

하이브리드 합성 페트리 네트의 설계오류에 대한 매트릭스 분석 방법

김진권*, 모영승, 김정철, 홍형수
원광대학교 공과대학 제어계측공학과

Matrix Analysis Method for Design Error of Hybrid Synthesis Petri Net

Jin-Kwon Kim*, Young-Seung Mo, Jung-Chul Kim, Hyung-Soo Hwang
Dept. of Control & Instrumentation Engineering, Wonkwang Univ.

Abstract - This thesis presents a analysis method of hybrid synthesis petri net for automated manufacturing systems in discrete event dynamic system. There are many errors that can happen to petri net modeling of complex systems because petri net modeling process has so many steps. A new matrix analysis method presented in this thesis can confirm the property of petri net such as boundedness, liveness and reversibility, modify errors which can be occurred in modeling.

1. 서 론

연속변수 시스템에는 상미분, 편미분 그리고 차분 방식 등에 의한 안정도 이론, 최적제어 이론 등과 같은 많은 제어이론이 연구되어져 있다. 그러나 공정제어, 교통시스템, Flexible Manufacturing System, 통신등의 여러 응용분야에서 발견되는 이산사건 시스템의 모델링 및 제어에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으나, 아직도 포괄적이고 융통성 있는 제어이론이 연구되지 않았다. 현재 이산사건 시스템의 모델링 및 제어에 대한 연구는 Automata and Formal Language, Petri Net[1,2], Temporal Logic Framework[3,4] 등을 이용하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, 이산 사건시스템을 모델링 및 해석하기 위해 1962년 Petri net 이론이 제시된 이후 Petri net은 여러 분야에서 응용되고 있다. 본 논문은 현재까지 이산 사건시스템을 가장 체계적으로 모델링하는 페트리 네트의 하이브리드 합성방법으로 모델링된 시스템을 분석하는 새로운 매트릭스분석 방법을 제시하였다. 그러나 이 합성방법은 많은 단계를 거치게 되므로 오류가 발생하여 완벽하지 못한 최종 페트리 네트가 구현되어질 수가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 페트리 네트의 입·출력함수를 제안된 매트릭스형식으로 표현함으로써 페트리 네트의 특성을 검증 할 수 있고, 모델링과정에서 발생할 수 있는 오류에 대한 수정도 가능하다.

본 논문의 본론은 모두 4장으로 구성되어, 페트리 네트와 하이브리드 합성법에 대한 설명을 한 후에, 새로운 매트릭스 분석방법을 정의하고 마지막으로 적용 예를 보였다.

2. 본 론

2.1 페트리 네트

페트리 네트는 상호 작용하는 동시발생 구성요소를 갖는 이산사건 시스템을 모델링하고 설계할 수 있는 그래프 이론적인 그리고 시작적인 도구이다[1,2]. 페트리 네트는 동시적, 비동기적, 분산적, 병렬적, 비확정적, 그리고 확률적인 현상을 정보처리, 작업공정 시스템등을 묘사하고 분석, 연구하는 데에 유익한 도구이다. 그리고, 플레이스

내부에 있는 Marker들의 분포로써 페트리 네트의 상태를 표현하며, 토큰이라고 한다. 토큰들은 집합이론의 일종인 Bag이론에 의한다.

2.2 하이브리드 합성 페트리 네트

이산 사전시스템인 염료혼합공정을 모델링하기 위하여 페트리 네트를 체계적으로 합성하는 하이브리드 방법을 사용하였다[6].

이 하이브리드 합성방법은 전체가 6단계로써 먼저, 설계과정은 두 개의 중요한 단계로 나누어진다. (a)top-down 설계단계에서 1단계에서 3단계까지 구성되며, 설계자는 결합된 페트리 네트를 묘사하는 것으로 시작하여 원하는 단계를 얻을 때까지 더 세부적인 항목을 포함하기 위해 동작 플레이스와 트랜지션을 단계적으로 확장한다. 그리고 4단계에서 마지막 단계까지는 (b)bottom-up 설계단계로써 자원 플레이스를 네트에 덧붙인다. 만일, 필요하다면 (a)와 (b)방식을 바꿔서 실행할 수 있다. 그런 후, 복잡한 시스템에 대한 정성적(qualitative) 분석문제를 피하기 위하여 기본적인 설계모듈 집합과 합성과정에서 사용할 수 있는 상호배제 구조를 포함한다. 이 방법의 주된 장점은 모델링 항목들이 페트리 네트의 복잡성을 다룰 수 있도록 부가적인 방법으로써 다루어진다는 것과 실제의 공정시스템 제어를 위해 필요하며 시스템 성능분석을 하기 위하여 매우 중요한 특성인 유한성, 생동성 그리고 귀환성에 대한 어려운 수학적 분석을 피할 수 있다는 것이다.

2.3 매트릭스 분석 방법

하이브리드 합성방법이 복잡한 구조의 공정시스템을 페트리 네트로 구현하기에 적합하다는 것을 알 수 있다. 그러나, 여러 단계의 합성과정이 이루어지므로 사용자에 의한 오류가 발생할 수 있다. 따라서, 본 장에서는 제안된 분석방법을 통하여 하이브리드 합성방법의 일반적 규칙을 발견하고, 이 규칙을 이용하여 합성과정에서 발생되어질 수 있는 오류를 해결하려고 한다. 제안되어지는 분석방법은 매트릭스 형식을 이용한다. 그리고, 예제로 자동화 공정시스템을 페트리 네트분석에 사용한다.

2.3.1 매트릭스 형식 정의

페트리 네트의 플레이스와 트랜지션들을 매트릭스형식으로 나열할 때, 플레이스를 행 벡터로 표시하고 트랜지션은 열 벡터로써 표현한다. 이때, 비교를 위한 매트릭스를 구성하기 위해 다음과 같은 정의를 한다.

<정의 1> $N = (P, T, I, O, m_0)$ 로 하이브리드 합성 페트리 네트 가 주어지고, 시스템 공정라인의 수를 i 라고 하자 ($i \in N > 0$). 이때, 각 라인의 P_A , P_B 의 원소들을 각각 P_A , P_B 집합으로 표시한다 ($P_A \subset P_A$, $P_B \subset P_B$). 그리고, 플레이스에서 트랜지션으로의 입력함수는 I 로 표기하며 트랜지션에서 플레이스로의 출력함수는 O 로 표기한다. 완성된 하이브리드합성 페트리 네트의 원쪽 처음 부분으

로부터 오른쪽 마지막 부분까지 각 라인에 따른 집합(P_A , P_B)을 순서대로 행 벡터위치에 표기한다. 그리고 P_C , PME 그리고 SME 순서로 행의 위치에 표기한다. 트랜지션은 순서대로 열 벡터위치에 표기한다.

<정의 2> 입·출력 매트릭스가 <정의 1>을 성립하며 다음과 같은 조건을 만족할 때, 유한성을 가지는 하이브리드합성 패트리 네트이다.

- 동일 플레이스의 입력과 출력 트랜지션은 1개씩이다.
- 단, 아래와 같은 경우에는 동일한 플레이스의 입·출력 트랜지션들이 2개 이상이 될 수 있다.

- (a) 선택 동기구조의 시작 플레이스
- (b) 선택 PN 모듈에 의해 개선된 시작과 끝의 플레이스
- (c) GPME, GSME의 플레이스

<정의 3> 입·출력 매트릭스가 <정의 1>을 성립하며 다음과 같은 조건을 만족할 때, 생동성을 가지는 하이브리드합성 패트리 네트이다.

1. 모든 플레이스와 트랜지션에는 적어도 한 쌍의 입·출력 유향호(arc)가 존재한다.

<정의 4> 입·출력 매트릭스가 <정의 1>을 성립하며 다음과 같은 조건을 만족할 때, 귀환성을 가지는 하이브리드합성 패트리 네트이다.

1. 초기단계에서 초기단계 패트리 네트의 형태는 원료의 종류에 따라 결정구조 또는 선택동기구조를 사용한다.

(a) 결정구조일 경우, 각 공정라인의 시작 플레이스 P_C 는 최초 트랜지션으로부터의 입력함수 1과 최종 트랜지션으로부터의 출력함수 0가 한쌍으로 존재한다.

(b) 선택동기구조일 경우, 동일한 시작 플레이스 P_C 를 가지므로 하나의 시작 플레이스는 각 공정라인의 최초 트랜지션과 최종 트랜지션으로부터의 입·출력함수가 적어도 두 쌍 이상 존재한다.

또한, 입·출력 매트릭스에는 하이브리드 합성을 사용하였을 때의 여러 가지 형태가 나타난다[6]. 이러한 형태들을 다음과 같이 일반적 규칙으로 정의한다.

<정의 5> 부분 입·출력 매트릭스가 <정의 1>을 성립하며 <표 1>과 같은 형태이면, 부분 입·출력 매트릭스를 순차 PN 모듈이라 한다. <그림 1>

<정의 6> 부분 입·출력 매트릭스가 <정의 1>을 성립하며 <표 2>와 같은 형태이면, 부분 입·출력 매트릭스를 순차 상호배제라 한다. <그림 2>

<정의 7> 부분 입·출력 매트릭스가 <정의 1>을 성립하며 <표 3>과 같은 형태이면, 부분 입·출력 매트릭스를 선택 동기구조라 한다. <그림 3>

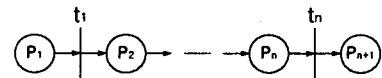
<정의 8> 부분 입·출력 매트릭스가 <정의 1>을 성립하며 <표 4>와 같은 형태이면, 부분 입·출력 매트릭스를 비공유 자원 플레이스라 한다. <그림 4>

<정의 9> 부분 입·출력 매트릭스가 <정의 1>을 성립하며 <표 5>와 같은 형태이면, 부분 입·출력 매트릭스를 연속된 비공유 자원 플레이스라 한다. <그림 5>

위와 같이 하이브리드 합성과정에서 나타나는 여러 가지 형태들을 일반적인 규칙으로 정의할 수 있다. 이 밖에도 병렬 PN 모듈, 선택 PN 모듈, 결정 PN 모듈, 병렬 상호배제, 결정구조 등이 있다[6].

P	T	1	2	...	n
1		■			
2			■		
⋮				⋮	
n					■
n+1					

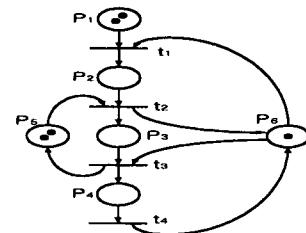
<표 1> 순차 PN 모듈



<그림 1> 순차 PN 모듈

P	T	1	2	3	4
1		■			
2		○	■		
3			○	■	
4				○	■
E					■

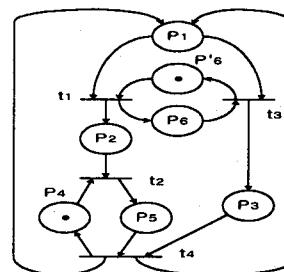
<표 2> 순차 상호배제



<그림 2> 순차 상호배제

P	T	1	2	3	4
4			■		
5				○	
6			○		■
6'					
1					■

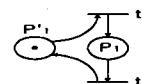
<표 3> 선택 동기구조



<그림 3> 선택 동기구조

P	T	1	2
1		■	
1'			■

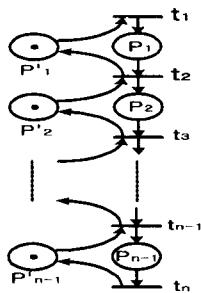
<표 4> 비공유 자원 플레이스



<그림 4> 비공유 자원 플레이스

P	T	1	2	3	...	n-1	n
1		■					
⋮							
n-1							
1'							
2'			■				
⋮							
n-1'							

<표 5> 연속된 비공유 자원 플레이스



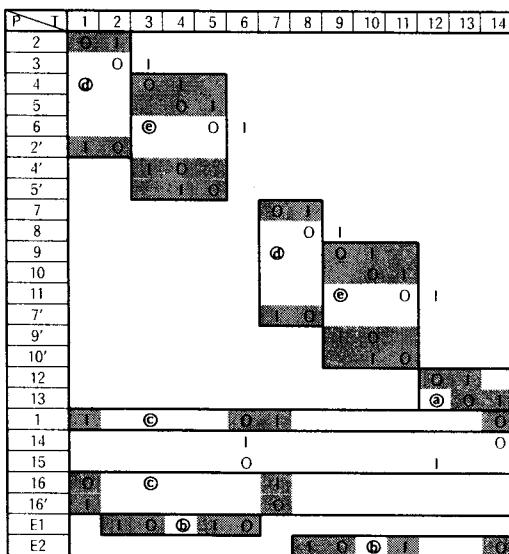
<그림 5> 연속된 비공유 자원 플레이스

2.4 적용 예 : 자동화 공정시스템

공정 시스템은 자동화 생산시스템으로써 네 개의 machine, 두 개의 로봇 그리고 두 개의 buffer 와 한 개의 조립 장치로써 <그림 6>과 같은 하이브리드 합성 패트리 네트로 구성되어진다[6].

전체적인 시스템의 운용은 다음과 같다. 공정에 원료가 투입이 되면 처음 원료는 machine1에서 작업이 수행되고 다음 원료가 machine2에서 작업이 수행된다. machine1에서 작업이 완료된 부품은 로봇1에 의해 buffer1에 저장되고, machine2로 이동이 된 원료는 작업완료 후 로봇2에 의해 buffer2에 저장된다. buffer1(2)로 저장이 된 부품은 로봇1(2)에 의해 machine1(2)로 이동되어지면 나머지 작업이 수행되어 진다. 마지막으로, machine1(2)에서 작업이 완료된 부품들은 조립장치를 통해서 조립되어 진 후 완제품은 배출되어 진다.

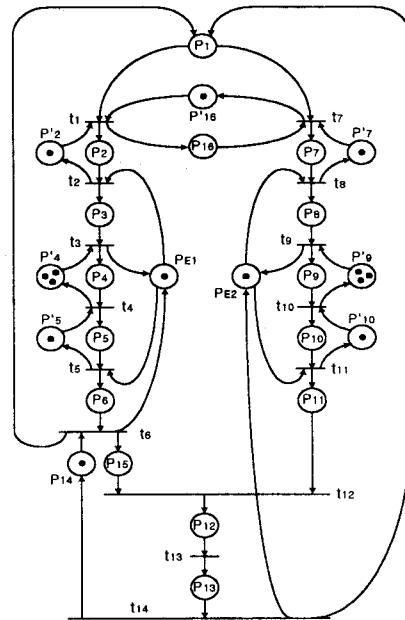
<그림 6>의 하이브리드 합성 패트리 네트를 <정의 1>에 기준하여 입·출력 매트릭스를 구성하면 <표 6>을 얻을 수 있다.



<표 6> 자동화 공정시스템

분석 결과

ⓐ 모듈은 순차 PN 모듈이며, ⓑ 모듈은 순차 상호배제 모듈, ⓒ 모듈은 선택 동기구조 모듈, ⓔ 모듈은 비공유 자원 플레이스 모듈 그리고 ⓕ 모듈은 연속된 비공유 자원 플레이스 모듈임을 <정의 1~9>를 통해서 확인할 수 있다. 따라서, 실제 예로서 사용된 자동화 공정시스템은 하이브리드 합성 패트리 네트로 오류없이 성공적으로 설계되었다고 말할 수 있다.



<그림 6> 자동화 공정시스템

3. 결 론

이산사건 시스템을 위한 형식화된 해석적 방법들의 개발은 프로세스 모델링과 제어를 위한 중요한 분야이다. 그러나 아직까지 이런 이론들이 충분히 연구되어지지 않았다. 하이브리드 설계방법은 경험이 적은 설계자들도 비교적 쉽게 패트리 네트로 모델링 가능하지만 많은 단계를 거치면서 오류가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 오류를 분석하고 잘못된 설계과정을 수정하기 위하여 규칙적인 형태의 입·출력 매트릭스형태를 이용한 새로운 분석방법을 제안하였다. 따라서, 설계가 완료되었을 때의 오류의 발생 여부는 미리 정의된 부분 입·출력 매트릭스와 비교함으로써 확인할 수 있으며, 또한 수정을 할 수 있다. 그러나, 매트릭스형태를 만들기 위해 입·출력 플레이스와 트랜지션을 배치할 때, 본 논문에서 일반적인 배치방법을 정의하였지만 특수한 공정에서는 설계자의 판단에 따라서 분석매트릭스의 형태가 달라진다는 단점이 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] J. L. Peterson, "Petri Net Theory and the Modeling of Systems", Prentice Hall, 1981
- [2] T. Murata, "Petri Nets : Properties, analysis and application", Proc. IEEE, vol.77, no.4, pp.541-579, 1989
- [3] J. Lin, D. Ionescu, "A generalized temporal logic approach for control problems of a class of nondeterministic discrete event systems", Proc. 29th IEEE Conf. D&C, pp.3440-3445, 1990
- [4] Ostroff, J.S., "Temporal logic for Real Time Systems", Press Limited and Wiley, New York, 1989.
- [5] J.G.Thistle, W.M.Woham, "Control problems in a temporal logic frame work", Int.J. Control, vol.44, pp. 943-976, 1986.
- [6] MendChu Zhou and F. Dicesare and A. A. Desrechers, "A Hybrid Methodology for Synthesis of Petri Net Models for Manufacturing Systems", IEEE Trans. on robotics and Automation, Vol. 8, No. 3, 1992.