

구조적 방향성 그래프와 대화형 유전자 알고리즘을 이용한 3차원 꽃의 생성

(Creating 3D Artificial Flowers using Structured Directed Graph and Interactive Genetic Algorithm)

민현정* 조성배**

(Hyeun-Jeong Min) (Sung-Bae Cho)

요약 인공생명기법의 대표적인 응용분야 중 하나인 개체 생성을 위하여 크게 방향성 그래프와 L-system의 두 가지 방법이 사용되고 있다. 두 가지 방법 모두 각기 좋은 특성이 있지만 L-system은 사용자에게 의해 내부적인 파라미터로 정의되기 때문에 전체적인 실제 모양을 구조적으로 정의하기 어렵다. 본 논문에서는 이런 단점을 극복하고자 실제 모양을 표현하는데 적절한 구조적 방향성 그래프를 도입하여 꽃을 구조적으로 표현함으로써 실제 개체와 유사한 모양을 생성하고, 이를 대화형 유전자 알고리즘에 적용하여 사용자가 생성하고자 하는 실제 모양의 자연스러운 꽃을 자동으로 생성하게 하였다. 실험결과 감성적인 평가로 자연스러운 모양의 꽃이 생성됨을 알 수 있었다.

키워드 : 인공생명, 구조적 방향성 그래프, 대화형 유전자 알고리즘, 그래픽스

Abstract Directed graph and Lindenmayer system (L-system) are two major encoding methods of representation to develop creatures in application field of artificial life. It is difficult to define real morphology structurally using the L-systems which are a grammatical rewriting system because L-systems represent genotype as loops, procedure calls, variables, and parameters. This paper defines a class of representations called structured directed graph, which is identified by its ability to define structures of the genotype in the translation to the phenotype, and presents an example of creating 3D flowers using a directed graph which is proper method to represent real morphology, and interactive genetic algorithm which decodes the problem with human's emotional evaluation. The experimental results show that natural flower morphology can be generated by the proposed method.

Key words : artificial life, structured directed graph, interactive genetic algorithm, graphics

1. 서론

인공생명이란 자율성, 적응성, 자기복제, 자기복구 등의 기능을 가지는 인공 시스템을 만들어내는 연구로 신타페 연구소의 C.G. Langton에 의해 처음 개념이 정립되어 지금까지 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 이 인공생명 기법의 대표적인 응용 분야 중 하나로 진화알고리즘을 이용한 인공 개체의 생성에 관한 연구 또한 활발히 진행되고 있는데, 사용자가 원하는 행동 또는 모양을 가지는 개체를 자동으로 생성하는 중에 예상하지 못

한 새로운 개체가 만들어질 수 있는 좋은 특성이 있기 때문이다. 최근에 인공생명 기법은 컴퓨터 그래픽스, 게임 캐릭터의 생성, 컴퓨터 아트의 한 방법론으로 부각되고 있다[2].

진화알고리즘을 이용한 개체의 자동 생성에 사용되는 대표적인 기법으로는 방향성 그래프(directed graph)와 L-system (Lindenmayer system)이 있다. 방향성 그래프는 K. Sims가 제안한 방법으로 노드와 에지로 이루어진 그래프로 개체의 모양을 표현하는 방법이다[3]. 이 방법의 장점은 표현된 개체를 사용자가 직관적으로 알기 쉽고 원하는 개체 모양의 구조를 비교적 빠르고 쉽게 정의할 수 있다는 것이다.

L-system은 생물학자인 A. Lindenmayer에 의해 제안된 것으로 수학적 형식 언어로 이루어진 규칙의 집합이다[4]. 지역적인 규칙으로 단순한 개체를 계속적으로

* 본 연구는 한국 학술진흥재단의 지원에 의한 것임.

* 학생회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과

solusea@candy.yonsei.ac.kr

** 종신회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과

sbcho@csai.yonsei.ac.kr

논문접수 : 2003년 8월 1일

심사완료 : 2003년 11월 24일

바꾸어 나감으로써 결과적으로 복잡한 개체를 만들어 내는 방법이다. 이 방법의 장점은 대칭적인 모양을 가지는 개체를 만들어내기가 쉽고 지역적인 현상들을 분석하여 하나의 큰 현상을 만들어 내는 것이 인공생명의 접근 방법과 잘 맞아 떨어진다라는 것이다.

본 논문에서는 실제모양의 자연스러운 꽃을 진화기법으로 자동 생성하기 위한 방법으로 구조적인 방향성 그래프를 이용하여 꽃의 구조를 표현하고 대화형 유전자 알고리즘을 이용하여 모양을 진화시키는 방법을 제안하였다. 논문의 나머지 내용은 다음과 같다. 2장에서는 진화기법을 이용한 개체의 자동생성에 관한 연구를 알아보고 3장에서는 제안하는 방법인 구조적 방향성 그래프와 대화형 유전자알고리즘에 대하여 살펴보겠다. 4장에서는 제안한 방법의 실험 결과를 분석한 후 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대하여 언급하도록 하겠다.

2. 관련 연구

L-system을 이용한 연구는 내부적인 파라미터와 규칙을 이용하여 지역적으로 대칭모양을 띠는 개체의 생성에 적합하여 주로 식물의 형태를 생성해내는데 유용하다고 알려져 있고 많은 연구가 진행되어 왔다. Pollack 그룹은 기존의 L-system에 개체의 운동을 조절하는 신경망을 결합하여 개체의 모양과 행동을 동시에 진화시킬 수 있도록 하였다[5]. L-system의 장점을 부각시키는 연구는 Prusinkiewicz, Lindenmayer 그리고 McCormack에 의해 식물의 모양과 함께 적합한 행동을 생성하는 연구 및 식물의 성장 과정에서 나타나고 있다[6,7].

방향성 그래프를 사용한 연구는 K. Sims가 대표적이다. K. Sims는 방향성 그래프로 개체의 모양과 행동을 동시에 표현하고 물리법칙을 이용하여 적합도를 평가함으로써 걷기, 수영하기 등의 행동을 하는 개체를 만들어 냈다[8]. 이 방법은 모양과 행동을 동시에 진화시킴으로써 목표하는 모양을 만들어내고 환경에 적합하게 행동하는 개체를 생성할 수 있다는 장점이 있다. 진화되는 개체들의 표현 방식으로 방향성 그래프를 이용함으로써 다양한 모양의 개체를 생성하고 nested graph를 이용해 개체의 모양과 행동의 경쟁적인 진화로 캐릭터를 생성했다[9]. B. Lintermann등은 다양한 꽃과 나무를 표현할 수 있는 방향성 그래프를 정의한 후 사용자가 그래프를 이용하여 쉽게 식물의 모양을 생성할 수 있도록 일반화 하였다[10]. 그래프 기반의 데이터 구조를 이용해서 개체를 생성한 것으로 J. Pollack의 GOLEM이 있다[11]. J. Ventrella의 스틱을 이용한 개체는 파라미터의 고정된 길이 벡터 값을 이용해서 개체를 생성하고

개체의 유전자를 재사용한다. 스틱을 이용한 Framsticks라는 시뮬레이터는 선형으로 철차를 조합하여 개체를 생성한다[12]. J. Bongard와 R. Pfeifer는 유전자를 표현하는 규칙들의 집합을 정의하여 개체의 행동을 생성했다[13].

L-system과 방향성 그래프를 이용한 두 방법 모두 개체의 표현에 좋은 방법이지만 L-system은 개체의 유전자를 표현하기 위해서 파라미터를 이용한 형식언어의 문법을 정의하고 문법에서 규칙을 반복적으로 이용함으로써 개체의 동일한 부분을 생성한다. L-system은 이렇게 내부적인 파라미터로 표현하기 때문에 표현형에 대한 전체적인 구조를 알기 어렵고 규칙에 의해 생성된 표현형을 확인해야 한다. 본 논문에서는 이를 극복하기 위하여 구조적 방향성 그래프로 실제 개체의 전체적인 구조를 알기 쉽게 표현하는 방법을 도입하여 진화를 거듭하여도 결과물이 실제세계의 모습과 어느 정도 같은 모습을 유지할 수 있도록 하였다. 그리고 꽃의 자연스러운 모양을 자동으로 생성하기 위해 사용자의 감성적 평가 방법을 이용하는 대화형 유전자 알고리즘을 적용했다.

B. Lintermann의 그래프를 이용한 식물 모양의 생성은 사용자가 쉽게 모양을 생성할 수 있도록 식물의 구조를 트리 모양으로 표현하고 일반화된 인터페이스를 제공했는데, 본 논문에서는 대화형 유전자 알고리즘을 적용함으로써 자동으로 자연스러운 꽃 모양을 생성할 수 있도록 하였다. 이것은 사용자가 생성하고자 하는 모양의 유전자 각각을 그래프나 트리모양으로 정의하여 식물의 뻗어나가는 구조를 트리로 생성는 반면에 제안하는 방법은 방향성 그래프로 구조를 정의하고 표현형의 각 부분의 종류를 노드에 추가함으로써 같은 구조의 다른 모양을 생성할 수 있는 장점이 있다. 또한 기존의 연구는 실험에 대한 정량화된 평가가 없었는데, 본 논문에서는 실험 분석에 있어서 주관적인 테스트와 만족도 테스트 등의 다양한 분석 방법을 통해 수렴하는 것을 보였다.

3. 제안하는 방법

관련 연구에서 언급했듯이 식물이나 꽃 모양을 생성하기 위해 L-system에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. L-system을 이용해서 개체를 생성하고 진화를 통해 성장 및 소멸하는 모양의 생성은 내부 파라미터 및 반복된 명령어를 통해 이루어지므로 실제 모양의 구조를 정의하기 어렵고 표현형을 유추하는 것에 제약이 따른다. 또한 개체의 자동 생성을 위하여 진화 알고리즘을 이용하는데, 진화 알고리즘은 적합도 평가의 기준을 명확히 설정해야 한다. 그러나 자연스러운 꽃 모양을 생성하기 위한 적합도 평가는 사람의 감성적인 평가가 필요

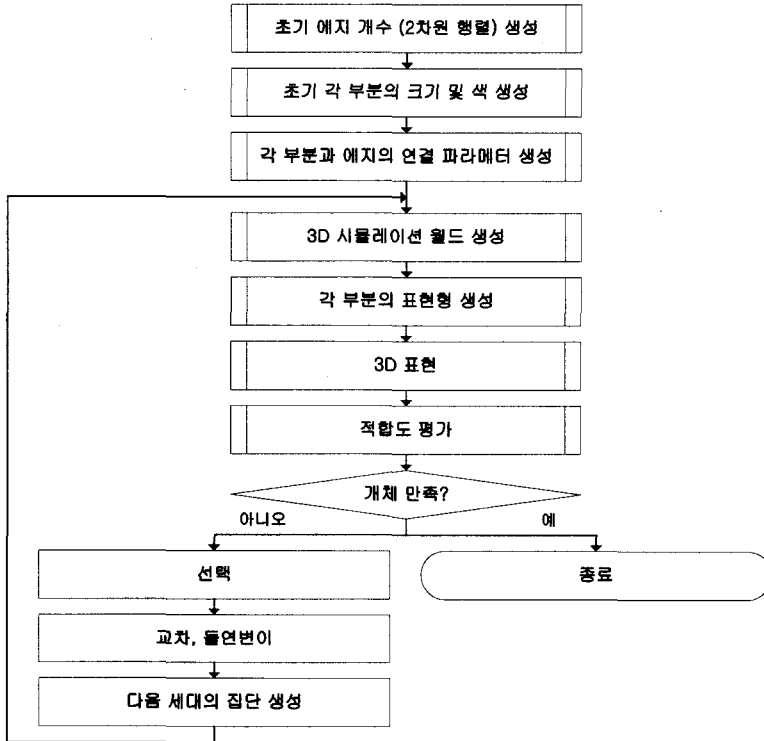


그림 1 제안한 방법의 작동과정

하므로 일반 진화 알고리즘에 적용하기 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 실제 모양의 구조를 유전자형으로 표현하는 구조적 방향성 그래프와 자연스러운 모양의 자동 생성을 위한 대화형 유전자 알고리즘을 제안한다. 그림 1은 제안하는 방법의 전체적인 작동과정이다.

3.1 구조적 방향성 그래프

방향성 그래프의 노드와 에지를 이용하여 개체의 구조를 생성한다. 방향성 그래프의 노드는 개체의 각 파트의 정보인 종류, 크기, 색 등의 정보를 가지고 있고 에지는 각 파트의 연결 정보인 위치와 방향 그리고 연결할 에지의 개수에 대한 정보를 가지고 있다. 그림 2는 꽃의 구조에 대하여 방향성 그래프로 나타낸 모습이다[14].

방향성 그래프 $DG = (V, E)$ 에서 E 에 속하는 각각의 에지는 두 정점 V 의 순서쌍으로 이루어진다. 그림 2에 표시된 방향성 그래프에서의 정점과 에지는 다음과 같다.

- $V(DG) = \{줄기, 가지, 꽃받침, 꽃잎, 잎\}$
- $E(DG) = \{<줄기, 줄기>, <줄기, 가지>, <줄기, 꽃받침>, <가지, 가지>, <가지, 잎>, <꽃받침, 꽃잎>\}$

$DG = (V, E)$ 에서 $|V| = 5$ 이므로 G 의 인접 행렬은 5×5 행렬로 나타낼 수 있는데 행렬의 각 원소는 다음과 같이 정의된다.

$$a_{ij} = \begin{cases} n, & (v_i, v_j) \in E(DG) \text{인 경우} \\ n/r, & (v_i, v_j) \in E(DG) \text{인 경우} \\ 0, & \text{그 이외의 경우} \end{cases}$$

위의 식에서 n 은 에지의 개수이고 r 은 에지의 반복되는 회수이다.

생성하고자 하는 개체의 세부 구조로 방향성 그래프의 노드와 연결 관계인 에지를 정의하고 각 노드와 에

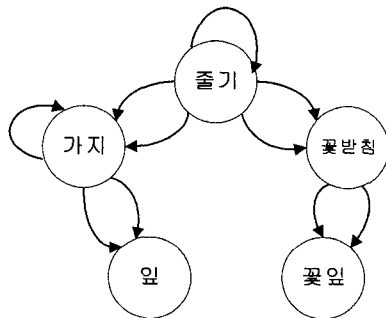


그림 2 방향성 그래프를 이용한 꽃의 표현

지에서의 파라미터 정보는 진화에 의해 자동으로 생성될 수 있다. 이렇게 구조적 방향성 그래프로 개체를 정의함으로써 생성하고자 하는 개체의 전체적인 구조를 쉽게 정의할 수 있으며, 실제 결과인 표현형에 대한 빠른 피드백을 얻을 수 있다. 표 1은 그림 2의 꽃 구조를 유전자형인 방향성 그래프의 노드와 에지의 연결 개수와 관계의 2차원 행렬로 표현한 예이고, 그림 3은 이 유전자형으로 생성된 실제 표현형이다. 표에서 n 은 연결될 수 있는 에지의 개수이고 r 은 개체의 부분이 반복되는 회수로서 임의로 생성될 수 있다. 행렬에서 (v_i, v_j) 는 각 n 개의 에지에 대해 r 번의 반복이 가능하며 이것은 같은 노드를 여러 개의 에지로 연결할 수 있음을 의미하고 (v_i, v_i) 는 n 개의 에지로 연결됨을 의미한다. 예를 들어 줄기 노드와 가지 노드에 n 개의 에지로 연결되어 있는 것은 줄기에 n 개의 가지를 연결할 수 있음을 나타낸다.

방향성 그래프로 유전자형을 표현하기 위해 노드는

표 1 꽃 구조의 유전자형에서 에지와 노드의 관계

노드	줄기	가지	꽃받침	꽃잎	잎
줄기	n/r	n	n	0	n
가지	0	n/r	n	0	n
꽃받침	0	0	0	n	0
꽃잎	0	0	0	0	0
잎	0	0	0	0	0



그림 3 유전자형으로 생성된 표현형

표 2 방향성 그래프를 이용한 유전자형

노드	색상
	크기
에지 [에지개수]	모양
	위치
	방향
	연결 형

꽃을 구성하는 구조 각각을 부분으로 정의하고 각 부분의 파라미터로는 색상, 모양, 크기가 있다. 그리고 각 노드의 연결을 나타내기 위해 에지의 개수와 에지가 반복되는 개수만큼 연결 파라미터로 위치, 방향, 연결형을 가지고 있다. 표 2는 방향성 그래프를 이용한 유전자형의 파라미터 정보를 보여준다.

3.2 3 차원 모양의 표현

유전자형의 표현에 있어서 각 부분의 방향과 위치는 뉴턴의 법칙을 이용해 정의하며 방향은 quaternion을 이용한 회전 방법을 이용한다. 3차원 좌표 표현에 있어서 $P=(x, y, z)$ 에서 $P'=(x', y', z')$ 으로의 변환은 행렬을 이용해서 세 개의 방정식인 $x' = x + t_x$, $y' = y + t_y$ 그리고 $z' = z + t_z$ 으로 나타낼 수 있다. 여기에서 t_x , t_y , t_z 은 각각 x 축, y 축, z 축의 변환 거리이다. x , y , z 축을 기준으로 회전시키는 위치의 변환은 각각 다음의 행렬을 이용해서 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x \text{ 축 기준} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y \text{ 축 기준} \\ \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} z \text{ 축 기준} \\ \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3차원에서 방향의 quaternion 표현은 위치 (x', y', z') 을 y 축을 기준으로 θ 만큼 회전했을 경우에 quaternion (w, x, y, z) 에서 w, x, y, z 는 다음 식으로 구해진다[15].

$$\begin{aligned} w &= \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ x &= x' \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ y &= y' \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ z &= z' \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{aligned}$$

3.3 대화형 유전자 알고리즘

생물의 진화 과정을 모방한 대화형 유전자 알고리즘은 적합도 함수가 명시적으로 정의되어 있지 않고 적합도 평가가 애매한 문제에 사용되는 최적화 방법이다[16]. 이 알고리즘은 유전자 알고리즘에서 적합도 평가 부분을 사용자가 평가하도록 변형한 것으로 사용자가 각 개체에 대해 직접 적합도를 평가함으로써 개인의 감성을 진화 과정에 적용시킬 수 있는 장점이 있다. 주어

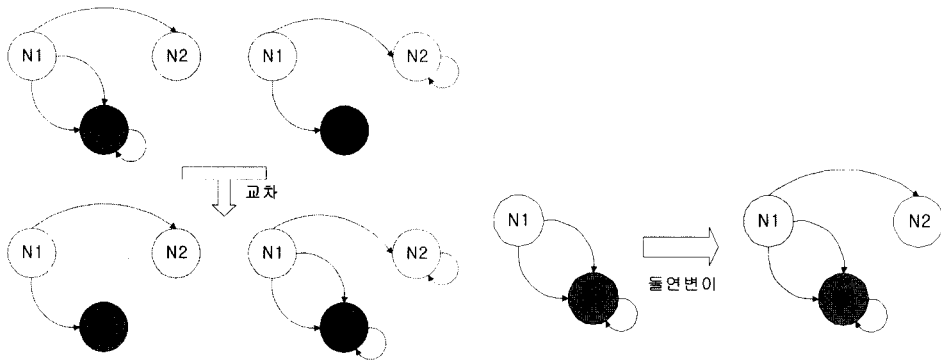


그림 4 대화형 유전자 알고리즘의 연산자

진 문제인 꽃 개체의 자연스러운 모양에 대한 적합도를 평가하기 적절한 알고리즘으로, 정량적인 평가가 어려운 문제에 적합하다.

그림 4는 대화형 유전자 알고리즘에서 방향성 그래프의 진화연산자이다. 선택된 개체에 대해 교차와 돌연변이가 가능한데, 교차 연산은 각 개체에서 임의로 선택된 노드의 에지 개수와 파라미터가 교차된다. 돌연변이는 개체에서 각 노드의 파라미터와 에지의 개수 및 에지를 이루고 있는 파라미터에서 변이가 발생한다. 그림 4의 교차 연산을 보면 첫 번째 개체의 노드(N1, N2, N3)와 두 번째 개체의 노드(N1, N2, N3)에서 각각 {N1, N2}와 {N3}가 교차되는 경우인데 교차 연산을 하고 난 결과 자식은 첫 번째 개체가 {N1, N2}는 첫 번째 부모에게서 물려받고 {N3}는 두 번째 부모에게서 물려받은 것을 보여준다. 두 번째 자식은 첫 번째 부모에게서 {N3}를 물려받고 두 번째 부모에게서 {N1, N2}를 물려받았다. 그리고 연결된 에지도 연결되는 노드에 따라 함께 물려받게 된다. 그림 4에서 돌연변이 연산은 {N1, N3}의 노드를 가지고 있던 부모가 N3노드에 돌연변이를 일으켜서 노드를 구성하고 있는 정보와 에지 정보가 변경됨을 보여준다.

대화형 유전자 알고리즘을 이용하여 방향성 그래프의 노드를 유지하고 에지의 개수와 파라미터 값을 변경함으로써 꽃의 기본구조로부터 성장된 다양한 모양을 생성한다. 예를 들어서 줄기, 가지, 꽃받침, 꽃잎 그리고 잎으로 정의된 5개의 노드에서 {줄기, 잎}과 {가지, 꽃받침, 꽃잎}에 교차 연산이 발생한다면 두 개체에서 각각의 노드를 교차시키고 에지의 개수와 에지에 관련된 파라미터가 같이 교차한다. 이 교차 연산으로 첫 번째 부모의 {줄기, 잎}의 형질과 두 번째 부모의 {가지, 꽃받침, 꽃잎}의 형질이 두 번째 자식에게 나타나고, 첫 번째 부모의 {가지, 꽃받침, 꽃잎}의 형질과 두 번째 부모

의 {줄기, 잎}의 형질이 첫 번째 자식에게 나타나게 된다. 그림 4에서 표현된 방향성 그래프는 그림 5에서의 2차원 행렬로 각각의 노드와 에지의 관계를 표현할 수 있는데 그림 5와 그림 6은 이 방법을 이용한 대화형 유전자에서 교차 연산의 예를 보여주고 있다.

줄기	잎	가지	꽃받침	꽃잎	줄기	잎	가지	꽃받침	꽃잎
3	0	2	1	0	2	0	3	1	0
0	2	2	1	0	0	3	2	1	0
0	0	0	0	10	0	0	0	0	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

×

줄기	잎	가지	꽃받침	꽃잎	줄기	잎	가지	꽃받침	꽃잎
2	0	2	1	0	3	0	3	1	0
0	3	2	1	0	0	2	2	1	0
0	0	0	0	10	0	0	0	0	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

↓

줄기	잎	가지	꽃받침	꽃잎	줄기	잎	가지	꽃받침	꽃잎
2	0	2	1	0	3	0	3	1	0
0	3	2	1	0	0	2	2	1	0
0	0	0	0	10	0	0	0	0	12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

그림 5 대화형 유전자 알고리즘에서 교차연산의 예

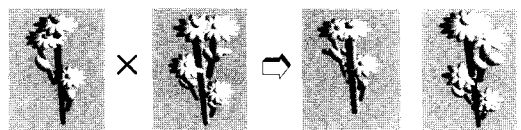


그림 6 대화형 유전자 알고리즘에서 교차연산 표현형의 예

4. 실험 및 결과

4.1 실험 환경

실험에서는 제안하는 방법으로 꽃의 구조를 설계하고 에지와 각 개체의 부분에 대한 파라미터 값의 변화에 따라 임의의 값으로 개체를 생성시킨 후 대화형 유전자 알고리즘으로 개체를 평가했다. 시뮬레이터로는 상용 프로그램인 3D MathEngine으로 3D 환경에서 표현형의

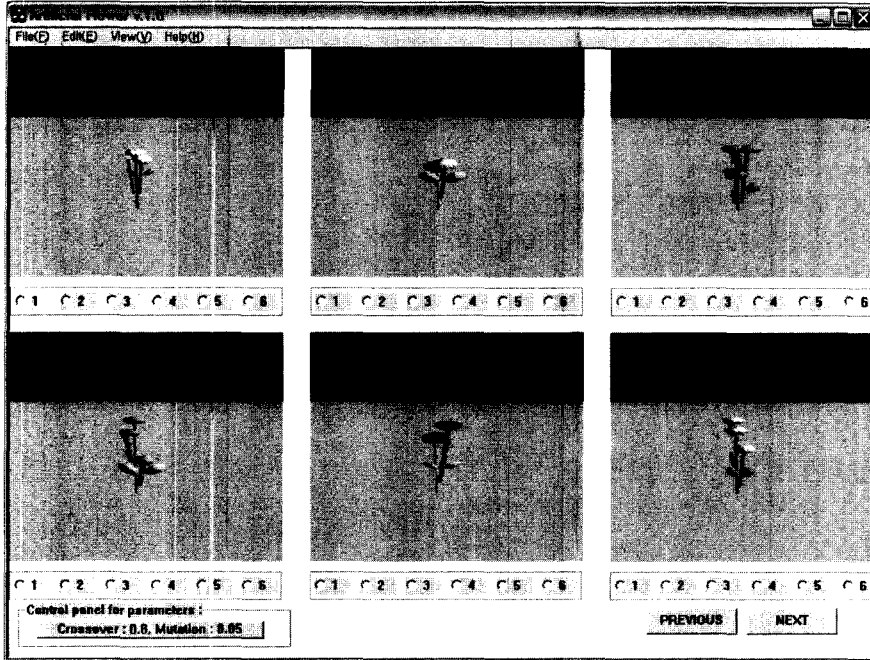


그림 7 개발한 시스템의 인터페이스

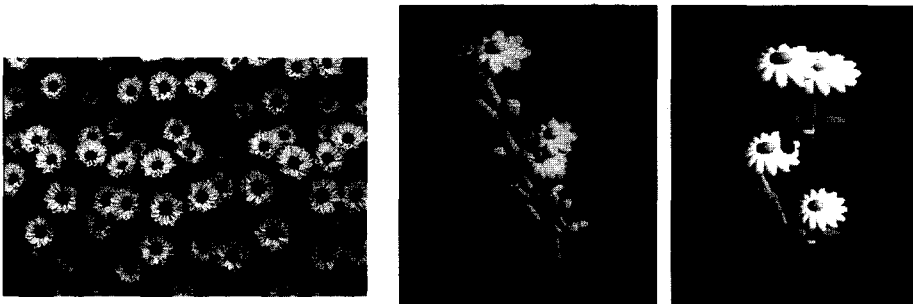


그림 8 평가에 사용한 실제 꽃 모양(좌)과 실험을 통해 생성된 꽃 모양(우)

개체에 대한 모양과 움직임을 위한 API를 사용했다[17]. 뉴턴의 물리법칙을 이용하여 3D 공간상의 위치와 방향을 정의하고 표현할 수 있으며 기본적으로 제공되는 도형으로 육면체, 실린더모양, 타원형, 콘 모양을 각 개체의 부분으로 이용했다.

그림 7과 같이 전체 개체수는 6개이며 적합도는 6단계로 나누어 평가할 수 있도록 대화형 유전자 알고리즘 인터페이스를 구성하였다. 그림 8은 피험자들의 평가에 사용한 실제 꽃 모양과 생성된 개체의 모양을 캡처한 그림이다. 방향성 그래프의 노드는 꽃의 줄기와 잔가지, 꽃잎과 꽃받침 그리고 잎의 5개로 나뉘어져 있고 각 노드는 임의로 생성된 값의 에지로 연결된다.

실험에서 각 개체는 6개, 세대수는 10세대로 정했고

진화된 집단에 대해서 80% 교차 연산율과 5%의 돌연변이 연산을 적용하였다. 그리고 13명의 피험자에게 대화형 유전자 알고리즘의 평가를 내리도록 하였다. 대화형 유전자 알고리즘은 일반적인 유전자 알고리즘과는 달리 주관적 평가에 기반하여 작동하기 때문에 정량적인 분석으로 수렴성을 보이기 어렵다. 평가를 위한 방법으로 수렴성 테스트, 스키마 분석법, 그리고 Shéffe의 쌍비교법을 이용했다[16].

4.2 수렴성 테스트

수렴성 테스트는 피험자들이 평가한 적합도의 평균값 변화를 이용하는 방법이다. 이를 위해 13명의 피험자에게 자연스러운 꽃 모양으로 생성되는 개체에 높은 점수를 주도록 하였다. 그림 9는 13명의 평균 적합도와 최대

적합도를 보여준다. 그림에서 가로축은 세대수이고 세로축은 1부터 10까지의 적합도이다. 대화형 유전자 알고리즘을 이용해서 세대를 거침으로써 자연스러운 꽃에 가까운 모양을 생성할 수 있음을 알 수 있다.

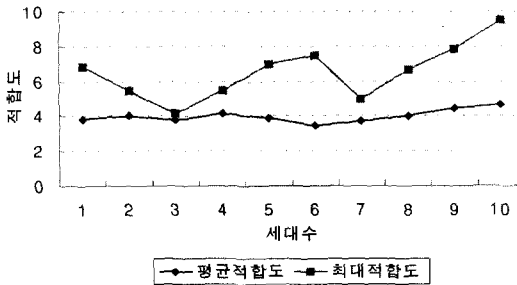


그림 9 자연스러운 꽃 모양으로 평가한 적합도의 변화

4.3 스키마 분석

스키마 분석방법은 마지막 세대에서의 최적 개체를 근사해로 가정하고 각 세대에서의 개체들에 포함된 각 부분의 빈도수를 분석하는 방법이다. 이 분석방법은 대화형 진화 연산을 통해 발견된 우수한 형질이 어떻게 효율적으로 보존되어져 가는지를 보여준다.

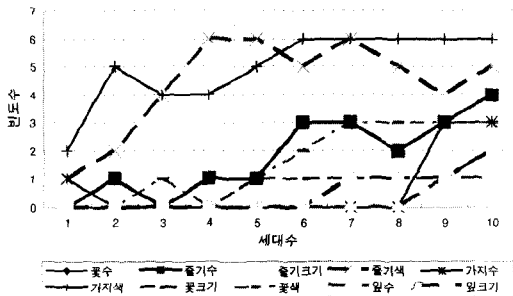


그림 10 근사해에 포함된 스키마 빈도수의 세대별 변화

그림 10은 근사해에 포함된 스키마 빈도수의 세대별 변화를 보여준다. 수렴성 테스트에서의 적합도 평가 중에서 랜덤하게 하나의 평가를 선택한 세대별 스키마의 변화를 보여주고 있다. 처음에 나타나지 않았던 형질이 세대가 변화될수록 증가하는 것을 알 수 있다. 이 분석을 위해 자연스러운 꽃 모양을 찾는 대화형 유전자 연산의 평가 중에서 임의로 하나의 평가를 선택하여 마지막 세대의 최적합 평가를 얻은 개체를 근사해로 가정하고 그 개체의 진화 과정을 스키마로 분석했다. 스키마는 정의된 노드에서의 종류와 색, 그리고 부분을 구성하는 개수이다. 각 노드는 꽃의 줄기, 가지, 꽃잎, 잎으로 구성하며 각 부분의 종류는 다른 모양을 넣어서 선택할

수 있는데 이 실험에서는 타원체 모양으로 지정했기 때문에 종류를 크기로 구분한다. 그림 11은 실험을 통해 마지막 세대에서 선택된 자연스러운 꽃 모양의 예이다.

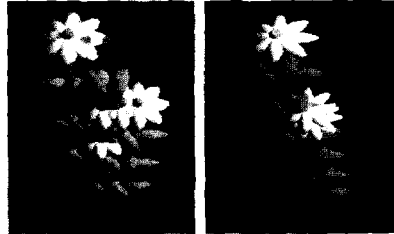


그림 11 실험을 통해 선택된 자연스러운 꽃 모양의 예

근사해에 포함된 스키마를 분석하기 위해 자연스러운 꽃 모양에 영향을 주는 것을 꽃 수, 꽃 크기, 꽃 색, 줄기 수, 줄기의 크기, 줄기 색, 가지의 수, 가지의 색, 그리고 잎 수와 잎의 크기로 정하였다. 각 파트의 크기와 색상 및 개수가 자연스러운 모양으로 평가하는데 영향을 줄 수 있다. 그림 10은 정해진 스키마에 대한 빈도수를 보여주고 있다. 근사해에 포함된 스키마가 처음에는 나타나지 않다가 세대를 거듭할수록 많이 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 12는 실험을 통해 생성된 6개체 8세대에서 개체 모양이 변화하는 과정을 보여준다. 교차는 우선순위로 발생하며 가장 높은 평가를 받은 두 개체의 교차하는 범위는 노드의 개수를 랜덤하게 선택한다. 그림은 각 세대에서의 평가값에 따라 나열한 것이다.

4.4 만족도 테스트

사용자가 시스템 성능에 얼마나 만족하는지를 알아보기 위해 Shéffe의 쌍 비교법을 이용하였다. 이 방법은 평가자로 하여금 시스템을 통해 생성된 개체를 임의로 선택하고 이 개체들 중에서 랜덤하게 상대적 기준이 되는 샘플을 정의한다. 그리고 이 상대적 기준과 대화형 유전자 알고리즘을 이용한 평가로 마지막 세대에 선택된 개체들을 일대일로 비교하여 분석함으로써 주관적인 평가가 되는 것을 피할 수 있도록 해준다.

이 테스트 방법을 위해 먼저 시스템을 통해 상대적 기준으로 정의할 200개의 샘플 자료를 추출한다. 그리고 3명의 피험자에게 이 모양들을 자연스러운 꽃 모양에 얼마나 가까운지 1부터 5까지의 5단계로 평가하도록 하였다. 다음에 3명이 부여한 점수의 평균을 구하여 자연스러운 꽃 모양의 10 개체를 선택한다. 이 개체들이 주관적인 평가를 피할 수 있도록 하는 기준이 된다.

다시 13명의 피험자에게 이 시스템을 이용하여 자연스러운 꽃 모양을 마지막 세대에서 선택하도록 하였다. 이렇게 선택된 개체와 이전의 작업에서 선택된 상대적

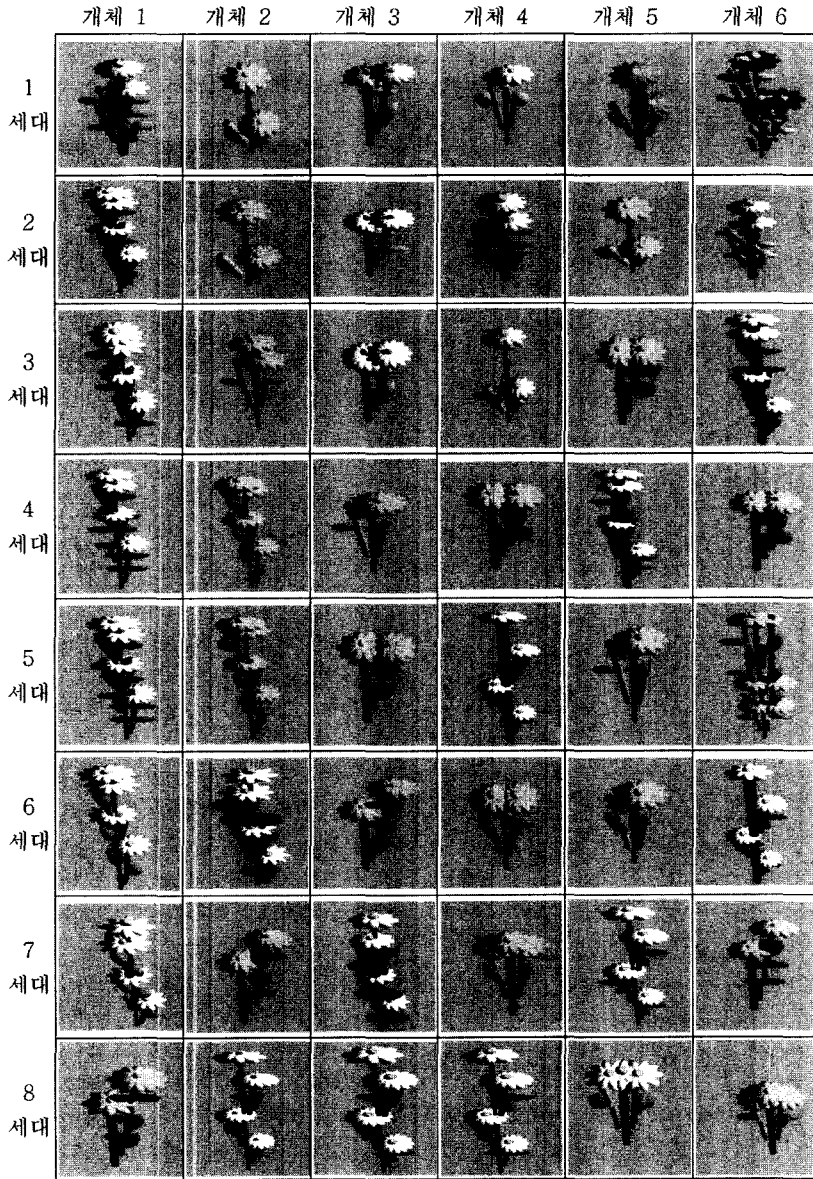


그림 12 실험을 통해 생성된 6개체 8세대에서 개체 모양이 변화하는 진화과정 예

기준들을 하나씩 비교하여 -3부터 3까지 7단계로 점수를 주고, 이 결과를 통계적으로 분석한다. 그림 13은 쌍비교법을 이용해서 사용자의 상대적 만족도를 95%와 99%의 신뢰도에서 보여준다. 대화형 유전자 알고리즘을 통하여 효과적으로 수렴하지 못했다면 이전에 선택한 평가기준과 13명의 피험자가 선택한 결과의 만족도가 큰 차이가 없고 신뢰도가 0에 가까울 것이다. 95%와 99%의 신뢰도에서 각각 1.0과 1.3점을 얻어 찾아낸 모양에 대해 상대적 만족도를 찾을 수 있었다.

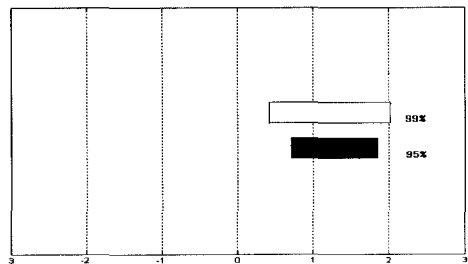


그림 13 쌍비교법을 이용한 상대적 만족도

5. 결론 및 향후연구

실제 모양의 구조로 제약사항을 갖는 구조적 유전자형을 정의함으로써 실제 개체와 유사한 모양을 가진 개체를 생성할 수 있으며 정량적인 평가가 어려운 문제에 대화형 유전자 알고리즘을 이용하여 적합도를 평가함으로써 개체를 자동적으로 생성할 수 있었다. 그리고 물리법칙을 이용하여 개체를 표현함으로써 3D에서의 모양과 발생과정을 표현했다. 대화형 유전자 알고리즘은 피험자에 의해 평가를 해야 하므로 많은 개체수와 세대수를 평가할 수 없다는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 지식 기반의 인코딩 방법이나 클러스터링 GA 그리고 NK-landscape가 연구되고 있다.

방향성 그래프를 이용한 염색체의 표현으로 그래프를 반복적으로 적용하여 유사한 부분에 대한 재생산성을 높일 수 있으며 그래프를 이용하여 구조적으로 표현함으로써 사용자에게 쉽게 구조를 알 수 있도록 한다는 장점이 있다. 생성된 모양과 함께 자연스러운 움직임 표현하는 문제와 다른 형태의 꽃에 관한 실험 그리고 다른 모양의 개체를 구조적으로 정의하여 생성하는 것에 대한 연구 및 개체의 다양성과 적은 평가로 많은 개체를 평가할 수 있는 방법으로 NK-landscape와 클러스터링 GA를 이용한 연구가 과제로 남는다.

참 고 문 헌

- [1] C. G. Langton, "Artificial life," *Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity*, vol. 6, pp. 1-44, Addison-Wesley, 1989.
- [2] L. Mignonneau and C. Sommerer, "Creating artificial life for interactive art and entertainment," *LEONARDO Journal*, vol. 34, no. 4, pp. 303-307, 2003.
- [3] A. Lindenmayer, "Mathematical models for cellular interaction in development. parts I and II," *Journal of Theoretical Biology*, vol. 18, no. 2, pp. 80-99, 1968.
- [4] G. S. Hornby and J. B. Pollack, "Creating high-level components with a generative representation for body-brain evolution," *Artificial Life*, vol. 8, no. 3, pp. 223-246, 2002.
- [5] P. Prusinkiewicz, M. Hammel, R. Mech, and J. Hanan, "The artificial life of plants," *Artificial Life for Graphics, Animation, and Virtual Reality*, vol. 7 of SIGGRAPH '95 Course Notes, pp. 1-1-1-38, ACM SIGGRAPH, 1995.
- [6] R. Mech and P. Prusinkiewicz, "Visual models of plants interacting with their environment," *Computer Graphics*, ACM Press, pp. 397-410, 1996.
- [7] J. McCormack, "Interactive evolution of L-system grammars for computer graphics modeling," *Complex systems: From Biology to Computation*,

D. Green and T. Bossomaier, Eds., ISO Press, Amsterdam, 1993.

- [8] K. Sims, "Artificial evolution for computer graphics," *Published in Computer Graphics*, vol. 25, no. 4, pp. 319-328, 1991.
- [9] K. Sims, "Evolving virtual creatures," *Computer Graphics, Annual Conference Series, SIGGRAPH '94 Proceedings*, pp. 15-22, 1994.
- [10] B. Lintermann and O. Deussen, "Interactive modeling of plants," *IEEE Computer Graphics*, vol. 19, no. 1, pp. 56-65, 1999.
- [11] H. Lipson and J. B. Pollack, "Automatic design and manufacture of robotic lifeforms," *Nature* 406, pp. 974-978, 2000.
- [12] J. Ventrella, "Explorations in the emergence of morphology and locomotion behavior in animated characters," *Proceedings of the Forth Workshop on Artificial Life*, pp. 463-441, 1994.
- [13] J. C. Bongard and R. Pfeifer, "Repeated structure and dissociation of genotypic and phenotypic complexity in artificial ontogeny," *Genetic and Evolutionary Computation Conference*, pp. 829-836, 2001.
- [14] University of Oklahoma's botany 1114, "Flowers and flower morphology," <http://bomi.ou.edu/bot1114/botany10/lab/flowers/flower10.html>
- [15] D.Hearn and M. P. Baker, *Computer graphics, Published by Prentice Hall Inc.*, 1997.
- [16] H.-S. Kim and S.-B. Cho, "Application of interactive genetic algorithm to fashion design," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 13, no. 6, pp. 635-644, 2000.
- [17] T. Taylor and C. Massey, "Recent developments in the evolution of morphologies and controllers for physically simulated creatures," *Artificial Life*, vol. 7, no. 1, pp. 77-87, 2001.



민 현 정

1995년 2월 연세대학교 수학과(이학사)
1995년 2월~2001년 12월 이스텔 시스템즈 무선통신 개발. 2003년 3월 연세대학교 컴퓨터과학과(석사과정). 관심분야는 인공지능, 로보틱스, 인공생명

조 성 배

정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용
제 31 권 제 1 호 참조