Стандарт OpenMP

Лекция 3

Информационные ресурсы

- www.openmp.org
- http://parallel.ru/tech/tech_dev/openmp.html
- www.llnl.gov/computing/tutorials/workshops/workshop/openMP/MAIN.html
- Chandra, R., Menon R., Dagum, L., Kohr, D., Maydan, D., McDonald, J. (2000). *Parallel Programming in OpemMP.* Morgan Kaufmann Publishers.

Стратегия подхода

- OpenMP – стандарт параллельного программирования для многопроцессорных систем с общей памятью.
- Модели параллельного компьютера с произвольным доступом к памяти:
- PRAM – parallel random-access machine

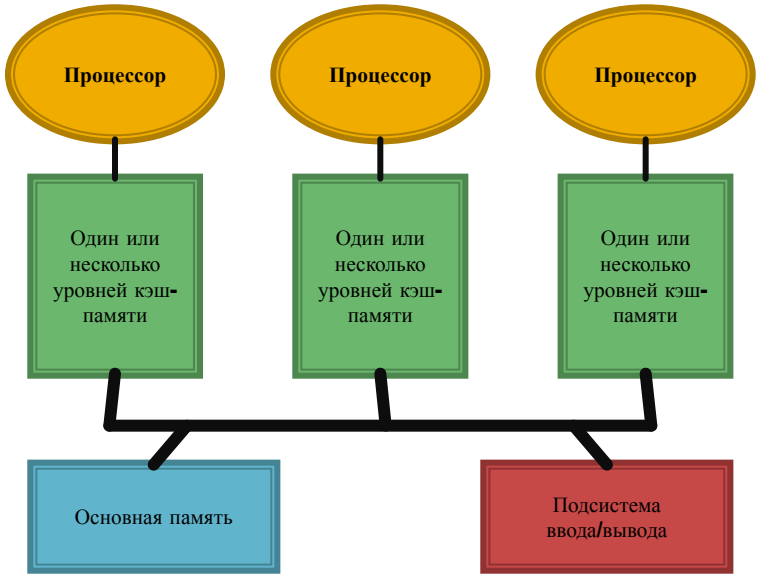


Рис. 1. Модель компьютера

Динамика развития стандарта

- OpenMP Fortran API v1.0 (1997)
- OpenMP C/C++ API v1.0 (1998)
- OpenMP Fortran API v2.0 (2000)
- OpenMP C/C++ API v2.0 (2002)
- OpenMP C/C++/ Fortran API v2.5 (2005)
- OpenMP C/C++/ Fortran API v3.0 (2008)
- OpenMP C/C++/ Fortran API v4.0 (2013)
- OpenMP C/C++/ Fortran API v4.5 (2015)
- OpenMP C/C++/ Fortran API v5.0 (2018)

- Разработкой занимается OpenMP ARB

Динамика развития стандарта

- OpenMP Fortran API v1.0 (1997)
- OpenMP C/C++ API v1.0 (1998)
- OpenMP Fortran API v2.0 (2000)
- OpenMP C/C++ API v2.0 (2002)
- OpenMP C/C++/ Fortran API v2.5 (2005)
- OpenMP C/C++/ Fortran API v3.0 (2008)
- OpenMP C/C++/ Fortran API v4.0 (2013)

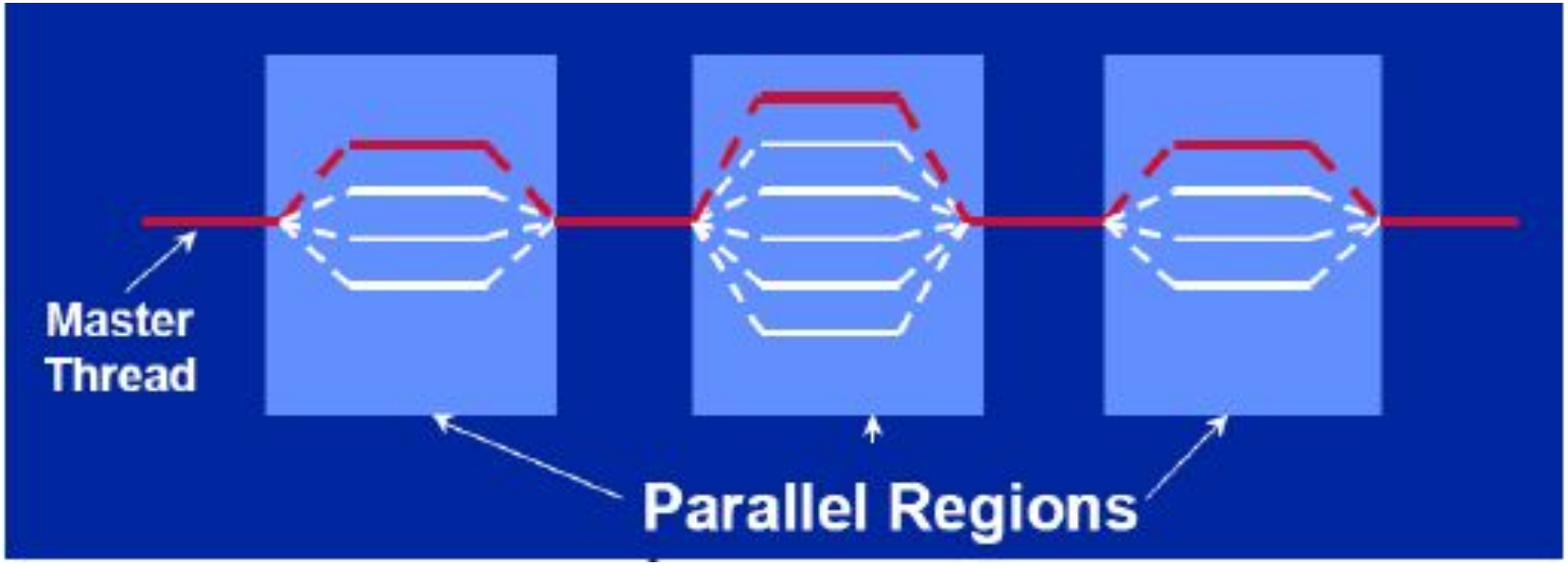
- Разработкой занимается OpenMP ARB

Достоинства

- Поэтапное (инкрементальное) распараллеливание
- Единственность разрабатываемого кода
- Эффективность
- Стандартизированность

Принцип организации параллелизма

- Использование потоков
- Пульсирующий («вилочный») параллелизм



Структура OpenMP:

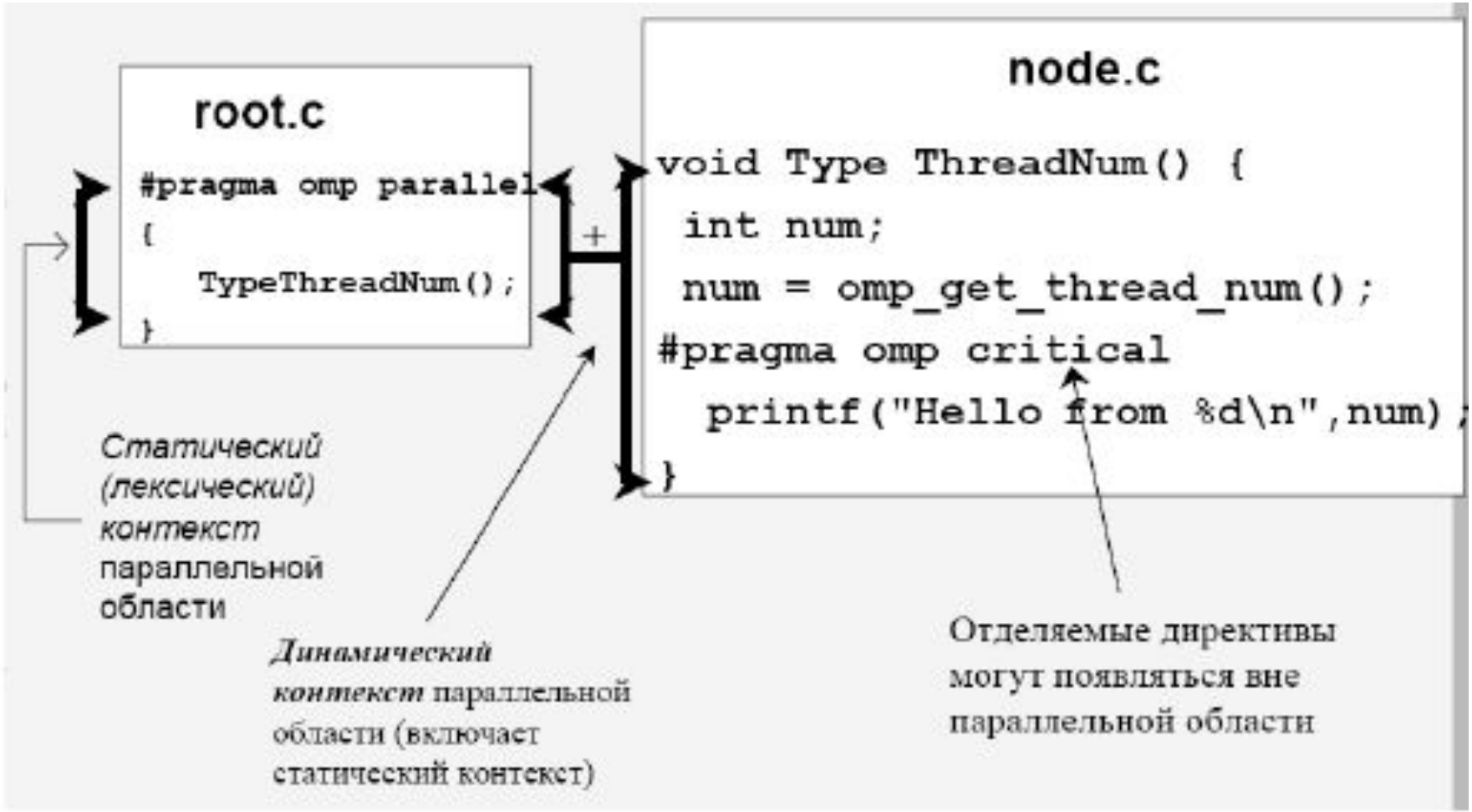
- Набор директив
- Библиотека функций
- Набор переменных окружения

Директивы OpenMP

- Формат
  #pragma omp имя_директивы [clause,…]

- Пример
  #pragma omp parallel default (shared) \
  private (beta, pi)

Области видимости директив



Типы директив

- Определение параллельной области;
- Разделение работы;
- Синхронизация.

Определение параллельной области

- Директива **parallel:**
  #pragma omp parallel [clause …] structured_block

clause

if (scalar_expression)

private (list)

shared (list)

default (shared | none)

firstprivate (list)

reduction (operator:list)

copyin (list)

Определение параллельной области

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main(int argc, char *argv[])  {
   int nthreads, tid;
   #pragma omp parallel private (nthreads, tid)     {
      tid = omp_get_thread_num();
      printf("Hello World from thread = %d\n", tid);
      if (tid == 0) {
         nthreads = omp_get_num_threads();
         printf("Number of threads = %d\n", nthreads);
    }       }
}
```

Распределение вычислений

- DO/for – распараллеливание циклов
- sections – распараллеливание раздельных фрагментов кода
- single – директива последовательного выполнения кода

Синхронным является только завершение выполнения директив

Директива DO/for

- Директива **DO/for:**

#pragma omp for [clause …]
    for_loop

clause

scheldule (type [,chunk])
ordered
private (list)
firstprivate (list)
lastprivate (list)
shared (list)
reduction (operator: list)
nowait

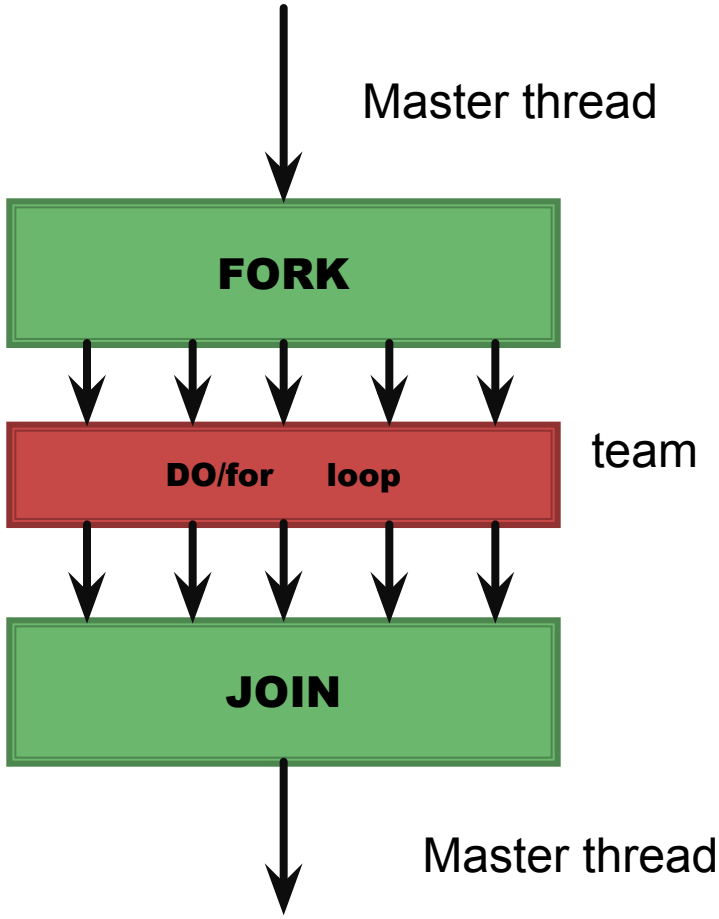


Рис. 4. Модель выполнения

Директива DO/for

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main(int argc, char *argv[]) {
   int A[10], B[10], C[10], i, n;
// Заполним исходные массивы
   for (i = 0; i < 10; i++) {
      A[i] = i;
      B[i] = 2 * i;
      C[i] = 0;     }
   #pragma omp parallel shared(A, B, C) private(i, n)
   {  // Получим номер текущей нити
      n = omp_get_thread_num();
      #pragma omp for
      for (i = 0; i < 10; i++) {
         C[i] = A[i] + B[i];
         printf("Нить \%d сложила элементы с номером %d\n", n, i);
      }    } }
```

Директива sections

- Директива **section:**

```
#pragma omp sections [clause …]
{
  #pragma omp section
     structured_block…
}
```

clause

private (list)
firstprivate (list)
lastprivate (list)
reduction (operator: list)
nowait

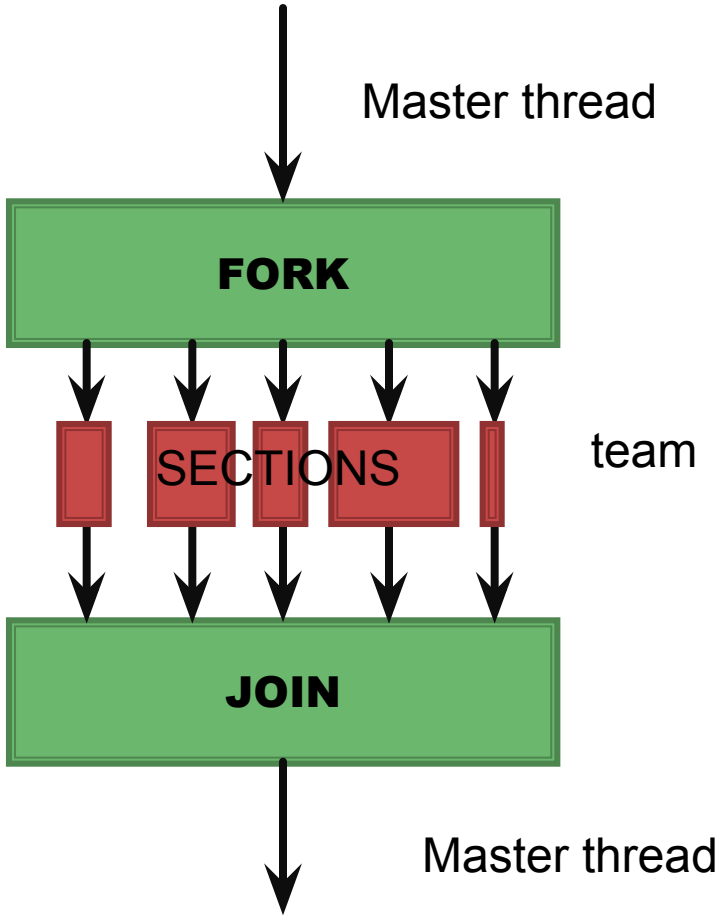


Рис. 5. Модель выполнения

Директива sections

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main(int argc, char *argv[]) {
  int n = 0;
  #pragma omp parallel    {
    #pragma omp sections lastprivate(n) {
      #pragma omp section {
        n = 1;      }
      #pragma omp section {
        n = 2;      }
      #pragma omp section {
        n = 3;     }
    }
    printf("Значение n на нити %d: %d\n",  omp_get_thread_num(), n);
  }
  printf("Значение n в последовательной области: %d\n", n);
}
```

Директива single

- Директива **single:**

```
#pragma omp single [clause …]
{
  #pragma omp section
     structured_block…
}
```

clause

private (list)

firstprivate (list)

nowait

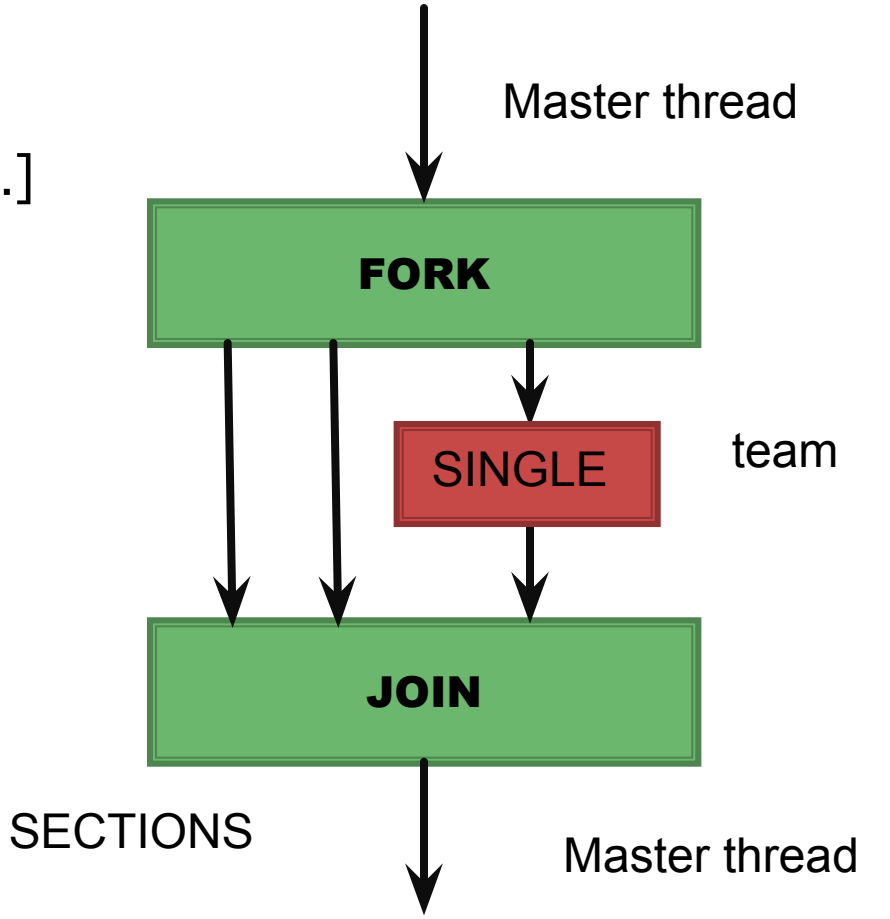


Рис. 5. Модель выполнения

Директива master

```
#include <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[])  {
   int n;
   #pragma omp parallel private(n)     {
      n = 1;
      #pragma omp master        {
         n = 2;
      }
      printf("Первое значение n: %d\n", n);
      #pragma omp barrier
      #pragma omp master        {
         n = 3;
      }
      printf("Второе значение n: %d\n", n);
   } }
```

Директива critical

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int n;
    #pragma omp parallel
    {
        #pragma omp critical
        {
            n = omp_get_thread_num();
            printf("Нить %d\n", n);
        }
    }
}
```

Директива barrier

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
   #pragma omp parallel
   {
      printf("Сообщение 1\n");
      printf("Сообщение 2\n");
      #pragma omp barrier
      printf("Сообщение 3\n");
   }
}
```

Директива atomic

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
   int count = 0;
   #pragma omp parallel
   {
      #pragma omp atomic
      count++;
   }
   printf("Число нитей: %d\n", count);
}
```

Директива flush

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
   int count = 0;
   #pragma omp parallel
   {
      #pragma omp atomic
      count++;
   }
   printf("Число нитей: %d\n", count);
}
```

Директива ordered

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main(int argc, char *argv[]) {
   int i, n;
   #pragma omp parallel private (i, n)     {
      n = omp_get_thread_num();
      #pragma omp for ordered
      for (i = 0; i < 5; i++)        {
         printf("Нить %d, итерация %d\n", n, i);
         #pragma omp ordered           {
            printf("ordered: Нить %d, итерация %d\n", n, i);
         }        }     } }
```

Управление областью видимости

if (scalar_expression)
shared (list)
private (list)

clause:

firstprivate (list)
lastprivate (list)
reduction (operator: list)
default (shared | none)

Параметр reduction

- Возможный формат записи:

  x = x op expr

  x = expr op x

  x binop = expr

  x++, ++x, x--, --x

- ***x*** *– скалярная переменная*
- ***expr*** *не ссылается на* ***x***
- ***op*** *не перегружен:* **+, -, *, &, ^, |, &&, ||**
- ***binop*** *не перегружен:* **+, -, *, &, ^, |**

Совместимость директив и параметров

Clause	Directive					
	PARALLEL	DO/for	SECTIONS	SINGLE	PARALLEL DO/for	PARALLEL SECTIONS
IF	●				●	●
PRIVATE	●	●	●	●	●	●
SHARED	●	●			●	●
DEFAULT	●				●	●
FIRSTPRIVATE	●	●	●	●	●	●
LASTPRIVATE		●	●		●	●
REDUCTION	●	●	●		●	●
COPYIN	●				●	●
SCHEDULE		●			●	
ORDERED		●			●	
NOWAIT		●	●	●		

Библиотека функций OpenMP

- void omp_set_num_threads(int num)
- int omp_get_max_threads(void)
- int omp_get_num_threads(void)
- int omp_get_thread_num (void)
- int omp_get_num_procs (void)
- int omp_in_parallel (void)
- void omp_set_dynamic(int num)
- int omp_get_dynamic(void)
- void omp_get_nested(void)
- void omp_set_nested(int nested)

Библиотека функций OpenMP

- void omp_init_lock(omp_lock_t *lock)
- void omp_nest_init_lock(omp_nest_lock_t *lock)
- void omp_destroy_lock(omp_lock_t *lock)
- void omp_destroy_nest_lock(omp_nest_lock_t *lock)
- void omp_set_lock(omp_lock_t *lock)
- void omp_set_nest_lock(omp_nest_lock_t *lock)
- void omp_unset_lock(omp_lock_t *lock)
- void omp_unset_nest_lock(omp_nest_lock_t *lock)
- void omp_test_lock(omp_lock_t *lock)
- void omp_test_nest_lock(omp_nest_lock_t *lock)

Переменные среды OpenMP

- OMP_SCHEDULE
- OMP_NUM_THREADS
- OMP_DYNAMIC
- OMP_NESTED

Переменные среды OpenMP

```
#include <omp.h>
THREADNUMS 2
I
int main(int argc, char *argv[])  {
      Long StepNums = 10000;
      double step, x, pi, sum=0.0;
      int i;
      step = 1.0/StepNums;
      omp_st_threads(THREADNUMS);
      #pragma omp parallel for reduction (+:sum) private (I,x)
      for (i=0; i<StepNums; i++) {
            x=(i-0.5)*step;
      sum = sum  + 4.0/(1.0 – x*x);
      }
      pi = step*sum;
}
```