

# 유전 알고리즘에 의해 생성된 제어규칙과 멤버쉽함수를 갖는 퍼지 교통 제어기

## Fuzzy Traffic Controller with Control Rules and Membership Functions Generated by Genetic Algorithms

김병만\* · 김종완\*\* · 허남철\*\*\*

Byeong Man Kim\*, Jongwan Kim\*\* and Nam Chul Huh\*\*\*

\*금오공과대학교 컴퓨터공학부

\*\*대구대학교 컴퓨터정보공학부

\*\*대구미래대학 컴퓨터정보처리학과

### 요 약

본 논문에서는 유전 알고리즘을 사용하여 생성된 제어규칙과 멤버쉽함수를 갖는 퍼지 교통 제어기가 교차로 관리를 위해 제시된다. 일반적인 퍼지 교통 제어기들은 사람에 의해 생성된 제어규칙과 멤버쉽함수들을 사용한다. 그러나 이 방식은 퍼지 제어 시스템을 설계하는데 최적의 해를 보장하지 못한다. 유전 알고리즘은 문제 영역에 관한 휴리스틱한 지식을 쉽게 획득하기 어려운 경우에 최적해를 구하는데 유용한 방법이다. 본 논문에서는 퍼지 교통 제어기들의 근사 최적 규칙과 멤버쉽 함수를 자동으로 결정하는데 유전 알고리즘을 사용한다. 제안된 방법의 효과는 교차로망 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

### Abstract

A fuzzy traffic controller with the control rules and the membership functions generated by using genetic algorithm is presented for crossroad management. Conventional fuzzy traffic controllers use control rules and membership functions generated by human operators. However, this approach does not guarantee the optimal solution to design fuzzy control system. Genetic algorithm is a good solution for an optimal problem requiring domain-specific knowledge that is often heuristic. In this paper, we use genetic algorithms to automatically determine the near optimal rules and their membership functions of fuzzy traffic controllers. The effectiveness of our method was shown through simulation of crossroad network.

**Key Words** : Fuzzy Traffic Controller, Genetic Algorithm

### 1. 서 론

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. 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]. 퍼지 논리 제어는 제어규칙을 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 멤버쉽함수(membership functions)와 제어규칙들(control rules)을 이용한다[2-8]. 그러나 이런 접근법은 퍼지 시스템 설계 분야의 최적 해를 보장하지 못한다. 인간 조작자의 부담을 줄이고 시행 착오적인 방식의 문제점을 해결하면서 좋은 성능을 보이는 해를 찾기 위해, 본 논문에서는 각 퍼지변수의 멤버쉽함수와 제어규칙들을 자동으로 결정하는데 유전 알고리즘(GA : genetic algorithm)을 사용한다. 유전 알고리즘은 선천적 유전자 메카니즘에 기반을 둔 탐색 알고리즘으로 전역적인 최적해를 찾아 내고 특성을 잘

접수일자 : 2001년 11월 22일

완료일자 : 2002년 2월 18일

본 연구는 2001년도 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구된 논문임.

알지 못하는 문제에 적용 가능하다는 장점을 갖고 있다. 물론 퍼지변수의 멤버쉽함수만 자동으로 찾기 위해 유전 알고리즘을 이용한 방법은 있었다[9]. 이 경우에는 정해진 퍼지규칙에 대한 멤버쉽함수만 발견하므로 여전히 사람의 판단에 의존하게 된다. 본 연구에서는 퍼지 교통 제어기의 제어규칙과 멤버쉽함수를 모두 자동으로 유도하는 방법을 제시한다. 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 신호등 제어를 위한 FLC를 제안하였다[2]. 제어기의 입력변수는 현재 녹색신호 후 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 멤버쉽함수의 상한을 조정하는 것이다[3]. 입력 멤버쉽함수를 조정하는 통계적 적응과 출력 멤버쉽함수를 조정하는 퍼지 적응이 있다. 그러나 테스트된 교차로가 특정한 구조를 가지며, 모든 멤버쉽함수가 동시에 적용된다. 따라서 하나의 멤버쉽함수로부터 다른 멤버쉽함수로의 관계가 여전히 같은 상태로 남아있게 되어 가변적인 교통상황에 적합하지 못하다.

Jamshidi 등은 왕복 2차선 도로가 만나는 4지 교차로를 대상으로 3개의 입력변수와 1개의 출력변수를 사용하였다[4]. 제어규칙은 모두 26개를 사용하였고 69가지 서로 다른 교통상황에 대하여 시뮬레이션 하였다. 이 방법은 비교적 많은 시뮬레이션 결과를 제시하고 있으나, 교통흐름의 변화에 대한 대처 방안의 제시가 없다.

홍윤광 등은 횡단보도가 없는 4지 4차선 도로를 대상으로 하는 퍼지 제어기를 제안하였다[5]. 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 제어 방안이 없다.

Kim은 교차로의 교통량에 따라 다른 퍼지 제어규칙을 사용하고, 확장시간의 최대값을 변경함으로써 차량 소통을 원활하게 하는 FLC를 제안하였다[6]. 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[7]도 있으며, 루프 감지기에 의해 감지된 입력 신호 파형

을 신경망을 이용하여 학습시킴으로써 평균 주행속도를 향상시키려는 연구도 있다[8]. 또한 단일 교차로 제어를 위해 유전 알고리즘으로 퍼지 멤버쉽함수를 학습시키는 방법도 제안되었다[9].

## 3. 유전 알고리즘을 사용한 퍼지 교통 제어기

일반적인 퍼지 교통 제어기들은 수작업으로 만들어진 입출력 멤버쉽함수와 퍼지 제어규칙들을 사용한다. 그러나 이러한 접근법은 최적의 해를 보장하기 힘들다. 교통공학에서 사람의 작업 부담을 경감시키기 위해 교통 제어기들의 퍼지 제어규칙과 멤버쉽함수들을 결정하는데 유전 알고리즘을 적용한다.

### 3.1 퍼지 교통 제어기의 기본 구조

제어규칙과 멤버쉽함수들을 자동으로 생성하기 위해 본 연구에서 가정하는 퍼지 교통 제어기의 기본적인 구조를 기술한다. 퍼지 입력 및 출력변수들은 교통 정체를 반영할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 두가지 퍼지 입력변수 Arrival과 Queue가 사용된다. Arrival은 녹색 현시를 갖고 교차로에 접근하는 차량수, Queue는 적색 신호동안 대기하는 차량수를 의미한다. 퍼지 제어기는 미리 정의된 최대 확장시간에 도달할 때까지 현재 녹색현시의 확장시간(Extension)을 출력한다. 퍼지 입력변수들 Arrival과 Queue는 {Zero, Light, Medium, Heavy}를, 출력변수 Extension은 {Zero, Short, Medium, Long}을 퍼지향으로 갖는다.

제안된 FLC의 제어규칙들은 Volume에 따라 Light, Medium, Heavy 세 군으로 나뉜다. Volume은 다른 교차로로부터 현재 교차로로 초단위로 진입하는 차량수를 나타낸다. Volume에 따라서 적절한 군이 선정되고, 그 군에 있는 제어규칙이 출력을 결정하는데 사용된다. 현재 교통흐름의 Volume 군을 결정하기 위해 Volume 입력변수는 {Light, Medium, Heavy}를 퍼지향으로서 사용한다.

제안된 퍼지 교통 제어기는 다음과 같이 현재 녹색현시의 확장시간을 계산한다. 먼저, Volume, Arrival, Queue 변수값을 입력받는다. Volume 변수의 소속정도를 계산하여 최대 멤버쉽함수값을 갖는 군의 제어규칙들을 사용한다. Arrival과 Queue 변수의 소속정도를 계산하고 선택된 Volume 군에 속하는 제어규칙으로 확장시간을 계산한다. 자세한 제어규칙은 [6]에 나와 있다.

### 3.2 교통 제어기의 퍼지규칙과 멤버쉽함수를 결정

유전 알고리즘(GA)을 사용하여 자동으로 퍼지규칙과 멤버쉽함수를 동시에 생성하는 방법을 제시한다.

#### 3.2.1 해의 염색체 표현

GA에서 후보 해(candidate solution)들은 염색체로 표현된다. 본 연구에서는 하나의 후보해는 퍼지 제어규칙들의 집합이므로, 각각의 유전자(gene)가 하나의 규칙에 해당하는 염색체로 표현된다. 만일 가능한 규칙의 수가 10이고 규칙 집합  $R=\{r_2, r_5, r_9\}$ 로 가정한다면, R에 대응하는 염색체는 0100100010의 10비트 스트링으로 표현된다.

3.1절에서 언급된 퍼지 교통 제어기에서는 퍼지규칙을

구성하는 변수들의 수가 3개이고 각 변수들은 4가지 퍼지항을 가지므로 가능한 퍼지규칙의 수는  $4*4*4$  즉 64개이다. 퍼지 교통 제어기는 세가지 Volume 군을 갖고 각 군은 최대 64개의 규칙을 갖는다. 따라서 가능한 규칙의 총 수는  $3*64$ , 즉 192개가 된다. 이것은 하나의 후보 해가 192비트 스트링으로 표현된다는 것을 의미한다. 가능한 각 규칙에 대하여 다음 방정식으로 일련번호 S를 지정할 수 있다.

$$S = (V-1) * 64 + (A-1) * 16 + (Q-1) * 4 + E$$

여기서 V, A, Q, E는 각각 주어진 규칙의 Volume, Arrival, Queue, Extension의 퍼지항에 해당하는 숫자값이다.

Volume 변수의 "Light", "Medium", "Heavy" 항에 해당하는 일련번호는 각각 1, 2, 3이다. Arrival, Queue, Extension에 해당하는 일련번호도 같은 방식으로 지정되었다. 예를 들면, 다음 규칙이 "Heavy"군에 속한다면, 일련번호는  $S = (3-1) * 64 + (3-1) * 16 + (2-1) * 4 + 2 = 166$  이 된다.

Rule: If Arrival = Medium and Queue = Light then Extension = Short.

### 3.2.2 후보 해의 평가와 새로운 개체의 복제

좋은 성능을 보이는 퍼지 제어규칙을 찾기 위해 해로서 염색체의 잠재성을 측정하는 적합도 함수(fitness function)가 정의되어야 한다. 그러나 우리가 제한한 교통 시뮬레이션에서는 그런 함수를 수식 평가함수로 정의하는 것이 쉽지 않다. 따라서 우리는 시뮬레이션 접근법을 따른다[9]. 본 논문에서는 교통 시뮬레이터에 의해 얻어진 성능평가 척도로 사용하는 평균 비용(cost)을 사용하여 염색체의 적합도를 평가하였다. 염색체의 적합도는 퍼지변수들의 멤버쉽함수에 따라 변할 수 있다. 따라서 우리는 3.2.3절에서 언급된 근사 최적 멤버쉽함수를 사용함으로써 얻어지는 적합도를 사용한다.

평균 비용을 계산하기 위해 주어진 염색체에 대하여 교통 시뮬레이션을 수행한다. 식 (1)에서 정의된 평균 비용함수는 교차로들로 진입하는 차량수( $cars_{enter}$ ), 빠져나간 차량수( $cars_{exit}$ ), 차량들이 움직인 시간( $time_{drive}$ ), 차량들이 정지한 시간( $time_{wait}$ )을 고려하여 정의되었다[4]. 식 (1)에서 보듯이, 적합도가 낮아질수록 성능은 향상된다.

$$fitness = cost = 100 \times \frac{time_{wait} + time_{drive}}{cars_{exit} + cars_{enter}} \quad (1)$$

교통 시뮬레이션 동안 근사 최소 적합도를 갖는 하나의 후보 해를 발견하는 전체적인 과정은 Holland에 의해 제안된 단순 유전 알고리즘(SGA : simple genetic algorithm) [11]과 유사하다. 이 알고리즘은 고정 크기 개체집단(populations)의 염색체를 관리하는 반복적인 과정이다. 각 반복 단계에서 염색체는 시뮬레이션 환경에서 평가된다. 이 평가에 기초하여 개체들에 유전 연산을 적용함으로써 새로운 염색체들의 개체집단이 형성된다. 새로운 개체 복제과정에서 어떤 Volume 군에서 입력 변수들에 대해 같은 값을 갖는 2개 이상의 규칙들을 포함하는 염색체가 만들어질 수 있다. 그러한 염색체는 잘못 생성된 것이므로 복제과정에서 배제한다. 예를 들면, If Arrival = Zero and Queue = Zero then Extension =

Zero, If Arrival = Zero and Queue = Zero then Extension = Short 의 같은 입력조건에 다른 결과를 낳는 두가지 규칙이 존재하므로 이들을 모두 배제하는 것이다.

### 3.2.3 근사 최적의 멤버쉽함수 발견

시뮬레이션하면서 주어진 규칙집합 또는 염색체의 적합도를 평가하려면 그 규칙집합을 이루는 퍼지변수들의 멤버쉽함수를 결정할 필요가 있다. 위에서 언급한 것처럼 염색체의 적합도는 퍼지변수들의 멤버쉽함수에 따라 가변적이다. 그래서 우리는 GA로 근사 최적 멤버쉽함수를 발견하기로 결정하였다. 퍼지 교통 제어기의 각 멤버쉽함수 Fi는 삼각형 모양이므로 튜플(tuple) <Bi, Ci>로 표현할 수 있다. 여기서 Bi는 퍼지변수의 i번째 퍼지항의 삼각형 멤버쉽함수의 밑변의 길이이고, Ci는 퍼지 멤버쉽함수값이 1이 되는 꼭지점 좌표이다. 그림 1은 두 개의 2-튜플들인 <B1, C1>, <B2, C2>의 예를 보인다.

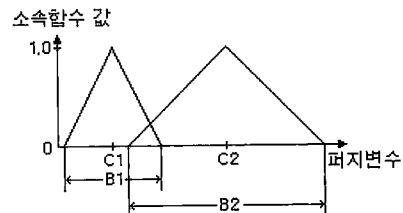


그림 1. 퍼지변수와 멤버쉽함수의 관계

Fig. 1. The relationship between a fuzzy variable and its membership functions

퍼지 멤버쉽함수의 모양에 해당하는 염색체를 "BazCa zBalCalBamCamBahCahBqzCqzBqlCqlBqmCqmBqhCqhBv lCvlBvmCvmBvhCvhBezCezBesCesBemCemBelCel"로 표현한다. 여기서 Bxy는 퍼지변수 X의 퍼지항 Y에 대한 멤버쉽함수의 밑변의 길이, Cxy는 퍼지 멤버쉽함수값이 1이 되는 꼭지점 좌표,  $X \in \{a(Arrival), q(Queue), v(Volume), e(Extension)\}$ ,  $Y \in \{z(Zero), s(Short), l(Light or Long), m(Medium), h(Heavy)\}$ 를 나타낸다. 그러나 이러한 염색체 표현은 결정해야 하는 퍼지항의 수가 15개이고, 각 퍼지항의 최대값이 10 또는 30보다 작거나 같으므로 탐색공간이 막대하게 된다. 탐색공간을 줄이기 위해서, 우리는 같은 퍼지변수에 있는 퍼지항들의 밑변의 길이는 같다고 가정한다. 예를 들어, Arrival 변수의 경우에는  $Baz=Bal=Bam=Bah=Ba$ 로 설정함으로써 탐색공간을 크게 줄일 수 있다. 결과적으로 다음 스트링 "BaCa zCalCamCahBqCqzCqlCqmCqhBvCvlCvmCvhBeCezCesCe mCel"을 염색체로 사용한다.

또한 각 퍼지항 Bx와 Cxy는 삼각형 멤버쉽함수의 특성상 다음과 같은 제약조건을 만족해야 한다. 이 제약조건은 삼각형 함수의 밑변의 최소 길이와 꼭지점 좌표간의 위치를 지정함으로써 멤버쉽함수에 구멍(hole)이 생기는 것을 방지할 수 있다.

$$\begin{aligned} 4 \times Ba > 31, & \quad 0 < Caz < Ba/2, & \quad 0 < Cal - Caz, & \quad Cam - Cal, \\ Cah - Cam < Ba, & \quad -Ba/2 < Cah - 31 \leq 0, \\ 4 \times Bq > 31, & \quad 0 \leq Cqz < Bq/2, & \quad 0 < Cql - Cqz, & \quad Cqm - Cql, \\ Cqh - Cqm < Bq, & \quad -Bq/2 < Cqh - 31 \leq 0, \\ 3 \times Bv > 15, & \quad 0 \leq Cvl < Bv/2, & \quad 0 < Cvm - Cvl, & \quad Cvh - Cvm < Bv, \\ & \quad -Bv/2 < Cvh - 15 \leq 0, \end{aligned}$$

$$4 \times Be > 10, 0 \leq Cez < Ces < Cem < Cel \leq 10.$$

여기서 Bx와 관계된 4와 3은 해당 퍼지항의 개수를 나타내고, Cxy와 연관된 31은 Arrival과 Queue 변수의 상한을, 15는 Volume 변수의 상한을, 10은 Extension 변수의 상한을 각각 나타낸다.

멤버쉽함수를 표현하는 염색체를 퍼지규칙을 표현하는 염색체와 구분하기 위해 지금부터 멤버쉽 염색체(membership chromosome)라고 부르겠다. 퍼지규칙을 표현하는 염색체는 규칙 염색체(rule chromosome)라 부른다. 멤버쉽 염색체의 적합도 계산도 3.2.2절과 같은 방식으로 계산된다. 멤버쉽 염색체의 초기 집단을 구성한 후 반복해서 유전 연산자를 적용시킴으로써 최소 적합도를 갖는 염색체를 얻을 수 있다. 그 염색체가 우리가 발견하려는 염색체일 수 있고, 그 염색체가 갖는 적합도가 주어진 규칙 집합을 표현하는 규칙 염색체의 적합도로서 사용된다. 다시 말하면 규칙 염색체의 적합도는 규칙 염색체에 대응하는 가능한 멤버쉽 염색체의 적합도중에서 가장 좋은 것으로 정의된다.

#### 4. 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 20으로 고정한다. 선택(selection) 전략에도 순수 선택(pure selection), 엘리트 선택(elitist selection) 등이 있다. 본 연구에서는 최선의 적합도를 가지는 2개의 염색체는 다음 세대에 살아남고 나머지 18개의 염색체는 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. 교배율(crossover rate)와 돌연변이율(mutation rate) 등의 다른 패러미터들도 같은 이유로 고정값을 사용한다.

시뮬레이션의 편의성과 실제 적용 가능성을 고려하여 본 논문에서는 다음과 같은 상황을 가정한다. 교차로는 4 × 4 행렬 형태의 구조를 가진다. 16개의 교차로 각각은 진행 방향별로 3차선으로 설계한다. 진행방향의 우측 차선은 우회전과 직진 차선, 중앙차선은 직진전용 차선, 좌측차선은 좌회전전용 차선이다. 차량의 10%는 좌회전용으로 생성되고 20%는 우회전용으로 생성된다. 따라서 생성된 차량의 70%만이 직진용으로 사용된다. 교통 상황의 정보를 얻기 위해 각 방향별로 교차로의 정지선에 위치한 전방 감지기와 정지선 후방 150m 떨어진 곳에 후방 감지기가 설치된 것으로 가정한다. 또한 길이가 5m 인 승용차를 차종으로 사용하였으며, 교차로간의 거리는 400m로 지정하였다. 차량들은 난수 발생기를 사용하여 포아송 분포(Poisson distribution)로 발생시킨다[1]. 차량의 속도는 시속 60km로 설정하여, 16.67(m/sec)로 발생시켰다.

실험에서는 남북 직진, 좌회전, 동서직진, 좌회전의 4현시를 사용하였다. 이때 남북 및 동서방향의 직진 및 우회전 신호는 각각 20초, 좌회전 신호는 6초, 녹색 신호가 끝난 후 황색 신호로 바뀌었을 때 정지선에 이미 진

입하여 멈출 수 없는 차량을 위한 황색 신호로 2초를 주어서 신호등의 한 주기는 2 · (20초 + 2초 + 6초 + 2초) = 60초를 기본 주기로 사용하였다. 시뮬레이션에 사용된 퍼지 제어기는 좌회전은 고려하지 않으므로 직진 및 우회전 신호의 기본 현시 20초 후 신호를 연장할 것인지를 계산하는 것이다. 녹색 현시의 확장은 대기 차량들을 고려하여 최대 30초까지 허용하므로, 녹색 신호의 주기는 최대 50초까지 가능하다.

본 실험에서는 네 방향의 교통량을 각각 5(vehs/sec)로 발생시켜서 염색체들을 학습시켰다. 전체 개체집단의 최소 적합도를 가지는 규칙 염색체와 멤버쉽 염색체가 20세대 후 최종 제어규칙과 멤버쉽함수로 사용된다. 해의 질은 세대복제를 많이 할수록 좋아지는 경향이 있지만 현재 실험에서는 복제회수를 20으로 제한하였다. 왜냐하면 현재 우리가 규칙과 멤버쉽을 2단계로 훈련시키므로 복제회수를 늘리면 훈련시간이 지나치게 길어진다. 그림 2는 GA에 의해 얻어진 퍼지 제어규칙과 멤버쉽함수를 표현하는 두 가지 염색체를 보여준다.

```
011010001000000000110100001000110101010110001100011011011011
11001000100000000110000000000000111001100010000010111010000111
0001100000000000010000100000001100110111010000010001000010100
```

(a) 규칙 염색체

29:6:13:29:30:24:6:21:30:31:6:3:5:11:7:0:1:2:7

(b) 멤버쉽 염색체

그림 2. GA에 의해 생성된 퍼지 제어규칙과 멤버쉽함수를 나타내는 염색체  
Fig. 2. Two chromosomes representing the fuzzy control rules and the membership functions generated by GA

그림 2의 규칙 염색체로부터 염색체에 의해 표현되는 규칙들을 파악할 수 있다. 192비트 스트링의 규칙 염색체에서 볼 수 있듯이, GA에 의해 생성된 규칙들의 수는 모두 62개이다. 즉 “Light” Volume군이 26개, “Medium” Volume군에 20개, “Heavy” Volume군에 16개의 규칙이 존재한다. 예를 들면, 192비트 스트링 가운데 2번째 비트, 5번째 비트, 69번째 비트, 190번째 비트 등이 1이다. 4가지 부분 염색체는 다음과 같은 4가지 규칙들을 표현한다.

Light Volume 군 : If Arrival = Zero and Queue = Zero then Extension = Short, If Arrival = Zero and Queue = Light then Extension = Zero,  
Medium Volume 군 : If Arrival = Zero and Queue = Light then Extension = Zero,  
Heavy Volume 군 : If Arrival = Heavy and Queue = Heavy then Extension = Short.

또한 그림 1의 표현 기법을 기초로 그림 2의 멤버쉽 염색체로부터 멤버쉽함수를 추론할 수 있다. 예를 들면, 부분 스트링 “29:6:13:29:30”은 Arrival 변수의 삼각형 멤버쉽함수의 밑면의 길이가 29를 나타내고, 퍼지항 Zero, Light, Medium, Heavy의 꼭지점 좌표가 각각 6, 13, 29, 30을 나타내는 것을 의미한다. 마찬가지로 부분 스트링 “24:6:21:30:31”, “6:3:5:11”, “7:0:1:2:7”은 각각 퍼지변수 Queue, Volume, Extension의 멤버쉽함수를 나타낸다.

GA에 의해 생성된 규칙들과 멤버쉽함수를 갖는 퍼지 교통 제어기는 그림 3에 있는 사람이 제공한 멤버쉽함수와 규칙을 갖는 퍼지 교통 제어기와 비교되었다[10]. 퍼지 교통 제어기는 각 현시의 기본 녹색시간이 경과한 다음 현재 현시의 확장시간을 결정한다. 각 현시의 최대 녹색시간을 제한하기 위해 다른 방법들처럼 퍼지 제어규칙의 확장을 최대 5회까지 허용한다[2, 3].

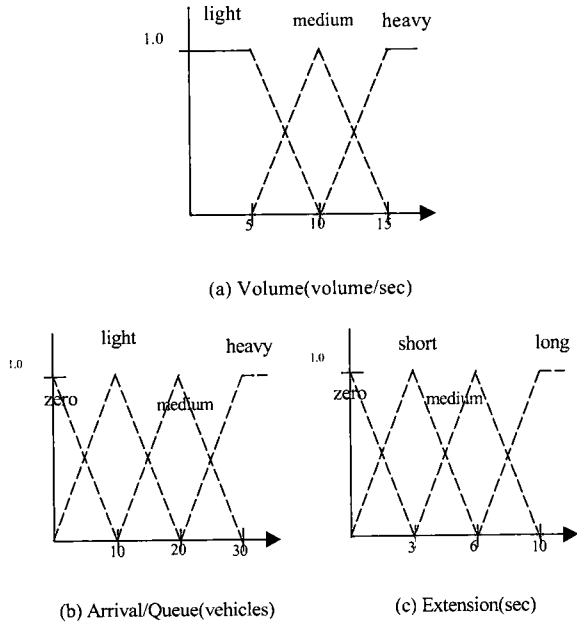


그림 3. 사람이 제공한 퍼지 입출력변수의 멤버쉽함수  
Fig. 3. The membership functions of fuzzy input/output variables given by human

교통 제어기의 성능을 평가하기 위한 척도로 식 (1)에서 정의된 평균 비용과 평균 지체시간이 사용된다. 한 신호주기동안 차량들의 평균 지체시간은 차량들의 대기시간의 총합을 진입한 차량수와 빠져나간 차량수로 나눈 값이다[2]. 따라서 교통 제어기의 목표는 평균 비용과 평균 지체시간을 줄이는 것이다. 그림 4에 주어진 교통 패턴에 대하여 2시간 동안 성능 비교를 위한 시뮬레이션이 수행되었다.

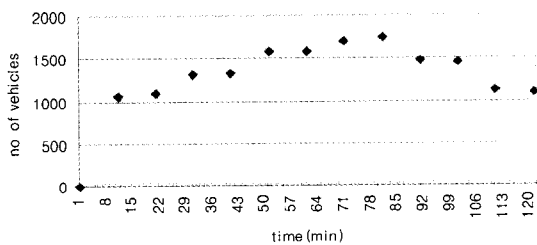
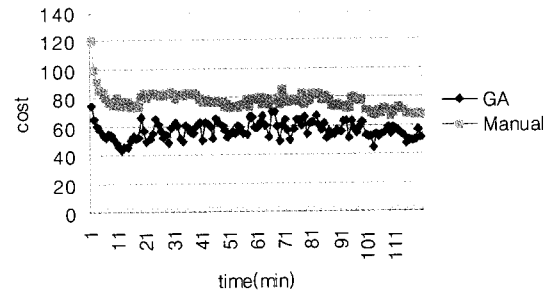


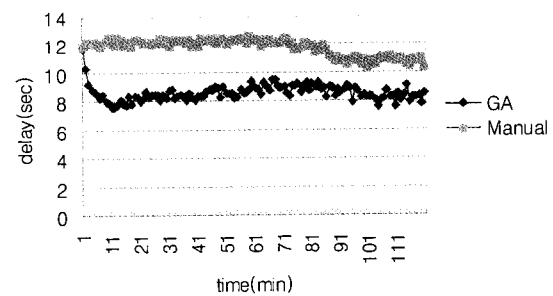
그림 4. 2시간 동안 발생된 차량 흐름(vehicles/sec)  
Fig. 4. Vehicle flow rates across two hours (vehicles/sec)

다음 그림 5는 GA로 훈련시킨 퍼지 제어기와 사람이 제공한 퍼지 제어기의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 수작업으로 만든 제어규칙과 멤버쉽함수를 갖는 퍼지 교통

제어기와 제안된 퍼지 교통 제어기를 비교한 결과, 제안된 방법은 그림 4의 교통 패턴에 대하여 평균 비용과 평균 지체시간 면에서 각각 26.5%와 27.0%씩 성능을 향상시켰다. 성능비교에 사용된 기존 퍼지 교통 제어기는 고정시간 제어기와 Mamdani의 퍼지 교통 제어기를 포함한 기존의 제어기들 보다 성능이 우수한 것으로 알려져 있다[6].



(a) 평균 비용



(b) 평균 지체시간

그림 5. 그림 4의 교통 패턴에 대하여 시뮬레이션한 결과  
Fig. 5. Simulation results for the traffic pattern in Figure 4.

## 5. 결론

본 논문에서는 퍼지 논리 제어기의 제어규칙과 멤버쉽함수를 자동으로 생성하는 새로운 방식을 제안하였다. 제안된 방법은 다양한 교통 흐름을 갖는 4×4 교차로망에 적용되었다. 시뮬레이션 결과는 GA로 생성한 제어규칙과 멤버쉽함수를 갖는 제안된 퍼지 교통 제어기가 수작업으로 만든 제어규칙과 멤버쉽함수를 갖는 일반적인 퍼지 교통 제어기보다 평균 비용과 평균 지체시간을 모두 낮춘다는 것을 보여주었다. 이것은 본 논문에서 제안한 방법이 사람이 제공한 제어규칙과 멤버쉽함수를 가지고 수행한 결과보다 더 나은 성능을 보여주는 퍼지 제어규칙과 멤버쉽함수를 찾는 데 성공했다는 것을 의미한다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법은 엄격체의 평가를 위해 시뮬레이션을 수행하여야 하기 때문에 수행 시간 측면에서 큰 부담이 있다. 따라서, 대규모의 실제 교통망에 대해 제안된 방법을 확대 적용하기가 곤란하다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 시뮬레이션 시간을 단축시키는 방법을 찾거나 엄격체 평가를 위한 수학적식을 찾는 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] McShane, W.R. and Roess, R.P., Traffic Engineering, Prentice-Hall, 1990.
- [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] Jamshidi, M., Kelsey, R., and Bisset, K., "Traffic Fuzzy Control: Software and Hardware Implementations," *Proc. of 5th IFSA World Congress*, pp. 907-910, 1993.
- [5] 홍윤광, 조성원, 최경삼, "퍼지 교통신호 제어에 관한 연구," *한국퍼지시스템학회 1994년도 춘계학술발표대회 논문집*, pp. 238-243, 1994.
- [6] 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.
- [7] 이지형, 그룹 교차로를 위한 퍼지 신호기의 설계 및 구현, *한국과학기술원 석사학위논문*, 1995.
- [8] 홍유식, 박종국, "신경망 및 퍼지규칙을 이용한 최적 교통신호주기 알고리즘," *대한전자공학회논문지*, 제 34권, C편, 제8호, pp. 88-101, 8월, 1997.
- [9] 김종완, 김병만, 김주연, "유전 알고리즘에 의해 생성된 퍼지 소속함수를 갖는 교통 신호 제어," *한국 퍼지 및 지능 시스템학회 논문지*, vol. 8, no. 6, pp. 78- 84, 1998.
- [10] Jong-Wan Kim, Byeong Man Kim, "A GA-Based Fuzzy Traffic Simulation for Crossroad Management," *Proc. of the 2001 Congress on Evolutionary Computation*, pp. 1289-1295, 2001.
- [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.

저 자 소개



**김병만 (Byeong Man Kim)**

1987년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 학사  
 1989년 : 한국과학기술원 전산학과 공학석사  
 1992년 : 한국과학기술원 전산학과 컴퓨터공학박사  
 1992년 - 현재 : 금오공과대학교 부교수  
 1998년 - 1999년 : 미국 Univ. of California, Irvine Post Doc.

관심분야 : 인공지능, 정보검색, 소프트웨어 검증  
 E-mail : bmkim@cespc1.kumoh.ac.kr



**김종완 (Jong-Wan Kim)**

1987년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 학사  
 1989년 : 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사  
 1994년 : 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학박사  
 1995년 - 현재 : 대구대학교 컴퓨터정보공학부 부교수  
 1999년 - 2000년 : 미국 U. of Massachusetts Post Doc.

관심분야 : 지능형 에이전트, 퍼지시스템, 인공지능.  
 E-mail : jwkim@taegu.ac.kr



**허남철 (Nam Chul Huh)**

1986년 : 계명대학교 전자계산학과  
 1988년 : 한국과학기술원 전산학과 공학석사  
 1988년 - 1991년 : 산업과학기술연구소 연구원  
 1991년 - 현재 : 대구미래대학 컴퓨터정보처리학과 부교수

관심분야 : 인공지능, 정보검색 및 필터링, 병렬처리  
 E-mail : nchuh@mail.tfc.ac.kr