

Algorytmy stadne w optymalizacji strukturalnej systemów niezawodnościowych

Streszczenie. W artykule przedstawiono zastosowanie algorytmów pszczeleli i świetlika do wyznaczenia optymalnej struktury serwisu technicznego, w celu zapewnienia jego niezawodności oraz zminimalizowania kosztów związanych z jego funkcjonowaniem. Przedstawiono i porównano wyniki badań dla wybranych wygenerowanych problemów.

Abstract. This paper present the use of bee algorithms and firefly algorithm to determine the optimal structure of technical service, in order to ensure its reliability and to minimize the costs associated with its operation. The results of experiments for generated test instances are presented. (*Swarm algorithms in structural optimization of reliability systems*).

Słowa kluczowe: optymalizacja strukturalna, algorytmy pszczele, algorytm świetlika.

Keywords: structural optimization, bee algorithms, firefly algorithm.

doi:10.12915/pe.2014.06.37

Wstęp

Wiele problemów optymalizacyjnych wymaga efektywnych algorytmów, które łatwo można dostosować do istniejących ograniczeń, bez względu na rozmiar przestrzeni rozwiązań. Trwają więc ciągle poszukiwania takich technik, które w rozsądnym czasie obliczeń poszukują globalnych rozwiązań. Jedną grupę stanowią metaheurystyki inspirowane przez naturę, które coraz częściej stosowane są do rozwiązywania wielu zagadnień optymalizacyjnych. Natura w sposób doskonały wykształciła mechanizmy, które pozwoliły osobnikom danego gatunku przystosować się do panujących warunków środowiskowych. Jednym z nich jest formowanie się osobników w stada, celem przetrwania danego gatunku, eksploracji terenu, bezpiecznego poruszania się czy zdobycia pożywienia. Do tego typu metod należą opracowane w ciągu ostatnich kilku lat algorytmy pszczele [1, 2] i algorytm świetlika [3-5]. Należy jednak wspomnieć, że prace dotyczące symulacji roju pszczoł powstawały już na przełomie lat 70-tych i 80-tych ubiegłego wieku [6].

Rozwój techniki oraz automatyzacja wielu procesów powoduje, że maszyny coraz częściej wykonują prace, które nie tak dawno wykonywał pracownik. Rośnie więc liczba urządzeń, które wymagają przeglądów czy napraw. Tego typu działania stanowią jeden z głównych obszarów zainteresowań osób odpowiedzialnych m.in. za serwis techniczny, którzy dążą do optymalizacji czasu eksploatacji urządzeń, zaś w przypadku awarii – do jej szybkiej identyfikacji i usunięcia. Jednym z ważnych problemów osób zarządzających danym przedsiębiorstwem jest dobranie odpowiedniej liczby pracowników serwisu, którzy doskonale poradzą sobie ze wszystkimi problemami dotyczącymi urządzeń, co z kolei zapewni również ich niezawodność i jakość. Również w sektorze energetycznym, wzrastające zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz stawiane wymagania odnośnie niezawodności zasilania wymagają optymalnych decyzji eksploatacyjnych i diagnostycznych [7].

Z pomocą przychodzą systemy i sieci kolejkowe dostarczające potężnego narzędzia, które pozwala scharakteryzować proces obsługi, ocenić jakość pracy badanego systemu oraz podjąć optymalne decyzje odnośnie jego struktury, w celu usprawnienia organizacji obsługi [8-10]. Istotnym składnikiem ponoszonych kosztów są środki finansowe przeznaczone na utrzymanie odpowiedniej liczby pracowników. Dlatego też konieczna jest ich optymalizacja, która pozwoli zapewnić właściwą obsługę eksploatowanych urządzeń.

Metody inspirowane naturą, szerzej metody sztucznej inteligencji, do których zaliczamy m.in. algorytmy ewolucyjne i sieci neuronowe znajdują zastosowanie w wielu zagadnieniach związanych z elektroenergetyką [11-13].

Celem artykułu jest więc przedstawienie możliwości zastosowania wybranych algorytmów stadnych i teorii kolejek do wyznaczenia optymalnej liczby pracowników serwisu technicznego.

Algorytmy pszczele (BA)

Proces zdobywania nektaru przez rój pszczoł, które wykształciły różne techniki usprawniające komunikację między sobą dotyczącą lokalizacji i zasobności źródeł pożywienia, stanowi główną ideę algorytmu pszczelego. W celu przeszukania obszarów zasobnych w kwiatostany, pewna grupa pszczoł (tzw. zwiadowców) zostaje rozesłana w losowo wybranych kierunkach. Po zlokalizowaniu źródeł pożywienia wracają do ula i powiadamią pozostałe pszczoły o swoim najlepszym odkryciu, wykonując tzw. taniec pszczeleli, w trakcie którego przekazują podstawowe informacje o jakości nektaru, kierunku i odległości pożywienia od ula. Do miejsc, które stanowią potencjalne najobfitsze źródła nektaru, rozsyłane są pozostałe pszczoły. Im zasobniejsze jest dany obszar, tym więcej pszczoł jest tam posyłanych [1, 2].

Podstawową strukturę algorytmu pszczelego można przedstawić w kilku etapach [1, 2]:

Etap 1: Inicjalizacja parametrów algorytmu. Losowe wygenerowanie populacji n rozwiązań początkowych (pszczoł zwiadowców).

Etap 2: Obliczenie funkcji celu dla rozwiązań początkowych.

Etap 3: Dopóki nie jest spełniony warunek zakończenia obliczeń (np. zadana liczba iteracji) należy:

- wybrać m przeszukiwanych sąsiedztw, określić ich wielkość,
- przydzielić pszczoły do wybranych miejsc (liczba pszczoł np do najlepszych p miejsc),
- wyliczyć funkcję celu,
- wybrać najlepsze rozwiązanie (najlepszą pszczołę) dla każdego sąsiedztwa,
- przydzielić $n-m$ pozostałych pszczoł do przeszukiwania nowych miejsc i obliczyć wartości funkcji celu.

Etap 4: Jeśli spełniony jest warunek zakończenia obliczeń – należy wskazać najlepsze rozwiązanie ze wszystkich iteracji.

Każda iteracja algorytmu może być interpretowana jako wysłanie przez rój grupy zwiadowców mających na celu,

znalezienie jak najobfitszych zasobów. Wybranych jest n miejsc do przeszukania oraz m sąsiedztw, czyli zbiorów, z których potencjalnie uzyskane zostanie jeszcze lepsze rozwiązanie. Miejsca stanowiące lepsze rozwiązanie (p) są gęściej przeszukiwane (do każdego wysłane jest np pszczoł). W przypadku minimalizacji kosztów to wartość zasobów stanowi odwrotność wartości funkcji celu.

Algorytm świetlika (FA)

Idea algorytmu świetlika oparta jest na zachowaniu świetlików w oparciu o ich bioluminescencyjne sygnały, która stanowią element zalotów czy też sygnał ostrzegawczy. Wykorzystywana różnica w intensywności światła jest proporcjonalna do wartości funkcji celu. Każdy osobnik cechuje się pewną atrakcyjnością, która decyduje o kierunku poruszania się pozostałych. Jaśniejszy świetlik przyciąga do siebie pozostałe, co pozwala na efektywne badanie przestrzeni przeszukiwań. Wszystkie świetliki scharakteryzowane są poprzez intensywność światła skojarzoną z funkcją celu [3-5, 14]. Autor algorytmu świetlika X.S.Yang wprowadził trzy główne reguły [3]:

- Wszystkie świetliki są dla siebie tak samo atrakcyjne bez względu na płęć, poruszają się w kierunku atrakcyjniejszego i jaśniejszego,
- Atrakcyjność świetlików jest proporcjonalna do ich jasności świecenia, maleje wraz ze wzrostem odległości między świetlikami; jeśli wszystkie świetliki są tak samo atrakcyjne to poruszają się one losowo,
- Atrakcyjność każdego świetlika określa jego jakość rozwiązania.

Każdy świetlik posiada atrakcyjność β , którą można określić poprzez funkcję odległości między dwoma dowolnymi świetlikami:

$$(1) \quad \beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m}, \quad m \geq 1,$$

gdzie β_0 oznacza maksymalną atrakcyjność, zaś γ jest współczynnikiem absorpcji światła.

Odległość między dwoma świetlikami i oraz j w pozycjach x_i i x_j w przestrzeni d -wymiarowej można przedstawić w postaci:

$$(2) \quad r_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2}.$$

Ruch świetlika i jest określony jako suma jego bieżącej pozycji (x_i), atrakcyjności β i składnika używanego w przypadku losowego przemieszczania:

$$(3) \quad x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha(rand - 0,5),$$

gdzie $rand$ jest liczbą losową z zakresu $[0, 1]$, zaś $\alpha \in (0, 1)$. W większości przypadków $\beta_0 = 1$ i $\gamma = [0, 1, 10]$.

Ogólny schemat algorytmu jest następujący [3, 14]:

ETAP 1: Inicjalizacja parametrów algorytmu (n , β_0 , γ , liczba iteracji, α) oraz wygenerowanie populacji n świetlików. Zdefiniowanie funkcji celu $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)^T$

ETAP 2: Wyznaczenie intensywności światła. Intensywność światła i -tego świetlika I_i jest określona przez funkcję celu $f(x_i)$, im lepsze rozwiązanie reprezentuje dany świetlik tym mocniej świeci.

ETAP 3: Dla każdej generacji (iteracji) wykonuj:

dla $i = 1:n$

dla $j = 1:n$

Jeśli ($I_j > I_i$) przesun' świetlik i w kierunku świetlika według równania (3).

Wyznacz atrakcyjność wg (1).

Znajdź nowe rozwiązanie i uaktualnij intensywność

światła.

koniec dla j

koniec dla i

Ocena świetlików i znalezienie najlepszego z maksymalnym poziomem intensywności światła jako potencjalne optymalne rozwiązanie.

ETAP 4: Jeśli spełnione kryterium stopu to wskaż świetlika z najwyższą intensywnością światła, w przeciwnym przypadku – wróć do etapu 3.

Populacja początkowa świetlików generowana jest za pomocą zależności:

$$(4) \quad x_i = LB + rand \cdot (UB - LB),$$

przy czym LB i UB oznaczają dolną i górną granicę i – tego świetlika.

Zamknięty system kolejkowy modelujący pracę serwisu technicznego

Pracę serwisu technicznego można przedstawić w postaci zamkniętego systemu kolejkowego M/M/m/FIFO/N/F, który charakteryzuje się poissonowskim rozkładem przybyć sąsiednich zgłoszeń (usterek), wykładniczym rozkładem czasów obsługi zgłoszeń, liczbą kanałów obsługi (pracowników serwisu) wynoszącą m , kolejnością wybierania zgłoszeń do obsługi typu FIFO (pierwszy przychodzi, pierwszy obsłużony) oraz stałą liczbą identycznych maszyn (urządzeń) generujących zgłoszenia (N). Jeśli liczba zgłoszeń nie przekracza liczby pracowników to wszystkie zgłoszenia są obsługiwane bez oczekiwania w kolejce [8-10].

Prawdopodobieństwo stanu ustalonego, w którym nie ma żadnych zgłoszeń:

$$(5) \quad \pi_0 = \left[\sum_{i=0}^m \frac{N!}{i!(N-i)!} \rho^i + \sum_{j=m+1}^N \frac{N!}{m!(N-j)! m^{j-m}} \rho^j \right]^{-1}$$

Jednym z parametrów charakteryzujących system kolejkowy jest średnia liczba zgłoszeń w całym systemie wyrażona za pomocą następującej zależności:

$$(6) \quad \bar{K} = \pi_0 N! \left[\sum_{i=0}^m \frac{i}{i!(N-i)!} \rho^i + \sum_{j=m+1}^N \frac{j}{m! m^{j-m} (N-j)!} \rho^j \right],$$

gdzie ρ oznacza względną intensywność obsługi wyrażoną jako stosunek średniego natężenia strumienia zgłoszeń λ do parametru rozkładu czasu obsługi zgłoszenia μ .

W zależności od rozpatrywanej branży, różne maszyny, urządzenia, podmioty można zamodelować jako źródła zgłaszające usterkę. W przypadku przedsiębiorstwa elektroenergetycznego np. linie elektroenergetyczne powietrzne i kablowe czy też transformatory mogą być potraktowane jako grupa urządzeń [7].

Wyniki

Optymalizacja systemów kolejkowych jest problemem trudnym. Nie ma ogólnych metod gwarantujących znalezienie optymalnego rozwiązania dla tego typu zagadnień. W celu sformułowania zadania optymalizacji należy określić funkcję celu, ograniczenia oraz parametry, które będą zmiennymi decyzyjnymi. W teorii kolejek istnieje kilka podstawowych typów optymalizacji [8, 14]:

- minimalizacja kosztów dla danego strumienia zgłoszeń przychodzących poprzez zmianę współczynników czasu obsługi,

- maksymalizacji strumienia zgłoszeń przy ograniczonym koszcie (poprzez poszukiwanie współczynników obsługi),
- znalezienie optymalnej struktury (poszukiwana jest np. liczba kanałów obsługi, dla których koszty pracy są najmniejsze).

W przypadku optymalizacji rozpatrywanego systemu kolejkowego poszukiwana jest taka liczba kanałów obsługi (pracowników serwisu), która minimalizuje całkowite koszty działania systemu. Zakładając znane koszty obsługi r_1 oraz koszty wyłączenia z pracy urządzenia r_2 poszukiwana wartość funkcji kosztów wyrażona jest za pomocą zależności:

$$(7) \quad \min \rightarrow f(m) = r_1 m + r_2 \bar{K}.$$

W celu przeprowadzenia badań dotyczących zastosowania algorytmu świetlika i algorytmów pszczelich do rozwiązania przedstawionego problemu optymalizacji, przygotowane zostały instancje testowe. We wszystkich eksperymentach pozycja osobników (świetlika, pszczoły) jest zaokrąglona do najbliższej wartości całkowitej przy pomocy $\text{round}(x_i)$. Populacja świetlików wynosiła 30, liczba wykonywanych iteracji 100. Parametry algorytmu $\alpha = 0,1$, $\beta_0 = 0,1$, $\gamma = 1$. W przypadku algorytmów pszczelich wykorzystano 30 pszczoł, 5 sąsiedztw.

W tabeli 1 zestawiono wyniki przeprowadzonych eksperymentów, jeśli zmienną decyzyjną była liczba pracowników.

Tabela 1. Wyniki BA i FA dla poszukiwanych $m \in [1,50]$

M/M/m/FIFO/N/F, $r_1 = 1, r_2 = 4$						
λ	μ	N	$m = ?$	$f(m)$	Nr iteracji BA	Nr iteracji FA
1	1	4	3	11,1613	2	8
10	1	10	1	40,60	2	15
100	5	10	1	40,80	15	19
M/M/m/FIFO/N/F, $r_1 = 4, r_2 = 12$						
λ	μ	N	$m = ?$	$f(m)$	Nr iteracji BA	Nr iteracji FA
5	5	25	13	209,088	18	19
19	10	15	9	161,02	12	16

Wyniki pokazują, że algorytmy wykorzystane w niniejszym artykule, stanowią bardzo wydajne narzędzie, pozwalające wyznaczyć optymalne rozwiązanie. Dla każdego przypadku wykonano po 100 obliczeń. W niektórych przypadkach minimalna wartość poniesionych kosztów została uzyskana w ciągu 20 iteracji. Należy również zaznaczyć, że tego typu algorytmy mogą być stosowane do wyznaczania pozostałych parametrów charakteryzujących dany system obsługi, w tym również do wyznaczania optymalnej polityki likwidacji kolejki.

Podsumowanie

Z podobnymi sytuacjami mamy do czynienia w wielu przedsiębiorstwach, w których działa serwis techniczny. Jak pokazują eksperymenty, algorytmy pszczele i świetlika doskonale radzą sobie z rozwiązaniem problemu optymalizacji liczby pracowników.

Aby lepiej zamodelować funkcjonowanie takich zespołów, należałoby również uwzględnić predyspozycje

pracowników, stan techniczny urządzeń czy też warunki atmosferyczne, które wpływają na zmienność czasu wykonywania obsługi czy usunięcia awarii. Można uwzględnić dodatkowo nieprawidłową naprawę awarii, która powoduje straty czasowe i finansowe. W tym celu można stosować sieci kolejkowe z wieloma klasami zgłoszeń i przeprowadzać proces optymalizacji, przy wykorzystaniu algorytmów stadnych, co będzie przedmiotem dalszych badań.

LITERATURA

- [1] Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koc E., Otri S., Rahim S., Zaidi M., *The Bees Algorithm – A Novel Tool for Complex Optimisation Problems*. Technical Note, Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK, 2005.
- [2] Filipowicz B., Chmiel W., Kadłuczka P.: *Ukierunkowane przeszukiwanie przestrzeni rozwiązań w algorytmach rojowych*. Automatyka, półrocznik AGH, (2009), nr 13, t. 2.
- [3] Yang X.S., *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*. Luniver Press, 2008.
- [4] Yang X.S., Firefly algorithms for multimodal optimization. *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications, SAGA, Lecture Notes in Computer Sciences*, nr 5792 (2009), 169-178.
- [5] Łukasik S., Żak S., Firefly algorithm for continuous constrained optimization task. *Computational Collective Intelligence. Semantic Web, Social Networks and Multiagent Systems LNCS*, nr 5796 (2009), 97-106.
- [6] Migacz A., Tadeusiewicz R., The computer model of the bee colony, *System Science* nr 3 (1983), 83-95.
- [7] Moskwa Sz., Optymalizacja w diagnostyce urządzeń elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Praca doktorska, AGH, Kraków 2007 (niepublikowana).
- [8] Bolch G., Greiner S., Meer H., Trivedi K.S., *Queueing Networks and Markov Chains. Modeling and Performance Evaluation with Computer Science Applications*. John Wiley&Sons, Inc., 1998.
- [9] Czachórski T., *Modele kolejkowe w ocenie efektywności sieci i systemów komputerowych*. Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego, Gliwice, 1999.
- [10] Filipowicz B., *Modelowanie i optymalizacja systemów kolejkowych. Część I. Systemy markowskie*. Kraków 1999.
- [11] Gajer M., Zastosowanie techniki obliczeń ewolucyjnych w obszarze teorii obwodów elektrycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 6 (2011), 150-153.
- [12] Gajer M., Redukcja mocy termicznych strat przesyłowych z zastosowaniem algorytmu genetycznego, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 3a (2012), 129-130.
- [13] Tadeusiewicz R., O celowości zastosowania sieci neuronowych w problemach związanych z elektrotechniką, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 2 (2009), 200-211.
- [14] Kwiecień J., Filipowicz B., Firefly algorithm in optimization of queueing systems, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*, nr 60 (2012), 363-368.

Autorzy: dr inż. Joanna Kwiecień, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: kwiecien@agh.edu.pl; prof. dr hab. inż. Bogusław Filipowicz, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej, Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, E-mail: fil@agh.edu.pl.