

# Artificial Life

한국 퍼지 및 지능시스템학회 추계학술대회

중앙대학교 전자전기공학부  
교수 심귀보  
Kbsim@cau.ac.kr

## What is Artificial Life?

생물학적 현상의 이해와 이를 통한 생명의 특성을 모방한 인공시스템에 관한 연구

이미 알고 있는 생명  
(life as we know it)

↓

생물학적 현상의 이해

있을 수 있는 생명  
(life as it could be)

↓

인공시스템 (Software, hardware, wetware) 구현

**인공생명의 접근방식**

합성(Synthesis)적 접근법

↑

창발행동(Emergent behavior) : 저수준의 단순한 규칙들의 적용으로 고수준의 복잡한 행동이 자발적으로 나타나는 현상  
ex) 환경에 대한 개미들의 단순한 행동을 → 개미군 흔적을 따라가는 복잡한 행동이 나타남

중앙대학교 전자전기공학부 29-2

## Cont.

**생명의 특징 : 자기재생산, 적응, 학습, 자율성, 진화, 자기유지 등**

- 정보(Information) : 생명은 형태와 기능을 지어 하려, 특제되고 전달되는 정보이다.
- 과정(Process) : 생명의 본질은 과정이지 물리적구조가 아니다.

인공생명에서는 '생명체의 형태 자체보다는 정보로서의 기능과 과정을 연구의 대상으로 삼는다.  
ex) 사람팔을 모방한 로봇 팔(x) 발생과정을 통해 생성한 로봇 팔(o)

**인공생명의 방법들**

- 적응행동 모델: Classifier System, Neural Network, Immune System
- 진화연산 모델: 유전자 알고리즘(GA), 강화진화(ES), 진화 프로그래밍(EP), 유전자 프로그래밍(GP), 공진화
- 발생-세포 모델: Lindenmeyer System(L-System), Cellular Automata(CA)

중앙대학교 전자전기공학부 29-3

## 생체 시스템 모델

중앙대학교 전자전기공학부 29-4

## 자기 재생산(Self Reproduction)

폰 노이만이 생명의 자기복제의 논리를 밝힌 것이 인공생명의 결정적 탄생 배경  
폰 노이만의 자기 재생산 오토마톤

노이만이 상상한 최초의 자기 재생산 오토마톤은 29가지 상태를 갖는 20만 여개의 Cell들로 이루어진 일종의 거대한 컴퓨터

크게 3개의 구성요소로 이루어짐

Factory : 환경으로부터 물질을 수집하여 명령에 따라 조립하고 그 결과물을 다른 구성요소로 공급

- Duplicator : 정보로 이루어진 명령을 읽고 그 명령을 복제
- Computer : 제어 장치

자신을 생산하기 위하여 재료를 모으고, 환경하여 자신만 복제자와 컴퓨터를 만들고 재생산 명령이 담긴 테이프를 자신에게 전달함으로써 새로운 '번식력'을 갖게 함 → 후에 DNA의 번역과 전사의 개념과 동일한 것으로 밝혀짐

중앙대학교 전자전기공학부 29-5

## Cont. (Self-Replication Loop)

**아담 루프(Adam's Loop)**

크리스 랭턴의 자기 재생산 루프는 93개의 Cell들이 8가지의 상태 중 하나를 가지며 자기 복제된 자식 루프를 생성

- 다음 세대의 생물의 행동을 지시하는 규칙에 따라 팔을 생성
- 상단 중분히 성장시켜 자식 루프를 생성
- 자식 루프의 외형이 부모와 같게 되면, 적체 정보를 전달
- 두 루프의 크리와 새로운 재생산 메커니즘 가동

중앙대학교 전자전기공학부 29-6



### 발생·발달 모델(Ontogenetic Models)

#### Lindenmayer System

- L-시스템 : 일종의 재적용 알고리즘(string rewriting mechanism)  
L-시스템에서 사용되는 용어들은 다음과 같이 정의된다
- 문자(Alphabet)  $\Sigma$  : 원소 또는 도자들의 유한집합  
ex)  $\Sigma = \{a, b, c\}$
- 문자열의 집합  $\Sigma^*$  : 집합  $\Sigma$ 에서 정의된 실록들의 연속된 문자열 집합  
ex)  $\Sigma^* = \{a, b, c, ab, bc, ca, aach, aabccc, \dots\}$
- 초기문자(Axiom)  $\alpha$  : 집합  $\Sigma^*$ 의  $\emptyset$ 가 아닌 임의의 한 원소이며, L-시스템은 이 초기 문자열부터 생성규칙에 의해 생성된다  
ex)  $\alpha = a$

중앙대학교 전자전기공학부 29-13

### Cont. (L-System)

- 생성규칙(Production Rule)  $\Pi$  : 하나의 실물  $a \in \Sigma$ 에 대한 문자열  $w \in \Sigma^*$ 의 대응  
ex)  $a \rightarrow ab$   
 $b \rightarrow a$
- 언어(Language)로서 L-시스템의 문법 G는 다음과 같이 표현한다  
 $G = \{ \Sigma, \Pi, \alpha \}$
- 단  $\Sigma$ 은 문자의 집합,  $\Pi$ 는 생성규칙의 집합( $\Pi = \{ \pi \mid \pi : \Sigma \rightarrow \Sigma^* \}$ ),  $\alpha$ 는 초기문자열이다
- Example  $G = \{ \Sigma, \Pi, \alpha \}$   
 $\Sigma = \{A, B, C\}$   
 $\Pi = \{A \rightarrow BA, B \rightarrow CB, C \rightarrow AC\}$   
 $\alpha = ABC$   
이런 식으로 생성되는 언어는  
 $L = \{ABC, BACBAC, CBBAACCBAAAC, \dots\}$

중앙대학교 전자전기공학부 29-14

### Cont. (L-System의 종류)

- 문맥자유 L-시스템(context free L-system) 0L-system
- 문맥의존 L-시스템(context sensitivity L-system) 1L-system 2L-system
- Bracketed L-시스템(Bracket L-system)  
[ ] 기호를 이용하여 모듈구조나 나무의 가지들 표현하기 위해 고안된 L-시스템
- 파라미터 L-시스템(Parametric L-system)  
기본적인 L-시스템을 확장하여 파라미터의 조건(condition of parameter)을 포함한 조건부 문맥이 일치하였을 때 생성규칙이 적용되는 L-시스템  
기본 형 Predecessor with parameter : Condition of parameter  $\rightarrow$  Successor with parameter
- 지도형 L-시스템(Map L-system)  
어떤 영역을 둘러싸고 있는 경계에 대한 생성 규칙을 이용해 지도를 형성해 나가는 L-시스템 지도 형성 및 영역분할(세포 분할) 알고리즘에 사용됨

중앙대학교 전자전기공학부 29-15

### Cont. (L-System의 예)

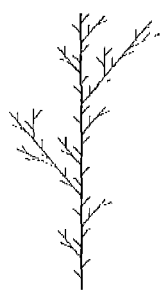
#### Bracketed L-시스템의 예

$$\Sigma = \{F, +, -, [, ]\}$$

$$\alpha = F$$

$$\Pi = \{ F \rightarrow F[+F]F[-F]F \}$$

F draw a line in the current direction  
+ rotate  $\beta$  to the left  
- rotate of  $\beta$  to the right



3 level growth

중앙대학교 전자전기공학부 29-16

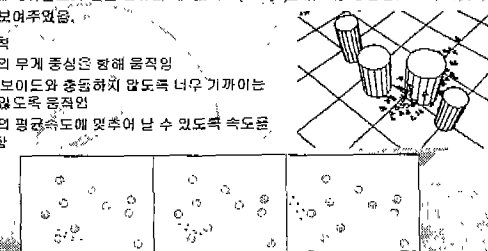
### Emergence

**창발** : 부분간의 국소적인 상호작용의 결과로 전체가 나타나고, 그 전체가 부분의 환경이 되어 그것에 의해서 지배되는 새로운 질서가 형성되는 현상

크레이그 레이놀즈가 만든 컴퓨터 시뮬레이션 '보이드(boild)'는 놀라운 창발성으로 무리짓기 행동을 보여주었음.

행동규칙

- 우리의 무게 중심은 향해 움직일
- 다른 보이드와 충돌하지 않도록 너무 가까이 가지 않도록 움직일
- 우리의 평균속도에 맞추어 날 수 있도록 속도를 조절할



우리의 지어 상대를 공격하는 보이드

중앙대학교 전자전기공학부 29-17

### Cont. (Subsumption Architecture)

- 주변 환경(세계)에 대한 검색할 모델링이 필요치 않음
- 각각의 행동들은 분산적이고 병렬적으로, 또한 서로 비충격적으로 일어난다
- 복잡하고 변화하는 환경에 대하여 빠르게 실시간으로 대처할 수 있음
- 낮은 수준의 행동들은 실시간 대처할, 보다 높은 행동들은 목표 달성을 할 수 있게 하는 상향식(bottom-up) 구조

기존의 인공지능 방법

입력  $\rightarrow$  인식  $\rightarrow$  모델결계획  $\rightarrow$  작업 수행  $\rightarrow$  동작 제어  $\rightarrow$  출력

포섭구조(SA)

수준

대상식별

입력  $\rightarrow$  지도작성  $\rightarrow$  출력

단서

장애물 회피

정보처리의 병목현상 발생

정보처리의 병목현상 발생 인함  
군중과 같이 환경세계에 능동 반응

중앙대학교 전자전기공학부 29-18

### 응용(Application)

#### 인공생명 두뇌(A-life Brain)

생물학적인 구조 뿐만 아니라 생성과정 등을 폭 넓게 활용하여 연구 범 자연계의 3가지 자기조직화 현상

발생 (development) → 진화 (evolution)

Artificial Brain

- Evolutionary Process: Genome, Developmental Process, Fitness
- Learning Process: Critic, Brain
- Environment: Input, Reaction, Reward

중앙대학교 전자전기공학부 29-19

### AMR의 협조행동

#### Reinforcement learning (learning)

Selection, crossover, and mutation are executed communication distributively

Distributed genetic algorithm (evolution)

중앙대학교 전자전기공학부 29-20

### Cont.

Ⓜ : Autonomous Mobile Robots    Ⓜ : Obstacle    Ⓜ : Object

중앙대학교 전자전기공학부 29-21

### Biological DNA

4 염기 : Adenine(A) Thymine(T) Guanine(G) Cytosine(C)  
 코돈(codon) : 3개의염기로 구성된 기본 의미 단위로 하나의 아미노산물 코드화

	U	C	A	G	
U	UUU Phenylalanine	UCU Serine	UAU Tyrosine	UGU Cysteine	U
	UUC	UCC	UAC	UGC	C
	UUA	UCA	UAG STOP	UGA STOP	A
C	CUU Leucine	CCU Proline	CAU Histidine	CGU Cysteine	U
	CUC	CCU	CAA	CGA	C
	CUA	CAG	CAC	CGG	A
A	AUU Isoleucine	ACU Threonine	AUU Asparagine	AGU Serine	U
	AUC	AAC	AUA	AUG	C
	AUA	AAA	AAG	AAA	A
G	GUU Valine	GAU Alanine	GAU Aspartic acid	GGU Glycine	U
	GUC	GCC	GAC	GGC	C
	GUA	GCA	GAA Glutamic acid	GGA	A
	GUG	GCG	GAG	GGG	G

중앙대학교 전자전기공학부 29-22

### DNA Coding

#### DNA 코딩

- 염색체의 구조 : 4개의 염기(A,T,G,C)를 기본으로 하는 일종의 4진 시스템
- 해석단위 : 3개의 염기 단위로 해석(코돈)
- 번역의 단위 : 시작코돈(일반적으로 ATG)이 나오면 번역을 시작하며 번역이 끝나거나 종료 코돈이 나오면 번역을 종료

#### 생물학적 DNA와 DNA 코딩의 비교

	생물학적 DNA	DNA 코딩
코돈	아미노산을 암호화 하는 최소단위	규칙의 최소 의미단위
시작코돈	번역의 시작점	번역의 시작점
종료코돈	번역의 종료점	번역의 시작점
번역 결과물	단백질, 효소	규칙

중앙대학교 전자전기공학부 29-23

### Cont.

#### DNA 코딩의 특징

- 염색체의 길이가 가변적이다.
- 교차점이 강제적으로 주어지지 않는다.
- 코딩에 허분과 중목이 있다.
- 지식의 용동성 있는 표현(규칙)이 가능하다.

#### DNA 코딩의 적용 순서

- 규칙의 표현방법 및 구성요소들 결정
- DNA 코돈(아미노산)에 대응되는 규칙의 구성요소 i 이들을 작성
- 번역하는 방법들 결정
- 진화알고리즘을 이용하여 진화

중앙대학교 전자전기공학부 29-24

### L-System 기반 신경회로망

신경회로망의 노드 구성

name of node	C/R	bias	weight
--------------	-----	------	--------

# of codon : 1      1      1      4

- C/R : connecting range, 다른 노드와 연결되는 범위를 나타냄
- bias & weight(연결강도)

$$w = \frac{(B_0 \times 4^2 + B_1 \times 4^1 + B_2 \times 4^0) - 32}{10}$$

단,  $B_0, B_1, B_2$  는 한 코돈 내의 염기로서 A, T, G, C 중 한 염기를 나타내며 각각 0, 1, 2, 3의 값을 갖는 경우이다. 또한 이 식에서  $-3.2 \leq w \leq 3.1$  이 된다.

중앙대학교 전자전기공학부 29-25

### Cont.

코돈(아미노산)의 해역표

Amino Acid	Node's Name	Connection Range
Leu	A	1,1
Arg	B	2,2
Ser	C	3,3
Thr	D	1,2
Ala	A	1,3
Gly	B	1,4
Val	C	2,3
Pro	D	2,4
Stop		
Ile	A	3,4
Tyr	B	4,4
Gln	C	1,1
Phe	D	2,2
Asp		3,3
Cys		1,2
Asn		1,3
Glu		1,4
His		2,3
Lys		2,4
Trp	C	3,4
Met	D	4,4

중앙대학교 전자전기공학부 29-26

### Cont.

#### DNA의 해석

CG ATG CCG CGT GAA TGC CCG GGT CCA TAG CTC GGG ACA ...

Rule 1

Arg	Arg	Glu	Cys	Arg	Gly	Pro	Tyr	Leu	Gly	.....
Name	C/R	(Bias	w1	w2	w3	w4)	Name	C/R	(Bias	w1).....
B	(2,2)	(-1,5,0,5	2,1	-1,0,2,6)	B	(1,1)	(-0,9,.....)			

Node 1      Node 2

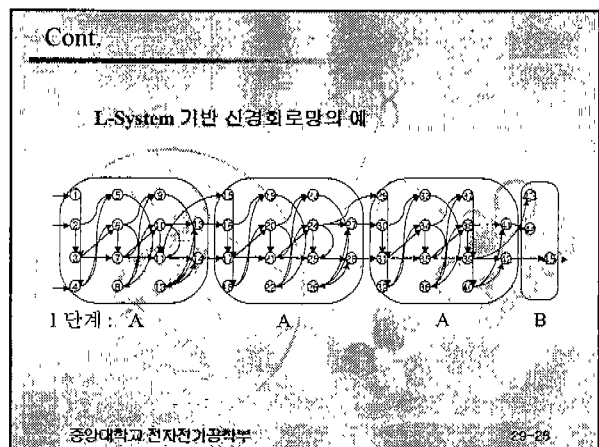
Rule 1' B → B(1,1) ...

Rule 2

Pro	Gly	.....
D	(1,4)	.....

Rule 2' D → .....

중앙대학교 전자전기공학부 29-27



### Conclusion

#### 인공생명 관련 Web Site

- 인공생명 연구회 : <http://rics.cie.cau.ac.kr/>
- Alife Online : <http://alife.org/>
- Complex Systems Virtual Library : [http://life.csu.edu.au/vl\\_complex/0ArtificialLife.html](http://life.csu.edu.au/vl_complex/0ArtificialLife.html)
- Artificial Life Researches in Japan : <http://www.intlab.soka.ac.jp/ArtificialLife/>
- Complex Adaptive Systems and Artificial Life (Moshe Sipper) : [http://lsitwww.epfl.ch/~moshes/alife\\_links.html](http://lsitwww.epfl.ch/~moshes/alife_links.html)
- The Live Alife Page : <http://alife.fusebox.com/>
- Reinforcement Learning : <http://envy.cs.umass.edu/>
- Ronald Arkin's Homepage(Reactive and Homeostatic Control) : <http://www.cc.gatech.edu/amosaic/faculty/arkin.html>

중앙대학교 전자전기공학부 29-29