

МІМД-СИМУЛЯТОР МЕРЕЖЕВОГО ДИНАМІЧНОГО ОБ'ЄКТУ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ЯК РЕСУРС PARSIMTECH-ЦЕНТРУ

*Тихонова Ю. Г., магістрантка, julia2000tikhonova@gmail.com
Донецький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

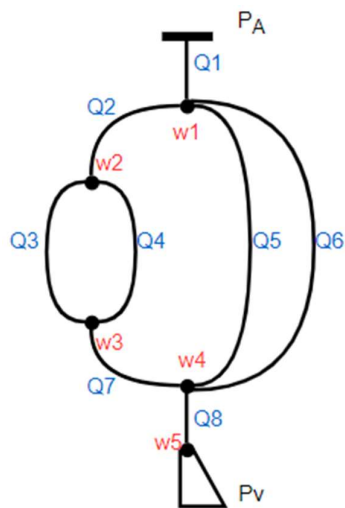


Рисунок 1. Тестовий граф МДОРП

Постановка задачі

Мережевий динамічний об'єкт з розподіленими параметрами (МДОРП) представляється за допомогою графа $G(m, n)$, де m — кількість гілок графу та n — кількість вузлів графу. Так як газодинамічні процеси в мережевому динамічному об'єкті (МДО) проходять одночасно, тоді такі процеси можна обчислювати паралельно. Для цього потрібно розробити МІМД-симулятор, тестування та імплементація якого буде проходити на прикладі тестового графу $G(8, 5)$ (рис. 1).

Топологічні характеристики

В роботі [1] спроектовані засоби топологічного аналізу для автоматизованого опису графа за допомогою топологічних характеристик: таблиця кодування, матриць інцидентності A та контурів S , які можуть бути вхідними даними і для МІМД-симулятора МДОРП. Крім цих топологічних характеристик, граф для МДОРП має бути описаний за допомогою своїх діагональних матриць параметрів. Із таблиці кодування будуть отримані вектори потоків повітря Q , тисків повітря P та тисків вентиляторів H .

МДОРП-модель

Кожна гілка графу описується наступною системою рівнянь [2]:

$$\begin{cases} -\frac{\partial P_j}{\partial x} = r_j Q_j^2 + \frac{\rho}{F_j} \frac{\partial Q_j}{\partial t} \\ -\frac{\partial P_j}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{F_j} \frac{\partial Q_j}{\partial x} \end{cases} \quad (1)$$

де: P_j — тиск, Q_j — потік повітря, r_j — специфічний аеродинамічний опір, ρ — щільність повітря, F_j — площа поперечного перерізу, a — швидкість звуку в повітрі, x — просторова координата та t — час.

Для того, щоб побудувати МІМД-симулятор, потрібно зауважити не тільки m систем рівнянь (1), а також n граничних умов (2–4) [2].

Граничні умови для гілок, які інцидентні n_1 внутрішнім вузлам МДО-графу:

$$-\frac{\partial P_{wi}}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{F_{wi}} \frac{\partial Q_{wi}}{\partial x} \quad (2)$$

де: P_{wi} — тиск та Q_{wi} — потік повітря вузлі wi .

Граничні умови для гілок, які інцидентні n_2 вузлам МДО-графу з підключенням до вентилятора:

$$P_W = PAEJ(Q_J) \quad (3)$$

де: $PAEJ(Q_J)$ — характеристика вентилятору (активного елементу).

Граничні умови для гілок, які інцидентні n_3 вузлам МДО-графу з підключенням до атмосфери:

$$P_W = P_{ATM} = const \quad (4)$$

де: P_{ATM} — тиск атмосфери.

Обчислення графу потребують введення значень для потоків повітря $Q_j(x, 0)$ та тиску $P_j(x, 0)$ в початковій часовій точці $t = 0$.

Симуляційна МДОРП-модель

Щоб обчислити МДО-граф, потрібно кожен гілку дискретизувати відносно просторової координати (рис. 2).

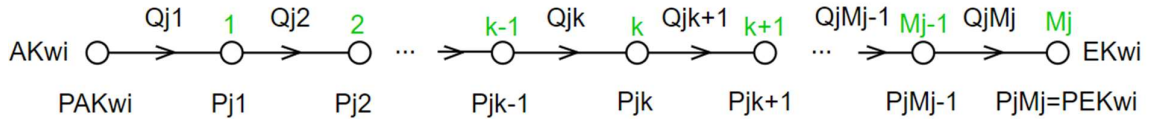


Рисунок 2. Дискретизована j -гілка

Тоді МДОЗП-модель (1) представляється у вигляді симуляційної (Simulation) моделі. Кожна гілка описується M_j системами рівнянь (5), де M_j — кількість дискретизованих елементів гілки [2]:

$$\begin{cases} \frac{dQ_{jk}}{dt} = \alpha_j (P_{jk-1} - P_{jk}) - \beta_j Q_{jk} |Q_{jk}| \\ \frac{dP_{jk}}{dt} = \gamma_j (Q_{jk} - Q_{jk+1}) \end{cases} \quad (5)$$

де: $\alpha_j = \frac{F_j}{\rho \Delta x}$, $\beta_j = \frac{F_j r_j}{\rho}$ та $\gamma_j = \frac{\rho a^2}{F_j \Delta x}$ — коефіцієнти, $k = 1, 2, \dots, M_j$ — пункти дискретизованої гілки.

Рівні розпаралелювання

Перед тим, як будувати паралельний симулятор, потрібно зробити апріорний аналіз та визначити рівні розпаралелювання. Таким чином, було виділено чотири рівня розпаралелювання (РР) [3]:

- РР-1: одне рівняння $\rightarrow$ один процес;
- РР-2: один елемент $\rightarrow$ один процес;
- РР-3: одна гілка або один вузол $\rightarrow$ один процес;
- РР-4: один підграф $\rightarrow$ один процес.

РР-1. В найпростішому випадку було отримано $\sum M_j$ Q -рівнянь, $\sum(M_j - 1)$ P -рівнянь з n P_w -рівнянь для граничних умов гілки. Описані рівняння ставляться у відповідність до Q -, P - та P_w -процесам.

РР-2. Даний підхід полягає в об'єднанні Q - та P -рівнянь поелементно відповідно у QP -процесах.

РР-3. Підхід потребує лише m процесів, відповідних за обчислення компонентів векторів $Q_j(Q_{j1}, Q_{j2}, \dots, Q_{jMj})$ та $P_j(P_{AKJ} = P_{j0}, P_{j1}, \dots, P_{jMj} = P_{EKJ})$, де $j = 1, 2, \dots, m$, P_{AKJ} та P_{EKJ} — початковий та кінцевий вузли j -гілки відповідно. Кожний процес буде обчислювати $2 \cdot M_j$ рівнянь, та вузлові граничні значення P_{AKJ} , P_{EKJ} і зовнішні граничні умови (підключення до атмосфери та вентиляторів) включно.

РР-4. В даному підході МДОРП-граф поділяється на декілька підграфів — задача оптимізації, що полягає в мінімізації комунікації між підмережами.

В рамках даної роботи для проектування паралельного симулятора буде використано РР-3.

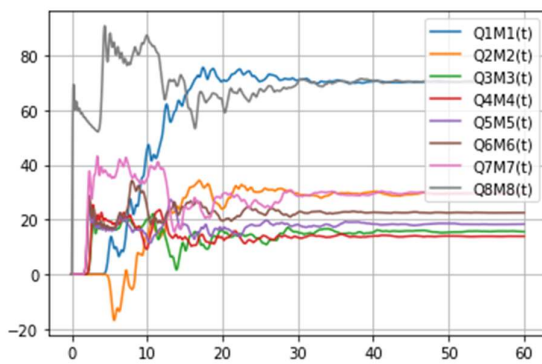


Рисунок 3. Поток повітря у гілках МДОРП-графу

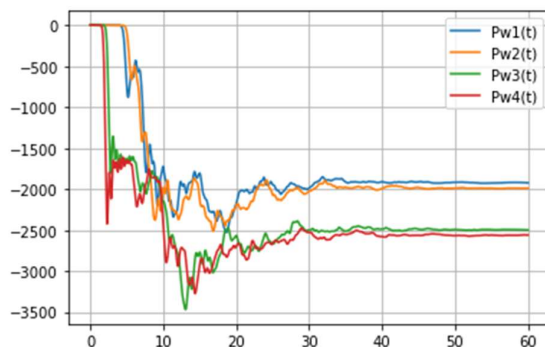


Рисунок 4. Тиски у вузлах МДОРП-графу

Структура, імплементація МІМД-симулятора та результати

МІМД-симулятор МДОРП повинен мати можливість кодувати задану мережу та задавати її параметри. Симулятор аналізує топологію, генерує та вирішує рівняння. В кінці результати повинні бути представлені у вигляді, який підходить для графічного представлення.

Паралельний симулятор було відлагоджено та імплементовано. На основі отриманих результатів тестового графу (рис. 1) було створено графіки потоків повітря у гілках (рис. 3) та тиски у вузлах (рис. 4) відносно часу.

Висновки

У рамках даної роботи було створено МІМД-симулятор на базі РР-3, який може моделювати газодинамічні процеси МДОРП-графу та

виводити результати у вигляді, які підходять для їх представлення в графічному вигляді. Дана розробка може бути використана в подальшому вивченні та діяльності ParSimTech-центра.

Література

1. Тихонова Ю.Г. Засоби топологічного аналізу MIMD-симулятора мережевого динамічного об'єкту з зосередженими параметрами (МДОЗП) / Ю.Г. Тихонова // Математика та математичне моделювання у сучасному технічному університеті: Збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених, 30 листопада 2022 р. / М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет». — Луцьк: ДонНТУ, 2022. — С. 40—42.

2. Svyatnyy V. Zur Entwicklung der problemorientierten verteilten parallelen Simulationsumgebung (POVPSU) / V. Svyatnyy. — Stuttgart: HLRS, 2022. — 73 с.

3. Svyatnyy V. Virtuelle parallele Simulationsmodelle und ein Devirtualisierungsvorgang der Entwicklung von parallelen Simulatoren für dynamische Netzobjekte mit verteilten Parametern: Teil 4: Apriori-Analyse von virtuellen parallelen Simulationsmodellen / V. Svyatnyy. — Stuttgart: HLRS, 2022. — 49 с.

Анотація

Представлено опис МДОРП у вигляді графу, на основі таблиці кодування якого, аналізуються топологічні характеристики графу, подані у вигляді вхідної інформації в MIMD-симулятор, який у свою чергу повинен генерувати та вирішувати рівняння, тобто моделювати аеродинамічні процеси у вузлах та гілках графу. Паралельний симулятор було спроектовано на базі PP-3 та відлагоджено на прикладі тестового динамічного об'єкту. Результати моделювання паралельного симулятора представляються у вигляді графіків.

Ключові слова: МДОРП, аеродинамічні процеси, МДО-граф, топологічні характеристики, МДОРП-модель, симуляційна МДОРП-модель, дискретизація гілки, рівні розпаралелювання, MIMD-симулятор, генерація рівнянь.

Abstract

The description of the NDODP is presented in the form of a graph based on the coding table. The topological characteristics of the graph are analyzed and presented as input information to the MIMD-simulator. The parallel simulator must generate and solve equations (simulate aerodynamic processes in the nodes and edges of the graph). The parallel simulator was designed on the basis of PL-3 and debugged on the example of a test dynamic object. The simulation results of the parallel simulator are presented in the form of diagrams.

Keywords: NDODP, aerodynamic processes, NDO-graph, topological characteristics, NDODP-model, simulation NDODP-model, edge discretization, parallelization levels, MIMD-simulator, generation of equations.