

페트리네트 기반 AIM 관리 제어 시스템의 설계

공성학*(한양대), 김홍록(한양대), 서일홍(한양대)

A Design of Petri net-based AIM Supervisory Control System

S. H. Kong(Hanyang university), H. R. Kim(Hanyang university) , I. H. Suh(Hanyang university)

ABSTRACT

This paper presents a design experience of supervisory control system for agile and intelligent manufacturing(AIM). For effectively program job instructions, a Petri net-type graphical language is proposed and it can be applied to a various task such as concurrency and synchronization. PGL is consisted of PGL editor, PGL analyzer and PGL translator; PGL editor generates a job instruction program using graphic symbol. PGL analyzer prevents a deadlock or resource allocation of unit cell. PGL translator transfers to adequate sequential job commands of each unit cell.

Key Words : Petri net(페트리네트), AIM, supervisory control system(관리 제어 시스템), synchronization(동기성), concurrency(동시성)

1. 서론

최근 수년간 자동화된 제조분야에서 정교한 작업을 수행하기 위해 작업공간(work cell)안에서 여러 대의 장치 모듈(device module)들을 제어할 수 있는 지능적인 제어기를 개발해야 할 필요성이 증대되고 있다. 이를 위해서 일반적인 태스크 또는 작업지시를 프로그래밍할 언어를 설계해야 할 필요가 생겼고, 이에 따른 인터프리터(interpreter) 또는 컴파일러(compiler) 형태로 제어기와 함께 개발되었다. 그러나 지금까지 대부분의 기존 언어들이 특정한 동작들을 나타내는 의미 명령어로 구성된 작업 기술 형태로써 대부분 한 대 또는 두 대의 장치들만을 제어하도록 개발되었다. 그러한 언어들은 기능적인 제약 때문에 광범위한 응용에 있어서 한계가 있으며, 특히 그것들의 내부적인 속성이 단위동작들간의 동기성(synchronization) 및 동시성(concurrency)을 표현하는 것에는 적합하지 않았다.[1,2,3,4,5] 이는 여러 대의 동작 모듈과 다중 센서들로 구성된 AIM에서 수행할 작업을 여러 대의 제어기에서 프로그램 할 때 기존의 텍스트기반(text-based) 언어로서는 각 모듈들이 동시에 수행해야 할 작업들간의 상호관계를 표현할 수 없거나 하여도 초보적인 단계에 머물러 사용함에 불편함이 있었다. 특히 여러 개의

단위모듈들로 구성된 AIM 과 같은 복잡한 시스템에서 각각의 단위모듈에 수행해야 할 단위작업 흐름을 지시하기 위해서 기존의 제어기에서는 텍스트를 표현된 작업명령을 일의 순서에 따라 맞게 나열함으로써 각 모듈에 작업을 지시하였다. 이러한 작업지시 방법은 한 대의 제어기에 대한 작업을 프로그램 할 경우 실제 모듈작업의 흐름과 텍스트로 표현된 모듈에 대한 프로그램 흐름이 동일하므로 매우 유용하게 사용되었으며, 이해하기에도 편리하였다. 그러나 이러한 텍스트 기반 제어언어를 이용하여 두 대 이상의 모듈에서 동작하는 작업을 기술한 경우 제어기의 프로그램 흐름은 하나인데 반해 실제 작업 흐름은 두 가지 이상이 되므로 사용하기 어렵다는 문제가 발생한다.

그래서 본 논문에서는 여러 작업을 동시에 제어하기 위한 제어언어로서 지금까지의 접근 방법과는 다른 페트리네트(Petri net)를 이용한 그래픽한 제어언어를 제안하였고, 그에 관한 연구를 수행하였다. 원래 페트리네트는 기계, 전자, 전기, 컴퓨터 등 여러 분야에서 주어진 시스템을 모델링하고 시스템을 해석하거나 설계하는 수단으로 유용하게 사용하는 방법이다. 특히 생산공학분야에서는 작업공정을 페트리네트로 모델링하여 공정설계의 최적화 및 작업공정의 생산성 등의 성능을 평가, 분석하는 수단

으로 많이 이용하고 있다.[6.7.8] 본 논문에서는 주어진 시스템 또는 작업을 모델링하고 평가, 해석하는 기존의 응용방법과는 다르게, 개발된 그래픽한 작업 편집기상에서 페트리네트를 이용하여 제어기에서 작업할 내용을 프로그램하는 작업기술 수단으로 페트리네트를 이용하였다. 각 모듈의 작업을 기술하는데 있어서 기존 텍스트기반 제어언어와는 다르게 동시성 표현이 뛰어난 페트리네트를 이용함으로써 전체 시스템 작업을 효율적으로 프로그램할 수 있도록 하였으며, 페트리네트로 기술된 프로그램을 다양한 해석 방법을 적용하여 해석하여, 각 단위모듈이 수행할 작업들간의 표착상태 및 자원공유문제 등을 사전에 검색하여 작성된 작업 프로그램에 존재할 수 있는 논리 오류를 방지할 수 있도록 하였다.

2. 페트리네트 기반 AIM 관리 시스템

2.1 AIM 시스템

본 논문에서 사용된 지능형 민첩 생산시스템(Agile & Intelligent Modular Manufacturing System)은 초소형, 정밀화 되어가는 차세대 전자부품의 정밀, 고속, 자유 조립과 생산을 위하여 자율진단, 자율보조, 자율학습이 가능한 지식기감의 차세대 지능형 생산 시스템으로 로봇, 비전, 제어, 가상현실, 센싱, 학습 등의 기법을 통하여 독립적인 시스템으로써 자율적인 공정 수행과 동시에 여러 가지 부품정보를 공유하기 위하여 타 시스템과의 통신이 가능한 Fractal 개념의 생산시스템으로써 산업자원부의 차세대 전자부품을 위한 지능형 민첩 조립시스템 개발' 과제의 일환으로 설계되었다.

전체 시스템 구성은 그림 1 과 같고, 각 모듈들은 다음과 같다.

1) Agile Cell 구성

- 2 자유도 정밀 stage 설계 및 제작
- 핸들링용 modular manipulator 개발
- 표준화된 base frame 개발

2) Multi-vision 기술

- Geometric Matching 을 통한 물체 인식 기술
- 대상 물체에 대한 Auto Focusing 기술

3) VM 기반 관리자 시스템 기술

- 객체 지향적 분석을 이용한 AIM 시스템의 분석
- PGL 을 이용한 AIM 시스템의 작업순서 설정 방법 개발

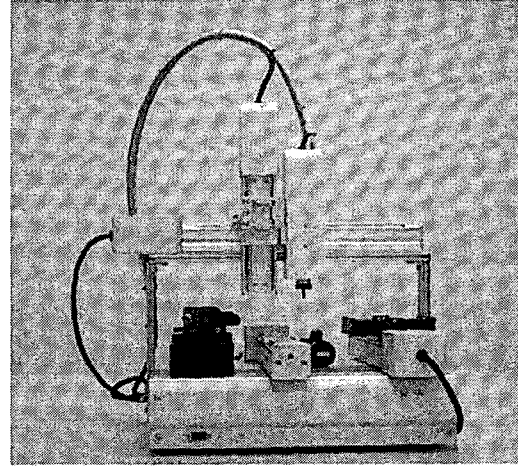


그림 1. AIM 시스템 구조
Fig. 1. AIM System structure

2.2 페트리네트 기반 관리 시스템

본 논문에서는 두 대의 카메라와 여러 개의 모터축으로 구현된 렌즈 조립시스템용 AIM 관리 시스템의 작업지시를 기술하기 위한 페트리네트 기반의 그래픽 제어언어(Petri net-type Graphical Language, PGL)를 구현하였다.

구현된 PGL 은 그림 2 와 같은 구조로 되어 있다.

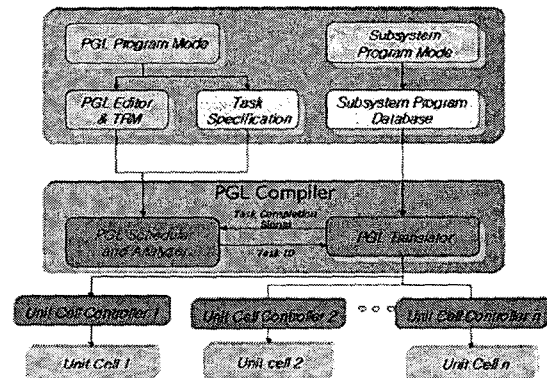


그림 2. PGL 유닛 구조
Fig. 2. PGL Unit structure

- 그래픽 편집기상에서 플레이스, 트랜지션, 아크와 같은 그래픽 심볼을 이용하여 작업지시 프로그램을 작성하는 편집기
- 페트리네트로 기술된 작업지시 프로그램을 하여 각 단위모듈들이 수행할 작업들간의 교착상태 및 자원공유문제 등을 사전에 검색하여 논리오류를 방지할 수 있도록 도와주는 PGL

분석기

- 분석기에서 분석된 내용을 바탕으로 각 단위 모듈에 적합한 작업지시 방법으로 변환하는 PGL 번역기

2.3 Petri net Type Graphical Language(PGL)

페트리네트를 이용하여 시스템을 표현하면 사건과 조건이라는 두 가지의 기본적인 개념으로 요약된다. 사건은 시스템에서 일어나는 동작을 뜻하며, 사건의 발생은 시스템 상태에 따라 결정된 상태이다. 또한 시스템 상태는 조건으로 표현되며, 참 또는 거짓의 값을 갖는다. 따라서 시스템 조건은 페트리네트의 플레이스로 표현하고, 사건을 트랜지션으로 표현하면 시스템 특성을 쉽게 모델링할 수 있다.[8] 본 논문에서는 페트리네트를 이용해 AIM 시스템의 각 단위태스크를 PGL의 각 플레이스에 할당하였으며, 각 플레이스는 AIM 시스템이 해당 모듈에 태스크를 수행중인 상태를 나타내도록 하여 태스크가 완료되면 플레이스 조건이 충족하도록 정의하였다.

트랜지션은 출력 플레이스가 의미하는 태스크 수행 시작을 나타내는 사건을 의미하며, 사건이 발생하기 위해서는 해당 트랜지션의 선행조건이 만족되어야 한다. 즉 입력 플레이스가 의미하는 태스크의 수행이 모두 완료된 상태이어야 트랜지션이 인에이블 상태가 된다. 이러한 PGL 동작 원리를 이용해 사용자가 시스템 작업을 프로그램할 수 있도록 구현된다.

2.4 PGL에서의 충돌 문제

페트리네트를 이용하여 작업지시를 프로그램하는데 있어 고려해야 할 사항으로써 충돌 문제가 발생한다. 이러한 문제는 공유할 수 없는 자원을 사용하는 두 개 이상의 트랜지션이 동시에 수행될 때 발생하며, 이때 서로 사용하고자 하는 자원을 어떤 태스크에게 할애할 것인가를 결정하는 문제를 말한다.

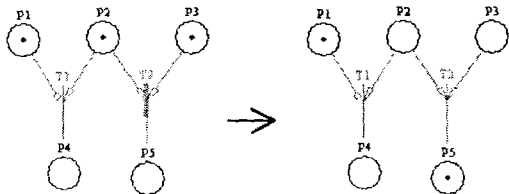


그림 3. 금지 아크
Fig. 3. Inhibitor arc

본 논문에서는 금지 아크를 이용해 이 문제를 해결하였다. 금지 아크란 호선 끝에 화살표 대신

원으로 표현한다. 그림 3은 p1과 t1이 금지 아크로 연결되어 있다. 또한 p2의 토큰은 t1의 발화 조건인 동시에 t2의 발화조건이다. 만약 p1이 금지 아크로 연결되어 있지 않고, 일반 아크로 연결되었다면, 두 트랜지션은 충돌이 발생된다. 여기서는 금지 아크로 연결된 p1에 토큰이 존재하므로 t1은 발화되지 못하고, t2만 발화된다.

3. AIM 시스템 적용 예

3.1 PGL을 이용한 AIM 시스템 조립 작업

앞에서 기술한 것과 같이 PGL의 플레이스는 각 모듈의 태스크로 수행하도록 하여, 다중 모듈 시스템의 작업지시를 기술하는데 있어서 PGL를 이용한 방법의 편리성과 효율성을 보이기 위한 AIM 시스템의 렌즈 조립 작업을 PGL로 구현한다.

렌즈 조립용 AIM 시스템의 전체 구성은 그림 4와 같고, 전체 조립 공정은 그림 5와 같은 순서로 진행된다.

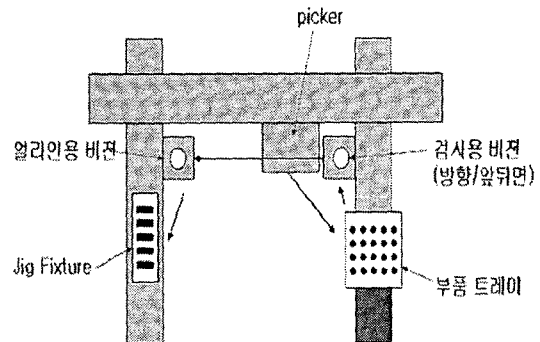


그림 4. AIM 시스템의 전체 구성도
Fig. 4. AIM System structure

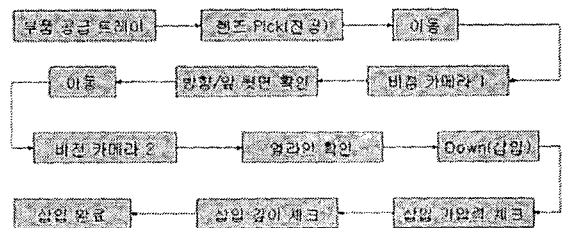


그림 5. 렌즈 삽입 공정
Fig. 5. Processing of lens insertion

여기서 기술한 조립 작업은 하나의 아암(arm)이 렌즈를 진공으로 pick-up 해서 이동한 후, 비전 카메라를 이용하여 부품의 상태를 확인하고 barrel에 삽입하는 과정을 나타낸 것이다.

그림 6은 편집기를 이용해 그림 5에 따른 작업

지시를 프로그램을 작성한 결과이다.

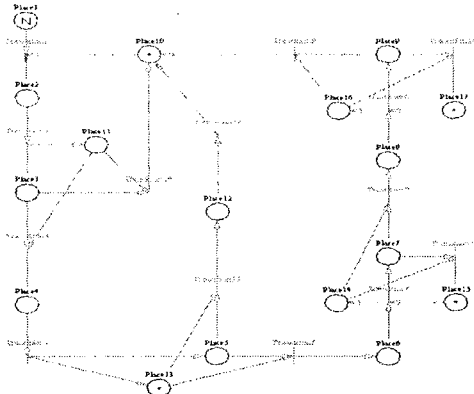


그림 6. PGL 편집기를 이용한 작업지시 프로그램
Fig. 6. working instruction program using PGL editor

그림 6 에 나타나듯이 조립작업시 필요한 선행 조건에는 각 부품 공급 장치가 부품을 공급한 후 로봇이 부품을 grasp 하여야 하는 조건과, 루프가 실행되기 위해서는 p10, p13, p15, p17 는 초기에 토큰을 보유하고 있어야 하며, 또한 start 를 나타내는 p1 은 선행 조건이 없는 place 이며 초기 토큰의 개수를 N 개로 지정함으로써 전체 조립 작업을 N 번 반복하도록 하였다. 또한 금지 아크로 연결된 플레이스는 충돌현상이 일어나는 부분으로써 외부의 센서값에 의하여 다음 트랜지션이 점화된다. 예를 들면, p3 는 p11 에 토큰의 유무에 따라 t3 이 점화 될 것인가 t10 이 점화될 것인가 결정이 난다.

그림 7 은 작성된 작업지시 프로그램을 분석 및 작업지시를 생성하는 과정을 보여준다.

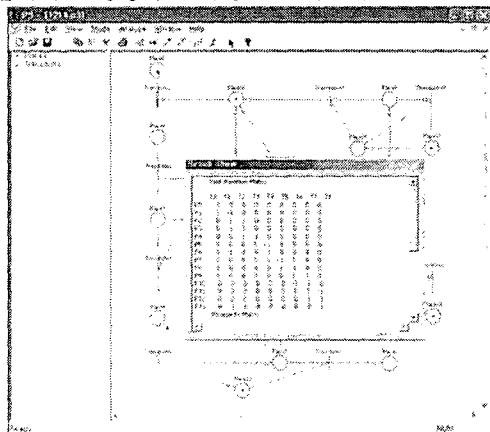


그림 7. PGL 프로그램의 분석 및 번역
Fig. 7. Analysis and translator of PGL program

4. 결론

본 논문에서는 제안한 페트리네트 기반 관리 시스템에서 각 장치들의 작업지시를 프로그램하는 방법을 구현하였으며, 그 유용성은 앞에서 언급하였듯이 여러 장치들로 구성된 다중 시스템에서 작업지시 표현에 있어서 좀더 사용자가 표현하기 쉽고 이해하기 쉬운 장점이 있다. 또한 페트리네트의 해석 기법을 도입하여 구현한 PGL 분석기를 통해 표현된 작업지시 프로그램에서 발생할 수 있는 논리적인 오류를 사전에 방지함으로써 작업지시 프로그램 개발이 용이하도록 하는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서 개발한 페트리네트 기반 AIM 관리 시스템은 생산시스템의 지능화 및 개발 용이성을 이용하면 신속한 생산시스템을 구축하는 개발 도구로서 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 추진하는 차세대기술 개발사업의 하나로 수행되고 있는 글로벌 정보공유 및 지식기반 차세대 생산시스템 개발' 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. J.W.Roach and M.N.Boaz, "Coordinating the Motion of Robot Arms in a Common Workspace", IEEE Journal of Robotics and Automation
2. M.A.Arbib, R.O.Eason and R.C.Gonzalez, "Autonomous Robotics Inspection and Manipulation Feedback", IEEE Trans. on Computer, 24(4), 17-31
3. C.J.Paul et. al., "An Intelligent Reactive Monitoring and Scheduling System", IEEE Control Systems, 12(3), 78-86
4. H.Chu and H.A.Elmaraghy, "Integration of Task Planning and Motion Control in a Multi-Robot Assembly Workcell", J. Robotics and Computer Integrated Manufacturing
5. Pascal Maignet, "Reactive Planning and Control with Mobile Robotics", IEEE Control Systems, 12(3), 95-100
6. E.Rutten, et. al., "A Task-Level Robot Programming Language and its Reactive Execution", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 3, 2751-2756
7. F.Y.Wang, et. al., "A Petri-net Coordination Model for an Intelligent Mobile Robot", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. 21(4), 777-789
8. R.Zurawski and M.C.Zhou, "Petri nets and industrial Applications", IEEE Trans. on Industrial Electronics, 41(6), 567-583