

창 립
40주년학술대회
논문 87-L-20-6

자동화된 생산 시스템의 유연한 제어 구조의 모델링과 시뮬레이션

*황 희수, 김 현기, 우 광방
연세대학교 전기공학과

Modeling and Simulation of Flexible Control Structures
for Automated Manufacturing Systems

Hee-Soo Hwang, Hyun-Ki Kim, Kwang-Bang Woo
Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ.

ABSTRACT

This paper presents a method for constructing models of manufacturing processes for simulation and design of the discrete control logic. The models represent the discrete event evolution of the system as well as features of the underlying continuous processes. For applications such as discrete parts manufacture and assembly, the process is decomposed into operations and for each operation the required resources and associated discrete resource states are identified. The structure of the discrete-level control is modeled by modified Petri nets which are synthesized from single resource activity cycles. Construction of nets provides discrete control logic with guaranteed properties based on extended Petri nets theory. For illustration, the proposed method is applied to the high-level discrete control of a two-robotic assembly cell.

1. 서론

자동화된 생산 시스템의 시뮬레이션은 시스템을 계획, 분석하는 동안 일어나는 문제들을 해결하기 위한 것으로 생산과 조립을 위한 자동화된 공정의 제어에 관한 실행성과 그것의 수행을 계획, 분석하기 위해 발전되어 왔는데 이는 공정의 질적 성질(시스템의 교착 상태의 부재와 적절한 재원의 할당)과 양적 성질(생산율, 공정 처리 시간, 기계 사용율등)을 평가하기 위한 것이다.

본 논문에서는 자동화된 생산 공정에서 동작들의 연속 시간 처리를 모델링하기 위한 모델의 발전과 불연속 제어 논리를 모델링(동작들의 순차와 일정을 모델링)하는 안전하고(safe) 살아있는(live) 수정된 페트리 넷트 형성 규칙을 이용하여 생산 공정의 양적, 질적 성질의 분석을 가능하게 하고 그 공정의 시뮬레이션을 위한 연속 공정 모델과 불연속 제어 논리의 결합을 행한다.

2. 자동화된 생산 시스템을 모델링하기 위한 접근

특정한 동작들과 재원들의 집합으로 분해될 수 있는 본질적으로 주기적인 자동화된 생산 공정이나 조립 공정을 고려해 볼 때 그 공정의 모델링은 시스템의 기능적 기술로부터

터 시작되고 그 기능적 기술은 1) 동작들 사이의 우선 관계들 2) 각 동작에 관련된 재원들과 3) 재원의 사용시에 발생하는 제약들을 포함한다.

2-1. 동작 모델

생산 공정이나 조립 공정에서 동작들은 공정의 요구되는 우선 관계들에 의해 결정된 순차들에 의해 수행되며 각 동작은 재원들을 포함하고 재원 부질들에 의해 제공된 정보는 하나의 동작과 관련된 공정 처리 시간, 재원에 따른 동작의 출력과 결과적인 영향들을 결정하는 것이다. 그림 2-1에서 보여진 것처럼 동작의 연속 시간 모델은 규정된 동작처리 시간에 입력된 재원 부질들의 변형을 수행하며 이러한 동작 변형의 결과들, 즉 출력되는 재원 부질들은 입력되는 재원 부질들에 의해 규정되는 허용 오차 요구의 집합을 만족하느냐, 아니냐에 기초한다. 것처럼 연속 동작 모델은 3단계 1) 동작 처리 시간의 결정, 2) 동작 출력의 결정 3) 동작 출력에 기초한 새로운 재원 부질의 할당으로 구성된다.

하나의 주어진 시스템에 대한 모델의 기본적인 요소들은 다음 단계들에 의해 정의된다. 1) 공정을 특정 동작들로 분해 2) 각 동작에 필요한 재원의 나열, 3) 각 동작에 관련되거나 영향을 미치는 재원 부질들을 결정, 4) 각 동작에 대한 공정 모델을 형성, 5) 여러 회복이 요구되면 실패 조건들을 포함하여 모든 동작의 실행, 후행 조건들이 불연속 재원 상태를 나열, 6) 각 동작의 끝에 불연속 재원 상태들의 재원 부질들의 매핑을 정의

2-2. 두개의 로봇 팔을 가진 조립 공정 예

다음의 두 로봇 팔을 가진 불연속 부품 조립 공정은, 모델링 방법의 다양한 측면들을 설명하기 위해 본 논문에서 사용된다. 그림 2-2에 보여진 조립 공정에서 RA(Robot A)가

콘베이어에 의해 Loc1(Location1)에 공급된 부품, BP1(Base Plate1)을 Loc1에 정렬시키고 BP1을 들어 Fix1(Fixture1)으로 이동하여 그곳에서 SA1(Subassembly1)이 RA에 의해 완성되며 동시에 RB도 부품, BP2를 Loc2에 정렬시키고 그것을 Fix2로 이동시켜 거기서 RB에 의해 SA2가 완성된다. 두 부분 조립이 완성되면 RB가 Fix1에서 SA1을 집어 Fix2로 이동하여 거기서 SA1과 SA2의 조립을 끝낸다.

3. 불연속 시스템을 모델링하기 위한 수정된 페트리 네트

3-1. 수정된 페트리 네트의 소개

자동화된 생산 시스템의 제어 구조를 모델링하기 위해 수정된 PN이 이용되는. 방향성 아크와 토큰은 일반적인 PNs에서와 같으며 수정된 PNs(MPNs)은 두가지 형태의 프레이스들을 포함하는데 그 하나는 2-1절에서 결정된 불연속 제한 상태들에 대응하는 제한 상태 프레이스들(rs-프레이스들)이고 나머지 하나는 동작들에 대응하는 동작 프레이스들(o-프레이스들)이다. 한 MPN에서 어떤 경로를 따라 rs-프레이스들과 o-프레이스들이 교차되어야 하며 따라서 MPNs에서는 o-프레이스들 즉시 실행해야 하는 동작 입력 트랜지션들과 즉시 o-프레이스들 수행해야 하는 동작 출력 트랜지션의 두가지 종류들이 있다. MPN 그래프에서 rs-프레이스는 원으로, o-프레이스는 직사각형으로, 입출력 트랜지션은 수직 바로 나타낸다. 하나의 MPN에서 완전한 동작 요소는 그림 3-1(a)에 보여진 것처럼 하나의 o-프레이스와 수반되는 입출력 트랜지션들로 구성되며 그래픽적으로 동작 모델링 단계들에서 정의된 한 동작의 제한 실행 조건들과 수행 조건들 그리고 연속 시간 처리를 나타낸다.

마크된 MPN 그래프는 다음과 같이 정의된다. [5]

정의 1: 마크된 MPN은 $G = \{P, T, IN, OUT, m\}$ 이며 여기서

*P는 rs-프레이스들의 집합 P^r 과 o-프레이스들의 집합 P^o 로 구성된 프레이스들의 집합, $\{p_1, \dots, p_n\}$ 이며 $P \cap P^o = \emptyset$ 이다.

*T는 동작 출력 트랜지션들의 집합 T^o 와 동작 입력 트랜지션의 집합 T^i 로 구성된 트랜지션들의 집합, $\{t_1, \dots, t_m\}$ 이며 $T \cap T^i = \emptyset$ 이다.

*IN은 각 $p_2 \in P$ 로부터 각 $t_1 \in T$ 로의 입력 트랜지션 기능들을 기술하는 $|T \times P|$ 행렬이며 여기서

$IN(j, i) = 1$ 만약 p_2 가 t_1 에 입력 프레이스이면

0 그렇지 않으면

*OUT는 각 $t_1 \in T$ 로부터 각 $p_2 \in P$ 로의 출력 트랜지션 기능들을 기술하는 $|T \times P|$ 행렬이며 여기서

$OUT(j, i) = 1$ 만약 p_2 가 t_1 로부터 출력 프레이스이면

0 그렇지 않으면

*행벡터인 $m \in N^m$ 는 네트의 마킹으로 N은 음이 아닌 정수들의 집합이고 m_i 는 $m = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ 인 $p_2 \in P$ 프레이스내에 존재하는 토큰들의 수이다. m' 는 어떠한 토큰도 o-프레이스들 내에 존재하지 않는 네트의 마킹이다.

하나의 동작 입력 트랜지션은 단지 하나의 o-프레이스로의 출력 아크를 개시할 수 있으며 하나의 동작 출력 트랜지션은 단지 하나의 o-프레이스로부터 입력 아크를 가질 수 있다. 이러한 제한들이 그림 3-1(b)에서 보여진 것처럼 o-프레이스들과 o-프레이스로 들어오거나 나가는 방향 아크들의 제거를 허용한다.

정의 2: 마크된 PN, $G = \{P, T, IN, OUT, m\}$ 에 대해 인시던스 행렬, C는 다음과 같이 정의된다. $C = OUT - IN(3.1)$

정의 3: 마크된 PN, $G = \{P, T, IN, OUT, m\}$ 에 대해 트랜지션 $t_j \in T$ 는 만약 모든 $p_2 \in P$ 에 대해 $m_2 \geq IN(j, i)$ 면 인에이블된다. 인에이블된 트랜지션은 개시(firing)할 수 있고 그때 하나의 토큰이 t_j 의 입력 프레이스에서 제거되어 t_j 의 출력 프레이스에 첨가된다. 만약 트랜지션 $t_j \in T$ 가 마킹 m 에 대해 인에이블되면 t_j 의 개시는 새로운 마킹 m' 로 되며

$m' = m + e^j C$ 이다. (3.2) 여기서 e^j 는 j번째 요소만 1이고 나머지는 0인 벡터이다. 새로운 마킹 m' 는 본래의 마킹 m 으로부터 즉시 도달가능하고(immediately reachable), 트랜지션의 순차가 개시를 시작하면 식(3.2)를 반복해서 적용하므로써 마킹 m' 가 얻어지며 m' 는 본래의 마킹 m 으로부터 도달가능(reachable)하다고 말해진다.

정의 4: 마크된 PN, $G = \{P, T, IN, OUT, m\}$ 에 대해 마킹 m 은 만약 유효한 트랜지션 개시들의 순차 $\{t_a, t_b, \dots, t_j\} C T$ 가 존재하면 m' 와 관련하여 C의 도달가능 집합 $R(m')$ 내에 있으며 $m = m' + xC$ 이다. (3.3) 여기서 x 는 $\{t_a, t_b, \dots, t_j\}$ 에 대응하는 개시 벡터이다.

3-2. 모델링 요소들을 MPN 요소들로 매핑

제 2-1절의 모델링 단계에서 정의된 동작들과 제한 상태들에 대응하여 각 특정 동작은 o-프레이스로 매핑되고 각 특정 불연속 제한 상태는 본리된 rs-프레이스로 매핑된다. 실행될 하나의 동작에 대해 만족되어야 하는 각 불연속 제한 실행 조건들의 집합이 하나의 동작 입력 트랜지션을 결정하며 이러한 실행 조건들의 집합에 대응하는 rs-프레이스들의 집합은 동작 입력 트랜지션에 대한 입력 프레이스들의 집합

이고 하나의 동작이 실행된후 만족되어야 하는 불연속 제한 후행 조건들의 각 집합이 하나의 동작 출력 트랜지션을 결정한다. 이러한 후행 조건들의 집합에 대응하는 rs-프레이스들의 집합은 동작 출력 트랜지션으로부터의 출력 프메이스들이다.

4. Live하고 Safe한 MPNs의 형성

본 절에서는 유효한 초기 마킹과 관련하여 살아있고 안전한 PNs를 형성하기 위한 규칙들이 제시되며 그러한 형성 규칙들은 SECs(초기 프메이스와 최종 프메이스가 동일하며 하나의 경로가 한 번 이상 같은 트랜지션과 프메이스를 공유하지 않음, Simple and Elementary Circuits)를 결합하는데 기초하며 생산 공정 모델들에 있어서 SECs의 중요성은 RACs의 개념에 기인한다.

4-1. 안전하고 살아있는 페트리 네트를 형성하기 위한 이론

복정 형태의 경로를 따라 부분 네트들(SECs)을 결합함으로써 하나의 PN, G를 형성할 때 결과적인 G에 대한 p-인베리언트는 부분 네트의 p-인베리언트로부터 결정되고 유효한 초기 마킹들이 결과적으로 안전하고 살아있는 PNs에 대해 쉽게 결정될 수 있다.

정의 1: Solitary Transition Path(STP)는 simple, elementary PN 경로이며 그 경로는 시작과 끝이 프메이스들로 이루어지며 각 트랜지션은 정확히 하나의 입출력 프메이스를 갖는다.

정의 2: Solitary Place Path(SPP)는 simple, elementary PN 경로로 그 경로는 시작과 끝이 트랜지션으로 이루어지며 그 경로에서 각 프메이스는 정확히 하나의 트랜지션에 대해 입력 프메이스이고 정확히 하나의 트랜지션에 대해 출력 프메이스이다.

이론 1: N개의 SECs, G^1, G^2, \dots, G^N 가 주어질 때 $G^k = G^1$ 이고 $k=2$ 에서 N 까지 G^k 를 공통의 STP를 따라 $G^{k(k-1)}$ 과 G^k 의 합집합으로 정의된다고 하자. 그러면 G는 초기 마킹과 관련하여 G는 안전하고 살아있다.

이론 2: 직렬한 p-invariants, y^1, y^2, \dots, y^N 을 갖는 N개의 SECs, G^1, G^2, \dots, G^N 이 주어졌을 때 $G^1 = G^1$ 과 $G = G^{kN}$ 일 때 $k=2$ 에서 N 까지 G^k 는 공통의 SPP를 따라 $G^{k(k-1)}$ 과 G^k 의 합집합으로써 정의된다. G내에 각 SEC, G^1, G^2, \dots, G^N 에 정확히 하나의 토큰이 있도록 초기 마킹 m^0 가 있으면 G는 m^0 와 관련하여 안전하고 살아있다.

이론 3: 각각의 프메이스 집합들 P^1, \dots, P^N 을 갖는 N개의 SECs, G^1, G^2, \dots, G^N 이 주어졌을 때 $G^{k(k+1)}$ 을 STP나 SPP를 따라

$G^{k,k}$ 와 $G^{k(k+1)}$ 을 결합하여 생기는 PN이라 하자. (이때 $G^k = G^1$ 이고 $G = G^{kN}$) $\Pi^k = \{P^i\}$, $\Pi^{k(k+1)}$ 을 $k=2, 3, \dots, N$ 에 대해 다음에서 처럼 정의된 $G^{k(k+1)}$ 에서 프메이스들의 부분 집합들의 모임이라 하자.

a) 만약 $G^{k(k+1)}$ 과 G^k 가 하나의 SPP를 따라 결합되면

$$\Pi^{k(k+1)} = \Pi \cup \{P^{k+1}\} \text{ ----- (4.11)}$$

b) $P_{STP}^{k(k+1)}$ 를 STP에 있는 프메이스들이라 하고 만약 $G^{k(k+1)}$ 과 G^k 가 하나의 STP를 따라 결합되어 지면

$$\Pi^{k(k+1)} = (\Pi^k - P^k) \cup \{P^{k+1}\} \cup P^k \in \Pi^k \text{이다.}$$

$$\text{여기서 } \Pi^k = \{P^i \in \Pi_{STP}^k \mid C^i \neq 0\} \text{ ----- (4.12)}$$

어떠한 초기 마킹 m^0 에 대해 각 프메이스들의 집합 $P \in \Pi$ 에 정확히 하나의 토큰이 존재할 경우 초기 마킹 m^0 와 관련하여 G는 안전하고 살아있다. 더구나 Π 에 있는 프메이스들의 집합들은 G에 대한 p-invariants에 대응한다.

4-2. 수정된 페트리 네트 형성 규칙들

제 4-1절의 이론 3에 의해 유효한 초기 마킹과 관련하여 안전하고 살아있는 생산 시스템의 MPN 모델들을 만들기 위한 형성 규칙들의 집합을 보이기로 하자. MPN 부분 네트들을 결합하는데 사용되는 공통의 경로들은 다음의 4가지 종류로 제한된다. 1) 하나의 동작 입력 트랜지션에서 시작해서 하나의 출력 트랜지션으로 끝나는 공통 경로 종류1, 2) 하나의 o-프메이스에서 시작하여 하나의 o-프메이스로 끝나는 공통 경로 종류2, 3) 하나의 rs-프메이스에서 시작하여 하나의 rs-프메이스로 끝나는 공통 경로 종류3, 4) 하나의 o-프메이스(rs-프메이스)에서 시작하여 하나의 rs-프메이스(o-프메이스)로 끝나는 공통 경로 종류4라 하자.

생산 시스템을 시뮬레이션하기 위한 MPN 모델들의 형성은 그 시스템에서 관련된 모든 제한들에 대한 RACs의 발견에 기초하는데 RACs의 형성은 다음처럼 진행된다. 1) 각 제한에 대해 그 제한이 관련된 동작들과 동작 순차들을 결정하고, 2) 동작 우선 관계들에 의해 순서화된 동작들의 집합을 그 제한의 불연속 제한 상태들과 결합함으로써 하나 또는 그 이상의 SECs를 형성하는 RACs를 구성한다.

제 4-1절의 이론 3에 기초하면 1) 모든 RACs를 형성하는데 각 RAC는 $P(y^i)$ 이 그 주기내에서 모든 프메이스들을 포함하도록 하나의 직렬한 p-인베리언트, y^i 을 갖는다. 2) 4가지 종류의 경로중 직렬한 하나의 공통 경로를 따라 모든 RACs의 각 쌍을 결합한다. 3) 직렬한 p-invariants y^1, y^2, \dots, y^N 을 갖는 분리된 RACs가 공통 경로 종류1을 따라 결합되면 결과적인 부분 네트는 직렬한 p-인베리언트의 집합 Y를 갖는데

$Y = \{y^1, \dots, y^M\}$ 이고 $P(y^i) = P(y^1), \dots, P(y^M) = P(y^M)$ 이다.

4) 만약 분리된 RACs가 공통 경로 종류 2나 3 또는 4를 따라 결합되면 결과적인 부분 네트워크는 하나의 적절한 p-인베리언트 y^m 을 갖으며 $P(y^m)$ 은 결과적인 부분 네트워크에 있는 모든 프레임들을 포함한다.

4-3. 두개의 토보트 팔을 가진 조립 예의 MPNs 형성

조립 예의 MPN 모델을 형성하기 위해 앞서 언급된 특정 동작들과 특정 rs-프레임들을 사용하여 RACs가 재원들 RA, RB, Loc1, Loc2, Fix1, Fix2, BPI1과 BP2에 대해 형성된다. BPI1과 BP2에 대한 RACs는 완전한 MPN을 형성하는데 필요가 없는데 이는 어떤 부가적인 주기들이 이러한 재원들로부터 생기지 않기 때문이다. 최종 MPN 모델과 p-인베리언트에 있는 프레임들의 집합들이 그림 4-1에 보여져있다.

5. 시뮬레이션의 실행과 결론

자동화된 생산 시스템의 시뮬레이션의 실행은 2-1절에서 설명된 연속 동작 공정 모델들을 시뮬레이션하기 위한 동작 서브루틴들, 제 4-2절에 설명된 MPN 모델들의 불연속 제어 논리를 시뮬레이션하기 위한 제어 서브루틴들과 각 시뮬레이션 실험에 대해 제어 변수들을 규정하는 하나의 실험적 프레임으로 구성된다. 본 논문에서 동작과 제어 서브루틴들은 포트란 언어로 쓰여지고 SIMAN이 시뮬레이션 결과들을 대조하기 위해 사용된다.

5.1 시뮬레이션 언어(SIMAN)

생산 시스템들에 대한 연속 동작 모델들과 불연속 제어 논리를 시뮬레이션 하는 것은 불연속 사건 시뮬레이션에 대한 사건 경향의 동작 스케닝 접근들의 결합을 필요로한다. 사건 경향의 시뮬레이션에서 그 시스템이 불연속 점들에서 일어나는 변화들을 정의하므로써 모델링되며 그 시스템의 상태에 영향을 미치는 불연속 사건들이 우선 결정되고 각 사건 형태와 관련된 논리가 발견되고 사건 실행 순서는 이벤트 캘린더에 의해 유지된다. 하나의 동작 스케닝 시뮬레이션에서는 재원들의 행위들이 나열되고 하나의 동작을 시작하게 하거나 끝내게 하는 조건들이 결정되고 이벤트 캘린더에 의해 스케줄되며 그 조건들이 만족되면 동작 논리가

본 시뮬레이션 모델들에서 그 시스템에 의해 요구되는 모든 재원들이 엔티티로써 만들어지는데 거기에는 디바이스 엔티티(생산품을 형성하는데 사용되는 물리적인 물체)와 컴포넌트 엔티티(하나의 생산품을 완성하는데 요구되는 부품이나 부분 조립품)가 있다. 본 연구에서 적용된 것과 같은 SIMAN 이벤트 캘린더와 관련된 내부 논리가 그림 5-1에 보여

져 있으며 제어 엔티티는 모든 이벤트에 의해 처리된다.

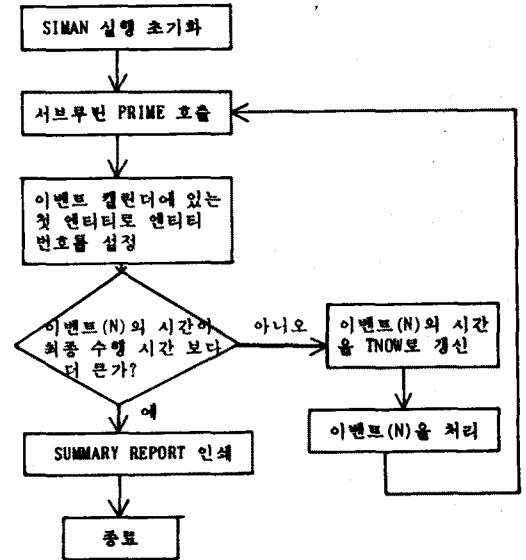


그림 5-1 SIMAN 사건 스케줄링 논리
Fig. 5-1 SIMAN Event Scheduling Logic

5-2. 데이터 구조와 시뮬레이션을 위한 서브루틴들

생산 시스템들의 MPN 모델들에 의해 나타내진 불연속 수준 제어와 그 시스템에 대한 연속 동작 공정 모델들과 연계 시키기 위해 이러한 모델들에서 나타난 정보를 포트란 코드로 번역하는 것이 필요한데 이 절에서는 두개의 토보트 팔을 갖는 조립 예를 시뮬레이션하기 위해 발견된 포트란 코드가 약술된다.

5-2-1. 포트란 서브루틴들

MPN 모델들과 동작 공정들의 불연속 수준 제어를 시뮬레이션하기 위해 PRIME, CONTROL, NEWMARK, TASK와 동작 서브루틴들이 포트란으로 코드화된다.

서브루틴 PRIME은 각 SIMAN 시뮬레이션의 시작에서 초기 사건들을 스케줄하고 초기 조건들을 설정하는데 필요하다. 이 서브루틴은 시스템 디바이스와 컴포넌트 엔티티를 만들고 이러한 엔티티의 초기 특징들을 집합화한다. CONTROL과 NEWMARK 서브루틴들은 3-1절에 기술된 PN 개시 규칙들과 새로운 마킹 식들을 사용하여 MPN 모델들의 실행을 수행한다. CONTROL 서브루틴은 MU(i)에 의해 정의된 그 시스템의 현재 상태를 분석하고 모든 동작들에 대해 필요한 입력 조건들을 스케닝하므로써 어떤 동작들이 인에이블되는 지를 결정한다. NEWMARK 서브루틴은 적절한 출력 트랜지션때에서 막 완료된 동작의 각 출력 rs-프레임내에 하나의 토큰을 놓는다. MU(i)가 결과적인 새로운 마킹 배열을 갖고 CONTROL 서브루

턴이 스케줄된다. 그 시스템이 시뮬레이션됨에 필요한 각 동작 형태가 분리된 서브루틴상에서 시뮬레이션을 위해 코딩된다. 이러한 동작 형태 서브루틴들은 제 2-1절에 발전된 연속 공정 모델을 시뮬레이션한다. 이들의 상호 관계가 그림 5-2에 보여져 있다.

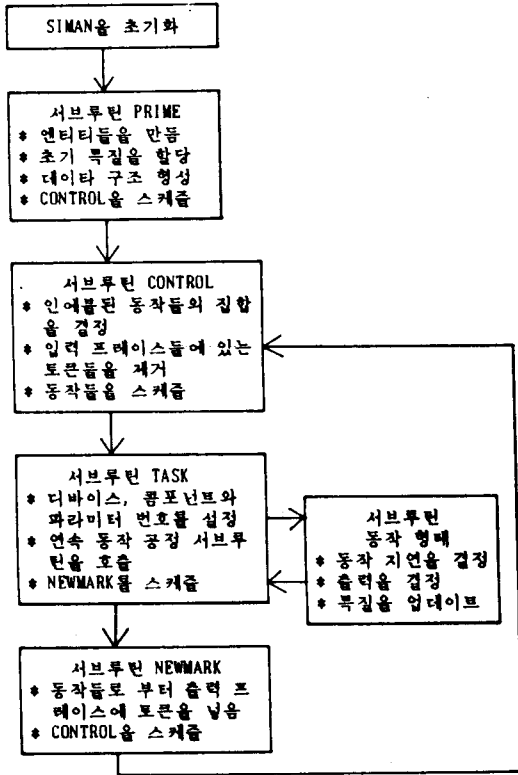


그림 5-2 제어와 동작 사건들 스케줄링 논리
Fig. 5-2 Control and Operation Events Scheduling Logic

5-3. 두개의 로보트 팔을 가진 조립 공정의 예

두개의 로보트 팔을 가진 조립 공정의 조립 예에서 실험적 프레임은 동작 성공과 실패를 계산하고 RA와 RB의 이용율과 SA와 ASM의 실행 횟수를 계산한다. 실험적 프레임에서 규정된 정보에대해 SA1과 SA2 그리고 ASM에 대한 완성 횟수와 RA와 RB의 이용에 대한 횟수/에 대한 평균치, 최솟치, 최댓치와 표준편차들이 보여지며 동작 2, 8과 13에 대한 성공과 실패 수가 카운트 변수로 나타난다.

5-4. 결론

본 논문에서는 생산 공정들에서 연속 시간 동작들을 시뮬레이션하기 위한 모델의 전개, 생산 공정들의 불연속 수준 제어를 모델링하기 위해 확장된 PNs 이론들과 보조 정리들에 기초한 생산 공정들의 생명력 있고 안전한 MPN 모델들을 형성하기 위한 종합 규칙들을 이용하여 연속적이고 불연속 수

준의 결합된 모델들의 시뮬레이션을 가능하게 하고 예로 두 로보트 팔을 가진 조립 공정의 예에 대한 모델링과 시뮬레이션을 실행하였다.

참고문헌

- 1)Agerwala, T. "Putting Petri Nets to work," IEEE Computer, vol.12, no.12, pp.85-94, December, 1979.
- 2)Krogh, B. H. and Beck, C. L. "Models for simulation and Discrete Control of Manufacturing System," Proc. IEEE Conf. Robotics and Automation, pp.305-309, 1986
- 3)Krogh, B. H. and Beck, C.L. "Synthesis of Place/transition Nets for Simulation and Control of facturing Systems," 4th IFAC/IFORS Symposium, PP.26-29, August, 1986.
- 4)Pegden, C. D. "Introduction to SIMAN," Systems Modeling Corp., State College, PA, 1984.
- 5)Peterson, J. L. "Petri Net Theory and the Modeling of Systems," Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1981.
- 6)Pritsker, A. A. B. "Simulation and SLAM II," Systems Publishing Corp., West Lafayette, IN, 1984.

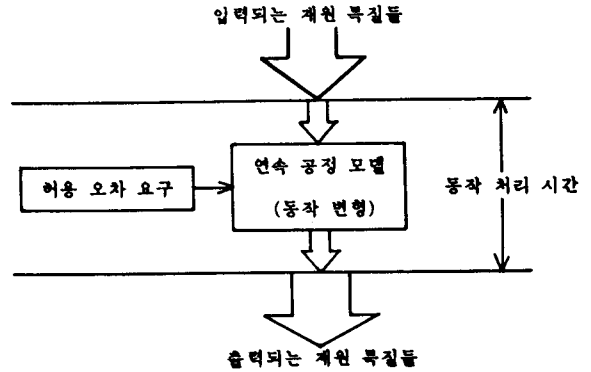


그림 2-1 동작 모델의 요소들
Fig 2-1. Elements of the Operation Model

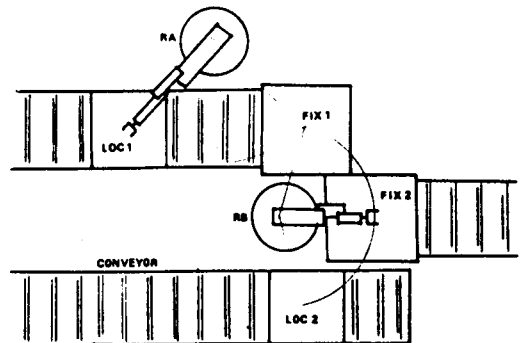


그림 2-2 두개의 로보트 팔을 가진 조립 공정 예
Fig. 2-2 Two-Arm Robotic Assembly Cell Example

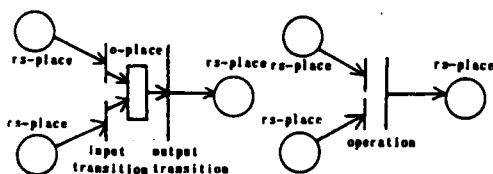
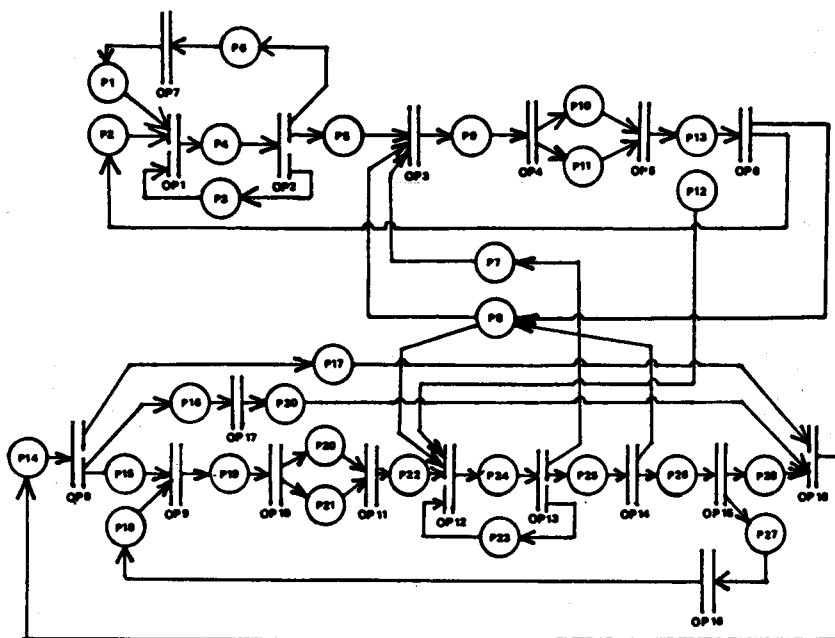


그림 3-1 a)수정된 페트리 넷 요소들과 b)그것의 압축된 요소들
Fig. 3-1 a)Modified PN Elements b)Condensed Modified PN Elements



- P(yA)={p8, p9, p10, p13, p23, p24, p25}
- P(yB)={p7, p9, p11, p12, p23, p24}
- P(yC)={p1, p3, p4, p6}
- P(yD)={p14, p16, p17, p30}
- P(yE)={p2, p3, p4, p5, p9, p10, p13}
- P(yF)={p14, p15, p17, p19, p20, p22, p23, p24, p25, p26, p28}
- P(yG)={p18, p19, p21, p22, p23, p24, p25, p26, p27}

그림 4-1 조립 예에 대한 수정된 페트리 넷 모델
Fig. 4-1 Assembly Example Modified Petri Net Model