

지능형 제어 기법에 의한 생산 계획 설계

이창훈 서기성 정현호 우광방
연세대학교 전기공학과

Design of the Intelligent Control-Based Job Scheduler

Chang-Hoon Lee Ki-Sung Seo Hyun-Ho Jung Kwang-Bang Woo
Department of Electrical Engineering, Yonsei University

Abstract

The purpose of this paper is to design a job scheduling algorithm utilizing intelligent control technique. Rulebase is built through the evaluation of rule-set scheduling. 24 scheduling rule-sets and meta-rules are employed. An appropriate scheduling rule-set is selected based on this rulebase and current manufacturing system status. Six criteria have been used to evaluate the performance of scheduling. The performance of scheduling is dependent on random breakdown of the major FMS components during simulation.

1. 서론

급변하는 시장 수요에 대응하기 위하여 소량, 다품종 생산에 적합하도록 개발된 FMS의 생산성 향상을 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다[5]. 선형 프로그래밍이나 동적 프로그래밍 기법을 이용하여 일반적으로 n개의 가공품(Part)들을 m개의 기계 센터에서 생산 시간을 최소화 하거나 일정 시간 내에 생산량을 최대화 하는 생산 계획을 수립하는 문제가 검토되고 있다. 또한 실시간 구현에 어려움이 있는 최적화 기법 대신 생산 계획에 지능형 제어 기법을 적용하는 연구도 활발히 추진되고 있다.

본 논문에서는 생산 라인의 모델링과 여기에 지능형 제어 기법을 적용하고, 종래의 여러 가지 생산 계획 규칙들을 평가하여 규칙 베이스를 구축하며 이를 제어하는 규칙(Meta-Rule)을 개발한다. 적용된 제어 기법의 성능 평가를 위해 6가지의 평가 기준을 선정하고 이 기준들의 시간적 변화와 기준 상호간의 상관 계수, 그리고 생산 시스템의 현재 상태를 고려하여 적절한 생산 계획 규칙을 적용하도록 하는 지능형 제어 기법의 개발을 목적으로 한다.

2. FMS 모델 및 생산 데이터

시뮬레이션을 위한 FMS 모델(그림 1)의 구성 요소는 다음과 같다.

- o 자동 저장/추출 시스템(AS/RS Cart)
- o 가공품 저장을 위한 저장영역(7개)과 중간 완성품을 위한 저장영역(1개)
- o NC 기계 센터로 구성된 6개의 기계 센터
- o 로보트 및 2대의 수직 선반으로 구성된 선반셀
- o 가공품 운반을 위한 MHS(Material Handling System)

자동 저장/추출 시스템은 가공품을 저장하고 가공을 위해 추출하는 운송차이다. 가공품 및 기계 센터 선정은 운송차가 원점에 있을 때 수행되며, 선정된 가공품을 추출하기 위해 저장 영역으로 이동하면서 또다른 가공품을 보충한 뒤 추출하도록 동작시키고 있으므로 저장 영역에는 항상 일정한 수 이상의 가공품을 보유한다.

가공품은 모두 7가지가 생산되며 이중 가공품 1,3,5,7은 시스템내 6개의 기계 센터중 1군데에서만 가공되면 완성품이 되는 것이고 가공품 2,4,6은 선반에서의 사전 가공이 필요한 가공품이다. 선반에서의 사전 가공이 끝난 가공

품들은 저장영역 8에 저장된다. 이 가공품들은 기계 센터 내에서의 가공을 위해 저장영역 8로부터 추출된다. 가공품 선정시 저장 영역 8에 있는 가공품들의 우선 순위가 가장 높다.

MHS(Material Handling System)는 컨베이어 벨트로 구성되어 있고, 추출된 가공품을 선반이나 기계 센터로 운반하고 또한 선반에서 가공된 중간 가공품을 저장 영역 8로 옮긴다.

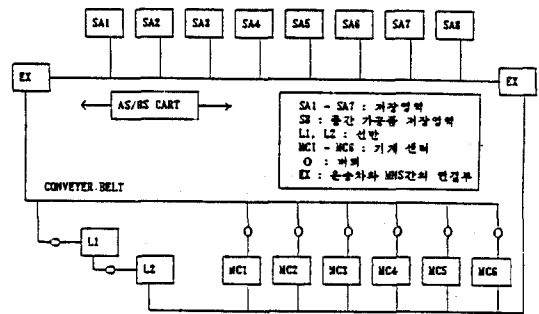


그림1 FMS 모델의 구조도

표1 시뮬레이션에 사용된 기계 고장에 관한 데이터

구성요소	MTBF	MDT
AS/RS CART	25.7	3.5
T. C.	272.3	11.8
M/C 1	623.5	57.5
M/C 2	635.3	54.2
M/C 3	623.1	137.5
M/C 4	611.2	11.4
M/C 5	583.1	46.3
M/C 6	1103.5	77.8

정상적인 FMS 동작은 시뮬레이터내의 3가지 중요 구성 요소들의 고장으로 방해 받는다. AS/RS 운송차, 기계 센터, 선반셀은 시뮬레이션 도중 예기치 못하게 또한 동시에 고장이 날 수 있도록 하였다. 구성 요소들의 고장시에는 해당 요소들의 동작이 중지되며 결정 규칙 세트는 이러한 사항들을 고려해서 결정을 수립해야 한다.

각 요소의 고장들은 서로 다른 MTBF(Mean Time Between Failure)와 MDT(Mean Down Time)를 가지며 이 값들은 지수 분포형으로 불규칙(random) 하게 주어진다. 표1은 사용된 기계 고장에 관한 데이터이다.

3. 지능형 제어기의 구성

지능형 제어기는 지식 베이스와 데이터 베이스, 그리고 추론기관으로 구성되며 그림 2와 같다.

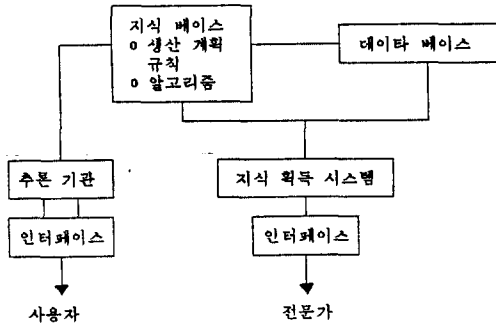


그림 2. 지능형 제어기법에 의한 생산 계획 시스템의 구조

그림 2에서 데이터 베이스는 생산 계획 규칙의 평가를 통해 얻어진 결과치들과 가공품의 종류 및 생산량등이 저장되고 동적 데이터 베이스에는 계획 규칙의 선정을 위한 현재의 상황들이 기록되며 지식 베이스에는 6개의 가공품 선정 규칙과 4개의 기계 센터 선정 규칙이 조합된 24개의 결정 규칙 세트와 경계치 선정 규칙, 그리고 최적의 규칙 세트 선정을 위한 규칙 세트등으로 구성된다. 가공품 및 기계 센터 선정 규칙은 다음과 같다.

i) 가공품 선정 규칙

- o RANDOM 규칙 : 가공품을 임의로 선정
- o FSFS 규칙 : AS/RS 운송차의 이동 시간이 가장 빠른 가공품을 선정
- o SPT 규칙 : 가공 시간이 가장 짧은 가공품을 선정
- o DDATE 규칙 : 완료 예정시간이 가장 빠른것을 선정
- o SLACK 규칙 : 여유 시간이 가장 짧은 가공품 선정
- o S/PT 규칙 : 여유 시간과 남은 가공 시간과의 비가 가장 작은 것을 선정

ii) 기계 센터 선정 규칙

- o RANDOM 규칙 : 기계 센터를 임의로 선정
- o FMPS 규칙 : 가까운 기계 센터를 우선 선정
- o NINQ 규칙 : 버퍼에서 대기하는 가공품의 수가 가장 적은 기계 센터를 선정
- o WINQ 규칙 : 버퍼에서 대기하는 가공품의 총 수행 시간이 가장 짧은 기계 센터를 선정

4. 최적 대안 결정

생산시스템의 현재 상태 및 생산 계획 규칙 세트들의 성능 데이터를 고려하여 24개의 결정 규칙 세트중 최적의 대안을 찾는 과정이다. 규칙 세트들의 성능 데이터들은 절대 비교를 위해 0 에서 1 사이의 값을 갖도록 Linear Scale Transformation 방법에 의해 표준화 된다.

이 방법은 현 상태의 성능 데이터 A가 성능 데이터중 가장 큰 값으로 나뉘어 진다. 성능 평가 기준중 극대와 및 극소화 되어야할 데이터에 대해 식 (1), (2)와 같이 표준화 과정이 적용된다.

$$a_{ij} = \frac{A_{ij}}{\max_j A_{ij}} \quad (1)$$

극소화 되어야할 데이터에 대해

$$a_{ij} = \frac{1/A_{ij}}{\max_j (1/A_{ij})} \quad (2)$$

여기서 i는 6개의 성능 평가 기준을 표시하고 j는 24개의 결정 규칙 세트를 표시하게된다. 따라서 a_{ij} 는 j번째 결정 규칙 세트의 i번째 성능 평가 기준에 대한 표준화된 성능 데이터이다. 데이터 베이스에는 표준화된 데이터가 저장된다.

최적의 대안을 선정하기 위한 경험적 규칙은 2단계의 과정을 통해서 적용된다. 첫번째로 가공품저장 영역 및 기계센터 버퍼 수준이 선정된 경계치 범위 밖에 있는 경우에는 버퍼 수준에 따른 경험적 규칙을 적용하여 대안을 선정한다. 두번째로 버퍼 수준이 경계치 범위 이내에 있는 경우 표준화된 성능 데이터를 이용하여 대안을 선정한다.

본연구에서는 반복 시뮬레이션을 통해 20여개의 경험적 규칙들을 추출하여 최적의 대안을 선정하였다. 다음은 추출된 경험적 규칙의 예이다.

- o IF Machine Center i is fault
- THEN Avoid Loading in the Machine Buffer
- o IF WIP of ith machine center is less than the constant MINIMUM-WIP
- THEN Select machine by using heuristic rule of Phase I
- o IF WIP of MC[i] is more than MINIMUM-WIP
- AND IF WIP of MC[i] is less than MAXIMUM-WIP
- THEN Select machine center by using heuristic rules of phase II

대안의 선정은 매 주기가 시작될때마다 수행되고 선정된 대안은 해당 주기동안 적용되며 다른 주기가 시작되면 새로운 대안이 선정된다.

1차적으로 선택된 대안은 그 수행 여부가 시스템 현재 상태에 의해 결정된다. 만일 선택된 대안에 해당하는 기계가 고장 상태이거나 버퍼의 용량이 일정 수준 이상이어서 blocking현상이 예상되면 차선의 대안을 선택한다. 이 과정을 수행가능한 대안이 선택될 때까지 반복하여 최종 대안을 선정하게된다.

5. 성능 평가 기준

24개의 결정 규칙 세트가 6가지의 성능 평가 기준에 의해 평가된다.

i) 시스템 효율

시스템 효율은 가공품 생산을 위해 실제로 소요된 시간과 총 유효 생산 시간과의 비로 결정된다. 유효 생산 시간은 버퍼 용량 부족에 의한 노는(Idle)시간과 고장 시간을 제외한 총 시뮬레이션 시간이다. 시스템 효율은 식(3)에 의해 효과적으로 정의된다.

$$EFFs(i) = \frac{N1(i) \sum_{l=1}^6 AT(l) + \left[\sum_{k=1}^6 \sum_{j=1}^N PT(k, j) \right] 6 + \sum_{j=1}^N TC(j)}{M * CAP} \quad (3)$$

여기서

EFFs(i) = 결정 규칙 세트 i 에 대한 시스템 효율

CAP = 유효 생산 시간

M = 동작 셀의 수 (여기서는 M=3)

AT(l) = AS/RS 운송차가 저장영역 사이를 움직인 시간

PT(k, j) = 가공품 j가 기계 센터 k에서 가공된 시간

- TC(j) = 가공품 j에 대해 선반셀이 동작한 시간
- N1(i) = 결정 규칙 세트 i에 대해 As/Rs 운송차가 운반한 가공품의 수
- Nk(i) = 결정 규칙 세트 i에 대해 기계 센터 k에 의해 가공된 가공품의 수
- N2(i) = 결정 규칙 세트 i에 대해 선반셀에서 가공된 가공품의 수

ii) 가공품의 총 이동 시간

가공품의 총 이동 시간은 선정된 가공품을 과 저장 영역으로부터 추출하는데 걸리는 시간과 6개의 기계 센터중 한 곳으로 이동하는데 걸리는 시간과의 합으로 정의된다.

iii) 생산량

생산량은 각 기계 센터에서 생산한 최종 제품의 수이다. 회전 셀에서 가공된 가공품은 기계 센터에서 최종 가공을 받아야 한다.

iv) 생산시간

이 기준은 시뮬레이션 동안 처리된 모든 가공품들의 총 생산 시간으로 정의된다. 평균 생산 시간은 다음과 같다.

$$F(i) = \frac{\sum_{j=1}^{ND(i)} [c(j) - r(j)]}{ND(i)} \quad (4)$$

여기서

- F(i) = 결정 규칙 세트 i에 대한 평균 생산 시간
- c(j) = 가공품 j의 완료 시점
- r(j) = 가공품 j가 원자재 형태로 저장 장소에 도착한 시간
- ND(i) = 결정 규칙 세트 i에 대한 실제 제품 출력

v) WIP 재고(Work In Process Inventory)

WIP 재고는 가공품이 가공을 위해 기계 센터나 선반셀에서 대기하는 시간으로 정의된다. WIP재고가 커질수록 시스템 효율은 떨어진다.

vi) 생산 지연

생산 지연은 가공품이 실제로 가공이 끝난 시간과 완료 예정 시간과의 차이이다. 평균 생산 지연은 다음과 같다.

$$LD(i) = \frac{\sum_{j=1}^{ND(i)} [c(j) - d(j)]}{ND(i)} \quad (5)$$

여기서

- LD(i) = 결정 규칙 세트 i에 대한 평균 생산 지연
- c(j) = 가공품 j의 완료 시간
- d(j) = 가공품 j의 완료 예정 시간
- ND(i) = 결정 규칙 세트 i에 대한 완성 제품 수

6. 시뮬레이션 및 결과 고찰

개발된 지능형 제어기의 성능을 검토 확인하기 위하여 IBM-PC/AT를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3은 수행된 S/W의 플로우차트이다. 생산 계획 주기는 1분으로 총 1500 사이클을 수행하였고 최적의 생산 계획 규칙 선정은 매 20 사이클마다 수행하였다.

본 시뮬레이션에서 생산 체계의 초기화가 완료되는 140 사이클에서 1500 사이클까지 매 20 사이클마다 최적의 생산 계획 규칙을 선정하게 되는데, 총 68회의 규칙 선정 과정중 표 4에 도시하였다. 표에서 전체의 80% 이상을 차지하고 있는 가공품 선정 규칙의 FSFS와 기계 센터 선정 규칙의 NINQ, WINQ는 지능형 제어기를 제외한 나머지 24개의 시뮬레이션 결과를 고찰해 볼때 비교적 높은 성능을 발휘하는 규칙군임을 볼 수 있다.

본 제어기의 시뮬레이션 결과를 24개의 규칙 세트에 의한 결과와 비교하여 표 2와 표 3에 나타내었다. 표에서 위의 24개 데이터는 각 규칙 세트에 의한 시뮬레이션 결과이고 최하단의 데이터는 지능형 제어기의 시뮬레이션 결과

이며 SLST는 6개의 성능 평가 기준을 표준화한 값의 총합(Sum of Linear Scale Transformed VALUE)이다. 표 2는 각 평가 기준에 대한 결과이고 표 3은 이에 대한 상대적 등위이다.

표에서 보는 바와 같이 ASE, APO, TMT 및 TPL에 있어서 본 제어기가 최고의 성능을 보이고 있으며 결과적으로 SLST값이 가장 높음을 알 수 있다. TTT와 WIP의 성능은 다소 저조한 것으로 나타나고 있는데, 이는 총 생산량과의 상관계수를 고려할 때 납득할 만한 결과이며 이러한 효과를 제거하기 위하여 TTT/APO 및 WIP/APO로 성능 평가 기준을 수정한 결과 성능이 현저히 개선됨을 알 수 있었다.

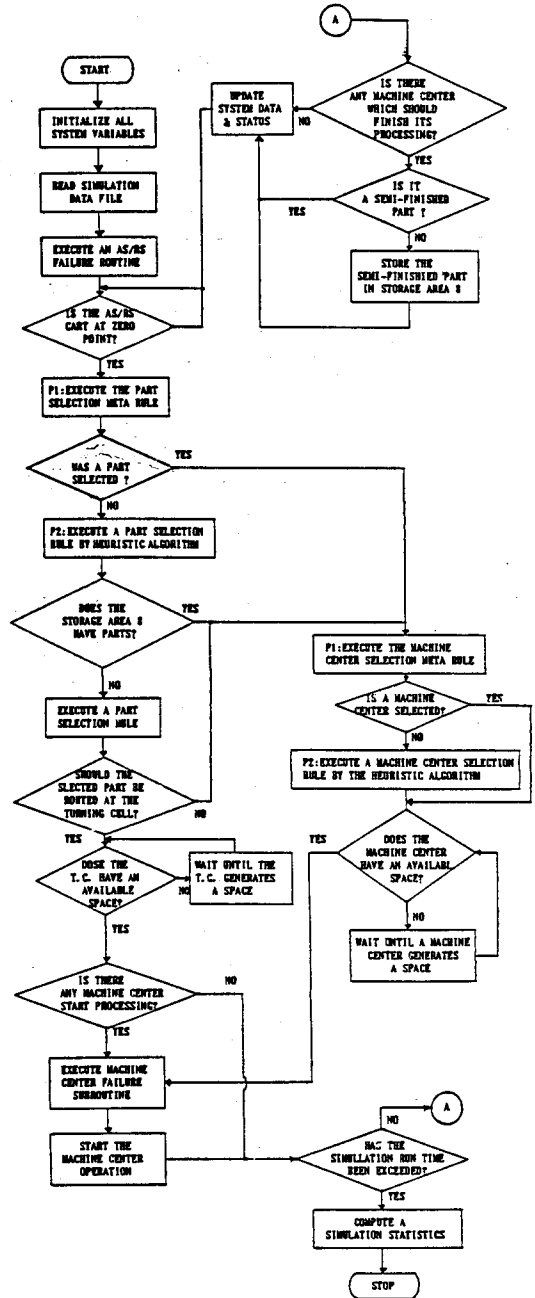


그림 3. 시뮬레이션 S/W의 플로우 차트

표 2. 24개의 결정 규칙 세트와 지능형 제어기의 성능평가 기준 값

RULE-SETS	ASE	TTT	APO	TMT	WIP	TPL	SLST
RANDOM-RANDOM	0.434	2935	59	634.5	7066	375.0	7.35
RANDOM-FMFS	0.335	2766	51	688.5	19103	393.1	6.33
RANDOM-NINQ	0.463	2793	68	586.8	4852	294.4	8.50
RANDOM-WINQ	0.461	2794	68	581.8	4547	287.4	8.63
FSFS-RANDOM	0.564	3731	75	388.8	16504	121.3	8.84
FSFS-FMFS	0.482	2852	70	502.7	30538	245.2	7.48
FSFS-NINQ	0.570	3255	80	393.5	20151	158.7	8.70
FSFS-WINQ	0.575	3242	81	374.7	19930	139.2	9.01
SPT-RANDOM	0.537	3308	80	350.9	9478	115.1	9.70
SPT-FMFS	0.472	3160	66	520.6	24430	260.1	7.14
SPT-NINQ	0.561	3239	81	351.2	9526	122.8	9.72
SPT-WINQ	0.560	3243	79	349.4	9566	123.8	9.66
DDATE-RANDOM	0.444	3037	63	624.2	7121	342.4	7.47
DDATE-FMFS	0.421	2967	53	680.3	21067	407.2	6.27
DDATE-NINQ	0.493	3010	71	557.1	4766	276.7	8.66
DDATE-WINQ	0.494	3000	69	540.5	4790	266.1	8.68
SLACK-RANDOM	0.437	2864	63	654.1	8182	376.0	7.31
SLACK-FMFS	0.397	2915	52	737.9	19382	481.1	6.09
SLACK-NINQ	0.474	2940	63	573.8	4475	300.1	8.48
SLACK-WINQ	0.475	2938	63	564.0	4065	291.8	8.70
S/PT-RANDOM	0.408	2883	65	610.8	4852	319.5	8.10
S/PT-FMFS	0.410	2978	60	632.9	18860	417.5	6.41
S/PT-NINQ	0.470	3017	73	554.9	5055	265.8	8.56
S/PT-WINQ	0.474	3018	72	550.0	4599	262.0	8.73
META-RULES	0.631	3320	86	328.6	6844	99.8	10.85

ASE(Actual System Effectivity)-----시스템 효율
 TTT(Total Traveling Time of Parts)-가공품의 총 이동 시간
 APO(Actual Production Output)-----생산량
 TMT(Total Manufacturing Throughput Time)-평균 체류 시간
 WIP(Work-in-Process Inventory)-----WIP 재고 시간
 TPL(Total Production Lateness)-----평균 지연율
 SLST-----각 성능 평가 기준을 표준화한 값의 총합

표 3. 24개의 결정규칙세트와 지능형 제어기의 상대적 순위

RULE-SETS	ASE	TTT	APO	TMT	WIP	TPL	SLST
RANDOM-RANDOM	20	8	22	20	11	20	19
RANDOM-FMFS	25	1	25	23	19	22	23
RANDOM-NINQ	16	2	13	17	7	16	14
RANDOM-WINQ	17	3	13	16	3	14	12
FSFS-RANDOM	4	25	7	6	17	3	6
FSFS-FMFS	10	4	11	8	25	8	17
FSFS-NINQ	3	22	4	7	22	7	9
FSFS-WINQ	2	20	2	5	21	6	5
SPT-RANDOM	7	23	4	3	14	2	3
SPT-FMFS	14	18	15	9	24	9	21
SPT-NINQ	5	19	2	4	15	4	2
SPT-WINQ	6	21	6	2	16	5	4
DDATE-RANDOM	18	17	17	19	12	19	18
DDATE-FMFS	21	11	23	22	23	23	24
DDATE-NINQ	9	14	10	13	5	13	11
DDATE-WINQ	8	13	12	10	6	12	10
SLACK-RANDOM	19	5	17	21	13	21	20
SLACK-FMFS	24	7	24	25	20	25	25
SLACK-NINQ	12	10	17	15	2	17	15
SLACK-WINQ	11	9	17	14	1	15	8
S/PT-RANDOM	23	6	16	18	7	18	16
S/PT-FMFS	22	12	21	24	18	24	22
S/PT-NINQ	15	15	8	12	9	11	13
S/PT-WINQ	12	16	9	11	4	10	7
META-RULES	1	24	1	1	10	1	1

표 4. 최적 생산 계획 규칙의 선정

규칙 세트	선정 횟수
FMFS - WINQ	41
FSFS - NINQ	15
S/PT - FNFS	5
FSFS - RAN	4
S/PT - RAN	2
SLACK- NINQ	1

7. 결 론

본 지능형 제어기의 구성 취지는 24개의 결정 규칙 세트에 의한 시뮬레이션 결과 모든 평가 기준에 대해 최적인 결정 규칙 세트가 없다는 점이다. 따라서 24회의 시뮬레이션 결과를 표준화하여 정적 데이터 베이스(static data base)를 구성해 이를 토대로 지능형 제어기를 구성하였다.

제어기는 표 2와 3에서와 같이 향상된 성능을 보이며 또한 6개의 성능 평가 기준을 표준화하여 합한 SLST에 있어서도 가장 높은 성능을 보이고 있다.

또한 제어기 시뮬레이션 과정에서 지능형 제어를 위한 재 상수값들의 변화가 결과에 미치는 영향이 대단히 민감함을 알 수 있었으며, 이의 조절을 통해 특정 평가 기준의 성능을 극대화 시키는 제어기의 구성이 가능함을 보여주었다.

사용자의 특정 요구에 부응할 수 있는 상수 가변 시스템을 지식 베이스에 추가하고, FMS 모델의 일반화를 한다면, 좀 더 높은 효율과 범용성을 지니는 생산 계획용 전문가 시스템(Expert System)을 구성할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

1. G.Chryssolouris, K.Wright, J.Pierce and W.Cobb, "Manufacturing Systems Operation : Dispatching Rules Versus Intelligent Control", Robotics & CIM, Vol.4, No.3/4, pp.531-544, 1988
2. R.H.Choi and E.M.Malstrom, "Evaluation of Traditional Work Scheduling Rules in a Flexible Manufacturing System with a Physical Simulator", Journal of Manufacturing Systems, Vol.7, No.1, pp.33-45, 1987
3. K.Iwata, "A Knowledge-Based Production Control System to Accomodate Unscheduled Disruptions in the Manufacturing Process", Annals of CIRP, Vol.37, No.1, pp.439-442, 1988
4. C.L.Haines, "An Algorithm for Carrier Routing in a Flexible Material-Handling System", IBM.J.RES. Develop, Vol.29, No.4, pp.356-362, 1985
5. S.Kochhar and R.J.T.Morris, "Heuristic Methods for Flexible Flow Line Scheduling", Journal of Manufacturing Systems, Vol.6, No.4, pp.299-314, 1987