

# 입출력 데이터 클러스터링에 의한 퍼지 교통 제어기의 설계

## Design of the Fuzzy Traffic Controller by the Input-Output Data Clustering

지연상\* · 최완규\*\* · 이성주\*\*\*

Ji-yeon Sang\*, Wan-kyoo Choi\*\* and Sung-joo Lee\*\*\*

\* 광주보건대학

\*\* 광주대학교 컴퓨터전자통신공학부

\*\*\* 조선대학교 컴퓨터공학부

### 요 약

기존의 퍼지 교통 제어기들이 직관적 지식과 경험 또는 표준 규칙 베이스를 이용하여 규칙 베이스를 구성하지만, 그런 방식으로 구성된 규칙 베이스는 전문가와 운전자의 제어지식을 구체적이고 정확하게 표현할 수 없다는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 제어지식을 더욱 정확하게 표현한 퍼지 교통 제어기를 설계하여 퍼지 교통 제어의 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 제어지식을 정확히 표현할 수 있도록 입출력 데이터 클러스터링에 기초하여 퍼지 소속함수의 위치와 형태를 수정한다. 직관적 지식과 경험에 의해 주어진 대략적인 제어지식은 입출력 데이터 클러스터링을 위한 평가함수로 이용된다.

제안된 방법으로 설계된 퍼지 교통 제어기는 전문가와 운전자의 제어지식을 더욱 정확하게 표현할 수 있었고, 통과 차량수와 녹색시간 낭비율면에서 기존의 제어기 보다 우수한 성능을 보였다.

### Abstract

The existing fuzzy traffic controllers construct the rule-base based on the intuitive knowledge and experience or the standard rule-base, but the rule-base constructed by the above methods has difficulty in representing exactly and detailedly the control knowledge of the expert and the operator. Therefore, in this paper, we propose a method that can improve the performance of the fuzzy traffic control by designing the fuzzy traffic controller which represents the control knowledge more exactly. The proposed method so modifies the position and shape of the fuzzy membership function based on the input-output data clustering that the fuzzy traffic controller can represent the control knowledge more exactly. Our method use the rough control knowledge based on intuitive knowledge and experience as the evaluation function for clustering the input-output data.

The fuzzy traffic controller designed by the our method could represent the control knowledge of the expert and the operator more exactly, and it outperformed the existing controller in terms of the number of passed vehicles and the wasted green-time.

**Key Words** : 소속함수 수정 알고리즘, 퍼지교통 제어기

### 1. 서 론

퍼지 논리 제어기(Fuzzy Logic Controller, FLC)는 제어 입력으로부터 퍼지 추론을 통해서 제어 입력 전체 집합에서 정의된 퍼지 집합으로 출력되는데, 전문가나 운전자 등이 경험에 의해 얻은 지식을 제어규칙으로 사용할 수 있고, 불명확한 정보를 처리할 수 있다는 특징을 갖고 있어서 Mamdani의 적용 이후로 복잡한 비선형 시스템이나 수학적 모델을 가지고 있지 않은 시스템들의 제어에 적용되어 오고 있다[3].

퍼지 논리 제어기가 갖는 이러한 언어적 기술과 정성적 모델링이라는 장점을 이용하여 Mamdani와 Pappis, Gomide, Jamshimi 등 비교적 많은 퍼지 교통 제어에 관한

연구들이 수행되어 왔지만[4], 이런 연구들은 규칙 베이스를 구성하는 일반적인 방법인 직관적 지식과 경험 또는 표준 규칙 베이스를 이용하여[1] 규칙 베이스를 구성하고 있다.

그러나 위와 같은 방식으로 구성된 규칙 베이스는 전문가나 운전자의 제어지식을 구체적이고 정확하게 표현하는 것이 아니라 대략적으로 표현하고 있다는 문제가 있다.

일반적으로 FLC 설계에서 핵심이고 가장 어려운 측면인 퍼지 제어 규칙의 설계는 경험에 의존적이며 시간이 많이 걸리는 시행착오적인 과정을 거치게 되며, 때때로 전문가나 운전자의 신뢰성 있는 제어규칙을 얻기 힘든 경우가 있다[3]. 이런 경우 제어 과정으로부터의 입력과 출력 데이터를 클러스터링하여 보다 더 정확한 퍼지 제어시스템을 설계할 수 있다[2].

따라서 본 연구에서는 직관적 지식과 경험에 의해 주어진 대략적인 교통 제어 지식을 평가함수로 한 입출력 데이터의 클러스터링에 기초하여 제어규칙의 전건부와 후건부 소속함수의 위치와 형태를 조정하는 과정을 통해 더 정확한 퍼지

접수일자 : 2000년 7월 9일

완료일자 : 2000년 12월 19일

교통 제어기를 설계하여 교통 제어의 성능을 향상시키고자 한다.

2장에서는 본 연구에서 제안한 퍼지 교통 제어기의 구조를 살펴보고, 3장에서는 실험을 통해서 제안된 퍼지 교통 제어기의 유용성을 보여준다. 4장에서는 결론 및 향후 연구과제를 제시한다.

## 2. 클러스터링에 기초한 퍼지 교통 제어기

일반적인 퍼지 교통 제어기의 구조는 그림 1과 같다[4].

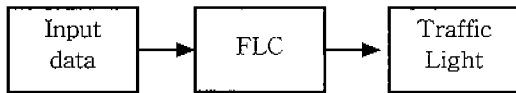


그림 1. 일반적인 퍼지 교통 제어기  
Fig 1. The general fuzzy traffic controller

이에 비해서 본 연구에서 제안한 퍼지 교통 제어기는 그림 2와 같이 FLC의 초기화를 위한 퍼지 소속 함수 수정기(Fuzzy Membership Function Modifier)를 추가하였다.

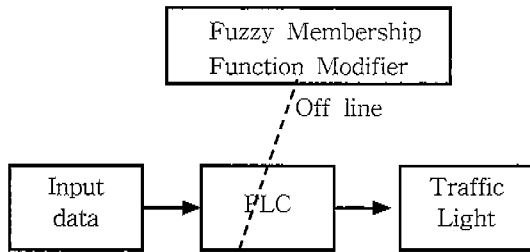


그림 2. 제안된 퍼지 교통 제어기  
Fig 2. The proposed fuzzy traffic controller

퍼지 소속 함수 수정기의 구조는 그림 3과 같고, 알고리즘은 그림 4와 같다.

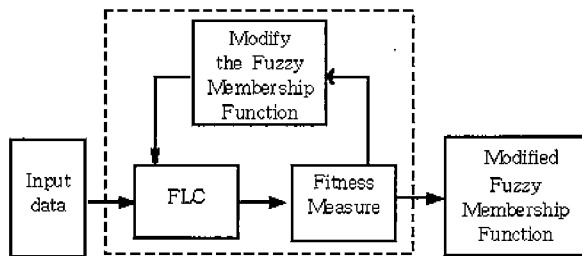


그림 3. 퍼지 소속 함수 수정기  
Fig 3. The fuzzy membership function modifier

그림 3의 퍼지 규칙 수정기에서 입력 데이터(input data)는 퍼지 제어기에 입력을 위해 부작위로 발생된 데이터 집합이고, 퍼지 논리 제어기는 직관적 지식과 경험에 의해 주어진 제어지식에 근거하여 구성된 제어기이고, 적합도 척도(Fitness measure)는 식(1)과 같이 정의한다.

$$fitness = \frac{|X_{incons}|}{|X_{all}|} \quad (1)$$

$X_{all}$ : <입력, 출력>쌍의 데이터 집합

$X_{incons}$ : 제어지식을 만족하지 않는 데이터 집합

fitness가 주어진 임계치  $\alpha$ 를 만족하지 않으면(즉,  $fitness < \alpha$ ), 퍼지 소속함수들이 수정되는 과정을 반복한다.

```
function ModifyMF(FLC, eval_rules,  $\alpha$ )
/*eval_rules: 주어진 평가 규칙들의 집합
 $\alpha$ : 명시된 임계치
FLC: 직관적 지식과 경험에 의해 주어진 제어지식에 근거하여 구성된 제어기*/
{
while(TRUE)
{
input = random();
output = evaluate_FLC(FLC, input);
if(eval(input, output, eval_rules) >=  $\alpha$ )
break;
else
{
delete_inconsistent(input, output);
center = clustering(input, output);
FLC=make_new_FLC(FLC, center);
}
}
center = clustering(input, output);
return make_new_FLC(center);
}
```

그림 4. 소속 함수 수정 알고리즘

Fig 4. Algorithm for modifying the fuzzy membership function

퍼지 제어 규칙의 전건부와 후건부 소속 함수의 위치와 형태는  $X_{all} - X_{incons}$  집합 내의 입출력 데이터들을 FCM(Fuzzy C-Means) 클러스터링 알고리즘을 이용하여 클러스터링 함으로써 조정된다.

## 3. 실험 및 결과

클러스터링에 기초한 퍼지 교통 제어기의 성능을 확인하기 위해서 [5]의 교통 신호 제어를 위한 퍼지 논리 제어기를 입출력 데이터 클러스터링에 기초하여 수정하고 두 제어기를 비교 평가하였다.

실험은 편도 2차선 네거리 교차로를 대상으로 하였다. 도로의 한 구간의 길이는 100m, 자동차 한 대의 길이는 4m, 차량의 속도는 평균 20km/h로 가정하고, 직진과 좌회전 동시 신호에 의한 4현시 체제에서 실험하였다.

### 3.1 소속 함수의 위치와 형태 수정

[5]의 제어기는 2입력 1출력의 퍼지 교통 제어기로서 입력 변수는 '도로상에 정차된 차량의 수(NUMBER)'와 '적색 신호 대기시간(TIME\_RED)'이고, 출력 변수는 '각 도로에서의 녹색 신호시간(TIME\_GREEN)'이다. 이 제어기에서 직관적 지식과 경험에 의해 주어진 제어규칙들은 표 1과 같고, 표 1에서 유추된 제어지식은 그림 5와 같다.

그림 6, 7, 8은 식 (1)에서의 임계치를  $\alpha=0.99$ 로 설정하고, 입출력 데이터의 클러스터링을 통해 [5]의 제어기의 퍼지 소속 함수들의 위치와 형태가 수정된 결과를 보여준다.

표 1. [5]의 제어규칙  
Table 1. Control rules of [5]

| NUMBER \ TIME_RED | NB | NS | ZE | PS | PB |
|-------------------|----|----|----|----|----|
| NB                | ZE | PS | PB | PB | PB |
| NS                | NS | ZE | PS | PB | PB |
| ZE                | NB | NS | ZE | PS | PB |
| PS                | NB | NB | NS | ZE | PS |
| PB                | NB | NB | NB | NS | ZE |

1. 적색 신호가 같고 대기 차량수가 많으면, 녹색 신호 시간이 길다.
2. 적색 신호가 길고 대기 차량수가 적으면, 녹색 신호시간이 짧다.
3. 대기 차량수가 같고 적색 신호가 길면, 녹색 신호시간이 짧다.
4. 대기 차량수가 많고 적색 신호가 짧으면, 녹색 신호 시간이 길다.

그림 5. [5]의 제어지식  
Fig 5. Control knowledge of [5]

표 2는 임의의 시간에 측정된 각 도로상황에 대해서 [5]의 제어기와 제안된 제어기의 출력 결과를 보여준다.

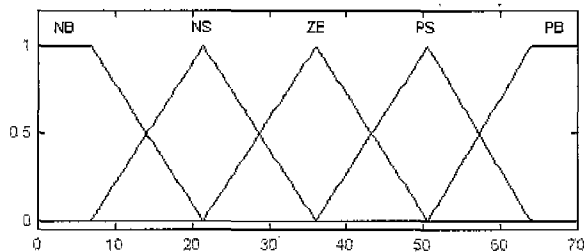


그림 6. TIME\_RED의 소속함수  
Fig 6. Membership function of TIME\_RED

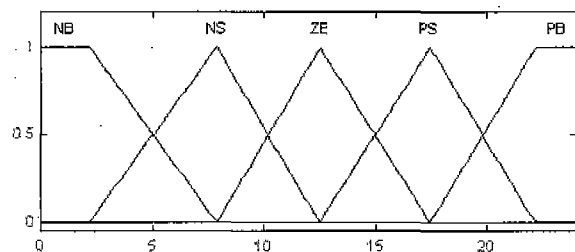


그림 7. NUMBER의 소속함수  
Fig 7. Membership function of NUMBER

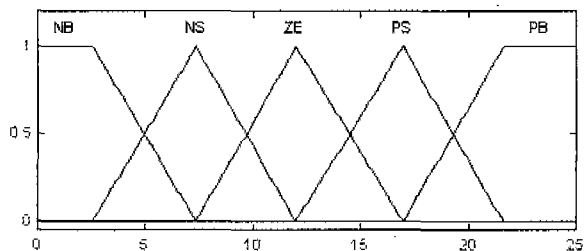


그림 8. TIME\_GREEN의 소속함수  
Fig 8. Membership function of TIME\_GREEN

### 3.2 실험 결과 및 기대효과

먼저, [5]의 제어기와 제안된 제어기의 적합도를 비교하였다. 입력 변수 TIME\_RED와 NUMBER에 대해서 random 함수를 이용하여 매회 1000개의 입력 값들을 발생시켜 10회

표 2. 도로상황에 대한 출력 값  
Table 2. The inferred result values of road situations

| 도로    | 입력   |      | [5]의 출력 | 제안된 제어기의 출력 |
|-------|------|------|---------|-------------|
|       | 적색신호 | 대기차량 |         |             |
| Road0 | 15   | 11   | 19      | 17          |
| Road1 | 0    | 4    | 18      | 14          |
| Road2 | 60   | 18   | 13      | 10          |
| Road3 | 37   | 14   | 13      | 13          |

에 걸친 실험 결과 [5]의 제어기의 평균 적합도 0.6046이었고, 제안된 제어기의 평균 적합도는 0.9842로 나타났다. 위의 결과로 볼 때 제안된 제어기가 [5]의 제어기보다 제어지식을 더욱 정확하게 표현할 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 차량 통과 대수와 녹색 시간 낭비율 면에서 고정식 제어, [5]의 제어기, 제안된 제어기를 400초 동안 실험한 결과는 표 3과 표 4와 같이 나타났다. 여기서, 녹색 시간 낭비율은 식 (2)와 같이 정의한다.

$$\text{녹색시간 낭비율} = \frac{\sum_{i=0}^n (Gt_i - Pt_i)}{\sum_{i=0}^n (Gt_i + Yt_i)} \quad (2)$$

- Gti: 도로 i에서 녹색 신호 시간
- Pti: 도로 i의 모든 대기차량이 통과하는데 걸리는 시간
- Yti: 도로 i에서 황색 신호 시간
- n : 실험회수 \* 4

표 3. 평균 차량 통과 대수

Table 3. The average number of passed vehicles

| 실험 회수 | 정주기 | [5]의 제어기 | 제안된 제어기 |
|-------|-----|----------|---------|
| 1     | 553 | 586      | 652     |
| 2     | 619 | 643      | 714     |
| 3     | 626 | 636      | 701     |
| 4     | 596 | 617      | 688     |
| 5     | 553 | 639      | 674     |

표 4. 평균 녹색 시간 낭비율

Table 4. The rate of the wasted green-time

| 실험 회수 | 정주기      | [5]의 제어기 | 제안된 제어기  |
|-------|----------|----------|----------|
| 1     | 0.368688 | 0.290749 | 0.210670 |
| 2     | 0.304688 | 0.246248 | 0.165821 |
| 3     | 0.305875 | 0.268407 | 0.178861 |
| 4     | 0.329688 | 0.274251 | 0.186452 |
| 5     | 0.366875 | 0.258492 | 0.195328 |

표 5는 고정식 제어에 대한 [5]의 제어기와 제안된 제어기의 개선도를 나타내고, 표 6은 [5]의 제어기에 대한 제안된 제어기의 개선도를 나타낸다.

표 5에서, 고정식 제어기에 비하여 차량 통과 대수 면에서 [5]의 제어기는 평균 6%정도 개선되지만 제안된 제어기는

표 5. 고정식 제어에 대한 개선도

Table 5. The improved degree in comparison with the fixed control

| 실험 회수 | 녹색시간 낭비율 |          | 차량 통과 대수 |          |
|-------|----------|----------|----------|----------|
|       | [5]의 제어기 | 제안된 제어기  | [5]의 제어기 | 제안된 제어기  |
| 1     | 0.211396 | 0.428595 | 0.059195 | 0.178369 |
| 2     | 0.191803 | 0.455768 | 0.037868 | 0.153333 |
| 3     | 0.122494 | 0.415248 | 0.01509  | 0.119786 |
| 4     | 0.16815  | 0.434459 | 0.035893 | 0.155378 |
| 5     | 0.295422 | 0.46759  | 0.155053 | 0.218957 |
| 평균    | 0.197853 | 0.440332 | 0.06062  | 0.165165 |

16%정도 개선되었고, 녹색시간 낭비율 면에서 [5]의 제어기는 평균 19% 정도 개선되지만 제안된 제어기는 44%정도 개선되었다.

표 6. [5]에 대한 제안된 제어기의 개선도

Table 6. The improved degree of the modified controller in comparison with [5]

| 실험회수 | 녹색시간 낭비율 | 차량통과 대수  |
|------|----------|----------|
| 1    | 0.275423 | 0.112628 |
| 2    | 0.32661  | 0.11042  |
| 3    | 0.33362  | 0.102201 |
| 4    | 0.320141 | 0.115073 |
| 5    | 0.244356 | 0.054773 |
| 평균   | 0.30003  | 0.099019 |

또한 표 6에서, 제안된 제어기는 [5]의 제어기에 비해서 차량 통과 대수 면에서 대략 10%정도, 녹색시간 낭비율 면에서 대략 30% 정도가 개선되는 효과를 보였다.

이 실험을 통해서 제안된 방법으로 설계된 퍼지 교통 제어기는 기존의 제어기 보다 향상된 성능을 보여줄 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 직관적 지식과 경험에 의해 주어진 대략적인 교통 제어 지식을 평가함수로 한 입출력 데이터의 클러스터링에 기초하여 제어규칙의 전건부와 후건부 소속함수의 위치와 형태를 조정하는 과정을 통해, 더 정확하게 제어지식을 표현하여 제어기의 성능을 향상시킬 수 있는 퍼지 교통 제어기를 설계하였다.

제안된 방법의 성능을 검증하기 위해 기존의 퍼지 교통 제어기와 입출력 데이터 클러스터링을 통해 소속함수의 위치

와 형태가 제안된 퍼지 교통 제어기를 일정 시간 동안 교차로를 통과한 차량대수와 녹색시간 낭비율을 통해 비교 평가하였다. 실험결과 제안된 방식으로 설계된 퍼지 교통 제어기는 기존의 제어기보다 훨씬 향상된 성능을 보임을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Ercument Karakas, Hasan Kulunk, "Adaptive control of Bolu highway tunnel ventilation system using fuzzy logic", *Proceedings of the 1998 ACM symposium on Applied Computing*, pp. 282-286, 1998.
- [2] 김문수, 공성근, "입출력 부공간에서의 클러스터링에 의한 퍼지제어 시스템 설계", *전자공학회 논문지-S*, vol. 34-S, no. 12, pp. 30-40, 1997.
- [3] 김용태 외, "학습/적응능력을 갖는 퍼지제어 시스템들에 관한 고찰", *한국퍼지및지능시스템학회 논문지*, vol. 5, no. 3, pp. 11-35, 1995.
- [4] 김종완, 한병준, "퍼지논리를 사용한 교통망 제어기의 개발", *정보처리학회 논문지*, vol. 5, no. 11, pp. 2908-2914, 1998.
- [5] 이영신, 이윤배, "퍼지제어를 적용한 교차로에서의 최적 교통 신호시스템", *정보처리학회논문지*, vol. 4, no. 1, pp. 167-176, 1997.

저 자 소 개



지 연 상 (Ji-Yeon Sang)  
1961년 11월 5일생  
1990년 8월 : 조선대학교 전자계산학과 (이  
학석사)  
1999년 : 조선대학교 전자계산학과 (박사과  
정수료)  
1994년 3월 ~ 현재 : 광주보건대학 방사선과  
부교수 재직

관심분야 : 퍼지 러프집합, 소프트웨어 공학, 원격진단 시스  
템, PACS



이 성 주 (Sung-Joo Lee)  
1970년 : 한남대학교 물리학과(학사)  
1992년 : 광운대학교 전자계산학과  
(이학석사)  
1998년 2월 : 대구 가톨릭대학교  
(이학박사)  
1988년 ~ 1990년 : 조선대학교 전자계산소  
소장

1981년 ~ 현재 : 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야 : 소프트웨어 공학, 프로그래밍 언어, 객체지향 시  
스템, 러프집합, 전자상거래



최 완 규 (Wan-Kyoo Choi)  
1988년 : 서울대학교 종교학과 (학사)  
1992년 ~ 1993년 : (주) 공성통신  
1993년 ~ 1995년 : (주) 한양시스템  
1997년 2월 : 조선대학교 전자계산학과  
(이학석사)  
2000년 8월 : 조선대학교 전자계산학과  
(이학박사)

2000년 ~ 현재 : 광주대학교 컴퓨터 전자통신공학부 전임강사

관심분야 : 객체지향 시스템, 러프집합, 퍼지제어, 전자상거래