

PC 클러스터 기반 병렬 PSO 알고리즘을 이용한 전력계통의 상태추정

정희명\*, 박준호\*, 이화석\*\*  
 부산대학교\*, 동의과학대학\*\*

Power System State Estimation Using Parallel PSO Algorithm based on PC cluster

Hee-Myung Jeong\*, June Ho Park\*, Hwa-Seok Lee\*\*  
 Pusan National University\*, Dong-Eui Institute of Technology\*\*

**Abstract** - For the state estimation problem, the weighted least squares (WLS) method and the fast decoupled method are widely used at present. However, these algorithms can converge to local optimal solutions. Recently, modern heuristic optimization methods such as Particle Swarm Optimization (PSO) have been introduced to overcome the disadvantage of the classical optimization problem. However, heuristic optimization methods based on populations require a lengthy computing time to find an optimal solution.

In this paper, we used PSO to search for the optimal solution of state estimation in power systems. To overcome the shortcoming of heuristic optimization methods, we proposed parallel processing of the PSO algorithm based on the PC cluster system. The proposed approach was tested with the IEEE-118 bus systems. From the simulation results, we found that the parallel PSO based on the PC cluster system can be applicable for power system state estimation.

1. 서 론

전력계통 상태추정은 현재 EMS내에서 전력계통의 안정된 운영을 위하여 사용되는 중요한 기본 기능의 하나가 되었다[1-4]. 상태추정의 주요 기능은 측정데이터로부터 에러를 여과하고 계통의 상태를 추정함으로써 현재 계통에 대한 정확한 데이터베이스를 구축하는 것으로 그 동안 다양한 연구와 개발이 이루어져 왔다[5-7].

현재 전력계통의 상태추정은 Newton 방법에 의한 반복적 수렴방법으로 이용하여 해를 찾고 있다. 그러나 이러한 수치적 기법은 지역최적해에 수렴할 수 있는 단점을 가지고 있다. 현대의 heuristic 알고리즘인 Particle Swarm Optimization (PSO)는 이러한 비선형 최적화 문제에 효과적이다.[8]. 그러나 이러한 군집형 알고리즘은 전역최적해를 찾는 계산시간이 오래 걸리는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 PSO 알고리즘을 전력계통의 상태추정 문제에 적용하였고 heuristic 방법들의 문제점을 극복하기 위해 PC 클러스터 기반 병렬 PSO 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 IEEE-118모선 시스템에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과를 검증하였다.

2. 전력계통의 상태추정

2.1 전력계통의 상태추정 정식화

수학적으로 전력계통의 상태추정은 상태변수, 즉 전압의 크기와 위상각에 대하여 잔류편차의 합을 최소화하는 최적화 문제로 수식화 할 수 있다. 측정오차가 포함된 측정치와 상태벡터와의 상관관계를 식으로 나타내면 식(1)과 같은 비선형 함수로 나타낼 수 있다.

$$Z = f(X) + e \tag{1}$$

여기서,  $Z$  :  $m \times 1$  측정벡터

$X$  :  $n \times 1$  상태벡터

$e$  :  $m \times 1$  측정오차벡터, 평균이 0이고 분산이  $\sigma^2$  인 정규분포

$f(X)$  : 상태벡터에 의해 계산된 추정값

$m$  : 측정데이터의 개수

$n$  : 상태변수의 개수

가중최소자승법을 이용한 상태추정의 목적함수는 식(2)와 같

다.

$$J(X) = \frac{1}{2} [Z - f(X)]^T R^{-1} [Z - f(X)] \tag{2}$$

3. 병렬 PSO 알고리즘을 이용한 전력계통의 상태추정

3.1 PSO 알고리즘 개요

Particle Swarm Optimization(PSO)는 새로운 진화연산기법의 일종으로 물고기의 떼(schooling)와 조류의 무리(flocking)와 같은 조직체의 행위에 관한 연구에서 동기가 유발되었다[8]. PSO의 특징은 알고리즘이 간단하고, 구현하기 쉬우며, 계산시간이 짧으며 다른 휴리스틱 알고리즘과는 달리 PSO 탐색공간에서 전역해와 국부해 사이를 균형있게 탐색함으로써 조기 수렴하는 것을 극복 할 수 있다는 점이다.

각 개체는 현재의 위치 벡터와 속도 벡터 및  $Pbest$ ,  $Gbest$ 를 이용해서 식 (3a)에 의해 이동을 하게 된다. 각 개체의 위치벡터 수정은 현재의 위치와 수정된 속도를 이용해서 식 (3b)과 같이 갱신된다.

$$v_i^{k+1} = w \cdot v_i^k + c_1 \cdot rand_1(P_{best} - s_i^k) + c_2 \cdot rand_2(G_{best} - s_i^k) \tag{3a}$$

$$s_i^{k+1} = s_i^k + v_i^{k+1} \tag{3b}$$

여기서,  $v_i^k$  :  $i$  번째 현재 개체의 속도 벡터

$s_i^k$  :  $i$  번째 현재 개체의 위치 벡터

$v_i^{k+1}$  :  $i$  번째 수정된 개체의 속도 벡터

$s_i^{k+1}$  :  $i$  번째 수정된 개체의 위치 벡터

$N$  : 개체의 총 수

$w$  : 관성 가중치(inertia weight)

$c_1, c_2$  : 가속 상수(acceleration constant)

$P_{best}$  :  $i$  번째 개체가 지금까지 탐색 중 발견한 최적의 위치벡터

$G_{best}$  : 전체 개체가 지금까지 탐색 중 발견한 최적의 위치 벡터

$k = 1, 2, \dots, N$

3.2 병렬 PSO 알고리즘 개요

일반적으로 해집단 탐색을 토대로 하는 진화연산기법에서 해집단의 크기는 탐색성능에 직접적인 영향을 미치는 중요 파라미터중의 하나이다. 해집단이 클 경우 좋은 탐색성능을 기대할 수 있지만, 상대적으로 많은 연산시간이 소요되는 단점이 있다.

본 논문에서는 동일한 수준의 탐색성능을 유지하면서 연산시간을 단축하기위해서 병렬 PSO 알고리즘을 제안하고 이를 PC 클러스터 시스템을 이용하여 병렬화 하였다. 병렬 PSO는 해집단을 여러 개의 서브 해집단으로 나누고 서로 인접한 서브 해집단과 정보를 교환하는 링 구조로 되어있다. 이들 서브 해집단들은 각각 독립적으로 탐색을 수행하고, 수행된 탐색정보를 인근 해집단과 상호 교환함으로써 탐색성능의 저하없이 연산시간을 단축할 수 있다.

3.3 PC 클러스터 시스템 구축

PC 클러스터 시스템이란 다수의 PC 또는 workstation을 고속 네트워크로 연결하여 하나의 컴퓨팅 시스템으로 사용하는 것으로 고성능 또는 고가용성을 얻을 수 있도록 하는 기술을 말한다. 이러한 클러스터 시스템은 일반 PC를 이용함으로써 저렴한 가격에 쉽게 구입하여 이용할 수 있으며, 기존의 병렬형 슈퍼컴퓨터

보다 수배에서 수십 배 작은 비용으로 동일한 성능의 시스템 구성이 가능하여 가격 대 성능비가 우수하다.

본 논문에서 사용하기 위해 구축한 것은 Gigabit ethernet 방식의 8-node PC 클러스터 시스템이다. 표 1은 PC 클러스터 시스템 상세 내역을 나타낸다.

〈표 1〉 PC 클러스터 시스템

CPU	Intel Core2 Duo 2.33GHz
Main Board	GA-P35-DS3
Chipset	Intel P35 chipset
RAM	DDR RAM 1 GB
NIC	Realtek RTL 8168/8111 PCI-E Gigabit Ethernet
Network Switch	3Com 3C16478 Switch
Operating System	Window 2000 Server, Window 2000 Pro
MPI Library	MPICH 1.2.5
Compiler	Visual C++ 6.0

### 3.4 제안한 전력계통의 상태추정

단계1) 입력데이터

- 계통구성, 선로데이터, 측정데이터

단계2) 초기화

- 각 모션 전압크기와 위상각을 갖는 상태벡터 해집단을 랜덤 생성

단계3) 병렬 PSO를 이용한 전력계통의 상태추정 연산

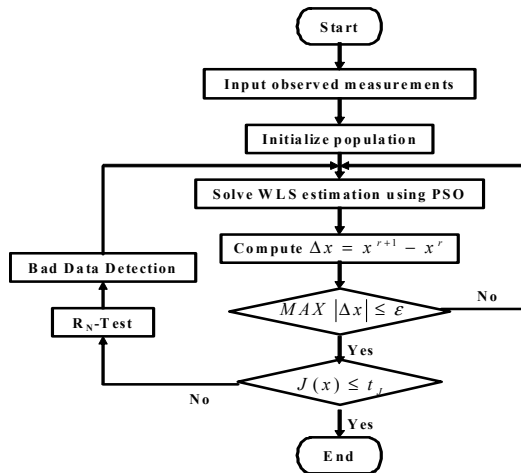
단계4) 수렴조건

- 상태변수의 최대변화량이 0.001보다 작거나 최대반복회수 도달 시

단계5) 불량데이터 처리

- 카이자승법과 정규화 잉여오차법을 사용

제안한 방법을 이용한 전력계통의 상태추정 흐름도를 그림 1에 나타내었다.



〈그림 1〉 PSO를 이용한 전력계통의 상태추정 흐름도

## 4. 사례 연구

### 4.1 대상계통 : IEEE-118 모션

본 논문에서 제안한 병렬 PSO 알고리즘을 이용한 전력계통 상태추정해법의 유용성을 입증하기 위하여 IEEE-118 모션 계통에 적용하였다. 사례계통은 716개의 측정데이터, 즉 선로 유,무효전력을 사용하였으며 235개의 상태변수를 가진다. 선로데이터를 이용하여 각 모션의 전압크기 및 각 모션의 위상각을 계산하였고 그 계산된 상태변수를 이용하여 각 선로의 양끝에서의 유, 무효전력을 계산하고 표준편차가 0.01인 정규랜덤오차를 포함시켜 상태추정을 위한 실측정치로 가정하였다. PSO알고리즘에 사용한 파라메타 값을 표 2에 나타내었다.

〈표 2〉 시뮬레이션 파라메타 개수

세대 수	1000회	서브해집단 수	8개	$w_{min}$	0.4
해집단 수	80개	$c_1, c_2$	2.0	$w_{max}$	0.9

표 3은 IEEE-118 모션 계통에 대한 전력계통의 상태추정을 PSO 알고리즘을 이용한 검토결과를 나타내고 있다. 1대를 사용한 PSO의 최적 목적함수값은 487.9이고 8대를 이용한 병렬 PSO의 최적 목적함수값은 486.5이다. 두 경우 모두 거의 비슷한 값의 해를 가진다. 즉 최적해를 찾는 데 같은 성능을 보임을 알 수 있다. 그리고 연산시간은 1대의 프로세서를 사용한 경우 82.7초, 8대인 프로세서를 사용한 경우 17.2초가 소요되었다. 그 결과 병렬 PSO를 사용한 경우 더 짧은 연산시간을 가진다. 즉 본 논문에서 목적인 탐색성능의 저하없는 연산시간 단축을 확인할 수 있었다.

〈표 3〉 시뮬레이션 결과 요약

Method	No. of Processor	Computing time (sec)	Objective function
Single PSO	1	Min.: 72.6	Min.: 487.9
		Max.: 96.3	Max.: 522.4
		Ave.: 82.7	Ave.: 500.2
Parallel PSO	8	Min.: 13.8	Min.: 486.5
		Max.: 20.1	Max.: 528.4
		Ave.: 17.2	Ave.: 502.5

## 5. 결론

본 논문에서는 PSO 알고리즘을 이용한 전력계통 상태추정문제에 해집단 기반 heuristic 알고리즘의 시간단축을 위하여 PC 클러스터 시스템 기반 병렬 PSO 알고리즘을 제안하였다. 그 유용성을 입증하기 위해 IEEE-118 모션 상태추정문제에 적용하였으며 그 결과 전력계통의 상태추정문제에 병렬 PSO 알고리즘을 이용한 경우 동일한 성능을 보여주면서 연산시간 단축효과를 확인할 수 있었다. 그러므로 전력계통의 상태추정문제에 병렬 PSO를 이용한 경우 실시간의 적용가능성을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행된 과제(R-2005-7-064)임.

### 참고 문헌

- [1] F. C. Schweppe, J. Wildes and D. P. Rom, "Power System Static State Estimation", part 1, 2, and 3, *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-89, pp. 120-135, 1970.
- [2] J. F. Dopazo, O. A. Klitkin, G. W. Stagg and L. S. Van Slyck, "State Calculation of Power System from Line Flow Measurements", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-89, pp. 1698-1708, 1970.
- [3] T. Dy Liacco, "The Role and Implementation of State Estimation in an Energy Management System", *Electric Power and Energy Systems*, Vol. 12, No. 2, pp. 75-79, 1990.
- [4] F. Wu, "Power System State Estimation: A Survey", *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 12, No. 2, pp. 80-87, 1990.
- [5] L. Holten, et al., "Comparison of Different Methods for State Estimation", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 3, No. 4, pp. 556-564, 1990.
- [6] A. Monticelli and A. Garcia, "Fast Decoupled State Estimator", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 5, No. 4, pp. 556-564, 1990.
- [7] A. Abur and M. Celik, "A Fast Algorithm for the Weighted Least Absolute Value State Estimation", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 6, pp. 1-8, 1992.
- [8] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", *Proceedings of IEEE international Conference on Neural Networks (ICNN '95)*, Vol. 4, pp.1942-1948, 1995.