

FRANCZOK Krzysztof¹
RUDNIK Katarzyna²

Usprawnienie procesu sterowania przepływem materiałów w magazynie z wykorzystaniem sieci Petriego

WSTĘP

Mimo wyraźnej tendencji do zwiększenia się rotacji dóbr, magazynu nie da się wyeliminować [18]. Magazyn stanowi nieodzowny element systemu logistycznego [9]. Główną przyczyną takiego stanu jest czas trwania procesów transportowych, który może spowodować pojawienie się kosztów wyczerpania zapasu, związanego na przykład z postojem produkcji. Magazyn nie stanowi jedynie obiektu przeznaczonego do gromadzenia dóbr materialnych w wyodrębnionej przestrzeni, jest bowiem odpowiedzialny za szereg czynności takich jak: czasowe przyjmowanie, składowanie, przechowywanie, kompletowanie, przemieszczanie, konserwację, ewidencjonowanie, kontrolowanie i wydawanie dóbr materialnych [14]. Zatem oprócz składowania materiału/towaru do zadań magazynu należą również działania manipulacyjne [9, 13]. Są one odpowiedzialne za przyjmowanie i wydawanie materiałów, przemieszczenia się materiałów w magazynie i czynności powodujące zmianę postaci ładunku [9]. Realizacja procesów manipulacyjnych jest możliwa dzięki istnieniu odpowiedniej infrastruktury i środków transportowych oraz urządzeń pomocniczych. W przypadku zautomatyzowanego magazynu istotną rolę odgrywa sterowanie procesami składowania i manipulacji w szczególności procesami odpowiedzialnymi za przepływ materiałów, które występują w każdym obiekcie magazynu.

W artykule zaprezentowano propozycję usprawniania procesu sterowania poprzez modelowanie przepływu materiałów z wykorzystaniem sieci Petriego [12]. Sieci Petriego są dobrym narzędziem do modelowania procesów dyskretnych oraz algorytmów sterujących takimi procesami. W literaturze naukowej można znaleźć szereg publikacji omawiających różnego rodzaju sieci Petriego i ich zastosowanie [8, 15, 19]. W zależności od charakteru i właściwości modelowanego procesu, do modelowania algorytmów sterowania można dobrać odpowiedni rodzaj sieci [16, 17]. W modelowaniu algorytmów złożonych systemów sterowania przydatne są hierarchiczne sieci Petriego [3, 19]. Dla obiektów sterowania, w których zachodzą zdarzenia o charakterze stochastycznym, można stosować sieci rozmyte [6]. Model sieci Petriego przed implementacją można poddać analizie formalnej [7], co daje możliwość zidentyfikowania i usunięcia błędów logicznych i formalnych, już na etapie projektowania [15, 19]. Utworzona struktura umożliwia usprawnienie procesu sterowania z uwagi na łatwość ewaluacji prostego, wizualnego zapisu warunków i działań. W publikacjach [16, 20] można znaleźć opis zastosowania sieci Petriego do modelowania procesów transportowych.

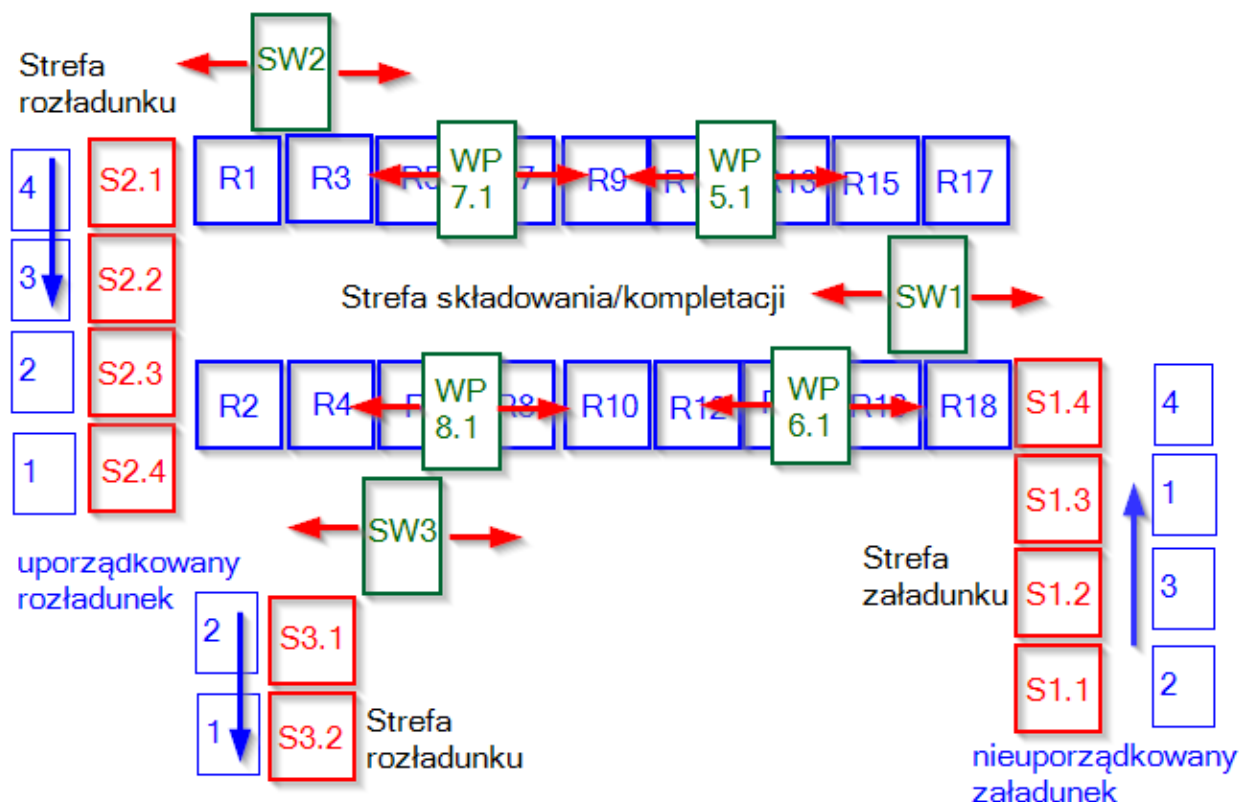
W artykule omówiono przykłady zastosowań sieci Petriego do sterowania przydziałem zadań dla wózków transportowych oraz realizację sterowania nadrzędnego przepływem materiałów w magazynie. Obiektem analiz jest zautomatyzowany magazyn szyb do produkcji okien, będący jednocześnie systemem sortowania i dostarczania szyb na linię montażową. Obiekt stanowi innowacyjny produkt firmy Rotox – czołowej marki w zakresie produkcji maszyn do wytwarzania okien i drzwi z aluminium i plastiku.

¹ Fabryka Maszyn ROTOX Sp. z o. o., 46-034 Pokój, Zieloniec 69, kfranczok@op.pl

² Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów, Katedra Inżynierii Wiedzy; 45-370 Opole ul. Ozimska 75. Tel: 423-40-35, k.rudnik@po.opole.pl

1. ORGANIZACJA PROCESÓW MAGAZYNOWYCH I PRZEPIYW MATERIAŁÓW W ZAUTOMATYZOWANYM MAGAZYNIE SZYB

Zautomatyzowany magazyn szyb można traktować jako magazyn główny szyb do produkcji okien [2], gdzie przechowywane są szyby przed ich przeznaczeniem na linię montażu. Ładunek jako niejednorodna jednostka ładunkowa składa się z wielu pozycji asortymentowych. Układ magazynu wraz z oznaczeniem kierunków przepływu materiałów zamieszczono na rysunku 1. Schemat przedstawia również rozmieszczenie środków transportowych, wykorzystywanych do przemieszczania szyb w strefach, odpowiadającym fazom procesu magazynowania.



Rys. 1. Schemat blokowy zautomatyzowanego magazynu szyb

Oznaczenia do rysunku 1:

- S1.n – segment transportowy załadunku z transporterami rolkowymi ($n=1, \dots, 4$)
- S2.n – segment transportowy rozładunku z transporterami rolkowymi ($n=1, \dots, 4$)
- S3.n – segment transportowy rozładunku z transporterami rolkowymi ($n=1, 2$)
- SW1 – wózek transportowy załadunku
- SW2 – wózek transportowy rozładunku
- SW3 – wózek transportowy rozładunku
- Rn – segment magazynowy ($n=1, \dots, 18$)
- WP5.1 – WP8.1 – pomocnicze wózki transportowe

1.1. Strefa przyjęcia

W obiekcie można wyróżnić oddzielną strefę przyjęcia, do której szyby trafiają od dostawcy uporządkowane optymalnie z punktu widzenia wydajności i bezpieczeństwa transportu, pomiędzy dostawcą a odbiorcą. Można powiedzieć, iż z perspektywy produkcji na linii montażowej, jest to nieuporządkowany załadunek. Strefa przyjęcia szyb jest wyposażona w zestaw urządzeń do identyfikacji materiału z wykorzystaniem kodów kreskowych oraz czujników i inicjatorów kontrolujących rolujące urządzenia przeładunkowe. W tym miejscu dokonywana jest także kontrola ilościowa i jakościowa szyb, która obejmuje sprawdzanie zgodności asortymentowej i ilościowej ładunku z zamówieniem oraz sprawdzenie jakości dostawy (brak uszkodzeń szyb).

1.2. Strefa składowania/kompletacji

W środku obiektu znajduje się podstawowa strefa składowania, która jest jednocześnie strefą kompletacji. Składowanie stanowi zbiór czynności związanych z przewiezieniem i umieszczeniem szyb w przestrzeni magazynowej w sposób usystematyzowany, zgodnie do właściwości przemieszczanego ładunku. Przestrzeń magazynowa składa się z półek magazynowych (wąsko ustawionych stojaków), pogrupowanych w tzw. segmenty magazynowe. Zaletą rozwiązania jest przejrzystość organizacyjna. Dzięki zastosowaniu układu rzędowego półek ułatwiony jest dostęp środków transportowych do jednostek załadunkowych [11]. Niemniej jednak jest to składowanie mieszane, które zapewnia częściowo bezpośredni dostęp do jednostki ładunkowej w dowolnej chwili, gdyż w jednym rzędzie może znaleźć się kilka jednostek ładunkowych (szyb).

Za odbiór szyb ze strefy przyjęć odpowiedzialny jest wózek transportowy załadunku, który może przewozić jednocześnie wiele szyb w kilku przegrodach. Przy rozmieszczeniu szyb w strefie składowania uwzględnia się kolejność zapotrzebowania materiału na linię montażową, zgodnie z ideą „*Just In Time*” oraz bliskości do właściwej strefy rozładunku. Rozmieszczenie uwarunkowane jest również przynależnością do odpowiedniego wyrobu okna. Istotą jest ściśle i elastyczne sterowanie przepływem materiałów, tak by minimalizować czas oczekiwania, a jednocześnie wyeliminować zapasy produkcji w toku [2]. Wówczas mniejsza powierzchnia magazynowa układu rzędowego w porównaniu do składowania blokowego, nie ma znaczenia z uwagi na ograniczenie przechowywania asortymentu do minimum.

Na podstawie zlecenia dostarczenia szyb na linię montażu, w strefie składowania dokonywana jest także operacja kompletacji materiału. Operacja ta polega na pobraniu szyb z odpowiedniej półki w celu ułożenia ich zgodnie ze specyfikacją asortymentową oraz ilościową dla określonego zlecenia na linii montażowej. Przy operacjach manipulacyjnych w strefie składowania/kompletacji wykorzystywane są wózki pomocnicze (WP 8.1, 7.1, 6.1, 5.1) wyposażone w rolki transportowe, pozwalające na przemieszczanie się ładunku w segmentach magazynu. W ramach fazy kompletacji wykonywana jest także kontrola ilościowa, która określa kompletność załadunku magazynu zgodnie z zamówieniami pod kątem asortymentu i ilości, jakości, numeru serii produkcyjnej itp. Wykryte braki są wskazywane operatorowi w strefie załadunku magazynu.

1.3. Strefy rozładunku

Magazyn jest wyposażony dwie strefy rozładunku (strefy wydań), które są umieszczone po przeciwnej stronie magazynu, zatem zgodnie z [9, 11, 13, 16] obiekt można zaliczyć do przelotowego układu technologicznego. W strefach rozładunku następuje kontrola wydania, polegająca na sprawdzeniu przygotowanej szyby z dokumentami wydania, kontrola stanu jakości szyby oraz rozładunek z wykorzystaniem odpowiedniego wózka transportowego rozładunku. Obiekt magazynu realizuje technologię wydawania szyb, zgodnie z zasadami FIFO (ang. *First In First Out*), a zatem zlecenia wydania szyb, które są przydzielone jako pierwsze, są wykonywane jako pierwsze. Zasada ta ma bezpośrednie przełożenie na przepływ materiałów w magazynie. Z uwagi na bliskość stref rozładunku i strefy składowania minimalizowane są czasy przepływu materiału.

2. ZADANIA STEROWANIA W ZAUTOMATYZOWANYM MAGAZYNIE SZYB

Zadania realizowane przez zautomatyzowany magazyn szyb są realizowane w dwóch warstwach. Pierwsza warstwa oprogramowania realizuje zadania interfejsu użytkownik – maszyna (HMI) oraz platformy wymiany danych wejściowych i wyjściowych takich jak zlecenia produkcyjne, dane statystyczne, informacje zwrotne do oprogramowania wspomagającego zarządzanie produkcją. Zadania są realizowane zdarzeniowo, przez aplikację utworzoną w środowisku Borland Delphi.

Druga warstwa oprogramowania realizuje zadania w trybie czasu rzeczywistego. Ten poziom oprogramowania realizowany jest na bazie systemu czasu rzeczywistego Twincat firmy Beckhoff w postaci sterownika swobodnie programowalnego, opartego na platformie sprzętowej komputera klasy PC.

Poszczególne zadania, realizowane w warstwie systemu czasu rzeczywistego, podzielone są na grupy zadań czysto technicznych takie jak:

- zarządzanie napędami elektrycznymi,
- kontrola czujników, inicjatorów, elementów wykonawczych,
- kontrola funkcji sterowania ręcznego poszczególnych podzespołów urządzenia,
- kontrola funkcji automatycznych poszczególnych podzespołów urządzenia,
- sygnalizowanie zdarzeń,
- kontrola funkcji bezpieczeństwa,

oraz na grupy zadań zarządzających przepływem szyb takie jak:

- przyjmowanie szyb do magazynu,
- określenie typu, gabarytów szyby, przynależności do zlecenia, przynależności do okna, które to dane służą jako parametry wejściowe do wielowymiarowego algorytmu sterowania przepływem danej szyby przez magazyn,
- wyszukiwanie najbardziej optymalnego miejsca w magazynie w zależności od parametrów wejściowych algorytmu poszukiwania,
- realizacji funkcji sortowania szyb według założonych kryteriów,
- realizacji funkcji wytyczania optymalnej trasy przejazdu wózka transportowego,
- realizacji funkcji kompletowania zlecenia wytransportowania szyb i kolejności realizacji tych zleceń w zależności od założonych kryteriów i warunków zewnętrznych,
- sterowanie wózkami transportowymi, segmentami rolkowymi, obrotnicami, pochylniami, w celu umożliwienia optymalnego, a zarazem bezkolizyjnego napełniania i opróżniania magazynu szyb.

3. UTRUDNIENIA W REALIZACJI STEROWANIA PRZEPLYWEM MATERIAŁÓW

Szczególnością trudności w sterowaniu procesami dyskretnymi zachodzącymi w zautomatyzowanym magazynie, stanowi brak możliwości przewidywania, w jakich odstępach czasu, w jakiej kolejności i jakich gabarytów szyby będą wprowadzane do strefy załadunku magazynu (rysunek 1). Trudno również ocenić przed wprowadzeniem określonych szyb do magazynu, jakie jest ich wzajemne powiązanie względem danego okna, czy całego zlecenia produkcyjnego. W produkcji stolarki okiennej i drzwiowej rzadko stosuje się znormalizowane wymiary okien, a co z tego wynika wymiary szyb. Ze względu na duże zróżnicowanie wymiarów, jak i na szeroki wachlarz rodzajów szyb, zasadą jest, że każda szyba jest traktowana w systemie produkcyjnym jako element niepowtarzalny, przypisany bezpośrednio do ściśle określonego okna. Ponieważ szyby na wejściu do magazynu, są nieuporządkowane względem zapotrzebowań na linii montażowej, może się zdarzyć, że kolejno po sobie będą wprowadzane nie tylko szyby z różnych okien, ale także z różnych zleceń produkcyjnych, co ma wpływ na wybór określonych półek magazynowych. Jednocześnie trudno przewidzieć w jakiej kolejności i w jakich odstępach czasu będą wpływały zamówienia dostarczenia szyb na stanowiska szklenia. Z tego powodu nie da się przed wystąpieniem zamówienia, określić z której półki magazynowej, oraz w jakiej ilości i kolejności będą pobierane szyby.

Charakter realizowanych zadań sprawia, że szczególnie trudne jest sterowanie procesami przepływu szyb w magazynie. Ze względu na stopień złożoności zadań, do projektowania algorytmów sterowania tymi procesami proponuje się zastosowanie znakowanych sieci Petriego [4]. Nadają się one dobrze do modelowania algorytmów sterowania procesami dyskretnymi, do których można zaliczyć procesy przepływu materiałów występujące w magazynie.

4. DEFINICJA SIECI PETRIEGO

W zapisie formalnym, znakowane sieci Petriego [12] stanowią uporządkowaną czwórkę w postaci [8, 17]:

$$PN = \{P, T, F, M_0\} \quad (1)$$

gdzie:

- P stanowi skończony, niepusty zbiór miejsc,
- T – skończony, niepusty zbiór tranzycji,
- F – relację przepływu sieci PN,

$M_0 : P \rightarrow \mathbb{N} \cup \{0\}$ – oznakowanie początkowe, stanowiące funkcję przypisującą każdemu z miejsc liczbę całkowitą nieujemną.

Dla transakcji $t \in T$ można zdefiniować:

- zbiór miejsc wejściowych tranzycji: $In(t) = \{p \in P : (p, t) \in F\}$,
- zbiór miejsc wyjściowych tranzycji: $Out(t) = \{p \in P : (t, p) \in F\}$.

Analogicznie można zdefiniować zbiory tranzycji wejściowych i wyjściowych miejsca p .

Sieć Petriego najczęściej jest reprezentowana poprzez skierowany graf (graf Berge'a), w którym występują dwa rodzaje węzłów:

- miejsca, zaznaczane symbolem kółek,
- tranzycje, zaznaczane w postaci zaciemnionego prostokąta,

oraz relacje przepływu, przedstawiane w postaci strzałek (luków) między elementami $P \cup T$. Graf ten stanowi popularny model graficzny do opisu zdarzeń, stąd też znajduje zastosowanie do projektowania, planowania, sterowania czy eksploatacji systemów współbieżnych [8]. Znakowanie sieci umożliwia analizę dynamiczną zachowań procesów – znakowanie zmienia się w trakcie wykonywania przejść. W zależności od potrzeb, można stosować sieci Petriego, które różnią się pewnymi właściwościami. Analizę własności sieci Petriego można znaleźć w [8, 15, 17].

5. STEROWANIE PRZEPLYWEM MATERIAŁÓW Z WYKORZYSTANIEM SIECI PETRIEGO

Innowacyjnym elementem sterowania procesami przepływu materiałów, jest metoda implementacji w środowisku sterownika PLC, algorytmów sterowania procesami transportowymi, zamodelowanymi z wykorzystaniem sieci Petriego oraz języka strukturalnego ST [5]. Zastosowana metoda, pozwala na realizację algorytmów sterowania, z zachowaniem determinizmu czasowego właściwego dla systemów czasu rzeczywistego oraz maksymalnie wydajne wykorzystanie zasobów sterownika PLC [10]. Możliwe jest również zachowanie struktury i właściwości behawioralnych modelu w postaci sieci Petriego, po jego implementacji w środowisku sterownika PLC [5].

5.1. Agenty układu transportowego magazynu

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy układ transportowy, którego zadaniem jest przyjmowanie szyb poprzez transportery rolkowe S1.1-S1.4, a następnie umieszczanie ich za pomocą wózka SW1, we współpracy z wózkami WP5.1, WP6.1, WP7.1 lub WP8.1, w określonych półkach magazynowych. Tak zmagazynowane elementy, na podstawie napływających z nadrzędnego systemu sterowania żądań, są podawane za pomocą wózka SW2 na podajniki rolkowe S2.1-S2.4, lub wózka SW3 na podajniki rolkowe S3.1-S3.2. Wózek SW2 w celu pobrania szyby z półki magazynowej, współpracuje z wózkami WP5.1 lub WP7.1, zaś wózek SW3 współpracuje odpowiednio z wózkami pomocniczymi WP6.1 lub WP8.1.

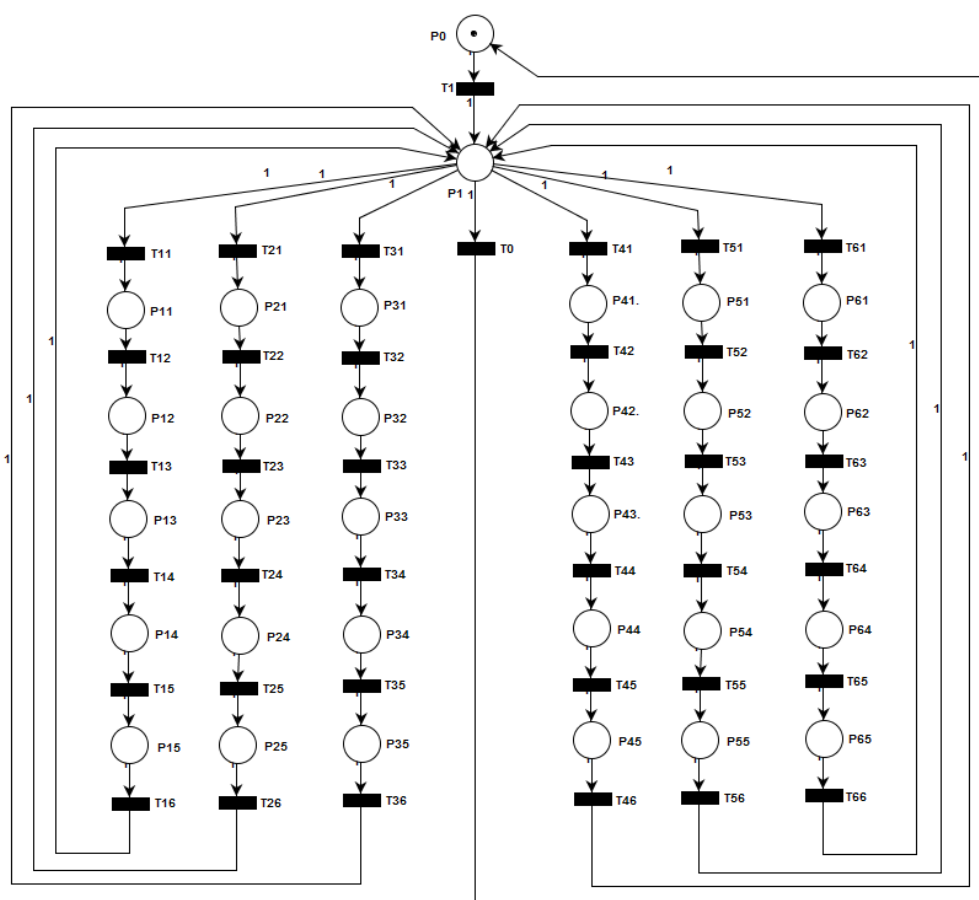
Wykorzystując zasady teorii złożoności [3], układ transportowy z rysunku 1 można podzielić na elementy proste, tzw. agenty, z których każdy może pracować w sposób autonomiczny w ramach dużego systemu transportowego. Takim agentem może być na przykład element transportera rolkowego, czy wózka transportowego. Główny program zawiera rozkazy wywołujące wcześniej zdefiniowane operacje w poszczególnych agentach oraz instrukcje sprawdzające wykonanie zadanego rozkazu. Pozwala to na rozdzielenie w programie części lokalnej właściwej dla poszczególnych agentów, od części globalnej właściwej dla szkieletu – części zarządzającej systemem transportowego.

5.2. Model sieci Petriego sterujący przydziałem zadań dla pomocniczych wózków transportowych

Na rysunku 2 przedstawiono przykład uproszczonego modelu sieci Petriego dla systemu sterującego przydziałem zadań do pomocniczych wózków transportowych (WP5.1/WP7.1 lub WP6.1/WP8.1), które współpracują przy realizacji zadań z wózkami transportowymi SW1-SW3, w sposób umożliwiający optymalne ich wykorzystanie. W tak zorganizowanym systemie, możliwe jest wykorzystanie w miejscach decyzyjnych takich jak miejsce P1 (rysunek 2), skomplikowanych

algorytmów, na przykład opartych o modele matematyczne lub metody sztucznej inteligencji. Utworzona struktura sieci umożliwi usprawnienie sterowania dwójako. Po pierwsze pozwala na optymalizację modelu sieci stanowiącej strukturę przepływu elementów w układzie transportowym. Po drugie, poprzez wydzielenie punktów decyzyjnych, pozwala na łatwą modyfikację lub podmianę samego procesu decyzyjnego (w oddzieleniu od sterowania całym układem).

Algorytm decyzyjny może wskazać, który wózek pomocniczy powinien być przydzielony do określonego wózka transportowego, co spowoduje uaktywnienie określonych sekwencji, w sieci Petriego, modelującej proces transportowy (rysunek 2). W ten sposób można optymalizować wykorzystanie elementów transportowych w całym systemie transportowym, w sposób umożliwiający uzyskanie najbardziej korzystnych parametrów wydajnościowych. Kontrola globalna poszczególnych agentów umożliwia planowanie przebiegu procesu w czasie rzeczywistym, w oparciu o aktualny stan innych agentów procesu w całym systemie.



Rys. 2. Uproszczony model sieci Petriego sterujący przydziałem zadań dla pomocniczych wózków transportowych

Oznaczenia do rysunku 2:

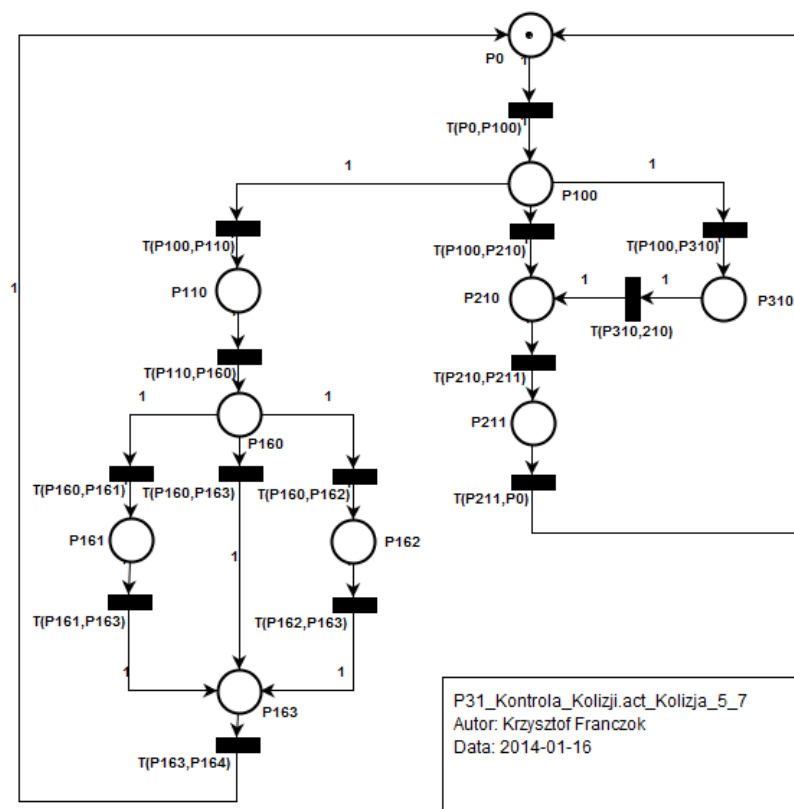
- P_n – miejsce w sieci Petriego o numerze n
- T_i – tranzycja w sieci Petriego o numerze i
- P_0 – miejsce znacznika początkowego
- P_1 – miejsce decyzji o wyborze odpowiedniej sekwencji
- P_{11} - P_{15} – sekwencja samodzielnej pracy wózka SW1
- P_{21} - P_{25} – sekwencja przejazdu wózka na pozycję bezpieczną - antykolizyjną
- P_{31} - P_{35} – sekwencja współpracy wózka SW1 z wózkiem WP5.1
- P_{41} - P_{45} – sekwencja współpracy wózka SW1 z wózkiem WP6.1
- P_{51} - P_{55} – sekwencja współpracy wózka SW1 z wózkiem WP7.1
- P_{61} - P_{65} – sekwencja współpracy wózka SW1 z wózkiem WP8.1

5.3. Model sieci Petriego realizujący sterowanie nadrzędne

Ponieważ jednoczesna praca par pomocniczych wózków transportowych, odpowiednio:

- WP5.1 i WP7.1,
- WP6.1 i WP8.1,

korzysta z tego samego torowiska i realizuje niezależnie określone zadania, może prowadzić to do występowania kolizji. Zadaniem algorytmu decyzyjnego powinno być takie przydzielanie zadań dla wózków aby zdarzenia kolizyjne nie występowały. Należy jednak przyjąć, że nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie sytuacji kolizyjnych. Dlatego dodatkowym zabezpieczeniem jest nadrzędny algorytm antykolizyjny, monitorujący położenie pomocniczych wózków transportowych względem siebie. Przykład implementacji algorytmu z zastosowaniem sieci Petriego zamieszczono na rysunku 3. W momencie, gdy odległość wózków transportowych pracujących na jednym torze osiągnie wartość mniejszą od minimalnej, zadaniem algorytmu nadrzędnego jest podjęcie decyzji, który z wózków ma pierwszeństwo względem sąsiadującego.



Rys. 3. Model sieci Petriego nadrzędnego monitorowania położenia pomocniczych wózków transportowych WP5.1/ WP6.1

Oznaczenia do rysunku 3:

- P_n – miejsce w sieci Petriego o numerze n
- T_i – tranzycja w sieci Petriego o numerze i
- P_0 – miejsce znacznika początkowego

- P_{100} – rozpoznanie trybu pracy wózków (automatyczny, ręczny, testowy)
- P_{110} – rozwiązanie kolizji dla trybu automatycznego
- P_{160} – ocena, który wózek nie może już ustąpić (wykonuje zadanie)
- P_{161} – działanie, gdy wózek WP5.1 powinien ustąpić
- P_{162} – działanie, gdy wózek WP6.1 powinien ustąpić
- P_{163} – oczekiwanie na ustąpienie sytuacji kolizyjnej
- P_{210} – rozwiązanie kolizji dla trybu ręcznego
- P_{211} – umożliwienie ręcznego przejazdu obu wózków tylko w kierunku odkolizyjnym
- P_{310} – rozwiązanie kolizji dla trybu testowego

Algorytm nadrzędny wpływa na działanie algorytmu podrzędnego poprzez wyłączenie, czyli deaktywowanie sekwencji bez względu na stan w jakim się ona znajduje [1], według metody opisanej w [5]. Następnie sprowadza się sekwencję algorytmu podrzędnego, do punktu decyzyjnego, w którym w zależności od wyniku działania algorytmu nadrzędnego, następuje albo ponowne uruchomienie sekwencji realizującej zlecenie albo uruchomienie sekwencji powodującej odjazd wózka na pozycję bezpieczną.

WNIOSKI

Artykuł przedstawia możliwość wykorzystania sieci Petriego w celu usprawnienia procesu sterowania przepływem materiałów w zautomatyzowanym magazynie. Przeprowadzone badania i wdrożenia wskazują przydatność metody w procesie projektowania przepływu materiałów w magazynie. Rozwiązanie powoduje, iż projektowanie sterowania procesami transportowymi zachodzi w sposób przyjazny, umożliwiając łatwą analizę i ewaluację algorytmu sterującego bądź bezpośrednią podmianę procesu decyzyjnego w konkretnym miejscu sieci. Struktura sieci Petriego może mieć charakter hierarchiczny powodując modułowość projektu sterowania. Podejście takie jest bardzo dobrym rozwiązaniem przy nieseryjnej produkcji maszyn, które stanowią indywidualne zamówienia dla klienta.

Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie sieci Petriego w celu usprawnienia procesu sterowania przepływem materiałów w magazynie. Obiektem analiz jest zautomatyzowany magazyn szyb do produkcji okien, będący jednocześnie systemem sortowania i dostarczania szyb na linię montażową. Opisano szczegółowo organizację procesów magazynowych oraz procesy przepływu materiałów w obiekcie. Omówiono zadania sterowania procesami w magazynie oraz zastosowane rozwiązania w implementacji oprogramowania sterownika. Zwrócono uwagę na problemy sterowania przepływem materiałów w trybie czasu rzeczywistego. Jako sposób rozwiązania problemów zaproponowano modelowanie sterowania procesami w magazynie z wykorzystaniem sieci Petriego. Należy podkreślić korzyści z zastosowanego rozwiązania. W szczególności omówiono przykłady zastosowań sieci Petriego do sterowania przydziałem zadań dla wózków transportowych oraz realizację sterowania nadrzędnego przepływem materiałów w magazynie.

Improvement of the control processes of materials flow in the warehouse using Petri nets

Abstract

The paper describes the use of Petri nets to improve the control process of the materials flow in the warehouse. The object of analysis is automated warehouse of glazing to windows production. The warehouse is also a system of sorting and delivering glazing to the assembly line. The organization of warehouse processes and processes of materials flow in the object are presented. Tasks of control processes in the warehouse and the solutions applied in the implementation of driver software are given. The problems of controlling the flow of materials in real-time mode are described. As a way to solve the problems, the modelling of process control in the warehouse using Petri nets is proposed. The advantages of the solution are presented. Two examples of the use of Petri nets are described: control of tasks allocation for transport trolleys, the implementation of supervisory control of material flow in the warehouse.

BIBLIOGRAFIA

1. Andrzejewski G., Mróz P., Realizacja hierarchicznych sieci Petriego z wykorzystaniem sterowników klasy PLC. PAK vol.53, 5/2007.
2. Bendkowski J., Kramarz M., Logistyka stosowana metody, techniki, analizy, Cześć I. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
3. Cyklis J., Słota A., Modelowanie systemów wytwarzania przy pomocy sieci Petriego z wykorzystaniem teorii złożoności. [W:] SOP'2008 CA Systems and Technologies, ISBN 978-83-7242-481-5, s. 47–52.

4. Franczok K., A Petri net based control method for concurrent and sequential processes in a storehouse, *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, seria Elektryka* 2014, Nr 352/2014 z.70, s. 21-22.
5. Franczok K., Metoda modelowania procesów sekwencyjnych i współbieżnych w środowisku sterowników PLC. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 1, 2014.
6. Gniewek L., Hajduk Z., Sprzętowo-programowa realizacja rozmytej interpretowanej sieci Petriego. *Pomiary, Automatyka, Kontrola* 12/2012, s. 1113–1116.
7. Grobelna I., Weryfikacja modelowa interpretowanych sieci Petriego. *PAK vol. 57*, 6/2011.
8. Lasota A., Modelowanie procesów produkcyjnych z wykorzystanie diagramów aktywności UML i sieci Petriego. *Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT*, Warszawa 2012.
9. Niemczyk A., *Magazynowanie*. [W:] *Logistyka*. Biblioteka Logistyka, red. D. Kisperska-Moroń i S. Krzyżaniak, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2009.
10. Oprządkiewicz K., Porównanie języków programowania. *Pomiary, Automatyka, Robotyka*, 12/2006.
11. Pacana A., Pawłowska B., Perłowski R., Stachowicz F., Zielecki W., *Logistyka w przedsiębiorstwie*. Red. W. Zieleckiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2010.
12. Petri C.A., *Communication with automata*. Technical Raport no. RADC-TR-65-377, Supplement I.
13. Pisz I., Sęk T., Zielecki W., *Logistyka w przedsiębiorstwie*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.
14. PN-N-01800:1984 *Gospodarka magazynowa – terminologia podstawowa*.
15. Reisig W., *Petrinetze, Modelierungstechnik, Analysemethoden, Fallstudien*. Vieweg+Treibner Verlag, Springer Fachmedien, Wiesbaden 2010.
16. Skorupski J., Sieci Petriego jako narzędzie do modelowania procesów ruchowych w transporcie. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej z.78*, Warszawa 2011, s. 69–84.
17. Szpyrka M., *Sieć Petriego w modelowaniu i analizie systemów współbieżnych*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2008.
18. Skowronek C., Sarjusz-Wolski Z., *Logistyka w przedsiębiorstwie*. PWE, Warszawa 2008.
19. Węgrzyn A., *Symboliczna analiza układów sterowania binarnego z wykorzystaniem wybranych metod analizy sieci Petriego*. Rozprawa Doktorska. Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych, 2003.
20. Xiang L., *Warehouse Logistics System Modeling and Simulation Based on Petri Net and Flexsim*. [W:] *ETCS '11 Proceedings of the 2011 Third International Workshop on Education Technology and Computer Science - Volume 01*, IEEE Computer Society Washington, DC, USA, p. 532–534.