

On-line 스케줄링을 고려한 off-line 스케줄링

김 경훈, 김 영호, 강 석호
서울대학교 산업공학과

Abstract

본 연구에서는 off-line 스케줄링과 on-line 스케줄링을 함께 고려하는 스케줄링 메커니즘에 대해 설명하였다. 일반적으로 스케줄링은 off-line 문제를 주로 다룬다. 그러나, off-line으로 생성된 스케줄은 실시간으로 발생하는 여러 문제들(기계 고장, 긴급 주문 등) 때문에 현실과 맞지 않게 되어 유용성이 떨어지는 경우가 자주 발생한다. 따라서 off-line 스케줄링의 결과를 수행할 때 위와 같은 문제가 발생할 경우, 스케줄의 변화를 흡수하면서 off-line 스케줄링의 결과를 최대한 유지할 수 있는 on-line 스케줄링이 필요하다. 본 연구에서는 off-line 스케줄링에서 이 같은 스케줄 실행시의 문제를 해결할 수 있도록 bidding 알고리즘을 사용하는 방법을 제시하였다.

keyword : on-line scheduling, off-line scheduling, bidding algorithm

1. 서론

본 연구는 컴퓨터 모니터의 주요 부품 가운데 하나인 PCB(Printed Circuit Board)를 생산하는 공장의 스케줄링 문제를 다루고 있다. 일반적으로 PCB는 그 종류가 매우 다양한데 이는 모니터의 크기와 성능에 따라 결정된다. 또, PCB 생산 공정을 구성하는 장비 및 삽입되는 부품의 수와 종류 역시 매우 다양하다.[2] 따라서 PCB 생산 공장의 스케줄링은 생산성 향상과 밀접하게 관련이 되어 있는 매우 복잡한 문제이다.

PCB 생산 공장에서는 PCB의 유형에 따라 거쳐야 하는 기계의 종류와 순서가 결정되어 있다. 그러므로, 생산 계획을 생성시키기 위해 off-line 스케줄링 방법이

자주 사용된다. 그러나, 작업 도중 예기치 못한 일이 발생하게 됨으로써 예정된 생산 계획을 수행할 수 없는 상황이 자주 발생한다. 기계의 고장이나, 긴급한 주문이 발생하는 경우, 불가피하게 예정된 작업을 다른 기계로 할당해야 하는 경우가 이런 상황인데, 기계의 종류가 다양하고 수량이 많은 경우 이를 처리하여 생산에 차질을 빚지 않도록 할 수 있는 방법에 대해서는 아직 특별한 방법이 제시되지 않았다. 본 연구에서는 PCB 공장을 대상으로 하여, 실시간에 발생하는 문제를 처리할 수 있는 휴리스틱 방법(heuristic method)에 대해 논하고 있다.

2. 배경 이론

이 절에서는 계획 대상 기간 이전에 일정계획을 수립하는 off-line 일정계획기법과, 계획 대상 기간에 실시간으로 작업을 할당하여 일정계획을 수립하는 on-line 일정계획 및 통제 기법, 그리고, 기계들로부터의 bid를 평가하여 작업을 할당하는 bidding 메커니즘에 대해 설명하였다.

2.1 Off-line 일정계획기법

Off-line 일정계획기법은 일정한 계획 기간에 대해 사전에 일정계획을 수립하고, 이를 바탕으로 작업을 수행하는 것을 말한다. Off-line 일정계획은 일반적으로 문제를 단순화하여 접근할 수 있고, 또 수리적 방법을 이용하여 정확한 해를 구해낼 수 있는 장점 때문에 많은 경우 스케줄링은 off-line 방식으로 연구되었다. 그러나, 실제 작업 진행과 계획 사이에 차이가 발생하거나, 작업 도중에 예기치 못한 일이 발생할 때는 계획대로 작업을 수행하는 데에 어려움이 있어 재스케줄링이 불가피하다는 단점이 존재한다. [3]

2.2 On-line 일정계획 및 통제 기법

On-line 일정계획 및 통제 기법은 배정규칙(dispatching rule)이나 휴리스틱을 이용하여 생산현장에서 실시간으로 의사결정을 이루어 나가는 방법이다. On-line 일정계획 및 통제 기법에 관한 연구는 새로운 배정규칙의 개발, 기존의 배정규칙을 다양한 상황에서 시험해 보는 시뮬레이션 연구, 그리고 현장의 상황 변화에 따라 적절히 배정규칙을 변경시켜 주는 연구 등이 있다. [3, 5]

2.3 Bidding 메카니즘

Bidding 메카니즘은 Davis[6]의 협상모형에서 최초로 제시된 후 여러 학자들에 의해 응용되어 왔다. 이 기법은 FMS와 같이 다양한 자원들간의 상호작용에 의해 작업이 수행되는 환경에서 의사결정을 위한 도구로서 적합하다.

일반적으로 시뮬레이션이나 소프트웨어 개발, 시스템 모형화 등에서는, 대상 실체(entity)를 나타내기 위해 노드(node), 모듈(module), 에이전트(agent) 등의 개념을 사용한다. 이 때, 노드는 단순한 모델의 개념을 의미하며, 모듈은 노드의 개념에 특정 목적의 기능이 추가된, 보다 발전된 개념의 모형화 도구이다. 에이전트는 모듈의 개념에 추가로 독자적인 의사결정 능력을 포함하는 상위의 개념이다.

Bidding 메카니즘에서는 기계와 주문을 에이전트 개념으로 파악한다. 이들 에이전트는 각자가 자신의 상태와 시스템의 상황에 따라 적절한 목적함수를 설정하여 해를 생성한다. 이는 크게 다음의 세 단계로 이루어진다. [4]

1. 업무 통보(Task announcement) - 새로운 주문이 발생되거나 어떤 주문의 작업을 마쳤을 때, 주문 에이전트는 기계 에이전트에게 업무를 통보한다.
2. Bidding - 업무 통보를 받은 기계 에이전트는 그 주문을 평가하고 자신의 상태에 따라 주문 에이전트에게 bid를 보낸다.
3. Bid 평가와 업무 부여 - 주문 에이전트는 여러 기계 에이전트에게서 받은 bid를 평가한 후 가장 적합하다고 평가된 bid를 제시한 기계 에이전트에게 업무를 부여한다.

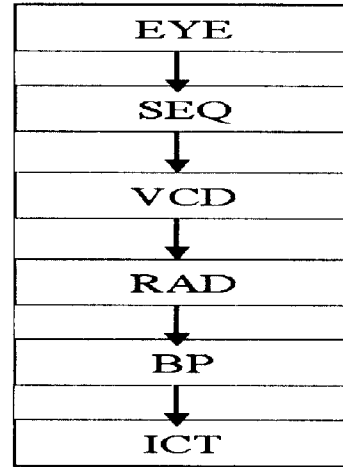
이 같은 Bidding 메카니즘을 이용하는 방법은 일정한 휴리스틱에 따라 통제할 때 보다 시스템이 복잡할 경우 전체 시스템 수준에서 더 나은 해를 제공할 수 있다고

알려져 있다.

3. PCB 작업장

3.1 PCB 생산 공정

PCB 작업장은 총 여섯 개의 작업으로 이루어져 있다. 다음 [그림 1]은 작업의 명칭 및 순서이다. [2]



[그림 1] 작업 순서

이들 작업은 PCB의 종류에 따라 거쳐야 할 수도 있고, 거치지 않을 수도 있다. 또한 각 PCB는 여러 개의 작업 순서를 가지고 있고, off-line 스케줄링 시 하나의 작업순서를 결정하게 된다. 또, 공정별로 평균적인 부하가 균형을 이룰 수 있도록 기계의 대수가 구성되어 있다.

3.2 PCB 작업의 스케줄링

PCB 작업 현장의 스케줄링에는 다음과 같은 특성이 존재한다.

- 1) 한 달 동안 생산해야 하는 PCB에 대한 주문들이 특정한 분포에 따라 발생하고, 하루하루 생산해야 할 PCB는 상위의 생산 계획에서 이미 확정되어 있다.
- 2) 개개의 PCB는 1-3개 정도의 대안 작업순서를 가지고 있다. (작업간의 관계는 없다.)
- 3) 각 작업은 우선순위를 가지고 있다.
- 4) 한 주문에 대한 작업은 반드시 하나의 기계에서 수행되어야 한다.
- 5) 하나의 공정을 수행하는 기계는 여러 종류가 있으며, 같은 종류의 기계는 하나의 그룹을 형성한다.
- 6) 작업의 순서는 결정되어 있다.
- 7) PCB의 종류에 관계없이 작업의 선후관계는 유지된다.

- 8) 특정 주문의 작업 수량과 작업의 종류에 따라 가공시간은 확정적으로 알려져 있다.
- 9) 준비시간(setup time)이 존재한다.

3.3. Off-line 스케줄링

현재 PCB 생산 공장에서는 off-line 스케줄링을 기본으로 한다. 이는 작업조의 실적 관리를 위한 것으로, 작업조가 작업할 수 있는 작업량 산정을 우선적으로 고려하기 때문이다.

PCB 생산 공장에서 행하고 있는 off-line 스케줄링의 과정은 다음과 같다.

- 1) PCB에 대한 주문은 작업 순서의 우선순위에 따라 각 기계 그룹에 할당된다.
- 2) 그룹내의 부하보다 작업량이 클 경우, 그룹 내에 할당된 주문들 중 우선순위가 낮은 주문은 대안 작업 순서에 따라 다른 그룹에 할당된다.
- 3) 각 기계에는 다음과 같은 배정규칙을 사용하여 주문을 할당한다.
 - ① 현재 기계에서 작업중인 PCB와 같은 PCB에 대한 주문을 우선적으로 할당한다.
 - ② 주문의 납기가 빠른 순으로, 미리 할당된 주문의 종료시간과 작업시작시간의 차가 가장 작은 기계에 우선적으로 할당한다.
- 4) 각 작업별로 다음 작업이 시작하는 시점을 작업의 납기로 설정한다.

Off-line 스케줄링의 결과를 실행하는 도중에 여러 가지 예기치 않은 상황이 발생할 수 있다. 이 때에는 주로 수작업을 통해 스케줄링을 수정하게 되나, 이는 대체로 일관성이 없고 후속 작업에 대한 고려가 없기 때문에 생산성의 저하를 가져온다.

4. 실시간 문제 발생시 해결 메카니즘

실시간에 발생할 수 있는 문제로서는 긴급 주문 발생과, 기계 고장의 두 가지 경우를 고려할 수 있다. 긴급 주문이 발생하는 경우에는 긴급 주문에 해당하는 PCB 종류가 거쳐야 하는 모든 공정의 스케줄상에 이 주문에 대한 작업이 할당되어야 한다. 기계의 고장이 발생한 경우에는 고장난 기계에 할당되어 있던 작업의 재할당과 후속 작업의 원활한 흐름을 고려한 재스케줄이 필요하다. 이 절에서는 이 두 가지 문제에 대한 해결 메카니즘에 대해 기술을 했다.

먼저 여기서 사용하는 기호를 설명하면 다음과 같다.

MG_i : 기계 그룹 i

MA_{ij} : MG_i 의 j 번째 기계 에이전트

MO_{ijk} : MA_{ij} 에서 k 번째에 수행할 작업

EE_{ijk} : MO_{ijk} 의 예상 작업완료시간

DT_{ijk} : 다음 작업을 위해 MO_{ijk} 이 완료되어야 하는 시간

PT_{ijt} : MA_{ij} 에서 현재시각 t 에 수행 중인 작업의 예상 작업완료시간

O_i : 고장이 발생한 기계에 할당되어 있던 주문 i

OT_{ij} : 주문 i 의 기계 그룹 j 에서의 작업 시간

OEE_i : O_i 의 예상 작업완료시간

ODT_i : 다음 작업을 위해 O_i 이 완료되어야 하는 시간

다음은 실시간에 발생할 수 있는 두 문제의 해결 메카니즘에 대한 기술이다.

① 긴급 주문 발생

Step 1 주문 에이전트 생성

긴급 주문의 할당을 처리할 주문 에이전트(OA) 생성

Step 2 작업 순서 선정

긴급 주문의 대안 작업 순서 중 가장 높은 우선순위를 가진 작업 순서 선정

Step 3 기계 에이전트의 bid

긴급 주문이 거쳐야 하는 기계 그룹 내의 기계 에이전트에서 bid

Step 4 평가

긴급 주문이 할당된 시간 이후에 수행해야 할 작업들에 대해

$$\text{MIN}_j \sum_k (DT_{ijk} - (EE_{ijk} + OT_{xi}))$$

(기계 그룹 i , 주문 x)

을 만족하는 기계 에이전트 j 에 주문을 할당한다.

Step 5 주문 할당 반복 수행

긴급 주문이 거쳐야 하는 모든 기계 그룹에 대해 Step 3, 4를 반복 수행

② 기계 고장 발생

Step 1 주문 분할

기계 그룹 i 의 고장난 기계 에이전트 j 에서 수행 중이던 주문 MO_{ijk}

는 작업이 수행된 주문(O_1)과, 작업이 수행되지 않은 주문(O_2)으로 분할한다.

Step 2 작업이 수행된 주문(O_1)의 처리

O_1 은 기존의 스케줄에 따라 다음 작업을 진행시킨다.

Step 3 작업이 수행되지 않은 주문(O_2)의 처리

i) MG_i 내의 기계들에게서 bid를 받는다.

ii) $\underset{j}{MIN} (PT_{ij})$ 에 해당하는 기계 j에 할당

Step 4 작업이 전혀 수행되지 않은 주문($O_i, i=3,4,\dots$)의 처리

i) 기계 고장 이전에 예상된 O_i 의 예상 작업 시작 시간(t)에 이르면,

MG_i 내의 다른 기계들에게 bid요청

ii) 시간 t 이후에 할당되어 있는 작업들에 대해

$$\underset{j}{MIN} \sum_k (DT_{ijk} - (EE_{ijk} + OT_{xi}))$$

(x=3,4,...)

을 만족하는 기계 에이전트 j를 선정 및 현재 작업중인 주문 후에 작업할 주문과 O_i 의 작업우선순위를 비교

iii) O_i 의 우선순위가 높으면 기계 에이전트 j의 다음 작업에 할당한다.

iv) O_i 의 우선순위가 낮으면, 기계 에이전트 j를 제외한 기계 에이전트에 대해 ii)를 수행

v) O_i 보다 우선순위가 낮은 주문이 없으면, O_i 는 할당하지 않는다.

Step 5 할당된 주문 O_i 의 후속 작업 할당

할당된 주문의 후속 작업들은 예정되어 있던 기계에서 작업을 한다.

Step 6 주문 할당 반복 수행

예상 작업 시작 시간에 도달한 주문은 Step 4의 과정을 거쳐 할당한다.

위에서 PCB 작업장에서 발생하는 예기치 않은 상황에 대처할 수 있는 휴리스틱한 기법을 제시하였다. 실시간에 가용한 스케줄링을 생성하는 것이 목적인 재스케줄링에서, 가장 문제가 되는 것 중의 하나는 재스케줄링을 하는 데 소요되는 시간이

다. 위에서 제시한 휴리스틱을 이용하면, 기계 고장 시 한꺼번에 재스케줄링을 하는 것이 아니라, 고장난 기계의 주문 각각에 대해서, 예정되어 있는 작업 시작 시간에 개별적으로 재스케줄링을 함으로써 재스케줄링에 드는 시간을 줄일 수 있다.

5. 결론 및 추후 연구과제

PCB 공장에서는 스케줄링 기법으로서 off-line 스케줄링 기법이 자주 사용되는데, PCB 공장의 특성 때문에 작업 도중 기계 고장이나 긴급 주문 발생 등의 예기치 못한 일이 빈번히 발생하게 된다. 이런 경우, 생산 계획의 수행이 힘들어 지는 상황이 발생한다. 본 연구는 이러한 상황을 고려하여 실시간에 발생하는 문제를 처리할 수 있도록 하기 위한 방법으로 bidding 메카니즘을 이용한 휴리스틱 방법에 대해 논하였다.

참고 문헌

- [1] 강석호, 현대 생산관리론, 박영사, 1991
- [2] 강석호 외, "PCB 자동 삽입 작업장을 위한 자동 스케줄러 및 정보 시스템 개발", 97춘계학술대회논문집, pp679-682, 1997. 4
- [3] 문장식, 자치적 객체들간의 bidding을 통한 FMS 생산현장통제에 관한 연구, 1993, 서울대학교 공학석사학위논문
- [4] 박남규, 컴퓨터통합생산을 위한 분산-협조형 생산현장제어시스템 설계에 관한 연구, 1994, 서울대학교 공학박사학위논문
- [5] Blackstone, J.H., Phillips, D.T., and Hogg, G., 1982, A State-of-the-art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations, International Journal of Production Research, Vol. 20, No. 1, 27-45
- [6] Davis, R., and Smith, R.G., 1983, Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving, Artificial Intelligence, Vol.20, No.1, 63-109
- [7] Kenneth R. Baker, Introduction to Sequencing and Scheduling, 1974