

Streszczenie

Szeregowanie zadań produkcyjnych jest głównym narzędziem optymalizacyjnym w wirtualnym procesie produkcyjnym. W wyniku szeregowania zadań powstaje harmonogram produkcji utworzony z analizowanych zadań. Celem tego procesu jest ustalenie takiej sekwencji zadań, aby osiągnąć akceptowalne wartości wybranych kluczowych wskaźników wydajności (ang. KPIs). W pracy zastosowano dwa KPIs stanowiące kryterium optymalizacji – minimalizację czasu produkcji oraz minimalizację sumy czasów opóźnień.

Problem szeregowania zadań (ang. JSP) należy do grupy problemów NP-trudnych. Dodatkową trudnością w omawianym przypadku jest dynamiczne podejście do szeregowania zadań w reżimie systemu czasu rzeczywistego. Uwagę zwraca również fakt, iż opracowywanie kolejnych harmonogramów produkcji dla kolejnych rozwiązań problemu, oraz ich analiza pod względem przyjętego KPI, dodatkowo zwiększają koszt obliczeniowy stosowanych metod.

W pracy zastosowano hybrydowy algorytm genetyczno-rozmyty w celu znalezienia efektywnego rozwiązania JSP z zastosowaniem koncepcji hiper-heurystyki. W prezentowanej koncepcji algorytm genetyczny pełni rolę heurystyki nadrzędnej. Zadaniem heurystyki nadrzędnej jest przeszukiwanie przestrzeni heurystyk podrzędnych – chromosomów sterujących procesem wnioskowania logiki rozmytej. Celem systemu logiki rozmytej jest określenie, które z zadań oczekujących należy wprowadzić do strefy produkcyjnej jako kolejne, aby stworzyć efektywny harmonogram produkcji. W tym celu opracowano analityczny model symulacyjny, który odwzorowuje fragment systemu produkcyjnego (ang. digital twin).

W trakcie prac nad autorskim systemem wsparcia decyzyjnego (ang. DSS) dokonano unifikacji koncepcji hiper-heurystyki z paradygmatem systemu uczenia klasyfikatorów w złożonym systemie adaptacyjnym. Dokonano implementacji autorskiego algorytmu symulowanego hartowania w procesie uczenia maszynowego (ang. ML). Zastosowano hybrydowe podejście Michigan-Pittsburgh w procesie ML. Opracowano modyfikację metody wysokości w celu przeciwdziałania brakowi wrażliwości metody na stopień aktywacji zbioru rozmytego. Opracowano i zaimplementowano modyfikację metody krzyżowania i mutacji definiując punkt przecięcia chromosomu i miejsc mutacji dla nieortodoksyjnego kodowania chromosomów binarnych.

W rezultacie przeprowadzonych prac opracowano DSS, który dla danych testowych generował wyniki w czasie rzeczywistym oddalone od optimum lub od wyników referencyjnych maksymalnie o około 12,4%. Zdolność uzyskania wyników optymalnych lub referencyjnych przez autorski DSS została oszacowana na poziomie 36%.

Abstract

Job scheduling is the main optimization tool in a virtual production process. As a result of the process, a production schedule is created from the analyzed jobs. The goal of this process is to set such a sequence of jobs as to achieve acceptable values of selected Key Performance Indicators (KPIs). In this dissertation, there are two KPIs that constitute the optimization criterion - minimizing production time and minimizing the sum of tardiness.

The job scheduling problem (JSP) belongs to the group of NP-hard problems. An additional difficulty in this case is the dynamic approach to job scheduling in the real-time system regime. It is worth mentioning that the development of subsequent production schedules of possible solutions and their analysis in terms of the adopted KPI, additionally increase the computational cost of the methods used.

The dissertation uses a hybrid fuzzy-genetic algorithm to find an effective solution to the JSP problem using the concept of hyper-heuristics. In the presented concept, the genetic algorithm is regarded as a high-level heuristic. The main task of the high-level heuristic is to search the space of low-level heuristics, i.e. chromosomes that control the reasoning process of fuzzy logic. The goal of the fuzzy logic system is to determine which of the pending jobs should be introduced into the production area next in order to create an effective production schedule. For this purpose, an analytical simulation model of the production subsystem (digital twin) is developed.

In the course of the development process of the original decision support system (DSS), the concept of the hyper-heuristics was unified with the paradigm of the learning classifier system in the complex adaptive system. The novel simulated hardening algorithm was implemented in a machine learning (ML) process. The hybrid Michigan-Pittsburgh approach in ML process was employed. The height method was modified so as to counteract the lack of sensitivity of the method to the degree of fuzzy set activation. The crossover and mutation methods were modified by means of defining the point of intersection of the chromosome and mutation point for non-classical coding of binary chromosomes.

As a result of the conducted study, a DSS was developed that generated results for the test data in real time. The results' distance from the optimum or from the reference values reached approximately 12.4% at most. The ability of the DSS to obtain the optimal or reference results has been estimated to be 36%.