'96 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (1996. 7. 22~24)

유전 알고리즘을 이용한 변전소 복구 방안에 관한 연구

박 영 문, ○원 종 률
서울대학교 전기공학부 대학원

A Study on The Restoration of Substation using Genetic Algorithm

Young Moon Park, ○Jong Ryul Won
College of Elec. Eng. , Seoul National University

Abstract

This paper proposes a method for seeking the scheme of substation restoration by using genetic algorithm. Genetic algorithm (GA) , first introduced by John Holland, is becoming an important tool in machine learning and function optimization. GA is a searching or optimization algorithm based on Darwinian biological evolution principle. As a test system, we assume a simple substation system and for the transformer fault , the result is obtained.

1. 서 론

사고 복구는 무인 변전소 자동화 연구 중 복구 분야에서 중요한 대상이 되고 있다. 그 중 자동화 스위칭은 무인 변전소 자동화 연구 중 복구 분야에서 중요한 하나의 목적이 되고 있다. 변전소 시스템에서 스위칭 상태의 결정은 복구 과정의 최종 상태를 찾는 문제에서 가장 중요한 문제이다. 따라서 고전압 변전소 시스템에서 스위칭 작용의 제어는 전기 소비자에게 양질의 전력을 공급하는 데에 있어서 필수적인 것이다. 기본적인 연구 단계로서 몇 가지의 방법들이 연구되어 왔었다. 변전소 복구에서 스위치의 인터락킹(interlocking) 을 고려한 방법이 제안되었다[1]. 하나의 제어 대상이 정해졌을 때 스위칭 시퀀스를 찾는 방법이 제안되었다[2, 3]. 이 외에도 지식 베이스를 이용한 많은 방법이 연구되었다[4, 5, 6].

그러나 전술한 여러가지 결과들은 주로 위상학적 지식에 근거한 방식이며 사고 복구의 핵심 부분인 선로 스위칭은 일종의 조합 최적화 문제임과 동시에 스위치의 ON/OFF문제이므로 일종의 0-1 정수 최적화 문제로 볼 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 과거에는 정수 계획법이 도입되기도 했으나 이는 효율적인 측면에서 많은 문제가 있다. 유전 알고리즘은 생물학적 진화원리를 모방하여 만든 탐색 또는 최적화 방법으로서 본래 모든 파라메터들이 이산적인 코드로 표현되므로 정수계획 문제의 해결에 적합하며 복잡한 비선형 문제를 해결하는 데에 있어서 좋은 결과를 보여왔다. 따라서 본 논문에서는 시스템의 해석적 기반을 토대로 연산 능력을 대폭 향상시킬 수 있는 유전 알고리즘을 사용함으로써 신뢰성의 향상을 도모하고자 한다.

유전 알고리즘은 임의로 발생된 초기 집단에서 자연의 유전원리를 모방한 유전 진화 작용을 통하여 점차적으로 좀 더 최적에 가까운 해로 접근시켜 나가는 것이다. 일반적으로 이들 해들은 코드화된 유전 배열(Chromosome)로 이들은 주어진 문제의 목적함수를 통해 적합도 값을 얻고 이를 근거로 하여 우성인자는 살아남이 다음 세대에 전수된다.

실제 본 문제에서는 목적함수로 정전 구역의 최소화와 변압기 용량의 오버로드를 고려하였다. 이를 간단한 대상 시스템에 적용시켜 보았다.

2. 유전 알고리즘(Genetic algorithm)

1970년대에 John Holland가 처음 유전알고리즘을 도입한 이후로 이는 기계 인지나 최적화 문제 등에서 중요한 도구가 되어 왔다. 유전 알고리즘은 다윈의 생물학적 진화 원리에 근거를 둔 일종의 탐색 또는 최적화 알고리즘이다. 이것은 임의로 발생된 초기 집단에서 자연의 유전원리를 모방한 유전 진화 작용을 통하여 점차적으로 좀 더 최적에 가까운 해로 접근시켜 나가는 것이다. 일반적으로 이들 해들은 코드화된 유전 배열로 표시되며 이들은 주어진 문제의 목적함수를 통해 적합도 값(fitness value)을 얻고 이를 근거로 하여 우성 인자는 살아 남아 다음 세대에 전수되고 열성 인자는 소멸되어 버린다.

각 세대들을 다음 세대로 전수시키는 주된 유전 작용자로는 교배 작용자(crossover operator)와 돌연변이 작용자(mutation operator)가 있다.

2.1 유전 작용자

(1) 교배(crossover)

유전 작용자의 가장 주된 역할을 하는 것으로서 교배 작용이 있다. 이는 부모의 유전 배열 특징을 결합하여 다음 후손의 유전 배열을 만들어 내는 것이다. 두 개의 우성 유전자들은 더 좋은 유전 배열을 만들어 내기 위해 그들의 특징을 공유한다. 물론 발생된 유전

자 중에는 목적함수 값이 더 나쁜 인자도 발생될 수 있으며 이는 다음 세대에서 소멸되어 버린다. 교배는 그 들의 목적함수 값에 따라 선택된 두 개의 부모 유전자에서 임의로 교배 위치를 결정한 후 그 이후의 유전 배열을 서로 바꾸어 버린다. 예를 들어 다음의 부모 유전자에서 3번째 위치가 교배 위치로 선택된다면 다음의 작용이 실행된다.

```
부모1 :01/101   ------------------->  01/010
부모2 :11/010       (crossover)       11/101
```

그림 1 교배 연산자

교배는 각각 그것의 발생 확률(PC)에 따라 실행된다.

(2) 돌연변이(mutation)

때때로 유전자 중에는 우리가 바라는 특별한 비트값이 없을 수도 있다. 그런데 이 비트값은 좋은 값을 내는 데에 중요한 역할을 하는 것일 수도 있다. 교배 작용으로는 이러한 역할을 수행하지 못 할 수도 있으므로 돌연변이라는 작용자가 필요하게 된다. 돌연변이는 문자 그대로 유전 배열내의 특정한 위치의 값을 임의로 바꾸는 것이다. 예를 들면 다음의 부모 유전자에서 4번째 위치가 돌연변이 위치로 선택되었다면 이는 다음과 같이 수행된다.

```
10011   ---------------------> 10001
                (mutation)
```

그림 2 돌연변이 연산자

다음은 일반적인 유전 알고리즘의 수행 절차 과정이다.

[1]. 초기 N개의 코드화된 유전 인자 집단을 생성한다, P(1), P(2), ..., P(N).

[2]. 모든 집단을 다음 공식에 의해 디코우딩한다,

$$X = X_D * \frac{(X_{max} - X_{min})}{(J^B - 1)} + X_{min}. \quad (1)$$

이는 초기에 J진수, B비트의 코드화된 값들을 실제의 값 X(단, Xmin 과 Xmax사이의 값)로 바꾸는 과정이다. 그리고 목적함수로부터 적합도 값을 생성한다, f(1), f(2), ..., f(N).

[3]. 상대 적합도 값(relative fitness value)을 생성한다.

$$f_r(i) = \text{int}\left(\frac{f(i)}{\sum_i f(i)} * N\right) \quad (2)$$

[4]. N개의 적합도 값중에서 최대값을 찾아 내고 수행 중지 조건을 만족하는가 체크한다.

[5]. 상대 적합도 값만큼 풀(pool)에 저장한다. 여기서 풀이라는 것은 목적함수 값에 비례하여 유전자들을 선택하기 위한 것으로 정수화된 상대 적합도 값만큼 유전자들을 풀에 복사한다.

[6]. 한 쌍의 유전자를 선택한다. (자연 선택)

[7]. 선택된 유전자들을 각각의 확률(교배 확률 또는 돌연변이 확률)에 따라 유전 작용자를 통과시킨다.

[8]. 새로 생성되는 세대의 갯수가 N이 될 때까지 [6]으로 간다.

[9]. [2]로 간다.

3. 문제의 정의

변전소에서 복구방안을 위한 스위칭 작용은 다음의 기본적인 규칙에 의해 수행된다.

- 정전 구역의 최소화 -
소비자에게 최대한의 전력을 공급하기 위해서는 정전구역을 최소화 하여야 한다.
- 변압기 용량의 제한 -
변압기는 본래의 정격용량을 초과하여서는 안된다.
- 초기 정상상태의 유지-
최종 스위치의 상태는 가능한 한 초기의 정상상태를 유지하여야 한다.

이 이외에도 이중 모선에서 동시에 ON상태가 되는 것을 막는 몇 개의 부등식을 필요로 한다.

4. 문제의 표현

4.1. 코드화 표현

본 문제에서는 염색체의 각각의 비트는 각각의 스위치의 상태(ON : 1, OFF : 0) 에 해당된다. 따라서 N개의 스위치는 N개의 염색체의 비트에 바로 대응된다.

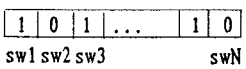

그림 3 코드화 표현

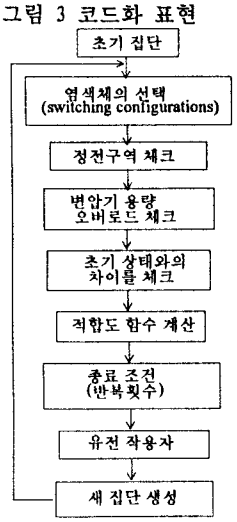

그림 4 흐름도

4.2. 적합도 함수(Fitness Function)

유전 알고리즘에서는 적합도 함수 F는 최대화되어야 하므로 본래의 목적함수는 역변환하여야 한다.

$F=\frac{c}{1+f}$, c 는 상수. (3)

4.3 흐름도

5. 사례 연구

5.1. 대상 시스템

앞서 제안된 알고리즘을 아래와 같은 간단한 시스템에 적용시켜 보았다.

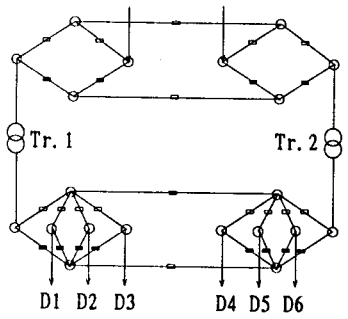

그림 5 대상 시스템

그리고 각각의 Di들과 변압기 용량 한계는 아래의 표에 제시되어 있다. (단위= ampere[A]).

표 1 파라메터

D1	D2	D3	D4
0.2	0.1	0.4	0.3
D5	D6	Tr. 1	Tr. 2
0.2	0.2	1.0	1.0

5.2 실험 결과

고장사례로서 생각할 수 있는 가장 간단한 경우는 Tr. 1의 경우이다. 고장지역의 분리는 본 논문에서 제안된 알고리즘에서는 제시되지 않으므로 휴리스틱한 룰을 사용하여야 한다.

- 결 과 -

3 off
15 off
---
10 on
12 on
13 on
16 off
17 off
18 off
27 on

6. 결 론

자동화 스위칭은 무인 변전소 자동화 연구 중 복구 분야에서 중요한 하나의 목적이 되고 있다. 변전소 시스템에서 스위칭 상태의 결정은 복구 과정의 최종 상태를 찾는 문제에서 가장 중요한 문제이다. 따라서 고전압 변전소 시스템에서 스위칭 작용의 제어는 전기 소비자에게 양질의 전력을 공급하는 데에 있어서 필수적인 것이다. 유전 알고리즘은 생물학적 진화원리를 모방하여 만든 탐색 또는 최적화 방법으로서 본래 모든 파라메터들이 이산적인 코드로 표현되므로 정수계획 문제의 해결에 적합하며 복잡한 비선형 문제를 해결하는 데에 있어서 좋은 결과를 보여왔다. 따라서 본 논문에서는 시스템의 해석적 기반을 토대로 연산 능력을 대폭 향상시킬 수 있는 유전 알고리즘을 사용하였다.

주어진 대상시스템에 대하여 유전 알고리즘을 적용시켜 본 결과 변압기 오버로드가 성공적으로 제거되었으며 정전구역도 복구되었다.

7. 참고문헌

[1] K. P. Brand, J. Kopainsky, W. Wimmer, "Topology-based interlocking of electrical Substations", IEEE Trans. on PWRD, Vol. PWRD-1, No. 3, pp. 118-126, July, 1986.

[2] K. Attila Megl, "An Intelligent Tool for Generating Switching Sequences at Basic Network Substations", ESAP'93, pp. 563-568, 1989.

[3] Z. Z. Zhang, G. S. Hope, O. P. Malik, "A Knowledge-based Approach to Optimize Switching in Substations", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 5, No. 1, pp. 103-109, Jan., 1990.

[4] Shunich Ito et al., "Advanced Operation Guidance Expert System for 500KV Substation", Third Symposium on Expert Systems Application to PWRS, April 1-5, 1991, Tokyo-Kobe, Japan.

[5] Kit Po Wong, Chun Che Fung, "Development of a knowledge based system for circuit allocation in sub_transmission switching substations", Third Symposium on ESAP, 1991, pp. 391-397.

[6] G. M. Ribeiro, et al., "Automatic substation configuration system -An approach using knowledge based system", Third Symposium on ESAP, 1991, pp. 697-702.

[7] Goldberg, D.E. , *Genetic algorithms in Search, Optimization & machine learning.* Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.

[8] L. Davis, Ed. , *Handbook of Genetic Algorithms.* New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.

[9] K.A. DeJong, "Adaptive System Design : A Genetic Approach ", IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-10, 1980, pp. 566-574.

[10] J. J. Grefenstette, "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms" , IEEE Trans. Systems, Man , and Cybernetics, Vol. SMC-16, Jan/Feb., 1986, pp. 122-128.