

Wykorzystanie programowania równoległego do analizy nieliniowych układów dynamicznych z identyfikacją chaotycznych i periodycznych szeregów czasowych

Streszczenie

Badanie układów dynamicznych jest kluczowym aspektem w wielu obszarach nauki i techniki. W szczególności istotne znaczenie ma badanie systemów nieliniowych, które przez swoją złożoność oraz wrażliwość na warunki początkowe wymagają bardziej wyrafinowanych metod. Szczególną uwagę poświęca się badaniu stabilności tych układów oraz identyfikacji chaosu deterministycznego poprzez przeszukiwanie przestrzeni parametrów. Stosunkowo nowym narzędziem do oceny odpowiedzi systemu jest metoda testu 0-1 na chaos, pozwalająca bez znajomości wyjściowego układu równań zidentyfikować chaotyczne i periodyczne szeregi czasowe. Ze względu na masywność zadania jakim jest badanie zakresów parametrów, którego złożoność rośnie wykładniczo wraz ze wzrostem wymiaru analizowanej przestrzeni, zastosowanie programowania równoległego oraz dużych środowisk obliczeniowych staje się niezbędne do jego realizacji. W ostatnich dekadach rozwój procesorów wielordzeniowych, dedykowanych koprocessorów obliczeniowych oraz wysokowydajnych układów GPU, pracujących często w heterogenicznych systemach, umożliwił znaczące przyspieszenie zadań o dużej masywności. Jednakże badania nad zastosowaniem programowania równoległego w kontekście przeszukiwania dużych przestrzeni parametrów z wykorzystaniem metody testu 0-1 na chaos nie były do tej pory publikowane. Podobnie brak jest publikacji, które w kontekście badania szerokiego zakresu parametrów umożliwiłyby porównanie wyników uzyskanych przy użyciu metody testu 0-1 na chaos do rezultatów otrzymanych z wykorzystaniem innych metod.

W niniejszej dysertacji przedstawione zostały wyniki badań zastosowania przetwarzania równoległego w obszarze problematyki analizy przestrzeni parametrów nieliniowych układów dynamicznych z wykorzystaniem metody testu 0-1 na chaos, entropii próbki oraz wykładników Lapunowa. Badaniu poddany został trójparametrowy model łuku elektrycznego oraz szesnastoparametrowy model oscylacji wapnia. Dla obu modeli wykonano: jedno-, dwu- oraz trójparametrowe diagramy metody testu 0-1 na chaos i entropii próbki, a także jedno- i dwuparametrowe diagramy największego wykładnika Lapunowa. W przypadku zastosowania testu 0-1 na chaos, z wykorzystaniem dwuparametrowych diagramów zobrazowane zostały błędy fałszywie negatywne wynikające z nadpróbkiowania sygnału oraz przedstawiona została metoda parametryzacji pozwalająca na ich eliminację. Wykazano również istotny związek zmieniających się częstotliwości odpowiedzi systemu i wynikających z tego wyników

falszywie pozytywnych. W przypadku metody entropii próbki zaproponowana została metoda parametryzacji wykorzystująca potencjał przetwarzania równoległego, z kolei badania z wykorzystaniem metody wykładników Lapunowa umożliwiły zaproponowanie kilku modyfikacji algorytmu pozwalających poprawić jego zbieżność.

W rozprawie scharakteryzowane zostały wykorzystane technologie programistyczne oraz środowisko obliczeniowe. Oszacowano złożoności obliczeniowe i pamięciowe przygotowanych implementacji oraz wskazano kluczowe czynniki mające wpływ na czas realizacji poszczególnych algorytmów. Badanie przestrzeni parametrów wybranych modeli przeprowadzono z wykorzystaniem opracowanej aplikacji równoległej pracującej w modelu hybrydowym MPI+OpenMP. Analizie poddano realizację zadania w środowisku homogenicznym i wykazano wysoką efektywność zrównoleglenia. Implementację dedykowaną środowiskom heterogenicznym oparto o dynamiczną dystrybucję zadań w modelu master-worker, co pozwoliło na efektywniejsze wykorzystanie zasobów sprzętowych. Dla metod o równomiernym rozkładzie obciążenia zaproponowana została adaptacyjna metoda dystrybucji zadań umożliwiająca redukcję czasu realizacji wykonania obliczeń o 7%. Przeprowadzono szczegółową analizę rozwiązania wykazując liniowy wzrost czasu wykonania zadania wraz ze wzrostem jego rozmiaru. Wykazano, że system jest w stanie efektywnie wykorzystać zwiększoną liczbę jednostek obliczeniowych bez zauważalnych strat wydajności. W przypadku metody wykładników Lapunowa badaniu poddano różne konfiguracje środowiska obliczeniowego określając optymalną, której zastosowanie pozwoliło na znaczące przyspieszenie obliczeń. W rozprawie przedstawiono również narzędzie służące do wizualizacji wynikowych diagramów.

Do kluczowych osiągnięć będących rezultatem przeprowadzonych badań należy zaliczyć: osiągnięcie istotnego przyspieszenia obliczeń poprzez zastosowanie przetwarzania zrównoleglenia, szczegółową analizę diagramów uzyskanych z jego wykorzystaniem oraz zaproponowanie adaptacyjnych procedur eliminacji błędów i parametryzacji stosowanych metod obliczeniowych. Przedstawiono również rekomendacje dotyczące dalszego rozwijania omawianych narzędzi a także potencjalne kierunki badań, które mogą przyczynić się do zwiększenia efektywności przetwarzania równoległego w kontekście analizy nieliniowych układów dynamicznych.

Słowa kluczowe: Programowanie równoległe, MPI+OpenMP, dynamiczna dystrybucja zadań, środowisko heterogeniczne, nieliniowe układy dynamiczne, test 0-1 na chaos, entropia próbki, wykładniki Lapunowa