

Ćwiczenie SI.07
ESTYMACJA ROCZNYCH OBCIĄŻEŃ SZCZYTOWYCH STACJI SN/nn
ZA POMOCĄ ALGORYTMU PSO

1. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Podstawowym celem tego ćwiczenia jest nabycie praktycznych umiejętności w zakresie „strojenia” algorytmu PSO w zadaniu estymacji rocznych obciążeń szczytowych stacji transformatorowych SN/nn. W celu przeprowadzenia odpowiednich eksperymentów obliczeniowych wykorzystuje się program komputerowy o nazwie Estym.

2. WPROWADZENIE TEORETYCZNE

Algorytmy optymalizacji roju cząstek (algorytmy stadne), znane w literaturze jako Particle Swarm Optimization (PSO) [1, 2], są związane z próbą matematycznego zamodelowania zachowania (ruchu) roju (zbiorowiska, zbioru, stada) organizmów żywych. Pod nazwą rój (zbiorowisko, stado) rozumiane jest skupisko zwierząt, które przemieszczają się wspólnie z jednego miejsca na drugie w celu znalezienia pożywienia bądź uniknięcia zagrożenia ze strony drapieżników. Są to przykładowo stada ptaków bądź ławice ryb. Pojęcie roju (swarm), które występuje w nazwie metody PSO, zaproponował Millonas [3].

Zmiana położenia cząsteczki jest efektem realizacji pewnego kompromisu polegającego na uwzględnieniu [1]:

- jej dotychczasowego (aktualnego) położenia,
- jej dotychczas najlepszego znalezionej położenia,
- dotychczas najlepszego znalezionej położenia jej sąsiadów.

Kompromis ten można wyrazić równaniem [1]:

$$v_k^{t+1} = c_1 r_1 v_k^t + c_2 r_2 (y_k^t - x_k^t) + c_3 r_3 (y_k^{*t} - x_k^t) \quad (1)$$

$$x_k^{t+1} = x_k^t + v_k^{t+1} \quad (2)$$

gdzie: v_k^t – k -ta składowa (współrzędna) prędkości cząsteczki w chwili t ; x_k^t – k -ta składowa (współrzędna) położenia cząsteczki w chwili t ; y_k^t – k -ta składowa (współrzędna) najlepszego znalezionej położenia danej cząsteczki dla chwili t ; y_k^{*t} – k -ta składowa (współrzędna) najlepszego znalezionej położenia sąsiadów cząsteczki dla chwili t ; c_1, c_2, c_3 –

współczynniki wagowe określające wpływ każdego z trzech elementów składowych równania (1); r_1, r_2, r_3 – liczby pseudolosowe z przedziału $<0, 1>$.

Równanie (1) w zmienionej postaci – wykorzystywanej w ćwiczeniu – może przyjąć postać

$$v_k^{t+1} = c_0 r_0^t v_k^t + c_1 r_1^t (y_k^t - x_k^t) + c_2 r_2^t (y_k^{p^{*t}} - x_k^t) + c_3 r_3^t (y_k^{n^{*t}} - x_k^t) \quad (3)$$

gdzie:

$r_0^t, r_1^t, r_2^t, r_3^t$ – liczby pseudolosowe z przedziału $<0, 1>$; $y_k^{p^{*t}}$ – k -ta współrzędna najlepszego znajdującego do tej pory położenia (ze wszystkich cząsteczek we wszystkich iteracjach); $y_k^{n^{*t}}$ – k -ta współrzędna najlepszego znajdującego w poprzedniej iteracji położenia wśród sąsiadów danej cząsteczki; c_0 – współczynnik wagowy określający wpływ prędkości własnej cząsteczki na jej prędkość w kolejnej iteracji; c_1 – współczynnik wagowy określający wpływ najlepszego dotychczas położenia danej cząsteczki na jej prędkość w kolejnej iteracji; c_2 – współczynnik wagowy określający wpływ najlepszego znajdującego do tej pory położenia wśród wszystkich cząsteczek populacji na prędkość danej cząsteczki w kolejnej iteracji; c_3 – współczynnik wagowy określający wpływ najlepszego znajdującego w poprzedniej iteracji położenia wśród sąsiadów danej cząsteczki na jej prędkość w kolejnej iteracji.

Pozostałe parametry procesu optymalizacyjnego przedstawiają się następująco:

- liczba cząsteczek w roju,
- liczba iteracji, którym będzie podlegać rój cząsteczek,
- liczba iteracji między zakłóceniami – liczba iteracji, po których jest dokonywane zakłócenie prędkości cząsteczek (w stosunku do prędkości wynikającej ze wzoru (3)),
- szerokość sąsiedztwa – promień obszaru sąsiedztwa (liczba pozycji na liście cząsteczek od pozycji danej cząsteczki), w którym będzie poszukiwany najlepszy sąsiad danej cząsteczki.

3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Podstawą szeregu obliczeń technicznych i ekonomicznych jest estymacja obciążeń, a w szczególności estymacja obciążeń szczytowych rocznych elementów sieci elektroenergetycznej.

W dalszej części przedstawia się zastosowanie algorytmów PSO w zadaniu estymacji obciążeń szczytowych rocznych stacji transformatorowych SN/nn [4].

Podstawą wykonywanych obliczeń estymacyjnych są w tym przypadku dane o zużyciu energii dla poszczególnych grup odbiorców zasilanych ze stacji SN/nn oraz dane o mocach szczytowych zmierzonych w tych stacjach. Zarówno pomiary zużycia energii jak i pomiary mocy szczytowych w stacjach powinny być wykonywane dla losowo wybranej (reprezentatywnej) grupy stacji transformatorowych SN/nn, zasilających różnorodne typy odbiorców, w okresie szczytu jesienno-zimowego.

Celem procesu estymacyjnego jest znalezienie odpowiedniej zależności funkcyjnej między mocą szczytową roczną rozpatrywanej stacji SN/nn, a energią zużytą przez odbiorców zasilanych z tej stacji w czasie szczytu jesienno-zimowego, tj. w miesiącach: listopad, grudzień, styczeń i luty.

3.1. Modele matematyczne

Można przedstawić kilka różnych modeli matematycznych problemu estymacyjnego. W trakcie ćwiczeń laboratoryjnych zostaną zbadane trzy następujące modele [4]:

Model A

Model ten wykorzystuje formułę używaną w teorii estymacji Bayesowskiej, w której poszukuje się wartości współczynników a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 w następującej zależności

$$P_{Ek} = a_0 + a_1 \cdot A_{GDk} + a_2 \cdot A_{UPk} + a_3 \cdot A_{Pk} + a_4 \cdot A_{OUk} \quad (4)$$

Model B

W tym modelu używa się z kolei wzoru Velandera, dla którego należy znaleźć wartości współczynników $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$ w następującej formule

$$P_{Ek} = a_1 \cdot A_{GDk} + a_2 \cdot A_{UPk} + a_3 \cdot A_{Pk} + a_4 \cdot A_{OUk} + \\ + a_5 \cdot \sqrt{A_{GDk}} + a_6 \cdot \sqrt{A_{UPk}} + a_7 \cdot \sqrt{A_{Pk}} + a_8 \cdot \sqrt{A_{OUk}} \quad (5)$$

Model C

Model ten stanowi połączenie modelu A i B. Estymacja polega w tym przypadku na znalezieniu współczynników $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$ w następującym równaniu

$$P_{Ek} = a_0 + a_1 \cdot A_{GDk} + a_2 \cdot A_{UPk} + a_3 \cdot A_{Pk} + a_4 \cdot A_{OUk} + \\ + a_5 \cdot \sqrt{A_{GDk}} + a_6 \cdot \sqrt{A_{UPk}} + a_7 \cdot \sqrt{A_{Pk}} + a_8 \cdot \sqrt{A_{OUk}} \quad (6)$$

We wzorach (4) – (6) wprowadzone zostały następujące oznaczenia:

P_{Ek} – wyestymowana moc szczytowa 15 minutowa w okresie szczytu jesienno-zimowego dla k -tej stacji transformatorowej SN/nn,

- A_{GDk} – energia elektryczna zużyta przez odbiory komunalno-bytowe w szczycie jesienno-zimowym, zasilane z k -tej stacji transformatorowej SN/nn,
- A_{UPk} – energia elektryczna zużyta przez odbiory użyteczności publicznej w szczycie jesienno-zimowym, zasilane z k -tej stacji transformatorowej SN/nn,
- A_{Pk} – energia elektryczna zużyta przez drobne odbiory przemysłowe w szczycie jesienno-zimowym, zasilane z k -tej stacji transformatorowej SN/nn,
- A_{OUk} – energia elektryczna zużyta przez system oświetlenia ulicznego w szczycie jesienno-zimowym, zasilany z k -tej stacji transformatorowej SN/nn.

Zaprezentowane modele A, B, C można skorygować wprowadzając odpowiedni współczynnik korekcyjny a_9 . Współczynnik ten pozwala uzależnić moc wyestymowaną P_{Ek} od całkowitej liczby odbiorców energii elektrycznej N_k , zasilanych z rozważanej k -tej stacji transformatorowej SN/nn. Skorygowaną wartość mocy szczytowej rocznej P_{Esk} wyznacza się z następującego wzoru

$$P_{Esk} = (1 + a_9 \cdot \sqrt{N_k}) \cdot P_{Ek} \quad (7)$$

Modele A, B i C, które uwzględniają współczynnik korekcyjny a_9 , oznaczają się odpowiednio: As, Bs i Cs.

3.2. Funkcja celu

Podstawowym wskaźnikiem jakości procesu estymacji (funkcją celu) jest błąd e^2 , będący sumą kwadratów błędów dla poszczególnych stacji SN/nn, określony zależnością (8). Celem estymacji jest znalezienie wartości współczynników we wzorach (4) – (7), aby zminimalizować wartość tego błędu w reprezentatywnej próbie stacji SN/nn.

$$e^2 = \sum_{k=1}^n (P_{Mk} - P_{Ek})^2 \quad (8)$$

gdzie:

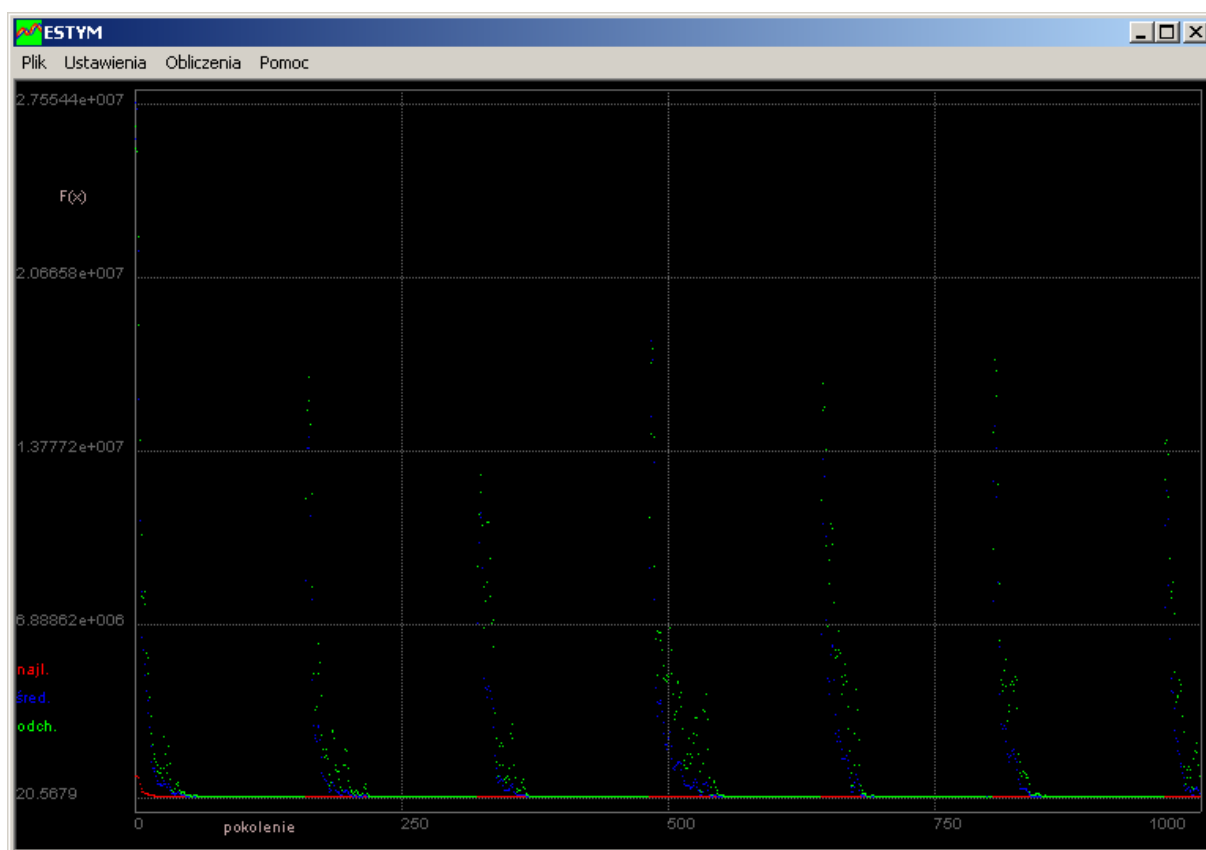
- P_{Mk} – 15 minutowa moc szczytowa zmierzona w szczycie jesienno-zimowym w k -tej stacji transformatorowej SN/nn,
- n – liczba stacji w losowo wybranej próbie stacji transformatorowych SN/nn.

4. PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie ćwiczenia każdy zespół laboratoryjny w sposób praktyczny poznaje zagadnienia związane ze „strojeniem” algorytmu PSO w zadaniu estymacji obciążeń szczytowych stacji transformatorowych SN/nn.

W ramach przeprowadzanych eksperymentów, należy dokonać doboru odpowiednich wartości parametrów algorytmu PSO, zgodnie z propozycjami prowadzącego zajęcia. Głównym celem prowadzonych eksperymentów jest taki dobór wszystkich analizowanych parametrów, które zapewnią uzyskanie najlepszego minimum funkcji celu. Dodatkowo, należy obserwować zachowania algorytmu PSO w trakcie procesu jego „strojenia”.

W celu przeprowadzenia obliczeń estymacyjnych wykorzystuje się program Estym [5]. W programie tym znajduje się moduł funkcyjny, który przeprowadza obliczenia optymalizacyjne w oparciu o algorytm PSO. Główne okno programu z przykładowym przebiegiem procesu poszukiwania rozwiązania optymalnego zostało przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Główne okno programu Estym

Parametry Alg. Ewolucyjnego i PSO

50 Liczba osobników (cząstek) w populacji (max 200)

1000 Liczba pokoleń (iteracji) (max 60000)

Parametry Algorytmu Ewolucyjnego

0.2 Prawdopodobieństwo krzyżowania

0.05 Prawdopodobieństwo mutacji

☐ Skalowanie funkcji przystosowania

☐ Strategia elitarystyczna

Parametry PSO

1.7 c0 - współczynnik aktualnej prędkości cząstki

0.1 c1 - wsp. najlepszego położenia danej cząstki

0.1 c2 - wsp. najl. poł. najlepszej cząstki

0.1 c3 - wsp. najl. poł. cząstki z sąsiedztwa

160 liczba iteracji pomiędzy zakłóceniami

10 szerokość sąsiedztwa

OK Cancel

Rys. 2. Okno dialogowe do wyboru parametrów algorytmu PSO

Na rys. 2 pokazane zostało okno dialogowe pozwalające na dobór odpowiednich wartości parametrów algorytmu PSO. Są to:

- liczba cząsteczek (maksymalnie 200),
- liczba iteracji algorytmu PSO (maksymalnie 60000),
- wartości współczynników c_0, c_1, c_2, c_3 ,
- liczba iteracji między zakłóceniami prędkości cząsteczek,
- szerokość sąsiedztwa.

Szczegółowy sposób obsługi programu Estym zostanie omówiony przez prowadzącego zajęcia.

5. WARUNKI ZALICZENIA ĆWICZENIA

Podstawą do zaliczenia ćwiczenia jest przeprowadzenie zadanych przez prowadzącego eksperymentów badawczych oraz przedłożenie związanego z nimi sprawozdania.

W sprawozdaniu w szczególności należy zamieścić:

- opis realizowanego zadania,
- szczegółowy opis wykonywanych badań dla zadanych modeli matematycznych,
- charakterystykę uzyskanych rezultatów – w formie tabelarycznej i wykresowej; wskazane jest pokazanie uzyskanych błędów estymacji,
- wnioski dotyczące wpływu badanych modeli matematycznych oraz wartości parametrów algorytmu PSO na uzyskiwane wyniki procesu optymalizacyjnego.

LITERATURA POMOCNICZA

1. Trojanowski K., Metaheurystyki praktycznie. Wydanie 2 poprawione. Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Warszawa, 2008.
2. Kennedy J., Eberhart R. C., Particle Swarm Optimization, Proc. of IEEE Int. Conf. on Neural Networks (ICNN'95), vol. 4, pp. 1942-1948. IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 1995.
3. Millonas M. M., Artificial Life III (Swarms, phase transitions and collective intelligence), pp. 417-445, Addison-Wesley, Reading, MA, 1994.
4. Baczyński D., Bielecki S., Parol M., Piotrowski P., Wasilewski J., Sztuczna inteligencja w praktyce. Laboratorium. Praca zbiorowa pod redakcją Mirosława Parola i Pawła Piotrowskiego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2008.
5. Baczyński D., Parol M., Estym. Program do estymacji obciążeń szczytowych rocznych stacji transformatorowych SN/nn, Instytut Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2010.