

Edyta BRZYCHCZY
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

ZASTOSOWANIE ALGORYTMÓW EWOLUCYJNYCH W MODELOWANIU PRODUKCJI GÓRNICZEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono rozważania na temat możliwości wykorzystania algorytmów ewolucyjnych w modelowaniu produkcji górniczej. W treści zawarto krótkie wprowadzenie do teorii algorytmów ewolucyjnych i koncepcję metody centralnego planowania robót górniczych (CPRG). Wskazano kierunki badań nad wprowadzeniem algorytmów ewolucyjnych do wspomnianej metody.

AN APPLICATION OF EVOLUTIONARY ALGORITHMS IN MINE PRODUCTION MODELING

Summary. Article presents aspect of evolutionary algorithms application in modeling of mine production. Paper includes short introduction about evolutionary algorithms theory and conception of CPRG method. Main directs of research on possible application EA in proposed method are shown.

1. Wprowadzenie

Polskie przedsiębiorstwa górnicze węgla kamiennego od stosunkowo niedawna mają możliwość działania w warunkach gospodarki rynkowej. Aby zapewnić sobie egzystencję na rynku, muszą między innymi z odpowiednim wyprzedzeniem planować i jednocześnie optymalizować przyszłą produkcję tak, aby sprzedawane produkty spełniały wymagania nabywców w odniesieniu zarówno w stosunku do ich ilości, jak i jakości.

Wydobywanie kopalin systemem podziemnym jest procesem bardzo złożonym i kosztownym, zatem wszelkie działania podejmowane w celu określenia przyszłych wyników produkcyjnych powinny być opracowywane bardzo dokładnie i szczegółowo

w oparciu o rzetelne dane z różnych obszarów działalności przedsiębiorstwa, a także uwzględniać doświadczenia, jakie ono już posiada w zakresie prowadzonej eksploatacji.

Zmiany, jakie dokonały się w modelu kopalni dzięki działaniom restrukturyzacyjnym w obszarze techniczno-technologicznym (koncentracja wydobycia, uproszczenie struktury wyrobisk), wymagają od projektanta rozważnego planowania i obłożenia przyszłych robót górniczych z uwzględnieniem losowego charakteru procesu wydobywczego. Stąd też ze strony projektantów pojawiła się potrzeba posiadania nowoczesnych metod modelowania i optymalizacji przyszłej produkcji, umożliwiających planowanie przyszłych robót górniczych w zaistniałych warunkach, z uwzględnieniem aspektu niepewności i ryzyka związanego nieodzownie ze specyfiką działalności górniczej.

Narzędziem wspomagającym pojedynczą kopalnię węgla kamiennego w tym zakresie jest metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych z wykorzystaniem sieci stochastycznych (Magda 2003, Brzychczy 2005).

2. Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych

Zasadniczym elementem tej metody jest sieć stochastyczna, która poprzez swoją konstrukcję umożliwia m.in.:

- oddanie niepewności charakterystyk czynności poprzez wyrażenie ich rozkładami prawdopodobieństwa (np. czasu trwania robót górniczych),
- przedstawienie na jednym modelu sieciowym kilku możliwości prowadzenia danego projektu (np. różnych wariantów rozcięcia pola eksploatacyjnego, różnego wyposażenia robót),
- wyrażenie niepewności związanej z realizacją danego wariantu poprzez przypisanie prawdopodobieństwa wykonania poszczególnym czynnościom.

Zaawansowany model matematyczny umożliwia wykorzystanie dużej liczby informacji zgromadzonych w bazach danych różnego typu i opiera się m.in. na algorytmie obliczeń sieciowych, modelach ekonometrycznych oraz metodach taksonomicznych.

Każdy wariant charakteryzowany jest przez następujące wielkości:

- całkowitą wielkość wydobycia netto pochodzącą z robót górniczych w badanym okresie (dowolnie podanym przez projektanta),
- jednostkowy koszt sprzedanego węgla w badanym okresie,

- jednostkową wartość (przewidywaną cenę) węgla pochodzącego z prowadzonych robót górniczych w badanym okresie,
- wynik jednostkowy ze sprzedaży (akumulację jednostkową) w badanym okresie.

W metodzie przyjęto następujące alternatywne kryteria optymalizacji (wprowadzając warunek ograniczający obszar poszukiwań do rozwiązań, które charakteryzują wielkość produkcji zbliżoną do zapisanej w planie techniczno-ekonomicznym):

- minimalizacja wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla w badanym okresie,
- maksymalizacja wartości oczekiwanej wyniku jednostkowego ze sprzedaży w badanym okresie,

przy uwzględnieniu minimalizacji odchyień standardowych tych charakterystyk.

W efekcie przeprowadzonych obliczeń projektant otrzymuje wybrany (poprzez procedurę optymalizacji) wariant wraz z harmonogramem wszystkich robót górniczych.

2.1. Metoda CPRG

Przedstawiona w punkcie 2 metoda została opracowana jako narzędzie dla pojedynczej kopalni, stąd obecnie prowadzone są prace nad nową metodą przystosowaną na potrzeby centralnego planowania robót górniczych w wielozakładowym przedsiębiorstwie górniczym (CPRG), która będzie wykorzystywać między innymi algorytmy ewolucyjne.

Do głównych kierunków badań w zakresie metody CPRG należą:

- zdefiniowanie podstawowych obiektów i ich hierarchizacja,
- implementacja algorytmu ewolucyjnego, ułatwiającego generowanie wariantów prowadzenia robót górniczych,
- opracowanie odpowiedniego algorytmu obliczeń,
- sprawdzenie możliwości wielokryterialnej oceny wariantów prowadzenia robót górniczych z wykorzystaniem algorytmów ewolucyjnych,
- udoskonalenie zarządzania harmonogramem produkcji.

W efekcie przeprowadzonych działań skonstruowana metoda będzie mogła wspomóc planowanie robót górniczych w wielozakładowym przedsiębiorstwie górniczym.

3. Wstęp do algorytmów ewolucyjnych

Z przeprowadzonego przeglądu literatury wynika, że algorytmy ewolucyjne (AE) po latach wróciły do powszechnego stosowania w różnych gałęziach nauki i praktyki. Powodem szerokiego zainteresowania nimi jest prostota algorytmu wzorowanego na zachowaniach się populacji różnych organizmów w środowisku nas otaczającym, a także niewątpliwie szybki rozwój technik informatycznych i osiągnięcie dość dużej mocy obliczeniowych, nawet na komputerach klasy PC.

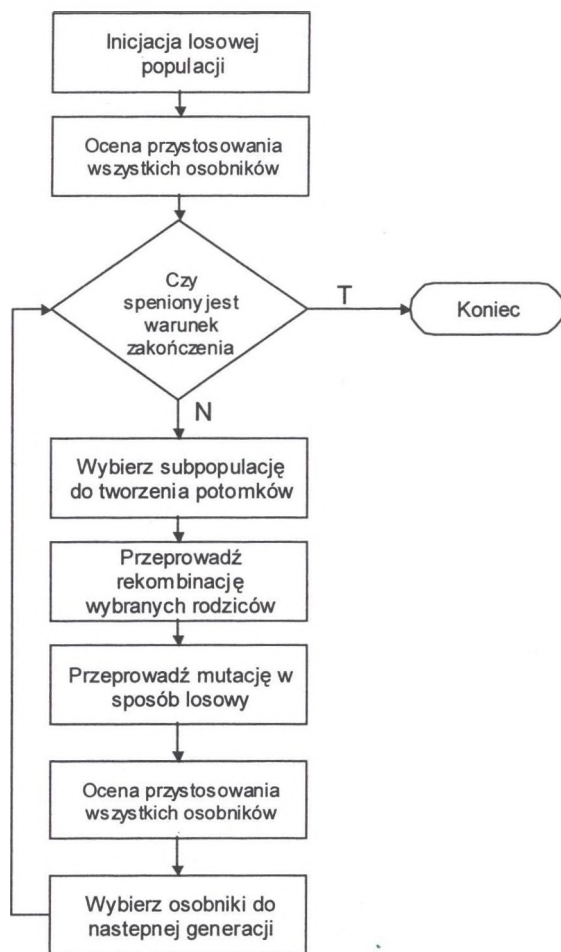
Pod pojęciem algorytmów ewolucyjnych (EA) rozumie się komputerowe systemy rozwiązywania problemów, które działają na zasadach, jakie można zaobserwować w ewolucji żywych organizmów. Zasady te dotyczą struktury systemów a także sposobu ich funkcjonowania. Do dziedziny EA zalicza się zazwyczaj następujące metody (Pawlak, 1999):

- algorytmy genetyczne,
- programowanie ewolucyjne,
- strategie ewolucyjne,
- systemy klasyfikatorowe,
- programowanie genetyczne.

Cechą charakterystyczną tych metod jest tworzenie populacji osobników. W naturze osobnikami są żywe organizmy, natomiast w EA osobnikami są zazwyczaj łańcuchy znaków (określane mianem chromosomów) bądź inne struktury (macierze, harmonogramy). Każdy osobnik wykazuje pewne przystosowanie do populacji. W EA wyższą miarę przystosowania mają te osobniki, które w większym stopniu spełniają przyjęte kryterium oceny. Proces tworzenia nowych osobników odbywa się najczęściej przez rekombinację (krzyżowanie) chromosomów, w których zapisane są informacje o osobnikach-rodzicach. Ewolucja populacji uwzględnia również losowe zmiany w strukturze chromosomów potomnych, tzw. mutacje oraz inwersje.

Algorytm zazwyczaj rozpoczyna swoje działanie od utworzenia w sposób losowy populacji osobników. Następnie określany jest stopień przystosowania każdego osobnika z punktu widzenia przyjętego kryterium. Kolejnym krokiem algorytmu jest wybór osobników, którzy będą rodzicami, i tworzenie potomków poprzez rekombinację z uwzględnieniem możliwości mutacji. Następnie ocenia się przystosowanie wszystkich osobników (rodziców i potomków) w populacji i tworzy się nową generację, do której największe szanse przejścia mają osobniki najlepiej przystosowane.

Uproszczony schemat działania algorytmu ewolucyjnego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Algorytm ewolucyjny

Fig. 1. Evolutionary algorithm

Źródło: opracowanie własne na podst. Pawlak, 1999

Algorytmy ewolucyjne różnią się istotnie od innych technik przeszukiwania (Nissen 1993), ponieważ:

- wykorzystują operatory ewolucyjne, które działają na sprecyzowanych reprezentacjach rozwiązań (osobnikach),
- przetwarzają całą populację rozwiązań, badając przy tym przestrzeń przeszukiwania równocześnie z wielu punktów,
- do prawidłowego działania nie potrzebują żadnej szczegółowej wiedzy o charakterze problemu, a jedynie informacji o jakości rozwiązań,

- w sposób celowy wykorzystują procesy stochastyczne (inteligentne badanie przestrzeni przeszukiwania).

Jak każda technika EA posiadają zalety i wady, niemniej jednak swoją popularność zawdzięczają m.in. łatwości w opracowaniu i implementacji, możliwości optymalizacji wielokryterialnej, łatwej współpracy z innymi technikami (heurystyki). Algorytmy ewolucyjne (głównie pod postacią algorytmów genetycznych) znalazły zastosowanie między innymi w marketingu i sprzedaży, produkcji i finansach (Biethahn J., Nissen V., 1995; Alander, 1999), a także harmonogramowaniu produkcji (Pawlak, 1999). Badacze wielkie nadzieje upatrują w systemach hybrydowych, w których EA znajdują zastosowanie jako elementy wspomagające procedury optymalizacyjne.

4. Wykorzystanie algorytmów ewolucyjnych w modelowaniu produkcji górniczej

W literaturze opisuje się również zastosowanie algorytmów ewolucyjnych w zagadnieniach związanych z górnictwem, m.in. przy doborze maszyn i urządzeń górniczych (Burt et al. 2005) oraz przy lokalizacji zabudowy kopalni (Kumral, 2004).

W niniejszym artykule wspomniano o koncepcji metody CPRG, do której proponuje się wprowadzenie algorytmów ewolucyjnych w celu:

1. generowania wariantów prowadzenia robót górniczych,
2. poszukiwania najlepszego rozwiązania.

Roboty górnicze, których modelowania dotyczy metoda CPRG, są charakteryzowane przez następujące elementy:

- rodzaj robót górniczych,
- obiekt przestrzenny (wyrobisko), w którym się odbywają,
- obiekty techniczne (maszyny i urządzenia), za pomocą których są wykonywane.

Zestawienie tych elementów umożliwi określenie cech pochodnych, charakteryzujących te roboty, tj. postępowanie robót, koszty ich prowadzenia, wydobycie.

Wydzielono następujące rodzaje robót górniczych:

- roboty udostępniające (RU),
- roboty przygotowawcze (RP),
- drażnienie przecinki (RO),
- prace zbrojeniowe (ZB),

- roboty eksploatacyjne (E),
- prace likwidacyjne (LIK).

Do obiektów przestrzennych zalicza się:

- wyrobiska korytarzowe: chodnik nadścianowy (CHN), chodnik podścianowy (CHP), przecinę ę ścianową (P) oraz wyrobisko udostępniające (WU),
- wyrobisko wybierkowe (ściana) (S).

Obiekt przestrzenny można przedstawić następująco:

$$OP_i = \begin{bmatrix} xch_1 \\ xch_2 \\ \dots \\ xch_k \end{bmatrix}, \quad (1)$$

gdzie:

xch_i – i-ta cecha opisująca obiekt przestrzenny OP , dla $i = 1, \dots, k$.

Obiekt techniczny można opisać następująco:

$$OT_i = \begin{bmatrix} xmch_1 \\ xmch_2 \\ \dots \\ xmch_r \end{bmatrix}, \quad (2)$$

gdzie:

$xmch_i$ – i-ta cecha opisująca obiekt techniczny OT , dla $i = 1, \dots, r$.

Pojedynczy osobnik (w pojęciu EA) może charakteryzować roboty górnicze i przedstawiać się w następującej postaci:

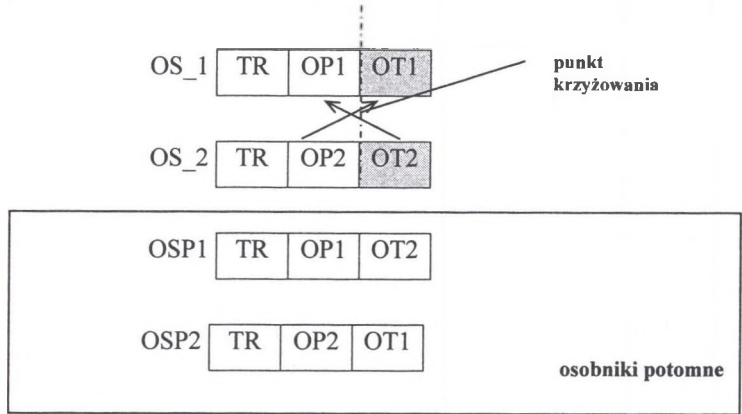
$$OS_i = \begin{bmatrix} TR \\ OP_i \\ OT_i \end{bmatrix}, \quad (3)$$

gdzie:

TR – typ robót górniczych.

Dla planowanych robót górniczych można z wykorzystaniem EA wygenerować warianty ich prowadzenia, różniące się między sobą stanem rozdysponowania posiadanych środków produkcyjnych.

Aby móc w sposób prawidłowy przeprowadzić generację wariantów wyposażenia, należy podzielić zbiory robót prowadzonych w wyrobiskach korytarzowych i ścianowych (odrębne populacje osobników) na zbiory (podpopulacje), które charakteryzują zbliżone cechy dotyczące warunków górniczo-geologicznych. Po utworzeniu odpowiednich podpopulacji (np. z wykorzystaniem metod grupowania) tworzenie wariantów może odbywać się w wyniku krzyżowania osobników między sobą i wymianie genów przypisanych do oznaczenia wyposażenia, co przykładowo przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowa operacja krzyżowania dwóch osobników
Fig. 2. Crossover of two individuals

W każdym pokoleniu wartości cech zapisane w chromosomach osobników potomnych będą brać udział w opisanu sieci zależności dla planowanych robót górniczych, tak by poprzez algorytm obliczeń można było uzyskać wyniki produkcyjne i ekonomiczne związane z prowadzeniem przyszłych prac. Na potrzeby oceny przystosowania otrzymywanych w kolejnych pokoleniach osobników należałoby utworzyć OSOBNIKA, charakteryzowanego przez chromosomy wszystkich osobników potomnych.

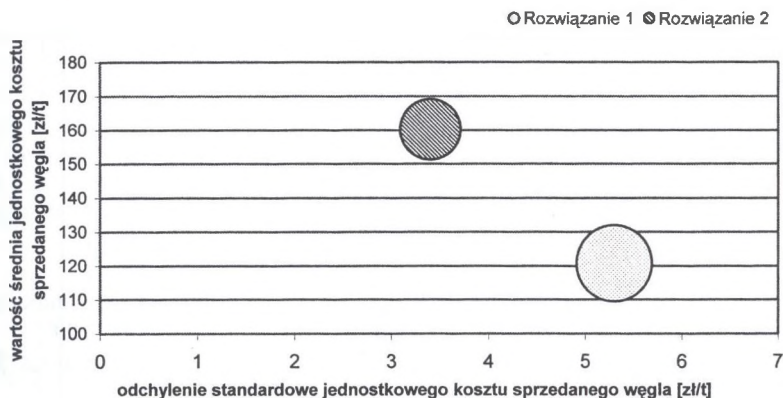
Po utworzeniu n pokoleń osobników (wariantów prowadzenia robót górniczych) i obliczeniu według odpowiedniego algorytmu matematycznego poszukiwanych charakterystyk, wybór najlepszego rozwiązania (N-OSOBNIKA) mógłby zostać przeprowadzony z wykorzystaniem ewolucyjnej optymalizacji wielokryterialnej.

Wybór optymalnego rozwiązania w przestrzeni dwuwymiarowej może, przykładowo, przedstawiać się następująco:

- istnieje rozwiązanie 1 o minimalnej wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla, ale o znacznym odchyleniu standardowym,

- istnieje rozwiązanie 2 o wyższej niż w rozwiązaniu 1 wartości oczekiwanej jednostkowego kosztu sprzedanego węgla ale o minimalnym odchyleniu standardowym.

Oba przypadki zilustrowano na rysunku 3.



Rys. 3. Możliwe przypadki wyboru najlepszego rozwiązania
Fig. 3. Options of best solution choice

W tym miejscu zastosowanie mogą znaleźć algorytmy ewolucyjne umożliwiające poszukiwanie optymalnego rozwiązania (VEGA, NSGA, SPEA).

W prezentowanym artykule przedstawiono wstępną koncepcję wykorzystania algorytmów ewolucyjnych w proponowanej metodzie Centralnego Planowania Robót Górniczych na potrzeby wielozakładowego przedsiębiorstwa górniczego, która wraz z postępem badań może ulec pewnym modyfikacjom, jednak nadal będzie udoskonalana.

5. Wnioski

Obecnie algorytmy ewolucyjne są bardzo popularne w różnych obszarach nauki i praktyki. Należą one do inteligentnych technik obliczeniowych, pozwalających na poszukiwanie optymalnych rozwiązań w obszarze złożonych funkcji. Podczas prowadzenia prac przez autorkę nad metodą modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych powstała wstępna koncepcja zastosowania algorytmów ewolucyjnych w modelowaniu produkcji górniczej.

W niniejszym artykule opisano propozycję włączenia algorytmów ewolucyjnych do metody CPRG, która może wspomagać centralne planowanie robót górniczych w wielozakładowym przedsiębiorstwie górniczym.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2009 jako projekt badawczy nr 4 T12A 064 30

LITERATURA

1. Alander J. T.: An Indexed Bibliography of Genetic Algorithm Implementations. Report Series No. 94-1-IMPLE, ftp.uwasa.fi/cs/report94-1/gaIMPLEbib.ps.Z, 1999.
2. Biethahn J., Nissen V.: Evolutionary algorithms in management applications. Springer-Verlag, Berlin 1995.
3. Brzychczy E.: Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Praca doktorska. Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH, Kraków 2005 (niepublikowana).
4. Burt C., Caccetta L., Hill S., Welgama P.: Models for Mining Equipment Selection. International Congress on Modelling and Simulation, Advances and Applications for Management and Decision Making, Melbourne 2005.
5. Goldberg D.E.: Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003.
6. Kumral M.: Optimal location of a mine facility by genetic algorithms. Mining Technology: IMM Transactions section A, Volume 113, Number 2, 2004.
7. Magda R.: Koncepcja wykorzystania sieci stochastycznych do projektowania i optymalizacji robót górniczych w kopalniach węgla kamiennego. Materiały konferencyjne, Szkoła Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie, Bukowina Tatrzańska 2003.
8. Nissen V.: Evolutionary algorithms in management science. An overview and list of references. Papers on Economics & Evolution, report no. 9303, European Study Group for Evolutionary Economics, 1993.
9. Pawlak M.: Algorytmy ewolucyjne jako narzędzie harmonogramowania produkcji. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

Recenzent: Dr hab. inż. Henryk Przybyła, prof. nzw. w Pol. Śl.