

유전 알고리즘의 예방 정비 계획에의 적용

박영문, ○정만호
서울대학교 전기공학부

An Application of Genetic Algorithm to the Preventative Maintenance Scheduling

Young Moon Park, ○Man Ho Jong
College of Elec. Eng., Seoul National University

ABSTRACT

Genetic Algorithm(GA) is a searching or optimizing algorithm based on natural evolution principle. GA has demonstrated considerable success in providing good solutions to many nonlinear, multi-dimensional optimization problems. The preventative maintenance scheduling is a kind of dynamic optimization problem with constraints. This paper applies GA to the preventative maintenance scheduling problem. In the case study, we can get the preventative maintenance scheduling of 3-generators during 8 weeks using GA. It is shown that GA can be available to the preventative maintenance scheduling problem.

I. 서론

전력 설비, 특히 발전 설비의 예방 정비는 전력 계통의 신뢰도와 경제 운용에 밀접한 관계가 있다. 따라서 전력 계통에 대하여 높은 신뢰도를 갖는 경제 운용을 하기 위하여는 적절한 예방 정비 계획의 작성이 필요하다. 더구나 전력 계통의 발전 설비들이 더욱 많아지고 복잡해짐에 따라 이러한 발전 설비들의 적절한 예방 정비에 대한 필요성이 더욱 증가하고 있다.

Holland에 의하여 개발된[1] 유전 알고리즘은 다윈의 자연 진화 원리에 기초를 두고 적자 생존의 원리를 따르는 일종의 탐색 또는 최적화 알고리즘이다. 이러한 유전 알고리즘은 수 년 동안 여러 가지 탐색 문제와 최적화 문제에 유용하게 이용될 수 있음이 입증되어 왔다. 이것은 적자 생존의 원리에 따라 세대가 진행될수록 더 많은 유전 정보를 전하는 유전 알고리즘의 다차원, 비선형 공간을 탐색하는데 있어서의 효율적 능력의 결과이다. 유전 알고리즘의 주요한 장점으로는 넓은 적용 분야와 유연성, 구현의 용이성, 그리고 근사 최적해를 구하는 능력 등을 들 수 있다.

발전기들의 정비 시기를 결정하는 예방 정비 계획은 정비 시기를 결정해야 할 발전기들이 여러 대이고 결정해야 할 정비 시기가 이산된 정수값들로 표현될 수 있으므로 이산된 코드값으로 다차원의 탐색 공간을 효율적으로 탐색하는 유전 알고리즘의 적용이 적당한 문제라고 할 수 있다. 따라서 본 논

문에서는 이러한 유전 알고리즘의 장점을 이용하여 결정적 지수인 예비율을 신뢰도 지수로 삼아 예방 정비 계획안을 수립하고자 한다.

II, 예방 정비 계획

발전기의 예방 정비 계획이란 주어진 계획 기간 동안 각 발전기의 예방 정비 시기 및 기간을 결정하는 동태적 최적화 문제이다. 발전기의 예방 정비 계획 문제에는 일반적으로 신뢰도 목적 함수와 비용 목적 함수의 두 가지 부류가 있다. 그러나 그 동안의 연구에서 비용 목적 함수는 예방 정비 계획의 변동에 대한 민감도가 매우 적은 것으로 알려져 있으므로[2, 3, 6] 여기에서는 신뢰도 목적 함수만을 고려하기로 한다.

신뢰도 지수는 결정적인 것과 확률적인 것이 있을 수 있다 [2]. 결정적인 지수를 이용하는 목적 함수는 이해하기 쉽고 복잡한 확률적 시뮬레이션 과정을 거치지 않으므로 계산 시간이 상대적으로 빠르지만 전력 계통의 확률적인 상황을 고려하기 힘들다는 단점이 있다. 반대로 확률적 지수를 이용하는 목적 함수는 발전기의 고장 정지율같은 전력 계통의 확률적 상황을 고려할 수 있지만 결정적 지수를 이용한 목적 함수에 비해 상대적으로 이해하기 어렵고 계산 시간도 상대적으로 느리다.

III. 공급 예비율 평활화

1. 공급 예비율 평활화의 의미

신뢰도 목적 함수의 목적은 발전기 예방 정비가 고려되었을 때 계통의 신뢰도를 최대로 하는 것이다. 이러한 목적을 구현하는 방법 중 하나는 전 계획 기간 동안 용량 부족의 위험을 일정하게 하는 것이다. 예비율을 평활화하는 것은 위험을 평활화하는 지표로 사용되어 왔다[4, 5].

어떤 기간에 발전기의 예방 정비를 하게 되면 계통의 전력 공급이 충분하지 못 할 위험이 증가되어 계통의 신뢰도가 낮아질 것이다. 예비율의 관점에서 이야기하면 이러한 위험은

특히 계통의 예비율이 낮을 때 더욱 커진다. 따라서 어떤 기간에서의 계통의 신뢰도를 최대화 한다는 것은 그 기간의 예비율을 최대화 한다는 의미가 되는데 이것이 예비율 평활화의 원칙이다. 즉, 전 계획 기간 동안 예비율을 일정하게 한다는 것은 어떤 기간의 신뢰도를 과도하게 낮춰서 다른 기간의 신뢰도를 과도하게 높이지 않으므로써 계통 전체의 신뢰도를 최대화하고자 하는 것이다[2].

2. 목적 함수

그 동안 공급 예비율을 이용한 여러 가지 목적 함수들이 제안되어 왔지만 신뢰도 지수인 공급 예비율을 평활화하면서 동시에 최대화하는 가장 효과적인 목적 함수는 전체 기간 동안의 예비율들의 이차 모멘트(second moment)를 최소화하는 것이라고 알려져 있다[4]. 따라서 본 논문에서는 아래와 같은 목적 함수를 이용하여 예비율을 평활화하고자 한다.

$$\text{Min } J, J = \sum_{i=1}^M \left[\frac{C_i - L_i}{L_i} \right]^2$$

M : 계획 기간의 수

C_i : i 기간의 가용 설비 용량(설비 용량 - 보수 용량)

L_i : i 기간의 최대 부하

IV. 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 처음에 임의로 발생된 후보 해들의 집단(population)에 대하여 자연에서 일어나는 유전 과정에서 모형화된 '유전 연산자'들을 적용하여 후보 해들을 보다 나은 해들로 진화시키는 구조화된 확률적 알고리즘이다. 여기서 말하는 집단이란 가능한 해들을 표현하는 코드들의 모임이다. 이러한 코드들은 다음 세대가 만들어질 때 유전 연산자들을 이용하여 확률적으로 더욱 좋은 목적 함수값을 갖는 해를 표현하는 코드로 바뀌어 진다.

1. 유전 연산자

유전 알고리즘에서 가장 기본적으로 쓰이는 유전 연산자로서 교차 연산자(crossover)와 돌연변이 연산자(mutation)를 들 수 있다. 이 두 가지 유전 연산자들은 각각의 주어진 확률을 가지고 적용되는 확률적 연산자들인데 대개 교차 연산 확률은 0.5정도인데 비해 돌연변이 연산 확률은 0.001정도의 아주 낮은 확률을 갖는다.

1.1 교차 연산자

교차 연산자는 유전 알고리즘의 가장 주요한 역할을 하는 연산자로서 집단 중의 두 개의 코드들을 골라 코드 중 임의의 위치를 선택하여 그 교차 지점을 중심으로 두 코드의 내용을 바꾸는 연산자이다.

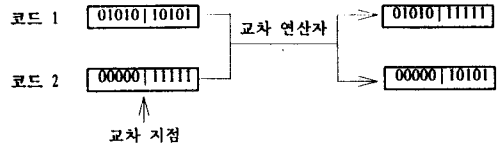


그림 1 교차 연산자

1.2 돌연변이 연산자

돌연변이 연산자는 코드의 비트별도 값을 바꾸는 유전 연산자인데 확률적으로 극부 최적해를 벗어나 전역 최적해를 찾을 수 있도록 하는 역할을 한다. 즉, 전역 최적해를 이루는 유전 정보가 손실된 경우 임의의 비트 변경으로 그런 유전 정보를 얻을 수 있는 가능성을 주는 유전 연산자이다.

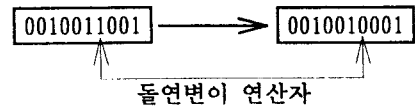


그림 2 돌연변이 연산자

2. 절차

유전 알고리즘의 기본적인 절차를 흐름도로 나타내면 그림 3과 같다.

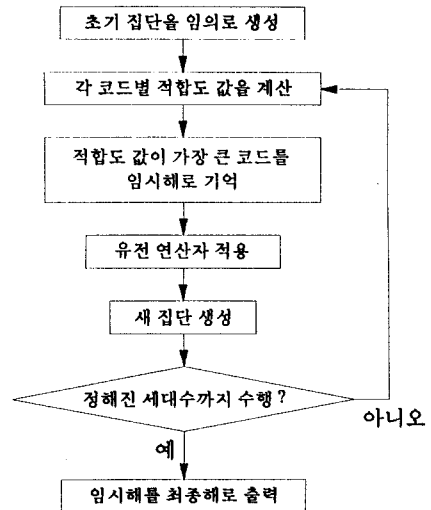


그림 3 유전 알고리즘의 흐름도

3. 예방 정비 계획에의 적용

3.1 변수 설정과 코딩

예방 정비에서의 결정되어야 할 사항은 각 발전기들의 예방 정비 시기이다. 그런데 발전기의 정비 기간은 알고 있으므로 각 발전기들의 정비 시작주만을 변수로 잡으면 모든 것이 결정될 수 있다. 따라서 정비가 결정되어야 할 발전기들이 N

대라고 하면 아래와 같은 변수를 잡을 수 있다.

$$\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$$

여기서, x_i 는 i 번째 발전기의 정비 시작주에 대응되는 정수(0, 1, 2, ...)이다.

실제 코드는 그림 4와 같이 각 발전기마다 가능한 정비 시작주들을 모두 표현할 수 있는 만큼의 비트를 갖는 2진 코드를 이용하여 구현하고자 한다.

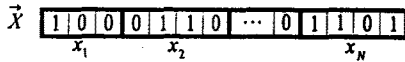


그림 4 코드의 구성

3.2 적합도 함수

\vec{X} 의 값으로 모든 발전기들의 정비 시기를 알 수 있으므로 전 계획 기간 동안에서 정비가 고려된 예비율 값들을 구할 수 있다. 따라서 목적 함수 J 는 \vec{X} 의 함수이다. 우리는 목적 함수 $J = J(\vec{X})$ 를 최소화하는 것이므로 아래와 같이 적합도 함수, $F(\vec{X})$ 를 정의한다.

$$F(\vec{X}) = \frac{a}{J(\vec{X})+1}$$

여기서 a 는 상수이다.

IV. 사례 연구

사례 연구로는 발전기 3대를 8주동안 예방 정비하는 문제를 유전 알고리즘을 이용하여 고려해 보았다. 각 데이터들은 표 1, 2와 같다.

표 1 발전기 데이터

발전기	G#1	G#2	G#3
용량[MW]	100	50	200
정비 기간	3주	5주	2주

표 2 최대 수요 데이터

기간	1주	2주	3주	4주	5주	6주	7주	8주
최대수요[MW]	83	105	63	79	118	125	96	100

위의 문제에 유전 알고리즘을 적용한 결과로 얻어진 발전기들의 정비주와 예비율들의 값들은 표 3, 4, 그림 5와 같다. 본 예제에서는 각 발전기 당 가능한 정비 시작주들의 수를 표현할 수 있는 비트 수 만큼의 2진 코드를 할당하여 가능한 정비 시작주를 표현할 수 있도록 하였다. 즉, G#1의 정비 기간은 3주이므로 가능한 정비 시작주는 1주부터 6주사이이므로 1부터 6까지의 6개의 정수값으로 표현할 수 있다. 따라서 G#1의 코드의 비트 수는 8개의 정수를 표현할 수 있는 3비트의 2진 코드면 충분하다. 같은 방식으로 G#2는 2비트, G#3는 3비트

를 할당하여 실제 GA에서의 코드는 8비트 2진 코드로 설계하였다.

표 3 유전 알고리즘으로 얻어진 발전기들의 정비주

발전기	G#1	G#2	G#3
정비주	6주~8주	1주~5주	3주~4주

표 4 얻어진 정비 계획에 의한 각 주의 예비율

기간	1주	2주	3주	4주	5주	6주	7주	8주
예비율	2.614	1.857	0.587	0.266	1.542	1	1.604	1.5

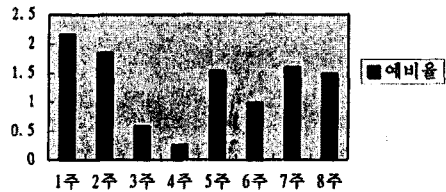


그림 5 얻어진 정비 계획에 의한 각 주의 예비율

V. 결론

예방 정비 계획 문제는 이산된 코드값으로 다차원의 탐색 공간을 효율적으로 탐색하는 유전 알고리즘의 적용이 적당한 문제라고 할 수 있다. 본 논문에서는 예방 정비 계획에 유전 알고리즘을 적용시켜 보고 사례 연구 결과로부터 유전 알고리즘이 예방 정비 계획 문제에 효과적임을 확인하였다.

VI. 참고 문헌

- [1] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial System*. Ann Arbor, MI: Univ. Michigan Press, 1975.
- [2] X. Wang, J. R. McDonald, *Modern Power System Planning*. McGraw-Hill Book Company, 1994.
- [3] W.R. Christiaanse and A.H. Palmer, "A technique for the automatic scheduling of the maintenance of generating facilities." IEEE Trans. PAS, Vol. 91, No. 1, pp. 137-144, Jan.-Feb. 1972.
- [4] H.H. Zürn and V.H. Quintana, "Several objective criteria for optimal generator preventive maintenance scheduling." IEEE Trans. PAS, Vol. 96, No. 3, May-June 1977.
- [5] Zia A. Yamayee, "Maintenance scheduling: description, literature survey, and interface with overall operations scheduling." IEEE Trans. PAS, Vol. 101, No. 8, August 1982.
- [6] H. Khatib, "Maintenance scheduling of generating facilities." IEEE Trans. PAS, Vol. 98, No. 5, Sept.-Oct. 1979.