

적응진화연산을 이용한 전력계통안정화장치의 퍼지제어기의 설계

황기현* · 문경준* · 김형수* · 박준호** · 이화석*** · 김문수****

* 부산대학교 전기공학과 박사과정 ** 부산대학교 전기공학과 교수 *** 거제대학 전기과 전임강사 **** 동의대학 전기과 교수

Design of Fuzzy Logic Controller for Power System Stabilizer Using Adaptive Evolutionary Computation

G. H. Hwang* · K. J. Mun* · H. S. Kim* · J. H. Park* · H. S. Lee** · M. S. Kim***

*Dept. of Elec. Eng. Pusan Nat'l Univ. ** Dept. of Elec. Eng. Koje College *** Dept. of Elec. Eng. Donggeui College

Abstract - In this study, an adaptive evolutionary computation (AEC), which uses adaptively a genetic algorithm having global searching capability and an evolution strategy having local searching capability with different methodologies, is suggested. We applied the AEC to design of fuzzy logic controllers for a PSS (power system stabilizer).

FLCs for PSS controllers are designed for damping the low frequency oscillations caused by disturbances such as the sudden changes of loads, outages in generators, transmission line faults, etc. The membership functions of FLCs is optimally determined by AEC.

1. 서 론

진화연산의 성능은 해집단의 크기, 적합도 계산 방법, 교배 및 돌연변이 확률 등의 파라미터에 영향을 크게 받는다. 이런 파라미터들을 적절히 선정하지 못하면 실행시간이 아주 길어지거나 국부최소값으로 조기수렴하는 경우가 발생한다. 이런 문제점을 해결하기 위해, 유전알고리즘에서는 적합도에 따라 교배 및 돌연변이 확률을 변화시키는 방법[1,2]과 매 세대마다 해집단의 크기를 변화시키는 방법이 제안되었고[3], 진화전략 및 진화프로그래밍에서는 국부최소값에 조기수렴하지 않기 위해 정규난수 발생시 표준편차를 조정하는 방법이 제안되었다[3]. 이런 방법들은 초기세대에서는 표준편차를 크게 하거나, 교배 및 돌연변이 확률이 다소 높게 하여 탐색영역을 넓히고 어느 정도 세대가 진행된 후에는 표준편차 또는 교배 및 돌연변이 확률은 낮추어 세대간 변화를 줄이는 방법으로 이를 적응알고리즘(adaptive algorithm)이라고 한다[1,2,4,5].

기존의 적응알고리즘은 해집단의 크기, 교배 및 돌연변이 확률과 교배방법 등의 파라미터와 연산자들을 적응적으로 변경시키거나 정규난수에서 표준편차를 적응적으로 변경시켰다. 본 논문에서는 종래의 진화연산의 문제점을 개선하여 최적해를 빠른 시간 내에 정확하게 찾기 위해서 유전알고리즘의 전역탐색능력과 진화전략의 국부탐색능력을 적응적으로 이용하는 적응진화연산 알고리즘을 개발하였다. 개발

한 적응진화연산을 전력계통안정화장치용 퍼지제어기 설계에 적용하였다.

제안한 방법의 제어성능을 평가하기 위하여 다기계통에 적용하여 응답특성을 PD제어기와 비교·분석하였으며, 이때 PD제어기의 이득은 적응진화연산을 사용하여 최적화하였다. 제어기의 동조에 사용된 운전조건에 대하여 계통해석을 해 본 결과, 퍼지제어기가 PD제어기보다 더 나은 제어성능을 나타내었다. 퍼지제어기의 강인성을 평가하기 위하여 전력계통의 다양한 운전조건에 대해서 계통해석을 해 본 결과, 퍼지제어기가 PD제어기보다 더 강인한 성능을 나타내었다.

2. 적응진화연산

본 논문에서 제안한 적응진화연산은 한 세대에서 다음 세대로 진화시킬 때, 유전알고리즘과 진화전략을 동시에 적용하고, 세대의 진화과정에서 유리한 진화연산기법이 다음 세대의 해집단을 형성하는데 우위에 있도록 하였다. 본 논문에서 실변수형 코딩 방식의 유전알고리즘을 사용하였으며, 진화전략은 Schwefel이 제안한 방법 중에서 부모해집단으로부터 자손해집단을 생성한 후 부모는 모두 제거되고 자손해집단을 다음 세대의 부모해집단으로 선택하는 방법을 사용하였으며, 표준편차를 세대별로 변화시키는 방법[2]을 적용하였다.

2.1 적응진화연산의 개요

본 논문에서 제안한 적응진화연산의 구성도는 그림 1과 같다. 적응진화연산의 과정은 초기해집단을 구성할 때 각 스트링에 대해서 태그변수 0(유전알고리즘의 개체) 또는 1(진화전략의 개체)을 임의로 대응시킨 후, 각 개체의 적합도를 계산하고 룰렛휠(roulette wheel)을 사용하여 적합도에 따라 복제한다. 복제된 개체는 태그변수에 따라 유전알고리즘의 해집단과 진화전략의 해집단을 분리한 후, 유전알고리즘의 해집단에 대해 교배 및 돌연변이를 수행하고, 진화전략의 해집단에 대해 돌연변이를 수행한다. 이때 부모해집단에서 적합도가 가장 높은 개체는 유전알고리즘의 해집단과 진화전략의 해집단에 각각 하나씩 복제하는 엘리티즘을 사용하였다.

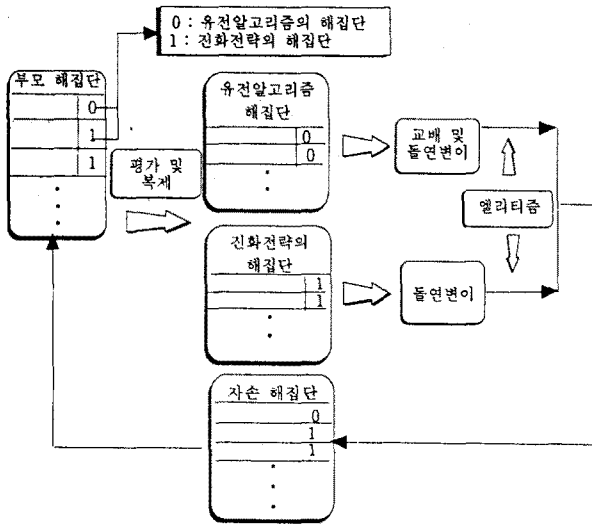


그림 1 적응진화연산의 구성도

2.2 적응진화연산을 이용한 퍼지제어기 설계

적응진화연산을 사용하여 퍼지제어기를 동조하기 위해서 그림 2와 같은 제어기 모델을 구성하였다. 퍼지제어기의 입력신호는 발전기의 각속도의 편차와 각속도 편차의 변화분을 사용하였으며, 제어신호는 전력계통안정화장치의 입력신호로 사용된다.

본 논문에서는 그림 3에서 보는 바와 같이 퍼지제어기의 입·출력 소속함수로 삼각형 소속함수를 사용하였고, ZE소속함수를 기준축으로 하여 모든 소속함수들을 대칭으로 구성하였다. 따라서 삼각형 소속함수의 꼭지점이 3개, 꼭이 4개가 필요함으로 적응진화연산으로 동조해야 할 퍼지 파라메타의 수는 21개이고, 21개의 변수가 하나의 스트링을 구성한다. 그리고 각 스트링을 평가하기 위하여 사용된 적합도 함수는 식 (1)과 같이 발전기 각속도의 절대치편차를 사용하였다.

$$Fitness = \frac{\alpha}{\beta + \sum_{i=1}^M (\sum_{k=1}^N |\omega_k - \omega_{ref}|)} \quad (1)$$

여기서 ω_k : 발전기의 실제 각속도
 ω_{ref} : 발전기의 기준 각속도
 N : T시간 동안 획득한 데이터의 개수
 M : 발전기의 수

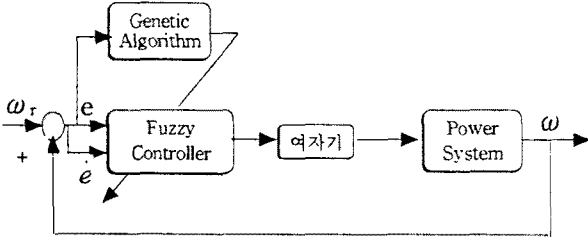


그림 2 TCSC용 퍼지제어기의 블록선도

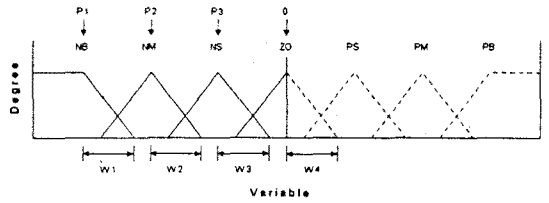


그림 3 대칭의 소속함수

3. 사례 연구

본 논문에서는 그림 4와 같은 다기 계통에 대해 2장에서 설명한 방법을 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였으며, 이때 퍼지제어기와 PD제어기의 동조에 사용된 적응진화연산의 시뮬레이션 계수는 표 1과 같다. 적응진화연산으로 퍼지제어기의 동조시에 사용한 전력계통의 운전조건은 다음과 같다.

- $P_1 = 4.5[PU] \rightarrow 6.0[PU]$ 로 증가
- $Q_1 = 3.5[PU] \rightarrow 5.0[PU]$ 로 증가
- $P_2 = 3.5[PU] \rightarrow 5.0[PU]$ 로 증가
- $Q_2 = 2.5[PU] \rightarrow 4.5[PU]$ 로 증가

그림 5는 동조에 사용된 전력계통 운전조건에 대한 각 발전기의 각속도 응답을 나타내었다. 그림 5에서 보는 바와 같이 퍼지제어기가 PD제어기보다 더 나은 제어성능을 나타냄을 알 수 있다. 퍼지제어기의 강인성을 검증하기 위하여 퍼지제어기 동조에 사용되지 않은 계통운전조건, 즉 부하의 감소 및 증가, 4번 모선에서 3상 지락사고 등에 대해 퍼지제어기의 강인성을 PD제어기와 비교·분석하였다. 그림 6은 다양한 전력계통 동요조건 중에서 4번 모선 근처에서 3상 지락이 발생했을 때의 발전기 응답특성을 나타내었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 퍼지제어기가 PD제어기보다 더 강인함을 나타내었다. 그림 7은 매세대마다의 적합도 추이와 유전알고리즘과 진화전략의 해집단 수를 나타내었다.

4. 결론

본 논문에서는 유전알고리즘의 전역탐색능력과 진화전략의 국부탐색능력을 적응적으로 이용하는 적응진화연산 알고리즘을 개발하였다. 개발한 적응진

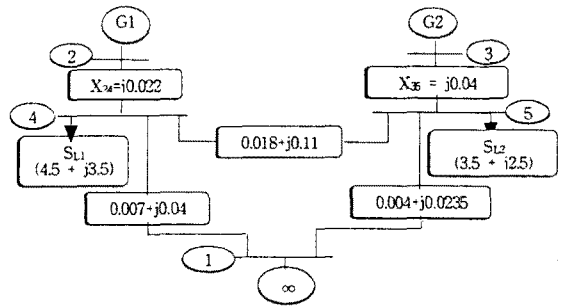


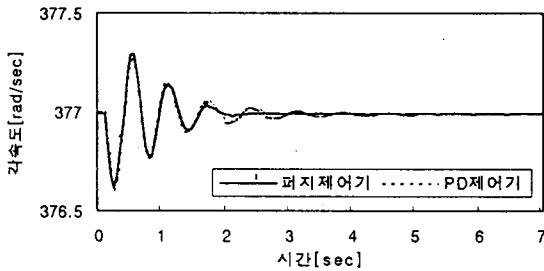
그림 4 다기 계통

표 1 적응진화연산에 사용된 파라미터

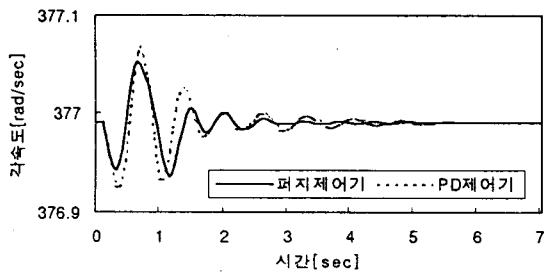
적용방법	GA	ES	AEC
해집단 수	50	50	50
교배확률	0.85	-	0.85
돌연변이 확률	0.01	-	0.01
α	20	20	20
β	1	1	1
δ	-	0.5	0.5
C_d	-	0.85	0.85
C_i	-	1.15	1.15

화연산을 전력계통안정화장치용 퍼지제어기 설계에 적용하였다.

제안한 방법의 제어성능을 평가하기 위하여 대기 계통에 적용하여 계통해석을 해본 결과, 제어기의 동조에 사용된 운전조건에 대해 퍼지제어기가 PD제어기보다 더 나은 제어성능을 나타내었다. 퍼지제어기의 강인성을 평가하기 위하여 전력계통의 다양한 운전조건에 대해서 계통해석을 해본 결과, 퍼지제어기가 PD제어기보다 더 강인한 성능을 나타내었다.



(a) 발전기 1의 각속도 응답

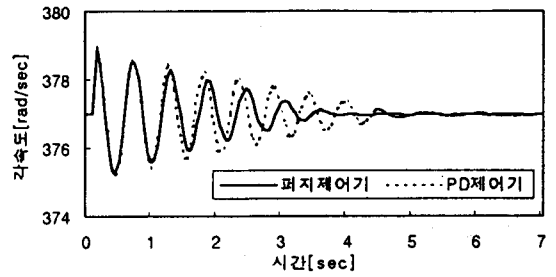


(b) 발전기 2의 각속도 응답

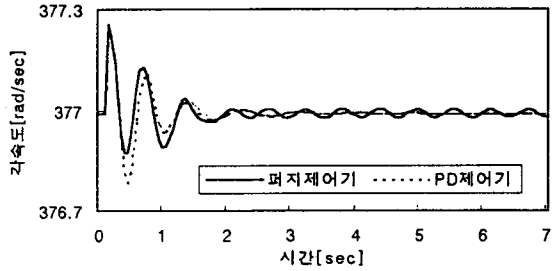
그림 5 동조시 계통운전조건에 대한 발전기의 응답

참고 문헌

[1] M. Srinivas and L. M. Patnaik, "Adaptive Probabilities of Crossover and Mutation in Genetic Algorithms", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 24, No. 4, pp.656-667, April, 1994
 [2] W. M. Spears, Evolutionary Programming IV, The MIT Press, 1995
 [3] Z. Michalewicz, Genetic Algorithms+Data Structures = Evolution Programs, Springer-Verlag, 1992

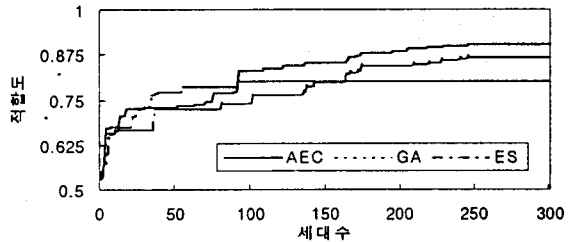


(a) 발전기 1의 각속도 응답

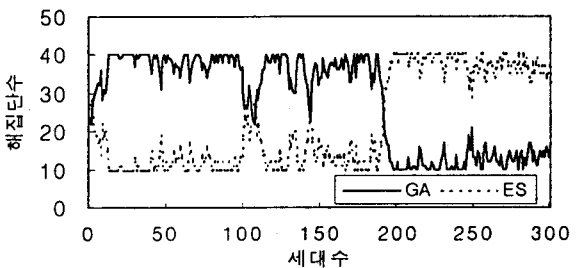


(b) 발전기 2의 각속도 응답

그림 6 3상 지락 고장시 발전기의 응답



(a) 적합도 추이



(b) GA, ES의 해집단 수

그림 7 적합도 추이 및 GA, ES의 해집단 수

[4] Robert Hinterding, "Gaussian Mutation and Self-adaption for Numeric Genetic Algorithms", IEEE International Conf. on Evolutionary Computation, 1995
 [5] R. Hinterding, Z. Michalewicz and A. E. Eiben, "Adaptation in Evolutionary Computation: A Survey", IEEE International Conf. on Evolutionary Computation, 1997