

# Pomiar czasu reakcji systemu operacyjnego na zdarzenia zewnętrzne

Roman Żurkowski \*

W pracy opisano sposób pomiaru czasu reakcji systemu na zdarzenia zewnętrzne. Scharakteryzowano typowe przyczyny powstawania opóźnień w systemach pomiarowych i ich wpływ na błędy danych pomiarowych. Zaproponowano konstrukcję przyrządu do pomiaru opóźnień i przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych przy jego użyciu.

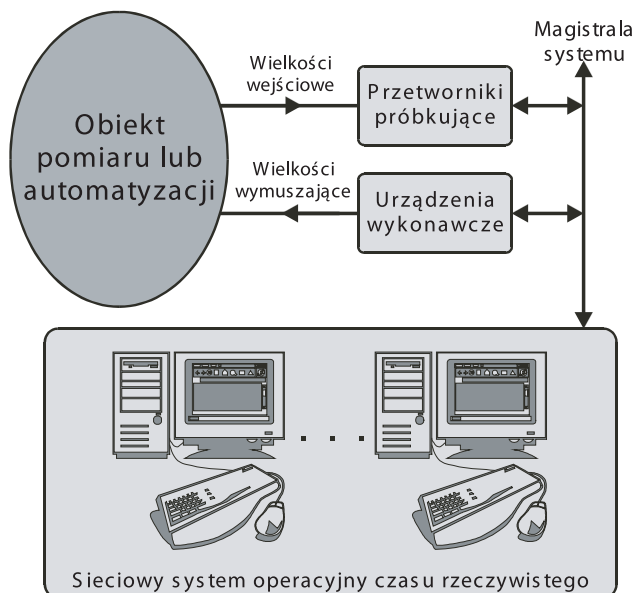
**Analysis of reaction latency in real-time systems.** The way of measurement of reaction latency in real-time systems is described in the paper. The typical causes of arising the delays in measuring systems as well as their influence on the measuring data errors are given. The construction of an instrument for measuring delays and the results of measurements taken by it are presented.

## Wprowadzenie

Budowane współcześnie systemy pomiarowo-sterujące często pracują pod kontrolą systemów operacyjnych czasu rzeczywistego (*Real Time Operating System*). Jednym z reprezentantów tego rodzaju systemów operacyjnych jest QNX [1]. Ogólnie system pomiarowo-sterujący może być przedstawiony w sposób pokazany na rys. 1. Źródłem danych w systemie są przetworniki próbkujące [2], które z określoną częstotliwością dostarczają kolejnych wyników pomiaru wartości chwilowych wielkości mierzonej. Wyniki te poprzez magistralę interfejsu są rozprowadzane w całym systemie. System po odebraniu danych pomiarowych, przetwarza je i podejmuje odpowiednie działania sterujące (poprzez urządzenia wykonawcze). Pomiędzy chwilą wykonania pomiaru a podjęciem działań sterujących upływa pewien czas, który można nazwać czasem reakcji, bądź opóźnieniem reakcji systemu. Źródłem opóźnień reakcji systemu są różne jego elementy, w niniejszej pracy są przedstawione jedynie opóźnienia związane z pracą sieciowego systemu operacyjnego QNX, nadzorującego pracę systemu pomiarowo-sterującego.

## Błąd powodowany opóźnieniem reakcji systemu

Opóźnienia reakcji systemu można interpretować jako źródło błędów danych pomiarowych powstających w sposób pokazany na rys. 2. Po wykonaniu pomiaru wielkości  $x(t)$  w chwili  $t_0$  otrzymuje się wartość  $x(t_0)$ . Wynik pomiaru jest dostarczany do urządzenia przetwarzającego z pewnym opóźnieniem  $\tau$ . Wielkość mierzona  $x(t)$  zmienia się w czasie. W chwili przetwa-



Rys. 1. Ogólna struktura systemu pomiarowo-sterującego

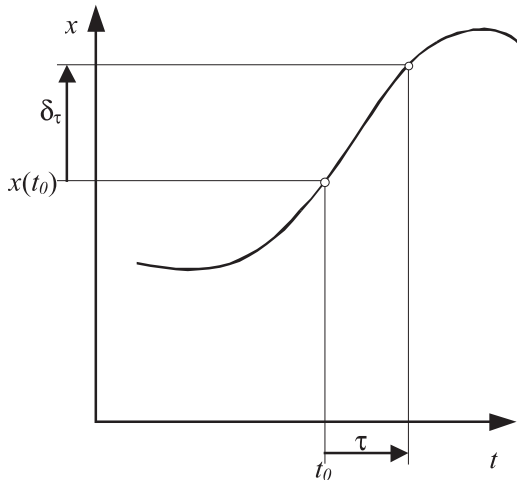
zania wyniku pomiaru rzeczywista wartość wielkości mierzonej jest więc inna niż w chwili wykonywania pomiaru i wynosi  $x(t_0 + \tau)$ . Różnica tych wartości stanowi błąd spowodowany opóźnieniem reakcji systemu. Wartość tego błędu zależy od szybkości zmian mierzonej wielkości i od wartości opóźnienia  $\tau$ ; można go wyrazić następującym wzorem:

$$\delta_{\tau}(t_0) = x(t_0) - x(t_0 + \tau) \quad (1)$$

gdzie:

$x(t)$  – przebieg wartości mierzonej,  $\tau$  – opóźnienie transmisji,  $\delta(\tau)$  – błąd powodowany opóźnieniem,  $t_0$  – chwila wykonania pomiaru.

\* Mgr inż. Roman Żurkowski – Politechnika Śląska, Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej



**Rys. 2.** Ilustracja powstawania błędu powodowanego opóźnieniem,  $x(t)$  – przebieg wartości mierzonej,  $\tau$  – opóźnienie transmisji,  $\delta(\tau)$  – błąd powodowany opóźnieniem

W systemie pracującym w czasie rzeczywistym, opóźnienie pomiędzy chwilą wykonania pomiaru a chwilą kiedy przetworzony wynik pomiaru inicjuje działania sterujące nie przekracza akceptowalnej wartości maksymalnej. Opóźnienia są powodowane przez wiele czynników zarówno o charakterze deterministycznym, jak i losowym. Jako że systemy czasu rzeczywistego pracują z reguły w sposób ciągły, pomiary są wykonywane wielokrotnie. Można więc wyznaczyć zbiór opóźnień  $\{\tau\}$ , który można przekształcić w zbiór błędów  $\{\delta(\tau)\}$ , wykorzystując zależność (1). Wynika z tego, że punktem wyjścia do analizy niepewności związanej z opóźnieniami reakcji systemu jest wyznaczenie opóźnień cząstkowych. W systemie pracującym w czasie rzeczywistym, znając maksymalną szybkość zmian wielkości mierzonej, można określić dopuszczalne opóźnienie, które nie spowoduje powstania błędów większych od założonych.

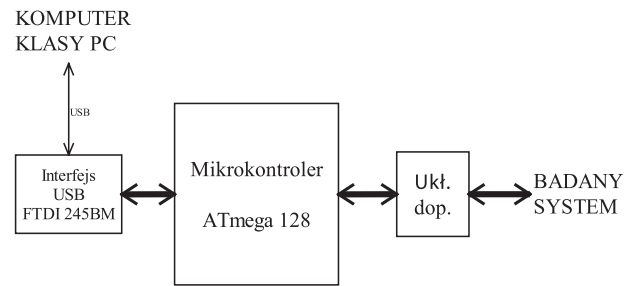
## Źródła opóźnień w systemie operacyjnym

W wielozadaniowych systemach operacyjnych czasu rzeczywistego definiuje się kilka źródeł opóźnień reakcji systemu [3] są nimi:

- czas przełączania zadań (wątków)
- opóźnienie „przerwania”, czyli czas potrzebny systemowi na przyjęcie zgłoszenia przerwania i przejście do podprogramu jego obsługi
- czas powrotu z podprogramu obsługi przerwania
- dostęp do systemu plików
- synchronizacja międzyprocesowa, w tym również komunikacja.

## Pomiar opóźnień

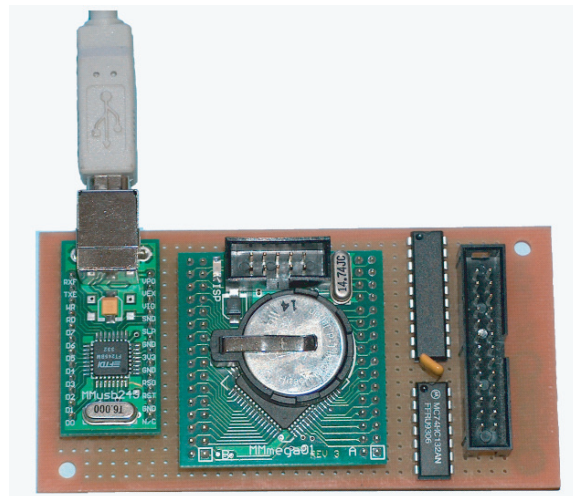
W celu wykonania pomiarów opóźnień zbudowano przyrząd, którego schemat blokowy przedstawia rys. 3.



**Rys. 3.** Schemat blokowy przyrządu do pomiaru opóźnień

Zdjęcie wykonanego prototypu przedstawiono na rys. 4. Głównym elementem zbudowanego przyrządu do pomiaru opóźnień jest moduł mikrokontrolera ATmega-128. Mikrokontroler ten w swojej strukturze ma układy czasowo-licznikowe wykorzystywane do pomiaru czasu reakcji systemu na zdarzenia oraz do okresowej generacji zdarzeń. W jego pamięci zapisano program, którego zadaniami są:

- okresowa generacja impulsów (zdarzeń)
- pomiar czasu od zdarzenia do reakcji na nie
- komunikacja poprzez port USB z komputerem klasy PC.



**Rys. 4.** Fotografia wykonanego prototypu

Graf działań procedury związanej z pomiarem opóźnienia reakcji systemu operacyjnego przedstawiono na rys. 5.

Do gromadzenia danych pomiarowych i sterowania przyrządem napisano program, którego okno interfejsu użytkownika przedstawia rys. 6. Za jego pomocą można ustawić częstotliwość generowanych zdarzeń i jednocześnie rejestrować wyniki pomiarów opóźnień.

Zbudowany przyrząd do pomiaru opóźnień ma następujące właściwości:

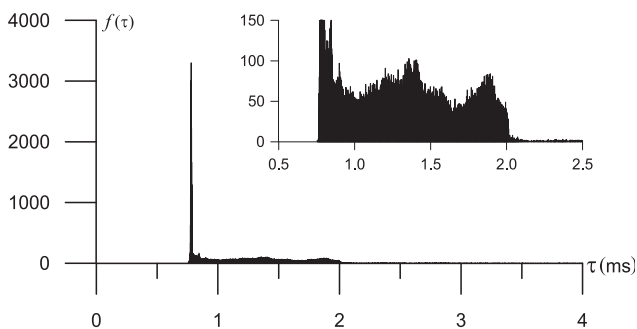
- pomiar czasu reakcji z rozdzielczością  $>0,1 \mu\text{s}$
- generacja impulsów (zdarzeń) z częstotliwością  $>0,1 \text{ kHz}$
- interfejs USB do komunikacji komputerem PC
- możliwość rejestracji czasu reakcji z 8 wejść
- generacja zdarzeń na 2 wyjściach.



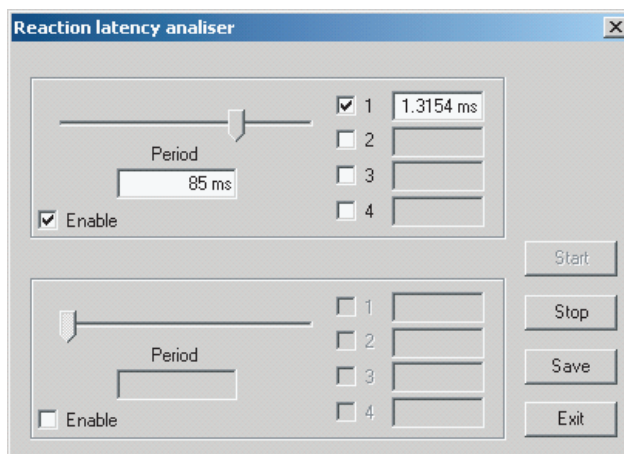
Rys. 5. Graf działań programu realizującego pomiar opóźnienia

### Wyniki pomiarów

Przykładowa seria pomiarów została wykonana dla 16-bajtowej wiadomości przesyłanej pomiędzy dwoma procesami uruchomionymi w odrębnych węzłach sieci. Wyniki opóźnień zebrano w histogram, który przedstawiono na rys. 7. Seria składała się ze 100 tysięcy pomiarów opóźnień reakcji systemu.



Rys. 7. Histogram opóźnienia przy transmisji wiadomości pomiędzy dwoma węzłami sieci



Rys. 6. Okno programu sterującego miernikiem opóźnień

### Wnioski

Zbudowany przyrząd pomiarowy umożliwia wykonanie pomiarów opóźnień oraz zestawienie ich w histogram. Dzięki takiemu przedstawieniu wyników pomiarów jest możliwe wyznaczenie nie tylko średniej czy maksymalnej wartości opóźnienia, ale dodatkowo jest znane prawdopodobieństwo wystąpienia ich wartości. Znajomość histogramów opóźnień pozwala na wyznaczenie histogramów błędów nimi powodowanych, a to prowadzi do wyznaczenia niepewności związanej z opóźnieniami w systemie.

### Bibliografia

- [1] Sacha K.: *QNX – system operacyjny*, WNT, Warszawa 1995.
- [2] Jakubiec J., Roj J.: *Pomiarowe przetwarzanie próbkujące*. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2000.
- [3] *RTOS Evaluation Report Definition*, REAL-TIME Magazine, 1999.