비대칭적인 소속 함수를 갖는 퍼지 교통 제어기

김 종 완† · 최 승 국††

요 약

오늘날 자동차의 급격한 증가에 따른 교통 체증을 완화시키기 위해 효율적인 교차로 신호 제어기의 필요성이 대두되고 있다. 최근에는 신호등의 주기를 적응적으로 제어하기 위하여 퍼지 논리가 도입되었다. 일반적인 퍼지 제어 방식은 녹색신호에 교차로로 진입하는 차량 수와 적색신호 동안 대기하는 차량 수를 퍼지 제어의 입력 변수로 사용하여 확장시간을 조정한다. 그러나 이 방법은 가변 교통량을 갖는 교차로에는 부적합하다. 본 논문에서는 대칭적인 소속함수를 갖는 기존의 퍼지 논리 제어기들보다 적은 수의 제어규칙들을 가지면서도 교통 흐름을 보다 잘 반영하는 비대칭적인 소속함수를 갖는 새로운 퍼지 논리 제어기를 제안한다. 제안된 방법의 효율성은 단일 교차로 시뮬레이션을 통해 테스트되었다. 실험결과는 제안된 방법이 평균 지체시간, 통과 대수, 포화도면에서 우수한 성능을 보여주었다.

A Fuzzy Traffic Controller with Asymmetric Membership Functions

Jongwan Kim† · Seungkook Choi††

ABSTRACT

Nowadays the traffic conditions have been getting worse due to the continuous increase in the number of vehicles. So it has become more important to manage traffic signal lights efficiently. Recently fuzzy logic is introduced to control the cycle time of traffic lights adaptively. Conventional fuzzy logic controller adjusts the extension time of current green phase by using the fuzzy input variables such as the number of entering vehicles at the green light and the number of waiting vehicles during the red light. However this scheme is inadequate for an intersection with variable traffic densities. In this paper, a new FLC with asymmetric membership functions that reflects more exactly traffic flows than other FLCs with symmetric ones regardless of few control rules is proposed. The effectiveness of the proposed method was shown through simulation of a single intersection. The experimental results yielded the superior performance of the proposed FLC in terms of the average delay time, the numer of passed vehicles, and the degree of saturation.

1. 서 론

현대는 자동차의 시대라고 할만큼 자동차는 우리 생활과 밀접한 관계를 맺고 있다. 그러나 80년대 후반부터 자동차의 급격한 증가에 따른 교통체증으로 인해 단위 거리당 평균 주행시간이 증가하고 있고, 이로 인해 시간낭비, 연료비용의 증가, 인명피해 등 피해가 막대하여 연간 교통손실 비용이 점점 늘어나는 추세이다. 이와 같은 현상을 극복하기 위한 해결책으로 도로망의 확충, 합리적인 교통신호체계의 확립, 그리고 운전자의 운전습관의 변화 등을 고려할 수

† 정 회 원:대구대학교 컴퓨터정보공학부
†† 준 회 원:대구대학교 컴퓨터정보공학부
논문접수:1997년 1월 14일, 심사완료:1997년 6월 13일

있다. 이 가운데서 적은 비용으로 가장 짧은 시일에 성과를 기대할 수 있는 것은 합리적인 교통신호체계의 운용이다. 대표적인 교통신호등의 제어방법으로는 고정시간 제어(pretimed control)와 감응식 제어(actuated control) 등이 있다.

먼저, 고정시간 제어는 현시순서(phase sequence), 주기(cycle)와 같은 모든 제어변수가 고정되어 있으며, 시간대 교통흐름의 특성을 반영하기 위해서 시간대별 신호시간(TOD:Time of Day) 계획에 의하여 제어가 이루어진다. 이 방법은 각 교차로의 교통상황을 정확히 고려하지 않고 정해진 규칙에 의해 신호등을 제어하므로 교통상황에 적절한 대응을 하지 못하며, 각 시간대별 교통상황을 고려한 TOD 방식은 요즘과 같이 시간대별 교통상황의 특색이 없어진 상황에서는 별 의미가 없는 방식이다.

감응식 제어는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 정해진 신호시간계획을 갖지 않고 감지기에서 감지된 차량의 존재 유무에 따라 신호등을 제어하지만, 차량의 분포가 일정치 않을 때는 필요없는 녹색시간을 낭비하게 되어 신호등의 효율을 떨어뜨리는 요인이 된다[1]. 현재 교차로의 진입차량 수, 대기차량 수, 적색신호 대기시간 등의 입력변수를 사용하여 현재 녹색시간의 연장 또는 현시전환을 결정하는 교통신호제어의 중요한 목적은 여러 입력변수들을 사용하여 추론함으로써 가장 적절한 판단을 내리는 것이다. 이는 인간의 애매하고 불확실한 표현으로 규칙을 표현하는 퍼지이론과 상응하므로 지능적인 교통신호제어를 위해서 퍼지제어규칙의 도입이 필요함을 나타낸다. 본 논문의 2장에는 퍼지교통제어를 소개하고, 3장에는 제안된 퍼지교통제어기를 기술하고, 4장에는 실험결과를 보이며, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 퍼지교통제어

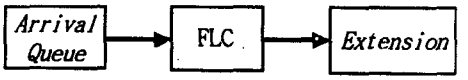
퍼지이론의 언어적 기술과 정성적 모델링이라는 장점을 이용한 퍼지교통제어에 관해 다음과 같은 연구가 수행되었다. Pappis와 Mamdani는 단일방향 4지 교차로의 신호등제어를 위한 퍼지논리제어기(FLC: Fuzzy Logic Controller)를 제안하였다[2]. 이 FLC의 입력변수로는 현재 녹색신호 후 흐른 시간, 녹색시간 중에 교차로에 진입하는 차량 수, 적색시간 중에 대기중인 차량 수를 사용하고, 출력변수로 현재 현시를 연장할 확장시간이 취해진다. 제어규칙은 25개로 이루어져 있으며, 제어규칙은 5개씩 5군(group)으로 나뉘어져서 매 10초마다 다른 군의 제어규칙을 이용한다. 이 방법은 현실과 거리가 먼 교차로를 대상으로 실험하였고, 매 10초 마다 다른 규칙을 사용하는데 이 규칙의 선정도 간단하지 않다. Gomide 등이 제안한 적응적 전략(adaptive strategy)을 가진 퍼지교통제어는 제어기의 성능을 최적화시키기 위해 교통상황에 따라 소속함수(membership function)의 상한을 조정하는 것이다[3]. 여기에는 통계적 적응과 퍼지적응 전략이 있다. 이 FLC는 기본적으로 녹색현시를 갖고 진입하는 교통량과 다른 방향에서 형성된 차량에 의한 정보를 입력변수로 사용하여, 현 녹색현시의 확장시간을 결정한다. 이 방식 역시 특정 교차로를 대상으로 테스트되었으며, 교차로가 너무 특수하고 실제 환경에서 적용 전략을 적용하기가 쉽지 않다. Kim은 직진 차량과 함께 좌회전 차량까지 고려한 FLC를 제안하였다[4]. 현재 현시의 간격을 intervention이라 하고, 각 intervention의 끝에서 확장시간을 계산하는데, intervention 단계가 높아질 수록 제어규칙의 수가 늘어나며, 좌회전을 고려하면 훨씬 더 많은 수의 제어규칙이 필요하다. 홍윤광 등은 횡단보도가 없는 4지 4차선 도로를 대상으로 한 퍼지제어기를 제안하였다[5]. 각 방향의 직진과 좌회전의 증가 차량 수를 입력으로 하고, 출력으로는 다음 현시의 길이를 사용하였다. 또한 여러 가지 예외 상황에 따라 할당된 통과시간을 조절하였다. 이 FLC는 대기차량 수만을 이용하여 현시의 길이를 결정하게 되므로, 두 가지의 입력변수를 사용하는 다른 방법들 보다는 지체를 최소화하는 제어는 어려울 것으로 생각된다. 이외에도 그룹교차로를 대상으로 각 교차로에 교통신호기를 설치한 분산형 구조에 대하여 실험한 연구 [6]도 있으며, 퍼지논리를 이용하여 교통신호의 현시를 최적으로 설계하는 연구 [7]도 있다.

3. 제안된 퍼지교통제어기

퍼지교통제어기와 같이 지능형 교통신호등의 목적은 교통량이 적을 때는 연속되는 신호등의 정지신호에 의해 야기되는 지체를 막고, 교통량이 많을 때는

교차로를 통과하는 차량의 최대량을 이동시킴으로써 혼잡(congestion)을 경감시키는데 있다.

본 논문에서는 차량 감지기로부터 들어온 정보를 입력변수로 받아서 퍼지이론에 따라 현재 교통상황을 판단하여 교통신호를 제어하는 퍼지교통제어기를 개발한다. 제안된 교통신호제어기의 블록도는 (그림 1)과 같다.



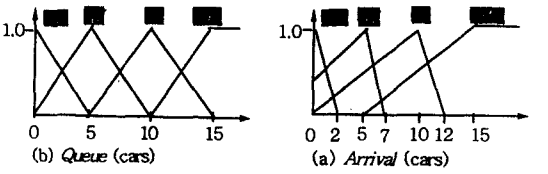
(그림 1) 제안된 FLC의 블록도
(Fig. 1) The block diagram of the proposed FLC

일반적으로 FLC들은 교차로안으로 녹색신호에 진입하는 차량 대수와 교차로안에 적색신호에 대기중인 차량 대수만을 사용하여 확장시간(*Extension*)을 조절한다. 이들 방법이 사용하는 소속함수의 모양은 대체로 대칭인 삼각형 모양(triangular shape)이나 사다리꼴 모양(trapezoid shape)을 사용함으로써, 단지 '어떤 특정 소속함수에 속하는 정도'만을 확장시간 계산에 반영할 뿐이다. 그리고 확장시간을 계산하기 위해서 진입하는 차량 대수와 대기중인 차량 대수간의 최대·최소(*Max·Min*)연산을 이용하므로 비교적 많은 수의 제어규칙을 요구하며, 불균형적으로 늘어나는 교통량에 적절하게 대응하지 못하는 것으로 사료된다. 그러나 본 논문에서 제안하는 FLC는 교차로로 진입하는 차량 대수를 나타내는 *Arrival*을 이용해서 비대칭적인 소속함수에 의해서 계산되어지는 값에 따라 몇 개의 다른 퍼지제어규칙군으로 구분한다. 선택된 퍼지제어규칙군에서는 단지 대기중인 차량 대수를 나타내는 *Queue*와 미리 정의된 확장시간단위를 계산에 이용한다. 이때 *Queue*에 사용되는 소속함수는 대칭적인 모양을 하고 있다. 기존의 대칭적이던 소속함수의 기울기를 비대칭적으로 조정함으로써 *Arrival* 소속함수가 '어떤 특정 소속함수에 속하는 정도'를 나타낼 뿐만 아니라, 보다 더 정확한 진입차량 대수를 확장시간 계산에 반영한다. 그래서 작은 수의 퍼지논리 제어규칙을 이용해도 실험결과는 기존의 대칭적 모양의 소속함수를 적용하는 방법이 이용하는 *Max·Min*연산을 수행하는 효과를 충분히 갖고 있으면서, 그들 방법들보다 성능을 향상시킬 수 있다.

3.1 퍼지입출력변수와 이들의 소속함수

FLC의 입력변수는 현재 교차로의 상황을 잘 반영하는 것이 가장 큰 목적이다. 본 논문에서는 기존의 퍼지교통제어에서 많이 쓰이는 *Arrival*과 *Queue*를 사용한다. 이 두 변수는 차량 수에 따른 정수이므로 small(*S*), medium(*M*), large(*L*), verylarge(*VL*) 등과 같은 4가지 언어적 변수로서 적절히 표현한다. 퍼지논리에 의한 출력은 현 녹색현시의 연장시간으로 zero, short, medium, long의 4단계로 표현되고, 각각의 상황에 적합한 알고리즘에 의해 계산된다.

입력변수의 퍼지화(fuzzification)를 위한 두 개의 소속함수는 (그림 2)에 보인다. 또한 출력변수 *Extension*의 계산을 위해 사용하는 확장시간단위(*Tm_Slot*)의 언어적 표현과 실제 값은 〈표 1〉에 보인다.



(그림 2) 퍼지입력변수의 소속함수
(Fig. 2) The membership functions of fuzzy input variables

〈표 1〉 확장시간단위(*Tm_Slot*)의 언어적 표현과 실제 값
〈Table 1〉 The linguistic labels and the crisp values of *Tm_Slot*

언어적 표현 (*Tm_Slot*)	시간(초)
zero	0
short	5
medium	10
long	15

3.2 제안된 퍼지제어규칙

제안된 FLC는 먼저 *Arrival*변수를 이용하여 현재 진입하는 교통량의 소속정도(degree of membership)

에 따라 네 개의 퍼지논리 제어규칙군 {*S*, *M*, *L*, *VL*}으로 나누며, 그 중 *Arrival*변수의 소속정도가 가장 큰 값에 해당되는 퍼지논리 제어규칙들이 사용된다. 다음으로 현재 대기중인 차량 대수를 나타내는 *Queue* 변수를 이용하여 각 퍼지논리 제어규칙군 별로 1~4개의 퍼지논리 제어규칙에 적용하고 계산한다. 그 중에서 최대값을 선택해서 확장시간 계산에 반영하게 된다. 아래의 (그림 3)은 제안된 FLC의 확장시간 계산 알고리즘을 나타낸다.

(그림 3)의 확장시간 계산 알고리즘을 적용하기 위한 자세한 퍼지논리 제어규칙들은 (그림 4)에 있다.

Step 1 : 입력변수 *Arrival*과 *Queue*를 입력받는다.
Step 2 : 입력변수 *Arrival*의 소속함수값을 계산한다.
Step 3 : 소속함수값 중에서 최대 소속정도(=*Max_A*)를 갖는 제어규칙군을 선택한다.
Step 4 : 선택된 제어규칙군에서 입력변수 *Queue*의 소속정도를 계산한다.
Step 5 : 각 제어규칙마다 계산된 *Queue*의 값(=*Deg_Q*)과
그에 따른 확장시간단위(Tm_Slot)를 곱해서 Sum_Q에 누적시킨다.
$Sum_Q = Sum_Q + (Deg_Q \times Tm_Slot)$
Step 6 : *Max_A* 과 *Sum_Q*를 이용하여 확장시간(=*Extension*)을 결정한다.
$Extension = Max_A \times Sum_Q$

(그림 3) 녹색현시의 확장시간 계산 알고리즘
(Fig. 3) The algorithm to compute the extension time of green phase

Case 1 : (*Arrival* = *S*)
$Sum_Q = Tm_Slot_{zero}$
Case 2 : (*Arrival* = *M*)
$Sum_Q = Sum_Q + (Deg_QM \times Tm_Slot_{zero})$
$Sum_Q = Sum_Q + (Deg_QS \times Tm_Slot_{short})$
Case 3 : (*Arrival* = *L*)
$Sum_Q = Sum_Q + (Deg_QL \times Tm_Slot_{zero})$
$Sum_Q = Sum_Q + (Deg_QM \times Tm_Slot_{short})$
$Sum_Q = Sum_Q + (Deg_QS \times Tm_Slot_{medium})$
Case 4 : (*Arrival* = *VL*)
$Sum_Q = Sum_Q + (Deg_QVL \times Tm_Slot_{zero})$
$Sum_Q = Sum_Q + (Deg_QL \times Tm_Slot_{short})$
$Sum_Q = Sum_Q + (Deg_QM \times Tm_Slot_{medium})$
$Sum_Q = Sum_Q + (Deg_QS \times Tm_Slot_{long})$

$Extension = Max_A \times Sum_Q$

(그림 4) 제안된 FLC의 퍼지논리 제어규칙
(Fig. 4) The fuzzy logic control rules of the proposed FLC

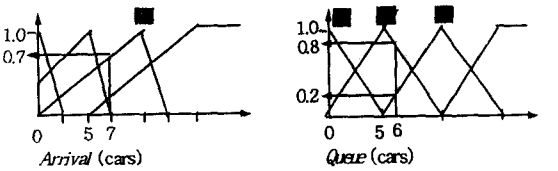
출력변수 *Extension*의 비퍼지화(defuzzification)를 위해 본 논문에서는 식 (1)과 같이 *Queue* 변수에 대하여 각각의 소속함수값(Deg_Q)과 확장시간단위(Tm_Slot)를 곱해서 계산하고 이를 누적시킨 값(Sum_Q)을 출력변수의 값으로 사용한다.

$$Sum_Q = \sum_{i \in (S, M, L, VL)} (Deg_Q_i \times Tm_Slot_i) \qquad (1)$$

i는 *Queue* 변수의 소속함수들인 {*S*, *M*, *L*, *VL*}를, Deg_Q_i는 i번째 *Queue* 변수의 소속함수 값을, Ex_Time_i는 i번째 *Queue* 변수의 소속함수에 해당하는 퍼지제어규칙의 확장시간단위를 각각 나타낸다.

제안된 방법은 기존의 방법과 달리 진입하는 교통량에 따라 각 퍼지논리 제어규칙군마다 확장시간의 한계를 달리한다. 즉 *Arrival*변수가 *S*이면 확장은 일어나지 않으며, *M*이면 확장시간은 *Extension*={*zero*, *short*}, *L*이면 확장시간은 *Extension*={*zero*, *short*, *medium*}, *VL*이면 확장시간은 *Extension*={*zero*, *short*, *medium*, *long*}을 사용한다. 이는 교통량에 따라 확장시간의 한계를 다르게 함으로써 교차로 소통이 원활하게 이루어지도록 하기 위함이다. 이때 확장시간이 0초라면 현시가 다음 현시로 바뀜을 의미한다.

(그림 5)에 *Arrival*=7이고 *Queue*=6인 경우에 확장시간을 계산하는 예를 보인다.



(그림 5) 녹색현시의 확장시간 계산 예 (*Arrival*=7, *Queue*=6)
(Fig. 5) An example to compute the extension time of green phase (*Arrival*=7, *Queue*=6)

먼저, *Arrival*=7일 때 소속함수 '*L*'이 최대값(*Max_A*=0.7)을 갖는다.

다음으로 *Arrival*='L'군에 속하므로 (그림 4)에서 Case 3에 있는 제어규칙들을 사용한다.

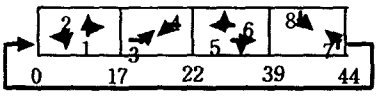
Queue=6일 때 각각의 규칙에 의해서 계산되는 소속정도 값은

'*S*' 소속함수의 경우에는 0.0×10=0,
'*M*' 소속함수의 경우에는 0.8×5=4.0,
'*L*' 소속함수의 경우에는 0.2×0=0이 된다.
위의 값을 합하면 *Sum_Q*=4.0이 된다.
이제, 확장시간 *Extension*은 0.7×4.0=2.8이 된다.
최종적으로 정수화 과정을 거쳐 제안된 FLC는 2초

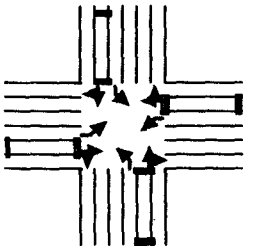
를 확장시킨다.

4. 실험결과

시뮬레이션의 편의성과 실제 적용 가능성을 고려하여 본 논문에서는 다음과 같은 상황을 가정한다. 교차로는 각 방향 3차선을 갖는 단일 교차로이고, 진행방향의 우측차선은 우회전과 직진차선, 중앙차선은 직진전용 차선, 좌측차선은 좌회전 전용차선으로 가정한다. 그리고 교통상황의 정보를 얻기 위해 직진과 좌회전 차선에 각 방향별로 교차로의 정지선에 위치한 전방 감지기와 정지선 후방 60m 떨어진 곳에 후방 감지기가 설치된 것으로 가정한다. 단일 교차로에서의 교통신호제어 알고리즘의 성능평가를 위해서 (그림 6)을 모델로 하는 시뮬레이터를 Windows 환경에서 Borland C++4.5로 개발하였다[9]. 본 시뮬레이터에서는 난수 생성 함수로부터 포아송 분포(Poisson distribution)의 값에 따라 차량을 임의로 발생시킨다[10]. 시뮬레이션에 사용된 퍼지제어기는 좌회전 신호의 길이는 3초로 고정하고, 직진 및 우회전 현시의 기본 시간을 15초로 하면서, 기본 녹색시간이 경과한 후에 현시를 연장할 것인지 또는 바꿀 것인지를 결정한다. (그림 6(a))에 보이는 기본 현시의 순서는 확장이 일어나지 않은 경우에 일어나는 현시의 흐름이며, 차량이 교차로에 진입했을때 현시가 전환될 경우 교차로를 빠져나갈 수 있도록 황색시간 2초를 더한 값이다. 녹색현시의 확장은 대기 차량들을 고려해서 최대 15초까지 허용하므로, 녹색 신호의 주기는 최대 30초까지 가능하다.



(a) 현시의 순서



(b) 교차로 모델

(그림 6) 현시의 순서와 교차로 모델
(Fig. 6) The phase sequence and the layout of an intersection

교통제어기의 성능을 평가하는 데에는 차량 평균 지체시간(delay), 차량 통과대수와 차량 포화도가 주로 사용된다[1][10][11]. 차량 평균 지체시간은 녹색신호의 지체시간과 적색신호의 지체시간의 합을 녹색신호와 적색신호동안 감지기에 감지된 차량 대수로 나눈 값이다.

차량 통과대수는 교차로에 진입한 차량 대수에서 교차로의 전방 감지기를 빠져나간 차량 수를 뺀 값으로 정의한다. 차량 포화도는 전체 녹색 시간동안 차량을 최대한 통과시킬 수 있는 양에 대해 그 시간동안 실제로 교차로를 통과한 차량의 비를 나타내는 것으로, 교차로의 신호 이용율을 알아보는 척도로 사용된다. 포화도 x는 식 (2)와 같이 계산된다[1][11]. 포화도는 전체 녹색시간동안 차량 통과에 사용되는 유효 녹색시간(effective green time)과 관련이 깊으므로 녹색시간 활용률이라고 보면 된다. 따라서 포화도-녹색시간 활용율-이 높을수록 좋은 제어기가 된다.

$$x = \frac{q\,c}{s\,g} \tag{2}$$

식 (2)에서 q는 도착율(arrival flow)로서 교차로의 정지선에 도착한 차량 대수, c는 주기, s는 포화율(saturation flow)로서 유효 녹색시간동안 교차로 통과가 가능한 차량 대수, g는 유효 녹색시간을 나타낸다.

모든 교통제어기의 목표는 차량 지체시간은 감소시키고 차량 통과대수와 차량 포화도는 증가시키는 것이다. 본 논문에서는 제안된 FLC의 성능 평가를 위해 Mamdani의 FLC, Gomide의 FLC와 비교 실험을 수행하였다. 실험 방법은 남북(SN) 방향을 주 도로로, 동서(EW) 방향을 부 도로로 설정하고, 각 방향의 교통량을 변화시키면서 차량 지체시간, 통과대수와 포화도를 각각 비교하였다. 시뮬레이션에서 〈표 2(a)〉에 보이는 조합 1~4까지는 각 제어기에 대해 한 가지 교통량 조합만을 30분씩 수행시켰다. 〈표 2(b)〉에 보이는 차량 증가와 감소는 각 제어기에 대해 조

합 1~4까지를 한 조합에 10분씩 점진적으로 교통량을 늘리거나 줄이면서 자연스러운 차량의 정체와 정체해소 효과를 낼 수 있도록 실험을 하였다. 〈표 2(a)〉 안의 숫자는 각 방향 별 초당 차량 발생 대수(cars/sec)를 나타내며, 〈표 2(b)〉안의 숫자는 시간(분)을 나타낸다.

〈표 2〉 실험에 사용된 교통량 조합들
〈Table 2〉 Sets of traffic volumes used in the simulation

조합 \ 방향	북	남	동	서
조합 1	5	5	5	5
조합 2	10	10	5	5
조합 3	15	15	5	5
조합 4	15	15	7	7

(a) 단일 교통량 조합 (단위 : cars/sec)

현상 \ 시간(분)	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40
차량 증가	조합 1	조합 2	조합 3	조합 4
차량 감소	조합 4	조합 3	조합 2	조합 1

(b) 복합 교통량 조합 (단위 : 분)

〈표 3〉 차량들의 평균 지체 시간 실험 결과 (단위 : 초)
〈Table 3〉 Simulation results in terms of the average delay of vehicles (sec)

제어기 \ 실험	조합 1	조합 2	조합 3	조합 4	증 가	감 소
제안된 FLC	14.249	23.330	31.721	33.955	25.966	35.296
Mamdani FLC	22.843	29.772	41.830	45.317	33.321	44.476
개선도(%)	37.620	21.637	24.167	25.074	22.073	20.640

(a) Mamdani FLC와의 비교실험

제어기 \ 실험	조합 1	조합 2	조합 3	조합 4	증 가	감 소
제안된 FLC	15.539	24.010	38.629	31.914	21.855	36.421
Gomide FLC	15.585	24.002	38.571	32.135	21.750	36.449
개선도(%)	0.296	-0.034	-0.152	0.686	-0.482	0.770

(b) Gomide FLC와의 비교실험

〈표 3〉은 차량 지체시간의 평균을 계산한 결과를 보여준다. Mamdani의 FLC와의 비교실험에서는 네 가지 조합과 두 가지 현상 실험에서 평균적으로 약 20%를 넘는 상당히 우수한 성능을 보여준다. Gomide의 FLC와의 네 가지 조합에 대한 비교실험에서는 비슷한 결과를 나타내고 있다. Gomide의 FLC가 16개의 퍼지제어규칙을 사용하는데 비해 제안된 FLC는 10개의 퍼지제어규칙을 사용하는 점을 고려해보면, 비대칭적인 소속함수를 사용하는 제안된 FLC가 유용함을 알 수 있다. 차량 증가와 감소 현상 실험에서는 다른 FLC들과 비교해 볼때 실험결과값이 비슷하거나 우수함을 보여, 실제 교차로에서 일어날 수 있는 차량 증가와 감소 현상에 적절하게 대응할 수 있음을 보여준다.

〈표 4〉 차량들의 통과 대수 실험 결과 (단위 : 대)
〈Table 4〉 Simulation results in terms of the number of passed vehicles (cars)

제어기 \ 실험	조합 1	조합 2	조합 3	조합 4	증 가	감 소
제안된 FLC	4048	5151	5726	5253	6822	7320
Mamdani FLC	3955	5055	5325	5379	6733	7318
개선도(%)	2.351	1.899	7.531	-2.342	1.322	0.027

(a) Mamdani FLC와의 비교실험

제어기 \ 실험	조합 1	조합 2	조합 3	조합 4	증 가	감 소
제안된 FLC	4124	5139	4942	5567	6560	7301
Gomide FLC	4118	5149	4836	5555	6623	7301
개선도(%)	0.146	-0.194	2.192	0.216	-0.951	0.000

(b) Gomide FLC와의 비교실험

〈표 5〉 차량들의 포화도 실험 결과 (단위 : %)
〈Table 5〉 Simulation results in terms of the degree of saturation (%)

제어기 \ 실험	조합 1	조합 2	조합 3	조합 4	증 가	감 소
제안된 FLC	39.2	49.8	55.1	58.5	49.6	56.3
Mamdani FLC	36.2	45.0	47.7	52.2	46.4	49.8
개선도(%)	8.128	10.607	15.659	12.149	6.893	13.007

(a) Mamdani FLC와의 비교실험

제어기 \ 실험	조합 1	조합 2	조합 3	조합 4	증 가	감 소
제안된 FLC	39.1	47.4	65.8	57.3	47.2	57.4
Gomide FLC	39.5	48.3	66.6	56.1	46.9	56.5
개선도(%)	-1.209	-1.937	-1.205	2.089	0.491	1.540

(b) Gomide FLC와의 비교실험

차량 통과 대수에 대한 비교실험은 〈표 4〉에 보인다. 녹색시간에 진입하는 차량을 우선적으로 확장시간 계산에 반영하는 Mamdani의 FLC와의 비교에서는 조금 우수한 성능을 보이며, Gomide의 FLC와의 비교에서는 비슷한 성능을 보여준다. 차량 증가와 감소 현상 실험에서는 다른 FLC들과 비슷한 성능을 보여준다.

차량 포화도 실험의 결과는 〈표 5〉에 보인다. Mamdani의 FLC와의 비교실험에서는 앞서 살펴본 〈표 3〉의 차량 지체시간 실험과 비슷하게 네 가지 조합들의 실험에 대해 균등하게 우수한 성능을 보여주고 있다. 또한 Gomide의 FLC와의 비교실험에서도 평균적으로 비슷한 성능을 보여 주고 있다. 차량 증가와 감소 현상 실험에서는 Gomide의 FLC보다 Mamdani의 FLC와의 비교실험에서 평균적으로 약 10%를 넘는 우수함을 보여준다.

차량 지체 시간을 줄이는 것과 차량 통과 대수와 차량 포화도를 높이는 것이 서로 상반된 관계를 가진다는 사실을 염두에 두고 실험결과를 종합하면, Arrival 입력변수에 대해 비대칭적인 소속함수를 사용하여 적은 수의 퍼지논리 제어규칙들로도 충분히 효과적으로 교통신호를 제어할 수 있음을 확인할 수 있다. 또한 제안된 방법이 기존의 FLC들에 비하여 평균적으로 차량 평균 지체시간이 줄어 들고, 차량 통과대수와 차량 포화도 역시 우수한 것으로 미루어 볼 때 차량들의 교차로 통과 속도의 증가와 단위 거리당 평균 주행 시간의 감소가 기대된다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존에 사용하지 않았던 비대칭적인 소속함수를 *Arrival* 입력변수에 적용함으로써 그 수가 상당히 줄어든 퍼지논리 제어규칙들을 제안하였다. 일반적으로 교통량이 작은 경우에는 어떤 제어 방식을 사용하든지 교차로 소통에 별다른 차이가 없으므로 그다지 중요하지 않다. 제안된 FLC를 교통량이 비교적 많으면서 다양한 교통흐름, 즉 불균형적인 교통량을 갖는 교차로를 대상으로 실험을 수행하였다. 실험결과로부터, 주도로와 부도로 교통량의 불균형 정도가 심할 수록 차량 평균 지체시간은 감소하면서 차량 통과대수와 차량 포화도는 높은 것을 확인하였다. 이는 제안된 FLC가 교통량 변화가 다양한 실제의 교차로 환경에 적합함을 입증하여 준다.

향후 연구과제로는 여러 가지 퍼지변수에 대한 소속함수를 자동으로 유도해서 교통량에 따라 최적화된 확장 시간을 계산하는 방법과 복수 교차로망(traffic network)에 대한 연구로 확장시킬 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] 도철웅, 교통공학원론, 청문각, 서울, 1995.

[2] Pappis, C.P. and Mamdani, E.H., "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-7, No. 10, Oct., pp. 707-717, 1977.

[3] Favilla, J., Machion, A., and Gomide, F., "Fuzzy Traffic Control: Adaptive Strategies," Proc. of 2nd IEEE Int'l Conf. on Fuzzy Systems, pp. 506-511, 1993.

[4] Kim, S.H., "An Application of Fuzzy Logic to Advanced Traffic Management System," Samsung Electronics, Traffic System Team, Tech. Report, 1994.

[5] 홍윤광, 조성원, 최경삼, "퍼지 교통신호 제어에 관한 연구," 한국퍼지시스템학회 1994년도 춘계학술발표대회 논문집, pp. 238-243, 1994.

[6] 이지형, "그룹 교차로를 위한 퍼지 신호기의 설계 및 구현," 한국과학기술원 석사학위논문, 1995.

[7] 진현수, 홍유식, 김성환, "퍼지논리를 이용한 최적 교통신호 현시설계에 관한 연구," 대한교통공학회지. 제14권, 제1호, pp. 117-133, 3월, 1996.

[8] 이광형, 오길록, 퍼지이론 및 응용, 홍릉과학출판사, 서울, 1991.

[9] Petzold, C., Programming Windows 3.1, Microsoft Press, 1992.

[10] McShane, W.R. and Roess, R.P., Traffic Engineering, Prentice-Hall, 1990.

[11] Fehon, K.J. and Moore, S.E., "Dynamic Control of A Medium Sized Traffic Signal Network," Proc. Australian Road Res. Bd., Vol. 11, PART 4, pp. 85-93, 1982.

김 종 완

1987년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업 (학사)
1989년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업 (공학석사)
1994년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)
1991년~1995년 서울대학교 연구처 조교
1995년~현재 대구대학교 컴퓨터정보공학부 조교수
관심분야: 지능정보시스템, 신경회로망, 퍼지시스템, 인공지능.

최 승 국

1996년 대구대학교 전자계산학과 졸업 (학사)
1996년~현재 대구대학교 대학원 컴퓨터정보공학과 재학중
관심분야: 퍼지시스템, 멀티미디어, 지능정보시스템.