

# 적응형 회로망의 퍼지 추론과 B-spline 곡선을 이용한 횡단면적 곡선의 생성

김수영\* · 김현철\*\* · 여경현\*\*\* · 김민정\*\*\*  
(98년 4월 24일 접수)

## Generation of Sectional Area Curve using an ANFIS and a B-spline Curve

Soo-Young Kim\* · Hyun-Cheol Kim\*\* · Kyung-Hyun Ryeu\*\*\* · Min-Jeong Kim\*\*\*

**Key Words** : Adaptive Network(적응형회로망), Fuzzy Inference System(퍼지추론시스템), Sectional Area Curve(횡단면적곡선), Genetic Algorithms(유전자알고리즘), B-spline Approximation(B-스플라인근사법)

### Abstract

This paper presents to create a SAC(Sectional Area Curve) using an ANFIS (Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System). First, it defines SACs of parent ships by using a B-spline approximation and a genetic algorithm and accumulates a database about SAC's control points. Second, it learns an ANFIS from parent ship data, which are related with principal dimensions and SAC's control points. This process is to model an ANFIS for SAC inference. When an ANFIS modeling is completed, we can determine a SAC through an ANFIS inferring.

### 1. 서론

선박의 초기 선형 설계에서는 이용 가능한 정보가 한정되어 있고, 비선형 특성을 가지는 설계 요소가 많기 때문에 기존의 유사 실적선을 바탕으로 설계를 수행하는 경우가 많으며, 설계자의 경험에 의한 의존도가 높다. 따라서 전문가 시스템이나 지식 기반 시스템처럼 전문가의 지식에 바탕을 둔 시스템[1] 혹은 퍼지 추론 시스템[2][3]이나 신경 회로망[4]과 같이 경험 데이터로부터 직접 내부 지식

을 구성하는 지능형 시스템 구성이 필요해진다.

전자의 경우에는 특정 분야에 대한 전문가의 지식 획득과 표현에 어려움이 있고, 후자의 경우에는 경험 데이터로부터 직접 내부 지식을 표현하고자 하기 때문에 정도(Precision) 있고 신뢰성이 있는 데이터가 필요하다.

후자에 속한 신경 회로망은 학습으로 지식이 획득되지만, 학습과정이 상대적으로 느리고, 학습된 신경 회로망을 해석하기가 어렵다. 그리고 퍼지 시스템은 퍼지 규칙과 추론에 바탕을 두고 있으므로,

\* 중신회원, 부산대학교 조선해양공학과/부산대학교 기계기술연구소

\*\* 부산대학교 조선해양공학과 박사과정

\*\*\* 부산대학교 조선해양공학과 석사과정

그 성능은 규칙을 조정함으로써 개선될 수 있다. 그러나 퍼지 논리는 전문 지식을 자연 언어 수준의 규칙으로 직접 사용하여 코드화(Code)하는데 많은 시간이 걸린다.

그러므로 퍼지 시스템과 신경 회로망의 특성을 적절히 결합함으로써 상호 보완적 성능을 가지는 지능형 시스템을 구축하면, 이를 보다 효율적으로 선형 설계에 적용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 혼합 근사법(B-spline 근사법 [5][6]과 유전자 알고리즘[7]의 결합)에 의한 SAC의 데이터베이스를 체계적 구성하고, 이를 토대로 하여 적용형 회로망의 퍼지 추론[8][9]을 횡단면적 곡선(SAC:Sectional Area Curve) 생성에 적용하였다.

## 2. 퍼지 추론 시스템

퍼지 추론 시스템은 프로세스(Process)에 어떤 주어진 사실이나 관계로부터 퍼지 if-then 규칙을 사용하여 새로운 사실이나 관계를 유추해 가는 일련의 과정을 전산기 내에서 구현한 것이다[2][3][10][11].

퍼지 추론 시스템은 Fig. 1에서 볼수 있듯이 기본적으로 4개의 구성 요소로 이루어져 있고, 그 기능은 다음과 같다:

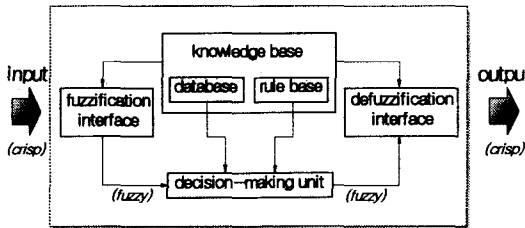


Fig. 1 Block diagram for a fuzzy inference system[9]

### ① 퍼지화(Fuzzification interface)

입력 데이터를 적당한 언어적인 값으로 변환시키고, 소속 함수를 정의하여 입력값의 퍼지화를 수행한다.

### ② 지식 베이스 구축

(Knowledge base construction)

퍼지 if-then 규칙을 포함하는 규칙 베이스(Rule

base)와 퍼지 규칙에 사용되는 소속함수로 지식 베이스를 구축한다.

### ③ 의사 결정(Decision-making unit)

구축된 지식 베이스를 계속 참조하면서 퍼지화된 입력값으로부터 추론의 합성 규칙과 퍼지 연산을 이용하여 결론의 퍼지 집합으로 추론한다.

### ④ 비퍼지화(Defuzzification interface)

출력 퍼지값을 실제 제어 입력의 전체 집합에 맞추어 변환한다. 즉, 출력의 비퍼지화를 수행한다.

## 3. ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System

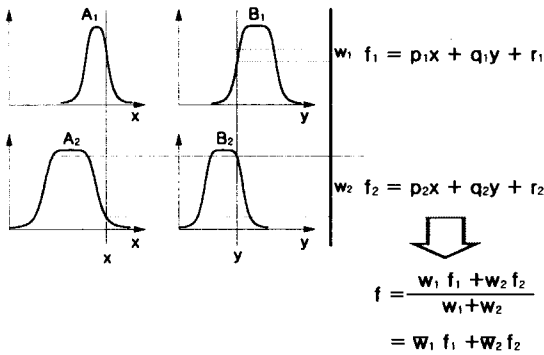
ANFIS는 적용형 회로망을 기반으로 하여 퍼지 추론 시스템을 구성한 것으로, 혼합 학습 방법을 사용하여 추론 과정의 효율성을 추구한다[8][9].

2개의 입력 변수  $x, y$ 와 1개의 출력 변수  $z$ 를 가지는 퍼지 추론 시스템을 Sugeno [10][11]의 퍼지 if-then 규칙 베이스로 표현하면 식(1)과 같다.

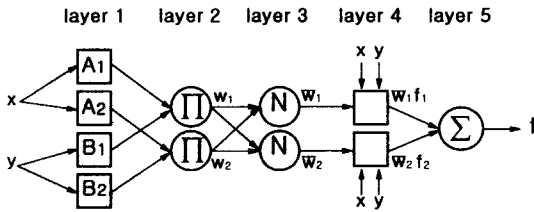
$$\begin{aligned} R^1 &: \text{If } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \\ &\text{then } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \\ R^2 &: \text{If } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \\ &\text{then } f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \end{aligned} \quad (1)$$

식(1)의 If이하는 전건부이며,  $A_i, B_i$ 는 각 입력 변수  $x, y$ 의 퍼지 집합이다. then 이하는 후건부이며,  $f_i$ 는 선형식으로 표현된다.  $p_i, q_i, r_i$ 는 선형식의 매개변수이다.

식(1)의 각 퍼지 규칙들은 무게 중심법에 의해 퍼지 추론된다. 이러한 Sugeno의 퍼지 모델은 각 연산 과정은 Fig. 2에서와 같이 신경 회로망으로 구성할 수 있다. Fig. 2는 기존의 퍼지 추론 과정과 ANFIS 추론 과정을 나타낸 것으로, (a)와 (b)의 연산 과정이 동일함을 알 수 있다[8][9]. Fig. 2 (b)의 ANFIS 추론 과정에서 각 층에 있는 뉴런 - 노드 함수 - 의 연산은 다음과 같이 계산된다.



(a)



(b)

Fig. 2 (a) Sugeno's fuzzy reasoning

(b) Equivalent ANFIS

Layer 1 :

Layer 1에 있는 모든 노드  $i$ 는 식(2)의노드 함수를 가진다.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad (2)$$

여기서  $x$ (혹은  $y$ )는 노드  $i$ 에 대한 입력값이고,  $A_i$ (혹은  $B_i$ )는 이 노드 함수와 연관된 언어 수준을 나타낸다. 즉,  $O_i^1$ 는  $A_i$ 의 소속함수이고, 주어진  $x$ 가 정량자  $A_i$ 를 만족하는 정도를 나타낸다.

$\mu_{A_i}(x)$  (혹은  $\mu_{B_i}(x)$ )는 최대값이 "1"이고, 최소값이 "0"인 식(3)과 같은 종(Bell) 함수로 나타낸다.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[ \left( \frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \quad (3)$$

식(3)에서  $\{a_i, b_i, c_i\}$ 는 매개변수 집합이다. 이들 매개변수 값들이 변화함에 따라  $\mu_{A_i}(x)$ 도

변한다. 따라서 언어 레벨  $A_i$ 에 대한 소속 함수의 다양한 형상을 나타낼 수 있다.

Layer 2 :

layer 2에 있는 모든 노드는 입력 신호를 곱하여 출력한다.

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), \quad i=1, 2 \quad (4)$$

각 노드 출력은 규칙의 활성화 강도를 나타낸다. 이것은 식(1)의 각 퍼지 규칙의 가중치와 같은 역할을 한다.

Layer 3 :

Layer 3에 있는  $i$ 번째 노드는 모든 규칙의 활성화 강도 합에 대한  $i$ 번째 규칙의 활성화 강도의 비율을 계산한다.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i=1, 2 \quad (5)$$

Layer 3의 출력값은 정규화된 활성화 강도를 나타낸다.

Layer 4 :

layer 4에 있는 모든 노드  $i$ 는 식(6)과 같은 노드 함수를 가진다.

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (6)$$

여기서  $\bar{w}_i$ 은 Layer 3의 출력이며,  $\{p_i, q_i, r_i\}$ 는 매개변수 집합이다. 그리고  $f_i$ 는 각 퍼지 규칙에서 매개변수들에 의해 구성된 선형식의 출력값이다.

Layer 5 :

layer 5에서는 모든 입력 신호들의 합으로서 전체 출력을 식(7)과 같이 계산한다.

$$O_i^5 = \sum \bar{w}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i} \quad (7)$$

#### 4. B-spline 근사법과 유전자 알고리즘을 이용한 SAC의 데이터 베이스

B-spline 근사법[5][6]을 이용하여 SAC상의 주

어진 데이터(Offsets)를 지나는 B-spline 조정점을 생성한 후, 이들 조정점을 초기 점으로 하여 부동 소수점으로 표현되는 유전자 알고리즘[7]을 사용하여 SAC의 기하학적 특성 - 양끝점의 위치 및 접선 벡터 - 을 만족하면서 주어진 데이터를 근사하게 지나는 곡선을 구하였다.

SAC는 선수부와 선미부로 각각 나누었고, B-spline 곡선으로 표현하기 위한 조건은 Table 1과 같이 설정하였다. Fig. 3은 Table 1에 따른 SAC의 기하학적 형상이다.

Table 1 Order and No. of control points in Stern & Bow part of ship data used in this paper

	Order	No. of control points
Stern part	5	5
Bow part	4	5

Fig. 3의 SAC가 갖는 기하학적 조건은 다음과 같이 설정하였다.

- ① 선수미부 양끝점은 “-1”과 “1”로 하여 배의 길이를  $\frac{L(x)}{0.5L}$  로 무차원화한다.
- ② 중앙 평행부를 가진다.

B-spline 근사법으로 조정점을 생성할 때 ②의 조건 만족이 유한 곡률 반경을 갖는 곡선과 곡률 반경이 무한대인 직선의 연결이라는 점에서 어려우므로, 중앙 평행부의 시작점과 끝점을 포함하는 조정 스팬(Control span)(Fig. 3)이 평행하도록 유전자 알고리즘을 사용하여 조정점이 수정된다.

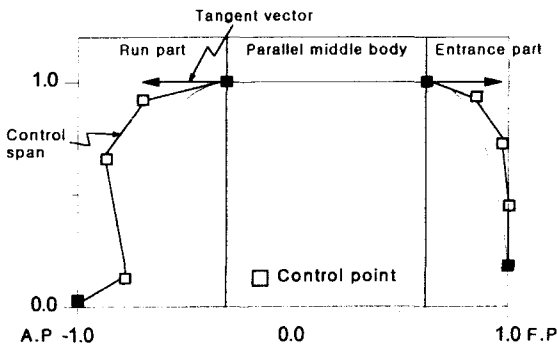


Fig. 3 The geometry of SAC

이와 같은 B-spline 조정점의 수정에는 각 개체를 부동 소수점으로 표현하여 단순 교배 연산자와 균등 돌연변이 연산자를 적용한 엘리트 보존 전략을 유전자 알고리즘에 사용하였다. 유전자 알고리즘을 수행하기 위해 B-spline 근사법에 의해 초기에 정의된 조정점들을 유전자 개체로 표현하는 방법은 다음 2가지를 사용하였다.

첫 번째 방법은 정의된 조정점들을 모두 개체로 표현하는 것이며,

두 번째 방법은 기하학적 경계 조건 부분만 개체로 표현하고 그외의 조정점은 B-spline 근사법에 의해 정의된 조정점을 그대로 사용하는 것이다.

Fig. 4는 B-spline 근사법과 유전자 알고리즘에 의한 선미부 조정점을 생성한 예를 나타낸다. Fig. 4에서 OCP는 B-spline 근사법에 의해 형성된 조정점이다. NCP(Type1)은 정의된 모든 조정점을 개체로 표현하여 유전자 알고리즘을 적용한 결과이고, NCP (Type2)는 기하학적 경계 부분만 개체로 표현하여 유전자 알고리즘을 적용한 결과이다.

NCP (Type2)는 중앙 평행부의 접선 조건을 만족하기 위해 유전자 알고리즘을 적용한 것으로, NCP (Type1) 보다 작은 유전자 개체를 사용함으로써 신속하고 효율적인 작업이 가능하다. 그러나 선미부와 중앙 평행부의 접선 조건을 모두 고려하기 위해서는 NCP (Type1)의 방법을 사용해 한다.

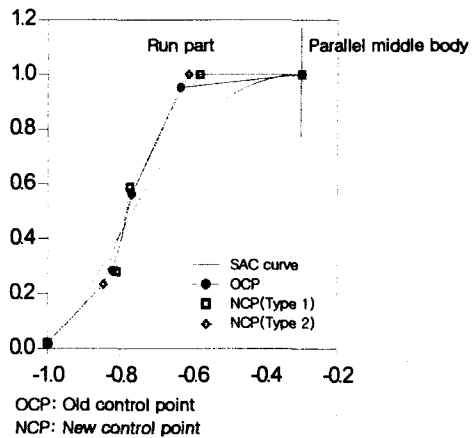


Fig. 4 Modification example on control points of a run part using a genetic algorithm

선수부에 대한 B-spline 조정점도 동일한 방법으로 수행된다.

### 5. ANFIS를 이용한 SAC 생성

선박의 선형을 위한 초기 설계 조건들로부터 SAC를 생성하기 위한 ANFIS의 적용은 2단계로 나누어진다.

① 주요치수 및 선형 요소 결정 단계

주어진 설계 조건(선종(Ship type), 재화중량(DW), 선속(Speed), 계획 흘수(d) 등)으로부터 주요치수(수선간장, 폭, 중앙 횡단면적(Am) )와 방형계수(Cb)를 결정하는 것

② B-spline 조정점 결정 단계

단계 ①의 출력 변수들을 입력 정보로 하여 SAC를 정의하는 B-spline 조정점을 생성하는 것

Fig. 5는 SAC 생성을 위한 ANFIS 모델링의 개념도를 나타낸다.

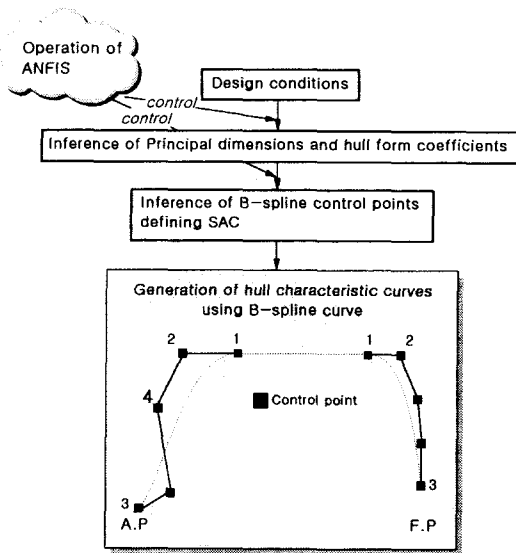


Fig. 5 The concept of ANFIS modeling for a SAC

### 6. 적용 예 및 결과 분석

선형 설계에 ANFIS 적용 가능성을 검토하기 위해 Table 2와 같은 설계 조건을 상정하였다.

Table 2 Initial hull form design conditions

Hull type	Bulk carrier
L/B	6.7
B/d	2.64
Cb	0.833
Am	392 m <sup>2</sup>

주요치수는 L, B, d의 3가지이지만, 설계 변수를 L/B와 B/d로 두면 설계 변수를 2가지로 줄여서 이들로부터 L, B, d의 3가지 주요치수를 결정할 수 있다.

ANFIS 적용을 위해서는 학습 데이터가 필요하므로 Table 3에서와 같이 4가지 선종의 31척을 학습용 데이터로 사용하였다.

Table 3은 본 연구에서 학습용 데이터로 사용된 실적선의 설계 변수 및 범위를 나타낸 것이다.

Container 12척, Tanker 8척, Bulker carrier 7척 그리고 VLCC 4척을 사용하였다.

Table 3 Design conditions and variables

$1.2 \times 10^3$	$\leq$ Dead weight(Ton):DW	$\leq$	$310 \times 10^3$
0.12	$\leq$ Froude number:Fn	$\leq$	0.254
9.5	$\leq$ Design draft(m):d	$\leq$	21.4

#### 6.1 주요치수 및 선형 계수 추정을 위한 ANFIS 모델링

ANFIS 적용의 ① 단계로 초기 설계조건으로부터 주요치수 및 선형 계수를 추정하기 위한 모델링 조건은 Table 4와 같이 설정하였다.

Table 4 Learning conditions of an ANFIS for inferring particular dimensions

Input variables	Ht(Hull type), DW, Fn, d
Output variables	Lbp, B, Am, Cb
MF No. of each fuzzy rule	3
Epoch No.	250
Step size	0.1
Decrease_rate of step size	0.8
Increase_rate of step size	1.25

주요치수와 선형 계수 추정 중에서 주요치수의 하나인 선폭 B 추론을 위한 ANFIS 예를 살펴보면 다음과 같다.

전체 퍼지 규칙 수는 81이며, 후건부 선형식 계수들은 입력 변수들을 독립변수로 하는 1차 Sugeno 퍼지 모델의 계수들을 형성한다. Fig. 6은 선폭 B를 추론하기 위한 모델링 결과를 추론값과 실제값을 비교하여 나타낸 것으로 두 값의 차이는 거의 없었다.

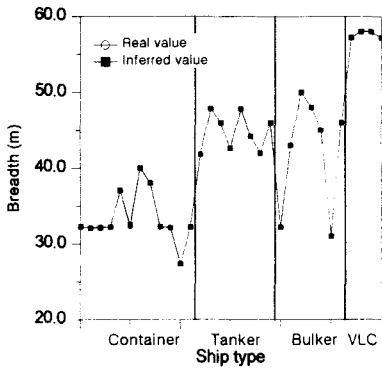


Fig. 6 Comparison of real values and values inferred by ANFIS for B

6.2 SAC 생성을 위한 ANFIS 모델링

ANFIS 적용의 ② 단계로서 ① 단계에서 구해진 주요치수 - Lbp, B, Am - 선형 계수 - Cb - 로부터 SAC를 정의하는 B-spline 조정점을 결정하는 모델링을 수행하였다.

ANFIS 모델링 조건은 Table 5와 같이 설정하였다.

Table 5 Learning conditions of ANFIS for inferring control points of SAC

Input variables	L/B, B/d, Cb, Am
Output variables	Each of control point
MF No. of each fuzzy rule	2
Epoch No.	500
Step size	0.1
Decrease_rate of step size	0.8
Increase_rate of step size	1.25

Fig. 7은 모든 조정점에 대한 ANFIS 모델링 수행을 토대로 Table 2의 설계 요구 조건에 상응하는 SAC를 나타낸 것이다.

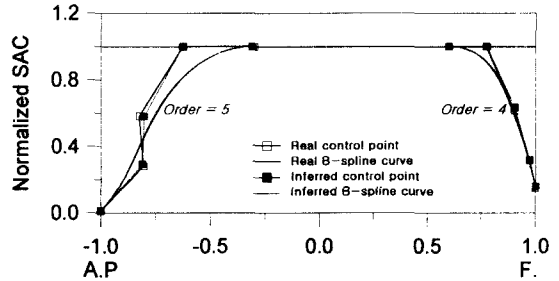


Fig. 7 Comparison real values and values inferred by ANFIS for SAC under L/B =6.7, B/d=2.64, Cb=0.833, Am= 392 m<sup>2</sup>

Fig. 7에서 나타난 ANFIS로 추론된 조정점이 정의하는 SAC는 실제선의 SAC에 아주 잘 접근하여 생성되고 있다. 그리고 이 SAC는 B-spline 곡선으로 표현했기 때문에, C<sup>2</sup> 급 연속성과 같은 장점을 SAC 곡선에서도 갖게 된다.

7. 결 론

지금까지의 연구 결과로부터 다음 결론을 얻었다.

- (1) 적응형 신경 회로망을 기반으로 구성된 퍼지 추론 시스템인 ANFIS는 기존의 퍼지 시스템 - 지식의 구조화 - 이나 신경 회로망 - 학습 능력 - 의 장점을 결합하여 선형 설계에 이용할 수 있다.
- (2) ANFIS와 B-spline을 결합하여 보다 효율적이고 정도(Precision)높은 SAC 생성이 가능하다.
- (3) SAC에 대한 B-spline 조정점 생성 예를 통해서 다른 기하학적 선형 특성 곡선 - Design waterline curve, Bottom tangent line, Side tangent line, Center profile line - 에 대해서 동일하게 적용함으로써 초기 선형 생성에 확장하여 응용 가능하다.

## 8. 참고문헌

- [1] 이동근, "지식기반시스템과 다목적 함수 최적화 기법에 의한 선박 초기 설계에 관한 연구", 박사학위논문, 부산대학교, 1995
- [2] 김수영, 김현철, "퍼지 모델링을 이용한 선미 형상 설계", 한국 퍼지 및 지능 시스템 학회, Vol. 6, No. 2, 1996
- [3] S.Y.Kim and H.C.Kim, "A Study on an Initial Hull Form Design using Fuzzy Modeling", Ship Technology Research / Schiffstechnik, 1996
- [4] 김수영, 김현철, 박조일, "인공 신경망에 의한 주요 치수 및 방형 계수 결정", 대한 조선 학회 추계 연구 발표회, pages 90-95, 1996
- [5] G.Farin, "Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design: A Practical Guide", Academic press, Inc., 1990
- [6] 김현철, "SAC와 NURBS 곡선을 이용한 초기 선형 생성에 관한 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 1995
- [7] Z.Michalewicz, "Genetic Algorithms+ Data Structures=Evolution Programs", Springer-Verlag, 1992
- [8] J.-S.R.Jang, "Neuro-Fuzzy Modeling: Architecture, Analysis and Application", PhD thesis, University of California, 1992
- [9] J.-S.R.Jang, C.-T.Sun and E.Mizutani, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prentice-Hall International, Inc., 1997
- [10] T.Takagi and M.Sugeno, "Fuzzy Implication of Systems and its Applications to Modeling and Control", IEEE Trans, Systems, Man and Cybernetics, Vol.15, No.1. pp.116-132, 1985
- [11] M.Sugeno and G.T.Kang, "Structure Identification of Fuzzy Model", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 28 pp.15-33, 1988