자원제약이 있는 일정계획문제를 위하여 스키마를 이용한 새로운 유전연산자 개발

이상욱[O] 석상문 안병하
광주과학기술원 기전공학과
{yashin96[O], soakbong, bayhay}@kjist.ac.kr

Development of new genetic crossover using schema for the resource constrained project scheduling problem

Sangwook Lee[0] Sangmoon Soak Byungha Ahn
Dept. of Mechatronics, Kwang-Ju Institute of Science and Technology

요 약

자원 제약이 있는 일정 계획 문제는 잘 알려진 NP-hard 문제이다. 이런 문제는 최적해를 구하기 어려운 경우가 많기 때문에 최적해에 근사한 값을 빠른 시간에 구할 수 있는 휴리스틱 방법을 사용한다. 최근에는 휴리스틱의 한가지 방법으로써 유전 알고리즘이 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 자원 제약이 있는 일정 계획 문제에 효율적인 유전 연산자를 제안한다. 이 유전 연산자는 자원 제약이 있는 일정 계획 문제에서 기존에 볼 수 없었던 강력한 상속성을 가지고 있다. 이 연산자를 표준문제에 적용하여 문헌에 있는 기존의 다른 연산자보다 우수함을 입증하였다.

1. 서 론

자원 제약이 있는 일정 계획 문제는 1966년 Kelly에 의해 처음 소개된 이후로 많은 연구자들은 이 문제를 해결하기 위해 노력해왔다 [1]. 연구 초기에는 이 문제를 수학적인 방법으로 해결하려 하였으나, Blazewicz [2]에 의해 NP-hard 문제임이 입증된 이후로는 많은 휴리스틱 방법들이 소개되고 있다 [3]. 최근에는 이러한 NP-hard 문제를 해결하기 위하여 유전 알고리즘이 많이 이용되고 있다. 본 논문에서는 유전 알고리즘을 이용해 자원 제약이 있는 일정 계획 문제를 해결하기 위한 새로운 연산자를 제안하고, 기존 알고리즘과의 비교를 통해 유용성을 입증한다.

2. 자원제약이 있는 일정 계획 문제(RCPSP)

본 논문에서는 단일모드의 자원제약이 있는 일정계획 문제를 다루고자 한다. 이 문제의 수학적인 표현은 다음과 같다.

$$\min \quad t_n \tag{1}$$

$$\text{s.t} \quad t_j - t_i \geq d_i, \ \forall_j \in S_i \tag{2}$$

$$\sum_{i_l \in A_{i_l}} r_{ik} \leq b_k, \ k = 1, 2, ..., mA_{i_l} \tag{3}$$

$$t_i \geq 0, \ \ i = 1, 2, ..., n \tag{4}$$

여기서 t_i는 작업 i의 시작시간, d_i는 작업 i의 작업시간, S_i는 작업 i 선행자들의 집합, r_{ik}는 작업 i가 요구하는 자원의 양, b_k는 이용할 수 있는 k 자원의 양, A_{i_l}는 시간 t_i 시점에서 진행되고 있는 작업들의 집합, 그리고 m은 자원의 개수이다. 작업 1과 n은 가상 작업이며, 프로젝트의 시작과 끝을 나타낸다. (1)은 일정계획 시간을 최소화하는 목적함수를 나타내고, (2)는 선행 제약 조건을 나타내며, (3)은 자원 제약 조건을 나타낸다.

3. 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 Holland에 의해 처음 소개된 이후, 인공지능, 최적화 등 다양한 분야에서 많이 적용되고 있다 [4]. 세대, 개체, 자손, 집단, 염색체 등의 기본적인 개념은 다윈의 생물학적 진화론을 모태로 만들어졌다.

3.1 해 표현

유전 알고리즘을 이용한 최적화 문제에서 적당한 해(염색체) 표현을 정하는 것은 매우 중요하다. 일정계획 문제의 해 표현에는 많은 방법들이 있다 [7]. 본 논문에서는 순서가 짜여진 작업들의 조합을 하나의 해로 표현하였다. 이 표현법은 다음과 같다.

$$v_k = [i_1, i_2, ..., i_j, ..., i_n]$$

여기서 해 v_k는 현재 집단에서 k번째 개체를 나타내고,

i_j는 j번째 위치한 작업을 나타낸다.

이 표현법의 탐색 공간은 작업들의 모든 조합들이다. 그러나 선행 제약 조건 때문에 가능한 공간은 그 중 일부분이다.

3.2 초기화

선행 제약 조건으로 인하여, 무작위적인 방법으로는 유효한 해를 만들어내기 어렵다. 따라서 항상 제약 조건을 만족하는 해를 만들어 내기 위하여, 단일 패스 전략을 사용하였다 [5]. 일정 계획은 작업들을 왼쪽에서 오른쪽으로 채워 나감으로써 이루어진다. 각 단계에서는 선행 제약 조건을 만족하는 작업들의 집합을 만든 다음 무작위로 하나를 선택하고, 다음 단계로 넘어간다. 작업들의 집합이 ϕ이면 종료한다.

3.4 평가

영색체의 왼쪽에서부터 각 작업들이 가장 빨리 시작할 수 있는 시간을 구하여, n번째 작업이 가장 빨리 시작하는 시간을 구하면, 그 값이 프로젝트가 완료되는 시점이고 개체의 목적함수 값이 된다.

최소화하는 문제에서 최대화하는 문제로 변환하기위해서 다음과 같은 적합도 함수를 사용한다 [5].

$$f(v_k) = \frac{o_{\max} - o(v_k) + \gamma}{o_{\max} - o_{\min} + \gamma} \qquad (5)$$

여기서 $f(\cdot)$은 적합도 함수, $o(\cdot)$은 프로젝트 완료 시간을 구하는 목적 함수, 적합도 함수 값을 조정하기 위한 γ는 (0,1)사이의 값, $f_{\max}$와 $f_{\min}$는 각각 목적 함수의 최대, 최소값이다.

3.5 유전 연산자

RCPSP를 유전 알고리즘으로 해결하기위해 많은 노력들이 있어왔다. 그 중에서도 특히 유전 알고리즘의 연산자 개발에 관한 연구가 많이 이루어져왔다 [5][6]. 유전 연산자는 부모의 형질을 물려받는 교차 연산자와 새로운 형질을 무작위로 만들어내는 변이 연산자로 이루어져 있다. 그러나 선행 제약 조건 때문에, 교차 연산자의 기본 목적인 부모의 좋은 유전형질을 자손에게 물려주도록 교차 연산자를 구성하는 것은 매우 어렵다. 본 논문에서는 부모세대의 공통 유전형질을 자손에게 물려주는 교차 연산자를 소개한다.

3.5.1 교차 연산자

두 부모가 공통적으로 연속적인 유전자를 가지고 있으면, 그 배열을 스키마로 정의하고 저장한다. 첫 번째 부모 배열의 왼쪽부터 시작하여 오른쪽으로 두 번째 부모의 배열과 비교 검색하며, 두 번째 부모의 역방향도 검색한다. 만일 정방향, 역방향 모두 연속하지 않으면 하나의 유전자를 스키마로 저장하고 다음으로 넘어간다.

자손은 스키마들을 이용해서 초기화 단계를 수행하여 만들어진다. 초기화 방법은 3.2에서 설명한 방법과 같다. 즉, 스키마들을 선행조건을 만족하도록 왼쪽에서 오른쪽으로 채워 나간다. 각 단계에서는 선행 제약 조건을 만족하는 스키마들의 집합을 만든 다음 무작위로 하나를 선택하고, 다음 단계로 넘어간다. 스키마들의 집합이 ϕ이면 종료한다. 그림. 1 은 교차 연산자가 부모들로부터 스키마를 추출해내고, 자손을 생성하는 과정을 보여준다.

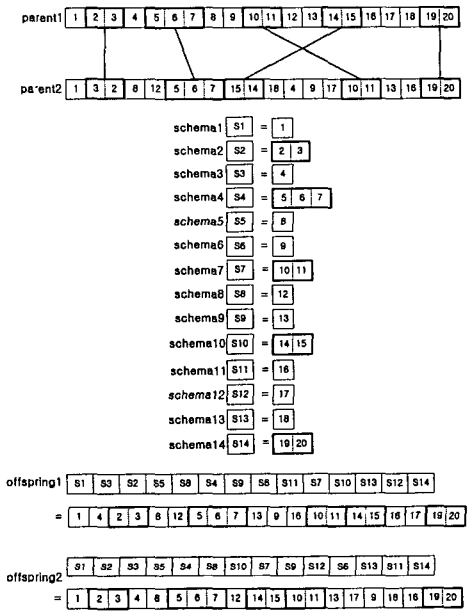

그림. 1 교차 연산 과정의 한 예

3.5.2. 변이 연산자

변이 연산자로는 Gen이 제안한 것을 사용하였다 [5]. 우선 무작위로 변이점을 잡고, 이웃한 두개의 유전자와의 조합들을 만든다. 해 조합들 중에서 제약 조건을 만족하는 해들을 모은 후 그 중 가장 우수한 해를 선택하여 부모와 대체한다.

3.6 선택 전략

선택 전략은 룰렛 휠 선택 전략과 엘리트 선택 전략을 사용하였다.

4. 실험 결과

4.1 실험 문제

실험 문제로써 그림. 2과 같은 벤치마크를 이용하였다. 작업의 수는 27개, 자원의 수는 3개이며, 프로젝트 완료 기간의 최적해는 350이다.

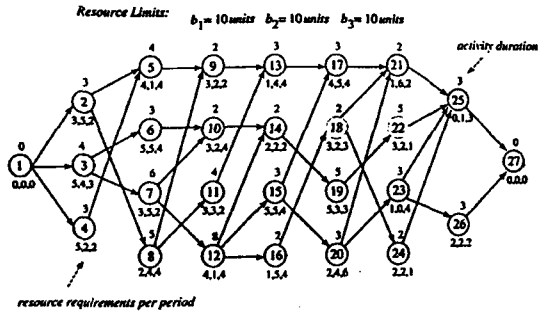

그림. 2 실험을 위해 사용된 자원 제약이 있는 일정 계획 문제 [5]

4.2 실험 결과 및 토의

본 논문에서 사용된 알고리즘은 C++를 이용하여 구현하였으며, Pentium III 800Mhz 상에서 실험되었다.

교차 확률을 0.5, 변이 확률을 0.3, 개체 수를 50, 세대 수를 100을 설정하고 100번 실험하여 해의 빈도를 구하였다. 비교를 위하여 Hartmann의 유전 연산자와 Gen의 유전 연산자를 동일한 개체 수 및 세대 수에서 실험하였다. Hartmann은 2점 교차 연산자와 1점 변이 연산자를 사용하였다 [6]. 확률은 각각 0.6, 0.05에 최적화 되어있다. Gen은 PMX (Partially Mixed Crossover)와 Gen 변이 연산자를 사용하였다 [5]. 확률은 각각 0.3, 0.3에 최적화 되어있다.

그림. 3 는 우리가 제안한 연산자와 Hartmman 및 Gen의 것을 사용하여 실험한 것을 비교한 그래프이다. 이 그래프는 제안한 교차 연산자가 38이상의 값을 출력하지 않으며, 최적해의 빈도가 다른 연산자에 비해 매우 높음을 보여준다.

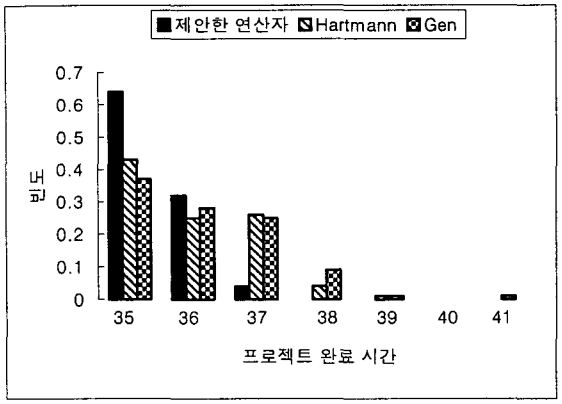

그림. 3 제안한 연산자를 이용한 것과 Hartmann 및 Gen의 연산자를 이용하여 얻은 해 분포 비교

5. 결 론

본 논문에서는 RCPSP를 해결하기 위한 새로운 유전 연산자를 제안하였다. 이 유전 연산자는 부모의 유전 형질을 자손에게 전달할 수 있는 장점을 가지고 있다.

제안한 유전 연산자를 이용하여 Gen의 알고리즘 및 Hartmaan의 알고리즘과 비교실험을 한 결과, 제안한 유전 연산자가 우수함을 알 수 있었다.

현재 제안하는 교차 연산자에 적합한 새로운 변이 연산자를 개발하고 있으며, 규모가 큰 벤치마크 문제에 제안한 유전 연산자를 실험하고 있다.

참고문헌

[1] Kelley, J., " The critical path method: Resource planning and scheduling," In Muth, J. and G. Thompson, editors, *Industrial Scheduling*, pp. 347-365, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1963.

[2] Blazewicz, J., " Complexity of computer scheduling algorithms under resource constraints," *In Proc. First meeting AFCETSMF on Applied Mathematics*, pp. 169-178, 1978.

[3] Alvarez-Valdes, R. and J. Tamarit, " Heuristic algorithms for resource constrained project scheduling: A review and an empirical analysis," In Slowinski, R. and J. Weglarz, editors, *Advances in Project Scheduling*, pp. 113-134, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1989.

[4] Holland, H.J., " Adaptation in Natural and Artificial Systems," *University of Michigan Press*, Ann Arbor, 1975.

[5] Cheng, R. and M. Gen, " Resource constrained project scheduling problem using genetic algorithms," *International Journal of Intelligent Automation and Soft Computing*, Vol. 3, No. 3, pp. 273-286, 1997.

[6] Hartmann, S., " A Competitive Genetic Algorithm for Resource-Constrained Project Scheduling," *Naval research logistics*, Vol. 45, No. 7, pp. 733-750, 1998.

[7] Cheng, R., M. Gen, and Y. Tsujimura, " A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms: part I. Representation," *International Journal of Computers and Industrial Engineering*, Vol. 30, No. 4, pp. 983-997, 1996.