

병렬 유전알고리즘과 병렬 타부탐색법을 이용한 발전기 기동정지계획

조덕환*, 강헌태*, 권정욱*, 김형수*, 황기현**, 박준호*
 * 부산대학교 전기공학과, ** 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소

Unit Commitment Using Parallel Genetic Algorithms and Parallel Tabu Search

Deok-Hwan Cho*, Hyun-Tae Kang*, Jung-Uk Kwon*, Hyung-Su Kim*, Gi-Hyun Hwang**, June Ho Park*

* Department of Electrical Engineering, Pusan National University

** Research Institute of Computer, Information and Communication at Pusan National University

Abstract - This paper presents the application of parallel genetic algorithm and parallel tabu search to search an optimal solution of a unit commitment problem. The proposed method previously searches the solution globally using the parallel genetic algorithm, and then searches the solution locally using tabu search which has the good local search characteristic to reduce the computation time. This method combines the benefit of both method, and thus improves the performance. To show the usefulness of the proposed method, we simulated for 10 units system. Numerical results show the improvements of cost and computation time compared to previous obtained results.

1. 서 론

발전기 기동정지계획(Unit commitment)은 일간 또는 수일간의 총 발전비용을 최소화하는 발전기의 기동 및 정지계획을 수립하는 것이며, 여러 가지 등호 및 부등호 제약조건을 만족하면서 비용이 최소화되도록 하는 조합 최적화문제로 정식화할 수 있다. 이러한 기동정지계획 문제의 해법으로써 다양한 방법이 제안되었는데, 전역적 탐색은 가능하나 많은 계산시간 및 메모리 사용으로 인하여 대규모 계통 및 장기간의 기동정지계획 수립이 어려운 동적계획법, 쉽고 빠르게 해를 구할 수 있지만 제약조건을 충분히 고려하기 어려운 우선순위법, 대규모 계통에서 적용이 용이하나 국부최적값을 갖는 라그랑지법, 전역 탐색성능이 뛰어나지만 전역 최적해 부근에서 수렴이 느려지는 유전알고리즘 및 국부탐색성능은 우수하나 전역적 탐색이 어려운 타부탐색법 등이 제안되고 있다. 또한 최근에는 병렬 프로세서를 이용하여 기존의 알고리즘의 전체 수행특성을 개선하는 방법들이 제시되고 있으며, 특히 병렬처리에 의한 유전알고리즘의 수렴속도 향상 및 타부탐색법의 전역탐색능력을 개선한 방법 등이 제시되고 있다.

본 논문에서는 발전기 기동정지계획 문제에 대해 유전 알고리즘으로 전역 탐색을 수행한 후, 타부탐색법을 이용하여 국부탐색함으로써 전역 최적해의 탐색 시간을 단축시키는 조합형 알고리즘을 적용하였으며, 이를 병렬화함으로써 더 좋은 해를 빠른 시간에 탐색할 수 있도록 하였다.

제안한 방법의 유용성을 입증하기 위해, 10대 발전기 계통(2)에 적용하여 기존의 방법과 비교하였다.

2. 문제의 정식화

화력 발전기의 비용함수는 발전기의 연료비용, 기동비용 및 정지비용 값으로 구성되며, 이 때 기본적인 제약 조건인 부하 제약조건, 발전 예비력 제약조건, 각 발전기의 발전량 제약조건, 발전기의 최소 기동 및 정지시간 제약조건 등을 만족하도록 하였다.

2.1 비용함수

전체비용함수: $F_T = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T [F_{i,t} + SC_{i,t} + SD_{i,t}]$ (1)

여기서, N : 총 발전기 수
 T : 발전기 기동정지계획 시간[h]
 $F_{i,t}$: i 번째 발전기의 연료비용함수
 $SC_{i,t}$: i 번째 발전기의 기동비용함수
 $SD_{i,t}$: i 번째 발전기의 정지비용

① 발전기 연료비용함수

$F_{i,t} = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2$ (2)

여기서, P_i : i 번째 발전기의 발전량[MW]

a_i, b_i, c_i : i 번째 발전기의 비용함수의 계수

② 기동비용

$SC_{i,t} = \sigma_i + \delta_i [1 - \exp(-\frac{T_{off,i}}{\tau_i})]$ (3)

여기서, $T_{off,i}$: i 번째 발전기의 연속정지시간

$\sigma_i, \tau_i, \delta_i$: i 번째 발전기의 기동비용계수

③ 정지비용 ($SD_{i,t}$)

2.2 제약조건

① 부하 제약조건(load demand)

$\sum_{i=1}^N P_i^t = PD_t \quad t = 1, 2, 3, \dots, T$ (4)

여기서, PD_t : t 시간의 부하량[MW]

② 발전 예비력 제약조건(spinning reserve)

$\sum_{i=1}^N P_i^{Max} u_i \geq PD_t + R_t$ (5)

여기서, R_t : 예비발전기 용량[MW]

P_i^{Max} : i 번째 발전기의 최대발전용량[MW]

$u_{i,t}$: i 번째 발전기의 시간 t 에서의 on/off 상태

③ 발전량 제약조건(generation limit)

$P_i^{Min} \leq P_i \leq P_i^{Max} \quad t = 1, 2, 3, \dots, T$ (6)

여기서, P_i^{Min} : i 번째 발전기의 최소발전용량[MW]

④ 최소 발전기 기동/정지 시간

$(T_{i-1,i}^m - MUT_i)(u_{t-1,i} - u_{t,i}) \geq 0$
 $(T_{i-1,i}^o - MDT_i)(u_{t,i} - u_{t-1,i}) \geq 0$ (7)

여기서, MUT_i : i 번째 발전기의 최소 기동시간[h]

MDT_i : i 번째 발전기의 최소 정지시간[h]

3 조합형 알고리즘의 병렬화

3.1 병렬 트랜스퍼 시스템

본 논문에서 사용한 병렬처리 시스템은 분산메모리 MIMD시스템인 독일 Parsytec사의 CC-16이다. CC-16 시스템은 메시지 전달 기반 병렬처리 시스템이며 본 시스템의 프로세서는 PowerPC 604 100Mhz를 사용한다. 제안한 방법을 적용한 시스템은 16개의 프로세서로 구성되었으며, 각각의 프로세서는 4개의 인접 프로세서와 연결되었다. 프로세서간의 연결관계는 그림3에 도시한 바와 같고, 각 프로세서당 독립적인 메모리를 보유하고 있다.

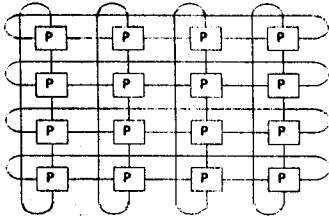


그림 1 병렬 프로세서 연결 구조

3.2 조합형 알고리즘

유전 알고리즘은 생물의 진화과정인 자연선택법과 유전법칙을 모방한 확률적 탐색기법이다. 유전 알고리즘은 해집단을 기준으로 하는 알고리즘으로서, 매 세대에서 각 개체의 적합도를 평가하고, 적합도에 따라 다음 세대에 생존할 개체를 확률적으로 선택하게 되며, 이 때 교차, 돌연변이 과정을 통해 해를 진화하게 된다.

타부 탐색법은 경험적인 최적화 알고리즘으로서 다른 최적화 알고리즘과 비교하여 해의 탐색 속도가 빠르며 구조가 단순하여 쉽게 프로그램 할 수 있는 장점이 있다. 타부 탐색은 크게 강화(Intensification) 및 다양화(Diversification)로 구분할 수 있으며, 전자는 국부탐색 특성과 관련되며, 후자는 지역 최적해 수렴을 방지하기 위한 특성이다.

각 알고리즘의 특성을 효과적으로 이용하기 위해 본 논문에서는 병렬 유전알고리즘과 병렬 타부탐색법을 결합한 알고리즘을 제안하였다. 전역적 탐색성능이 우수한 유전알고리즘을 적용하여 해가 특정위치에서 해의 개선이 느려질 때, 수렴 속도를 개선하기 위한 병렬 타부탐색법을 이용하여 해의 수렴속도를 향상시킬 수 있었다. 각 탐색방법의 병렬 처리 과정 중 유전알고리즘은 일정 조건 하에 우수해를 인접 프로세서의 우수해와 교환(migration)하여 부분 최적해에 이르기까지의 수렴속도를 향상시키도록 하였으며, 유전알고리즘으로 탐색된 해를 적합도가 큰 순위부터 나열한 후, 프로세서 수만큼 높은 순위의 해를 선택하여 병렬타부탐색법의 초기해로 지정하였다.

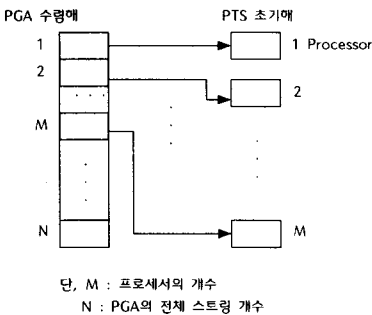


그림 2 병렬 타부탐색법의 초기해 선정방법

이후 병렬 타부탐색 단계에서는 각 프로세서마다 선정된 초기해에 대해 독립적으로 타부탐색을 하고, 프로세서간 타부리스트 크기를 다르게 줌으로써 다른 방향으로의 탐색을 유도하였다.

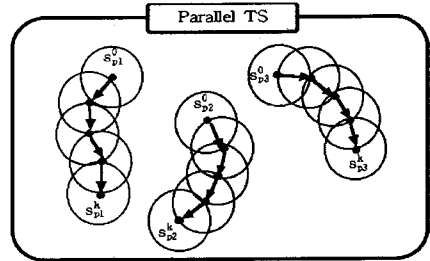


그림 3 병렬 타부탐색법의 개요

조합형 알고리즘의 수행과정은 그림 4에 도시하였다.

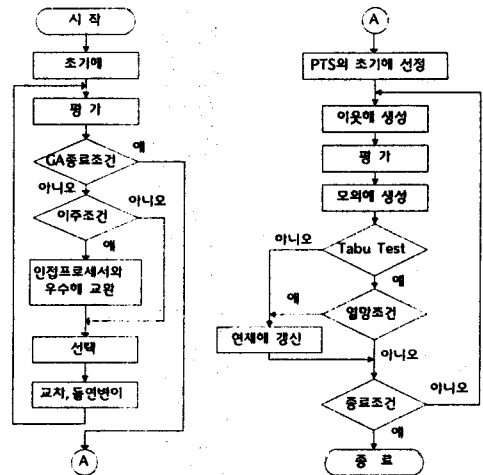


그림 4 조합형 알고리즘의 순서도

4 조합형 알고리즘을 이용한 발전기 기동정지계획

기동정지계획에 유전알고리즘을 적용할 때, 스트링 구성을 발전기의 on/off상태에 따라 0과 1비트로 표현하는 경우 쉽게 표현할 수 있지만 발전기의 제약조건을 고려하기가 어려우므로, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 해의 스트링을 부호화 방법으로 구성하여 제약조건 ④를 포함하였다(그림 5).

부호화 방법은 첫번째 비트에서 발전기의 on/off상태를 나타내고 나머지 비트에서 상태 지속시간을 나타내는 단위 스트링을 이용하여 계획시간 동안의 발전기 on/off 상태를 표시하는 방법이며, 단위 스트링의 길이는 발전기의 최소 기동 및 정지시간을 고려하여 다음과 같이 나타내어진다

$$n_i = \lceil \log_2(n_{i, \max}) \rceil + 1 \quad n_{i, \max} > 1$$

$$= 1 \quad \text{otherwise}$$

여기서, $n_{i, \max} = \max(MUT_i, MDT_i)$

$\lceil x \rceil$: x 의 소수점이하 올림값(정수)

