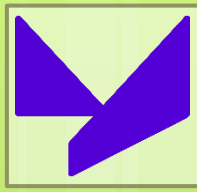


УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Курс «Технологии параллельного программирования»

Лабораторная работа №2. Разработка и отладка OpenMP-программы вычисления суммы ряда

Юлдашев Артур Владимирович
art@ugatu.su

Спеле Владимир Владимирович
spele.vv@ugatu.su

Добровольцев Александр Сергеевич
dobrovolcev.as@ugatu.su

Сохатский Михаил Александрович
sohatskii.ma@ugatu.su

Кафедра высокопроизводительных вычислений и дифференциальных уравнений (ВВиДУ)

Цель работы

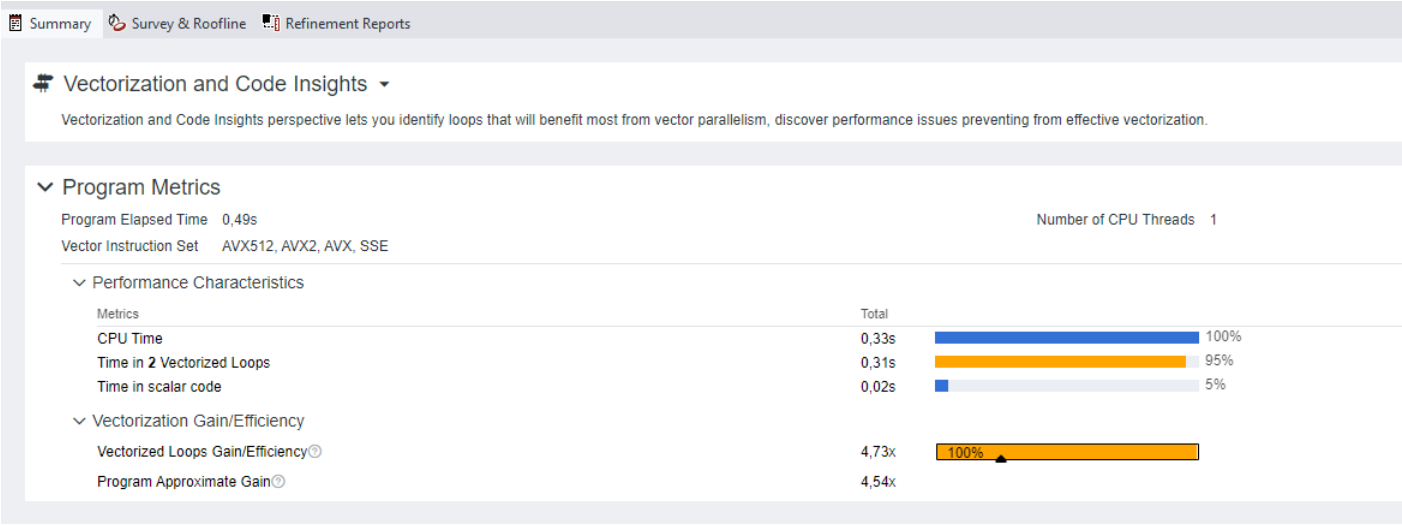
На примере задачи вычисления суммы ряда научиться разрабатывать простейшие параллельные программы средствами OpenMP, а также использовать инструменты для проверки корректности программ Intel Inspector и для профилирования производительности программ Intel VTune Profiler.

Задание

1. Используя последовательную программу с лучшими ключами оптимизации (без автораспараллеливания) из лаб. раб. №1 подобрать N, при котором программа работает ~ 30 с.
2. Оценить эффективность векторизации программы с помощью Intel Advisor и при необходимости обновить размерность N.
3. Выполнить распараллеливание последовательной программы путем включения в её код директив OpenMP. Проанализировать корректность распараллеливания с помощью Intel Inspector и при необходимости внести исправления.
4. Проанализировать производительность параллельной программы с помощью инструмента Intel VTune Profiler и при необходимости внести исправления.
5. Вычислить ускорение и эффективность отлаженной и оптимизированной параллельной программы, полученные данные занести в таблицу. Построить графики зависимостей ускорения и эффективности от числа потоков.

Задание

Используя последовательную программу с лучшими ключами оптимизации (без автораспараллеливания) из лабораторной работы №1 подобрать N, при котором программа работает ~30 сек. Зафиксировать значение суммы ряда (для дальнейшей оценки корректности).

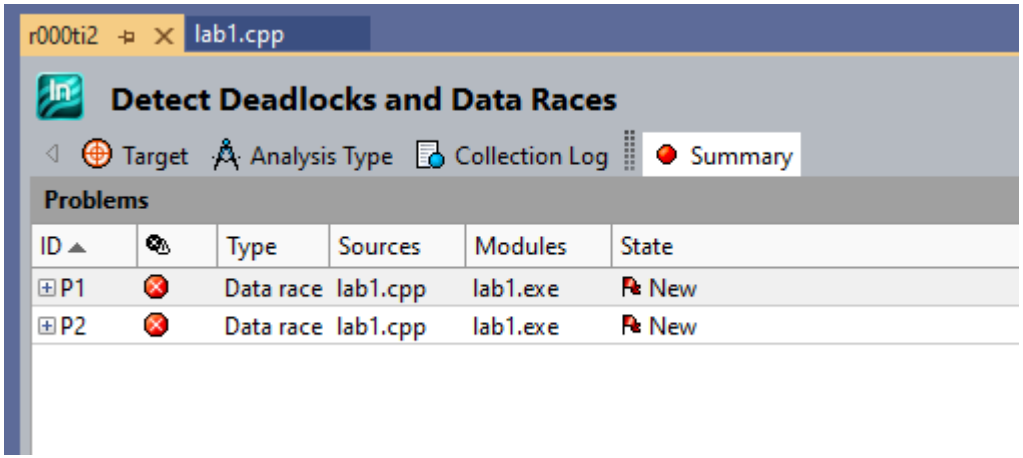


С помощью Intel Advisor оценить эффективность векторизации кода и вставить скриншот в отчет. При необходимости обновить N.

Задание

Провести распараллеливание с помощью директив OpenMP `#pragma omp parallel` и `#pragma omp for`

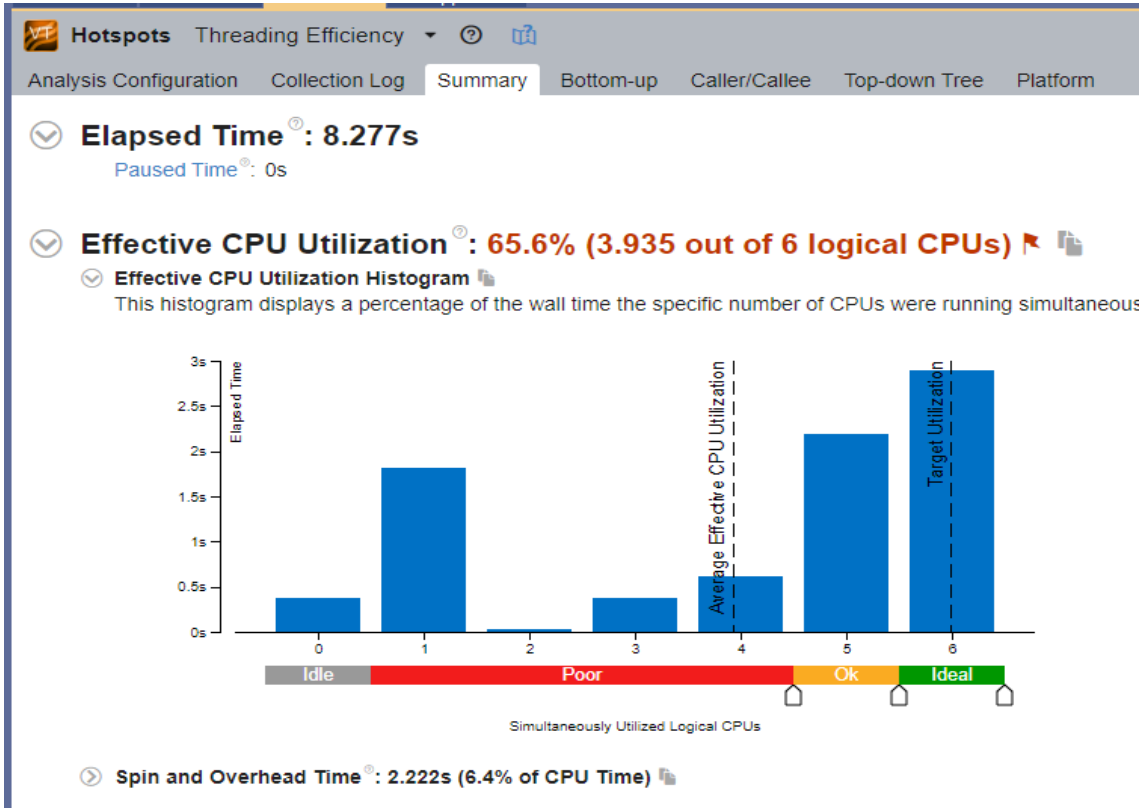
Проверить корректность параллельной программы с помощью инструмента Intel Inspector. Вставить в отчет скриншот.



При наличии ошибок исправить их и проверить корректность исправленной программы в Intel Inspector. Вставить в отчет соответствующий скриншот и краткое описание исправленных ошибок.

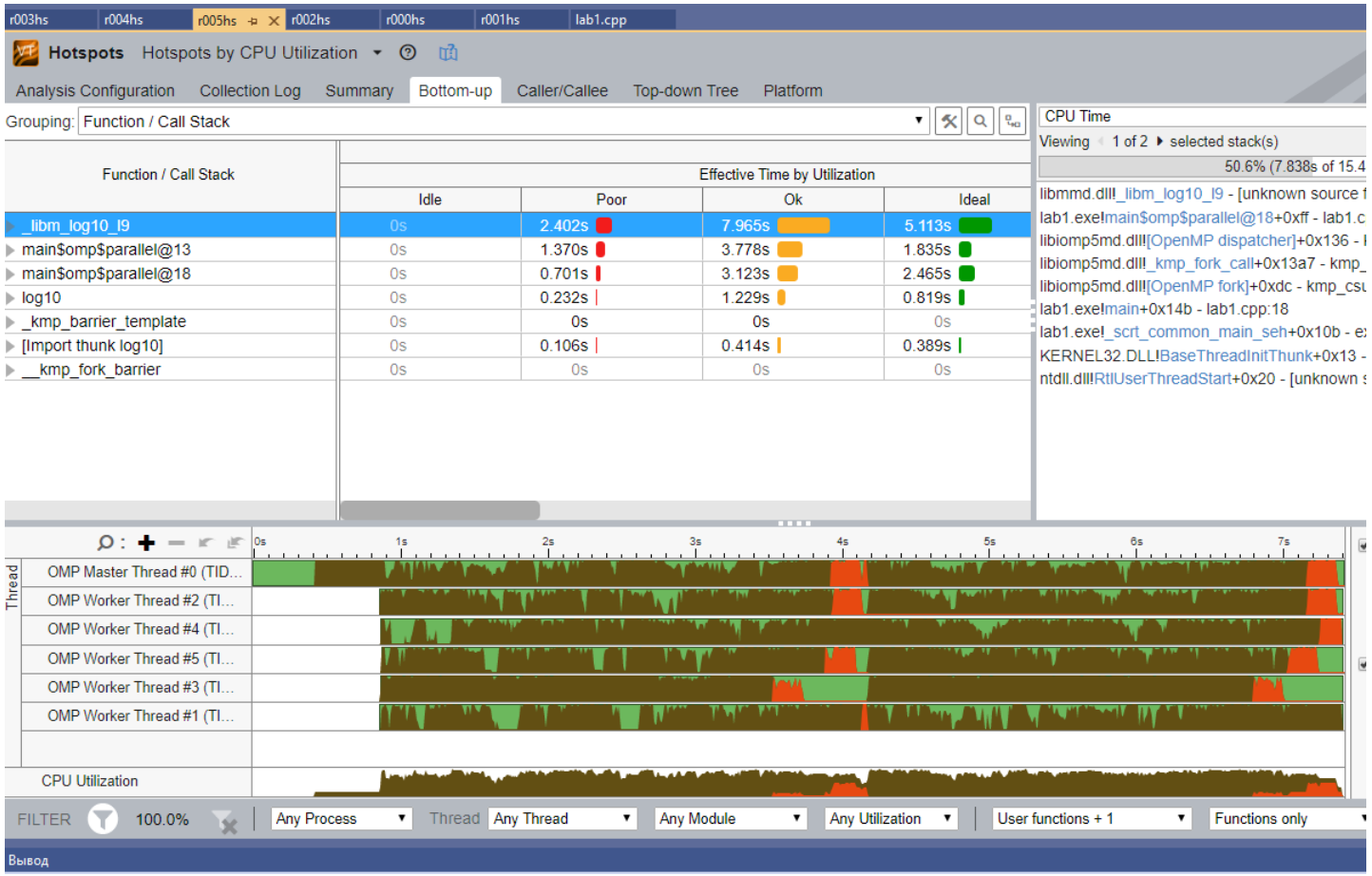
Задание

Снять профиль параллельной программы с помощью инструмента Intel VTune Profiler. Вставить в отчет скриншот эффективности загрузки CPU.



Задание

Вставить в отчет скриншот детальной загрузки каждого ядра CPU.



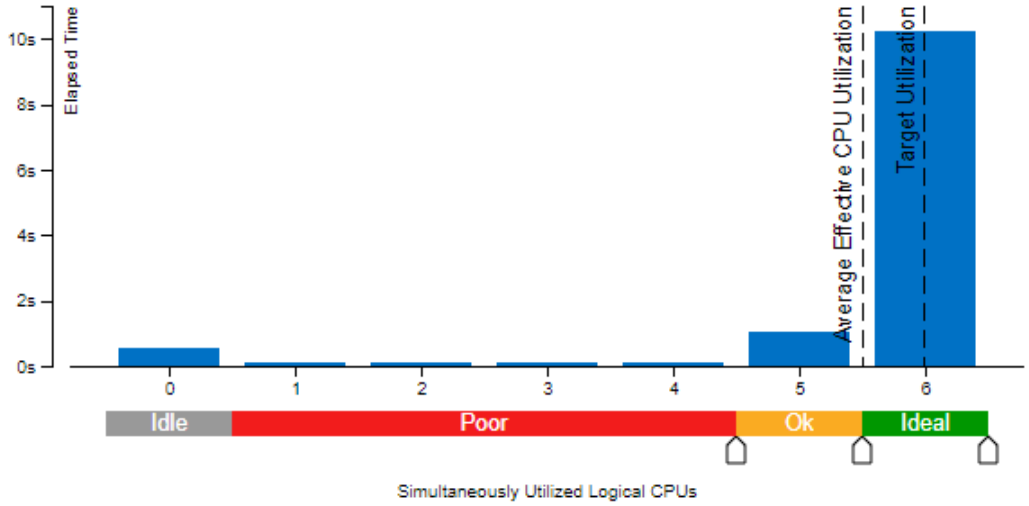
Задание

С использованием спецификатора **schedule** директивы `#pragma omp for` оптимизировать загрузку CPU (при необходимости).

Effective CPU Utilization : 91.8% (5.506 out of 6 logical CPUs)

Effective CPU Utilization Histogram

This histogram displays a percentage of the wall time the specific number of CPUs were running simultaı



Вставить в отчет скриншоты с профилями оптимизированной программы.

Задание

Замерить время работы программы на 1, 2 … p ядрах, где p – максимальное число ядер на вашем ПК.

Кол-во потоков	Время работы
1	
2	
…	
p	

Вычислить ускорение и эффективность параллельной программы, полученные данные занести в таблицу.

Кол-во потоков	Ускорение	Эффективность
1		
2		
…		
p		

По данным таблицы построить графики зависимостей ускорение и эффективности от числа потоков.

Анализ полученных результатов

Определение. Отношение времени выполнения параллельной программы на одном процессоре (ядре) T_1^* ко времени выполнения параллельной программы на **p** процессорах (ядер) T_p называется **ускорением** при использовании **p** процессоров:

$$S_p^* = \frac{T_1^*}{T_p}$$

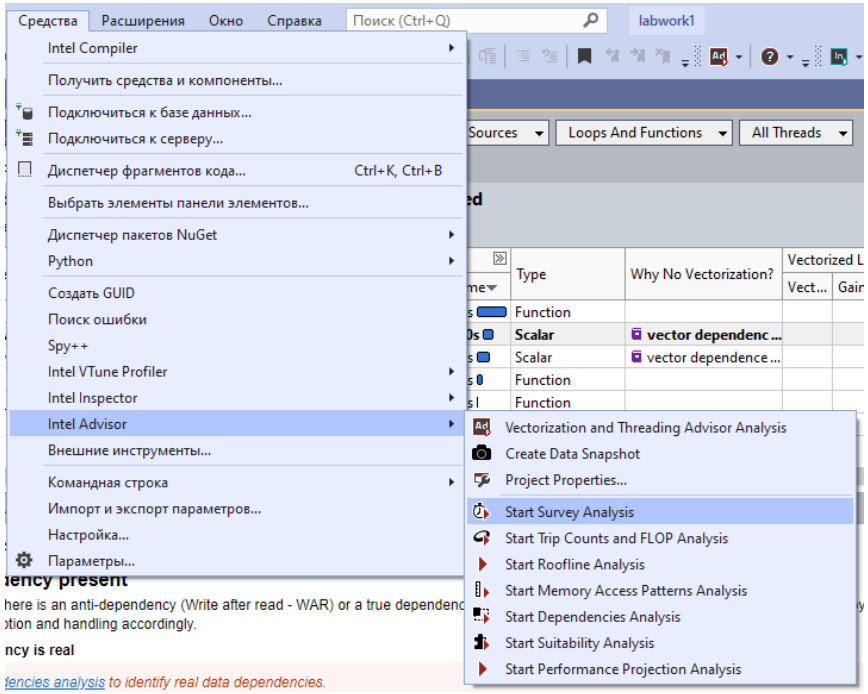
Определение. Отношение ускорения S_p^* к количеству процессоров (ядер) **p** называется **эффективностью** при использовании **p** процессоров (ядер):

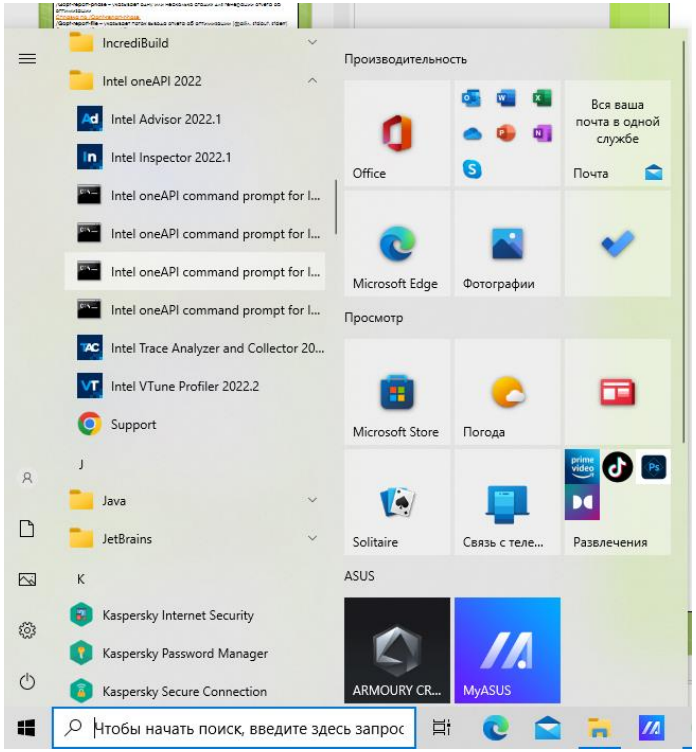
$$E_p^* = \frac{S_P^*}{p}$$

Требования к оформлению отчета

- В отчет по проделанной работе включить:
  1) описание используемых компиляторов;
  2) характеристики центрального процессора;
  3) скриншоты проверки корректности вычислений при различных размерностях;
  4) скриншоты из Intel Inspector и Intel VTune Profiler;
  5) заполненные таблицы;
  6) графики ускорения и эффективности;
  7) вывод.

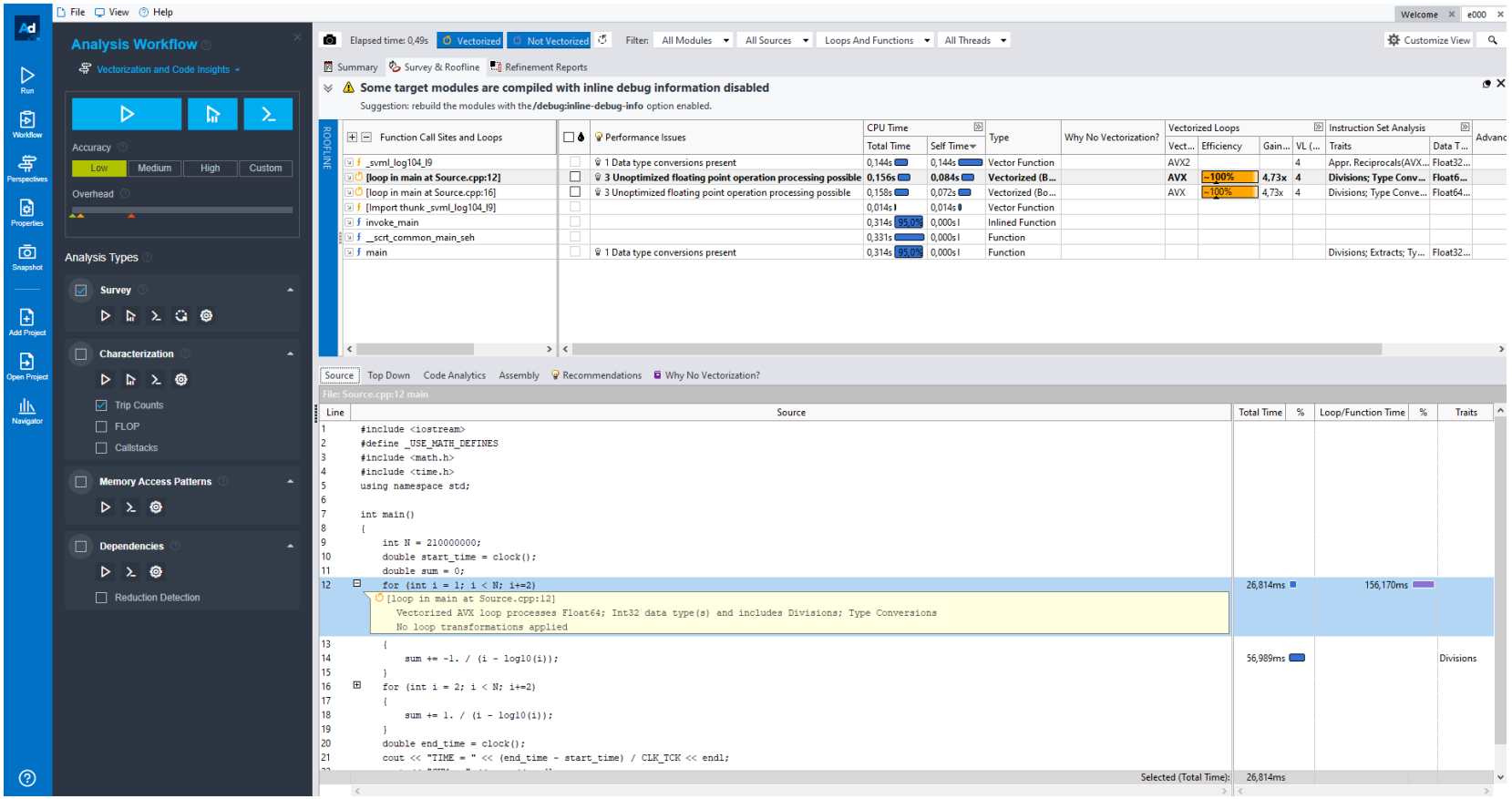
Запуск Intel Advisor





[Справка по Intel Advisor]

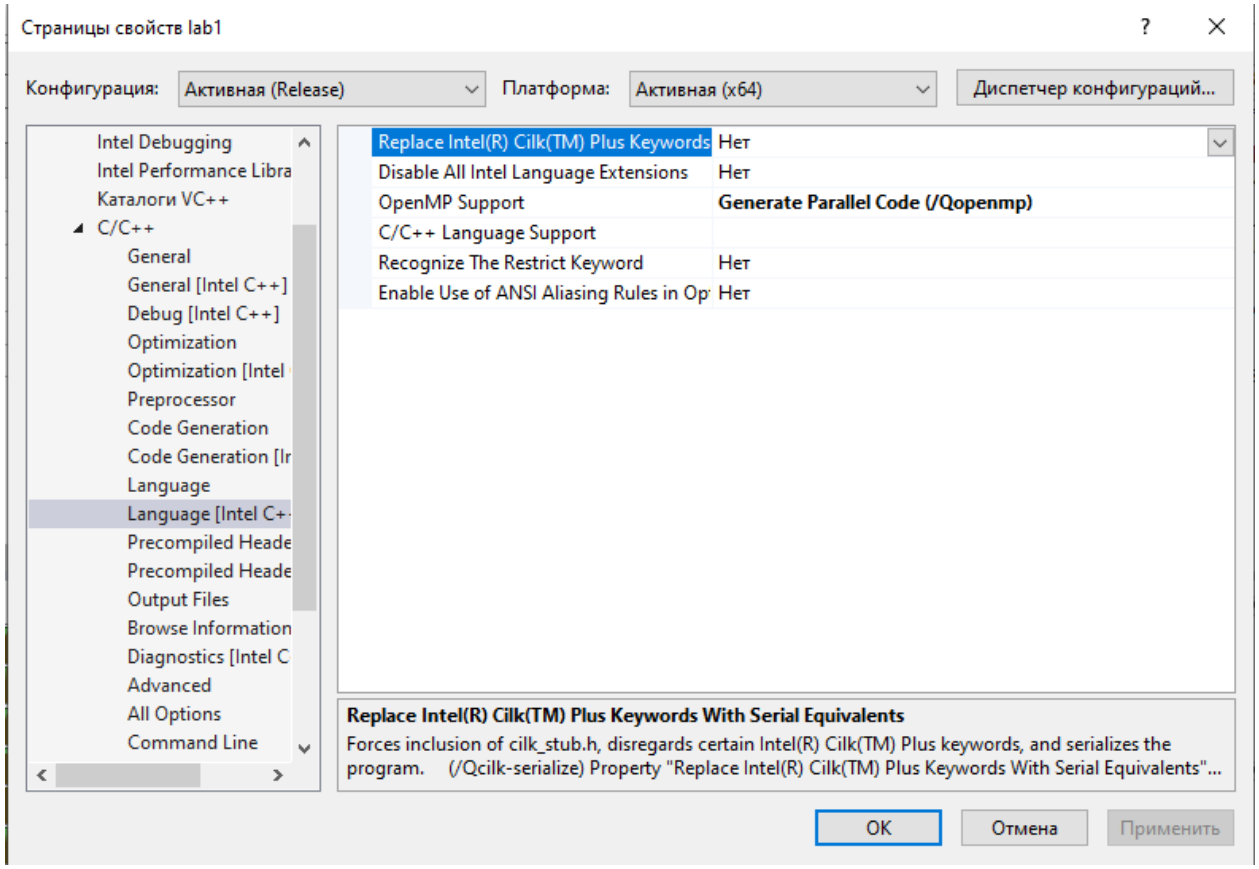
Intel Advisor



[Справка по Vectorization Advisor]

Поддержка OpenMP

Включение поддержки OpenMP в проекте на компиляторе Intel.



Пример последовательной программы

```
1   #include <iostream>
2   #define _USE_MATH_DEFINES
3   #include <math.h>
4   #include <time.h>
5
6   using namespace std;
7   int main()
8   {
9       const long long N = 21000000000;
10      double start_time = clock();
11      double sum = 0.0;
12
13
14
15      for (long long i = 1; i < N; i += 2)
16      {
17          sum -= 1 / (i - log10(i));
18      }
19
20      for (long long i = 2; i < N; i += 2)
21      {
22          sum += 1 / (i - log10(i));
23      }
24
25      double end_time = clock();
26      cout << "time = " << (end_time - start_time) / CLK_TCK << endl;
27      cout << "SUM = " << sum << endl;
28      return 0;
29  }
```

Наивное распараллеливание программы

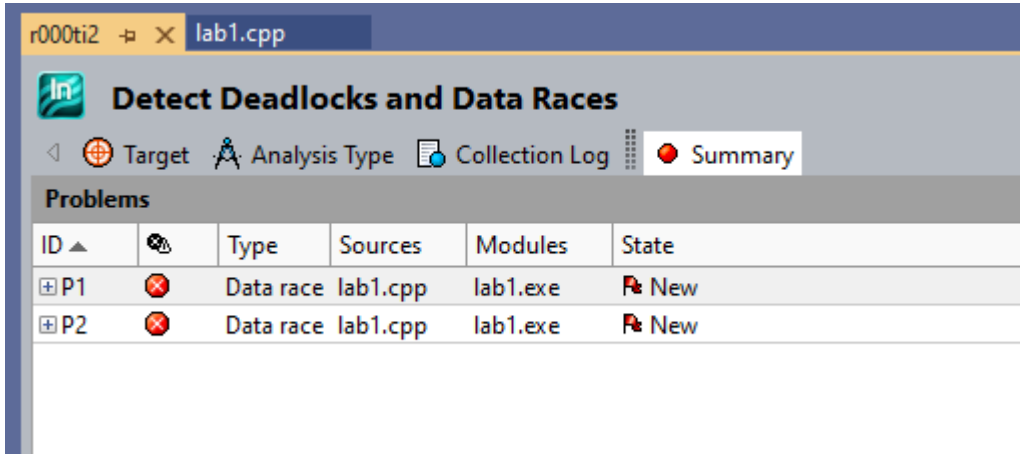
```
1   #include <iostream>
2   #define _USE_MATH_DEFINES
3   #include <math.h>
4   #include <time.h>
5   #include <omp.h>
6   using namespace std;
7   int main()
8   {
9       const long long N = 21000000000;
0       double start_time = omp_get_wtime();
1       double sum = 0.0;
2   #pragma omp parallel num_threads(6)
3       {
4   #pragma omp for
5           for (long long i = 1; i < N; i += 2)
6           {
7               sum -= 1 / (i - log10(i));
8           }
9   #pragma omp for
0           for (long long i = 2; i < N; i += 2)
1           {
2               sum += 1 / (i - log10(i));
3           }
4       }
5       double end_time = omp_get_wtime();
6       cout << "time = " << (end_time - start_time) << endl;
7       cout << "SUM = " << sum << endl;
8       return 0;
9   }
```

Intel Inspector

Переходим в Средства/Intel Inspector/Threading Error Analysis.

или

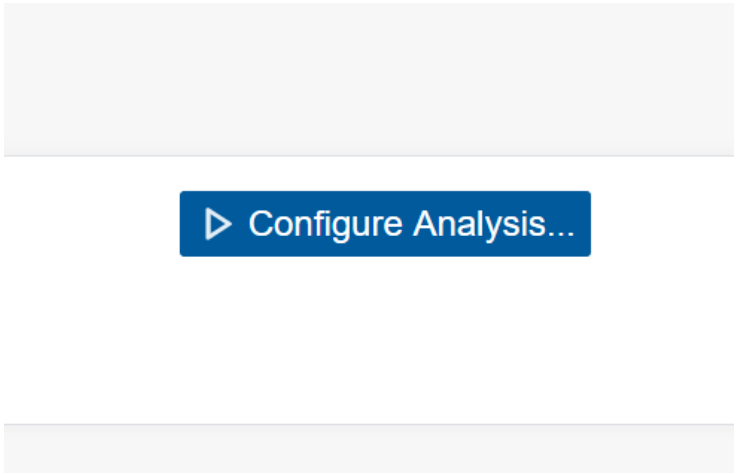
Меню Пуск -> Intel OneAPI 2022 -> Intel Inspector.

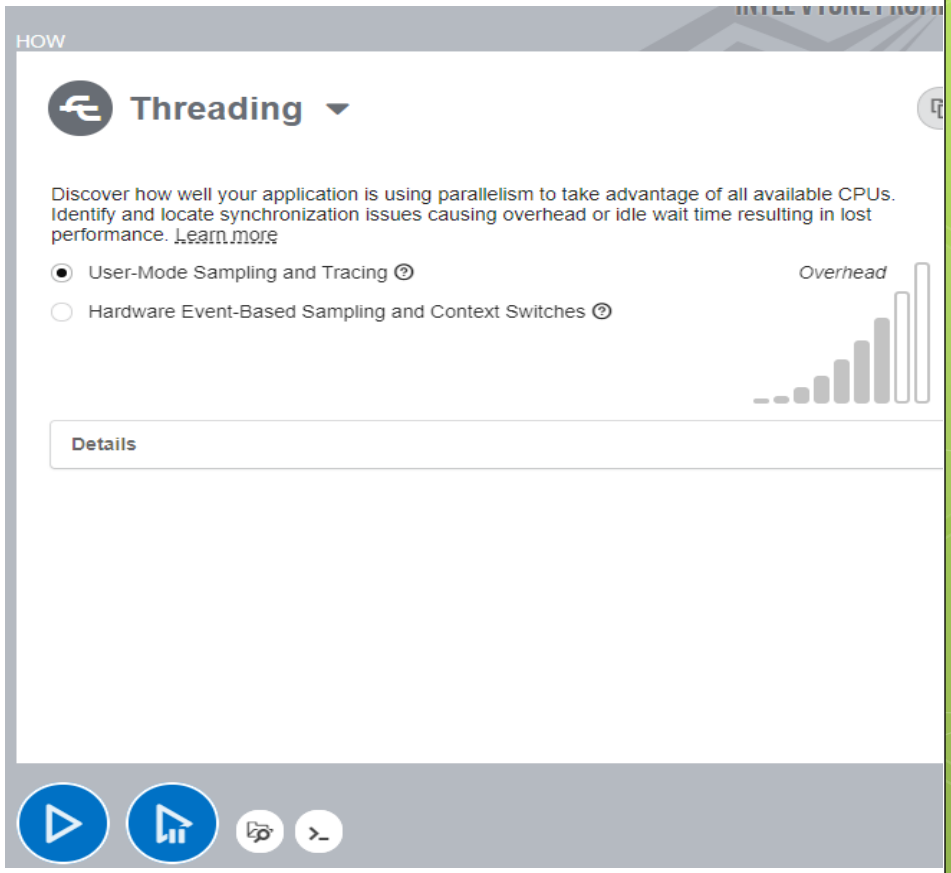


Справка по Intel Inspector

Intel VTune Profiler

Переходим в Средства/Intel VTune Profiler/ Open VTune Profiler. Далее Configure Analysis. Вместо Hotspots выбираем Threading. Запускаем анализ.





Справка по Intel VTune Profiler