

페트리 넷을 이용한 자동화 제조 시스템의 오류 감지 및 진단에 관한 연구

이 종 배* 임 준 흥*
한양대학교 전자공학과

Fault Detection and Diagnosis of Automated Manufacturing Systems Using Petri Nets

J. B. Lee* J. Lim*

Dept. of Electronics Eng. Han Yang Univ.

Abstract

In this paper, a method to detect and diagnose faults in Automated Manufacturing Systems(AMS) is proposed. In AMS, it is necessary to monitor the process-status. The detection and diagnosis of faults are often difficult in monitoring level with given passive data. We propose the model-based monitoring system for faults detection and diagnosis using Petri Nets to model AMS efficiently and easily. Simulation results show the validity of proposed method with example of Reverse Mill Process in Automated Mill Lines.

제 1 장 서 론

최근에 생산성향상을 통한 국제 경쟁력 강화 및 다양한 시장의 요구에 대처하기 위하여 산업공정은 단위 기계 자동화를 포함하여 전공정의 자동화를 추진하고 있다. 이러한 자동화 제조 시스템에서 어떤 장치의 고장 오류나 스케줄되지 않은 순차적 오류등은 생산성과 신뢰성에 크게 영향을 미친다. 오류의 감지(detection)는 어떤 공정에 오류가 있는지 없는지 판단하는 것이고, 진단(diagnosis)은 그 오류의 근원까지 찾는 것이다. 제어기와 시스템 단계의 모니터링 시스템을 가지고서 구현하는 기존의 방법은 세부적인 오류를 감지, 진단하는데 어려운 단점이 있다[1].

공정의 운영상태를 감시하는 것을 모니터링이라 하는데 [2] 하위 제어기 및 프로그래머블 제어기와 호스트 컴퓨터 사이에 통신이 가능하고, 공정의 운영상태를 효율적으로 표시하는 그래픽 기능을 가진 모니터링 시스템[3]을 본 연구에서 이용한다. 본 논문에서는 하위 모니터링 단계에서, 제어기로부터 오는 수동적 데이터도 스케줄되지 않은 기계의 동작이나 고장등의 세부적인 오류등을 감시, 진단한다. 방법으로 페트리 넷 모델을 이용하여 모델 기초 모니터를 개발한다.

본 논문에서 제 2장은 페트리 넷의 기본개념과 자동화 제조 시스템 모델링 방법에 대해서 제 3장은 오류감지와 진단 방법에 대해서 제시한다. 제 4장에서는 연속 공정라인인 압연 공정에 대해 시뮬레이션과 결과를 살펴본다.

제 2 장 페트리 넷

페트리 넷은 상태와 제어 정보가 그 시스템 전체에 걸쳐 분산되어 있을 때 매우 유용하므로 공장 자동화 시스템을 모델링하고 해석하는데 편리하다[4].

2.1 페트리 넷의 기본 개념

페트리 넷은 초기 마킹(initial marking)이라고 하는 초기 상태를 가지고 있는 그래프이다. 이 그래프에는 플레이스(place)와 트랜지션(transition)이라고 불리는 두가지 종류의 노드를 가지고 있고 플레이스에서 트랜지션으로 또는 트랜지션에서 플레이스로 화살표있는 호를 가지고 연결한다. 마킹(상태)은 각 플레이스에 있어서 0이 아닌 정수값 k 로 표현하고 플레이스내에 검은점을 찍어서 나타낸다.

플레이스에서 어떤 트랜지션(t)으로의 호가 그려졌을 때 그 플레이스를 입력 플레이스(input place)라고 하고, 트랜지션에서 플레이스로 호가 그려졌을 때 그 플레이스를 출력 플레이스(output place)라고 한다. 페트리 넷의 동작(behavior)을 결정하는 활성화와 점화의 규칙은 다음과 같다.

- 1) 어떤 트랜지션 t 의 입력 플레이스에 토큰이 한개 이상이면 그 트랜지션은 활성화(enable) 되었다고 한다
- 2) 활성화된 트랜지션만이 점화(fire)할 수 있는데, 활성화된 트랜지션 t 가 점화하면 t 의 입력 플레이스내 토큰의 갯수가 입력 호의 수만큼 없어지고 출력 플레이스내 토큰의 갯수는 출력 호의 수만큼 더해진다.

2.2 페트리 넷을 이용한 자동화 시스템의 모델링

제조 시스템에서 플레이스는 보통 자원, 즉 기계, 소재, 데이터, 통신 라인등을 표현한다. 플레이스내에 토큰이 있으면 그자원을 사용할수 있는 상태(available)이고, 없으면 사용할수 없음(unavailable)을 의미한다. 트랜지션은 일반적으로 어떤 사건(기계가 가공하는 작업, 물건을 전송하는 작업등)의 시작과 끝을 나타낸다.

제 3 장 자동화 제조 시스템에서의 오류감지 및 진단

3.1 지능 제어기에 의한 오류 감지

여기서는 페트리 넷을 이용한 오류 감지 진단에 대한 대표적인 방법을 제시한다[1]. 이 방법은 시스템 단계에서 지능제어기에 의한 방법인데 구성은 다음과 같다. 첫째 오류가 없는 정상 플랜트에서 생기는 비동기 동시 사건들을 발생하는 페트리 넷 모델, 둘째 물류 흐름을 모니터링하고 하부 제어기와 통신되는 시스템 단계 논리 제어기, 셋째 시스템 단계 진단 조직이다. 이 방법은 하부 단계의 세부적인 오류를 진단하기 어려운 단점을 가지고 있다.

3.2 수동 데이터를 이용한 모니터링 오류 감지 및 진단

제어기에서 오류를 감지하는 앞절의 방법의 단점을 보완하여 중앙 제어기가 있고 하부조작인 모니터링 시스템에서 공정 에 내려지는 수동적인 데이터를 가지고서 세부적인 특정오류를 감지하고 진단하는 방법을 제안한다.

3.2.1 모니터링 방법

먼저 각 자원(기계, 버퍼등)에 해당하는 레이블을 붙여서 구별한다. 그리고 상위 제어기와 적당한 프로토콜을 가지고서 통신을 하여 각 어떤 샘플링 주기마다 그때 그공정 라인의 실 데이터 값을 읽어와서 미리 같은 레이블로 그려놓은 각 자원의 그림에 그데이터를 맞추어서 화면에 보여주는 방식으로 한다.

3.2.2 패트리 넷트와 오류 감지 및 진단

먼저 마킹된 패트리 넷트 가 다음과 같이 $Z = (P, T, I, 0, m_0)$ 로 주어졌을 때 각 요소를 다음과 같이 정의 한다

$$\text{입력 함수 } I : P \times T \rightarrow \{0, 1\} \quad (1)$$

입력 함수는 P집합(n개 요소)과 T집합(m개 요소)의 순서쌍을 요소가 0,1인 $n \times m$ 행렬(Matrix)형태로 표현한다.

$$\text{출력 함수 } O : P \times T \rightarrow \{0, 1\} \quad (2)$$

출력 함수도 입력 함수와 마찬가지로 표현한다.

$$\text{마킹 } m : P \rightarrow N, N = \{0, 1, 2, \dots\} \quad (3)$$

마킹 m 은 다음과 같이 $m = (m_1 m_2 m_3 \dots m_n)^T$,

$(m_i \in N, i = 1, 2, \dots, n, n = |P|)$ n-vector로 표현한다.

$I(p, t), \forall p \in P$ 일때 $m(p) > 0$ 이면 $t (t \in T)$ 는 활성화 되었다고 하고 활성화 된 트랜지션만이 점화할 수 있다. (4)

활성화 된 트랜지션 t 가 마킹 m 에서 점화 하여 새로운 마킹 m 을 생성하는 규칙은 다음과 같다.

$$m'(p_i) = m(p_i, t) + O(p_i, t) - I(p_i, t), i=1, 2, \dots, |P| \quad (5)$$

본 논문에서 제시하는 방법을 알고리즘형태로 정리하면 다음과 같다.

- 1) 원하는 시스템 공정의 스케줄을 분석하여 모니터링 할 자원에 해당하는 레이블을 붙여 구별한다.
- 2) 스케줄대로 정상동작의 패트리 넷트 모델을 만든다.
- 3) 위의 정상동작의 모델에 의해서 점화가 일어날 조건을 테이블로 만든다.
- 4) 위의 테이블을 가지고서 각 플레이스의 의미에 따라 플레이스에 토큰이 존재할 조건을 구한다.
- 5) 모니터를 하면서 점화가 일어날 조건의 데이터가 들어오면 모델에서 그때의 트랜지션을 점화 시켜 식 5를 이용하여 마킹 m 을 구한다. 다음의 데이터가 들어오면 실제 데이터에서의 마킹 m_r 을 플레이스에 토큰이 존재할 조건으로 구한다.
- 6) 오류 감지와 진단은 다음과 같이 한다.

$m = m_r$ 이면 오류가 없는 것이다. 그리고

$m \neq m_r$ 이면 오류가 있다고 판단한다.

$$m = (a_1 a_2 a_3 \dots a_n)^T \text{ 이고 } m_r = (b_1 b_2 b_3 \dots b_n)^T$$

일때 $(n = |P|)$, $a_i = b_i$ 이면 p_i 는 정상 플레이스이고 $a_i \neq b_i$ 이면 p_i 는 오류 플레이스이다. 오류 플레이스에 해당되는 자원에 오류가 생겼다고 판단한다.

이 방법의 장점으로는 모니터링 단계에서 각 자원에 해당하는 수동적 데이터를 모두 받아 실시간으로 모니터링을 하기 때문에 오류가 생기면 즉시 각 오류를 감지하고 세부적인 오류를 진단 할 수 있다는 것인데 상위 단계의 오류, 즉 상위 제어기 또는 통신상의 오류는 진단할 수 없다는 단점이 있다.

제 4 장 압연 연속 공정 라인의 오류 감지 및 진단 (리버어스 밀 공정)

본장에서는 실제 응용의 예로써 압연을 위한 연속공정 라인 중 리버어스 밀(Reverse mill)에 해당하는 부분에 대해서 오류를 감지하고 진단한다.

4.1 압연 스케줄 및 모니터링

먼저 리버어스 밀의 구조를 살펴보면 엔트리, 프론트, 백, 런아웃의 4개의 테이블이 있고, 그 테이블 위에 HMD(Hot Metal Detect)1, HMD2, HMD3, HMD4, HMD5의 다섯개의 센서가 있으며, 두개의 로울이 있는 밀, 압연 두께를 조절해주는 스크류 다운 부분으로 구성되어 있다. 모니터링 환경은 앞절에서 말한 것과 같다.

4.2 패트리 넷트 모델과 시뮬레이션

리버어스 밀의 역할은 한번 패스때마다 스크류 다운을 한다 음 소재가 앞뒤로 오가면서 최대 9패스까지 압연할 수 있다. 이 논문에서 채택한 간단한 압연 스케줄은 패스 횟수를 3회로 하였다. 정상동작의 모델과 각 플레이스의 의미는 (그림 4-1) (표 4-1)와 같다. 그리고 트랜지션은 각 입력 플레이스 작업의 시작과 끝을 의미한다

플레이스	의 미
p0	엔트리 테이블을 사용할 수 있음
p1	소재가 입력 됨
p2	프론트 테이블을 앞방향으로 사용할 수 있음(첫패스)
p3	엔트리 테이블이 앞방향으로 소재 전송중
p4	스크류 다운
p5	밀을 앞방향으로 사용할 수 있음
p6	프론트 테이블이 앞방향으로 소재 전송중
p7	백 테이블을 앞방향으로 사용할 수 있음
p8	밀이 소재를 앞방향으로 압연 하는중
p9	백 테이블이 앞방향으로 소재 전송중

(표 4-1)

그리고 그 모델을 보고서 앞절에서 이야기 했던 각 자원과 레이블, 데이터, 트랜지션의 관계를 나타낸 표는 (표4-2), (표4-3)와 같다.

레이블	SAI1	DDI1	SAI2	DDI2	SAI3	DPI5
자 원	HMD1	Entry table	HMD2	Front table	HMD3	Reverse mill
레이블	DPI0	SAI4	DDI3	SAI5	DDI4	
자 원	Screw Down	HMD4	Back table	HMD5	Runout table	

(표 4-2) 각 자원에 대한 레이블

시뮬레이션 방법은 각 자원에 대한 입력 데이터를 파일로 저장 하여 1초마다 한번씩 주기적으로 읽어들이어 모니터링을 하고 또한 패트리 넷트 모델과 비교하여 정상 동작일때는 모니터링하면 마킹영역에 마킹을 표시하고, 오류가 발생 했을때는 패트리 넷트 마킹 표시를 중지하고 해당하는 자원 알람에 신호를 주게 하였다.

Label	SA11	DD11	SA12	DD12	SA13	DP15	DP10	SA14	DD13	SA15	DD14	PASS	점화
	0	양수	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	t0
	1	양수	0	양수	0	0	0	0	0	0	0	1	t1
	0	0	0	양수	0	양수	양수	0	0	0	0	1	t2
	0	0	0	0	1	양수	0	1	양수	0	0	1	t3
	0	0	0	0	0	0	0	0	양수	0	0	1	t4
	1	0	0	0	0	음수	양수	0	음수	1	0	2	t5
	0	0	0	0	0	음수	양수	0	음수	0	0	2	t6
	0	0	0	음수	1	음수	0	1	0	0	0	2	t7
	0	0	0	음수	0	0	0	0	0	0	0	2	t8
	0	0	1	양수	0	양수	양수	0	0	0	0	3	t9
	0	0	0	양수	0	양수	양수	0	0	0	0	3	t2
	0	0	0	0	1	양수	0	1	양수	0	0	3	t3
	0	0	0	0	0	0	0	0	양수	0	0	3	t10
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	양수	3	t11

(표 4-3) 데이터와 점화 조건

그리고 각 플레이스에 토큰이 존재할 조건은 (표 4-4)와 같다.

p0	SA11 0	DD11 양수	SA12 0	DD12 양수	SA13 0	DP15 양수	DP10 1
p1	SA11 0 <td>DD11 양수 <td>SA12 0 <td>DD12 양수 <td>SA13 0 <td>DP15 양수 <td>DP10 1 </td></td></td></td></td></td>	DD11 양수 <td>SA12 0 <td>DD12 양수 <td>SA13 0 <td>DP15 양수 <td>DP10 1 </td></td></td></td></td>	SA12 0 <td>DD12 양수 <td>SA13 0 <td>DP15 양수 <td>DP10 1 </td></td></td></td>	DD12 양수 <td>SA13 0 <td>DP15 양수 <td>DP10 1 </td></td></td>	SA13 0 <td>DP15 양수 <td>DP10 1 </td></td>	DP15 양수 <td>DP10 1 </td>	DP10 1
p5	SA13 0 <td>SA12 0 <td>DD12 양수 <td>DD11 0 <td>SA14 1 <td>SA13 1 <td>SA14 0 </td></td></td></td></td></td>	SA12 0 <td>DD12 양수 <td>DD11 0 <td>SA14 1 <td>SA13 1 <td>SA14 0 </td></td></td></td></td>	DD12 양수 <td>DD11 0 <td>SA14 1 <td>SA13 1 <td>SA14 0 </td></td></td></td>	DD11 0 <td>SA14 1 <td>SA13 1 <td>SA14 0 </td></td></td>	SA14 1 <td>SA13 1 <td>SA14 0 </td></td>	SA13 1 <td>SA14 0 </td>	SA14 0
p10	DD13 음수 <td>SA15 1 <td>DD13 음수 <td>SA15 1 <td>DP15 양수 <td>DD13 음수 <td>DD12 음수 </td></td></td></td></td></td>	SA15 1 <td>DD13 음수 <td>SA15 1 <td>DP15 양수 <td>DD13 음수 <td>DD12 음수 </td></td></td></td></td>	DD13 음수 <td>SA15 1 <td>DP15 양수 <td>DD13 음수 <td>DD12 음수 </td></td></td></td>	SA15 1 <td>DP15 양수 <td>DD13 음수 <td>DD12 음수 </td></td></td>	DP15 양수 <td>DD13 음수 <td>DD12 음수 </td></td>	DD13 음수 <td>DD12 음수 </td>	DD12 음수
p15	DP15 음수 <td>SA14 1 <td>DD12 음수 <td>SA13 0 <td>SA12 1 <td>SA12 1 <td>SA13 1 </td></td></td></td></td></td>	SA14 1 <td>DD12 음수 <td>SA13 0 <td>SA12 1 <td>SA12 1 <td>SA13 1 </td></td></td></td></td>	DD12 음수 <td>SA13 0 <td>SA12 1 <td>SA12 1 <td>SA13 1 </td></td></td></td>	SA13 0 <td>SA12 1 <td>SA12 1 <td>SA13 1 </td></td></td>	SA12 1 <td>SA12 1 <td>SA13 1 </td></td>	SA12 1 <td>SA13 1 </td>	SA13 1
p20	DD14 양수 <td>SA15 1 <td>SA13 0 <td>DD12 양수 <td>DD12 양수 <td>DD12 양수 <td>PASS 3 </td></td></td></td></td></td>	SA15 1 <td>SA13 0 <td>DD12 양수 <td>DD12 양수 <td>DD12 양수 <td>PASS 3 </td></td></td></td></td>	SA13 0 <td>DD12 양수 <td>DD12 양수 <td>DD12 양수 <td>PASS 3 </td></td></td></td>	DD12 양수 <td>DD12 양수 <td>DD12 양수 <td>PASS 3 </td></td></td>	DD12 양수 <td>DD12 양수 <td>PASS 3 </td></td>	DD12 양수 <td>PASS 3 </td>	PASS 3

(표 4-4)

4-3 시뮬레이션 결과 및 분석

예를 들어 데이터를 읽어들이면서 마킹이 다음과 같이 되면

$$m1 = (00001110000000000000)^T$$

t1이 활성화 되어 점화하게 되고 모델에서 다음 마킹은 아래와 같이 된다.

$$m2 = (00000001100000000000)^T$$

그런데 다음의 데이터에서 밀의 데이터가 양수가 아니고 0 이나 음수인 경우에는 데이터에서 생기는 마킹은 다음과 같이 구해진다.

$$m_r = (00000001000000000000)^T$$

여기서 $m_r \neq m2$ 가 되어 오류가 발생하게 된다

이 두마킹을 비교 해보면 플레이스 p8이 오류 이므로 이에 해당되는 자원 밀에 알람 신호를 발생시키게 된다. (그림 4-2)

제 5 장 결론

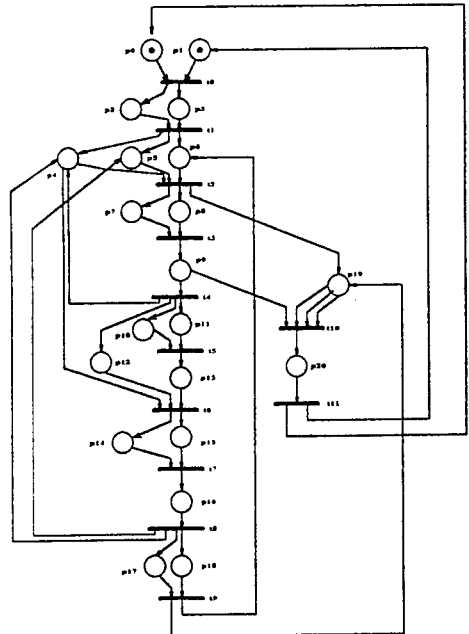
본 논문에서는 자동화 제조 시스템에서의 모니터링 환경이 주어지면 오류 감지와 진단을 할 수 있도록 페트리 넷트를 이용한 방법을 제시 하였고 실제 압연 공정에 대해서 시뮬레이션을 해보았다. 기존의 방법은 제어기 입장에서 제어 데이터를 주고 받음에서 발생하는 시간을 가지고서 오류를 감지하는 데 반해 여기서 제시하는 방법은 데이터를 받기만하는 입장에서 그 데이터를 가지고서 페트리 넷트 모델을 기초로 하여 오류를 감지 함으로써 하위 단계에서도 전 시스템에서 모니터링 할 특정 일부분에 대한 오류감지와 진단을 간단히 구현 할 수가 있다는 특징을 가지고 있다.

향후 모니터링 데이터와 각 플레이스와의 관계를 자세한 진단에 필요하도록 더욱 체계화 시키는 알고리즘의 개발이 필요하며, 연속 공정뿐 아니라 일반적인 FMS(flexible

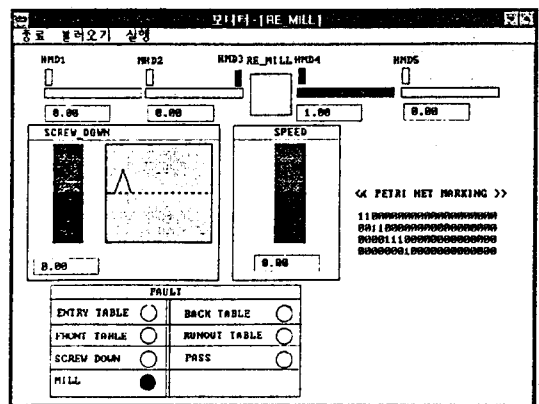
manufacturing systems)공정에서도 본 논문의 진단 방법에 적합하도록 하는 모델링 기법을 개발 하는 것도 필요 할 것이다.

참고 문헌

- [1] N Viswanadham, T L Johnson, "Fault Detection and Diagnosis of Automated Manufacturing Systems," Proceedings of the 27th Conference on Decision and Control Austin, Texas, December 1988.
- [2] A. Sahraoui, M. Courvoisier, R. Valette, J. Bigou, "Some considerations on monitoring in real-time distributed control of manufacturing systems," IEEE IECON-86, Milwaukee, October 1986
- [3] 김강배의 "연속 공정 자동화를 위한 Multi Function Controller의 개발," 특정연구 2차년도 최종보고서, 한국 과학 기술 연구원 1992.
- [4] Tadao Murata, "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications," Proceedings of the IEEE, vol.77, no..4 April 1989.



< Fig 4-1 > REMILL PROCESS PETRI NET MODEL



< Fig 4-2 > Fault Process