韓國精密工學會 '97年度 秋季學術大會論文集 pp.864~867

Formal Model 작성을 위한 Event Graph 모델링 연구

A Study on Event Graph Modeling for Formal Model Description

박정현 (선문대학교 기계 및 시스템 공학부), 최병규 (한국과학기술원 산업공학과)
Jeong-Hyeon Park (Sun Moon University), Byoung-Kyu Choi (KAIST)

ABSTRACT

Presented in the paper is a structured approach to modeling automated manufacturing system (AMS) in the form of an event graph. The proposed two-phase procedure for formal modeling is 1) reference modeling by schematic supervisory control modeling and 2) event graph transformation from supervisory control model. Also described is a formal model for a small-sized FMS in the form of an event graph.

Key Words : event graph(이벤트 그래프), formal model(형식모델), reference model(참조모델), supervisory control model(시스템제어모델), FMS(유연생산시스템), model transformation(모델 변환), computer simulation(컴퓨터 시뮬레이션)

1. 서 론

제조시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 분석을 위하여 시뮬레이션 모델(또는 시뮬레이터, 시뮬레이션 프로그램)이 필요하다. 대상 시스템에서 시뮬레이션 모델로의 모델링 과정에서 보통 conceptual model[1]및 formal model[2]이라는 중간단계의 모델을 작성한 다음, 이를 기반으로 시뮬레이션 모델을 구현하는 것이 일반적인 과정으로 제안되고 있다. 이와 같이 시뮬레이션 모델 작성을 위한 중간 단계의 모델 필요성이 역설되고 있으나, 복잡한 제조시스템의 모델링 과정에 대하여 FA 설계자들을 위한 모델링 방법은 구체적으로 제시되지 않고 있으며, sorting 및 buffering 시스템에 대한 formal modeling 적용 사례 정도가 소개되어 있다[3].

통상적으로 automated manufacturing system (AMS)의 모델링 도구로 요구되는 특성은 1)모델 작성이 쉽고, 2) 의사교환이 용이함과 같은 전통적인 요구조건 뿐만 아니라 3) 뛰어난 모델링 표현력, 4) 구현의 용이함이다. 이러한 요구를 한꺼번에 만족시키는 도구가 필요하나, 아직은 이 분야에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 이러한 요구기능을 부분적으로 만족시키는 방법론들을 잘 결합함으로써 요구되는 기능들을 만족하는 체계적인 모델링 접근방법을 만들 수 있다.

통상 이산사건시스템의 formal description을 위해 많이 사용되는 도구로는 Event Graph[4], Activity Cycle Diagram[5] 및 Petri-net[6] 등이 있다. 이와 같은 도구들은 잘 구성되어 있으며, 쉽게 시뮬레이션 프로그램으로 변환할 수 있다. 그러나 이러한 도구들은 모델링하기가 어려우며, 일단 모델링이 된 것에 대하여 이해를 하는 것(intractability)도 매우 어렵다. 따라서 FA 엔지니어가 AMS에 대한 모델을 직접 작성하는 것은 매우 어려우며, 작성된 모델에 대해서도 이해하기 어렵게 된다.

이와 같은 모델링 도구중에서 event graph는 event를 의미하는 한개의 기호만을 이용하므로, 모델링 표현과 구현성에서는 매우 뛰어나다. 또한 Petri-net 모델로부터 event graph 모델로의 변환[7]이나, ACD와 Petri net간의 여러 유사점들[8]을 이용하면 ACD 모델에서 event graph 모델로의 변환이 가능하다. 그리고 대부분의 상용화된 시뮬레이션 소프트웨어는 time advancing mechanism으로 next event scheduling방식을 사용하고 있어, event 기반으로 구현하는 방법도 편리한 점을 갖고 있다. 이러한 특징들을 갖고 있는 event graph를 formal modeling 도구로 선정하고, event graph 모델을 작성할 수 있는 방법을 찾아보기로 한다.

복잡한 AMS의 경우, 실제 시스템으로부터 바로 event graph 모델을 작성한다는 것은 쉽지않고, 또 작성된 모델이 직관적이지 못하고, 모델에 대한 의사소통도 쉽지않다. 따라서 FA 엔지니어가 직관적이고 자연스럽게 설비의 동작모습을 표현할 수 있도록 하면서, 표현된 모델으로부터 event 파악이 쉽고, 두개의 event 사이에 시간간격 뿐만아니라 현재의 event의 영향을 받아 발생될 수 있는 event들에 대

한 조건들을 직관적으로 인식할 수 있게 하는 diagrammatic modeling 방법론을 마련한다면 event graph 모델의 단점을 보완할 수 있게 된다.

본 연구에서는 formal modeling을 위한 체계적인 event graph 모델링 접근방법으로 schematic supervisory control model을 reference model로 작성하고, 이를 기반으로 event graph model로 변환하는 2단계 모델링 방법을 제시하고, FMS에 대한 모델링 적용사례를 소개한다.

2. 컴퓨터 시뮬레이션 단계에서 시스템 모델링

컴퓨터 시뮬레이션 분석과정은 보통 1) 대상 시스템에 대한 사용자 요구사항 분석 및 (초기)대안생성, 2) reference model 작성, 3) formal model 작성, 4) 시뮬레이션 프로그램 작성, 5) 시뮬레이션 실행, 결과분석 및 적용의 5부분으로 나누어진다.

Reference model은 분석 대상 시스템에 대한 base model로서 FA 설계 엔지니어와 시뮬레이션 분석자 모두에게 모델링 보조도구로 사용된다. 즉, 설계 엔지니어는 이러한 reference model을 시스템 제어 프로그램 작성 뿐만 아니라 시스템 설계 논리를 증명하는 용도로 사용하며, 시뮬레이션 분석자는 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 formal model을 작성하는 용도로 사용하게 된다. 또한 설계 엔지니어와 시뮬레이션 분석자간의 공통된 의사교환 도구로 사용되며, 시뮬레이션 모델의 타당성(validity)을 좀 더 효율적으로 검증하는 데에도 사용된다.

Formal model은 엄격하게 정의된 의미론과 문법으로 된 언어로 표현되면서 애매모호한 부분이 없도록 명확하게 표현된 모델로 정의되고 있다[9].

3. AMS 구성설비 특성

AMS는 표준화된 설비들이 모듈러화되고 계층화된 구조를 갖고 있으며, 표준화된 단위설비들의 조립으로 구성되고 있다(Fig. 1 참조).

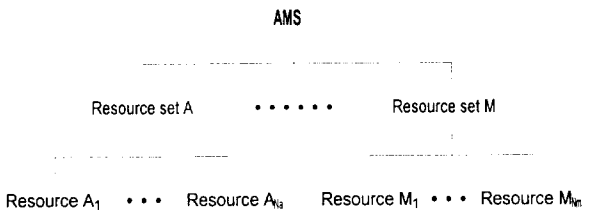

Fig. 1. Structure of AMS

즉, AMS 설계시에 시스템의 유연성 증가를 위하여 점점 표준화된 단위설비들을 사용하는 추세이며, 모듈러 설계개념에 따라 어떤 특정한 작업을 위하여 단위설비들이 결합(resource set)된 여러 개의 station으로 구성하고 있다[10].

이런 구조적 특징을 갖는 AMS에 대하여, FA 엔지니어 및 시뮬레이션 분석자가 쉽게 시스템의 동작 모습을 표현하기 위해서 시스템의 구성설비들을 담당 기능에 따라서 계층적 구조로 구분하는 것이 자연스럽다. AMS의 모든 단위설비들은 공정처리 또는 물류처리를 위한 독자적인 제어기능을 갖고 있는 것으로 볼 수 있다. 단위설비들은 주어진 기능을 수행하기 위한 고유한 일련의 작업과정이 있으며, 이 과정은 단위설비의 controller에 의하여 제어된다. 이러한 제어기능들은 단위설비의 실제 작동제어 부분과 단위설비들의 제어를 위한 의사결정 부분으로 나누어지게 된다. 따라서 각 station에는 단위설비 제어와 station운영을 위한 제어용 local controller가 있는 것으로 볼 수 있으며, 이러한 지역 controller들이 모여서 station controller를 구성하게 된다. 즉, 제어 기능은 계층적 구조로서 설비 자체의 제어기능 및 station 운영기능, 시스템 전체의 제어기능으로 구분된다. 시스템 전체의 제어기능은 각 station간의 작업물 이송과 관련된 의사결정을 하는 부분이므로, 시스템 분석을 위한 모델링에서 해당되는 의사결정별로 독립시켜서 가장 주된 역할을 담당하는 station에서 그 기능을 수행하도록 하여도 같은 결과를 얻을 수 있다.

4. Formal modeling을 위한 event graph modeling

AMS는 모듈화되고 계층적 구조로 구성되므로, station별로 해당되는 지역 controller들에 대한 제어과정을 일관된 방법으로 도식화하고, 각 controller간의 정보흐름을 지역 controller별로 작성된 제어과정간의 관계로 표현하는 방법을 이용하면, 쉽게 시스템의 구성요소간의 관계 및 행태를 표현할 수 있다.

본 논문에서는 주어진 시스템을 요구되는 목적에 따라 제어하는 작업으로, 작업물이 투입되어 공정계획과 제어목적에 따라 시스템을 흘러가도록 하는 제어를 supervisory control이라고 하고, AMS을 구성하는 여러 개의 station을 구성하는 단위설비들의 구체적인 동작제어 및 의사결정제어 과정을 표현한 다음, 구성요소들간의 관계를 정보의 흐름으로 표현한 모델을 supervisory control model이라고 정의한다.

이러한 supervisory control model을 reference model로 먼저 작성한 다음, 이를 기반으로 formal model인 event graph model을 쉽게 작성할 수 있도

록 하는 2단계 모델링 방법을 제시한다(Fig.2 참조).

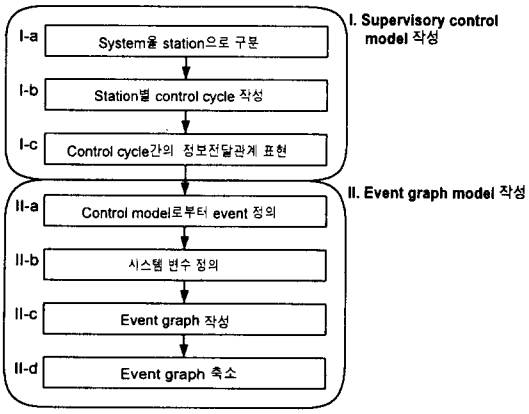

Fig. 2. Two-stage approach for event graph modeling

Supervisory control 모델을 작성하는 1단계는 3개의 과정으로 나누어지며, event graph model을 작성하는 2단계는 4개의 과정으로 나누어진다.

Supervisory control model은 모두 7개의 기호를 이용하여 작성된다(Tab. 1 참조).

Tab. 1. Symbols for Supervisory control cycle description

기 호	기 호 명	의 미
	decision node	조건을 구성하는 시스템 변수의 값에 따라 조건 성립 경우중 선택
	wait node	특정한 시스템 상태 대기
	action node	설비에서 이루어지는 행위
	common memory	시스템 변수의 값을 저장한 memory
	cycle path	각 설비의 closed cycle의 path
	information path	각 closed cycle간의 연결 위한 정보 path
	branch node	현재의 시스템 상태에 따라 연결 가능한 node가 여러개 있는 경우

Tab. 1의 기호들을 이용하여 작성된 reference model인 supervisory control model에서 event 정의, 시스템 변수정의, event graph 작성 및 축소 과정을 거치게 된다. Event는 supervisory control model의 decision, wait 및 action node를 이용하여 정의한다(Fig. 3 참조).

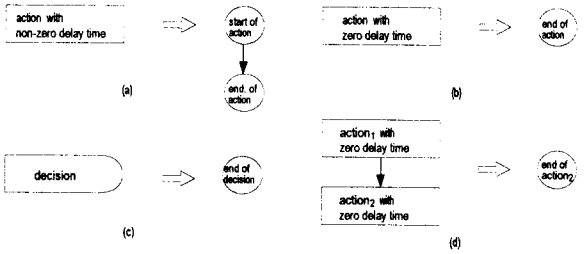

Fig. 3. Event definition from control cycles

시스템 변수들은 1) 설계변수, 2) 상태변수, 3) 시간변수들로 구성되느데, 가능한 적은 개수로 정의되는 것이 바람직하다.

Event graph model 작성 3번째 과정인 event graph 작성은 7과정으로 이루어지게 된다[11].

마지막으로 작성된 event graph는 복잡한 AMS의 경우 매우 복잡한 형태를 갖게 되므로 여러 개의 event를 한 개의 event로 축약할 수 있는 경우들을 모두 변환하는 과정을 거치게 되는데, 이미 소개되어 있는 방법들을 사용한다[4][12][13].

5. FMS에 대한 event graph modeling 적용

3개의 station(machining center, automatic work changer, load/unload station)으로 구성된 소형 FMS에 대하여 4장에서 소개된 방법에 따라 supervisory control model 작성, event graph 작성을 하도록 한다(Fig. 4, 5, 6 참조). 자세한 모델링 과정 및 결과는 참고문헌 [11]을 참조하도록 한다.

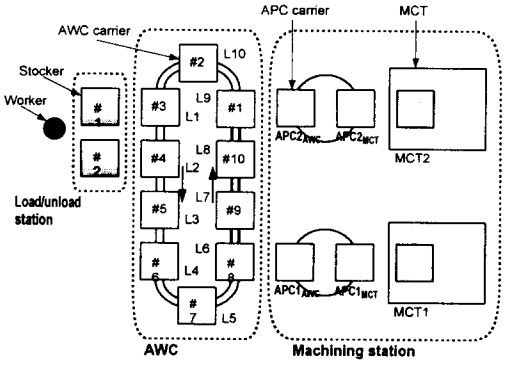

Fig. 4. FMS Layout

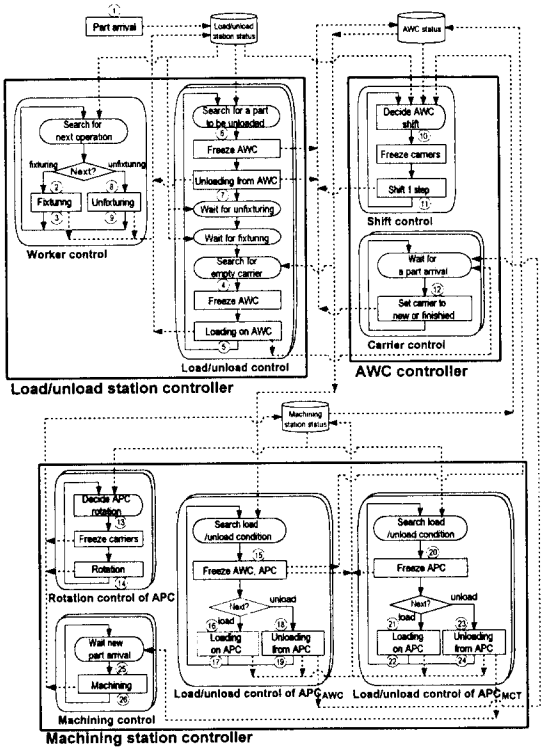

Fig. 5. Supervisory control model of FMS

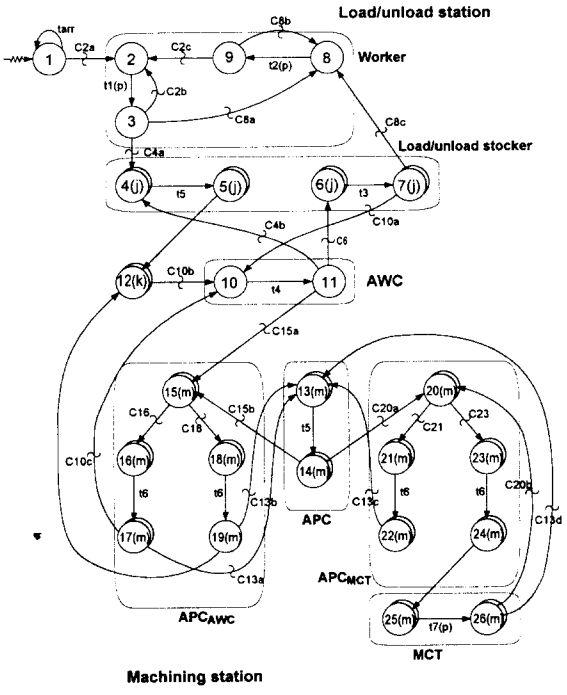

Fig. 6. Event graph model of FMS

6. 결 론

본 논문에서는 event graph로 표현되는 formal modeling을 위한 supervisory control model을 작성한다음, 이를 기반으로 event graph로 변환하는 2단계 접근방법을 제시하고, 소형 FMS에 대한 적용사례를 보였다.

Reference model로 사용되는 supervisory control model은 시스템의 동적인 행태를 이해하면 바로 작성이 가능하며, FA 설계자 및 시뮬레이션 분석자에게 매우 유용하게 사용된다. 아울러 이 모델로부터 event graph로 쉽게 변환됨에 따른 시뮬레이션 실행이 쉬워지게 된다.

참 고 문 헌

1. Law, A. M., and Kelton, W. D., *Simulation Modeling and Analysis 2nd ed.*, McGraw-Hill, New York, 1991.
2. Zeigler, B. P., *Theory of Modeling and Simulation*, John Wiley & Sons, New York, 1976.
3. Choi, B. K., Park, J. H., and Lee, T.-E., Event graph modeling of automated sorting and buffering system. *Int. J. of CIM*, **9**(5), pp.369-380, 1996.
4. Schruben, L. W., Simulation modeling with event graphs. *Communications of the ACM*, **29**(11), 957-963, 1983.
5. Carrie, A., *Simulation of Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons, New York, 1988.
6. Peterson, J. L., *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*, Prentice-Hall, Englewood Clipps, N.J., 1981.
7. Schruben, L., and Yucesan, E., Transforming Petri nets into event graph models. *Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference*, pp.560-565, 1994.
8. Hutchinson, G. K., The automation of simulation. *Proceedings of the 1981 Winter Simulation Conference*, pp.489-495, 1981.
9. Smith, J. S., and Joshi, S. B., Formal models of execution function in shop floor control. *Computer Control of Flexible Manufacturing Systems* edited by Joshi, S. B., and Smith, J. S., Chapman & Hall, London, UK. pp.285-314, 1994.
10. Mason, F., Off-the-shelf machining cells. *Manufacturing Engineering*, October, 37-42, 1994.
11. 박정현, *이벤트 그래프 기반의 AMS 시뮬레이션 모델 개발 및 래더 다이아그램 생성 - 소팅 및 버퍼링 시스템을 중심으로-*, 박사학위논문, 한국과학기술원, 1996.
12. Sargent, R. G., Event graph modeling for simulation with an application to flexible manufacturing systems, Management Science, **34**(10), 1231-1251, 1988.
13. Yucesan, E., *Simulation graphs for design and analysis of discrete event simulation models*, Ph.D Dissertation, Cornell Univ, 1989.