



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА
Факультет вычислительной математики и кибернетики
Кафедра системного анализа

Отчёт по теоретическому заданию

**«Исследование информационной
структуры фрагмента
программы»**

(вариант 69)

*Студент 615 группы
кафедры Системного Анализа
Чистяков И. А.*

Москва, 2019

1 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 (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 регулярных областей в информационном графе.

Также требуется разместить параллельные циклы заданного фрагмента программы с использованием директивы OpenMP *#pragma omp parallel for* [1].

2 Схема последовательной программы

Исследуемый фрагмент программы задаётся следующим кодом:

```
1 for (i = 1; i <= n; ++i) {  
2     C[i] = C[i-2] * e;  
3 }  
4 for (i = 1; i <= n; ++i) {  
5     for (j = 1; j <= n; ++j) {  
6         B[i][j] = B[i+1][j-1] + C[i];  
7     }  
8 }  
9 for (i = 1; i <= n; ++i) {  
10    for (j = 1; j <= n; ++j) {  
11        for (k = 1; k <= n; ++k) {  
12            A[i][j][k] = A[i][j][k] + A[i-1][j][n];  
13        }  
14        A[i][j][n] = A[i][j][n];  
15    }  
16 }
```

Заметим, что указанный фрагмент можно разбить на три части:

1. Строки 1–3. Цикл из n итераций глубины 1. Необходимо отметить, что операция в теле цикла использует данные, полученные в результате этой операции на предыдущих шагах. Потому цикл не может быть разделён на n независимых операций.
2. Строки 4–8. Вложенный цикл глубины 2. Операция в теле цикла не использует результаты вычислений на предыдущих шагах цикла (значения $B[i+1][j-1]$ не являются результатом предыдущих итераций и берутся из памяти), но использует результаты, полученные в ходе выполнения первого фрагмента.
3. Строки 9–16. Вложенный цикл длины три. Использует результаты предыдущих шагов, но не зависит от первых двух участков программы.

3 Описание информационного графа алгоритма

Определение 1. Граф алгоритма — ориентированный граф, состоящий из вершин, соответствующих операциям алгоритма, и направленных дуг, соответствующих передаче данных между ними.

Поскольку число компонент связности информационного графа рассмотренного фрагмента программы равно двум (так как третья из рассмотренных частей не зависит от первых двух), графическое изображение информационного графа можно представить в виде двух отдельных рисунков.

На рис. 1 представлено изображение информационного графа для частей 1 и 2. Вершины, отмеченные зелёным цветом соответствуют операциям, выполняемым в теле цикла глубины 1 (первый цикл), в то время как жёлтый цвет обозначает операции внутри вложенного цикла глубины 2.

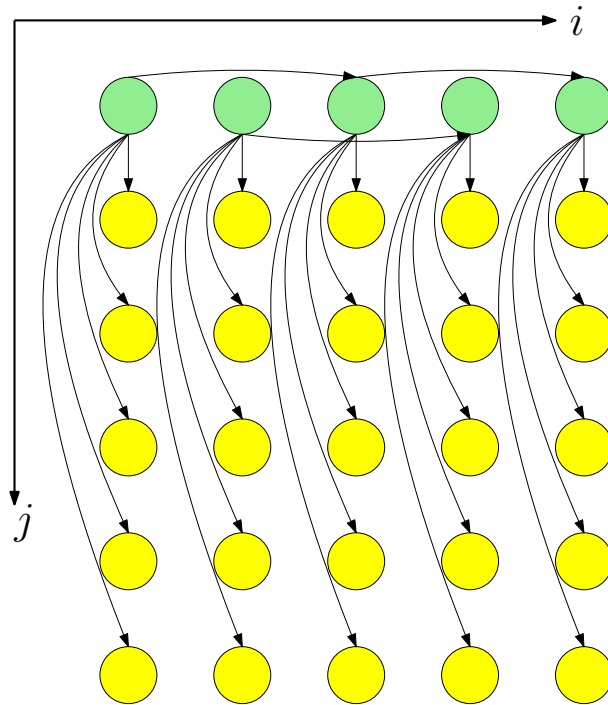


Рис. 1: Информационный граф для частей 1 и 2 при $n = 5$.

Для представления части 3 указанной программы необходимо перейти к трёхмерному пространству, однако можно заметить, что при обращении к памяти в строке 8

$$A[i][j][k] = A[i][j][k] + A[i-1][j][n]$$

не происходит обращения к результатам операций, выполненных в других итерациях цикла по переменной j . Таким образом, трёхмерное представление информационного графа для части 3 можно изобразить в виде n независимых плоскостей, см. рис. 2. При этом вершины, отмеченные розовым цветом соответствуют строке 8, а вершины фиолетового цвета — строке 14. Отметим что добавление n^2 фиолетовых вершин (n для каждой из n параллельных плоскостей) необходимо, чтобы избежать циклов в информационном графе.

Таким образом, информационный граф состоит из $n^3 + 2n^2 + n$ вершин и содержит в себе $(n-2) + n^2 + ((n-1)n + n)n = n^3 + n^2 + n - 2$ дуг.

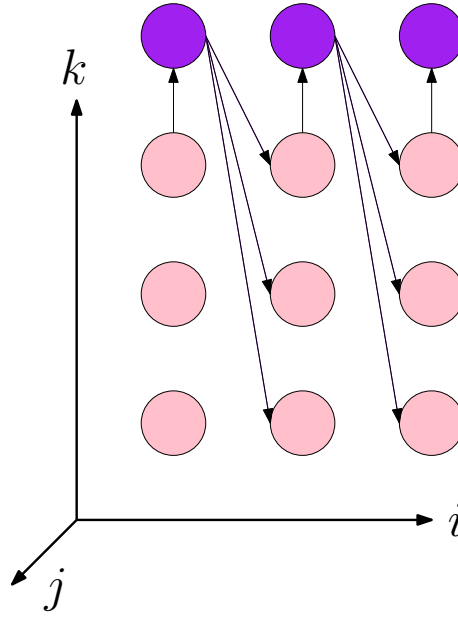


Рис. 2: “Срез” информационного графа для части 3 при $n = 3$ в плоскости Oik .

4 Свойства и особенности информационного графа

- Число вершин в информационном графе (последовательная сложность): $n^3 + 2n^2 + n$.
- Длина критического пути в информационном графе (параллельная сложность): $n + 1$. Такое количество операций необходимо, чтобы вычислить значение последней фиолетовой вершины на рис. 2.
- Ширина ярусно-параллельной формы: $2n + 3$. Достигается на первых $\lfloor n/2 \rfloor$ ярусах при вычислении двух зелёных вершин, $2n$ жёлтых вершин (см. рис. 1) и одной розовой вершины. Максимальная ширина на последующих ярусах равна n (см. рис. 2).
- Максимальная глубина вложенности циклов: 3.
- Число различных типов дуг: 4. Длина всех дуг равна единице, однако дуги могут соединять различные типы вершин.
- Количество областей регулярности: 4.

5 Параллельная реализация алгоритма

Параллельная (многонитевая) реализация исходного алгоритма с использованием технологии OpenMP [1]:

```

1  #pragma omp parallel for
2  for (idx = 1; idx <= 2; ++idx) {
3      for (i = idx; i <= n; i = i + 2) {
4          C[i] = C[i-2] * e;
5      }
6      #pragma omp parallel for
7      for (j = 1; j <= n; ++j) {
8          B[i][j] = B[i+1][j-1] + C[i];
9      }
10 }
11 #pragma omp parallel for

```

```

12 for (j = 1; j <= n; ++j){
13     for (i = 1; i <= n; ++i) {
14         #pragma omp parallel for
15         for (k = 1; k <= n; ++k) {
16             A[i][j][k] = A[i][j][k] + A[i-1][j][n];
17         }
18         A[i][j][n] = A[i][j][n];
19     }
20 }

```

Список литературы

- [1] <https://www.openmp.org>
- [2] <https://algowiki-project.org/ru/>
- [3] Воеводин В. В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. СПб: БВХ-Петербург, 2002.
- [4] Лекции по курсу “Суперкомпьютерное моделирование и технологии”. ВМК МГУ, 2019.