
퍼지 기법을 이용한 지능형 교통 신호 제어

김광백*

Intelligent Traffic Light Control using Fuzzy Method

Kwang-baek Kim*

요 약

본 논문에서는 실시간으로 변하는 차량에 따라 퍼지 제어 기법을 이용하여 교통 신호를 효율적으로 제어하는 방법을 제안한다. 제안된 교통 신호 제어 방법은 교차로 각 차선에 대해 구간을 나누어서 각 구간의 차량의 수와 점유 시간에 대한 소속 함수를 설계한다. 설계된 소속 함수에서 소속도를 구한 후 퍼지 제어 규칙을 적용하여 Max-Min 방법으로 추론한다. 그리고 비퍼지화를 수행한 후에 우선순위를 정한다. 우선순위가 같을 경우에는 점유시간과 차량 수의 비율의 합, 각 구간에 대한 표준편차를 이용하여 우선순위를 정한다. 가장 높은 우선순위를 가지는 현시에 대해 진행 신호를 부여하고 나머지는 대기한다. 진행 신호의 시간은 교차로에 대기하는 모든 차량의 수와 진행 신호를 부여받은 현시의 차량의 수를 이용하여 계산한다.

본 논문에서 제안된 퍼지 신호 제어 기법과 정적인 신호 제어 기법에 대해 시뮬레이션을 통해 실험한 결과, 차량 혼잡도와 상관없이 제안된 차량 신호 제어 기법이 동일한 시간에 더 많은 차량이 원활하게 소통되는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an intelligent signal control method based on fuzzy logic applicable in real time. We design membership functions to model occupied time and the number of vehicles for each lane. A priority for each signal phase is computed by the popular Max-Min fuzzy inference based on control rules and membership degrees of prepared two functions at any given time. A tie breaking scheme is considering weighted sum of the rate of occupied time per number of vehicles in that block and the standard deviation of these blocks. Only a signal phase with the highest priority is opened and all others are closed and the duration of the phase opening is computed proportional to the rate of number of weighting vehicles in that signal per all weighted vehicles. The simulation result shows that the proposed method is more efficient than the static control in all simulation conditions in 2×3 experimental designs with the number of vehicles in intersection and congestion degrees that have all three levels.

키워드

퍼지 제어, 지능형 신호 제어, 최대-최소 추론, 점유 시간, 교통 혼잡

Key word

Fuzzy Control, Intelligent Signal Control, Max-Min Inference, Occupied Time, Traffic Congestion

* 종신회원 : 신라대학교 컴퓨터공학과(gbkim@silla.ac.kr)

접수일자 : 2012. 04. 24

심사완료일자 : 2012. 05. 25

I. 서 론

2000년대 이후 국민총소득이 꾸준히 증가하였다. 이는 개인의 월 평균 소득이 늘어났다는 것을 의미하는데, 개인의 평균 소득 증가는 개인이 보유하는 차량의 증가로 이어진다. 1999년 이후 차량의 증가량이 도로의 증가량보다 평균적으로 높은 형태를 보이는데 이러한 현상이 교통체증을 점점 심각하게 만드는 원인이 된다. 우리나라의 국토는 한정되어 있지만, 차량은 계속 증가하여 더욱 교통 체증이 심각해질 것이다. 교통 체증 증가로 인해 교통 혼잡이 가중되어 도로교통 혼잡비용이 그림 1과 같이 증가하고 있다[1].

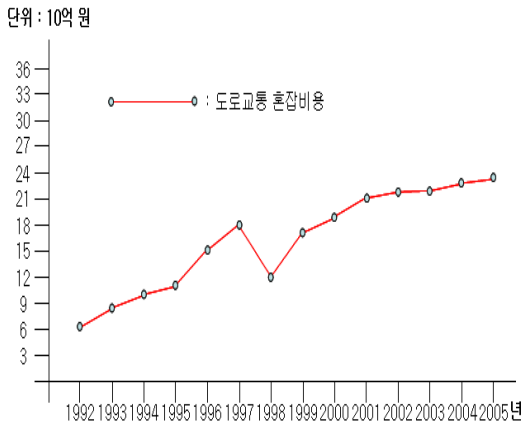


그림 1. 도로교통 혼잡비용
Fig. 1 Road Traffic Congestion Cost

1997~1998년에 도로의 증가율이 자동차의 증가율이 높은 경우에만 도로교통 혼잡비용이 감소하였고 그 외에는 도로교통 혼잡비용이 계속 증가하고 있다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 교통신호를 효율적으로 제어하는 방법이 필요하다. 우리나라 대부분의 교차로 신호체계는 그 교차로의 신호현시를 따른다. 이러한 신호현시는 차량의 통계에 의해 만들어져 있기 때문에, 항상 일정하지 않은 차량을 제어하기에는 비효율적이다[2]. 본 논문에서는 실시간으로 변하는 차량의 수와 점유시간에 따라 퍼지 제어 기법을 이용하여 신호를 제어하는 방법을 제안한다.

II. 퍼지 기법을 이용한 교통 신호 제어

본 논문에서 제안하는 퍼지 제어 기법은 대기차량의 소속도와 점유시간의 소속도를 퍼지 제어 규칙에 적용하여 진행 신호 시간을 할당한다. 할당된 진행 신호 시간만큼 차량을 순환시키는 과정을 반복한다. 기존 교차로의 신호현시는 그림 2와 같이 1현시부터 4현시로 규정한다[3]. 도착교통량을 모두 수용해서 주차선만의 신호 주기를 구하는 Green-Shields의 방법 또는 도착 교통량의 처리 여부에 관계없이 차량의 총 지체를 최소화 하는 Webster 방법을 이용하여 각 신호현시에 진행 신호 시간을 할당한다. 진행 신호 시간이 부여된 각 현시를 순차적으로 반복하는 방식으로 교통 신호를 제어한다[4,5]. 이러한 방법은, 한정된 도로에서 통계적으로 적용될 뿐, 시시각각으로 변화하는 차량의 증가, 감소, 대기 차량의 수를 예측할 수 없다.

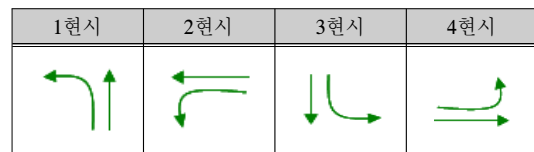


그림 2. 정적인 교차로 4현시
Fig. 2 Static 4-Phase Signals in Intersection

따라서 본 논문에서는 그림 3과 같이 1현시부터 8현시까지 규정된 후 각 현시에 해당하는 차량의 수와 점유시간을 측정 한 후에 퍼지 제어 기법을 적용하여 신호를 제어한다.

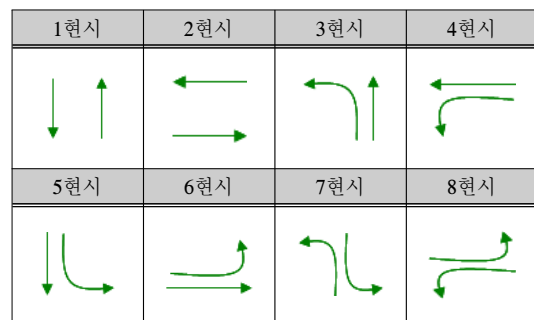


그림 3. 동적인 교차로 8현시
Fig. 3 Dynamic 8-Signal Phases

제안된 교통 신호 제어 방법은 기존의 교차로 그림 4(a)와 달리 그림 4(b)와 같이 교차로의 각 차선 First Block, Second Block, Third Block로 구분한다.

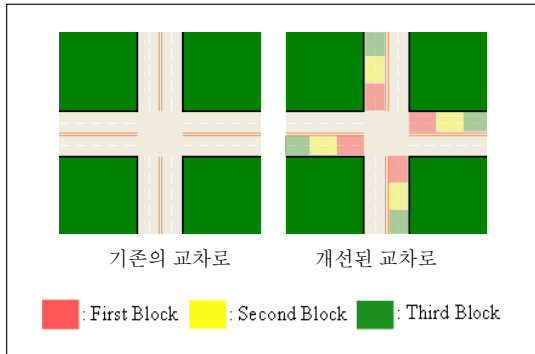


그림 4. 각 Block 할당
Fig. 4 Block Assignment

차선의 각 구간에 대해 대기 차량의 수와 점유시간을 퍼지 제어 기법의 입력 값으로 적용한다. 대기 차량에 대한 소속 함수는 그림 5와 같고, 점유 시간에 대한 소속 함수는 그림 6과 같다.

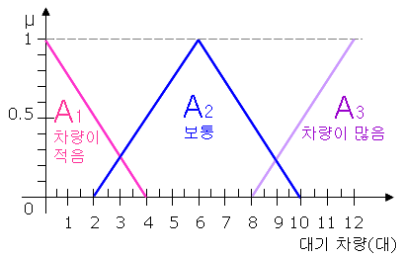


그림 5. 대기 차량에 대한 소속 함수
Fig. 5 Membership Function for Waiting Vehicles

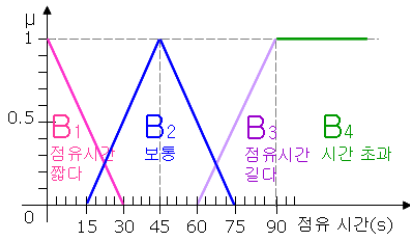


그림 6. 점유 시간에 대한 소속 함수
Fig. 6 Membership Function for Occupied Time

우선순위를 정하기 위한 신호 출력 소속 함수는 그림 7과 같다.

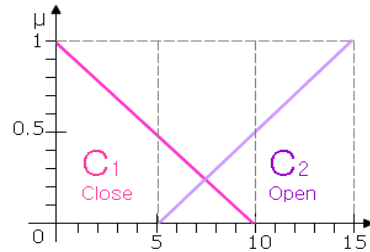


그림 7. 신호 출력 소속 함수
Fig. 7 Membership Function for Signal Output

대기 차량 수와 점유 시간을 퍼지 제어 기법의 입력 값으로 정하고 각 소속 함수에 대한 소속도를 구한 후, 다음과 같은 퍼지 제어 규칙을 적용하여 Max-Min 방법으로 추론한다. 그리고 무게 중심법[6]을 이용하여 비퍼지화를 수행한다.

- $R_1: \text{if } X \text{ is } A_1 \text{ and } Y \text{ is } B_1 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_2: \text{if } X \text{ is } A_1 \text{ and } Y \text{ is } B_2 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_3: \text{if } X \text{ is } A_1 \text{ and } Y \text{ is } B_3 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_4: \text{if } X \text{ is } A_1 \text{ and } Y \text{ is } B_4 \text{ Then } W \text{ is } C_2$
- $R_5: \text{if } X \text{ is } A_2 \text{ and } Y \text{ is } B_1 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_6: \text{if } X \text{ is } A_2 \text{ and } Y \text{ is } B_2 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_7: \text{if } X \text{ is } A_2 \text{ and } Y \text{ is } B_3 \text{ Then } W \text{ is } C_2$
- $R_8: \text{if } X \text{ is } A_2 \text{ and } Y \text{ is } B_4 \text{ Then } W \text{ is } C_2$
- $R_9: \text{if } X \text{ is } A_3 \text{ and } Y \text{ is } B_1 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_{10}: \text{if } X \text{ is } A_3 \text{ and } Y \text{ is } B_2 \text{ Then } W \text{ is } C_2$
- $R_{11}: \text{if } X \text{ is } A_3 \text{ and } Y \text{ is } B_3 \text{ Then } W \text{ is } C_2$
- $R_{12}: \text{if } X \text{ is } A_3 \text{ and } Y \text{ is } B_4 \text{ Then } W \text{ is } C_2$

퍼지 규칙에서 X는 대기 차량의 수, Y는 점유시간, W는 진행 신호 여부를 의미한다.

우선순위는 그림 7의 신호 출력 소속 함수에서 Open된 현시에 한해서 식(1)과 식(2)와 같이 계산한다. Open된 현시의 각 구간의 무게 중심 값에 6:3:1의 비중의 합과 표준편차의 값을 구한다. Open된 현시는 증가함수이기 때문에 높은 비중의 합과 낮은 표준편차의 값에 가장 높은 우선순위를 부여한다. 출력 소속 함수에서 8현시 모두 Close가 되면, 감소함수에 의해 낮은 비중의 합과 낮은 표준편차의 값이 가장 높은 우선순위가 된다.

$$Sg = y_{FB} \times 0.6 + y_{SB} \times 0.3 + y_{TB} \times 0.1 \quad (1)$$

$$\rho = \sqrt{\frac{x_1^2 + \dots + x_n^2}{n} - m^2} \quad (2)$$

식(1)에서 y_{FB} 은 First Block에서의 무게중심, y_{SB} 은 Second Block에서의 무게중심, y_{TB} 은 Third Block에서의 무게 중심이다. 그리고 식(2)에서 ρ 는 표준편차이고 m 은 평균이다. 식(1)를 계산함으로써 기존의 우선순위를 정하는 방식[4]보다 정확하게 나눌 수가 있다. 북쪽과 동쪽 첫 번째 차량의 점유시간은 동일하다고 가정한 경우에 기존의 방식은 그림 8과 같은 경우 북쪽과 동쪽의 차량의 수와 점유시간이 같을 때 동일한 우선순위 가지지만, 본 논문에서는 북쪽과 동쪽의 First Block에서 동일한 차량의 수와 점유시간을 가지지만, Second Block에서 점유시간이 동쪽이 더 길기 때문에 더 높은 우선순위를 부여 받게 된다. 또한 식(2)을 적용하여 각 구간의 표준편차의 값으로 많은 차량이 한꺼번에 교차로에 진입하는 것을 확인할 수 있기 때문에 효율적으로 우선순위를 정한다.



그림 8. 교차로 상황

Fig. 8 Example of Typical Intersection Situation

우선순위가 가장 높은 현시에 대하여 교차로 내의 차량의 수를 이용하여 진행 신호 시간을 계산한다. 진행 신호 시간 계산은 식 (3)과 같다.

$$OP = BM \times \left(1 + \frac{SR}{TR}\right) \quad (3)$$

식(3)에서 OP는 진행 신호 시간, BM은 우선순위가 높은 현시인 차선의 Block에 들어 갈수 있는 최대 차량의 수, SR은 교차로 내 차량의 비율 중 우선순위가 높은 현시에 대기하고 있는 차량 비율의 값, TR은 교차로 내의 모든 차량의 비율의 합이다.

이와 같이, 출력 소속 함수에서 Open된 현시를 선택하고, 무게 중심 값과 표준편차의 값에 의해 우선순위를 부여하고 가장 높은 현시에 진행 신호 시간을 부여하는 방법을 반복 수행한다.

III. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 방법은 Intel Pentium-IV 3.0GHz CPU와 2GM RAM이 장착된 IBM 호환 PC상에서 VC++ 6.0에서 시뮬레이션을 구현하여 실험하였다. 실험에 사용된 시뮬레이션은 같은 환경에서 그림 2와 같은 정적인 4현시 신호등을 배치한 상황과 제안된 교통 신호 제어 시스템을 사용하는 동적인 8현시 신호등을 배치한 상황을 비교할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션의 실행 화면은 그림 9와 같다.

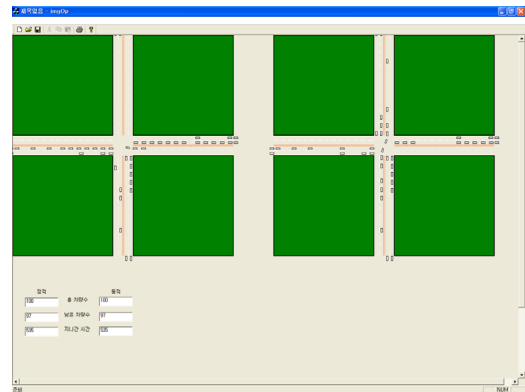


그림 9. 제안된 방법의 시뮬레이션 실행화면

Fig. 9 Screen Shot of Simulation

시뮬레이션을 통해 실험한 결과는 표 1과 같다. 도로 교통의 혼잡한 정도를 나타내는 혼잡도를 차량의 수에 대해 3개의 패턴을 가지고 정적인 교통신호 제어 방법과 제안한 동적인 교통 신호 제어 방법을 비교하였다. 차량의 수, 혼잡도에 상관없이 항상 차량소통이 제안한 방법이 더 원활하게 소통시킨 것을 표 1에서 확인할 수 있다.

표 1. 제안된 방법의 시뮬레이션 결과
Table. 1 Simulation Result for the Proposed Method

차량수	혼잡도	패턴	정적	동적
100	높다	1	3856	2677
		2	3420	2978
		3	3178	2821
	보통	1	3164	3032
		2	3778	3517
		3	4529	3590
	낮다	1	4399	4098
		2	4203	4026
		3	3399	3134
200	높다	1	4216	3580
		2	4425	3335
		3	8385	4363
	보통	1	8837	7326
		2	7046	5845
		3	5570	4930
	낮다	1	8536	8389
		2	8137	7995
		3	11642	10814
400	높다	1	4216	3580
		2	4425	3335
		3	8385	4363
	보통	1	8837	7326
		2	7046	5845
		3	5570	4930
	낮다	1	8536	8389
		2	8137	7995
		3	11642	10814

그림 10과 같은 교차로 상황에서 차선의 구간을 나누지 않은 기존의 퍼지 기법을 이용한 방법[3]에서는 신호를 대기하는 첫 차의 점유시간과 한 현시의 전체 차량의 수를 퍼지 값으로 입력하였기 때문에 북쪽과 동쪽의 현시가 동일한 우선순위를 가지게 되지만, 차선의 구간을 나누는 제안된 방법은 각 구간에 대하여 점유시간과 차량의 수를 퍼지의 입력 값으로 적용하였기 때문에 좀 더 정확하게 우선순위를 부여하는 것을 확인하였다. 또한,

각 구간의 표준편차의 값으로 많은 차량이 한꺼번에 교차로에 진입하는 것을 확인하고 우선순위를 부여하기 때문에 기존의 교통 신호 제어 방법보다 효율적인 것을 확인할 수 있었다.

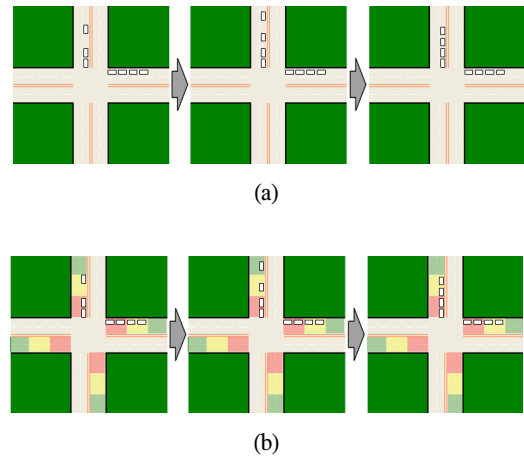


그림 10. 교차로 상황
(a) 기존의 방법 (b) 제안된 방법
Fig. 10 Comparison of Situations in Intersection
(a) Conventional Method (b) Proposed Method

IV. 결 론

본 논문에서는 교차로 차선의 각 구간에 대해 퍼지를 적용하여 신호를 효과적으로 제어하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 신호 현시를 8현시로 규정하였고, 각 차선에 대해 First Block, Second Block, Third Block으로 나누었다. 각 Block에 대기하는 차량의 수와 점유시간을 퍼지 제어 기법과 표준편차를 적용하여 각각의 현시에 대한 우선순위를 부여하였다. 가장 높은 우선순위를 가지는 현시에 대해 차량의 비율을 이용하여 진행 신호 시간을 계산하였다. 이와 같이 가장 높은 현시에 진행 신호를 부여하는 방법을 반복 수행하였다. 그 결과, 차량의 수와 혼잡한 비율에 상관없이 정적인 신호등을 배치한 상황보다 효율적으로 신호를 제어하였고, 또한 차선의 각 구간을 나누지 않은 기존의 퍼지 제어 기법을 이용한 방법보다 우선순위를 좀 더 정확하고 효율적으로 부여하였다.

향후 연구 방향은 교차로 내에 존재하는 더 많은 정보를 이용하여 퍼지 소속 함수를 설계하고, 각 차량에 대한 속도를 반영하여 실제 상황에 맞는 교통 제어 방법으로 개선할 것이다.

참고문헌

- [1] 국가 통계청 포털사이트 : <http://www.nso.go.kr>
- [2] 홍유식, “최적교통신호등”, *대한전자공학회논문지*, 제 40권, 4호, pp.181-192, 2003.
- [3] 김광백, “퍼지 추론 규칙을 이용한 교통 신호 제어,” *한국컴퓨터정보학회논문지*, 15권, 9호, pp.19 -24, 2010.
- [4] 윤재홍, 지유강, “영상에서 객체 추출을 통한 적응형 통행 우선순위 교통신호 제어 시뮬레이션,” *멀티미디어학회논문지*, 제11권, 제8호, pp.1043-1193, 2008.
- [5] R. Hoyer, U. Jumar, “Fuzzy control of traffic lights”, *IEEE World Congress on Computational Intelligence*, Vol.3, pp.1526- 1529, June, 1994.
- [6] R. Babuska, *Fuzzy Modeling for Control*, Kluwer Academic Publishers, 1998.

저자소개



김광백(Kwang-Baek Kim)

1999년 : 부산대학교
전자계산학과(이학박사)
1997년~현재 신라대학교
컴퓨터공학과 교수

2005년~현재 한국정보통신학회 국제학술부회장
2007년~현재 *The Open Artificial Intelligence Journal*
(USA) Editor

※ 관심분야: 퍼지 논리, 영상 처리, 유전자 알고리즘,
의료정보시스템, 생물정보학