

Agnieszka LASOTA

UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, INFORMATYKI I TELEKOMUNIKACJI
ul. prof. Z. Szafrana nr 2, 65-516 Zielona Góra

Metodologia weryfikacji procesu produkcyjnego z wykorzystaniem sieci Petriego na przykładzie modelowania produkcji frezarko-kopiarki

Mgr inż. Agnieszka LASOTA

Doktorantka Uniwersytetu Zielonogórskiego na Wydziale Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji. Wszczęty przewód doktorski w dyscyplinie Informatyka pt. Modelowanie procesów produkcyjnych z wykorzystaniem diagramów aktywności języka UML i sieci Petriego typu P/T. Ukończone studia: Informatyka - specjalność Inżynieria Oprogramowania, WEiT UZ, Mechanika i Budowa Maszyn - specjalności: Eksploatacja i Marketing Pojazdów Samochodowych oraz Technologia Maszyn, Wydział Mechaniczny UZ.



e-mail: a.lasota@we.it.uz.zgora.pl

Streszczenie

Przedmiotem artykułu jest analiza skuteczności algorytmu weryfikacji procesów produkcyjnych. Zaproponowana metoda weryfikacji procesu oraz wskazane typy rozwiązań dla wykrytych błędów według autora przyczynią się do bezpieczniejszego specyfikowania i planowania przebiegu realizacji procesu produkcyjnego. Zasadność zaproponowanego podejścia została wykazana na przykładzie modelowania procesu produkcyjnego frezarko-kopiarki z wykorzystaniem diagramów aktywności UML oraz dwóch podklas sieci Petriego: s-sieci i α -sieci.

Słowa kluczowe: sieci Petriego, s-sieci, α -sieci, proces produkcyjny, kontrola jakości.

Methodology of production process verification using Petri nets illustrated by case study of modeling production process milling-copier machine

Abstract

The subject of the paper is analysis of the algorithm effectiveness of production processes verification. The proposed verification method (Section 3) and proposed types of solutions for faults (Section 4) according to the author will contribute to safer specifying and planning the implementation of a production process. The production process correct structure (Subsection 2.7) is a key condition for its implementation. Errors at the stage of the process modeling affect the process correctness. Introduction of intermediate quality control can additionally corrupt the process structure and requires its changes. Petri nets provide a convenient mathematical tool for verification of modeled processes (Section 2). Two classes of nets - the s-nets and its subclass α -nets - were selected as the most adequate for modeling the analyzed production processes [2, 3, 4, 7, 9]. To verify the correctness of the processes the "stubborn set method" and Andre method were proposed [1, 3, 4, 5, 8]. In order to depict the manner of the correction of possible structural errors in a net, the paper describes a sample solution. The reasonableness of the proposed approach is shown on an example of modeling the production of a milling-copier machine (Section 4, Figs. 1-9). The area related to the milling-copier machine contains two main parts: the first is modeling the milling-copier machine production process and the second is modeling the copied process mapping.

Keywords: Petri nets, s-nets, α -nets, production process, quality control.

1. Wprowadzenie

Prawidłowa struktura procesu produkcyjnego jest kluczowym warunkiem jego realizacji. Na zachwianie jej poprawności wpływają błędy na etapie modelowania procesu. Wprowadzenie pośredniej kontroli jakości dodatkowo przyczynia się do zachwiania struktury realizowanego procesu i wymaga zmiany przyjętych przez projektanta pierwotnych założeń. Dogodnym aparatem matematycznym do analizy poprawności modelowanych procesów

są sieci Petriego. Spośród szerokiego zbioru wyodrębniono: klasę s-sieci oraz ich podklasę α -sieci, jako dwie klasy sieci najbardziej odzwierciedlające struktury analizowanych procesów produkcyjnych. W celu zobrazowania sposobu korekty możliwych błędów strukturalnych sieci, w artykule przedstawiono przykładowe rozwiązania. Zasadność zaproponowanego podejścia została wykazana na przykładzie modelowania produkcji frezarko-kopiarki. Obszar zagadnień związanych z frezarko-kopiarką obejmuje dwa główne segmenty: pierwszy to modelowanie procesu montażu frezarko-kopiarki oraz drugi to modelowanie odwzorowania kopiowanego przedmiotu. Celem badań jest wykazanie słuszności i zasadności stosowania zaproponowanej metody.

Metody modelowania procesów produkcyjnych i technologicznych są rozwijane od wielu lat co umożliwiło opracowanie komputerowych metod modelowania i symulacji oraz przyczyniło się do powstania firm specjalizujących się w tej dziedzinie [3]. Jednym z dogodnych narzędzi do matematycznego modelowania i weryfikacji procesów produkcyjnych jest z pewnością szeroki zbiór klas sieci Petriego [2, 5, 10, 11]. Istotną różnicą w prezentowanych podejściach jest klasa sieci jaka jest stosowana do zobrazowania i weryfikacji analizowanych problemów. Argumentem przemawiającym na korzyść zaproponowanego podejścia jest fakt, iż od wersji UML 2.0 diagram aktywności wzorowany jest na sieciach Petriego. W [4] zaprezentowano diagramy aktywności i ich transformację na grafy aktywności w celu poprawy jakości projektowania, skrócenia czasu testowania i rozwoju oprogramowania. Natomiast w [11] zbieżność diagramu aktywności do sieci Petriego typu P/T pozwala na wzajemną transformację i modelowanie procesu produkcyjnego. [12] prezentuje transformację diagramu aktywności do stochastycznych sieci Petriego mającą zastosowanie w określaniu wydajności oprogramowania podczas gdy celem niniejszego artykułu jest wykazanie, iż wykorzystanie PN przyczynia się do uproszczenia weryfikacji poprawności procesu produkcyjnego.

2. Podstawy teoretyczne

2.1. Sieć Petriego, s-sieć, α -sieć

Sieć Petriego zdefiniowana została w [14], natomiast α -sieć i s-sieć oraz ich własności w [6, 8, 16].

2.2. Metody analizy sieci – metoda „upartych zbiorów” oraz metoda redukcji Andre

Metoda „upartych zbiorów” polega na skonstruowaniu zredukowanego grafu osiągalności (reduced reachability graph, RRG) przez symulację realizacji tylko aktywnych tranzycji, które są w tzw. „upartym zbiorze” co szczegółowo zostało opisane w [15].

Jeżeli pełny graf osiągalności sieci (full reachability graph, FRG) zawiera blokadę to RRG też ją zawiera [15].

α -sieć jest dobrze zbudowana (*well-formed*), jeżeli zredukowany graf osiągalności jest silnie spójny i zawiera więcej niż jeden wierzchołek [8, 9].

Metoda redukcji Andre polega na zastąpieniu poprzez makromiejsca sekwencyjnych części sieci.

Zastąpienie sekwencyjnej części sieci przez makromiejsce odbywa się poprzez usunięcie ciągu tranzycji jednym wejściem i jednym wyjściem.

Makrosieci zawierają wyłącznie tranzycje wielowejsciowe i wielowyjsciowe oraz makromiejsca typu automatowego [1, 7].

2.3. Metodologia modyfikacji s-sieci

By proces produkcyjny mógł zostać zrealizowany odpowiadająca mu sieć Petriego musi być dobrze zbudowana. Na etapie modelowania sieć jest poddawana weryfikacji względem poprawności behawioralnej. Jeżeli przeprowadzona weryfikacja wykaże, iż sieć nie jest dobrze zbudowana, koniecznym jest wprowadzenie modyfikacji mających na celu uzyskanie jej poprawności. Celem dokonywanych modyfikacji jest otrzymanie sieci dobrze zbudowanej, co przekłada się na cykliczność procesu. Jeżeli zamodelowana α -sieć nie jest żywa lub nie jest bezpieczna należy zapewnić realizację nieaktywnych tranzycji lub wprowadzić tranzycje dodatkowe.

Innym problemem jest zachwianie poprawności struktury sieci w wyniku wprowadzenia do realizowanego procesu pośrednich punktów kontroli jakości. Korekcja błędów powstałych w trakcie produkcji może odbywać się w dwojaki sposób: poprzez wprowadzenie operacji mających na celu korekcję wadliwego elementu lub przez zakończenie procesu i rozpoczęcie go od nowa. Korekcja odchyłek od normy odbywa się poprzez skierowanie znacznika do miejsca poprzedzającego kontrolę jakości lub skierowanie znacznika do miejsca korekcji błędów. Jeżeli korekcja odbywa się poprzez skierowanie znacznika do miejsca poprzedzającego kontrolę jakości, cykl każdorazowo powinien zawierać warunek stopu. Warunek stopu jest wymagany ze względów technologicznych, gdyż jakość każdego materiału, wyrobu można poprawiać wyłącznie do określonego momentu. Jeżeli natomiast korekcja wadliwego elementu lub zespołu odbywa się poprzez skierowanie znacznika do punktu korekcji błędów, niezbędnym jest wprowadzenie dodatkowej tranzycji zapewniającej zabranie znaczników z pozostałych procesów realizowanych współbieżnie. W przypadku, jeżeli nie jest możliwy żaden z powyższych wariantów lub gdy został spełniony warunek stopu i koniecznym jest przerwanie realizowanego procesu oraz rozpoczęcie go od nowa, należy skierować wszystkie znaczniki do znakowania początkowego. Skierowane znaczników do znakowania początkowego jest możliwe poprzez wprowadzenie do struktury sieci tzw. tranzycji zwrotnej, która z procesów aktualnie realizowanych współbieżnie wraz ze znacznikiem z miejsca pośredniej kontroli jakości, skieruje pozostałe znaczniki do znakowania początkowego. Dzięki tranzycji zwrotnej proces będzie mógł rozpocząć się od nowa. Przekazanie znaczników do znakowania początkowego rozumiane jest jako przekazanie produktów i materiałów do magazynu. W przypadku wystąpienia kilku analogicznych sytuacji należy wielokrotnie zaproponowane rozwiązanie poprzez wprowadzenie większej ilości koniecznych modyfikacji.

3. Metodologia weryfikacji procesu produkcyjnego

Metodologia badań rozpoczyna się od zamodelowania procesu produkcyjnego za pomocą α -diagramów aktywności UML, następnie transformacji otrzymanych diagramów na α -sieć [11] oraz weryfikacji procesu pod względem poprawności jego realizacji. Oprócz dokonanej weryfikacji projektant może podejmować decyzje i dokonywać oceny w zakresie wariantowania realizacji procesu. W tym momencie dochodzi kolejny etap analizy w związku z koniecznością uwzględnienia w modelowanym procesie pośrednich punktów kontroli jakości. Wprowadzenie kontroli jakości w trakcie trwania procesu nakłada konieczność ponownej weryfikacji procesu produkcyjnego pod względem jego poprawności behawioralnej. W wyniku wprowadzenia modyfikacji w strukturze procesu, odpowiadająca mu α -sieć należy już do klasy s-sieci. Następnym dodaniem pośrednich punktów kontroli jakości może być konieczność skierowania wszystkich znaczników z procesów współbieżnych do znakowania początkowego poprzez wprowadzenie tranzycji zwrotnych. Zaistniałe zmiany ponownie wymagają sprawdzenia czy sieć jest dobrze zbudowana. Po wprowadzonych przekształceniach w strukturze, każdorazowo

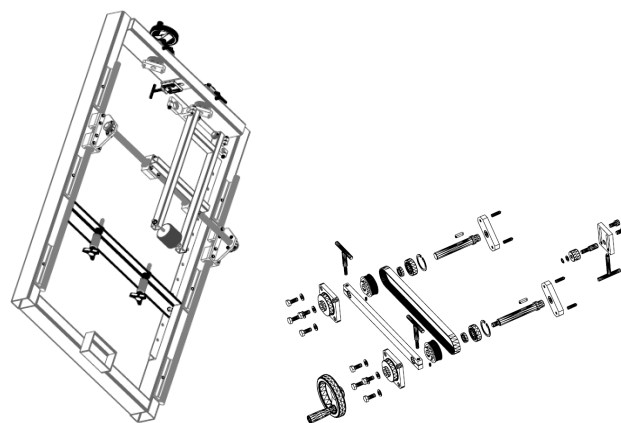
do weryfikacji sieci pod kątem jej poprawności, wykorzystywana jest metoda „upartych zbiorów” oraz metoda redukcji Andre.

Algorytm weryfikacji procesu produkcyjnego:

1. Zamodeluj proces produkcyjny z wykorzystaniem α -diagramów aktywności [11]
2. Transponuj α -diagram aktywności na α -sieć [11]
3. Przeprowadź redukcję α -sieci za pomocą metody Andre
4. Zbuduj zredukowany graf osiągalności RRG
 - a. Jeżeli RRG jest silnie spójny idź do 6
 - b. Jeżeli sieć nie jest żywa lub nie jest bezpieczna idź do 5
5. Przeprowadź modyfikację α -sieci i idź do 4
6. Wprowadź pośrednie punkty kontroli jakości do α -sieci przed redukcją
7. Przeprowadź redukcję s-sieci za pomocą metody Andre
8. Zbuduj zredukowany graf osiągalności RRG
 - a. Jeżeli RRG jest silnie spójny idź do 10
 - b. Jeżeli sieć nie jest żywa lub nie jest bezpieczna idź do 9
9. Przeprowadź modyfikację s-sieci przed redukcją wprowadzając dodatkowe tranzycje i idź do 7
10. Transponuj dobrze zbudowaną s-sieć przed redukcją na α -diagram aktywności

4. Modelowanie i weryfikacja procesu produkcyjnego na przykładzie frezarko-kopiarki

Modelowanie odwzorowania zarysu kopiału na frezarko-kopiarce ma na celu uzyskanie, jak najdalej idącego dokładnego odwzorowania powierzchni i kształtu. Frezowanie kopiału na modelowanej frezarko-kopiarce umożliwia obróbkę powierzchni kształtowych, dzięki zamontowaniu obok obrabianego przedmiotu kopiału. Jest to obróbkowy proces technologiczny w wyniku którego następuje zmiana kształtu, wymiarów, wyglądu oraz właściwości przedmiotu obrabianego. O prawidłowej realizacji procesu technologicznego decyduje ilość i kolejność operacji oraz w zależności od wymagań dokładności odwzorowania sposób obrabiania przedmiotu. Podczas projektowania pracy na frezarko-kopiarce należy uwzględnić koordynację pracy narzędzia, obrabiarki, przyrządu i człowieka względem obrabianego przedmiotu. Pierwszym decydującym czynnikiem określającym dokładność odwzorowania powierzchni są ruchy robocze obrabiarki, których kolejność podlega wariantowaniu na etapie modelowania procesu. Drugim czynnikiem jest kształt krawędzi skrawającej narzędzia. Podczas ustalania kolejności operacji istotne jest ustalenie położenia powierzchni przedmiotu dzięki ruchowi obrabiarki oraz ustawienie przedmiotu względem obrabiarki.



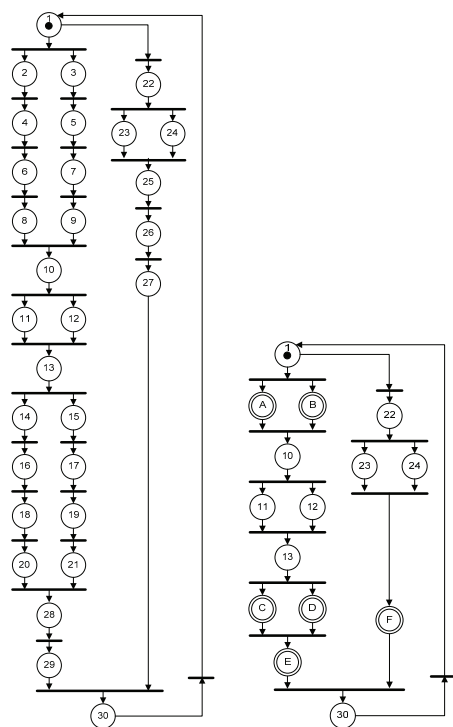
Rys. 1. Frezarko-kopiarce oraz rzut dynamiczny analizowanego podprocesu – podzespoły napinacza

Fig. 1. Milling-copier machine and dynamic view of the considered sub-process – retractor components

Czas trwania operacji uzależniony jest od stopnia skomplikowania operacji, dokładności obróbki powierzchni, długości drogi

narzędzia i wymiaru samego narzędzia. Ze względu na jednostkowy charakter modelowania zarysu kopiału, wynikający z indywidualnych zleceń, w pracy analizie został poddany proces produkcji frezarko-kopiarki.

Proces produkcyjny frezarko-kopiarki to suma działań niezbędnych do wytworzenia gotowego wyrobu, obejmująca proces technologiczny i działania pomocnicze. Procesy obróbki, montażu i obróbkowo-montażowe to typy procesu technologicznego, będącego składową procesu produkcyjnego. W następstwie obróbki części i ich montażu powstają zespoły części aż do uzyskania gotowego wyrobu. Proces produkcyjny frezarko-kopiarki składa się z około 200 operacji prostych i złożonych. Ze względu na ograniczoną ilość miejsca, w artykule zostanie opisany jeden z kluczowych podprocesów tj. montaż napinacza. Zgodnie z przyjętym algorytmem weryfikacji procesu produkcyjnego, podproces produkcyjny kopiarko-frezarki (rys. 1), został zamodelowany za pomocą α -diagramu aktywności i transformowany na α -sieć.

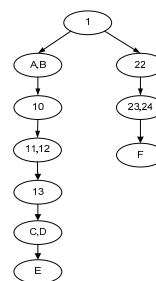


Rys. 2. α -sieć podprocesu produkcyjnego kopiarko-frezarki przed redukcją i po redukcji metodą Andre

Fig. 2. α -net of a production sub-process of milling-copier machine before and after reduction with the help of Andre method

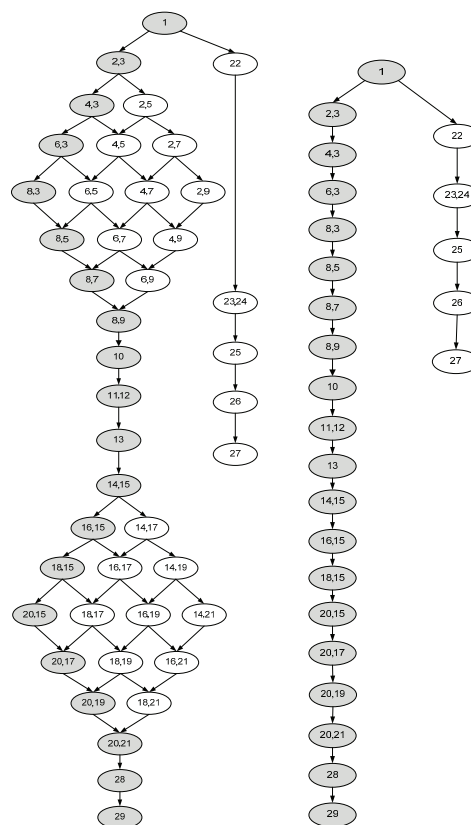
Rys. 2 ukazuje α -sieć przed i po dokonanej redukcji sieci metodą Andre, natomiast rys. 3 przedstawia odpowiadający jej RRG. W wyniku przeprowadzonej weryfikacji procesu produkcyjnego okazało się, iż odpowiadająca procesowi produkcyjnemu α -sieć nie jest żywa, tym samym proces nie będzie mógł zostać zrealizowany.

RRG jest tworzony poprzez zastąpienie sekwencyjnych ścieżek podprocesu makromiejscami, tj. ścieżkę 2-4-6-8 przez makromiejsce A, 3-5-7-9 przez B, 14-16-18-20 przez C, 15-17-19-21 przez D, 28-29 przez E, 25-26-27 przez F. Na rys. 4 przedstawiony został FRG sieci dla zobrazowania skomplikowania grafu sporządzonego przed zastosowaniem metody redukcji Andre. Zasadność stosowania tej metody potwierdza również widok RRG (rys. 4) przed dokonaniem zalecanej redukcji. Przydatność redukcji sieci do analizy procesów produkcyjnych wynika z faktu, iż znaczna część procesów musi być realizowana w sposób sekwencyjny. RRG po dokonanej redukcji składa się z 10 wierzchołków, podczas gdy ten sam graf przed redukcją zawiera 25 wierzchołków. Odpowiadający im FRG to aż 43 wierzchołki. Zwielokrotnienie wierzchołków byłoby jeszcze większe, i tym samym bardziej widoczna byłaby korzyść ze stosowania RRG, jeżeli zwiększyłaby się ilość operacji.



Rys. 3. RRG podprocesu produkcyjnego kopiarko-frezarki sporządzony po redukcji metodą Andre

Fig. 3. RRG of production sub-process of milling-copier machine constructed after reduction by Andre method

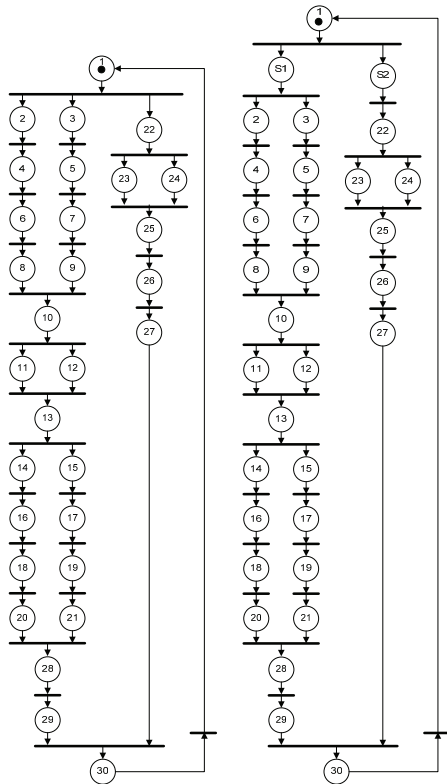


Rys. 4. Pełny i zredukowany graf osiągalności α -sieci podprocesu produkcyjnego kopiarko-frezarki, który nie został poddany redukcji metodą Andre

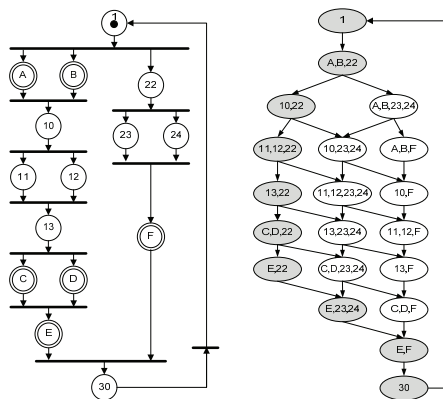
Fig. 4. FRG and RRG of α -net of production sub-process of milling-copier machine without reduction

Zaprezentowany podproces jest jedną ze składowych analizowanego procesu. Już na podstawie przedstawionych grafów została potwierdzona zasadność kolejności kroków zaproponowanego algorytmu, jak również korzyści jakie uzyskuje projektant podczas weryfikacji poprawności modelowanego procesu. Zamodelowany proces (rys. 2) nie będzie realizowany poprawnie, ponieważ znaczny ze znakowania początkowego nie zostanie skopiowany i przekazany do współbieżnych przepływów. Projektant w tym momencie otrzymuje informację, iż zamodelowany proces wymaga przeprowadzenia modyfikacji i poddania go ponownej weryfikacji. Zaistniały błąd można skorygować na dwa sposoby.

Pierwszy sposób to wprowadzenie wspólnej tranzycji przy założeniu, iż rozpoczęcie realizacji procesów współbieżnych może nastąpić w tym samym czasie. Drugie rozwiązanie zakłada również wprowadzenie wspólnej tranzycji jednak z wprowadzeniem dodatkowych miejsc w sieci umożliwiających synchronizację procesów. Wariant II, w którym została zastosowana synchronizacja, umożliwia rozpoczęcie realizacji procesów współbieżnych w różnych momentach czasowych.



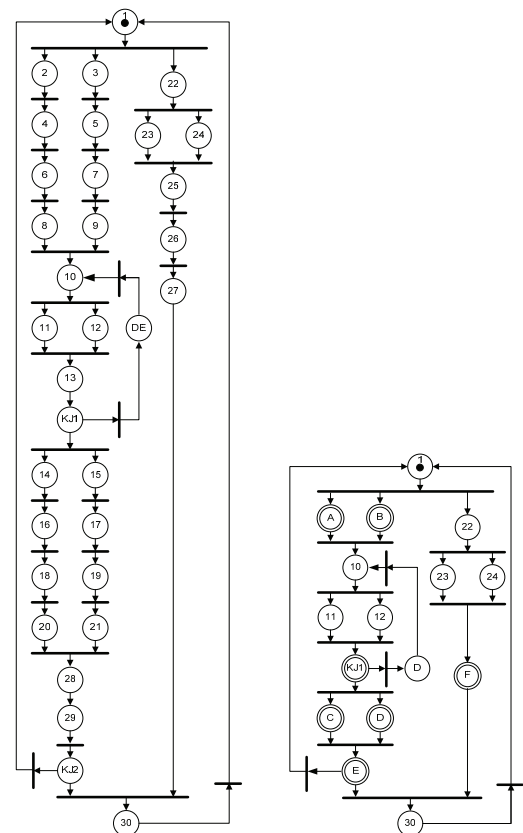
Rys. 5. Dobrze zbudowana α -sieć podprocesu produkcyjnego kopiarko-frezarki bez (wariant I) i z (wariant II) miejscami synchronizacji
 Fig. 5. Well-formed α -net of sub-process of the production milling-copier machine, without (conception I) and with (conception II) synchronization places



Rys. 6. Dobrze zbudowana α -sieć podprocesu produkcyjnego kopiarko-frezarki wg wariantu I po przeprowadzonej redukcji wraz z odpowiadającym jej pełnym i zredukowanym (wierzchołki wyróżnione) grafem osiągalności
 Fig. 6. Well-formed α -net of production sub-process of milling-copier machine, according to conception I after reduction together with the corresponding full and reduced (vertices highlighted) reachability graphs

Zgodnie ze specyfikacją techniczną procesus zastosowany został wariant I, co pozwoliło skrócić czas zakończenia podprocesu. Przed podjęciem decyzji, który z wariantów zostanie zastosowany, oba zaproponowane rozwiązania zostały poddane ponownej weryfikacji pod kątem ich poprawności. Rys. 6 przedstawia w wyrazisty sposób zasadę uzyskiwania RRG. Wyróżnione wierzchołki na pełnym grafie odzwierciedlają jedną z możliwych ścieżek znacznika w sieci Petriego, czyli RRG. Po uzyskaniu potwierdzenia, iż sieć jest dobrze zbudowana (rys. 6), zgodnie z algorytmem, do zamodelowanej realizacji podprocesu zostały wprowadzone pośrednie punkty kontroli jakości. Wprowadzenie tych punktów wpłynęło na zmianę struktury sieci, która po dokonanych modyfikacjach zaliczana jest do klasy s-sieci. By mieć pewność, iż ten podproces osiągnie pożądaną jakość i zapewni oczekiwaną sprawność frezarko-kopiarki, wymagane jest wprowadzenie dwóch

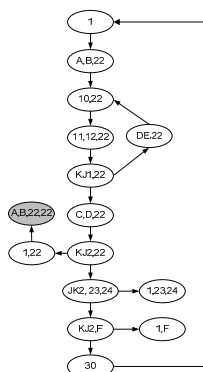
pośrednich punktów kontroli jakości KJ1 i KJ2. Wyniki przeprowadzonych kontroli we wskazanych miejscach sieci charakteryzują się różną formą możliwej korekcji błędów. Jeżeli kontrola w miejscu KJ1 wykaże odchyłki od normy, możliwa jest korekcja dokonanych czynności poprzez demontaż, oznaczony w sieci jako DE i powrót do P10. Charakter podzespołów na tym etapie produkcji pozwala na wielokrotny montaż i demontaż, w związku z czym cykl ten nie ma określonego warunku stopu. W efekcie wielokrotne powtórzenie tych czynności spowoduje przestój w pozostałych procesach realizowanych współbieżnie i w całym procesie produkcyjnych frezarko-kopiarki. Z technologicznego punktu widzenia możliwość niewłaściwego złożenia podzespołów określona została jako 10 podejść. Inny charakter w analizowanym podprocesie ma wprowadzenie pośredniego punktu kontroli jakości KJ2, którego negatywny wynik automatycznie dyskwalifikuje poprawność działania kopiarko-frezarki. Niemożliwa jest wtedy korekcja zaistniałych odchyłek od normy w inny sposób, niż rozpoczęcie cyklu od nowa.



Rys. 7. s-sieć podprocesu produkcyjnego kopiarko-frezarki po wprowadzeniu pośrednich punktów kontroli jakości oraz jej obraz po dokonaniu redukcji
 Fig. 7. s-net of production sub-process of milling-copier machine after introducing intermediate points of quality control and its view after reduction

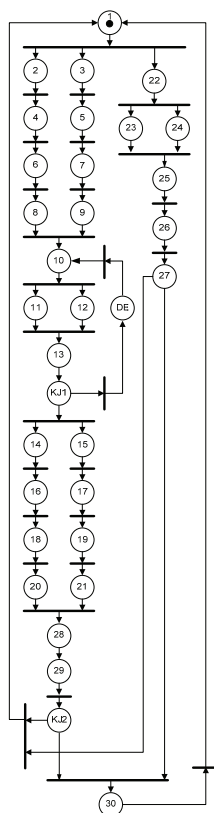
Rys. 7 przedstawia omawiany powyżej wpływ wprowadzenia pośrednich punktów kontroli jakości na realizację procesu produkcyjnego. Prezentuje on strukturę s-sieci po modyfikacjach, przed i po przeprowadzeniu redukcji metodą Andre zgodnie z kolejnym krokiem zaproponowanego algorytmu. Wprowadzone modyfikacje ponownie wymagają przeprowadzenia weryfikacji pod kątem jej poprawności behawioralnej. RRG na rys. 8, tak zmodyfikowanego podprocesu wykazał, iż odpowiadająca mu sieć nie jest bezpieczna, gdyż po niepomyślnym przejściu kontroli jakości KJ2 do znakowania początkowego nie zostaną skierowane znaczniki z pozostałych procesów realizowanych współbieżnie. Sieć nie jest bezpieczna, gdyż miejsce zawierać będzie dwa znaczniki, co potwierdza wierzchołek RRG oznaczony jako A,B,22,22. Budowa RRG została przerwana w chwili uzyskania informacji, iż sieć nie jest dobrze zbudowana (wierzchołek wyróżniony).

Ponowne modyfikacje sieci umożliwiły uzyskanie s-sieci dobrze zbudowanej, co przedstawia rys. 9. Uzyskanie poprawnej struktury s-sieci było możliwe dzięki skierowaniu znacznika z miejsca P27 i KJ2 do znakowania początkowego za pomocą tranzycji zwrotnej. Ostatnim krokiem modelowania podprocesu produkcyjnego kopiarko-frezarki jest transformacja otrzymanej s-sieci na α -diagram aktywności.



Rys. 8. RRG s-sieci podprocesu produkcyjnego kopiarko-frezarki po wprowadzeniu pośrednich punktów kontroli jakości potwierdzających, iż sieć nie jest bezpieczna (wierzchołek wyróżniony)

Fig. 8. RRG of s-net of production sub process of milling-copier machine after introducing intermediate points of quality control; unsafeness is detected (vertex highlighted)



Rys. 9. Dobrze zbudowana s-sieć podprocesu produkcyjnego kopiarko-frezarki po wprowadzeniu pośrednich punktów kontroli jakości

Fig. 9. Well-formed s-net of production sub process of milling-copier machine after introducing intermediate points of quality control

5. Podsumowanie

Zaproponowany algorytm weryfikacji modelowanego procesu produkcyjnego skutecznie wykrywa błędy w strukturze odpowiadającej mu sieci Petriego. Zastosowane w tym celu dwie metody analizy sieci: metoda „upartych zbiorów” oraz metoda redukcji Andre uznano za wystarczające. Wprowadzenie do algorytmu

dotąd dodatkowo współbieżnej metody redukcji [13], w tym wypadku uniemożliwiłoby obserwację miejsc, w których występują m. in. blokady i tym samym mogłoby utrudnić dokonanie koniecznych modyfikacji w celu uzyskania sieci dobrze zbudowanej. Dziesięć kroków algorytmu jednocześnie stanowi, w opinii autora, najkrótszą możliwą ścieżkę do zamodelowania poprawnie realizowanego procesu produkcyjnego. Wykorzystane do przedmiotowej analizy klasy sieci Petriego: α -sieci oraz s-sieci są sieciami odzwierciedlającymi charakter omawianych procesów.

Materiały źródłowe, w postaci specyfikacji technicznej niezbędne do zobrazowania przebiegu modelowania procesów produkcyjnych, zostały udostępnione przez dr Tomasza Belicę, który zaprojektował kopiarko-frezarkę na potrzeby lubuskiego przedsiębiorstwa.

Autor jest stypendystą w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa.



6. Literatura

- [1] Banaszak Z., Kuś J., Adamski M.: Sieci Petriego. Modelowanie, sterowanie i synteza systemów dyskretnych, Zielona Góra: Wydawnictwo Wyższej Szkoły Inżynierskiej, 1993.
- [2] Baresi L., Pezz M.: On Formalizing UML with High-Level Petri Nets, Lecture Notes in Computer Science, Volume 2001/2001, ss. 276-304, 2001.
- [3] Cizak O.: Komputerowo wspomaganie modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych, Poznań: Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, nr 6, 2007.
- [4] Debasish K., Debasis S.: A novel approach to generate test cases from UML activity diagrams, Journal of Object Technology, Vol. 8, nr 3, ss. 65-83, May-June 2009.
- [5] Dubois D., Stecke K. E.: Using Petri nets to represent production processes, Decision and Control, The 22nd IEEE Conference on, ss. 1062 – 1067, 1983.
- [6] Karatkevich A.: Analiza współbieżnych systemów dyskretnych: zbiory uporczywe vs. symulacja współbieżna, Przegląd Elektrotechniczny, nr 7, ss. 182-184, 2009.
- [7] Karatkevich A.: Zagadnienia redukcji podsieci automatowych w sieciach Petriego, Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 6, ss. 806-808, 2008 (V konferencja naukowa KNWS'08).
- [8] Karatkevich A.: Dynamic Analysis of Petri Net-Based Discrete Systems. Berlin Heidelberg New York: Springer LNCIS (356), 2007.
- [9] Karatkevich A.: To behavior analysis of a class of Petri nets// Proceedings of WRTP'03, 27th IFAC/IFIP/IEEE Workshop on Real-Time Programming, Łagów, 14-17.05.2003.- Elsevier Ltd, Oxford, UK, ss. 33-38, 2003.
- [10] Köhler M., Moldt D., Rölke H.: Modelling the structure and behaviour of Petri net agents. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: LNCS 2075, pp. 224-241, 2001.
- [11] Lasota A.: Modelowanie produkcji za pomocą diagramów aktywności UML i α -sieci na przykładzie obudowy separatora olejowego. Metody Informatyki Stosowanej, nr 2, ss. 85-96, 2010.
- [12] Lasota A.: Metodologia modyfikacji sieci obrazujących proces produkcyjny zawierający punkty kontroli jakości. Pomiary Automatyka Kontrola, nr 3, ss. 320-323, 2011.
- [13] López-Grao J. P., Merseguer J., Campos J.: From UML Activity Diagrams To Stochastic Petri Nets: Application To Software Performance Engineering, Proceedings of the 4th international workshop on Software and performance - WOSP'04, New York, USA, 2004.
- [14] Murata T.: Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. Proceedings of the IEEE 77(4), 541-580, 1989.
- [15] Valmari A.: State of the Art Report: STUBBORN SETS. Petri Net Newsletter, nr 46, ss. 6-14, 1994.
- [16] Zakrevskij A.: High-level design of logical control devices. Zakrevskij A. (ed.) Third International Conference Computer-Aided Design of Discrete Devices, National Academy of sciences of Belarus, Minsk, ss. 13-18, 1999.