

하이브리드 샷 플로워 제어를 위한 오퍼레이션 모델에 관한 연구

최경현* · 배창현**

Study on Operation Model for Hybrid Shop Floor Control

Kyung-Hyun Choi* and Chang-Hyun Bae**

ABSTRACT

Manufacturing system is composed of many activities that can be monitored and controlled at different level. A shop floor can be considered as an important level to develop Computer Integrated Manufacturing(CIM). However, a shop floor is the dynamic environment where the unexpected events continuously occur, and impose changes to planned activities. In this paper, task-oriented control model, called (MuLOM(Multi-Layered Operation Model)), is suggested to represent control model for a hybrid control architecture which is composed three levels, i.e., shop floor controller(SFC), intelligent agent controller(IAC) and equipment controller(EC).

Key words : Shop floor control, control model, hybrid control, object-oriented approach

1. 서 론

샷 플로워를 구성하는 로봇, NC 공작기계, 컨베이어, AGV 등을 통하여 다양한 제품을 생산하기 위해 공정계획 정보를 이용하여, 제품 또는 반제품의 흐름을 효율적으로 스케줄링하고 제어 및 관리를 수행하는 제어기의 역할이 더욱 중요해지고 있다. 다품종 소량 생산 형태에서의 샷 플로워 제어기는 제어 행위를 정확히 표현하고, 체계적으로 분석하기 위해서 효율적인 모델링 기법의 선택이 중요하다. 특히, 샷 플로워에서 일어나는 생산활동은 전형적인 이산사건시

스템(Discrete Event System)이다. 이산사건시스템은 어떤 사건들의 비동기 적인 발생에 따라 변화하는 동적 시스템으로서, 상태의 천이는 사건의 발생에 따라 비동기 적으로 어떤 순간적인 시간에 일어난다. 대부분의 물리적 시스템들과는 달리, 상태의 천이와 사건들 사이의 관계는 매우 불규칙적인 특성을 가지고 있다. 이러한 이산사건시스템을 모델링 하기 위한 방법론으로 페트리네트가 제안되었으며, 사건들의 동시성과 선행관계, 그리고 동기성 및 상호작용을 나타낼 수 있어 생산시스템의 모델링 및 분석에 아주 적합한 특성을 가지고 있다.¹⁾ 기존의 페트리네트의 효율적인 모델링과 deadlock문제점을 해결하기 위해 CPN(Colored Petri Nets), GSPN(Generalized Stochastic Petri Nets)등 확장 페트리네트의 많은 연구가 이어지고 있다.²⁾ 또한, Vandermenulen은 확장상태머신

* 제주대학교 기계에너지생산공학부, 산업기술연구소
Faculty of Mechanical Eng., Res. Inst. Ind. Tech., Cheju Nat'l Univ.

** 부산대학교 지능기계공학과
Department of Intelligent and Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.

(Extended State Machine)을 이용하여 실시간 이산 사건의 모델링을 시도하였으며,³⁾ automata와 lattice 이론을 기반으로 하는 감독 제어 이론도 많은 연구가 이루어지고 있다.⁴⁾

이러한 모델링 기법은 샷 플로우내의 모든 행위들을 사건들과 상태들을 위주로 표현하고 있다. 그러나, 샷 플로우의 실제 작업은 각 자동화 장비의 프로그램에 의해 수행되기 때문에 상태와 더불어 태스크가 매우 중요하다.⁵⁾ 본 논문에서는 샷 플로우의 제어를 위한 모델로서 태스크 중심의 오퍼레이션 모델, 즉 MuLOM(Multi-Layered Operation Model)을 제안하고자 한다.

II. 샷 플로우 제어구조

샷 플로우 제어 시스템은 다양한 정보, 즉 주문정보, 공정계획, 도면정보, 상태신호 등을 토대로 제품을 생산자원에 할당, 태스크 생성, 태스크들의 수행 과정을 모니터링, 오류 발견 및 수정, 정보 관리, 통신 등을 수행한다. 일반적인 제어구조는 계층적 제어구조, 분산적 제어구조, 하이브리드 제어 구조로 나

눌 수 있다. 계층적 제어구조는 각 제어기간의 인터페이스가 계층적으로 주종관계를 이룬다. 상위에서 전달되는 명령 메시지와 하부에서 보고되는 상태 메시지에 따라 다음 태스크를 결정한다. 계층적 제어구조는 이해하기가 쉬우며 전체 최적화를 구할 수 있는 이점을 가지고 있다.

분산적 제어구조는 계층적으로 제어 시스템을 구축하는 대신에 각 제어기로 하여금 다른 제어기들과 통신을 하여 스스로 인터페이스를 해결하면서, 어떤 일을 수행하기 위하여 제어기들이 서로 협상하여 일을 이끌어 나가게 된다.

하이브리드 제어구조는 계층적 제어구조와 분산적 제어구조를 병합한 것으로, 본 논문에서는 하이브리드 제어구조를 샷 플로우의 제어구조로 결정하였다. Fig. 1에서 보는바와 같이, 하이브리드 샷 플로우 제어기는 Equipment Controller(EC), Intelligent Agent Controller(IAC), Shop Floor Controller(SFC)의 세 계 레벨을 가진다. EC는 제어구조에서 제일 낮은 단계에 있으며, IAC와 각 유닛(machine, robot, vision, AS/RS, conveyor)를 연결한다. 상위제어기에서 받은 지시를 각 유닛에서 사용할 수 있는 정보로 변환하여 전달하고, 또한 각 유닛의 작업 상태

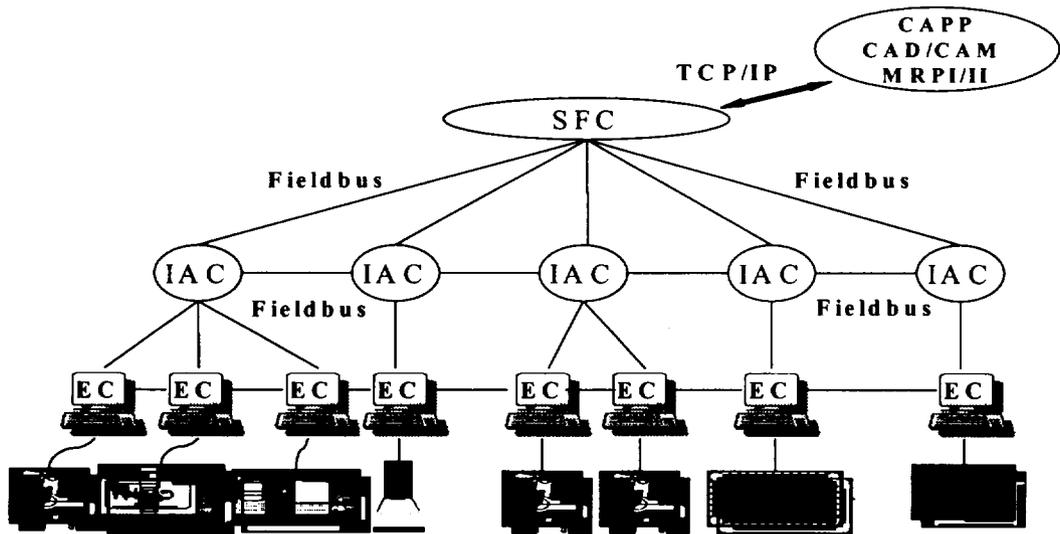


Fig. 1 Hybrid shop floor control structure

를 모니터링하여 IAC에게 보고한다. IAC의 기능은 자신 뿐만 아니라 다른 IAC와 EC의 모니터링정보와 지식을 관리하고, 메시지를 처리하며, 또한 축적된 지식과 데이터베이스를 이용하여 문제를 해결하고 수행할 태스크를 결정한다. 최고 높은 레벨의 SFC는 전체 시스템의 스케줄을 생성하고, IAC간의 조정자의 역할을 한다.

III. 태스크 중심 오퍼레이션 모델 : MuLOM

Fig. 2에서 보는바와 같이 MuLOM의 기본적인 구조는 태스크를 중심으로 상태와 사건으로 구성되어있다. 태스크와 상태는 다중층(Multi-layer)으로 표시할 수 있다. 즉 IAC에서 태스크의 관리와 선정을 하고, EC에서는 주어진 태스크의 작업을 다른 EC와 동기화를 실현하면서 수행하게 된다. EC에서는 각 장비의 작업과 상태의 내용만 알뿐이지, 워크스테이션의 전체는 IAC에서 관리하게 된다. 즉, IAC의 태스크는 관련된 EC에서 상세한 오퍼레이션으로 묘사된다. 장비의 모든 태스크는 파트나 혹은 로봇 프로그램으로 여겨 질 수 있다. 그러므로 태스크의 변경이 프로그램의 재 설정에 의해 구현 될 수 있기 샷 플로워의 유연성을 증대 높일 수가 있다. MuLOM은 아래와 같이 5-tuple로 정의된다.

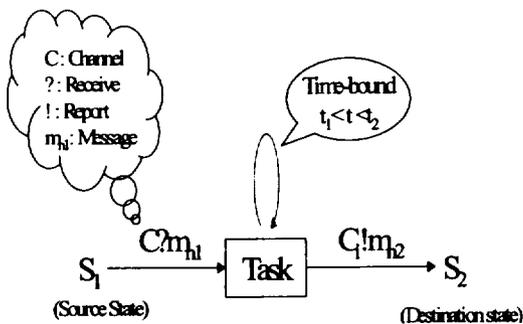


Fig. 2 MuLOM basic structure

(S , E , C , T , A)

- S 작업 사이의 상태들의 집합
- E 일련의 사건 분류의 집합

- C 통신 채널의 집합
- T 각 작업에서 수행하는 태스크
- A 기본 행위들의 집합

기본 행위는 다시 다음의 6개로 정의되어진다.

(S_i , G , M , O , Co , S_f)

- S_i 시작 상태
- G 통신 수행의 성공여부를 나타내며 불린값을 갖는다
- M 채널을 통한 사건의 전달
- O 상태들 사이에서 수행하는 작업 오퍼레이션의 이름과 제한시간을 둔다
- Co 작업 수행의 성공여부
- S_f 목적상태

Fig. 2에서 S₁상태에서 S₂상태로 가기 위해서는 태스크를 수행해야 하는데 우선 S₁에서 통신채널 C를 사용해서 메시지 m_{i1}을 받고 나면 태스크를 수행하게 된다. 여기서 작업시간을 체크하는 time-bound를 주어서 일반적으로 태스크 수행 중에 생기는 에러를 발견 할 뿐만 아니라 deadlock을 방지 할 수가 있다. 태스크의 수행이 끝나면 채널 C를 통해 보고를 하고 S₂상태로 천이된다.

IV. 샷 플로워 제어 모델링 예

샷 플로워에서 두 대의 NC공작기계와 로봇 그리고 컨베이어로 구성된 가공 셀에 대하여 MuLOM의 방법론에 의한 제어 모델링을 시도하였다. 가공 셀의 제어기는 IAC 레벨에서 제어 및 관리를 하고 각 구성 요소인 로봇, NC공작기계, 컨베이어 등은 EC레벨의 제어기로 제어한다.

Fig. 3에 가공셀의 제어 모델이 보여진다. 여기서, 태스크나 상태는 조합(composite)된 형태이다. 즉, 아래의 EC에서 들어오는 상태를 분석하여 전체적인 가공 셀의 상태를 정의한다. 태스크도 각 EC에서 수행하는 오퍼레이션의 집합으로 인캡슐레이션 되어있다.

Fig. 4와 5에는 NC공작기계와 로봇의 MuLOM을 이용한 제어 모델이 나타나있다. NC공작기계에서의 각 상태 표기는 4개의 서브 상태로부터 결정되어진

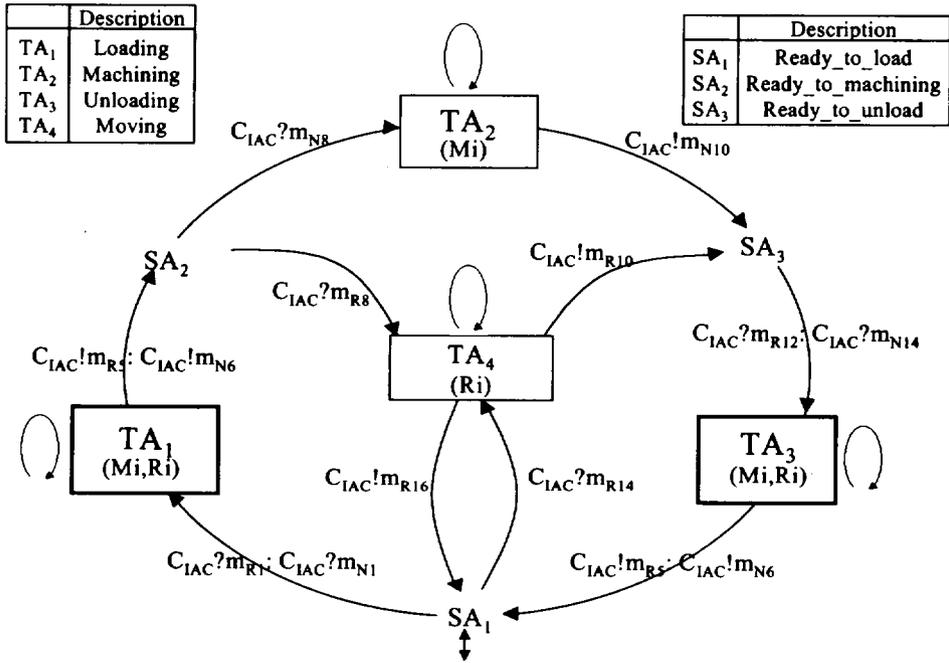


Fig. 3 IAC control model represented by MuLOM

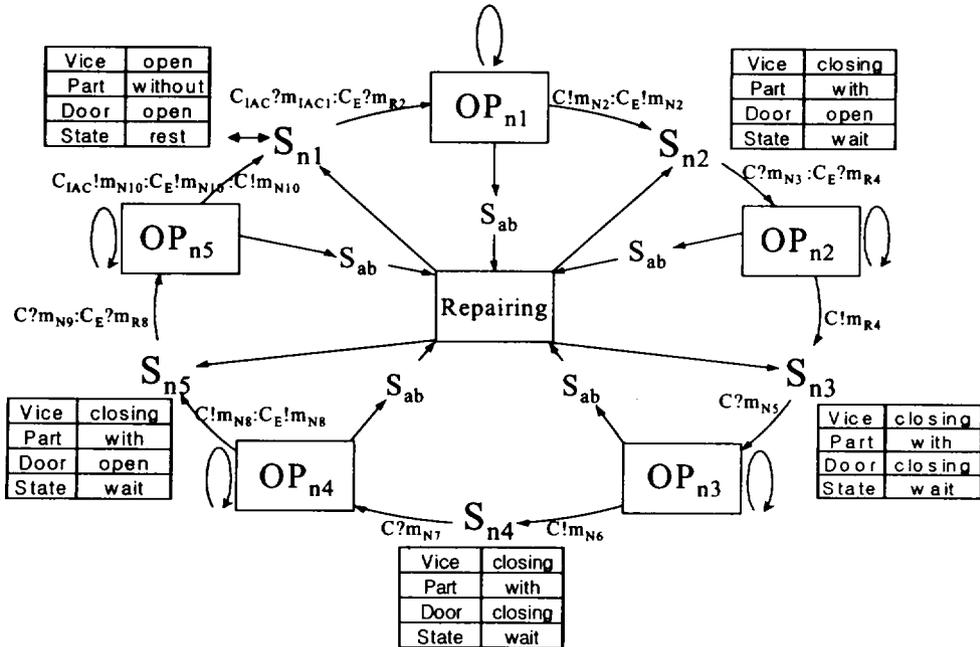


Fig. 4 NC MuLOM

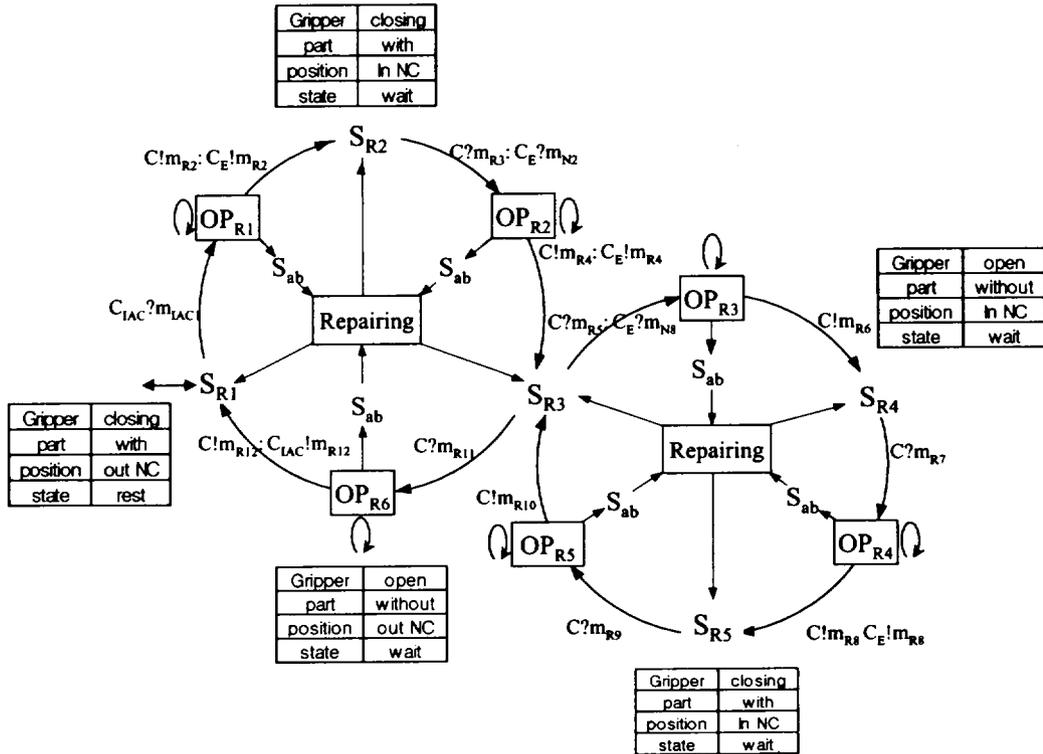


Fig. 5 Robot MuLOM

다. 즉, 바이스 상태, 작업물 여부, 문의 개폐 여부, 그리고 기계의 동작 여부의 조합에 의해 NC공작기계의 상태가 결정된다. 로봇의 상태는 그리퍼 열림 여부, 파트의 여부, 그리퍼의 위치의 조합으로 표현된다. 여기서 상태는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 기다림(Wait)과 휴식(Rest)의 상태인데, 기다림은 한 오퍼레이션이 끝나 후 다른 EC로부터 동기화를 위해 이벤트를 기다리는 상태이며, 휴식상태는 IAC로부터 주어진 태스크를 위해 모든 오퍼레이션이 끝난후 IAC에서 다음 태스크 수행 지시가 있을 때까지 기다리는 상태이다.

각 오퍼레이션에서 예기치 않은 에러가 발생하면 S_{ab} 상태로 옮겨진 후 에러 처리작업을 거친 후 이전의 상태로 돌아간다. 상태에 표기된 기호 \leftrightarrow 는 시스템이 처음 켜진 후의 처음 시작 상태를 표기한다. NC공작기계와 로봇의 상세한 상태와 오퍼레이션의 설명은 Table 1~4에 나타나 있다.

Table 1. NC Machine state

Symbol	State
S _{n1}	Ready to load
S _{n2}	In part
S _{n3}	Ready to machining
S _{n4}	Machining completed
S _{n5}	Ready to unload
S _{ab}	unexpected state

Table 2. NC Machine operation

Symbol	Operation
OP _{n1}	Vice closing
OP _{n2}	Door closing
OP _{n3}	Machining
OP _{n4}	Door opening
OP _{n5}	Vice opening
Repairing	Repairing unexpected operation

Table 3. Robot state

Symbol	State
S _{R1}	Ready to load
S _{R2}	In NC _i with part
S _{R3}	Ready to unload
S _{R4}	In NC _i without part
S _{R5}	In NC _i with part
S _{ab}	unexpected state

Table 4. Robot operation

Symbol	Operation
OP _{R1}	Moving in NC _i with part
OP _{R2}	Gripper opening & moving back
OP _{R3}	Moving in NC _i without part
OP _{R4}	Gripper closing
OP _{R5}	Moving back & put down
OP _{R6}	Picking
Repairing	Repairing unexpected operation

V. 결 론

본 논문에서는 제어구조로 SFC, IAC, EC의 3레벨로 구성된 하이브리드 샷 플로워 제어시스템을 정하였다. IAC에서는 태스크의 관리와 선정을 하고, EC에서는 주어진 태스크의 작업을 다른 EC와 동기화를 실현하면서 수행하게 된다. 그리고 샷 플로워 제어를

위해 MuLOM이라는 새로운 개념의 샷 플로워 제어 모델을 제안하였다. MuLOM은 5-tuple로 정의 할 수 있다. 또한 MuLOM은 태스크나 상태가 조합 (composite)된 형태이고 이들이 다중층으로 구성되기 때문에 하이브리드 제어 구조에 적합하다. 그리고 다른 제어 모델들과 달리 태스크를 중심으로 모델링이 이루어짐으로 샷 플로워의 특성에 가장 잘 맞는다고 사료된다.

참고 문헌

- 1) U. Rembold, B. O. Nnaji, A. Storr, 1995, Computer Integrated Manufacturing and Engineering pp.127-135.
- 2) Peter Buchholz, 1999, Hierarchical Structuring of Uperposed GSPNs, *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. 25, No. 2, pp.89-96.
- 3) E. Vandermenulen, H. A. Donegan, M. Larnac, 1995, The Temporal Boolean Deriavative Applied to Verification of Extended Finite State Machines, *Computers Math. Applic.* Vol. 30, No. 2, pp.27-36.
- 4) P.J. Ramadge, W.M. Wonham, 1989, The Control of Discrete Event Systems, *Proceedings of IEEE*, Vol 77, No. 1, pp.81-98.
- 5) Sung-Chung Kim, Kyung-Hyun Choi, 1987, A Framework of Holonic Control for Flexible Manufacturing Cells, *ICPR*, pp.1120-1123.