

실시간 퍼지 시간논리구조를 이용한 교차로 네트워크의 모델링과 제어

Modeling and Control of Intersection Network using Real-Time Fuzzy Temporal Logic Framework

김진권*, 김정철, 이원혁
(Jin-Kwon Kim, Jung-Chul Kim, and Won-Hyok Lee)

Abstract : This paper deals with modeling method and application of Fuzzy Discrete Event System(FDES). FDES have characteristics which Crisp Discrete Event System(CDES) can't deals with and is constituted with the events that is determined by vague and uncertain judgement like biomedical or traffic control. We proposed Real-time Fuzzy Temporal Logic Framework(RFTLF) to model Fuzzy Discrete Event System. It combines Temporal Logic Framework with Fuzzy Theory. We represented the model of traffic signal systems for intersection to have the property of Fuzzy Discrete Event System with Real-time Fuzzy Temporal Logic Framework and designed a traffic signal controller for smooth traffic flow. Moreover, we proposed the method to find the minimum-time route to reach the desired destination with information obtained in each intersection. In order to evaluate the performance of Real-time Fuzzy Temporal Logic Framework model proposed in this paper, we simulated unit-time extension traffic signal controller model of the latest signal control method on the same condition.

Keywords : Crisp Discrete Event System(CDES), Fuzzy Discrete Event System(FDES), fuzzy theory, Real-time Fuzzy Temporal Logic Framework(RFTLF), traffic system, intersection network

I. 서론

모호한 사건과 명확하지 않은 상태천이를 가지는 이산사건시스템의 고유특성을 나타내기 위해 퍼지개념을 도입한 퍼지사건과 퍼지상태로써 시스템을 구현한 경우, 이러한 시스템을 퍼지 이산사건시스템(Fuzzy Discrete Event System, FDES)이라고 규정하고 기존의 이산사건시스템을 일반적 이산사건시스템(Crisp Discrete Event System, CDES)[1]이라고 하여 구별하였다. 또한, 퍼지 이산사건시스템을 모델링하기 위하여 기존에 연구되었던 모델링 방법들 중에 복잡하거나 대규모 시스템을 모델링하기에 매우 적합한 시간논리구조와 시스템에서 발생되어지는 상태와 사건의 불확실하고 애매한 성질을 수치적으로 표현하기 위한 퍼지이론을 접목시켜 새로운 방법인 실시간 퍼지 시간논리구조(RFTLF)을 제안하였다. 대표적인 퍼지 이산사건시스템인 교통 제어시스템의 교차로 교통신호기를 실시간 퍼지 시간논리구조를 이용하여 모델링하고 교차로의 신호 유지시간을 제어하기 위해 퍼지시스템을 설계하여 보다 효과적인 방법으로 교차로의 교통상황을 제어 할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 퍼지 이산사건 시스템에 대한 자세한 설명을 하였으며, 3장에서는 본 논문에서 제안한 실시간 퍼지 시간논리구조를 정의하고, 퍼지 이산사건시스템의 특성을 가지는 교통시스템을 실시간 퍼지 시간논리구조

로 4장에서 모델링하였다. 5장에서는 단일 교차로 모델에 대한 시뮬레이션 결과를 고찰하고, 6장에서 결론을 서술하였다.

II. 퍼지 이산사건시스템

불규칙적이지만 단순하고 명확히 구분되는 사건과 그에 따라 분명한 상태변화를 가지는 일반적 이산사건 시스템이 대부분의 응용분야에서 널리 사용되어지고 있지만, 몇몇 중요하고 특수한 분야에서 이러한 일반적 이산사건시스템의 적용이 부적합한 것을 알 수 있다. 즉, 인간의 건강진단 시스템과 같은 의학적인 분야나 원활한 교통제어를 위한 교통시스템 등에서 상태들의 천이가 고려될 때 결정을 내리기 위한 판단의 근거가 불확실하고 모호하게 될 수밖에 없고, 상태 천이에 뒤따른 결과 역시 명확하지 않게 된다. 이런 성질들은 일반적 이산사건시스템에서 발생하는 사건과 상태들이 가지는 특성만으로는 표현에 한계가 있다.

따라서 일반적 이산사건시스템이 가지고 있는 단점을 보완하고 더욱 다양한 응용분야에 이산사건시스템을 적용하기 위하여 퍼지이론을 도입할 수 있다.

1. 퍼지사건, 퍼지상태

퍼지이론은 '그렇다' 또는 '아니다'로 나타내는 이치논리(two-level)가 아니라 더 구체적으로 나타내는 다치논리(multi-level)이다. 예를 들면 '젊다'를 단순히 이치논리로 생각한다면 '예'와 '아니오'로 나타낼 수 있으며 '예'는 '1'로, '아니오'는 '0'으로 나타낸다면 '1'은 젊고 '0'은 젊지 않다는 의미이다. 그러나 실제적으로는 매우 젊다, 젊다, 늘 그막하다, 늙다 등 여러 단계가 존재한다. 이처럼 여러 단계를 고려하자는 것이 퍼지 이론의 주요내용으로 퍼지 이

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2007. 1. 25., 채택확정 : 2007. 2. 17.
김진권, 이원혁 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부
(jinpang@wonkwang.ac.kr/control1@wonkwang.ac.kr)
김정철 : 전북대학교 메카트로닉스학과(chul7@wonkwang.ac.kr)

론은 사람의 주관을 수치화하는 수단을 제공하는 이론이라 할 수 있다[2]. 이러한 퍼지이론을 적용한 퍼지사건과 퍼지상태로써 퍼지 이산사건시스템을 구현할 수 있다.

III. 실시간 퍼지 시간논리구조

본 논문에서 제시한 퍼지 이산사건시스템을 모델링하기 위해서는 기존의 모델링 방법이 아닌 새로운 방법이 필요하다. 따라서, 시각적인 표현이 미흡하지만 복잡하고 대규모 시스템을 모델링하기에 매우 적합한 시간논리구조와 퍼지이론을 접목시킨 새로운 방법인 실시간 퍼지 시간논리구조(RFTLF)을 제안한다.

1. 실시간 퍼지 시간논리구조식

실시간 퍼지 시간논리에서 기본적으로 사용되는 일반논리 기호는 전형적인 Boolean 연결자인 \neg (not), \wedge (and), \vee (or), \rightarrow (implies), \leftrightarrow (if and only if)를 포함하며, 시간논리 기호는 시간의 변화량을 표현하기 위한 시간 연산자 \square (henceforth), \diamond (eventually), \circ (next), U (until), P (proceed) 등을 가진다[3]. 그리고, 시스템을 제어하고자 할 때 한 사건 e_i 에 의해 한 상태에서 다음 상태로 상태가 천이 되는 동안 시간 t_i 가 흐르게 된다. 이 시간은 시스템이 가지는 애매한 퍼지사건 발생시간이나 퍼지상태 변화시간을 가지는 정성적인 특성에 따라 천이시간이 변동될 수도 있으므로 퍼지추론에 의해 결정되어지는 시간함수를 도입한다.

정의 1: 실시간 퍼지 시간논리구조식은 7개의 원소로 구성된 순서쌍이다.

$$M_{\#} = (S, E, F^*, f, s_0, l, \#) \quad (1)$$

여기서, S 는 상태 집합이고, E 는 사건의 집합이다. 각 사건은 한 상태에서 다음 상태로의 천이와 같이 생각할 수 있다. 또한, F^* 는 논리식의 집합이며 f 는 발화함수, s_0 는 초기상태, l 은 E 에서 F^* 로의 라벨링 함수이다. $\forall s \in S$ 와 $\forall e \in f(S)$ 에 대해 S 에서 E^* 로의 사상을 나타내는 함수로써 $e(s) = f(s, e)$ 가 정의된다. 여기서 $f(s)$ 는 상태 s 에서의 사건 발화 집합이다. 마지막으로, $\#$ 는 퍼지 시간함수이다.

정의 2 $\#(T_i; T_u)$: 사건 발생 후 상태 천이에 필요한 하한시간 T_i 과 상한시간 T_u 을 표시한다. 게다가, 하한시간만 또는 상한시간만 필요할 경우가 있다. 이 때는 각각 $\#(T_i;)$ 과 $\#(; T_u)$ 으로 표기할 수 있다.

$$S_i(x) \wedge e_{i+1}(x) \rightarrow S_{i+1}(Ox) \wedge \#(T_i; T_u) \quad (2)$$

$$S_i(x) \wedge e_{i+1}(x) \rightarrow S_{i+1}(Ox) \wedge \#(T) \quad (3)$$

이때, $\#(T)$ 는 상태의 천이시간이 정확하거나 그럴 필요가 있을 경우의 시간을 표시한다.

이러한 퍼지 시간함수를 이용하여 시간적 제약을 표현함으로써 퍼지 이산사건시스템을 모델링 할 수 있다.

2. 퍼지추론을 이용한 퍼지 시간함수

제안된 실시간 퍼지 시간논리구조는 퍼지 시간함수의 퍼지추론에 의한 결과인 시간값에 따라 상태 천이시간이 결정된다.

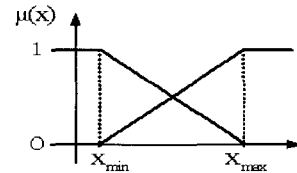


그림 1. 삼각형 소속함수.

Fig. 1. Triangular membership function.

퍼지추론은 전반부 동정과 후반부 동정으로 이루어지며, 실시간 퍼지 시간논리구조에서 퍼지 추론과정의 전반부 동정에서 사용되는 입력 변수는 모델링되는 플랜트에 따라 설계자가 결정할 수 있으며, 퍼지 이산사건시스템에서는 사용되어지는 입력 변수의 형태가 대부분 선형이기 때문에 소속함수 형태들에 따른 추론결과에 차이가 없으므로 가장 일반적인 형태인 그림 1과 같은 삼각형 함수를 사용한다.

또한, 후반부 동정에서는 여러 방법들 중에 후반부 변수로 선형식을 사용하는 선형추론법을 사용하며, 후반부 퍼라미터는 최소화승법에 의한 최소값으로 구해진다[2].

IV. 교차로 네트워크 모델링

실시간 교통제어는 본 논문에서 소개한 퍼지 이산사건시스템과 같이 동작한다. 퍼지 논리에 근거한 교통 신호 제어에 관한 연구는 설계된 시스템을 쉽게 이해하기에 곤란하며, 상태의 변화에 따른 신호의 흐름이나 차량의 변화를 표현하기는 무척 어렵다[4,5]. 또한, 기존의 교통 신호 제어에 관한 연구들이 성능향상을 위하여 상태순서 혹은 신호 길이를 무시한 반면 본 논문에서는 설계자에 의하여 적절히 결정된 상태 순서는 변하지 않으며 신호는 생략이 가능한 것으로 설계하였다. 실시간 교통제어에 대한 일반적인 모델을 본 논문에서 제안한 실시간 퍼지 시간논리구조로 표현하는 방법을 제안하였다.

1. 교차로 모델링

차량의 유, 출입을 제어하는 교차로는 그 종류와 모양이 무척 다양하다. 본 논문에서는 가장 일반적인 형태의 4방향 독립 교차로에 대하여 설계하였으며, 교차로의 교통신호기 설계를 위하여 교차로 신호상황과 사용되어지는 퍼지시스템을 그림 2와 같이 가정하였다. 먼저, 차량은 우측으로 통

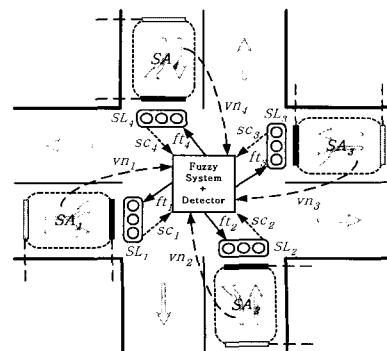


그림 2. 퍼지시스템을 포함한 단일 교차로 모델.

Fig. 2. Model of single intersection with fuzzy system.

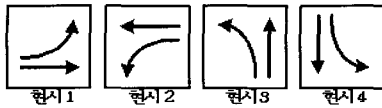


그림 3. 현시 모델.
Fig. 3. Phase model.

행하고 별도의 우회전 신호는 존재하지 않으며, 보행자의 통행을 위한 횡단보도나 신호는 고려하지 않는다. 마지막으로 신호는 좌회전, 직진, 적색, 녹색 신호가 있으며 직진 신호 후에는 황색 신호가 존재한다.

교차로 모델에서 검출기는 차량의 대수를 파악하며, 교차로의 4방향에 각각 존재하며, 위치는 특성에 따라 적절히 선택 되어야한다. 이 모델에서 사용한 전방과 후방 검출기의 간격은 100m로 가정한다. 이는 차량의 평균길이를 4m, 차량 간의 간격을 1m라 하였을 때 최대 20대의 차량이 대기할 수 있는 길이이다[6].

교차로에서 교통신호기의 녹색신호는 교통흐름을 나타내며, 일반적으로 8가지 신호상태를 가진다[7]. 이 중 그림 3과 같이 현시 1에서 현시 4까지의 현시를 1개의 주기로 하여 교통흐름을 모두 표현할 수 있다.

신호등을 모델링하기 위해 먼저 신호등의 상태와 사건들을 정의해야 한다. 여기에서 정의할 수 있는 사건은 신호등이 변하는 그 때의 시간으로 정의한다. 한 신호등이 가질 수 있는 상태와 사건 그리고 퍼지 시간함수를 다음과 같이 정의할 수 있다.

정의 3: 각 신호등은 방향 그래프에서 각 마디로 표현할 수 있다.

- $e(i)$: i 번째 마디의 녹색 사건(또는 그 때의 시간)
- $e(i+r)$: i 번째 마디의 적색 사건(또는 그 때의 시간)
- $f_{i,j}(T)$: 사건 $e(i)$ 의 발생에서 사건 $e(j)$ 가 발생할 때까지의 시간 즉, $f_{i,j}(T) = e(j) - e(i)$ 이다.

$$e(i) \rightarrow e(j) \wedge f_{i,j}(T) \quad (4)$$

이와 같은 정의를 이용하여 본 논문에서 시뮬레이션을 위해 제시한 그림 4의 교차로 네트워크를 다음과 같은 제약 조건식으로 표현할 수 있다.

신호 제약식:

$$\square \{ e(i) \rightarrow e(i+r) \wedge f_{i,i+r}(T_i; T_u) \} \quad (5)$$

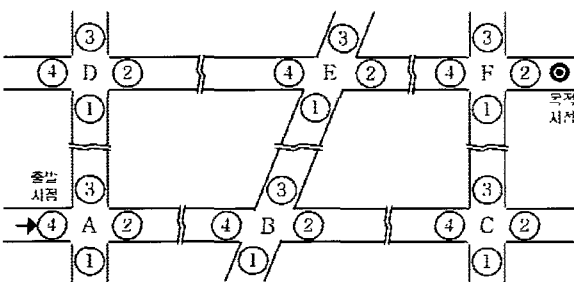


그림 4. 교차로 네트워크 모형.
Fig. 4. Model of intersection network.

충돌 제약식(교차로A를 예로 사용):

$$\begin{aligned} & \square \{ e(A1) \rightarrow e(A2) \wedge f_{A1,A2}(T_{ci}; T_{cu}) \\ & \rightarrow e(A3) \wedge f_{A2,A3}(T_{ci}; T_{cu}) \\ & \rightarrow e(A3) \wedge f_{A3,A4}(T_{ci}; T_{cu}) \\ & \rightarrow e(A4) \wedge f_{A4,\circ A1}(T_{ci}; T_{cu}) \rightarrow e(\circ A1) \} \end{aligned} \quad (6)$$

조합 제약식:

$$\begin{aligned} & \square \{ e(A4) \xrightarrow{f_{A4,B4}(T_{ii}; T_{iu})} e(B4) \xrightarrow{f_{B4,C4}(T_{ii}; T_{iu})} e(C4) \} \\ & \square \{ e(C2) \xrightarrow{f_{C2,B2}(T_{ii}; T_{iu})} e(B2) \xrightarrow{f_{B2,A2}(T_{ii}; T_{iu})} e(A2) \} \\ & \square \{ e(D4) \xrightarrow{f_{D4,E4}(T_{ii}; T_{iu})} e(E4) \xrightarrow{f_{E4,F4}(T_{ii}; T_{iu})} e(F4) \} \\ & \square \{ e(F2) \xrightarrow{f_{F2,E2}(T_{ii}; T_{iu})} e(E2) \xrightarrow{f_{E2,D2}(T_{ii}; T_{iu})} e(D2) \} \\ & \square \{ e(A1) \xrightarrow{f_{A1,D1}(T_{ii}; T_{iu})} e(D1) \} \\ & \square \{ e(D3) \xrightarrow{f_{D3,A3}(T_{ii}; T_{iu})} e(A3) \} \\ & \square \{ e(B1) \xrightarrow{f_{B1,E1}(T_{ii}; T_{iu})} e(E1) \} \\ & \square \{ e(E3) \xrightarrow{f_{E3,B3}(T_{ii}; T_{iu})} e(B3) \} \\ & \square \{ e(C1) \xrightarrow{f_{C1,F1}(T_{ii}; T_{iu})} e(F1) \} \\ & \square \{ e(F3) \xrightarrow{f_{F3,C3}(T_{ii}; T_{iu})} e(C3) \} \end{aligned} \quad (7)$$

2. 교통신호기의 퍼지 시간함수

제안된 방법에서는 교차로를 통과하는 차량의 소통량 변화에 따라 적절히 대응하는 교통신호기의 신호 유지시간 값을 결정하기 위해서 퍼지 시간함수 $f_{i,i+r}(T)$ 를 사용하며, 이 값은 교차로에 대기하는 차량 수를 입력으로 하는 퍼지시스템의 출력값으로 결정한다.

퍼지 추론모델 구축을 위한 차량 수에 따른 고정점 통과 시간 데이터는 표 1에 나와 있는 실제 측정된 10개의 데이터를 사용하였고, 이 데이터를 기준으로 퍼지시스템을 설계 하였다[7].

대기하는 차량 수에 따른 퍼지 시간함수 $f_{i,i+r}(T)$ 값을 결정하기 위한 퍼지시스템의 전방부 동정의 소속함수로는 3개의 삼각형 소속함수를 사용하였으며, 파라미터는 사용된

표 1. 고정점 통과시간.

Table 1. Transition time for fixed point.

차량수	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	20
실제 측정값	2.4	6.4	10.1	13.5	17.0	20.2	23.4	26.7	29.9	33.1	34.7

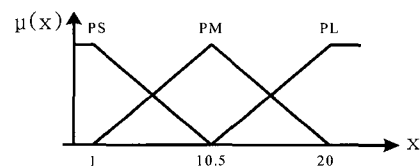


그림 5. 차량 수에 따른 소속 함수.

Fig. 5. Membership function on number of vehicles.

모델의 제한 조건에 따라 전·후방 차량검출기의 최대량이 20대이므로 최소 1대에서 최대 20대까지로 하였다.

그림 5는 차량 수에 따른 소속 함수이며 여기서 PS는 Positive Small, PM은 Positive Middle, PL은 Positive Large이다. 퍼지시스템의 후반부 동정은 10개의 시간 값에 가장 근사한 모델 출력을 얻기 위하여 선형 추론법으로 3개의 규칙을 사용하여 (8)과 같이 구성하였고, 후반부 파라미터 $a_{ij}(i=1, 2, 3, j=0, 1)$ 는 최소 자승법에 의하여 구한다.

$$\begin{aligned} \text{IF } x \text{ is PS THEN } y_1 &= a_{10} + a_{11}x \\ \text{IF } x \text{ is PM THEN } y_2 &= a_{20} + a_{21}x \\ \text{IF } x \text{ is PL THEN } y_3 &= a_{30} + a_{31}x \end{aligned} \quad (8)$$

제안된 실시간 퍼지 시간논리구조 교통신호기에서 퍼지 시스템은 검출기로부터의 인식 신호를 전달받아 동작하므로, 여러 방향의 교통신호기 중에 녹색 신호상태에 있는 방향의 검출기만 정보를 처리하면 된다. 따라서 제안된 교통신호기에서의 퍼지 이산사건 시스템은 단일입력 단일출력으로 설계하였다.

V. 시뮬레이션 및 결과

실시간 퍼지 시간논리구조로 설계된 교통신호기의 성능 평가를 위하여 Matlab을 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 시뮬레이션은 다수의 교차로로 구성된 교차로 네트워크에서 임의의 출발지점에서 원하는 목표지점까지의 발생 가능한 경로 중에 최단시간이 소요되는 경로를 탐색하는 것이다. 또한, 단일 교차로에서 도로여건에 따른 신호기의 성능을 시간 페트리 넷을 이용하여 설계된 고전적 교통신호 제어 방법인 단위시간연장 교통신호기와 각각의 성능을 비교하였다.

그림 2와 같은 단일 교차로로 구성된 시스템은 이미 4장에서 실시간 퍼지 시간논리구조로 모델링하는 것을 설명하였다. 시뮬레이션을 위하여 그림 2의 퍼지 시간함수 $f_i(i=1,2,3,4)$ 의 신호 유지시간을 0~35초 값으로 제한하였는데, 이는 검출기 사이의 최대 20대의 차량이 통과 할 수 있는 시간으로, 퍼지시스템 출력에 의한 신호연장에 따라서 발생할 수 있는 차량의 충돌을 방지한다.

시뮬레이션은 그림 3의 현시 모델을 기준으로 가정하였으며, 황색신호 유지시간은 3초로 고정하였다.

다수의 교차로로 구성된 교차로 네트워크는 매우 다양한 형태가 존재할 수 있으나, 일반화하여 그림 4와 같은 모델을 사용하였고, 각 교차로(A-F)의 차량 유입량을 모두 다르게 설정하여 1시간동안 시뮬레이션 하였다.

표 2는 시간에 따라 설정된 차량 유입 변화량의 평균값을 나타낸다.

제안된 실시간 퍼지 시간논리구조(RFTLF)로 설계된 교통신호기와 비교하기 위하여 각 교차로(A-F)마다 단위시간연장(UTE) 교통신호기의 차량 검출기는 교차로로부터 70m에 위치한다고 가정하고, 황색 신호는 3초, 기본 신호 시간은 25초로 하였다.

기본시간 내에 검출기 내에서 대기하고 있는 차량은 모두 통과 할 수 있으며, 기본시간이 끝나면 대기차량의 차량

표 2. 교차로 방향별 차량 유입량.

Table2. Input vehicles by intersection.

차량대수 교차로	방향별 차량대수			
	1	2	3	4
A	504	483	454	438
B	482	412	364	322
C	527	485	455	424
D	469	416	371	322
E	495	460	424	390
F	505	455	427	387

표 3. 목적지점까지의 경로.

Table3. Route to destination.

경로	경로에 따라 통과되는 교차로와 방향
1	4A3 → 1D2 → 4E2 → 4F2
2	4A3 → 1D2 → 4E1 → 3B2 → 4C3 → 1F2
3	4A2 → 4B3 → 1E2 → 4F2
4	4A2 → 4B2 → 4C3 → 1F2

표 4. 교차로간 거리와 이동시간.

Table4. Distance and mobile time between intersection.

시간(s) 거리(m)	A	B	C	D	E	F
A		200		200		
B	12		300		220	
C		18				200
D	12				300	
E		13.2		18		200
F			12		12	

의 유무를 파악하여, 5초씩 최대 2번의 신호연장이 가능하도록 하였다. 2번의 신호 연장이 모두 끝나면 신호를 종료하고 다음 상태로 천이 되도록 하였다.

또한, 주어진 교차로 네트워크 모델에서 발생되어 지는 출발지점에서 목적지점까지의 모든 경로(path)는 표 3과 같으며, 교차로를 통과할 때 좌·우회전 통과 지연시간은 직진 통과 지연시간의 20%가 사용되는 것으로 설정하였다[8].

교차로와 교차로사이의 연결도로를 이동하는 시간은 일반적인 도심지 도로 주행속도인 60km/h를 기준으로 계산하여 거리에 따른 이동시간을 표 4에 보였으며, 주행 차량의 가속도는 고려하지 않았다.

교차로 네트워크에서 개별 교차로를 간에 차량 유입량을 유기적으로 설정하기는 매우 어렵기 때문에 제한적인 조건을 통해 시뮬레이션을 하였다.

경로별 통과시간은 목적지점까지의 경로상에 포함 되어진 각 교차로들의 직진 또는 좌·우회전시의 지연시간(T1), 통과한 교차로와 다음 교차로간의 도로 주행시간(T2), 적색 신호가 바뀌고 교차로에 도착하였을 때에 다음 녹색신호까지 대기시간(T3), 충돌제약에 의한 최소 여유시간(T4)을 모두 합하는 방법으로 계산하였다.

$$\text{전체 지연시간}(T_t) = T1 + T2 + T3 + T4 \quad (9)$$

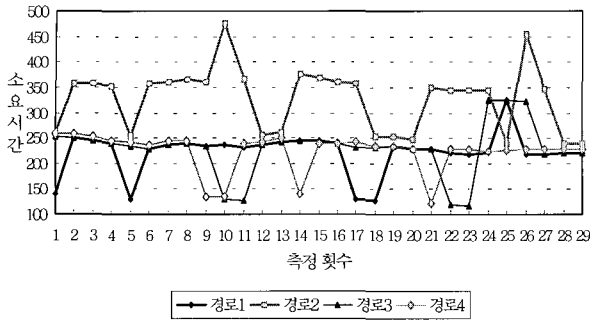


그림 6. 경로별 지연시간.
Fig. 6. Delay time for traffic routes.

표 5. 경로별 통과 평균 지연시간.
Table 5. Average delay time for route.

경로	평균지연시간(단위:초)		감소율(%)
	RFTLF	UTE	
1	221.92	233.45	4.939
2	327.66	328.72	0.322
3	229.40	240.93	4.786
4	223.79	224.83	0.463

전체 시뮬레이션 시간인 1시간 동안의 측정횟수에 따른 변화는 그림 6과 같으며, 이 데이터를 정리하여 경로별 통과 평균지연시간(표 5)으로 나타내었다.

각 방향별로 교차로 차량 유입량(표 2)의 변화가 매 측정 시 서로 다르기 때문에 단위시간 연장(UTE) 교통신호기에 비해 감소폭도 측정시마다 달라서 평균적으로 실시간 퍼지 시간논리구조(RFTLF) 교통신호기의 경로별 교차로 통과 지연시간이 0.322%~4.939% 정도로 감소율이 크지 않았다.

또한, 경로(1-4)에 따라 통과 교차로 갯수의 차이 때문에 경로1,3,4의 경우에 근소한 차이를 나타내지만, 경로 1이 가장 적게 걸린 것을 알 수 있다. 경로2의 경우는 다른 경로에 비해 통과하는 교차로 수(A,D,E,B,C,F)가 많기 때문에 가장 짧은 시간이 소요된 경로 1과는 상당한 시간차이(32.271%)가 발생한다.

그러나, 그림 6의 경로별 지연시간 그래프를 살펴보면 특정 구간(20회~29회)에서 표 5의 평균 지연시간 결과값과 다른 것을 발견할 수 있다.

이러한 결과는 목적지점까지 찾아가는 최단시간 경로가 항상 일정치 않고 실시간으로 변화하는 교통량에 대응하여 변한다는 것을 알 수 있으며, 이에 따라 최단시간 경로를 찾을 때에는 그 시간대의 교차로 네트워크의 교통량 변화를 살펴야 한다.

VI. 결론

본 논문에서는 모호한 사건과 명확하지 않은 상태천이를 가지는 이산사건시스템의 특성을 나타내기 위해 퍼지개념을 도입하여 퍼지사건과 퍼지상태로써 시스템을 구현하였으며, 이러한 시스템을 퍼지 이산사건시스템(Fuzzy Discrete Event System, FDES)이라고 규정하고, 시간논리구조와 퍼지

이론을 새롭게 접목시킨 실시간 퍼지 시간논리구조(Real-time Fuzzy Temporal Logic Framework, RFTLF)를 제안하였다.

제안된 실시간 퍼지 시간논리구조에서 퍼지 추론과정의 전반부 동정에 사용되는 입력 변수는 모델링되는 플랜트에 따라 설계자가 결정할 수 있으며, 퍼지 이산사건시스템에서는 사용되어지는 입력 변수의 형태가 대부분 선형이기 때문에 소속함수 형태에 따른 추론결과에 차이가 없으므로 가장 일반적인 형태인 삼각형 함수를 사용하였다. 후반부 동정은 여러 방법들 중에 후반부 변수로 선형식을 사용하는 선형추론법을 사용하여 다양한 플랜트에 적용할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션을 통해 교차로 네트워크에서 각 교차로에서 얻어지는 정보를 이용하여 출발지점에서 원하는 목적지점까지의 다양한 경로 중에 최단시간에 도착지점에 도달할 수 있는 경로를 찾는 방법을 보였다.

교차로 네트워크는 다수의 교차로로 구성되기 때문에 개별 교차로들의 시시각각 변화하는 차량 유입량에 따라 매우 많은 경우가 발생한다는 것을 예상할 수 있으며 그에 따라 최단시간 경로도 매번 변하게 됨을 알 수 있다.

그러나 실시간 퍼지 시간논리구조를 이용한 실시간 경로 탐색을 통해 최단시간 경로를 찾을 수 있다.

이 밖에도 실시간 퍼지 시간논리구조를 이용하여 변화하는 교통량에 적절히 대응하는 교통 신호기는 불필요한 자동차의 대기시간을 최소화하여 에너지 절약에도 많은 효과를 기대할 수 있다.

참고문헌

- [1] F. Lin and H. Ying, "Modeling and control of fuzzy discrete event systems," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.-Part B*, vol. 32, no. 4, pp. 408-415, August 2002.
- [2] 오성권, "퍼지 모델 및 제어이론과 프로그램," 기다리. 1999.
- [3] D. Ionescu and J.-Y. Lin, "Optimal supervision of discrete event systems in a temporal logic framework," *IEEE Trans. on Systems. Man. and Cybernetics*. vol. 25, no. 12. pp. 1595-1605, Dec. 1995.
- [4] C. P. Pappis and E. H. Mamdani, "A fuzzy logic controller for traffic controller for a traffic junction," *IEEE Trans. Syst., Man. Cybern.*, vol. 7. pp. 707-717, 1977.
- [5] R. Hoyer and U. Jumar, "Fuzzy control of traffic light," in *Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems*, pp. 1526-1531, 1994.
- [6] 고인선, "스토케스틱 페트리 넷트를 이용한 교통량 대응신호기 설계 및 교통 흐름 분석," 전자 공학회논문지, pp. 306-316, 3월 1999.
- [7] J.-H. Lee and K.-H. Lee, "Distributed and cooperative fuzzy controllers for traffic intersections group," *IEEE Trans. Syst.,n. Cybern.*, vol. 29, pp. 263-271, 1999.
- [8] J.-H. Lee and K.-H. Lee, "Distributed and cooperative fuzzy controllers for traffic intersections group," *IEEE Trans. Syst.,n. Cybern.*, vol. 29, pp. 263-271, 1999.



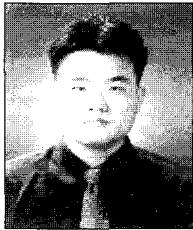
김진권

1998년 원광대 제어계측공학과 졸업.
2000년 동 대학원 제어계측공학과 석사졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 박사졸업. 관심분야는 이산사건시스템, 자동제어, 지능제어, 퍼지제어.



김정철

2000년 원광대 제어계측공학과 졸업.
2002년 동 대학원 제어계측공학과 석사졸업. 현재 전북대 메카트로닉스공학과 박사과정. 관심분야는 이산사건시스템, 자동제어, 지능제어, 퍼지제어.



이원혁

1997년 원광대 제어계측공학과 졸업.
1999년 동 대학원 제어계측공학과 석사졸업. 현재 원광대 제어계측공학과 박사과정. 관심분야는 로봇릭스, 자동제어, 지능제어, 퍼지제어.