

제조시스템에서의 투자목표 달성을 위한 자원할당방법

Resource Allocation Method for Achieving Investment Goals in Manufacturing System

문병근*, 조규갑**

* 부산대학교 산업공학과 박사과정, ** 부산대학교 산업공학과

Abstract

This paper proposes resource allocation method for achieving investment goals in manufacturing system. In order to align resource allocation and manufacturing system design, the system design decomposition (SDD) approach is used. In this paper, a mathematical formulation for resource allocation based on SDD approach is analyzed and a genetic algorithm application is discussed.

1. 서론

투자성과평가에서 주요 이슈 중 하나는 최적의 투자규모, 즉 자원할당을 결정하는 것이다. 기존연구에서는 서열모형, 평점모형, 경제성 모형, 포트폴리오 모형, 위험 분석 및 의사결정모형, 조직 의사결정모형 등 수많은 모형들이 연구자들에 의해 제안되어 왔다[2]. 제조시스템에서 성과측정은 제조시스템 설계와의 일치가 요구되므로[3], 자원할당도 제조시스템 설계와 연계되어 결정되어야 한다. 그러나 자원할당에 대한 기존 연구는 대부분 자원할당모형에 중점을 두고 있으며, 시스템 설계에 대해 고려하고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 투자목표의 달성을 위한 최적 자원할당방법으로 시스템 설계분해(system design decomposition)에 기반한 자원할당의 수리적 모델과 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm; GA)의 적용에 대해 서술한다.

2. 시스템 설계분해에 기반한 자원할당

2.1 시스템 설계분해의 개요

시스템 설계분해는 공리적 설계(Axiomatic Design)에 기반한 시스템 설계의 결과로서 시스템 설계분해의 일반적 표현은 기능적 요구사항(Functional Requirements, *FRs*)과 설계 매개변수(Design Parameter, *DPs*)간의 계층적 구조[5]를 가진다. 본 논문에서는 시스템 설계분해에 기반한 자원할당의 분석을 위하여 시스템 설계분해의 일반적 표현에 수익(Revenue; *R*), 성과지표(Performance Measures; *PM*), 투자(Investment; *I*)의 영역을 추가한다(그림 1 참고).

2.2 시스템 설계분해에서 각 영역간의 관계

그림 1은 *FR-DP*에 대한 시스템 설계분해의 도식적 표현으로 *FR-DP* 관계에서 직접적인 영향은 굵은 실선으로, 간접적 영향은 점선 화살표로 도식적으로 표현하며, 이들의 관계는 설계행렬(design matrix)로 표현된다.

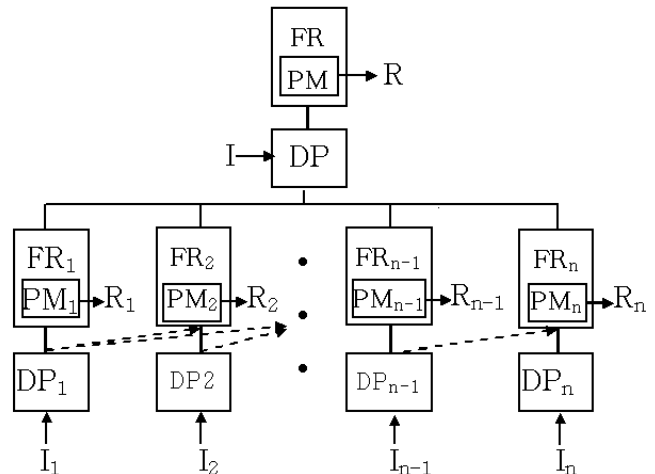


그림 1. 시스템 설계분해의 표현

그림 1의 시스템 설계분해에서 각 영역 간의 관계는 다음과 같다.

(1) 동일 분해레벨에서 관계

■ 수익(R)과 성과지표(PM)의 관계

그림 1에서 R과 PM의 관계는 대각행렬로서 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} PM_1 \\ PM_2 \\ \vdots \\ PM_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, $A_{xy} = \frac{\partial R_x}{\partial PM_y}$ 로서 A_{xy} 의 값이 상수

이면 선형 시스템, $PM_i (i=1,2,\dots,n)$ 의 함수로 표현되면 비선형 시스템이다.

■ 성과지표(PM)와 설계 매개변수(DP)의 관계

그림 1에서 PM과 DP의 관계는 삼각행렬로서 식(2)와 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} PM_1 \\ PM_2 \\ \vdots \\ PM_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{n1} & B_{n2} & \cdots & B_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ \vdots \\ DP_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, $B_{xy} = \frac{\partial PM_x}{\partial DP_y}$ 로서 B_{xy} 의 값이 상

수이면 선형 시스템, $DP_i (i=1,2,\dots,n)$ 의 함수로 표현되면 비선형 시스템이다.

■ 설계 매개변수(DP)와 투자(I)의 관계

그림 1에서 DP와 I의 관계는 대각행렬로서 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ \vdots \\ DP_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & C_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & C_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 $C_{xy} = \frac{\partial DP_x}{\partial I_y}$ 로서 C_{xy} 의 값이 상수

이면 선형 시스템, $I_i (i=1,2,\dots,n)$ 의 함수로 표현되면 비선형 시스템이다.

(2) 계층 분해레벨간의 관계

그림 1에서 수익(R), 성과지표(PM), 설계 매개변수(DP), 투자(I)의 계층 분해레벨간의 관계는 부분합의 관계로 표현된다. 식 (4)는 부분합 관계의 예로서 R와 $R_i (i=1,\dots,n)$ 의 관계를 나타내며, PM, DP, I에 대해서도 동일한 형태로 표현된다.

$$R = \alpha_i \sum_{i=1}^n R_i \quad (4)$$

여기서, α_i 는 분해의 불완전성을 고려하기 위한 조정계수이다.

2.3 시스템 설계분해에 기반한 자원할당의 수리적 모델

그림 1에서 R과 I의 관계를 나타내는 수익행렬 [R]의 R_{ij} 는 식 (5)와 같으며, R은 식 (6)은 같이 표현된다.

$$R_{ij} = \frac{\partial R_i}{\partial PM_i} \times \frac{\partial PM_i}{\partial DP_j} \times \frac{\partial DP_j}{\partial I_j} \quad (5)$$

$$R = \int_0^{I_1} R_{n1} dI_1 + \int_0^{I_2} R_{n2} dI_2 + \dots + \int_0^{I_n} R_{ni} dI_i \quad (6)$$

개별 PM에 대한 자원할당의 제약이 없는 경우 투자목표(T_R)를 만족하기 위한 최적의 자원할당의 수리적 모델은 식 (7-9)와 같다.

$$Min. \quad \sum_{i=1}^n I_i \quad (7)$$

s.t.

$$R \geq T_R \quad (8)$$

$$0 \leq I_i \leq I_{i-max} \quad (9)$$

식 (7)은 목적함수로서 전체 투자의 최소

화, 식 (8)은 투자에 의한 기대 수익(R)이 투자목표(T_R)보다 크다는 제약, 그리고 식 (9)는 개별 PM 에 대한 가용한 투자의 범위를 나타낸다.

3. GA를 이용한 자원할당

본 논문에서는 효율적인 자원할당의 결정을 위하여 GA를 적용한다.

3.1 염색체 표현

GA에서의 염색체 표현은 각 gene에 대해 이진수를 십진수의 값으로 사상(mapping)하는 Binary to Decimal 염색체 구조를 가진다. 그림 2는 시스템 설계분해에서 최하위 레벨의 성과 지표에 대한 자원할당을 결정하기 위한 염색체 표현의 예를 보여준다.

각 Gene의 길이 = 3 bit, 자원할당의 범위: 0~14

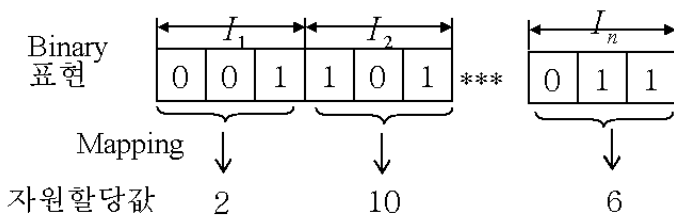


그림 2. Binary to Decimal 염색체 표현의 예

3.2 평가함수

GA의 평가함수는 최소화 함수로서 식 (10)과 같다.

$$eval = \begin{cases} \sum_{i=1}^n I_i; & R \geq T_R \\ M & otherwise \end{cases} \quad (10)$$

여기서, M은 상당히 큰 값의 정수를 의미한다.

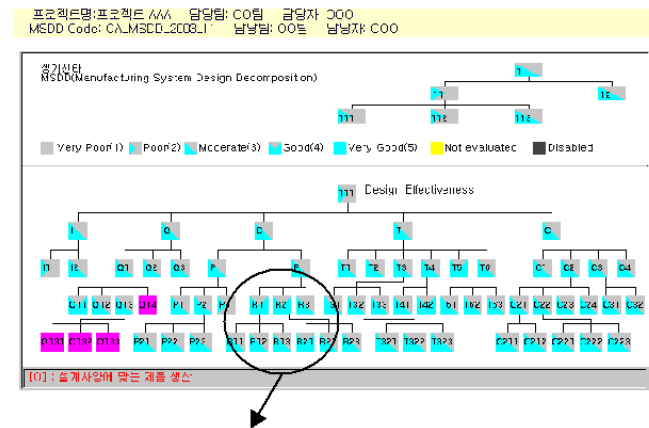
4. 적용예

본 논문에서는 제조시스템에서의 투자 목표를 달성하기 위한 최적의 자원할당을

위하여 제조시스템 설계분해(Manufacturing System Design Decomposition; MSDD)에 기반한 자원할당에 대하여 서술한다.

4.1 MSDD의 개요

MSDD는 공리적 설계에 기반한 제조시스템 설계분해의 결과로서[4] 그림 3은 MSDD의 전체적인 구조의 예를 보여준다.



Code	기능적 요구사항	설계 대개변수
R	생산방해에 대한 신속한 대처	생산방해에 대한 원인발견과 대처에 대한 절차
R1	생산방해에 대한 신속한 파악	신속한 생산방해의 파악을 위한 하위 시스템 구성
R1.1	생산방해 발생시점 파악	장비 상태에 대한 작업자의 샘플링 검사율의 증가
R1.2	생산방해 발생위치의 파악	단순화된 자체흐름 경로
R1.3	생산방해 내용의 파악	내용에 민감한 피드백
R2	생산방해에 대한 담당자와의 의사소통	운영 상태의 피드백에 대한 공정
R2.1	정확한 지원자원의 파악	각 실패 모드에 대한 명시된 지원자원의 내용
R2.2	정확한 지원자원에 대한 접촉 시간의 최소화	신속한 지원자원에의 접촉 절차
R2.3	지원자원의 생산방해의 내용에 대한 이해시간 최소화	생산방해 내용의 전달 체계
R3	신속한 문제의 해결	근본 원인의 파악과 제거를 위한 표준방법 설계

그림 3. 제조시스템 설계분해의 예[1]

4.2 GA의 적용

본 논문의 GA의 구현에서는 GA library 함수로서 GALib 2.4.5[6]를 사용하였으며, 평가함수는 C로 구현하였다. GA 적용에서의 입력과 결과값은 아래와 같다.

(1) 입력

표 1은 자원할당을 위한 MSDD에서의 입력으로 목표값과 평가대상 영역에 대한 각 분해레벨에서의 간단한 수익행렬(R_{ij}) 정보를 보여준다.

표 1. MSDD에서의 입력

Code		수익행렬(R_{ij})	목표값
R			20
	R ₁	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0.1 & 1 & 0 \\ 0.1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	-
	R ₂		-
	R ₃		-
R ₁	R ₁₁	$\begin{bmatrix} 0.9 & 0 & 0 \\ 0.1 & 1.1 & 0 \\ 0 & 0.2 & 1 \end{bmatrix}$	-
	R ₁₂		-
	R ₁₃		-
R ₂	R ₂₁	$\begin{bmatrix} 1.2 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.8 & 0 \\ 0.3 & 0.2 & .9 \end{bmatrix}$	-
	R ₂₂		-
	R ₂₃		-

(2) 적용결과

표 2는 GA의 실험조건과 자원할당의 결과로서, 각 성과지표에 대한 자원할당 제약이 없기 때문에 수익행렬(R_{ij})에서 민감한 지표의 순서대로 많은 자원이 할당되었다.

표 2. 자원할당의 결과

Code	투자(I)	실험조건
R		<ul style="list-style-type: none"> •모집단의 수 = 30 •세대수 = 5000 •교배확률=0.6 •돌연변이확률 = 0.01 •각 gene에 대한 bit의 길이 = 5 •I_i는 0~4의 값
R ₁	R ₁	
	R ₂	
	*R ₃	0
R ₁	*R ₁₁	3.61
	*R ₁₂	4
	*R ₁₃	2.06
R ₂	*R ₂₁	3.74
	*R ₂₂	0
	*R ₂₃	0.13

*더 이상 분해되지 않는 leaf code를 의미한다.

5. 결론

본 논문에서는 시스템분해 접근에 기반하여 투자목표의 달성을 위한 최적의 자원할당을 위한 수리적 모델과 GA의 적용방법에 대해 제안하였다. 본 접근법은 시스템 설계의 목표 달성에 필요한 최적 자원할당을 결정하기 위한 체계적인 접근으로 제조시스템의 설계와 자원할당의 동기화를 가능하게 한다.

참고문헌

[1] 문병근, 조규갑, 김준호, "제조시스템에서 성과지표 중심의 프로젝트 가치평가방법론의 개발," 동계 기술경영경제학회, pp. 246~263, 2004.

[2] 서창교, 박정우, "정책목표와 연계한 전략적 R&D 투자재원배분 및 연구과제 선정방안연구," 경영과학, 제 16권 2호, pp. 61~77, 1999.

[3] Duta, J., *A Decomposition-Based Approach to Linking Strategy, Performance Measurement, and Manufacturing System Design*, Ph. D Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2000.

[4] Linck, J., *A Decomposition-Based Approach for Manufacturing System Design*, Ph. D Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2001.

[5] Suh, N.P., *Axiomatic Design: Advances and Applications*, Oxford University Press, New York, 2001.

[6] GALib, <http://lancet.mit.edu/ga/>