

dr inż. Grzegorz Chwajol
Politechnika Krakowska

MECHANIZMY OBSŁUGI WYBRANYCH ZAKŁÓCEŃ W ROZPROSZONYM SYSTEMIE STEROWANIA

Obsługa zakłóceń będących nieodłączną cechą charakteryzującą procesy produkcyjne stanowi jeden z ważnych czynników wpływających na rozwój współczesnych systemów sterowania wytwarzaniem. W pracy przedstawiono wprowadzone, w opracowanym w Politechnice Krakowskiej wieloagentowym systemie sterowania AIM, mechanizmy obsługi zakłóceń w postaci awarii urządzeń wytwórczych oraz nowych zleceń.

DISTURBANCES HANDLING MECHANISMS IN DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

Disturbances handling is one of significant factors influencing directions of development of contemporary manufacturing control systems. The paper presents machines breakdowns and rush orders handling mechanisms introduced to multiagent control system AIM developed at Cracow University of Technology.

1. WPROWADZENIE

Współczesne wymagania rynkowe względem systemów produkcyjnych charakteryzujące się przede wszystkim zmiennym asortymentem produkcji, występowaniem zmian dotyczących zamówień czy losowością zleceń wymuszają konieczność wprowadzania zmian w systemach sterowania wytwarzaniem. Systemy te powinny m.in. być odporne na różnego rodzaju zakłócenia w realizacji procesów wytwórczych oraz charakteryzować się samoorganizacją i rekonfigurowalnością pozwalającą na szybkie dostosowywanie się do zmiennych warunków produkcyjnych. Dodatkowo powinny zapewnić realizację różnorodnej asortymentowo produkcji, najczęściej małoseryjnej lub jednostkowej. Wymagania te sprawiają, że stopniowo odchodzi się od klasycznych, scentralizowanych i hierarchicznych systemów sterowania wytwarzaniem na rzecz rozwiązań o charakterze hybrydowym bądź rozproszonym. Podejście takie charakteryzuje się przeniesieniem procesów decyzyjnych z grupy centralnych decydentów spotykanych w tradycyjnych systemach wytwórczych na rozproszone, inteligentne jednostki wytwórcze dysponujące możliwością współdziałania i samodzielnego podejmowania decyzji. Pozwala to osiągnąć większą zdolność systemu sterowania wytwarzaniem do rekonfiguracji i dostosowania się do zmiennych oczekiwań ze strony rynku, a także do sprostania sytuacjom awaryjnym, które pomimo postępu technicznego wciąż pojawiają się w systemach wytwarzania. Szybkie i efektywne reagowanie na zakłócenia nabiera w wolnorynkowej i wysoce konkurencyjnej gospodarce szczególnego znaczenia. Istotne staje się zatem wyposażanie nowoczesnych systemów sterowania produkcją w mechanizmy obsługi tego typu zdarzeń.

Zakłócenia występujące w systemach wytwórczych można, w zależności od przyjętego kryterium, sklasyfikować w różny sposób. Poniżej przedstawiono klasyfikację zakłóceń z uwagi na ich źródła [6]:

- zakłócenia typu *upstream*: problemy z dostawą materiałów i półfabrykatów, ich jakością, opóźnieniami itp.,

- zakłócenia wewnętrzne: problemy w przepływie informacji i funkcjonowaniu systemu sterowania, błędy związane z podejmowaniem decyzji, błędy operatora, awarie maszyn i urządzeń, blokady itp.,
- zakłócenia typu *downstream*: nagłe zlecenia, zmiany w zamówieniach, sezonowość zleceń itp.

Inny z kolei podział związany jest z charakterem zakłóceń [5]. Rozróżnić tu można:

- zakłócenia nagłe (ang. *abrupt*) i stopniowe (ang. *gradual*),
- zakłócenia losowe (ang. *random*) i regularne (ang. *systematic*),
- zakłócenia czasowe, jakościowe oraz kosztowe.

W pracy [2] zakłócenia sklasyfikowano na podstawie skutków ich wystąpienia. Otrzymano w ten sposób trzy grupy zakłóceń:

- zakłócenia operacji – uniemożliwiające wykonanie danej operacji, ale nie wykluczające możliwości realizacji innych operacji przydzielonych do danego stanowiska,
- zakłócenia maszyny – eliminujące z pracy całe stanowisko produkcyjne (np. na skutek awarii maszyny),
- zakłócenia procesu – powodujące natychmiastowe lub stopniowe wycofywanie całego procesu (np. w sytuacji wykrycia błędu procesu technologicznego).

Każdego rodzaju zakłócenie może skutkować potrzebą zmian w konfiguracji systemu sterowania, najczęściej także wymaga modyfikacji realizowanych harmonogramów produkcyjnych. Aby sprostać związanym z tym wymaganiom, nowoczesne systemy sterowania powinny cechować m.in. rekonfigurowalność, samoorganizacja oraz zdolność do uczenia się [7]. Z tego też względu obsługa zakłóceń w systemach klasycznych napotyka na szereg trudności. Znacznie lepiej z omawianym problemem radzą sobie systemy oparte o architektury hybrydową i rozproszoną.

Odporne na zakłócenia systemy sterowania produkcją powinny nie tylko umożliwiać reagowanie na zaistniałe zakłócenia (*fail and recover*), ale także umieć je przewidywać i przeciwdziałać (*predict and prevent*). Leitão i Barbosa w pracy [3] wskazują na możliwość wykorzystania w tym celu metod statystycznych bądź sieci neuronowych, które oparte na historii zdarzeń zakłócających realizowane procesy (awaria urządzenia, opóźnienie bądź odwołanie zlecenia, pilne zamówienia) pozwoliłyby na predykcję oraz uwzględnianie takich zakłóceń w przyszłości. Zaproponowany mechanizm obsługi zakłóceń oparty na predefiniowanych regułach, a także posiadający zdolność uczenia się został rozwinięty i zaimplementowany w holonicznym systemie sterowania ADACOR [4], zaś przeprowadzone testy systemu w zakresie reagowania na zdarzenia zakłócające realizowane procesy produkcyjne przyniosły obiecujące rezultaty. Wzrost odporności na zakłócenia w stosunku do systemów klasycznych został także zauważony w wyniku prototypowego wdrożenia wieloagentowego systemu sterowania wytwarzaniem zrealizowanego w firmie DaimlerChrysler [1].

Mimo stale rosnącego stopnia niezawodności maszyn i urządzeń wytwórczych, rzeczywiste systemy produkcyjne w dalszym ciągu narażone są na występowanie zakłóceń. Z tego powodu istotne znaczenie mają działania, których celem jest uwzględnianie w systemach sterowania mechanizmów obsługi zakłóceń pojawiających się najczęściej. Mechanizmy takie zostały wprowadzone w wieloagentowym systemie sterowania wytwarzaniem AIM [10] (ang. *Agent Integrated Manufacturing*). W systemie tym wyróżnić można kilka zasadniczych typów agentów stanowiących podstawę działania tego systemu. Są to m.in.: *agenty*

wykonawcze reprezentujące poszczególne zasoby wytwórcze oraz związane z nimi *agenty dostosowujące* pełniące rolę pośredników w komunikacji ze sterownikami urządzeń; *agenty przedmiotowe*, których funkcją jest reprezentowanie wytwarzanych w systemie przedmiotów; *agent technolog*, którego zadaniem jest opracowywanie procesów technologicznych; *agenty systemowe* administrujące i monitorujące stan systemu oraz *agenty zleceń* reprezentujące poszczególne typy produktów wytwarzanych w systemie produkcyjnym. Realizowane w systemie AIM procesy produkcyjne mają w ogólnym przypadku charakter wielowariantowy. Wielowariantowość rozumiana jest tu dwojako. Z jednej strony oznacza, że dane zlecenie może być realizowane przy wykorzystaniu różnych zasobów wytwórczych. Drugi aspekt wielowariantowości polega na różnych sposobach realizacji czynności elementarnej w obrębie pojedynczego zasobu. Wprowadzone w systemie sterowania AIM mechanizmy dotyczą obsługi zakłóceń w postaci awarii urządzeń wytwórczych oraz losowo nadchodzących zleceń.

2. AWARIE URZĄDZEŃ WYTWÓRCZYCH

Podczas opracowywania algorytmu postępowania w przypadku uszkodzenia urządzenia wytwórczego w systemie AIM zdefiniowano kilka wymagań względem odpowiedzialnego za obsługę awarii mechanizmu. W momencie wystąpienia awarii system sterowania powinien:

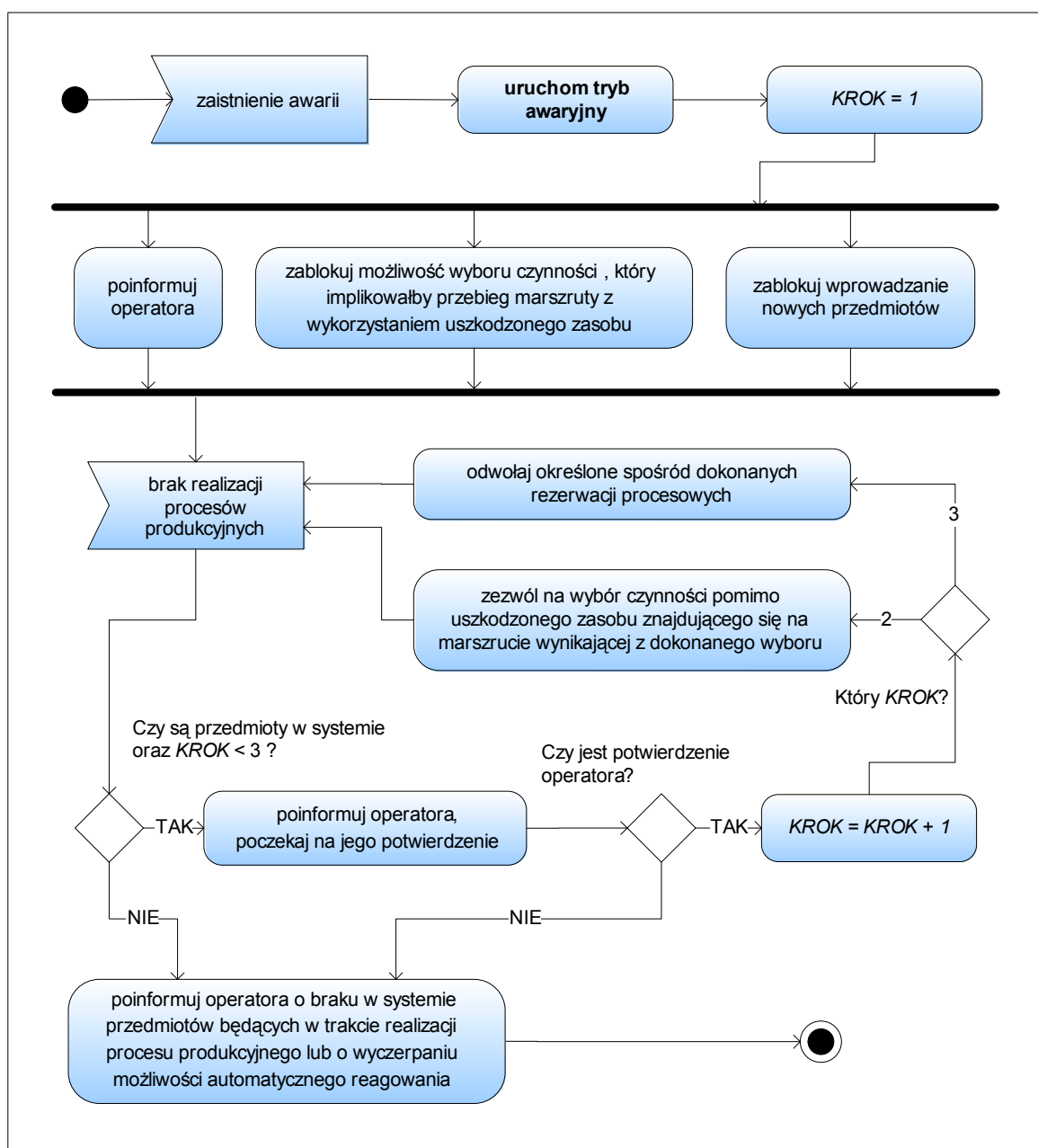
- poinformować operatora o zaistniałej sytuacji,
- nie wprowadzać do systemu (do czasu podjęcia decyzji przez operatora o sposobie reakcji na powstałą awarię) palet z nowymi półfabrykatami,
- zezwolić na kontynuację realizowanych procesów wytwórczych, jeśli uszkodzony zasób nie jest wymagany do ich realizacji lub jeśli istnieją alternatywne marszruty technologiczne.

Warto zaznaczyć, że zarówno hybrydowa architektura systemu sterowania, na której oparto budowę systemu AIM, jak też wprowadzone podstawowe algorytmy jego działania zapewniają w określonym stopniu odporność na potencjalne awarie urządzeń (w rozumieniu możliwości kontynuowania procesów produkcyjnych z pominięciem uszkodzonego zasobu). Uwidacznia się to w przebiegu procesów decyzyjnych realizowanych z udziałem agentów wykonawczych oraz przedmiotowych, w których jednym z pierwszych kroków jest sprawdzenie dostępności wymaganych do realizacji czynności agentów. W konsekwencji żadna czynność elementarna stanowiąca podstawowy element procesu wytwórczego, której realizacja wymaga zasobu wytwórczego niedostępnego w danej chwili z powodu awarii nie zostanie rozpoczęta. Niestety nie gwarantuje to prawidłowego (z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z awarii urządzenia) funkcjonowania systemu w każdym przypadku, dlatego też zaproponowano dodatkowe mechanizmy obsługi awarii.

Poniżej przedstawiono przebieg działań realizowanych przez system AIM (rys. 1) począwszy od momentu identyfikacji awarii, za którą odpowiedzialny jest agent dostosowujący. Po stwierdzeniu przez agenta dostosowującego braku możliwości kontynuacji pracy (wynikającej np. z uszkodzenia narzędzia lub samego urządzenia) agent ten przesyła stosowną informację agentowi wykonawczemu, którego zadaniem jest poinformowanie o zaistniałej sytuacji operatora, a także przekazanie odpowiedniego komunikatu superagentowi. Ten ostatni uruchamia tryb awaryjny pracy systemu sterowania.

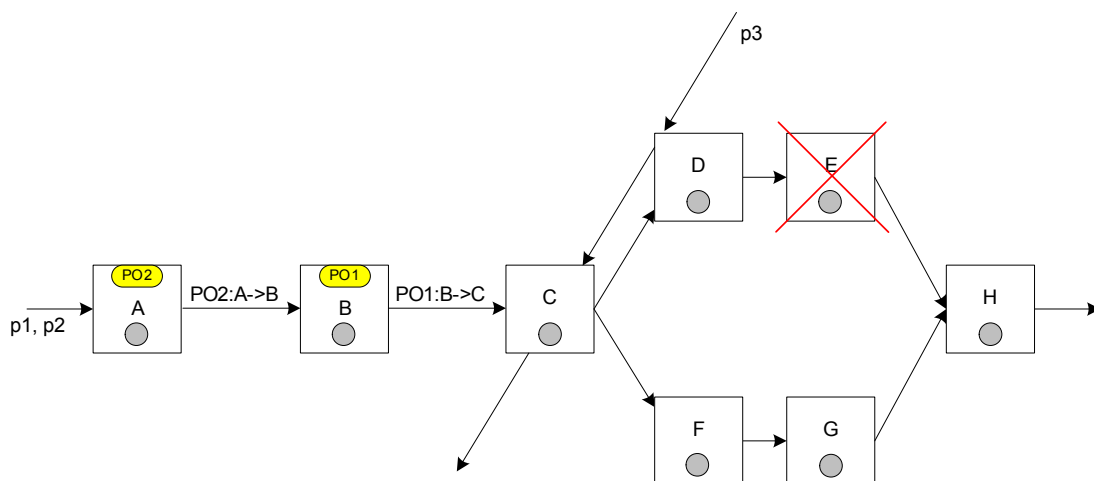
Zasadniczym skutkiem uruchomienia trybu awaryjnego jest modyfikacja sposobu podejmowania decyzji. Jedną ze zmian jest uniemożliwienie bez zgody operatora dokonania wyboru czynności do realizacji będącej pierwszą dla danego procesu, czyli w konsekwencji

zaniechanie inicjalizacji wykonania przedmiotów, których procesy wytwórcze jeszcze nie zostały rozpoczęte. Inne pożądane działanie systemu sterowania w trybie awaryjnym wiąże się z pomijaniem w procesach decyzyjnych czynności, których wybór implikowałby przebieg marszruty obejmującej czynność wykorzystującą uszkodzony zasób. Jest to możliwe dzięki dodaniu do algorytmu działania biorącego udział w procesach decyzyjnych agenta przedmiotowego kroku, w którym dokonywana jest weryfikacja stanu poszczególnych obiektów wytwórczych leżących na każdej z potencjalnych marszrut wykonania przedmiotu. W efekcie dana czynność nie zostaje wybrana jeśli nie będzie możliwa kontynuacja procesu produkcyjnego ze względu na awarię urządzenia. Powyższe działania stanowią pierwszy krok w realizacji algorytmu obsługi awarii.



Rys. 1. Algorytm działania mechanizmu obsługi awarii

Powyższe warunki nie gwarantują niestety skutecznego funkcjonowania systemu w każdym przypadku. Mogą zaistnieć sytuacje, w których zastany w momencie awarii bądź osiągnięty już w czasie pracy w trybie awaryjnym stan systemu nie pozwala na kontynuowanie procesów wytwórczych mimo teoretycznej realizowalności niektórych z nich. Przykład takiej sytuacji został zobrazowany na rys. 2. Przedstawiony fragment systemu wytwarzania bierze udział w kilku realizowanych wspólnie procesach wytwórczych, w tym dotyczących przedmiotów typu PO1 oraz PO2 procesach p1 oraz p2. Marszruta wykonania przedmiotu PO1 prowadzi przez obiekty wytwórcze A-B-C-D-E-H, zaś przedmiotu PO2 przez obiekty A-B-C-F-G-H. Dodatkowo obiekty C oraz D zaangażowane są w realizację procesu p3. Obiekt E jest zasobem uszkodzonym. Paleta z przedmiotami typu PO1 związana jest aktualnie z zasobem wytwórczym B, zaś z przedmiotami typu PO2 – z zasobem A. Zgodnie z przedstawionymi regułami, ze względu na brak marszrut wykonania przedmiotów typu PO1 nie przebiegających przez uszkodzony zasób wybór czynności PO1:B->C (co w przedstawionym zapisie oznacza transport przedmiotu PO1 z obiektu wytwórczego B na obiekt C), mimo założonego spełnienia wszystkich innych wymaganych warunków, nie zostanie dokonany. Równocześnie zatrzymaniu ulegnie realizacja procesu wytwórczego dla przedmiotów PO2. Tymczasem zezwolenie na wykonanie czynności PO1:B->C, a w dalszej kolejności PO1:C->D spowodowałoby przemieszczenie palety z przedmiotami PO1 na obiekt wytwórczy D co jednocześnie udroziłoby trasę realizacji procesu dla przedmiotów PO2. Warto jednak zwrócić uwagę, że zbyt wczesne pojawienie się palety z przedmiotami PO1 w obrębie obiektu D może z kolei stać na przeszkodzie realizowanemu procesowi p3.

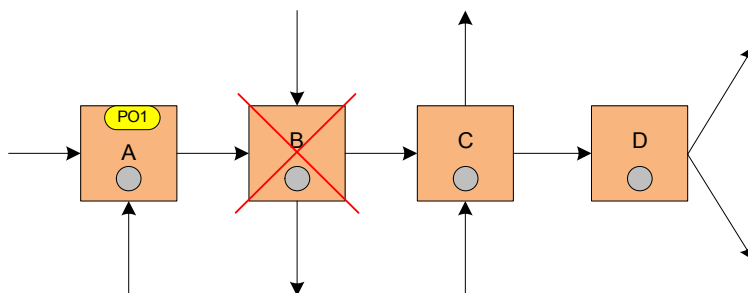


Rys. 2. Przykład obrazujący sytuację w systemie po wystąpieniu awarii

Aby przeciwdziałać podobnym sytuacjom, zastosowany w systemie AIM mechanizm obsługi sytuacji awaryjnych wzbogacono o dodatkową, wykorzystywaną w zależności od decyzji operatora funkcjonalność, która pozwala na detekcję jednoczesnego braku aktywności wszystkich wchodzących w skład systemu agentów wykonawczych reprezentujących obiekty wytwórcze. Jeśli taka sytuacja zostanie zidentyfikowana, na dalszym etapie sprawdzane jest czy w systemie znajdują się agenty przedmiotowe. Ich istnienie jest równoznaczne z obecnością w systemie wytwórczym palet z będącymi w trakcie procesu produkcyjnego przedmiotami. Powyższe warunki implikują możliwość wystąpienia sytuacji omówionej w powyższym przykładzie. Reakcją systemu sterowania jest w takim przypadku zezwolenie na wybór czynności do realizacji mimo uszkodzonego zasobu wytwórczego znajdującego się

na marszrucie wynikającej z dokonanego wyboru. Działanie to realizowane jest w ramach drugiego (patrz rys. 1) kroku realizacji algorytmu obsługi awarii.

Kolejną potencjalną przyczyną braku możliwości realizacji tegoż procesu produkcyjnego w sytuacji awarii zasobu wytwórczego, pomimo istnienia teoretycznie wykonywalnych wariantów procesu, są dokonywane w celu przeciwdziałania blokadom rezerwacje miejsc na obiektach wytwórczych w myśl reguł zdefiniowanych w zastosowanej metodzie przeciwdziałania blokadom – metodzie rezerwacji procesowej [8]. Rys. 3 przedstawia przykład, w którym obiekty wytwórcze A, B, C oraz D są obiektami zagrożonymi blokadą, zaangażowanymi w realizację wielu procesów. Założono, że liczba miejsc na palety jest identyczna dla każdego obiektu i jest równa jedności. W obrębie obiektu A znajduje się paleta z przedmiotami, obiekt B uległ uszkodzeniu. Pojawienie się palety z przedmiotami w strefie zagrożonej blokadą, zgodnie z regułami metody rezerwacji procesowej wymaga uprzedniego dokonania rezerwacji procesowej miejsc na każdym z obiektów wytwórczych należących do wspomnianej strefy. W przedstawionej sytuacji, pomimo braku możliwości kontynuacji procesu wytwórczego przedmiotów typu PO1, miejsca na obiektach C oraz D są więc nadal procesowo zarezerwowane, co z kolei uniemożliwia im udział w innych fizycznie realizowalnych procesach. Pożądane w przedstawionej sytuacji staje się zatem zwolnienie dokonanych rezerwacji. To kolejna funkcjonalność oferowana przez zastosowany w systemie AIM mechanizm obsługi awarii. Zwolnienie rezerwacji procesowych (trzeci krok w przedstawionym na rys. 1 algorytmie postępowania w przypadku awarii), dokonywane jest za pozwoleniem operatora po wyczerpaniu wcześniej opisanych środków reagowania na awarie i jest poprzedzone, podobnie jak w poprzednim przypadku, identyfikacją braku aktywności zasobów wytwórczych przy jednoczesnym istnieniu w systemie agentów przedmiotowych.



Rys. 3. Przykład obrazujący sytuację w systemie po wystąpieniu awarii

Jeśli żaden z wymienionych sposobów postępowania wywołanego wystąpieniem awarii nie przynosi rezultatu w postaci dokończenia realizowanych w rozważanej sytuacji procesów produkcyjnych, o fakcie tym zostaje powiadomiony operator, system sterowania jednocześnie zatrzymuje proces automatycznej obsługi sytuacji awaryjnych.

3. NOWE ZLECENIA

Kolejnym źródłem zakłóceń w funkcjonowaniu systemu produkcyjnego są nowe, najczęściej pilne zlecenia (ang. *rush orders*). Obsługa nowych zamówień wymaga w systemie AIM szeregu działań, w tym wygenerowania procesu produkcyjnego, przeprowadzenia symulacji oraz ewentualnego wdrożenia do produkcji, co biorąc pod uwagę istnienie już realizowanych w systemie procesów przysparza szczególnych trudności.

Skutkami zakłóceń w postaci nowych zleceń są m.in.:

- wymagane zmiany w realizowanych harmonogramach produkcyjnych,
- potencjalne opóźnienia w realizacji aktualnych zleceń i związane z nimi kary,
- wymagana rekonfiguracja systemu (nowy agent zlecenia, kolejne agenty przedmiotowe), w tym agentów wykonawczych (nowe czynności elementarne).

W dalszej części rozdziału przedstawiono opracowany na potrzeby systemu AIM algorytm działań związanych z obsługą zakłócenia w postaci nowego zlecenia w warunkach występowania aktualnie realizowanych w systemie procesów produkcyjnych (w opisie założono istnienie możliwości technologicznych wykonania zlecenia oraz zakończony sukcesem etap generowania procesu produkcyjnego).

Istotnym, w aspekcie identyfikacji wymagań oraz skutków związanych z wprowadzaniem nowego zlecenia do realizacji, jest etap symulacji przeprowadzany z wykorzystaniem mechanizmu symulacyjnego [9]. Biorą w nim udział wirtualne agenty wykonawcze, przedmiotowe oraz zleceń. Krokiem poprzedzającym uruchomienie symulacji jest dokonanie konfiguracji wirtualnych agentów wykonawczych poprzez przesłanie im zbiorów nowych czynności elementarnych, w których będą brać udział. Dodanie obsługi nowych procesów może nieść z sobą jednak niekorzystny skutek powiązany z zastosowaną w systemie AIM metodą rezerwacji procesowej [8], która definiuje podział zasobów wytwórczych biorących udział w realizacji procesów produkcyjnych na dwa zasadnicze typy obiektów: obiekty bezblokadowe (bezw warunkowo i warunkowo) oraz obiekty zagrożone blokadą. Poszczególne obiekty tworzą na trasach marszrut wykonania poszczególnych przedmiotów wytwarzanych w systemie tzw. strefy: bezblokadowe (składające się wyłącznie z obiektów bezblokadowych) oraz zagrożone blokadą (zbudowane odpowiednio wyłącznie z obiektów zagrożonych blokadą). Wprowadzenie nowego zlecenia do zbioru aktualnie realizowanych w systemie zamówień może skutkować zmianą statusu określonych obiektów wytwórczych z bezblokadowego na zagrożony blokadą i w efekcie rekonfiguracją powyższych stref na istniejących dotychczas trasach marszrut. To z kolei może stać się przyczyną wystąpienia blokady. W celu skutecznej realizacji symulacji, a w późniejszej fazie również sterowania rzeczywistym systemem, bardzo ważne znaczenie odgrywa więc poprawne zidentyfikowanie zmian w statusie agentów wykonawczych będącej następstwem ich rekonfiguracji. Dalszy przebieg działań jest zależny od zaistnienia (bądź nie) tychże zmian.

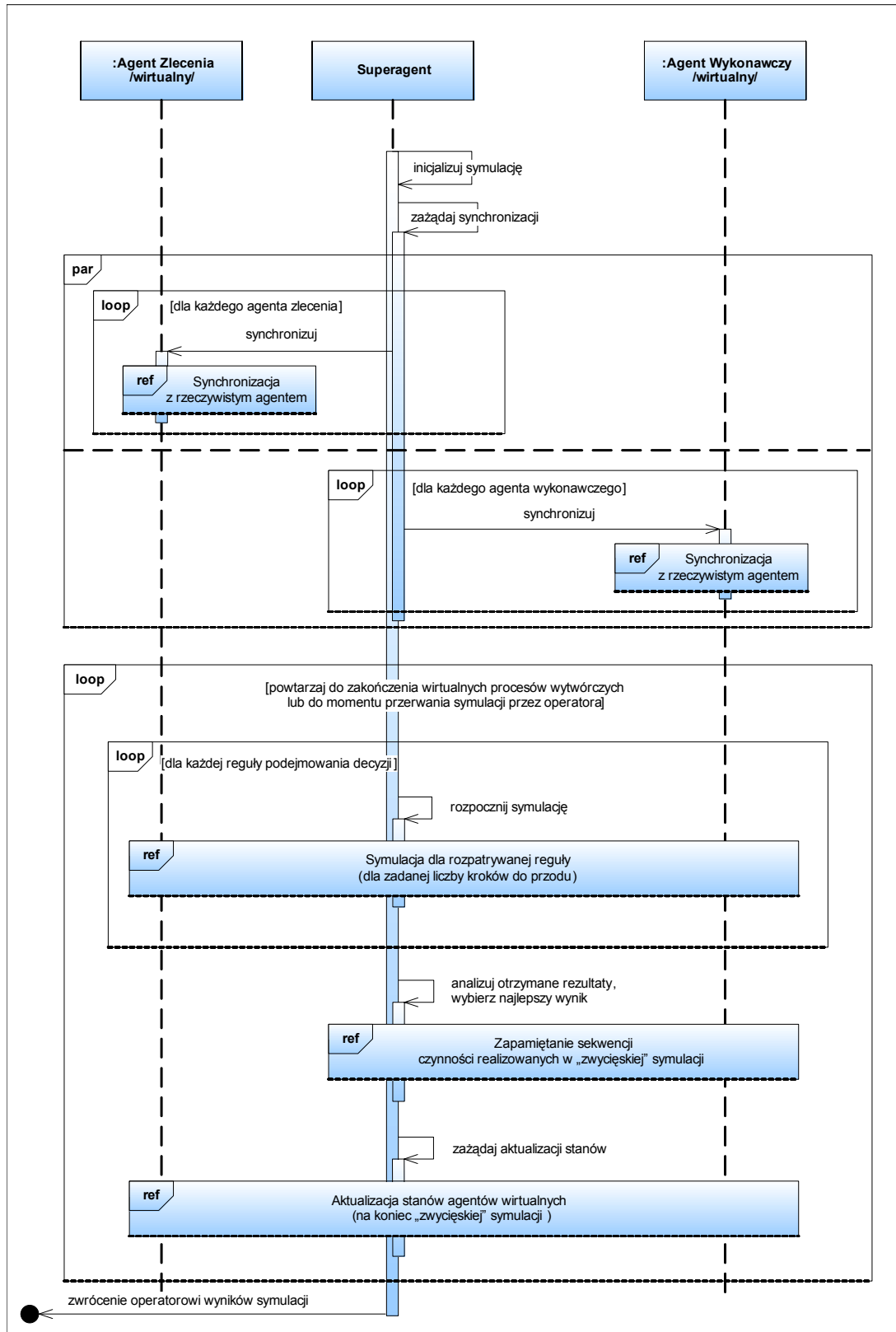
W sytuacji, gdy układ stref bezblokadowych i zagrożonych blokadą na trasach istniejących marszrut pozostaje taki sam, można rozpocząć wprowadzanie półfabrykatów związanych z nowym zleceniem (równoległe z tymi, które dotyczą zamówień realizowanych dotychczas) bez dodatkowych ograniczeń już na początku symulacji lub w dowolnym innym, założonym wcześniej terminie. W przeciwnym wypadku należy najpierw zakończyć procesy wykonania wszystkich aktualnie znajdujących się w systemie przedmiotów, a następnie zatwierdzić zmiany w układzie stref. Od tej chwili dopiero można bezpiecznie (z uwagi na zagrożenie blokadami) zezwolić na wprowadzanie w ramach realizowanej symulacji półfabrykatów związanych z nowym zleceniem.

W celu przeprowadzenia wspomnianej symulacji wykorzystywany jest mechanizm symulacyjny. Trzon omawianego mechanizmu stanowią wirtualne kopie (klony) agentów biorących udział w procesie sterowania operatywnego tj. wirtualne agenty wykonawcze oraz przedmiotowe, a także wirtualne agenty zleceń. Wymienione agenty współdziałają z ich rzeczywistymi odpowiednikami, a także w ograniczonym zakresie z pozostałymi elementami tworzącymi system sterowania. Za koordynację wirtualnych procesów odpowiedzialny jest tzw. super-agent, tj. określony, uprzywilejowany agent wchodzący w skład grupy agentów

systemowych. Uruchomienie mechanizmu symulacyjnego realizowane jest przez operatora przyjmującego zlecenie i każdorazowo rozpoczyna się od synchronizacji danych pomiędzy rzeczywistymi i wirtualnymi agentami wykonawczymi oraz agentami zleceń. Następnie inicjowany zostaje obieg wirtualnego żetonu decyzyjnego przyznającego uprawnienia decyzyjne poszczególnym agentom, co w konsekwencji pozwala na rozpoczęcie głównego etapu działań, jakim jest symulacja realizacji procesów wytwórczych. Przebieg symulacji w zakresie realizowanych procesów decyzyjnych i przeciwblokadowych nie odbiega w swej istocie od algorytmów wykorzystywanych przez agenty rzeczywiste. Realizowana symulacja ma charakter zdarzeniowy determinowany zmianami stanu systemu wynikającymi z zakończenia realizacji poszczególnych czynności. Terminy zdarzeń określane są na podstawie szacowanych czasów trwania czynności, informacje o nich dystrybuowane są wraz z żetonem decyzyjnym.

Istotną cechą omawianego mechanizmu jest wykorzystanie w procesie symulacji algorytmu optymalizującego działanie systemu produkcyjnego z uwagi na przyjęte globalne kryteria oceny jego funkcjonowania, ograniczone w aktualnej wersji oprogramowania do wskaźników obciążenia zasobów wytwórczych realizujących czynności zmieniające fizyczny stan przedmiotów. Polega to na wykonaniu serii powtórzeń symulacji z wykorzystaniem wirtualnych procesów wytwórczych, przy czym w każdym powtórzeniu stosowana jest inna spośród reguł podejmowania decyzji wykorzystywanych w procesach decyzyjnych. Symulacje te przeprowadzane są dla zadanej liczby kroków do przodu i kończą się zapamiętaniem stanów poszczególnych agentów biorących w nich udział. Po wyczerpaniu badanego zbioru reguł decyzyjnych, dokonywana zostaje (przez superagenta) ocena efektywności realizacji procesów wytwórczych dla każdej z reguł. Podstawą oceny są wspomniane współczynniki obciążenia wybranych zasobów. Jej wyznacznikiem jest maksymalna wartość globalnego wskaźnika obciążenia zasobów realizujących czynności zmieniające fizyczny stan przedmiotów (czyli najczęściej obrabiarek). Wskaźnik ten zdefiniowano jako średnią arytmetyczną współczynników wykorzystania zasobów wymienionego typu, określonych jako stosunek długości czasu wykorzystanego na realizację czynności zmieniającej stan fizyczny obiektu do całkowitej długości czasu w badanym przedziale. Ostatecznie, sekwencje czynności zrealizowanych przez poszczególne wirtualne agenty wykonawcze z użyciem „zwycięskiej” reguły decyzyjnej są zapamiętywane, zaś mechanizm symulacyjny powraca do realizacji kolejnej pętli powtórzeń symulacji poczynając od zapamiętanego (dla zwycięskiej reguły) uprzednio stanu systemu. W ten sposób kontynuuje poszukiwanie dalszych rozwiązań. Działanie to jest powtarzane do zakończenia realizacji wszystkich procesów wytwórczych bądź do momentu przerwania symulacji przez operatora. Wynik przeprowadzonej symulacji jest ostatecznie przekazywany operatorowi. Rys. 4 przedstawia działanie mechanizmu symulacyjnego w trybie nowego zlecenia.

Symulacja zrealizowana w przedstawiony powyżej sposób pozwala ocenić szacowane terminy zakończenia realizacji poszczególnych zleceń, a także stopień opóźnienia zamówień realizowanych w systemie do tej pory i m.in. na tej podstawie przygotować ofertę cenową dla klienta. W celu przedstawienia zleceniodawcy oferty wielowariantowej (różne czasy i koszty realizacji zamówienia) należy powtórzyć kilkakrotnie przedstawioną na rys. 4 symulację dla różnych wskaźników priorytetu poszczególnych zleceń (w tym rozpatrywanego zamówienia) oraz ewentualnie różnych terminów wprowadzania nowego zlecenia do systemu.



Rys. 4. Symulacja w trybie nowego zlecenia

Po akceptacji określonego wariantu realizacji zamówienia przez zleceniodawcę, na podstawie wyników symulacji należy w pierwszej kolejności, w przypadku gdy układ stref bezblokadowych i zagrożonych blokadą dla istniejących dotychczas marszrut po rekonfiguracji agentów wykonawczych uległ zmianie, określić przybliżone terminy:

- zaprzestania wprowadzania do produkcji kolejnych półfabrykatów dla zleceń realizowanych aktualnie,
- potwierdzenia zmian w konfiguracji stref bezblokadowych i zagrożonych blokadą oraz
- wznowienia wprowadzania tychże półfabrykatów (łącznie z powiązаныmi z nowym zleceniem),

zaś w sytuacji gdy wspomniany układ stref pozostał bez zmian – jedynie termin rozpoczęcia wprowadzania półfabrykatów związanych z nowym zleceniem. Następnie w obu przypadkach należy zidentyfikować wskaźniki priorytetu poszczególnych zleceń, dla których uzyskano zaakceptowany wariant i w dalszej kolejności, z uwzględnieniem zgromadzonych danych, można przystąpić do realizacji nowego zlecenia w rzeczywistym systemie wytwórczym.

Warto dodać, że innym zastosowaniem przedstawionego mechanizmu symulacyjnego w systemie sterowania AIM jest wspomaganie procesów decyzyjnych przeprowadzanych w trakcie realizacji procesów produkcyjnych.

4. PODSUMOWANIE

Jednym z często spotykanych założeń przyjmowanych w trakcie prac teoretycznych nad metodami optymalizacji decyzji w systemach sterowania wytwarzaniem jest warunek iż system produkcyjny funkcjonuje w środowisku pozbawionym zakłóceń. Praktyka produkcyjna pokazuje, że jest to zwykle zbyt daleko idące założenie. Awaryjne zasobów wytwórczych, narzędzi czy też elementów układu sterowania, a także pilne zlecenia, zmiany w zamówieniach itp. są bowiem zjawiskiem powszechnym. Celowe w związku z tym staje się uwzględnienie możliwości wystąpienia najczęściej pojawiających się zakłóceń w procesach produkcyjnych już na etapie projektowania i budowy systemów sterowania. W wyniku prac nad wieloagentowym systemem sterowania AIM przygotowano algorytmy postępowania w przypadku dwóch wybranych typów zakłóceń. Jeden z nich związany jest z możliwością wystąpienia awarii urządzenia wytwórczego, drugi definiuje zachowanie systemu w sytuacji pojawienia się nowego zlecenia.

5. LITERATURA

- [1] BUSSMANN, S., SCHILD, K., "*Self-organizing manufacturing control: an industrial application of agent technology*". Proceedings of Fourth International Conference on MultiAgent Systems, 2000, s. 87-94.
- [2] KALINOWSKI, K., KNOSALA, R., "*Harmonogramowanie produkcji w warunkach zakłóceń, wspomaganie systemem eksperckim*". Zarządzanie przedsiębiorstwem, nr 1'2003, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją, s. 124-135.
- [3] LEITÃO, P., BARBOSA, J., "*Disturbance Detection, Recover and Prediction in Holonic Manufacturing Control*". Proceedings of the IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems, 2006, s. 133-138.
- [4] LEITÃO, P., RESTIVO, F., "*Implementation of a Holonic Control System in a Flexible Manufacturing System*". IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews, vol. 38, issue 5, Sept. 2008, s. 699-709.

- [5] MASCADA Consortium, *WPI Dissemination Report: Analysis and Evaluation of Change and Disturbances in Industrial Plants*, 1997, <http://www.mech.kuleuven.ac.be/pma/project/mascada/welcome.html>.
- [6] MATSON, J., McFARLANE, D., "Tools for Assessing the Responsiveness of Manufacturing Systems". Proceedings of IEE Workshop on Responsiveness in Manufacturing, London, 1998, s. 8/1-8/6.
- [7] SAADAT, M., TAN, M.C.L., OWLIYA, M., "Changes and disturbances in manufacturing systems: A comparison of emerging concepts". Automation Congress, 2008. WAC 2008. World, s. 1-6.
- [8] ZAJĄC, J., "A Deadlock Handling Method for Automated Manufacturing Systems". CIRP Annals, Vol. 53, No. 1, 2004, s. 367-370.
- [9] ZAJĄC, J., CHWAJOŁ, G., "Wykorzystanie wirtualnych procesów sterowania produkcją do wspomagania decyzji w zautomatyzowanych systemach wytwarzania". W Problemy Robotyki Tom II, Red. K. Tchoń, C. Zieliński, vol. II, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2008, s. 625-634.
- [10] ZAJĄC, J., CHWAJOŁ, G., KMIECIK, A., "Integracja projektowania procesów i sterowania produkcją w zautomatyzowanych systemach wytwarzania". Pomiary Automatyka Robotyka, ISSN 1427-9126, Luty 2007, s. 1-9.