

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова

Факультет вычислительной математики и кибернетики

Кафедра суперкомпьютеров и квантовой информатики

Отчёт по курсу

«Суперкомпьютерное моделирование и технологии»

Исследование информационной структуры фрагмента программы

Работу выполнил:

Козлов Михаил Владимирович

623 группа

Москва, 2019

Постановка задачи

Необходимо выполнить исследование информационной структуры заданного фрагмента программы, представленной в виде последовательной реализации. Необходимо построить информационный граф этого фрагмента программы и определить его базовые свойства. Свойства, которые необходимо исследовать:

- Число вершин в информационном графе фрагмента (последовательная сложность).
- Длина критического пути в информационном графе (параллельная сложность).
- Ширина ярусно-параллельной формы.
- Максимальная глубина вложенности циклов.
- Число различных типов дуг.
- Наличие длинных дуг (т.е. дуг, длина которых зависит от внешних параметров).
- Количество областей регулярности в информационном графе.

Затем требуется разметить параллельные циклы заданного фрагмента программы с использованием директивы OpenMP `#pragma omp parallel for [1]`.

Схема последовательной программы, реализующей алгоритм

Исследуемый фрагмент программы, после подстановки параметров, задаётся следующим кодом:

```
for(i = 1; i <= n; ++i)
    C[i] = C[i] * e;

for(i = 1; i <= n; ++i)
    for(j = 1; j <= n; ++j)
        B[i][j] = B[i + 1][j - 1];

for(i = 1; i <= n; ++i)
    for(j = 1; j <= n; ++j)
    {
        for(k = 1; k <= n; ++k)
            A[i][j][k] = A[i][j][k] + A[i - 1][j][n];
        A[i][j][n] = A[i][j][n] + B[i][j];
    }
```

Параметры:

L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
-1	0	1	0	1	1	-1	0

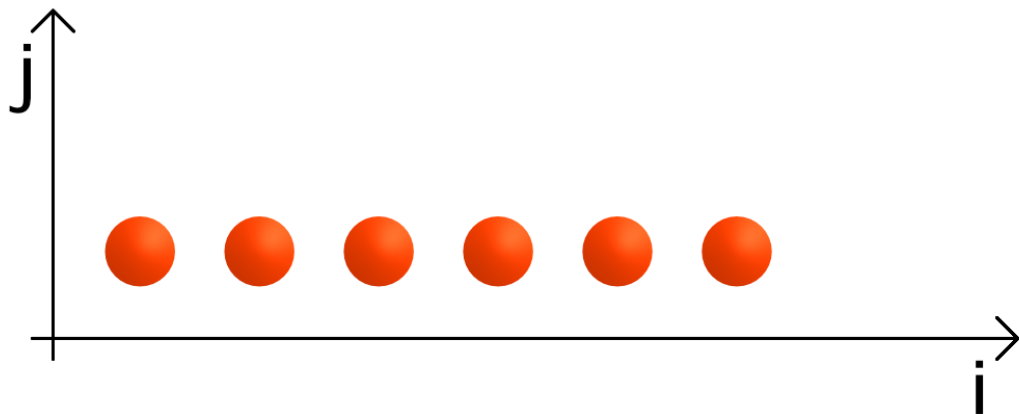
Данный код представляет из себя 3 цикла:

1. Первый цикл имеет глубину 1 и каждый оператор независим
2. Второй цикл имеет глубину 2 и зависит по «осям» I и J
3. Третий цикл имеет глубину 3 и зависит по «оси» I, а также от второго цикла ($B[i][j]$)

Описание информационного графа алгоритма

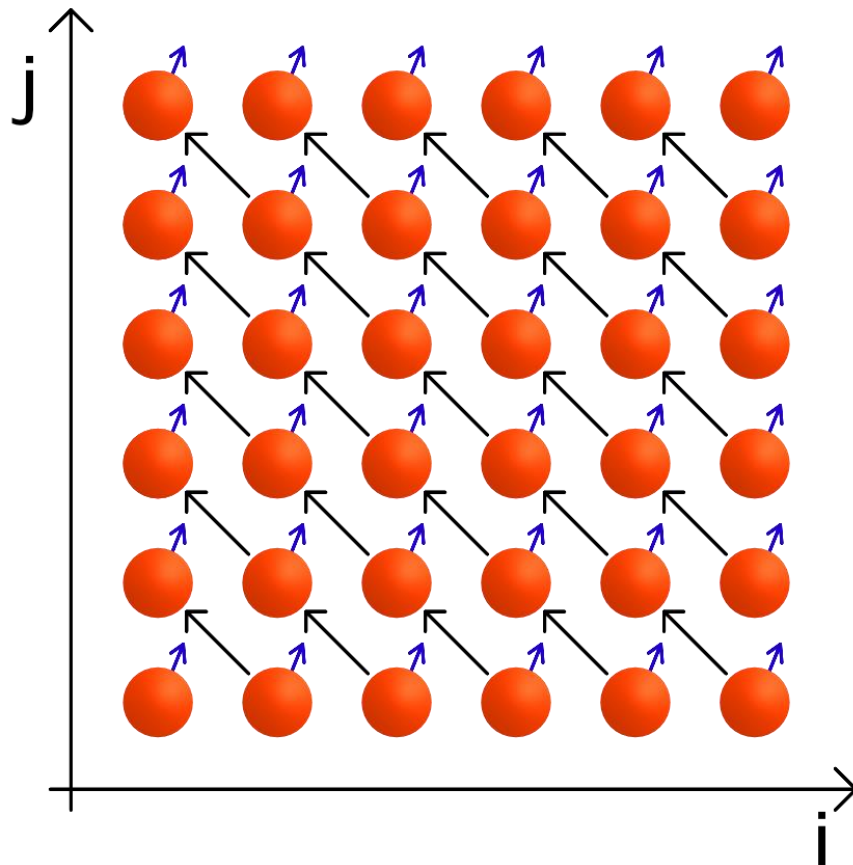
В силу сложности визуализации информационного графа, будут представлены 3 информационных графа для каждого из циклов отдельно.

Для первого цикла информационный граф (для $n = 6$) будет выглядеть следующим образом:



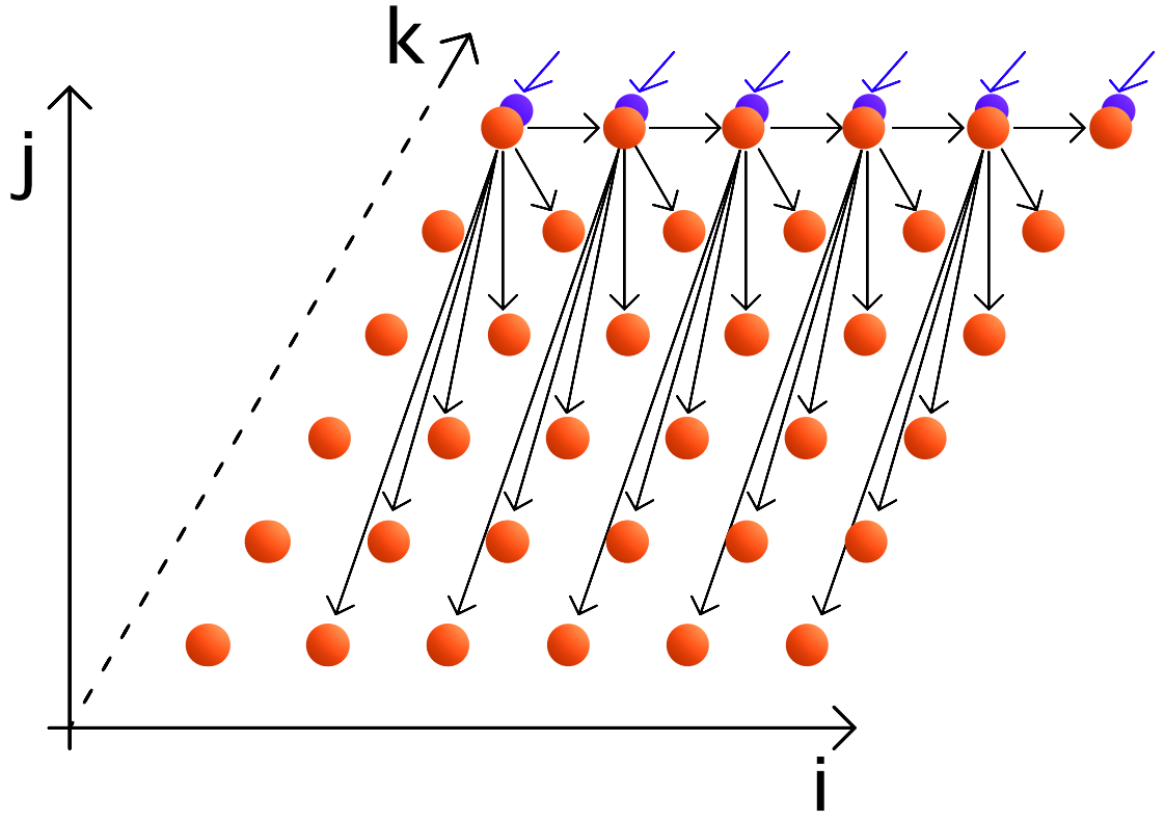
Операторы в данном цикле не имеют зависимостей, поэтому могут быть выполнены параллельно.

Для второго цикла информационный граф (для $n = 6$) будет выглядеть следующим образом:



В данном информационном графе операторы имеют зависимость по обеим осям: по I от следующего «слоя» и по J от предыдущего. Однако в рамках оси J , при фиксированном I зависимостей нет, поэтому данные вершины можно выполнить параллельно. Синие стрелочки показывают зависимости второго и третьего цикла, о них будет сказано далее.

Третий цикл имеет следующий информационный граф для $n = 6$:



На данном рисунке представлен один (!) «слой» по координате J. Это обусловлено сложностью графа и тем, что по оси J слои данной части графа не зависят, то есть остальные слои по J выглядят идентично. Оранжевым представлены операторы, которые находятся внутри цикла по K. Синим представлен оператор $A[i][j][n] = A[i][j][n] + B[i][j]$; . Как говорилось ранее, синие стрелочки – зависимости третьего графа от второго. Это видно из последнего оператора, который зависит от $B[i][j]$ (второй граф). Чёрные стрелочки идут от синих шаров к оранжевым. Также есть стрелки от оранжевых шаров на последнем слое по K (при $k = n$) к синим шарам на том же слое по K (описанные стрелки не показаны на рисунке), появляющиеся из-за оператора внутри цикла по K ($A[i][j][k] = A[i][j][k] + A[i - 1][j][n]$;) при $k = n$. То есть элемент $A[i][j][n]$ вычисляется 2 раза: один раз в цикле по K, второй раз после него последним оператором, при этом зависит от первого вычисления. Таким образом, данный цикл можно параллельно выполнять по осям J и K.

Свойства и особенности информационного графа

Укажем основные свойства полученного информационного графа:

- Число вершин в информационном графе фрагмента (последовательная сложность) – $n^3 + 2n^2 + n$
- Длина критического пути в информационном графе (параллельная сложность) – $3n - 2$
- Ширина ярусно-параллельной формы – $n^2 + 3n - 1$
- Максимальная глубина вложенности циклов – 3
- Число различных типов дуг (тип дуг определяется направляющим вектором и длиной) – $n + 3$
- Наличие длинных дуг (т.е. дуг, длина которых зависит от внешних параметров) – длинные дуги присутствуют в информационном графе (3 цикл)
- Количество областей регулярности в информационном графе – $n + 4$

Параллельная реализация алгоритма

Многопоточная реализация исходного алгоритма с использованием технологии OpenMP:

```
#pragma omp parallel for
```

```
for(i = 1; i <= n; ++i)
```

```
    C[i] = C[i] * e;
```

```
for(i = 1; i <= n; ++i)
```

```
    #pragma omp parallel for
```

```
    for(j = 1; j <= n; ++j)
```

```
        B[i][j] = B[i + 1][j - 1];
```

```
for(i = 1; i <= n; ++i)
```

```
    #pragma omp parallel for
```

```
    for(j = 1; j <= n; ++j)
```

```
    {
```

```
        #pragma omp parallel for
```

```
        for(k = 1; k <= n; ++k)
```

$$A[i][j][k] = A[i][j][k] + A[i - 1][j][n];$$
$$A[i][j][n] = A[i][j][n] + B[i][j];$$
$$\}$$

Список литературы

1. <https://www.openmp.org>
2. Параллельные вычисления (Воеводин В.В., Воеводин Вл.В.) - Спб, изд-во "БХВ-Петербург", 2002
3. <https://algowiki-project.org>