

Fuzzy logic을 이용한 交通信號 control system

*文珠永, 李尚培
韓國海洋大學校 電子通信工學科

Traffic signal control system using fuzzy logic

*Ju Young Mun, Sang Bae Lee
Dept. of Electro. & Comm., Eng, Korea Maritime Univ.

Abstract

This work discusses simulation results for the fuzzy logic controller tested the project "Fuzzy Ramp Metering Algorithm Implementation." The performance objectives were, in order of priority, to maximize total vehicle-miles, maximize mainline speeds, and minimize delay per vehicle while maintaining an acceptable ramp queue. In the fuzzy logic controller, the sensors from the on-ramps were helpful in maintaining reasonable ramp queues. The fuzzy logic controller effectively balanced between the conflicting needs of the ramp queue and mainline congestion because it considered these factors simultaneously. Each metered ramp had a parameter input file, which allowed the controller to be modified without recompiling the software. Consequently, maintenance costs should be minimal.

I. 서론.

교통 혼잡은 단지 도로 건설에만 의지할 수 없는 국내뿐만 아니라 세계 각국에서 커지고 있는 문제이며 지리적인 경제, 건설비용, 환경 적인 요소들은 고속도로 건설의 한계성을 나타낸다. 이러한 문제점 해결을 위한 실제적인 해결책으로는 버스 전용 차선제, 다양한 방향의 도로, ramp metering등을 들 수 있다. 이

논문에서는 고속도로로 진입하는 차량의 수를 조절하기 위하여 교통 신호를 사용하는 ramp metering에 초점을 맞추었다. ramp metering은 교통 신호들을 고속도로로 들어오는 차들의 rate를 조절하는데 사용하며 교통 장애 형성의 지연과 부드러운 차들의 들어섬으로 고속도로의 흐름을 향상시킨다. 이러한 ramp metering

을 위해서 fuzzy logic을 사용하였는데 이 fuzzy logic 과 기존 제어와 비교했을 때 몇 가지 장점으로서는 수학적 시스템 모델링을 필요로 하지 않고 부분적이고 정밀치 못한 정보도 이용할 수 있으며, 지능적으로 주도로의 교통 혼잡을 해결함과 동시에 ramp 상의 정체 역시 해결할 수 있다. 즉 비선형적이고 불안정한 시스템 같은 modeling이 어려운 곳에 적용이 가능하고, 잡음이나 수리적인 잘못, 구조적 또는 전송 에러를 포함한 정보도 안정하게 처리할 수 있다. 이 연구의 목적은 fuzzy logic을 사용하여 기존 제어의 한계성 극복과 비용 절감을 위한 fuzzy ramp metering algorithm 수행이고 전반적인 목적은 고속도로 효율성의 극대화이다.

II. Fuzzy control system을 이용한 교통 신호 시스템.

수량화되어 있는 입력들을 언어적인 변수로 변환해 주는 부분이다. 여기서는 5개의 검출기에서 감지된 7개의 입력을 사용하고 있으며 Table 1.은 각 입력 변수들과 1개의 출력 변수를 묘사하고 있으며 Figure 1.은 검출기의 위치를 나타내고 있다.

점유율과 속도는 교통 혼잡을 지적해 주고 점유율은 차량들이 검출기 위치를 점유하는 시간 퍼센티지로 나타내고 변수들은 20초의 sampling time을 사용하였다. Table 2.에는 다섯 개의 퍼지 class를 나타내고 있고, Table 3.은 멤버십 함수를 유용하게 정의 할 수 있는 매개 변수를 소개하고 있다. 여기서 crisp 변수를 두 개의 scaling parameter(low limit(LL), high limit(HL))를 가지고 (0, 1)범위로 다음과 같은 방정식을 가지고 정규화한다.

$$\text{scaled crisp variable} \\ = (\text{crisp variable} - LL) / (HL - LL)$$

Figure 2.는 Table 3에 근거하여 점유율에 대한 fuzzy set을 구성한 것이다.

rule의 수는 17개이고, 각각의 rule에 weight를 가하였다. Table 4.에는 17개의 필수적인 rule이 있고 두 명제 사이의 심표는 논리적인 연산 AND를 나타내고 있다. Table 5.에는 rule weight를 보여주고 있는데 이것은 rule의 상대적인 중요성을 나타내기 위해서 가해진다. rule 1에서 5까지의 목적은 완전한 rule base를 형성하는데 있고 이 부분은 전체의 occupancy의 범위가 고려되기 때문에 적어도 하나의 루올이 항상 fire된다. rule 6에서 9는 rule 1 - 5와 밀접하게 관련된다. 즉 더 특정한 정체(congestion) 지표에 대해 speed와 occupancy를 결부시키고 그에 따라서 조절 비(metering rate)를 조정한다. rule 10에서 12까지의 upstream detector의 occupancy는 원활한 교통 상태 동안 사용되어 진다. rule 13에서 15의 downstream

detector의 occupancy/speed는 심각한 정체 상태 동안 사용된다. (심각한 교통 정체를 막거나 지연시킨다.)

medium congestion에서 전방과 후방 교통 흐름은 동시에 존재한다(upstream and downstream detectors로부터의 입력을 받는 경우). rule 18, 19는 과도한 행렬 형성을 막는다. rule 19에서 advance queue occupancy input은 램프 입구 근처에서 검출되고 행렬이 arterial에 도달하는 것을 막는다. rule에 weighting을 하는 것은 램프 조절을 효과적으로 하기위한 주요한 수단이다.

비퍼지화 과정에서는 실질적인 제어 작용을 발생시킨다. 그리고 correlation-product, 즉 각 rule의 소속 정도에 의한 각 rule의 출력 class간의 결합을 이루는 implication과정이 수행된다.

discrete centroid equation.

$$MR = \frac{\sum_{i=1}^N w_i c_i I_i}{\sum_{i=1}^N w_i I_i}$$

w_i : ith rule의 weight.

c_i : output class의 중심.

I_i : output class의 implicated area.

class S, M, B에서는 class area I_i 는 β_i 와 같고,

class VS, VB에서의 class area I_i 는 $\frac{\beta_i}{2}$ 와 같다.

일단 비퍼지화된 출력값 MR이 나오게 되면, 이에 따른 제어 행위는 퍼지화 과정에서 명시된 LL/HL범위를 사용하여 rescaled된 값에 따라 행해진다. 가능한 최대MR은 900 vehicles/lane/hour이고, 최소 MR은 240 vehicles/lane/hour이다.

III. 시뮬레이션 결과.

여기서 input은 가해진 입력 값을 정규화한 값이고, finput은 각각의 입력 멤버십 class에서 input에 따른 소속 정도를 나타내고 있으며, MR은 퍼지 제어 결과 값으로 제어 동작에 의해 조절된 차량수를 나타내고 HW는 head way로서 차두 시간을 나타낸다.

각각 추론의 sampling 시간은 20초로 설정하였다. 이 논문에서는 다섯 가지의 도로 상황을 설정하여 컴퓨터 시뮬레이션 하였으며 그 결과는 다음 예제와 같다.

ex1). 주도로의 원활한 흐름이 있는 반면에 ramp가 혼잡한 경우.

crisp input : OC= 8.0000, DO= 8.0000, UO= 8.0000, SP=60.0000, DS=60.0000, QO=30.0000, AQO=30.0000
input[0]= 0.000

finput[0][0]= 1.000 finput[0][1]= 0.000 finput[0][

2]= 0.000 finput[0][3]= 0.000 finput[0][4]= 0.000
 input[1]= 0.000
 finput[1][0]= 1.000 finput[1][1]= 0.000 finput[1][2]= 0.000 finput[1][3]= 0.000 finput[1][4]= 0.000
 input[2]= 0.000
 finput[2][0]= 1.000 finput[2][1]= 0.000 finput[2][2]= 0.000 finput[2][3]= 0.000 finput[2][4]= 0.000
 input[3]= 1.000
 finput[3][0]= 0.000 finput[3][1]= 0.000 finput[3][2]= 0.000 finput[3][3]= 0.000 finput[3][4]= 1.000
 input[4]= 1.000
 finput[4][0]= 0.000 finput[4][1]= 0.000 finput[4][2]= 0.000 finput[4][3]= 0.000 finput[4][4]= 1.000
 input[5]= 1.000
 finput[5][0]= 0.000 finput[5][1]= 0.000 finput[5][2]= 0.000 finput[5][3]= 0.000 finput[5][4]= 1.000
 input[6]= 1.000
 finput[6][0]= 0.000 finput[6][1]= 0.000 finput[6][2]= 0.000 finput[6][3]= 0.000 finput[6][4]= 1.000
 output : MR= 5.0000 HW= 4.0000

ex2). 주도로에서의 교통 혼잡과 ramp에서의 원활한 교통 흐름인 경우.

crisp input : OC=18.0000, DO=18.0000, UO=18.0000,
 SP=30.0000, DS=30.0000, QO=12.0000, AQO=12.0000
 input[0]= 1.000
 finput[0][0]= 0.000 finput[0][1]= 0.000 finput[0][2]= 0.000 finput[0][3]= 0.000 finput[0][4]= 1.000
 input[1]= 1.000
 finput[1][0]= 0.000 finput[1][1]= 0.000 finput[1][2]= 0.000 finput[1][3]= 0.000 finput[1][4]= 1.000
 input[2]= 1.000
 finput[2][0]= 0.000 finput[2][1]= 0.000 finput[2][2]= 0.000 finput[2][3]= 0.000 finput[2][4]= 1.000
 input[3]= 0.000
 finput[3][0]= 1.000 finput[3][1]= 0.000 finput[3][2]= 0.000 finput[3][3]= 0.000 finput[3][4]= 0.000
 input[4]= 0.000
 finput[4][0]= 1.000 finput[4][1]= 0.000 finput[4][2]= 0.000 finput[4][3]= 0.000 finput[4][4]= 0.000
 input[5]= 0.000
 finput[5][0]= 1.000 finput[5][1]= 0.000 finput[5][2]= 0.000 finput[5][3]= 0.000 finput[5][4]= 0.000
 input[6]= 0.000
 finput[6][0]= 1.000 finput[6][1]= 0.000 finput[6][2]= 0.000 finput[6][3]= 0.000 finput[6][4]= 0.000
 output : MR= 2.0000 HW=10.0000

ex3). 주도로에서의 대체적으로 원활한 흐름과 ramp에서의 약간의 혼잡이 있는 경우.

crisp input : OC=10.0000, DO=10.0000, UO=10.0000,
 SP=50.0000, DS=50.0000, QO=21.0000, AQO=21.0000
 input[0]= 0.200
 finput[0][0]= 0.200 finput[0][1]= 0.600 finput[0][2]= 0.000 finput[0][3]= 0.000 finput[0][4]= 0.000
 input[1]= 0.200
 finput[1][0]= 0.200 finput[1][1]= 0.600 finput[1][2]= 0.000 finput[1][3]= 0.000 finput[1][4]= 0.000
 input[2]= 0.200
 finput[2][0]= 0.200 finput[2][1]= 0.600 finput[2][2]= 0.000 finput[2][3]= 0.000 finput[2][4]= 0.000
 input[3]= 0.667
 finput[3][0]= 0.000 finput[3][1]= 0.000 finput[3][2]= 0.167 finput[3][3]= 0.867 finput[3][4]= 0.000
 input[4]= 0.667
 finput[4][0]= 0.000 finput[4][1]= 0.000 finput[4][2]= 0.167 finput[4][3]= 0.867 finput[4][4]= 0.000
 input[5]= 0.500
 finput[5][0]= 0.000 finput[5][1]= 0.200 finput[5][2]= 1.000 finput[5][3]= 0.200 finput[5][4]= 0.000
 input[6]= 0.500
 finput[6][0]= 0.000 finput[6][1]= 0.200 finput[6][2]= 1.000 finput[6][3]= 0.200 finput[6][4]= 0.000
 output : MR= 4.1950 HW= 4.7676

ex4). 주도로에서의 약간의 혼잡과 ramp에서의 대체적으로 원활한 흐름인 경우.

crisp input : OC=15.0000, DO=14.0000, UO=16.0000,
 SP=40.0000, DS=37.0000, QO=14.0000, AQO=15.0000
 input[0]= 0.700
 finput[0][0]= 0.000 finput[0][1]= 0.000 finput[0][2]= 0.000 finput[0][3]= 1.000 finput[0][4]= 0.000
 input[1]= 0.600
 finput[1][0]= 0.000 finput[1][1]= 0.000 finput[1][2]= 0.500 finput[1][3]= 0.600 finput[1][4]= 0.000
 input[2]= 0.800
 finput[2][0]= 0.000 finput[2][1]= 0.000 finput[2][2]= 0.000 finput[2][3]= 0.600 finput[2][4]= 0.200
 input[3]= 0.333
 finput[3][0]= 0.000 finput[3][1]= 0.867 finput[3][2]= 0.167 finput[3][3]= 0.000 finput[3][4]= 0.000
 input[4]= 0.233
 finput[4][0]= 0.067 finput[4][1]= 0.733 finput[4][2]= 0.000 finput[4][3]= 0.000 finput[4][4]= 0.000
 input[5]= 0.111
 finput[5][0]= 0.556 finput[5][1]= 0.244 finput[5][2]= 0.000 finput[5][3]= 0.000 finput[5][4]= 0.000
 input[6]= 0.167
 finput[6][0]= 0.333 finput[6][1]= 0.467 finput[6][2]= 0.000 finput[6][3]= 0.000 finput[6][4]= 0.000

output : MR= 2.9000 HW= 6.8966

ex5). 주도로와 ramp에서 혼잡이 있는 경우.

crisp input : OC=18.0000, DO=18.0000, UO=18.0000,
SP=30.0000, DS=30.0000, QO=30.0000, AQO=30.0000
input[0]= 1.000
finput[0][0]= 0.000 finput[0][1]= 0.000 finput[0][2]= 0.000 finput[0][3]= 0.000 finput[0][4]= 1.000
input[1]= 1.000
finput[1][0]= 0.000 finput[1][1]= 0.000 finput[1][2]= 0.000 finput[1][3]= 0.000 finput[1][4]= 1.000
input[2]= 1.000
finput[2][0]= 0.000 finput[2][1]= 0.000 finput[2][2]= 0.000 finput[2][3]= 0.000 finput[2][4]= 1.000
input[3]= 0.000
finput[3][0]= 1.000 finput[3][1]= 0.000 finput[3][2]= 0.000 finput[3][3]= 0.000 finput[3][4]= 0.000
input[4]= 0.000
finput[4][0]= 1.000 finput[4][1]= 0.000 finput[4][2]= 0.000 finput[4][3]= 0.000 finput[4][4]= 0.000
input[5]= 1.000
finput[5][0]= 0.000 finput[5][1]= 0.000 finput[5][2]= 0.000 finput[5][3]= 0.000 finput[5][4]= 1.000
input[6]= 1.000
finput[6][0]= 0.000 finput[6][1]= 0.000 finput[6][2]= 0.000 finput[6][3]= 0.000 finput[6][4]= 1.000
output : MR= 3.5652 HW= 5.6098

IV. 결론.

시뮬레이션 결과 fuzzy logic controller는 ramp와 주도로간의 상충되는 관계를 지능적으로 적절히 조절하여 원활한 차량 통행을 유도해내었다. 이 실험에서는 ramp의 정체 상황에 중점을 둔 제어를 하였으나, 도로의 특성상 중점을 어디에 두는가에 따라서 rule weight를 조절하면 될 것이다.

참고 문헌

- [1] L. Chen and A. May, "Freeway Ramp Control Using Fuzzy Set Theory for Inexact Reasoning." Transportation Research-A. Vol. 24A. No. 1. 1990. pp. 15-25.
- [2] L. Jacobson. K. Henry. and O. Mehyar. "Real-Time Metering Algorithm for Centralized Control." Transportation Research Board 1232. National Research Council. Washington. D. C. 1988.
- [3] R. Fenton. "IVHS/AHS : Driving into the

- Future." IEEE Control Systems. Des. 1944. p. 13.
[4] Sugeno, M. ed. (1985a), Industrial Application of Fuzzy Control. North-Holland, New York.
[5] Klir, G. J. and T.A. Folger(1988), Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information. Prentice Hall, New Jersey.

변수	변수에 대한 설명
OC	ramp 출구 앞의 점유율
DO	하류의 점유율
UO	상류의 점유율
SP	ramp 출구 앞의 속도
DS	하류의 속도
QO	ramp 행렬의 점유율
AQO	앞쪽 ramp 행렬의 점유율
MR	제어 동작에 의한 조절된 차량 수

Table 1. 입출력 변수들에 대한 설명.

i	Class	Description
1	VS	Very small
2	S	Small
3	M	Medium
4	B	Big
5	VB	Very big

Table 2. Fuzzy Classes.

	LL	HL	C_S	C_M	C_B	B_VS	B_S	B_M	B_B	B_VB
OC	8.0	18.0	0.3	0.5	0.7	0.25	0.25	0.2	0.25	0.25
DO	8.0	18.0	0.3	0.5	0.7	0.25	0.25	0.2	0.25	0.25
UO	8.0	18.0	0.3	0.5	0.7	0.25	0.25	0.2	0.25	0.25
SP	30.0	60.0	0.3	0.5	0.7	0.25	0.25	0.2	0.25	0.25
DS	30.0	60.0	0.3	0.5	0.7	0.25	0.25	0.2	0.25	0.25
QO	12.0	30.0	0.3	0.5	0.7	0.25	0.25	0.2	0.25	0.25
AQO	12.0	30.0	0.3	0.5	0.7	0.25	0.25	0.2	0.25	0.25
MR	2.0	5.0	0.3	0.5	0.7	0.25	0.25	0.2	0.25	0.25

Table 3. 퍼지화를 위한 매개 변수.

Rule	IF-THEN	MR output
1	OC-VB	VS
2	OC-B	S
3	OC-M	M
4	OC-S	B
5	OC-VS	VB
6	SP-VS, OC-VB	VS
7	SP-S	S
8	SP-B	B
9	SP-VB, OC-VS	VB
10	UO-M	M
11	UO-S	B
12	UO-VS	VB
13	DS-VS, DO-VB	VS
14	DS-S, DO-B	S
15	DS-M, DO-M	M
16	QO-VB	VB
17	AQO-VB	VB

Table 4. Fuzzy ramp Metering Algorithm에 대한 rule base

R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
W	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	2.5	3.0	3.0	1.0	2.5	3.5

Table 5. rule에 가해지는 weight

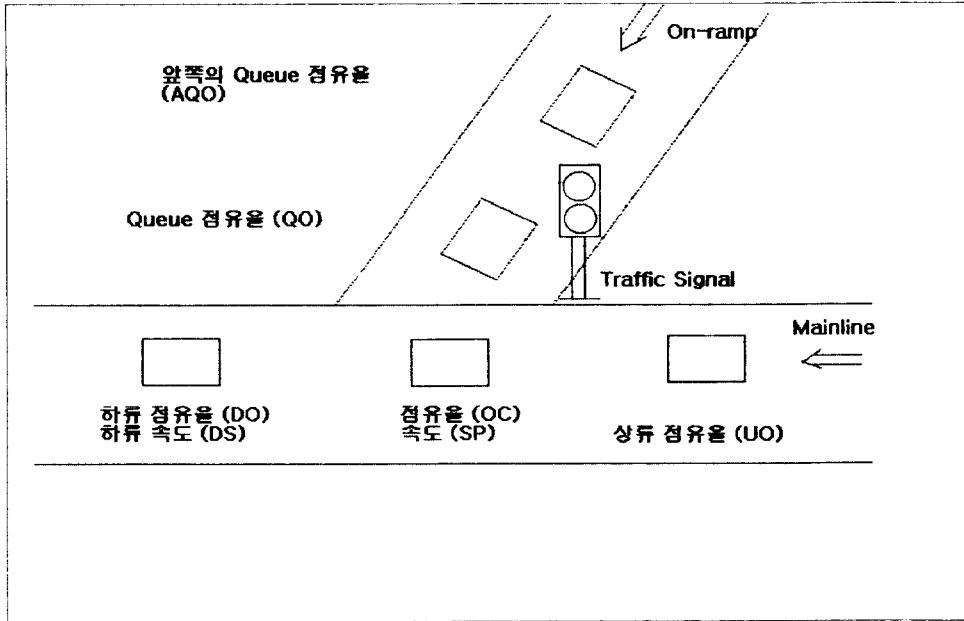


Figure 1. 입력 변수들에 대한 검출기 위치.

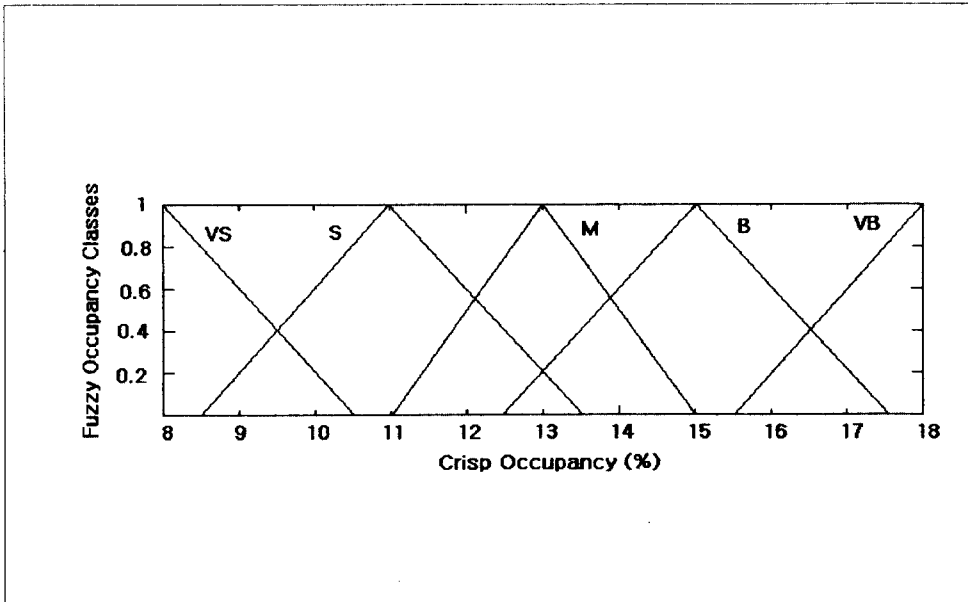


Figure 2. 점유율에 대한 Fuzzy set .