

Tadeusz Przybyz
Politechnika Śląska

WYKORZYSTANIE METODY SYMULACJI CYFROWEJ DO TESTOWANIA KOMPUTEROWYCH UKŁADÓW STEROWANIA*

Streszczenie. Wychodząc z zasady działania symulatorów trenin-
gowych, w pracy przedstawiono koncepcję zastosowania symulacji cyf-
rowej do testowania komputerowych układów sterowania dyskretnymi
procesami przemysłowymi. Koncepcja ta zakłada współpracę dwóch sys-
temów komputerowych, z których jeden reprezentuje system sterowania,
a drugi symuluje rzeczywisty proces produkcyjny. Sformułowano szereg
wymagań stawianych systemom symulacyjnym i omówiono możliwości ich
zastosowania do testowania różnych warstw układów sterowania.

1. Wstęp

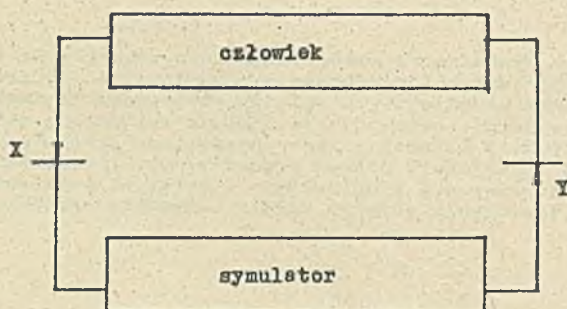
Szybki rozwój elektroniki i malejące na rynku światowym ceny na
sprzęt komputerowy doprowadziły do tego, że komputerowe układy sterowania
dyskretnymi procesami przemysłowymi przejmują coraz bardziej skomplikowa-
ne zadania. Dzięki temu możliwe jest sterowanie złożonymi procesami prze-
mysłowymi bez udziału człowieka. Systemy sterowania powstają przy tym
głównie jako systemy zdecentralizowane o hierarchicznej strukturze. Ros-
nąca konkurencja na rynku światowym powoduje skrócenie czasu na projek-
towanie i przygotowanie produkcji nowych wyrobów. Dlatego zdarza się bar-
dzo często, że układy sterowania urządzeniami produkcyjnymi jak i urzą-
dzenia sterowane są projektowane i konstruowane równolegle. W związku
z tym powstaje potrzeba poszukiwania środków i metod umożliwiających tes-
towanie układów sterowania, w wypadku gdy do dyspozycji nie stoją jeszcze
urządzenia sterowane.

Celem poniższej pracy jest przedstawienie koncepcji wykorzystania me-
tody symulacji cyfrowej do testowania komputerowych układów sterowania
dyskretnymi procesami przemysłowymi ze szczególnym uwzględnieniem wymagań
stawianych symulatorom stosowanym do testowania zdecentralizowanych, hie-
rarchicznych układów sterowania. Omawianą koncepcję i jej zastosowanie
dla scentralizowanego układu sterowania grupą obrabiarek wraz z urządze-
niami transportowymi przedstawiono po raz pierwszy w pracach [6], [7].
Szersze omówienie tego problemu w przypadku zdecentralizowanych układów
sterowania wraz z konkretnym zastosowaniem dla wieloprocusorowego układu
sterowania pewnym automatem montażowym w przemyśle elektronicznym zawiera
praca [4]. Także prace [2] i [5] są poświęcone prezentowanej problematyce.

*Praca była częściowo finansowana przez problem RP.I.02 i CPBR 7.4.

2. Symulatory treningowe

Punktem wyjścia do dalszych rozważań nad zastosowaniem symulacji do testowania układów sterowania będzie wykorzystywana już od wielu lat w symulatorach treningowych koncepcja współpracy między człowiekiem a symulatorem /rys. 1/.



Rys. 1. Połączenie: Człowiek - Symulator

Fig. 1. Junction: Human being - Simulator

Analiza zastosowania symulatorów jako urządzeń treningowych pozwala na lepsze zrozumienie problemów związanych z wykorzystaniem symulacji do testowania układów sterowania. Na symulatorze, który w ogólnym przypadku nie musi być komputerem, realizowany jest rzeczywisty proces /np.: lot samolotu, praca elektrowni jądrowej/. Informacje wyjściowe procesu /sygnały Y/ dostępne są dla osoby "trenującej", która poprzez sygnały X musi na nie w odpowiedni sposób reagować, tak by zapewnić żądany przebieg sygnałów wyjściowych Y.

Symulatory treningowe znalazły szerokie zastosowanie. Po raz pierwszy wykorzystano je jako symulatory lotu, według [3] z dwóch powodów:

- początkującemu pilotowi, nie można powierzyć samolotu bez obaw o jego zniszczenie; także doświadczony pilot musi przyzwyczać się do nowego typu samolotu,
- każdy pilot musi mieć możliwość ćwiczenia zachowań w niebezpiecznych sytuacjach związanych z awariami samolotu lub warunkami pogodowymi.

Z innych dziedzin zastosowań symulatorów treningowych podać można kształcenie personelu dla elektrowni /szczególnie elektrowni atomowych/, dużych instalacji chemicznych lub możliwości ćwiczeń dla załóg dużych statków. We wszystkich publikacjach dotyczących tej problematyki podkreśla się, że symulatory treningowe posiadać muszą następujące własności:

- zapewnienie ćwiczącemu pełnej integracji z rzeczywistym obiektem,

- posiadanie odpowiedniego interfejsu między ćwiczącym a symulatorem,
- zapewnienie "dobrego" odtworzenia rzeczywistego procesu,
- posiadanie odpowiedniego systemu wizyjnego, który pokazać może ćwiczącemu wszystko w taki sposób, w jaki byłoby to widoczne w rzeczywistym obiekcie.

Zastosowanie symulatorów treningowych przynosi następujące korzyści [1]:

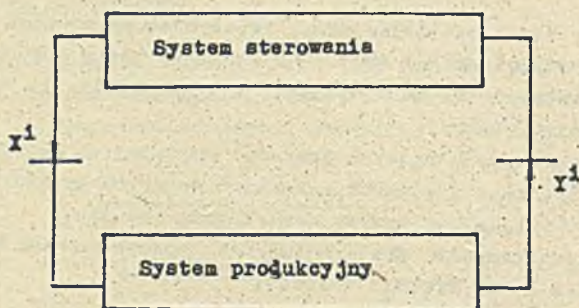
- możliwość treningu w różnych warunkach mogących wystąpić w rzeczywistym obiekcie bez ryzyka uszkodzenia obiektu,
- łatwa do zrealizowania powtarzalność przeprowadzanych ćwiczeń,
- zredukowanie czasu trwania ćwiczeń,
- nieograniczona liczba ćwiczących.

3. Koncepcja zastosowania symulacji do testowania komputerowych układów sterowania dyskretnymi procesami przemysłowymi.

Dalsze rozważania poświęcone będą zastosowaniu symulacji cyfrowej w czasie rzeczywistym do testowania komputerowych układów sterowania dyskretnymi procesami przemysłowymi. Punktem wyjścia do tych rozważań będzie podział pewnego dyskretnego zautomatyzowanego systemu przemysłowego na system sterowania i system produkcyjny. Przez zastąpienie systemu produkcyjnego pewnym systemem symulacyjnym możliwe jest przeprowadzanie testów systemu sterowania. Jeżeli oba rozważane systemy są systemami komputerowymi, pojawia się idea połączenia ze sobą dwóch systemów komputerowych. Na bazie tego połączenia podanych zostanie szereg wymagań, jakie spełniać musi komputerowy system symulacyjny. Przedyskutowane zostaną również możliwości jego zastosowania do testowania różnych warstw układów sterowania.

3.1. Połączenie: system sterowania - system produkcyjny

Rozpatrzmy tylko te procesy przemysłowe, dla których zmienne stanu mają charakter dyskretny i mogą się zmieniać tylko w wybranych chwilach czasowych. Oprócz tego założymy, że w każdym zautomatyzowanym dyskretnym procesie przemysłowym wyróżnić można część sterującą i część sterowaną /system sterowania i system produkcyjny na rys. 2/. Część sterowana może przyjmować skończoną liczbę stanów, a w konkretnej chwili czasowej może znajdować się tylko w jednym stanie. Dla pełnego zdefiniowania zadań systemu sterowania wystarczy w tym wypadku podać wszystkie możliwe stany rozpatrywanego systemu i wszystkie możliwe zmiany tego stanu.



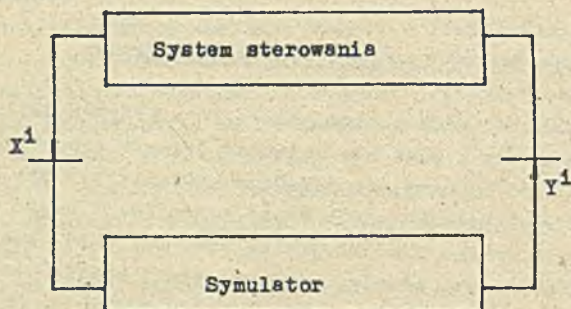
Rys. 2. Połączenie: System sterowania - System produkcyjny

Fig. 2. Junction: Control system - Manufacturing system

Między systemem sterowania a systemem produkcyjnym /rys. 2/ następuje wymiana informacji. System sterowania przekazuje polecenia sterujące do systemu produkcyjnego, a otrzymuje od niego informacje o wykonaniu poleceń.

3.2. Połączenie: system sterowania - symulator

Zalóżmy, że połączenie między systemem sterowania a systemem produkcyjnym zostanie w pewnym miejscu przerwane i system produkcyjny zastąpiony zostanie systemem symulacyjnym /symulatorem/, symulującym pracę systemu produkcyjnego z punktu widzenia systemu sterowania /rys. 3/.



Rys. 3. Połączenie: System sterowania - Symulator

Fig. 3. Junction: Control system - Simulator

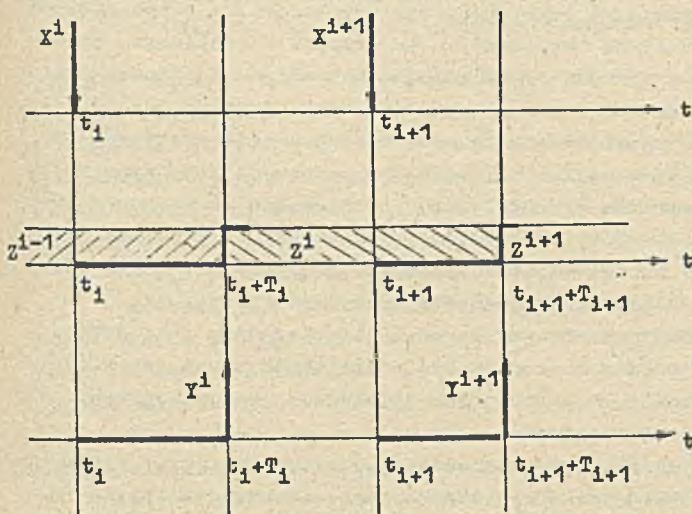
Ponieważ rozpatrywane są komputerowe systemy sterowania. Jako system symulacyjny wykorzystać można odpowiednio zaprogramowany komputer /system komputerowy/, który musi prawidłowo interpretować polecenia przychodzące z systemu sterowania i reagować na nie w czasie rzeczywistym.

Jeżeli do opisu dyskretnego procesu produkcyjnego wykorzystana się równania stanu

$$Z^i = F(X^i, Z^{i-1}),$$

$$Y^i = Q(X^i, Z^i),$$

to informacje między systemem sterowania a systemem produkcyjnym przekazywane są jako wektory X^i, Y^i /rys. 2/. To samo obowiązuje dla połączenia systemu sterowania z symulatorem /rys. 3/. Na rys. 4 przedstawiona jest ta wymiana informacji na osi czasu. Zmiany stanu powodowane są przez przychodzące z systemu sterowania rozkazy /wektor X^i /. Indeks "i" oznacza stan aktualny, a "i-1" stan poprzedni. Wektor X^i powoduje więc zmianę stanu $Z^{i-1} \rightarrow Z^i$ oraz przesłanie wektora Y^i z opóźnieniem odpowiadającym czasowi realizacji rozkazu X^i w rzeczywistym procesie.



Rys. 4. Wymiana informacji między systemem sterowania i symulatorem

Fig. 4. Information exchange between control system and simulator

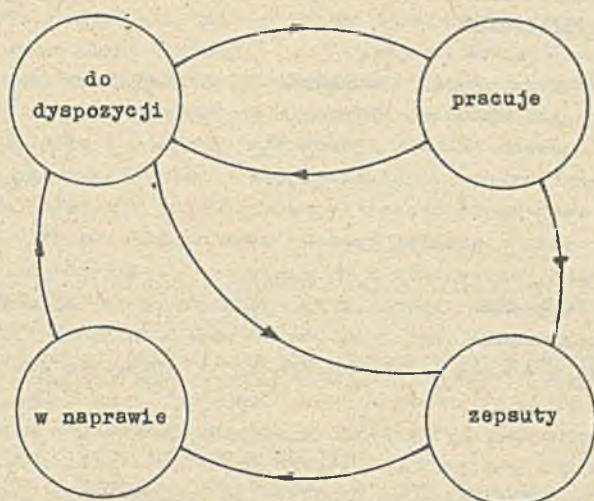
3.3. Wymagania stawiane symulatorom

Pierwszym problemem pojawiającym się przy tworzeniu prezentowanego systemu symulacyjnego jest problem "identyczności" z rzeczywistym procesem. Konieczne jest bowiem "dokładne" odtworzenie funkcji F i Q w równaniach stanu. Jako "dokładne" odtworzenie należy rozumieć takie, które jest zadowalające dla projektanta lub konstruktora systemu sterującego, bo właśnie on jest użytkownikiem tworzonego symulatora. Inaczej mówiąc, funkcje F i Q muszą być odzwierciedleniem wyobrażeń tegoż konstruktora o rzeczywistym procesie. Ta "identyczność" z rzeczywistym procesem rozumiana musi być jednak nie tylko w aspekcie deterministycznym, lecz również stochastycznym. Dla rozpatrywanego w pracach [4], [5] procesu montażowego w przemyśle elektronicznym, wśród zdarzeń stochastycznych wyróżniono awarie i błędy montażowe. Awarie mają charakter trwały i wymagają ingerencji człowieka w proces sterowania, a błędy montażowe mogą być usuwane przez odpowiednią reakcję systemu sterowania. Dla uwzględnienia w modelu matematycznym procesu awarii rzeczywistego systemu, wprowadzono nadrzędny graf dyspozycyjności symulatora /rys. 5/. W warunkach normalnej pracy symulator znajduje się w stanach "do dyspozycji" lub "pracuje". Powstawanie awarii da się zasymulować jako przejście symulatora, w przypadkowych chwilach czasowych, do stanu "zepsuty", a po upływie określonego czasu powrót do stanu "do dyspozycji" przez stan "w naprawie". W stanach "zepsuty" i "w naprawie" symulator nie reaguje na rozkazy przychodzące z systemu sterowania. Takie uwzględnienie w symulatorze awarii rzeczywistego systemu jest wystarczająco ogólne, by mogło być stosowane przy symulacji różnych dyskretnych procesów przemysłowych i testowaniu różnych warstw sterowania. Jest ono szczególnie przydatne, gdy rzeczywisty proces składa się z wielu równolegle przebiegających procesów częściowych, a dla każdego z nich wprowadzi się nadrzędny graf dyspozycyjności /rys. 5/.

Uwzględnienie błędów montażowych w modelu symulacyjnym jest ściśle związane z konkretnym procesem, a może być realizowane przez odpowiednie modyfikacje wektora stanu w chwili, gdy symulowane jest wykonywanie rozkazu /symulator jest w stanie "pracuje"/.

Jeżeli w modelu symulacyjnym uwzględni się deterministyczny i stochastyczny charakter procesu, gdy zapewnione zostanie odpowiednie połączenie systemu symulacyjnego z systemem sterowania oraz gdy symulacja przebiega w czasie rzeczywistym, to system produkcyjny i symulator są z punktu widzenia systemu sterowania nierozróżnialne.

Stwierdzenie, że symulacja przebiegać ma w czasie rzeczywistym, oznacza wymóg dokładnego odtworzenia w symulatorze zależności czasowych rzeczywistego procesu. Rozwiązanie tego problemu związane jest ze strukturą sprzętową symulatora, lub inaczej mówiąc z odpowiedzią na pytanie, ile procesów pracować musi w symulatorze, by można było prowadzić symulację



Rys. 5. Nadrzędny graf dyspozycyjności symulatora

Fig. 5. Supervisory graph of simulator disposibility

w czasie rzeczywistym. W przypadku bowiem wieloprocessorowych układów sterujących okazać się może, że symulator musi również mieć strukturę wieloprocessorową, gdyż oprócz czynności bezpośrednio związanych z symulacją /np. komunikacja z systemem sterowania, naliczanie czasu symulacji, przeprowadzanie zmiany stanu/ realizować musi także czasami bardzo czasochłonne zadania, jak:

- ocena poprawności rozkazów,
- informacja wizualna o przebiegu symulacji.

Jeżeli system produkcyjny składa się z szeregu równolegle pracujących elementów, które realizują procesy częściowe, to można powiedzieć, że duża liczba realizowanych równoległych procesów częściowych i częsta wymiana informacji między systemem sterowania i systemem produkcyjnym powodują konieczność zastosowania w symulatorze większej liczby procesorów.

Kończąc wyliczanie wymagań stawianych omawianym systemom symulacyjnym należy dodać, że dla wygody użytkownika system ten powinien umożliwiać:

- przeprowadzanie zmian pewnych parametrów wpływających na przebieg symulacji,
- dokumentowanie przebiegu symulacji.

3.4. Możliwość zastosowania symulacji cyfrowej do testowania różnych warstw systemów sterowania

Przedstawiona koncepcja wykorzystania metody symulacji cyfrowej do testowania komputerowych układów sterowania da się zastosować dla różnych warstw wielopoziomowych układów sterowania. Zgodnie z założeniami z punktu 3.1 zdefiniować należy część sterującą i część sterowaną, stworzyć model opisujący zachowanie części sterowanej wraz z zależnościami czasowymi oraz przeprowadzić analizę sposobu wymiany informacji między zdefiniowanymi systemami: sterowania i produkcyjnym. Jednocześnie może się zdarzyć, że pojęcie system produkcyjny obejmuje czasami jedną lub kilka warstw układu sterowania. Ostatnim etapem poprzedzającym testowanie układu sterowania jest podłączenie symulatora do istniejącego systemu sterowania.

Wykorzystując komputerowy system symulacyjny do testowania różnych warstw układów sterowania pamiętać należy, że na różnych poziomach różna jest skala pewnych zjawisk i różne są problemy do rozwiązania. Im wyższa przykładowo warstwa sterowania, tym dłuższy jest horyzont sterowania i tym rzadsza wymiana informacji między systemem sterowania a systemem produkcyjnym, a przez to łatwiejsza symulacja w czasie rzeczywistym. Symulacja przebiegać może znacznie szybciej niż rzeczywisty proces, co należałoby wykorzystać w celu uniknięcia zbyt długich eksperymentów symulacyjnych.

Innym problemem jest przestrzenne rozmieszczenie układu sterowania, powodujące konieczność podłączenia symulatora w kilku miejscach czasami znacznie od siebie oddalonych. Pojawia się wtedy konieczność koordynacji równoległe prowadzonej symulacji.

Przy zastosowaniu symulacji do testowania wyższych warstw układów sterowania jest również charakterystyczne, że zmniejsza się rola deterministycznego charakteru symulowanego procesu, a rośnie znaczenie dokładnego uwzględnienia stochastycznego charakteru tegoż procesu.

4. Zakończenie

Koncepcja zastosowania symulacji cyfrowej w czasie rzeczywistym do testowania komputerowych układów sterowania dyskretnymi procesami przemysłowymi umożliwia przeprowadzanie eksperymentów z układem sterowania, gdy do dyspozycji nie stoi jeszcze rzeczywisty system produkcyjny. Dzięki temu możliwe jest równoległe projektowanie i konstruowanie systemu sterowania i systemu produkcyjnego.

Jeżeli w modelu matematycznym symulowanego procesu uwzględniony zostanie jego stochastyczny aspekt, przetestować można reakcję systemu sterowa-

nia w wypadku zakłóceń w pracy systemu produkcyjnego, przy czym częstość i rodzaj awarii oraz uszkodzeń mogą być dowolnie zmieniane.

Wadą rozpatrywanej koncepcji jest fakt, że stworzenie systemu symulacyjnego jest bardzo czasochłonne i pracochłonne. Dlatego w każdym przypadku konieczne jest przeprowadzenie analizy nakładów i zysków.

LITERATURA

- [1] Clapp R.E.: And Algorithm for Simulator Selection. Proceedings of the 1984 Summer Computer Simulation Conference, July 23-25, 1984, Boston, Massachusetts, s. 1093-1095.
- [2] Grzelachowski P.: Simulation von Basisprozessen auf Mikrorechnern zur Erprobung von Steuerungssoftware Flexibler Fertigungen: Diplomarbeit 1985, Sektion Informationsverarbeitung der TU Dresden.
- [3] Kohholt R.: Die Simulation - Ein Hilfsmittel der Unternehmensforschung: R.Oldenburg Verlag Muenchen und Wien 1967.
- [4] Przybysz T.: Anwendung der Simulation von Montageprozessen der Elektronik Mittels Mikrorechner zur Echtzeit- Erprobung von Steuerungssystemen. Dissertation A, TU Dresden, 1987.
- [5] Przybysz T.: Symulacja dyskretnych procesów przemysłowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Automatyka z. 85, Gliwice 1986 s. 203-209
- [6] Schuering A.: Die Echtzeit Prozesssimulation. Ein Hilfsmittel zur Entwicklung und Analyse der Prozesssteuerung in Flexiblen Fertigungssystemen. Dissertation A, TH Aachen 1975.
- [7] Weck M., Schuering A.: Echtzeit - Nachbildung Diskontinuierlicher Fertigungsprozesse: Fachtagung Prozessrechner 1974, Lecture Notes in Computer Science, Springer - Verlag, Berlin Heidelberg New York 1974, s. 354-364.
- [8] Weidlich S.: Bildschirmgestuetzte Programmentwicklung und Dokumentation von Verknüpfungs - und Ablaufsteuerungen. Automatisierungstechnische Praxis atp, Zeszyt 6/1986, s. 282-290, Zeszyt 7/1986, s. 340-345.
- [9] Zeigler B.P.: Teoria modelowania i symulacji. PWN, Warszawa 1979.

Recenzent: Doc.dr hab.inż.M.Zaborowski

Wpłynęło do Redkcji do 1988-04-30.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЦИФРОВОЙ СИМУЛЯЦИИ ДЛЯ ТЕСТОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Резюме

В работе, на основании принципа действия тренировочных симуляторов представлена концепция применения цифровой симуляции для тестования компьютерных систем управления дискретными производственными процессами. Концепция эта предполагает содействие двух компьютерных систем, из которых одна - система управления, вторая - симулирует действительный промышленный процесс. Дана формулировка ряда требований, предъявляемых симуляционным системам и оговорены возможности их применения для тестования разных слоёв систем управления.

THE USE OF SIMULATION METHOD FOR TEST OF COMPUTER CONTROL SYSTEMS

Summary

Training simulators principle is used to propose an idea of computer control systems test by digital simulation. The control systems are implemented for discrete manufacturing systems. The idea assumes the cooperation of two computers system: one of them represents the control system while the other simulates a real manufacturing process.