Практические рекомендации по распараллеливанию с помощью OpenMP и измерению ускорения.

Ошибки при многопоточном программировании.

Распределение заданий между потоками

ЛЕКЦИЯ №4

Калинина А.П.

OpenMP

1. Практические рекомендации по распараллеливанию с помощью OpenMP и измерению ускорения.

2. Ошибки при многопоточном программировании.

3. Презентация материалов по OpenMP

4. Распределение заданий между потоками

1. Практические рекомендации по распараллеливанию с помощью OpenMP и измерению ускорения.

1.1. Время вычислений в параллельном регионе должно быть больше, чем время, затраченное на создание параллельного региона

1.2. При входе в первый параллельный регион «накладные расходы» намного больше, чем при входах в следующие параллельные регионы

Потоки в современных Windows

- *Процесс* представляет выполняющийся экземпляр программы. Он имеет собственное адресное пространство, где содержаться его код и данные.

- *Процесс* должен содержать минимум как один *поток*, так как именно он, а не процесс, является единицей планирования (данная операционная система относится к *системам разделения времени*, т.е. каждой единице предоставляется *квант* процессорного времени).

- *Процесс* может создавать несколько

Классы потоков. Потоки OpenMP

Основные состояния потока. «Накладные расходы»

Неизбежные «накладные расходы» в многопоточной программе с несколькими параллельными регионами

- Создание потоков – самые большие «накладные расходы»
- На «остановлен» - «на процессоре» - «накладные расходы» намного меньше, чем на создание (вход – выход в параллельную секцию)
- На «ожидание» - «на процессоре» «накладные расходы» намного меньше, чем на «остановлен» - «на процессоре» (критическая секция – зато чаще встречается, чем вход в параллельную секцию)

1. 1. Время вычислений в параллельном регионе должно быть больше, чем время, затраченное на создание параллельного региона

Это время может быть определено из работы цикла вида

```
for (i = 1; i < treeData.N; i++)
    {
#pragma omp parallel
        {
        }
    }
```

1.2. При входе в первый параллельный регион «накладные расходы» намного больше, чем при входах в следующие параллельные регионы

- Либо полное время параллельных вычислений должно быть больше кванта операционной системы (для систем разделения времени, в том числе Windows)

- Либо перед тестируемым участком поставить директиву по созданию пустого параллельного региона

– большая часть «накладных расходов» будет «локализована» в ней

- условие выбора величины кванта – чтобы работа процессов «приносила больше пользы», чем «накладные расходы» на их инициирование)

Тестируемый код – проект time_parallel – ускорение как функция полного времени работы программы – последовательный код

```
start = rdtsc();
    for (j=1; j <=M; j++)
     for (i = 1; i < treeData.N; i++)
          if (treeData.Path[i] > limit)
          {
               Weight_PathMin = treeData.max+limit;
               if (Weight_PathMin > limit)
               {
                  replace_number = treeData.Weight[i];
               }
          }
    stop = rdtsc()-start;
```

Тестируемый код – проект time_parallel – ускорение как функция полного времени работы программы – параллельный код (участок в main)

```
   start = rdtsc();
   for (j = 1; j <=M; j++)
   { omp_set_num_threads (num_threads);
#pragma omp parallel  private(id)
     {  id = omp_get_thread_num();
         Path_Min[id] = Search_minimum (id, treeData.max,
    treeData.Path, treeData.N, num_threads);
       }
   MinimPath =  treeData.max;
   for (i = 0; i < num_threads; i++)
     if(Path_Min[i] < MinimPath)  MinimPath = Path_Min[i];
    }
   stop = rdtsc()-start;
```

1

1

Тестируемый код – проект time_parallel – ускорение как функция полного времени работы программы – **параллельный код**

(функция, выполняемая двумя потоками, к ней - обращение из параллельной секции)

```
int Search_minimum(int myID, int minimum, int*mas,
    const int n, const int num_threads )
{ int i, Initial, Final;
     int ID;  int N_Section = n/num_threads;
    Initial = myID*N_Section;  Final = (myID + 1)*N_Section;

    for (i = Initial; i< Final; i++)
        if (mas[i] <= minimum)  minimum = mas[i];
    return minimum;
}
```

1

2

Требования на выбор предельных значений переменных внешнего и внутреннего цикла

1. Внутренний цикл: treeData.N определяется из условия:

t(внутреннего цикла)>> t(входа в многопоточный регион)

2.1. Внешний цикл: при фиксированном treeData.N должно быть такое M, что

t(полное) ~ или > t(кванта)

2.2. Либо M любое, но перед тестируемым циклом стоит директива по созданию параллельного региона

Задание 1. Проект time_paral. Зависимость ускорения от M

1. Для запуска последовательного варианта аргументы в командной строке:

1) 5 10 10000 1 3
2) 5 10 10000 2 3
3) 5 10 10000 10 3
4) 5 10 10000 100 3
5) 5 10 10000 1000 3
6) 5 10 10000 100000 3

1. Для запуска параллельного варианта аргументы в командной строке:

1) 5 10 10000 1 5 2
2) 5 10 10000 2 5 2
3) 5 10 10000 10 5 2
4) 5 10 10000 100 5 2
5) 5 10 10000 1000 5 2
6) 5 10 10000 100000 5 2

Задание 2. Проект time_paral. Зависимость ускорения от M

Демонстрация того, что все «накладные расходы» сосредоточены в первом создаваемом многопоточном регионе (в этом варианте – вход в три одинаковых параллельных региона):

Запуск с аргументами командной строки

5 10 10000 1 11 2

1
5

2. Ошибки при многопоточном программировании

1. Конфликты «запись - запись» - два потока пишут в одну переменную

(«а ля» два рецензента правят один экземпляр статьи и друг друга одновременно – кто успеет быстрее «гонки данных»)

2. Тупики или «зависания» или «lock» (один поток захватил ресурс и не отдает другим – программа может висеть бесконечно)

- Живой
- Мертвый

3. Избыточное применение параллельных конструкций – меньше ускорение, хотя программа работает правильно

Ошибки, которые находит ThreadChecker при программировании в OpenMP

1. Конфликты «запись - запись» - два потока пишут в одну переменную

- Значение этой переменной зависит от того, «кто успел быстрее»

- Кроме того, большие «накладные расходы» - резкое увеличение времени работы

3. Презентация материалов по OpenMP

3.1. Курс Гергеля

3.2. Материалы тренингов Intel

3.1. Курс Гергеля

- Обзор методов многопоточного программирования для простейших алгоритмов
  - умножение вектора на вектор
  - матрицы на матрицу
  - решение систем линейных уравнений
  - сортировки
- Обзор основных конструкций OpenMP
- Особенность курса
  - в основном обзорный характер, «охват материала»
  - акцент – на рассмотрении алгоритмов

3.2. Материалы тренингов Intel

Преобладающая особенность – все показывается на одной задаче

- Параллельный алгоритм
- Параллельные конструкции OpenMP
- Методика создания многопоточного приложения
- Интерфейс и возможности отладчиков

Акцент на процесс создания и технологию параллельного программирования

4. Распределение заданий между потоками

По материалам тренинга Intel, проведенного для преподавателей вузов в апреле 2006 г.

2
1

Цели и задачи

- Научиться технике распараллеливания последовательного кода на основе OpenMP
- Применять в цикле разработки инструменты Intel
- Оценивать максимально возможное ускорение многопоточной программы по закону Амдала

Содержание

- Стандартный цикл разработки
- Изучаемый пример: генерация простых чисел
- Как повысить эффективность вычислений

Определение параллелелизма

- Два или более процесса или потока выполняются одновременно

Виды параллелелизма для архитектур, поддерживающих потоки

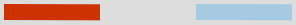
- *Множество процессов*

Взаимодействие между процессами

(Inter-Process Communication (IPC))

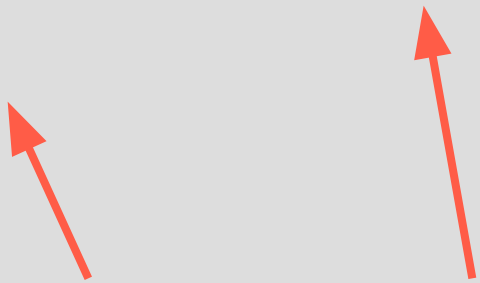
Закон Амдала

Оценка «сверху» для ускорения параллельной программы по закону Амдала



2
5

Процессы и потоки



Потоки – «плюсы» и «минусы»

«Плюсы»

- Позволяют повысить производительность и полнее использовать системные ресурсы
  - Даже в однопроцессорной системе – для «скрытия» латентности и повышения производительности
- Взаимодействие через разделяемую (общую) память более эффективно

«Минусы»

- Возрастает степень сложности
- Сложность в отладке приложений

(«гонки данных» (конфликты «запись-запись» и т. д.), тупики («зависание» потоков))

Генерация простых чисел

```
bool TestForPrime(int val)

{   // let's start checking from 3
  int limit, factor = 3;
  limit = (long)(sqrtf((float)val)+0.5f);
  while( (factor <= limit) && (val % factor) )
          factor ++;
  return (factor > limit);
 }
```


```
void FindPrimes(int start, int end)
{
  int range = end - start + 1;
  for( int i = start; i <= end; i += 2 )
   {
      if( TestForPrime(i) )
          globalPrimes[gPrimesFound++] = i;
      ShowProgress(i, range);
   }
 }
```

Задание 1.

Выполнить запуски последовательной версии первоначального кода (проект Simple_number)

- Установить однопоточный режим работы (Visual Studio, Project properties -> C++ -> code generation -> Single Threaded Debug DLL)
- Выполнить компиляцию с помощью Intel C++
- Выполнить несколько запусков с различными диапазонами поиска простых чисел (start, end)

2
9

Методика разработки

Анализ

- Определить участок кода с максимальной долей вычислений

Проектирование (включить многопоточность)

- Определить, каким образом может быть использована многопоточность

Тестирование правильности работы

- Выявить источники ошибок, связанных с потоками

Измерение производительности

- Достигнуть максимальной производительности работы многопоточного приложения

Рабочий цикл

3
1

Анализ – «Sampling» («сэмплирование»)

С помощью VTune Sampling необходимо определить «узкие места» приложения

(где сосредоточена максимальная «тяжесть» вычислений)

Провести анализ работы проекта Simple_number

Входные данные: `start = 3  end = 1000000`

Цель: выделить области кода, выполнение которых занимает максимальное время

Анализ – «Sampling» («сэмплирование»)

3
3

Анализ – «Sampling» («сэмплирование»)

3
4

Анализ - Call Graph

3
5

Анализ

Параллельная работа потоков будет эффективна в

- FindPrimes()

Аргументы в пользу распараллеливания

- Мало внутренних взаимозависимостей
- Возможен параллелелизм по данным
- Занимает более 95% всего времени работы приложения

Задание 2

- Выполните запуск с параметрами ‘1 5000000’ (границы диапазона поиска простых чисел)

Цель запуска - получить значение времени, с которым будет сравниваться время работы многопоточного приложения

Мы прошли первый этап цикла разработки:

- Анализ последовательного кода с помощью VTune
- Выявление функций с максимальным временем работы – «узких мест»

Метод проектирования Фостера

Необходимо выполнить 4 шага:

- **Разбить задачу на максимальное число подзадач**
- **Установить связи «данные - вычисления»**
- **«Агломерация»:**

  составить задания, которые можно выполнять параллельно

- **«Распределение» - распределить задания между процессорами/потоками**

Проектирование многопоточной программы

«Дробление»

- Разбить исходную задачу на подзадачи

«Связи»

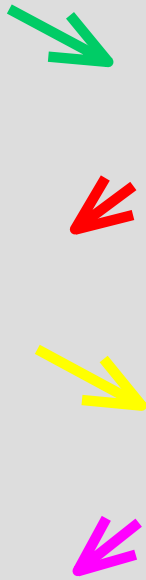
- Определить типы и количество связей между подзадачами

«Агломерация»

- Составить задания – сгруппировать «мелкие» подзадачи в «большие» группы – по принципу минимума связей между группами

«Распределение»

- Распределить задания между процессорами/потоками



Многопоточная программа

Модели параллельного программирования

Функциональная декомпозиция

- Параллельное выполнение разных подзадач
- Разделение на различные подзадачи, но обработка общих данных каждой подзадачей
- Выделение независимых подзадач для распределения между процессорами/потоками

Декомпозиция по данным

- Выделение операций, общих для различных данных
- Разбиение данных на блоки, которые можно обрабатывать независимо

Способы декомпозиции

Функциональная декомпозиция

- Сфокусирована на методах обработки данных, выявляя структуру задачи

Аналогии для функциональной декомпозиции и декомпозиции по данным

Независимые этапы вычислений

Функциональная декомпозиция

Задача потока связана со «стадией вычислений»

- Аналогия с конвейером сборки автомобиля – каждый рабочий(поток) параллельно с другими собирает все детали одного (своего) типа – затем общая сборка автомобиля

Декомпозиция по данным

- Потоковый процесс выполняет все стадии для своего блока данных
- Каждый рабочий собирает свой автомобиль

Проектирование

Ожидаемый выигрыш

Ускорение(2P) = 100/(96/2+4) = ~1.92X

Как бы его достичь минимальными усилиями?

Параллелелизм – с помощью OpenMP !

Долго ли это - распараллелить?

Сразу получится – или «путем итераций»?

4
3

OpenMP

«Вилочный» параллелелизм:

- «Мастер» - поток создает команду потоков
- Последовательная программа преображается в параллельную

4
4

Проектирование

```
#pragma omp parallel for
    for( int i = start; i <= end; i+= 2 ){
        if( TestForPrime(i) )
            globalPrimes[gPrimesFound++] = i;
        ShowProgress(i, range);
    }
```

4
5

Задание 3

Выполнить запуск версии кода с OpenMP

- Включите библиотеки OpenMP и установите многопоточный режим MultyThreaded Debug DLL
- Выполните компиляцию
- Запуск с параметрами ‘1 5000000’ для сравнения
- Определите ускорение

4
6

Проектирование

А каков был ожидаемый выигрыш?

А как его достичь ?

Ускорение 1.40X (меньше 1.92X)

А как долго ?

А сколько попыток ?

А возможно ли ?

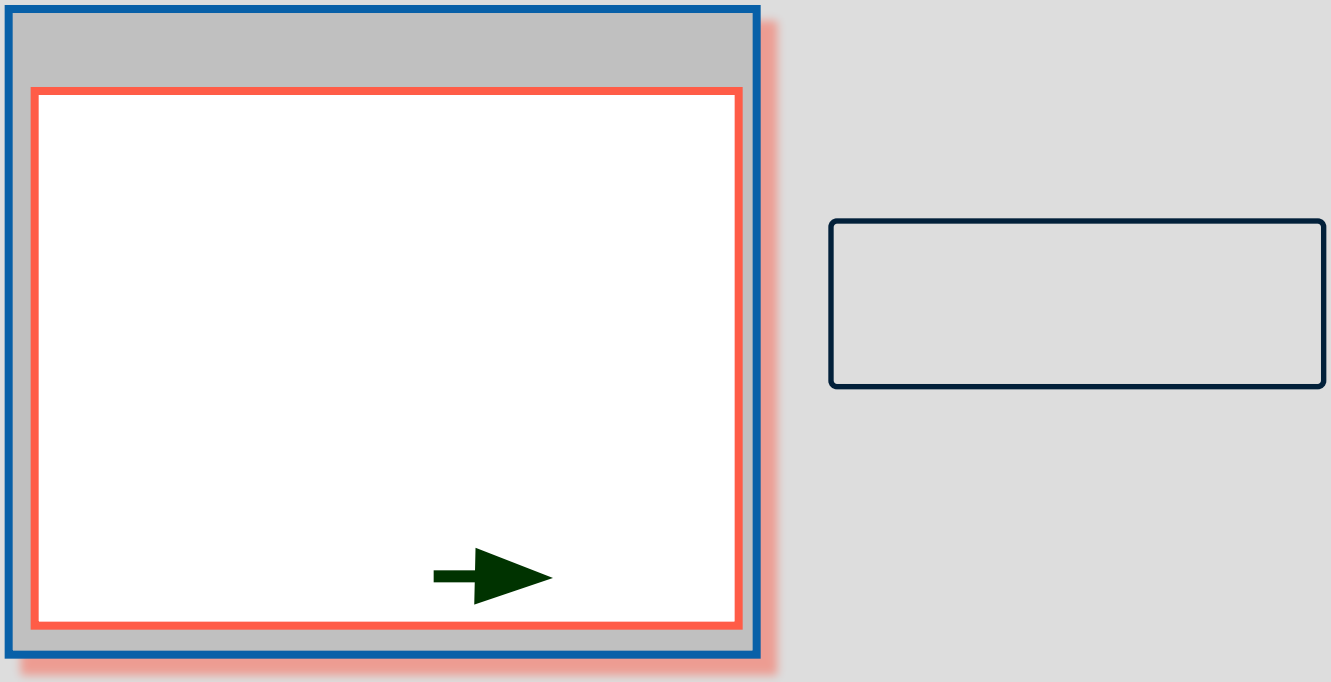
Тестирование правильности работы программы по ее результатам

4 Результаты неправильные

8 Каждый запуск – свой результат…

Тестирование правильности работы

Intel® Thread Checker может определить ошибки типа «гонки данных» или «конфликты запись-запись, чтение - запись»

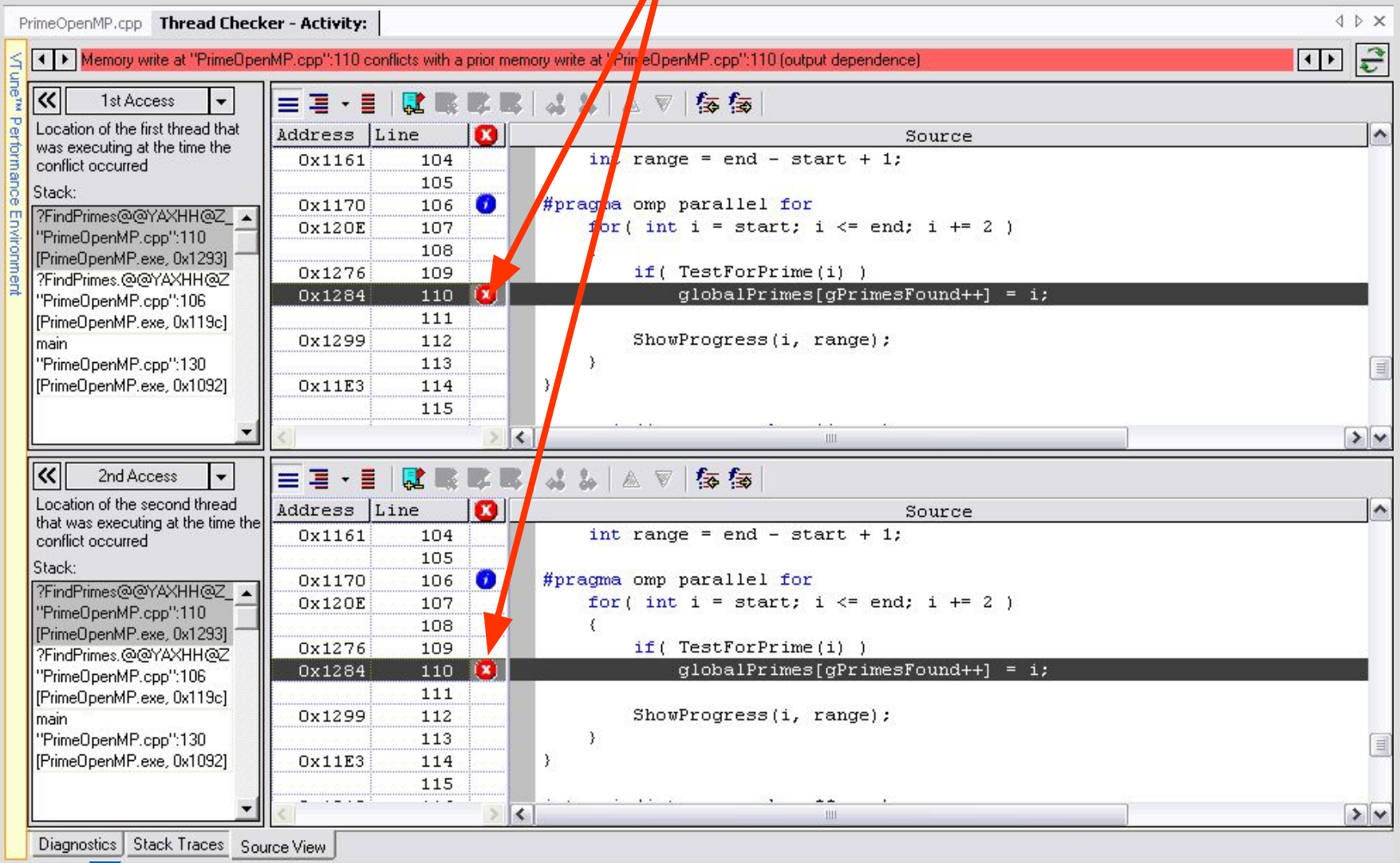


Thread Checker – окно результатов после выполнения анализа

Thread Checker

Двойной щелчок «мыши» - находим локализацию ошибки в коде

Thread Checker – локализация ошибки в коде



Задание 4

Примените Thread Checker для анализа правильности выполнения

- Создать Thread Checker activity
- Запуск приложения с параметрами 3 20
- Есть ошибки ?

5
3

Тестирование правильности работы

Сколько попыток еще предпринять?

Thread Checker обнаружил ошибку, значит, еще трудиться и трудиться…

Как долго трудиться над этим распараллеливанием?

5
4

Тестирование правильности работы

```
#pragma omp parallel for
     for( int i = start; i <= end; i+= 2 ){
        if( TestForPrime(i) )
  #pragma omp critical
            globalPrimes[gPrimesFound++] = i;
        //ShowProgress(i, range);
    }
```

5
5

Задание 5

Модифицируйте версию кода с OpenMP

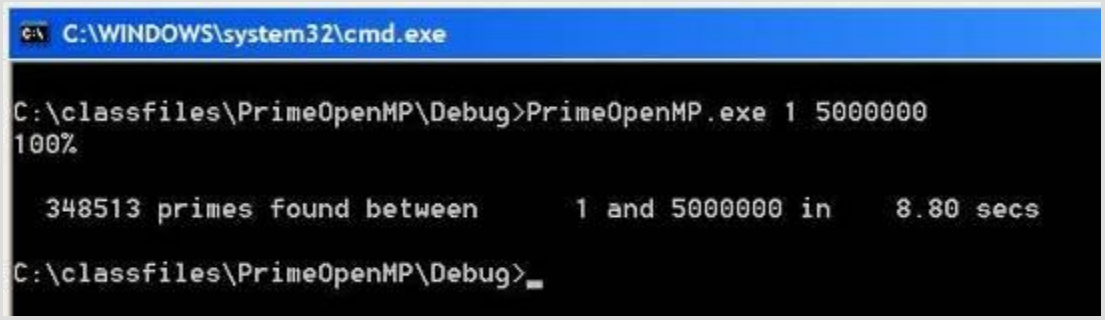
- Добавьте прагму критической секции в код
- Откомпилируйте код
- Проверьте Thread Checker
  - Если будут ошибки, исправьте их, и снова выполните проверку Thread Checker

- Запуск ‘1 5000000’ для сравнения
  - Проверьте Thread Checker
  - Ускорение ?

5
6

Correctness

Работает-то правильно, да ускорение низкое…~**1.33**X



Разве это предел, к которому мы стремились?

Нет! По закону Амдала мы можем достичь ускорения 1.9X

Задачи повышения производительности

Параллельный «оверхед» (overhead)

- *«Накладные расходы»* на создание потоков, организацию «расписания» их работы …

Синхронизация

- Применение без особой необходимости *глобальных переменных*, которые автоматически являются объектами синхронизации для всех потоков –

если один поток изменил значение глобальной переменной, значит, работа остальных будет приостановлена до тех пор, пока каждый поток не «установит у себя» новое значение глобальной переменной

Дисбаланс загрузки

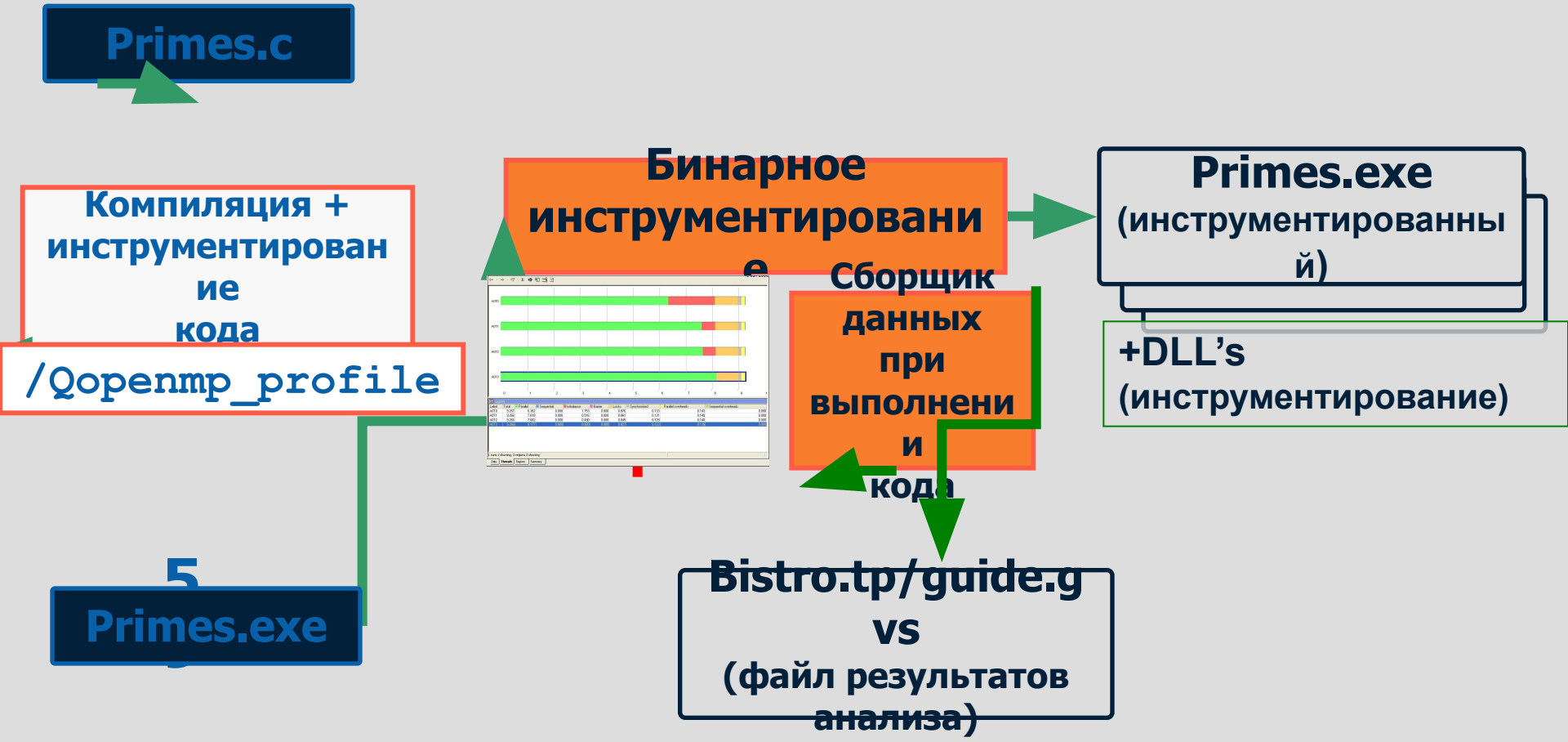
- Недостаточно эффективное распределение работы между потоками *«кому сколько работать»* - один свою работу сделал и ждет, а другие работают....

Гранулярность

- *Распределение «квантов» работы* для потоков в пределах одного параллельного региона (все потоки выполняют свой «квант» - затем «хватают» следующий)– должно решать проблему дисбаланса загрузки

Измерение производительности

Thread Profiler определяет «узкие места» - участки кода многопоточной области, где работа потоков происходит «с низким КПД»



Thread Profiler for OpenMP

- Только для OpenMP приложений
- Окно результатов «Summary» - появляется сразу после завершения анализа Thread Profiler
- Стрелками показана расшифровка цветовой диагностики

Thread Profiler for OpenMP

6
1

Thread Profiler for OpenMP

Thread Profiler for OpenMP

Thread Profiler for OpenMP

- Окно «Regions»: регионы – область кода программы, либо полностью последовательного, либо полностью параллельного (параллельный регион)
- показывает время работы каждого участка (например, дисбаланс, барьер – «цветовые участки») для каждой области (региона) кода

Thread Profiler for OpenMP

6
5

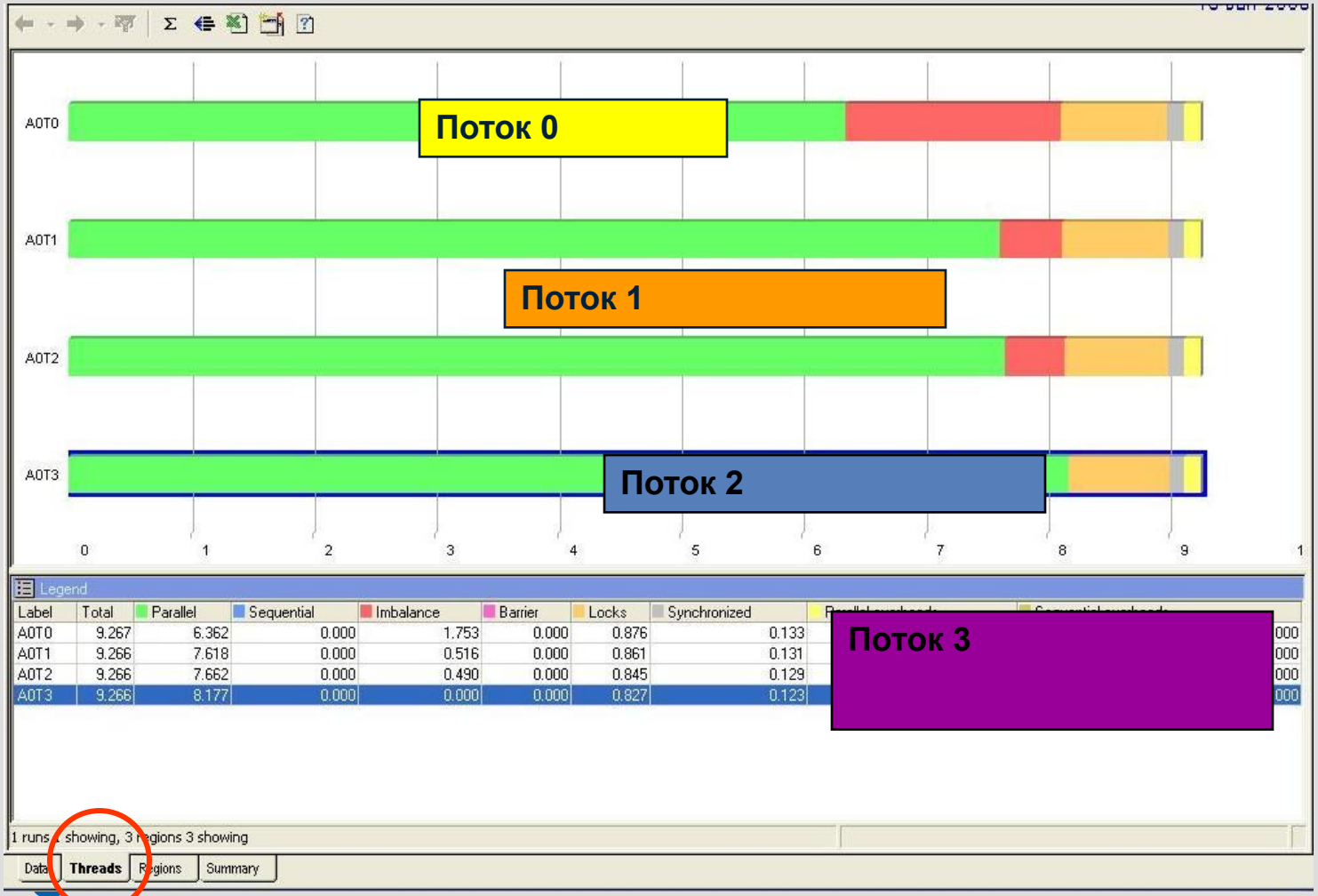
Задание 6.

- Исследуйте параллельную работу программы Thread Profiler с теми же параметрами, что и базовое измерение

- Число потоков установите, равное 4

6
6

Диагностика Thread Profiler – большой дисбаланс – потоки «ждали друг друга»



Определили дисбаланс загрузки

- Распределим работу более эффективно: не по ¼ от всего цикла сразу каждому потоку, «пока не встретимся», а каждому по несколько итераций цикла, «пока не встретимся», затем – новые несколько итераций

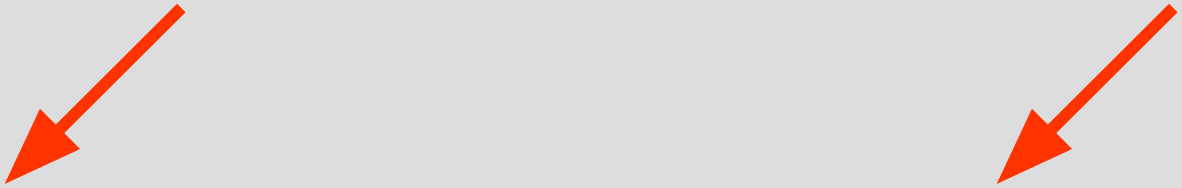
```
void FindPrimes(int start, int end)
{
    // start is always odd
    int range = end - start + 1;

#pragma omp parallel for schedule(static, 8)
    for( int i = start; i <= end; i += 2 )
    {
     if( TestForPrime(i) )
#pragma omp critical
            globalPrimes[gPrimesFound++] = i;
        //ShowProgress(i, range); }
```

6

8

Борьба с дисбалансом – перераспределение заданий потокам

- Новое «распределение работы» по сравнению со старым будет следующим образом выглядеть в графическом представлении:



Задание 7

Для уменьшения дисбаланса

- установить **`schedule (static, 8)`** «клаузу» OpenMP для **`parallel for`** pragma
- Запуск
- Ускорение?