ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: INFORMATYKA z. 1 Nr kol. 653

Piotr BĄK

Zakład Systemów Automatyki Kompleksowej PAN
Gliwice

OCENA EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA SYSTEMU OPERACYJNEGO BEZ ZABEZPIECZEŃ PRZED WYSTĄPIENIEM STANU WZAJEMNEJ BLOKADY

Streszczenie. W pracy przedstawiono sposób oceny jakości struktury systemu operacyjnego z punktu widzenia szybkości dochodzenia systemu do stanu wzajemnej blokady. Jako współczynnik jakości przyjęto wartość oczekiwaną E_r liczby procesów ukończonych do momentu pierwszego wystąpienia stanu blokady.

Wybranie spośród konfiguracji dopuszczalnych takiej, która ma największą wartość E_r, zapewni, że w systemie ilość odwołań do procedur ochrony systemu przed skutkami wystąpienia stanu wzajemnej blokady będzie mała. Powinno to zmniejszyć czas własny systemu.

Przedstawiony sposób obliczenia E_r bazuje na modelu systemu w postaci łańcucha Markowa.

1. Wprowadzenie

Przy projektowaniu systemów operacyjnych obiektowych istotnym problemem jest określenie priorytetów poszczególnych programów oraz regulaminów ich obsługi. Zbiór możliwych do przyjęcia rozwiązań narzuca zwykle globalna funkcja systemu. Projektantowi systemu zależy nie tylko na rozwiązaniu globalnego celu ale także na takim skonfigurowaniu systemu, aby jego własności użytkowe (np. średni czas realizacji zadań,czas oczekiwania) były jak najlepsze.

Jednym z możliwych do przyjęcia założeń jest, aby system posiadał jak najmniejszą tendencję do wchodzenia w stany wzajemnego zablokowania przy braku jakichkolwiek mechanizmów ochrony przed skutkami wystąpienia tych stanów [1, 2, 3, 4, 5].

Po takim skonfigurowaniu systemu zastosowanie dowolnej metody ochrony zapewni to, że procedury ochrony będą uruchamiane rzadko, a przy pewnych metodach dodatkowo utrzymywane będzie duże wykorzystanie zasobów. Aby zastosować tę koncepcję, konieczne jest posiadanie modelu, za pomocą którego można określić średnią liczbę procesów zakończonych do momentu pierwszego osiągnięcia stanu wzajemnej blokady E_r.

Następnym krokiem byłoby dobranie takiej konfiguracji (spośród zbioru konfiguracji dopuszczalnych), aby otrzymać maksymalną wartość E_r.

Podobne podejście zostało zaprezentowane w pracach [6, 7]. Model zbudowany został w oparciu o automat probabilistyczny, a sposób przeprowadzenia obliczeń jest na tyle niewygodny, że nie nadaje się do praktycznego zastosowania.

W [4] wprowadzono formalny model systemu operacyjnego oraz podano metodę określenia średniego czasu do osiągnięcia stanu wzajemnej blokady, stosując aproksymację rzeczywistego systemu.

W niniejszej pracy przedstawiono model systemu, za pomocą którego można dla wybranego regulaminu obsługi oraz jednakowych priorytetów programów określić E_f. Zależność tę wyznaczono dla przypadkowego regulaminu obsługi programów oraz ich jednakowych priorytetów. Określenie E_f dla innych regulaminów obsługi oraz różnych priorytetów programów można przeprowadzić wzorując się na przedstawionej pracy.

2. Łańcuch Markowa jako model systemu wieloprocesowego

W niniejszej pracy rozpatrzono system złożony ze zbioru procesów $\Theta = \{\Theta_1, \Theta_2, \ldots, \Theta_m\}$ o liczebności m i zbioru zasobów równych typów $R = \{R_1, R_2, \ldots, R_r\}$ o liczebności r. Zakłada się, że liczba elementów w tych zbiorach jest skończona oraz że w każdym typie zasobów jest tylko jeden zasób. Przez proces będziemy rozumieć sekwencję działań elementarnych koniecznych do wykonania danego zadania. Procesy są wynikiem wykonywania programu, przez który rozumiemy ciąg instrukcji opisujących dany problem.

Definicja 2.1

Przez stan procesu Θ_i rozumieć będziemy dwójkę (a_i, d_i).

Definicja 2.2

Przez stan systemu s rozumieć będziemy uporządkowany ciąg dwójek określających stany procesów.

$$s = ((a_1, d_1), (a_2, d_2), \ldots, (a_m, d_m))$$

gdzie:

a_i – liczba posiadanych zasobów przez proces Θ_i,

$(d_i - a_i)$ – liczba żądanych zasobów przez proces Θ_i.

Procesy mogą wysyłać zgłoszenia o przydział zasobów w dowolnych chwilach czasu. Wysyłanie żądania o przydział zasobów musi spełniać warunek realizowalności stanów [1, 2].

Stan systemu jest realizowalny, jeżeli:

$$\forall_{\Theta_i \in \Theta} \quad a_i + d_i \leqslant 2r \quad \text{i} \quad \sum_{\Theta_i \in \Theta} a_i \leqslant r$$
$$\text{i} \quad d_i \leqslant r \tag{2.1}$$

Jeżeli:

$a_i > d_i$, tzn. że proces Θ_i oddaje $(a_i - d_i)$ zasobów,
$a_i = d_i$, tzn. że aktualne żądania procesu Θ_i są zaspokojone,
$a_i < d_i$, tzn. że proces Θ_i żąda dodatkowo $(d_i - a_i)$ zasobów.

Definicja 2.3

Stanem początkowym systemu $s_\emptyset$ nazwiemy stan, dla którego:

$$\forall_{1 \leqslant i \leqslant m} \quad a_i = d_i = 0$$

Definicja 2.4

Stanem początkowym procesu Θ_v nazwiemy stan systemu $s \in S$, dla którego $a_v = d_v = 0$.

Oznaczamy przez S zbiór wszystkich stanów realizowanych systemu. Ponieważ ilość elementów zbiorów Θ i R jest skończona, dlatego zbiór S jest skończony.

Przyjmijmy następujące założenia przy określeniu modelu systemu:

Założenie 1. Zmiana stanu systemu jest spowodowana wystąpieniem jednego ze zdarzeń:
- wysłanie żądania o przydział dodatkowych zasobów przez proces Θ_i (tzn. zwiększenie d_i),
- przydział żądanych zasobów do procesu Θ_i (tzn. zwiększenie a_i),
- wysłanie żądania o zwolnienie zasobów przez proces Θ_i i ich zwolnienie (tzn. zmniejszenie d_i i a_i).

Założenie 2. Prawdopodobieństwo $p_{s,t}$ przejścia w jednym kroku ze stanu $s \in S$ do $t \in S$ jest uzależnione tylko od stanu s.

$$p_{s,t} = P\left\{\xi_n = t \mid \xi_{n-1} = s\right\}$$

gdzie:

ξ_n - jest zmienną losową będącą stanem, w którym znajduje się system w chwili n.

Założenie 3. Proces $\Theta_i \in \Theta$ może wysłać żądanie o dodatkowe zasoby lub zwolnić posiadane zasoby tylko wtedy, kiedy $a_i = d_i$.

Założenie 4. Proces $\theta_i \in \Theta$ może żądać z jednakowym prawdopodobieństwem dowolnej liczby zasobów pod warunkiem spełnienia (2.1).

Założenie 5. Proces $\theta_i \in \Theta$ może zwalniać z jednakowym prawdopodobieństwem dowolną liczbę posiadanych przez siebie zasobów.

Założenie 6. Obsługa żądań procesów odbywa się wg regulaminu przypadkowego.

Założenie 7. Zasoby będące w posiadaniu procesu $\theta_i \in \Theta$ mogą być zwolnione tylko na żądanie procesu θ_i. W przypadku, kiedy przez zewnętrzną interwencję zasoby zostaną procesowi odebrane, proces ulega zniszczeniu.

Na podstawie znajomości zbioru S oraz możliwości zmian stanów można określić macierz prawdopodobieństwa $\underline{P}$, której elementy są prawdopodobieństwami przejścia w jednym kroku między poszczególnymi stanami.

$$\underline{P} = \left[p_{s,t}\right]_{t \in S}^{s \in S} \tag{2.3}$$

Z określenia macierzy $\underline{P}$ wynika, że jest to macierz kwadratowa oraz że wszystkie wiersze macierzy $\underline{P}$ spełniają zależność:

$$\forall_{s \in S} \quad \sum_{t \in S} p_{s,t} = 1 \tag{2.4}$$

Definicja 2.5

Relacją przejścia $Y \subseteq S \times S$ między stanami systemu nazywamy:

$$Y \overset{def}{=\!=} (s, \hat{} t)(s,\ t \in S\ p_{s,t} > 0)$$

Niech B(s) będzie zbiorem wszystkich stanów, do których można przejść w jednym kroku ze stanu $s \in S$. Zbiór B(s) jest więc podzbiorem zbioru S.

$$B(s) \overset{def}{=\!=} \left\{ t \in S \,\middle|\, (s, \hat{} t) \in Y \right\} \tag{2.5}$$

Niech dla wybranego stanu s liczebność B(s) wynosi l(s). Z przyjętych założeń wynika, że rozkład prawdopodobieństwa przejścia w jednym kroku między stanami s i $t \in S$ jest rozkładem równomiernym, tzn.:

$$\forall_{\substack{t \in B(s) \\ t \neq s}} p_{s,t} = \begin{cases} \frac{1}{l(s)} & \text{dla } l(s) \neq \emptyset \\ \emptyset & \text{dla } l(s) = \emptyset \end{cases} \tag{2.6}$$

Warto zauważyć, że dla $l(s) = \emptyset$, $p_{s,s} = 1$.

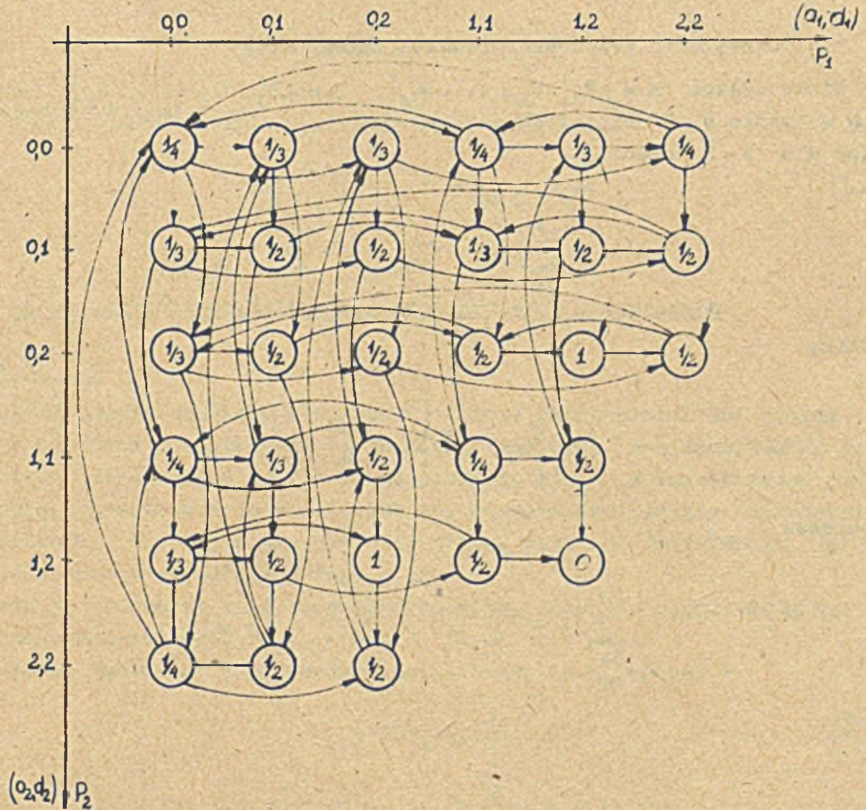
Stanem wzajemnej blokady systemu b nazywamy stan, w którym co najmniej dwa procesy czekają na wzajemne wypracowanie sobie warunków swojej dalszej realizacji.

Rozpatrzmy dla przykładu system złożony z dwóch procesów $\Theta = (\Theta_1, \Theta_2)$ i dwóch zasobów jednego typu $R = \{R_1, R_2\}$. Zgodnie z definicją 2.2 stan systemu zdefiniujemy jako:

$$s = ((a_1, d_1), (a_2, d_2))$$

Każdy ze stanów dopuszczalnych w tym systemie musi spełniać warunek (2.1).

Na rys. 2.1 przedstawiono wszystkie możliwości zmiany stanów systemu. Prawdopodobieństwo przejścia z dowolnego stanu do innego w jednym kroku zostało określone wg (2.5).



Rys. 2.1. Prawdopodobieństwa zmian stanów dla systemu złożonego z dwóch procesów i dwóch zasobów jednego typu

Na rys. 2.1 prawdopodobieństwo przejścia z dowolnego stanu s do jednego ze stanów B(s) jest wpisane w okrąg symbolizujący ten stan. W systemie przedstawionym na rys. 2.1 jest jeden stan wzajemnej blokady b=((1,2), (1,2)). Prawdopodobieństwo jego opuszczenia wynosi zero. System po wejściu do tego stanu tak długo będzie się w nim znajdował, dopóki przez zewnętrzną interwencję nie zostanie z niego wytrącony.

3. Analiza modelu

Analiza zaprezentowanego modelu powinna dać odpowiedź na pytanie, czy rozpatrywany system jest lepszy od innych z punktu widzenia średniej liczby procesów ukończonych do momentu pierwszego osiągnięcia stanu wzajemnej blokady. Poszukiwanie konfiguracji systemu o lepszych parametrach należałoby przeprowadzić przez zmianę jego struktury (regulaminów obsługi, priorytetów programów) i ponowne obliczenie E_f.

3.1. Określenie prawdopodobieństwa zmiany stanu

Niech system $\Theta = \{\Theta_1, \Theta_2, \ldots, \Theta_m\}$, $R = \{R_1, R_2, \ldots, R_r\}$ znajduje się w stanie s. Z przyjętych założeń wynika, że liczebność $l(s)$ zbioru $B(s)$ dla $s \in S$ wynosi:

$$l(s) = \sum_{j=1}^{m} (1 - \delta_{a_j,d_j}) + \sum_{j=1}^{m} r\delta_{a_j,d_j} \tag{3.1}$$

gdzie:

$$\delta_{a_j,d_j} = \begin{cases} 1 & a_j = d_j \\ 0 & a_j \neq d_j \end{cases}$$

Ponieważ

$$\sum_{j=1}^{m}(1 - \delta_{a_j,d_j}) + \sum_{j=1}^{m}\delta_{a_j,d_j} = m$$

więc

$$l(s) = m - \sum_{j=1}^{m}\delta_{a_j,d_j} + r\sum_{j=1}^{m}\delta_{a_j,d_j}$$

Po wprowadzeniu oznaczenia

$$x = \sum_{j=1}^{m} \delta_{a_j, d_j}$$

liczebność $l(s)$ wynosi $l(s) = m - x + xr = m + x(r - 1)$. Zależnie od stanu s x może przyjmować wartości z przedziału $0 \leqslant x \leqslant m$. Największą liczebność l_{max} ma więc zbiór $B(s)$ dla takiego stanu $s \in S$, dla którego $x = m$ i wynosi ona

$$l_{max} = l(s) = mr \tag{3.2}$$

Zgodnie z (2.6) stwierdzamy, że minimalne prawdopodobieństwo przejścia $p_{s,t}$ otrzymamy dla stanu $s \in S$, dla którego $l(s) = l_{max}$. Wynosi ono:

$$\min_{t \in B(s)} \left\{p_{s,t}\right\} = \frac{1}{mr}$$

Ostatecznie otrzymujemy:

$$\forall_{s \in S} \ \forall_{t \in B(s)} \quad 1 \geqslant p_{s,t} \geqslant \frac{1}{mr} \tag{3.3}$$

4. Ocena wartości oczekiwanej liczby procesów ukończonych

Definicja 4.1

Ciągiem długim nazwiemy ciąg stanów, przez które przechodzi system począwszy od stanu początkowego $s_{\emptyset}$ do pierwszego stanu wzajemnej blokady $b \in D$.

Wartość oczekiwaną długości ciągu długiego $E(\alpha_z)$ można otrzymać przez symulację przedstawionego modelu lub też poprzez analityczne oszacowanie tej wielkości. W pracy posłużono się obiema metodami. Postaramy się wpierw oszacować oczekiwaną długość tego ciągu.

Niech α_z będzie zmienną losową określającą długość ciągu długiego otrzymanego w z-tej próbie.

Przez b_v oznaczymy prawdopodobieństwo tego, że α_z wynosi v

$$b_v = P\left\{\alpha_z = v\right\} \tag{4.1}$$

Interesująca nas wartość $E(\alpha_z)$ wynosi:

$$E(\alpha_z) = \sum_{v=0}^{\infty} v b_v \tag{4.2}$$

Zbiór wszystkich stanów dopuszczalnych systemu S podzielimy na dwa zbiory rozłączne D i F odpowiednio zawierające wszystkie stany wzajemnej blokady i pozostałe stany. Więc: $S = D \cup F$ i $D \cap F = \emptyset$. Oznaczymy przez p prawdopodobieństwo przejścia w jednym kroku ze zbioru F do D.

Prawdopodobieństwo b_v można więc wyrazić jako:

$$b_v = (1 - p)^{v-1} p \tag{4.3}$$

Jest to iloczyn prawdopodobieństwa tego, że system nie wyjdzie ze zbioru stanów F w ciągu (v - 1) kroków i prawdopodobieństwa przejścia p w jednym kroku między tymi zbiorami.

Z zależności (4.2) i (4.3) otrzymujemy:

$$E(\alpha_z) = \frac{1}{p} \tag{4.4}$$

Należy teraz określić prawdopodobieństwo p.

Oznaczymy liczebności zbiorów D, F i S odpowiednio przez l_d, l_f, l_s. Zbiór stanów F podzielimy na trzy podzbiory V, C, K.

Podzbiór V zawiera stany, z których można w jednym kroku przejść do zbioru D.

$$V(s) = \left\{ s \,\middle|\, p_{s,b} > 0; \quad b \in D \right\} \tag{4.5}$$

Niech liczebność zbioru V wynosi l_v.

Podzbiór C o liczebności l_c zawiera wszystkie stany systemu, z których można w jednym kroku przejść do stanów początkowych procesów.

$$C = \left\{ s \,\middle|\, (s,\hat{\ }t) \in Y \text{ i } \exists_{\Theta_z \in \Theta} \text{ że t jest stanem początkowym } \Theta_z \right\} \tag{4.6}$$

gdzie:

$s \in S$ - nie jest stanem początkowym Θ_z.

Prawdopodobieństwo przejścia p można więc określić w następujący sposób:

$$p = p_v p_{s,b} \tag{4.7}$$

gdzie:

p_V - jest prawdopodobieństwem znalezienia się systemu w zbiorze V, $s \in V$ i $b \in D$.

Ponieważ interesuje nas stan ustalony w systemie, możemy analitycznie wyznaczyć całkowite prawdopodobieństwo znalezienia się systemu w każdym ze stanów. Zapisując równania dla stanu ustalonego, otrzymamy:

$$\underline{\Lambda} \times \underline{P}_c = \emptyset \tag{4.8}$$

$$\forall_{s \in S} \sum_{s \in S} P_s = 1 \tag{4.9}$$

gdzie:

$$\underline{\Lambda} = \left[\lambda_{s,t}\right] \qquad \lambda_{s,t} = \begin{cases} p_{s,t} & s \neq t \\ -\sum\limits_{s \neq t} p_{s,t} & s = t \end{cases}$$

P_c - macierz całkowitych prawdopodobieństw znalezienia się systemu w poszczególnych stanach.

P_s - całkowite prawdopodobieństwo znalezienia się systemu w stanie $s \in S$.

Biorąc pod uwagę (3.3) oraz dodając stronami równania układu (4.8), otrzymujemy:

$$\forall_{s \in S} \quad P_s \cong \frac{1}{I_s} \tag{4.10}$$

Ponieważ

$$p_V = \sum_{s \in V} P_s$$

więc

$$p_V \cong \frac{l_V}{I_s} \tag{4.11}$$

Zgodnie z (4.11) i (4.7) możemy zapisać, że:

$$p_v \cong \frac{l_v}{l_s} p_{s,b} \tag{4.12}$$

Wartość prawdopodobieństwa $p_{s,b}$ określimy na podstawie liczebności l(s) zbioru B(s), do którego można dojść w jednym kroku ze stanu $s \in V$.

$$l(s) = \sum_{j=1}^{m} r\delta_{a_j,d_j} \tag{4.13}$$

Zauważmy, że:

$$\sum_{j=1}^{m} \delta_{a_j,d_j} \leqslant m - 1 \tag{4.14}$$

gdyż co najmniej dla jednego Θ_i $a_i < d_i$. Ostatecznie otrzymujemy:

$$1 \leqslant l(s) \leqslant r(m - 1)$$

Wykorzystując (2.6), stwierdzamy, że dla $s \in V$ i $b \in D$ mamy:

$$1 \geqslant p_{s,b} \geqslant \frac{1}{r(m - 1)} \tag{4.15}$$

Biorąc pod uwagę (4.15) i (4.12), możemy stwierdzić, że:

$$p \cong \frac{l_v}{l_s} \frac{1}{r(m - 1)} \tag{4.16}$$

Z (4.16) i (4.4) można wyznaczyć oczekiwaną długość ciągu długiego:

$$E(\alpha_z) \cong \frac{l_s}{l_v} r(m - 1)$$

Zasadniczo najbardziej interesująca dla użytkownika systemu jest oczekiwana liczba procesów E_f ukończonych do momentu pierwszego wystąpienia stanu wzajemnej blokady.

Wartość oczekiwaną E_f można wyznaczyć z zależności:

$$E_f = E(\alpha_z)\,\frac{l_c}{l_s}\,p_{s,t} \quad s \in S \ \text{i} \ t \in F \tag{4.17}$$

gdzie:

$$1 \geq p_{s,t} \geq \frac{1}{mr} \tag{4.18}$$

Z zależności (3.3) oraz (4.18) i (4.17) otrzymujemy:

$$E_f \geq \frac{l_c}{l_v}\,\frac{m-1}{m} \tag{4.19}$$

5. Sprawdzenie poprawności przedstawionego modelu

W celu sprawdzenia poprawności dokonano obliczeń wartości oczekiwanej liczby procesów zakończonych do momentu wystąpienia pierwszego stanu wzajemnej blokady, wg zależności (4.19). Wyniki uzyskane na tej drodze porównano z rezultatami otrzymanymi z symulacji. Dla dyskutowanego w pracy przykładu obliczono liczebności l_v i l_c.

Na rys. 5.1 przedstawiono otrzymane rezultaty na drodze analitycznej i symulacyjnej.

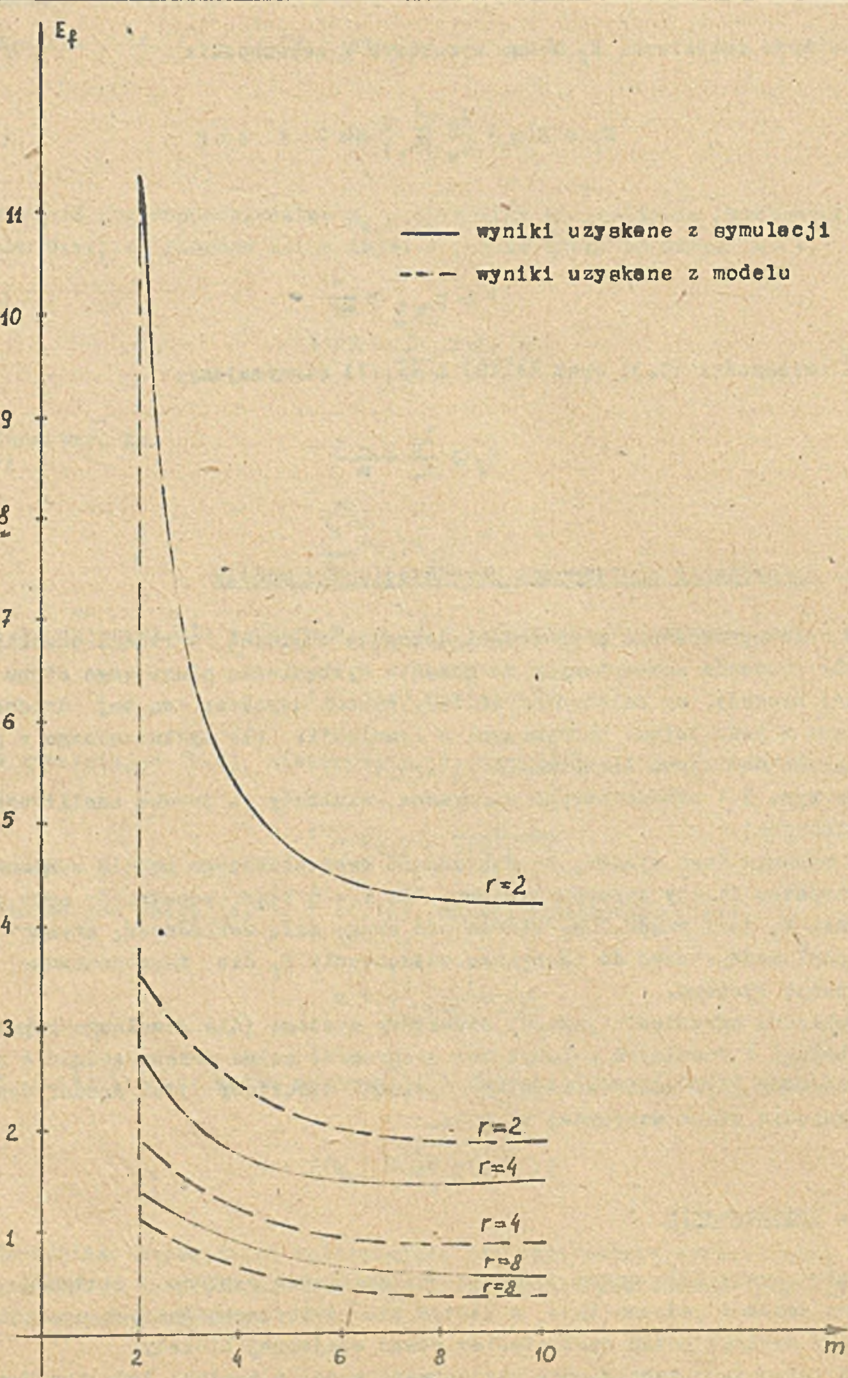
Z rysunku tego wynika, że dokładność prezentowanego modelu zwiększa się ze wzrostem liczby zasobów systemu. Dla $r = 8$ błąd popełniony przy oszacowaniu E_f jest rzędu 30%. Biorąc pod uwagę małą dokładność, przedstawiony model może służyć do szybkiego oszacowania E_f dla zaproponowanej konfiguracji systemu.

Dokładne określenie jakości struktury systemu (dla dowolnego regulaminu obsługi i dowolnych priorytetów programów) można przeprowadzić w oparciu o pracę [4], gdzie wskaźnikiem jakości struktury jest średni czas do osiągnięcia stanu wzajemnej blokady.

6. Podsumowanie

Celem pracy była ocena efektywności działania systemu złożonego ze zbioru zasobów jednego typu, w którym nie zastosowano żadnych mechanizmów ochrony systemu przed wystąpieniem stanu wzajemnej blokady.

Do opisu tego zagadnienia zastosowano model w postaci łańcucha Markowa.



Rys. 5.1. Średnia liczba procesów ukończonych przed pierwszym wystąpieniem stanu wzajemnej blokady

Wynikiem końcowym pracy jest funkcja określająca liczbę procesów ukończonych przed pierwszym wystąpieniem stanu wzajemnej blokady dla zdefiniowanego w pracy systemu. Porównanie jakości struktur systemu przeprowadza się w oparciu ó porównanie ich E_r.

LITERATURA

[1] Bellino J., Betournè C. i inni: Systems d'exploitation des ordinateurs. Dunod, 1975.

[2] Bąk P.: Porównanie własności różnych metod ochrony przed wzajemną blokadą. Podstawy Sterowania t. 7, z. 6, 1976.

[3] Bąk P.: Zastosowanie semaforów w problemie ochrony przed wzajemną blokadą programów. Podstawy Sterowania t. 8, z. 1, 1978.

[4] Bąk P.: Analityczna metoda sprawdzania poprawności strukturalnej systemów operacyjnych. Podstawy Sterowania t. 9, z. 1, 1979.

[5] Coffman E.G., Denning P.J.: Operating systems theory. Prentice Hall Inc. 1973.

[6] Ellis C.: On the probability of deadlock in computer systems. Raport nr CU-CS-026-73 na Uniwersytecie Colorado 1973.

[7] Ellis C.: Probabilistic models of computer deadlock.Information Sciences, vol. 12, 1977.

[8] Karlin S.: Osnowy tieorii słuczajnych processow. Mir 1971.

[9] Kiemieni D., Sniem L.: Koniecznyje cepi Markowa. Nauka 1970.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
БЕЗ МЕХАНИЗМОВ ЗАЩИТЫ В СЛУЧАЕ ВЫСТУПЛЕНИЯ ТУПИКОВОЙ СИТУАЦИИ

Р е з ю м е

В статье приводится метод оценки качества структуры операционной системы. Критерий качества структуры системы это среднее число процессов завершённых перед первым выступлением тупиковой ситуации.

Цепь Маркова была использована как модель операционной системы.

PERFORMANCE EVALUATION OF AN OPERATING
SYSTEM WITHOUT DEADLOCK AVOIDANCE MECHANISMS

S u m m a r y

The paper presents a method of operating system struture quality estimation.

The expected value of the number of processes completed before the first deadlock state has been determined as a quality coefficient of system structure. The model of the system is a Markov chain.