

Jerzy JAKUBIEC
Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej
Politechnika Śląska

PRZETWORNIKI PRÓBKUJĄCE JAKO WIRTUALNE ŹRÓDŁA DANYCH W MODULARNYM SYSTEMIE POMIAROWO-STERUJĄCYM

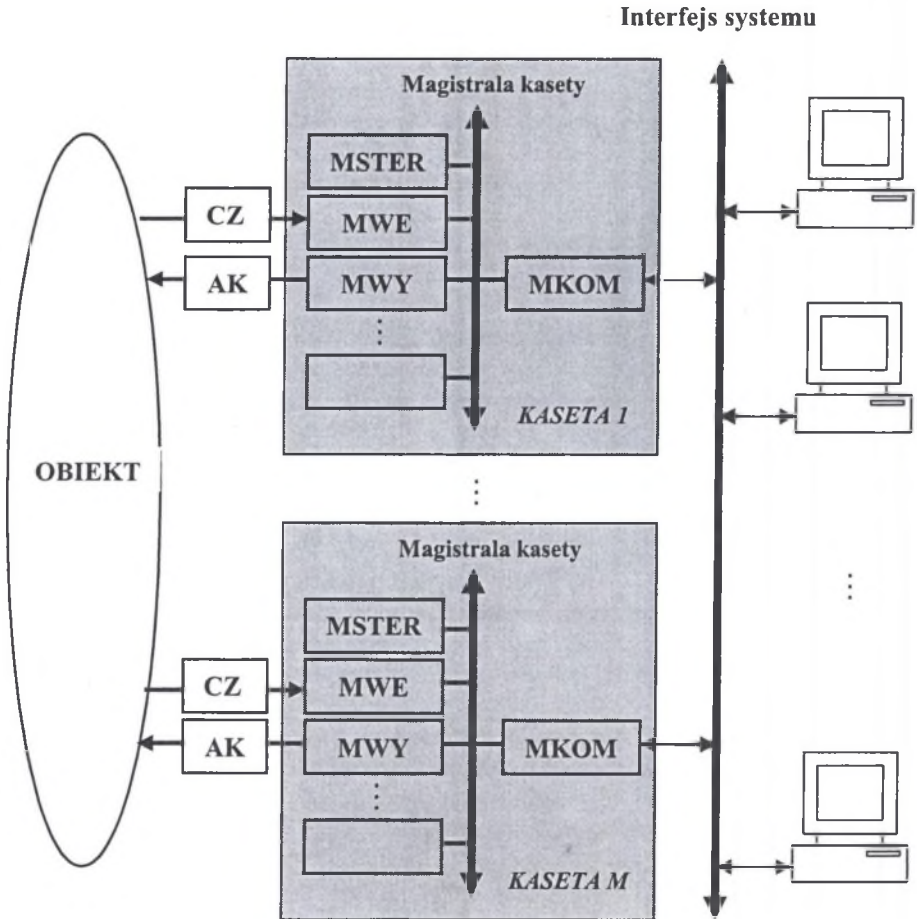
Streszczenie. Modularna konstrukcja systemu pomiarowo-sterującego daje możliwość elastycznego wykorzystywania zasobów systemu, takich jak moduły przetwarzania A/C, media transmisyjne i procesory, do realizacji pomiarów w zależności od aktualnego obciążenia tych zasobów. Wyznaczanie niedokładności wyników wyjściowych takiego systemu jest zagadnieniem szczególnie złożonym, gdyż pomiary tej samej wielkości wykonywane są przy użyciu różnego sprzętu, którego właściwości metrologiczne mogą się zmieniać. Stopień złożoności procedur wyznaczania niedokładności w dużym stopniu zależy od użytego opisu metrologicznych właściwości wyników wyprowadzanych na wyjścia systemu, a opis ten jest z kolei wynikiem zastosowanego sposobu modelowania systemu. W pracy przedstawiono koncepcję budowy modelu działania systemu jako zbioru procesów zarządzanych wielozadaniowym systemem operacyjnym. W modelu tym źródłami danych są wirtualne przetworniki próbkujące dostarczające ciągów wyników pomiaru wartości chwilowych wielkości wejściowych systemu. Model ma postać dostosowaną do potrzeb algorytmów przetwarzających dane pomiarowe. Opisano proces przetwarzania realizowany przez przetwornik próbkujący oraz model pojedynczego wyniku pomiaru uzyskiwanego na wyjściu algorytmu przetwarzania.

SAMPLING TRANSDUCERS AS VIRTUAL DATA SOURCES IN MODULAR MEASURING AND CONTROL SYSTEM

Summary. Modular construction of a measuring-control system make it possible flexible use of the system resources, such as ADC modules, transmission media and processors, to perform measurements adequately to current load of these resources. In this situation, inaccuracy determination of the system output data is a very difficult problem because measurements of the same input quantity are made by using different hardware, metrological properties of which can change. Complexity level of the inaccuracy determination procedure substantially depends on applied metrological description of the system properties. The paper presents an idea of building the system activity model as a set of processes managed by a multitask operational system. Sources of measurement data in the system model are virtual sampling transducers delivering series of instantaneous values of the system input quantities. The model structure has the form adapted to properties of algorithms which process measurement data. The conversion made by the sampling transducer as well as a model of a single measurement result obtained at the output of the algorithm are described.

1. WSTĘP

System pomiarowo-sterujący stanowi zespół sprzętu i oprogramowania służący do kompleksowej realizacji pomiarów wykorzystywanych do sterowania obiektem. Podstawową jednostką konstrukcyjną systemu zbudowanego w standardzie modułowym jest kaseeta, w której umieszczone są moduły o znormalizowanych rozmiarach zawierające układy elektroniczne, realizujące specyficzne dla siebie zadania systemu, jak to pokazano na rys.1. Kaseeta stanowi obudowę mechaniczną dla modułów i zapewnia ich połączenie za pomocą magistrali mieszczącej się w tylnej części kaseety.



Rys. 1. Typowa struktura modułowego systemu pomiarowo-sterującego: CZ – czujniki, A – akulatory, MSTER – moduły sterujące, MWE – moduły wejściowe, MWY – moduły wyjściowe, MKOM – moduły komunikacyjne

Fig. 1. Typical structure of the measuring-control system: CZ – sensors, A – actuators, MSTER – control modules, MWE – input modules, MWY – output modules, MKOM – communication modules

System pokazany na rys.1 składa się z kaset oraz komputerów połączonych ze sobą różnego rodzaju łączami transmisyjnymi, które razem tworzą interfejs systemu. Moduły w kasecie komunikują się przy użyciu znormalizowanej magistrali stanowiącej interfejs kasyety. Sprzężenie między interfejsem systemu i interfejsem kasyety zapewniają moduły komunikacyjne oznaczone na rys.1 symbolem **MKOM**. Prócz wymienionych elementów w skład systemu wchodzi czujniki **CZ** i akulatory (urządzenia wykonawcze) **AK** dobierane indywidualnie odpowiednio do właściwości określonych wielkości charakteryzujących obiekt i wymuszających jego stan. Moduły odbierające sygnały z czujników oznaczono jako **MWE**, a moduły wyprowadzające sygnały sterujące na akulatory jako **MWV**. Działaniem kasyety zarządza moduł sterownika kasyety **MSTER**, który często jest zarazem komputerem modułowym [1]. Prócz tego w kasecie mogą być zabudowane moduły procesorowe oraz moduły spełniające różnego rodzaju inne funkcje [2].

Dokumenty normalizacyjne światowych standardów modularnych /XI [3] oraz VMEbus [2] są powszechnie dostępne, co oznacza, że sprzęt i oprogramowanie dla celów budowy systemów zgodnych z tymi standardami mogą być wytwarzane przez dowolnego producenta. Powoduje to z kolei, że moduły takich standardów są produkowane jako rozwiązania uniwersalne, a szeroka gama wytwarzanych wersji umożliwia konstruktorowi systemu wybór modułów o wymaganych właściwościach. Wąsko wyspecjalizowane moduły może on wykonać we własnym zakresie.

Do realizacji pomiarów w systemie służą uniwersalne moduły przetwarzania analogowo/cyfrowego A/C odbierające sygnały, z reguły napięciowe lub prądowe, z czujników pomiarowych. Sygnały te są próbkowane, próbki poddawane kwantowaniu, a cyfrowe wyniki kwantowania wyprowadzane są na wyjścia modułów A/C, po czym przekazywane do odpowiednich komputerów celem realizacji przetwarzania programowego. Przetwarzanie to ma na celu obliczenie wartości sygnałów sterujących, wizualizację wielkości mierzonych (mezurandów), rejestrację i archiwizację wyników pomiaru itp.

Aby wykonać wymienione działania, system musi korzystać ze środków, nazywanych zasobami, takich jak moduły A/C, media transmisyjne, pamięci, procesory. Zasoby te są ograniczone, a korzystanie z nich wymaga czasu, co powoduje powstawanie opóźnień na drodze propagacji informacji pomiarowej od czujnika do aktuatora [4]. Dla zmiennych w czasie wielkości wejściowych systemu opóźnienia te powodują powstawanie błędów [5], które kumulują się z błędami pomiaru, wpływając tym samym na niedokładność danych wyprowadzanych na wyjścia systemu. W tego rodzaju sytuacjach oceni niedokładności jest zagadnieniem złożonym [6]. Celowe jest zatem poszukiwanie takich modeli systemu, które ułatwiają realizację tego zadania. Modele te muszą umożliwiać czasową analizę propagacji informacji pomiarowej w systemie, gdyż jest to warunek konieczny wyznaczenia błędów powodowanych opóźnieniami.

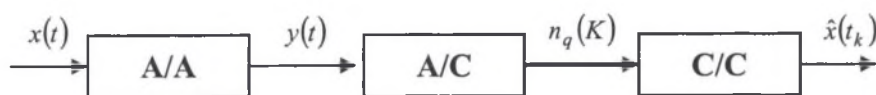
Celem pracy jest przedstawienie koncepcji budowania modelu systemu pomiarowo-sterującego, której podstawą jest opis źródeł danych pomiarowych w systemie jako tzw. przetworników próbkujących [7], realizujących swoje zadania zarówno w sposób sprzętowy, jak i programowy. W wieloprocessorowym systemie modularnym, zarządzanym wielozadaniowym systemem operacyjnym, przetworniki próbkujące stanowią przyrządy wirtualne [8], które są tworzone przez udostępnienie każdej z wielkości wejściowych systemu takich zasobów, jak moduł A/C, kanał transmisji w celu przesyłania danych z tego modułu, pamięć służąca do gromadzenia danych oraz procesor do realizacji przetwarzania programowego. Zasoby te mogą być przydzielane określonemu przetwornikowi próbkującemu na stałe, co oznacza, że dany przetwornik korzysta zawsze z tych samych zasobów. Jednak w ogólnym przypadku system o opisanej strukturze może przyznawać zasoby przetwornikom próbkującym w zależności od aktualnej ich dostępności. Taka koncepcja działania systemu

powoduje, że przetworniki próbkujące są konstrukcjami o określonej strukturze, która jest jednak realizowana przez różne zestawy sprzętu. W tym sensie przetworniki próbkujące tworzone jako elementy systemu modularnego stanowią konstrukcje wirtualne.

Przetworniki próbkujące są źródłami danych pomiarowych w systemie, zatem dla każdego wyniku wyprowadzanego na ich wyjścia muszą być dostępne informacje pozwalające na wyznaczenie ich niedokładności. Dla przetworników wirtualnych ich właściwości metrologiczne zmieniają się w zależności od aktualnego zestawu sprzętu realizującego dany przetwornik i stanu systemu. W takiej sytuacji istotny staje się problem budowania takich modeli przetwornika próbkującego, które umożliwiają bieżącą ocenę jego niedokładności.

2. POMIAROWY PRZETWORNIK PRÓBKUJĄCY

Przetwornik próbkujący jest określany jako układ pomiarowy, który służy do dostarczania wyników pomiaru wartości chwilowych wielkości zmiennych w czasie [7]. Ogólna struktura procesu przetwarzania realizowanego przez tego rodzaju przetwornik może być przedstawiona w sposób pokazany na rys.2.



Rys. 2. Ogólna struktura procesu przetwarzania realizowanego przez przetwornik próbkujący: A/A – przetwarzanie analogowe, A/C – przetwarzanie analogowo/cyfrowe (próbkowanie i kwantowanie), C/C – przetwarzanie cyfrowe

Fig. 2. General structure of processing performed by a sampling transducer: A/A – analog conversion, A/C – analog to digital conversion, C/C – digital processing

W ujęciu ogólnym przetwornik próbkujący stanowi łańcuch trzech elementów. Pierwsze ogniwo A/A realizuje przetwarzanie analogowe zmiennej w czasie wielkości wejściowej $x(t)$ na odpowiednio zmieniającą się wielkość elektryczną, napięcie lub prąd. Drugie ogniwo, oznaczone jako A/C, realizuje dwa działania. Najpierw wielkość $y(t)$ jest próbkowana, a następnie próbka poddawana jest kwantowaniu za pomocą przetwornika A/C, w wyniku czego uzyskuje się cyfrowy wynik pomiaru w postaci liczby kwantów n_q przyporządkowanych wartości próbki. Trzecie ogniwo C/C, w ogólnym przypadku, wykonuje operacje arytmetyczne na ciągu wyników cyfrowych $n_q(K)$ (skwantowanych próbkach) w taki sposób, aby wyznaczyć ocenę $\hat{x}(t_k)$ wartości chwilowej wielkości wejściowej.

Metrologiczne właściwości przetwornika próbkującego dogodnie jest opisywać w kategoriach odtwarzania [9]. Przyjmując, że tor przetwarzania od wejścia do wyjścia przetwornika A/C daje się opisać modelem matematycznym oznaczonym ogólnie symbolem \mathbf{M} , odtwarzanie polega na rozwiązywaniu modelu odwrotnego do \mathbf{M} , co w rozpatrywanej sytuacji można zapisać jako

$$\hat{x}(t_k) = \mathbf{M}^{-1}[n_q(K)], \quad (1)$$

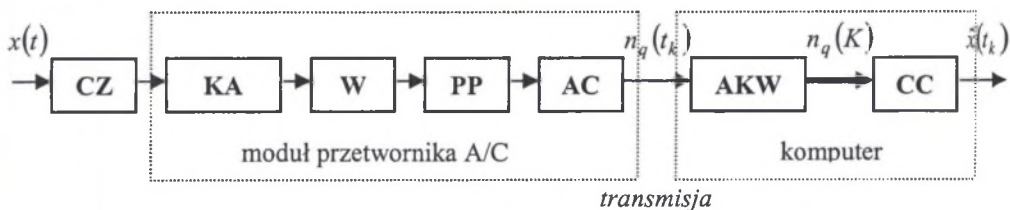
gdzie: $\hat{x}(t_k)$ jest oceną wartości chwilowej wielkości wejściowej $x(t)$ w chwili t_k , a

$$n_q(K) = \{n_q(t_k), k = 0, 1, \dots, K - 1\}, \quad (2)$$

jest ciągiem cyfrowych wyników pomiaru wartości chwilowych wielkości $y(t)$, k jest numerem chwili próbkowania, a K oznacza całkowitą liczbę próbek.

Próbki te muszą być przesłane do pamięci i, w przypadku algorytmów nierekurencyjnych, skompletowane przed ich zrealizowaniem. Zatem, niezbędna jest akwizycja danych pomiarowych, co wymaga korzystania z mediów transmisyjnych oraz przydzielenia zbiorom próbek odpowiednich obszarów pamięci.

Do realizacji wymienionych działań konieczne jest użycie różnego rodzaju zasobów systemu. Działania te realizowane są kolejno, dając w końcowym efekcie pojedynczy wynik pomiaru wartości chwilowej wielkości wejściowej. Zatem, można powiedzieć, że odpowiednie zestawienie tych zasobów tworzy narzędzie pomiarowe rozpatrywane jako przetwornik próbkujący, o strukturze pokazanej na rys. 3.



Rys. 3. Zasoby systemu wykorzystywane do tworzenia przetwornika próbkującego: CZ – czujnik, KOM – komutator analogowy, W – wzmacniacz, PP – przetwornik próbkująco-pamiętający, A/C – przetwornik analogowo-cyfrowy, AKW – procesor realizujący program akwizycji danych pomiarowych, CC – procesor realizujący program przetwarzania cyfrowego

Fig. 3. Resources used for constructing a sampling transducer: CZ – a sensor, KA – analog multiplexer, W – an amplifier, PP – sample/hold circuit, A/C – analog to digital converter, AKW – processor performing program of measurement data acquisition, CC – processor performing program of digital processing

Początkowym ogniwem przetwornika próbkującego jest czujnik CZ przetwarzający wielkość wejściową na wielkość elektryczną (z reguły jest to napięcie), która jest podawana na jedno z wejść modułu przetwornika A/C. Moduł ten wyposażony jest na wejściu w komutator analogowy KA, którego zadaniem jest wybór wielkości poddawanej dalszemu przetwarzaniu. Wybrana wielkość jest wzmacniana przez wzmacniacz W o programowo dobieranym współczynniku wzmocnienia, tak aby dopasować zakres zmian napięcia wyjściowego do zakresu przetwornika analogowo/cyfrowego AC. Napięcie to jest próbkowane przez przetwornik próbkująco/pamiętający PP w chwili t_k , a uzyskana próbka poddawana kwantowaniu za pomocą przetwornika AC. Wynik w postaci liczby $n_q(t_k)$ jest odczytywany i przekazywany do wszystkich elementów systemu, które go wykorzystują. Są to moduły procesorowe realizujące przetwarzanie programowe na bieżąco, moduły pamięci zbierające ciągi danych przeznaczone do dalszego przetwarzania, a także moduły transmitujące dane do innych kaset oraz komputerów systemu. Czynności akwizycji i pamiętania danych na schemacie z rys.3 oznaczone są symbolem AKW, a przetwarzanie cyfrowe niezbędne do odтворzenia pojedynczej wartości wielkości wejściowej jako CC.

Opisane działania, realizujące przetwarzanie próbkujące w sposób programowy i sprzętowy, wykonywane są w systemie przez elementy, które fizycznie mogą być ulokowane

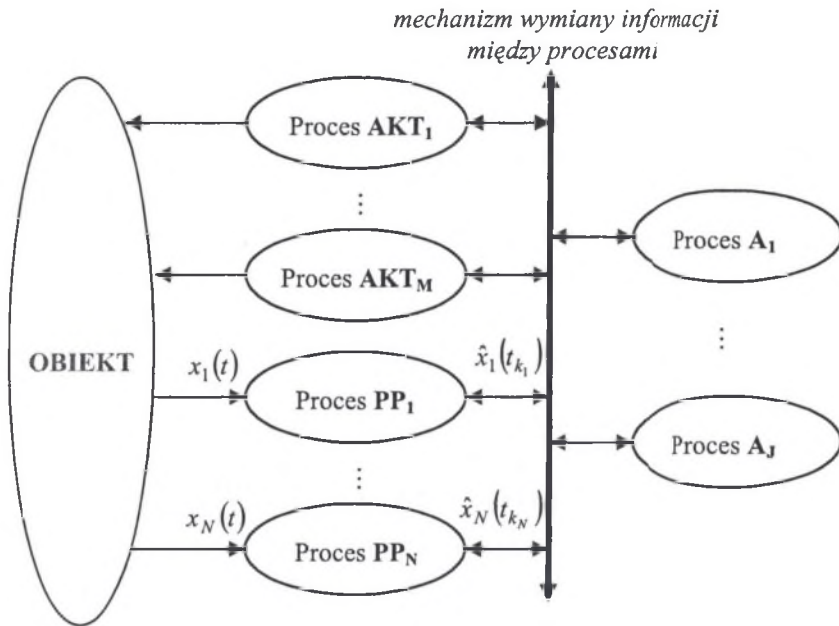
w różnych miejscach (kasetach, komputerach) systemu. W najprostszym przypadku elementy te mogą być na stałe przydzielone do realizacji zadań określonego przetwornika próbkującego, przy czym na ogół te same elementy (moduły AC, pamięci, procesory) są używane przez wiele przetworników. Jednak nic nie stoi na przeszkodzie, aby wymienione elementy, realizujące określone przetwarzanie próbkujące, były dobierane w zależności od aktualnego stanu systemu (obciążenia jego elementów). Zgodnie z taką koncepcją przetwornik próbkujący jest nie tylko przyrządem wirtualnym, złożonym z czujnika, modułu i AC i oprogramowania, ale takim przyrządem wirtualnym, którego działania w istotnej części są wykonywane fizycznie przez zmieniające się zespoły elementów. Realizacja tego rodzaju koncepcji wymaga rozpatrywania działania systemu jako struktury zarządzanej sieciowym, wielozadaniowym systemem operacyjnym [10,11].

3. STRUKTURA SYSTEMU POMIAROWO-STERUJACEGO ZARZĄDZANEGO WIELOZADANIOWYM SYSTEMEM OPERACYJNYM

Współczesne rozwiązania modułów procesorowych wyposażane są w układy, które umożliwiają bezpośrednie przyłączanie tych modułów do sieci komputerowej. Ponadto, wiele systemów operacyjnych, takich jak QNX [12], pozwala na integrację sieci przy użyciu różnorodnych standardów transmisji. Te możliwości powodują, że system pomiarowo-sterujący może być traktowany jako lokalna sieć komputerowa zarządzana wielozadaniowym systemem operacyjnym, której węzłami są moduły procesorowe oraz samodzielne komputery [11].

Opisane podejście umożliwia rozpatrywanie działania systemu jako zbioru procesów, których wykonywanie odbywa się pod nadzorem systemu operacyjnego. Procesem nazywany jest program w fazie swojej aktywności, któremu dla celów realizacji właściwych mu zadań zostały przyznane odpowiednie zasoby, takie jak pamięć programu i danych, dostęp do urządzeń wejścia/wyjścia, kanały transmisyjne oraz czas procesora. System operacyjny dostarcza różnorodnych mechanizmów komunikowania się procesów między sobą, a także realizuje procedury przydzielania im zasobów z uwzględnieniem priorytetów przysługujących procesom.

Liczba i rodzaj procesów zależy od specyfiki zadań, które realizuje system. Na rys. 4 przedstawiono procesy charakterystyczne dla systemu pomiarowo-sterującego. Procesy te można zestawić w trzy grupy. Pierwszą grupę tworzą przetworniki próbkujące, oznaczone jako PP_1, \dots, PP_N , będące źródłami danych pomiarowych dla pozostałych procesów, przede wszystkim dla tych, które realizują różnego rodzaju algorytmy przetwarzania A_1, \dots, A_J . Część z tych algorytmów służy do wyznaczania danych przekazywanych do procesów AKT_1, \dots, AKT_M , których celem jest wypracowanie danych sterujących aktuatorami. Inne algorytmy przetwarzają dane dla celów nadzoru nad systemem; wizualizacji stanu obiektu, archiwizacji itp. Mechanizmy wymiany informacji między procesami zapewniają przekazywanie danych uzyskanych na wyjściu każdego z przetworników próbkujących do wszystkich procesów, które wykorzystują te dane. Można powiedzieć, że dane z tych przetworników są rozgłaszane w systemie, docierając do odpowiednich procesów. Oznacza to, że te same dane mogą być używane do realizacji różnych zadań. Przykładowo, ciągi wartości chwilowych napięcia mogą być wykorzystywane zarówno do obliczania wartości skutecznej tego napięcia, jak i w iloczynie z odpowiednimi wartościami chwilowymi prądu do wyznaczania mocy.



Rys. 4. Model systemu pomiarowo-sterującego jako zbioru procesów zarządzanych przez wielozadaniowy system operacyjny: PP – procesy wykonujące przetwarzanie próbkujące, A – procesy realizujące algorytmy przetwarzania programowego, AKT – procesy służące do wypracowania wielkości wymuszających stan obiektu

Fig. 4. Model of a measuring-control system as a set of processes managed by a multitask operating system: PP – the processes performing sampling processing, A – the processes realizing data processing algorithms, AKT – the processes applied for obtaining quantities constraining state of the object

Przedstawiona koncepcja widzenia działań systemu pomiarowo-sterującego przez pryzmat procesów realizowanych przez system operacyjny może być wykorzystywana w praktyce, gdyż współczesne rozwiązania sprzętowe i programowe dostarczają środków technicznych do jej realizacji. Tego rodzaju podejście umożliwia rozpatrywanie złożonych strukturalnie systemów w sposób jednolity, jako zbioru procesów zarządzanych wg określonych reguł przez system operacyjny. Ułatwia to analizę właściwości systemu, co ma szczególne znaczenie w przypadku oceny niedokładności danych uzyskiwanych w systemie. W sytuacji gdy dane są dostarczane przez wiele przetworników próbkujących, cechujących się licznymi źródłami różnego rodzaju błędów, a następnie dane te są przetwarzane przez złożone algorytmy, zagadnienie obliczania niedokładności wyników końcowych staje się trudnym problemem [6]. Ponadto, na niedokładność tę mają wpływ błędy powodowane przez opóźnienia związane ogólnie z procedurami przydzielania zasobów poszczególnym zadaniom [5,6]. Wyznaczanie tego rodzaju błędów jest możliwe w oparciu o model funkcjonowania wielozadaniowego systemu operacyjnego [13,14]. Uwzględnianie wpływu tych błędów na niedokładność danych uzyskiwanych na wyjściach algorytmów możliwe jest na podstawie modelu błędu algorytmu przy wykorzystaniu modelu wyniku pomiaru dostarczanego przez przetwornik próbkujący.

4. MODEL WYNIKU WYJŚCIOWEGO ALGORYTMU PRZETWARZANIA

Zgodnie z rys. 3 kolejne etapy przetwarzania realizowane w określonym przetworniku próbkującym są zawsze takie same, chociaż fizycznie mogą być wykonywane przez różne zasoby systemu. Każdy z użytych zasobów wprowadza specyficzne błędy, lecz jeżeli przeprowadziło się uprzednio identyfikację wszystkich źródeł błędów w systemie, opis tych błędów jest znany, gdyż system operacyjny dysponuje wiedzą o aktualnym przydziale zasobów. W takim przypadku, jak to pokazano w pracy [6], dla danej realizacji przetwornika próbkującego pojedynczy wynik na jego wyjściu w chwili o numerze k można zapisać w postaci równania

$$x(t_k) = \hat{x}(t_k) + \delta_S(t_k) + \delta_D(t_k) + \delta_R(t_k) + \delta_L(t_k), \quad (3)$$

gdzie: $\hat{x}(t_k)$ jest oceną wartości chwilowej wielkości podawanej na wejście tego przetwornika, $\delta_S(t_k), \delta_D(t_k), \delta_R(t_k)$ są realizacjami odpowiednio błędów statycznego, dynamicznego i losowego, a $\delta_L(t_k)$ jest specyficznym błędem powodowanym przez opóźnienia związane z korzystaniem z zasobów niezbędnych do wykonania zadań przetwornika.

W przypadku błędów, którym przypisuje się właściwości probabilistyczne, zakłada się, że opisywane są ergodycznym procesem stochastycznym o zerowej wartości oczekiwanej.

Ciągi wyników wyjściowych z przetwornika próbkującego są przetwarzane programowo, a przepis określający rodzaj działań wykonywanych na ciągu danych nazywany jest algorytmem przetwarzania. Załóżmy, że algorytm przetwarza ciąg składający się z I ocen kolejnych wartości chwilowych wielkości $x(t)$, oznaczony jako

$$\hat{x}(I) = \{\hat{x}(t_k), k = 0, 1, \dots, I\}. \quad (4)$$

Pojedynczy wynik działania algorytmu, będący oceną wartości jego wielkości wyjściowej (w przypadku algorytmu DFT może to być amplituda określonej harmonicznej), można w takim przypadku ogólnie zapisać w postaci równania

$$\hat{X} = \mathbf{A}[\hat{x}(I)], \quad (5)$$

gdzie \mathbf{A} jest symbolem operacji realizowanych przez algorytm.

W celu określenia niedokładności liczby uzyskanej w efekcie realizacji algorytmu należy wyznaczyć model błędów wyniku. Aby uzyskać taki model na wejście algorytmu, trzeba wprowadzić ciąg wielkości opisujących wyniki przetwarzania próbkującego, zgodnie z zależnością (3). W takim przypadku wynik realizacji algorytmu przyjmuje postać

$$X = \mathbf{A}[\hat{x}(I) + \delta_S(I) + \delta_D(I) + \delta_R(I) + \delta_L(I)] + \delta_{SA} + \delta_{DA} + \delta_{RA} + \delta_{LA}, \quad (6)$$

gdzie: $\delta_S(I), \delta_D(I), \delta_R(I), \delta_L(I)$ są ciągami realizacji odpowiednich błędów danych wejściowych algorytmu, a $\delta_{SA}, \delta_{DA}, \delta_{RA}, \delta_{LA}$ pojedynczymi realizacjami błędów własnych algorytmu, czyli błędów powstających na skutek nieidealnej realizacji zadań stawianych przed algorytmem.

Traktując wynik (6) jako sumę oceny wartości wielkości wyjściowej i jej błędów

$$X = \hat{X} + \delta_X, \quad (7)$$

oraz zakładając, że algorytm wykonuje operacje na składnikach w sposób addytywny, z równania (6) można wyodrębnić równanie błędów o postaci

$$\delta_X = \mathbf{A}[\delta_S(I)] + \mathbf{A}[\delta_D(I)] + \mathbf{A}[\delta_R(I)] + \mathbf{A}[\delta_L(I)] + \delta_{SA} + \delta_{DA} + \delta_{RA} + \delta_{LA}. \quad (8)$$

Każdy z wyodrębnionych rodzajów błędu przetwarzany jest w sposób specyficzny dla danego algorytmu [15]. Zatem ogólnie równanie (8) można zapisać jako

$$\delta_X = \delta_{St} + \delta_{Dt} + \delta_{Rt} + \delta_{Lt} + \delta_{SA} + \delta_{DA} + \delta_{RA} + \delta_{LA}, \quad (9)$$

gdzie symbol t w indeksie dolnym wskazuje, że jest to kompozycja błędów danych wejściowych algorytmu przeniesiona na jego wyjście w sposób zależny od właściwości algorytmu i rodzaju błędu.

Równanie (6) może stanowić punkt wyjścia do budowy modelu metrologicznych właściwości systemu. Rozpatrzmy najprostszy przypadek, gdy wszystkie algorytmy w systemie są „jednopunktowe”, tzn. każda realizacja algorytmu daje w efekcie jedną liczbę, a dane na wejście każdego z algorytmów przekazywane są tylko z jednego przetwornika próbkującego. W tego rodzaju sytuacji model systemu powstaje przez zestawienie odpowiednich równań dla wszystkich algorytmów. Przyjmując, zgodnie z rys. 4, że wykorzystywanych jest J algorytmów, model ten ma postać

$$\begin{aligned} X_1 &= \mathbf{A}_1 [\hat{x}(I_{n_1}) + \delta_S(I_{n_1}) + \delta_D(I_{n_1}) + \delta_R(I_{n_1}) + \delta_L(I_{n_1})] + \delta_{SA} + \delta_{DA} + \delta_{RA} + \delta_{LA}, \\ &\quad \vdots \\ X_J &= \mathbf{A}_J [\hat{x}(I_{n_J}) + \delta_S(I_{n_J}) + \delta_D(I_{n_J}) + \delta_R(I_{n_J}) + \delta_L(I_{n_J})] + \delta_{SA} + \delta_{DA} + \delta_{RA} + \delta_{LA}, \end{aligned} \quad (10)$$

gdzie $n_1, \dots, n_J = 1, \dots, N$ oznaczają numery przetworników próbkujących dostarczających danych na wejścia odpowiednich algorytmów.

Bardziej złożone sytuacje od opisanej zachodzą, gdy algorytm przetwarza dane z więcej niż jednego przetwornika próbkującego, wielkość wyjściowa algorytmu (mierzand) jest reprezentowana przez wiele punktów, a także gdy struktura algorytmu zmienia się w kolejnych jego realizacjach (algorytmy adaptacyjne) lub zależy od tzw. „punktu pracy” (algorytmy nieliniowe). Jednak algorytmy takie dają się z reguły opisywać jako zbiór algorytmów w sensie równań (10), co oznacza, że zaproponowany sposób budowy ich modeli metrologicznych może być również wykorzystany.

5. UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

Zastosowanie konstrukcji modułarnych pozwala na budowanie systemów pomiarowo-sterujących o dużej elastyczności, w których dobór sprzętu do realizacji zadań może w dużym stopniu odbywać się zależnie od aktualnego stanu obciążenia zasobów systemu. Umożliwia to uzyskiwanie rozwiązań prostszych, szybszych i tańszych niż systemy o sztywnym przydziale zasobów. Elastyczny dobór sprzętu do realizacji zadań pomiarowych powoduje jednak, że niedokładność tak uzyskiwanych danych może być różna w zależności od użytego sprzętu, przyczyniając się do wzrostu trudności w ocenie niedokładności algorytmów wykorzystujących te dane. Należy ponadto wziąć pod uwagę, że korzystanie z zasobów powoduje powstawanie opóźnień propagacji informacji pomiarowej w systemie, co dla zmiennych w czasie wielkości wejściowych systemu staje się przyczyną występowania specyficznego rodzaju błędów.

Ocena niedokładności wyników uzyskiwanych w efekcie realizacji algorytmów przetwarzania danych pomiarowych w systemie jest generalnie zagadnieniem złożonym [6], a dla rozpatrywanej jego konfiguracji dochodzą dodatkowe czynniki, zwiększające stopień

trudności. W tej sytuacji istotny jest sposób modelowania właściwości metrologicznych systemu, gdyż od struktury modelu i rodzaju związków zachodzących między jego elementami zależy w dużym stopniu efektywność procedur wyznaczania niedokładności danych wyjściowych systemu, a w szczególności niepewności tych danych [6,16]. W pracy opisano koncepcję budowania takich modeli bazującą na przetwornikach próbkujących jako wirtualnych źródłach danych pomiarowych w systemie. Dzięki temu system pomiarowo-sterujący może być rozpatrywany jako zbiór trzech rodzajów zadań realizujących przetwarzanie próbkujące (pomiar wartości chwilowych wielkości wejściowych systemu), algorytmy przetwarzania danych uzyskiwanych z tych przetworników oraz sterowanie obiektem. Związki między tymi zadaniami wynikają wyłącznie z mechanizmów zarządzania procesami systemu operacyjnego. Ma to istotne znaczenie, gdyż symulacyjne badanie opóźnień powodowanych przez mechanizmy gospodarowania zasobami systemu pomiarowo-sterującego przez wielozadaniowy system operacyjny, przy wykorzystaniu jego modelu [14], pozwalają na wyznaczenie opisu błędów powodowanych tymi opóźnieniami.

Przytoczone w pracy zależności pokazują, w jaki sposób można budować model wyniku pomiaru wyprowadzanego na wyjście systemu. Model ten zmienia się w zależności od zasobów wykorzystanych do aktualnej realizacji wirtualnych przetworników próbkujących użytych jako źródła danych dla odpowiedniego algorytmu przetwarzania. Identyfikacja metrologicznych właściwości zasobów pomiarowych systemu oraz wiedza o realizowanych konfiguracjach wirtualnych przetworników próbkujących dają możliwość aktualizacji opisanych modeli. Tym samym opisany sposób modelowania może być stosowany do bieżącego wyznaczania niedokładności wyników wyjściowych systemu pomiarowo-sterującego, w tym do samooceny niepewności tych wyników [17].

Literatura

1. Katalog firmy XYCOM AUTOMATION, INC., www.xycomautomation.com/.
2. Marzec B.: *Wprowadzenie do standardu VMEbus*. WNT, Warszawa 1994.
3. Winiecki W.: *Organizacja komputerowych systemów pomiarowych*. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
4. Jakubiec J.: *System pomiarowo-sterujący jako metrologiczny obiekt badań*. *Pomiary Automatyka Kontrola*, PAK, Nr 6, 2004, s. 9-13.
5. Jakubiec J.: *Błędy powodowane opóźnieniami w systemie pomiarowo-sterującym*. V Konferencja Naukowa „Systemy Pomiarowe w Badaniach Naukowych i w Przemysle”. Zielona Góra. *Pomiary Automatyka Robotyka*, PAR, Nr 7-8, 3004, s. 71-74.
6. Jakubiec J.: *Modele niedokładności systemów pomiarowo-sterujących*. *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Elektryka* z. 190, Gliwice 2004, s. 65-94.
7. Jakubiec J., Roj J.: *Pomiarowe przetwarzanie próbkujące*. Podręcznik akademicki. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
8. Winiecki W.: *Wirtualne przyrządy pomiarowe*. Monografia. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
9. Morawski R. Z.: *Zadania odwrotne w metrologii*. Podstawowe Problemy Metrologii. Prace Komisji Metrologii Oddziału PAN w Katowicach. Seria: Konferencje, Nr 1. Gliwice-Ustroń, 1998, s. 37-49.
10. Michta E.: *Modele komunikacyjne sieciowego systemu pomiarowo-sterującego*. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra 2000.
11. Kwiecień A.: *Analiza przepływu informacji w komputerowych sieciach przemysłowych*. Monografia. *Studia Informatica*, Vol. 23, Number 1 (47), Gliwice 2002.
12. Sacha K.: *QNX. System operacyjny*. Wydawnictwo X-serwis, 1995.

13. Jakubiec J., Al_Raimi H., Żurkowski R.: *Błędy wyniku pomiaru w systemie czasu rzeczywistego spowodowane opóźnieniami transmisji*. Materiały V Szkoły-Konferencji „Metrologia Wspomagana Komputerowo MWK'2001. Tom 2, Referaty. Rynia k. Warszawy, 21-24 maja 2001, s. 275-280.
14. Al Raimi H.: *Badanie błędów związanych z opóźnieniami w transmisji danych w systemach pomiarowych*. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 2003.
15. Jakubiec J.: *Application of Reductive Interval Arithmetic to Uncertainty Evaluation of Measurement Data Processing Algorithms*. *Redukcyjna arytmetyka interwałowa w zastosowaniu do wyznaczania niepewności algorytmów przetwarzania danych pomiarowych*. Monografia dwujęzyczna. Wydawnictwo Pol. Śl., Gliwice 2002.
16. Jakubiec J.: *Reductive Interval Arithmetic Application to Uncertainty Calculation of Measurement Result Burdened Correlated Errors*. *Metrology and Measurement Systems*. Quarterly. Vol. X, Number 2 (2003), p.137-156.
17. Ghani E., Locci N., Muscas C.: *Auto-evaluation of uncertainty in virtual instruments*. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 21-23 May 2002, Anchorage, USA.

Recenzent: Prof. Ir hab. inż. Remigiusz Rak

Wpłynęło do Redakcji dnia 7 grudnia 2004

Abstract

A measuring and control system is such a set of hardware and software that measurement results obtained in it are used for determination of signals which control an object. Typical structure of the system, built in a modular standard, is shown in Fig. 1. It consists of mainframes (chassis) containing control modules, input module receiving signals from sensors, output modules transmitting control signals to actuators and others. Communication modules make connections between mainframes and computer: possible creating, with different kind of communication media, an interface of the system.

Basic elements of the system, from metrological point of view, are sampling transducers which are virtually constructed both from hardware (sensors, ADC modules) and software (processing algorithms). General structure of a sampling transducer is shown in Fig. 2 and the system resources applied to create it are presented in Fig. 3. If one describes properties of the analog part of the transducer generally as a model M , activity of the processing algorithm can be interpreted as solution of the inverse model, accordingly with the equation (1), on the base of a series $n_q(K)$ (2) consisting of quantized instantaneous values of the input quantity $x(t)$.

Treating all measurement data sources in the system as sampling transducers gives a possibility to build relatively simple models of the systems. The model proposed in the paper, with assumption that the system is managed by a network multitask operating system, is shown in Fig. 3. From the operational system point of view, the measuring-control system is treated as a set of processes (tasks). The proposed model separates only three kinds of processes realizing appropriately sampling transducers, measuring data processing algorithms and algorithms of control signals determination.

Simplicity of the model is especially important in the situation where the system performs sophisticated algorithms because in such a case inaccuracy determination of results at its output is a very difficult problem. When measurement results are delivered by a sampling transducer, one result may be described by using Eq.3, i.e. as a sum of evaluation of instantaneous value of the input quantity and four errors separated considering specific properties of algorithms: static, dynamic, random errors and the error denoted as $\delta_L(t_k)$. This error is caused by latencies connected with using the system resources, such as ADC modules, transmission

channels, memories, processors, to perform activities proper for the concrete sampling transducer. The system model proposed makes it possible analysis of such a kind of errors on the basis of a model of multitask operational system [12].

A processing algorithm can be generally described as a set of arithmetical operations, denoted by A in Eq.5, performed on a series of instantaneous values (4) obtained from one or several sampling transducers. Basing on Eq.3, one can describe a final result of realizing an algorithm in the form of Eq.6. Putting together the equations describing all algorithms in the system, one obtains a model of metrological properties of a measuring-control system given by Eq.10.

As a rule, from Eq.6, one can separate Eq.8 which describes errors of an algorithm result. Knowing descriptions of these errors (probability density functions) and relationships between them (correlation coefficients) Eq.8 and 9 can be used for analysis of metrological properties of the system and for uncertainty calculation of its output results.