

В.Г. Кушнарєнко (магістр)

Донецький національний технічний університет
kushnar_vova@mail.ru

ТЕСТОВИЙ ВИРІШУВАЧ: МІМД-ГЕНЕРАТОР КОЛИВАНЬ

Розроблено та відлагоджено програму генератора синусоїдального сигналу, так званого кільцевого тесту, для тестування паралельно працюючих процесорів МІМД-систем. Використовувались різні чисельні методи (Ейлера, Адамса-Башфорта, Рунге-Кутта), було проведено їх порівняння за швидкістю та сталістю. Різні варіанти програми реалізовано як на персональному комп'ютері, так і на МІМД-системах NeClus та NEC SX-9. Тестовий генератор включено до складу підсистеми вирішувачів рівнянь розподіленого паралельного моделюючого середовища.

Ключові слова: кільцевий тест, двохпроцесорний генератор коливань, цільова паралельна обчислювальна система.

Вступ

При паралельному моделюванні складних динамічних систем вирішальне значення має спроможність МІМД-симуляторів відповідати вимогам задач реального часу. Симулятори реалізуються на цільових паралельних обчислювальних системах (ПОС) розподіленого паралельного моделюючого середовища (РПМС). ПОС мають динамічні властивості, які залежать від параметрів процесорів, пропускну здатності комутаційних каналів (при обміні даними між процесорами) та програмних факторів.

Для оцінювання швидкодії певної ПОС пропонується використовувати значення частоти синусоїдального сигналу, який би дана система могла генерувати двома процесорами, що працюють за схемою кільцевого тесту. Розглянемо питання побудови, програмної реалізації та використання тестового генератора-вирішувача рівнянь.

Рівняння генератора тестових коливань

В основі тесту лежить безперервна функція синусоїдального сигналу:

$$A \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

де A – амплітуда сигналу, ω – кругова частота, φ – фаза сигналу, t – незалежна змінна часу. Згідно з [1], генератор функції (1) є вирішувачем диференційного рівняння

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega^2 x \quad (2)$$

при початкових умовах

$$x(0) = A \sin(\varphi), \quad \dot{x}(0) = A\omega \cos(\varphi). \quad (3)$$

Введемо допоміжне позначення:

$$\frac{dx}{dt} = \omega y.$$

Взявши похідну, отримаємо

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \omega \frac{dy}{dt}$$

і запишемо рівняння (2) як систему рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \omega y \\ \frac{dy}{dt} = -\omega x \end{cases} \quad (4)$$

з початковими умовами

$$x(0) = A \sin(\varphi), \quad (5)$$

$$y(0) = A \cos(\varphi). \quad (6)$$

Для реалізації тесту необхідно вирішити систему рівнянь (4) на двохпроцесорній системі за допомогою певного чисельного методу. При цьому кожний з процесорів буде обчислювати своє рівняння, але праві частини рівнянь будуть ідентичними. Таким чином, можна досягнути рівномірного навантаження процесорів.

Структурно вирішувач рівнянь складається з двох процесорів та компонентів комунікаційного каналу (КК). Зв'язок між процесорами побудовано так, що вся система є замкнутим колом. Кожний процесор виконує свої задачі, серед яких є отримання через КК правих частин своїх рівнянь (4), інтегрування наданих змінних згідно з початковими умовами (5), (6), множення результатів інтегрування на кругову частоту ω , видача обчислених змінних до КК. Структурну схему вирішувача наведено на (рис.1).

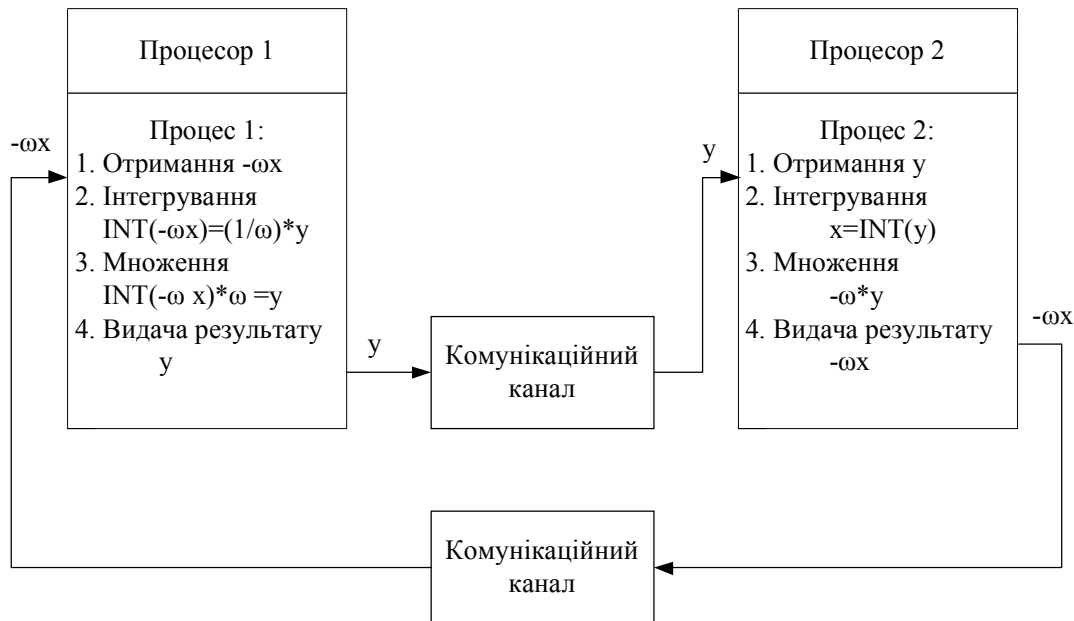


Рисунок 1 – Структурна схема вирішувача кільцевого тесту та операції, що мають виконуватися процесорами

Дискретна Simulation-модель генератора, аналіз похибок генерування

Вигляд дискретної симуляційної моделі (ДСМ) залежить від чисельного методу, що використовується. В даній роботі використовуються 3 чисельних метода: Ейлера, Адамса-Башфорта та Рунге-Кутта.

ДСМ для рівнянь (4), (5), (6) згідно чисельного методу Ейлера (Е) для $i=0,1,2\dots$ має наступний вигляд:

$$\begin{cases} x(i+1) = x(i) + h\omega y(i) \\ y(i+1) = y(i) + h[-\omega x(i)] \end{cases} \quad (7)$$

ДСМ за методом Адамса-Башфорта (АВ) представляється наступними формулами:

$$\begin{cases} x(0) = A \sin(\varphi) \\ x(1) = x(0) + h\omega y(0), i = 1 \\ x(i) = x(i-1) + \frac{h}{2} [3\omega y(i-1) - \omega y(i-2)], i > 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} y(0) = A \cos(\varphi) \\ y(1) = y(0) + h(-\omega x(0)), i = 1 \\ y(i) = y(i-1) + \frac{h}{2}[3(-\omega x(i-1)) - (-\omega x(i-2))], i > 1 \end{cases} \quad (9)$$

Метод Рунге-Кутта (RuKu) дає таку ДСМ:

$$x(i+1) = x(i) + \frac{1}{6} K_1^{(x)} + \frac{1}{3} \left(1 - \sqrt{\frac{1}{2}}\right) K_2^{(x)} + \frac{1}{3} \left(1 + \sqrt{\frac{1}{2}}\right) K_3^{(x)} + \frac{1}{6} K_4^{(x)}, \quad (10)$$

$$y(i+1) = y(i) + \frac{1}{6} K_1^{(y)} + \frac{1}{3} \left(1 - \sqrt{\frac{1}{2}}\right) K_2^{(y)} + \frac{1}{3} \left(1 + \sqrt{\frac{1}{2}}\right) K_3^{(y)} + \frac{1}{6} K_4^{(y)}. \quad (11)$$

Тут коефіцієнти K_j розраховуються для $i \geq 0$ наступним чином:

$$\begin{cases} K_1^{(x)} = h[\omega y(i)] \\ K_2^{(x)} = h[\omega y(i) + \frac{1}{2} K_1^{(x)}] \\ K_3^{(x)} = h[\omega y(i) - (0.5 - \sqrt{0.5}) K_1^{(x)} + (1 - \sqrt{0.5}) K_2^{(x)}] \\ K_4^{(x)} = h[\omega y(i) - \sqrt{0.5} K_2^{(x)} + (1 + \sqrt{0.5}) K_3^{(x)}] \end{cases}, \quad (12)$$

$$\begin{cases} K_1^{(y)} = h[-\omega x(i)] \\ K_2^{(y)} = h[-\omega x(i) + \frac{1}{2} K_1^{(y)}] \\ K_3^{(y)} = h[-\omega x(i) - (0.5 - \sqrt{0.5}) K_1^{(y)} + \sqrt{0.5} K_2^{(y)}] \\ K_4^{(y)} = h[-\omega x(i) - \sqrt{0.5} K_2^{(y)} + (1 + \sqrt{0.5}) K_3^{(y)}] \end{cases}. \quad (13)$$

Безперервна функція $A \sin(\omega t + \varphi)$ дискретизується з кроком часу T . При цьому T залежить від тривалості виконання операцій на процесорах, а саме:

$$T = 2(T_{INT} + T_{DA} + T_{mult}),$$

де T_{INT} , T_{DA} , T_{mult} – це час інтегрування, час на обмін даними та час, необхідний для множення на ω відповідно. Тут ідеться про ступінчасту апроксимацію функції $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ (рис.2).

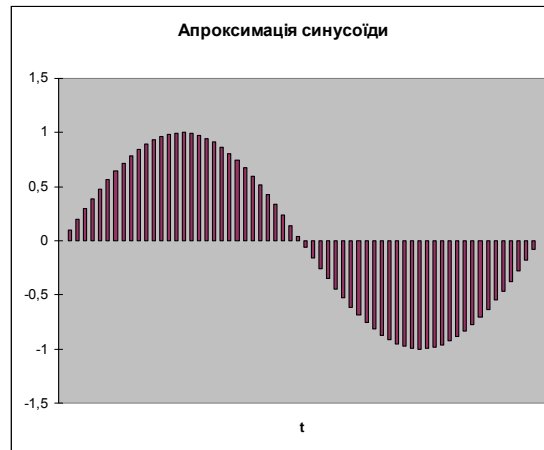


Рисунок 2 – Апроксимація функції $x = A\sin(\omega t + \varphi)$

Похибка апроксимації складає $\Delta x(t) = x(t) - x(nT)$, де дискретний час t представляється у якості $t = nT, n = 0, 1, 2, \dots$. Аналіз показує [1], що максимальна похибка має місце на першому часовому інтервалі, а саме:

$$\Delta x_{max} = x(T) - x(0) = A\sin(\omega T) \quad (14)$$

Взявши до уваги той факт, що для малих значень аргументу справедливо, що $\sin(Arg) \approx Arg$, можна зробити наступне спрощення:

$$\Delta x_{max} = A\omega T \quad (15)$$

Відносна похибка у відсотках при значенні $x = A$ складає:

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x} * 100\% = \omega T * 100\% . \quad (16)$$

Таким чином, для генерування синусоїдальної функції з відносною похибкою δx та заданою частотою ω двохпроцесорна система (рис. 1) має забезпечити час дискретизації, рівний :

$$T = h = \frac{0.01\delta x}{\omega} . \quad (17)$$

Ще одна умова, яку повинна задовольнити система, – це здатність генерувати синусоїдальний сигнал при дискретизації T з заданою точністю δx та частотою, яка знаходиться в наступному діапазоні:

$$\omega_{min} \leq \omega \leq \frac{0.01\delta x}{T} . \quad (18)$$

Послідовний вирішувач-генератор

Розробку послідовного варіанту генератора синусоїдальної функції можна розбити на наступні етапи.

1. Розробка послідовного вирішувача рівнянь (4) з початковими умовами (5), (6), в якому повинні використовуватися всі зазначені вище чисельні методи (E, AB, RuKu).
2. Складання блок-схеми послідовної С-програми, коротке описання основних її блоків.
3. Кодування та відлагодження С-програми. Перевірка правильності роботи чисельних методів, що використовуються.
4. Візуалізація результатів роботи.
5. Складання плану експерименту, перевірка роботи генератора на персональному комп'ютері, складання протоколу експерименту.

Послідовний варіант генератора повинен задовольняти наступним вимогам:

- 1) надання користувачеві можливості обрати один з наведених чисельних методів та змінення параметрів ω , δx , часу моделювання (Tend) та амплітуди сигналу;
- 2) обчислення величини кроку чисельного методу h у формулах (7-9) та (12,13) за допомогою формули (17).

Блок-схему послідовної програми наведено на (рис.3).

Паралельний MIMD-генератор: структура, MPI-програма, реалізація

Розробку паралельного варіанту генератора синусоїдальної функції можна розбити на наступні етапи.

1. Розробка паралельного вирішувача рівнянь (4) з початковими умовами (5,6), в якому повинні використовуватися всі зазначені вище чисельні методи (E, AB, RuKu).
2. Складання блок-схеми паралельної С-програми, коротке описання основних її блоків.
3. Кодування та відлагодження С-програми. Перевірка правильності роботи чисельних методів, що використовуються.
4. Візуалізація результатів роботи.
5. Складання плану експерименту, перевірка роботи генератора на паралельних обчислювальних системах, а саме:
 - кластер NEC SX-9 (HLRS, Штутгарт);
 - кластер NeClus (ДонНТУ, Донецьк).
6. Складання протоколу експерименту.

Паралельний варіант генератора повинен задовольняти тим же вимогам, що і послідовний.

Блок-схему паралельної програми наведено на (рис.4).

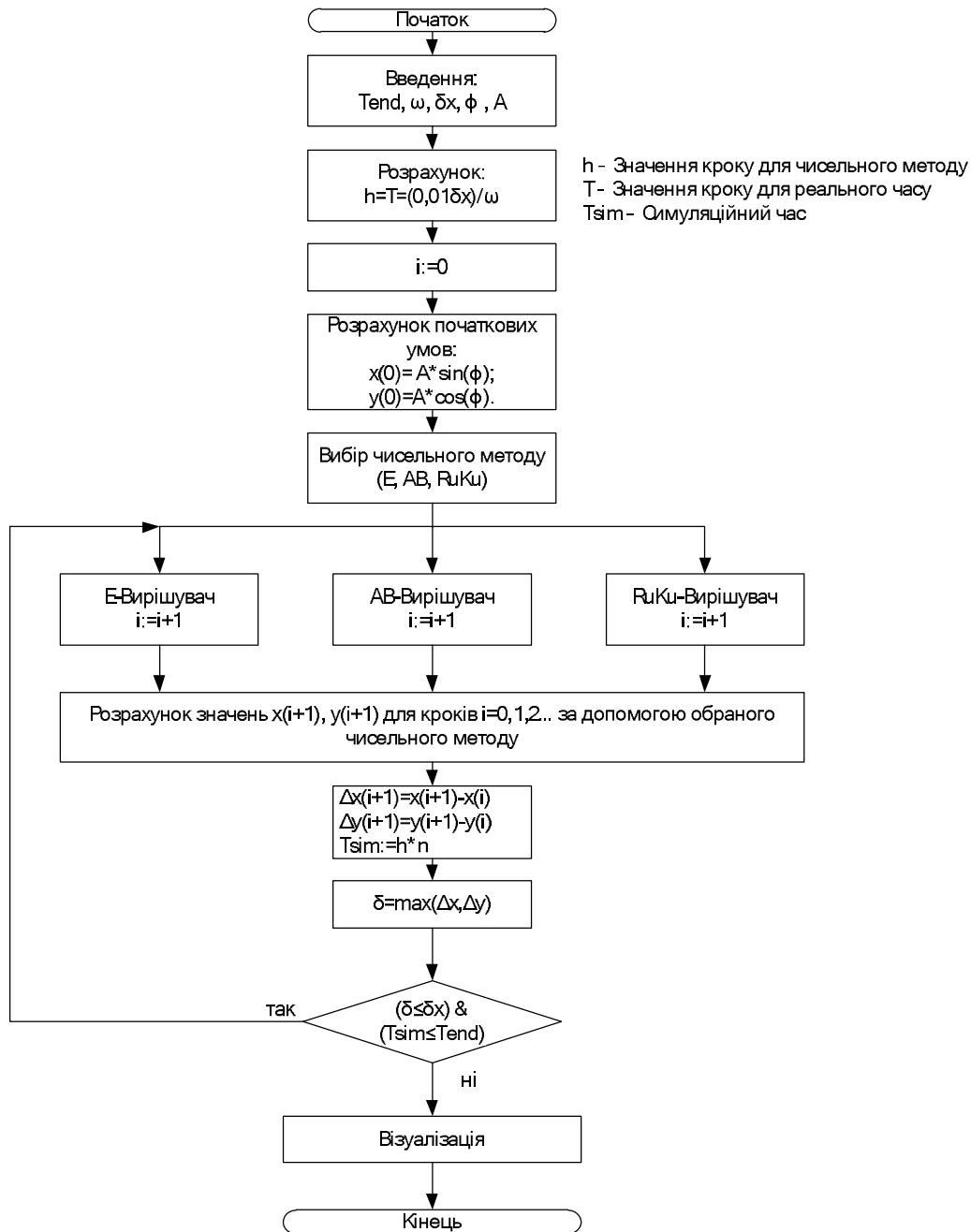


Рисунок 3 – Блок-схема послідовної програми

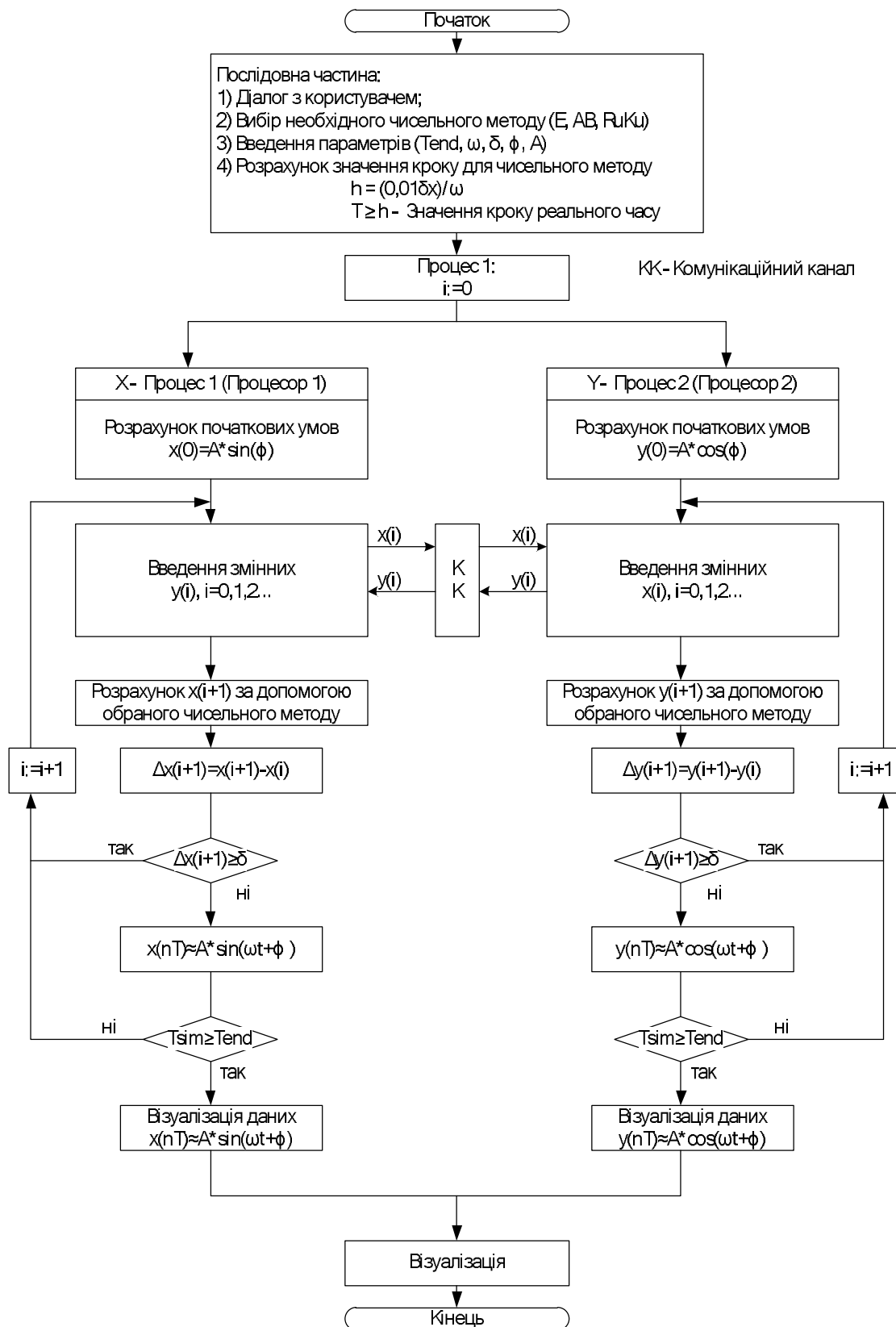


Рисунок 4 – Блок-схема паралельної програми

Задачі тестування цільових ПОС за допомогою MIMD-генератора

Як було зазначено раніше, програма генератора повинна відповідати певним умовам, серед яких є надання можливості користувачу змінювати такі вхідні параметри, як частота (f , $\omega=2\pi f$) або крок зміни частоти, фаза, похибка δx , час моделювання (T_{end}) та амплітуда сигналу. Змінюючи ці параметри, користувач буде отримувати різні вихідні результати.

На виході програми користувач бачить, скільки часу знадобилося на генерування певної синусоїди. Також створюється файл, до якого заносяться проміжні результати роботи програми, за якими потім можна побудувати синусоїду.

Даний тест дає можливість порівняти еталонну синусоїду з тією, яка була отримана за допомогою генератора. Річ у тому, що однаковість двох синусоїд буде залежати від обраного чисельного методу та обраної точності. Також може з'явитися різниця у фазах двох сигналів, на що впливає швидкодія даної цільової ПОС.

Друге, що дає даний тест, це відповідь на запитання, на скільки дана цільова ПОС придатна до вирішення задач реального часу. На початку тесту серед інших параметрів користувач вводить час моделювання (наприклад, 1 секунду) та частоту (f , $\omega=2\pi f$). Згідно з формулою (16), похибка моделювання залежить саме від цих двох параметрів. Є варіант програми, коли похибка не обчислюється, а задається користувачем.

Як результат роботи програми користувач отримує час роботи програми. І тут необхідно порівняти цей час з часом моделювання, який задавався на початку роботи програми. Якщо тест відпрацював швидше за час моделювання, це означає, що синусоїду з даними параметрами система може генерувати в реальному часі. Інакше – ні. Особливість полягає у тому, що якщо для низьких частот ПОС може справитися з задачею реального часу, то для більш високих частот система може і не впоратися за максимально допустимий час (час моделювання). Існує варіант роботи програми, коли визначається максимально можлива частота синусоїдального сигналу, яку б здатна була забезпечити цільова ПОС при заданій точності. Для кожної системи ця частота буде своєю. Таким чином, даний кільцевий тест можна використовувати для порівняння швидкодії різних ПОС.

Результати тестування паралельних ресурсів РПМС та ресурсів персонального комп'ютера

Як зазначалося раніше, для повноти експерименту було розроблено два варіанти програми – послідовний та паралельний. Роботу послідовного варіанту було перевірено на персональному комп'ютері (ноутбук з

процесором Intel Core i5-450M з частотою 2.4ГГц) та на кластері NeClus (Донецьк, ДонНТУ) з процесором Intel Xeon з частотою 2ГГц. Паралельний варіант програми тестувався на кластерах NecClus та NEC SX-9 (Штутгарт, HLRS).

Було проведено декілька порівняльних експериментів, результати яких наведено в таблиці 1. Аналізуючи результати, можна помітити, що час, затрачений на роботу паралельної програми на кластері NEC SX-9 у 20 разів менший, аніж на NeClus. Це зумовлено більш новими технологіями та більш сучасною архітектурою кластеру NEC SX-9. І найголовнішим є той факт, що у більш сучасному кластері замість двох гігабітних Ethernet комунікаторів HP Procurve використовуються чотири двохгігабітні FC, що у рази підвищує швидкість обміну інформацією [2, 3].

Таблиця 1. Результати, отримані на різних ПОС

№	Входные параметры	Послідовний варіант, сек.			Паралельний варіант, сек.		
		PC (Intel Core i5-450M)	Nelus (Донецьк)	Nec SX9 (HLRS)	PC (Intel Core i5-450M)	Nelus (Донецьк)	Nec SX9 (HLRS)
1	Частота - 10						
	Кругова частота - 62.38						
	Амплітуда - 1						
	Фаза - 0						
	Похибка - 1.00%						
	Час моделювання - 1сек.						
	Кількість кроків - 6284	0,078004	0,035156	0,019776	-	0,949219	0,080556
2	Частота - 100						
	Кругова частота - 628.32						
	Амплітуда - 1						
	Фаза - 0						
	Похибка - 0.01%						
	Час моделювання - 1сек.						
	Кількість кроків - 6283186	52,033299	52,033299	20,160873	-	787,154537	39,512288

Висновки

В результаті виконання даної роботи було розроблено та відлагоджено програму генератора синусоїдального сигналу, так званого кільцевого тесту, його послідовну та паралельну реалізацію.

У програмі для побудови синусоїдального сигналу використовувались різні чисельні методи (Ейлера, Адамса-Башфорта, Рунге-Кутта), було проведено їх порівняння за швидкодією та сталістю. Найшвидшим виявився чисельний метод Ейлера, а найкращий показник сталості показав метод Адамса-Башфорта.

Окрему увагу було приділено паралельному варіанту програми кільцевого тесту, адже сама його ідея напрошується на двохпроцесорну реалізацію.

Різні варіанти програми були запущені як на персональному комп'ютері (ноутбуці з процесором Intel Core i5-450M з частотою 2.4ГГц), так і на суперкомп'ютерах (кластерах NeClus та Nec SX-9).

Програма застосовується в навчальному процесі та при тестуванні ресурсів дослідного зразка РПМС.

Список літератури

1. Стародубцев Д.М. Розробка та дослідження двохпроцесорної системи на базі ПЛІС, дослідження її роботи за допомогою кільцевого тесту / Д.М. Стародубцев, В.Г. Кушнарєнко [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://masters.donntu.edu.ua/2011/fknt/kushnarenko/library/article1.htm>
2. Специфікація системи NEC SX9 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.hrs.de/systems/platforms/nec-sx-9-12m192/>
3. Специфікація системи NeClus [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://neclus.donntu.edu.ua/>

Надійшла до редакції 07.11.2011.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Святный В.А.

В.Г. Кушнарєнко

Донецкий национальный технический университет

Тестовый решатель: MIMD-генератор колебаний. Разработана и отлажена программа генератора синусоидального сигнала, так называемого кольцевого теста, его последовательная и параллельная реализации. Использовались различные численные методы (Эйлера, Адамса-Башфорта, Рунге-Кутта), было выполнено их сравнение по быстродействию и устойчивости. Различные варианты программы были запущены как на персональном компьютере, так и на MIMD-системах NeClus и NEC SX-9. Тестовый генератор включен в состав подсистемы решателей уравнений распределенной параллельной моделирующей среды.

Ключевые слова: кольцевой тест, двухпроцессорный генератор колебаний, целевая параллельная вычислительная система.

V. Kushnarenko

Donetsk National Technical University

Testgleichungslöser: MIMD-Oszillator. Es wurde ein Programm von dem Sinus-Oszillator (den sogenannten Ring-Test), seine sequentielle und parallele Implementierung entwickelt. Beim Rechnen wurden die numerische Euler-, Adams-Baschfort- sowie Runge-Kutta-Verfahren verwendet. Das Vergleich der Geschwindigkeit und der Konvergenz wurde beschrieben. Als Rechensysteme wurden Notebook, Cluster NeClus und NEC SX-9 ausgewählt. Testgleichungslöser wird im Subsystem von Gleichungslösern der verteilten parallelen Simulationsumgebung verwendet.

Keywords: ring-Test, Zweiprozessorgenerator, das parallele Zielrechensystem.