|  |  |
| --- | --- |
| Gerb-BMSTU_01 | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

ФАКУЛЬТЕТ **Информатика и системы управления**

КАФЕДРА **«Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии» (ИУ7)**

**Домашнее задание**

**Дисциплина:** Программирование параллельных процессов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Студент | ИУ7-31М |  |  | Е.В. Брянская |
|  | (Группа) |  | (Подпись, дата) | (И.О. Фамилия) |
|  |  |  |  |  |
| Преподаватель |  |  |  | А.П. Ковтушенко |
|  |  |  | (Подпись, дата) | (И.О. Фамилия) |

Москва, 2023

**Постановка задачи**

Разработать процедуру быстрой сортировки. Обосновать проектное решение (выбор алгоритма). Обеспечить равномерную загрузку процессоров. Результат вынести в текстовый файл построчно.

Исследовать зависимость времени счета от размерности задачи и количества процессоров.

**Способы реализации**

Ключевые моменты алгоритма быстрой сортировки:

1. на очередном шаге выбирается опорный элемент — им может быть любой элемент массива;
2. все остальные элементы массива сравниваются с опорным и те, которые меньше него, ставятся слева от него, а которые больше или равны — справа;
3. для двух получившихся блоков массива (меньше опорного, и больше либо равны опорному) производится точно такая же операция — выделяется опорный элемент и всё идёт точно так же, пока в блоке не останется один элемент.

С привлечением MPI возможны следующие реализации данного алгоритма.

*1 способ.*

0 узел рассылает всем остальным узлам исходный массив.

Все узлы делятся на подгруппы, которые в свою очередь входят в другие подгруппы более высокого уровня, например, каждый из узлов входит в подгруппу из одного узла, которые входят в подгруппу из двух, и так далее. В каждой подгруппе выделяется лидер.

0 узел производит одну итерацию быстрой сортировки и отправляет лидеру старшей подгруппы часть массива, которая расположена правее опорной точки, после этого снова выполняет сортировку и отправку правой части массива, но уже подгруппе уровня ниже предыдущего. Так продолжается до тех пор, пока число элементов в подгруппе не дойдёт до 1, то есть 0 узел остаётся единственным представителем, в таком случае, выполняется финальная итерация быстрой сортировки.

Аналогичные действия происходят и на других узлах, после получения своей части массива.

*2 способ*

Исходный массив разделяется на примерно равные части по числу доступных процессоров. Далее 0 узел рассылает каждому из них соответствующие им части массива.

Каждый из узлов, получив свою часть массива, производит сортировку и отправляет его 0 узлу, который сливает свой массив с тем, что получил от очередного процессора.

*3 способ*

Модификация 2 способа, отличие в том, что отсортированные части массива узлы сливают попарно, а не отправляют всё 0 узлу.

**Результаты**

Были проведены замеры времени по следующим параметрам:

* число узлов – 1, 2, 4, 8, 10;
* размер массива – 1000, 10 000, 100 000, 1 000 000, 10 000 000,

100 000 000.

Результаты представлены в таблице ниже.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Простая реализация** | | |  | **1 способ**  **Cast, итеративное разделение массива** | | |  | **2 способ**  **Каждый узел по фрагменту массива, сливает 0 узел** | | |  | **3 способ**  **2 способ + попарное слияние подмассивов** | | |
| Число узлов | Размер массива | Время, с | Число узлов | Размер массива | Время, с | Число узлов | Размер массива | Время, с | Число узлов | Размер массива | Время, с |
| 1 | 1,00E+03 | 0,000134 | 1 | 1,00E+03 | 0,000124 | 1 | 1,00E+03 | 0,000127 | 1 | 1,00E+03 | 0,000120 |
| 1,00E+04 | 0,002508 | 1,00E+04 | 0,001556 | 1,00E+04 | 0,001544 | 1,00E+04 | 0,001499 |
| 1,00E+05 | 0,018430 | 1,00E+05 | 0,018149 | 1,00E+05 | 0,018762 | 1,00E+05 | 0,018414 |
| 1,00E+06 | 0,232421 | 1,00E+06 | 0,206677 | 1,00E+06 | 0,220227 | 1,00E+06 | 0,215197 |
| 1,00E+07 | 2,540060 | 1,00E+07 | 2,434754 | 1,00E+07 | 2,486289 | 1,00E+07 | 2,465110 |
| 4,00E+07 | 10,270959 | 4,00E+07 | 10,154075 | 4,00E+07 | 10,437589 | 4,00E+07 | 10,411373 |
| 6,00E+07 | 16,228383 | 6,00E+07 | 15,584503 | 6,00E+07 | 15,855670 | 6,00E+07 | 15,770660 |
| 1,00E+08 | 27,104227 | 1,00E+08 | 26,164843 | 1,00E+08 | 26,624076 | 1,00E+08 | 26,786284 |
|  | | | 2 | 1,00E+03 | 0,011356 | 2 | 1,00E+03 | 0,011378 | 2 | 1,00E+03 | 0,011318 |
| 1,00E+04 | 0,012510 | 1,00E+04 | 0,012133 | 1,00E+04 | 0,012866 |
| 1,00E+05 | 0,024822 | 1,00E+05 | 0,020749 | 1,00E+05 | 0,021212 |
| 1,00E+06 | 0,195171 | 1,00E+06 | 0,134922 | 1,00E+06 | 0,138236 |
| 1,00E+07 | 2,191241 | 1,00E+07 | 1,433813 | 1,00E+07 | 1,467939 |
| 4,00E+07 | 8,935597 | 4,00E+07 | 5,941506 | 4,00E+07 | 6,114605 |
| 6,00E+07 | 13,811556 | 6,00E+07 | 8,974751 | 6,00E+07 | 9,157403 |
| 1,00E+08 | 23,165154 | 1,00E+08 | 15,014164 | 1,00E+08 | 15,420049 |
| 4 | 1,00E+03 | 0,021881 | 4 | 1,00E+03 | 0,031686 | 4 | 1,00E+03 | 0,032779 |
| 1,00E+04 | 0,021862 | 1,00E+04 | 0,032034 | 1,00E+04 | 0,033631 |
| 1,00E+05 | 0,030377 | 1,00E+05 | 0,038440 | 1,00E+05 | 0,037782 |
| 1,00E+06 | 0,165307 | 1,00E+06 | 0,114217 | 1,00E+06 | 0,109340 |
| 1,00E+07 | 2,069434 | 1,00E+07 | 1,017964 | 1,00E+07 | 0,958958 |
| 4,00E+07 | 9,227727 | 4,00E+07 | 4,159074 | 4,00E+07 | 3,787686 |
| 6,00E+07 | 8,046086 | 6,00E+07 | 6,069553 | 6,00E+07 | 5,663826 |
| 1,00E+08 | 17,661725 | 1,00E+08 | 10,242729 | 1,00E+08 | 9,610553 |
| 8 | 1,00E+03 | 0,032696 | 8 | 1,00E+03 | 0,072052 | 8 | 1,00E+03 | 0,073569 |
| 1,00E+04 | 0,034939 | 1,00E+04 | 0,071992 | 1,00E+04 | 0,074436 |
| 1,00E+05 | 0,032759 | 1,00E+05 | 0,076626 | 1,00E+05 | 0,078705 |
| 1,00E+06 | 0,106812 | 1,00E+06 | 0,152238 | 1,00E+06 | 0,139428 |
| 1,00E+07 | 1,969279 | 1,00E+07 | 0,949020 | 1,00E+07 | 0,712671 |
| 4,00E+07 | 5,612908 | 4,00E+07 | 3,711682 | 4,00E+07 | 3,518538 |
| 6,00E+07 | 7,487763 | 6,00E+07 | 5,594829 | 6,00E+07 | 4,626111 |
| 1,00E+08 | 17,696990 | 1,00E+08 | 10,281099 | 1,00E+08 | 6,648949 |
| 10 | 1,00E+03 | 0,033358 | 10 | 1,00E+03 | 0,091995 | 10 | 1,00E+03 | 0,092632 |
| 1,00E+04 | 0,033279 | 1,00E+04 | 0,091553 | 1,00E+04 | 0,092625 |
| 1,00E+05 | 0,040896 | 1,00E+05 | 0,096811 | 1,00E+05 | 0,096196 |
| 1,00E+06 | 0,112668 | 1,00E+06 | 0,180145 | 1,00E+06 | 0,145656 |
| 1,00E+07 | 1,489346 | 1,00E+07 | 0,981820 | 1,00E+07 | 0,726073 |
| 4,00E+07 | 5,427860 | 4,00E+07 | 3,862866 | 4,00E+07 | 2,855161 |
| 6,00E+07 | 7,329851 | 6,00E+07 | 5,800010 | 6,00E+07 | 4,091891 |
| 1,00E+08 | 18,356675 | 1,00E+08 | 11,087198 | 1,00E+08 | 6,893851 |

**Графики зависимостей**

*Зависимость времени от количества узлов*

Исходя из замеров, можно сделать вывод о том, что целесообразно исследовать показатели только на больших размерах массива. Ниже приведено два графика для 6e7 и 1e8 элементов.

*Далее будут приведены расчёты только для размера 1e8.*

*Ускорение от числа узлов*

*Эффективность*

**OpenMP**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Число потоков | Размер массива | Время, с |
| 1 | 1,00E+03 | 0,000134 |
| 1,00E+04 | 0,002508 |
| 1,00E+05 | 0,018430 |
| 1,00E+06 | 0,232421 |
| 1,00E+07 | 2,540060 |
| 4,00E+07 | 10,270959 |
| 6,00E+07 | 16,228383 |
| 1,00E+08 | 27,104227 |
| 2 | 1,00E+03 | 0,000271 |
| 1,00E+04 | 0,001240 |
| 1,00E+05 | 0,013231 |
| 1,00E+06 | 0,163178 |
| 1,00E+07 | 1,711063 |
| 4,00E+07 | 7,268493 |
| 6,00E+07 | 11,413092 |
| 1,00E+08 | 18,678325 |
| 4 | 1,00E+03 | 0,000548 |
| 1,00E+04 | 0,001280 |
| 1,00E+05 | 0,009520 |
| 1,00E+06 | 0,120951 |
| 1,00E+07 | 1,005451 |
| 4,00E+07 | 5,502056 |
| 6,00E+07 | 6,338169 |
| 1,00E+08 | 12,188033 |

*Ускорение и эффективность рассчитываются для массива в 1e8 элементов.*

|  |  |
| --- | --- |
| Число потоков | Ускорение |
| 1 | 1 |
| 2 | 1,45110587 |
| 4 | 2,22383932 |

|  |  |
| --- | --- |
| Число потоков | Эффективность |
| 1 | 1 |
| 2 | 0,72555293 |
| 4 | 0,55595983 |

Далее все замеры производятся с привлечением 4 потоков и только числе узлов равном 1, 2, 4, т.к. на момент проведения замеров 3 из 10 узлов были не доступны.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Число узлов | Размер массива | Время, с |
| 1 | 1,00E+03 | 0,000343 |
| 1,00E+04 | 0,001049 |
| 1,00E+05 | 0,010519 |
| 1,00E+06 | 0,105294 |
| 1,00E+07 | 1,349855 |
| 4,00E+07 | 4,689517 |
| 6,00E+07 | 7,073439 |
| 1,00E+08 | 11,042553 |
| 2 | 1,00E+03 | 0,012162 |
| 1,00E+04 | 0,012659 |
| 1,00E+05 | 0,016407 |
| 1,00E+06 | 0,076262 |
| 1,00E+07 | 1,060716 |
| 4,00E+07 | 3,573357 |
| 6,00E+07 | 7,454172 |
| 1,00E+08 | 9,235273 |
| 4 | 1,00E+03 | 0,032819 |
| 1,00E+04 | 0,033342 |
| 1,00E+05 | 0,037332 |
| 1,00E+06 | 0,091422 |
| 1,00E+07 | 0,765110 |
| 4,00E+07 | 3,215622 |
| 6,00E+07 | 5,132323 |
| 1,00E+08 | 7,937487 |