

Unit Commitment 문제에 유전알고리즘 적용

*김형수, *황기현, *문경준, *이화석, *박준호
* 부산대학교 전기공학과

Applications of the Genetic Algorithm to the Unit Commitment

* H. S. Kim, * G. H. Hwang, * K. J. Mun, * H. S. Lee, * J. H. Park
* Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University

Abstract

This paper proposes a unit commitment scheduling method based on Genetic Algorithm(GA). Due to a variety of constraints to be satisfied, the search space of the UC problem is highly nonconvex, so the UC problem cannot be solved efficiently only using the standard GA.

To efficiently deal with the constraints of the problem and greatly reduce the search space of the GA, the minimum up and down time constraints are embedded in the binary strings that are coded to represent the on-off states of the generating units.

The violations of other constraints are handled by integrating penalty factors. To show the effectiveness of the GA based unit commitment scheduling, test results for system of 5 units are compared with results obtained using Lagrangian Relaxation and Dynamic Programming.

1. 서론

UC(unit commitment) 문제는 다양한 제약조건과 운용비용 등을 고려하여 단기 운용계획을 세우기 위해서 발전기의 조합을 결정하는 문제이다. 전력계통의 규모가 커짐에 따라 조합의 수가 증가하기 때문에 제약조건을 만족하면서 모든 해를 탐색하는 것은 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 종래에는 dynamic programming, Lagrangian Relaxation, simulated annealing 등이 제안[1-3]되었으나 계산시간이 많이 소요되거나 국부최소값에 수렴하는 문제점을 가지고 있다.

이런 문제점을 해결하기 위해서 자연의 유전학과 진화이론에 바탕을 둔 효과적인 최적점 탐색방법인 진화연산이 종래의 방법으로는 최적화하기 어려운 목적함수의 최적화, 신경회로망의 학습, 시스템 식별 및 제어 등에 널리 응용되고 있고, 또한 전력계통문제에 있어서는 경제급전문제, 배전계통선로계구성 문제 등에 응용[4,5]되고 있다.

본 논문에서는 UC 문제에 유전알고리즘을 사용하였고, 여러 제약조건을 스트링으로 구성하는 방법을 제안하였다. 사례연구를 통하여 제안한 방법의 유용성을 입증하였고, 그 성능을 비교, 검토하였다.

2. 유전알고리즘

자연의 유전학 및 자연도태의 원리에 근거한 유전알고리즘은 확률적인 방법과 개체간의 체계적인 정보 교환을 통해

탐색 공간을 조사해 나감으로써 주위환경에 알맞은 가장 적절한 해를 얻고자 하는 최적화 알고리즘이며, 최적해를 구하는 과정은 초기화 및 부호화, 평가, 복제, 교차, 돌연변이와 같은 연산자를 사용하여 해를 탐색한다[6].

3. UC 문제에 유전 알고리즘의 적용

3. 1 UC 문제의 구성

UC 문제의 목적은 일간 또는 수일간의 발전계획을 수립하기 위한 대상 발전기의 조합을 결정하여 총 발전비용을 최소화하는 것이다. 총 발전비용은 연료 비용, 가동 비용, 정지 비용으로 구성된다. 연료비용은 열 소비율과 연료 가격에 의해 계산되며, 가동비용은 발전기가 정지한 시간에 대한 함수로 표현된다. 그리고 정지비용은 각 발전기에 대해 일정한 값으로 주어진다.

UC 문제를 해결하는데 있어서 고려해야 할 제약조건은 다음과 같다.

- (1) 계통의 부하 평형(부하수요+손실)
- (2) 운전 예비력
- (3) 발전기의 초기 조건
- (4) 발전기의 최대, 최소 발전량
- (5) 최소 운전 시간
- (6) 최소 정지 시간
- (7) 기타 발전기의 제약조건

3. 2 유전알고리즘을 이용한 UC 문제

UC 문제를 해결하기 위해서 여러 가지 방법 즉, dynamic programming, Lagrangian Relaxation, simulated annealing 등이 제안[1-3]되었다. 그러나 이런 방법은 국부최소값에 수렴하거나 계산시간이 많이 소요되는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위해서 자연의 유전학과 자연도태에 바탕을 둔 효과적인 최적화 알고리즘인 유전알고리즘을 사용하여 UC문제를 해결할 수 있는 방법을 제안하였다.

유전알고리즘으로 UC문제를 해결하기 위해서 여러 제약조건을 만족하는 스트링과 적합도의 구성방법이 많이 소개되었으나, 본 논문에서는 최소운전시간 및 최소정지시간을 포함하도록 그림 1과 같이 스트링을 구성하였다. 첫 번째 비트는 unit의 on/off상태를 나타내고 나머지 3비트는 발전기의 상태 지속시간을 나타내었다. 이렇게 함으로써 교차, 돌연변이 과정에서 제약조건을 만족하지 않은 해의 생성을 감소시킬 수

있었고, 또한 이런 형태로 스트링을 구성함으로써 해의 탐색 능력을 향상시킬 수 있었다.

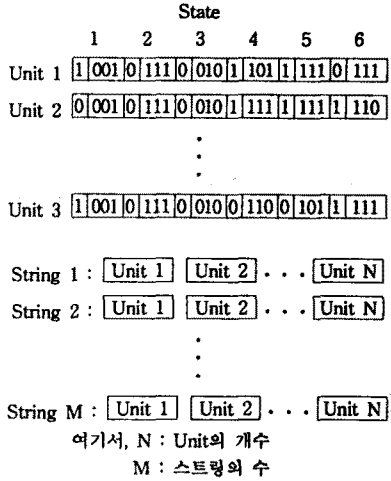


그림 1 스트링의 구조

제약조건을 만족하는 각 스트링을 평가하기 위해서 적합도를 여러 방법으로 선정할 수 있으나, 본 논문에서는 발전비용과 기동비 및 위반지수(penalty factor)를 이용하여 식(1)과 같은 적합도를 선정하였다.

$$\text{fitness} = FC_T + ST_T + \sum_{j=1}^N PF_j \quad (1)$$

여기서, $PF_j = \mu_j \cdot |V_j|$

FC_T : 총 연료비용

ST_T : 총 기동비용

V_j : 제약조건 j의 위반 여부

PF_j : 제약조건 j의 위반값

μ_j : 제약조건 j의 위반 계수

N : 제약조건 수

제안한 방법을 이용하여 UC 문제를 해결하기 위한 전체 흐름도를 그림 2에 나타내었다.

4. 사례 연구

제안한 방법의 유용성을 검토하기 위해서 참고 문헌[7]에 있는 예제 데이터를 이용하여 그 성능을 비교하였다. 표 1에는 UC 문제에 사용된 각 Unit에 대한 최대, 최소 전력, 최소 운전 시간, 최소 정지 시간, 기동비 및 연료 비용함수의 계수를 나타내었고, 시간별 부하 수요는 표 2에 나타내었다. 또한 시뮬레이션을 위해 사용된 유전 알고리즘의 파라미터를 표 3에 나타내었다.

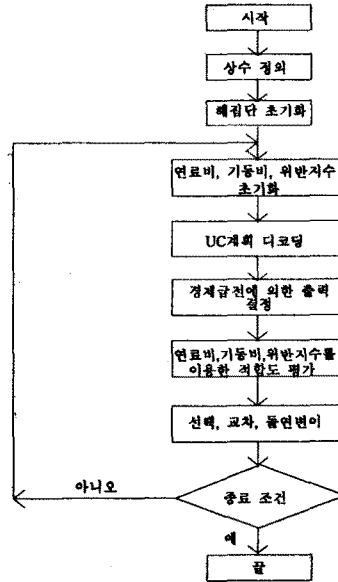


그림 2 흐름도

표 1 UC문제에 사용된 시뮬레이션 파라미터

	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5
P_{max} (MW)	455	130	130	80	55
P_{min} (MW)	150	20	20	20	55
a (\$/h)	1000	700	680	370	660
b (\$/MWh)	16.19	16.60	16.50	22.26	25.92
c (\$/MWh ²)	0.00048	0.002	0.00211	0.00712	0.00413
최소운전시간(h)	8	5	5	3	1
최소정지시간(h)	8	5	5	3	1
기동비(h)	9000	1100	1120	340	60
초기상태 (h)	8	-5	-5	-3	-1

여기서 a, b, c : 연료비용함수 계수($f = a + b \cdot P + c \cdot P^2$)
운전 예비력 : 10 %

표 2 시간별 부하 수요

시간	부하수요(MW)	시간	부하수요(MW)
1	400	13	650
2	450	14	620
3	480	15	600
4	500	16	550
5	530	17	500
6	550	18	550
7	580	19	600
8	600	20	650
9	620	21	600
10	650	22	550
11	680	23	500
12	700	24	450

표 3 유전알고리즘의 시뮬레이션 파라메타

방법	GA
해집단 개수	50
스트링의 길이	120 비트
교차 확률	0.6
돌연변이 확률	0.02
세대수	500

UC 문제에 유전 알고리즘을 적용하여 매 세대마다 구한 총 비용을 그림 3에 나타내었고, 최종적으로 구해진 매 시간별 부하 수요에 대한 각 Unit의 발전량 및 총비용을 표 4에 나타내었다.

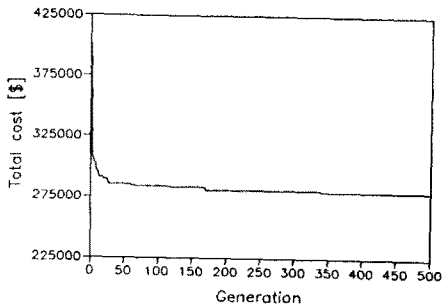


그림 3 각 세대에서 총비용

표 3 최종적으로 구해진 매 시간별 부하 수요에 대한 각 Unit의 발전량 및 총 비용

시간별 부하 수요	발전량	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	총발전량 (MW)
1	400	380.00	20.00				400.00
2	450	430.00	20.00				450.00
3	480	455.00	25.04				480.04
4	500	455.00	45.05				500.05
5	530	455.00	75.05				530.05
6	550	455.00	75.05		20.00		550.05
7	580	455.00	105.08		20.00		580.08
8	600	455.00	125.07		20.00		600.07
9	620	455.00	62.28	82.72	20.00		620.00
10	650	455.00	77.73	97.37	20.00		650.09
11	680	455.00	93.08	111.93	20.00		680.01
12	700	455.00	103.35	121.66	20.00		700.00
13	650	455.00	77.73	97.37	20.00		650.09
14	620	455.00	62.28	82.73	20.00		620.00
15	600	455.00		125.00	20.00		600.00
16	550	455.00		75.08	20.00		550.08
17	500	450.89		29.11	20.00		500.00
18	550	455.00		75.08	20.00		500.08
19	600	455.00		125.00	20.00		600.00
20	650	455.00		120.00	20.00	55.00	650.00
21	600	455.00		125.00	20.00		600.00
22	550	455.00		75.08	20.00		550.08
23	500	455.00		45.08			500.08
24	450	426.38		23.54			449.92
총 비용 [\$]							2800013

5. 결 론

본 논문에서는 UC문제를 해결하기 위해 유전알고리즘을 적용하는 방법을 제안하였다. 이 때, 유전알고리즘을 UC문제에 적용하기 위하여 여러 제약조건을 만족하도록 스트링을 구성하는 방법과 각 스트링을 평가하기 위한 적합도 함수의 설정하는 방법을 제안하였다.

제안한 방법을 이용하여 사례연구에 적용해 본 결과 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다. 향후 과정으로는 제안된 스트링의 구조에 적합한 탐색 방법을 이용하여 최적해로의 수렴 속도를 개선할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요할 것이다.

6. 참고 문헌

- [1] Pang, C.K. and Chen, H.C. "Optimal short-term thermal unit commitment, IEEE Trans., 1976, PAS-95, pp. 1336-1346
- [2] Zhuang, F. and Galiana, F.D. "Towards a more rigorous and practical unit commitment by Lagrangian relaxation", IEEE Trans., 1988, PWRS-3, no. 2, pp. 763-773
- [3] Zhuang, F. and Galiana, F.D. "Unit commitment by simulated annealing", IEEE Trans., 1990, PWRS-5, no. 1, pp. 311-317
- [4] 양승오, 문경준, 황기현, 이화석, 박준호, "유전알고리즘을 이용한 전력경제급전", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 834-836, 1994
- [5] 문경준, 김형수, 황기현, 이화석, 박준호, "유전알고리즘을 이용한 정전력부하를 갖는 배전계통의 선로의 재구성에 관한 연구", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 71-73
- [6] David E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, INC., 1989
- [7] S.A. Kazarlis, A.G. Bakirtzis, V. Petridis, "A genetic algorithm solution to the unit commitment problem", IEEE Trans., 1996, PWRS-11, no. 1, pp. 83-92