\rho_i$	$256\rho_i$
$E_n(i,j)$	13248	20248	34248	62248	118248
$\sum E_u(i,j)$	13810	20810	34810	62810	118810
delta	562	562	562	562	562

[Table 1]은 포식자와 희생자의 거리에 따른 필요 에너지( $E_n(i,j)$ )와 소비 에너지( $\sum E_u(i,j)$ )를 측정된 것이다. 여기서 마찰계수는 7.0으로 고정하였다. [Table 1]에서  $\rho_i$ 는 포식자의 크기를 의미한다. 따라서  $32\rho_i$ 라는 의미는 포식자와 희생자 사이의 거리가 포식자 크기의 32배라는 의미이다. [Table 1]에 나타난 데이터는 거리에 관계없이  $E_n(i,j)$ 가 562만큼 부족한 것으로 나타나고 있다. 이것은 (eq. 11)에서  $t_m$ 을 0으로 하여  $e$  값이 0으로 되었기 때문이다. (eq. 11)에서  $e$  값은 거리  $d$ 에 독립적이므로 [Table 1]에서  $delta$  값이 일정하다. [Table 1]의 데이터를 관찰하면 거리가 증가할수록  $E_n(i,j)$  및  $\sum E_u(i,j)$ 가 모두 증가함을 볼 수 있다. 이것은 (eq. 11)과 (eq. 13)에 따라 당연한 결과이다.

[Table 2] Estimate energy and Consumed energy according to coefficient of friction

$\mu$	1.0	3.0	7.0	13.0	19.0
$E_n(i,j)$	13248	18248	34248	58248	82248
$\sum E_c(i,j)$	13375	18516	34810	59250	83691
delta	128	268	562	1003	1444

[Table 2]는 마찰계수( $\mu$ )에 따른 필요 에너지( $E_n(i,j)$ )와 소비 에너지( $\sum E_c(i,j)$ )를 측정된 것이다. 여기서 포식자와 희생자의 거리는  $64\rho_i$ 로 고정하였고, 마찰계수는 1에서 19사이의 값으로 변화도록 하였다. [Table 2]에서 볼 수 있듯이 필요 에너지와 소비 에너지는 마찰계수가 증가함에 따라

증가하고 있다. 이 이유도 (eq. 11)과 (eq. 13)이 마찰계수  $\mu$ 에 비례하기 때문이다. [Table 1]과 달리 [Table 2]에서는  $\mu$ 의 값에 따라  $delta$  값이 증가하는 것을 볼 수 있는데 이것은 (eq. 11)에서  $e$  값이  $\mu$ 에 비례하기 때문이다.

[Table 1]과 [Table 2]의 데이터와 (eq. 11)과 (eq. 13)을 볼 때 “찾아가기”와 “추격하기”에 기초한 (eq. 13)의 소비 에너지 모델과 물리적 이론에 기초한 (eq. 11)의 필요 에너지 모델이 올바르게 모델링 되었다는 것을 의미한다.

## 5. 결론

본 논문은 포식자-희생자 모델에서 포식자가 희생자를 추격하기에 필요한 에너지 제어에 관한 연구를 하였다. 문제를 간단히 하기 위하여 한 마리의 포식자와 한 마리의 희생자가 있다고 가정하였고, 이를 기반으로 일정한 거리에 있는 포식자가 희생자를 추격하여 성공하기에 필요한 에너지를 물리적 이론을 근거로 제시하였고, 실험을 통하여 제안한 에너지 제어가 자연스러운 추격하기에 올바르게 적용될 수 있음을 보였다.

향후 연구로써 다양한 포식자와 희생자가 공존하는 환경이다. 즉, 포식자는 추격 과정에서 주변의 다른 포식자나 희생자들에 대한 영향을 받으면서 추격할 것이며, 희생자 또한 주변의 장애물이나 다른 포식자, 희생자의 영향을 받으면서 달아날 것이다. 이러한 경우 포식자나 희생자는 더 이상 직선으로 추격 및 도망을 하지 않고 다양한 경로를 통하여 이동할 것이다. 또한 다수의 포식자와 다수의 희생자가 공존하는 환경에서 포식자의 희생자 선택 기준, 포식자간 추격에 대한 협업 등을 연구할 것이다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology(2012001091)(Jae Moon Lee).

This research was financially supported by Hansung University(Young Mee Kwon).

Space”, Journal of Korea Game Society, v.11, no.1, pp.111-120, 2011.

## REFERENCES

- [1] Reynolds, C. W., “Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model”, SIGGRAPH, 21(4), pp. 25-34, 1987.
- [2] Mat Buckland, “Programming Game AI by Example”, ISBN 1556220782, Wordware Publications, 2005.
- [3] Gianluigi Folino, Agostino Forestiero, Giandomenico Spezzano, “An adaptive flocking algorithm for performing approximate clustering”, Inf. Sci., 179(18), pp. 3059-3078, 2009.
- [4] Jae Moon Lee, “An Efficient Algorithm to Find k-Nearest Neighbors in Flocking Behavior”, Information Processing Letters, pp. 576-579, 2010.
- [5] Xiaoyuan Luo, Shaobao Li, Xiping Guan, “Flocking algorithm with multi-target tracking for multi-agent systems”, Pattern Recognition Letters, pp. 800-805, 31, 2010.
- [6] Vladimir Zhdankin and J. C. Sprott, “Simple predator-prey swarming model”, PHYSICAL REVIEW E 82, 056209-1~7, 2010.
- [7] Dal-ho Cho, Yong ho Lee, Jin Hyung Kim, So-Young Park and Dae-Woong Rhee, “NPC Control Model for Defense in Soccer Game Applying the Decision Tree Learning Algorithm”, Journal of Korea Game Society, v.11, no.6, pp.61-70, 2011.
- [8] Sung Hyun Cho and Jae Moon Lee, “Group Behavior Simulation of Multi-Agents by Using Steering Forces in an Enclosed



이재문 (Lee, Jae Moon)

1986년 한양대학교 전자공학과(학사)  
1988년 한국과학기술원 전기및전자공학과(석사)  
1992년 한국과학기술원 전기및전자공학과(박사)  
1994년-현재 한성대학교 멀티미디어공학과 교수

관심분야 : 기계학습, 게임프로그래밍, 감성컴퓨팅



권영미 (Kwon, Young Mee)

1984년 서울대학교 자연대학 수학과 (학사)  
1989년 University of Washington 수학과(박사)  
1991년 서울대학교 대역해석학 센터 박사후 연구원  
1993년-현재 한성대학교 멀티미디어 공학과 교수

관심분야 : 금융 수학, 알고리즘