

인공생명과 퍼지시스템

인공생명(artificial life)은 “우리가 알고있는 생명(life-as-we-know-it)”뿐만 아니라, “생명이라고 여겨지는 것(life-as-it-could-be)”의 연구에 대한 종합적인 접근방식이다^[1]. 자연적인 생명은 각 부분에 대한 행동을 제어하는 전체적인 제어장치 없이 수많은 단순한 분자들의 조직화된 상호작용에 의해 나타난다. 인공생명에서는 생물체가 수많은 단순한 구성요소들의 집합체로 이루어져 있으며, 그러한 구성요소들이 단순한 규칙들에 의해서 서로 국부적인 상호작용을 함으로써 생명현상을 특징짓는 복잡한 행동패턴들을 보이고 있다고 가정한다. 인공생명의 주요 관심사는 생명과 유사한(lifelike) 행동을 만들어내는 시스템과 관련된 현상을 연구하는 것이며, 주로 컴퓨터, 로봇, 그리고 인간이 만든 다른 미디어를 사용하여 자기복제, 적응, 진화를 할 수 있는 시스템을 구현하는 것이다.

퍼지시스템 이론은 자연의 현상에 포함되어 있는 불확실성(uncertainty)을 체계적인 방법으로 표현하고 처리할 수 있도록 해 주는 학문이다. 퍼지시스템에서는 주어진 물리적인 대상의 행동을 설명하기 위하여 IF-THEN과 같은 언어형태의 표현을 사용하며, 주관적인 요소에 의해 발생하는 불확실성도 수학적으로 표현할 수 있다는 특징이 있다. 모든 실제 현상들처럼 인공생명을 표현하는 규칙들도 많은 불확실성을 포함하고 있다. 퍼지 시스템이론은 인공생명의 현상들을 지배하는 근본 규칙들을 퍼지규칙의 형태로 표현하고 추론과정에 의해 애매성을 처리할 수 있으므로 인공생명의 기본 규칙들을 표현하는 데 있어서 적합한 도구라고 생각된다.

인공생명 분야에서 퍼지시스템 이론을 도입하려는 시도는 아직 매우 드물다. 현재 인공생명을 구현하는데 있어서 진화연산이나 셀룰러 오토마타, 신경회로망과 같은 방법들을 주로 사용하고 있다. 이러한 방법들은 학습이나 자연의 선택과정으로부터 자기구성할 수 있는 특징이 있으므로 “밑에서 위로(bottom up)”의 처리과정을 택하고 있는 인

公 聖 坤

崇實大學校 電氣工學科

공생명의 접근방식에 적합하다. 최근 퍼지시스템 연구의 경향은 전문가의 지식체계를 직접 적용하여 퍼지시스템을 구성하는 것으로부터 적응 알고리즘에 의해 데이터의 형태로 주어지는 지식을 학습하여 퍼지시스템을 모델링하는 것으로 바뀌어가고 있다. 이러한 연구는 신경회로망이나 유전 알고리즘 기법들의 장점을 선택적으로 결합하는 하이브리드 방식의 퍼지시스템을 의미한다.

2절에서는 단순한 몇 개의 기본 원칙들이 어떻게 인공생명의 핵심개념인 창발적 행동을 발생시키는가에 대해서 설명하였고, 3절에서는 복수개의 자율이동 로봇들의 협조행동을 구현하는 언어형태의 기본규칙들을 분석하였다. 4절에서는 수치형태로 주어진 입출력 데이터들을 클러스터링하여 인공생명 현상을 표현할 수 있는 퍼지규칙들의 생성 과정을 예를 들어 설명하였다.

II. 인공생명의 기본 원칙

창발적 행동(emergent behavior)은 인공생명에 있어서 가장 핵심적인 개념이다. 이것은 생명현상을 보이고 있는 모든 개체는 수많은 단순한 구성요소들로 이루어져 있고, 이들 구성요소들은 몇 개의 단순한 기본 규칙들에 의해 국소적으로 서로 상호작용을 함으로써 복잡한 행동을 나타내고 있다는 것을 의미한다. 또한 기능이 단순한 자율 개체들도 이들 전체의 행동을 제어하는 전체적인 제어기 없이 자신의 주위에 있는 인접한 개체와 국소적으로 상호작용을 하여 집단을 이루기도 하고 다른 개체들과 함께 먹이를 찾거나 운반할 때와 같은 협조행동을 보이고 있다.

단순성(simplicity)은 인공생명의 연구에서 중심을 이루고 있다. 인공생명 연구의 궁극적인 목표는 자연의 생명을 지배하는 규칙을 찾아내고 이를 사용하여 다른 가능한 형태의 생명을 창조하거나 합성하는 것이라고 할 수 있다. 인공생명은 다음과 같은 세 가지 일반적인 기본 원칙들을 가지고 있다.^[2]

- ① 밑에서 위로(bottom up)의 과정을 따른다.
- ② 국소적 상호작용은 전역적인 창발적 행동을 만들어낸다.
- ③ 단순성은 복잡성을 만들어낸다.

인공생명 분야에서 가장 먼저 대중적인 관심을 일으킨 것은 영국 케임브리지 대학의 수학자인 J. Conway가 1960년대에 만들어낸 생명게임(the Game of Life)이다. 이것은 1970년 수학 게임의 전문가인 M. Gardner가 과학잡지인 Scientific American의 10월호에 소개하여 처음으로 널리 알려지게 되었다^[3,4]. 왜 사람들이 이 게임에 흥미를 가지게 되었는가? 그 이유는 이 게임을 지배하고 있는 몇개의 단순한 규칙들에 의해 초기에 주어진 랜덤한 형태와 관계없이 몇 세대 지나지 않아 다양하고 매력적인 세포들의 형태들이 끊임없이 나타나기 때문이다.

생명게임은 격자와 표시자들로 이루어져 있는데, 격자위에 있는 각 정사각형은 세포를 나타낸다. 비어있는 세포는 죽은 것이고, 채워져 있는 세포는 살아있는 것이다. 이 게임의 규칙은 각 세대에서 어떤 세포가 살고, 어떤 세포가 죽으며, 또 다시 태어나는지 결정한다. 게임의 목적은 격자위에서 임의적인 형태를 가지고 시작하여 여러 세대를 지나면서 세포의 패턴이 어떻게 변화하는지 보는 것이다. 세포 패턴들은 소멸될 수도 있고 성장할 수도 있으며 단지 몇 세대 이후에 안정한 형태를 취할 수도 있다. 생명게임을 지배하고 있는 것은 다음과 같은 기본적인 5가지의 규칙들이다.

- ① 검정 정사각형(세포)은 살아있고, 흰 세포는 죽어있다.
- ② 각 세포는 8개의 이웃을 가지고 있다.
- ③ 만일 어떤 살아있는 세포의 둘이나 셋의 이웃이 살아있으면, 그 세포는 다음 세대에도 계속 살아남는다.
- ④ 만일 어떤 살아있는 세포의 셋 이상이나 둘 이하의 이웃이 살아있으면, 그 세포는 소멸된다.
- ⑤ 만일 어떤 죽어있는 세포의 세 이웃이 살아있으면 그 세포는 다시 태어난다.

생명게임에서는 간단한 초기의 형태에 이와같은

몇 개의 간단한 규칙들을 적용하고 이것을 몇 세대동안 반복함으로써 복잡하고 흥미로운 세포 형태들이 나타날 수 있다. 이것은 인공생명에서 추구하고 있는 목적인 단순한 규칙에 의한 복잡한 행동의 발현과 깊은 관계가 있다.

인공생명의 연구에서는 단순한 형태, 행동, 또는 과정들로부터 시작하고, 먹이찾기, 통신, 위험회피, 협조와 경쟁, 그리고 경험으로부터의 학습과 같은 복잡한 행동들은 개체들의 국소적 상호작용으로부터 발현된다고 가정한다. 각 구성요소들은 자극에 대해 반응하는 행동 그 자체이고, 생명현상은 각 개체사이의 모든 국소적인 상호작용들로부터 나타나는 복잡한 행동이다. 인공생명에서는 생명과 유사한 행동을 발생시키기 위한 주된 방법적인 접근으로 밑에서 위로, 그리고 행동의 국소적인 결정을 사용하고 있다.

III. 자율이동 개체의 협조행동

개미나 꿀벌과 같이 무리를 이루고 있는 조직처럼 밀접하게 결합된 공동체내에서의 행동은 매우 흥미있다. 각 개체들은 먹이채집이나 터널파기와 같은 특정한 임무를 수행하며, 무리를 이루고 다른 개체들과 협조하여 어려운 임무를 협조하여 수행한다. 많은 인공생명 프로젝트들은 이러한 행동들을 연구하고 있는데, 이것은 많은 개체가 주어진 문제의 일부분에 동시에 독립적으로 작용하는 분산처리에 의한 문제해결 방법이다.

자율이동 로봇은 여러 종류의 센서에 의하여 장애물이나 목표물과 같은 주위상황을 인식하고 스스로 다음 행동을 판단하여 구동 메카니즘을 동작시키므로써 주어진 과업을 효과적으로 달성하는 지능적인 시스템이다. 이제까지 자율이동 로봇에 관한 연구분야에서는 외부의 동적상황에 효과적으로 대처하기 위한 하나의 로봇시스템을 설계하는 문제들이 주로 연구되어 왔다. 이것은 지능(intelligence)의 개념이 하나의 독립된 개체내에서만 형성되는 것이라고 생각할 수 있다. 그러나

최근들어 여러대의 자율이동 로봇들의 협조행동을 통하여 보다 복잡한 문제를 해결하기 위한 분산지능의 연구에 더욱 많은 관심이 집중되고 있는데^{15,16}, 이것은 지능이 독립된 개체의 내부에서뿐만 아니라 개체들의 모임에서 개체간 상호작용에 의해서 형성된다는 신념을 공학적으로 구현하고 있는 것이다.

미국 MIT의 인공지능 연구실에서는 각 자율이동 로봇의 국소적 상호작용으로부터 여러대의 자율이동 로봇시스템의 협조행동을 구현하려는 노력을 기울이고 있고, 캐나다의 알버타대학에서는 사회적인 행동양식을 보여주는 곤충의 행동을 모델링함으로써 여러대의 소형이동로봇의 집합적인 행동을 보여주도록 제어하는 연구를 수행하고 있다. 또한 일본에서는 복수대의 자율이동 로봇간의 기능분담 및 셀룰러 로봇의 네트워크를 위한 제어기법에 관하여 연구하고 있다. 이와같이 주어진 자극에 직접적으로 반응하는 각 개체의 국소적 상호작용으로부터 전체적인 협조행동을 발현하는 것을 群知能(collective intelligence, swarm intelligence)^{17,18}이라고 한다.

이와같은 문제는 특히 자율이동 로봇을 소형으로 구현하여야 하는 경우에 절대적으로 중요하다. 예를 들어 인체의 내부에 투입하여 필요한 의료행위를 수행하여야 하는 마이크로 로봇의 경우 소형으로 제작하여야 하므로 많은 기능을 부가시킬 수 없으며 하나의 개체가 어떤 물체를 집어들거나 이동시키기에 충분한 힘을 낼 수 없다. 따라서 단순한 기능만을 가진 마이크로 로봇을 여러대 사용하여, 로봇간의 협조행동을 통하여 복잡한 임무를 수행할 수 있도록 하여야 한다¹⁹.

최근에는 인공생명의 개념을 도입함으로써 자율이동 로봇이 자기조직 및 진화에 의하여 군지능을 형성할 수 있는 연구에 많은 관심이 집중되고 있다. 단순한 행동에 기초한 여러대의 자율이동 로봇이 협조행동을 통하여 복잡한 문제를 해결하기 위해서는 주위 및 다른 개체와의 상대적인 관계로부터 적절한 행동을 결정함으로써 가능하게 되는데, 이것은 마치 기능이 단순한 곤충들이 주위상황을 인지하고 바로 행동에 대응시켜 먹이를 같이 ○긴

다거나 무리를 지어 이동한다든지 하는 집합적인 행동을 보여주고 있는 것과 같다. 자율이동 로봇을 위한 집합적인 행동은 인공생명의 주된 개념인 행동의 발현과 같은 맥락에 있다. 집합적 행동은 몇 개의 단순한 상호작용 규칙을 가진 자기조직 시스템의 창발적 성질로 볼 수 있다.

개별개체간의 상호작용은 반드시 복잡하여야만 복잡한 전반적인 결과를 생산해낼 수 있는 것은 아니다. 단순하면서도 기본적인 형태의 국소적 상호작용만으로도 개체간의 협조행동을 위한 군지능을 구현할 수 있다. Mataric^[10]이 정의한 자율이동 로봇의 국소적 상호작용의 예는 다음과 같다.

- ① 충돌회피(collision avoidance) : 개체가 다른 어떠한 물체와도 충돌을 피할 수 있는 능력.
- ② 추종(following) : 충돌없이 다른 개체의 뒤 또는 옆에 머무를 수 있는 능력
- ③ 확산(dispersion) : 국소적으로 어떤 미리 결정된 구분을 설정하고 유지하기 위하여 개체의 그룹이 어떤 지역에 걸쳐 퍼지는 능력
- ④ 집합(aggregation) : 어떤 미리 결정된 거리를 설정하고 유지하기 위하여 개체의 그룹이 모이는 능력
- ⑤ 귀향(homing) : 하나의 개체 또는 개체의 그룹이 목표지역 또는 위치에 도달하는 능력
- ⑥ 군집(flocking) : 지도자와 추종자를 미리 설정하지 않고도 비슷한 특성들을 가진 개체들의 그룹이 서로 모이는 능력

이상과 같은 단순한 국소적 상호작용들은 보다 복잡한 군지능을 구현하기 위한 구성요소로 사용될 수 있다. 예를 들어 개체들의 무리에 의한 집합적인 단체운동인 무리짓기(herding) 기능은 군집과 귀향의 결합에 의해 표현될 수 있다. 즉 무리의 앞이나 가장자리에 위치한 개체는 귀향행동을 보이고, 다른 개체들은 단순히 군집함으로써 무리짓기라는 보다 복잡한 행동양식을 표현하게 된다. 또한 넓은 장소에서 먹이를 발견하고 모으는 먹이얻기(foraging) 기능은 확산과 귀향의 결합으로, 그리고 고밀도의 영역에서 추종과 군집기능을 사용하여 구성할 수 있다.

여러대의 자율이동 로봇들의 국소적 상호작용을

지배하는 규칙을 퍼지규칙의 형태로 표현할 수 있다. 예를 들어 다른 개체와의 충돌을 피하기 위해서는

IF another robot is on the right, THEN
turn left and go.

와 같은 형태의 규칙이 생각할 수 있으며, 추종기능을 구현하기 위해서는

IF an object is on the right only, THEN
turn right.

IF an object is on the left only, THEN
turn left.

IF an object is on the left and right, THEN
keep going.

와 같은 형태의 규칙이 존재한다. 협조행동을 만들어 내기위한 군지능은 이와 같은 단순한 기본규칙들을 조합하여 구현될 수 있다.

단순한 기능을 가진 여러대의 자율이동 로봇들간의 상호작용을 통하여 협조행동을 구현하는 문제는 분산로봇 시스템의 연구와는 근본적으로 다르다. 그 이유는 협조행동을 이루어 내기 위하여 각 로봇의 역할분담을 결정해주는 중앙처리 시스템이 존재하지 않으므로 자율이동 로봇의 수가 증가하더라도 시스템의 복잡도는 증가하지 않기 때문이다. 또한 각 개체들은 협조행동을 위하여 서로 직접적인 통신을 하지 않고, 개체 자신은 단지 수동적인 센싱에 의해서만 암시적으로 통신하여 적절한 행동을 결정하고 있으므로 시스템 구성을 단순하게 할 수 있다는 장점이 있다.

IV. 입출력 데이터 클러스터링에 의한 퍼지규칙의 생성

이 절에서는 어떤 시스템의 행동에 내포되어 있는 지식이 언어적인 형태로 명확히 표현되기 어렵지만, 그 시스템의 입출력 특성이 수치 데이터의 형태로 주어졌을 경우에 데이터의 클러스터링 기법을 통하여 기본규칙들을 생성하는 과정에 대하여 설명한다. 기능이 단순한 자율이동 개체들이 보

이는 군지능과 같이 복잡한 인공생명 현상의 발현을 지배하는 것은 개체들간의 국소적 상호작용을 정의하는 단순한 기본 규칙들이다. 이러한 기본 규칙들은 전문가의 지식으로부터 직접적으로 정의할 수도 있지만, 일반적으로 이들 규칙들을 알아내는 것은 용이하지 않다. 비록 이러한 규칙들을 언어적인 형태로 정의할 수 없다 하더라도 이러한 기본 규칙에 의해 지배되는 행동으로부터 데이터를 수집하고 이것을 적당히 클러스터링하거나 학습하여 기본 규칙들을 식별(identification)할 수 있다.

일반적으로 퍼지규칙은 전문가의 경험이나 지식으로부터 직접 구할 수 있다. 그러나 많은 실제적인 경우에는 주어진 시스템에 관한 지식을 명확하게 언어적으로 나타내기 어려운 대신 입력과 출력의 데이터 쌍의 형태로 존재하는 경우가 많이 존재한다. 이와 같은 경우에는 입출력 공간에서의 데이터를 클러스터링하거나 신경회로망이나 다른 적응 알고리즘을 이용하여 학습함으로써 퍼지 규칙을 스스로 생성할 수 있다.

1. 퍼지 시스템 모델

퍼지시스템은 주어진 시스템의 행동에 관한 지식을 “IF <전건부>—THEN <후건부>” 형태의 언어규칙을 이용하여 표현한다. 퍼지모델은 크게 Mamdani 모델과 Sugeno 모델로 구분할 수 있다. Mamdani 모델에서는 퍼지규칙의 전건부와 후건부의 변수가 모두 퍼지집합으로 표현된다. Sugeno 모델에서는 규칙의 전건부는 퍼지집합으로 표현되지만 후건부 변수는 입력 변수의 함수로 표현되어 있으므로 전문가의 지식에 의존하지 않고도 입출력 데이터로부터 계수를 추정하여 쉽게 퍼지규칙을 생성시킬 수 있으며, 후건부에 선형식을 사용함으로써 적은 제어규칙으로도 많은 정보를 포함시킬 수 있다^[11]. 따라서 입출력 데이터가 주어지면 적응 알고리즘을 통해 쉽게 시스템 식별을 할 수 있으므로 여기서는 Sugeno 모델을 고려하였다.

n 개의 입력변수 x_1, \dots, x_n 과 1개의 출력변수 y_i 를 가지는 Sugeno 퍼지모델의 규칙은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{IF } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{in} \text{ THEN } y_i = f_i(x_1, \dots, x_n) \quad (1)$$

여기서 y_i 는 i 번째 퍼지규칙의 출력을 나타내며, A_{ij} 는 입력 퍼지변수 x_j 에 할당된 멤버쉽함수이다. 가우시안 함수로 표현된 멤버쉽함수는 식 (2)와 같고, 입력변수들의 선형결합으로 표현된 출력값은 식 (3)과 같다.

$$A_{ij}(x) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x - c_{ij}}{w_{ij}}\right)^2\right) \quad (2)$$

$$f_i(x_1, \dots, x_n) = a_{i0} + a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n \quad (3)$$

이때 c_{ij} 는 멤버쉽함수의 중심을, w_{ij} 는 멤버쉽함수의 폭을 나타내는 파라미터이며, 계수 $a_{i0}, a_{i1}, \dots, a_{in}$ 는 주어진 데이터에 최적으로 결정되어야 하는 상수이다.

2. 입출력 데이터의 클러스터링

데이터가 주어졌을 때 퍼지시스템 모델의 파라미터들을 결정하는 과정을 모델링이라고 한다. 이 중에서 퍼지규칙의 수와 퍼지 규칙을 결정하는 것이 가장 중요한데, 데이터를 클러스터링하여 클러스터의 중심을 구함으로써 결정할 수 있다. 클러스터링은 데이터들이 가지고 있는 유사성의 정도에 따라 데이터들을 몇 개의 그룹으로 분류하는 알고리즘이다. 클러스터링 과정에서 얻는 클러스터의 수가 퍼지규칙의 수가 되며, 클러스터의 중심의 위치에 의해 퍼지규칙의 형태가 결정된다.

Subtractive 클러스터링 알고리즘^[12]은 비교적 적은 계산량으로 클러스터의 중심뿐만 아니라 적당한 클러스터의 수를 얻을 수 있게 해 준다. Subtractive 클러스터링은 각 데이터마다 포텐셜 값을 계산하는데, 포텐셜 값은 그 데이터와 다른 데이터 간의 거리에 반비례하는 함수로 주어진다. 즉 어떤 데이터 주위에 많은 데이터들이 모여있으면 데이터간의 거리가 작으므로 포텐셜 값은 매우 커지게 된다. 따라서 포텐셜 값이 최대인 점을 클러스터의 중심으로 선택할 수 있다.

n 개의 입력과 1개의 출력일 경우 $(n+1)$ 차원 입출력 공간 상에서 N 개의 데이터 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 가 주어졌을 때, 클러스터링은 다음과 같은 순서로 이루어진다.

첫째, 주어진 데이터를 $[0, 1]$ 로 정규화 한다.

둘째, 각 데이터의 포텐셜 값을 구한다. i 번째 데이터 X_i 의 포텐셜 값 P_i 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_i = \sum_{j=1}^N \exp(-\alpha \|X_i - X_j\|^2) \quad (4)$$

여기서 α 는 포텐셜 값에 영향을 주는 데이터의 범위를 결정하는 양의 상수이다.

셋째, N 개의 포텐셜 값 중 가장 큰 값 P_1^* 에 해당하는 데이터를 첫번째 클러스터의 중심 X_1^* 로 정한다.

넷째, 첫번째 클러스터 중심의 영향을 제거한 포텐셜 값 P'_i 를 구한다.

$$P'_i = P_i - P_1^* \exp(-\beta \|X_i - X_1^*\|^2) \quad (5)$$

여기서 β 는 방금 구한 클러스터 중심 근처에 다음 클러스터 중심이 나타나지 않도록 하는 양의 상수이다. 첫번째 클러스터 중심 근처에는 많은 데이터가 존재하기 때문에 그 영향을 제거하지 않으면 두 번째 클러스터 중심 또한 첫번째 클러스터 중심 근처에 발생될 가능성이 높다.

다섯째, 첫번째 클러스터 중심의 영향을 제거한 N 개의 포텐셜 값 P'_i 중 가장 큰 값 P_2^* 에 해당하는 데이터를 두 번째 클러스터 중심 X_2^* 으로 정한다.

여섯째, 클러스터 중심간의 거리가 충분히 떨어져 있으면 그 데이터를 클러스터 중심으로 채택하고 다음 클러스터 중심을 찾는다. 클러스터의 중심들간의 거리가 너무 가까우면 선정하지 않는다. 중심들 간의 거리가 중간 정도일 경우에는 포텐셜 값이 낮더라도 클러스터 중심간의 거리가 크면 클러스터 중심으로 선정한다. 이러한 과정을 통해 M 개의 클러스터 중심 $(X_1^*, X_2^*, \dots, X_M^*)$ 을 결정하며, 결정된 클러스터 중심은 M 개의 퍼지규칙의 형

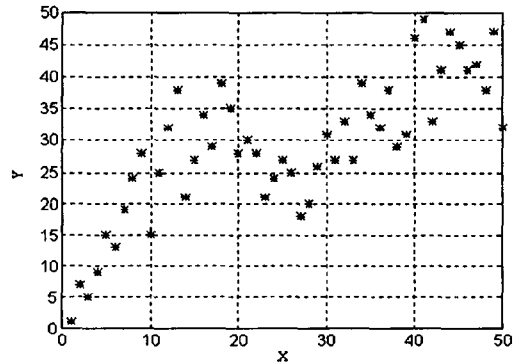
태를 결정한다.

3. 클러스터링에 기초한 퍼지시스템 모델링 예

Subtractive 클러스터링 알고리즘에 기초해 클러스터 중심을 결정하는 과정 및 규칙의 후건부 파라미터를 최적화하여 퍼지시스템을 모델링하는 과정을 예로서 살펴본다^[13]. 입력 x_1 과 출력 y 로 이루어진 단일입력 단일출력 시스템에 대한 Sugeno 퍼지모델의 퍼지규칙은 다음과 같이 표현된다.

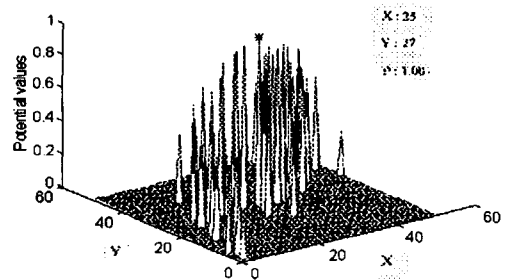
$$IF \ x_1 \text{ is } A_{i1} \ THEN \ y_i = a_{i0} + a_{i1}x_1 \quad (6)$$

그림 1은 하나의 입력과 하나의 출력으로 이루어진 50개의 입출력 데이터의 분포를 나타내며, 이를 클러스터링하여 퍼지시스템 모델링을 하였다.

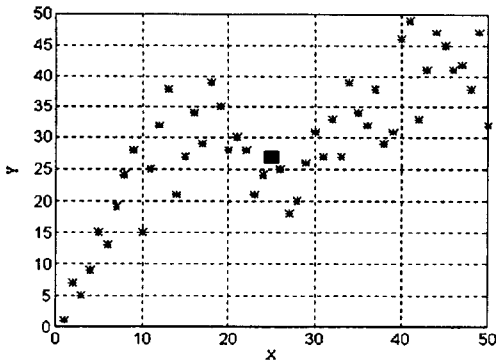


〈그림 1〉 클러스터링하기 위한 입출력 데이터

그림 2(a)는 이 데이터분포를 이용하여 Subtractive 클러스터링을 한 결과로 얻어지는 포



(a) 포텐셜 값

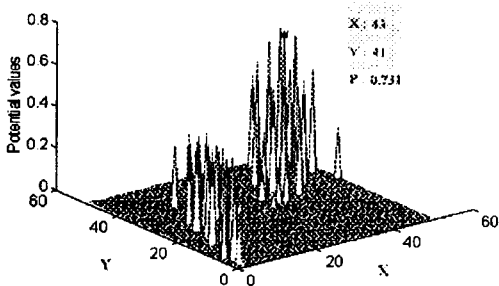


(b) 첫번째 클러스터 중심

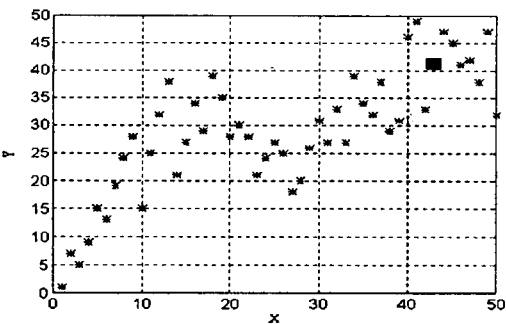
(그림 2) 첫 번째 클러스터 중심의 결정

텐셜 값을 나타낸 것이고, 그림 2(b)는 가장 큰 포텐셜 값에 해당하는 데이터를 첫번째 클러스터 중심으로 결정하는 과정을 나타내었다.

그림 3(a)는 첫번째 클러스터 중심의 영향을 제



(a) 포텐셜 값

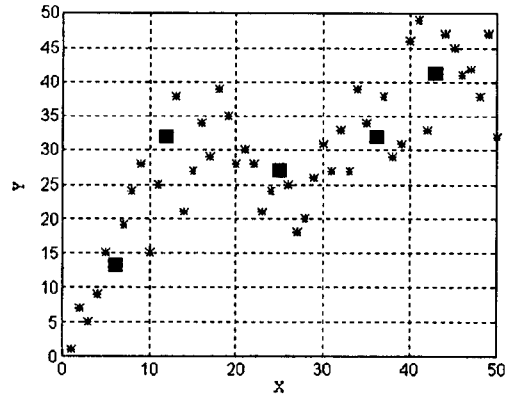


(b) 두 번째 클러스터 중심

(그림 3) 두 번째 클러스터 중심의 결정

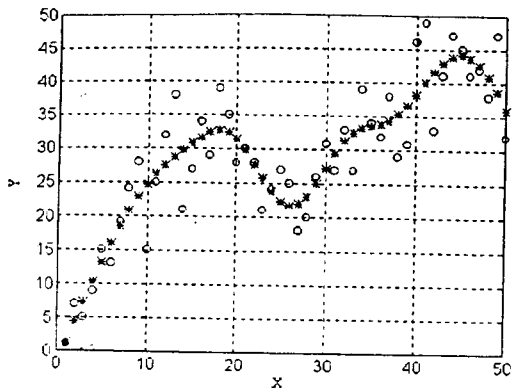
거하였을 경우의 포텐셜 값의 분포를 나타낸 것이고, 그림 3(b)는 이 경우 가장 높은 포텐셜 값에 해당하는 데이터를 두 번째 클러스터 중심으로 정한 것을 나타낸다.

그림 4는 위와 같은 과정을 반복하여 결정된 5개의 클러스터 중심들을 나타낸다. 이들 클러스터의 중심들은 각각 퍼지규칙에 대응된다.



(그림 4) 최종 결정된 클러스터 중심

퍼지시스템의 출력변수를 계산하기 위한 계수들은 퍼지시스템의 출력과 실제 데이터와의 오차를 최소화시키는 과정을 통하여 결정한다. 그림 5는 클러스터링을 통해 얻어진 5개의 퍼지규칙과 최소자승법에 의해 계산된 출력변수의 계수들로 이루어지는 퍼지시스템의 출력을 계산한 결과를 나타낸 것이다. 적은 수의 퍼지규칙을 사용하여 원하는 시스템특성과 근사한 응답을 얻을 수 있었다.



(그림 5) 데이터 클러스터링을 통해 얻어진 퍼지모델의 출력

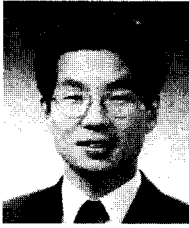
V. 결 론

퍼지시스템 이론은 자연현상에 포함되어 있는 불확실성을 체계적으로 표현하고 처리할 수 있는 방법을 제공해주고 있으므로, 인공생명 현상을 표현하는데 있어서 적합한 도구라고 생각된다. 인공생명은 개체들간의 상호작용을 정의하는 단순한 기본규칙들에 의해 매우 복잡한 행동이 발현된다는 특징을 가지고 있다. 이러한 인공생명의 근본적인 규칙들을 얻는데 있어서 전문가의 지식체계가 존재하는 경우에는 이를 직접 언어적인 형태의 퍼지규칙으로 표현할 수 있으며, 이러한 지식이 존재하지 않고 수치 데이터의 형태로 존재하는 경우에는 클러스터링을 통하여 퍼지시스템을 모델링함으로써 인공생명 현상을 지배하는 기본 규칙들을 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] C. R. Langton, ed., *Artificial Life*, Addison Wesley, 1989.
- [2] E. Thro, *Artificial Life: Explorer's Kit*, Sams Publishing, 1993.
- [3] M. Gardner, "The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game "Life," *Scientific American*, Vol. 223, No. 4, 120-123, 1970.
- [4] M. Gardner, "On cellular Automata, Self-Reproduction, The Garden of Eden and the The Game of "Life," *Scientific American*, Vol. 224, No. 2, 112-117, 1971.
- [5] R. C. Arkin, "Cooperation without communication: Multiagent schema based robot navigation," *Journal of Robotic Systems*, 1992.
- [6] L. Steels, "Cooperation between distributed agents through self-organization," *Workshop on Multi-agent cooperation*, 1989.
- [7] G. Beni and U. Wang, "Swarm intelligence in cellular robotic systems," *NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems*, 1989.
- [8] C. R. Kube and H. Zhang, "Collective Robotic Intelligence," *Proc. of 2nd Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior*, 460-468, 1993.
- [9] R. A. Brooks, P. Maes, M. J. Mataric, and G. Moore, "Lunar base construction robots,"
- [10] M. J. Mataric, "Designing Emergent Behaviors: From Local Interactions to Collective Intelligence," *Proc. of 2nd Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior*, 432-441, 1993. *IROS'90 IEEE Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems*, 1990.
- [11] M. Sugeno, *Industrial applications of fuzzy control*, Elsevier Science Pub. Co., 1985.
- [12] S. Chiu, "Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 2, No. 3, Sept. 1994.
- [13] R. R. Yager and D. P. Filev, *Essentials of Fuzzy Modeling and control*, John Wiley & Sons, 246-264, 1994.

저자 소개



公 聖 坤

1959年 11月 26日生

1982年 8月 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1987年 2月 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1991年 12月 미국 University of Southern California 전기공학과
졸업(공학박사)

1982年 8月~1985年 2月 금성기전 연구원

1987年 8月~1987年 7月 한국 전자통신 연구소 연구원

1988年 8月~1991年 12月 Univ. of Southern California. 강의 및 연구조교

1992年 3月~현재 승실대학교 공과대학 전기공학과 부교수

주관심 분야 : 퍼지시스템, 신경회로망, 영상 및 신호처리, 패턴인식, 지능제어, 인공생명