

소속함수 수정 알고리즘에 의한 혼잡상황에 적응하는 퍼지 교통 신호 제어기

최완규*

*광주대학교 컴퓨터전자통신공학부
e-mail:wkchoi@kwangju.ac.kr

A Fuzzy Traffic Light Controller Adaptable to the Congestion of Traffic based on the Membership Function Modification Algorithm

Wan-Kyoo Choi*

*Division of Computer, Electronic & Communication
Engineering, Kwangju University

요약

본 연구에서는 상류부 교차로에서 발생하는 교차로 막힘 현상으로 인해 진행방향의 녹색시간의 손실이라는 장애가 발생하게되는 상황을 고려하기 위해 진행차선의 정체도를 도입하여 교통 혼잡상황에 적절히 대응할 수 있는 퍼지 교통신호 제어기를 제안한다. 먼저 입출력 공간을 균등 분할한 퍼지 교통신호 제어기를 구성하고, 소속함수 수정알고리즘에 의해 제어기를 수정한다. 실험을 통해 고정식 제어기, 균등 분할한 제어기와 수정된 제어기의 성능을 교차로 지체시간, 진입율과 통과율 면에서 비교하였다. 실험 결과는 수정된 제어기가 다른 제어기들에 비해 향상된 성능을 보여주었다.

1. 서론

퍼지 논리 제어기(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[1].

퍼지 논리 제어기가 갖는 이러한 언어적 기술과 정성적 모델링이라는 장점을 이용하여 Mamdani와 Pappis, Gomide, Jamshimi, 김중완, 홍윤광, 김혜정 등 비교적 많은 퍼지 교통 제어에 관한 연구들이 수행되어 왔다. 이 연구들은 진입 차량수, 대기차량수, 자동차의 밀도, 적색 신호 시간 등을 입력 변수로 하여 녹색신호 지속시간을 출력변수로 사용한다[2].

그러나 이러한 연구들의 대부분은 비포화교통류를 전제로 하고 있으므로 논리적인 면에서 과포화상태에 그대로 적용할 수 없다. 즉, 상류부 교차로에서 발생하는 교차로 막힘현상(spillback)으로 인해 진행방향의 녹색시간의 손실이라는 장애가 발생하게 된다[3]. 따라서 진행 차선을 고려하지 않은 교통제어기들은 교통상황 변화에 적절히 대응하기 어렵기 때문에 교통 혼잡 상황에 적절히 대응하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 상류부 교차로에서 발생하는 교차로 막힘 현상을 고려하기 위해 진행 차선의 정체도를 도입하여 교통혼잡 상황에 적절히 대처할 수 있는 퍼지 교통신호 제어기를 제안한다.

본 연구에서는 먼저 각각의 언어 레벨에 똑같은 크기와 형태의 소속함수를 사용하는 균등 분할된 퍼지 제어기를 구성하고, 다음으로 소속함수 수정알

고리즘에 의해 균등 분할된 퍼지 제어기의 소속함수의 크기와 형태를 수정한다. 마지막으로 고정식 제어기, 균등 퍼지 제어기와 수정된 퍼지 제어기의 성능을 평가한다.

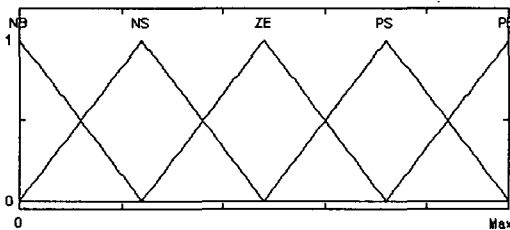
2. 교통 혼잡 상황을 고려한 퍼지 교통신호 제어기

퍼지 제어기를 사용하는 지능형 교통 신호 제어기의 목적은 진행차선에서의 교통상황과 현 교차로의 대기 차선들의 교통상황을 파악하여 상황에 적절한 신호를 발생시킴으로써 교통혼잡을 경감시키고 지체 시간을 감소시키는데 있다.

본 연구에서의 시스템 설계를 위한 전제조건은 다음과 같다.

1. 각 도로의 검지선에 의해 도로의 정체도를 파악할 수 있다.
2. 황색 시간은 교차로의 폭, 차량의 길이 등의 요소에 의해 결정된다.

퍼지 교통 신호 제어기의 입력변수는 교차로의 대기차선에서의 대기 차량수(Volume)와 적색신호 대기 시간(TimeRed)과 진행 차선의 정체도(Congestion)로 결정하고, 출력은 녹색신호 지속시간으로 결정한다. 입출력 변수에 대해 NB(negative big), NS(negative small), ZE(zero), PS(positive small)와 PB(positive big) 등의 5가지 언어적 변수들을 사용하며, 각 입출력 변수의 퍼지화를 위한 소속함수들은 (그림 1)과 같이 입출력 구간을 균등 분할한다.



(그림 1) 입출력 변수들을 위한 소속함수

교통신호 제어기는 먼저 대기 차량수와 적색신호 대기 시간을 입력으로 하고 <표 2>의 규칙을 이용하여 대기 차선의 복잡도(Complexity)를 결정한다.

<표 2> 대기차선 복잡도 산출 규칙

Volume TimeRed	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

다음으로 대기차선의 복잡도와 진행차선의 정체도를 입력으로 하고 <표 3>의 규칙을 이용하여 녹색신호 시간을 결정한다. 계산된 결과를 신호기에 적용하기 위해 무게중심법에 따라 비퍼지화 한다.

<표 3> 녹색신호시간 결정 규칙

Complexity Congestion	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NS	ZE	PS	PB
NS	NB	NS	ZE	PS	PS
ZE	NB	NS	ZE	ZE	ZE
PS	NB	NS	NS	NS	NS
PB	NB	NB	NB	NB	NB

3. 소속함수 수정알고리즘

삼각형 소속함수는 계산이 단순하고 위치와 폭으로 파라미터화 할 수 있다는 장점이 있지만, 각각의 언어 라벨에 똑같은 크기와 형태의 소속함수를 사용하므로 일정한 성능밖에 기대할 수 없다. 이런 경우 제어 과정으로부터의 입력과 출력 데이터를 클러스터링하여 보다 더 정확한 퍼지 제어시스템을 설계할 수 있다[1, 4].

- [1] 제어에 대한 제어지식 획득
- [2] 표준형태의 퍼지 규칙베이스를 이용하여 퍼지모델 구축
- [3] 임의의 수를 발생시켜 제어를 위한 입력 데이터 획득.
- [4] 입력데이터에 대한 출력을 획득
- [5] 적합도 평가
- [6] 적합도가 임계치를 만족하면 종료
- [7] 그렇지 않으면 제어지식을 만족하는 입출력 데이터를 클러스터링하여 새로운 FIS를 구성하고 단계[3]으로 분기

(그림 2) 소속함수 수정알고리즘

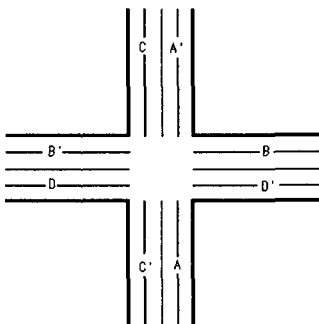
따라서 본 연구에서는 (그림 2)와 같은 소속함수 수정 알고리즘에 의해 균등 분할된 퍼지 제어기를 튜닝한다. 소속함수 수정알고리즘은 균등 분할된 퍼

지 제어기로부터의 입출력 데이터를 클러스터링하여 소속함수의 형태와 구간을 수정함으로써 퍼지제어기의 성능을 향상시킨다.

4. 실험 및 결과

단일 교차로에서 교통신호 제어기의 성능 평가를 위한 Simulator를 Matlab을 이용하여 개발하였다.

먼저 (그림 1)과 같은 입출력 공간이 균등 분할된 소속함수로 구성된 퍼지 제어기를 구성하고, 소속함수 수정알고리즘에 의해 균등분할된 제어기의 소속함수의 크기와 형태를 수정한 제어기를 구성하였다.



(그림 3) 도로의 상황도

본 실험은 (그림 3)과 같은 도로상황을 가정하였고, 시뮬레이터에서는 350±50대(발생상황 1), 600±50대(발생상황 2), 1100±50대(발생상황 3), 1450±50대(발생상황 4), 1800±50대(발생상황 5) 등 5단계로 차량을 발생시켰다. 차량의 속도는 10km/h, 20km/h, 30km/h, 40km/h, 50km/h 등으로 하였고, 녹색신호는 4거리에서 직좌 동시신호를 순환하고(A→B→C→D→...), 신호 주기는 직좌 동시신호 18초, 황색신호 시간 2초를 주어 4×(18초+2초) = 80초를 기본주기로 사용하였다. 차량의 길이는 4m로, 도로의 길이는 50m로 가정하였고, 횡단보도는 고려하지 않았다. 진행차선(그림 3에서 A', B', C', D')의 신호 주기는 52~80초로 무작위로 발생시켰고, 녹색 신호 시간은 진행차도의 정제도에 따라 결정하였다. 대기차선(A, B, C, D)에서 녹색신호를 받은 차량은 진행차선에 진입할 수 있을 때 교차로에 진입하여 진행차선으로 진행하였고, 발생된 차량은 대기차선으로 진입이 가능할 때만 대기차선에 진입하였다.

본 실험에서는 동일한 차량 발생 상황에서 가정된 속도와 제어기의 조합에 대해서 15분씩 20회, 총

1500회에 걸쳐 실험하였다.

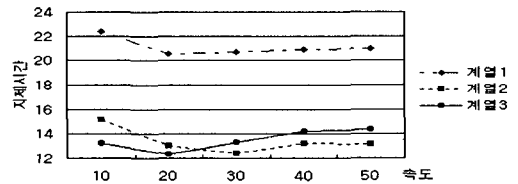
신호등 교차로에서 서비스 수준을 산정하기 위해서 사용하는 것은 교차로 지체 시간이다. 지체 시간은 연료의 손실인 동시에 불쾌감의 척도이다. 지체 시간이 반드시 포화도에 따라 결정되는 것이 아니므로 포화도와 서비스 수준을 대응시키기는 어렵다[5]. 따라서 본 연구에서는 지체시간[5]을 이용하여 성능을 평가한다.

또한 퍼지 교통신호 제어기의 성능평가를 위해 주로 사용되는 교차로 통과 차량의 대수는 교차로에서 앞 막힘 현상이 없는 상황을 가정하고 있으므로 본 연구에서는 진입율과 통과율을 이용한다.

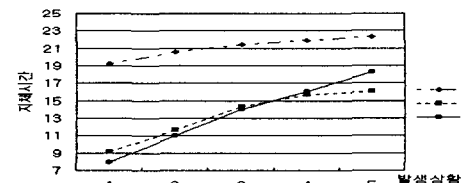
$$\begin{aligned} \text{진입율} &= \text{진입차량대수} / \text{발생차량대수} \\ \text{통과율} &= \text{통과차량대수} / \text{진입차량대수} \end{aligned}$$

교차로에서 앞 막힘 현상은 녹색시간의 손실을 초래하여 교차로를 통과하는 차량의 대수를 감소시키고, 대기차선의 복잡도를 증가시키고, 대기차선에 진입하는 차량의 진입을 방해하여 하위교차로에서 혼잡상황을 유발하게된다.

(그림 4)~(그림 9)는 실험결과를 보여준다. 그림에서 계열 1은 고정식 교통신호제어기(C₁)이며, 계열 3은 동일한 형태의 크기와 형태로 구성된 퍼지 교통신호 제어기(C₃)이며, 계열 2는 소속함수 수정 알고리즘에 의해 수정된 퍼지 교통제어기(C₂)이다.



(그림 4) 속도에 따른 지체시간



(그림 5) 발생상황에 따른 지체시간

(그림 4)와 (그림 5)에서 C₂와 C₃는 C₁보다 지체시

간 면에서 훨씬 많이 개선되었다. 또한 C₂와 C₃은 속도 30km와 차량 발생상황 3을 기준으로 하여 성능의 차이를 보인다.

(그림 6)과 (그림 7)에서 C₂는 속도와 발생상황에 관계없이 C₁과 C₃보다 더 높은 진입율을 보여주었다

(그림 8)과 (그림 9)에서 C₂는 C₁과 C₃보다 더 높은 통과율을 보여주었다. 그러나 진입율이나 통과율 면에서 C₃는 C₁은 성능의 차이를 거의 보여주지 못하는 경우가 발생하였다.

진입율 면에서 C₁보다 성능이 개선되지 않은 결과를 보여주었다.

<표 4> 평균 성능 지표

제어기	C ₁	C ₂	C ₃
지체시간	21.10	13.37	13.48
진입율	0.766	0.782	0.762
통과율	0.914	0.926	0.918

4. 결론

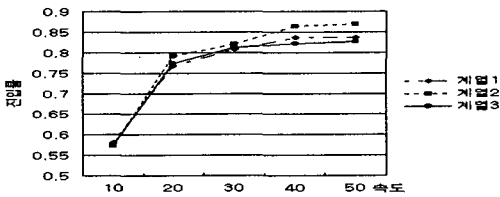
본 연구에서는 상류부 교차로에서 발생하는 교차로 막힘 현상으로 인해 진행방향의 녹색시간의 손실이라는 장애가 발생하게 되는 상황을 고려하기 위해서 진행 차선의 정체도를 도입하여 교통 혼잡 상황에 적절히 대응할 수 있는 퍼지 교통 신호 제어기를 제안하였다.

먼저 각 언어적 변수에 동일한 크기와 형태의 소속함수를 사용하는 퍼지 교통신호 제어기를 설계하고, 이 제어기를 소속함수 수정알고리즘에 의해 수정하였다.

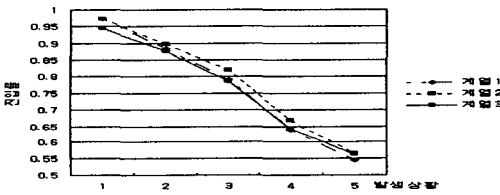
진행차선을 고려한 실험에서, 소속함수의 크기와 형태가 동일한 퍼지 교통신호제어기는 고정식 제어기보다 반드시 나은 성능을 보여주지 못하였지만, 차량발생이 많아지는 교차로 혼잡상황에서 소속함수 수정알고리즘에 의해 설계된 제어기는 다른 제어기들보다 향상된 성능을 보여주었다.

참고문헌

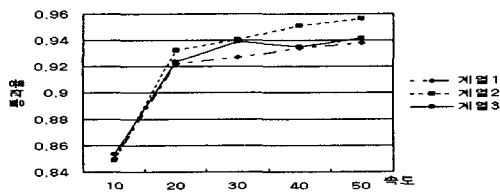
- [1] 김용태 외, "학습/적응능력을 갖는 퍼지제어 시스템들에 관한 고찰", 한국퍼지및지능시스템학회 논문지, vol.5, no.3, pp.11-35, 1995.
- [2] 김종완, "다양한 교통량에 적용하는 교통신호 제어용 퍼지 논리 제어기", 정보과학회논문지(B), vol.24, no.9, pp.976-985, 1997.
- [3] 이광훈, "과포화교통상태에서의 Split Coordination 신호제어 전략", 대한교통공학회지, vol.11, no.1, pp.87-103, 1993.
- [4] 박희경, 공성곤, "비균일 멤버십 함수를 이용한 분산 퍼지제어 성능 향상", 한국퍼지 및 지능시스템학회 '97 추계 학술발표대회 논문집, vol.7, no.2, pp.37-40, 1997.
- [5] 원제무, 최재성, 교통공학, 박영사, pp.146-175, 1993.



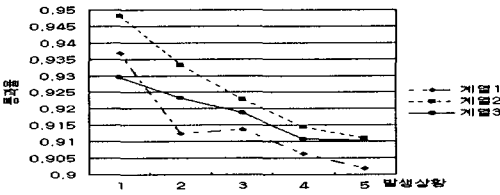
(그림 6) 속도에 따른 진입율



(그림 7) 발생상황에 따른 진입율



(그림 8) 속도에 따른 통과율



(그림 9) 발생상황에 따른 통과율

<표 4>는 각 성능 지표에 대한 평균값들을 보여준다. <표 4>에서 C₂는 세 가지 성능지표에 대해서 C₁과 C₃보다 향상된 성능을 보여주었지만, C₃는