

로봇틱 워크셀을 위한 그래픽 시뮬레이터의 구성

이상무** 이범희* 고명삼* 김광배**
*서울대학교 제어계측공학과 로봇틱스 및 지능 시스템 연구실
**한국 과학 기술원 전기 제어실

A Design of the Graphic Simulator for a Robotic Workcell

Sang Moo Lee,** Bum Hee Lee,* Myoung Sam Ko,* Kwang Bae Kim**
* Robotics and Intelligent Systems Lab.
Dept. of Control and Instrumentation Eng., Seoul Nat'l Univ.
** Power Controls Lab.
Korea Advanced Institute of Science and Technology

Abstract

This paper presents a methodology for developing the graphic simulator for a robotic workcell. The Petri Net model is applied to described the system state and the workcell simulation is performed by the event scheduling approach of the model. For the graphic display of simulation process, the information of the workcell resources are stored in hierarchically-structured data_base, and the geometry of the resources is described by robot modelling, component modelling, and world modelling.

1. 서론

새로운 생산 요구에 부응하기 위한 자동화된 작업 환경을 설계하고, 설계된 대안들 중에서 주어진 목적에 가장 적합한 작업 환경을 결정하기 위해, 시뮬레이션에 의한 시스템 성능 평가 방법이 이용되고 있다. 또한 대 상 시스템을 시뮬레이션하기 위한 도구로 기존의 시뮬 레이션 기능에 시스템의 상태 변화를 시각적으로 나타 내는 그래픽 기능을 갖는 범용 시뮬레이션 언어가 개 발되어 사용되고 있다.

본 논문에서는 그래픽 기능을 갖는 범용 시뮬레이터 를 구성하기 위한 첫 단계로 모델링된 제어 로직에 의 해 작업을 수행하는 조립 작업 단위에 대한 그래픽 시뮬레이터 구성에 대하여 설명한다. 조립 작업을 모델 링하기 위해 페트리 넷(Petri Net) 이론이 도입되었 고 시스템 동작중 발생 가능한 사건들을 처리하여 시뮬레이션을 행하는 이벤트 스케줄링(event scheduling) 방법을 이용하여 시뮬레이터를 구성하였다. 또한 작업

과정을 시각적으로 나타내기 위하여 기하학적 모델링 기능, 월드 모델링 기능 및 그래픽 디스플레이 기능등을 갖추고 있다.

2. 시스템의 구성

본 시뮬레이터는 작업 단위에서 로봇트, 콘베이어 등 재원들의 위치 변화와 로봇트 축의 속도, 콘베이어 이 동 속도등의 상태 변화가 작업 단위의 성능에 미치는 영향을 평가하고 그 과정을 그래픽으로 나타내기 위해 다음의 부분들로 구성되어 있다. 즉, 작업 단위내에서 재원들의 위치와 상태등을 대화식으로 받아들여 시뮬 레이션하기 위한 시뮬레이션 부분, 로봇트의 궤적을 계 획하고 실행하기 위한 로봇트 궤적 계획 부분, 작업 단 위의 변화를 시각적으로 나타내기 위한 그래픽 디스플 레이 부분과 그래픽을 위해 재원들의 기하학적, 기구학 적 정보 생성, 저장하는 모델링 부분으로 구성되어 있다. 그림 1은 본 시뮬레이터의 블록 다이어그램 이다.

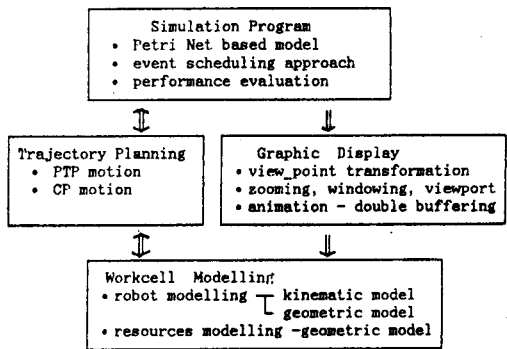


그림 1 시뮬레이터의 블록 다이어그램

3 작업 단위 모델링

작업 단위는 여러대의 로봇과 본베이어, 비전 센서 등으로 구성될 수 있으며 이러한 자원들은 계층적인 구조를 이루어 하나의 작업 단위를 형성한다.

3.1 로봇 모델링

로봇은 축들의 결합으로 구성되며 각 축은 축종류, 한계값, 연속적으로 연결되는 두 링크에 대한 정보를 갖는다. 각 링크는 기구학을 부는데 필요한 정보를 저장하며 링크를 이루는 요소(component)에 대한 기하학적 정보를 갖는다. 그림 2는 PUMA560 매니플레이터 모델링의 예이다.

3.2 요소(component)의 모델링

로봇의 링크와 그 밖의 자원들을 구성하는 요소의 3-D 모델링을 위해 각 요소를 정의하는 기준 좌표계와 기준 좌표계에 대한 점들의 좌표, 평면에 대한 정보를 저장한다. 이러한 정보는 작업 단위의 그래픽 디스플레이와 로봇과 자원들 사이의 충돌을 검증하는데 사용된다.

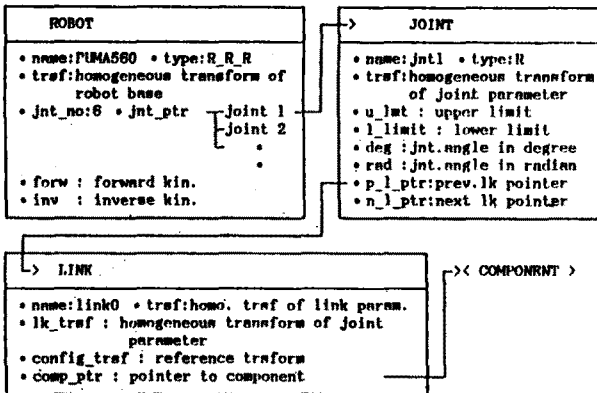


그림 2 PUMA560 매니플레이터의 모델링

3.3 월드 모델링

작업 단위내에서 각 자원들의 위치와 자원들사이의 상대적 위치를 모델링한다. 제차(Homogeneous) 변환으로 나타내는 좌표계사이의 관계식에 의해 작업 단위에서의 공간 구조를 모델링하여 직교 좌표계에서 로봇의 작업을 기술한다.

4 궤적 계획

로봇의 동작을 모델링하고 각 축의 속도 변화에 따른 작업 단위의 성능 변화를 효과적으로 나타내기 위하여 점간 보간, 직선 보간에 대한 궤적 계획 프로그램을

구성하였다. 로봇 궤적 계획은 로봇 움직임을 그래픽으로 나타내기 위해서도 필요하다.

4.1 점간 보간

궤적 계획기에서 계획된 경로에 따라 시간축상의 일정 시간 마다의 위치에 따른 각 축의 위치 정보를 저장한다. 또한 각 축의 위치가 정해진 범위내에서 동작하는가를 확인하고 위치 증가와 속도 증가가 한계치를 벗어나는가를 확인한다.

4.2 직선 보간

직교 좌표계에서 현재 위치와 목적 위치로부터 중간 점들을 구하고, 이로부터 각 축의 위치 정보를 얻는다. 각 축의 이동 거리로부터 이동 시간을 계산하여 현재 위치에서 목표 위치까지의 이동 시간을 구하고 일정 시간마다의 각 축의 위치 정보를 저장한다. 그림 3은 각 축의 속도 프로파일의 한 예이다.

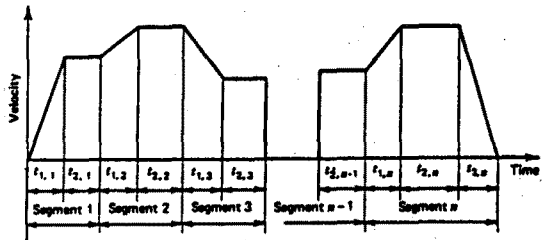


그림 3 각 축의 속도 프로파일의 예

5 작업 단위의 상태 모델 (state model)

5.1 페트리 넷

페트리 넷은 비동기적(asynchronous)이고 동시 수행적(concurrent)인 시스템의 동작을 기술하고 분석하기 위한 그래픽 모델링 도구로 시스템의 정성적 분석 뿐만 아니라 정량적 분석도 할 수 있는 장점이 있다.

다음에 페트리 넷(PN: Petri Net)의 정의 몇 가지를 소개한다.

정의 1: 페트리 넷은 다음의 3 요소로 이루어진다.

$$N = (P, T, \phi)$$

여기서

$$P = \{ p_1, \dots, p_n \} : n \text{ 개의 플레이스의 집합}$$

$$T = \{ t_1, \dots, t_m \} : m \text{ 개의 트랜지션의 집합}$$

$$\phi \subseteq (P * T) \cup (T * P) : \text{플레이스와 트랜지션을 연결하는 아크(arc)들의 집합}$$

정의 2: 순수한 PN 은 다음과 같은 PN 을 말한다.

$$\{ (p_i, t_j), (t_j, p_i) \} \notin \phi$$

정의 3 : 플레이스들은 토큰들을 포함할 수 있다. 토큰을 갖는 PN을 표시된 PN (marked PN) 이라 한다.

정의 4 : PN의 마킹(marking) \vec{m} 은 플레이스에 위치한 토큰의 수를 나타내는 정수 값을 갖는 칼럼 벡터이다.

$$\vec{m} = [m_1, \dots, m_n]^T \text{ 여기서 } m_i \geq 0.$$

정의 5 : $n \times m$ 인시던스 행렬(incidence matrix)의 요소 $c_{i,j}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$c_{i,j} = \begin{cases} -1 & \text{if } (p_i, t_j) \in \phi \\ 1 & \text{if } (t_j, p_i) \in \phi \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

정의 6 : 다음의 관계를 만족하는 0이 아닌 로우 벡터 (row vector)를 P-인베리언트(P_invariant)라 한다.

$$\vec{c} \cdot \vec{c} = \vec{0}.$$

정의 7 : 주어진 초기 마킹 \vec{m}_0 에 대해 도달 가능한 마킹의 집합, $R(\vec{m}_0)$,은 초기 마킹 \vec{m}_0 에서 생성 가능한 마킹들의 집합을 말한다.

정의 8 : 초기 마킹 \vec{m}_0 에 대해 m_i 가 $R(\vec{m}_0)$ 의 모든 \vec{m} 에 대해 제한되어 있다면 플레이스 p_i 는 제한되어(bounded) 있다고 한다.

정의 9 : 초기 마킹 \vec{m}_0 에 대해 $R(\vec{m}_0)$ 의 모든 마킹에서 트랜지션 t_j 가 인에이블(enable)되는 마킹으로 도달하는 파이어링(firing)순서가 있으면 트랜지션 t_j 는 살아 있다(live)고 한다.

5.2 조립 공정 모델링의 예

PN을 이용해 두 대의 로봇이 작업하는 조립 작업 단위(assembly cell)의 모델링 예를 보았다. 조립 작업 단위는 로봇1(R1), 로봇2(R2), 콘베이어(C), 조립 테이블(A), 파트(P), 비전(V) 등으로 구성되며 다음의 작업을 반복 수행한다.

- (1) 콘베이어에 파트가 놓여지면 콘베이어는 정지한다.
- (2) 콘베이어가 정지하면 비전(vision)프로세싱이 시작된다.
- (3) 비전 프로세싱이 끝나면 로봇 1은 콘베이어위의 파트를 집는다.
- (4) 로봇 1은 파트를 조립 테이블위에 놓는다.
- (5) 로봇 2는 조립 테이블위에서 조립 작업을 수행한 후 파트를 콘베이어 위에 놓는다.

위의 작업 규칙에 의한 모델은 그림4 와 같다.

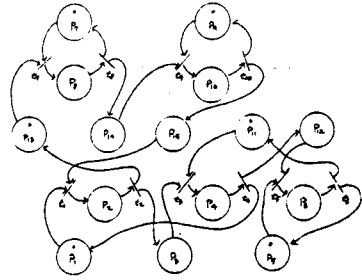


그림 4 조립 공정의 페트리 넷 모델

6 시뮬레이션 프로그램

작업 단위를 나타내는 모델은 시뮬레이션 프로그램에 의해 번역되어 실행되어진다. 모델로부터 시스템의 상태가 변함에 따라 발생하는 사건들을 모은 사건 리스트(event list)를 작성한다. 각 사건들은 객체 계획에 의한 로봇의 이동, 콘베이어 이동에 의한 파트의 위치 변화, 비전 처리 등의 방법으로 시뮬레이션되며 이 때 정해진 시간내에서의 파트 처리 수, 로봇의 작업물 등 작업 단위의 성능 평가에 필요한 정보가 얻어진다. 그림 5는 본 시뮬레이터의 흐름도이다.

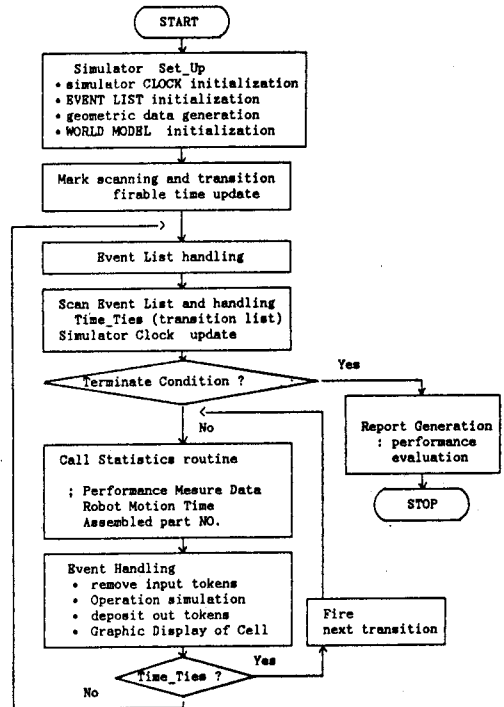
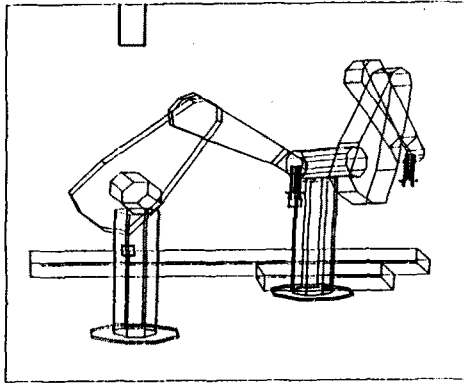


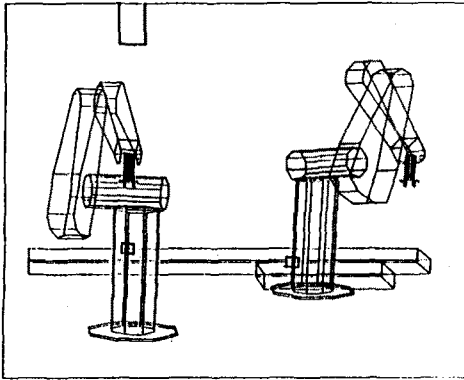
그림 5 시뮬레이터의 흐름도

7 그래픽 디스플레이

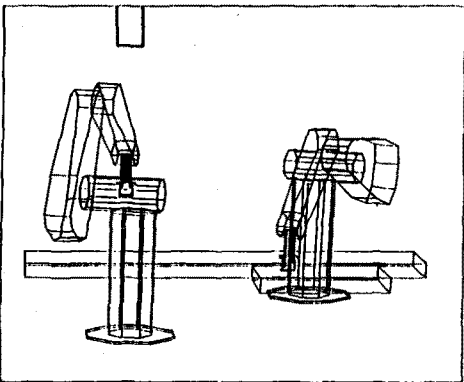
자원들의 작업 단위내에서의 위치와 초기 상태들을 대화식으로 받아들이고 그에따른 변화를 디스플레이한다. 또한 시뮬레이션 진행 과정을 그래픽으로 나타냄으로써 작업 단위의 변화 과정을 시각적으로 나타낸다. 그림 6 은 시뮬레이션 진행 과정을 디스플레이하는 한 예이다.



(a)



(b)



(c)

그림 6 시뮬레이션 과정 디스플레이

8 결론

작업 단위를 구성하는 자원들을 모델링하기 위해 기하학적 모델링 프로그램, 월드 모델링 프로그램등을 구성하였으며 작업 단위를 모델링하기 위해 페트리 넷 모델을 도입하였다. 작업 단위를 구성하는 자원들을 임의로 선택하여 모델링하고 대화식 방법의에해 작업 단위를 기술하여 모델링 하는 기능에대한 연구가 진행되면 자동화된 생산 시스템을위한 범용 그래픽 시뮬레이터로 확장될 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 성경재, "로봇 시뮬레이터", 서울대학교 제어계측 공학과 특수설계 프로젝트 보고서, 1985.
2. 장 원, "컴퓨터 그래픽스를 이용한 로봇 시뮬레이터의 설계", 한국 과학 기술원 석사 학위 논문, 1986.
3. E.Dombre, A.Fournier, C.Quaro, P.Borrel, "Trends in CAD/CAM Systems for Robotics," IBBE Int'l Conf. on Rob. Auto. pp1913-1918, 1986.
4. D.K.Pai, M.C.Leu, "INEFFABLE -An Environment for Interactive Computer Graphic Simulation of Robotic Application," IBBE Int'l Conf. on Rob. Auto. pp897-903, 1986.
5. D.W.Wloka, "ROBSIM - A Robot Simulation System," IBBE Int'l Conf on R A pp 1859 - 1864, 1986.
6. T.Sata와 2인, "Robot Simulation System as a Task -Programming Tool," 11th ISIR pp595-602, 1981.
7. Kobayashi, Modelling and Analysis, Addison - Wesley 1978..
8. R.F.Garzia, M.R.Garzia, B.P.Zeigler, "Discrete -Event Simulation," IBBE SPECTRUM pp32-36, DECEMBER 1986.
9. Wolfgang Reisig, Petri Nets : an introduction, Springer Verlag, 1985.
10. Sifakis, "Structrual properties of Petri Nets", LNCS vol64., 1978.
11. M.Kamath, N.Viswanadham , "Application of Petri Net Based Models in the Modelling and Analysis of Flexible Manufacturing Systems," IBBE Int'l Conf. on R A pp 312-317, 1986.
12. C.L.Beck, B.H.Krogh, "Models for Simulation and Dcrete Control of Manufacturing Systems," IBBE Int'l Conf. on R A pp 305-310, 1986.
13. 황희수, 김현기, 우광범, "자동화된 생산 시스템의 유연한 제어 구조의 모델링과 시뮬레이션", 대한 전기 학회 창립 40주년 기념 학술 대회, 1987
14. B.H.Krogh R.S.Sreenivas, "Essentially Decision Free Petri Nets for Real_time Resource allocation", IBBE Int'l Conf. on R A, 1987.
15. Y.Kakazh 외 2 인, "A Sturdy on Cooperative Motion Simulator," 15th ISIR pp691-698, 1985.