

MIMD-симулятор першого рівня розпаралелювання

**Берега Ілля Сергійович, Бакалавр з комп'ютерної інженерії,
cashik14@gmail.com;**

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Покровськ, Україна

Об'єктом дослідження, для якого виконується розробка MIMD-симулятора, є мережевий динамічний об'єкт з розподіленими параметрами (МДОРП), що може бути зображений за допомогою топології, яку відображено на рис. 1.

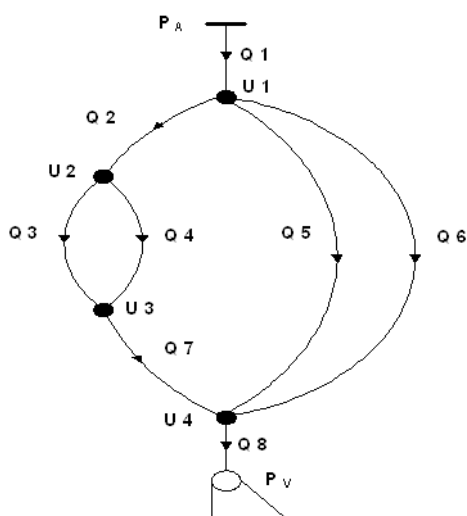


Рисунок 1. Топологія МДОРП.

Топологія МДОРП представлена у вигляді орієнтованого графу $G(m, n)$, де m – кількість гілок, n – кількість вузлів. Реальні мережеві об'єкти мають наступні властивості: багатомірність об'єкту, різноманітність технологічного призначення елементів топології, фізичні параметри гілок та вузлів можуть бути подані як змінні, наприклад, у вигляді функції часу, або інших параметрів. У кожній гілці графу може знаходитися активний елемент, що має вплив на процес проходження потоків у системі.

Граф можна представити у вигляді таблиці кодування (табл. 1.1), що містить m рядків та $s+5$ стовпчиків, де s відповідає кількості параметрів системи.

Таблиця 1.1. Таблиця кодування графу

AKJ	EKK	QI	PAR($PI_1, PI_2, \dots, PI_s$)	AEI	COMI
-----	-----	----	----------------------------------	-----	------

Умовні позначення у таблиці мають наступний зміст: QI – потік повітря у I-гілці; AKJ та EKK відповідають початковому та кінцевому вузлам гілки ($J \in (1, 2, \dots, n)$, $I \in (1, 2, \dots, m)$); PAR($PI_1, PI_2, \dots, PI_s$) – множина, що складається з s параметрів PI кожної гілки; AEI – активний елемент у I-й гілці; COMI – коментар до I-ї гілки.

Наступною складовою формального опису МДОРП є виведення диференціальних рівнянь у часткових похідних (ДРЧП) з відповідними граничними та початковими умовами, які здатні виконати опис фізичних процесів у МДОРП. Отримання вищевказаних рівнянь є доволі складним процесом [1], що використовує інформацію з різних галузей знань, тож розгляд цього

питання, буде спрощено до вигляду дискретизованої за просторовими координатами моделі гілки, що складається з M_j систем рівнянь вигляду (1), де M_j відображає кількість елементів, на які було апроксимовано, з використанням методу прямих [2], гілку j .

$$\begin{cases} \frac{dQ_{jk}}{dt} = \alpha_j(P_{jk-1} - P_{jk}) - \beta_j Q_{jk}|Q_{jk}|; \\ \frac{dP_{jk+1}}{dt} = \gamma_j(Q_{jk} - Q_{jk+1}) \end{cases} \quad (1)$$

де P_{jk} – тиск повітря у фрагменті гілки j ; Q_{jk} – потік повітря вздовж гілки j ; $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ – коефіцієнти, що враховують фізичні параметри j -гілки МДОРП.

БО-симулятор j -гілки МДОРП. Для виконання моделювання фізичних процесів, що мають місце у МДОРП, запропоновано побудувати та використати блок-схему симулятора на основі мови SIMULINK та провести експеримент з тестовими параметрами задля дослідження динамічних процесів.

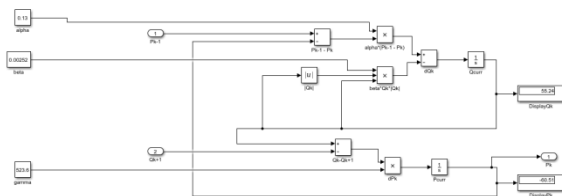


Рисунок 2. Структура підсистеми за допомогою БО-мови SIMULINK

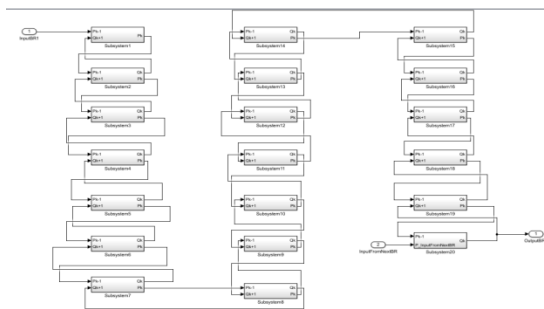


Рисунок 3. Гілка, що містить певну кількість підсистем

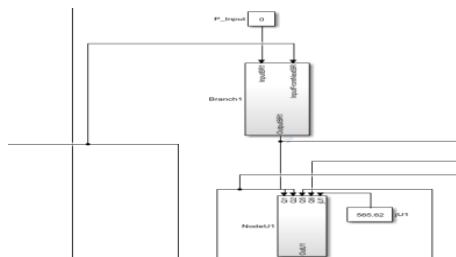


Рисунок 4. Фрагмент МДОРП, що створено засобами БО-мови SIMULINK

На рис. 2 зображено один з можливих варіантів реалізації вирішувача для системи рівнянь (1) з використанням БО-мови SIMULINK.

Цей фрагмент є базовим елементом для кожної з гілок у МДОРП, а їх кількість визначається довжиною гілки та кроком дискретизації.

На рис. 3 зображено структуру однієї з гілок МДОРП, яка складається з елементів, що подібні до зображеного на рис. 2. В свою чергу, гілки є складовими власне МДОРП, а один з його фрагментів (гілку та вузол) зображено на рис. 4.

Для виконання тестування було встановлено час експерименту у 100 секунд, а з його результатами можна ознайомитись на рис. 5. На цьому рисунку можна побачити, що спочатку об'єм витрат повітря у гілках має дуже різкі зміни за часом, але ближче до завершення часу моделювання цей показник приймає постійне значення, що відповідає сталому режиму.

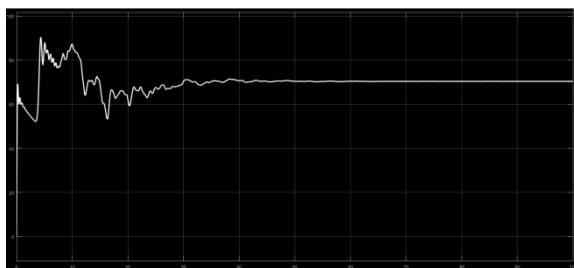


Рисунок 5. Результати моделювання

ликою, тож виконання необхідних обчислень є доволі витратним процесом, що важко виконувати за допомогою лише послідовним чином. Більш доцільним з цієї точки зору є використання паралельного підходу до реалізації

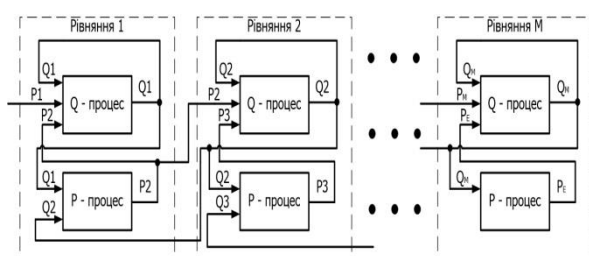


Рисунок 6. Структура ВПСМ дискретизованої гілки МДОРП

Підхід до використання першого рівня розпаралелювання. Одне рівняння – один процес. Мінімальна гранулярність.

Зрозумілим є той факт, що можливі розміри МДОРП є майже необмеженими. У більшості випадків кількість систем вигляду (1) є доволі великою,

тож виконання необхідних обчислень є доволі витратним процесом, що важко виконувати за допомогою лише послідовним чином. Більш доцільним з цієї точки зору є використання паралельного підходу до реалізації вирішувачів систем рівнянь. Структура віртуальної паралельної Simulation Model (ВПСМ) однієї гілки мережевого об'єкту, дискретизованої за просторовою координатою М- елементами, зображена на рис. 6. Q- та P-процеси забезпечують розв'язання рівнянь системи (1).

Рівень завантаження віртуальних процесів

Завантаження визначається складом операцій, що необхідні для вирішення Q- та P-рівнянь.

З (1) можна помітити, що права частина Q-рівняння відмінна від правої частини P-рівняння присутністю складової $\beta_j Q_{jk} |Q_{jk}|$. Тривалість виконання операцій складає

$$T_Q = t_{mul} + t_{sum} + t_{mod} = 3t_{sum} + 3t_{mul} + t_{mod} \quad (2)$$

$$T_P = t_{mul} + t_{sum}, \quad (3)$$

де t_{mul} , t_{sum} , t_{mod} — тривалість операцій множення, алгебраїчного додавання та визначення модуля змінної.

Час нерівномірності: $\Delta T = T_Q - T_P = t_{mod} + 2t_{mul}$, не залежить від обраного чисельного методу та вказує на те, що P-процеси є недовантаженими майже у 2 рази.

Таким чином, рівню процесів мінімальної гранулярності притаманна нерівномірність завантаження, яка призводить до втрати ефективності паралельного виконання процесів.

Співвідношення між об'ємами обчислювальних та допоміжних операцій. Як можна побачити на рис. 2, кожен Q-процес має три вхідні змінні й одну вихідну, а P-процес – дві вхідні та одну вихідну змінну. Беручи до уваги те, що змінна Q_k , що обчислюється у k -му елементі, є змінною

зворотного зв'язку, то відсутня потреба у додатковій організації передачі Q_k з виходу на вхід в Q-процесі.

Q- та P-процеси повинні виконати по 4 операції обміну даними на кожному кроці обчислень. По відношенню до Q-процесу, де, згідно (2), виконується 6 обчислювальних операцій, операції обміну складають відповідно 2/3 частини від загального об'єму. За відношенням до P-процесів, де число обчислювальних операцій відповідає (3), операції обміну складають $4/2 = 2$.

Загалом, у системі рівнянь типу (1) повинно виконуватись по 8 операцій обміну.

Співвідношення «процес – процесор» під час відображення на віртуальну й цільову паралельні архітектури. На першому рівні потрібна наступна кількість процесорних елементів N_{PE} для обчислення витрат повітря й тиску у гілках: $N_{PE} = 2 \sum_{j=1}^m M_j$, де m – кількість гілок у мережевому об'єкті, M_j – кількість елементів у гілках. В свою чергу M_j визначається довжиною гілки та кроком апроксимації за просторовою координатою Δx : $M_j = l_j / \Delta x$.

Через те, що крок Δx для усієї мережі має бути однаковим, число процесорів визначається загальною довжиною гілок: $N_{PE} = (\frac{2}{\Delta x}) \sum_{j=1}^m l_j$. Звідси виходить, що перший рівень розпаралелювання потребує такої кількості віртуальних процесів й процесорів, яка істотно перевищує актуальні можливості існуючих MIMD-систем.

Література

1. Lapko V.V. Ein Modellierungsansatz für aerodynamische Netze mit verteilten Parametern / V.V. Lapko — Tagungsband, 13. Symposium in Weimar, September 1999.
2. Калиткин Н.Н. Численные методы. / Н.Н. Калиткин – М.: Наука — 1978. — С. 512.
3. Svjatnyj V., Moldovanova O., Smagin A., Resch M., Keller R.: Rabenseifner R. Virtuelle Simulationsmodelle und ein Devirtualisierungsvorgang für die Entwicklung der parallelen Simulatoren von komplexen dynamischen Systemen/ 19. Symposium ASIM 2006, Tagungsband, 2006 — S. 416 – 421.
4. MathWorks Inc., Simulink: Dynamic System Simulation for MATLAB – Using Simulink / MathWorks Inc. — 3 edition. — 1999.

Анотація

Представлено огляд з питань проблем створення MIMD-симулятора першого рівня розпаралелювання для МДОРП. Наведено загальні відомості про будову об'єкту досліджень та засобів математичного опису певних динамічних процесів, що мають місце у ньому: витрати повітря та зміна тиску у гілках МДОРП, зокрема. Також, було виконано огляд можливостей щодо розпаралелювання обчислень й проведено експериментальне дослідження у симуляторі, що було складено за допомогою засобів БО-мови моделювання SIMULINK.

Ключові слова: MIMD-симулятор, перший рівень розпаралелювання, SIMULINK, МДОП.

Аннотация

Представлен обзор по вопросам проблем создания MIMD-симулятора первого уровня распараллеливания для СДОП. Приведены общие сведения касательно строения объекта исследования и средств описания определенного набора динамических процессов, протекающих в нем: расход воздуха и изменение давления в ветвях СДОП, в частности. Также был проведен обзор возможностей по проведению распараллеливания вычислений и выполнено экспериментальное исследование в симуляторе, который был составлен при помощи средств БО-языка моделирования SIMULINK.

Ключевые слова: MIMD-симулятор, первый уровень распараллеливания, SIMULINK, СДОП.

Abstract

An overview is given on the problems of creating a first-level MIMD simulator for NDODP. Provides general information regarding the structure of the object of research and means of describing a specific set of dynamic processes occurring in it: air flow and pressure change in the branches of the NDODP, in particular. Also, a review was made of the possibilities for carrying out parallelization of computations and an experimental study was carried out in the simulator, which was compiled using SIMULINK BO-modeling language.

Keywords: MIMD-simulator, first level of parallel computation, SIMULINK, NDODP.