이산사건 동적 시스템의 안정화 관리 제어기의 설계

차 달 관°, 임 준 홍*
한양대학교 전자공학과

Stabilizing Supervisory Controller Design for Discrete Event Dynamic Systems

D. K. Cha°, J. Lim*
Dept. of Electronics Engineering, Hanyang University

ABSTRACT

A design of stabilizing supervisory controller for discrete event dynamic systems(DEDS) is investigated in this paper. The notion of system stability is introduced for the supervisory control and the stable behavior is defined. A framework of stabilizing supervisory controller, which controls a given system to have stable behavior, is formulated and a design method is proposed for the stabilizing supervisory controller.

제 1 장 서 론

이산사건 동적 시스템(DEDS)에 관한 연구는 생산 시스템, 컴퓨터 및 통신 시스템등을 대상으로 유한 상태 오토마타, 페트리 네트, 이산사건 시뮬레이션등의 기법이 연구되어 왔다. 또한 시스템이 복잡해짐에 따라 제어 이론적인 측면의 연구가 많이 필요하게 되었고 관리제어 방법이 Ramadge 와 Wonham에 의해서 제안되었다[1][2]. 한편, 시스템 상태의 개념을 도입하여 시스템의 안정도를 정의하고 시스템의 상태가 규칙적으로 어떤 주어진 집합으로 되돌아 가도록 제어하는 상태론적 접근 방법도 연구되어지고 있다[6][7].

관리제어 방법에서는 관리 제어기를 설계함으로써 사건시이퀀스의 결과가 원하는 집합내에 있도록 시스템을 제어할 수 있다. 상태론적 접근방법에서는 주어진 시스템에 대한 관측기를 설계하고 피드백 보상기를 설계함으로써 시스템의 상태가 일정한 집합으로 되돌아가도록 시스템을 제어할 수 있다. 그러나 기존의 관리제어 방법의 경우에는 사건 시이퀀스의 결과가 특정한 상태집합에 대하여 안정성을 보장할 수 없으며, 상태론적 접근방법에서는 deadlock이 발생하지 않는 시스템을 대상으로하기 때문에 deadlock이 존재하는 시스템의 경우에는 관측기의 설계가 불가능하며 따라서 시스템을 안정화시키는 보상기를 설계할 수 없게된다.

본 논문에서는 논리적 DEDS 모델을 대상으로 기존의 관리제어 방법에 시스템의 안정도 개념을 도입하여 주어진 시스템에 대한 안정동작을 정의한다. 또한 시스템이 안정동작을 하도록 제어하는 안정화 관리 제어기의 구조를 제안하고 그러한 안정화 관리 제어기의 설계 방법을 제시한다.

제 2 장 DEDS의 관리제어

논리적 DEDS 모델에서 우리가 관심있는 것은 어떤 프로세스가 발생시킬 수 있는 사건의 시이퀀스들이다. Σ를 사건의 집합이라 하고 Σ^*를 사건 스트링의 집합이라고 정의한다. 물리적으로 가능한 사건 스트링의 집합을 Σ^*의 부분집합 L로 나타내고 이것을 Σ에 대한 언어(language)라고 한다. 또한 $\overline{L} = \{u : uv \in L \text{ for some } v \in \Sigma^*\}$ 에 대해서 $\overline{L} = L$ 이면 L을 prefix closed라고 부른다.

논리적 DEDS 모델에서는 DEDS의 동작을 사건집합 Σ에 대한 prefix closed language L로 나타내게 되며 동작 L은 상태 전이 모델을 도입함으로써 쉽게 나타내어질 수 있다[1][2].

$$G = (Q, \Sigma, f, q_0, Q_m) \tag{1}$$

Q는 상태집합, q_0는 초기 상태, Q_m은 marker state를 나타내며 $f : \Sigma \times Q \to Q$는 상태 전이함수를 말한다. 따라서 식 (1)에서 발생기라 불리는 G가 플랜트의 역할을 하며 초기상태 q_0에서 시작하여 상태 전이함수 f에 따라 사건들의 시이퀀스를 발생시키는 동적 시스템으로 해석될 수 있다.

상태 q에서 가능한 사건의 집합 $\Sigma(q) \subseteq \Sigma$ 는 각 사건 $\sigma \in \Sigma(q)$에서 $f(\sigma, q)$가 정의된 집합을 말하며, 여기에서 상태 전이함수 f는 $\Sigma^* \times Q$에 대한 함수로 확장될 수 있고 G의 동작은 prefix closed language $L(G)$로 나타내어진다.

$$L(G) = \{ w : w \in \Sigma^* \text{ and } f(w, q_0) \text{ is defined} \} \tag{2}$$

사건집합 Σ는 제어 가능한 사건 Σ_c와 제어 불가능한 사건 Σ_u로 나누어진다. 제어 가능한 사건은 원하는 때에 disable 시킬 수 있는 사건을 말하며, 제어입력의 집합을 $U = \{0, 1\}^{\Sigma_c}$로 정의하고 제어입력 $u \in U$는 $u : \Sigma_c \to \{0, 1\}$로 나타내는데, 여기에서 $u(\sigma) = 1$이면 σ가 u에 의해 enable 됨을, 0이면 disable됨을 나타낸다.

DEDS의 제어는 앞서 일어난 사건의 스트링을 관측하여 주어진 DEDS G가 여러가지 조건들을 만족하도록 제어 입력을 스위칭시킴으로써 이루어지는데 그러한 제어기를 관리 제어기라 한다. 관리 제어기 S는

$$S = (R, \Phi) \tag{3}$$

으로 나타내며 여기에서 $R = (X, \Sigma, \xi, x_0, X_m)$으로 표현되는데, X는 상태집합, $\xi : \Sigma \times X \to X$ 는 상태 전이함수, x_0는 초기상태, $X_m \subseteq X$ 는 marker state를 나타낸다. 상태 궤환 지도(state feedback map)라 불리는 $\Phi : X \to U$ 는 관리 제어기의 상태 x를 제어 입력 u로 사상(mapping)시키는 함수이다. 이렇게 하여 G에서 발생되는 사건의 시이퀀스가 관리 제어기의 입력으로 들어가 상태 전이를 일으키고 Φ에 의해서 제어 입력 u를 결정하게 되며 $L(S/G)$가 결합된 시스템의 동작 상태를 표시하게 된다.

DEDS의 관리제어에서 목표가 되는것은 관리제어에 의해서

$L(S/G)$이 $K \subseteq L(G)$ 가 되도록 주어진 시스템 G를 제어하는 것이다. $K \subseteq \Sigma^*$가 주어졌을 경우, 다음의 식을 만족하면 K는 제어 가능(controllable)하다고 한다[2].

$$K\Sigma_u \cap L(G) \subseteq K \qquad (4)$$

K가 제어 가능하면 $L(S/G) = K$가 되도록 하는 관리 제어기 S가 존재한다.

한편 실제 시스템에서는 S가 모든 사건을 관측할 수 없는 경우가 존재하게 된다. 이 경우 사건집합 Σ를 관측 가능한 사건 Γ와 관측 불가능한 사건 $\bar{\Gamma}$로 나눌 필요가 있다. 또한 $\Sigma_c \subset \Gamma$ 이라고 가정한다.

이러한 상황은 G와 S사이에 관측함수(observation function)라 불리는 관측단계(그림 1.)

$$P : \Sigma \rightarrow \Gamma \cup (\varepsilon) \qquad (5)$$

를 도입함으로써 표현될 수 있으며 $P(\sigma)$는 G에서 사건 σ가 발생되었을 경우 S에 의해서 관측된 사건을 나타내게 된다.

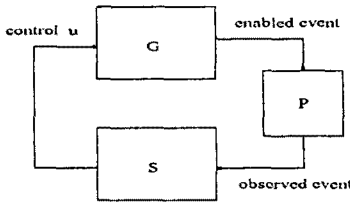

그림 1.> 관리제어에서의 관측함수

정의 1 [2][5]> $K \subset L(G)$ 라고 하자.

1) $K = L(G) \cap P^{-1}[P(K)]$이면 K는 P-normal이라고 한다.

2) $s, s' \in K$, $s\sigma \in K$, $s'\sigma \in L(G)$, $P(s) = P(s')$ 일때 $s'\sigma \in K$이면 K 는 P-observable 이라고 한다.

정리 1 [2][5]> $K \subset L(G)$ 가 closed 이고 P-normal 이면 K 는 P-observable 이다.

K 가 제어 가능하고 P-observable 이면 $L(S/G_c) = K$ 가 되도록 하는 관리 제어기 S 가 존재하게 된다.

제 3 장 안정도 및 안정화 가능성

Wonham에 의해 제안된 관리제어에서는 사건 시이퀀스의 결과가 원하는 집합내에 있도록 시스템을 제어하는것이 목적이었다. 이러한 접근방법을 언어론적 접근방법이라고 한다. DEDS를 제어하는 방법에는 이러한 언어론적 접근방법 외에 상태론적 접근방법이 있는데 이것은 주어진 DEDS의 상태가 규칙적으로, 상태집합 E로 돌아가도록 시스템을 제어하는 방법으로, E는 시스템이 정상적인 동작을 시작할 수 있는 상태집합을 말하며, 상태집합 E에 대한 안정도의 개념을 이 장에서 설명한다.

한편 시스템이 아무런 사건도 일어날 수 없는 상태에 도달하지 않을 경우 즉, $\forall q \in Q$, $d(q) \neq \emptyset$ 이면 시스템 G가 alive 라고 하며, 상태론적 접근방법에서 는 alive 시스템을 대상으로 하고 있다[6][7].

정의 2 [6][7]> E를 상태집합 Q의 한 부분집합이라고 하자. 상태 q에서 출발하는 모든 궤적이 i 상태전이 이내에 E를 지나게 되는 어떤 i가 존재하면 $q \in Q$는 E-prestable이라 한다. 또한 G가 alive 이고 q에서 도달할 수 있는 모든 상태가 E-prestable 이면 $q \in Q$는 E-stable 이라하며, 모든 $q \in Q$가 E-stable 이면 그 DEDS는 E-stable 이라고 한다.

$\Phi : Q \rightarrow U$로 표현되는 상태 피드백을 도입하면 페루프 시스템은 G_Φ로 나타낼 수 있다.

정의 3 [7]> 페루프 시스템 G_Φ에서 q가 E-prestable 하도록 하는 상태 피드백 Φ가 존재하면 상태 $q \in Q$는 E-prestabilizable 이라고 말하며 G_Φ가 E-stable 하도록 하는 Φ가 존재하면 그 DEDS가 E-stabilizable 하다고 한다.

보상기(compensator)를 $C : \Gamma^* \rightarrow U$ 로 정의하면 페루프 시스템 G_c가 E-stable 하도록 하는 보상기 C 가 존재할때 시스템이 output E-stabilizable 하다고 한다. 이러한 보상기는 시스템의 현재 상태를 추측하는 관측기와 관측기 피드백 함수 Φ 의 cascade 로 구현할 수 있으며, 관측기를 설계하고 상태 피드백 Φ를 구하는 예는 [7]에 보여져 있다.

정의 4 [7]> $Q_1 \subset Q$, $F \subset \Sigma_c$ 가 주어졌을때 만약 Q_1의 모든 원소에서 출발하여 관측 불가능한 사건만에 의해서 도달할 수 있는 모든 상태 q 에 대해서 $(\Sigma(q) \cap F) \cup (\Sigma(q) \cap \Sigma_u) \neq \emptyset$이면 F 가 Q_1-compatible 이라고 한다.

제 4 장 안정화 관리 제어기

기존의 관리제어 방법의 경우에는 사건 시이퀀스의 집합 $K = L(S/G)$가 특정한 상태집합에 대하여 안정성을 보장할 수는 없으며, 상태론적 접근방법에서는 alive한 시스템을 대상으로 하기 때문에 deadlock이 존재하는 시스템의 경우에는 관측기의 설계가 불가능해지며 따라서 관측기 상태 피드백을 통한 보상기를 설계할 수 없게된다.

이 장에서는 기존의 관리제어 방법에 안정도의 개념을 도입하여 상태집합 E에대한 안정동작을 정의하고, deadlock이 존재하는 시스템이 주어졌을 경우 상태집합 E에 대하여 안정동작을 하도록 시스템을 제어하는 안정화 관리 제어기의 구조를 제안하며, 안정화 관리 제어기의 설계 방법을 제시한다.

4.1 안정 동작

정의 5 > E를 상태집합 Q의 한 부분집합이라고 하자. 주어진 시스템의 모든 상태 $q \in Q$ 가 E-stable 이면 그 시스템이 E-stable 하다고 말하며, 이때 이러한 시스템이 발생시키는 모든 사건 시이퀀스의 집합을 K_s라고 표시하고 이것을 상태집합 E에 대한 안정동작(stable behavior)이라고 한다.

관측함수 P를 통하여 관리제어기 S에 의해 관측되는 사건 스트링의 집합은 $P(L(G))$로 나타낼 수 있다. $P(L(G))$를 구성하는 사건집합은 $\Gamma \subset \Sigma$가 된다. 안정화 제어기를 설계하기위하여 $P(L(G))$를 다음과 같은 상태전이 모델로 표현한다.

$$M = (Z, \Gamma, g, z_0) \qquad (6)$$

상태집합 Z는 2^Q의 부분집합으로 구성되며 $g : \Gamma \times Z \rightarrow Z$는 상태 전이함수를 말한다. 또한 $\Gamma(z)$는 z에서 정의된 사건의 집합을 나타내며, 또한 초기상태 z_0는 G의 초기상태 q_0에 의하여 주어진다. 따라서 M은 초기상태 z_0에서 출발하여, G에서 발생시키는 사건 스트링을 관측하여 상태전이를 일으키는 인식기(recognizer)로 해석될 수 있으며, $z(s)$는 G에서 사건 스트링 $t = P^{-1}(s)$가 발생하였을 경우 시스템 G에서 가능한 상태집합을 나타내게 된다.

주어진 시스템을 제어하기위하여 다음과 같은 안정화 관리 제어기 S_s를 도입한다.

$$S_s = (M_s, \Phi_s) \qquad (7)$$

$M_s = (Z_s, \Gamma, g_s, z_0)$에서 Z_s는 상태집합, Γ는 사건집합, g_s는 상태 전이함수, z_0는 초기상태를 나타내며 Φ_s는 $\Phi_s : Z_s \rightarrow U$로 표현되는 상태 궤환이다. 여기에서 목표가 되는것은 E에 대한 안정동작 K_s를 구하고 $L(S_s/G) = K_s$ 가

되도록 하는 안정화 관리 제어기 S_s를 설계하는 것이다.

4.2 안정화 관리 제어기의 설계

시스템 G가 주어지고 상태집합 $E \subset Q$ 가 정의되면 M을 구성할 수 있으며, Z에서 $E_M = \{z \in Z \mid z \in E\}$ 이 결정된다. 상태 피드백 $\phi : Z \to U$ 를 도입하고 다음의 알고리듬에 의하여 상태 피드백 ϕ 와 상태집합 Z^*를 결정한다.

알고리듬 :

1) $Z_k = E_M$, $k = 0$ 이라고 놓는다.

2) $z \in Z_0$ 에 대하여
$\phi(z) = \{\gamma \in \Gamma(z) \mid g(z, \gamma) \in Z_0\} \cap \Sigma_c$ 을 구하여 Z_0에 대한 상태 피드백을 취한다.

3) Z_k를 제외한 상태집합의 원소들 중에서 Z_k로 들어오는 사건이 그 상태에서 정의된 제어 불가능한 사건을 모두 포함하며 z-compatible 일때 그 상태들의 집합을 P_{k+1}로 놓는다.

4) $z \in P_{k+1}$ 에 대하여
$\phi(z) = \{\gamma \in \Gamma(z) \mid g(z, \gamma) \in Z_k\} \cap \Sigma_c$ 를 구하여 P_{k+1}에 대한 상태 피드백을 취한다.

5) $Z_{k+1} = Z_k \cup P_{k+1}$ 라고 하고 3) - 4) 를 반복한다.

6) $P_{k+1} = \emptyset$ 일때 끝내며 $Z_{k+1} = Z^*$ 이라고 놓는다.

위에서 결정된 Z^*와 ϕ에 의하여 z_0에 대한 도달 가능성분을 구하고 상태 피드백을 취한다. 이때의 상태집합을 z_s, 상태 피드백을 ϕ_s, 이때의 동작을 K라고 하면 $S_s = (M_s, \phi_s)$ 이며 $M_s = (Z_s, \Gamma, g_s, z_0)$가 된다. S_s는 $P(L(S_s/G)) = K$ 가 되도록하는 관리 제어기이며, K는 E_M에 대한 안정동작이다.

정리 2 >E_M에 대한 안정동작 $K \subset P(L(G))$ 에 대하여 $K^* = P^{-1}(K)$이라고하면 K^*는 제어가능하고 P-observable이다.

증명) $K^* = P^{-1}(K)$이므로 K^*는 $L(G) \cap P^{-1}[P(K^*)] = K^*$가 되는것은 당연하다. 그러므로 K^*는 P-normal 이며 따라서 K^*는 P-observable 이다. $s \in K^*, \sigma \in \Sigma_u$ 이고 $s\sigma \notin K^*$, $P(s\sigma) \in K$ 이라고 가정하면 $P(s\sigma) \in K$ 이므로 $P^{-1}(P(s\sigma)) \in K^*$ 이다. K^*는 P-observable 이므로 $L(G) \cap P^{-1}[P(s\sigma)] \in K^*$이다. 그러므로 $s\sigma \notin K^*$ 이고 $P(s\sigma) \in K$ 인 $s\sigma$는 $s\sigma \notin L(G)$ 이어야한다. 따라서 $K^*\Sigma_u \cap L(G) \subset K^*$ 이므로 K^*는 제어 가능하다. ■

정리 2에따라 K^*는 제어 가능하므로 $L(S_s/G) = K^*$ 가 되도록 하는 관리 제어기가 존재하며 이때의 관리 제어기는 $S_s = (M_s, \phi_s)$ 가 된다.

정리 3 >E_M 에 대한 안정동작 K 에 대하여 $K^* = P^{-1}(K)$ 라고 하면 K^*는 상태집합 E에 대한 안정동작 K_s 이다. .

증명) $E^* = \{q \in Q \mid q \in E_M\}$ 이라고하면 K가 E_M에 대한 안정동작이므로 $K^* = P^{-1}(K)$ 는 E^*에 대한 안정동작이다. $E^* \subset E$ 이므로 E^*에 대한 안정동작 K^*는 E에 대한 안정동작 K_s가 된다. ■

정리 3에따라 $K_s = P^{-1}(K)$ 이며, K_s 는 안정동작이므로 관리 제어기 $S_s = (M_s, \phi_s)$ 는 $L(S_s/G) = K_s$ 가 되도록 하는 안정화 관리 제어기로 동작하게 된다.

제 5 장 예제 및 고찰

5.1 생산 시스템

그림 2.와 같이 두대의 기계 M_1, M_2 와 버퍼(buffer) B 가 직렬로 연결된 생산 시스템을 예로 들어보자.

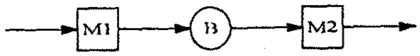

그림 2.> 두 대의 기계와 하나의 버퍼로 연결된 시스템

기계 M_1, M_2 는 I(idle), W(working), D(down) 의 세가지 상태를 가진다. 상태 전이는 s_i(start work), f_i(finish work), b_i(broke while working), r_i(machin repair) $i = 1, 2$ 의 8가지 사건에 의해서 일어난다. 제어 가능한 사건은 s_i 와 r_i 이며 각각 u_i와 v_i의 제어 변수를 가진다. 버퍼의 크기는 1로 제한되어 있어 E(empty)와 F(full)의 두가지 상태를 가진다. 표 1.은 시스템의 상태를 표시하는 표이며 초기상태는 0 이다.

상태	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
M_1	I	W	I	I	I	W	I	I	W	D	D	D	W	W	W	D	D	D
B	E	E	F	E	E	E	F	F	E	E	E	E	F	F	F	F	F	F
M_2	I	I	I	W	D	W	W	D	D	D	I	W	I	W	D	I	W	D

표 1.> 시스템의 상태

상태집합 {4, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17}은 두 기계중 하나 이상의 기계가 고장나 있는 상태의 집합이므로 시스템이 정상적인 동작을 시작할 수 있는 상태집합이라고 볼 수 없다. 또한 이 상태들을 제외한 상태집합에서 상태 12 와 13 은 제어 불가능한 사건에 의하여 dead 상태로 들어갈 수 있는 상태이다. 따라서 $E = \{0, 1, 2, 3, 5, 6\}$으로 정의한다.

5.2 모든 사건이 관측 가능한 경우

모든 사건이 관측 가능할 경우 $\Sigma = \Gamma$ 이므로 관측함수 P는 $P : \Sigma \to \Sigma$ 가 된다. 따라서 시스템이 발생시키는 동작 $L(G)$ 는 $P(L(G))$ 와 같게 되며, $E_M = E$ 가 된다. 4.2 에 제시된 알고리듬에 따라 M_s를 구하고 동작 K에대한 상태 전이가 그림 3.이며 이때의 상태 피드백 ϕ_s는 표 3.과 같다.

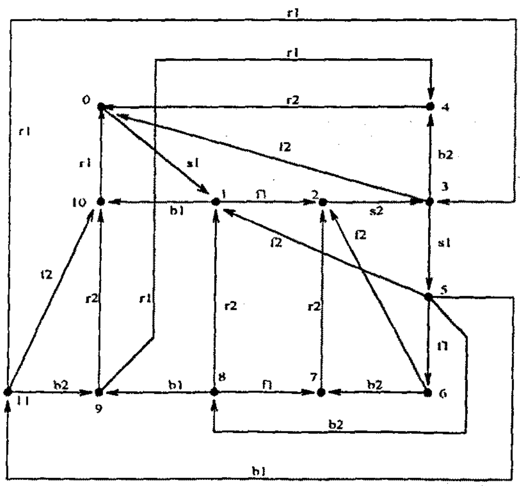

그림 3.> 동작 K

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
u_1	1	-	0	1	0	-	0	0	-	-	-	-
v_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1
u_2	0	0	1	-	-	-	-	-	-	-	0	-
v_2	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	-	-

1 = enable, 0 = disable, - = immaterial

표 3.> 상태 피드백 제어기

모든 사건이 관측 가능하기 때문에 $K_s = P^{-1}(K)$ 는 K와 같다. 이것이 상태집합 E에대한 안정동작이며 그림 3.의 동작과 같은 동작을 하게 된다. 그림 3.의 시스템과 표 3.의 상태 피드백을 결합한 것이 상태집합 E 에 대한 안정화 관리 제어기가 되며, 시스템이 발생시키는 사건을 관측하여 제어기의 상태 전이를 일으키고 이 상태에 따라 표 3.에 따라 제어 변수의 값을 결정하여 시스템의 제어 입력으로 내보내는 동작을 한다.

5.3 관측 불가능한 사건이 존재할 경우

사건집합 Σ에서 b_1, b_2를 관측 불가능한 사건으로 가정하자. 상태전이 모델 M을 구하면 E_M = { 0, 1, 2, 3 } 이 된다. 마찬가지로 제시된 알고리듬에 따라 M_s를 구하고 동작 K를 상태 전이 모델로 나타낸 것이 그림 4.이며, 이때의 상태 피드백 Φ_s 는 표 4.와 같다. 그림 4.의 시스템과 표 4.의 상태 피드백을 결합한 것이 안정화 관리 제어기 S_s 가 된다.

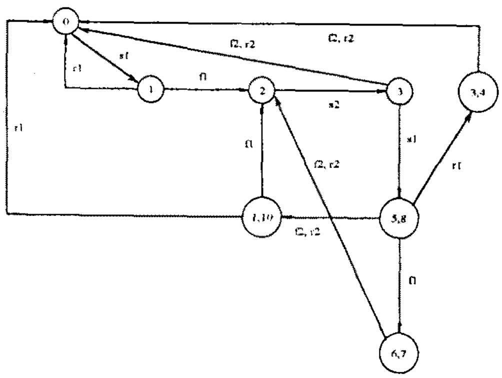

그림 4.> 동작 K

	0	1	2	3	5,8	6,7	1,10	3,4
u_1	1	-	0	1	-	0	-	0
v_1	-	1	-	-	1	-	1	-
u_2	0	0	1	-	-	-	0	-
v_2	-	-	-	1	1	1	-	1

표 4.> 상태 피드백 Φ_s

제 6 장 결 론

본 논문에서는 논리적 DEDS 모델을 대상으로하여 기존의 관리제어 방법에 시스템의 안정도 개념을 도입하고, 상태집합 E에 대한 안정동작을 정의하였다. 또한 deadlock이 존재하는 시스템이 주어졌을 경우, 시스템이 안정동작을 하도록 시스템을 제어하는 안정화 관리 제어기의 구조를 제안하였으며 그러한 안정화 관리 제어기의 설계 방법을 제시하였다. 간단한 생산 시스템을 대상으로, 본 논문에서 제시한 설계 방법을 통하여 시스템이 안정동작을 하도록 제어하는 상태 궤환을 구함으로써 시스템을 안정화할 수 있음을 보였다.

본 논문에서 제시한 안정화 관리 제어기의 설계 방법및 안정도의 개념을 시간사양 DEDS 모델[8]에 응용하고, 분산제어등의 방법을 연구하는것이 앞으로의 과제로 남아있다.

참 고 문 헌

[1] P. J. Ramadge and W. M. Wonham, "Supervisory control of a class of discrete event processes," *SIAM J. Contr. Opt.*, vol.25, no.1, pp. 206-230, Jan. 1987.

[2] P. J. Ramadge and W. M. Wonham, "The control of discrete event systems," *Proc. IEEE*, vol.77, no.1, pp.81-98, Jan. 1989.

[3] W. M. Wonham and P. J. Ramadge, "On the supremal controllable sublanguage of a given language," *SIAM J. Contr. Opt.*, vol.25, no.3, pp.637-659, May.1987.

[4] X. R. Cao and Y. C. Ho, "Models of discrete event dynamic systems," *IEEE Control System Mag.*, vol.10, no.4, pp.69-76, Jun. 1990.

[5] R. Cieslak, C. Desclaux, A. S. Fawaz and P. Varaiya, "Supervisory Control of Discrete-Event Processes with Partial Observations," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol.33, no.3, pp.249-260, Mar. 1988.

[6] C. M. Ozveren and A. S. Willsky, "Observability of discrete event dynamic systems," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol.35, no.7, pp.797-806, Jul. 1990.

[7] C. M. Ozveren and A. S. Willsky, "Output stabilizability of discrete event dynamic systems," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol.36, no.8, pp.925-935, Aug. 1991.

[8] B. A. Brandin and W. M. Wonham, "The Supervisory Control of Timed Discrete Event Systems," *Proc. of the 31st Conf. on Dec. and Cont.*, pp.3357-3362, Dec. 1992.