論文97-34C-8-10

신경망및 퍼지규칙을 이용한 최적 교통신호주기 알고리즘

(Algorithm of Optimal Traffic Signal Cycle using Neural Network and Fuzzy Rules)

洪 裕 植 *, 朴 鍾 國 **

(Yousik Hong and Chongkug Park)

요 약

본 논문에서는 평균 차량속도를 향상시키고 평균 차량대기시간을 줄이는 새로운 최적 교통신호주기산출방법을 제안한다. 전자교통신호등은 차량이 교차로에 많을때에는 교통신호주기를 연장할 수 있고 교차로에 차량이 적을경우에는 교통신호주기를 단축할 수 있다. 그러나, 전자신호등은 통과차량길이를 고려하지않았으므로 통과차량이 대형차량으로 구성되어있을경우에는 앞막힘현상을 유발시킨다. 그러므로 본 논문에서는 교차로에서 발생하는 평균차량대기시간을 단축하고 앞막힘현상을 예방하기위해서, 퍼지규칙 및 신경망을 이용하여 최적교통신호주기를 산출한다. 컴퓨터 모의실험결과 차량길이를 고려하지않은 고정주기 신호등보다 제안된 차량길이를 고려한 최적신호주기가 평균차량대기시간을 단축하는 것을 입증하였다.

Abstract

This paper proposes a new concept for an optimal traffic signal cycle method which will reduce the average vehicle waiting time and improve average vehicle speed. Electro sensitive traffic system can extend the traffic cycle when there are many vehicles in the road or it can reduce the traffic cycle when there are small vehicles in the road. But electro sensitive traffic light systems don't consider vehicle length, so it can cause oveflow if passing vehicles are long or heavy trucks. Therefore, in this paper to prevent overflow and reduce average vehicle waiting time at the intersection, we propose on optimal traffic cycle with fuzzy rules and neural network. Computer simulation results prove that reducing the average vehicle waiting time which proposed considering passing vehicle's length for the optimal traffic cycle better than fixed signal method dosen't consider vehicle length.

Ⅰ. 서 론

기존의 교통신호시스템은 대형차량의 구성비가 적고, 과포화 상태가 적었던 1960년도에는 년별 월별 일별로 교차로를 통행하는 평균차량 data를 미리 입력 시켜서 교통신호주기를 생성하는 Time of Day(T.O.D.)방식도 큰 문제가 없었으므로[1], Webster 방식이나, Box Jenkins 혹은 Kalman Filter을 이용한 교통예측방법과, Box-Jenkins Process에 Moving Average를 적용한 예측모형을 이용하였다[2,3,4,5]. 현시별 유효 녹색시간(Effective Green Light Time)은 도착교통량을 모두 수용해서 주차선(Critical Lane Volume)만의 신호주기를 구하는 Green-Shields의 방법과 도착교통량의처리여부에 관계없이 차량의 총지체를 최소로하는 Webster방법의 두 가지가 있으나,

* 正會員, 尙志大學校 電算學科
(Dept. of computer Science. Sangji university)
** 正會員, 慶熙大學校 電子工學科
(Dept. of Electronics Engineering kyunghee university)
※ 본 논문은 1997년도 상지대학교 자연과학연구소 연구비 보조로 이루어졌습니다.
接受日字:1996年7月31日, 수정완료일:1997年7月28日

이러한 방법은, 한정된 도로에서 통계적으로 적용될뿐, 시시각각으로 변화하는 차량의 증가, 감소, 대기차량의 길이를 예측할 수 없으므로, 기존의 신호등은 과포화 상태에서는 다음현시에 출발지연시간및, 승용차대기시간을 유발시킨다[6,7,8]. 그러므로 요즈음과같이 제한된 도로조건에서 나날이 증가되는 차량의 증가로 기존의 신호등은 과포화시에, 출발지연시간을 유발함으로써, 최적의 교통 주기신호를 생성하는 기능을 상실하였다. 뿐만아니라, 각 도로마다 차선의 폭, 도로의 경사도, 각 교차로의 포화율, 차량속도, 차량길이, 차량무게등이 다르므로, 최적주기를 결정하기가 어려우며[9,10], 기존의 루프디텍터는 차량이 루프디텍터를 통과할때에 그 통과차량의 속도, 무게, 부위를 매 현시마다 정확하게 예측할 수 없기때문에 통과차량의 종류(대형,소형) 등을 정확하게 산출하기가 어렵다. 기존의 루프디텍터는 1.8 x 1.8 Meter을 주로 사용하고 있으며 통과차량의 △T(환산점유시간)값을 이용하여 통과차량의 존재유무를 확인할 수 있으나, 실제, 교통신호주기를 생성하려면 차량의 길이가 소형은 3.5 미터, 대형은 10-15 미터이고, 통과차량의 속도는 10Km/hours-35Km/hours 로 일정하지 않음으로서, 운행속도 20Km/H에 대한 이론적 점유시간으로는 정확한 승용차 환산계수를 환산하기가 어렵다[11,12]. 특히, 상위교차로가 과포화상태일 경우에는, 하위교차로 차량대기행렬길이에 적합한 신호주기를 정확하게 생성하지 못함으로서, 다음 신호주기에 출발지연시간(start-up delay time)및 승용차 대기시간을 유발시킨다. 본 논문에서는 루프디텍터에 의해 감지된 입력신호파형을 신경망을 이용하여[13,14,15,16], 승용차환산계수를 생성한 후에, 교차로의 특성에맞는 최적의 옵셋을 구함으로서, 앞막힘현상을 예방제어 하고, 평균 주행속도를 향상하기 위한 연구이다.

본 논문에서는 신경망을이용한 전문가시스템을 이용하여 교차로 차선의 폭, 교차로의 길이, 포화 교통량, 도로의 경사도(오르막, 내리막길), 차량진행속도등이 같지않은 어느돌로에서도 최적의신호주기를 산출하였다.

Ⅱ. 교통신호제어방식및 최적신호주기산출

1. 교통신호제어방식

최초의 교통신호기는 1868년 영국 런던에서 처음 사용되었으며, 이 장치는 신호기등에 ARM을 매달아서, 이를 수동식으로 올리거나, 내림으로서 정지, 진행 및 주의 신호를 나타내었다. 교통신호기는 크게 고정주기신호기(Pretimed Signal Controller)와, 교통대응신호기(Traffic Responsive Controller)의 두 가지로 나타낼 수 있다. 고정주기신호란 미리 정해진 신호등 시간계획에따라서 월별 교통량, 일별교통량, 시간 교통량의 통계수치를 미리 입력시켜서 교통상황에 즉시 대응하는 실시간처리가 아니고, 해당 시간대의 입력된 값에 의해서 제어하는 방식이다. 만약, 해당 시간대의 값이 교통량의 갑작스러운 증가나 감소에는 교통신호주기가 현시와 맞지 않음으로 교통체증을 유발시킨다. 교통 대응신호기란, 3 가지의 교통감응신호(Traffic Acctuated Signal)로 다시 분류될 수 있으며, 반감응제어기(Semi-Actuated Controller), 완전감응제어기(Full Actuated Controller)및 교통량 감응제어기(Volume-Density Controller)가 있다. 교통신호기를 설치하면, 교통량이 많은 도로를 횡단하는 차량이나, 보행자를 안심하고 횡단 시킬수있으며, 인접 교차로를 연동시켜서 일정한 속도로 긴 구간을 연속진행시킬 수 있는 장점이 있으나, 교통신호기가 부 적절하게 설치되었거나 차량의 많고 적음에 따라서 신호주기를 생성하지 못할경우에는 불 필요한 지체로인해서, 연료소모 및 승용차 대기시간을 유발시킨다.

2. 교통신호기의 종류

신호기는 제어기의 종류에 따라 정주기 신호기, 교통감응 신호기, 전자 신호기, 교통량-밀도 신호기, 차선점유 신호기 등이 있으며, 정주기 신호기, 교통감응 신호기, 전자 신호기가 주로 사용된다.

① 정주기 신호기

교차로에 유입되는 교통량에 관계없이 미리 정해진 신호시간 즉, 주기장과 현시순서 및 현시기간계획에 따라 계속적으로 또는 일정한 시간동안 동일한 신호시간을 반복하는 것이다.

② 교통감응 신호기

교차로 유입부에 설치된 감지기로부터 통과하는 교통을 감지하여 교통수요의 순간적인 변동에 따라 적절한 신호주기를 변경시키는 신호기이다. 교통감응 신호기에는 전감응 신호기와 반감응 신호기가 있다.

③ 전자 신호기

교통량을 측정하여 이에 따른 신호시간계획을 수립

한 후 이를 각 신호등으로 보내어 등화로 나타내는 신호기이다.

④ 교통량-밀도 신호기

독립신호교차로에 대한 교통감응 신호기 중에서 가장 이상적이며 복잡한 신호기로서, 녹색시간이 각 유입부의 교통량에 비례·할당하는 신호기이다.

그림 1은 고정주기신호 등의 교통 신호시간결정을 위한 처리과정을 나타내었으며, 그림 2에서는 전자교통신호 등의 신호설계 처리과정을 나타내었다.

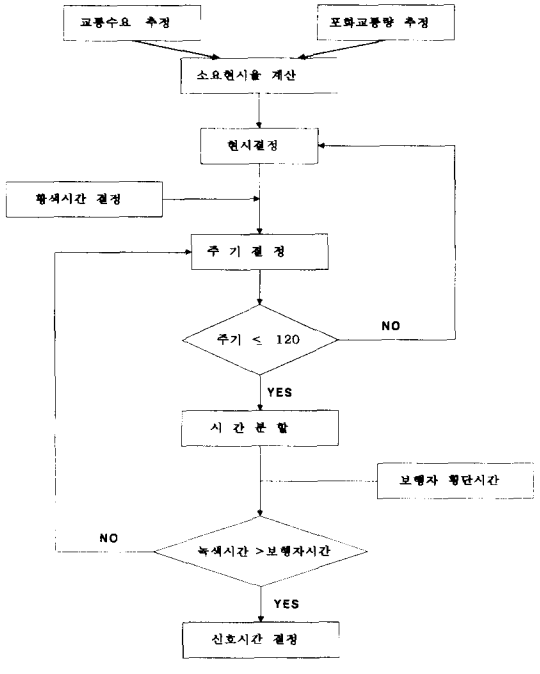


그림 1. 고정주기신호등의 알고리즘
Fig. 1. Time of day traffic signal algorithm.

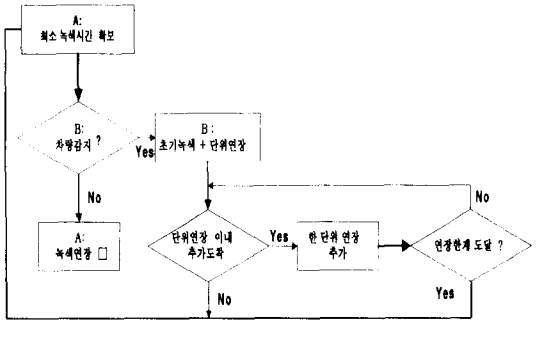


그림 2. 전자교통신호등의 알고리즘
Fig. 2. Electrosensitive traffic signal algorithm.

3. 교통신호 주기 산출방법

각 현시별 유효 녹색등(effective green light time)은 도착교통량을 모두 수용해서 차량의 총지체를 최소로하는 Webster 방식이 사용되고있으며 최적 주기(optimal signal cycle) C_o는 식(1)에 따라서 구할 수 있다.

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{(1-y)} \quad (1)$$

여기서,

C_o : 최적주기시간 (optimul cycle time)
: 교통지체를 최소로하는 최적주기 (초)

y_i : q_i/s
현시때 주이동류(critical movemant)의 교통량비 (flow ratio) 교통수요/포화교통량

I : 현시수

qi : 누적상태일때의 차량비 (1 : 누적 , 0 : 통과)

s : 포화상태 일때의 차량비

L : 전체 손실시간 ===>
진행연장시간(end-lag time) + 출발연장시간 (start -up delay time)

만약, 2 현시에서 운영되는 교차로에서 포화율이 1,800 vehiicle이고, 손실시간이5.2초 일때 1 현시의 통과차량수요율은 600 vehicle, 2현시의 통과차량수요율은 400 vehicle이면, 1현시의 녹색시간과 2현시의 녹색시간은 다음과같다.

$$Y_i = \frac{\text{통과차량 수요율}}{\text{포화율}} \quad (2)$$

$$Y_1 = \frac{600}{1,800} = 0.333 \quad (3)$$

$$Y_2 = \frac{400}{1,800} = 0.222 \quad (4)$$

$$\Sigma Y_i = 0.333 + 0.222 = 0.555 \quad (5)$$

$$C_n = \frac{1.5L+5}{1-\Sigma Y_i} \quad (6)$$

$$C_n = \frac{1.5(2)(5.2) + 5}{1 - 0.555} \quad (7)$$

$$C_n = \frac{15.6 + 5}{0.445} = \frac{20.6}{0.445} = 46.3 \text{ 초} \quad (8)$$

Cn = 46초가 된다. 만약, 1 현시 황색시간 A1, 4 초이고, 2 현시 황색시간 A2를 4 초라고 가정하면, 녹색신호주기 Gt는 다음과 같다.

$$G_t = C_0 - A_1 - A_2 - nl \tag{9}$$

$$G_t = 46 - 4 - 4 - 10.4 = 27.6 \tag{10}$$

$$\text{Critical lane volumes} = 600 + 400 = 1{,}000 \tag{11}$$

$$G_1 = \frac{600}{1000}(27.6) = 16.7 \text{ 초} \tag{12}$$

$$G_2 = \frac{400}{1000}(27.6) = 10.9 \text{ 초} \tag{13}$$

$$\text{Phase 1} = G_1 + \text{Yellow} + \text{lost time} = 16.7 + 4 + 5.2 = 25.9 \text{ sec} \tag{14}$$

$$\text{Phase 2} = G_2 + \text{Yellow} + \text{lost time} = 10.9 + 4 + 5.2 = 20.1 \text{ sec} \tag{15}$$

$$\text{Cycle length} = \text{Phase 1} + \text{Phase 2} = 25.9 + 20.1 = 46 \text{ sec} \tag{16}$$

그러나 이러한 webster공식에 의한 최적 교통 신호주기는 1 시간 동안에 수집된 차량 data를 기준으로 산출 되었기때문에 요즈음과 같이 갑작스러운 차량의 증가나 감소시에는 신호주기를 연장하거나 단축시킬 수 없다.

Ⅲ. 통과차량 검지원리및 대기행렬길이 추정 알고리즘

1. 통과차량 검지원리

2 장에서 살펴본것과 같이 기존의 고정주기방식은 갑작스러운 차량의 증가나 감소시에는 신호주기를 연장하거나 단축시킬 수 없다. 그러므로 전자신호등은 루프검지기를 이용하여 통과차량을 검지하여 통과차량이 많을경우에는 신호주기를 연장하여 주고 단축하여 줄 수 있기때문에 고정주기신호등보다 승용차 대기시간을 단축할 수 있다.

루프검지기는 도로 위에 매설된 루프위의 검지영역을 통과할때 통과차량으로 인한 인덕턴스의 변화를 감지하여 차량의 유, 무, 속도를 검지한다. 루프검지기는 도로위에 매설된 2-4회의 회전수를 가진 루프로 형성된 검지영역과 검지장치, 그리고 도입케이블로 구성되어있다. 즉, 루프 위에 차량이 통과할 경우에는 루프에 형성된 자장 위로 차량과 루프사이에는 자속(magnetic flux)의 변화가 생긴다. 그러므로 차량이 통과하지 않을때에는 루프검지부는 일정한 인덕턴스(Lnv) 값을 갖게되고 차량이 통과 하는경우 차량과 루프 검지부와 상호작용하여서 인덕턴스(△Lv)변화가 일어난다. 이 인덕턴스의 변화에 따라서 차량의 존재 유, 무, 통과속도등을 알 수 있다. 즉, 차량이 없는경우에는 일정한 인덕턴스에 비례하는 자속을 발생시키고, 차량이 있는 경우에는 루프 자장에 의한 인덕턴스의 변화를 주파수의 함수로 변환하여 차량의 존재 유무를 감지한다[52,53,78].

일반적으로 도체나 도선에 전류가 흐르면 도체 주위로 자속이 발생하며 자장(magenetic field)이 형성된다. N개의 회전수를 가진 루프인 경우 전류가 흐르는 자장의 세기는 회전수와 전류의 크기에 비례하며, 단면적 길이에 반비례하는 관계식으로 나타난다.

$$H = \frac{N \times I}{L} \tag{17}$$

여기서,

H : 자장의세기(ATM : Ampere Turns per Meter)

I : 코일전류

N : 코일회전수

자속밀도는 자장의 세기에 비례하는 값으로 나타낸다.

$$\phi = B \times A \tag{18}$$

$$R = \frac{L}{\mu A} \tag{19}$$

여기서,

$\varnothing$: 자속(W : Webers)

B : 자속밀도(Tesla : Webers per M^2)

A : 코일 단면적(m^2)

μ : 투자율

L : 코일단면적길이(M)

그림 5.1과 5.2 및 5.3에서 보는것과같이 루프검지기를 통과한 자동차파형은 통과차량의 속도와 무게에 따라서 파형의 우축이나 좌측으로 이동되는 것을 볼 수 있다. 그러므로, 본 논문에서는 전처리로 신경망을 이용해서 그림 5의 정규화파형을 이용하였다. 그러나, 자동차무게,통과자동차 속도, 루프디텍터 통과부위에 따라서 파형에 큰 차이가있기 때문에 후처리로 퍼지규

칙 27개를 이용해서 보정하였다.

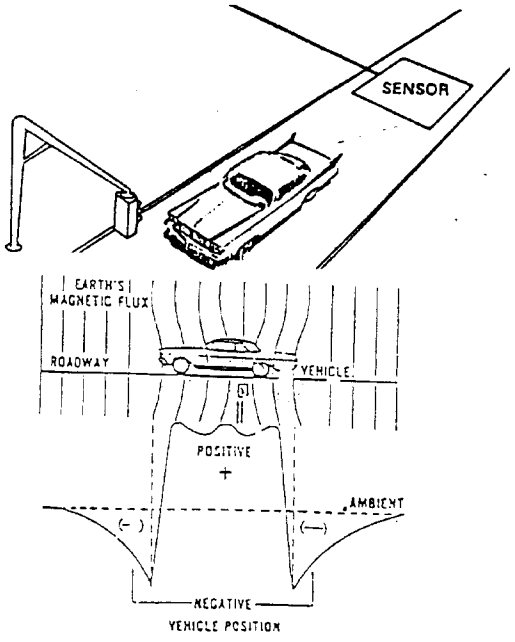


그림 3. 루프디텍터의 인덕턴스변화
Fig. 3. Change in flux density of loop detector.

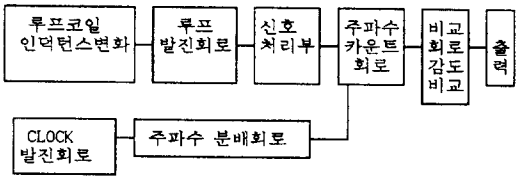
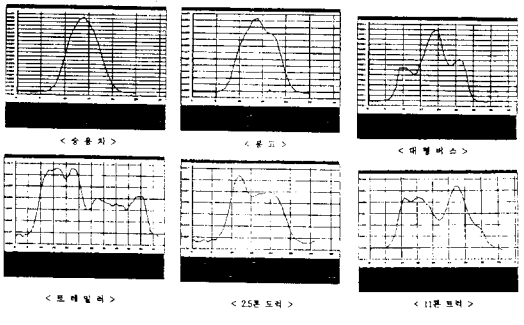


그림 4. 디지탈 루프감지기 블록다이어그램
Fig. 4. Digital loop detector block diagrm.



X_{ni} = 정규화된 통과차량 아나로그 파형
Y_{ni} = 정규화된 주파수 값

그림 5. 6 가지 통과차량 아나로그 파형
Fig. 5. 6 types of analog signature of passing vehicle.

자료출처: 교통개발연구원 아주대학교 교통개발연구소

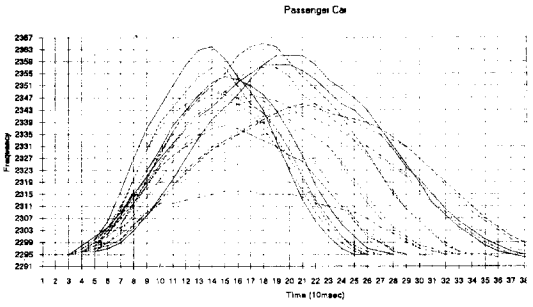


그림 5.1 루프디텍터 통과한 소형파형
Fig. 5.1 Small vehicle signature of paasing loopdetector.

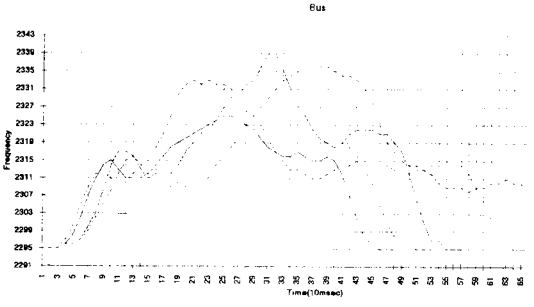


그림 5.2 루프디텍터 통과한 버스파형
Fig. 5.2 Bus signature of paasing loopdetector.

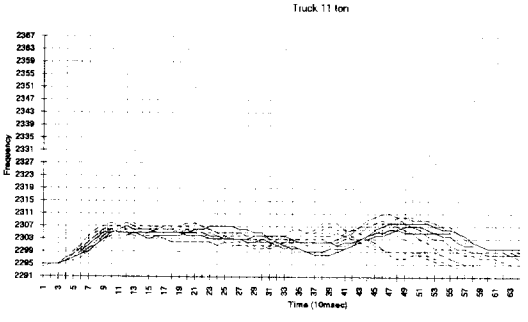


그림 5.3 루프디텍터를 통과한 트럭파형
Fig. 5.3 Truck vehicle signature of paasing loopdetector

정규화과정은 다음과같다.

(1) x축 정규화

$$Xmax : X_i = Xmax : Xn_i$$

$$Xn_i = \frac{Xstan \cdot X_i}{Xmax}$$

Xmax : 점유시간 동안의 스캐닝횟수

X_i : 점유시간동안의 스캐닝 순서

Xstan : X 축의 정규화 규격
Xni : 정규화된 계측순서 (정수값)

그 결과 Xn_i 는 Xstan 범위내의 정수값을 가지며
Xn_i 의 개수는 변함이없다.
Y_i 들의 평균값을 구한다.
이러한 값을 X측만 정규화된 값으로한다.
즉, 이러한 과정은 단지 검지차량의 점유시간을 Xstan 개의 구간으로 나눈뒤에, 각 구역별로 주파수의 평균값을 구하여서 대상파형을 대변하는 것이다.
이같은 처리를 통해서 스캐닝의 횟수와 동일한 개수의 주파수값을 갖던 1개의 차량검지데이터는 Xstan 개의 순차적 평균 주파수로 표현 될 수 있는 것이다.

(2) X - Y 정규화

$$Xmax : X_i = Xstan : Xn_i,\ (Ymax - Ymin) : Y_i = Ystan : Y_i$$

$$Xn_i = \frac{Xstan * X_i}{Xmax} * \frac{Ystan * Y_i}{(Ymax - Ymin)}$$

$$Yni = \frac{Ystan * Y_i}{(Ymax - Ymin)}$$

Xmax: 점유시간 동안의 스캐닝 횟수
X_i : 점유시간동안의 스캐닝 순서
Ymax: 점유시간 동안의 주파수 최고치
Ymin; 기본주파수
Y_i ; 점유시간 동안 Xi 에 해당하는 주파수값 - Ymin
Ystan: Y 축의 정규화 규격
Xstan: X 축의 정규화 규격
Xn_i: 정규화된 계측순서 (정수값)
Yn_i: 정규화된 주파수값 (정수값)

2. 대기행렬길이추정

교차로에서 대기차량의 많고,적음을 판단하는 포화도는 유효녹색시간동안 최대로 유출할 수 있는 교통유율에 대한 실제 통과된 교통량으로서, 보통 승용차환산계수(Passenger Car Unit)로 표시된다. 그러므로, 교통류를 구성하는 대기차량은 차량의 길이가 항상 같은값이 아니고, 매우 다양하여 각 차량별 승용차 환산계수를 어떤 값으로 결정해야 할지 어려움이 있으며, 시시각각으로 변화는 교통상황에 대응하여 승용차 단위로 정확히 환산하기가 어렵다. 매주기의 최대 대기차량길이가 측정되어지면 해당 주기에서는 도착율이 구해진다. 그러나, 요즈음과 같이 예측할 수 없는 교통변동으로 인해 매주기마다 정확하게 도착율을 추정한다는 것은 매우 어렵다. 그러므로, 과거의 도착율을 평활(Smoothing)하여 차기 주기의 도착율로 산정한다. 즉 과거 3주기 동안의 도착율의 이동평균값(Moving Average)을 차기 주기의 도착율로 하는 예측방법을 이용한다.
따라서 차기주기에서의 예측되는 도착율, FVi+1은

$$FV_{I+1} = \frac{V_{i-2} + V_{i-1} + V_i}{3} \quad (20)$$

로 하여 차기 주기에서의 최대 대기차량길이는 식(20)로 표현될 수 있다.

$$Est(MAXQ_{i+1}) = w \cdot (MAXQ_{i+g} \cdot FV_{i+1} - FV_{i+1} \cdot MAX_i/w - s \cdot g + FV_{i+1} \cdot r)/(W - FV_{i+1}) \quad (21)$$

식 (21)은 포화상태에서의 유출율과 녹색시간 시작으로 인한 출발파속도가 매 주기마다 일정하다고 할때, 주기 및 녹색시간이 매 주기마다 변화되는 실시간 교통제어시스템에서 옵셋 결정을 위해 최대주기길이의 예측이 가능하다.

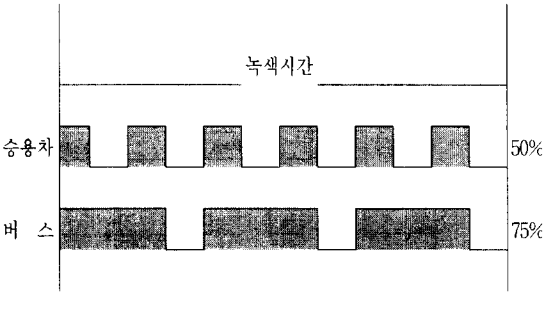


그림 6. 승용차환산계수에따른 녹색주기시간
Fig. 6. Green cycle time depending on passenger car unit.

이와같이 앞 막힘 현상을 예방제어할려면, 먼저, 상위교차로의 최적대기행렬길이보다 하위교차로의 대기차량길이가 적을경우에만 신호주기를 생성해야된다. 그림 6 과 그림 7에서 처럼 상위교차로가 근포화이고 하위교차로 대기차량이 똑같이 4 대이지만 그림 6 에서는 중형,소형으로 구성되었기 때문에 앞막힘현상이 발생하지않으며, 그림 7 에서는 중형,대형으로 구성되었기 때문에 한 현시에 하위교차로대기차량이 모두 상

위교차로에 진입을 못하기때문에앞막힘현상이 발생하여 다음현시에 진행연장시간 및, 승용차대기시간을 유발시킨다.

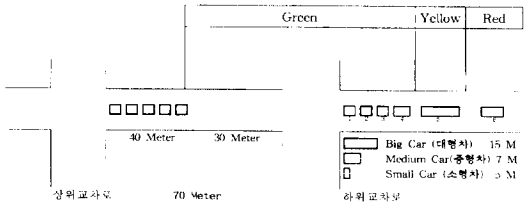


그림 7. 대기행렬길이에따른 녹색시간 1
Fig. 7. Green time depending on waiting queue 1.

상위교차로가 근포화이고,
하위교차로 대기행렬차량이 소형 3 대 (5 Meter + 5 Meter + 5 Meter)= 15 Meter
중형 1 대 (7 Meter) = 7 Meter

일 경우에는 하위교차로 대기행렬길이는 (15 Meter + 7 Meter) = 24 Meter가 된다.

그러므로, 그림 6 에서 보는것과같이

상위교차로 최적 대기행렬길이(30 Meter) >= 하위교차로 대기행렬길이 (24 Meeter) 보다 적으므로 하위교차로에서 출발한 차량 4 대가 모두 상위교차로에 진입할 수 있기 때문에 앞 막힘현상이 발생하지 않는다. 그러므로 다음 현시에 진행 연장시간및, 승용차대기시간이 발생하지 않는다.

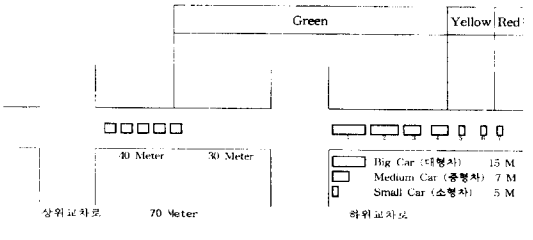


그림 8. 대기행렬길이에따른 녹색시간 2
Fig. 8. Green time depending on waiting queue 2.

상위교차로가 근포화이고
하위교차로 대기행렬차량이 중형 2대 (7 Meter + 7 Meteer) = 14 Meter
대형 2대 (15 Meter + 15 Meter) = 30 Meter
구성됐을경우

상위교차로 예상 대기행렬길이(30 Meter) < 하위교차로 대기행렬길이 (44 Meter)

그러므로, 그림 7 에서 보는것과같이 상위교차로 최적 대기행렬길이(30 Meter) < 하위교차로 대기행렬길이 (44 Meter) 보다 크기때문에 하위교차로에서 출발한 차량 4대가 모두 상위교차로에 진입할 수 없으므로, 앞 막힘현상이 발생하게된다.

그러므로 다음 현시에 진행 연장시간및, 승용차 대기시간이 발생하게된다.

표 1. 통과차량에 의한 예상승용차환산계수 및 예상대기행렬길이
Table 1. The expecting P.C.U. and the expecting wating queue length by passing vehicles.

상위 교차로 포화도	하위교차로 통과 차량					예상 승용차 환산 계수					예상 대기 행렬 길 이					총 대기행렬 길 이
SAT. RATE	T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	P3	P4	P5	W1	W2	W3	W4	W5	$\sum_{i=1}^{5} W_i$
과 포 화	1	1	0	1	1	1.3	1.2	1.2	1.5	1.3	6.5	5.6	5.6	8.7	6.3	32.7 Meter
근 포 화	1	1	0	1	1	1.2	1.4	1.6	1.2	1.3	5.6	6.8	9.6	5.6	6.3	33.9 Meter
근 포 화	1	1	1	1	1	1.2	1.2	1.9	1.4	1.7	5.6	5.6	14.3	6.8	10.5	42.8 Meter
근 포 화	1	1	0	0	1	1.6	1.8	1.9	1.2	1.9	9.6	12.8	14.6	5.6	14.8	57.4Meter

Ⅳ. 모의실험 및 결과

현재 일부 사용되고있는 전자신호등에서 차량의 갑작스러운 증가나 감소시에는 승용차대기시간을 단축할 수있다. 그러나, 그림 7과 그림 8에서 보는 것과같이 같은 통과차량일 경우에도, 소형자동차와 대형자동차의 차량길이가 틀리기 때문에 교차로가 과포화시에는 앞막힘현상이 발생할 수있다. 즉, 표 1에서 보는것과 같이 루프디텍터로 또같은차량이 5대가 검지되었을 경우에도 총 대기행렬길이가 32.7 Meter 에서 57.4 Meter까지 약 23 Meter의 큰 차이를 보이게된다.

그러므로, 전자신호등에서는 통과차량이 대형차량으로 구성되어있을 경우에는 앞 막힘현상이 발생하게된다. 그러므로 통과차량이 대형인지 혹은 소형인지를 반드시 인식해야 앞막힘현상을 해결할 수 있다. 전자신호등은 통과차량의 대수만 검지하기 때문에 통과차량이 대형으로 구성된 경우에는 승용 차대기시간이 발생하게된다. 전자신호등의 문제점인 앞 막힘현상을 완화하기위해서 그림 5.1과 5.2 및 5.3의 루프검지기를 통과한 통과차량의 정규화과정을 거쳐서 그림 9의 차량데이터를 생성하였다. 본 논문에서는 교사 학습 방식을 이용하여, 신경망의 입력에 대해서 원하는 출력과 실제 출력 사이의 오차를 이용하여 오차를 감소시키는 방향으로 가중치를 조절하는 학습 방식이며, 학습방법

은 다음과같다.

(1) 연결강도와 오프셋의 초기화
(2) 학습패턴의 설정
출력층 유니트의 계산
(3) 목적패턴출력층 신경세포(tj)와, 출력층 신경세포(aj)의 오차를 구한다.
$e_j = t_j - a_j$
(4) 입력신경세포(i,j)사이의 연결가중치를 다음식에 의해서 가중치를 조성한다.
$W(new)_{ij} = W(old)_{ij} + \alpha e_{iaj}$
$e_j = t_j - a_j$
(5) 과정 2부터 반복된다.

위의 과정을 선택된 여러 예에 대해서 모든 가중치 값들이 안정된 상태에 이를 때까지 반복된다.
본 논문에 사용된 학습알고리즘및, 신경망 구조는 다음과같다.

1) offsets, weight를 초기화한다.
2) input, target의 신호파형을 신경망에 제시한다.
3) 입력신호파형 data 0는 교사신호인 목적패턴인 10000에 해당
입력신호파형 data 1은 교사신호인 목적패턴인 01000에 해당 입력신호파형 data 2는 교사신호인 목적패턴인 00100에 해당
: :
입력신호파형 data 4는 교사신호인 목적패턴인 00001에 해당하는 교사신호를 학습시킨다.
4) 각 유니트에 대한 연결가중치와 활성값을 구한다.

$$errorp = \sqrt{(Opi - tpi)^2 + (Op1 - tp1)^2 + (Op2 - tp2)^2 + \ldots\ldots + (Opn - tpm)^2}$$

$$= \sqrt{\sum_{j=0}^{j=n} ((Opij - tpij)^2}$$

$$ERROR = \sum_{p} errorp$$

errorp = 입력패턴 p에대한 신경망의에러
Opi= 입력패턴 p에대한 출력층의 j번째 신경세포의 실제출력
tpi = 목적패턴 p의 j번째 성분
ERROR = 모든패턴에대한 신경망의 에러

5) 학습한 결과 5개의 패턴을 300회 학습시켰을때 ERROR는 0.3451231이었으며 data를 91% 이상 식별하였다.

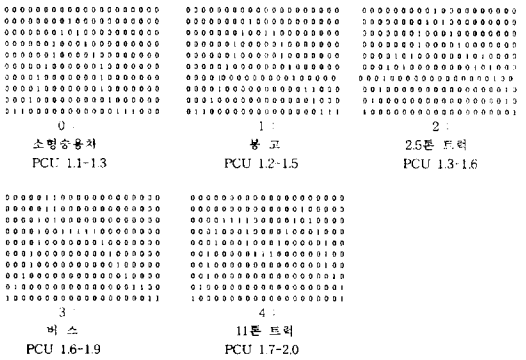


그림 9. 5 종류 차량입력데이터
Fig. 9. 5 Kinds of vehicle input data.

입력층 Neuron(신경세포)는 0번부터 199개이고, 출력층 Neuron(신경세포)는 200번부터 5개이다. Network(망)의 신경세포는 0번부터 205개이다. Network (망)의 연결은 0번 부터 1000개 (200*5) Network (망)의 층은 0번부터 2개이고, Network (망)의 학습규칙은 델타규칙을 사용하였다.

본 논문에서는 표 3a와 표 3b에서는 그림 9에서 가정한 5 가지 자동차 모의데이터를 입력패턴으로 사용하였으며, 테스트패턴은 인위적으로 입력패턴을 3 - 5개 변형하여 모의패턴을 만들었다. 그러나, 전자신호등에서 가장 문제점은 소형차량과 대형차량일 때에 예상대기행렬이 가장 큰 차이가 발생한다. 뿐만아니라, 실제 도로에서는 통과차량의 속도, 통과차량, 루프디텍터

표 2. 승용차 환산 계수
Table 2. Passenger car unit.

소형 자동차					중형 자동차			대형 자동차			
P.C.U	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
Meter	3.5-4.5	4.6-5.4	5.5-6.4	6.5-7.4	7.5-8.4	8.5-9.4	9.5-10.4	10.5-11.4	11.5-12.4	12.5-13.4	13.5-15

통과부위에 따라서 실제 차량데이터를 5가지이상으로 구별하는것은 현실적으로 어렵기때문에 표 3c 에서는 예상대기행렬의 길이가 가장 큰 소형과 대형으로만 입력패터을 만들었다.

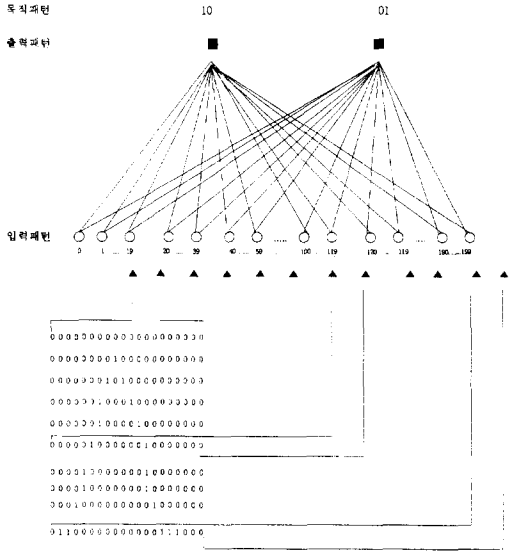


그림 10. 차량인식 신경망 구조
Fig. 10. Neural network Structure for Vehicle classification.

표 3a. 신경망을 이용한 차량인식결과(3 비트)
Table 3a. Vehicle recognization result using neural network(3 bits).

PCU / 파형	승용차	봉고	대형버스	트럭(2.5 ton)	트럭(11 ton)
ORIGINAL 파형					
목적패턴	10000	01000	00100	00010	00001
TEST 파형	인식률	인식률	인식률	인식률	인식률
	97 %	12 %	7 %	8 %	3 %
	14 %	93 %	21 %	23 %	5 %
	6 %	5 %	93 %	13 %	8 %
	7 %	6 %	32 %	95 %	47 %
	4 %	21 %	7%	9 %	95 %

표 3b. 신경망을 이용한 차량인식결과
Table 3b. Vehicle recognization result using neural network.

PCU / 파형	승용차	봉고	대형버스	트럭(2.5 ton)	트럭(11 ton)
ORIGINAL 파형					
목적패턴	10000	01000	00100	00010	00001
TEST 파형	인식률	인식률	인식률	인식률	인식률
	91 %	41 %	8 %	14 %	11 %
	46 %	93 %	23 %	35 %	3 %
	12 %	23 %	73 %	49 %	43 %
	14 %	43 %	64 %	82 %	47 %
	12 %	28 %	53 %	56 %	78 %

표 3c. 신경망을 이용한 차량인식결과
Table 3c. Vehicle recognization result using neural network.

PCU	승용차	대형차
ORIGINAL 파형		
목적패턴	10000	01000
TEST 파형	인식률	인식률
	91 %	17 %
	13 %	93 %
	12 %	86 %
	18 %	87 %
	2 %	28 %

original 차량 파형 data (20x10) 200 bits를 표 3a 에서 보는 것과 같이 루프 디텍터를 통과한 차량속도가 20km (정상속도)이고, 통과차량무게 500-1200kg

(소형-중형)일 경우에는 original 차량파형 data와, 모의 패턴 test 차량 파형이 거의 흡사하기 때문에 인식율이 90% 이상의 결과를 얻었을 수있었으며, 표 3b에서 보는 것과 같이 루프 디텍터를 통과한 차량 속도가 5-10km미만 (정체)일 경우와 21-40km미만(고속 속도)이고, 통과차량무게 1300-3000kg(중형-대형)일 경우에는 original 차량파형 data와, 모의 패턴 test 차량 파형이 크게 차이가 날 경우에는 인식율이 78% 이상의 결과를 얻었을 수 있었다. 그러므로, 실제로 교차로에 설치된 루프디텍터를 통과한 차량파형은 통과차량의 속도가 일정하지않고 통과차량의 무게가 같지않기 때문에, 표 3a와 같은 모의 패턴 test 차량 파형 데이터는 실제 도로상황에서는 거의 기대하기어렵다. 표 3b와 같이 모의 패턴 test 차량 파형이 통과차량의 속도, 무게, 루프디텍터 통과부위에 따라서 original 차량 파형 data와 매우 상이한 파형data로 표시되기 때문에, 교통혼잡을 최소로하기위한 예상대기행렬길이를 구하기 위해서는 표 3c와 같이 통과차량의 종류를 소형 대형의 2 가지로 original 차량 파형 data를 학습시킨후에, 도로특성을 고려한 매우심하게 변형된 모의 패턴 test 차량 파형 data 인식율도 평균 90%이상으로 양호하게인식하였다.

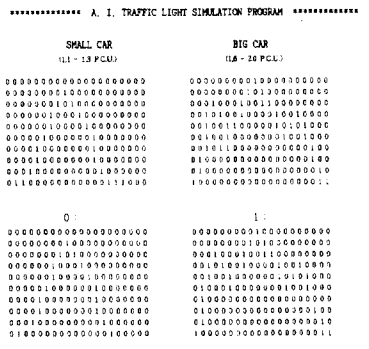


그림 11. 신경망을 이용한 차량인식결과
Fig. 11. Vehilce recognization result using neural network.

본 논문에서는, 감응 루프식 감지기를 이용하여 차량수를 감지하였다고 가정하고 각 조건시간의 알고리즘에 대응하는 원소들을 결정한후 제어출력의 결정 진행과정은 그림 12와 다음과 같다.

각 조건에 해당하는 FUZZY MEMBERSHIP 함수의 RULE BASE로해서,추론은 MAX-MIN추론 방법을 사용하였고 비퍼지화방법으로는 무게중심법을 사용하였다.

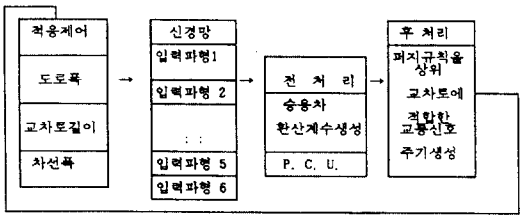


그림 12. 퍼지신경망을 이용한 최적주기신호 블럭다이어그램
Fig. 12. Blockdiagram of an optimal traffic cycle light using a fuzzy neural network.

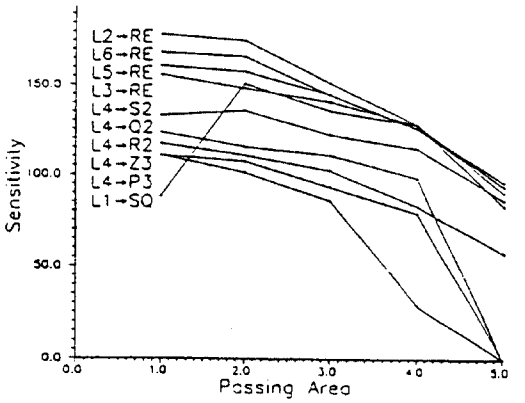


그림 13. 통과부위에 따른 루프디텍터 특성
Fig. 13. Loop detector character depending on passing area.

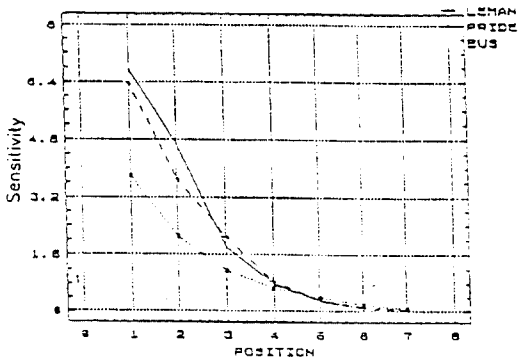


그림 14. 자동차무게에 따른 루프디텍터 특성
Fig. 14. Loop detector character depending on vehicle weight.

전처리에서 산출한 승용차 환산계수는 그림 13 및 그림 14와 같이 루프디텍터를 통과한 통과차량무게 및 통과부위가 같지않기 때문에 같은차량이라도 통과차량

이 대형일때와 소형일때에 따라서 오인식을 할 수있으므로 퍼지규칙 27개를 사용하여 표 4처럼 후처리로 보정하였다.

표 4. 뉴럴퍼지신호등 승용차환산계수 판단 규칙

Table 4. Deciding passenger car unit rules of the neurol fuzzy traffic light.

PCU / CAR CONDITION		PCUH	PCUM	PCUL
TWTH	TPRH	B	B	L
	TPRM	B	M	L
	TPRL	M	M	M
TWTM	TPRH	M	M	L
	TPRM	M	M	M
	TPRL	M	S	M
TWTL	TPRH	S	S	S
	TPRM	M	S	S
	TPRL	M	M	S

TWTH: 통과차량 무게 고, TPRH: 통과부위 고,
PCUH: 승용차환산계수 고
TWTM: 통과차량 무게 중, TPRM: 통과부위 중,
PCUM: 승용차환산계수 중
TWTL: 통과차량 무게 하, TPRL: 통과부위 하,
PCUL: 승용차환산계수 하

표 5. 뉴로퍼지신호등의 최적주기신호규칙

Table 5. Optimal traffic cycle rule of the neuro fuzzy traffic light.

PCU / SATURATION		PCUH	PCUM	PCUL
USTH	BSTH	S	M	M
	BSTN	S	S	M
	BSTL	S	S	S
USTM	BSTH	S	M	M
	BSTM	S	S	M
	BSTL	S	S	S
USTL	BSTH	B	B	B
	BSTM	M	B	M
	BSTL	S	S	M

표 6. 승용차환산계수를고려한 기존신호등과 퍼지 신호등 대기시간비교

Table 6. Compare with fuzzy traffic light considering PCU and a convential traffic light.

차량종류				속도	기존방식(초)				비고	퍼지 방식				비 고
직진		회전			직진		회전		대기시간	직진		회전		대기시간
대	소	대	소	km/sec	대	소	대	소		대	소	대	소	시 간
1	2	0	2	11	4.0	8.0	0.0	8.0	10.0	3.5	6.4	0	6.9	3.2
1	4	2	2	30	4.0	16.0	8.0	8.0	6.0	3.2	11.6	6.8	6.2	7.8
2	2	1	2	27	8.0	8.0	4.0	8.0	2.0	6.4	5.8	3.3	6.2	1.7
2	0	1	2	12	8.0	0.0	4.0	8.0	10.0	6.9	0.0	3.7	6.9	2.5
2	0	3	1	20	4.0	4.0	12.0	4.0	6.0	6.6	0.0	10.5	3.2	0.3
3	1	2	3	10	12.0	4.0	8.0	12.0	6.0	11.1	3.3	7.4	9.9	11.7
3	2	0	2	15	12.0	8.0	0.0	8.0	2.0	10.8	6.2	0.0	6.6	3.6
2	1	1	2	20	8.0	4.0	4.0	8.0	6.0	6.6	3.0	3.5	6.4	0.5
3	2	2	0	30	12.0	8.0	8.0	0.0	2.0	9.3	5.8	6.8	0.0	1.9

(가정) 1. 교차로길이....100 METER
2. LOOP 디텍터 통과면적 100%
3. 차량무게 동일
대형 차량에 대한 조건-- 기존 4.0초,
퍼지: 회전시 3.5초, 직진시 3.3초
소형 차량에 대한 조건-- 기존 4.0초,
퍼지: 회전시 3.2초, 직진시 3.0초
T.O.D : 기존 신호등 고정 주기: 30초
통과속도(20KM), 차량 1대 통과 시간 : 3초(소형), 대형(3.3초)
WALK : 횡단보도횡단시간(퍼지신호등) 20초 가정

표 7. 포화상태에 따른 기존방식과 퍼지방식 신호주기비교

Table 7. Compare with fuzzy traffic light depending on a saturation rate and a convential traffic light.

포화상태	속 도	차량의 크기			기존방식		퍼지방식	
%	km/sec	대	중	소	T.O.D.	대기시간	WALK	대기시간
88	13	3	1	1	30	10 초	20	3 초
74	12	1	2	1	30	14 초	20	0 초
82	15	1	0	4	30	10 초	20	0 초
68	08	2	2	3	30	2 초	20	6 초
51	30	1	1	4	30	6 초	20	1 초
34	32	3	2	5	30	10 초	20	15 초
43	35	1	2	2	30	10 초	20	3 초
32	37	1	1	1	30	18 초	20	0 초

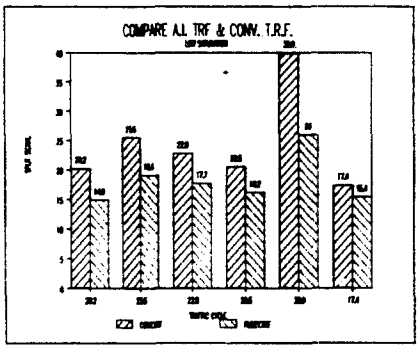


그림 15. 미과포하일때의 기존신호등과 퍼지신호등 대기시간비료
Fig. 15. Comparisons with low saturation of conventional traffic light and fuzzy traffic light wating time.

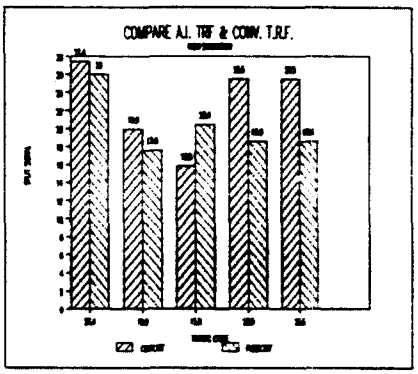


그림 16. 과포하일때의 기존신호등과 퍼지 신호등 대기시간비교
Fig. 16. Comparisons between high saturation of conventional traffic light and fuzzy traffic light wating time.

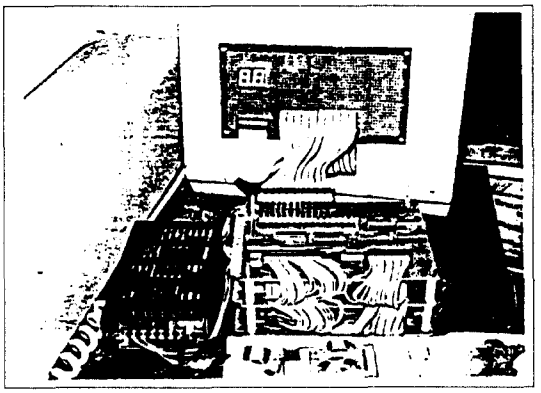


그림 18. Look up table 방식을 이용한 신호등 구현
Fig. 18. Implementation traffic light using look up table method.

V. 결 론

본 논문에서는 전처리로 신경망을 이용하여 루 디텍터를 통과한 차량파형을 학습시켜서 승용차환산계수를 판단한후에, 전처리로 승용차환산계수를 산출하였다. 전처리에서는 루프 디텍터를 통과한 차량속도가 20 km (정상속도)이고, 통과차량무게 500 - 1200 kg(소형-중형)일 경우에는 original 차량파형 data와, 모의 패턴 test 차량 파형이 거의 흡사하기 때문에 인식율이 90% 이상의 결과를 얻었을 수 있다. 그러나 루프 디텍터를 통과한 차량 속도가 5 - 10 km미만 (정체)일 경우, 혹은, 통과 차량속도가 21 - 40 km미만(고속 속도)이고, 통과차량무게 1300-3000 kg(중형-대형)일 경우에는 original 차량파형 data와, 모의 패턴 test 차량 파형이 크게 차이가 나기때문에 인식율이 78%-90% 정도로 인식율이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 실제로 교차로에 설치된 루프디텍터를 통과한 차량파형은, 통과차량의 속도가 일정하지않고 통과차량의 무게가 같지않기 때문에, 교통혼잡을 최소로하기위한 예상대기행렬길이를 구하기 위해서는 기존의 통과차량을 6-11 가지로 분류하는 과정에서 생기는 오인식을 최소로 하기위해서 본 논문에서는 예상 차량대기행렬길이에 가장 큰 요소로 작용하는 소형차량과 대형차량의의 2 가지로 original 차량 파형 data를 학습시킨결과, 도로특성을 고려한 매우심하게 변형된 모의 패턴 test 차량 파형 data 인식율까지도 평균 90%이상으로 양호하게 인식하였다. 그러나, 전처리에서 루프 디텍터를 통과한 차량의 속도, 무게 및 루프디텍터를 통과한 통과차량부위가 일정하지 않을경우에는 루프디텍터를 통과한 차량파형의 전기특성이 크게틀 려지기 때문에 오 인식을 할 수 있다. 그리고 후처리로 퍼지규칙을 사용하여, 전처리에서 루프디텍터를 통과한 통과차량속도 및 통과차량부위 때문에 오인식을한 승용차환산계수(통과차량을 대형차 혹은 소형차 구분), 루프디텍터를 통과한 차량속도, 통과 부위 3 개를 퍼지 입력변수로 사용하여 보정하였으며, 퍼지출력으로 예상통과차량속도 및 예상 승용차 환산계수를 산출하였기 때문에 기존의 고정주기신호등에서 과포화시에 대기행렬차량 구성이 대형차량으로 구성 되었을때에 발생하는 앞 막힘현상을 완화시킬 수 있다. 뿐만아니라 본 논문에서는 교차로조건및 차선폭에 관한 보정계수를 구하여 교차로조건에 가장적합한 통과차량 한 대당 진

입하는 예상소요시간을 구해서 기존의 고정신호등에서 발생하는 승용차대기시간을 줄이고 평균차량속도를 10-18% 정도 개선시킬 수 있었다. 본 논문의 신경망에서 사용된 입력데이터와 테스트패턴이 루프디텍터를 통과해서 얻은 실제데이터가 아니라, 모의데이터이기 때문에 실제 도로에서는 차량인식율이 많은차이를 보일 수가 있다. 그러므로 전자신호등에서 대기차량이 많은 과포화일경우에 발생하는 앞 막힘현상을 해결하기위해서는 퍼지규칙 및 신경망을 이용한 루프디텍터의 통과차량파형 인식연구및 퍼지 Chip을 이용한 지능 신호제어기 연구가 필요하다. 뿐만아니라, 직진 및 회전이 구분이 안되는 혼합 차선일 경우에는 직진차선에 회전차량이 대기차선에 진입할 수 있으므로, 정확한 직진 량의 data를 정확하게 산출하기 위해서는 직진및 회전차선이 분리되어야, 과포화에서 앞 막힘현상을 완화시킬 수 있는 최적의 신호주기를 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Moller, K., "Calculation of optimum Fixed-Time signal Programs Transportation and Traffic Theory." Proceedings of the Tenth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, July 8-10, MIT, USA, 1987.

[2] I.Okutani and Y.Stephanedes, "Dynamic Prediction of Traffic Volume through Kalman Filtering Theory", Trans. res. 18B (1984).

[3] Iwao Okutani, "The Kalman Filtering Approach in Some Transportation and Traffic Problems", Trans. and traffic theory, 1987.

[4] Norma Faris Hubele and Shing I. Chang, "Adaptive Exponentially Weighted Moving Average Schemes Using a Kalman Filter", ITE Transactions, vol. 22, no. 4, December, 1990.

[5] K. Astrom, "Maximum Likelihood and Prediction Error Methods", Automatica 16, pp. 551-574, 1980.

[6] 서울특별시 교통특성및 교통신호체계 현황, 서울특별시 신 교통신호체계 개발에관한 공개토론회, pp. 1-132, 도로 교통안전협회, 교통개발연구원

[7] TRB, Traffic Control in Oversaturated Street Networks. NCHRP Report 194, TRB, 1978

[8] 도철웅, "직진교통의 좌회전 차선 이용을 추정과 독립 교차로 용량 및 최적 신호등 시간 설정", 대한 교통학회지 vol. 1, no. 1.

[9] 윤항목, "교차로의 적정신호주기 결정을위한 해석적연구", 서울대학교 대학원 도시공학과, 1986

[10] 황상호, "과포화 신호교차로의 최대대기차량길이 추정알고리즘", 교통안전연구, 제 12권, pp. 158-169, 1993

[11] 조 형기, "신호등이 있는 교차로에서 대형차량의 승용차환산계수 산정에관한 연구", 아주대학교 교통공학과 석사학위논문, 1989

[12] 이현재, "1,2,3차년 용역결과를 중심으로한 신신호시스템 효율성 평가와 향후대책" 경찰청, 1994

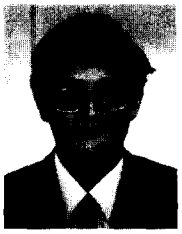
[13] 이승환, 조한선, 최기주, "단일 루프검지기를 이용한 차종분류 알고리즘개발", 대한교통학회지, 14권 1호, pp. 135-154

[14] 이상원 신경망을 이용한 인공지능, '소프트월드 (92년 5월호), 인포메이션 pp. 286-293, 1992

[15] 한국과학기술원, 신경회로망 시뮬레이션도구 및 환경개발, 연세대학교 전산학과 석사논문, 1992

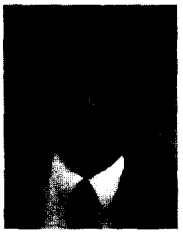
[16] M.Jamshidi,R.Kelsey, K.Bisset, "Traffic Fuzzy Control: Software and Hardware Implementations", Proc. 5th IFSA, pp. 907-910, Seoul, Korea, 1993.

저 자 소 개



홍 유 식(正會員)

1959년 6월 21일생. 1983년 2월 경희대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1989년 2월 뉴욕공과대학교 공과대학원 전산학과 졸업(공학석사). 1992년 2월 경희대학교 공과대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1989년 ~ 1990년 삼성전자 s/w 연구실 연구원. 1991년 3월 ~ 현재 상지대학교 전산학과 조교수. 관심분야 퍼지제어, 전문가 시스템, 신경망, 지능 교통신호등 신호주기결정



박 종 국(正會員)

1945년 2월 7일생. 1971년 2월 서울대학교 물리학과 졸업(이학사). 1975년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학 석사). 1979년 8월 연세대학교 전기공학과 졸업(공학 박사). 1987년 9월 ~ 1988년 8월 미국 오레곤 주립대학교 전기공학과 교환교수. 1980년 3월 ~ 현재 경희대학교 전자공학과 교수. 관심분야 로보틱스, 퍼지제어, 공장자동화