НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Кафедра обчислювальної техніки\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(повна назва кафедри, циклової комісії)

**КУРСОВА РОБОТА**

з дисципліни «Паралельне програмування»

(назва дисципліни)

на тему: «Розробка програмного забезпечення для паралельних комп’ютерних систем»

Студента (ки) 3 курсу групи ІП-42

напряму підготовки 050103 «Програмна інженерія»

Дзюби В.В.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник доцент Корочкін О.В.

Національна оцінка \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Члени комісії \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(підпис) (вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(підпис) (вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(підпис) (вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Київ- 2017 р.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут”

Факультет (інститут) інформатики та обчислювальної техніки

( повна назва )

Кафедра обчислювальної техніки

( повна назва )

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Напрям підготовки 6.050103 «Програмна інженерія»

# (шифр і назва)

## З А В Д А Н Н Я

### НА КУРСОВУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дзюби Влада Володимировича

(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка програмного забезпечення для паралельних

комп’ютерних систем»

керівник роботи Корочкін Олександр Володимирович к.т.н.**,** доцент

( прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання студентом роботи 11 травня 2017 р.

3. Вхідні дані до роботи

- засоби роботи з потоками в бібліотеці OpenMP

- математична задача

- структури ПКС ОП та ПКС ЛП

- мови і бібліотеки програмування: C++, OpenMP.

- засоби організації взаємодії процесів: цикли for.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- огляд засобів роботи з процесами в мові Ада

- розробка і тестування програми ПРГ1 для ПКС ОП

- розробка і тестування програми ПРГ2 для ПКС ЛП

5. Перелік графічного матеріалу

- структурна схема ПКС ОП

- структурна схема ПКС ЛП

- схеми алгоритмів процесів і головної програми для ПРГ1

- схеми алгоритмів процесів і головної програми для ПРГ2.

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_\_\_9.03.2017\_\_\_\_\_\_

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №  з/п | Назва етапів виконання КР | Строк виконання етапів КР |
| 1 | Виконання розділу 1 | 13.03.2017 |
| 2 | Виконання розділу 2 | 3.04.2017 |
| 3 | Виконання розділу 3 | 23.04.2016 |
| 4 | Оформлення КР | 8.05.2016 |
| 5 | Перевірка КР викладачем | 11.05.2016 |
| 6 | Захист КР | 18.05.2016 |

**Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

( підпис ) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП…………………………………………………………………………… 3

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД БІБЛІОТЕКИ OPENMP…………………………………..... 5

* 1. Загальний опис.………………………………………………...……….
  2. Синтаксис………………………………………………………....……
  3. Специфікація OpenMPI для мов C/C++……………………………….
  4. Порівняння спільної та розподіленої пам’яті…………………………………………………………………...
  5. Нагляд, налагодження та інструменти аналізу ефективності для *OpenMP*

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ПРГ1 ДЛЯ ПКС ОП……………………

* 1. Розробка паралельного математичного алгоритму……………………
  2. Розробка алгоритмів процесів………………………………………….
  3. Розробка схеми взаємодії процесів…………………………………….
  4. Розробка програми ПРГ1……………………………………………….
  5. Тестування програми ПРГ1 …………………………………………….
  6. Висновки до розділу 2 …………………………………………………..

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ПРГ2 ДЛЯ ПКС ЛП ……………………

* 1. Розробка паралельного математичного алгоритму………………….
  2. Розробка алгоритмів процесів…………………………………………
  3. Розробка схеми взаємодії процесів…………………………………..
  4. Розробка програми ПРГ2………………………………………………
  5. Тестування програми ПРГ2……………………………………………
  6. Висновки до розділу 3…………………………………………………

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ………………………37

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……………………………………… 39

ДОДАТКИ……………………………………………………............................. 41

Вступ

Метою курсовою роботи є аналіз та використання засобів розробки параллельних програм з використання OpemMP. Прикладом використання є параллельне обчислення математичної задачі.

З ростом виробництва комп’ютерних процесорів вдосконалення засобів комунікації між багатьма процессорами стає важлиівшою за вдосконалення окремих процессорів. OpenMP є тим стандартом, який дозволяє писати параллельни програми максимально коротко та зрозуміло.

Не менш важливим є питання вибору системи пам’яті для обчислювальної техніки: спільна пам’ять або локальна пам’ять. Система зі спільною пам’яттю є більш швидкими. Системи ж з локальною пам’яттю є більш структурованими та простішими для сприйняття та написання програм.

У першому розділі розглянуто засоби роботи з потокми бібліотеки OpenMP. У другому розділі описан процес розробки програм для систем зі спільною пам’яттю. У третьому розділі описан процес розробки програм для систем з локальною пам’яттю.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД БІБЛІОТЕКИ OPENMP

1.1. Загальний опис.

*OpenMP* — *API*, призначений для розробки багатопоточних додатків для багатопроцесорних систем з спільною пам’яттю. Розробку специфікації ведуть декілька великих виробників обчислювальної техніки та програмного забезпечення. *OpenMP* підтримується основними компіляторами *С*/*C++*/*Fortran*.

В *OpenMP* немає явного задання потоків у коді. Натомість є можливість вказати компілятору з допомогою директив *#pragma*, що блок кода може бути розпаралелен. Знаючи цю інформацію, компілятор в стані згенерувати додаток, яке складається з одного головного потока, який створює багато інших потоків для паралельного блоку коду. Ці потоки синхронізуються у кінці паралельного блоку кода, вертаючись к головному потоку.

Так як *OpenMP* контролюється прагамами, то код на *C++* коректно скомпілюється будь-яким компілятором *C++*, тому що прагми, які не підтримуються, повинні ігноруватись. Проте *OpenMP* *API* містить також декілька функцій, та, щоб їх використати, необхідно підключити заголовочний файл. Найпростіший спосіб визначити, чи підтримує компілятор *OpenMP* — спробувати підключити *omp.h*.

Якщо *OpenMP* підтримується, потрібно його ввімкнути за допомогою спеціального флагу компілятора: *g++ -fopenmp.*

1.2. Синтаксис

Директиви *OpenMP* починаються з *#pragma omp*.

Parallel

Директива *#pragma omp parallel*створює групу з *N* потоків. *N* визначається під час виконання, загалом це кількість ядер процесора, але також можно задать *N* вручну. Кожен з потоків у групі виконує наступну за директивою команду (або блок команд, визначений в фігурних дужках). Після виконання, потоки “зливаються” в один.

Такий прозорий спосіб розмітки паралельної програми дозволяє мінімізувати написання коду для породження *N* потоків, задання їм функції виконання та синхронізації закінчення їх виконання. В наслідок того, що така задача є поширеною, *OpenMP* пропонує простий синтаксис для її вирішення.

**Директива for**

Директива *for* розділяє цикл між поточною групою потоків, так що кожен потік у группі оброблює свою частину цикла. Таким чином, кожен потів оброблює свою частину цикла параллельно з усіма потоками. При цьому послідовність виконання ітерацій цикла довільна.

Важливо, що директива *#pragma omp* лише делегує порції цикла різним потокам у поточній групі потоків. В момент запуска програми група з одиничного (головного) потока. Щоб створити нову групу потоків, необхідно використати ключове слово *parallel*.

Для того, щоб задати кількість потоків у групі, можна скористатись параметром *num\_threads*.

В *OpenMP* 2.5, ітераційна змінна цикла повинна бути типа *signed*. В *OpenMP* 3.0 вона також може мати тип *unsigned integer,* може бути вказівником або *constant-time random access* ітератором. В останньому випадку, для визначення кількості ітерацій цикла буде використовуватись *std::distance()*.

Перевагою синтаксису *OpenMP* для паралельного проходу цикла є автоматичне розбиття ітерацій між наявною групою потоків. При цьому в коді модифікується тільки директиви, що призводить до того, що без *OpenMP*, отримуємо простий цикл, який працює таким самим чином проте без паралельності.

**1.2.3. Планування**

Програміст може контролювати то, яким чином потоки будуть завантажуватись роботою при обробці цикла. Існують декілька варіантів.

*Static* є варіантом за замовчуванням. Ще до входу в цикл кожний поток “знає”, які частини цикла від буде обробляти. Такий варіант підходить, коли варіація часу виконання частини ітерації одним потоком мінімальна. При цьому балансування, яке проводить *OpenMP*, повністю задоволняє необхідність в ній. Цей варіант поширен настільки, що розробники *OpenMP* зробили цю стратегію балансування за замовчуванням.

Використовуючи d*ynamic*, неможливо передбачити порядок, в якому ітерації цикла будуть призначені потокам. Кожен потік виконує вказану кількість ітерацій. Якщо це число не задане, за замовчуванням воно дорівнює 1. Після того, як потік завершить виконання заданих ітерацій, він переходить до наступного набору ітерацій. Так продовжується, поки не будуть пройдені всі ітерації. Останній набір ітерацій може бути меншим, ніж заданий на початку. Такий варіант дуже корисний, коли різні ітерації цикла обраховуються різний час. Можна також вказати кількість ітерацій, після виконання яких поток “попросить” у *OpenMP* наступні.

Існує також варіант *guided*. Він схожий на *dynamic*, проте розмір порції зменьшується експоненційно. Така стратегія упорядкування дозволяє боротись з проблемою, яка виникає, коли відношення потоків до ітерацій циклу велике. Тоді видатки на створення різних потоків перевищують дохід від розпаралелення. Така стратегія схожа на тип алгоритмів “жадібні алгоритми”. Вона не гарантує найкраший результат, проте є оптимальною в багатьох випадках.

Динамічне та кероване планування добре підходять, коли при кожній ітерації виконується різні об’єми роботи або якщо процесори більш виробничими, ніж інші. При статичному плануванні немає способу, який дозволяє сбалансувати нагрузку на різні потоки. При динамічному та керованому плануванні нагрузка розподіляється автоматично — такова сама суть цих підходів. Як правило, при керованому плануванні код виконується швидше, ніж при динамічному, в наслідок менших витрат на планування.

***Ordering* (впорядкування)**

Порядок, в якому будуть обрабляти ітерації цикла непердбачуваним. Проте можливо “змусити” *OpenMP* виконувати вирази в циклі в порядку. Для цього існує ключеве слово *ordered*[1].

Хоча більшість ітеративних задач є аккумулятивними, тобто такими, для яких немає різниці у порядку виконання ітерацій, існують і ті, що потребують порядку. Для задач таких, як сумування, множення, перетворення кожного елементу масиву таким чином, який не залежить від значень інших елементів масиву, видбір елементів масиву, що відповідають певному крітерію, немає різниці в порядку. Проте для копіювання масиву, створення нового масиву з зворотнім порядком, виводу в один і той же *stream* грає роль порядок. Саме для таких задач є можливість вказання порядку для паралелювання цикла в *OpenMP*.

**Директива *sections***

Неітеративна паралельна конструкція. Визначає набір незалежних секцій кода (“кінечний паралелізм”). Секції відділяються друг від друга директивой. На відміну від директиви *parallel* секції кода виконується не всіма потоками, а кожна секція виконується окрмемим потоком. Це гарна заміна використанню функції *OPM\_GET\_THREADS\_NUM* з конструкцією *switch*, яка теж дозволяє задати, що робить поток, основуючись на його номеру по порядку. Директива *sections* менш об’ємна, проте не залежить від кількості наявних потоків. Якщо *switch* приймає у клаузи *case* лише константні вирази, що говорить про те, що кількість потоків не можливо змінити динамічно, то *OpenMP* сам проводить розрахунок логіки, за якою розподіляються паралельні секція по потах. Це показує, що якщо потоків більше ніж секція або навпаки, *OpenMP* має готовий алгоритм для таких ситуацій.

**Директива *single***

Визначає блок кода, який виконається тільки одним потоком (першим, який дійде до цього блока). Така можливість дає змогу легко проводити ініціалізації різних структур або ресурсів. В деяких випадках повторна ініціалізація змінних може затерти результати, які вже були отримані іншим потоком. Ще більш неприйнятна ситуація трапляється, коли ініціалізованою структурою не проста зміна типу число, буква, рядок чи флаг, а структурою є багаторозмірний масив, дерево чи масив, який потребує початкового сортування. Тоді обчислювальноємкі задачі будуть повторно витрачати час процесора, що є дуже неефективно. Ця неефективність походить від багатьох непотрібних обчислень, та існує неефективність, пов’язана з витратою великої кількості пам’яті. Якщо робота з одним і тим же зовнішним ресурсом, такими як файл, база даних, віддалений сервер, спричинятиме відкриття цього ресурса в кожному потоці, це призвиде до великої кількості відкритих дискрипторів в операційній системи, кожен з яких через паралельність може не закриватись або закриватись двічі. Саме ці проблеми вирішує директива *single*.

**Явне керування розподіленням роботи**

За допомогою функції *OMP\_GET\_THREAD\_NUM* та *OMP\_GET\_NUM\_THREADS* потік може визначити свій номер та загальну кількість потоків, а далі виконати свою частину роботи в залежності від свого номеру (цей підхід широко виспользується у програмах на базі інтерфейса).

**Директиви синхронізації**

*Master —* визначає блок коду, який виконається тільки *master*-ом (нульовим потоком). Ця директива схоже на директиву *single*, проте несе інший логічний зміст. Ця директива виконується нульовим потоком, тоже дії в серединні блока коду повинні бути направленні на керування потоками, ніж на обчислення. До того ж на відміну від директиви *single* код блока виконається раніше, бо нульовий потік в загальному випадку має менш задач ніж будь-який інший.

*Critical* — визначає критичну секцію, блок кода, яикй не повинен виконуватись одночасно двумя або більшою кількістю потоків. Критична секція — розповсюджений паттерн паралельного програмування. ЇЇ реалізують різноманітними засобами: мьютексами, семафорами, моніторами. Розробники *OpenMP* винесли цей паттерн в окрему абстракцію, що призвело до зручності написання коду: не потрібно створювати додаткові об’єкти, *OpenMP* автоматизує цей процес.

*Barrier* — визначає точку бар’єрної синхронизації, в якій кожний потік чекає всіх інших. Ця директива відіграє роль функції *join* в моделі *fork/join*. При цьому *fork*-ом є початок паралельної секції. Такий елемент синхронізації є зручним для неідеально паралельних задач або поєднання двох паралельних задач так, щоб початок першого потоку другої задачі знаходився після кінця останього потоку першої задачі. Ця директива аналогічна послідовної об’яві двох паралельних секцій.

*TaskWait* — визначає очікування для закінчення задач потомків потоків, які були сгенеровані після початку поточної задачі.

Зважаючи на те, що конструкція *taskwait* немає виразу мови *C*, як чистини свого синтаксису, присутні деякі заборони для вибору місця використання у програмі. Директива *taskwait* може бути розміщена тілька в точці, де вирази базової мови дозволені. Директива *taskwait* не може бути використана в місці, яке слідує за виразами *if, while, do, switch* або *label*.

*Atomic* — визначає змінну в лівій частині оператора “атомарного” присвоювання, який повинен коректно оновлюватись декільками потоками. Ця директива дозволяє замінити мьютекс, який потрібен був би для зміни змінної декільками потоками. Потрібно зважати на те, що *atomic* змінні працюють повільніше за звичайні змінні. Це означає, що, якщо змінна у програмі не змінюється, то краще використовувати звичайні змінні.

*Flush* — явно визначає точку, в якій реалізації повинна забезпечувати однаковий вид пам’яті для всіх потоків. Неявно *FLUSH* присутній в наступних директивах: *BARRIER, CRITICAL, END CRITICAL, END DO, END PARALLEL, END SECTIONS, END SINGLE, ORDERED, END ORDERED.*

В цілях синхронизації можна також використовувати механізмом замків (*locks*).

**1.2.9. Класи змінних**

В *OpenMP* змінних у паралельних областях програми розділяються на два основних класа:

- *SHARED* (загальні; з ім’ям А всі потоки бачать одну змінну) та

- *PRIVATE* (приватні; з ім’ям А кожен потік бачить свою змінну).

Окремі правила визначають поведінку змінних при вході та виходів з паралельної області або паралельного цикла: *REDUCTION, FIRSTPRIVATE, LASTPRIVATE, COPYIN*.

За замовчанням, всі *COMMON-*блоки, а також змінні, які породжені поза паралельної області, при вході в цю область залишаються спільними (*SHARED*). Виключенням є змінні — лічильники ітерацій в циклі. Змінні, які породженні у паралельній області є приватними (*PRIVATE)*. Явно назначити клас змінних за замовченням можна за допомогою клаузи *DEFAULT.*

*SHARED —* використовується до змінних, які необхідно зробити спільними.

*PRIVATE —* використовується до змінних, які необхідно зробити приватними. При вході в паралельну область для кожного потоку створюється окремий екземпляр змінної, який не має ніякого зв’язку з оригінаьною змінною поза паралельною областю.

*THREADPRIVATE* — використовується к *COMMON-*блокам, які необхідно зробити приватними. Директива повинна бути після кожної декларації *COMMON*-блока.

*FIRSTPRIVATE —* приватні копії змінної при вході в паралельну область ініціалізуються значенням оригінаьної змінної.

*LASTPRIVATE* — після кінця паралельного цикла або блока паралельних секцій, потік, яка виконала останню ітерацію цикла або останню сецкію блока, оновлює значення оригінальної змінної.

*REDUCATION(+ :A)* — означає змінну, з якою в циклі проводиться *reduction*-операція (наприклад, сумування). При виході з цикла, данна операція проводиться над копіями змінної в усіх потоках, та результат присвоються оригінальной змінній.

*COPYIN* — застосовується к *COMMON*-блокам, які помічені як *THREADPRIVATE*. При вході в паралельну область приватні копії цих данних ініціалізуються оригінальними значеннями.

***Runtime*-процедури та змінні середовища**

В цілях створення середовища запуска паралельних програм, які можна перенести, в *OpenMP* визначен ряд змінних середовища, які контролюють поведінку додатка.

В *OpenMP* передбачен також набір бібліотечних процедур, які дозволяють:

- під час виконання контролювати та запитувати різні параметри, які визначають поведінку додатку (такі як кількість потоків та процесорів, можливість вкладеного паралелізма); процедури назначення параметрів мають пріоритет над відповідними змінними середи.

- використовувати синхронізацію на базі замків (*locks*).

**Змінні середовища**

*OMP\_SCHEDULE* — визначає розподілення ітерацій в циклі, якщо в директиві *DO* використана клауза *SCHEDULE(RUNTIME)*.

*OMP\_NUM\_THREADS* — визначає кількість потоків для виконання паралельних областей додатка.

*OMP\_DYNAMIC* — дозволяє або забороняє динамічне зміну кількості потоків.

*OMP\_NESTED —* дозволяє або заюороняє вкладений паралелізм.

**Процедури для контроля/запроса параметрів середовища виконання**

*OMP\_SET\_NUM\_THREADS —* дозволяє назначити максимальну кількість потоків для використання в наступній паралельній області (якщо цю кількість дозволено динамічно змінювати). Визивається з послідовної області програми.

*OMP\_GET\_MAX\_THREADS* — повертає максимальну кількість потоків.

*OMP\_GET\_NUM\_THREAD* — повертає фактичне число потоків в паралельній області програми.

*OMP\_GET\_NUM\_PROCS* — повертає кількість процесорів, які доступні додатку.

*OMP\_IN\_PARALLEL* — повертає *TRUE*, якщо викликана з паралельної області програми.

*OMP\_SET\_SYNAMIC / OMP\_GET\_DYNAMIC* — встановлює / запитує стан флага, який дозволяє динамічно змінювати кількість потоків.

*OMP\_GET\_NESTED / OMP\_SET\_NESTED* — встановлює / запитує стан флага, який дозволяє вкладений паралелізм.

**Процедури синхронізації на базі замків**

В якості замків використовується загальні змінні типа *INTEGER* (розмір повинен бути достатнім для зберегання адреси). Данні змінні повині використовуватись тільки параметри примітивів синхронізації.

*OMP\_INIT\_LOCK(var) / OMP\_DESTROY\_LOCK(var) —* ініціалізує замок, який пов’язан зі змінною var.

OMP\_SET\_LOCK — змушує потік, який викликав цю процедуру, дочекатись замка, а далі захоплює його.

*OMP\_UNSET\_LOCK* — звільняє замок, якщо він був захоплений потіком, який визвав цю процедуру.

*OMP\_TEST\_LOCK —* пробує захопити вказаний замок. Якщо це неможливо, повертає *FALSE*.

**1.3. Специфікація *OpenMPI для мов C/C++***

Специфікація *OpenMP* для мов *C/C++*, яка випущена на рік пізніше фортраної, містить в основному аналогічну функціональність.

Необхідно лише відмітити наступні моменти:

1) Замість спецкоментарів використовуються директиви компілятора “#pragma omp”.

2) Компілятор з підтримкою *OpenMP* визначає макрос *“\_OPENMP”*, який може використовуватись для умовної компіляції окремих блоків, які характерні для паралельної версії програми.

3) Розпаралелення застосовується к *for*-циклам, для цього використовується директива *“#pragma omp for”*. В паралельних циклах забороняється використовувати оператор *break.*

4) Статичні (*static*) змінні, які визначенні в паралельній області програми є спільними (*shared*).

*5)* Пам’ять, яка виділена за допомогою *malloc()*, є спільною (проте вказівник на неї може бути, як спільним, так і приватним).

6) Типи та функції *OpenMP* визначені в файлі *<omp.h>.*

7) Крім звичайних, можливі також “вкладені” (*nested*) замки — замість логічних змінних використовуються цілі числа, та потік, яка вже захопила замок, при повторному захопленні може збільшити це число[2].

**1.4. Порівняння спільної та розподіленої пам’яті**

Машини, що можуть проводити паралельни обчислення, можуть мати різні типи пам’яті: розподілену та спільну.

**Розподілена пам’ять**

Цей тип характеризується такими ознаками:

- кожен процесор має свій адресний простір пам’яті.

- значення змінних незалжені. На одному процесорі *x* може дорівнювати 2, і водночас в іншому — 3.

- приклади: кластера лінукс, *Blue Gene/L*.

**Спільна пам’ять**

Цей тип характерезується такими ознаками:

- також називається *Symmetric Multiprocessing (SMP)*.

- один адресний простір для всіх процесорів. Якщо один процесор присвоює *х* значення 2, то *x* дорівнює 2 на інших процесорах.

- приклади: *IBM p-series*, багатоядерні персональні комп’ютери.

**Використання різних типів пам’яті**

Декілька процесів:

- кожен процесор виконує незалежну задачу з його власним адресним пространстов пам’яті.

Декілька потоків:

- процес створює додаткові задачі (потоки) з тим самим адресним простором пам’яті[3].

**1.5. Розмір стеку та прив’язка потоків**

**Розмір стеку**

Стандарт *OpenMP* не вказує об’єм пам’яті стеку, який має мати кожен потік. Саме тому різні реалізації можуть мати різний розмір стеку.

За замовчуванням розмір стеку є досить малим. Для прикладу приведено розміри стеку та розмріи доступних масивів типу *double* в табл. 1.5.1.1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Компілятор** | **Приблизний розмір стеку** | **Приблизний розмір масиву** |
| *Linux icc, ifort* | 4 *MB* | 700 x 700 |
| *Linux pgcc, pgf90* | 8 *MB* | 1000 x 1000 |
| *Linux gcc, gfortran* | 2 *MB* | 500 x 500 |

Табл. 1.5.1.1

Потоки, які використають повністю їх стек, мають непердбачену поведінку. Вони можуть завершитись з помилкою *seg fault*, а можуть і ні. Додаток загалом може продовжувати роботу навіть попри те, що данні спотворено.

Статично злінкований код може бути опорною причиною для подальших меж об’єму стека.

Також обмеження поточного користувача можуть зменшити розмір стека.

Якщо реалізація *OpenMP* підтримує стандарт *OpenMP* 3.0, можливо використати *OMP\_STACKSIZE* змінну середовища для того, щоб задати розмір стеку для кожного потоку перед виконанням програми. Наприклад:

- *setenv OMP\_STACKSIZE 2000500B*

*- setenv OMP\_STACKSIZE “300 k “*

*- setenv OMP\_STACKSIZE 10M*

*- setenv OMP\_STACKSIZE “ 10 M “*

*- setenv OMP\_STACKSIZE “20 m “*

*- setenv OMP\_STACKSIZE “ 1G”*

*- setenv OMP\_STACKSIZE 20000*

**Прив’язка потоків**

В деяких випадках програма працює краще, якщо потоки прив’язані до процсорів/ядер.

“Прив’язка” потоку до процесора означає, що потік буде запланован операційною системою завжди запускатись на тому ж самому процесорі. Інакше, потоки можуть бути заплановані виконуватись на будь-якому процесорі та “скакати” між процесорами з кожним інтервалом часу.

Також це називається “потокова близькість” або “процесорна близкість”.

Прив’зка потоків до процесорів може привести до кращою утилізації кешей, що призвиде до зменшення дорогого доступу до пам’яті. Це головна мотивація для прив’язки потоків до процесорів.

Зважаючи на платформу, операційну систему, компілятор та *OpenMP* реалізацію, прив’язка потоків до процесорів може бути зроблена декількома різними шляхами.

*OpenMP 3.1 API* впроваджує змінні середовища для ввімкнення або вимкнення процесорної прив’язки. Наприклад:

***setenv OMP\_PROC\_BIND TRUE***

***setenv OMP\_PROC\_BIND FALSE***

На більшом високому рівні абстракії до процесорів можуть прив’язуватись процеси замість потоків.

**1.6. Нагляд, налагодження та інструменти аналізу ефективності для *OpenMP***

**Нагяд та налогодження потоків**

Налагоджувачі різняться в їхній здібності оброблювати потоки. *TotalView debugger* є рекомендованим налагоджувачем для паралельних програм. Він добре підходить водночас і для наглядом та налагодженням поточних програм.

*TotalView* має такі елементи:

1. Панель st*ack trace* головного потоку.
2. Панель для розрізнення процесів/потоків.
3. Панель stack frameголовного потоку для показу спільних змінних.
4. Панель для показу *stack trace* для неголовних потоків.
5. Панель *stack frame* для неголовних потоків.
6. Головне вікно, яке показує всі потоки.
7. Панель потоків, яка показує всі потоки та обраний потік.

Команда *ps* в лінукс забезпечує деякі прапори для просмотру інформації потоку. Деякі приклади наведено нижче:

*% ps -Lf*

UID PID PPID LWP C NLWP STIME TTY TIME CMD

blaise 22529 28240 22529 0 5 11:31 pts/53 00:00:00 a.out

blaise 22529 28240 22530 99 5 11:31 pts/53 00:01:24 a.out

blaise 22529 28240 22531 99 5 11:31 pts/53 00:01:24 a.out

blaise 22529 28240 22532 99 5 11:31 pts/53 00:01:24 a.out

blaise 22529 28240 22533 99 5 11:31 pts/53 00:01:24 a.out

% *ps -T*

**PID SPID TTY TIME CMD**

22529 22529 pts/53 00:00:00 a.out

22529 22530 pts/53 00:01:49 a.out

22529 22531 pts/53 00:01:49 a.out

22529 22532 pts/53 00:01:49 a.out

22529 22533 pts/53 00:01:49 a.out

*% ps -Lm*

PID LWP TTY TIME CMD

22529 **-** pts/53 00:18:56 a.out

**- 22529 - 00:00:00 -**

**- 22530 - 00:04:44 -**

**- 22531 - 00:04:44 -**

**- 22532 - 00:04:44 -**

**- 22533 - 00:04:44 -**

Кластера лінукс також забезпечують команду *top* для нагяду за процесами на елементі кластера. Якщо використовувати флаг *-H*, потоки, які містяться у данному процесі.

**Інструмент для аналізу ефективності**

Є великиа кількість інструментів для аналізу ефективності, які можна використати з *OpenMP*. Приклади наведено нижче:

- *Open | SpeedShop*

*- TAU*

*- PAPI*

*- Intel Vtune Amplifier*

*- ThreadSpotter*[5]

**Висновки:**

1. Виконан аналіз засобів написання програм, які використовують паралельну систему обчислення, за допомогою библіотеки *OpenMP*. Показано, що паралельність програм досягається за рахунок використання директив *#pragma omp*, що дозволяє компілювати код програми, який написан для паралельного виконаня, з компілятором, який не підтримує *OpenMP*, проте з утратою паралельності.

2. Розглянуто директиви для розпаралелення циклів та директиви для балансування навантаження при цьому. Показано, що різні задачі потребують різних стратегій навантаження: статичної, динамочної або керованої.

3. Розглянуто типи змінних в залежності від їх поведінки у різних потоках. Показано, що зміна типу змінної за допомогою спеціальних директив може змістовно змінити роботу програми.

4. Проведено аналіз систем з спільною пам’яттю та розподіленою. Показано, що використання кожного типа на відповіному йому рівні краще за використання тільки одного типу пам’ятті.

5. Наведені приклади інструментів для роботи за паралельними програми. Показано, які засоби є можливи для аналізу роботи потоків. Наведено приклади використання цих інструментів.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ПРГ1 ДЛЯ ПКС СП

**2.1. Розробка паралельного математичного алгоритму.**

Структурна схема для ПКС СП знаходиться у Додатку А.

2.2. Розроботка алгоритмів процесів.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1. Ввести Z, MO. 2. Сигнал про завершення введення до всіх потоків. 3. Чекати сигнала про завершення введення від потока . 4. Обрахувати .. 5. Обрахувати . 6. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 7. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 8. Копіювати . 9. Обрахувати . 10. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 11. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 12. Обрахувати 13. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 14. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 15. Обрахувати . 16. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 17. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 18. Обрахувати . 19. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 20. Вивести . |  | 1. Чекати сигнала про завершення введення від та . 2. Обрахувати. 3. Обрахувати . 4. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 5. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 6. Копіювати . 7. Обрахувати . 8. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 9. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 10. Обрахувати 11. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 12. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 13. Обрахувати . 14. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 15. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 16. Обрахувати . 17. Сигнал про завершення обрахунку до . |  |

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Ввести E, S, MT. 2. Сигнал про завершення введення до всіх потоків. 3. Чекати сигнала про завершення введення від потока . 4. Обрахувати .. 5. Обрахувати . 6. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 7. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 8. Копіювати . 9. Обрахувати . 10. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 11. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 12. Обрахувати . 13. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 14. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 15. Обрахувати . 16. Сигнал про завершення обрахунку до всіх потоків. 17. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 18. Обрахувати . 19. Чекати сигнал про завершення обрахунку від всіх потоків. 20. Вивести . |  |

2.3. Розробка схеми взаємодії процесів

Схема взаємодії процесів для ПКС СП знаходиться у Додатку В.

Критичні секції zUpdate та dataCopy використовуються для доступу к спільним ресурсам. При цьому zUpdate використовується, як для читання, так і для запису в змінну z. Критична секція dataCopy використовується лише для читання зі змінних z, E, MO.

Наступний бар’єр потрібен для синхронізації потоків після вводу данних.

Наступний *for* використовується для обрахунку максимального *z.*

Наступний бар’єр потрібен для синхронізації потоків після обрахунку максимального z.

Наступний *for* обчислення результату множення матриць.

Наступний бар’єр потрібен для синхронізації потоків після обчислення результата множення матриць.

Секція s*ingle* використовується для сортування вектору *S*.

Наступний бар’єр, потрібен для синхронізації потоків після сортування вектору S.

Кінець паралельної секції (*parallel end*) потрібен для синхронізації потоків для виводу результату загальної задачі.

2.4. Розробка програми ПРГ1

Вхідні данні: Z, MO, E, S, MT.

Вихідні данні: A.

Тимчасові данні: z, B, C.

mval — максимальне значення серед .

z — максимальне значення серед Z.

MO1, E1, z1 — копії MO, E та z для обробки потоком відповідно.

X — елемент матриці, яка є результатом множення MO та MT.

C — відсортований S.

ind — масив індексів для сортування цільного масиву S.

mini — індекс частини S, яка має максимальний елемент у місці, вказаному індексом масиву ind.

ReadArr — функція для створення масиву заданої довжини, заповненого одиницями.

ReadVec — створення масиву довжиною N, заповненого одиницями.

ReadMat — створення масиву довжиною N\*N, заповненого одиницями.

Arrcpy — функція для копіювання значень з іншого масиву заданої довжини.

Veccpy — функція для копіювання масиву довжиною N.

Matcpy — функція для копіювання масиву довжиною N\*N.

get\_timestamp — функція для отримання поточного часу.

2.5. Тестування програми ПРГ1

Таблиця 2.1 Час виконання програми для ПРГ1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | T1 | T10 | T20 | T30 | T40 |
| 960 | 4.61 | 0.6987 | 0.479 | 0.4559 | 0.4723 |
| 1920 | 49.44 | 7.1341 | 4.1266 | 4.104 | 4.0984 |
| 2880 | 212.46 | 25.5548 | 14.4855 | 15.5079 | 14.5219 |

Таблиця 2.2 Значення Кп для ПРГ1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | Кількість процесорів (P) | | | | |
| 1 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 960 | 1 | 6.6 | 9.63 | 10.12 | 9.77 |
| 1920 | 1 | 6.93 | 11.98 | 12.05 | 12.09 |
| 2880 | 1 | 8.31 | 14.67 | 13.7 | 14.63 |

Таблиця 2.3 Значення Ке для ПРГ1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | Кількість процесорів (P) | | | | |
| 1 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 960 | 100 | 66 | 48.15 | 33.73 | 24.43 |
| 1920 | 100 | 69.3 | 59.9 | 40.17 | 30.23 |
| 2880 | 100 | 83.1 | 73.35 | 45.67 | 35.16 |

В таблиці 2.1 наведені часи виконання програми ПРГ1 за різних N та P.

В таблиці 2.2 наведені коефіцієнти прискорення програми ПРГ1 за різних N та P.

В таблиці 2.3 наведені коефіцієнти ефективності програми ПРГ1 за різних N та P.

На Рис. 2.4 наведен графік залежності коефіцієнта прискорення від кількості ядер при різному N.

Рис 2.4 Программа ПРГ1. Графік зміни коефіцієнту прискорення Кп в залежності від кількості ядер

2.6. Висновки до розділу 2

Виконано розробку програми ПРГ1 для ПКС ОП з використанням мови C++ та засобів синхронізації бібліотеки openMP. Тестування програми показало наступне:

* використання багатоядерної ПКС та програми ПРГ1 забезпучує скорочення часу обчислення заданої математичної задачі. Значення Кп лежить в межах 6,6 та 14,67;
* максимальне значення Кп забезпечує ПКС з P=20 та N=2880;
* мінімальне значення Кп забезпечує ПКС з P=10 та N=960;
* з ростом N зміна Ку є додатковою;
* з ростом P зміна Ку є від’ємною;
* використання від 15 до 25 процесорів є оптимальним.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ПРГ2 ДЛЯ ПКС ЛП

**3.1. Розробка паралельного математичного алгоритму.**

Структурна схема ПКС ЛП наведена у Додатку Б.

3.2. Розроботка алгоритмів процесів.

Сортвуання та пошук максимума на останньому етапі прохродять у одному або в двох (в залежності від парності половини кількості процесорів) центральних процесах. Хай , тоді якщо quarter — непарна кількість, то центральний процес - , інакше центральні процеси - та .

Результати сортвуання та пошуку максимума, та , приходять з центрального процесу. Коли центральних процесів два, результат приходить з ближчого. Алгоритм визначення процесу, з якого приходить результати, чітко визначений і для того, щоб описувати його в кожному потоці, введемо поток , який буде найближчим центральним процесом, та , які є центральними процесами у випадку, коли їх два.

В залежності від розташування процесу визначається напрям передачі результатів. Для i < mid: i <= quarter, dir = 1, для i > quarter, dir = -1. З допомогою напрямо можливо визначити індекс попередьного та наступного процесів у ланцюгу передачі результатів. Це відповідно та . Для i >= mid процеси мають один напрям передачі.

Розмірність масиву C сожним кроком збільшуеться. У поток передається масив з розмірністю залежною від i. Якщо i <= quarter, то передається . Якщо i > quarter та i < mid, то передається. Для спрощення хай до передається .

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1. Ввести Z, MO, E, S, MT. 2. Сигнал з передачою та до всіх потоків. 3. Обрахувати .. 4. Обрахувати 5. Чекати сигналу з та з 6. Обрахувати 7. Обрахувати 8. Сигнал з передачею та до 9. Чекати сигналу з z та з 10. Сигнал з, та до всіх потоків. 11. Копіювати 12. Обрахувати 13. Сигнал здо |  | 1. Чекати сигнал з передачою та з . 2. Обрахувати. 3. Обрахувати 4. Чекати сигналу з та з 5. Чекати сигналу з та з 6. Обрахувати 7. Обрахувати 8. Сигнал з передачею та до 9. Чекати сигналу з z та з 10. Чекати сигналу з з . 11. Обрахувати . 12. Сигнал здо |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1. Чекати сигнал з передачою та з . 2. Обрахувати .. 3. Обрахувати 4. Чекати сигналу з та з 5. Чекати сигналу з та з 6. Чекати сигналу з та з 7. Обрахувати 8. Обрахувати 9. Сигнал з передачею та до всіх потоків. 10. Чекати сигналу з з . 11. Обрахувати 12. Сигнал здо |  | 1. Чекати сигнал з передачою та з . 2. Обрахувати. 3. Обрахувати 4. Чекати сигналу з та з 5. Чекати сигналу з та з 6. Обрахувати 7. Обрахувати 8. Сигнал з передачею та до 9. Чекати сигнал з передачею та з 10. Обрахувати 11. Обрахувати 12. Сигнал з передачею та до всіх потоків 13. Чекати сигналу з з . 14. Обрахувати . 15. Сигнал здо |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1. Чекати сигнал з передачою та з . 2. Обрахувати .. 3. Обрахувати 4. Чекати сигналу з та з 5. Обрахувати 6. Обрахувати 7. Сигнал з передачею та до 8. Чекати сигналу з z та з 9. Чекати сигналу з з . 10. Обрахувати 11. Чекти сигнал зз усіх потоків. 12. Вивести A. |  | 1. Чекати сигнал з передачою та з . 2. Обрахувати .. 3. Обрахувати 4. Сигнал з передачею та до 5. Чекати сигналу з z та з 6. Чекати сигналу з з . 7. Обрахувати 8. Сигнал здо |  |

**3.3. Розробка схеми взаємодії процесів**

Cхема взаємодії процесів для ПКС ЛП знаходиться у Додатку Г.

Процес Ti, де i >= mid взаємодіє лише з потоками: T(i-mid), T1, Tc та Tmid. З T1 він отримує вхідні данні, до T(i-mid) та з Tc він відповідно посилає та отримує відсортований Sh та zMax. До Tmid він посилає Ah.

Процес Ti, де i > 1, i < mid — 1, i != c, отримує відсоровані Sh та zMax з T(i-dir) та T(i+mid) та посилає ці та свій Sh та zMax до T(i+dir). З T1, Tc та Tmid працює таким самим чином, як і Ti, де i >=mid.

2.4. Розробка програми ПРГ2

Вхідні данні: Z, MO, E, S, MT.

Вихідні данні: A.

Тимчасові данні: z, B, C.

mid=[P/2], quarter = [mid/2]

graph\_comm, topo\_comm — комутатори для основного графу та взяття інформації про граф.

mpiRun — процедура запуску обчислень.

maxSort — процедура непаралельного знаходження максимума та сортування.

mergeSend — збору відсортованих частин масиву та локальних максимумів.

mergeN — фукнція для спільного сортування N відсортованих масивів.

index, edges — масиви для задання кількості суміжних ребер, початків та кінців ребер графа.

initVectror, initMatrix — читання векторів та матриць.

Ei, Moi, Mth, Sh, Ah — данні для обчислень у конкретному потоці.

ZH\_SENDING — мітка передачі Zh при знаходженні максимума.

SH\_SENDING — мітка передачі Sh при сортуванні.

MAX\_Z - мітка при передачі локального максимума.

SORTED\_S — мітка при передачі відсортованої частини.

PART\_C — мітка при передачі частини C.

TOTAL\_MAX\_Z — мітка при передачі занального максимума.

E\_SENDING — мітка при передачі E.

MO\_SENDING — мітка при передачі MO.

MTH\_SENDING — мітка при передачі частини MT.

AH\_SENDING — мітка при передачі частини A.

2.5. Тестування програми ПРГ2

Таблиця 3.1 Час виконання програми для ПРГ2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | T1 | T10 | T20 | T30 | T40 |
| 960 | 4.37 | 0.5345 | 0.6229 | 0.4964 | 0.4427 |
| 1920 | 46.81 | 5.9212 | 5.3042 | 4.3175 | 4.3098 |
| 2880 | 201.13 | 25.5474 | 16.9096 | 16.5257 | 16.4143 |

Таблиця 3.2 Значення Кп для ПРГ1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | Кількість процесорів (P) | | | | |
| 1 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 960 | 1 | 8.63 | 7.41 | 9.29 | 10.42 |
| 1920 | 1 | 8.35 | 9.32 | 11.45 | 11.47 |
| 2880 | 1 | 8.32 | 12.56 | 12.86 | 12.94 |

Таблиця 3.3 Значення Ке для ПРГ1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | Кількість процесорів (P) | | | | |
| 1 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 960 | 100 | 86.3 | 37.05 | 37.67 | 26.05 |
| 1920 | 100 | 83.5 | 46.6 | 38.17 | 28.88 |
| 2880 | 100 | 83.2 | 62.8 | 42.67 | 32.35 |

В таблиці 3.1 наведені часи виконання програми ПРГ1 за різних N та P.

В таблиці 3.2 наведені коефіцієнти прискорення програми ПРГ1 за різних N та P.

В таблиці 3.3 наведені коефіцієнти ефективності програми ПРГ1 за різних N та P.

На Рис. 3.4 наведен графік залежності коефіцієнта прискорення від кількості ядер при різному N.

Рис 3.4 Программа ПРГ2. Графік зміни коефіцієнту прискорення Кп в залежності від кількості ядер

2.6. Висновки до розділу 3

Виконано розробку програми ПРГ2 для ПКС ЛП з використанням мови C++ та засобів синхронізації бібліотеки MPI. Тестування програми показало наступне:

* використання багатоядерної ПКС та програми ПРГ2 забезпучує скорочення часу обчислення заданої математичної задачі. Значення Кп лежить в межах 8,32 та 12,94;
* максимальне значення Кп забезпечує ПКС з P=40 та N=2880;
* мінімальне значення Кп забезпечує ПКС з P=10 та N=2880;
* з ростом N зміна Ку є додатковою для всіх P крім 10;
* з ростом P зміна Ку є від’ємною;
* використання від 15 до 25 процесорів є оптимальним для N=2880, від 25 до 35 для N=1920 та від 35 до 45 для N=960.

4. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ

Виконано розробку програми ПРГ1 для ПКС ОП з використанням мови C++ та засобів синхронізації бібліотеки openMP та програми ПРГ2 для ПКС ЛП з використанням мови C++ та засобів синхронізації бібліотеки MP. Тестування програм показало наступне:

* використання багатоядерної ПКС з програми ПРГ1 або ПРГ2 забезпучує скорочення часу обчислення заданої математичної задачі. Діапазон значень Кп для ПРГ1 є більшим за діапазон для ПРГ2, а середні значення приблизно однакові. Це показує, що *openMP* ефективніший при великих P та N, а MPI при малих;
* максимальне значення Кп забезпечує ПКС з більшим N та великим P;
* мінімальне значення Кп забезпечує ПКС з P=10, для ПРГ2 при великому N, для ПРГ1 — при малому;
* з ростом N зміна Ку є додатковою;
* з ростом P зміна Ку є від’ємною;
* використання від 15 до 25 процесорів є оптимальним для ПРГ1, діапазон змінюється в залженості від N для ПРГ2;
* в середньому абсолютний час виконання програми більший для ПРГ2. Також на ПРГ2 більше впливає збільшення N та P, проте на малих N та P дає кращі результати.

5. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kos66, Введение в OpenMP: параллельное программирование на C++ // Intel Developer Zone, 2011. [Електорнний ресурс] — Режим доступу: <https://software.intel.com/ru-ru/blogs/2011/11/21/openmp-c>
2. Что такое OpenMP? // Лаборатория Паралельніх Информационних Технологий, НИВЦ МГУ. [Електорнний ресурс] — Режим доступу: https://parallel.ru/tech/tech\_dev/openmp.html
3. Sondak D. Parallel Processing with OpenMP // Boston University, Scientific Computing and Visualization Office of Information Technology. [Електорнний ресурс] — Режим доступу: <http://www.compunity.org/training/tutorials/openmp_Boston.pdf>
4. Blaise B. OpenMP // Lawrence Livermore National Laboratory. [Електорнний ресурс] — Режим доступу: <https://computing.llnl.gov/tutorials/openMP/>

ДОДАТОК А

Структурна схема ПКС СП

Рис. 2.1. Структура ПКС ОП

Пристрої

вводу-виводу

СП

Z, MO, A

1

E, S, MT

P

Пристрої

вводу-виводу

СП

Z, MO, A

1

E, S, MT

P

ДОДАТОК Б

Структурна схема ПКС ЛП

Рис. 3.1. Структура ПКС ЛП

Пристрії

вводу

P/2+1

1

P

P/2

Z, MO, E, S, MT

A

Пристрії

виводу

Пристрії

вводу

P/2+1

1

P

P/2

Z, MO, E, S, MT

A

Пристрії

виводу

ДОДАТОК В

Схема алгоритму програми ПРГ1

parallel num\_threads(P)

Читання Z та MO

Читання E, S та MT

barrier

barrier

critical(zUpdate)

critical(dataCopy)

for

barrier

for

barrier

single

for

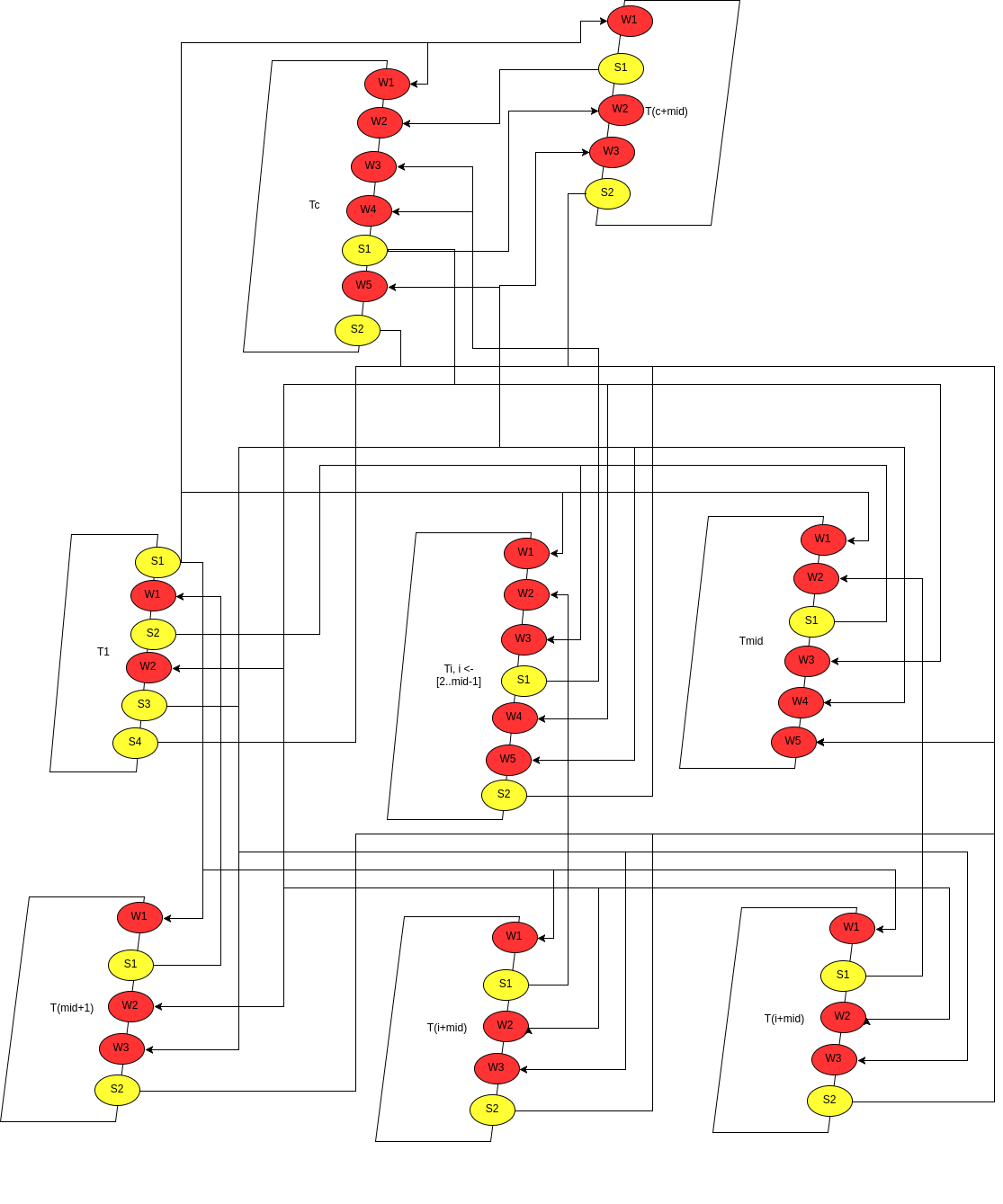
barrier

parallel end

Виведення А

ДОДАТОК Г

Схема алгоритму програми ПРГ2

  
Рисунок 3.2. Схема взаємодії потоків

ДОДАТОК Ґ

Лістінг ПРГ1

1 /\*

2 // main

3 // Author:

4 // Dzyuba Vlad, IP-42

5 \*/

6 #include <iostream>

7 #include <omp.h>

8 #include <string.h>

9 #include <stdlib.h>

10 #include <sys/time.h>

11

12 typedef unsigned long long timestamp\_t;

13

14 timestamp\_t get\_timestamp () {

15 struct timeval now;

16 gettimeofday (&now, NULL);

17 return now.tv\_usec + (timestamp\_t)now.tv\_sec \* 1000000;

18 }

19

20 using namespace std;

21

22 int N, P, H;

23

24 // functions for generating structures

25 int\* readVec();

26 int\* readMat();

27 // functions for copying structures

28 int\* veccpy(int \*src);

29 int\* matcpy(int \*src);

30

31 int main(int argc, char\* argv[]) {

32 N = atoi(argv[1]);

33 P = atoi(argv[2]);

34 H = N / P;

35 // input data

36 int \*Z, \*MO, \*E, \*S, \*MT;

37 // output data

38 int \*A = new int[N];

39

40 // intermidiate data

41 int z = -65536, \*B = new int[N], \*C = new int[N];

42 timestamp\_t startTime = get\_timestamp();

43 #pragma omp parallel num\_threads(P)

44 {

45 int tid = omp\_get\_thread\_num();

46 // generate data if first or last thread

47 if (tid == 0) {

48 Z = readVec();

49 MO = readMat();

50 }

51 if (tid == P - 1) {

52 E = readVec();

53 S = readVec();

54 MT = readMat();

55 }

56 // finding maximum of Z

57 #pragma omp barrier

58 for (int i = 0; i < P; i++) {

59 int mval = Z[i\*H];

60 for (int j = i\*H+1; j < (i+1)\*H; j++) {

61 mval = Z[j] > mval ? Z[j] : mval;

62 }

63 #pragma omp critical(zUpdate)

64 if (mval > z) {

65 z = mval;

66 }

67 }

68 #pragma omp barrier

69 // calculating B

70 int \*MO1, \*E1, z1;

71 #pragma omp critical(dataCopy)

72 {

73 MO1 = matcpy(MO);

74 E1 = veccpy(E);

75 z1 = z;

76 }

77 #pragma omp for

78 for (int i = 0; i < P; i++) {

79 for (int j = i \* H; j < (i + 1) \* H; j++) {

80 B[j] = 0;

81 for (int k = 0; k < N; k++) {

82 int x = 0;

83 for (int l = 0; l < N; l++) {

84 x += MO1[k\*N+l] \* MT[l\*N+j];

85 }

86 B[j] += x \* E1[k];

87 }

88 B[j] \*= z1;

89 }

90 }

91 #pragma omp barrier

92 // sorting parts of S

93 #pragma omp for

94 for (int i = 0; i < P; i++) {

95 for (int j = 1; j < H; j++) {

96 for (int k = i \* H; k < (i + 1) \* H - j; k++) {

97 if (S[k] > S[k + 1]) {

98 int x = S[k];

99 S[k] = S[k + 1];

100 S[k + 1] = x;

101 }

102 }

103 }

104 }

105 #pragma omp barrier

106 // sorting whole S and stores itto C

107 #pragma omp single

108 {

109 int\* ind = new int[N];

110 for (int i = 0; i < N; i++) {

111 ind[i] = 0;

112 }

113 for (int i = 0; i < N; i++) {

114 int mini = -1;

115 for (int j = 0; j < N; j++) {

116 if (ind[j] < N) {

117 if (mini == -1 || S[ind[j]] < S[ind[mini]]) {

118 mini = j;

119 }

120 }

121 }

122 C[i] = S[ind[mini]];

123 ind[mini]++;

124 }

125 }

126 #pragma omp barrier

127 // calculating A

128 #pragma omp for

129 for (int i = 0; i < N; i++) {

130 A[i] = B[i] + C[i];

131 }

132 }

133 // print A

134 if (N <= 20) {

135 for (int i = 0; i < N; i++) {

136 cout << A[i] << " ";

137 }

138 cout << endl;

139 } else {

140 timestamp\_t endTime = get\_timestamp();

141 cout << (endTime - startTime) / 1000000.0 << endl;

142 }

143 delete[] A;

144 }

145

146 int\* readArr(int n) {

147 int\* res = new int[n];

148 for (int i = 0; i < n; i++) {

149 res[i] = 1;

150 }

151 return res;

152 }

153

154 int\* readVec() { return readArr(N); }

155 int\* readMat() { return readArr(N\*N); }

156

157 int\* arrcpy(int \*src, int n) {

158 int \*res = new int[n];

159 for (int i = 0; i < n; i++) {

160 res[i] = src[i];

161 }

162 return res;

163 }

164

165 int\* veccpy(int \*src) { return arrcpy(src, N); }

166 int\* matcpy(int \*src) { return arrcpy(src, N \* N); }

ДОДАТОК Д

Лістінг ПРГ2

1 #include <iostream>

2 #include <mpi.h>

3 #include <string.h>

4 #include <stdlib.h>

5 #include <sys/time.h>

6

7 using namespace std;

8

9 typedef unsigned long long timestamp\_t;

10

11 timestamp\_t get\_timestamp () {

12 struct timeval now;

13 gettimeofday (&now, NULL);

14 return now.tv\_usec + (timestamp\_t)now.tv\_sec \* 1000000;

15 }

16

17 #define EDGE\_COUNT (2 \* (P - 1))

18 #define ZH\_SENDING 0

19 #define SH\_SENDING 1

20 #define MAX\_Z 2

21 #define SORTED\_S 3

22 #define PART\_C 4

23 #define TOTAL\_MAX\_Z 5

24 #define E\_SENDING 6

25 #define MO\_SENDING 7

26 #define MTH\_SENDING 8

27 #define AH\_SENDING 9

28

29 void mpiRun(MPI\_Comm &graph\_comm, MPI\_Comm &topo\_comm, int\* index, int\* edges);

30 void mergeSend(int rank, MPI\_Comm graph\_comm, int \*Z, int \*S, int \*maxZ);

31 void maxSort(int &maxZ, int\* Z, int\* S);

32 int\* mergeN(int n, int lengths[], int\* arrays[]);

33

34 int N;

35 int P;

36 int H;

37 int mid;

38 int quarter;

39

40 int main(int argc, char\* argv[]) {

41 MPI\_Init(&argc, &argv);

42 MPI\_Comm\_size(MPI\_COMM\_WORLD, &P);

43 N = atoi(argv[1]);

44 H = N / P;

45 mid = P / 2;

46 quarter = mid / 2;

47

48 MPI\_Comm graph\_comm, topo\_comm;

49 int\* index = new int[P];

50 int\* edges = new int[EDGE\_COUNT];

51

52 mpiRun(graph\_comm, topo\_comm, index, edges);

53

54 MPI\_Finalize();

55 delete[] index;

56 delete[] edges;

57 }

58

59 int\* initVector(int n) {

60 int \*res = new int[n];

61 for (int i = 0; i < n; i++) {

62 res[i] = 1;

63 }

64 return res;

65 }

66

67 int\* initMatrix(int n) {

68 return initVector(n \* n);

69 }

70

71 void mpiRun(MPI\_Comm &graph\_comm, MPI\_Comm &topo\_comm, int\* index, int\* edges) {

72 timestamp\_t startTime = get\_timestamp();

73 index[0] = 2;

74 for (int i = 1; i < mid - 1; i++) {

75 index[i] = index[i - 1] + 3;

76 }

77 index[mid - 1] = index[mid - 2] + 2;

78

79 for (int i = mid; i < P; i++) {

80 index[i] = index[i - 1] + 1;

81 }

82

83 for (int i = 0; i < mid - 1; i++) {

84 edges[i \* 2] = i;

85 edges[i \* 2 + 1] = i + 1;

86 edges[i \* 2 + 2] = i;

87 edges[i \* 2 + 3] = mid + i;

88 }

89 edges[EDGE\_COUNT - 2] = mid - 1;

90 edges[EDGE\_COUNT - 2] = P - 1;

91

92 MPI\_Graph\_create(MPI\_COMM\_WORLD, P, index, edges, 0, &graph\_comm);

93

94 MPI\_Comm\_dup(graph\_comm, &topo\_comm);

95

96 int topo\_type;

97 MPI\_Topo\_test(topo\_comm, &topo\_type);

98

99 if (topo\_type != MPI\_GRAPH) {

100 cout << "Topo type error" << endl;

101 return;

102 }

103

104 int rank;

105 MPI\_Comm\_rank(graph\_comm, &rank);

106

107 int H = N / P;

108 MPI\_Status status;

109 int maxZ, \*Ei, \*MOi, \*MTh, \*Sh, \*Ah;

110 Ei = new int[N];

111 MOi = new int[N\*N];

112 MTh = new int[N\*H];

113 Sh = new int[H];

114 Ah = new int[H];

115 if (rank == 0) {

116 int \*Z, \*E, \*MO, \*MT, \*S;

117 Z = initVector(N);

118 E = initVector(N);

119 MO = initMatrix(N);

120 MT = initMatrix(N);

121 S = initVector(N);

122

123 for (int i = 1; i < P; i++) {

124 MPI\_Send(Z + i \* H, H, MPI\_INT, i, ZH\_SENDING, graph\_comm);

125 MPI\_Send(S + i \* H, H, MPI\_INT, i, SH\_SENDING, graph\_comm);

126 }

127

128 maxSort(maxZ, Z, S);

129 mergeSend(rank, graph\_comm, Z, S, &maxZ);

130

131 for (int i = 1; i < P; i++) {

132 MPI\_Send(E, N, MPI\_INT, i, E\_SENDING, graph\_comm);

133 MPI\_Send(MO, N \* N, MPI\_INT, i, MO\_SENDING, graph\_comm);

134 MPI\_Send(MT + i \* H \* N, H \* N, MPI\_INT, i, MTH\_SENDING, graph\_comm);

135 }

136

137 for (int i = 0; i < H; i++) {

138 Sh[i] = S[i];

139 }

140 for (int i = 0; i < N; i++) {

141 Ei[i] = E[i];

142 }

143 for (int i = 0; i < N \* N; i++) {

144 MOi[i] = MO[i];

145 }

146 for (int i = 0; i < N \* H; i++) {

147 MTh[i] = MT[i];

148 }

149

150 delete[] Z;

151 delete[] E;

152 delete[] MO;

153 delete[] MT;

154 delete[] S;

155 } else {

156 int \*Z, \*S;

157 Z = new int[H];

158 S = new int[H];

159 MPI\_Recv(Z, H, MPI\_INT, 0, ZH\_SENDING, graph\_comm, &status);

160 MPI\_Recv(S, H, MPI\_INT, 0, SH\_SENDING, graph\_comm, &status);

161

162 maxSort(maxZ, Z, S);

163

164 int rank1 = rank < mid ? rank : rank - mid;

165 int sourceRank = (mid & 1) ? quarter : rank1 < quarter ? quarter - 1 : quarter;

166

167 if (rank < mid) {

168 mergeSend(rank, graph\_comm, Z, S, &maxZ);

169 for (int i = 0; i < H; i++) {

170 Sh[i] = S[i];

171 }

172 } else {

173 MPI\_Send(&maxZ, 1, MPI\_INT, rank - mid, MAX\_Z, graph\_comm);

174 MPI\_Send(S, H, MPI\_INT, rank - mid, SORTED\_S, graph\_comm);

175

176 MPI\_Recv(&maxZ, 1, MPI\_INT, sourceRank, TOTAL\_MAX\_Z, graph\_comm, &status);

177 MPI\_Recv(Sh, H, MPI\_INT, sourceRank, PART\_C, graph\_comm, &status);

178 }

179 delete[] Z;

180 delete[] S;

181

182 MPI\_Recv(Ei, N, MPI\_INT, 0, E\_SENDING, graph\_comm, &status);

183 MPI\_Recv(MOi, N \* N, MPI\_INT, 0, MO\_SENDING, graph\_comm, &status);

184 MPI\_Recv(MTh, H \* N, MPI\_INT, 0, MTH\_SENDING, graph\_comm, &status);

185 }

186

187 for (int i = 0; i < H; i++) {

188 Ah[i] = Sh[i];

189 for (int j = 0; j < N; j++) {

190 int mot = 0;

191 for (int k = 0; k < N; k++) {

192 mot += MOi[k \* N + j] \* MTh[i \* N + k];

193 }

194 Ah[i] += maxZ \* mot \* Ei[j];

195 }

196 }

197

198

199 if (rank == mid - 1) {

200 int \*A = new int[N];

201 for (int i = 0; i < H; i++) {

202 A[(mid - 1) \* H + i] = Ah[i];

203 }

204 for (int i = 0; i < P; i++) {

205 if (i != mid - 1) {

206 MPI\_Recv(A + i \* H, H, MPI\_INT, i, AH\_SENDING, graph\_comm, &status);

207 }

208 }

209 if (N <= 20) {

210 for (int i = 0; i < N; i++) {

211 cout << A[i] << " ";

212 }

213 cout << endl;

214 } else {

215 timestamp\_t endTime = get\_timestamp();

216 cout << (endTime - startTime) / 1000000.0 << endl;

217

218 }

219 delete[] A;

220 } else {

221 MPI\_Send(Ah, H, MPI\_INT, mid - 1, AH\_SENDING, graph\_comm);

222 }

223

224 delete[] Ei;

225 delete[] MOi;

226 delete[] MTh;

227 delete[] Sh;

228 }

229

230 void maxSort(int &maxZ, int\* Z, int\* S) {

231 maxZ = -2000000000;

232 for (int i = 0; i < H; i++) {

233 if (Z[i] > maxZ) {

234 maxZ = Z[i];

235 }

236 }

237

238 for (int i = H; i > 1; i--) {

239 for (int j = 1; j < i; j++) {

240 if (S[j - 1] > S[j]) {

241 int c = S[j - 1];

242 S[j - 1] = S[j];

243 S[j] = c;

244 }

245 }

246 }

247 }

248

249 void mergeSend(int rank, MPI\_Comm graph\_comm, int \*Z, int \*S, int \*maxZP) {

250 int maxZ = \*maxZP;

251 MPI\_Status status;

252 int maxAnotherZ;

253 MPI\_Recv(&maxAnotherZ, 1, MPI\_INT, rank + mid, MAX\_Z, graph\_comm, &status);

254 if (maxAnotherZ > maxZ) {

255 maxZ = maxAnotherZ;

256 }

257

258 int\* sortedS2 = new int[H];

259 MPI\_Recv(sortedS2, H, MPI\_INT, rank + mid, SORTED\_S, graph\_comm, &status);

260

261 int targetRank = rank < quarter ? rank + 1 : rank - 1;

262 int sourceRank = 2 \* rank - targetRank;

263

264 if (rank < mid - 1 && rank > 0) {

265 MPI\_Recv(&maxAnotherZ, 1, MPI\_INT, sourceRank, MAX\_Z, graph\_comm, &status);

266 if (maxAnotherZ > maxZ) {

267 maxZ = maxAnotherZ;

268 }

269 int sortedSSize = (rank < quarter ? 2 \* rank : 2 \* (mid - 1 - rank)) \* H;

270 int\* sortedS3 = new int[sortedSSize];

271 MPI\_Recv(sortedS3, sortedSSize, MPI\_INT, sourceRank,

272 SORTED\_S, graph\_comm, &status);

273

274 if ((mid & 1) == 1 && rank == quarter) {

275 int maxAnotherZ;

276 MPI\_Recv(&maxAnotherZ, 1, MPI\_INT, targetRank, MAX\_Z, graph\_comm, &status);

277 if (maxAnotherZ > maxZ) {

278 maxZ = maxAnotherZ;

279 }

280 int \*sortedS4 = new int[sortedSSize];

281 MPI\_Recv(sortedS4, sortedSSize, MPI\_INT, targetRank, SORTED\_S, graph\_comm, &status);

282

283 int lengths[] = { H, H, sortedSSize, sortedSSize };

284 int\* arrays[] = { S, sortedS2, sortedS3, sortedS4 };

285 int \*merged = mergeN(4, lengths, arrays);

286

287 for (int i = 0; i < P; i++) {

288 if (i != rank) {

289 \*maxZP = maxZ;

290 MPI\_Send(maxZP, 1, MPI\_INT, i, TOTAL\_MAX\_Z, graph\_comm);

291 MPI\_Send(merged + i \* H, H, MPI\_INT, i, PART\_C, graph\_comm);

292 }

293 }

294

295 for (int i = 0; i < H; i++) {

296 S[i] = merged[i + rank \* H];

297 }

298

299 delete[] merged;

300 delete[] sortedS4;

301 return;

302 }

303 int mergedSize = sortedSSize + 2 \* H;

304 int\* merged;

305 int lengths[] = { H, H, sortedSSize };

306 int\* arrays[] = { S, sortedS2, sortedS3 };

307 merged = mergeN(3, lengths, arrays);

308 int anotherMaxZ;

309

310 if ((mid & 1) == 0 && (rank == quarter - 1 || rank == quarter)) {

311 int maxAnotherZ;

312 int \*sortedS2 = new int[mid \* H];

313

314 if (rank == quarter) {

315 MPI\_Send(&anotherMaxZ, 1, MPI\_INT, targetRank, MAX\_Z, graph\_comm);

316 MPI\_Send(merged, mergedSize, MPI\_INT, targetRank, SORTED\_S, graph\_comm);

317

318 MPI\_Recv(&maxAnotherZ, 1, MPI\_INT, targetRank, MAX\_Z, graph\_comm, &status);

319 if (maxAnotherZ > maxZ) {

320 maxZ = maxAnotherZ;

321 }

322 MPI\_Recv(sortedS2, mid \* H, MPI\_INT, targetRank, SORTED\_S, graph\_comm, &status);

323

324 } else {

325 MPI\_Recv(&maxAnotherZ, 1, MPI\_INT, targetRank, MAX\_Z, graph\_comm, &status);

326 if (maxAnotherZ > maxZ) {

327 maxZ = maxAnotherZ;

328 }

329 MPI\_Recv(sortedS2, mid \* H, MPI\_INT, targetRank, SORTED\_S, graph\_comm, &status);

330

331 MPI\_Send(&anotherMaxZ, 1, MPI\_INT, targetRank, MAX\_Z, graph\_comm);

332 MPI\_Send(merged, mergedSize, MPI\_INT, targetRank, SORTED\_S, graph\_comm);

333 }

334

335 int\* totalS;

336 int lengths[] = { mid \* H, mid \* H };

337 int\* arrays[] = { merged, sortedS2 };

338 totalS = mergeN(2, lengths, arrays);

339 \*maxZP = maxZ;

340 if (rank == quarter - 1) {

341 for (int i = 0; i < quarter - 1; i++) {

342 MPI\_Send(maxZP, 1, MPI\_INT, i, TOTAL\_MAX\_Z, graph\_comm);

343 MPI\_Send(totalS + i \* H, H, MPI\_INT, i, PART\_C, graph\_comm);

344 }

345 for (int i = mid; i < mid + quarter; i++) {

346 MPI\_Send(maxZP, 1, MPI\_INT, i, TOTAL\_MAX\_Z, graph\_comm);

347 MPI\_Send(totalS + i \* H, H, MPI\_INT, i, PART\_C, graph\_comm);

348 }

349 } else {

350 for (int i = quarter + 1; i < mid; i++) {

351 MPI\_Send(maxZP, 1, MPI\_INT, i, TOTAL\_MAX\_Z, graph\_comm);

352 MPI\_Send(totalS + i \* H, H, MPI\_INT, i, PART\_C, graph\_comm);

353 }

354 for (int i = mid + quarter; i < P; i++) {

355 MPI\_Send(maxZP, 1, MPI\_INT, i, TOTAL\_MAX\_Z, graph\_comm);

356 MPI\_Send(totalS + i \* H, H, MPI\_INT, i, PART\_C, graph\_comm);

357 }

358 }

359 for (int i = 0; i < H; i++) {

360 S[i] = totalS[i + rank \* H];

361 }

362

363 delete[] merged;

364 delete[] totalS;

365 delete[] sortedS2;

366 return;

367 }

368 MPI\_Send(&anotherMaxZ, 1, MPI\_INT, targetRank, MAX\_Z, graph\_comm);

369 MPI\_Send(merged, mergedSize, MPI\_INT, targetRank, SORTED\_S, graph\_comm);

370

371 delete[] sortedS3;

372 } else {

373 int lengths[] = { H, H };

374 int\* arrays[] = { S, sortedS2 };

375 int\* merged = mergeN(2, lengths, arrays);

376 \*maxZP = maxZ;

377 MPI\_Send(maxZP, 1, MPI\_INT, targetRank, MAX\_Z, graph\_comm);

378 MPI\_Send(merged, 2 \* H, MPI\_INT, targetRank, SORTED\_S, graph\_comm);

379

380 delete[] merged;

381 }

382 delete[] sortedS2;

383

384 int sortedSourceRank = (mid & 1) == 0

385 ? rank < quarter ? quarter - 1 : quarter

386 : quarter;

387 MPI\_Recv(maxZP, 1, MPI\_INT, sortedSourceRank, TOTAL\_MAX\_Z, graph\_comm, &status);

388 MPI\_Recv(S, H, MPI\_INT, sortedSourceRank, PART\_C, graph\_comm, &status);

389 }

390

391 int\* mergeN(int n, int lengths[], int\* arrays[]) {

392 int\* coeffs = new int[n];

393 int totalLength = 0;

394 for (int i = 0; i < n; i++) {

395 coeffs[i] = 0;

396 totalLength += lengths[i];

397 }

398 int\* merged = new int[totalLength];

399

400 for (int i = 0; i < totalLength; i++) {

401 int max\_i = -1;

402 int max;

403 for (int j = 0; j < n; j++) {

404 if (coeffs[j] < lengths[j] && (max\_i == -1 || arrays[j][coeffs[j]] > max)) {

405 max\_i = j;

406 max = arrays[j][coeffs[j]];

407 coeffs[j]++;

408 }

409 }

410 merged[i] = max;

411 }

412

413 delete[] coeffs;

414 return merged;

415 }