

상호 연결된 로봇트 셀(robot cell)의 모듈형 시뮬레이션 모델

○국금환\*

\*한국기계연구소 로봇트공학실

Modular Simulation Model of Interconnected Robot Cells

Kum Hoan Kuk

Korea Institute of Machinery & Metals

Abstract

In this study, a model for the simulation of the material flow not only inside a robot cell with flexible handling sequence but also between robot cells is presented.

A method for the connection of special simulation programs has been developed and a logic model between a real system and a simulation system is employed.

1. 서 론

최근의 자동화추세중 하나는 셀(cell)의 형성이며, 이러한 셀내에서 산업용 로봇트는 반송과 이송작업을 위한 중요한 결합요소로서 점차 응용빈도가 커지고 있다(1,2). 이제껏 응용된 로봇트는 주로 고정된 작업순서에 따라 작업해왔다(3,4). 최근 상품시장의 요구, 즉 다품종소량생산, 에 따라 로봇트 셀(robot cell)이 갖는 유연성의 중요성이 커지게 되었다(5,6). 이러한 셀의 특징은 로봇트 작업순서의 가변성이다. 이러한 고가의 로봇트 셀 도입에 따른 투자위험도를 줄이고 로봇트 셀의 점진적 도입에 의해서 전 생산시스템을 구성하기 위해서는 한 셀내의 복잡한 관계뿐만 아니라 셀들 사이의 관계도 정확히 시뮬레이션 할 수 있는 툴(tool)이 요구된다(7,8).

이러한 요구를 만족시킬 수 있는 시뮬레이션 시스템이 로봇트의 이용자와 로봇트용용계획자를 위해서 개발되어야 하며, 가급적 개발한 시뮬레이션 시스템의 이용도를 높이기 위해서 이 프로그램 시스템이 PC

상에서 이용될 수 있어야 한다. 또한 프로그램 개발시 개발된 프로그램 모듈들을 셀의 제어용 툴(tool)로서 손쉽게 이용할 수 있도록 미리 고려해 주어야 한다.

본 논문에서는 가변의 로봇트 작업순서를 갖는 셀내의 동적진행과 로봇트 셀들 사이의 상호관계를 시뮬레이션할 수 있는 하나의 시뮬레이션 시스템이 로봇트 셀의 계획과 제어의 보조도구로서 개발 되었다.

2. 현황

가변의 로봇트 작업순서를 갖는 셀이 최근에 응용되었기 때문에, 이러한 셀들을 시뮬레이션 할 수 있는 전용 프로그램이 아직 보고 되지 않은 상태이다(9, 10, 11). 고정된 로봇트 작업순서를 갖는 셀의 계획용 시뮬레이션 프로그램들(12, 13, 14)의 갯수도 적은데, 그 이유는 첫째 두 프로그램그룹, 로봇트 셀 내에서의 충돌을 피하면서 로봇트의 동작순서를 검토하기 위한 프로그램그룹과 생산시스템내의 자재흐름을 시뮬레이션하기 위한 프로그램그룹, 의 독립적 개발과 둘째, 타 생산요소에 비해서 로봇트의 응용기간이 짧은 점을 들 수 있다. 기 개발된 자재흐름을 시뮬레이션 하기 위한 프로그램들의 개발추이는 그림 1과 같다.

3. 시뮬레이션 시스템의 사양

기존 시뮬레이션 프로그램들을 분석한 결과로 부터 결정된 사양서의 내용은 다음과 같다.

- 시뮬레이션 시스템에 대한 상위요구조건
- 시뮬레이션 프로그램의 개발·유지 비용이 큰점은

단계	프로그램	특성	제한점
1	불연속 시뮬레이션 모델의 블록(block) 혹은 연결된 블록의 시뮬레이션 언어(GPSS, SIMSCRIPT)로 작성됨.	- 기술된 실제현상을 시뮬레이션 모델로 변환 시 소요되는 시간이 적다. - 프로그램 작성 시 많은 오류를 피할 수 있다.	- 시뮬레이션 대상의 구조가 복잡하다. 세부적인 모델링과 검증에 많은 시간이 필요하다. - 제한용량 메모리가 요구된다.
2	시뮬레이션 프로그램들이 일관되어 (FORTRAN, PASCAL, ALGOL, PL/1) 혹은 언어로 부가 작성된 언어(GASP, SIMULA)로 작성됨.  프로그램: MFSP/15/, GOMS/16/, SIMIS/17/, MOOUS/18/, MUSIK/19/	- 일관된 언어 사용의 이점 - 언어에 따라 기술적 문제로 변환됨.	- 시뮬레이션 대상의 복잡도와 모델링 방법의 제약이 사용목적에 따라 다르다. - 일관된 언어 사용의 이점이 있다. - 시뮬레이션 프로그램 간의 연계를 이력하는 것이 어렵다.
3	고대적 시스템을 이용한 시뮬레이션 프로그램이 개발됨.  프로그램: INSIMAS/20/, SIMULAF/21/, SIXTAS/22/	- 일관된 언어의 순서는 유지되고 신속한 데이터 입력이 가능. - 시뮬레이션 프로그램 간의 연계를 이력하기 쉽다. - 제어용 프로그램의 텍스트와 제어언어의 결합이 이용 가능.	- 시뮬레이션 대상의 복잡도와 모델링 방법의 제약이 있다. - 프로그램의 구조와 모델링 방법 등에 따라 실시간 제어용 보조 프로그램 사용이 위한 추가 비용이 있다.

그림 1 자체프로그램을 위한 시뮬레이션 프로그램의 개발추이

아직도 해결해야 할 문제이다. 이 문제점에 대한 이유중 하나는 지금까지 프로그램의 기능성에 비해서 프로그램의 장기적 확장가능성을 통한시점점을 들 수 있다. 생산시스템을 위한 소프트웨어(software)로서 시뮬레이션 프로그램의 중요성이 커지고 시스템 개발시 소프트웨어 비용의 비율이 커짐에 따라 프로그램의 장기적 확장가능성을 개선하기 위해서 아래의 상위요구조건이 결정되었다.

- 규모가 큰 시뮬레이션 시스템을 PC상에서 개발하는 방법의 고안 및 이 개발방법을 효율적으로 실현시킬 수 있는 설계기준작성.
- 시뮬레이션 대상의 모델링시 요구되는 사양 상호 연결된 로봇 셀의 동적거동을 모델링하기 위해서 요구되는 세부항목들을 아래의 두그룹으로 나누었다.
  - 수행부 혹은 자체흐름과 직접적 관계를 갖는 생산요소들의 모델링
  - 제어부 혹은 자체흐름시 요구되는 의사결정의 모델링
- 시뮬레이션 시스템 설계시에 요구되는 사양
  - 데이터 구조의 결정 및 모듈분할시에 요구되는 사양
  - 시뮬레이션 시스템을 제어용 보조 소프트웨어로서 사용하기 위한 사양

#### 4. 개발방법의 안출

##### (1) 시뮬레이션 시스템의 개발방법

상호 연결된 로봇 셀들의 시뮬레이션 시스템을 개발하기 위해서 아래의 두가지 방법을 생각할 수 있다.

- 시스템요소위주의 방법  
생산요소가 생산시스템의 특정 부시스템(subsystem)에 소속되는 것을 고려치 않고 로봇 셀들(부품 가공 부시스템)과 이들을 연결해 주는 온반 부시스템에 대한 하나의 일반 시뮬레이션 프로그램을 개발하는 방법.
- 부시스템위주의 방법  
각 부시스템들(즉 부품가공, 조립, 운반과 저장)에 대해서 각각 독립된 전용 시뮬레이션 프로그램들을 개발하고 이들을 인터페이스모듈로 상호 결합시키는 방법.

첫째방법은 지금까지 가장 많이 사용해진 방법이고, 둘째방법은 본 논문에서 새로 안출한 방법이다(그림2). 그림3은 부시스템 위주의 방법을 도식적으로 나타낸 것으로, 지금까지 시뮬레이션 프로그램들의 상호 결합이 동반되어온 이유는, 각 전용 시뮬레이션 프로그램들이 독립적으로 개발되어 온점과 부시스템의 최적화에 비해서 전 생산시스템의 최적화는 최근에 관심을 갖게 된점을 들 수 있다.

평가항목	방법	시스템요소위주의 방법	부시스템위주의 방법
프로그램 개발	각 부시스템에 요구되는 모델링방법의 기계적 반복가능성	○	●
	시뮬레이션 시스템을 구성하는 각 모듈들의 독립적 작성 가능성	○	●
	프로그램링 작업의 규모	●	○
프로그램 이용	부시스템들 사이의 상호관계를 조사할 수 있는 용이성	○	●
	상이한 부시스템들에 존재하는 요소들 사이의 관계를 조사할 수 있는 용이성	○	●
	순차적 프로그램의 도입시 소요되는 일관된 언어 준비 비용	○	●
	프로그램 크기를 순서모리의 크기에 적용시킬 수 있는 가능성	○	●
	프로그램들 각 부시스템의 제어용 보조수단으로 이용할 수 있는 용이도	○	●

그림 2 시뮬레이션 시스템 개발방법의 비교

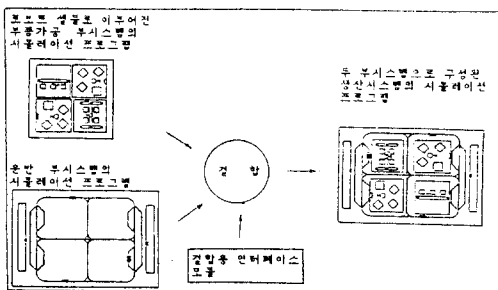


그림 3 독립된 두 전용 프로그램의 결합

(2) 독립된 프로그램들의 개발과 상호결합을 위한 통일화

각 전용 시뮬레이션 프로그램을 효율적으로 개발하고, 또한 개발한 전용 프로그램들의 상호결합을 가능케 하기 위해서 아래와 같은 통일적 설계기준이 작성되었다.

- 프로그램설계에 관한 통일화
- 프로그램흐름에 관한 통일화

5. 논리모델을 이용한 전용 프로그램들의 설계

본장에서는 4장 (2)절의 프로그램 설계에 관한 통일화 내용을 구체적으로 전용 시뮬레이션 프로그램, 즉 부품가공부시스템과 운반부시스템의 전용 프로그램, 설계시에 적용한 내용을 기술하였다.

(1) 데이터 구조의 결정

- 시스템요소들의 속성을 분류 :  
시스템요소, 즉 영구요소와 일시요소들은 시뮬레이션 프로그램 내부에서 세가지 분류항목, 정적, 동적, 통계적, 에 의해서 모든 속성이 분류된다.
- 생산시스템속에 존재하는 관계들의 종류와 시스템요소들 사이의 관계를 분류하는 항목 :  
생산시스템속에 존재하는 관계들은 크게 세종류, 즉 시스템요소들의 상태변화들 사이의 관계, 시스템요소의 상태들 사이의 관계, 시스템요소들 사이의 관계, 로 나눌수 있다.  
시스템요소들 사이의 관계는 사상발생에 의한 시스템요소의 상태변화중에도 그대로 유지되며, 관계를 맺는 시스템요소의 종류, 기술적특성, 동적특성에 의해서 분류될 수 있다.  
시스템요소들 사이의 관계를 기술하는 방법 :  
지금까지 시뮬레이션 프로그램의 데이터구조 설계를 위해서 시뮬레이션 대상내의 관계들을 가지적으로 표현하는 방법은 이용되지 않았다. 그러나 시뮬레이션 대상이 복잡해지고 규모가 커짐에 따라 시스템요소자체의 기술보다 시스템요소들 사이의 관계를 기술하는 것이 더욱 중요하게 된다.  
시스템요소들 사이의 관계를 체계적으로 파악하고 검토하기 위해서 본 논문에서 수정된 Entity/Relationship-Model을 보조도구로서 이용하였다.

Entity/Relationship-Model내에서 각 관계들

은 기능(1:1, 1:n, m:n)과 의존성(all:all, all:any, any:all, any:any)에 의해서 구분되고, 생산시스템의 Entity/Relationship-Model은 그림4와 같다.

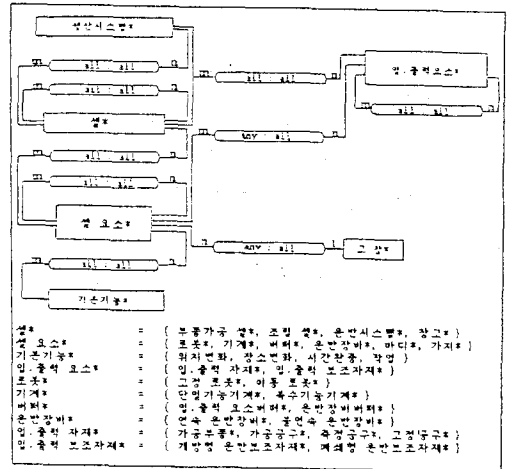


그림 4 생산시스템의 Entity/Relationship-Model

(2) 프로그램 구조의 결정

불연속 시스템의 동작은 임의시각에 발생한 사상들로 명확히 기술될 수 있고, 시스템의 동작제어는 사상들의 스케줄링을 통해서 행해진다.

시뮬레이션 프로그램의 기능상의 신뢰도를 높이고 개발작업 자체의 효율을 높이기 위해서 Petri-Net를 사상발생순서의 기술도구로서 채택하였다.

Petri-Net를 이용해서 시뮬레이션 대상내의 동적거동을 검토할 수 있고, 동시에 시뮬레이션 대상이 갖는 기본상태와 기본사상 및 시스템요소들의 공통천이에 의한 상호접속등을 이끌어 낼 수 있다.

Petri-Net로 부터 얻어진 정보들은 아래와 같이 프로그램 개발시 수반되는 부분작업시에 이용된다.

- . 기본상태 → 사상생성의 모델링
- . 기본사상 → 사상수행의 모델링
- . 시스템요소들의 공통천이에 의한 상호접속 → 사상선택의 모델링

특정 시뮬레이션 대상에 대한 기본상태, 기본사상과 요소들의 공통천이에 의한 상호접속을 얻기 위해서는 Petri-Net로 기술할 동작이 아래의 조건을 만족시켜야 한다.

- . 시스템동작이 시스템요소들 사이의 실제적

의미를 갖는 가능한 관계들을 모두 포함해야 한다.

- 시스템동작이 시스템경계에서의 가능한 모든 사상을 포함해야 한다.

시뮬레이션 시스템의 모듈분할시 사상 순서 제어 모듈은 2개의 계층, 부시스템들의 사상 순서 제어 모듈과 이 모듈들을 제어할 수 있는 생산시스템의 모듈, 으로 분리함으로써 각 부시스템의 전용 프로그램을 독립적으로 이용하는 것과 이들의 결합을 용이하게 하였다.

## 6. 제어규칙의 결정과 프로그램의 흐름

### (1) 제어규칙의 결정

시뮬레이션 프로그램 속에서 제어규칙은 실시스템의 진행시 요구되는 의사결정 기능을 수행하며, "기능과 제어규칙의 적용조건으로서의 시스템 상태"로 정의될 수 있다.

또한 실현된 모든 제어규칙은 직접관계를 갖는 시스템요소의 종류, 시스템상태의 고려여부와 적용 프로세스의 확정성 등에 의해서 분류될 수 있다. 제어규칙에 의한 모델링 작업은 실시스템 내부의 자체흐름에 대한 정보(정보흐름)가 시간적 지연없이 얻어진다는 이상조건을 가정한 것이다.

#### - 부품가공 로봇 셀의 제어규칙

Petri-Net로부터 얻은 사상들(공통천이에 의한 셀 요소들의 결합과 셀 경계에서의 사상)에 참여하는 셀 요소들을 결정하기 위해서 6개의 제어규칙을 결정하였다.

### (2) 프로그램의 흐름

두 전용 프로그램을 결합한 후 시뮬레이션의 수행중 로봇 셀들과 운반시스템 사이에 빈번한 상호작용이 존재한다. 이러한 상호작용은 하나의 입, 출력요소가 로봇 셀로부터 운반시스템으로 옮겨가거나 그 반대의 경우를 의미한다.

프로그램속에서 상호작용은 하나의 인터페이스 모듈과 두 부시스템에 대한 사상수행 모듈의 수정에 의해서 모델링된다(그림5).

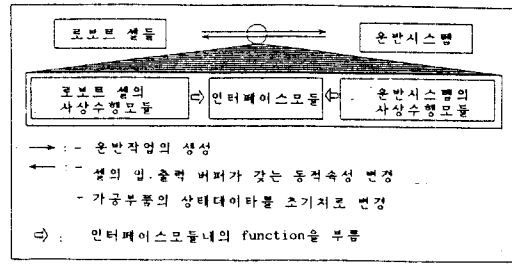


그림 5 두 부시스템 사이의 상호 작용

## 7. 시뮬레이션 시스템의 적용

두 개의 독립된 전용 시뮬레이션 프로그램의 결합형을 기존 생산 시스템의 재구성성을 위한 (그림6) 계획의 도구로서 적용한 경우를 보이고자 한다. 기존의 생산시스템은 2개의 로봇 셀로 구성되고 각 셀내에서 부품가공이 완전히 수행되므로 셀 사이의 자체흐름은 존재하지 않는다. 그러나 셀내에서의 완전한 가공을 위해서 두 셀이 동일한 특수가공기계를 가져야 하고 이로 인해 이 기계의 사용율은 매우 낮다. 이러한 문제점의 해결 방법으로서 특수가공기계 한 대와 한 대의 로봇으로 구성된 제3의 셀을 만들고 기존의 셀로 부터 특수가공기계를 제거한 새로운 생산시스템이 제안되었다. 또한 터렛의 점착적 셀 도입을 위해서 그림7과 같은 운반시스템이 세계의 셀을 상호연결 시켜주는 결합요소로서 제안되었다.

시뮬레이션 결과 셀요소들(재구성된 셀 1과 2에 존재하는)의 사용율은 상호 비슷해 졌지만, 운반도구의 사용율(42.8%)과 셀 3의 로봇 사용율이 아주 낮음을 알 수 있었다.

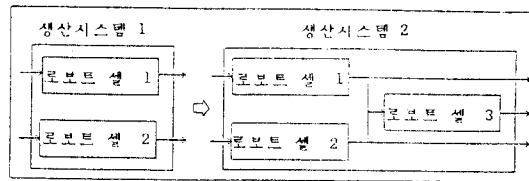


그림 6 셀의 도입에 의한 생산시스템의 재구성

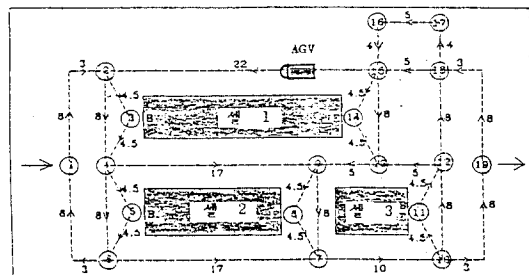


그림 7 생산시스템 2의 운반 시스템

## 8. 결 론

개발한 시뮬레이션 시스템은 상호 연결된 로봇 셀의 계획작업을 위한 데이터를 제공할 뿐 아니라, 셀 내 이송작업들의 스케줄링 도구가 될 수 있다. 또한 시뮬레이션 프로그램의 새로운 개발 방법은 시뮬레이션 대상에 따라 요구되는 전용 시뮬레이션 프로그램의 상호결합을 가능케 하였다. 즉 한 프로그램내에서의 기존 모듈 개념을 프로그램 시스템내의 모듈 개념으로 확장하였다. 그리고 제안한 개발 방법을 효율적으로 실현시키기 위해서 도입한 "실시스템과 시뮬레이션 프로그램 사이의 논리 모듈"은 개발된 시뮬레이션 프로그램이 프로그램 설계자의 시뮬레이션 대상에 대한 주관적 이해도에 의존하는 정도를 낮추고 동시에 개발 참여자 사이의 의사 교환 수단이 될 수 있으리라 본다. 시뮬레이션 프로그램들 사이의 접속을 위해서 하나의 방법을 본 연구에서 제안하였지만, FMS의 소프트웨어 시스템내에서 소프트웨어들 사이의 효율적 접속은 앞으로 해결해야 할 과제이고, 제안한 실 시스템과 시뮬레이션 프로그램 사이의 논리 모델을 이용해서 시뮬레이션 프로그램 제너레이터(generator)를 개발하는 것도 미래의 과제이다.

### [ 참고문헌 ]

- |  |   |
|--|---|
| <p>/1/ Warnecke, H.J.; Abele, E.; walther, J.; Programmable assembly cell for automotive parts und units. International Conference on Advanced Robotics, Tokyo, Japan, 1983, PP. 29-37.</p> <p>/2/ Milberg, J.: Entwicklungstendenzen in der automatisierten Produktion. Technische Rundschau 37(1985), PP. 42-43.</p> <p>/3/ o.V.: Maschinenverkettung mit dem Roboter. Flexible Automation 3(1984), PP. 43-46.</p> <p>/4/ Schellenberger, D.; Scheibner, H.; Bahmann, W.; Moldenhausner, H.G.: Moeglichkeiten und Trends bei der automatischen Werkstueck-</p> | <p>handhabung mit Industrierobotern. wt-Z. ind. Fertig. 76(1986) Nr. 10, PP. 585-589.</p> <p>/5/ Handke, G.: Der Roboter als CIM-Komponente. Praktiker-Tagung "Prozessintegrierter Robotereinsatz", Muenchen, 26-27 1987, Maerz.</p> <p>/6/ Gossens: Die flexible Automatisierung des Produktions-Prozesses durch den Einsatz von Industrie-Robotern. Europa Seminar 1987, Wasser-burg, 20. 1987, Mai.</p> <p>/7/ Pritschow, G.: Die flexible Fertigungszelle. Fertigungstechnisches Kolloquium, Stuttgart, 10-12 1985, Oktober PP. 48-47.</p> <p>/8/ Steinhilper, R.: FFS-geeignete Teilfamilien und Fertigungsaufgaben; 10 Empfehlungen zu Planung und Realisierung. Boeblingen, 11-13 1984, Sep.</p> <p>/9/ Warnecke, H.J.; Schraft, R.D.; Systematic, Computer-Aided Planning of Industrial Robot Application. Annals of the CIRP Vol. 29, 1980, PP. 339-343.</p> <p>/10/ Spur, G.; Furgac, I.; Deutschlender, A.; Browne, J.; O' Gorman, P.; Robot Planning System, Robotics &amp; Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 2, No. 2, PP. 115-123.</p> <p>/11/ Eversheim, W.; Bette, B.; Stolz, N.: Einsatz von Handhabungsgeraeten in komplexen Mehrmaschinensystemen. VDI-Z Bd. 127(1985) Nr. 14, PP. 513-517.</p> <p>/12/ Schmidt-Streier, U.: Methode zur</p> |
|--|---|

rechnerunterstuetzten Einsatz-  
planug von programmierbaren Hand-  
habungsgeraeten. Diss. Uni. Stu-  
ttgart, 1982.

Eine neue Planungsmethode fuer  
FTS mit computer-Graphik-Unter-  
stuetzung. 16. IPA Arbeitstagung,  
Stuttgart, 7-9 1983, Juni. PP.  
21-31.

/13/ Medeiros, D.J.; Sadowski, R.P.:  
Simulation of robotic manufac-  
turing cells: a modular approach.  
SIMULATION 1983, January PP.  
3-12.

/21/ Steffens, H.: Ein Beitrag zur  
Optimierung der Prozessfuehrung-  
sstrategien automatisierter  
Foerder- und Materialflusssysteme.  
Diss. Uni. Stuttgart, 1983.

/14/ Zachau, H.; Rebentrost, A.:  
Simulationsuntersuchung einer  
flexiblen Fertigungszelle fuer  
die spanende Bearbeitung. Fer-  
tigungstechnik und Betrieb 34  
(1984) Nr. 10, PP. 615-619.

/22/ Chmielnicki, S.: Simulation der  
Prozesse in flexiblen Fertigungs-  
systemen als Hilfsmittel zur  
Planung und zum Test von Ste-  
uerungsprogrammen. Diss. Uni.  
Stuttgart, 1985.

/15/ Stemmer, G.: MFSP-Ein Verfahren  
zur Simulation komplexer Mate-  
rialfluss-Systeme. Diss. Uni.  
Stuttgart, 1976.

/16/ Mayeer, R.J.; Talavage, J.J.:  
Simulation of a Computerized  
Manufacturing System. NSF Grant  
Nr. APR 7415256, Report Nr. 4,  
1976.

/17/ Kuhn, A.: Simulation von Mate-  
rialfluss-Systemen, Teil II.  
Foerdern und Heben 30(1980) Nr.  
3, PP. 203-207.

/18/ Grosseschallau, W.: Simulation  
von Materialfluss-Systemen, Teil  
IV. Foerdern und Heben 30(1980)  
Nr. 6, PP. 497-503.

/19/ Vettin, G.: Verfahren zur tech-  
nischen Investitionsplanung  
automatisierter flexibler Fer-  
tigungsanlagen. Diss. Uni. stu-  
ttgart, 1982.

/20/ Grosseschallau, W.; Heinzl, R.: