

**ALGORYTM EWOLUCYJNY DO SZACOWANIA KOSZTÓW  
WYROBÓW ODLEWNICZYCH**A. STAWOWY<sup>1</sup>, R. WRONA<sup>2</sup>, A. MACIOŁ<sup>3</sup><sup>1,3</sup> Wydział Zarządzania, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków<sup>2</sup> Wydział Odlewnictwa, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## STRESZCZENIE

Zadaniem klasyfikacji wyrobów jest podział wyrobów na rozłączne grupy, na podstawie wybranych własności. Odlewy powszechnie klasyfikowane są na podstawie kryteriów określających materiał, wagę, wymiary, wielkość partii produkcyjnej, grubość ścianki, parametry jakościowe i wskaźniki kształtu.

Na bazie prawidłowo przeprowadzonej klasyfikacji możliwe jest opracowanie algorytmu szybkiego doboru technologii i szacowania kosztów dla nowych wyrobów (zamówień). W pracy zaprezentowano dokładny opis algorytmu ewolucyjnego przeznaczonego do tego celu.

Keywords: products classification, evolutionary algorithms, costs evaluation

**1. WPROWADZENIE**

Zadaniem klasyfikacji wyrobów jest podział wyrobów na rozłączne grupy, na podstawie wybranych własności. W literaturze [7] omawiane są dwa zasadnicze systemy klasyfikacyjne odlewów:

1. system klasyfikacji absolutnej – za podstawę przyjmuje parametry geometryczne odlewu; przeprowadzając ich przekształcenie za pomocą wzorów matematycznych, określa się wskaźniki charakteryzujące klasę odlewu,

---

<sup>1</sup> dr inż., [astawowy@zarz.agh.edu.pl](mailto:astawowy@zarz.agh.edu.pl)

<sup>2</sup> prof. dr hab. inż., [rwrona@agh.edu.pl](mailto:rwrona@agh.edu.pl)

<sup>3</sup> dr inż., [amaciol@zarz.agh.edu.pl](mailto:amaciol@zarz.agh.edu.pl)

2. system klasyfikacji technologicznej – określa klasę odlewu na podstawie cech technologicznych odlewu.

Przykładem klasyfikacji absolutnej jest system opracowany przez Czikelę [1]. Za punkt wyjścia przyjęto następujące wskaźniki:

- a) wskaźnik proporcji  $P_F$  określający stopień rozwinięcia powierzchni,
- b) wskaźnik wypełnienia objętości  $P_K$  wyrażający stosunek objętości rdzeni (bez znaków rdzeniowych) do objętości odlewu.

Z kolei Pacyna [5] opracował klasyfikację dotyczącą kształtu odlewów, w której uwzględnił trzy wskaźniki kształtu (wydłużenie, cienkościenność i zwartość) oraz szereg parametrów dotyczących rodzaju materiału, metod topienia, formowania, oczyszczania, wielkości serii, kosztów itp. System jest bardzo rozbudowany i wymaga szeregu obliczeń wspomaganych komputerowo.

Gierek i Sioda [2] podają następujące kryteria klasyfikacji technologicznej odlewów:

1. charakterystyka odlewu (kształt geometryczny, tworzywo, grubość ścianki, ciężar jednostkowy, wymagania specjalne),
2. wielkość serii produkcji,
3. metody wykonania form,
4. metody wykonania rdzeni i ich ustawienia w formach,
5. parametry techniczne modelu,
6. wymiary skrzynek formierskich i ilość elementów w formie,
7. stopień utrudnienia robót rdzeniarskich i formierskich, oczyszczania i wykończania odlewów.

Pomimo istniejących systemów klasyfikacji przemysł odlewniczy w dalszym ciągu odczuwa potrzebę stworzenia bardziej racjonalnego systemu. Brak jest bowiem takiego systemu, który by nie tylko klasyfikował wyroby, ale również dawał odpowiedź na szereg pytań typu: jaką wybrać technologię, która technologia jest optymalna, jak wybrać program produkcyjny, aby był najbardziej opłacalny dla odlewni czy jaki będzie koszt wytworzenia nowego wyrobu.

## 2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Nie do końca prawdziwe stwierdzenie, że „nie sztuką jest wyprodukować, lecz sprzedać”, zwraca praktykom uwagę na znaczenie marketingu we współczesnej gospodarce. Mimo że właściwe planowanie i harmonogramowanie produkcji jest jednym z kluczowych czynników sukcesu, to dotarcie do klienta i jego utrzymanie ma nie mniejsze znaczenie. Głównym bowiem efektem, jaki daje odpowiedniej jakości obsługa klienta w środowisku często zmieniającego się popytu, jest poprawa konkurencyjności.

Z reguły pierwszym kontaktem potencjalnego klienta z przedsiębiorstwem jest zapytanie ofertowe. Klienta interesują warunki techniczne i ekonomiczne wytworzenia określonej partii wyrobów. Sytuacja jest prosta, gdy wyroby takie już były przez odlewnię wytwarzane – znane są więc koszty i marża zysku. O wiele trudniej jest

odpowiedzieć na pytanie ofertowe o odlew, którego zakład nie ma w ofercie lub którego do tej pory nie wytwarzał. Tradycyjna i długotrwała procedura opracowywania oferty polegająca na wykonaniu projektu wyrobu i wyliczeniu kosztów wytwarzania przez służby ekonomiczne w coraz mniejszym stopniu nadaje się do praktycznego wykorzystania. Dzieje się tak dlatego, że na wysoce konkurencyjnym rynku nie można sobie pozwolić na długotrwałą i nieprecyzyjną procedurę obsługi klienta, gdyż grozi to utratą klienta lub niezyskową sprzedażą oferowanego wyrobu. Stąd procedura obsługi zapytania ofertowego musi być szybka, elastyczna i wiarygodna. Tylko w ten sposób można zapewnić pogodzenie interesów klienta i przedsiębiorstwa. W tym przypadku jedynym rozsądnym sposobem jest wykorzystanie odpowiedniego programu komputerowego, który na podstawie danych o istniejących wyrobach będzie on-line dobierał technologię i szacował koszty wytworzenia nowego wyrobu, tak aby już podczas rozmowy z klientem (lub niedługo później) było możliwe przedstawienie mu wstępnej oferty. Musi się to odbywać na zasadzie wyszukania w bazie danych wyrobu lub – lepiej – grupy wyrobów najbardziej podobnych do tego, o który pyta klient [3].

Oczywiście, tak zarysowany moduł obsługi zapytań ofertowych musi być zintegrowany z funkcjonującymi w przedsiębiorstwie systemami MRPII/ERP oraz CRM.

### 3. OPIS PROPONOWANEGO ALGORYTMU

Na bazie prawidłowo przeprowadzonej klasyfikacji możliwe jest opracowanie algorytmu szybkiego doboru technologii i szacowania kosztów dla nowych zamówień. Oprócz tradycyjnych metod analizy skupień coraz częściej w praktyce przemysłowej korzysta się z metod sztucznej inteligencji tj. sieci neuronowych i algorytmów ewolucyjnych. Poniżej przedstawiono algorytm ewolucyjny opracowany dla tego celu.

Danymi wejściowymi do algorytmu jest zbiór zawierający parametry technologiczne wszystkich wyrobów produkowanych w zakładzie. Każdy wyrób w zbiorze opisany jest wektorem:

$$W = \{ \text{atrybuty\_kształtu}, \text{atrybuty\_technologiczne}, \text{koszt\_jednostkowy} \}$$

Nowozamawiany wyrób  $NW$  opisany jest identycznym wektorem, tyle że nie zawierającym atrybutu *koszt\_jednostkowy*.

Algorytm działa wg następującego schematu:

1. normalizacja atrybutów wyrobów  $W$  oraz wyrobu  $NW$ , w celu doprowadzenia do ich porównywalności,
2. podział zbioru wyrobów  $W$  na  $s$  rozłącznych grup,
3. znalezienie grupy wyrobów najbardziej podobnych do wyrobu  $NW$ ,
4. średni koszt jednostkowy w grupie wyznacza wartość atrybutu dla wyrobu  $NW$ .

Najważniejszy krok tj. podział zbioru na rozłączne grupy realizowany jest przez strategię ewolucyjną (ang. ES – evolutionary algorithm) opracowaną dla potrzeb technologii grupowej [6]. Jest to  $(1, \lambda)$ -ES, w której  $\lambda$  potomków jest generowanych z jednego rodzica za pomocą prostych mutacji. Krzyżowanie nie jest stosowane. Najlepszy z potomków zastępuje rodzica w nowej populacji. Ten sposób selekcji (rodzic nie konkuruje

z potomkami) powoduje często pogorszenie rozwiązania wejściowego, ale poprawia działanie algorytmu. Przyjęto, że rozmiar populacji wynosi  $\lambda=30$  osobników.

Ochronę przed przedwczesną zbieżnością algorytmu do optimum lokalnego stanowi mechanizm tzw. destabilizacji. Jeśli wartość funkcji dopasowania najlepszego potomka jest mniejsza niż wartość funkcji najlepszego znajdującego do tej pory rozwiązania, zmienna *counter* (licznik) zliczająca takie zdarzenia jest zwiększana o jeden, w przeciwnym razie - jest zerowana. Jeżeli licznik przekroczy, określoną empirycznie, zadaną wartość  $\text{ROUND}(5000/\lambda)$ , następuje faza destabilizacji, podczas której jest zerowany licznik i nowym rodzicem staje się najgorsze rozwiązanie z aktualnego pokolenia. W ten sposób przeszukiwanie zostaje skierowane w nowe obszary przestrzeni dopuszczalnych rozwiązań. Ta technika destabilizacji jest możliwa do stosowania tylko w tym wypadku, gdy generowane genotypy opisują dozwolone rozwiązania, co w przypadku tak przedstawionego problemu klastrowania jest zawsze prawdziwe. Należy zaznaczyć, że wartości  $\lambda$  i  $\text{ROUND}(5000/\lambda)$  stanowią o proporcji eksploatacja/eksploracja, która jest jednym z ważniejszych parametrów decydującym o skutecznym działaniu algorytmów ewolucyjnych.

Miarą podobieństwa wyrobów jest ich odległość euklidesowa, natomiast funkcja przystosowania preferuje rozwiązania, w których odległość między grupami jest jak największa, a zróżnicowanie w grupie – jak najmniejsze.

Dopuszczalne rozwiązania są kodowane przy pomocy jednego genu, który jest listą  $n$  elementów (numerów wyrobów) i  $s$  separatorów grup, przy czym wartość  $j$  ( $1 \leq j \leq n$ ) określająca numer elementu może wystąpić na liście tylko jeden raz, podobnie jak wartość  $i$  ( $n+1 \leq i \leq n+s$ ) określająca numer separatora. Za pomocą parametru  $s$  można kontrolować liczbę grup w rozwiązaniu.

$$R = \underbrace{y_1, y_2, \dots, y_n, y_{n+1}, \dots, y_{n+s}}_{\text{wyroby i separatory}}$$

Tak więc przykładowo dla 7 elementów i 3 separatorów grup, rozwiązanie postaci  $R_1 = (1,3,9,8,5,2,7,10,6,4)$  oznacza, że elementy podzielone są na trzy grupy (1,3), (5,2,7) i (6,4), natomiast rozwiązanie  $R_2 = (1,10,3,8,5,2,9,7,6,4)$  oznacza, że elementy mieszczą się w czterech grupach (1), (3), (5,2) i (7,6,4).

W algorytmie wykorzystano znane z literatury mutacje tj. wymiany, wstawiania i inwersji. Mutacjom – stosowanym z równym prawdopodobieństwem – podlegają zarówno elementy jak i separatory; takie podejście okazuje się bardzo elastyczne i efektywne.

Ogólną strukturę eksploatowanego algorytmu ewolucyjnego zapisaną w pseudokodach języka PASCAL przedstawiono poniżej:

```

BEGIN
  generate and evaluate random starting solution;
  best solution:= start solution;
  counter:=0;
  REPEAT
    FOR  $i:=1$  to  $\lambda$  DO
      BEGIN
        copy parent to create child number  $i$ ;
        mutate child  $i$ ;
        evaluate child  $i$ ;
      END;
    choose the best child based on objective function to be a new parent;
    IF  $FF(\text{new parent}) \leq FF(\text{best solution})$  THEN
      counter=counter+1
    ELSE
      BEGIN
        counter:=0;
        best solution:= new parent;
      END;
    IF counter  $\geq$  ROUND(5000/ $\lambda$ ) THEN
      BEGIN
        counter:=0;
        choose the worst child based on objective function to be a new parent;
      END;
    UNTIL (max. generation);
    output the best solution;
  END.

```

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone wstępne badania wykazały, że proponowany algorytm ewolucyjny może być wykorzystany do rozwiązywania problemu szacowania kosztów wytwarzania odlewów. Jego wielką zaletą jest prostota, elastyczność oraz brak potrzeby wnikania w strukturę rozwiązywanego problemu.

Zastosowanie proponowanego algorytmu w praktyce przemysłowej jest możliwe pod warunkiem opracowania automatycznego dostępu do danych zgromadzonych w systemie informatycznym przedsiębiorstwa.

Prowadzone przez autorów prace [4] związane z tworzeniem uniwersalnej klasyfikacji odlewów i form ich rejestracji mają istotne znaczenie dla rozwoju metod i technik projektowania zakładów odlewniczych oraz organizacji procesu produkcyjnego. Dalsze prace będą się koncentrować na zagadnieniach doskonalenia metod klasyfikacji, przede wszystkim – automatycznej. Jednocześnie rozwijane będą narzędzia do gromadzenia i udostępniania informacji o klasyfikacji i programach produkcyjnych.

## LITERATURA

- [1] J. Czikel: *Die Klassifikation von Gußstücken*, Giesserei, nr 8, 1966.
- [2] A. Gierek, H. Sioda: *Technologiczne podstawy projektowania odlewni*, WNT, Katowice 1973.
- [3] R. Knosala i zespół: *Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*, WNT, Warszawa 2005.
- [4] A. Macioł, A. Stawowy, R. Wrona: *Information modelling of foundry products and process*, *Archiwum Odlewnictwa*, 2005, R. 5, nr 15, str. 247-252.
- [5] H. Pacyna: *Klasyfikation von Gusstücken als Hilfsmittel für die Betriebsvorbereitung und Betriebswirtschaft in der Giesserei*, Giesserei-Verlag, Düsseldorf 1969.
- [6] A. Stawowy: *Evolutionary algorithm for manufacturing cell design*, *Omega, Int. J. Mgmt. Sci.*, 2006, vol. 34, pp. 1-18.
- [7] R. Wrona: *Projektoznawstwo – projektowanie odlewni*, Wydawnictwa AGH, Kraków 1996.

## EVOLUTIONARY ALGORITHM FOR CASTINGS COST EVALUATION

### SUMMARY

The task of products classification is to assign each product to a products group corresponding to common attributes. The castings are commonly classified taking into account the casting material, weight, dimensions, batch size, thickness of a casting wall, acceptance specifications and indices of a form.

It is possible to implement the rapid tool for castings cost evaluation on the basis of proper classification system. In this paper the idea of such a tool, based on evolutionary algorithm, is presented.

Praca naukowa finansowana ze środków KBN w latach 2003-2006 jako projekt badawczy

Recenzował: Prof. Zbigniew Górny