

퍼지 교통 신호등

Fuzzy Traffic Signal Light

홍유식* · 김승훈* · 김종수* · 박종국**

You-Sik Hong, Seung-Hun Kim, Chong-Soo Kim, and Chong-Kug Park

* 상지대학교 전자계산공학과

** 경희대학교 전자공학과

요 약

전자교통신호등은 차량이 교차로에 많을 때에는 교통신호주기를 연장할 수 있고, 교차로에 차량이 적을 경우에는 교통신호주기를 단축할 수 있다. 그러나, 요즈음과 같이 교통체증이 많아서 평균주행속도가 10Km - 20Km 일 때에는 전자신호등의 기능을 수행할 수 없다. 본 논문에서는 퍼지 규칙을 이용하여 최단경로검색 및 최적 녹색시간 알고리즘을 제안한다. 컴퓨터 모의실험결과 앞 막힘 현상이 발생하는 경우에도 평균 승용차대기시간 및 평균주행속도를 10% - 32% 가량 개선시킬 수 있음을 입증하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a new concept of optimal shortest path algorithm which reduce 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 traffic road or it can reduce the traffic cycle when there are small vehicles in the traffic road. But electro sensitive traffic light system doesn't controle that kind of function when average vehicle speed is 10km - 20km. In this paper we propose that searching for the shortest path algorithm and optimal green time algorithm using the fuzzy rules. Computer simulation result proved 10% -32% improving average vehicle waiting time and average vehicle speed in case of spillback.

Key Words : Optimal Green Time, Spillback , Shortest Path Algorithm

1. 서 론

마침내, 우리 나라 자동차 보유대수가 97년 7월 15일자 이후로 1, 000만대를 돌파했다. 이 땅에 자동차가 최초로 도입된 1903년 교통황제의 캐딜락 이래 94년만 이고, 지난 85년 5월 100만대를 넘어선 후 12년만에 10 배가 폭증한 것이다. 서울의 교통난은 80년대 초반까지는 출퇴근 시간대를 제외하고는 시속 25~30km를 유지해왔지만 90년대들어 21.6 9km로 푹 떨어졌다고 한다. 최근에 조사된 서울 도심의 평균주행속도는 시속 16.44km (출퇴근시간 시속 12.98km)이지만 2001년엔 운행포기속도인 10km이하로 떨어질 것으로 예상된다고 하니 정말로 심각한 상태이다.

교통현시 설계에 관한 연구는 1976년 Tolly가 Stoffen의 이론을 이용해서, 신호등의 일반 현시조건을 만족하는 현시단계 순서를 발생하는 프로그램인 SQGN (Sequence generator)란 프로그램을 개발한 이후, 최적화 문제화 결부하여 교통신호 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[1-5]. 우리 나라는 과 포화시 가장 효율적인 2 단계 신호를 채택하지 못하고 일률적으로 교차로의 대부분이 4단계 신호를 채택함으로써 교차로 혼잡이 계속되고 있다. 특히, 우리 나라는 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[6-9]. 본 논문에서는 이러한 문제점을 퍼지 규칙을 이용해서 최적주기를 생성함으로써, 인터넷에서 목적지까지 최단경로를 검색하여, 승용차 대기시간을 줄이고, 평균 주행속도로 향상하는 연구이다[9-13]. 2장에서는 차량검지원리를 살펴본다. 3장에서는 최단경로를 산출하는 알고리즘을 소개하며, 4장에서는 인터넷에서 검색이 가능한 퍼지교통신호등을 알아본다. 5장에서는 기존신호등과 교통신호등의 장단점을 비교한다.

접수일자 : 2000년 11월 18일

완료일자 : 2001년 01월 15일

2. 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, 루프 시스템에서는차량이 통과 하지 않을경우에는, 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 통과하는경우 차량과 루프 검지부와 상호작용하여서 인덕턴스(ΔLv)변화가 일어난다. 이 인덕턴스의 변화에 따라서 차량의 존재유무, 통과속도등을 알 수 있다.

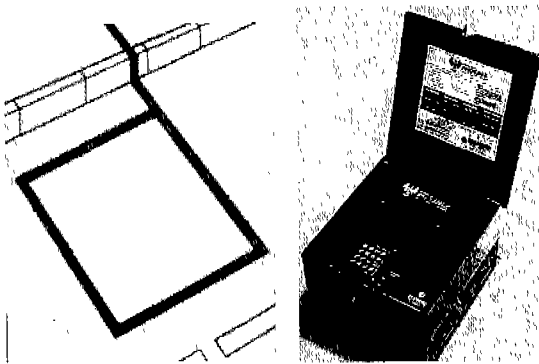


그림 1. 루프검지기및설치도
Fig.1. Loop detector and block-diagram of establishment

2.1 인덕턴스 값의변화

일반적으로 도체나 도선에 전류가 흐르면 도체에 자속(Flux)이 발생하며 자장 (Magenetic Field)이 형성된다. N개의 회전수를 가진 루프인 경우 전류가 흐르는 자장의세기는 회전수와 전류의 크기에 비례하며 단면적 길이에 반비례하는 관계식으로 나타난다.

$$H = \frac{N \cdot I}{L} \tag{1}$$

여기서 H: 자장의세기 (ATM:Ampere turns per M), I:코일전류(A: Amphere), N:코일회전수(T:turns, L: 코일, 단면적길이 M), L:코일 단면적길이 (M)이다.

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

$$\phi = BA \tag{2}$$

여기서, ϕ 는 자속(W: Webers), B는 자속밀도(Tesla :Webers/m²), A는 코일단면적 (m²)이다.

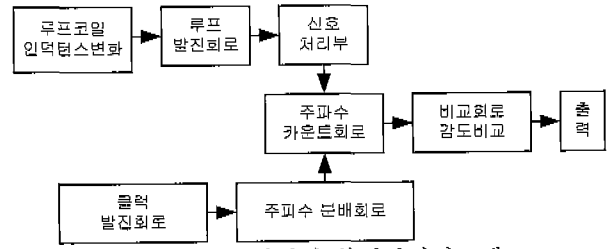


그림 2. 루프검지기 블럭다이어그램
Fig. 2. Block diagram of loopdetector

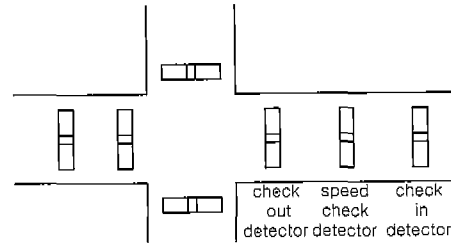


그림 3. 루프 검지기를 이용한 교통정보
Fig. 3. Traffic information using loop detector

$$G_j(t+1) = aG_j(t) + (1-a)G_j(t-1) - KN(t) \tag{3}$$

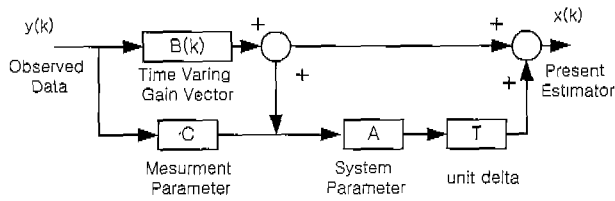
여기서 a는 지수 평활계수, K는 Backward 연동제어 파라메타이며, G_j는 j교차로 해당방향 녹색시간이며, N(t)는 누적잔류차량대수로서 다음과 같다.

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

또한 V_i(t)는 i 링크에서의 유입교통량(대/주기)이며 D_i(t)는 검지기의 유출교통량(대/주기)이다.

그림 3에서 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 4와 같으며, 이 모형에서 활용한 기법은 "Kalman Filtering"에서 고려한 것과 유사하게 "Recursive" 알고리즘을 구현 하였다. 이러한 교통 예측모형은 최적신호 주기 및 우회경로를 설계하는 데에 이용되고 있으나, 정확한 교통량을 예측하기 위해서 현시-1에서 현시-10까지의 교통정보를 저장하는데 많은 메모리를 필요로 하는 단점이있다.



A = Transition matrix on System Equation
 B = Transition Scala on Observation or Measurement Equation

그림 4. Kalman Filter기법을 이용한 교통량 예측
 Fig 4. Estimation of traffic volumes using kalman filter technique.

3. 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, 출발지연시간 등을 입력한 후, 10 개 교차로의 특성에 맞는 최적의 녹색신호주기를 생성함으로써, 최단경로를 선택함으로써, 그림 5에서 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.

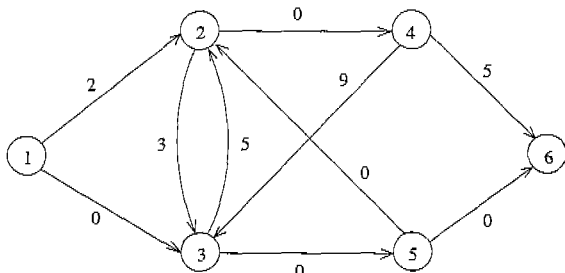


그림 5. 최단경로를 이용한 최적녹색시간
 Fig. 5. Optimal green time using shortest path

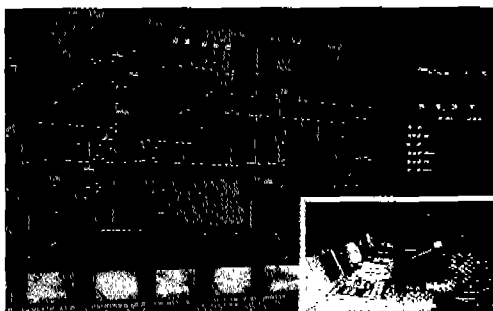


그림 6. 폐쇄회로 카메라를 이용한 실시간 교통상황
 Fig. 6. Real time traffic situation using C.C.D. camera

```
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);
}
```

4. 퍼지 교통신호등

본 논문의 퍼지제어의 개념은 다음과 같다.

- (1) 먼저 10개의 교차로를 3*3개 단위로 분할하여 포화 교통량, 누적차량대수,연동계수를 파악한다.
- (2) 현시의 통과차량을 파악하기위해서 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 점지기및 하위점지기의 점유도가 모두 On 이고, 누적차량의 대수가 high 이면 교차로는 과포화 상태이므로 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 바뀔때에 단지 황색신호를 3-5초의 간격으로 점멸하고 바뀔때에 운전자가 진행을 해야될지, 안될지를 결정을 못해서 당황하게된다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 현상을 없애기 위해서 신호가 바뀌기 5초전에 남은 신호를 sign board를 이용해서 표시해주고, 충신호의 시간을 a,b,c,의 고, 중, 저의 3가지 level로 표시해준다.

우리 나라와 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 오거리, 삼거리, 사거리, 이거리 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
    
```

여기서에서 DTC 는 교차로형태 보정 계수, STN 는 직진 및 회전 보정계수,TPN 는 예상 통과 차량수, SAT 는 도로 포화상태, OP 는 예상 통과 차량 대수, OS 는 예상 통과 차량 시간이다.

결정조건 CYT_TIME 은 다음과 같다.

$$CYT_TIME = STN \times TPN(TOPQ_NO \times DTC) - STN \times TPN(BTMQ_NO \times DTC) \times (OP + OS)$$

여기서, TOPQ_NO는 루프디텍터를 진입한 자동차

대수 BTMQ_NO는 루프디텍터를 통과한 자동차 대수이다.

표1. 교차로 조건에 따른 퍼지 보정 계수

Table1.Fuzzy conversion factor depending on traffic intersection conditions

교차로 형태	오거리			삼거리		이거리	
	+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,회전 비율	10	20	40	60	80	90
		0.57	0.60	0.65	0.74	0.86

표 3. 고정신호등과 퍼지 신호등 녹색시간 비교

Table 3. Comparisons between fuzzy traffic light of green time and T.O.D. traffic light

상위 교차로 포화상태	교차로 형태	직진 및 회전차선 비율	하위교차로 포화상태	통의 차량	차량 속도 (KM/H)	기준 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
08(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

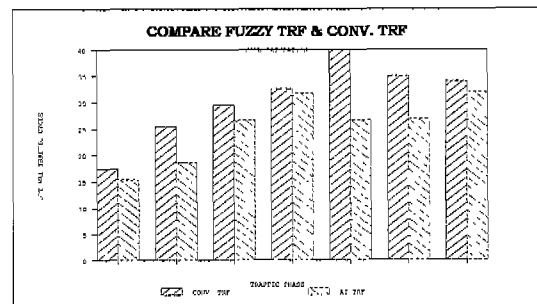


그림 7. 기존신호등과 인공지능신호등 승용차 대기시간 비교

Fig. 7. Comparisons between fuzzy traffic light of waiting time and conventional traffic light

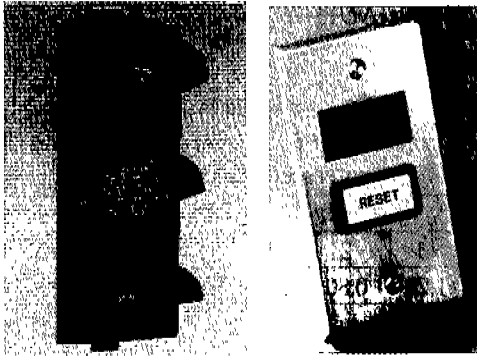


그림 8. 개선된 교통신호 신호등
Fig. 8 Improving traffic signal light

교차로의 직진 및 우회전 혼용 차선의 회전보상계수값과 교차로의 도로조건에 따른 보상계수를 산출해야 과포화시에 앞 막힘을 예방 함으로서 그림 7에서 보는 것과 같이 승용차 대기시간을 35% 이상 줄일 수 있음을 확인했다.

그림 8. 은 갑작스러운 차량의 증가나 감소시에 녹색시간이 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 시간의 교통량을 미리 예측하여 운전자에게 최적의 도로교통 서비스를 제공해 줄 수 있을 것이다.

5. 결론

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

fuzzy rule base로 학습된 최적 주기 데이터와 통과차량수, 누적차량수, 포화상태, 통과차량속도, 오프셋 등을 고려해서 출발지에서 목적지까지 도착하는 최단경로를 구할 수 있다.

그러므로, 본 논문에서는 교통체증이 심할 경우에 매 5분단위로 교차로 10개의 교통상황을 보고해주며 각 교차로의 차량 흐름에 따라서 최적의 녹색신호 주기를 생성함으로써 승용차대기시간을 단축시키고 최단거리를 검색하여 과포화를 예방하는 연구이다.

참고 문헌

[1] 일반 교통신호 제어기 규격서, 경찰청, 1992.
[2] 김홍상, "교통량 측정을 위한 감지기의 단시간 사용법," 한국 도로공사, 1990.12.26, PP.98-112
[3] 한승춘, 화상검지기에 의한 신호교차로 교통특성 분석, 아주대학교 공학석사학위 논문, 1992.8
[4] 이승환, "우리나라의 전자교통신호시스템 개선방향" 한불산업정보, 제8권2호, 1990, PP.3-7

[5] 이현재, "1,2,3차년 용역결과를 중심으로한 신신호 시스템 효율성평가와 향후대책" 경찰청,1994,1,25
[6] Allsop,R.E.:Delay at a Fixed Time Traffic signal :TheoreticalAnalysis,Transp.Sci.,6(3),pp.260-285, 1972
[7] K.G. Courage and S.M. Parapar, "Delay and Fuel consumption at Traffic Signals", Traffic Engineering,Vol.45, Nov. pp.23-27, 1975
[8] Werner Brilon and Ning Wu: Delay at Fixed Time Traffic Signals under Time Dependent Trafficconditions,Traffic.Engng.Contol,31(12),pp.623-631,1990.
[9] 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.
[10] 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
[11] Moller, K. , "Calculation of optimum Time signal Programs Transportation and Traffic Theory." Proceedings of the 10th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, July 8-10, MIT, USA, 1987
[12] 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
[13] Nagui M. Roupail and Rahmi Akcelik, "Oversaturation Delay Estimates With Consideration of Peaking", Paper No.920047, Transportation Research Board 71st Annual Meeting, January 1992.

저자 소개



홍 유 식 (You-Sik Hong)

1984년 경희대학교 전자공학과
1989년 뉴욕공과대학교 전산학과
1997년 경희대학교 전자공학과(공박)
1985-1987년 : 대한항공(N.Y.지점근무)
1989-1990년 : 삼성전자 종합기술원 연구원

1991-현재 : 상지대학교 전자계산공학과 부교수
2000- 현재 : 한국인터넷 정보학회 학회지 편집위원
2000- 현재 : 한국 정보과학회 논문지 편집위원
2000- 현재 : 한국 퍼지 및 지능시스템 학회 협동이사
주관심분야 : 퍼지시스템, 전문가시스템, 신경망, 교통 제어



김 승 훈 (Seung-Hoon Kim)

1985년 인하대 전자계산학과 학사
1989년 인하대 전자계산학과 석사
1998년 포항공대 전자계산학과 박사
1989-1990년 한국전자통신연구소연구원
1991-1993년 (주)포스텍 대리
1998-현재 : 상지대학교 전자계산공학과 조교수

주관심분야 : 초고속통신망, 알고리즘

김 종 수 (Chong-Soo Kim)

1985년 : 경희대 전자공학과 졸업
1987년 : 경희대 대학원 전자공학과 졸업
1997년 : 경희대 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1992년 - 현재 : 상지대학교 전자계산공학과 부교수

주관심분야 : 지능제어, 로봇제어, 퍼지 및 유전자 알고리즘



박 종 국 (Chong-Kug Park)

1971년 서울대 물리학과 졸업 (학사)
1975년 연세대 전자공학과 졸업(석사)
1979년 연세대 전자공학과 졸업(박사)
1987-1988년 : 오레곤 주립대 교환교수
1980년 - 현재 : 경희대학교 전자공학과 교수

1999년 - 현재 : SICE 재무 이사
2001년 경희대학교 공과대학 학장

관심분야 : 로보틱스, 공장자동화, 적응제어, 퍼지이론