

WSPÓLBIEŻNA REALIZACJA ZADAŃ PROGRAMOWYCH JAKO PRZYCZYNA POWSTAWANIA OPÓŹNIEŃ W SYSTEMIE POMIAROWO-STERUJĄCYM

Marek WYMYSŁO

Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Elektryczny
tel.: 32 237 20 05, e-mail: Marek.Wymyslo@polsl.pl

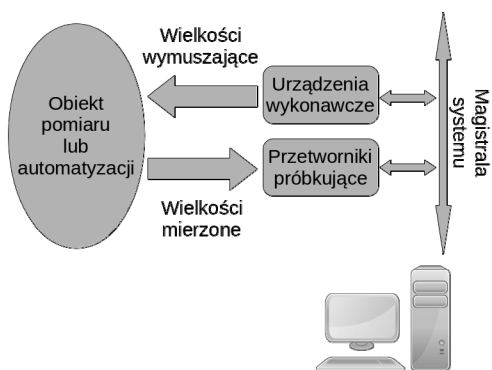
Streszczenie: Opóźnienia w systemie pomiarowo-sterującym przyczyniają się powstawania błędów pomiaru wielkości zmiennych w czasie. Jedną z przyczyn powstawania opóźnień jest współbieżna realizacja zadań programowych pod nadzorem systemu operacyjnego. Opóźnienia poszczególnych zadań zależą zarówno od algorytmu planowania zadań, jak i od czasu ich realizacji. W artykule scharakteryzowano mechanizm powstawania opóźnień w wielozadaniowym systemie operacyjnym oraz opisano je w kategoriach probabilistycznych. Wyniki eksperymentów symulacyjnych, zrealizowanych dla współbieżnej realizacji dwóch zadań zilustrowano w postaci histogramów liczości.

Słowa kluczowe: model opóźnień, współbieżna realizacja zadań, system operacyjny, system pomiarowo-sterujący.

1. OPÓŹNIENIA W SYSTEMIE ZWIĄZANE Z REALIZACJĄ ZADAŃ PROGRAMOWYCH

Podstawą rozważań dotyczących mechanizmu powstawania opóźnień na skutek współbieżnej realizacji zadań w systemie pomiarowo-sterującym jest opis jego struktury, którą ogólnie można przedstawić w sposób pokazany na rysunku 1. W systemie wyróżniono trzy rodzaje urządzeń: przetworniki próbkujące, urządzenia wykonawcze oraz komputery, przy czym do wymiany informacji między nimi służy interfejs systemu, który ma postać magistrali.

Do pomiaru wartości chwilowych zmiennych w czasie sygnałów charakteryzujących obiekt służą przetworniki próbkujące. Uzyskiwane wyniki pomiaru są przetwarzane przez komputery, których głównym zadaniem jest wizualizacja danych. Komputery odpowiadają ponadto m.in. za wyznaczanie wielkości wymuszających stan obiektu oraz archiwizację danych.



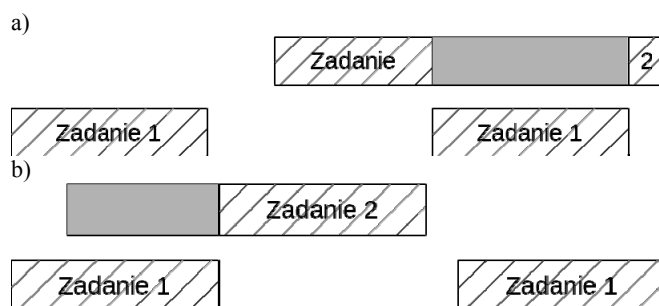
Rys. 1. Ogólna struktura systemu pomiarowo-sterującego

Realizacja zadań programowych przez komputery wymaga czasu, a zatem jest źródłem występowania opóźnień w wyznaczaniu sygnałów sterujących obiektem. Zadania najczęściej wykonywane są pod nadzorem wielozadaniowego systemu operacyjnego, co jest przyczyną ich rywalizacji o zasoby komputera i przyczynia się do powstawania dodatkowych opóźnień związanych ze współbieżną realizacją zadań. W artykule przedstawiono probabilistyczny opis tego rodzaju opóźnień w dwóch najprostszych przypadkach: gdy wywłaszczanie zadań jest stosowane i gdy tak nie jest.

2. REALIZACJA ZADAŃ Z WYWŁASZCZANIEM

W wielozadaniowym systemie operacyjnym wykonywane zadania mogą mieć takie same lub różne priorytety w dostępie do zasobów. Współbieżna realizacja zadań o różnych priorytetach skutkuje często odebraniem zasobu zadaniu o niższym priorytecie, a następnie przyznaniem go zadaniu o wyższym priorytecie, co nazywane jest wywłaszczaniem [1].

Załóżmy, że pula składa się z dwóch zadań, przy czym zadanie 1 ma wyższy priorytet niż 2. Wywłaszczanie następuje podczas aktywizacji zadania 1 w momencie, gdy zadanie 2 jest aktualnie wykonywane. W takiej sytuacji zadanie 1 wykonywane jest praktycznie bez przeszkód, natomiast czas wykonywania zadania 2 może ulec wydłużeniu. Dwa możliwe przypadki, w których zachodzi wywłaszczenie zadania 2 przez 1 zilustrowano na rysunku 2.



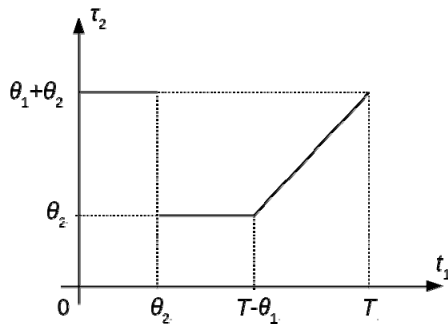
Rys. 2. Wywłaszczanie zadania 2 przez zadanie 1 w przypadkach: a) gdy zadanie 1 inicjowane jest w momencie wykonywania zadania 2, b) gdy zadanie 1 opóźnia czas inicjacji zadania 2

Biorąc pod uwagę sposób korzystania z zasobów, zadania możemy podzielić na dwie kategorie: inicjowane

okresowo oraz losowo. Zakładając, że wykonywanie zadania 2 odbywa się cyklicznie co okres T , to całkowite opóźnienie zadania 2, związane z realizacją zadania 1 wynosi [2, 3]:

$$\tau_2 = g(t_1) = \begin{cases} \theta_1 + \theta_2 & \text{dla } t_1 \in \langle 0, \theta_2 \rangle \\ \theta_2 & \text{dla } t_1 \in \langle \theta_2, T - \theta_1 \rangle \\ t_1 + \theta_1 + \theta_2 - T & \text{dla } t_1 \in \langle T - \theta_1, T \rangle \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: t_1 – moment inicjacji zadania 1, θ_1, θ_2 – czasy trwania zadań 1 i 2, T – okres repetycji, przy czym $t_1 \in \langle 0, T \rangle$. Zależność (1) przedstawiono graficznie na rysunku 3.

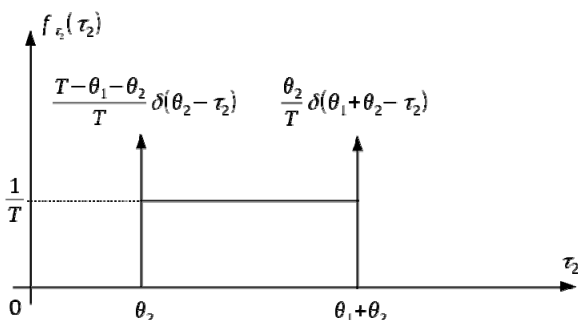


Rys. 3. Graficzna interpretacja zależności opóźnienia realizacji zadania 2, gdy stosowane jest wywłaszczanie przez zadanie 1

Przy założeniu, że zadanie 1 inicjowane jest losowo zgodnie z rozkładem jednostajnym w przedziale $\langle 0, T \rangle$ opóźnienie zadania 2 ma również charakter losowy [2]. Znajomość związku między opóźnieniem zadania 2, a czasem aktywizacji zadania 1 w postaci (1) umożliwia wyrażenie opóźnienia τ_2 w postaci funkcji gęstości prawdopodobieństwa. W pracach [1, 3] wykazano, że funkcja gęstości prawdopodobieństwa opóźnienia τ_2 dla rozpatrywanego przypadku ma postać:

$$f_{\tau_2}(\tau_2) = \begin{cases} \frac{T - \theta_1 - \theta_2}{T} \delta(\theta_2 - \tau_2) \\ + \frac{\theta_2}{T} \delta(\theta_1 + \theta_2 - \tau_2) & \text{dla } \tau_2 \in \langle \theta_1, \theta_1 + \theta_2 \rangle \\ + \frac{1}{T} & \\ 0 & \text{dla } \tau_2 \notin \langle \theta_1, \theta_1 + \theta_2 \rangle \end{cases} \quad (2)$$

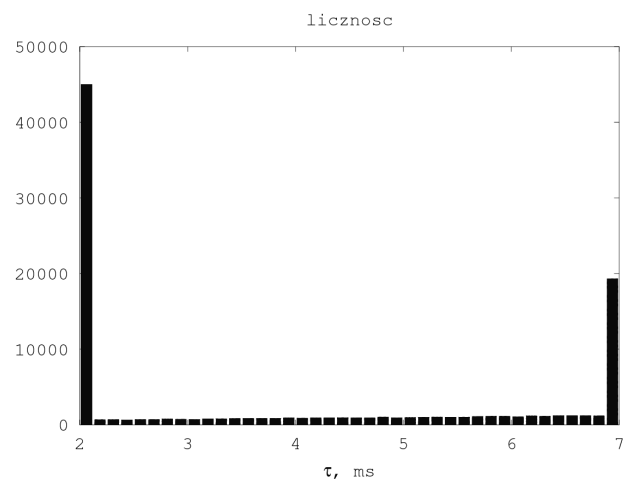
gdzie δ jest dystrybucją delta Diraca. Rozkład całkowitego opóźnienia związanego z realizacją zadania 2 zaprezentowano na rysunku 4.



Rys. 4. Rozkład opóźnienia wykonywanego cyklicznie zadania 2, gdy możliwe jest jego wywłaszczanie przez inicjowane losowo zadanie 1

W wielozadaniowych systemach operacyjnych inicjacja poszczególnych zadań bardzo często odbywa się w sposób losowy, wobec czego rozpatrywanie opóźnień ich realizacji w kategoriach probabilistycznych może stanowić skomplikowany problem z uwagi na konieczność wykonywania złożonych obliczeń analitycznych. W takim przypadku do wyznaczania rozkładu opóźnień można stosować przybliżone metody analityczne [4, 6, 7] lub wykorzystać symulację probabilistyczną zgodnie z metodą Monte Carlo. Przykład wykorzystania tej metody zaprezentowano w poniższym eksperymencie.

Eksperyment 1. Celem eksperymentu jest uzyskanie histogramu opóźnienia zadania 2, w przypadku gdy może być ono wywłaszczane przez zadanie 1. Założono, że obydwa zadania inicjowane są w sposób losowy zgodnie z rozkładem jednostajnym w przedziale czasowym $T = 10$ ms. Eksperyment składa się ze 100 000 kroków, z których każdy polega na losowym wyborze chwil inicjacji zadań 1 i 2. Następnie sprawdzane jest, czy podczas realizacji zadania 2 wystąpiło zadanie 1, po czym obliczane jest całkowite opóźnienie zadania 2. Uzyskany w wyniku eksperymentu histogram licznosci opóźnień zadania 2 zamieszczono na rysunku 5.



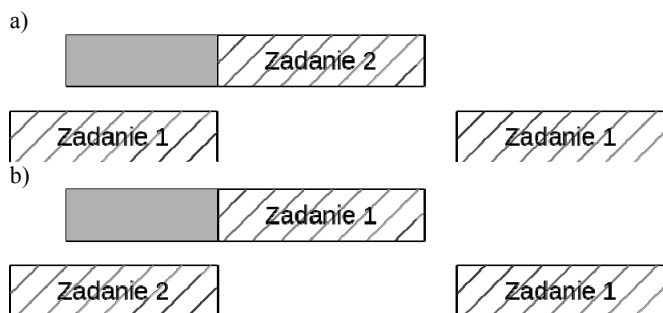
Rys. 5. Histogram opóźnienia zadania 2 w przypadku wywłaszczania go przez zadanie 1. Czas realizacji zadania 1: $\theta_1 = 5$ ms, zadania 2: $\theta_2 = 2$ ms

3. REALIZACJA ZADAŃ BEZ WYWŁASZCZANIA

Współbieżne wykonywanie zadań bez ich wzajemnego wywłaszczania zachodzi wtedy, gdy realizowane w systemie zadania mają taki sam priorytet. W takiej sytuacji zadaniom przydzielane są zasoby w kolejności, w jakiej się zgłaszają. Wobec tego inicjacja zadania w chwili, w której wykonywane jest inne zadanie wiąże się z koniecznością oczekiwania na wykonanie wcześniej zaplanowanych zadań. Mechanizm powstawania opóźnienia, związanego z realizacją dwóch zadań o takim samym priorytecie zilustrowano na rysunku 6.

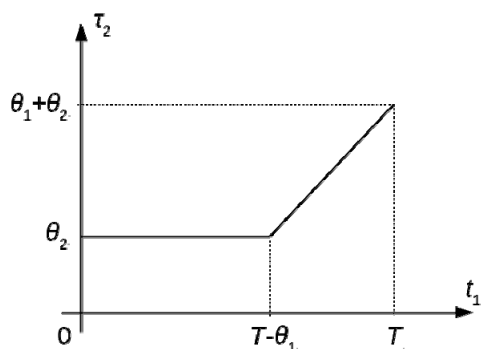
Zakładając, że wykonywanie zadania 2 odbywa się cyklicznie co okres T całkowite opóźnienie zadania 2, związane z ewentualną koniecznością oczekiwania na zakończenie realizacji zadania 1, uwzględniające czas jego realizacji, wynosi [2, 3]:

$$\tau_2 = g(t_1) = \begin{cases} \theta_2 & \text{dla } t_1 \in (0, T - \theta_1) \\ t_1 + \theta_1 + \theta_2 - T & \text{dla } t_1 \in (T - \theta_1, T) \end{cases} \quad (3)$$



Rys. 6. Mechanizm powstawania opóźnienia przy realizacji dwóch zadań o takim samym priorytecie: a) gdy zadanie 2 inicjowane jest w momencie wykonywania 1, b) gdy zadanie 1 inicjowane jest w momencie wykonywania 2

Zależność opóźnienia realizacji zadania 2 w funkcji chwili inicjacji zadania 1 dla zadań o jednakowym priorytecie przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Graficzna interpretacja zależności opóźnienia realizacji zadania 2 w przypadku realizacji dwóch zadań o tym samym priorytecie

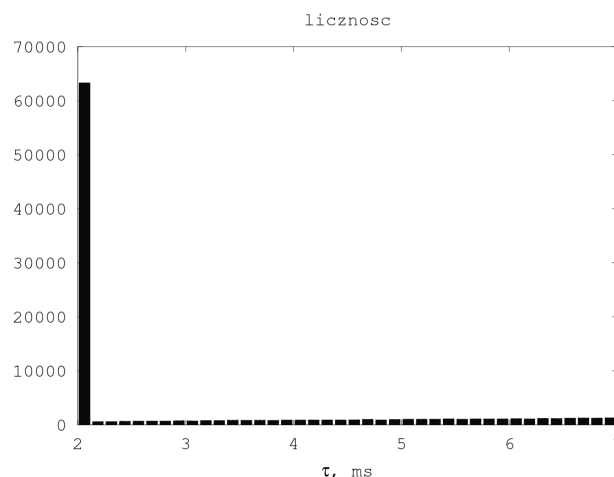
Rozpatrywanie całkowitego opóźnienia realizacji zadania w kategoriach probabilistycznych wiąże się bardzo często z koniecznością analitycznego wyznaczania spłotu rozkładów opóźnień cząstkowych [1]. Problem ten stanowi złożone zagadnienie, a dodatkową trudność sprawia uzyskiwanie opisu analitycznego poszczególnych opóźnień. W związku z tym zastosowanie eksperymentu symulacyjnego, podczas którego zbiory odpowiednich opóźnień można sumować algebraicznie [5] jest znacznie prostszym sposobem wyznaczania histogramu opóźnienia całkowitego.

Eksperyment 2. Eksperyment ma na celu wyznaczenie histogramu opóźnienia zadania 2, w przypadku gdy jest ono realizowane wspólnie z zadaniem 1 o takim samym priorytecie. Histogram opóźnienia całkowitego, przy założeniu losowej inicjacji obydwu zadań zgodnie z rozkładem jednostajnym w przedziale czasowym $T = 10$ ms zamieszczono na rysunku 8.

Kształt uzyskanego rozkładu przypomina rozkład opóźnienia zadania 2 w przypadku wyłączenia go przez zadanie 1 (rys. 5) z tą różnicą, że brakuje w nim składnika, dla którego opóźnienie całkowite stanowi sumę czasów realizacji zadań 1 i 2 [3]. Składnik ten związany jest

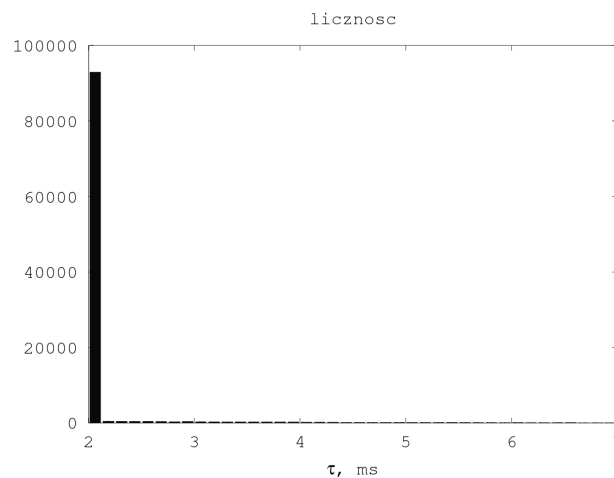
z wyłączeniem zadania 2 zachodzącym w przypadku, gdy inicjacja zadania 1 następuje podczas jego realizacji.

W histogramie z rysunku 8 można zaobserwować wyraźny udział opóźnień o wartości 2 ms, które są równe czasowi realizacji zadania 2. Oznacza to, że często zachodzi sytuacja, w której opóźnienie w dostępie do zasobu nie występuje, więc nie dochodzi do konfliktu między współbieżnie realizowanymi zadaniami. Maksymalne opóźnienie realizacji zadania 2 jest sumą opóźnień cząstkowych realizacji poszczególnych zadań i w rozpatrywanym przykładzie wynosi 7 ms.



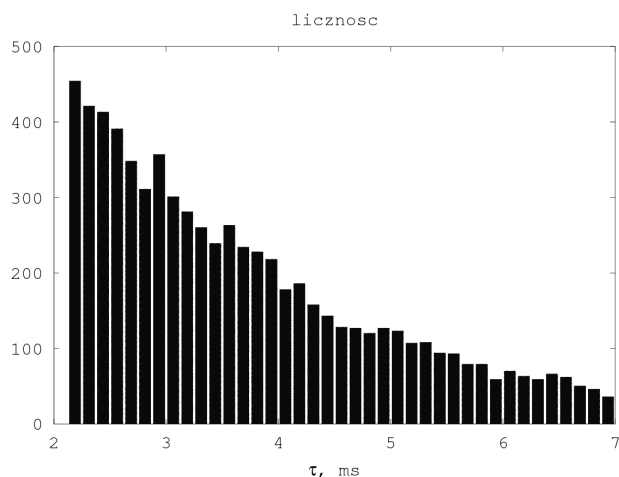
Rys. 8. Histogram opóźnienia zadania 2 w przypadku realizacji dwóch zadań o tym samym priorytecie. Czas realizacji zadania 1: $\theta_1 = 5$ ms, zadania 2: $\theta_2 = 2$ ms

Eksperyment 3. W eksperymencie wyznaczono rozkład opóźnienia zadania 2 dla losowej inicjacji zadania 1 o rozkładzie wykładniczym w przedziale $(0, T)$. Dla uproszczenia rozważań założono, że zadanie 2 aktywizowane jest cyklicznie co okres T oraz, że priorytety realizowanych wspólnie zadań 1 i 2 są jednakowe. Histogram otrzymanego w wyniku eksperymentu opóźnienia całkowitego dla okresu $T = 10$ ms zamieszczono na rysunku 9.



Rys. 9. Histogram opóźnienia zadania 2 w przypadku realizacji dwóch zadań o tym samym priorytecie, dla aktywizacji zadania 2 w sposób cykliczny i zadania 1 w sposób losowy zgodnie z rozkładem wykładniczym. Czas realizacji zadania 1: $\theta_1 = 5$ ms, zadania 2: $\theta_2 = 2$ ms

W kształcie uzyskanego histogramu po raz kolejny dominuje składnik związany z opóźnieniem wykonywania zadania 2. Wraz ze wzrostem wartości opóźnienia spada prawdopodobieństwo jego wystąpienia, przy czym spadek ten zależy od parametrów rozkładu, zgodnie z którym inicjowane jest zadanie 1 i może być opisywany funkcją wykładniczą [3]. Uzyskany histogram opóźnienia, nieuwzględniający składnika związanego z opóźnieniem realizacji zadania 2 zamieszczono na rysunku 10.



Rys. 10. Histogram opóźnienia zadania 2 z rysunku 9 nieuwzględniający składnika związanego z opóźnieniem realizacji zadania 2

Gdy obliczy się wartość średnią i odchylenie standardowe rozkładu z rysunku 9 to otrzymuje się odpowiednio: $\tau_{\text{śr}} = 2,12$ ms oraz $\sigma_{\tau_2} = 0,54$ ms. Wyznaczone wartości są niewielkie w odniesieniu do opóźnienia maksymalnego, wynoszącego 7 ms, co oznacza, że posługiwanie się maksymalnymi wartościami opóźnień w analizie systemów jest nieprzydatne, gdy rozpatrywany jest ich wpływ na niedokładność danych pomiarowych [1,2].

4. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

W systemach pomiarowo-sterujących zachodzi często potrzeba uwzględnienia opóźnień, będących źródłem błęd pomiaru. W takich sytuacjach wymagana jest znajomość

rozkładów opóźnień. Analityczne wyznaczanie funkcji gęstości prawdopodobieństwa opóźnień powodowanych współbieżną realizacją zadań w systemie operacyjnym stanowi dość złożone zagadnienie [3]. Z tego powodu do jej wyznaczania konieczne jest poszukiwanie innych sposobów, takich jak przybliżone metody analityczne lub wykorzystana w pracy metoda symulacyjna Monte Carlo.

Z przedstawionych histogramów liczności wynika, że opóźnienia związane ze współbieżną realizacją zadań silnie zależą od algorytmu planowania zadań w systemie operacyjnym. Opóźnienie wprowadzane przez każde z zadań zależy więc od czasu dostępu do zasobu oraz czasu jego użytkowania.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Jakubiec J.: Błędy i niepewności danych w systemie pomiarowo-sterującym, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
2. Jakubiec J.: Błędy powodowane opóźnieniami w systemie pomiarowo-sterującym, *Pomiary Automatyka Robotyka* 7-8, Gliwice 2004, s. 71-74.
3. Al Raimi H.: Badanie błędów związanych z opóźnieniami w transmisji danych w systemach pomiarowych, Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2003.
4. Wymyśło M.: Współczynnik korelacji w składaniu błędów uwarunkowanych czasowo, Seminarium młodych naukowców Politechniki Śląskiej, wyd I, Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016, s. 36-38.
5. Żurkowski R.: Składanie występujących w systemie pomiarowym błędów opóźnień i przetwarzania, *Pomiary Automatyka Kontrola* nr 6, Gliwice 2008, s. 368-370.
6. Luque J., Escudero I., Pérez F.: Analytic Model of the Measurement Errors Caused by Communications Delay, *IEEE Transactions of Power Delivery* no. 2, 2002, s. 334-337.
7. Jakubiec J., Krupane B., Grygiel M.: Probabilistyczne modelowanie opóźnień komunikacyjnych w sieciach komputerowych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Elektryka*, z. 4 (216), Gliwice 2010, s. 79-91.

CONCURRENT COMPUTING AS A CAUSE OF DELAYS IN MEASURING AND CONTROL SYSTEM

In modern measuring and control system delays are created due to various factors, such as data processing time, concurrent computing time, wireless transmission speed, etc. Delays caused by concurrent computing depend on time of use of the system resources by tasks and instants of initiation of tasks. This article characterizes arising of delays in multitasking operating system. Delays have been described in probabilistic categories.

Delay created by concurrent computing is a source of measurement data error, therefore it should be taken into consideration for measuring and control system analysis. In this situation, the knowledge of delay distributions is necessary. However, calculating of delay probability density function is usually very complex issue. Therefore, for the aim of delay distribution determination another methods need to be used, such as simplified analytical methods [4,6,7] or probabilistic simulation, called Monte Carlo Method.

Results of simulation experiments are presented by exemplary delay histograms. As it results from shape of these histograms delays caused by concurrent computing depend on operating system task scheduler algorithm. Hence, delay created by various tasks depend on instant of obtaining access to resource by the task and time of use of this resource.

Keywords: model of delay, concurrent computing, operating system, measuring and control system.