2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003.7.21-23

퍼지 시간논리를 이용한 퍼지 이산사건시스템의 모델링

김진권*, 김정철, 황형수
원광대학교 전기공학과

Modeling of Fuzzy Discrete Event System using Fuzzy Temporal Logic

Jin-Kwon Kim, Jung-Chul Kim, Hyung-Soo Hang
Dept. of Electrical Engineering, Wonkwang University

Abstract - 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 방법에 대하여 연구하였다. CDES는 모델링 방법이 많이 연구되어져 왔으나, FDES는 발생되어지는 사건들의 정성적인 특성과 적용되어지는 경우가 드문 이유로 거의 연구되어져 있지 않다. 본 논문에서는 temporal logic에 fuzzy개념을 도입하여 fuzzy DES의 새로운 모델링 방법을 제시하고 의료진단 시스템에 적용하였다.

1. 서 론

많은 대규모의 동적 시스템들은 이산사건 시스템 구조 [1][2]로 이루어져 있다. 이러한 시스템들은 기존의 제어 및 시스템 이론[3][4]으로 취급될 수 있는 연속변수 시스템(CVS:Continuous Variable System)처럼 상미분이나 편미분 방정식에 의해 처리될 수 없으며 이산적인 상태와 이 상태들 사이에서 사건의 천이관계를 나타냄으로써 표현할 수 있다. 이러한 시스템으로 생산 시스템, 교통 시스템, 일괄처리, 통신 시스템[5], 전문가 시스템[6] 등을 예로 들 수 있다. 이런 시스템을 이산사건 시스템(DES:Discrete Event System)[1]이라고도 부른다. 모델링 방법으로는 Automata, Petri net, Temporal Logic Framework[7]등이 제안되었다. 이러한 이론들 중에 시간논리구조는 일반 논리구조에 시간개념을 부가한 구조로 시간관계를 논리적으로 표현한 이론으로 정의되었기 때문에 이산사건 시스템의 동작을 표현하기에 용이하고 시간관계를 논리적 표현함으로써 사건의 전후관계와 다음 상태, 최종 상태 등을 표현하기에 편리하다.

최근 이산사건 시스템에 대한 많은 연구가 이루어지면서 주어진 정보와 데이터를 통해 의사가 환자의 상태를 명확하게 판별하기 곤란한 의료진단과 같은 시스템도 이산사건 시스템의 범주에 있음을 알게 되었다.

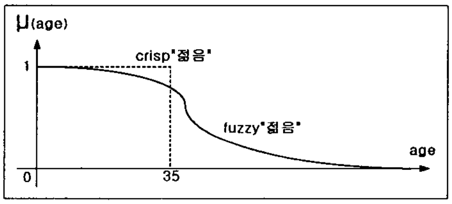
본 논문에서는 이러한 모호한 사건과 명확하지 않은 상태천이를 가지는 시스템의 고유특성을 나타내기 위해 퍼지개념을 도입한 퍼지사건과 퍼지상태로써 시스템을 나타낼 수 있도록 하며 퍼지 이산사건시스템(FDES: Fuzzy Discrete Event System)[11]이라고 규정하고 일반적인 DES를 Crisp Discrete Event System(CDES) 라고 하여 구별한다. 마찬가지로 일반적인 모델링 방법은 부적절하므로 본 논문에서 퍼지개념을 도입한 새로운 시간논리구조인 퍼지 시간논리구조(FTLF:Fuzzy Temporal Logic Framework)방법을 제안한다. 구성은 2장에서 퍼지 이산사건시스템과 시간논리구조와 제안된 모델링 방법인 퍼지 시간논리구조를 설명한다. 3장에서는 결론을 보였다.

2. 본 론

2.1 퍼지 이산사건시스템(FDES)

현재까지 상태와 사건이 뚜렷히 구별되게 구성되어진 CDES는 널리 연구가 되어지고 있지만 인간의 건강진단시스템과 같이 상태들의 천이가 생의학적인 범위에서 고려되어질 때 진단을 위한 판단의 근거가 불확실하고 모호하게 될 수밖에 없고 진단결과 역시 명확하지 않다. 예를 들면, 환자의 건강상태나 치료상태를 단순히 "좋다"라고 판정하는 것은 다분히 불명확하다. 더욱이 환자상태의 변화를 "0" 이나 "1" 처럼 뚜렷하게 판정할 수가 없기 때문에 "좋다" 와 "나쁘다" 사이에서 변화하는 것을 정확히 나타낼 수는 없다.

따라서, 퍼지집합 "젊음"이 가지는 멤버쉽[그림1]에서처럼 애매모호하거나 일정범위에 걸쳐 멤버쉽 변수를 가지는 퍼지집합을 도입하여 보편적 판단의 근거가 모호해서 명확한 판정을 퍼지사건과 퍼지상태를 이용하여 FDES의 구조를 구현할 수 있다.



[그림1] "젊음"에 대한 crisp 와 fuzzy 의 비교

2.2 시간논리구조(TLF)

시간논리(Temporal Logic)는 물리적 또는 프로그램에서의 상태가 시간에 따라 변하는 궤적을 수식적으로 표현하려는 방법으로 제안되었다. 시간논리구조는 시간개념을 포함한 술어논리의 확장된 형태이며, 시간 순차열에 따른 추론 지향적인 논리이다. 시간논리는 일반 논리를 이용하고 시제 표현식으로 표현 될 수 있으며 Allen's Properties-Event-Process 와 Mcdermott's Fact-Event 의 시제추론을 이용하였다. 이 논리는 주로 software 증명에 이용되었으며 최근에는 이산사건 시스템의 제어문제에 적용되었다.

시간논리구조는 시간과 시간에 대한 추론을 할 수 있는 형식구조이다. 시간논리구조는 종래의 Boolean 연결자인 ¬(not), ∧(and), ∨(or), →(implies), ↔(if and only if)를 포함하며 시간의 변화와 시간의 양을 표현하기 위한 시제연산자 □(henceforth), ◇(eventually), ○(next), U(until), P(proceed) 와 같은 연결자와 연산자를 이용하여 시간과 시제관계에 관한 추론이 가능한 구조이다. 이들 연산자들의 정의는 다음과 같다[7][8][9].

[정의 1] 부울 연산자와 시간 연산자

• 부울 논리 연산자

(1) $(\neg\varphi)$: φ는 참이 아니다.

(2) $(\varphi\wedge\phi)$: φ가 참이고 ϕ도 참이다.

(3) $(\varphi \vee \psi)$: φ가 참이거나 ψ가 참이다.
(4) $(\varphi \rightarrow \psi)$: φ가 참이면 ψ가 참이다.
(5) $(\varphi \leftrightarrow \psi)$: φ가 참이면 ψ가 참이고 ψ가 참이면 φ가 참이다.

• Temporal 연산자
(1) $(\Box\varphi)$: 지금부터 φ는 참이다.
(2) $(\Diamond\varphi)$: 미래에 φ가 참이 되는 점이 있다.
(3) $(\bigcirc\varphi)$: 다음 번에 φ는 참이 된다.
(4) $(\varphi U \psi)$: 현재 φ가 참이고, 미래에 ψ가 참이 되는 점이 존재한다면, 그때까지 φ는 참일 것이다.
(5) $(\varphi P \psi)$: ψ가 참이기 전에 φ는 참이어야 한다.

• 연산자의 전형적인 축약형
(1) 조건문 : $\varphi \rightarrow \psi \equiv (\neg\varphi \vee \psi)$
(2) 등위 접속 연산자 : $\varphi \wedge \psi \equiv (\neg(\neg\varphi \vee \neg\psi))$
(3) 쌍 조건문 : $\varphi \leftrightarrow \psi \equiv (\varphi \rightarrow \psi) \wedge (\psi \rightarrow \varphi)$
(4) eventually 연산자 : $(\Diamond\psi) \equiv (\neg(\Box(\neg\psi)))$
(5) precedes 연산자 : $(\varphi P \psi) \equiv (\neg((\neg\varphi) U \psi))$

2.2.1 시간논리구조(TLF)의 동적식

Lin과 Ionescu[7]에 의한 동적식(dynamic formula) $l(e,s)$ 은 다음 식과 같은 형태를 가진다.

$$\Box[\delta = e \wedge x = R \rightarrow (\bigcirc x) = Q]$$

것은 한 상태 $s = x$ 와 다음 상태 $s' = f(e,s) = \bigcirc x$에 의한 천이를 나타낸다. 이 식은 사건 e 의 발생에 의해 원소 x 가 상태 R 에서 상태 Q 로 변화함을 의미한다.

공정에서 시간논리구조 모델은 다음 식과 같이 6-변수를 가지는 모델 M 으로 정의된다.

$$M = (S, E, F^{*}, f, s_0, l)$$

여기서, S 는 상태 집합이고, E 는 사건의 집합이다. 각 사건은 한 상태에서 다음 상태로의 천이됨을 나타낸다. 또한, s_0 는 초기상태, f 는 발화함수(firing function), F^{*} 는 논리식의 집합이며 l은 E 에서 F^{*} 로의 라벨링 함수(labeling function)이다. $\forall s \in S$ 와 $\forall e \in f(s)$에 대해 S 에서 E 로의 사상(mapping)을 나타내는 함수로써 $e(s) = f(s,e)$가 정의된다. 여기서 $f(s)$ 는 상태 s 에서의 사건 발화(event firing) 집합이다.

$e(s) = f(s,e) = s'$ 은 한 상태에서 다음 상태로의 천이를 나타내므로 발화함수 f 를 실시간 프로그래밍에서 동적 동작으로 주어지는 다음상태 함수라고도 한다. 시간논리구조에서 한 상태를 정확하게 한 사건의 실행에 대응한다. 이 결과를 나타내기 위한 식은 다음 식과 같다.

$$\Box(S_i(x) \wedge E_{i+1}(x) \rightarrow S_{i+1}(\bigcirc x)]$$

여기서 $S_i(x)$는 x 의 현재상태, $E_{i+1}(x)$는 x에 대응하는 사건의 발생을 나타내며, $S_{i+1}(\bigcirc x)$는 다음 상태를 표현한다.

2.3 퍼지 시간논리구조식(FTLF)

공정에서 퍼지 시간논리구조 모델은 다음 식과 같이 6-변수를 가지는 모델 M 으로 정의된다.

[정의 2] 퍼지 시간논리 구조(FTLF)

$$\tilde{M} = (S, \tilde{E}, F^{*}, f, s_0, l)$$

여기서, $\tilde{E}$는 각 사건이 퍼지수로 이루어진 퍼지집합이고, 나머지 5개의 변수는 TLF와 정의가 같다.

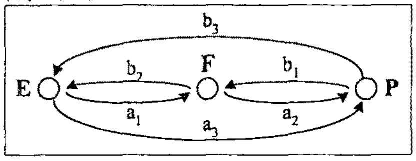
퍼지 시간논리구조에서도 한 상태는 정확하게 한 사건의 실행에 대응한다. 이 결과를 나타내기 위한 식은 다음 식과 같다.

$$\Box[S_i(x) \wedge \max\{\mu_E(x)\} \rightarrow S_{i+1}(\bigcirc x)]$$

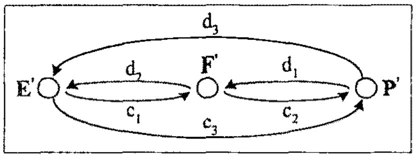
여기서 $s_i(x)$는 x의 현재상태, $\max\{\mu_E(X)\}$는 x에 대응하여 발생하는 각 사건들의 멤버쉽 함수중 가장 큰 값을 취하는 함수를 나타내며, $s_{i+1}(\bigcirc x)$는 다음 상태를 표현한다.

2.3.1 퍼지 시간논리구조의 모델링

FDES의 예로써 의료분야에서 의사가 환자를 검진하여 결과를 알아보는 건강진단 과정에 FTLF을 적용하여 본다. 먼저, 진단과목으로는 폐와 심장을 예로 들며 각각을 "상(excellent,E)", "중(fair,F)", "하(poor,P)"로 각 장기의 상태(state)를 구분한다. 한 상태에서 다른 상태로의 천이는 전 상태의 진단정도(event)에 따라서 다음 상태로 천이하게 되는데 상황에 따라 호전(a,c)과 악화(b,d)로 구분하였고 그 과정을 [그림2,3]에 도시하였다 이때, 진단정도를 나타내는 사건이 crisp 값이 아니므로 퍼지집합으로 나타내어 멤버쉽 값을 이용하여야 한다.[그림4]

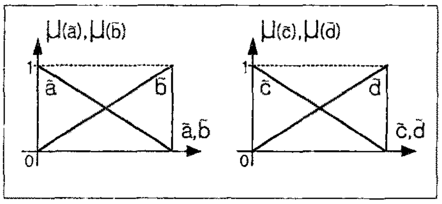


[그림2] 폐의 상태(E,F,P)와 사건(a,b)



[그림3] 심장의 상태(E,F,P)와 사건(a,b)

[정의 2]에 의해 상태와 사건들을 나열하여 보면, 상태 $S = \{E, F, P, E', F', P'\}$ 이고, $\tilde{E} = \{\tilde{a}, \tilde{b}, \tilde{c}, \tilde{d}\}$이다. 그리고, 각 사건들의 구간을 세 등분으로 구분하였다. 예로서 $\tilde{a} = \{a_1, a_2, a_3\}$ 와 같다. $(\tilde{a}, \tilde{b})$와 $(\tilde{c}, \tilde{d})$는 어느 한 시점(i)에서 $\mu(\tilde{a}_i) = 1 - \mu(\tilde{b}_i)$, $\mu(\tilde{c}_i) = 1 - \mu(\tilde{d}_i)$인 관계를 갖는다.



[그림4] 각 사건들의 멤버쉽 함수

이와 같은 조건을 가지고 FTLF로 모델링하면 다음과 같은 동적식을 얻을 수 있다.

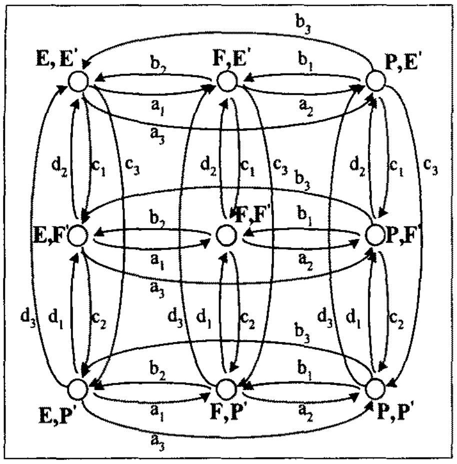
$$\Box[S_i(x) \wedge \max\{\mu_{\tilde{a}}(x), \mu_{\tilde{b}}(x)\} \rightarrow s_{i+1}(\bigcirc x)]$$

$$\Box[S_i(x') \wedge \max\{\mu_{\tilde{a}}(x'), \mu_{\tilde{b}}(x')\} \rightarrow s_{i+1}(\bigcirc x')]$$

여러 가지 진단과목을 합성하여 환자의 건강상태를 진단할 수가 있는 방법으로는 각 진단과목들을 병렬 합성하여 상태의 천이방향을 나타낼 수 있다.[그림5]

병렬 합성시에도 FTLF로 모델링하면 다음과 같은 동적식을 얻을 수 있다.

$$\Box[\ \{S_i(x) \wedge \max\{\mu_{\tilde{a}}(x),\ \mu_{\tilde{b}}(x)\}\} \\ \vee\{S'_i(x') \wedge \max\{\mu_{\tilde{c}}(x'),\ \mu_{\tilde{d}}(x')\}\} \\ \rightarrow S_{i+1}(\bigcirc x) \vee S'_{i+1}(\bigcirc x')]$$



[그림5] 폐와 심장의 병렬합성도

3. 결 론

본 논문에서는 시간논리구조에 퍼지이론을 도입하여 퍼지 이산사건시스템의 모델링 방법인 퍼지 시간논리구조를 제시하였다. 제시한 방법은 모호하게 진행되는 퍼지 이산사건시스템의 상태와 사건을 멤버쉽함수로 표현하였다. 이 멤버쉽 함수값의 크기가 제일 큰 사건에 의하여 상태천이가 되도록 퍼지 이산사건시스템을 모델링하였다. 정성적인 특성 때문에 일반적인 모델링 방법으로는 구현이 않되는 의료진단시스템에 적용하여 효과적인 모델링 방법임을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[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] George F. Luger and William A. Stubblefield, "Artificial Intelligence and the Design of Expert Systems", The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., California, 1989.

[4] P. J. Ramadge and W. M. Wonham, "Supervisory control of a class of discrete event process", SIAM J. Control. Optimiz., Vol. 25, No. 1, pp. 206-230, 1987.

[5] MengChu Zhou, Kevin McDermott and Paresh A. Patel, "Petri Net Synthesis and Analysis of a Flexible Manufacturing System Cell", IEEE trans. on systems, Man. and Cybernetics, Vol. 23, No. 2, March, pp. 523-531, 1993.

[6] 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.

[7] 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

[8] J. F. Allen, "Toward a general theory of action and time", Artificial Intelligence, Vol. 23, pp. 123-154, 1984.

[9] D. McDermott, "A temporal logic for reasoning about processes and plans", Cognitive Science, Vol. 6, pp. 101-155, 1982.

[10] Paolo Serafini and Walter Ukovich, "A mathematical model for the fixed-time traffic control problem", European Journal of Operational Research 42, pp. 152-165, 1989.

[11] Feng Lin, Hao Ying, "Modeling and Control of Fuzzy Discrete Event Systems", IEEE trans. on systems, Man. and Cybernetics-Part B, Vol. 32, No.4, August, pp. 408-415, 2002.