

교통신호제어시스템의 최적화에 관한 연구

정동일 · 추형석 · 안중구
전기전자 및 자동화 공학부

<요 약>

교통신호시스템을 퍼지 이론을 이용하여 최적화 시키는 알고리즘에 관하여 연구하고, 간단한 교차로에 적용시켜 보았다. 퍼지이론을 이용한 교통신호시스템을 이용할 경우 신호등에서의 대기시간이 감소함을 알 수 있었다.

Traffic Signal Control System using Fuzzy Theory

Dong Il Chung · Hyung Suk Chu and Chong Koo An
School of Electrical Engineering and Automation

<Abstract>

In this paper, a fuzzy algorithm, which is optimized the traffic control system, is studied, and this algorithm is applied to a simple crossroad. The delay time (i.e., waiting time) of the fuzzy controlled traffic signal system is less than that of the conventional system.

1. 서론

현재 대도시문제로 가장 큰 문제 중 하나가 교통 체증현상이다. 기하급수적으로 증가하는 차량 수, 부족한 도로상황 등이 교통체증의 주원인이 되고있고, 차량의 정체로 인한 심각한 연료낭비와 시간낭비 등이 발생하고있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 지금 당장 차량의 수를 제한하거나 무작정 도로의 폭이나 길이를 늘일 수는 없기 때문에 다른 관점에서 교통체증현상을 해결할 수 있는 방안에 대한 필요성이 요구되고있다. 이와 같은 해결

방안중의 하나가 신호등 체계를 효율적으로 개선하는 방법이다. 현재의 신호등 시스템은 교통량에 따라 신호등 파라미터가 항상 일정 하기 때문에 교통량이 많을 경우 효율적인 교통량 처리를 할 수 없다. 따라서 신호등 시스템의 효율적 개선의 취지는 교통량에 따라 신호등 파라미터를 적응적으로 바꾸는 것이다.

본 논문에서는 퍼지제어이론을 이용하여 적응형 퍼지 신호등 시스템을 제안하였고, 제안한 모델과 현 신호등 모델을 같은 조건에서 시뮬레이션을 하여 그 결과를 비교하였다. 퍼지제어이론을 이용한 적응형 신호등 시스템은 교통량을 보다 효율적으로 처리하여 현재의 신호등 시스템보다 차량의 정체현상을 줄일 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

서론에 이어 2절에서는 퍼지제어 교통신호 시스템에 관하여 설명하였고, 3절에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하여, 결과를 보였고, 4절에서 결론을 맺었다.

2. 퍼지제어 교통신호 시스템

퍼지제어는 퍼지논리에 기초를 두고 있다. 퍼지논리는 기존 논리 체계보다 인간의 사고나 자연어의 특성과 많은 유사성을 가지고 있어서, 실세계의 근사적이고 불확실한 현상을 기술하는데 효과적으로 이용될 수가 있다. 이러한 관점에서 퍼지제어기를 퍼지논리 제어기(fuzzy logic controller, FLC)라고도 부른다. 퍼지 제어기의 핵심적인 부분은 일련의 언어적 형식의 제어규칙이며, 여기에는 퍼지 연관관계가 포함되어 있고, 퍼지합성 규칙에 의해서 제어입력이 생성된다. 결국 FLC는 전문가의 제어지식을 언어적 형태로 기술한 제어규칙을 자동 제어기가 동작하도록 역할을 바꾸어 주는 기능을 하는 것이다[1]. 본 논문에서는 이러한 퍼지 논리를 교통신호체계에 적용하는 알고리즘을 개발하였다.[2,3,4,5]

2.1 2현시 교차로

신호등 체계는 현시(phase), 주기(Cycle time), 스피릿(Split), 오프셋(Offset)과 같은 네 가지 기본 요소로 구성되어 있다. 현시란 차량이 이동 할 수 있는 방향의 수를 말한다. 현재의 녹색 신호 시작점으로부터 다음 번 녹색 신호의 시작점까지의 시간적 간격을 주기라 하며, 스피릿은 1주기에서 각 현시에 할당되는 시간의 길이를 말하며 주기에 대한 비율로 나타낸다. 오프셋은 인접한 교차로간에 차량의 정체를 줄이기 위해 녹색 신호간의 차이를 두는 것으로 두 개의 교차로간 Timing 관계를 나타낸다. 현재의 신호등 체계는 교차로로 진입하는 교통량에 관계없이 항상 일정한 파라미터를 가지고 있다. 본 논문에서는 교통량에 따라 적응적으로 변하는 파라미터를 가진 신호등 체계를 갖는 시스템을 구현하여 교통 체증과 그것으로 인한 차량의 지연시간을 감소시키고, 간단한 2현시(전후 좌우) 교차로를 설정한 후 그 교차로의 신호등 파라미터를 교차로에 진입하는 교통량에 따라 적응적으로 변화시키는 알고리즘으로서 퍼지제어 이론을 도입하여 간단한 퍼지 신호등 제어 시스템에 관하여 연구하였다.

본 논문에서 설정한 2현시 교차로를 그림 1에 보였다. 각 거리마다 2개의 센서가 배치되어 있다. 이들의 역할은 각 거리로 진입하는 교통량을 계산하는 것이다. 먼저 교차로에서 떨어져 있는 센서들(S2, S4, S6, S8)은 처음 녹색신호의 시작점부터 다음 적색 신호의 종

점까지의 시간 간격 동안 교차로로 진입하는 차량 수를 측정하고, 교차로에 근접한 센서들(S1, S3, S5, S7)은 처음 녹색신호 동안 교차로를 통과하는 차량의 수를 측정한다. 그러면 다음 녹색신호가 켜지기 전까지 두개의 센서 값의 차가 적색신호 동안 대기하고 있는 각 거리의 교통량이 된다. 각 거리의 두 개의 센서간의 간격은 250M로 설정하고, 각 차량사이의 간격은 평균 5M로 가정하여 각 거리의 센서들이 측정 할 수 있는 최대 교통량 수를 50대로 설정하였다.

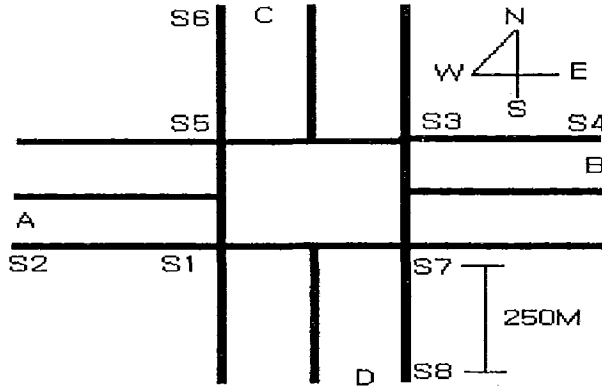


그림 1. 2현시 교차로

2.2 시스템 개요

그림 2는 퍼지신호등 시스템의 전체적인 블록 다이어그램이다. 센서에서 측정한 각 거리의 교통량이 퍼지제어기의 입력 값이 되고 퍼지제어기는 이러한 입력 값을 가지고 각 교통량에 적합한 주기와 스프릿을 산출하여 신호등에 인가한다. 그림 3은 퍼지제어기에 관한 세부 블록 다이어그램이다.

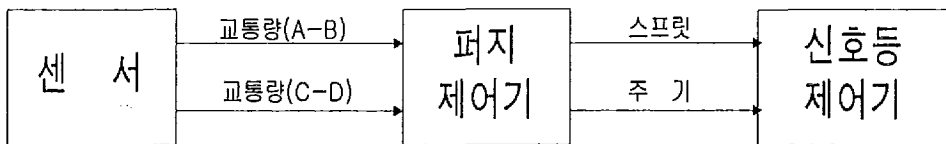


그림 2. 퍼지 신호등 시스템

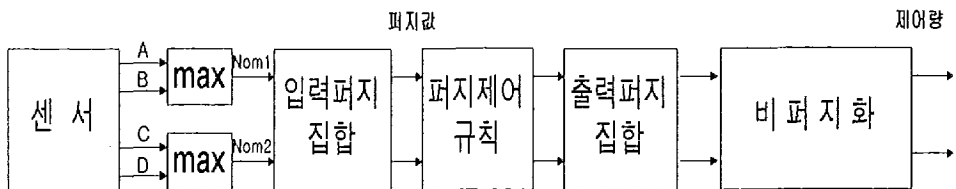


그림 3. 퍼지제어기

실제 퍼지제어기의 입력 값은 nom1 , nom2 이고, 각 현사(AB(좌우) , CD(상하))의 최대 교통량을 나타낸다. nom1 , nom2는 다음과 같이 구해진다.

$$\text{nom1} = \text{MAX} [n(A) , n(B)] , \text{nom2} = \text{MAX} [n(C) , n(D)]$$

(n = 각 거리의 센서에 의해 측정된 교통량)

퍼지 제어기 내에서 사용되는 값들은 0 과 1 사이의 퍼지값(membership degree)이다. 따라서 퍼지제어기의 입력인 nom1 , nom2 는 퍼지값으로 바뀌어야 한다. 입력 퍼지집합은 퍼지제어기에 인가된 실제 값들을 각 퍼지집합에 대응시켜 퍼지값으로 바꾸는 역할을 한다. 본 논문에서는 각 교통량의 상태에 따라 5개의 언어 변수를 설정하여, 그에 적절한 구간을 나누어 각 언어 변수에 해당하는 5개의 퍼지집합들을 설정하였다. 입력 퍼지집합의 형태로는 삼각 퍼지숫자와 사다리꼴 퍼지숫자가 사용되었다. 그리고 각 퍼지숫자가 대응되는 공간은 0에서 50의 차량 수를 나타내는 실수이다

그림 4에서는 입력퍼지집합을 보였으며, 표 1에서는 각 퍼지집합의 형태, 구간, 명칭을 설명하였다.

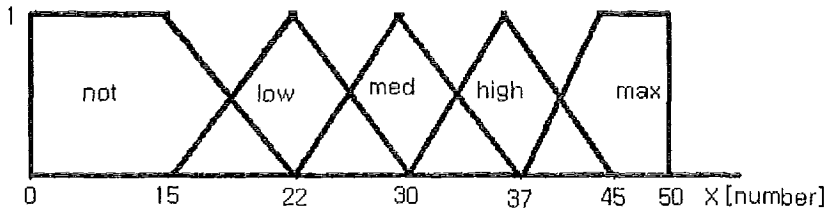


그림 4. 입력 퍼지집합

표 1. 입력퍼지집합

명 칭	형 태	구 간	명칭 설명
not	사다리꼴	0, 15, 22	교통체증이 거의 없는 상태
low	삼각형	15, 22, 30	약간의 교통 체증이 있는 상태
med	삼각형	22, 30, 37	교통 체증이 있는 상태
high	삼각형	30, 37, 45	교통 체증이 약간 심각한 상태
max	사다리꼴	37, 45, 50,	교통 체증이 매우 심각한 교통량 포화 상태

입력 퍼지집합에 의해 바뀌어진 퍼지 값들은 퍼지제어 규칙에 의해 원하는 제어 양에 대한 퍼지 값으로 바뀌어져 각 출력 퍼지집합들에 대응된다. 두 가지 제어 량에 대해 각각 서로 다른 출력 퍼지 값이 산출되므로, 이 값들에 대해 서로 다른 두 가지 출력 퍼지집합 균을 설정하였다.

그림 5는 주기조절에 대한 퍼지집합 균을, 그림 6은 스피릿 조절을 위한 퍼지집합 균을 나타내고 있다. 입력 값 nom1, nom2에 대해 각각 5개의 언어 변수가 존재하므로 그것들을 조합한 25개씩의 퍼지 제어규칙을 주기조절(cycle time)과 스피릿(split) 조절에 대해 각각 설정하여 표 2에 보였다.

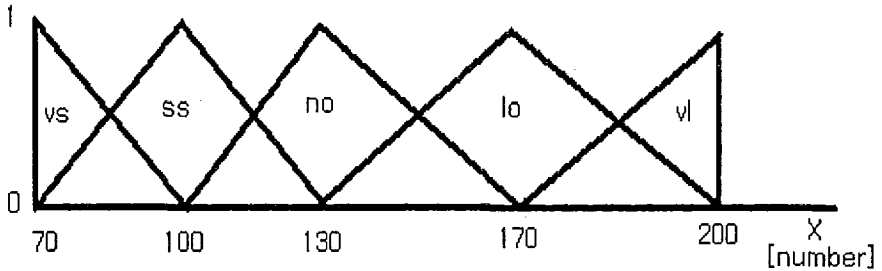


그림 5. 주기 조절에 대한 출력퍼지집합

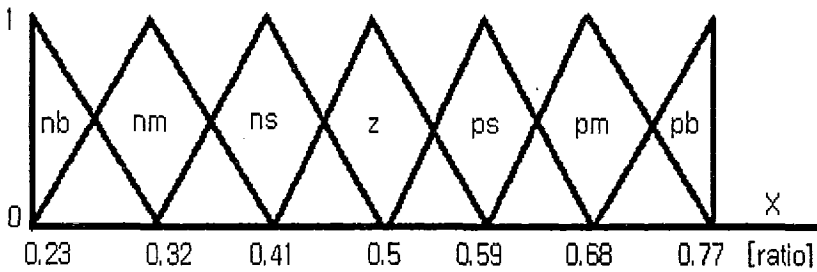


그림 6. 스프릿 조절을 위한 출력퍼지집합

3. 알고리즘의 적용 실험

앞절에서 설정한 퍼지신호등 시스템 모델의 효율성을 검증하기 위하여 퍼지 신호등 시스템과 일정한 파라미터를 갖는 일반 신호등 시스템을 시뮬레이션 하였다. 먼저 시뮬레이션을 하기 앞서 다음과 같은 두 가지 가정을 하였다.

1. 차량이 교차로를 통과하는데 거리는 시간은 평균 2초이다.
 2. 초기 상태는 주기는 120초이고 스프릿은 0.5(현시길이 60초)이다.
- 즉 일반 신호등 시스템은 항상 120초 주기와 0.5 스프릿을 갖고, 두 시스템에 인가되는 교통량은 실제 교차로의 교통량과 비슷하게 차량이 많을 때(rush hour)와 적을 때를 각각 구분하여 인가하고, 다음과 같은 세 가지 성능 지수를 설정하여 퍼지 신호등 시스템의 성능을 실험을 통하여 확인하였다.

표 2. 퍼지제어 규칙

	nom1		nom2		C T	Split
IF	not	AND	not	THEN	vs	z
	not		low		vs	ns
	low		not		vs	ps
	not		med		ss	nm
	med		not		ss	pm
	med		low		ss	ps
	low		med		ss	ns
	low		low		ss	z
	not		high		no	nb
	high		not		no	pb
	low		high		no	nm
	not		low		no	ns
	med		med		no	z
	max		not		no	pb
	not		max		no	nb
	med		high		lo	ns
	high		med		lo	ps
	low		max		lo	nb
	max		low		lo	pb
	max		med		lo	pm
med	max	lo	nm			
high	high	lo	z			
max	high	vl	ps			
high	max	vl	ns			
max	max	vl	z			

1. 시뮬레이션 시간(8시간)동안 교차로를 통과한 총 차량의 수.
2. 시뮬레이션 시간(8시간)동안 정체한 차량에 의해 발생한 총 지연시간.
3. 시뮬레이션 시간(8시간)동안 정체한 차량에 의해 소모된 총 연비.

정체한 차량에 의해 발생한 총 지연시간은 처음 녹색신호동안 교차로를 통과하지 못한 차량의 수와 처음녹색 신호 시점부터 그 다음 녹색신호 시점까지의 시간간격을 곱하여 구하였고, 소모되는 연비는 지연시간 1분당 100원으로 가정하여 계산하였다. 컴퓨터를 이용한 실험은 두 시스템에 대해 각각 8시간씩 수행하였다.

표 3에서 퍼지신호등 시스템과 일반신호등 시스템의 성능을 비교하여 보았다. 퍼지신호등 시스템에서 총 312대의 차량이 일반 신호등 시스템에서 보다 더 많이 통과하였고, 총 58,142분의 시간지연이 줄어들었다. 그림 7과 그림 8은 시뮬레이션 시간동안 각 시스템에서의 통과 차량 수와 지연시간의 누적 변화를 나타내고 있다

표 3. 8시간동안의 실험 결과

	통과한 총 차량수	지연 시간
퍼지신호등 시스템	23,972 대	278 분
일반신호등 시스템	23,660 대	58,420 분

그림 7. 퍼지 신호등 시스템

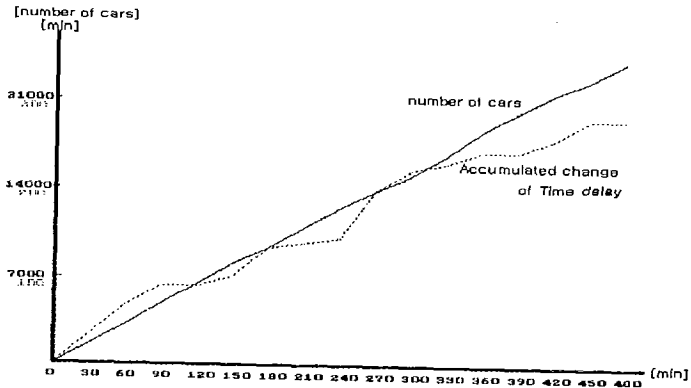
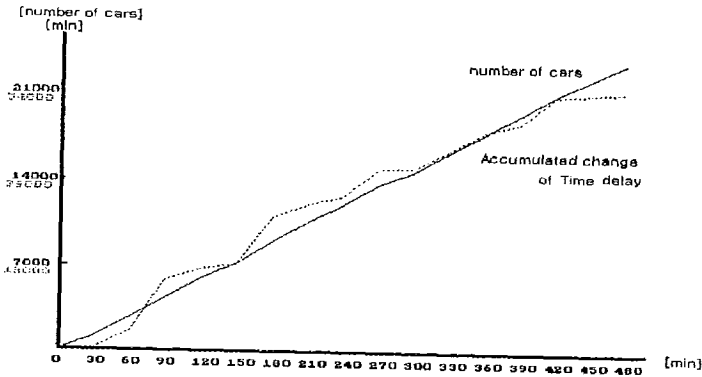


그림 8. 일반 신호등 시스템



4. 결론

본문에서는 퍼지 제어이론을 이용하여 적응형 퍼지 신호등 시스템을 제안하였고, 제안한 모델과 현 신호등 모델을 같은 조건에서 시뮬레이션을 하여 그 결과를 비교 및 검증하였다. 퍼지 제어이론을 이용한 적응형 신호등 시스템은 교통량을 보다 효율적으로 처리하여 현재의 신호등 시스템보다 차량의 정체현상과 연료낭비를 줄일 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다. 시뮬레이션 결과를 고찰해보면 총 통과한 차량의 수는 비슷하였으나, 지연시간이 상당히 줄어들었다. 이는 본 논문의 목적인 지연시간 감소에 부합되며, 제안한 퍼지 이론을 이용한 교통신호 시스템을 잘 적용하면 도로를 확장하지 않고도 도로를 확장한 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 물론 본문에서 설정한 시스템은 상당히 간단하고 실제 거리 상황과 약간의 차이는 있지만 지연시간이 매우 많이 줄었기 때문에 실제 적용하더라도 지연시간을 많이 줄일 수 있을 것이라 생각된다.

참고문헌

1. Bart Kosko, Fuzzy Thinking, Hyperion, New York, 1993.
2. C. Pappis and E. Mamdani, 'A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction', IEEE Trans. System, Man, Cybernetics, Vol. 7, No. 10, 1977.
3. D. Robertson and R. D. Bretherton, 'Optimizing Networks of Traffic Signals in Real Time - the SCOOT Method', IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 1, 1991.
4. S. Chiu and S. Chand, 'Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy logic', Fuzzy Logic Technology and Applications (Edited by R. J. Marks II), IEEE Technology Update Series, 1994
5. Y. Hong and H. Jin and C. Park, 'New Electrosensitive Traffic Light using Fuzzy Neural Networ', IEEE Trans. Fuzzy Systems, Vol. 7, No. 6, 1999.