

퍼지 교통신호등

Fuzzy Traffic Signal Light

상지대학교 전산학과 한주 물산 (주) 동원대학교 정보통신과 경희대학교 전자공학과
홍유식, 김승훈, 김종수 김 순언 송 영덕 박 종국

요약

전자신호등도 갑작스러운 교통량의 증가나 감소 시에는 최적녹색시간을 산출할 수 없다. 그러므로, 이러한 문제점을 개선하기 위해서 각 교차로의 승용차대기시간, 평균차량속도를 Database에 저장한 후, 운전자가 최단경로를 인터넷상에서 검색하는 연구가 많이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 퍼지 규칙을 이용하여 최단경로검색 및 최적 녹색시간을 산출하는 알고리즘과 퍼지 교통 신호등 하드웨어를 제안한다.

Abstract

Electro sensitive traffic light can not be made Optimal green time there is a sudden increase or decrease in traffic volume. Therefore, to improve these problems using information saved from a database, which contains vehicle waiting time. We can compile the average wait time per vehicle. Today, drivers have the ability to search for the shortest path or route using the internet. In this paper we propose that searching for the shortest path algorithm and optimal green time, algorithm can be done best, by using the fuzzy traffic hardware.

I. 서론

교통현시 설계에 관한 연구는 1976년 Tolly가 Stoffen의 이론을 이용해서, 신호등의 일반 현시 조건을 만족하는 현시단계 순서를 발생하는 프로그램인 SQGN(Sequence generator)란 프로그램을 개발한 이후, 최적화 문제화 결부하여 교통 신호 현시 설계에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 차량이 적었던 1960년도에는 년별 월별 일별의 평균 차량수의 Data를 미리 입력 시켜서 제어하는 Time of day(T.O.D.)방식도 큰 문제가 없었으나, 요즘과 같이 제한된 도로 조건에서 나날이 증가되는 차량의 증가로 기존의 신호등은 이미 최적의 주기 신호를 생성하는 기능을 상실하였다[1-3]. 우리 나라는 과 포화시 가장 효율

적인 2 단계 신호를 채택하지 못하고 일률적으로 교차로의 대부분이 4단계 신호를 채택함으로써 교차로 혼잡이 계속되고 있다.

특히, 우리나라는 직진 차선과 우회전의 공용 차선으로 이용되기 때문에 이 차선에서 우회전 교통량이 많으면 직진 교통량이 적어지고 우회전 교통량이 적어지면 직진 교통량이 늘어나기 때문에 직진 신호의 최적주기를 신호하는데 어려운 현상이 생기게 된다[8-9]. 본 논문에서는 이러한 문제점을 퍼지규칙을 이용해서 최적주기를 생성함으로써, 인터넷에서 목적지까지 최단경로를 검색하여, 승용차 대기시간을 줄이고, 평균 주행속도로 향상하는 연구이다[4-7].

2.장에서는 차량검지원리를 살펴본다 3장에서는 최퍼지 단경로를 산출하는 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 인터넷에서 검색이 가능한 퍼지 교통신호등을 알아본다. 5장에서는 기존신호등과 교통신호등의 장단점을 비교한다.

II. 차량검지원리

루프검지기는 도로 위에 매설된 루프위의 검지영역을 통과할때 통과차량으로인한 인덕턴스의 변화를 감지하여 차량의 유,무,속도를 검지한다. 루프검지기는 도로위에 매설된 2-4회의 회전수를 가진 루프로 형성된 검지영역과 검지장치, 그리고 도입케이블 로 구성되어있다. 즉, 루프시스템에서는차량이 통과 하지않을경우에는, 도로위에 매설된 루프코일과 인입선까지의 루프케이블에 일정한 인덕턴스에 비례하는 자속이 발생한다.

즉, 루프위에 차량이 통과할 경우에는 루프에 형성된 자장으로 차량과 루프사이에는 자속(Magnetic Flux)의 변화가 생긴다. 그러므로 차량이 통과하지않을때에는 루프검지부는 일정한 인덕턴스 (Lnv)값을 갖게되고 차량이 통과하는 경우 차량과 루프 검지부와 상호작용하여서 인덕턴스(ΔL_v)변화가 일어난다. 이 인덕턴스의 변화에 따라서 차량의 존재유무, 통과속도등을 알 수 있다.

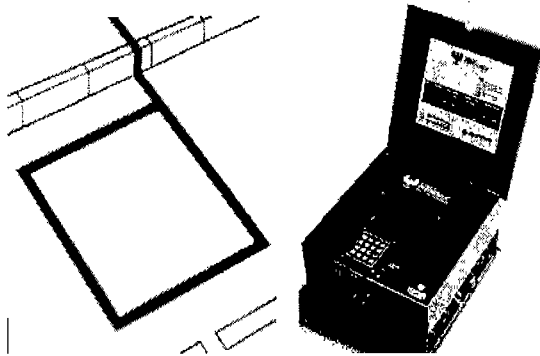


그림 1. 루프검지기 및 설치도

Fig.1. Loop detector and block-diagram of establishment

2-1 인덕턴스 값의변화

일반적으로 도체나 도선에 전류가흐르면 도체

에 자속(Flux)이 발생하며 자장 (Magenetic Field)이 형성된다. N개의 회전수를 가진 루프 인경우 전류가흐르는 자장의세기는 회전수와 전류의 크기에 비례하며 단면적 길이에 반비례하는 관계식으로 나타난다.

$$H = \frac{N * I}{L}$$

여기서,

H: 자장의세기 (ATM : Ampere turns per M)

I: 코일전류 (A: Amphere)

N: 코일회전수 (T:turns, L: 코일, 단면적길이 M)

L: 코일단면적길이 (M)

코일내에 발생하는 자속의양은 자속밀도와 코일의 단면적에 비례하는 특성을 이용하여 그림 1과 같은 루프검지기를 이용하여 교통량을 파악할 수 있다.

$$\phi = B A$$

여기서,

ϕ : 자속(W: Webers)

B: 자속밀도(Tesla :Webers per M²)

A: 코일단면적 (m²)

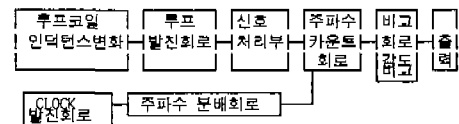


그림 2. 루프검지기 블럭다이어그램

Fig. 2. Block diagram of loopdetector

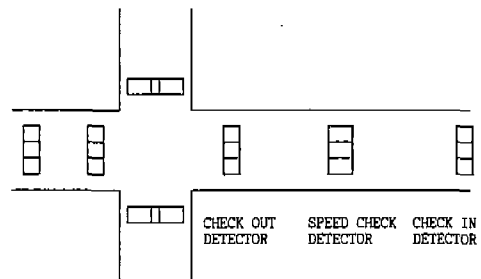


그림 3. 루프 검지기를 이용한 교통정보

Fig. 3. Traffic information using loop detector

$$G_j(t+1) = a \times G_j(t) + (1-a) \times G_j(t-1) - K \times N(t)$$

여기서

a : 지수 평활계수

k : Backward 연동제어 파라메타

$$N(t) = \sum_{t=1}^n (V_i(t) - D_i(t))$$

$N(t)$ = 누적잔류차량대수
 G_j : j 교차로 해당방향 녹색시간
 $V_i(T)$: i 링크에서의 유입교통량(대/주기)
 $D_i(T)$: 검지기의 유출교통량(대/주기)

그림 2 에서 보는 것과 같이 Check in detector를 진입한 차량은 Check out detector를 통과하면서 통과 차량 대수와 차량 속도를 정확하게 알 수 있다.

교통 예측 모형을 개발하는 데 있어서 Box-Jenkins Process 에 Moving Average를 적용한 예측 모형은 그림 3 과 같으며, 이 모형에서 활용한 기법은 "Kalman Filtering"에서 고려한 것과 유사하게 "Recursive" 알고리즘을 구현 하였다. 이러한 교통 예측모형은 최적신호주기 및 우회경로를 설계하는 데에 이용되고 있으나, 정확한 교통량을 예측하기 위해서 현시-1에서 현시-10 까지의 교통정보를 저장하는데 많은 메모리를 필요로하는 단점이있다.

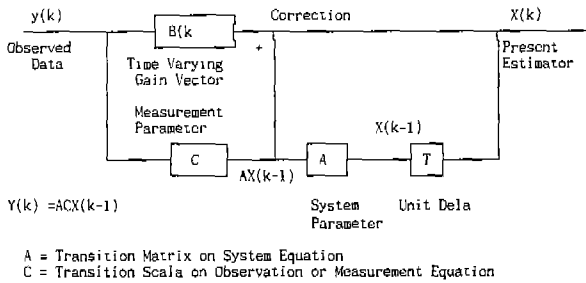


그림 3 Kalman Filter기법을 이용한 교통량 예측
Fig.3 Estimation of traffic volumes using kalman filter technique.

III. 최단 경로

만약, 잠실 경기장에서 야구경기가 오후 7시에 열린다고 가정하면 오후 6시에서 오후 8 시경 명동과 잠실 경기장의 인근교차로 10 개는, 급변하는 교통량의 변화에 따라서 녹색시간주기를 연장하거나 단축 시켜야 할 것이다.

본 논문에서는 차량속도, 포화교통량, 출발지연 시간등을 입력한후, 10 개 교차로의 특성에 맞는 최적의 녹색신호주기를 생성함으로써, 최단 경로를 선택함으로써, 그림 4에서 보는 것과 같이 출발지에서 목적지까지 승용차대기시간을

줄이고, 평균 주행속도를 향상하기 위한 연구이다. 각 교차로는 ①번에서, ⑥번으로 표시되며 각 화살표 위의 숫자는 출발 지연시간 횡수를 나타내고 있다.

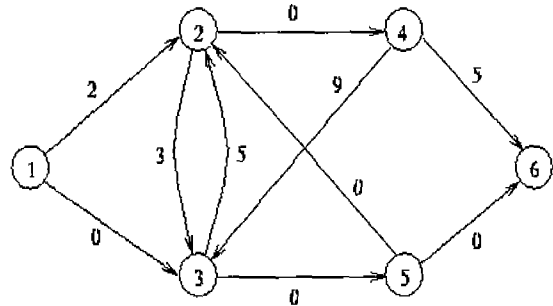


그림 4. 최단경로를 이용한 최적녹색시간
Fig. 4. Optimal green time using shortest path

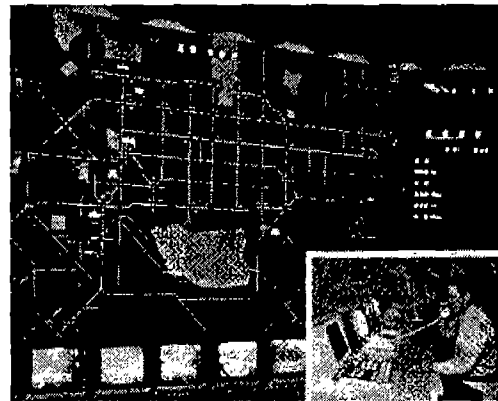


그림 5. 폐쇄회로 카메라를 이용한 실시간 교통상황
Fig. 5. Real time traffic situation using C.C.D. camera

```

Dictionary shortestPaths(Node root)
{
  Dictionary SP; // The cost/previous pairs
  Dictionary Est; // Estimated "
  Node next; // The next node to add to SP
  Node neighbor; // Neighbors of next;
  int distance; // The distance to the current node.
  int newdist; // Potential new distance to neighbor

  // Initialize Est.
  Est.put(root, new Pair(0,null));
  Iterator node = allNodesInCurrentGraph();
  while (nodes.hasMoreElements()) {
    next = nodes.nextElement();
    if (!next.equals(root)) {
      Est.add(next, new Pair(MAXPATH+1,null));
    }
  }
}

void ai_short()
{

```

```

trf[ 1][ 7] = 5; trf[ 2][ 7] = 29; trf[ 3][ 8] = 14; trf[4][13] = 10;
trf[5][26] = 12; trf[ 6][19] = 22; trf[ 7][ 8] = 7; trf[ 8][ 9] = 15;
trf[ 9][10] = 24; trf[ 9][12] = 10; trf[ 9][17] = 8; trf[10][11] = 32;
}
/* A.I. - Short Path Algorithm */
printf(" start "); scanf("%d", &start);
for (k=1;k<=N; k++)
{
speed[k]=M; /* Average vehicle speed */
v[k]=0; /* Confirm Flag */
}
speed[start]=0;
index[start]=0; /* shortest distance */

struct FL {
char from[20];
char to[20];
int distance;
char skip; /* used in backtracking */
};

setup();
printf("from? ");
gets(from);
printf("to? ");
gets(to);
isflight(from,to);
route(to);
}

```

IV. 퍼지 교통신호등

본 논문의 퍼지 제어의 개념은 다음과 같다.

- (1) 먼저 10개의 교차로를 3*3개 단위로 분할하여 포화 교통량, 누적차량대수,연동계수를 파악한다.
- (2) 현시의 통과차량을 파악하기 위해서 check-in dtr1의 차량의합과 check-out dtr2의 차량의 동계수를 산출함으로서 최적의 녹색주기를 생성한다. 단, 직진차선에 진입한 회전차량의 수는 예측하기 어려우므로 (현시-1)의 값을 합을 뺀다.
- (3) 교차로에서의 최적주기를 생성 하기위해서 교차로의 형태, 승용차 대기시간 고려해서 연사용한다.
- (4) 교차로의 상위 검지기 및 하위검지기의 점유도가 모두 On 이고, 누적차량의 대수가 high 이면 교차로는 포화상태이므로 각 교차로의 출발 손실시간을 산출하여 교차로의 데이터베이스에 저장한다.
- (5) 예상 통과차량(op) 및 예상 통과시간(os)를 산출한후 최적 녹색시간을 산출한다. 최단경로 알고리즘을 이용해서 목적지까지의 최적의 경로를 검색한다.
- (6) 기존의 신호등은 신호주기가 끝나고 다음현시로 바뀌때에 단지 황색신호를 3-5초의 간격으로 점멸하고 바뀜으로 운전자가 진행을 해야될지, 안될지를 결정을 못해서 당황하게된다.

그러므로 본논문에서는 이러한 현상을 없애기 위해서 신호바뀌기 5초전에 남은신호를 sign board를 이용해서 표시해주고,또,충신호의시간을 a,b,c,의 고,중,저의 3가지 level로 표시해준다.

우리나라와 같이, 직진 및 회전차선을 혼용으로 사용하고 있는 경우에는 루프감지기를 이용하여 차량대수를 감지할 경우 정확한 직진차량의 수와 회전차량의 수를 파악하기가 어렵다.

표1.과 표2. 는 교차로의 형태가 5 거리, 3 거리, 4 거리, 2 거리 등의 다양한 교차로 형태 및 회전 보정계수를 퍼지규칙으로 산정하여 최적 녹색시간을 산출 할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 이를 해결하기위해서 다음과같은 퍼지 규칙을 사용하였다.

IF	DTC	IS	HIGH	ELSE	DTC	IS	SMALL
AND	STN	IS	MED	AND	STN	IS	MED
AND	TPN	IS	HIGH	AND	TPN	IS	SMALL
AND	SAT	IS	SMALL	AND	SAT	IS	SMALL
THEN	OP	IS	MED	THEN	OP	IS	BIG
	OS	IS	SMALL		OS	IS	BIG

여기서,

- DTC 는 교차로형태 보정 계수
- STN는 직진 및 회전 보정계수
- TPN 는 예상 통과 차량수
- SAT 는 도로 포화상태
- OP 는 예상 통과 차량 대수
- OS 는 예상 통과 차량 시간

결정조건 CYT_TIME 은

$$CYT = STN*TPN(TOPQ_NO * DTC) - STN*TPN(BTMQ_NO * DTC) * (OP + OS)$$

여기서, TOPQ_NO 는 루프디텍터를 진입한 자동차 대수
BTMQ_NO는 루프디텍터를 통과한 자동차 대수

V. 결론

본 논문의 퍼지 인공지능등은, 각 차선에 loop detector, counter, 무게 센서 속도 센서 장치를 설치함으로서 각 교차로에서의 예상 차량의 대수 및 예상 차량 속도를 파악해서 최적의 주기를 생성함으로써 승용차 대기시간을 단축하려는 연구이다.

fuzzy rule base로 학습된 최적 주기 데이터와 통과 차량수 누적차량수, 포화상태, 통과차량속도, 오프셋등을 고려해서 출발지에서 목적지까지 도착하는 최단경로를 구할 수 있다.

그러므로, 본 논문에서는 교통체증이 심할 경우 매 5 분단위로 교차로 10개의 교통상황을 보고해주며 각 교차로 의 차량 흐름에 따라서 최적의 녹색신호 주기를 생성함으로서 승용차대기시간을 단축시키고 최단거리를 검색하여 포화화를 예방하는 연구이다.

표1. 교차로 조건에 따른 퍼지 보정 계수

Table1.Fuzzy conversion factor depending on traffic intersection conditions

교차로 형태	5 거리			3 거리		2 거리	
	+1	-2	-4	+2	2	+2	-1
	1.20	0.80	0.60	1.20	0.80	0.90	0.60

표 2. 직진 및 회전차량에 따른 퍼지 보정 계수

Table 2. Fuzzy conversion factor depending on Turn and straight cars

직진, 회전비율	10	20	40	60	80	90
	0.57	0.60	0.65	0.74	0.86	0.95

표3. 고정신호등과 퍼지 신호등 녹색시간 비교

Table3. Comparisons between fuzzy traffic light of green time and T.O.D. traffic light

상위교차로 포화상태	교차로 형태	직진 및 회전차선 비율	하위교차로 포화상태	동과 차량	차량 속도 (KM/H)	기존 신호	퍼지 신호
13(68%)	4	17(30%)	29%	6	33	-11	-2.5
15(93%)	3	14(48%)	48%	3	21	-14	-6
11(91%)	5	12(85%)	82%	8	31	-3	+4
06(30%)	2	15(61%)	58%	12	25	+9	+15
11(51%)	5	16(52%)	54%	5	13	-13	+3
16(60%)	4	17(65%)	73%	11	10	-6	+4
21(72%)	2	18(61%)	78%	11	17	-3	+3
26(91%)	2	09(93%)	89%	4	20	+12	-2
15(45%)	4	28(83%)	83%	12	29	+19	+13
07(30%)	3	12(45%)	46%	16	31	+13	+9

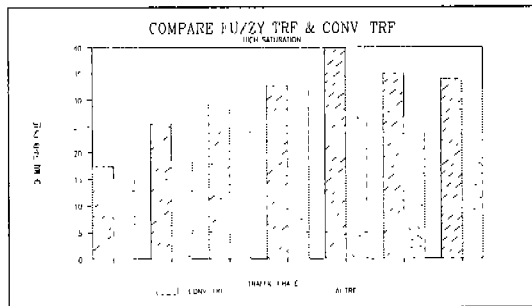


그림 6. 기존신호등과 인공지능신호등 승용차 대기시간 비교

Fig. 6. Comparisons between fuzzy traffic light of waiting time and conventional traffic light

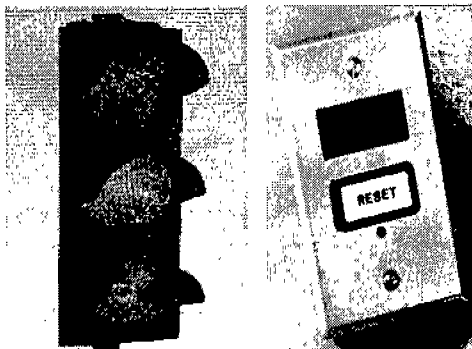


그림 7. 개선된 교통신호 신호등

Fig. 7 Improving traffic signal light

교차로의 직진 및 우회전 혼용 차선의 회전보상계수 값과 교차로의 도로조건에 따른 보상계수를 산출해야 과포화시에 앞 막힘을 예방 함으로서 그림 6에서 보는 것과 같이 승용차 대기시간을 35 % 이상 줄일 수 있음을 확인했다.

그림 7. 은 갑작스러운 차량의 증가나 감소시에 녹색 시간이 변화하는 퍼지 신호등의 잔여시간(초)을 LED로 표시하여 줌으로서 운전자가 다음 신호주기로 변환되는 간격을 미리 예측하여 과포화시에 발생하는 앞 막힘 현상을 예방할 수 있도록 하였다.

뿐만 아니라, 교통량을 예측하는 시뮬레이션 프로그램, 목적지 도착예상시간과 최적경로, 우회도로, 주유소, 음식점을 안내해주는 모의프로그램의 통합화는 1-3 시간 의 교통량을 미리 예측하여 운전자에게 최적의 도로교통 서비스를 제공해 줄 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Allsop, R.E.: Delay at a Fixed Time Traffic signal. I: Theoretical Analysis, Transp. Sci., 6(3), pp.260-285, 1972
- [2] K.G. Courage and S.M. Parapar, "Delay and Fuel consumption at Traffic Signals", Traffic Engineering, Vol.45, Nov. pp.23-27, 1975
- [3] Werner Brilon and Ning Wu: Delay at Fixed Time Traffic Signals under Time Dependent Traffic conditions, Traffic Engng. Control, 31(12), pp.623-631, 1990.
- [4] C.P. Pappis, E.H. Mamdani, "A Fuzzy Logic Controller for a Traffic Junction", IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., 7(10), 707-717, 1977.
- [5] M. Jamshidi, R. Kelsey, K. Bisset, "Traffic Fuzzy Control, Software and Hardware implementations", Proc. 5th IFSA, pp.907-910, Seoul, Korea, 1993.
- [6] R. Hoyer, U. Jumar, "Fuzzy Control of Traffic Lights", Proc. 3rd IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp.1526-1531, Orlando, U.S.A., 1994.
- [7] Hong, YouSik and Park, ChongKug, "Considering Passenger Car Unit of Fuzzy Logic", Proc. of the sixth international fuzzy system association, IFSA, 1995, pp.461-464
- [8] Moller, K., "Calculation of optimum Time signal Programs Transportation and Traffic Theory." Proceedings of the Tenth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, July 8-10, MIT, USA, 1987
- [9] Miller, A.J. Settings for Fixed-Cycle Traffic Signals, Oper. Res. Q., 14, pp. 373-386, 1963
- [10] TRB, Traffic Control in Oversaturated Street Networks. NCHRP Report 194, TRB, 1978
- [11] Nagui M. Roupail and Rahmi Akcelik, "Oversaturation Delay Estimates With Consideration of Peaking", Paper No.920047, Transportation Research Board 71st Annual Meeting, January 1992.
- [12] James A. Bonneson, "Modelling Queued Driver Behavior at Signalized Junctions", Paper No.920105, Transportation Research Board 71st Annual Meeting, January 1992.