

퍼지 이산사건 시스템의 모델링과 응용

Modeling of The Fuzzy Discrete Event System and It's Application

김진권* · 김정철** · 황형수*

Jin-Kwon Kim · Jung-Chul Kim · Hyung-Soo Hwang

* 원광대학교 전기전자 및 정보공학부

** 전북대학교 메카트로닉스공학과

요 약

본 논문은 Crisp Discrete Event System(CDES)에서 다룰 수 없는 특성을 가지는 의료진단이나 교통제어와 같이 애매하거나 불확실한 판단 그리고 관련성이 모호한 판단의 근거들에 의해 결정되어지는 사건들로 이루어진 Fuzzy Discrete Event System(FDES)의 모델링 방법과 그 응용에 대하여 연구하였다. 일반적인 CDES는 모델링 방법이 많이 연구되어져 왔으나, FDES는 발생되어지는 사건들의 정성적인 특성과 적용되어지는 경우가 드문 이유로 거의 연구되어져 있지 않다. 본 논문에서는 Fuzzy Timed Transition Petri Net(FTTPN)으로 FDES인 교통 시스템을 모델링하고 교통 신호제어기를 설계하였다.

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. In general, the modeling method of CDES has been studied many times, but that of FDES hasn't been nearly studied by qualitative character and scarcity of applicated system. This paper models traffic system with FDES's character in FTTPN and designs a traffic signal controller

Key Words : Fuzzy Discrete Event System(FDES), Fuzzy Transition Timed Petri Net(FTTPN).

1. 서 론

많은 대규모의 동적 시스템들은 이산사건 시스템 구조 [1][2]로 이루어져 있다. 이러한 시스템들은 기존의 제어 및 시스템 이론으로 취급될 수 있는 연속변수 시스템(CVS: Continuous Variable System)처럼 상미분이나 편미분 방정식에 의해 처리될 수 없으며 이산적인 상태와 이 상태들 사이에서 사건으로 천이관계를 나타냄으로써 표현할 수 있다. 이러한 시스템으로 생산 시스템[3], 교통 시스템, 일괄처리, 통신 시스템, 전문가 시스템[4] 등을 예로 들 수 있다. 이런 시스템을 이산사건 시스템(DES: Discrete Event System)[1]이라고도 부른다. 모델링 방법으로는 Automata, Petri net, Temporal Logic Framework[5]등이 제안되었다. 최근 이산사건 시스템에 대한 많은 연구가 이루어지면서 의료진단 시스템이나 교통제어 시스템 등과 같이 전체 시스템의 구조는 이산적인 상태와 사건들로 표현될 수 있지만, 개별적인 상태와 사건들은 명확한 판별이 곤란하고 애매모호한 정보(환자 상태, 의사의 판단, 교통혼잡도, 신호주기 등등)를 표현하는

정성적인 특성을 가지게 되며, 이러한 상태의 천이관계도 명확하게 표현하기가 곤란하다.

본 논문에서는 이러한 모호한 사건과 명확하지 않은 상태천이를 가지는 시스템의 고유특성을 나타내기 위해 퍼지개념을 도입한 퍼지사건과 퍼지상태로써 시스템을 구현하였으며, 이러한 시스템을 퍼지 이산사건 시스템(FDES: Fuzzy Discrete Event System)이라고 규정하고 일반적인 DES를 Crisp Discrete Event System(CDES)이라고 하여 구별하였다[6]. 마찬가지로 일반적인 모델링 방법은 부적절하므로 본 논문에서는 현재 상태에서 상태천이에 관련된 정보 및 자료 등을 구하고 이 정보를 퍼지 집합의 소속 함수로 정의하고 추론하여 최적의 발화 시간을 제어할 수 있는 Fuzzy Transition Timed Petri Net(FTTPN)이라는 퍼지 천이 시간 페트리 네트를 이용하여 FDES을 모델링 하였다[14]. FTTPN에 대한 응용 예로서, 교차로의 교통 신호제어기를 모델링 하였으며, 모델링된 교통 신호제어기에서 교통 신호의 상태는 토큰의 변화로 하고, 차량의 흐름은 퍼지 제어기의 입력으로 하였다. 차량 흐름을 퍼지 집합의 소속 함수로 하여 보다 효과적인 방법으로 교차로의 교통상황을 제어할 수 있도록 하였다. 구성은 2장과 3장에서 퍼지 이산사건 시스템과 사용된 모델링 방법인 퍼지 트랜지션 시간 페트리 네트를 각각 설명한다. 4장에서는 교통제어 신호기를 FTTPN으로 설계하였고, 5장에서 시뮬레이션과 결과고찰을 보였다.

접수일자 : 2004년 5월 25일

완료일자 : 2004년 6월 25일

이 논문은 2004년도 원광대학교의 교비 지원에 의하여 연구됨.

2. 퍼지 이산사건 시스템(FDES)

고차시스템과 같이 미분방정식으로 효과적 구현이 어렵고 계산이 난해하거나 복잡한 시스템의 상태에 따른 중요한 성질상의 변화를 기록하는 것은 사건 순서열에 의해 구현할 수 있다. 이러한 상태들은 수치적인 값이기보다는 기호나 논리 값이다. 이들 시스템은 별개의 사건열의 행태로 구성되는 이산 사건 시스템으로 구현할 수 있다. 즉, 이들 사건들은 통신 시스템의 송수신 메시지나 생산시스템의 개별 처리공정이라고 할 수 있다.

컴퓨터 시스템과 네트워크와 같이 복잡한 시스템의 확산에 따라 DES에 대한 포괄적인 연구와 개발이 체계적으로 연구되어지고 있다. DES의 연구는 DES의 최적화 및 모델링과 제어에 초점을 맞추고 있으며, 자동생산시스템, 데이터베이스제어, 통신망, 전산망과 같은 실용적인 시스템에 적용되어진다.

오늘날, 단순히 이산적인 상태와 사건을 가지는 CDES이 표면적으로 많은 응용분야에서 널리 사용되는 것처럼 보이지만, CDES는 몇 가지 중요한 분야의 응용에 부적합하다. 인간의 건강진단시스템과 같은 의학적인 분야에서 상태들의 천이가 고려되어질 때 진단을 내리기 위한 판단의 근거가 불확실하고 모호하게 될 수밖에 없고, 진단결과 역시 명확하지 않다. 예를 들면, 환자의 건강상태나 치료상태를 단순히 “좋다”라고 판정하는 것은 명확하지 못하다. 더욱이 환자상태의 변화를 “0”이나 “1”과 같은 수치로 분명하게 판정할 수가 없으며, “좋다”와 “나쁘다”처럼 인간의 주관적 판단으로 인한 상태의 변화를 정확히 나타낼 수 없기 때문에 경험을 통한 인간의 판단에 따르게 되는 투약량과 의료기술의 단계도 결국 정확히 나타낼 수 없다.

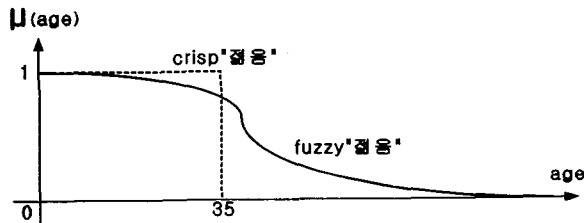


그림 1. “젊음”에 대한 이산집합과 퍼지집합의 비교
Fig. 1. Compare crisp set with fuzzy set about “Young”

퍼지 집합은 일반수학에서 다루어지는 집합의 확장개념이다. 전통적인 집합이론은 어떤 객체의 부분적인 포함관계가 아닌 완전히 포함되는가 또는 그 반대의 경우를 다룬다. 하지만, 오늘날 우리 사회는 인간으로서 쉽게 설명하고, 이해하고 서로 대화할 수 있고 셀 수가 없는 막연하고 주관적인 개념이 존재하는 반면에 일반적인 수학적 개념으로는 이러한 것들을 다룰 수가 없다. “젊음”이란 단어를 가지고 설명하여 보면 사람의 나이는 분명하게 수치적 표현이다. 그러나, “젊음”과 수치적인 나이와의 관련성은 매우 어렵고 혼란스럽다. 어떤 나이를 젊다고 말할 수 있는가는 사람마다 생각하는 바가 다르기 때문에 확률적인 방법도 사용할 수 없다. 일반적인 집합논리는 원소의 소속여부를 0(소속되지 않음) 또는 1(소속 됨)과 같이 구분하여 나타내야 하지만, 퍼지 집합논리는 이러한 구성 원소의 정량적이거나 정성적 특성에 의해 0과 1사이의 값을 가질 수 있도록 나타내어진다. 따라서, 집합 “젊음”에서처럼 보편적 판단의 근거가 모호해서 명확한 판정

이 불가능 할 때 일정범위에 걸쳐 소속 함수(그림 1.)를 가지는 퍼지집합을 도입하고, 이러한 퍼지논리를 적용한 퍼지사건과 퍼지상태를 이용하여 Fuzzy Discrete Event System(FDES)을 구현할 수 있다.

2.1 퍼지사건, 퍼지상태

지금까지 이산사건 시스템은 이들을 구성하는 사건과 상태 사이의 관계를 나타낼 수 있는 방법이 모델링 방법으로 사용되어져 왔다. 일반적으로 Automata, Petri Net, Temporal Logic Framework등이 사용되었다. 여기에서는 FDES의 퍼지 사건과 퍼지 상태를 설명하기 위해 Fuzzy Finite Automata로 간단한 의료진단 시스템을 모델링하여 보았다[6].

Fuzzy Finite Automata는 Crisp Finite Automata에 퍼지 수를 적용하여 $G = (Q, \Sigma, \delta, q_0)$ 와 같이 나타낼 수 있으며, 진단과목으로는 심장을 예로 들었으며 “상(excellent, E)”, “중(fair, F)”, “하(poor, P)”로 장기의 상태를 나타낸다. 한 상태에서 다른 상태로의 천이는 전 상태의 진단정도에 따라서 다음 상태로 천이 하는데 상황에 따라 호전 α 와 악화 β 로 구분하였고, 그 과정을 그림 2.에 도시하였다. 이때, 진단정도를 나타내는 사건은 퍼지수로 나타내야 하므로 멤버십 값을 이용하여야 한다. 건강상태는 $Q = \{E, F, P\}$ 로 퍼지 상태집합이며, 진단정도는 $\Sigma = \{\tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2, \tilde{\alpha}_3, \tilde{\beta}_1, \tilde{\beta}_2, \tilde{\beta}_3\}$ 로 퍼지 사건집합이다. 초기 상태는 $q_0 = E$ 이고, 사건천이 관계는 $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$ 이다.

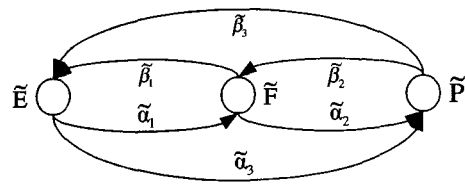


그림 2. 심장 건강상태 모델
Fig. 2. Heart condition model

퍼지 상태집합 \tilde{q} 와 천이 관계를 나타내는 퍼지 사건집합 $\tilde{\alpha}_1$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{q} = [0.3 \quad 0.6 \quad 0.1], \quad \tilde{\alpha}_1 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.9 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

이와 같이 사건과 상태를 정해진 값이 아닌 구간을 가지는 퍼지 값을 적용함으로써 경계가 정확하지 않은 상태와 사건을 정의할 수 있다.

Fuzzy Finite Automata는 비교적 간단한 시스템을 모델링하는데 사용할 수 있다. 본 논문에서 퍼지 이산사건 시스템(FDES)의 응용 예로서 제시한 교통 제어시스템은 나타내려고 하는 상태와 사건이 신호시간을 나타내어야 하므로 적절한 모델링 방법인 시간 페트리 넷에 퍼지 논리를 도입한 퍼지 트랜지션 시간 페트리 넷(FTTPN)을 이용하였다.

3. 퍼지 천이시간 페트리 넷

시간 페트리 넷(Petri Net)모델은 플레이스(Place)에 토

큰(Token)이 로드 되는 것에 의하여 상태를 표현하거나 토큰이 가지고 있는 성질에 의하여 상태를 표현한다[7]. 시간 페트리 넷은 발화 최소 시간 α_i 와 최대 시간 β_i 를 포함하고 있으며 발화 시간 구간인 α_i 와 β_i 사이의 임의의 시간에 사건이 발화하여 상태가 천이 된다. 시간 페트리 넷에 퍼지 이론을 도입한 것이 퍼지 시간 페트리 넷(Fuzzy Timed Petri Net)이다[8]. 본 논문에서는 현재 상태에서 상태천이에 관련된 정보 및 자료 등을 구하고 이 정보를 퍼지 집합의 소속 함수로 정의하고 추론하여 최적의 발화 시간을 제어할 수 있는 퍼지 천이시간 페트리 넷(Fuzzy Transition Timed Petri Net : FTTPN)를 이용한다. 퍼지 시간 페트리 넷에서 트랜지션의 발화 시간이 트랜지션들이 갖고있는 시간의 복잡한 상호 관계에 의하여 계산되는데 반하여, FTTPN에서는 퍼지 제어기 출력에 의하여 트랜지션의 발화 시간을 결정한다.

FTTPN은 다음 6개의 구성 요소로 정의한다.

[정의 1] FTTPN = { P, T, I, O, m_0 , FI }

P = { p_1, p_2, \dots, p_m } 는 유한 플레이스 집합

T = { t_1, t_2, \dots, t_m }는 유한 트랜지션 집합

I : (P×T) → T 는 입력함수

O : (P×T) → P 는 출력함수

m_0 : 초기 마킹

FI : T → $Q^* \times (Q^* \cup \infty)$ 는 고정간격

여기서, Q^* 은 양의 유리수 집합.

임의의 트랜지션 t_i 에 대하여 FI(t_i) = ($\alpha_i, \gamma_i, \beta_i$) 이다. 여기서 $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ 는 양의 유리수이고, $\beta_i \neq \infty$ 이면 $\alpha_i \leq \beta_i$ 이고, $\beta_i = \infty$ 이면 $\alpha_i < \beta_i$ 이다. (α_i, β_i)의 간격은 트랜지션 t_i 의 정지 발화시간(static firing time)이라 하며, 좌반면 경계 α_i 는 정지 최초 발화시간(static earliest firing time)으로 트랜지션이 발화하기까지 기다려야 하는 최소 대기시간이고, 우반면 경계 β_i 는 정지 최종 발화시간(static latest firing time)으로 트랜지션이 반드시 발화해야 하는 최대 대기시간을 표현한다. 즉, α_i, β_i 는 다음과 같이 정의한다.

[정의 2]

임의의 발화 시간 변수 γ_i 에 대하여,

γ_i 는 양의 유리수 ($0 \leq \alpha_i \leq \gamma_i \leq \beta_i \leq \infty$)이고,

시간 간격 α_i, β_i 에 종속이다.

여기서 γ_i 는 트랜지션 상호 관계에 의하여 결정되는 것이 아니라 외부 입력, 즉 제어기에 의하여 결정된다.

교통 신호제어기에서 신호의 길이를 조절하는 트랜지션은 차량의 원활한 교통흐름을 위하여 적절히 조절되어야 하기 때문에 본 논문에서는 교통 신호제어기를 모델링할 때 이미디어트(Immediate) 트랜지션, 디터미니스틱(Deterministic) 트랜지션, 시간(Timed) 트랜지션, 퍼지 시간(Fuzzy Timed) 트랜지션을 사용하였다. 이 네 개의 트랜지션은 모두 위의 페트리 넷의 정의를 만족한다. 이미디어트 트랜지션은 활성화 된 후 지연시간 없이 바로 발화하며, 짧은 선으로 표현된다. 디터미니스틱 트랜지션은 활성화 된 후에 상수 지연시간을 가지고 발화하며, 굵은 막대로 표현된다. 시간 트랜지션은 일정한 시간간격을 가지고 간격 사이의 임의의 시간에 발화하며, 직사각형으로 표현된다[7][8].

퍼지 시간 트랜지션은 활성화 된 후 일정 시간 간격사이

에 발화되는데 이 발화 시간 γ_i 은 외부 입력, 즉 퍼지 제어기 출력에 의하여 결정되며, 페트리 넷에서 직사각형 중간에 마킹된 것으로 표현된다.

논문에서 사용된 차량 수에 따른 고정점 통과 시간 데이터는 [9]의 실제 측정값을 사용하며, 이 20개의 데이터를 가지고 퍼지 제어기를 설계하였다. 데이터는 표 1.과 같다. 소속 함수로는 삼각 함수를 사용하며, 소속 함수의 개수는 3개, 소속 함수의 파라메타는 고정된 값을 사용하였다. 그림 3.은 퍼지 집합의 소속함수를 보인다.

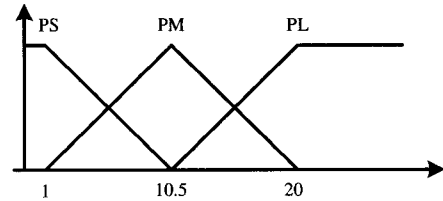


그림 3. 소속 함수

Fig. 3. Membership function

퍼지 추론은 3개의 규칙을 사용하여 다음과 같다.

IF x is PS THEN $y = a_{10} + a_{11}x$

IF x is PM THEN $y = a_{20} + a_{21}x$

IF x is PL THEN $y = a_{30} + a_{31}x$

표 1. 대기차량 데이터

Table 1. Data for wating vehicles

차량수	실제 측정값	퍼지 출력값	오차
1	2.4000	2.4424	-0.0424
2	4.4000	4.4159	-0.0159
3	6.4000	6.3440	0.0560
4	8.3000	8.2268	0.0732
5	10.1000	10.0643	0.0357
6	11.8000	11.8564	-0.0564
7	13.5000	13.6032	-0.1032
8	15.3000	15.3046	-0.0046
9	17.0000	16.9607	0.0393
10	18.6000	18.5715	0.0285
11	20.2000	20.1758	0.0242
12	21.8000	21.8053	-0.0053
13	23.4000	23.4318	-0.0318
14	25.0000	25.0550	-0.0550
15	26.7000	26.6751	0.0249
16	28.3000	28.2921	0.0079
17	29.9000	29.9059	-0.0059
18	31.6000	31.5166	0.0834
19	33.1000	33.1241	-0.0241
20	34.7000	34.7285	-0.0285

경험적 방법에 의하여 선형 추론법을 사용하고, 후반부 파라미터 a_{10}, a_{11} 는 최소자승법에 의하여, 최종 출력은 무게 중심법을 사용하여 구한다[10]. 표 1.에서 실제 측정값과 시뮬레이션의 오차는 대기 차량의 교차로 통과 시간을 모델링한 것이므로 무시해도 좋은 것으로 가정한다. 사용된 교통 신호등 제어기에서 퍼지 제어기는 동기 신호를 받아 동작하

므로 신호 상태에 있는 방향 검출기만의 정보를 처리하면 되기 때문에 제어기는 단일입력 단일출력으로 모델링 하였다.

4. 교통 제어기 설계

교통은 현대 사회에서 중요한 역할을 한다. 차량의 급속한 증가에 기인한 교통 체증으로 인하여 교통상황은 악화 되고 있다. 따라서 기존 도로 용량을 최적으로 활용하기 위해서 교통흐름을 효과적으로 관리하는 것이 중요하다.

차량의 흐름을 원활하게 유지해야 하는 반면에, 다른 방향의 차선이 만나는 교차로와 같은 곳에서는 교통안전을 위하여 필수적으로 교차로 신호제어기를 통한 신호제어가 필요하다. 따라서, 교통흐름을 효과적으로 관리하면서 차량의 흐름이 만나는 교차로의 안전도 보장할 수 있는 방법은 교차로 신호 제어기의 신호주기와 신호시간에 대한 제어가 필수적이다. 이와 같은 교통 신호 제어기를 만들기 위해서는 각기 방향이 다른 차량들의 교차로 소통량에 대한 정확한 정보가 필수적이다. 하지만, 교차로의 위치와 시간에 따라 시시각각으로 변화하는 교통량은 정확하지 않지만 일반적인 조건에 따른 통계적인 수치로 나타낼 수 있을 뿐이다. 이 때문에 규칙적인 신호주기와 정해진 신호시간을 가지는 교통 신호 제어기는 시시각각 변하는 교통량에 적절히 대응하지 못하여 일반적인 조건에 벗어날 경우에는 오히려 교통체증을 가중시킨다. 일정구간에 걸쳐 변화하는 신호주기와 시간을 퍼지논리를 적용한 퍼지 사건과 퍼지 상태로써 모델링 할 수 있다.

따라서, 퍼지 이산사건 시스템(FDES)으로 구현함으로써 실시간 교통량에 맞는 시간과 신호순환 주기를 가진 교통 제어기를 설계할 수 있다. 또한 퍼지 논리에만 근거한 교통 신호 제어에 관한 연구는 설계된 시스템을 쉽게 이해하기에 곤란하며, 상태의 변화에 따른 신호의 흐름이나 차량의 변화를 표현하기는 무척 어렵다[11][12].

이런 이유 때문에 퍼지 이산사건 시스템(FDES)의 모델링 방법인 퍼지 천이시간 페트리 넷의 도식적이고 논리적인 성질을 이용하여 교차로의 신호를 제어하였다. 따라서 본 논문에서는 실제 교통 문제에 가장 근접하게 설계하여 실제 적용할 수 있도록 하였으며, 고전적 교통신호 제어 방법인 단위시간연장 교통 신호기를 시간 페트리 넷으로 설계하여 각각의 성능을 비교하였다 [13].

4.1 교차로 모델

차량의 유, 출입을 제어하는 교차로는 그 종류와 모양이 무척 다양하다. 교차로와 주위 교차로의 상관관계에 따라 독립, 종속 교차로로 나눌 수 있으며, 교차로와 만나는 도로의 수에 따라 2방향, 3방향, 4방향, 5방향, 회전 교차로 등으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 가장 일반적인 형태의 4방향 독립 교차로에 대하여 설계하였다.

교차로의 교통 신호기 설계를 위하여 그림 4.와 같은 교차로 모델과 다음과 같은 신호상황을 가정하였다.

- 차량은 우측으로 통행한다.
- 횡단보도나 보행자 신호는 고려하지 않는다.
- 별도의 우회전 신호는 존재하지 않는다.
- 신호는 직좌회전, 직색, 녹색, 황색 신호가 있다.
- 직좌회전 신호 후 각각 황색 신호가 발생한다.

교차로 모델에서 검출기는 차량의 대수를 파악하며, 교차로의 4방향에 각각 존재한다. 차량 검출기의 위치는 적절히 선택 되어야하며, 본 모델에서 검출기는 교차로에서부터

100m 위치한다고 가정한다. 이는 차량의 평균길이를 4m, 차량간의 간격을 1m라 하였을 때 최대 20대의 차량이 대기할 수 있는 길이이다 [13].

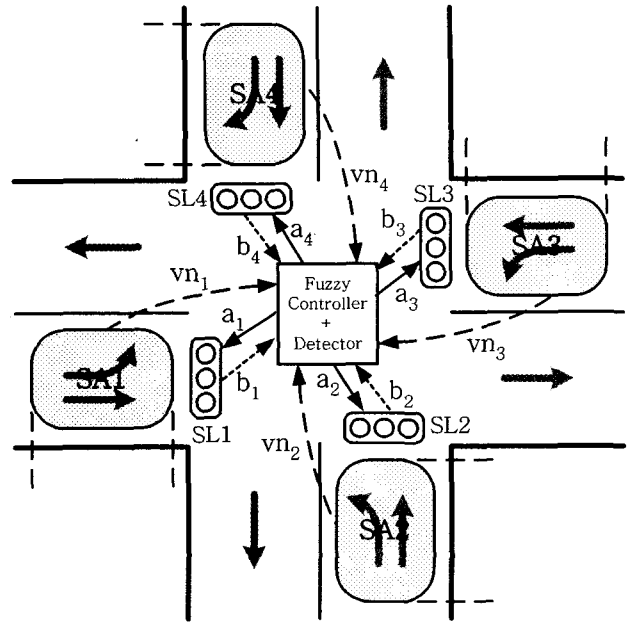


그림 4. 교차로 모델
Fig. 4. Model of intersection

보편적으로 사용되는 정주기식 교통 신호기는 할당되는 신호시간이 일정하여 단기간의 차량 변화에 대처하지 못하고, 이러한 점을 고려하여 설계된 단위시간 연장신호기는 기본신호시간을 준 뒤 대기하는 차량의 유무를 파악해서 단위 시간만큼 신호를 연장하는 신호기이다. 이에 반하여 본 논문에서 제시된 교통신호기는 각 방향에서의 측정된 차량 진입량에 따라 신호시간이 변동하는 신호기이다.

4.2 단방향 교통 제어기 모델

단일 방향의 교통 신호 제어기 모델은 크게 FTTPN부와 퍼지 제어기부로 나뉜다. 그림 5.는 사용된 FTTPN모델이다.

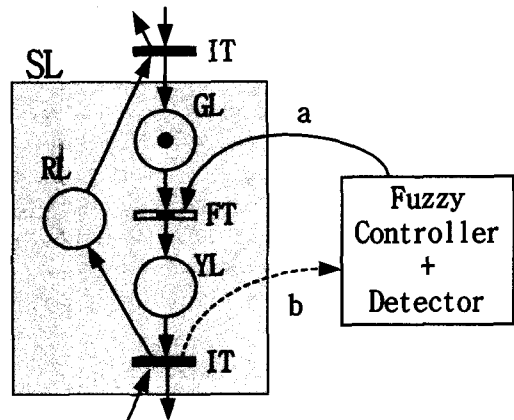


그림 5. 단방향 교통 제어기 모델
Fig. 5. Model of traffic controller for a direction

그림 5.의 모델에서 각 플레이스와 트랜지션의 의미는 표 2.과 같다.

표 2. 플레이스와 트랜지션의 의미
Table 2. Description of place and transition

	적색신호 점등, 황색신호 소등
	녹색신호 점등, 적색신호 소등
	황색신호 점등, 녹색신호 소등
	녹색신호 지속시간(퍼지값)
	황색신호 지속시간(3초)

IT가 발화하면 지속시간(3초)이 지난 후 토큰은 GL로 이동하여 적색 신호의 종료를 알림과 동시에 녹색신호를 점등시킨다. 또한 IT의 발화와 동시에 퍼지 제어기에 동기 신호를 제공하여 차선에 설치된 센서를 통해 제어기가 차량의 정체정도를 입력받아 퍼지제어기 출력 값을 계산하도록 하였다. 이 동기신호 (b)는 그림에서 점선 화살표로 표현하며, 페트리 넷의 입, 출력 함수를 나타내는 것이 아니므로 토큰의 변화에는 영향을 미치지 않는다. GL로 토큰이 이동하면 FT가 발화하여 퍼지제어기의 출력 값(a)만큼 신호를 지속한다. 단, 퍼지 제어기의 출력은 트랜지션 고유의 시간 간격을 넘지 못한다. 시간이 지난 후 토큰은 YL로 이동하여 녹색신호의 종료와 황색신호의 점등이 동시에 발생하며, 다음 방향의 신호기의 IT가 발화된다. 위와 같은 신호기의 동작은 순환하게 된다.

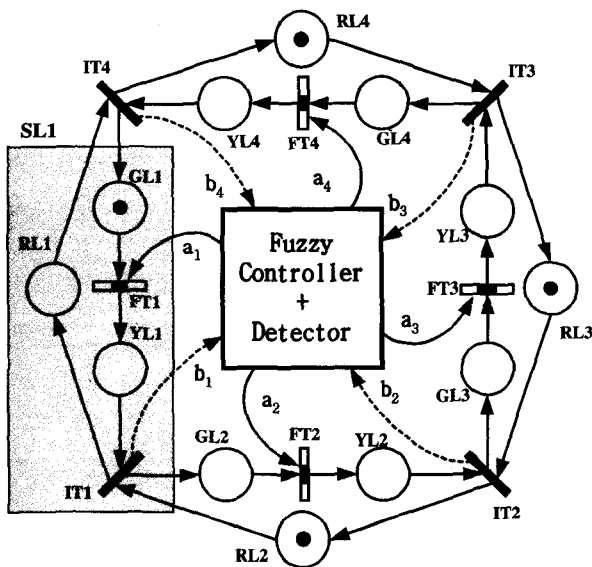


그림 6. 교차로 교통제어기 모델
Fig. 6. Model of traffic controller in four-way intersection

교차로에서의 교통제어 신호기의 모델은 그림 5.의 기본 모델 4개를 연결함으로써 그림 6.과 같이 얻어진다. 기존의 연구에서는 차량의 흐름을 토큰 수로 표현하였으나, 본 논문에서는 대기 차량 수를 퍼지 제어기 입력으로 모델링 한다. FTTPN으로 모델링된 시스템에서 퍼지 시간 트랜지션의 발화 시간을 결정하기 위하여 퍼지 제어기(모델)를 사용하였다. 제안된 방법과 성능 비교를 위한 단위 시간연장 신호기는 통계 시간 페트리 넷으로 모델링 한 것으로 [13]의 모델을 사용하였다.

5. 시뮬레이션 및 결과 고찰

FTTPN에 의해서 모델링 된 교통신호 제어기의 성능을 평가하기 위하여 Matlab을 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 개발하였으며, 1개의 교통 조건이 시뮬레이션 되었고, 그 결과는 단위시간 연장신호기와 비교되었다.

시뮬레이션을 위하여 그림 6의 사건 발화시간(FT)을 0에서 35초 사이 값으로 제한하였는데, 이는 검출기 사이의 최대 대기차량 20대가 모두 통과 할 수 있는 시간으로, 제어기 출력에 의한 신호연장에 따라서 발생할 수 있는 차량의 충돌을 방지한다. 시뮬레이션은 그림 4.의 SA1, SA2, SA3, SA4로 하였기 때문에 검출기 사이에 대기하는 차량 수는 직진 차선과 좌 회전 차선에 대기하는 차량 중 큰 값을 사용하는 것으로 가정하였다. 총 시뮬레이션 시간은 1시간, 시뮬레이션 조건은 표 3.와 같다.

표 3. 차량 입력 대수
Table 3. The number of input vehicles

SL1	314
SL2	548
SL3	460
SL4	536

제안된 방법과 비교하기 위하여 단위 시간 연장 신호기는 다음처럼 가정한다. 차량 검출기는 교차로로부터 70m에 위치한다고 가정하면 교차로와 검출기 사이에는 약 13~14대의 차량이 대기 할 수 있다. 시뮬레이션에서 황색 신호를 3초로 하였고, 기본 신호 시간은 25초로 하였다. 기본 시간이 끝나면 차량의 유무를 파악하여, 5초씩 최대 2번의 신호연장이 가능하도록 하였다. 2번의 연장 시간이 모두 끝나면 신호를 종료하고 다음 상태로 천이 되도록 하였다.

성능지수로는 교차로 각 방향에서의 차량의 평균 지연시간이 사용되었다. 시뮬레이션 결과는 그림 7.에 보인다.

제안된 방법은 모든 방향에서 좋은 성능을 보인다. 차량의 입력이 많이 차이가 나는 교통조건(표 3.의 SL1)에서는 최대 6.43% (평균 4.45%)의 개선을 보인다. 교차로에서 차량의 입력량이 적게 차이가 나는 조건(표 3.의 SL2)에서는 최대 1.88% (평균 0.96%)의 성능 개선을 보인다. 이런 결과는 차량의 입력이 매우 적은 방향의 교차로에서 뛰어난 성능을 보인다. 즉 교차로에서 한 방향의 평균차량의 입력이 적은 곳에서는 신호 시간을 짧게 하여서 차량의 지연시간을 효과적으로 줄일 수 있다. 차량의 입력이 많고 일정한 방향에서는 적은 개선을 보인다. 이런 조건에서는 교통량이 교차로의 용량에 근접하기 때문에 이를 개선하기 위한 여유가 무척 작다는 것을 의미한다.

본 논문은 퍼지 이산사건 시스템인 교통 교차로 제어기를 모델링하기 위하여 퍼지 시간을 도입한 FTTPN을 사용하여 최적의 신호시간을 제어하였다. 제안된 모델은 교차로의 각 방향에 대하여 독립적이기 때문에 교차로의 상태나 교차로의 종류에 따라 능동적으로 응용 할 수 있다.

시뮬레이션으로부터 얻어진 결과는 기존의 교통시스템을 모델링한 단위시간 연장 신호기보다 퍼지 이산사건 시스템으로 모델링한 퍼지 트랜지션 시간 페트리 넷이 우수함을 보인다. 제안된 FDES은 FMS등 많은 분야에 적용 가능하며, 이산사건 시스템임에도 불구하고 시스템의 구성요소가

가지는 정성적인 특성 때문에 발생되어지는 모델링과 제어의 어려움을 해결할 수 있다.

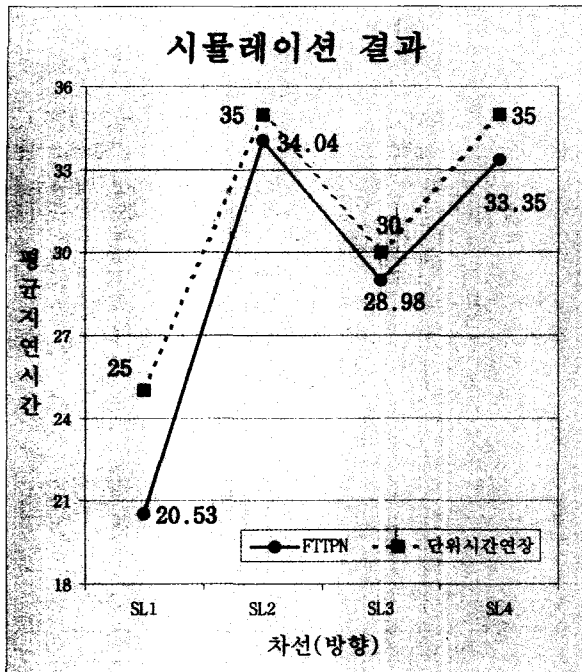


그림 7. 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulation result

참고 문헌

[1] E. C. Yamalidou, E. P. Patsidou and J. C. Kantor, "Modeling Discrete Event Dynamical Systems for Chemical Process Control A Survey of Several New Techniques", Computers Chem. Engng, Vol. 14, No. 3, pp. 281-299, 1990.

[2] R. Sengupta and S. Lafortune, "Optimal control of a class of Discrete Event System", IFAC Symposium on Distributed Intelligence Systems, Arling, Virginia, August 13-15, pp. 25-30, 1991.

[3] MengChu Zhou, Kevin McDermott and Paresh A. Patel, "Petri Net Synthesis and Analysis of a Flexible Manufacturing System Cell", IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., Vol. 23, No. 2, pp. 523-531, 1993.

[4] E. C. Yamalidou and J. C. Kantor, "Modeling and Optimal Control of Discrete-Event Chemical Processes using Petri Nets", Computers chem. Engng, Vol. 15, No. 7, pp. 503-519, 1991.

[5] H. S. Hwang, S. C. Joo and D. Ionescu, "The Controller modeling using the temporal logic model in Discrete Event Dynamic Systems", Journal of the KISS, Vol. 21, No. 9, pp. 1665-1674, 1994

[6] Feng Lin, Hao Ying, "Modeling and Control of Fuzzy Discrete Event Systems", IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.-Part B, Vol. 32, No.4, August. pp. 408-415, 2002.

[7] Jiacun Wang, Timed Petri Nets Theory and Application, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 1998.

[8] Jabette Cardoso, Heloisa Camargo, (eds), Fuzziness in Petri Nets, Physica-Verlag, pp115-145, 1999.

[9] Jee-Hyong Lee and Hyung Lee-Kwang, "Distributed and Cooperative Fuzzy Controllers for Traffic Intersections Group" IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., Vol. 29, pp. 263-271, 1999.

[10] 오 성권, 퍼지 모델 및 제어이론과 프로그램. 기다리. 1999.

[11] C. P. Pappis. 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.

[12] R. Hoyer, U. Jumar, "Fuzzy control of traffic light." in Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst, 1994, pp. 1526-1531.

[13] 고 인선, "스토캐스틱 페트리 네트를 이용한 교통량 대응신호기 설계 및 교통 흐름 분석" 전자 공학회 논문지, pp.306-316, 3월 1999.

[14] Mo young-seoung, "Fuzzy Transition Timed Petri net for modeling and analyzing of Discrete Event systems" 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, Vol. 11, No. 2, pp.119-126 2001.

저 자 소 개



황형수(Hyung-Soo Hwang)
1981년 : 전북대학교 전기공학과 졸업.
1987년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(공학)
1991년~현재 : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수

관심분야 : 지능제어, 퍼지제어, 이산사건 시스템, 자동제어



김진권(Jin-Kwon Kim)
1998년 : 원광대학교 제어계측공학과 졸업.
2000년 : 동 대학원 제어계측공학과 석사
2000년~현재 : 동 대학원 전기공학과 박사과정

관심분야 : 이산사건 시스템, 자동제어, 지능제어



김정철(Jung-Chul Kim)
2000년 : 원광대학교 전기공학과 졸업.
2002년 : 동 대학원 제어계측공학과 석사
2002년~현재 : 전북대학교 대학원 메카트로닉스공학과 박사과정

관심분야 : 이산사건 시스템, 자동제어, 지능제어