

# 자원 제약이 있는 프로젝트 스케줄링 문제를 위한 난수 키 표현법 기반 차분진화알고리즘

Random key representation based differential evolution for resource constrained project scheduling problem

이 상 옥  
목원대학교

Lee sangwook  
Mokwon Univ.

## 요약

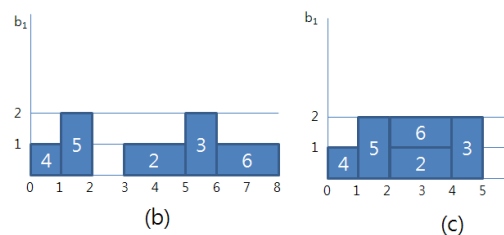
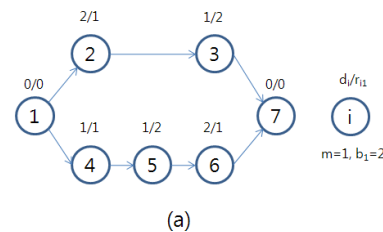
자원 제약이 있는 프로젝트 스케줄링 문제는 NP-hard인 순서기반 문제이다. 본 논문에서는 연속적인 문제 해결에 적합한 차분진화알고리즘에 난수 키 표현법을 적용하여 순서기반 표현을 가능하게 하여 자원 제약이 있는 프로젝트 스케줄링 문제를 해결하고자 한다. 실험 결과 작은 규모의 자원 제약이 있는 프로젝트 문제에 적용하여 난수 키 표현법 기반 차분진화알고리즘의 가능성을 보였다.

## I. 서론

자원 제약이 있는 프로젝트 스케줄링 문제 (Resource Constrained Project Scheduling Problem, RCPSP)는 Kelly에 의해 1996년 처음 소개되었다 [1]. 처음에는 수학 논리를 적용한 결정론적 방법으로 해결하려는 시도가 있었지만 NP-hard 문제임이 알려진 후로는 휴리스틱 기법이 시도되고 있다. 본 논문에서는 난수 키 표현법을 적용한 차분진화알고리즘을 사용하여 RCPSP를 해결하고자 한다.

### 1. 자원 제약이 있는 프로젝트 스케줄링

자원 제약이 있는 프로젝트 스케줄링의 프로젝트는 액티비티 집합으로 구성된다. 만약 프로젝트가  $n$ 개의 액티비티로 구성된다면 액티비티1 과 액티비티 $n$ 은 시작과 종료를 나타내는 가상의 더미 액티비티를 의미한다. 각각의 액티비티들은 자원제약조건과 선행제약조건을 두 가지 제약조건과 결부된다. 그림 1은 RCPSP의 간단한 샘플 문제와 해답을 보여주고 있다. 예제의 RCPSP 프로젝트는 7개의 액티비티들로 구성되어 있으며, 최대 한계 값이 2인 자원 1개로 자원제약조건이 구성되어 있다. 액티비티들 간의 선행제약조건은 그림 1(a) 화살표 연결선으로 확인할 수 있으며, 각 액티비티들이 수행되는데 소요되는 시간과 필요한 자원의 양은 액티비티 위에 표시되어 있다. 그림1(b)는 유효한 해 하나를 보여주고 있으며 그림1(c)는 최적의 해를 보여주고 있다.



▶▶ 그림 1. 간단한 RCPSP 샘플 및 정답

이론적으로 RCPSP는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\min f_n \tag{1}$$

s.t.

$$f_j - f_i \geq d_i, \quad \forall_j \in S_i \tag{2}$$

$$\sum_{t \in A_i} r_{ik} \leq b_k, \quad k = 1, 2, \dots, m \tag{3}$$

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

## 2. 차분진화알고리즘

차분진화알고리즘(Differential Evolution, DE)은 실수 최적화 문제를 다루기 위해 Storn과 Price에 의해 1997년 제안된 메타휴리스틱 기법 중에 하나이다 [2]. DE는 유전 알고리즘과 진화 전략의 장점을 합쳐 고안된 기법으로 알고리즘이 간단하고 수렴성이 매우 뛰어나서 많은 최적화 문제에 적용되고 있다. 또한 알고리즘 제어 변수가 많지 않아 사용하기 편리하고 속도가 빨리 병렬처리에도 적합하다는 장점이 있다. 그림 2는 차분진화알고리즘의 슈도코드를 보여주고 있다.

```

- 초기해 생성
- 해 평가
- 반복문 (종료조건에 이를때까지)
  부모해와 해집단에서 랜덤하게 2개 해를 뽑아 식(1)
  연산을 통해 후보해 생성
   $U(0,1) < CR$ 이면 부모로부터 받고  $U(0,1) \geq CR$ 
  이 되면 후보해로부터 받아 자식해 생성
  자식해 평가
  자식해가 부모해보다 우수하면 부모를 자식으로
  대체
  
```

▶▶ 그림 2. 차분진화 알고리즘 슈도코드

후보해는 아래 식(5)에 의해 생성된다.

$$\text{후보해} = \text{부모해} + f \times (\text{해1} - \text{해2}) \quad (5)$$

## II. 난수 표현법

난수 키 표현법을 사용하면 연속 공간 탐색에 적합한 DE를 조합 공간 탐색이 가능하도록 탐색 공간을 변환한다 [3]. 이 때 탐색 공간은 프로젝트의 수 크기의 차원을 가진 벡터 공간이 되며, 탐색 공간의 크기는 (0, 1)이 된다. 초기 해는 난수를 발생시켜 생성하며, 그림 3의 난수 키를 해석하면 4 - 2 - 5 - 1 - 3 이 된다.

액티비티	1	2	3	4	5
난수 키	0.5	0.3	0.8	0.1	0.4

▶▶ 그림 3. 난수 키 표현법

## III. 실험 결과 및 고찰

난수 키 표현법을 적용한 차분진화알고리즘을 구현하여 표준RCPSP에 적용해 보았다. 여기서 표준 RCPSP로 OR-Library에 있는 patterson set의 10개 소형 문제를 사용하여 실험을 수행하였다 [4]. 실험결과 10개 문제 모두 최적해를 찾는 것을 확인하였다.

## ■ 참고 문헌 ■

- [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] Storn, R. and Price, K., "Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces" Journal of Global Optimization, Vol. 11, No. 4, pp.341-359, 1997.
- [3] Bean J. C., "Genetic algorithm and random keys for sequencing and optimization," ORSA Journal on Computing, 1994.
- [4] <http://people.brunel.ac.uk/~mastjib/jeb/info.html>