

유전 알고리즘에 의해 생성된 퍼지 소속함수를 갖는 교통 신호 제어

Traffic Signal Control with Fuzzy Membership Functions Generated by Genetic Algorithms

김종완 · 김병만* · 김주연*

Jongwan Kim, Byeong Man Kim and Ju-Youn Kim

대구대학교 컴퓨터정보공학부, *금오공과대학교 컴퓨터공학부

요 약

본 논문에서는 유전 알고리즘을 사용하는 퍼지 교통 제어기를 제안한다. 일반적인 퍼지 교통 제어기들은 사람에 의해 생성된 소속함수들을 사용한다. 그러나 이 방식은 퍼지 제어기를 설계하는데 최적의 해를 보장하지 못한다. 유전 알고리즘은 휴리스틱적인 특정 영역의 지식을 필요로 하는 최적화 문제의 좋은 해결 방법이다. 좋은 성능을 보이는 퍼지 소속함수를 찾기 위해서 적합도 함수가 정의되어야 한다. 그러나 교통 제어에서 적합도 함수를 수치 표현으로 정의하는 것은 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 교통 시뮬레이터에 의해 얻어지는 성능척도로써 해의 적합도를 결정하는 시뮬레이션 접근법을 사용한다. 제안된 방법은 기존의 퍼지 제어기들에 비하여 우수한 성능을 보여준다.

ABSTRACT

In this paper, a fuzzy traffic controller using genetic algorithms is presented. Conventional fuzzy traffic controllers use membership functions generated by humans. However, this approach does not guarantee the optimal solution to design the fuzzy controller. Genetic algorithm is a good problem solving method requiring domain-specific knowledge that is often heuristic. To find fuzzy membership functions showing good performance, a fitness function must be defined. However it's not easy in traffic control to define such a function as a numeric expression. Thus, we use simulation approach, namely, the fitness value of a solution is determined by use of a performance measure that is obtained by traffic simulator. The proposed method outperforms the conventional fuzzy controllers.

1. 서 론

교통은 현대 사회에서 중요한 기능을 차지한다. 차량의 급속한 증가에 기인한 교통 체증으로 도로 교통 상황이 악화되고 있다. 따라서 기존 도로 용량을 최적으로 활용하기 위해서 교통 흐름을 효과적으로 관리하는 것은 앞으로도 계속 중요한 주제가 된다. 교통 정책이 확산됨에 따라 시간낭비, 대기오염, 인명손실 등을 줄이기 위해 지능형 알고리즘을 사용할 필요가 있다.

교차로의 신호 제어에 관해서는 1970년대 후반부터 연구가 수행되어 왔다. 고정시간 제어기(pretimed controller)는 주기(cycle), 현시 순서(phase sequence)와 같은 모든 제어 변수가 고정되어 있으며, 시간대별 교통류 특성을 반영하기 위해서 시간대별(TOD: Time of Day) 신호시간 계획에 의하여 제어가 이루어진다[1]. 이 방법은 각 교차로의 교통 상황을 정확히

고려하지 않고 정해진 규칙에 의해 신호등을 제어하므로 교통 상황에 적절한 대응을 하지 못한다. 미리 정해진 신호시간 계획을 사용하는 문제점을 보완하기 위하여, 감응식 제어기(actuated controller)는 정해진 신호시간 계획을 갖지 않고 감지된 차량의 존재 유무에 따라 일정한 단위 연장시간(unit extension)에 의해 신호를 제어하지만, 차량의 분포가 일정치 않을 때는 불필요하게 녹색시간(green time)을 낭비하게 되어 신호 제어의 효율을 떨어뜨리는 요인이 된다[1,2]. 퍼지 논리 제어는 제어 규칙을 애매한 언어 명제로 표현하기 용이하고 부정확한 교통 패턴을 다루기 쉬워서 교통 신호시간 계획을 설계하는데 유용한 도구가 된다.

기존의 퍼지 논리 제어기(FLC: fuzzy logic controller)는 인간 조작자에 의해 만들어진 소속함수(membership functions)와 제어규칙들(control rules)을 이용한다[3-9]. 그러나 이런 접근법은 퍼지 시스템 설

계 분야의 최적 해는 보장하지 못한다. 인간 조작자의 부담을 줄이고 시행 착오적인 방식의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 각 퍼지변수의 소속함수들을 결정하는데 유전 알고리즘(GA: genetic algorithm)을 사용한다. 유전 알고리즘은 휴리스틱 지식이 요구되는 분야에서 좋은 문제 해결 방법이다. 일반적으로 유전 알고리즘과 퍼지제어가 결합한 혼합형 시스템(hybrid systems)에서 좋은 성능을 보이는 퍼지 소속함수를 발견하려면 적합도 함수(fitness function)가 잘 정의되어야 한다. 그러나 동적인 차량 흐름을 갖는 교통제어의 경우에 적합도 함수를 기존의 방식대로 수학 목적함수(mathematical objective function)로 정의하는 것은 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 교통 시뮬레이터(traffic simulator)에 의해 시뮬레이션 하는 동안 얻어지는 성능척도를 사용하여 해의 적합도를 결정하는 시뮬레이션 접근법(simulation approach)을 제안한다. 본 논문의 2장에는 일반적인 퍼지 교통 신호 제어 방법들을 소개하고, 3장에는 제안된 유전 알고리즘을 사용한 퍼지 교통 제어기를 기술하고, 4장에는 시뮬레이션 결과를 보이며, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 일반적인 퍼지 교통 신호 제어

Mamdani와 Pappis는 단일방향 4지 교차로의 신호 등 제어를 위한 퍼지 논리 제어기를 제안하였다[3]. 제어기의 입력변수로는 현재 녹색신호후 경과한 시간, 녹색신호 시간동안 교차로에 진입하는 차량수, 적색신호 시간동안 대기중인 차량수를 사용하고, 출력변수로 현재 신호의 상태를 연장할 확장시간이 취해진다. 25개의 제어규칙을 5개의 군으로 나누어 사용한다. 이 방법은 현실과는 차이가 있는 단순한 교차로를 대상으로 실험하였다.

Favilla 등이 제안한 적응 전략을 가진 퍼지 교통 제어기는 성능을 향상시키기 위해 교통 상황에 따라 소속함수의 상한을 조정하는 것이다[4]. 입력 소속함수를 조정하는 통계적 적응과 출력 소속함수를 조정하는 퍼지 적응이 있다. 이 FLC는 브라질 상파울루시의 특정 교차로를 대상으로 테스트되었으며, 실제 환경에서 적응 전략을 적용하기가 쉽지 않다.

Jamshidi 등은 왕복 2차선 도로가 만나는 4지 교차로를 대상으로 3개의 입력변수와 1개의 출력변수를 사용하였다[5]. 제어규칙은 모두 26개를 사용하였고 69가지 서로 다른 교통상황에 대하여 시뮬레이션 하였다. 이 방법은 비교적 많은 시뮬레이션 결과를 제시하고 있으나, 교통흐름이 변하거나 바뀌는 것을 처리

하기는 힘들 것으로 예상된다.

홍윤광 등은 횡단보도가 없는 4지 4차선 도로를 대상으로 하는 퍼지 제어기를 제안하였다[6]. 각 방향의 직진과 좌회전의 정체 차량수를 입력으로 하고, 출력으로는 다음 현시의 길이를 사용하였다. 또한 여러가지 예외상황에 따라 할당된 통과 시간을 조절하였다. 이 방법은 대기차량수만을 이용하여 현시의 길이를 결정하게 되므로, 지체를 최소화하는 제어는 어려울 것으로 생각된다.

Kim은 교차로의 교통량에 따라 다른 퍼지 제어규칙을 사용하고, 확장시간의 최대값을 변경하므로써 차량 소통을 원활하게 하는 FLC를 제안하였다[7]. 입력변수로 기존의 퍼지 교통 제어에서 많이 쓰이는 진입차량수와 대기차량수에 추가로 교차로에 진입하는 차량 흐름을 나타내는 교통량을 사용하였으며, 출력변수는 현재 현시의 확장시간을 사용하였다. 이 FLC는 교통량이 가변적으로 변하는 교차로에서 기존의 방식들보다 우수함을 입증하였다.

이외에도 그룹 교차로를 대상으로 각 교차로에 교통 신호기를 설치한 분산형 구조에 대하여 실험한 연구[8]도 있으며, 루프 감지기에 의해 감지된 입력 신호 파형을 신경망을 이용하여 학습시킴으로써 평균 주행속도를 향상시키려는 연구도 있다[9].

3. 유전 알고리즘을 사용한 퍼지 교통 제어기

본 논문에서는 일반적인 퍼지 교통 제어기를 대상으로 퍼지 입출력변수들의 소속함수를 구하는데 유전 알고리즘을 적용한다. 기존에도 유전 알고리즘을 사용하여 퍼지 시스템을 개선하려는 노력이 있었다[10]. 기존의 방법들은 대표적 예로 역 진자(inverted pendulum) 문제의 경우처럼 가변성이 적은 상황에서 동작하므로 평가함수를 수식으로 표현하기 쉬웠다. 하지만 실시간으로 입력 패턴이 변하는 교통제어 문제의 경우에는 좋은 소속함수를 표현하는 개체를 평가하는데 수치 평가함수가 부적합하므로, 시뮬레이션에서 얻어지는 성능척도를 평가함수로 사용하는 것이 바람직하다.

3.1 퍼지 변수들과 제어규칙들

퍼지 입력 및 출력변수들은 교통 정체를 반영할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 퍼지 변수로 Arrival, Queue, Volume의 세 가지 입출력 변수를 사용한다. Arrival은 녹색 현시를 갖고 교차로에 접근하는 차량수, Queue는 적색 신호동안 대기하는 차량수, Volume은 다른 교차로로부터 현재 교차로로 초단위

로 진입하는 차량수를 나타낸다. 퍼지 제어기는 미리 정의된 최대 확장시간에 도달할 때까지 현재 녹색현시의 확장시간(Extension)을 출력한다. 사람이 만든 각 퍼지 입출력변수의 소속함수들은 그림 1에 나타낸다[7].

제안된 FLC의 제어규칙들은 Volume에 따라 small, medium, large 세 군으로 나뉜다. 각 군은 다른 규칙들을 사용한다. 즉 small군은 7개, medium군은 9개, large군은 7개의 제어규칙을 사용하므로 총 23개의 제어규칙이 사용된다[7].

제안된 FLC는 다음과 같이 현재 녹색현시의 확장시간을 계산한다. 먼저, 모든 Volume군에 대하여 소속함수값을 계산하고, 최대 소속함수값을 찾는다. 최대값을 갖는 군의 제어규칙들을 사용하여 확장시간을 계산한다. 예를 들어, Volume의 소속함수 최대값이 medium인 경우에 사용된 제어규칙의 일부는 다음과 같다.

```

if Arrival=zero and Queue=ANY
then Extension=zero
if Arrival=small and Queue=zero
then Extension=short
if Arrival=small and Queue=ME(small)
then Extension=zero
if Arrival=medium and Queue=zero
then Extension=medium
    
```

여기서 퍼지규칙의 연산자 "ANY"는 소속함수값이 1임을 의미하며, 연산자 "ME()"와 "LE()"는 각각

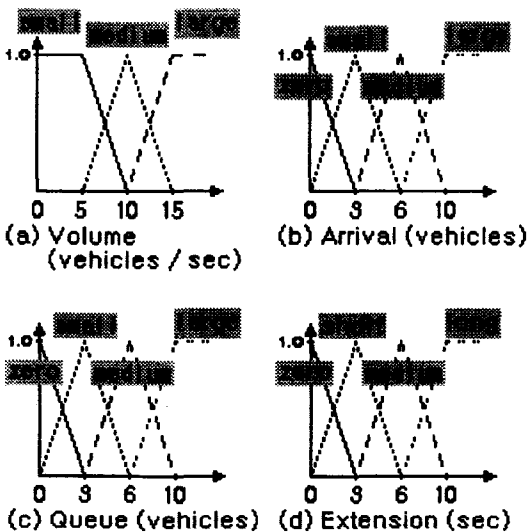


그림 1. 퍼지 입출력변수들의 소속함수들.

"more than or equal to"와 "less than or equal to"를 나타낸다.

특히, 제안된 FLC는 기존의 방법과 달리 Volume에 따라 확장시간의 한계를 다르게 하는 새로운 방식을 사용한다. 즉 교통량이 작으면 짧게 확장시키고, 교통량이 증가하면 길게 확장시키는 것이다. 따라서 교통량이 small이면 확장시간={zero, short}, medium이면 확장시간={zero, short, medium}, large이면 확장시간={zero, short, medium, long}을 사용한다. 이는 교통량이 작을 때는 확장을 0~3초, 보통이면 0~6초, 많으면 0~10초로 다르게 연장함으로써 교통량에 따라 원활한 교차로 소통이 이루어지도록 하였다.

3.2 유전 알고리즘으로 소속함수를 결정

사람이 만든 3.1절의 제어규칙이 주어진 상황에서 유전 알고리즘(GA)으로 각 퍼지변수의 퍼지항(fuzzy term)에 대한 소속함수를 시뮬레이션 접근법으로 구한다.

3.2.1 해의 염색체 표현

GA에서 후보 해(candidate solution)들은 염색체로 표현된다. 본 논문의 실험에서는 Arrival, Queue, Volume의 입력변수를 사용하여 출력변수 Extension을 결정하기 위해, 비교 대상이 되는 3.1절에서 언급한 퍼지 교통 제어기가 사용하는 23개의 퍼지 제어규칙을 사용한다. 퍼지 교통 제어기의 각 소속함수 F_i 는 삼각형 모양이고, 튜플(tuple) $\langle B_i, C_i \rangle$ 로 표현된다. 여기서 B_i 는 퍼지 변수의 i 번째 퍼지항의 삼각형 소속함수의 밑변의 길이이고, C_i 는 퍼지 소속함수값이 1이 되는 꼭지점 좌표이다. 이를 그림으로 보이면 그림 2와 같다.

퍼지 소속함수의 모양에 해당하는 염색체를 "Baz-CazBasCasBamCamBalCalBqzCqzBqsCqsBqmCqm-BqlCqlBvsCvsBvmCvmBvlCvlBezCezBesCesBem-CemBelCel"로 표현한다. 여기서 B_{xy} 는 퍼지변수 X 의 퍼지항 Y 에 대한 소속함수의 밑변의 길이, $X \in \{a(\text{Arrival}), q(\text{Queue}), v(\text{Volume}), e(\text{Extension})\}$, $Y \in$

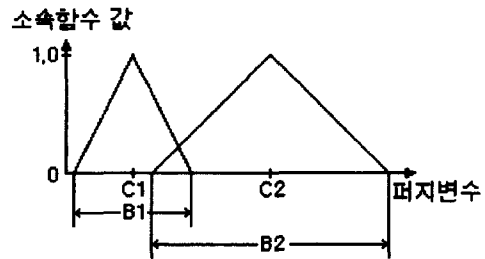


그림 2. 퍼지 변수와 소속함수의 관계.

4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4
Ba	Caz	Cas	Cam	Cal	Bq	Cqz	Cqs	Cqm	Cql	Bv	Cvs	Cvm	Cvl	Be	Cez	Ces	Cem	Cel

그림 3. 염색체 표현.

{z(Zero), s(Small or Short), m(Medium), l(Large or Long)}를 나타낸다. 그러나 이러한 염색체 표현은 결정되는 항의 수가 30개이고 각 퍼지항의 최대값이 10보다 크거나 같으므로 탐색공간이 막대하게 된다. 탐색공간을 줄이기 위해, 우리는 같은 퍼지변수의 퍼지항들의 밀변의 길이는 같다고 가정한다. 예를 들어, Arrival 변수의 경우에는 $Baz=Bas=Bam=Bal=Ba$ 로 설정함으로써 탐색공간을 크게 줄일 수 있다. 그 결과로 그림 3과 같은 80비트의 이진 스트링을 염색체로 사용한다. 그림 3에서 숫자는 각 유전자의 비트 수를 나타낸다.

각 퍼지항 Bx 와 Cxy 는 다음의 제약조건을 만족한다.

$$\begin{aligned}
 &4 * Ba \geq 12, 0 \leq Caz \leq Cas \leq Cam \leq Cal \leq 12, \\
 &4 * Bq \geq 12, 0 \leq Cqz \leq Cqs \leq Cqm \leq Cql \leq 12, \\
 &3 * Bv \geq 20, 0 \leq Cvs \leq Cvm \leq Cvl \leq 20, \\
 &4 * Be \geq 10, 0 \leq Cez \leq Ces \leq Cem \leq Cel \leq 10.
 \end{aligned}$$

여기서 Bx 와 관계된 4와 3은 해당 퍼지항의 개수를 나타내고, Cxy 와 연관된 12는 Arrival과 Queue 변수의 상한을, 20은 Volume 변수의 상한을, 10은 Extension 변수의 상한을 각각 나타낸다. 위와 같은 제약조건을 갖는 이유는 다음과 같다. 그림 1의 수 작업으로 만든 소속함수 형태에 기준하여 제안된 방법에서는 Cxy 의 하한은 0으로 상한은 약간의 여유를 두어 Arrival과 Queue는 12로, Volume은 20으로, Extension은 10으로 설정하였다. 또한 Arrival의 퍼지항인 zero, small, medium, large는 그림 1에서 보면 알 수 있듯이 $Caz \leq Cas \leq Cam \leq Cal$ 의 관계를 가지므로 Cxy 의 제약조건이 설정되었다. Bx 의 제약조건은 Arrival 변수의 경우에 퍼지항이 4개이므로 삼각형 밀변의 길이 합 $4 * Ba$ 는 Cxy 의 상한값 12보다는 크거나 같아야 한다. 다른 퍼지항들도 같은 기준으로 설정하였다.

같은 퍼지변수의 두 인접 퍼지항간의 간격(1)를 같다고 가정하면, 염색체를 "BaCazIaBqCqzIqBvCvsIvBeCezIc"로 표현할 수 있으며, 탐색공간을 보다 줄일 수 있다. 하지만 이 가정은 지나치게 제한적이라 본 실험에서는 사용하지 않는다.

3.2.2 후보 해들을 평가

좋은 성능을 보이는 소속함수를 찾기 위해, 염색체

로 표현된 후보 해들의 가능성을 측정하는 적합도 함수가 정의되어야 한다. 그러나 본 논문의 경우에는 적합도 함수를 단순히 수식으로 정의하기는 어렵다. 그래서 우리는 시뮬레이션 접근법을 사용하였다. 즉 4장에서 언급되는 교통 시뮬레이터에 의해 얻어지는 지체시간(delay time)을 사용하여 염색체의 적합도를 평가한다. 식 (1)에 보여지는 평균 지체시간(AvgDelay)은 차량당 평균 대기시간을 나타낸다. 평균 지체시간을 계산하기 위해 주어진 염색체마다 5주기씩 시뮬레이션을 수행하였다. 평균 지체시간은 초기에는 0이며, 5주기 시뮬레이션 후에 식 (1)과 같이 다시 계산된다. 본 연구에서는 식 (2)와 같이 AvgDelay의 역수를 적합도(fitness)로 취하여 이 값이 클수록 좋은 해로 평가한다.

$$AvgDelay = \sum_{i=1}^5 Delay_i / 5 \tag{1}$$

$$fitness = 1 / AvgDelay \tag{2}$$

3.2.3 새로운 세대를 생성

최대 적합도를 가진 후보 해를 발견하는 절차를 그림 4에 나타낸다. 이 과정은 Holland에 의해 제안된 단순 유전 알고리즘(SGA: simple genetic algorithm) [11]과 유사하다. 이 알고리즘은 염색체의 상수 크기 개체집단(populations)을 관리하는 반복적인 과정이다. 각 반복 단계에서 염색체는 시뮬레이션 환경 하에 평가된다. 이 평가에 기초하여 개체들에 유전 연산을 적용함으로써 새로운 염색체들의 개체집단이 형성된다.

3.2.4 GA를 사용한 교통 시뮬레이션

개체 크기는 GA의 성능과 효율성에 영향을 미친다. 개체집단의 크기가 클수록 다수의 분류 능력을 나타내는 초평면(hyperplane)을 포함할 가능성이 많다 [12]. 해의 수준이 개체 크기에 따라 비록 다를지라도, 개체 크기를 변경시키는 실험은 너무 많은 시간이 소요되므로 본 연구에서는 개체 크기를 30으로 고정한다. 교차율(crossover rate)와 돌연변이율(mutation rate) 등의 다른 패러미터들도 같은 이유로 고정값을 사용한다. 또한 선택(selection) 전략에도 순수 선택(pure selection), 엘리트 선택(elitist selection) 등이 있다. 본 연구에서는 최선의 적합도를 가지는 2개의 염색체는 다음 세대에 살아남고 나머지 28개의 염색체

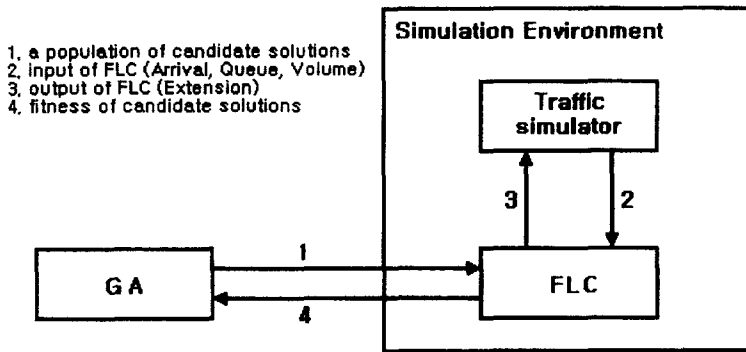


그림 4. 후보 해를 발견하는 전체 과정.

는 순수 선택에 의해 새롭게 생성하는 방법을 사용한다. 염색체들은 두 개씩 선택하여 교차 연산자에 의해 내부 표현의 일부를 교배하게 되고, 새로이 만들어진 염색체가 다음 세대로 복제된다. Grefenstette는 자신의 실험[12]에서 개체 크기가 30일 경우에 0.88의 교차율을 사용하면 성능이 가장 좋다고 밝혔으며, 본 연구에서도 0.88을 교차율로 사용하였다.

개체의 가변성을 증가시키기 위하여 일반적으로 돌연변이율이 사용된다. 낮은 돌연변이율은 탐색공간을 제한하고 성능을 떨어뜨리기도 한다. 반면에 높은 돌연변이율은 완전히 무작위 탐색(random search)을 수행하기도 한다. 본 연구에서는 0.033의 돌연변이율이 사용된다.

전체 개체집단의 최대 적합도를 가지는 염색체가 최종 소속함수로 사용된다. 그림 5의 염색체가 100세

대 동안 시뮬레이션한 후 최고의 적합도를 가지는 후보 해를 나타낸다. 본 실험에서는 네 방향의 교통량을 각각 10(vehs/sec)로 발생시켜서 염색체들을 학습시켰다. 이 값은 정상 교통 흐름보다는 조금 많은 차량들을 발생시키는 것을 의미한다.

4. 시뮬레이션

제안된 방법의 효율성을 분석하기 위해 그림 6의 단일 교차로에 대해서 성능 평가를 수행하였다. 교통 패턴들은 교차로의 전후방에 있는 검지기로부터 수집된다. 제안된 FLC는 Windows 95 환경에서 Borland C++ 언어로 작성된 시뮬레이터로 테스트되었다.

제안된 FLC를 3.1절의 일반적인 FLC와 비교하였다. 교차로의 차량들은 포아송 분포(Poisson

8 3 4 5 8 9 1 3 4 10 14 7 13 17 7 0 1 7 10

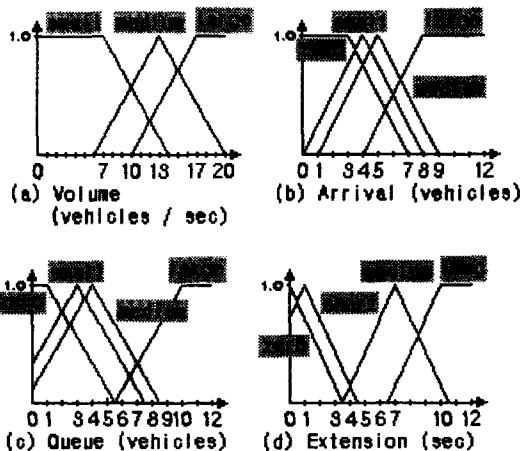


그림 5. GA에 의해 생성된 최고 염색체와 퍼지 소속함수들.

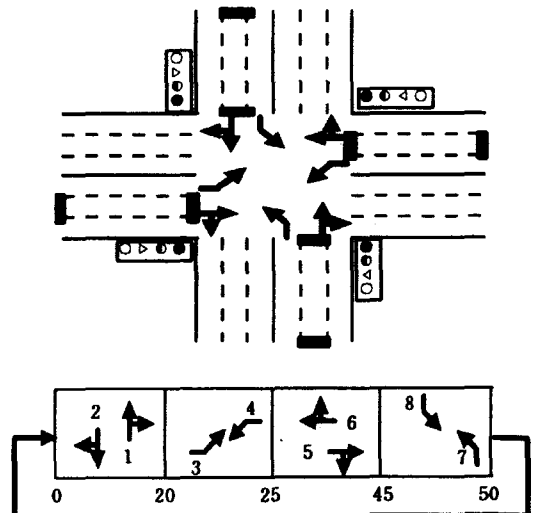


그림 6. 교차로와 현시 순서.

distribution)의 값을 얻어서 발생시킨다[2]. FLC들은 각 현시의 기본 녹색시간이 경과한 후에 현재 현시의 확장시간을 결정한다.

교통 제어기의 성능을 평가하기 위해 지체시간(delay time)과 포화도(degree of saturation)가 주로 사용된다[1,2]. 차량당 평균 지체시간은 적색신호의 지체시간과 녹색신호의 지체시간합을 녹색신호와 적색신호동안 검지기에 검지된 차량수로 나눈 값이다[2]. 포화도는 전체 녹색시간동안 교차로 통과 가능용량(capacity)에 대한 실제 통과한 용량을 의미한다[2]. 포화도는 임의의 교차로의 유효 녹색시간(effective green time) 활용률이라고 한다[1]. 따라서 교통 제어기들은 지체시간은 줄이고 포화도는 높이는 것을 목표로 한다.

시뮬레이션은 남북 방향을 주도로로, 동서 방향을 부도로로 설정하고, 각 방향의 교통량을 변화시키면서 제어기 성능을 평가하였다. 모든 방법들은 1시간씩 표 1에 나타난 교통량 조합에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1내 숫자는 각 방향별로 초당 차량 발생대수(vehs/sec)를 나타낸다. 예를 들어, 경우 2의 교통량 조합은 북쪽과 남쪽 방향으로 초당 최대 10대까지 차량을 발생시키고, 동쪽과 서쪽 방향으로 초당 최대 5대까지 차량이 발생함을 의미한다.

표 2는 제안된 유전 알고리즘을 사용하여 얻어진 소속함수를 갖는 FLC와 기존의 수작업으로 만든 소속함수를 갖는 FLC에 대해 표 1의 교통량 조합에 대하여 1시간씩 시뮬레이션하여 얻어진 평균 지체시간을 보여준다. 표 3은 같은 방식으로 포화도에 대하여 비교한 결과이다. 성능비교에 사용된 기존 FLC는 고정시간 제어기와 Mamdani의 FLC를 포함한 기존의 제어기들 보다 성능이 우수한 것으로 알려져 있다[7].

표 1. 실험에 사용된 교통량 조합들

방향 조합	북 (North)	남 (South)	동 (East)	서 (West)
경우 1	5	5	5	5
경우 2	10	10	5	5
경우 3	10	10	10	10
경우 4	15	15	5	5

표 2. 제안된 FLC와 기존의 FLC의 평균 지체시간 비교

지체시간(초)	기존	제안	개선도(%)
경우 1	21.53	18.87	12.4
경우 2	22.05	19.72	21.3
경우 3	14.40	12.51	13.1
경우 4	19.35	17.13	11.5

표 3. 제안된 FLC와 기존의 FLC의 평균 포화도 비교

포화도(%)	기존	제안	개선도(%)
경우 1	42.99	43.88	2.1
경우 2	30.10	33.76	12.2
경우 3	22.28	24.27	8.9
경우 4	28.31	32.33	14.2

표 2는 1시간 동안의 지체시간의 평균을 나타낸 것이다. 표 2의 결과는 지체시간의 역수를 적합도 함수로 삼아서 염색체들을 평가했기 때문에 모든 교통량 조합에 대하여 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 표 3의 결과는 포화도의 평균을 비교한 것으로, 표의 각 값은 1시간 동안 교차로의 제어기가 녹색시간을 얼마나 유효하게 활용했는지를 나타내는 것이다. 표 3에서 알 수 있듯이 교통량비가 커지면 제안된 방법의 녹색시간 활용률이 보다 높아진다. 이들 실험으로부터, 제안된 FLC가 기존의 퍼지 제어기 보다 단일 교차로 신호제어 시 우수한 성능을 보여줌을 확인할 수 있다.

5. 결 론

사람이 만든 소속함수를 사용하는 기존의 퍼지 논리 제어기는 퍼지 시스템 설계에서 최적의 해를 보장하지 못한다. 퍼지 소속함수를 생성하는데 유전 알고리즘이 유용하게 사용되어 왔다. 이 방식은 적합도 함수를 설계자가 미리 정하고, 이 값을 최적화 시키려고 노력한다. 그러나 실시간 교통제어의 경우에는 입력 패턴이 정해져 있지 않고 유동적이므로 미리 적합도 함수를 설정하기가 어렵다.

이에 본 논문에서는 교통 시뮬레이션을 수행하면서 얻어지는 평가척도인 지체시간을 최소화시키는 개체를 최종 해로 선정하는 시뮬레이션 접근법에 의한 평가기법을 도입하였다. 유전 알고리즘을 적용하는 연구에서 가장 중요하고 어려운 부분은 적합도 함수를 잘 정의하는 것이다. 본 논문에서 새롭게 제안한 시뮬레이션 접근법은 적합도 함수의 정의가 어려운 복잡한 문제나 실시간 제어 등에 유용하게 사용될 수 있으며, 시스템 설계자의 부담을 덜어줌으로써 유전 알고리즘의 응용 영역을 확장시킨다는 기여도를 갖는다.

또한 유전 알고리즘을 사용하는 기존의 퍼지 제어기들과는 달리 제안된 퍼지 교통 제어기의 유전 학습 엔진과 퍼지 논리 제어기는 교통 시뮬레이션 동안 분리되어 수행되고, 교통 시뮬레이션이 정해진 세대만큼 복제가 일어난 후 퍼지 제어기의 소속함수를 결정

하기 위해 결합하는 특징을 갖는다. 이 특징은 유전 알고리즘이 라이브러리 형태로 붙어서 다른 퍼지 시스템으로의 적용도 용이해지는 장점이 있다.

제한된 퍼지 교통 제어기는 유전 알고리즘으로 생성된 소속함수의 도움으로 기존의 퍼지 제어기를 보다 우수한 성능을 보였다. 향후에는 교차로 제어를 위한 퍼지 제어규칙들의 자동 유도와 연동 제어를 위해 보다 많은 교통 시뮬레이션에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] 도철웅, 교통공학원론, 청문각, 서울, 1995.
 [2] McShane, W. R. and Roess, R. P., Traffic Engineering, Prentice-Hall, 1990.
 [3] 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.
 [4] 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.
 [5] Jamshidi, M., Kelsey, R. and Bisset, K., "Traffic Fuzzy Control: Software and Hardware Implementations", *Proc. of 5th IFSA World Congress*, pp. 907-910, 1993.
 [6] 홍윤광, 조성원, 최경삼, "퍼지 교통신호 제어에 관한 연구," 한국퍼지시스템학회 1994년도 춘계학술 발표대회 논문집, pp. 238-243, 1994.
 [7] Kim, J., "A Fuzzy Logic Control Simulator for Adaptive Traffic Management", *Proc. of 6th IEEE Int'l Conf. on Fuzzy Systems*, Vol. III, pp. 1519-1524, 1997.
 [8] 이지형, 그룹 교차로를 위한 퍼지 신호기의 설계 및 구현, 한국과학기술원 석사학위논문, 1995.
 [9] 홍유식, 박종국, "신경망 및 퍼지규칙을 이용한 최적 교통신호주기 알고리즘", 대한전자공학회논문지. 제34권, C편, 제8호, pp. 88-101, 8월, 1997.
 [10] Lee, A. M. and Takagi, H., "Integrating Design Stages of Fuzzy Systems using Genetic Algorithms", *Proc. of 2nd IEEE Int'l Conf. on Fuzzy Systems*, pp. 612-617, 1993.
 [11] Goldberg, D., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley,

Reading MA, 1989.

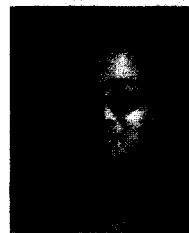
[12] Grefenstette, J., Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms, Genetic Algorithms, Edited by Buckles, B. and Petry, F., IEEE Computer Society Press, pp. 5-11, 1992.



김종완(Jongwan Kim)

1987년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
 1989년 : 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 1994년 : 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1991년~1995년 : 서울대학교 연구처 연구조교
 1995년~현재 : 대구대학교 컴퓨터정보공학부 조교수
 관심분야 : 지능정보시스템, 신경회로망, 퍼지시스템, 인공지능



김병만(Byeong Man Kim)

1987년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
 1989년 : 한국과학기술원 전산학과 졸업(공학석사)
 1992년 : 한국과학기술원 전산학과 졸업(공학박사)

1992년~1994년 : 금오공과대학교 컴퓨터공학부 전임강사
 1994년~1998년 : 금오공과대학교 컴퓨터공학부 조교수
 1998년~현재 : 금오공과대학교 컴퓨터공학과 부교수
 관심분야 : 인공지능, 정보검색, 프로토콜공학



김주연(Ju Youn Kim)

1994년 : 금오공과대학 전자계산학과 졸업(학사)
 1997년 : 금오공과대학 전자공학과 졸업(석사)
 1998년~현재 : 금오공과대학 전자과대학원 박사과정 수학중

관심분야 : 정보검색, 지능형 에이전트 등