

**Andrzej JORDAN, Robert BYCUL, Jarosław FORENC, Paweł MYSZKOWSKI**

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, KATEDRA ELEKTROTECHNIKI TEORETYCZNEJ I METROLOGII

## Systemy wieloprocesorowe w automatyce i pomiarach

**Prof. dr hab. inż. Andrzej JORDAN**

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Łódzkiej (1958). Pracę doktorską oraz rozprawę habilitacyjną obronił na Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej, odpowiednio w 1971 i 1979 roku. Od 1971 roku jest kierownikiem Katedry Elektrotechniki Teoretycznej i Metrologii Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej. Współpracuje z uczelniami technicznymi we Francji, Kanadzie i Wielkiej Brytanii (Ecole Centrale de Lyon, CNAM-Paris, University of Quebec at Trois-Rivières, Buckinghamshire College). Jego zainteresowania naukowe dotyczą metod obliczeniowych elektrotechniki, obliczeń równoległych i zastosowania strategii ewolucyjnych do rozwiązywania i optymalizacji problemów fizycznych. Autor 120 publikacji w znanych czasopiśmie krajowych i zagranicznych.



**Mgr inż. Robert BYCUL**

Urodził się 17 grudnia 1972 roku. W 1998 roku uzyskał tytuł magistra inżyniera elektronika na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej. Od 2000 roku pracuje na Politechnice Białostockiej jako asystent w Katedrze Elektrotechniki Teoretycznej i Metrologii. Jego zainteresowania i badania skupiają się na zastosowaniach obliczeń równoległych w zagadnieniach elektrotechniki, szczególnie związanych z wyznaczeniem rozkładu pól termicznych, elektrycznych i elektromagnetycznych w różnych obszarach. Jest autorem lub współautorem 7 publikacji z tego zakresu.



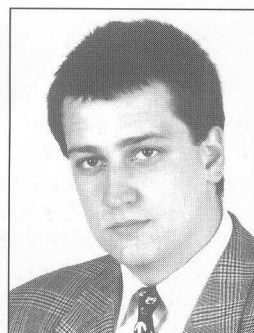
**Mgr inż. Jarosław FORENC**

Urodził się w 1972 roku w Kolnie. W 1997 roku uzyskał dyplom magistra inżyniera informatyka w Instytucie Informatyki Politechniki Białostockiej. W tym samym roku rozpoczął pracę w Katedrze Elektrotechniki Teoretycznej i Metrologii na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej na stanowisku asystenta. Jego zainteresowania naukowe skupiają się na obliczeniach równoległych w elektrotechnice: współbieżnej implementacji metody FDTD oraz metodzie spekulacyjnej analizy stanów niestabilnych w układach elektrycznych. Jest autorem lub współautorem 22 publikacji naukowych.



**Mgr inż. Paweł MYSZKOWSKI**

Urodził się 17 lipca 1975 roku w Grajewie. W 1999 roku uzyskał dyplom magistra inżyniera informatyka w Instytucie Informatyki Politechniki Białostockiej. Od 2002 roku pracuje na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej jako asystent w Katedrze Elektrotechniki Teoretycznej i Metrologii. Jego zainteresowania naukowe skupiają się na zagadnieniach linearyzacji nieliniowych równań stanu oraz metod numerycznych. Jest autorem lub współautorem czterech publikacji z tego zakresu.



### Streszczenie

Artykuł przedstawia konstrukcję homogenicznego systemu klastera – KETIM2, oraz dwa przykłady jego wykorzystania do rozwiązywania wybranych zagadnień z teorii sterowania i przybliżonych metod elektrotechniki. Pierwszym z nich jest równoległa implementacja algorytmu gradientu sprzężonego wykorzystywanego w teorii optymalizacji i metodzie elementów skończonych. Drugi przykład dotyczy równoległej analizy stanów niestabilnych w układach opisanych nieliniowym równaniem stanu. W tym drugim przypadku analizowano dynamikę silnika asynchronicznego pierścieniowego stosując metodę spekulacyjną. Przedstawiono również perspektywy zastosowań systemów wieloprocesorowych w technice pomiarowej [r1].

### Abstract

The paper presents the construction of a homogeneous cluster system – KETIM2 and two examples of its application for solving selected problems of control theory and approximate methods of electrical engineering. First of them is a parallel implementation of the conjugate gradient algorithm applied in the optimization theory and in the method of finite elements. The second example concerns parallel analysis of transient states in a dynamic system described by a nonlinear state equation. In the second case dynamics of asynchronous slip-ring motor was analysed applying a speculative method. The perspectives of applications of multiprocessor systems in measurement technique were also presented.

**Słowa kluczowe:** klastery, przetwarzanie równoległe, metoda gradientu sprzężonego, metoda spekulacyjna

**Keywords:** cluster, parallel processing, conjugate gradient method, speculative method

### 1. Wstęp

Systemy wieloprocesorowe odgrywają coraz większą rolę w badaniach naukowych. Wynika to przede wszystkim z konieczności analizy dużych i bardzo złożonych problemów, osiągnięcia większej dokładności obliczeń, bądź też utrzymania wyników w bardzo krótkim czasie. Do niedawna, mówiąc o systemach wieloprocesorowych, mieliśmy na myśli głównie duże superkomputery. Były one bardzo drogie, trudne w modernizacji i zazwyczaj nie zapewniały prostej transformacji kodu programu między różnymi platformami sprzętowymi. Od pewnego czasu dużą popularność zdobywają obliczenia równoległe wykonywane przy wykorzystaniu systemów klastera [1]. Klastery są zbiorem komputerów klasy PC lub stacji roboczych połączonych szybką, lokalną siecią komputerową. Przesyłanie informacji między komputerami odbywa się przy wykorzystaniu bibliotek komunikacyjnych – najczęściej stosowane są MPI (Message Passing Interface) [2] i PVM (Parallel Virtual Machine) [3]. Obecnie systemy klastera są najszybciej rozwijającą się dziedziną obliczeń równoległych. Zdecydowały o tym m.in.: niski koszt pojedynczego komputera PC lub stacji roboczej, znaczny wzrost mocy obliczeniowej komputerów i szybkości sieci komputerowych, łatwa integracja i przystosowanie do istniejących sieci komputerowych, duża dostępność bezpłatnego oprogramowania (systemy operacyjne, biblioteki, komunikacyjne, kompilatory, biblioteki nu-

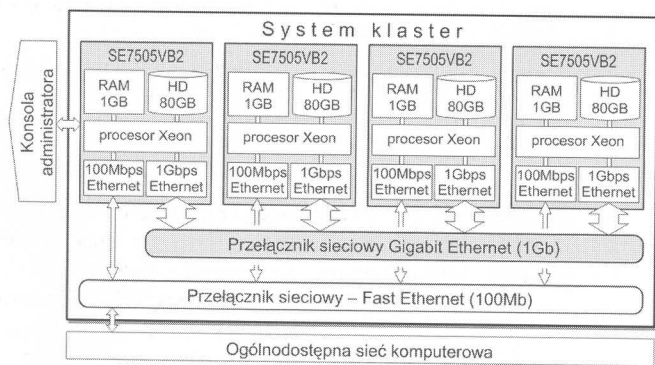
meryczne [4]. Znaczącym może być też fakt, iż na liście 500 najszybszych superkomputerów w pierwszej dziesiątce znajduje się aż siedem systemów klastrów [5].

W Katedrze Elektrotechniki Teoretycznej i Metrologii (KETiM) od kilku lat prowadzone są badania dotyczące zastosowania obliczeń równoległych w elektrotechnice i teorii sterowania. Rozpoczęły się one od wykorzystania 8-procesorowego komputera równoległego ALEX AVX2 [6]. Następnie, wykorzystując komputery znajdujące się w posiadaniu katedry, stworzono heterogeniczny klastrowy KETIM1. Kolejnym krokiem było stworzenie homogenicznego klastra KETIM2. System ten składa się obecnie z 5 węzłów zbudowanych z wykorzystaniem platformy Intel Xeon 2,66 GHz, połączonych siecią Gigabit Ethernet. W artykule przedstawiona została konstrukcja tego klastra, a następnie dwa przykłady jego praktycznego wykorzystania. Pierwszym z nich jest równoległa implementacja algorytmu gradientu sprzężonego wykorzystywanego w teorii optymalizacji i w metodzie elementów skończonych. Natomiast drugi przykład dotyczy równoległej analizy stanów niestabilnych opisanych nieliniowym równaniem stanu. W analizie wykorzystano metodę spekulacyjną [7].

Przedstawiono również perspektywy zastosowań systemów wieloprocesorowych w technice pomiarowej.

## 2. Konstrukcja klastra KETIM2

W chwili obecnej klastrowy KETIM2 składa się z pięciu węzłów obliczeniowych, z których jeden dodatkowo pełni funkcje administracyjne (serwera NFS). Klastrowy jest homogeniczny. Każdy węzeł zawiera procesor Intel Xeon 2,66 GHz oraz serwerową płytę główną Intel SE 7505VB2. Jednostki wyposażone są w 1 GB pamięci operacyjnej oraz 80 GB pamięci dyskowej. Węzły połączone są siecią Gigabit Ethernet za pomocą przełącznika Allied Telesyn AT-9410GB. Dodatkowo każdy z węzłów wyposażony jest w drugi interfejs sieciowy o paśmie przenoszenia 100 Mbps, który wykorzystywany jest do diagnostyki oraz badania obciążenia klastra. Dostęp do klastra możliwy jest z dowolnego komputera poprzez sieć Internet (rys. 1) [8].



Rys. 1 Struktura zbudowanego systemu klastrów

Fig. 1 The structure of constructed cluster system

Każdy węzeł pracuje pod kontrolą systemu operacyjnego Linux Fedora Core 1. Do komunikacji między węzłami wykorzystywana jest biblioteka LAM-MPI 7.03. Środowisko programistyczne wyposażone jest w kompilator języka C/C++ (gcc v. 3.3.2) oraz kompilator języka Fortrana (f77).

## 3. Równoległa wersja algorytmu gradientu sprzężonego

Techniki gradientowe znajdują zastosowanie w teorii optymalizacji oraz analizie i syntezie wielu zagadnień elektrotechniki, gdzie wykorzystuje się metody przybliżone (np. MES) [9, 10, 11]. Jeżeli

duży układ równań algebraicznych zapiszemy w postaci:

$$Ax = b \quad (1)$$

to powyższy algorytm możemy przedstawić w sposób następujący [11]: Zaczynając od:

$$x_1 = [0]^T, r_1 = b - Ax_1, p_1 = \frac{A^T r_1}{\langle A^T r_1, A^T r_1 \rangle} \quad (2)$$

Obliczamy, dla  $k = 1, 2, 3, \dots$ :

$$\alpha_k = \frac{1}{\langle Ap_k, Ap_k \rangle} \quad (3a)$$

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k p_k \quad (3b)$$

$$r_{k+1} = r_k - \alpha_k A p_k \quad (3c)$$

$$\beta_k = \frac{1}{\langle A^T r_{k+1}, A^T r_{k+1} \rangle} \quad (3d)$$

$$p_{k+1} = p_k + \beta_k A^T r_{k+1} \quad (3e)$$

Kończymy obliczenia, gdy:

$$\frac{\|r_{k+1}\|}{\|b\|} < \varepsilon \quad (4)$$

W równaniach tych  $A$  jest kwadratową macierzą współczynników układu równań,  $b$  jest wektorem prawych stron,  $x$  jest poszukiwanym wektorem rozwiązań,  $x_1$  jest dowolnym, tutaj przyjętym zgodnie z (2), początkowym wektorem rozwiązań.  $r$  jest wektorem residuum, początkowo zdefiniowanym zgodnie z (2), następnie obliczanym zgodnie z zależnością (3c).  $p$  jest wektorem kierunku poszukiwanego rozwiązania,  $\alpha_k$  i  $\beta_k$  są współczynnikami,  $\varepsilon$  jest liczbą określającą kryterium zakończenia obliczeń.

Algorytm ten zaczerpnięty został z pracy [11], gdzie można znaleźć jego dokładniejszy opis i analizę. Ponieważ jest to algorytm iteracyjny, to w dowolnym,  $i$ -tym kroku obliczeń, potrzebne są wartości obliczone w kroku poprzednim. Dlatego też opracowanie równoległej implementacji nie jest w tym przypadku zadaniem trywialnym.

Analiza algorytmu pokazuje jednak, że poszczególne jego operacje można zróżnicować pod względem złożoności obliczeniowej. Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe dowiodły, że najbardziej czasochłonnymi operacjami są: mnożenie macierzy przez wektor oraz iloczyn skalarny. Iloczyn macierzy przez wektor obliczany jest w trakcie jednej iteracji dwukrotnie ((3a) i (3d)), iloczyn skalarny natomiast trzykrotnie ((3a), (3d), (4)), przy czym w zależności (4) istnieje możliwość wyeliminowania tego obliczenia poprzez zastąpienie norm euklidesowych np. normami maksimum.

Z przeprowadzonych rozważań wysnuto wniosek, że ponieważ wymienione obliczenia zajmują ok. 85% całkowitego czasu obliczeń, to najbardziej istotne jest, z punktu widzenia wydajności algorytmu, aby te właśnie operacje były wykonywane równoległe.

Równoległa implementacja operacji macierzowych realizowana została poprzez podział macierzy (w przypadku iloczynu macierzy przez wektor) oraz wektorów (w przypadku iloczynu skalarnego) pomiędzy poszczególne procesory. Fakt przechowywania w pamięci lokalnej poszczególnych węzłów obliczeniowych jedynie fragmentu macierzy współczynników wprowadza dodatkowo możliwość rozwiązywania większych zagadnień, niż w przypadku zastosowania jednego komputera.

W innej wersji algorytmu gradientu sprzężonego [11] występuje ponadto operacja mnożenia macierzy  $A \cdot A^T$ . Sekwencyjna operacja mnożenia macierzy zawiera trzy pętle:

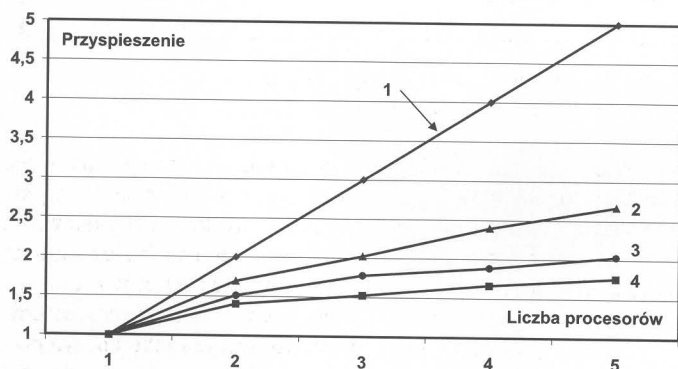
```

for (w=0; w<Aw; w++) {
  for (k=0; k<Bk; k++) {
    suma = 0;
    for (j=0; j<Ak; j++) {
      suma += A[w][j] * B[j][k];
    }
    C[w][k]=suma;
  }
}

```

Podstawową dekompozycją jest w tym przypadku dekompozycja ostatniej pętli, która jest repetycją iloczynów skalarnych wierszy macierzy A przez kolumny macierzy B. Istnieje wiele algorytmów równoległych mnożenia macierzy a ich opis został przedstawiony w pracach [12,13].

Na podstawie opracowanego algorytmu równoległego stworzony został program rozwiązujący duże układy algebraicznych równań liniowych. Program wykorzystywany jest w rozwiązywaniu układów równań powstałych w trakcie analizy problemów fizycznych. Jednym z przykładów zastosowania jest zagadnienie wyznaczenia gęstości powierzchniowych mocy zewnętrznych, potrzebnych do otrzymania pożądanego temperatury na ścianach prostopadłościennego komory grzejnej pieca w warunkach równowagi cieplnej [14]. Rząd otrzymanego układu równań zależy od dyskretyzacji ścian komory. Na rys. 2 przedstawiono zależność przyspieszenia od liczby procesorów liczących dla trzech macierzy kwadratowych o różnych rozmiarach.



Rys. 2 Przyspieszenie obliczeń w klastrze KETIM2 dla różnych rozmiarów macierzy A;

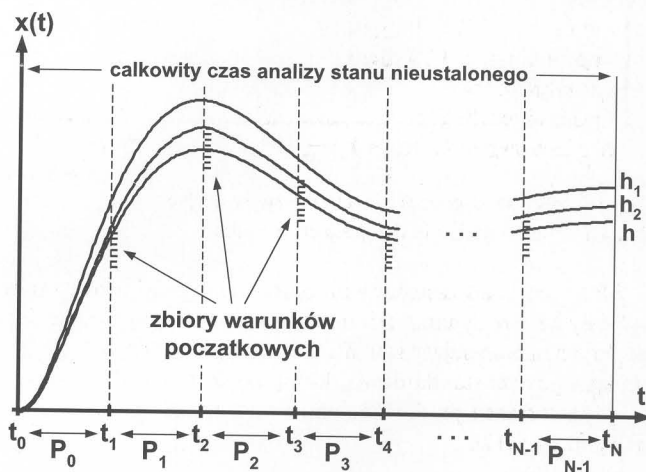
1 – przypadek idealny, 2 – rozmiar 4000, 3 – rozmiar 2000, 4 – rozmiar 1000  
 Fig. 2 Speed-up in the KETIM2 cluster for different size of matrix A;  
 1 – ideal case, 2 – size of 4000, 3 – size of 2000, 4 – size of 1000

Z analizy otrzymanych wyników widać, że wprowadzenie obliczeń równoległych w najbardziej kosztownych (czasochłonnnych) operacjach algorytmu gradientu sprzężonego pozwoliło na uzyskanie przyspieszenia obliczeń w stosunku do sekwencyjnej realizacji algorytmu. Przyspieszenie obliczeń wzrasta wraz z rozmiarem macierzy współczynników układu równań. Przy wzroście rozmiaru problemu zwiększa się wykorzystanie wydajności obliczeniowej procesorów, ponieważ ulega zmniejszeniu stosunek czasu transmisji danych między węzłami obliczeniowymi do całkowitego czasu działania programu.

Przy rosnącej liczbie procesorów przyspieszenie obliczeń rośnie, lecz wzrost ten jest coraz wolniejszy. Wektor danych ulega podziałowi pomiędzy większą liczbę procesorów, w związku z tym przyspieszenie powinno wzrastać, jednak przy większej liczbie procesorów zachodzi więcej operacji transmisji danych między procesorami liczącymi.

#### 4. Zastosowanie metody spekulacyjnej do analizy dynamiki silnika asynchronicznego

Metoda spekulacyjna [7,15] przeznaczona jest do analizy stanów nieustalonych występujących w układach fizycznych, w których stan nieustalony opisany jest liniowym lub nieliniowym równaniem stanu. Istnieje duża liczba metod numerycznych przeznaczonych do rozwiązywania układów równań tego typu [16]. Jednakże metody te są z natury metodami sekwencyjnymi, w których do wyznaczenia wartości zmiennych stanu w następnym kroku konieczna jest ich znajomość z kroku poprzedniego. W przypadku, gdy zależy nam na osiągnięciu dużej dokładności obliczeń w krótkim czasie koniecznym jest zastosowanie metod równoległych analizy liniowego lub nieliniowego równania stanu. Liczba tego typu metod jest znacząco mniejsza od liczby metod sekwencyjnych. Wynika to z sekwencyjnej natury przebiegów w dziedzinie czasu. Algorytm spekulacyjny jest oryginalnym algorytmem analizy stanów nieustalonych. Jej ogólna idea polega na dekompozycji czasu ( $t_0, t_N$ ), w którym analizowany jest stan nieustalony. Obliczenia w poszczególnych przedziałach czasu ( $t_i, t_{i+1}$ ),  $i=0,1,\dots,N-1$  (rys. 3) wykonywane są równoległe przy wykorzystaniu jednej ze znanych sekwencyjnych metod numerycznych rozwiązywania dużych układów równań różniczkowych zwyczajnych.



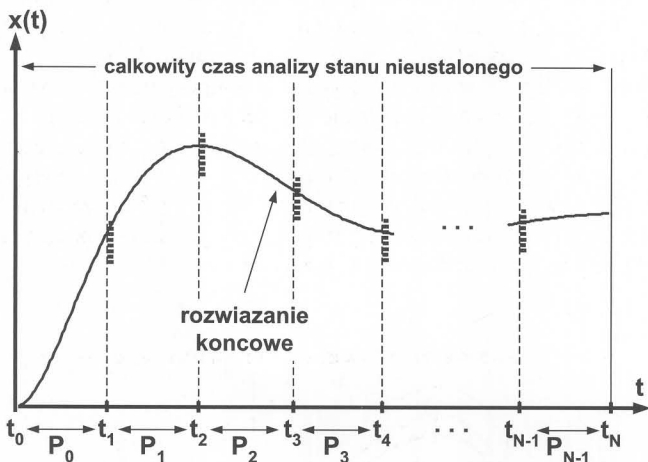
Rys. 3 Podział całkowitego czasu analizy na przedziały

Fig. 3 Division of the total time of analysis into intervals

Wykonanie równoległych obliczeń w poszczególnych przedziałach wymaga znajomości warunków początkowych w chwilach czasowych  $t_0, t_1, \dots, t_{N-1}$  (na początku każdego przedziału). W chwili czasowej  $t_0$  warunki te znane są z założenia. W pozostałych przedziałach zamiast jednego warunku dla każdej zmiennej stanu wyznaczamy kilka niewiele różniących się od siebie warunków początkowych (zbiór warunków początkowych), z których ostatecznie jeden warunek zostanie wybrany do obliczeń właściwych. W tym celu w całym przedziale ( $t_0, t_N$ ) wykonujemy obliczenia z dużym krokiem całkowania  $h_1$  (najczęściej znajdującym się na granicy stabilności zastosowanej metody numerycznej) w celu uzyskania rozwiązania przybliżonego. Te same obliczenia powtarzamy dla drugiego kroku całkowania  $h_2$  spełniającego warunek  $h_2 < h_1$ . Po ich zakończeniu mamy w chwilach czasowych  $t_1, t_2, \dots, t_{N-1}$  po dwie wartości rozwiązania dla każdej zmiennej stanu wyznaczone z krokami  $h_1$  i  $h_2$ . Biorąc bezwzględną wartość różnicy obliczeń z krokiem  $h_1$  i z krokiem  $h_2$  pomnożoną przez współczynnik bezpieczeństwa  $k$  wyznaczamy długość przedziału zmiennej stanu, w którym będą znajdowały się warunki początkowe. Jako początek odcinka przyjmujemy wartość obliczoną z krokiem  $h_2$ . Kierunek zbieżności do rozwiązania dokładnego określamy na podstawie analizy wartości obliczonych z krokiem  $h_1$  i  $h_2$ . Dzieląc otrzymany odcinek na określoną liczbę przedziałów otrzymujemy



punkty, z których jeden będzie ostatecznie poszukiwanym warunkiem początkowym. Następnie wykonujemy obliczenia w przedziale  $(t_0, t_1)$  z małym krokiem całkowania (np.  $h=10^{-8}$ ) otrzymując w nim „rozwiązanie dokładne”. Dla każdej zmiennej stanu porównujemy wartości „rozwiązania dokładnego” w chwili czasowej  $t_1$  z wartościami ze zbioru warunków początkowych zapamiętując numery tych warunków, które są najbliższe wartościom rozwiązania dokładnego. W pozostałych punktach  $t_2, t_3, \dots, t_{N-1}$  jako warunki początkowe dla poszczególnych zmiennych stanu wybieramy punkty oznaczone tymi samymi numerami. Następnie wykonujemy równoległe obliczenia w przedziałach  $(t_1, t_2), \dots, (t_{N-1}, t_N)$  z małym krokiem całkowania. Po ich zakończeniu określamy dla każdej zmiennej stanu rozwiązanie końcowe składające się z przebiegów z poszczególnych przedziałów (rys. 4).



Rys. 4 Rozwiązanie końcowe w metodzie spekulacyjnej

Fig. 4 The final solution in the speculative method

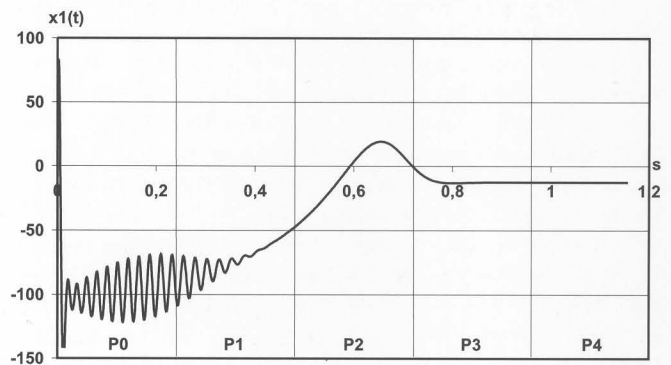
Jako przykład zastosowania omówionej wyżej metody przedstawimy analizę dynamiki silnika asynchronicznego pierścieniowego. Równania opisujące stan nieustalony silnika przedstawione zostaną w postaci standardowej, którą uzyskano po przeprowadzeniu transformacji prądów stojana i wirnika za pomocą macierzy ortogonalnej [17].

$$\begin{aligned} \frac{dx_1(t)}{dt} &= -a_1x_1 - a_5x_2 + a_4x_3 - b_4x_2x_5 - b_3x_4x_5 + e_1 \\ \frac{dx_2(t)}{dt} &= a_5x_1 - a_1x_2 + a_4x_4 + b_4x_1x_5 + b_3x_3x_5 + e_2 \\ \frac{dx_3(t)}{dt} &= a_2x_1 - a_3x_3 - a_5x_4 + b_2x_2x_5 + b_1x_4x_5 - e_3 \\ \frac{dx_4(t)}{dt} &= a_2x_2 + a_5x_3 - a_3x_4 - b_2x_1x_5 - b_1x_3x_5 - e_4 \\ \frac{dx_5(t)}{dt} &= -c_2x_5 + c_1x_1x_4 - c_1x_2x_3 - M \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie:  $x_1(t), x_2(t)$  – standardowa forma prądów stojana,  $x_3(t), x_4(t)$  – standardowa forma prądów wirnika,  $x_5(t)$  – prędkość kątowa.

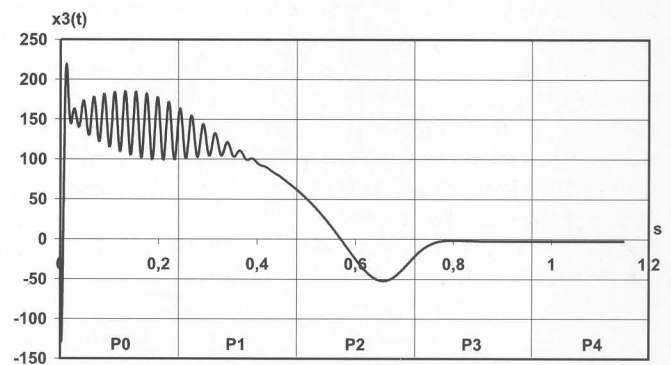
Podczas obliczeń jako metodę numeryczną rozwiązywania układów równań różniczkowych zwyczajnych zastosowano metodę Rungego-Kutty czwartego rzędu ze stałym krokiem całkowania. Całkowity czas analizy stanu nieustalonego (0,0 – 1,2 s) podzielono na 5 jednakowych przedziałów (zbiorów procesów równoległych:  $P_0, P_1, \dots, P_4$ ). Obliczenia na granicy stabilności metody (do wyznaczenia warunków początkowych) wykonano z krokami  $h_1 = 4 \cdot 10^{-3}$ s i  $h_2 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ s, natomiast obliczenia właściwe (w celu uzyskania rozwiązania końcowego metody spekulacyjnej) z krokiem  $h = 10^{-8}$ s. Wybór takiej wartości kroku całkowania wynika z konieczności uzyskania bardzo dokładnego rozwiązania. W jednym zbiorze warunków początkowych zdefiniowano 10 warunków początkowych. Na rys. 5 i rys. 6 przedstawiono przykładowe wyniki

obliczeń, przebieg prądu stojana –  $x_1(t)$  i przebieg prądu wirnika –  $x_3(t)$ .



Rys. 5 Rozwiązanie dla zmiennej stanu  $x_1(t)$

Fig. 5 Solution for the state variable  $x_1(t)$

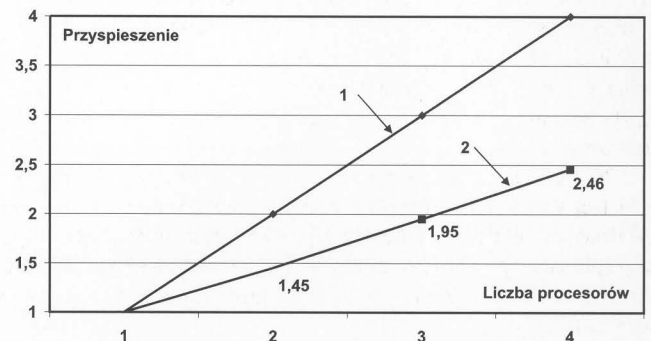


Rys. 6 Rozwiązanie dla zmiennej stanu  $x_3(t)$

Fig. 6 Solution for the state variable  $x_3(t)$

W celu oceny dokładności rozwiązania metody spekulacyjnej, ten sam układ równań (5) rozwiązano stosując sekwencyjny algorytm metody Rungego-Kutty ze stałym krokiem całkowania  $h = 10^{-8}$ s. Rozwiązanie uzyskane metodą spekulacyjną okazało się bardzo dobrym przybliżeniem rozwiązania sekwencyjnego.

Na rys. 7 przedstawiono przyspieszenie obliczeń w metodzie spekulacyjnej. Przyspieszenie to definiowane jest jako iloczyn czasu obliczeń przy wykorzystaniu algorytmu sekwencyjnego do czasu obliczeń przy zastosowaniu programu równoległego działającego na określonej liczbie procesorów. Otrzymane wartości przyspieszenia wynikają z faktu, iż pewna część algorytmu metody spekulacyjnej wykonywana jest sekwencyjnie: obliczenia w przedziale  $(t_0, t_N)$  z krokami całkowania  $h_1$  i  $h_2$  oraz obliczenia z krokiem  $h$  w przedziale  $(t_0, t_1)$ . Dopiero obliczenia w kolejnych przedziałach czasu  $(t_1, t_2), \dots, (t_{N-1}, t_N)$  wykonywane są równoległe. Zastosowanie metody spekulacyjnej pozwala zatem zminimalizować czas analizy stanu nieustalonego.



Rys. 7 Przyspieszenie w metodzie spekulacyjnej; 1 – przypadek idealny, 2 – otrzymane przyspieszenie

Fig. 7 Speed-up in the speculative method; 1 – ideal case, 2 – obtained speed-up

## 5. Systemy wieloprocesorowe w pomiarach

Systemy wieloprocesorowe mogą być stosowane w sytuacjach, gdy wymagana jest szybka analiza i przetwarzanie danych wejściowych. Zastosowanie tego typu systemów może zatem umożliwić zwiększenie liczby danych wejściowych, bądź też liczby punktów pomiarowych. W Katedrze Elektrotechniki Teoretycznej i Metrologii prowadzone są prace związane z badaniami i poprawą właściwości dynamicznych toru pomiarowego. W pracach tych na podstawie szybkozmennego sygnału testującego podanego na wejście toru pomiarowego stworzony ma być obraz błędu odpowiedzi. Wykorzystane do tego celu zostaną metody oparte na FFT oraz badanie funkcji korelacji. Wynikiem prac ma być opracowanie algorytmu minimalizującego błąd odpowiedzi. Ponieważ przetwarzanie i analiza odbywają się w czasie rzeczywistym, to wymagają zastosowania systemu wieloprocesorowego, np. systemu klastrów.

## 6. Wnioski

Przedstawione w artykule wyniki analizy przyspieszenia obliczeń potwierdzają w pełni olbrzymie możliwości zastosowania systemów typu klastrów w analizie i syntezie złożonych zagadnień teorii optymalizacji oraz w analizie przebiegów w czasie rzeczywistym. W przypadku, gdy wydajność obliczeniowa pojedynczego procesora staje się parametrem krytycznym, co ma miejsce w analizie złożonych systemów, stosowanie systemów typu klastrów lub komputerów równoległych jest alternatywną i jedyną drogą do rozwiązania zagadnienia i osiągnięcia sukcesu.

Wyniki prac prowadzonych nad opracowaniem wydajnych algorytmów przetwarzających dane uzyskane w procesie pomiarowym pozwalają nam przypuszczać, że zarówno dokładność rozwiązania, jak i przyspieszenie procesu analizy danych będą zadowalające. Pewnym problemem może być jedynie konieczność opracowania odpowiedniego oprogramowania wykorzystującego zalety systemów równoległych w procesie pomiarowym. Sekwencyjne oprogramowanie komercyjne do akwizycji danych (np. LabVIEW) pozwala na wykorzystywanie języków programowania (np. C++) oraz zawiera gotowe komponenty komunikacyjne, co pozwala ten proces znacznie uprościć.

## Literatura:

- [1] M. A. Baker, A. Apon: A White Paper on Cluster Computing. International Journal of High Performance Computing 2001, Volume 15, Number 2.
- [2] Message Passing Interface (MPI) Forum – <http://www.mpi-forum.org>
- [3] PVM: Parallel Virtual Machine – <http://www.csm.ornl.gov/pvm>
- [4] M. A. Baker, R. Buyya: Cluster Computing: The Commodity Supercomputing. International Journal of Software Practice and Experience 1999, 29 (6), str. 551-576.
- [5] Top500 Supercomputer Sites – <http://www.top500.org>
- [6] ALEX AVX2 Parallel Computer Manual, Alex Informatique, Montreal, Canada, 1994.
- [7] J. Forenc, A. Jordan: Speculative Analysis of Transient States. SCI'2001/ISAS, World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando, USA, 2001, Vol. XV, Industrial Systems, Orlando 2001, str. 327-331.
- [8] A. Jordan, B. Butryło, R. Bycul, J. Forenc: Charakterystyka obliczeń równoległych w systemach wielokomputerowych, Elektronika 2004, nr 3 (XLV), str. 7-11.
- [9] S. Bolkowski i in.: Komputerowe metody analizy pola elektromagnetycznego. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993.
- [10] D.P. O'Leary: Conjugate gradient algorithms in the solution of optimization problems for nonlinear elliptic partial differential equations, Computing 22 (1979), str. 59-77.
- [11] Jianming Jin: The Finite Element Method in Electromagnetics, John Wiley, New York 1993.
- [12] J. Choi, J. J. Dongarra, D. W. Walker: PUMMA: Parallel universal matrix multiplication algorithms on distributed memory concurrent computers. Concurrency, Practice and Experience, 6 (7), 1994, str. 543-570.
- [13] J. Choi: A new parallel matrix multiplication algorithm on distributed-memory concurrent computers. Concurrency, Practice and Experience, 10 (8), 1998, str. 655-670.
- [14] K. Domke: Determination of Irradiance Distribution on Walls of Resistance Furnaces Chamber. Computer Applications in Electrical Engineering, Part I, Poznań University of Technology, Institute of Industrial Electrical Engineering, Poznań 2004, str. 251-258.
- [15] J. Forenc, A. Jordan, M. Tudruj: A Survey of Speculative Methods for Transient State Analysis. PARELEC'2002, International Conference on Parallel Computing in Electrical Engineering, Warsaw, Poland, 2002, IEEE Computer Society, Los Alamitos 2002, str. 353-358.
- [16] A. Krupowicz: Metody numeryczne zagadnień początkowych równań różniczkowych zwyczajnych. PWN, Warszawa 1986.
- [17] B. Baron, A. Marcol, S. Pawlikowski: Metody numeryczne w Delphi 4, Helion, Gliwice 1999.

**Title:** Multiprocessor systems in automatic control and measurements

*Artykuł recenzowany*

# IMPREZY NAUKOWO-TECHNICZNE

KONGRESY ☆ KONFERENCJE ☆ SYMPOZJA ☆ TARGI ☆ WYSTAWY

4-6 listopada 2004 <sup>EST</sup> Ustroń-Jaszowiec, POLSKA  
**TTP'2004 VI Krajowa Konferencja TERMOGRAFIA I TERMOMETRIA W PODCZERWIENI**  
 ☒ Organizator: Instytut Elektroniki, Politechnika Łódzka  
 ul. Wólczańska 223, 90-924 Łódź  
 tel. (0-42) 631 26 35, 631 26 56, 631 26 37, fax (0-42) 636 22 38  
 e-mail: [ttp@p.lodz.pl](mailto:ttp@p.lodz.pl)  
<http://thermo.p.lodz.pl>

22-23 listopada 2004 <sup>EST</sup> Gliwice, POLSKA  
**MWPPP'2004 III Sympozjum METROLOGICZNE WŁAŚCIWOŚCI PROGRAMOWANYCH PRZETWORNIKÓW POMIAROWYCH**  
 ☒ Organizator: Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej Politechniki Śląskiej  
**prof. Jerzy Jakubiec**  
 ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice  
 tel. (0-32) 237 12 41, fax (0-32) 237 20 34  
 e-mail: [kokon@wega.elekt.polsl.gliwice.pl](mailto:kokon@wega.elekt.polsl.gliwice.pl)  
<http://www.wega.elekt.polsl.gliwice.pl/mwppp/>

17-20 maja 2005 <sup>EST</sup> Waplewo k. Olsztynka, POLSKA  
**MWK – 2005 VII Szkoła-Konferencja METROLOGIA WSPOMAGANA KOMPUTEROWO**  
 ☒ Organizator: Instytut Podstaw Elektroniki Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej, Wojskowy Nadzór Metrologiczny Ministerstwa Obrony Narodowej  
**prof. dr hab. inż. Jerzy Barzykowski**  
 Instytut Podstaw Elektroniki WAT, ul. Sikorskiego 2, 00-908 Warszawa  
 tel. (0-22) 6 839 082, 6 839 135, fax (0-22) 6 839 125  
 e-mail: [kkwiatos@wel.wat.edu.pl](mailto:kkwiatos@wel.wat.edu.pl), [jjakubowska@wel.wat.edu.pl](mailto:jjakubowska@wel.wat.edu.pl)  
<http://www.wat.edu.pl>

27-30 czerwca 2005 <sup>EST</sup> Warszawa, POLSKA  
**KKA – 2005 XV KRAJOWA KONFERENCJA AUTOMATYKI**  
 ☒ Organizator: Instytut Badań Systemowych PAN  
 ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa  
 tel. (0-22) 837 05 21, 836 44 14, 837 35 78 w. 212 lub 213  
 fax (0-22) 837 27 72  
 e-mail: [kka15@ibspan.waw.pl](mailto:kka15@ibspan.waw.pl)  
<http://www.ibspan.waw.pl/kka15>