

교통량검지를 위한 퍼지 센서 알고리즘 Fuzzy Sensor Algorithm for Measuring Traffic Information

진 현 수* · 김 성 환**

Hyun-Soo Jin and Sung-Hwan Kim

*안산공업전문대 전기과

**서울시립대학교 전자전기공학부

요 약

시스템의 출력을 결정하는데는 실제적인 물리량보다는 상징적인 정보량이 필요할 때가 있다. 예를들면 교차로 교통신호제어의 입력정보로 단순히 차량의 대수만으로는 정확한 신호제어를 할 수가 없다. 그러므로 도로의 길이, 폭과 차량의 형태 등을 고려한 도로의 혼잡량이라는 상징적인 정보량이 적합하다고 할 수 있다. 그러나 상징적인 정보량은 입력정보인 실제적인 물리량 사이에 서로 관련성이 없거나 상충적일 경우, 각 정보간의 선형성과 관련식을 도출하여 상징적인 정보를 얻는다는 것이 어렵다. 본 논문에서는 상징적 정보량의 의미와 필요성을 교통 신호처리 제어에 있어서 고찰하여 본 후, 퍼지 이론을 통해 물리적인 교통 정보량을 이용하여 교통신호제어의 최종적인 출력 정보량인 교통 혼잡량을 산출하여 교통신호제어에 적용하여 기존의 교통신호제어 결과와 비교하였다.

ABSTRACT

Sometimes we need to acquire symbolic quantity of information instead of physical quantity for the output of any system. For instance we can not control traffic signal accurately through only the number of vehicles. At that case we can produce better output using symbolic quantity of road length and width and vehicle type. But it is very difficult to aggregate symbolic information from the unrelated and mutually conflicted input after calculating linear and related expression. Moreover that will take much time to produce symbolic output by the physical quantity only. In this paper we implemented the ultimate traffic control information by using fuzzy sensor algorithm and compared our results with the conventional traffic controller after studying the necessity of symbolic information in the traffic control.

1. 서 론

센서의 목적은 수집된 많은 정보로부터 특별한 물리적 양을 선택하는 것이라 할 수 있다. 일반적으로 물리적 현상에 대한 묘사는 그 객체에 대해 정확하고 단축적이고 객관적인 수치적 양을 부과함으로써 얻어지는데 수치적 묘사는 복잡한 현상을 쉽게 설명할 수 있는 특정한 규칙이 설정되어야만 된다.

그러나 정보 수집에 어려움이 있다거나, 물리적 특성을 분석하는데 단일 특성이 아닌 다중 특성으로 설명할 때와 인간 행동 속성에 관하여 서술할

때는 수치적 서술이 적절치 않을 수도 있다. 이런 경우 관측된 현상을 자연 언어를 통한 상징적 묘사를 통해 실질적 묘사를 이끌어 내야 한다. 그러나 일반적으로 이러한 상징적 언어 묘사량은 수치적 묘사량보다 덜 쓰이는데 그 이유로는 관측자로부터 중속적이라서 객관화 작업과정이 어렵고 실험적으로 기록 될 수 없어 부정확하고 주관적이라는 점이다. 그러나 상징적 묘사는 인간의 입장에서 쉽게 이해 되어지고 단순하여 언어 묘사방법을 통해 센서로부터의 측정된 데이터의 추상적인 해석을 객관화하기만 하면 수치적 서술이 묘사할 수 없는 표현 영역까지 묘사할 수 있는 장점이 있다.

상징적 묘사량을 정량화하기 위해서 단일센서(single sensor)는 특별한 환경과 높은 수준의 정보수집의 분야에서는 물리적, 기술적, 경제적 제한 요소 때문에 서로 보완적인 정보를 제시하여 주는 데 한계가 있으므로 정확도와 감지범위의 증가 등 개개의 센서들이 할 수 없는 임무를 수행 하려면 다중센서(multi sensor)[1]가 많이 쓰이고 있다. 그러나 다중센서 또한 다음과 같은 문제점을 풀어야 한다. 첫째 기본센서로부터 얻고자 하는 정보와 기본 데이터의 조합을 통해 정보의 형태를 파악하여야 하고, 둘째는 이러한 정보간의 관계를 추출하는 연관 성을 찾아야 하는데 센서의 입력과 고도의 정보 형태인 상징적 정보의 출력간의 관계가 파악 되면 재래식 방법인 통계 방법을 사용할 수가 있다. 그러나 정보 수집 과정에 있어 통계식을 산출하는 과정이 어려우므로 언어 지식 환경이 포함될 경우 퍼지집합을 기반으로 하는 퍼지 센서 방법이 사용되어지는 것이 더욱 효과적일 수 있다.

그러므로 입력은 비록 물리적으로 측정 가능한 실제물에 해당된다 할지라도 출력이 안전도, 위험도, 혼잡도, 쾌적도등의 형태이고 서로 상관관계가 없거나 언어 형태일 경우 인간의 사고 내지 인공지능 요소(퍼지센서)로 부터 처리되어 왔는데 Benoit[2]는 자연의 색을 언어묘사량을 통해 수치화 하여 색감지에 이용하였고 Gilles[3]는 단일센서로 구한 온도와 습도를 통해 공기의 쾌적도를 수량화하였다.

기존의 교차로 교통 신호제어에 있어서는 신호주기 산출을 접근로의 차량수만을 가지고서 Webster의 주기식[4]에 이용하므로 접근로의 길이가 짧다든지 대기차량의 형태가 대, 중, 소로 불규칙할 경우에는 정확한 주기를 산출할 수가 없었다. 그러므로 교차로 주기신호에 실제 쓰이는 교차로의 교통 포화량을 측정하여야 하므로 진입로의 차선수와 차량의 속도와 수량을 모두 포함하여 새로운 상징적인 정보량인 혼잡도(confusion degree)로서 수량화 하여 교차로 신호 주기를 제어하는데 직접 쓰면 유용하다.

본 논문에서는 기존의 차량 감지 센서인 루프 디텍터가 통과 차량의 숫자만 파악하는데 쓰이나 교차로 신호처리에 최종적으로 쓰이는 궁극적인 정보량인 도로에 대한 포화율을 진입로 의 길이및 차량의 대소 정도와 대기(queueing) 차량수를 통해 교통 혼잡도로 표시하여 새롭게 교차로 신호주기 제어에 적용함으로써 기존의 방법보다 더 효과적인 교통 신호처리 제어 방법을 보여 주었고, 이를 퍼지센서 알고리즘(fuzzy sensor algorithm)으로서 구현하여 몇 개의 물리적인 정보량을 통해서도 교통 시스템에 출력이 가장 적합한 상징적

정보량인 혼잡도를 구할 수 있고 이를 통해 교통 신호 입력인 교통 데이터량을 정량화하여 교통신호 처리제어에 응용하여 실제 쓰일 수 있음을 검증하였다.

II. 교통량검지 퍼지센서

1. 퍼지센서의 기초

퍼지(상징)센서는 정보량에 대한 수치적 표현에서 상징적 표현으로 바뀌는것에 근거하는데 상징적 측정을 하기위해서 상징기호와 수치사이의 관계를 정립하는것이 중요하다. X를 특정 물리적인 양을 서술하기 위한 대집합(support set)이라고 할 때 x는 하나의 원소이다. 대집합 X에 속하는 측정량을 정하기 위해 L를 물리적 현상을 대표하는 명사의 집합이라하면 차량의 많고 적음을 표시하는 혼잡도에 적용하면 $L=\{\text{소,중,밀}\}$ 로 표시할 수가 있다. 집합 E의 퍼지 부분 집합을 F(E)로 표시하면 상징값의 퍼지 사상(mapping)은 $\tau:L \rightarrow F(x)$ 로 표현된다. L에 대한 퍼지 집합을 상징기호 L로서 표시하면 결국 2개의 다른 상징 기호는 같은 값을 갖는다. 상징기호 L의 퍼지 값은 $x \in X$ 인 구간에서 $\mu\tau(L)(x)$ 로 표시되어지는 멤버쉽 함수로 구할 수 있다. 또 하나의 사상 $l:x \rightarrow F(L)$ 은 X에 대한 L의 측정을 퍼지로서 서술하기 위한 것인데 기호 L로서 표시되어지는 퍼지 부분집합이다. $L \in L(x)$ 인 구간에서 퍼지 기술은 $\mu(x)$ 의 멤버쉽 함수로서 특징지워지므로 퍼지측정은 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$\mu(x)(L)=\mu\tau(L)(x) \quad (1)$$

따라서 퍼지측도를 통해 교통량 검지를 위한 수치-언어변환 메카니즘을 "교통량 검지 퍼지 센서"라고 부른다면 교통량의 언어수치량을 L이라 표시할 수 있다. 또한 E를 측정가능한 집합이라 한다면 표현값(meaning)이라 불리는 퍼지사상은 모든 퍼지측도 명사로 연결되어진다. 차량의 숫자와 도로의 형태에 대한 많은 언어명사의 퍼지사상값을 나타내는 멤버쉽 함수의 예가 그림 1.에 나타내었다. 차량의 형태에 도로의 길이에 대한 퍼지 사상값을 {대,중,소}로서 $\mu_l(2m)(L(\text{차량형태}))$ 와 $\mu_l(30m)(L(\text{도로길이}))$ 를 언어 명사의 부분집합인 멤버쉽 값으로 표현하면 (대, 중, 소) (2m)와 $\mu\tau(\text{길다, 중간, 짧다})(30m)$ 로서 표현할 수 있다.

퍼지 측도일 경우 측정량 자체가 퍼지 부분집합(fuzzy subset)이므로 퍼지 기술은 보통의 집합이론에 근거하여 일반 부분집합(crisp sub set)의 정의로 부터 퍼지 부집합의 퍼지 서술로 확장 된다. 언어명사의 집합을 L로 표시하고 측정 가능한 물리량의 집합을 E라고 표시하면 퍼지사상(mapping)

인 퍼지값을 부여함으로써 어떤 명사를 퍼지 집합의 부분 집합으로 연결시켜 줄 수 있다. 기호 L의 퍼지량 값은 $\mu_L(l)(x)$ 로 표시되어지는 퍼지멤버십 함수로서 주어진다. 반대로 퍼지에 의한 표현은 상징량의 퍼지 부분집합에 있어서 측정량의 부분 집합인 E로 부터 퍼지사상으로 정의되어질 수 있다. 그래서 퍼지 기술(description)은 멤버십 함수인 $\mu(x)$ 로서 기술되어진다. 기본적으로 퍼지 표현과 퍼지 사상과의 관계는 $\mu_l(x)=\mu(l)(x)$ 라는 퍼지센서의 기본지식의 값으로 부터 측정값의 언어표현을 얻을 수가 있다.

2. 퍼지센서 알고리즘의 표현식

측정은 일반 집합 X의 부분집합 A로 규정할 경우 일반 부분집합 L의 원소군인 $l(x), x \in A$ 는 집합 A의 원소를 말한다. 한편 이 원소군의 슈프리멈(superimum)은 A내에 있는 어떤원소로 묘사 될 수 있는 모든 기호들의 부분집합이다. 반대로 원소군의 가장 큰 아래 경계인 인피니멈(infinium)은 A내의 원소를 기술하는 공동 기호들의 부분 집합이다. 이를 기호로서 표시하면 각각 다음과 같다. 원소군의 슈프리멈은 $I(A)=\bigcup_{x \in A} l(x)$ 이고, 인피니멈은 $I(A)=\bigcap_{x \in A} l(x)$ 로서 표시되어 질 수 있다. $X \times L$ 로 정의 되어지는 그래프 관계로 생각하여 부분집합을 기술하면 $X \times L$ 관계의 위와 아래 상으로 축소 되어질 수 있다. 집합 X의 부분집합의 특성 함수는 $X_A: X \rightarrow \{0,1\}$ 로서 $x \in A$ 일 경우 $X_A(x)=1$ 이다. 특성 함수를 이용 윗식을 다시 쓰면 $X_{I(A)}(L)=\bigvee_{x \in A} X_{l(x)}(L)$ 과 $X_{I(A)}(L)=\bigwedge_{x \in A} X_{l(x)}(L)$ 이다. 퍼지 확장을 위하여 부분 집합 A의 특성 함수를 통해 다시 쓰면 f와 g의 사상인 $\{0,1\} \times \{0,1\} = \{0,1\}$ 관계를 통해 식(2)(3) 다시 쓸수가 있다. f와 g의 성격은 $\forall a \in \{0,1\}$ $f(a,0)=0, g(a,0)=1$ 와 $f(a,1)=a, g(a,1)=a$ 이다. 여기서 f와 g는 다음과 같은 특성을 갖는 논리합관계(conjunction)와 연관관계(implication)이다.

$$X_{I(A)}(L) = \bigvee_{x \in X} \wedge (X_{l(x)}(L), X_{A(x)}) \quad (2)$$

$$X_{I(A)}(L) = \bigwedge_{x \in X} \vee (X_{l(x)}(L), X_{A(x)}) \quad (3)$$

이를 일반 부분집합을 통해 기술하면 일반 연산자를 퍼지 연산자로 대체하여 논리합관계(conjunction)는 삼각형의 노름(norm)으로 대체하고, 논리곱관계(disconjunction)은 삼각형의 코노름(conorm)으로 대체하면 된다. 이것들은 T, \perp, \rightarrow 로서 표시되어지고 일반집합의 서술과 특성함수는 퍼지 서술과 멤버십 함수로 대체된다.

$$\mu_{I(A)}(L) = \perp x \subseteq X_T(\mu_{l(x)}(L), \mu_{A(x)}) \quad (4)$$

$$\mu_{I(A)}(L) = T x \subseteq X(\mu_{l(x)}(L), \mu_{A(x)}) \quad (5)$$

이 식을 통해 ‘차량의 혼잡정도가 중간이다’라는 사실을 알고서 ‘차량이 약20대일 수 있는 가능성은 얼마정도나 될까’라는 문제를 유추하여 보면

‘혼잡도가 중간이다’ 라는 사실은 $\pi(A)=\sup_{x \in X} \min(\mu_A(x), \pi(x))$ 이라는 가능성의 분포로서 표시될 수 있다. 이 식은 삼각형 노름의 최소값을 통해 사건 A의 귀속함수의 등급과 가능성의 등급사이의 집합을 의미한다. 애매함이 발생할 때는 가능성의 분포를 정확하게 규정해야 하는데 $\Pi(A, \pi)$ 는 퍼지 사건 A의 가능성을 나타낸다. 필요성 혹은 확실성은 가능성의 2가지 표시중 하나인데 하나의 사건이 필요 충분조건 일 경우 그 사건의 반대는 불가능이다. 따라서 사건 A의 필요성은 반대 사건의 가능성으로 $\neg A$ 이다.

$$N(A) = 1 - (\neg A) \quad (6)$$

퍼지사건의 가능성의 정의를 가지고 다시 (6)식을 정의하면 다음과 같다.

$$N(A) = \inf_{x \in X} \max(\mu_A(x), 1 - \pi(x)) \quad (7)$$

퍼지사건의 하위경계 원소(inferior)와 상위경계 원소(superior)의 퍼지해석 연산자를 통해 최소값(min)은 T-노름으로 최대값(max)는 T-코노름으로 교환되어지고 이를 통해 소속함수 (membership function)를 다시쓰면 다음과 같다.

$$\mu_{I(A)}(L) = \sup_{x \in X} \min(\mu_{l(x)}(L), \mu_{A(x)}) \quad (8)$$

이 식은 퍼지추론과 기술의 등가성을 통해 다시 다음과 같이 쓸 수가 있다.

$$\mu_{I(A)}(L) = \sup_{x \in X} \min(\mu_{l(x)}(x), \mu_{A(x)}) = (t(l), A) \quad (9)$$

퍼지관측 A의 상위기술의 멤버십 등급은 L의 추론의 가능성을 나타낸다. 마찬가지로 퍼지 관측의 하위 기술은 추론 L의 퍼지 관측 A의 필요성의 조건으로 서술된다.

$$\mu_{\neg(A)}(L) = \inf_{x \in X} \max(\mu_{l(x)}(L), 1 - \mu_{A(x)}) \quad (10)$$

$$\mu_{\neg(A)}(L) = \inf_{x \in X} \max(\mu_{l(x)}(x), 1 - \mu_{A(x)}) = N(t(L), A) \quad (11)$$

따라서 어떤 상징적 관측량의 유용한 등급을 얻는 효과적인 방법을 상위 및 하위 기술을 통해 표현할 수 있으며 식(11)을 통해 퍼지관측을 확정하는 가장 좋은 상징량으로 결정할 수가 있다.

III. 혼잡도

1. 교통량 검지용 단일센서

현재 사용하고 있는 교통량 센서는 어떠한 물리량을 매개로 하여 동작하고 있다. 즉 자동차는 보통 승용차에서 1톤 전후의 중량이 있으나 그 무게를 매개로 한 압력 감응형, 그리고 현재 자동차의 대부분이 금속으로 구성되어 있는 것을 이용한 금속 감응형이 있다. 또한 자동차는 승용차로 전후 4-5미터, 좌후 약 1.5미터 형상을 가지고 있으나 이형상을 검지하는 형상 감응형과 자동차에서 발생하는 음향 잡음이라던가 전자계 잡음을 검지하는 잡음 감응형이 있다. 표1.는 감응 물리량에 기

초를 두고 교통흐름센서를 분류한것인데 이들 센서를 이용해도 모든 교통 흐름 정보를 모두 계측하는 것은 불가능하다.

표1. 교통량 검지용 단일센서

Table1.Single sensor for traffic information

방	식	정체길이	통과 여부	속도	정밀도	안정도	손해
압력감응형	교두부부식	불가	가	가	양호	양호	불가
음속감응형	입관식	불가	가	가	양호	양호	불가
영상감응형	자기식	가	가	가	양호	불량	가
	인덕턴스부식	가	가	가	양호	양호	가
레이저	도플러레이저식	불가	가	가	양호	양호	불가
	유출파열식	가	가	가	양호	양호	가
압출감응형	압출편지제식	가	가	불가	불량	양호	가
	수유식	가	가	불가	불량	양호	가

또한 교통 흐름의 공간밀도나 자동차끼리의 차간 거리 계측에는 항공 사진의 도움을 빌리거나 자동차의 여행 시간이나 출발지에서 목적지까지의 경로 특성을 나타내는 특성등도 조사하여야 한다. 이 표에서 존재검지란 센서의 바로 위에서 자동차가 정지 상태로 존재해도 검지 가능한 능력이며, 통과 검지는 주행상태의 자동차만에 대한 검지능력이다. 속도 검지능력은 도플러 레이더와 같이 1개의 센서로 가능한 것과 2개이상을 조합시키는 것에 의해서 가능하게 되는 것이 있다. 또한 점유율은 단위 시간 내에 자동차가 센서 위에 존재하는 시간의 비율, 즉 시간 점유율을 의미하고 있다[5]. 최후의 정체길이의 검출 능력이지만 이것을 1개의 센서로 가능한 것은 거의 없고 차선 방향에 배열된 여러 개의 센서를 사용해서야 비로소 가능해 진다.

2. 상징적 교통 정보량

교차로 교통신호제어는 과포화 교통량을 교차로 내에서 감지하여 정체시작시간을 가능한 지연시키는 것과, 또 하나는 대기행렬의 신장으로 인해 상류부교차로에서 발생하는 교차로내 막힘현상으로 인한 진행 방향의 녹색신호시간 손실이라는 2차 장애의 방지이며, 더 나아가서는 네트워크 총출력의 최대화에 제어목표를 둘 수 있다. 이를 위한 교통량의 검지는 교차로의 진입로내 포화도라고 하는 교통수요를 창출하여야 하는데 이는 정지선에서의 유출교통량에 녹색신호시작시점에서의 링크내 대기행렬길이를 더한 개념이다. 이 제어의 개념은 다음과 같다.

$$\text{차량의 포화도} = (\text{유출교통량} + \text{대기행렬대수}) / \text{포화교통류율} \quad (12)$$

즉, 교차로 연계제어에서는 특별히 정책적인 개입제어를 행하지 않을 경우에 위와 같은 제어를 병목교차로에서 실행함으로써, 네트워크의 출력 최대화를 도모하게 된다. 따라서 한쪽방향에만 긴

대기행렬이 존재할 경우에는 그 방향에 최대 녹색 신호를 부여하고, 양쪽방향 모두 대기행렬이 길게 뻗어 있을 경우에는 포화교통류율(saturation rate) 즉, 점유율이 높은쪽에 최대 녹색신호를 부여하여야 한다[5].

이를 도식적으로 표현하면 그림 1.에서와 같이 신호등에서 최종적으로 신호 주기를 바꿔주어야 할 시간은 A, B, C, D 진입로에서 접근하는 차량수만을 가지고서는 각 진입로의 통행권을 객관적으로 부여할 수는 없다.

즉, 아래 그림에서와 같이 한쪽진입로에서 이동하는 차량의 숫자만 가지고서는 교통 신호처리 해주어야 할 대상이 많다고는 할 수가 없다. 같은 숫자의 차량의 수가 밀려 있다고더라도 진입로의 폭과 이웃 교차로에서 부터의 진입로의 길이, 차량의 대, 중,소등을 고려해주어야만 한다.

실제 의미의 교통량의 많고 적음을 평가할 수가 있는것이다. 즉 차량의 숫자가 같은 숫자라 하여도 대형차량이 많이 밀려 있을 경우 같은 길이의 진입로에서 늘어서 있는 지체길이가 길 어지게 되어 이웃교차로 까지 영향을 미치게 된다[6][10].

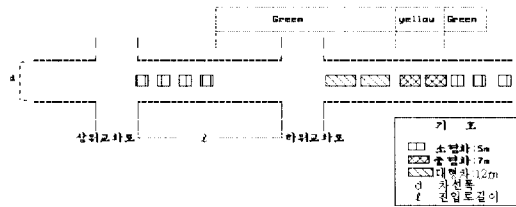
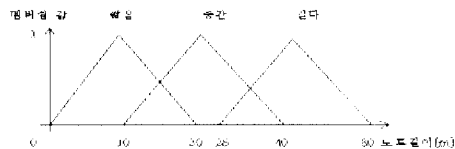
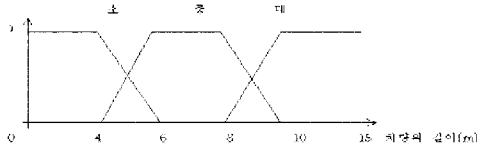


그림1. 퍼지센서를 통한 혼잡도측정
fig.1. Measurement of confusion degree through fuzzy sensor

따라서 고려해야할 대상이 많고 그 대상들을 퍼지 입력으로 할 경우 그 입력들에 대한 상호 관련 통계식이 있어야 하나 입력들간에 아무 관련이 없고 그것들 간에 입력으로 대상을 지정 할 경우 다음 그림 2.와 같이 퍼지 멤버십 함수 그래프를 만들고서 위에서 언급한 퍼지 이론을 적용하여 퍼지 추론을 하여야 한다.



(a)도로의 길이에 대한 멤버십함수



(b) 차량의 형태에 관한 멤버십 함수

그림 2. 유출차량수와 대기행렬수 멤버십함수

fig. 2. Membership function of queueing and passing car

3. 혼잡도 퍼지 알고리즘

입력과 출력사이의 수학적 관계가 없고 언어적인 규칙베이스가 없을 경우 퍼지센서에 의한 몇가지

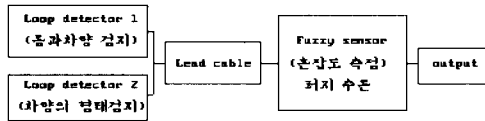


그림 3. 퍼지센서의 블럭다이어그램

fig. 3. Block digram of fuzzy sensor

언어 예를 통할 수 밖에 없다. 즉 입력 명사와 출력 명사를 연결하는 언어 그래프를 구성한후 조합과 투영의 원칙을 사용하여 구성된 그래프로 부터 새로운 입력을 계산하여 얻어내게 된다. 본 논문에서는 자동차의 통과 차량수와 대기 차량수와 시간까지의 언어적인 관계를 다음과 같은 합으로서 서술하였다. 즉, L(차량의 형태)={대,중,소};L(q)={low, medium, high};L(진입로의 길이)={low, medium, high};로부터 새로운 퍼지 규칙을 얻어내어야 한다. 다음은 진입로당 차량의 대기숫자와 진입로의 길이, 차량의 형태등으로 새로운 차량의 혼잡도 등을 얻어내는 표를 다음과 같이 표시하였다.

표 2. 퍼지규칙을 생성하기위한 예

Table 2. Examples of fuzzy rule

대기차량의 수자	차량의 형태	진입로의 길이	혼잡도
0.75/medium+0.25/high (25대)	0.7/medium+0.3/high (대형차량)	0.75/medium+0.25/high (길이 20미터)	0.8/원활 +0.2/보통
0.5/medium+0.5/high (35대)	0.25/medium+0.75/high(중형차량)	0.5/medium+0.7/high (길이 40미터)	0.3/원활 +0.7/보통
0.8/low+0.2/medium (20대)	Low (소형차량)	0.8/low+0.2/medium (길이 60미터)	0.9/복잡 +0.1/원활

여기에서 규칙을 생성해내기 위하여 입력과 출력의 등급값이 가장 큰값의 명사만을 추출하여 내분다. 이를 통해 측정값에 가장 근접한 유일한 출력값을 추출하여 낼 수가 있다. IF 부분과 다른 THEN 부분이 있을 경우 가장 큰 값을 정한다. 이는 조건절의 전반부와 후반부의 가장 큰 값에 관한 명사의 멤버십 값을 생성해 냄으로서 정의 된다. 이를 통해 약간의 정보를 잃게 되나 규칙의 수는 줄어들게 된다. 따라서 위에서 기술된 예를 통해 다음과 같은 4가지의 규칙을 얻을수가 있다. 왜냐하면

2번째 예는 2가지 규칙을 이끌어 내기 때문이다.

- 1) 대기차량의 수가 중간이고 차량의 형태가 중간크기이면 혼잡도는 중간이다
- 2) 대기차량의 수가 중간이고 차량의 형태가 크면 혼잡도는 원활하다
- 3) 대기차량의 수가 많고 차량의 형태가 크면 혼잡도는 복잡하다.
- 4) 대기차량의 수가 적고 차량의 형태가 작으면 혼잡도는 복잡하다.
- 5) 차량의 형태가 소형이고 차량수가 많을 경우 혼잡량이 매우크다.
- 6) 차량의 형태가 중소형이고 차량수가 많을 경우 혼잡량이 매우크다.
- 7) 차량의 형태가 중형이고 차량수가 많을 경우 혼잡량이 크다.
- 8) 차량의 형태가 중대형이고 차량수가 많을 경우 혼잡량이 보통이다.
- 9) 차량의 형태가 대형이고 차량수가 많을 경우 혼잡량이 보통이다.

이와같은 규칙이 25개의 규칙으로 이루어져서 퍼지추론으로 들어가고 추론은 시뮬레이션을 통해 2초 간격으로 시행되어지며 V,Λ은 각각 max, min 값으로 실행되어지고 이러한 언어 규칙은 카테시안 곱인 L(p)xL(q)xL(t)로서 표시된다[8][11].

표 3. 차량의 형태와 차량수의 관계 그래프
Table 3. Relation graph of type and number of car

차량형태 \ 대기차량수	small	medium	large
a few	원활		
medium		보통	
many		복잡	복잡

코노름인 S와 노름인 TI을 이용 조합(combination)/투영(projection)의 원리를 이용 퍼지 부집합 L(T) x L(H)를 영상(image)F를 계산하면 식 (13)과 같다[12].

$$\mu A(W)=S(V, V') \subseteq L(T) \times L(H) \mu(E, E')(V, V') T1 \mu(V, V', W) \quad (13)$$

여기에서 $\mu_{(E,E')}(V, V')$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다. 여기에서 2개의 변수가 독립적이라 가정하면 $\mu_{(E,E')}(V, V')$ 는 분리되어지고 $T_2(t\text{-노름})$ 를 가지고서 다시쓰면 다음과 같다.

$$\mu_{(E,E')}(V, V') = \mu_E V T_2 \mu_{E'}(V') \quad (14)$$

여기에서 2개의 수치측정자 t, h를 사용하여 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\mu_{(E,E')}(V, V') = \mu_{(t,h)}(V, V') = \mu_{(t)}(V) T_2 \mu_{(h)}(V') \quad (15)$$

이식을 사용 μF (혼잡)의 표현을 자세히 서술하면 $\mu T(V, V', W)$ 은 "0"이고 $(V, V') = (\text{medium, high})$ 와 $(V, V') = (\text{high, high})$ 이고 $\mu T(V, V', \text{혼잡}) = 1$ 이기 때문에 $\mu T(V, V', W)$ 은 "0"이 되지 않는다. 이를 알고리즘의 과정으로 표현하면 다음과 같다.

각 요소에 대한 소속도(멤버십 함수)는 $A = \{U, \mu A(u)\} = \int u \mu A(ui) / u = \sum \mu A(ui) / \mu A(ui) / u_n, ui \in U$ 로 되고, 여기서 \int, \sum 는 가산은 아니고 조합을 나타낸다. 평가요소중 차량의 형태에 대한 표본수가 10개이고 크기순으로 구별하면 $s = (0.82, 0.76, 0.74, 0.70, 0.67, 0.61, 0.58, 0.53, 0.48, 0.45)$ 이 되고 퍼지추론 룰과의 관계로부터 차량 형태의 평가치를 구하면 룰1 과의 관계를 통해 '...도로길이가 짧고 차량형태가 크면 혼잡도는 작다'에서 '짧다'의 퍼지개념은 $RL(j) = 0.1/1 + 0.3/2 + 0.5/3 + 0.5/4 + 0.7/5 + 0.6/6 + 0.7/7 + 0.8/8 + 0.9/9 + 0.10/10$ 이고 "크다"에서의 퍼지개념은 시간(초)에서 $Ci(j) = 1/1 + 0.8/2 + 0.7/3 + 0.6/4 + 0.5/5 + 0.6/6 + 0.7/7 + 0.8/8 + 0.9/9 + 0.10/10$ 이고 각 룰과 평가요소의 평가치와의 관계에서 산출되는 룰값는 max-min합성으로 $ai = V[\dots RL(j) \wedge Ci(j)] = 0.47$ 이고 결론부의 평가치는 0.8이다. 따라서 룰2에 적용하면 조건부는 0.6이고 결론부는 0.6이다. 따라서 합성 중심법에 의해 평가치는 $h(xi) = (0.47 \times 0.8 + 0.6 \times 0.6) / (0.47 + 0.6) = 0.69$ 로서 제어값에 적용된다. 여기서부터 "혼잡" 명사의 의미를 이미 제시된 방법을 통해 $S(a,b) = \min(a+b, 1)$ 과 $T1(a,b) = T2(a,b) = a \cdot b$ 와 그림 1.로서 묘사된 의미를 가지고서 유추할 수가 있는 것이다.

IV. 시뮬레이션에 의한 퍼지센서 알고리즘의 성능평가

본 연구에서 제안하는 퍼지센서방법을 교차로 네트워크에 적용, 평가하기 위하여 시뮬레이션을 행하였다. 차량 신호발생은 의사랜덤신호로 발생하여 1, 0의 유무로서 각 시간마다 그리고 각 차선 마다의 평균차량발생 빈도를 정하여 교차로마

다 다른 분포의 차량신호를 발생시켜 많은 경우의 수를 실험하였고 모델을 통한 차량의 계수식은 식 (18),(19)과 같다.

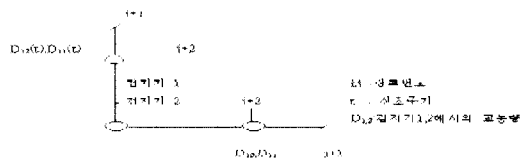
이식을 통해 각각 1시간동안 평균차량에 대해서 교통 차량의 유무를 판단하여 다음과 같은 모델식을 통하여 계산이 이루어지게 되는데 이 식들의 수치는 랜덤신호의 유무를 계수하여 모의실험식의 기본을 이루게 된다. 즉 1사이클에서 녹색등시간에 차량이 완전 소통 되지않고 QG라는 차량수가 남게 되면 적색등 시간에 적재차량 QR은 식(18)과 같이 된다[9].

$$QR = QG + \sum_{k=1}^n qn$$

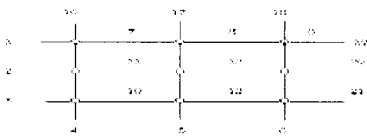
여기서 qn은 남북도로상의 진입하는 차량수로서 좌회전 차량을 포함한다 그리고 적색등시간의 차량에 대한 지연시간은 각각의 차량이 1초당의 유무로서 계수되어지므로 그 차량수의 시간에 대한 누적 으로서 지연시간을 다음과 같이 계산할수 있다.여기에서 DR-R은 적색시간의 지체시간을 말한다.

$$DR-R = \sum_{k=1}^n (QG + \sum_{k=1}^n qn)$$

이 모델은 Time Scan방식으로 차의 상태를 주행 아니면 정지의 상태로 취급하고 있다. 이를 위하여 네트워크의 각 링크를 1 scan(2초)에 이동할 수 있는 이동거리에 상응하는 요소로 분할하여 분할된 요소 각각에 대하여 대기행렬상태에서 수용할 수 있는 차량용량과 주행상태에서 수용할 수 있는 차량용량이 정하여 진다. 링크간의 이동은 각 링크별 교차로의 제어방법을 웹스터식에 기초한 녹색신호시간 배정을 통해 그림 4.와 같은 네트워크를 통해 실험을 하였는데 각각의 센서검지기는 신호제어를 위한 대기행렬꼬리 위치에 관한 정보는 물론이고 유출량을 계측하기 위한 검지기(그림4에서 검지기2)와 유입량을 링크 상류부에서 계측하기 위한 검지기(그림4에서 검지기1)가 필요하다.



(a) 실험용 검지기 위치



(b) 교차로망 구성

그림 4. 모의실험용 검지기위치와 네트워크구성
Fig 4. Traffic detector and network

기존의 방법으로는 차량의 구성요소에 따라 포화용량의 계산 및 진행속도를 구하는 데에는 큰 어려움이 따른다, 즉 교차로 진입로 길이를 감안하면 소형차량은 3-4m, 중형차량은 5-6m, 대형차량은 7-10m의 평균길이를 갖고 있다고 했을 때 차량이 10대만 대기행렬상태로 놓여 있다고 가정한다면 소형차량은 40m, 중형차량은 60m, 대형차량은 100m의 대기행렬길이가 되므로 이는 상위 교차로의 앞막힘 현상(spill back)을 일으키는 요인이 됨을 알수 있다.

표 4. 진입로 길이와 폭을 고려한 퍼지센서와 퍼지제어기의 비교

Table 4. Comparison of traffic controller of fuzzy sensor considering roadwidth & straight and non fuzzy traffic controller.

도로폭	포화율	통차량	NON-FUZZY		FUZZY	
[m]	[%]	차 수	TIME	CF	TIME	CF
30	99	0 2	30	-20.0	25	-16.3
50	73	1 2	30	-13.1	25	-13.7
70	64	2 4	30	-11.0	30	-6.9
30	77	1 2	45	-14.5	30	-8.3
50	82	2 1	45	-19.6	45	-15.2
70	21	4 5	45	-1.2	45	-3.5
30	33	1 3	60	-17.5	65	-13.9
50	41	1 5	60	-11.5	65	-9.8
30	19	0 6	60	-12.0	70	-13.8
50	37	2 4	70	-11.0	70	-8.7

모의실험은 링크 양단 교차로의 신호주기를 웹스터식[1]으로 계산하여 두 신호제어기의 녹색신호시간의 다양한 조합(상류녹색신호 60-75초, 하류 녹색신호 40-45초)와 포화교통류율의 변동(0.48-0.62대/초)으로 인해 나타나는 진입로 유입교통량 1,000-1,200 대/시간과 유출 교통량 700-1,200/시간의 조합 및 신호 옵션의 각 조건에 대하여 행하여진 시뮬레이션 결과를 표4.및 그림 5와6을 통해 나타내었다. 이표에서 알 수 있듯이 미포화 상태에서는 정해진 시간대로 제어하는 것이 좋은 효과를 보여주고, 퍼지센서는 미포화 상태

에서보다는 대기 차량이 상위 교차로에서 부터 막힘이 시작되어 하위 교차로 까지 진행되어지는 앞막힘 현상이 일어나기 쉬운 과포화 상태에서 좋은 효과가 있음을 보여주고 있다. 또한 웹스터 식의 주기시간과는 차량혼잡량을 고려한 주기신호의 변화를 통한 지체시간의 비교과 퍼지센서제어기 가나음을 보여주고 있다.

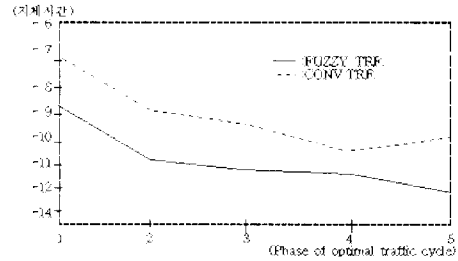


그림 5. 과포화 상태에서의 지체시간
Fig 5. Waiting time of high saturation

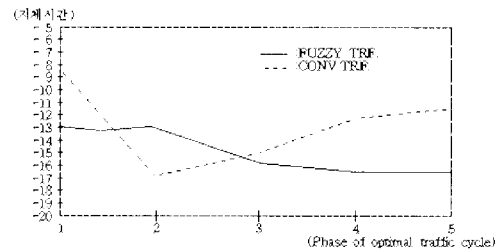


그림 6. 미포화 상태에서의 지체시간
Fig 6. Waiting time of low saturation

V. 결 론

교통류의 제어방식의 계층은 기능적(operational), 부분적(tactical), 전체적(strategic)으로 구분할 수 있는데 이러한 방식을 통한 효과적인 교통알고리즘이 많이 발표되었으나 이를 처리하기위한 교통량을 산출하는 것은 차량수라는 가시적인 양으로 평가하는데 그 한계가 있음을 기존 제어 기의 비교를 통해 알수가 있었다. 따라서 교통신호 제어 알고리즘에 맞는 입력 데이터의 맞춤은 절실하다고 할 수 있다. 교차로의 신호제어는 과포화로 인한 앞막힘 현상이 주요 원인이 될 수 있으므로 진입로의 대기 차량 유형을 종합적인 평가로 입력하는 퍼지센서 알고리즘의 구현은 교통 신호처리실시간 제어에도 필요한 방법이라 할 수 있다. 본 논문을 통해 많은 단계의 교통 알고리즘을 적절히

혼용한 가운데 좋은 결과를 얻을 수 있음을 보였다. 따라서 본 연구에서 개발된 모형의 퍼지 규칙의 데이터베이스 구성을 위해 실제로 각 교차로망의 경험적이고 적절한 규칙의 설정에 필요한 적응 규칙 생성 알고리즘의 연구가 선행되어야겠고 모든 교차로의 공통 변수 주기 시간 파라메타를 위해 링크 통행시간과 정체 차량수 예측뿐 아니라 비정상적인 상황 즉, 인근 교차로의 교통사고 여부와 도로공사의 확대정도, 돌발적인 환경변화등의 정도를 새로운 변수로 추가하는 것이 정확한 퍼지 적응 알고리즘과도 연결되는 사항이다.

퍼지 제어 교통류 적응화의 효과적인 결과를 얻기 위해서는 각 노드의 지역적인 제어와 이웃교차로와의 많은 입력 정보를 교환하여야 하며 이는 메시지의 거의 대부분이 자연적인 언어로서 이루어져야 하는 퍼지제어에 있어서는 좋은 효율을 얻기 위해서 자연적 언어의 멤버십 값 추론이 필요하며 각 지역제어기의 국소적 문제 해결의 좋은 결과를 가져오는 인지방식의 지역 교통 신호처리 알고리즘의 개발이 필요하다고 할 수 있다.

참고문헌

[1] Toshio Fukada, Koji Shimojima, "Multi-Sensor Integration System with Fuzzy Inference and Neural Network", IEEE Fuzzy system Int. Conf. 1992

[2] Gilles Mauris, "The aggregation of information by examples via fuzzy sensors", IEEE third Int. Conf. on Fuzzy System, Orlando, USA, p.1867-1872, June 1994

[3] E.Benoit, L.Foulloy et. al, " Fuzzy sensor for the perception of Colour". Submitted to the Third IEEE Int. Conf. on Fuzzy system, orlando, USA, p.2008-2013, June 1994

[4] Wang Ley, Volker Hans, "Improving Dynamic Performance of Temperature sensors with Fuzzy Control Technique". IEEE Fuzzy system Int. Conf, 1993

[5] 도철웅, "교통공학 원론", 청문각, p448-598, 1990

[6] 이광훈, "교통신호제어론과 전략", 세진서적, p.120-200, 1992

[7] FHWA, "Traffic Control System Handbook", Federal Highway Administration, Department of Transportation, Washington DC, USA, 1985.

[8] L.A.Zadeh, "Fuzzy Set", Inform. Contr., vol.8, p338-353, 1965.]

[9] 진현수, "퍼지동정 알고리즘을 이용한 교차로 교통 신호등제어의 최적 주기 결정", 전자공학회지, 제30권, 6호, p.100-108, 1995.

[10] 홍유석, "Prevention of Spillback Using Fuzzy Control at the Traffic Intersection", 34th SICE

Annual Conference, Hokkaido, 1995. University, 1995, July 26-28, p1321-1326

[11] 정복동 외, "범용의 퍼지하드웨어 설계", 전자공학회 논문집, vol. 31, no.7, 1994.7.

[12] 황성연, "퍼지 Logic을 이용한 영상 압축 및 퍼지 보드제작", 경북 대학교 석사학위 논문, 1991.12



진 현 수

1962년 2월 17일생
 1986년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1992년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1996년 2월 : 서울시립대학교 대학원 박사과정 수료

1995년 3월 ~ 현재 : 안산공업전문대학 전기과 전임강사
 관심분야 : 자동제어, 인공지능, 신호처리



김 성 환

1952년 6월 12일생
 1975년 : 연세대 전기공학과 졸업
 1980년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
 1977년~1982년 : 국방과학연구소
 1993년 : 미국 Virginia 주립대학 교환교수

1982년 ~ 현재 : 서울시립대 전자공학과 교수
 관심분야 : 제어 및 신호 처리, 의용전자