

BOŻENA ZWOLIŃSKA

Modelowanie procesów konwergentnych w złożonych systemach produkcyjnych

Streszczenie

Modelowanie rzeczywistych, złożonych obiektów wytwórczych zalicza się do klasy zadań *NP-trudnych*. Sformalizowanie zależności wielu zmiennych parametrów, opisujących definiowany model, można wyrazić równaniem wielomianowym. Natomiast czas potrzebny na wyznaczenie dopuszczalnego, nie zawsze optymalnego rozwiązania, dla zdefiniowanych wcześniej zależności, wyrażony jest równaniem wykładniczym. Toteż stopień trudności i skomplikowania modelowanego układu produkcyjnego rośnie wraz ze wzrostem liczby elementarnych obiektów składowych systemu oraz wielości sformalizowanych relacji określonych między wydzielonymi podsystemami. Ważnym aspektem użyteczności modelowanych systemów produkcyjnych jest ich dokładność odwzorowania, uwzględniająca zmienność parametrów układu. Wiele modeli systemów produkcyjnych opracowywanych jest z użyciem wartości deterministycznych. Ocena pracy i stanów dynamicznych systemów produkcyjnych odbywa się *ex post* lub *ex ante*. Analizy *ex post* dla obiektów charakteryzujących się wysoką złożonością są prostsze i łatwiejsze do wykonania. W znacznej większości układy wytwórcze są obiektami dynamicznie zmiennymi i zależnymi od wielu czynników, zarówno zewnętrznych jak również wewnętrznych. Deterministyczne analizy *ex post* dla układów dynamicznych nie są wraz z upływem czasu wiarygodnym źródłem wniosków.

Przedmiotem monografii jest opracowanie metodyki modelowania i balansowania stabilności poziomów pracochłonności robót w toku produkcji dla złożonej, konwergentnej i dynamicznie zmiennej struktury produkcyjnej. Opracowany model sformalizowany został zgodnie ze złożonym abdukcyjnym wnioskowaniem. W etapie pierwszego indukcyjnego wnioskowania, zgodnie z ogólną teorią systemów złożonych, został sformalizowany model hierarchicznej struktury produkcyjnej. Podążając *od ogółu do szczegółu*, zdefiniowano czteropoziomowy model gniazdowej struktury produkcyjnej. Uwzględnia on występujące relacje między wydzielonymi podsystemami na każdym poziomie dekompozycji. W kolejnym, drugim etapie dedukcyjnego wnioskowania sformalizowany został model balansowania stabilności poziomów pracochłonności robót w toku produkcji. Opracowany model uwzględnia losowość cech definiujących parametry pracy rozpatrywanej klasy systemów produkcyjnych. Na każdym etapie formalizowania kompleksowego algorytmu oceny pracy układu zastosowane zostały różne rozkłady zmiennych losowych. Ze względu na występującą dynamikę zmian stanów pracy modelowanej klasy systemów produkcyjnych zastosowany został algorytm predykcyjnego wnioskowania *bayesowskiego*. Na podstawie istniejących właściwości w historycznych danych empirycznych zdefiniowano rozkład *a priori*, który przez kilkukrotne próbkowanie, modyfikowany jest wartością cechy pochodzącej z rodziny rozkładów

Poissona. Cecha wyrażona jest w postaci rozkładu warunkowego. Stąd opracowany algorytm kształtowania zmienności sformalizowany został z wykorzystaniem mieszanego rozkładu *Poissona* (oznaczony jako $\mathcal{MPoisson}$). Jego wartość oczekiwana i odchylenie standardowe są zmiennymi losowymi. Wyznaczony predykcyjny rozkład *a posteriori* jest funkcją wynikającą z modyfikacji rozkładu *a priori* o bieżącą, aktualną wartość cechy. Modele oparte na wnioskowaniu *bayesowskim* umożliwiają wielokrotne dostosowywanie rozkładu *a priori* do istniejących warunków otoczenia bez konieczności formułowania od podstaw nowego opisu rzeczywistości.

Zapewnienie sprawnego funkcjonowania przedsiębiorstw produkcyjnych w każdym obszarze działania w dynamicznie zmiennym otoczeniu umożliwiają analizy układów na modelach symulacyjnych. Działanie na modelu będącym odwzorowaniem rzeczywistego układu jest tym bardziej precyzyjne i nie obciążone błędem, im model dokładniej odwzorowuje badany obiekt. Dla układów wykazujących dużą dynamikę zmian stanów pracy w czasie, w procesie modelowania, konieczne jest uwzględnienie probabilistycznych cech formalizujących układ. Opracowany w monografii kompleksowy model uwzględnia zewnętrzne i wewnętrzne warunki zmienności, determinujące zmiany pracy całego systemu. Końcowy model predykcyjnego balansowania stabilności poziomów prędkości robót w toku produkcji, który opracowany został według algorytmu wnioskowania *bayesowskiego*, jest modelem umożliwiającym przeprowadzenie analiz *ex ante* dla rzeczywistych, złożonych układów produkcyjnych o konwergentnym charakterze strumieni przetwarzanych materiałów.

Modeling convergent processes in complex production systems

Summary

Modeling realistic, complex production facilities falls under the NP-hard task class. Formalizing the dependencies between multiple changing parameters describing the defined model, may be expressed with a polynomial equation, while the time required to determine the acceptable, but not always optimal solution, is expressed with the exponential equation. Thus the difficulty and complexity level of the modeled production system increases along with the number of the elemental components of the system and the multitude of relations formalized between the determined subsystems. An important aspect of the usefulness of the modeled production systems is precision of replication, accounting for the changeability of the systems parameters. Many production systems models are developed basing in deterministic values. The evaluation of functioning and state of dynamic production systems is done *ex post* or *ex ante*. *Ex post* analyses for objects characterized by high complexity are simpler and easier to carry out. In the vast majority of cases, production systems are dynamically changing objects and are dependent on many factors, both external and external. Deterministic *ex post* analyses for dynamic systems are not a reliable source of result conclusions with the passage of time.

The subject of this study is to develop a methodology of modeling and balancing labor intensity levels of tasks during production on a complex, convergent and dynamically changing production structure. The formulated model has been formalized basing on complex abductive reasoning. During the first inductive reasoning as per the general complex systems theory, a hierarchical production structure model has been formalized. Following a top-down approach, a four-level cell production structure was defined, accounting for the existing relations between the determined subsystems on every level of decomposition. During the second stage of deductive reasoning the model for balancing the stability of labor intensity of tasks in progress has been developed. The developed model accounts for the randomness of features defining work parameters of the considered production systems class. For each stage of formalizing the complex algorithm for evaluating functionality of the system, different distributions of random variables were applied. Due to the change dynamics in the modeled production systems class states, the *Bayesian* predictive reasoning algorithm was applied. Basing on the existing properties in the historical empirical data the *a priori* distribution was defined, which through several samplings is modifiable by the characteristic value from the *Poisson* family distributions, expressed in the form of conditional distributions. Therefore the developed changeability shaping algorithm was formalized using a mixed *Poisson* distribution (marked as *MPoisson*), the expected value and deviation of which are random variables. The determined predictive *a posteriori* distribution is a function resulting

from the modification of *a priori* distribution through the current feature value. Models based on *Bayesian* reasoning allow for multiple adjustments of the *a priori* distribution to match current conditions without the necessity of formulating a new description of the surrounding reality.

System analyses in simulated models allow an efficient functioning of production companies in every area of a dynamically changing environment. Working in a model which replicates a realistic system is more precise and free of errors, the more precisely the company is represented by the model. Systems displaying large change dynamics of work states throughout time, the modeling process must necessarily account for probabilistic features formalizing the system. The complex system developed for the purposes of this dissertation accounts for the external and internal changeability conditions determining the work of the entire system. For this reason the final predictive labor intensity stability balancing model of work in progress, developed basing on the *Bayesian* reasoning algorithm is a model allowing analyses *ex ante* for realistic complex production systems of a convergent processed material stream.