

Krzysztof Pleńkosz

Instytut Automatyki Politechniki Warszawskiej

#### SYMULACJA DYSKRETNYCH PROCESÓW PRODUKCYJNYCH ZA POMOCĄ SYSTEMU SDPP<sup>1</sup>

Streszczenie. W pracy przedstawiono opis działania systemu SDPP przeznaczonego do symulacji typowych procesów dyskretnych występujących w systemach produkcyjnych. Poszczególne programy symulatora umożliwiają użytkownikowi definicję modelu analizowanego problemu, jego symulację oraz wizualizację uzyskanych wyników.

#### 1. Wstęp

Złożoność problemów harmonogramowania pojawiających się w rzeczywistych systemach produkcyjnych zmusza do poszukiwania i stosowania przybliżonych algorytmów sterowania. W praktyce przy dużych rozmiarach problemów uzyskanie rozwiązania dokładnego jest zazwyczaj niemożliwe. Z tego względu trudno jest dokonać porównania stosowanych algorytmów heurystycznych w sensie jakości otrzymywanych rozwiązań. Oszacowania dokładności rozwiązań uzyskiwane na drodze analitycznej bądź w trakcie obliczeń są przeważnie zbyt mało dokładne.

W tej sytuacji jedynym wiarygodnym narzędziem oceny działania algorytmów staje się symulacja.

W pracy przedstawiono opis działania pakietu programów SDPP (Symulator Dyskretnych Procesów Produkcyjnych), służącego do symulacji typowych procesów dyskretnych pojawiających się w systemach produkcyjnych. Dotyczy to procesów obróbki, przepływu i magazynowania materiałów na wielu równoległych i wzajemnie powiązanych liniach technologicznych.

Podstawową zaletą przedstawianego pakietu jest łatwość definiowania modelu dla celów symulacji, dzięki czemu posługiwanie się systemem nie wymaga od użytkownika znajomości technik symulacji. Jednocześnie zachowana jest duża elastyczność symulatora umożliwiająca analizowanie szerokiej klasy różnorodnych problemów. Praca z systemem SDPP odbywa się w trybie konwersacyjnym z wykorzystaniem komunikacji poprzez zestawy menu i graficznym wprowadzaniem struktury i parametrów modelu.

System SDPP został zaimplementowany na mikrokomputerze IBM PC. Programy symulatora są napisane w języku Turbo Pascal (wersja 3.0) i wykorzystują procedury graficzne pakietu Turbo Graphix Toolbox.

<sup>1</sup>praca częściowo finansowana w ramach problemu R.P.I.02 w temacie 5.3

## 2. Struktura systemu SDPP

Pakiet SDPP stanowi zintegrowany zestaw programów umożliwiających użytkownikowi opisanie i wprowadzenie modelu symulowanego problemu, przeprowadzenie symulacji oraz dokonanie analizy przebiegu symulacji. Po uruchomieniu systemu SDPP na ekranie ukazuje się główne menu określające trzy podstawowe funkcje możliwe do wykonania, tzn.

1. Definiowanie modelu
2. Symulacja
3. Prezentacja wyników

Wybór pierwszej opcji powoduje wywołanie specjalnego edytora graficznego, za pomocą którego użytkownik definiuje model symulacyjny analizowanego problemu. Z edytora korzysta się zarówno wtedy, gdy opisywany jest zupełnie nowy problem, jak również wówczas, gdy występuje konieczność modyfikacji modelu wcześniej wprowadzonego, np. w związku ze zmianą parametrów. Etap definiowania modelu jest szerzej opisany w rozdziale 3.

Druga opcja głównego menu uruchamia właściwy symulator (patrz rozdział 4), natomiast trzecia opcja pozwala użytkownikowi dokładnie prześledzić zachowanie się symulowanego problemu w poszczególnych chwilach czasowych.

Po zdefiniowaniu modelu jego struktura oraz parametry są zapisywane w osobnym zbiorze danych o nazwie podawanej przez użytkownika. W każdej chwili możliwy jest powrót do trybu "definiowanie modelu" w celu korekty danych, np. jeżeli okaże się, że badany aktualnie system produkcyjny nie funkcjonuje w sposób zadowalający. Po wykonaniu drugiego etapu, tzn. symulacji, także tworzony jest zbiór danych, tym razem przechowujący informacje o historii procesu symulacyjnego. Na podstawie jego zawartości może być następnie dokonywana dowolna ilość razy wizualizacja przebiegu procesu bez konieczności powtarzania symulacji.

Etapy wyszczególnione w głównym menu mogą więc być wykonywane w sposób niezależny. Komunikacja między nimi odbywa się bowiem wyłącznie za pośrednictwem zbiorów danych. Od użytkownika wymaga się, aby po wybraniu odpowiedniej opcji podał nazwę zestawu danych odpowiadających aktualnie badanemu problemowi.

## 3. Definiowanie modelu

Istotną cechą każdego symulatora, decydującą o jego użyteczności, jest sposób, w jaki definiuje się model analizowanego problemu. Dążąc do jak najbardziej naturalnego sposobu opisu, przyjęto koncepcję deklaracji struktury symulowanego systemu produkcyjnego w postaci sieci czynności. Użytkownik określa kolejność procesów technologicznych dla poszczególnych

produktów łącząc łukami odpowiednie bloki funkcjonalne. Bloki te reprezentują różne etapy produkcji w ciągu technologicznym, np. dostawę, magazynowanie, wykonywanie operacji itp.. Przygotowany blokowy schemat symulacyjny wprowadza się następnie do programu za pomocą edytora graficznego. Korzysta się przy tym z symboli zestawionych w menu, posiadających następujące znaczenia:



symbole stosowane do zaznaczenia wzajemnych połączeń między podstawowymi blokami funkcjonalnymi.



**STANOWISKO** - blok ten modeluje pojedyncze stanowisko obsługi lub grupę kilku identycznych równoległych stanowisk obsługi.



**DOSTAWA** - symbol ten oznacza początek ciągu technologicznego. W tym miejscu są generowane produkty pojawiające się w systemie produkcyjnym.



**KONIEC** - blok koniec usuwa z systemu napływające produkty. Jest używany do modelowania końca ciągu technologicznego.



**WYBÓR STANOWISKA** - używany do określania kolejnego stanowiska do obsługi aktualnie przetwarzanego produktu. Za tym symbolem muszą występować obiekty typu **STANOWISKO**. Parametrem bloku jest reguła wyboru stanowiska.

Blok **WYBÓR STANOWISKA**, jak również poniższy blok **WYBÓR MAGAZYNU** pozwalają jednoznacznie określić działanie systemu w sytuacjach konfliktowych, gdy jednocześnie występuje kilka możliwych wariantów przepływu produktów.



**WYBÓR MAGAZYNU** - podobnie jak wyżej, lecz wybór dotyczy magazynów. Symbol ten muszą poprzedzać obiekty typu **MAGAZYN**.



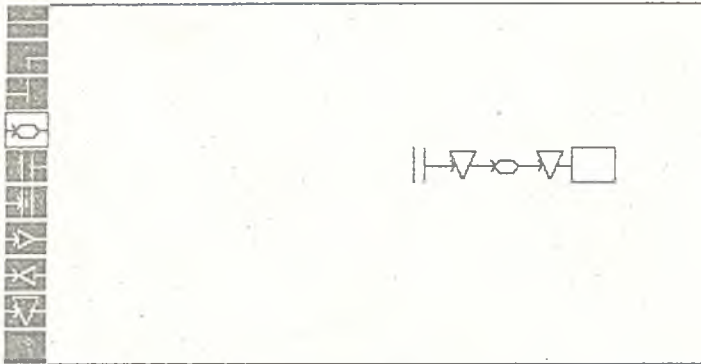
**MAGAZYN** - blok ten jest używany do modelowania wszelkiego rodzaju magazynów międzyoperacyjnych.



służy do wymazywania innych symboli, np. błędnie wprowadzonych.

Zbiór powyższych bloków określa klasę problemów, jakie można symulować za pomocą systemu SDPP. Obejmuje ona między innymi różnego rodzaju zagadnienia typu "flow-shop" czy "job-shop"

Wprowadzanie schematu blokowego następuje poprzez wybór odpowiedniego symbolu z menu i wpisanie go w jedno z pól ekranu (rys. 1). Każdy z symboli może być przy tym obrócony o wielokrotność 90°. W zależności od rodzaju używanej karty graficznej, na ekranie dostępnych jest 160 pól w układzie 10x16 (CGA) lub 180 pól w układzie 10x18 (Hercules).



Rys. 1. Definiowanie struktury modelu  
Fig. 1. Definition of model structure

Na etapie deklaracji struktury procesu technologicznego sprawdzana jest automatycznie logiczna poprawność wprowadzanego modelu i ewentualne próby błędnych łączenia symboli są od razu sygnalizowane.

Po wprowadzeniu danego bloku można przystąpić do określania jego parametrów (rys.2). W zależności od rodzaju bloku wyróżnia się takie parametry, jak: stany początkowe magazynów i stanowisk obsługi, nazwy obiektów, czasy pojawiania się produktów w systemie, czasy obsługi produktów na stanowiskach, pojemności magazynów, reguły wyboru produktów z magazynów, reguły wyboru stanowisk i magazynów itd.. Czasy pojawiania się produktów i czasy wykonywania operacji mogą być zadawane w sposób deterministyczny lub probabilistyczny według zadanych rozkładów prawdopodobieństwa. Pozwala to analizować zachowanie się systemu w warunkach losowych.

#### 4. Realizacja symulacji

Proces symulacji jest przeprowadzany poprzez analizę przepływu poszczególnych produktów przez system produkcyjny opisany siecią bloków funkcjonalnych. Zmiany stanu w symulowanym systemie następują tylko wtedy, gdy produkt przybywa do kolejnego obiektu. W związku z tym rozpatrywane są tylko zdarzenia i chwile czasowe związane z wystąpieniem takiej sytuacji. Proces symulacji przeprowadzany jest więc techniką kolejnych zdarzeń.

W fazie inicjalizacji tworzona jest struktura kalendarza zdarzeń. Następnie w kalendarzu umieszcza się wszystkie zdarzenia związane z terminem pierwszej dostawy dla poszczególnych obiektów typu DOSTAWA. Ponadto zapisywany jest stan początkowy obiektów typu MAGAZYN i planowane są zakończenia obsługi dla obiektów typu STANOWISKO (tam, gdzie to wynika ze stanu początkowego). Tak więc po fazie inicjalizacji w kalendarzu znajdują się zdarzenia dostaw związane z każdym obiektem typu DOSTAWA oraz zdarzenia zakończenia obsługi dla każdego "zajętego" obiektu typu STANOWISKO.

Właściwa faza symulacji rozpoczyna się od pobrania pierwszej pozycji z kalendarza. Następnie czas symulacyjny jest modyfikowany zgodnie z czasem wystąpienia aktualnego zdarzenia. Po wykonaniu czynności związanych z jego obsługą, odczytywana jest następna pozycja z kalendarza i proces się powtarza. Koniec symulacji następuje w chwili wyczerpania się wszystkich pozycji z kalendarza lub gdy czas wystąpienia następnego zdarzenia w kalendarzu przekracza zadeklarowany okres symulacji.

W zależności od życzenia użytkownika wyniki symulacji mogą być zobrazowane w postaci wykresów Gantta, wykresów stanu zajętości magazynów lub w trybie pracy krokowej. W przypadku pracy krokowej wyświetlane są informacje o wszelkich zmianach stanu zachodzących w systemie w przeciągu zadeklarowanego okresu.

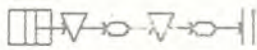
## 5. Przykład zastosowania

W celu ilustracji sposobu działania systemu SDPP podamy prosty przykład wykorzystania pakietu do symulacji dwustopniowego systemu przepływowego o strukturze przedstawionej na rys. 2. Oczywiście inne bardziej złożone problemy (ze strukturami produkcji o większej złożoności i wymiarze) mogą być również symulowane za pomocą SDPP.


W modelu występują dwa stanowiska obsługi: STAN1 i STAN2 z magazynami wejściowymi odpowiednio MAG1 i MAG2. Wszystkie produkty przetwarzane na symulowanej linii technologicznej muszą być najpierw poddane obróbce na stanowisku STAN1, a następnie na stanowisku STAN2. Pojemności magazynów MAG1 i MAG2 wynoszą 3 jednostki i stosowana jest w nich reguła wyboru produktów FIFO. Parametry pozostałych obiektów podane są na rys. 2.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki symulacji w postaci wykresów Gantta dla stanowisk STAN1 i STAN2 oraz wykresów zajętości magazynów MAG1 i MAG2 w poszczególnych chwilach czasowych. Ciemne pola na wykresie Gantta odpowiadają okresom bezczynności stanowisk, natomiast pola pionowo zakreskowane oznaczają stany blokady.

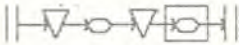
DOSTAWA	
Numer produktu	Termin dostawy
1	5.00
2	15.00
3	20.00
4	15.00
5	50.00
6	80.00
7	90.00
8	110.00
9	120.00
10	150.00



STANOWISKO OBSLUGI			
Nazwa: STAN1		pojemnosc: 1	
Numer produktu	Czas wykonania	Priorytet	Status
1	5.00	0	
2	10.00	0	
3	20.00	0	
4	15.00	0	
5	10.00	0	
6	10.00	0	
7	10.00	0	
8	10.00	0	
9	10.00	0	
10	20.00	0	

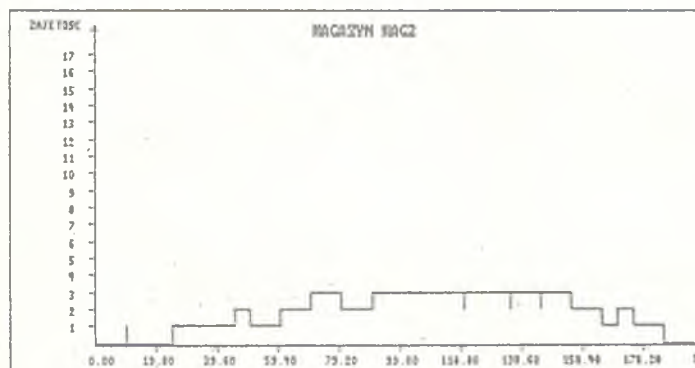
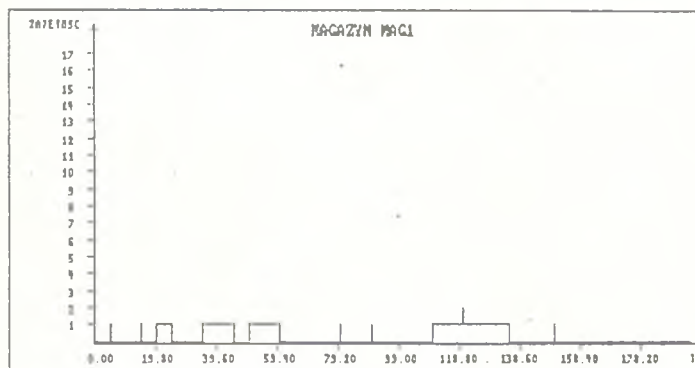
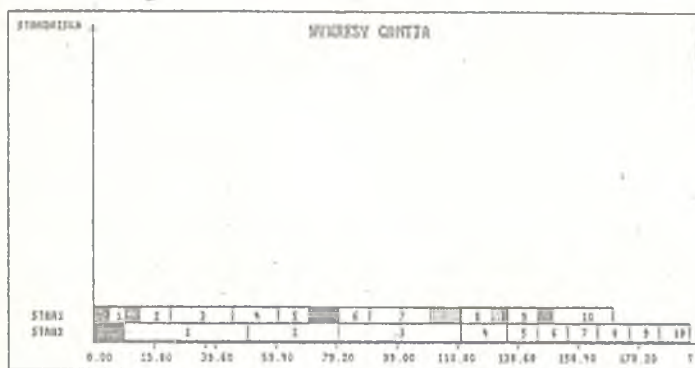


STANOWISKO OBSLUGI			
Nazwa: STAN2		pojemnosc: 1	
Numer produktu	Czas wykonania	Priorytet	Status
1	40.00	0	
2	30.00	0	
3	40.00	0	
4	15.00	0	
5	10.00	0	
6	10.00	0	
7	10.00	0	
8	10.00	0	
9	10.00	0	
10	10.00	0	



Rys. 2. Struktura i parametry modelu

Fig. 2. Structure and parameters of the model



Rys. 3. Wyniki symulacji

Fig. 3. The results of simulation

## LITERATURA

- [1] Catalog of Simulation Software, Simulation 47 (4), s. 152-165, 1986.
- [2] Fishman G.S.: Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody, PWN, Warszawa 1981.
- [3] Perkowski P.: Technika symulacji cyfrowej, PWN, Warszawa 1980.
- [4] Pritsker A., Pegden C.: Introduction to simulation and SLAM. 1979.
- [5] Standridge C.R.: Performing simulation projects with The Extended Simulation System (TESS), Simulation 45 (6), s. 283-291, 1985.
- [6] Zieliński R.: Generatory liczb losowych, WNT, Warszawa 1979.

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

Wpłynęło do Redacji do 1988.04.30

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМЫ СДПП

### Резюме

В статье представлена система СДПП предназначена для моделирования типовых дискретных производственных процессов выступающих в производственных системах. Отдельные программы СДПП позволяют на определение модели исследуемой проблемы, моделировать её работу и наблюдать получаемые результаты.

## SIMULATION OF DISCRETE PRODUCTION PROCESSES WITH THE SDPP SYSTEM

### Summary

This paper describes a SDPP system which is capable for simulating typical discrete-event processes in manufacturing systems. The simulator programs enable the user to define the model of analysed problem, simulate it and visualize obtained results.