

퍼지 논리를 이용한 교통 신호 제어 시스템

성원구* · 이훈석** · 김광백*

*신라대학교 컴퓨터공학과

**신라대학교 컴퓨터정보공학과

Traffic Light Control System using Fuzzy Logic

Won-Goo Soung* · Hoon-Seok Lee** · Kwang-Beak Kim*

*Dept. of Computer Engineering, Silla University

**Division of Computer and Information Engineering, Silla University

요 약

우리나라의 자동차의 수는 1990년부터 계속 증가하고 있다. 계속되는 자동차수의 증가로 인해 휴일, 출퇴근 시간에 교통이 혼잡 또는 마비되는 문제가 발생한다. 하지만 기존의 신호등 체계는 통계적인 수치에 의해 결정되기 때문에 항상 일정하지 않은 차량의 수를 제어하기에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 실시간으로 변하는 차량의 수와 점유시간에 따라 퍼지 제어 기법을 이용하여 신호를 제어하는 방법을 제안한다. 제안된 교통 신호 제어 방법은 교차로에 대기하는 차량의 수와 점유 시간을 퍼지 제어 기법에 적용하여 차량의 진행 신호에 대한 우선순위를 부여한다. 가장 높은 우선순위를 가지는 현시에 대해 진행 신호를 부여하고 나머지는 대기하게 된다. 그리고 진행 신호의 시간을 교차로에 대기하는 모든 차량의 수와 차량의 비율, 진행 신호를 부여 받은 차량의 수를 이용하여 계산한다.

본 논문에서는 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.

1. 서 론

1990년대 이후 국민총소득이 꾸준히 증가하였다. 이는 개인의 월 평균 소득이 늘어났다는 것을 의미하는데, 개인의 평균 소득 증가는 개인이 보유하는 차량의 증가로 이어진다. 차량이 증가한 정도는 그림 1을 통해 확인 할 수 있다.

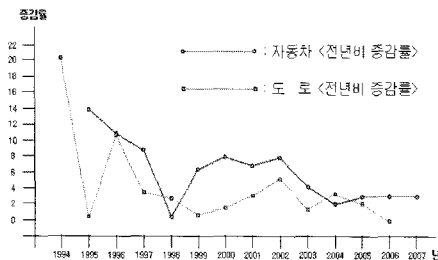


그림 1. 전년비 증감률

1995년 이후 차량의 증가량이 도로의 증가량보다 평균적으로 높은 형태를 보이는데[1], 이러

한 현상이 교통체증을 점점 심각하게 만드는 원인이 된다. 우리나라의 국토는 한정되어 있지만, 차량은 계속 증가하여 더욱 교통 체증이 심각해질 것이다. 교통 체증 증가로 자동차가 공회전 하는 시간 또한 늘어 날 것이다. 휘발유 승용차를 기준으로 하루 5분씩 공회전을 줄이면 최소한 연간 평균 5만원의 연료비를 아낄 수 있다. 국내에 등록된 자동차 1643만 대로 따지면 연간 5000억 원 이상이다. 따라서 교통신호를 효율적으로 제어하면 이러한 문제를 개선시킬 수 있다[2].

우리나라 대부분의 교차로 신호체계는 그 교차로의 신호현시를 따른다. 이러한 신호현시는 차량의 통계에 의해 만들어져 있기 때문에, 항상 일정하지 않은 차량의 수를 제어하기에는 비효율적이다[3].

본 논문에서는 실시간으로 변하는 차량의 수와 점유시간에 따라 퍼지 제어 기법을 이용하여 신호를 제어하는 방법을 제안한다. 제안된 교통 신호 제어 방법은 교차로에 대기하는 차량의 수와 점유 시간을 퍼지 제어 기법에 적용하여 차량의 진행 신호에 대한 우선순위를 부여한다. 가장 높은 우선순위에 한해서 진행 신호를 부여하고 나머지는 대기하게 된다. 그리고 진행 신호의 시간을 교차로에 대기하는 모든 차량의 수와 차량의

비율, 진행 신호를 부여 받은 차량의 수를 이용하여 계산한다.

II. 퍼지논리를 이용한 교통 신호 제어

본 논문에서 제안하는 퍼지 제어 기법의 구조는 그림 2와 같다.

대기차량의 소속도와 점유시간의 소속도를 퍼지 제어 규칙에 적용하여 진행 신호를 부여할 현시를 선택한다. 선택된 현시에 대해서 진행신호 시간을 할당한다. 할당된 진행신호 시간만큼 차량을 순환시키는 과정을 반복한다.

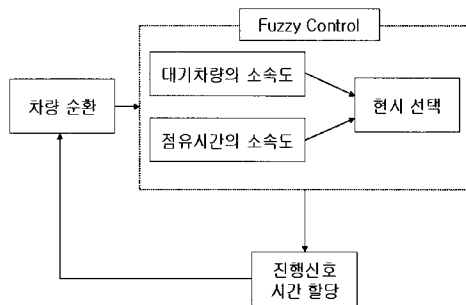


그림 2. 퍼지 제어 시스템

2.1 신호현시

기존 교차로의 신호현시는 그림 3과 같이 1현시부터 4현시로 규정한다. 도착교통량을 모두 수용해서 주 차선만의 신호주기를 구하는 Green-Shields의 방법 또는 도착 교통량의 처리여부에 관계없이 차량의 총 지체를 최소화 하는 Webster 방법을 이용하여 각 신호현시에 진행신호 시간을 할당한다. 진행신호 시간이 부여된 각 현시를 순차적으로 반복하는 방식으로 교통 신호를 제어한다[3].

이러한 방법은, 한정된 도로에서의 통계적으로 적용 될 뿐, 시시각각으로 변화하는 차량의 증가, 감소, 대기 차량의 길이를 예측할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 그림 4와 같이 1현시부터 8현시까지 규정한 후 각 현시에 해당하는 차량의 수와 점유시간을 측정 한 후 퍼지 제어 기법에 적용하여 신호를 제어한다.

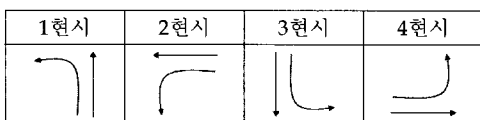


그림 3. 정적인 교차로 4현시

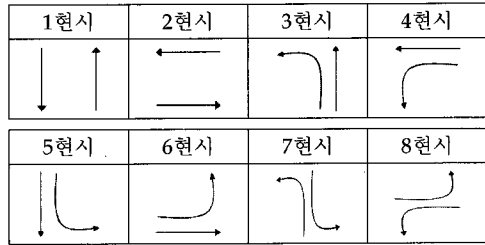


그림 4. 동적인 교차로 8현시

2.2 신호제어

제안된 교통 신호 제어 방법은 교차로에 대기하는 차량의 수와 점유 시간을 퍼지 제어 기법에 적용하여 8현시에 대한 각각의 우선순위를 부여한다. 각 현시에 대한 대기 차량의 수와 점유시간은 퍼지 제어 기법의 입력 값으로 적용한다.

대기 차량에 대한 소속 함수는 그림 5와 같고, 점유 시간에 대한 소속 함수는 그림 6과 같다. 각각에 대한 소속 함수의 소속 구간은 경험에 의해 값을 설계하였다.

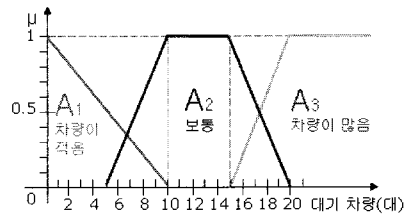


그림 5. 대기 차량에 대한 소속 함수

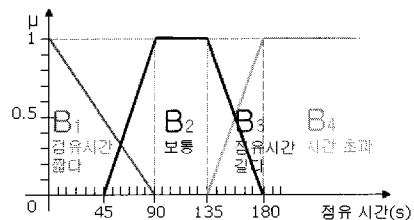


그림 6. 점유 시간에 대한 소속 함수

우선순위를 정하기 위한 신호 출력 소속 함수는 그림 7과 같다.

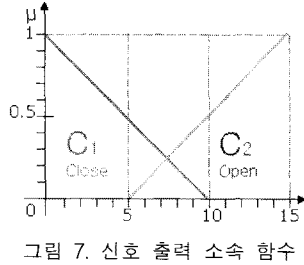


그림 7. 신호 출력 소속 함수

표 1. 퍼지 추론 규칙

- $R_1 : \text{If } X \text{ is } A_1 \text{ and } Y \text{ is } B_1 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_2 : \text{If } X \text{ is } A_1 \text{ and } Y \text{ is } B_2 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_3 : \text{If } X \text{ is } A_1 \text{ and } Y \text{ is } B_3 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_4 : \text{If } X \text{ is } A_1 \text{ and } Y \text{ is } B_4 \text{ Then } W \text{ is } C_2$

- $R_5 : \text{If } X \text{ is } A_2 \text{ and } Y \text{ is } B_1 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_6 : \text{If } X \text{ is } A_2 \text{ and } Y \text{ is } B_2 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_7 : \text{If } X \text{ is } A_2 \text{ and } Y \text{ is } B_3 \text{ Then } W \text{ is } C_2$
- $R_8 : \text{If } X \text{ is } A_2 \text{ and } Y \text{ is } B_4 \text{ Then } W \text{ is } C_2$

- $R_9 : \text{If } X \text{ is } A_3 \text{ and } Y \text{ is } B_1 \text{ Then } W \text{ is } C_1$
- $R_{10} : \text{If } X \text{ is } A_3 \text{ and } Y \text{ is } B_2 \text{ Then } W \text{ is } C_2$
- $R_{11} : \text{If } X \text{ is } A_3 \text{ and } Y \text{ is } B_3 \text{ Then } W \text{ is } C_2$
- $R_{12} : \text{If } X \text{ is } A_3 \text{ and } Y \text{ is } B_4 \text{ Then } W \text{ is } C_2$

대기 차량 수와 점유 시간에 대한 퍼지 제어 기법의 입력 값을 정하고 각 소속 함수에 대한 소속도를 구한 후, 표 1과 같이 퍼지 제어 규칙을 적용하여 *Max-Min* 방법[4]으로 추론한다. 표 1의 *X*는 대기 차량 수, *Y*는 점유시간, *W* 진행 신호 여부를 나타낸다.

무계 중심법[5]을 이용하여 비퍼지화를 수행한 후 우선순위를 정하게 된다. 무계중심은 식(1)과 같이 계산한다.

$$y^* = \frac{\sum u(y_i)x_i}{\sum (y_i)} \quad (1)$$

2.2.1 진행 신호 시간

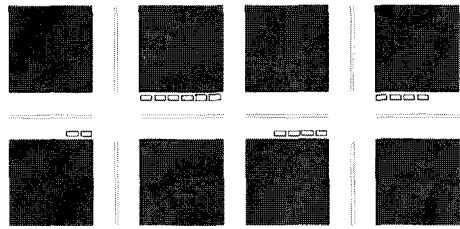
우선순위가 가장 높은 현시에 대한 진행 신호 시간을 계산한다. 진행 신호 시간 계산은 식 (2)와 같다.

$$Open\ Time = \frac{Open\ Signal\ Car\ Num}{Total\ Car\ Num} \times Time\ Rate$$

<i>Open Time</i>	진행 신호 시간
<i>Open Signal Car Num</i>	우선순위가 높은 현시에 대기하고 있는 차량 수
<i>Total Car Num</i>	교차로에 대기하고 있는 총 차량 수
<i>Time Rate</i>	시간 비율

(2)

본 논문에서는 *Open Signal Car Num*을 우선순위가 높은 현시에 대기하고 있는 진행방향이 다른 두 차량의 수 중 큰 값을 선택한다. 큰 값을 선택함으로써 그림 8 (a)와 같이 비대칭일 경우 진행신호시간을 많이 할당하고, 그림 8(b)와 같이 대칭일 경우 진행신호 시간을 적게 할당하여, 모든 차량을 순환시키기에 충분한 시간을 할당한다.



(a) 비대칭 (b) 대칭

그림 8. 교차로 상황

*Time Rate*는 식 (3)과 같이 계산된다. A_1, A_2, A_3 는 대기 차량에 대한 퍼지 소속 함수에 설계된 소속 구간의 중간 값인 20, 12, 5로 설정하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{if } (Total\ Car\ Num \leq A_3) \\
 & \quad Time\ Rate = Time\ Rate / 1.5; \\
 & \text{if } (Total\ Car\ Num \leq A_2) \\
 & \quad Time\ Rate = Time\ Rate / 3; \quad (3) \\
 & \text{if } (Total\ Car\ Num \leq A_1) \\
 & \quad Time\ Rate = Time\ Rate / 4;
 \end{aligned}$$

이와 같이, 우선순위가 높은 현시에 대해 진행 신호를 부여하는 방법을 반복 수행한다.

III. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 방법을 Intel Pentium-IV 3.0GHz CPU와 2GB RAM이 장착된 IBM 호환 PC상에서 VC++ 6.0에서 시뮬레이션을 구현하여 실험하였다.

실험에 사용된 시뮬레이션은 같은 환경에서 그림 3과 같은 정적인 4현시 신호등을 배치한 상황과 제안된 교통 신호제어 시스템을 사용하는 동적인 8현시 신호등을 배치한 상황을 비교 할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션의 실행화면은 그림 9와 같다.

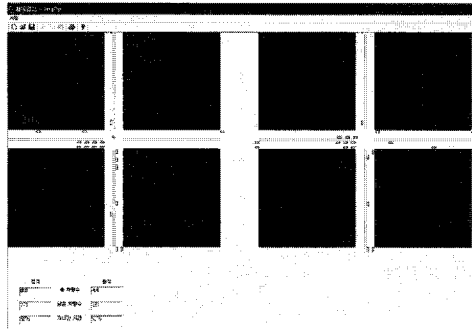


그림 9. 제안된 방법의 시뮬레이션 실행 화면

시뮬레이션을 이용하여 실험한 결과는 표 2와 같다. 표 2에서 차량밀도는 혼잡한 정도를 의미하는데 수치가 낮을수록 혼잡한 정도가 높음을 의미한다. 표 3은 제안된 동적인 교통신호 제어 방법과 정적인 교통신호 제어 방법 각각의 소요시간을 비교한 표이다. 차량소통이 원활할 경우에는 1.03 : 1의 시간 비율, 차량소통이 혼잡할 경우에는 1.94 : 1의 시간 비율로 동일한 차량을 더 빠른 시간에 순환시켰다. 특히 차량소통이 혼잡할 경우에는 약 2배의 시간이 단축되었음을 확인할 수 있다.

표 2. 제안된 논문에 사용된 시뮬레이션 결과

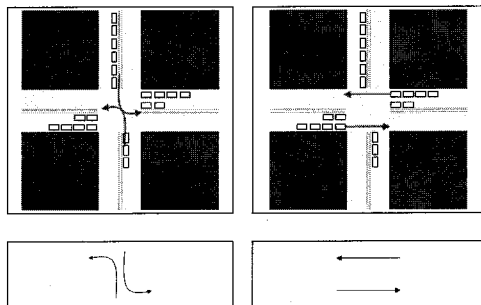
차량 수	차량밀도	제턴	정적	동적
50	40	1	1930	1674
		2	2091	1541
		3	2117	1541
		4	1490	1379
		5	1949	1571
	80	1	2290	1953
		2	1983	1950
		3	1977	1942
		4	2799	2577
		5	2064	1958
	120	1	2334	2314
		2	2917	2620
		3	3290	3079
		4	2578	2465
		5	2225	1968

차량 수	차량밀도	제턴	정적	동적
100	40	1	5436	5196
		2	3584	2587
		3	3577	2965
		4	4120	2928
		5	3352	2849
	60	1	5803	4147
		2	3128	2841
		3	3391	2684
		4	3078	2815
		5	3365	2438
	120	1	5171	4954
		2	3304	3253
		3	6978	6411
		4	3599	3392
		5	8232	7723
200	40	1	8101	4706
		2	6021	3580
		3	6436	3693
		4	7441	4411
		5	5142	3814
	80	1	3087	2745
		2	3958	3732
		3	4951	4036
		4	5047	4332
		5	5572	4936
	120	1	8140	7841
		2	12377	12551
		3	8173	6001
		4	6782	6535
		5	6421	6178
400	40	1	3320	6337
		2	16078	7878
		3	13577	7280
		4	25772	11049
		5	10246	5374
	80	1	10304	5937
		2	12846	10911
		3	12856	10036
		4	11041	9907
		5	12841	11099
	120	1	14032	13737
		2	11636	11395
		3	16178	16083
		4	14356	14174
		5	20178	20023

표 3. 혼잡도를 기준으로 한 소요시간 비교

혼잡도	차량밀도	정적	동적	비율	총
혼잡	40	137872	70984	1.94 : 1	1.29 : 1
보통	80	127726	102758	1.24 : 1	
원활	120	158712	153544	1.03 : 1	

그림 10과 같은 교차로 상황에서 7현시에 대기하는 차량이 2현시에 대기하는 차량보다 더 많지만, 2현시에 우선순위를 높게 부여 하는 것이 차량의 비율이 1:1에 가까워 같은 시간에 더 많은 차량이 순환하게 되기 때문에 더 효율적인 것을 알 수 있다.



(a) 7현시 (b) 2현시

그림 10. 교차로 상황

IV. 결 론

본 논문에서는 퍼지 논리를 이용하여 신호를 효과적으로 제어 하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 신호 현시를 8현시로 규정하였고, 교차로에 대기하는 차량의 수와 점유 시간을 퍼지 제어 기법에 적용하여 각각의 현시에 대한 우선순위를 부여하였다. 가장 높은 우선순위를 가지는 현시에 대해 교차로에 대기하는 모든 차량의 수와 차량의 비율, 진행 신호를 부여 받은 차량의 수를 이용하여 진행 신호 시간을 계산하였다. 이와 같이, 우선순위가 높은 현시에 대해 진행 신호를 부여하는 방법을 반복 수행하였다. 그 결과, 차량 수와 혼잡한 정도에 상관없이 정적인 신호등을 배치한 상황보다 효율적으로 신호를 제어하였다. 특히 혼잡한 정도가 높을 경우 더욱 효율적인 것을 확인하였다.

따라서 향후 연구 과제로는 제안된 퍼지 소속 함수에 차량 비율의 퍼지 소속 함수를 추가 설계하여 더욱 효율적으로 교통 신호를 제어하는 방법을 연구 할 것이다.

참고문헌

- [1] 국가 통계청 포털사이트 : <http://www.nso.go.kr>
- [2] 에너지 관리공단 포털사이트 : <http://www.kemco.or.kr>
- [3] 홍유식, "최적교통신호등", 전자공학회논문지, 제 40권 4호, pp.181-192, 2003.
- [4] M. Jamshidi, N. Vadiiee, T. J. Ross, Fuzzy Logic and Control, Prentice-Hall, Inc., 1993.
- [5] R. Babuska, Fuzzy Modeling for Control, Kluwer Academic Publishers, 1998.