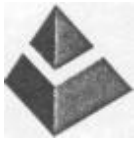


Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра информационных систем и технологий

Введение в OpenMP

по материалам Гергеля В.П., Сысоева А.В.
(Кафедра математического обеспечения ЭВМ, ННГУ)

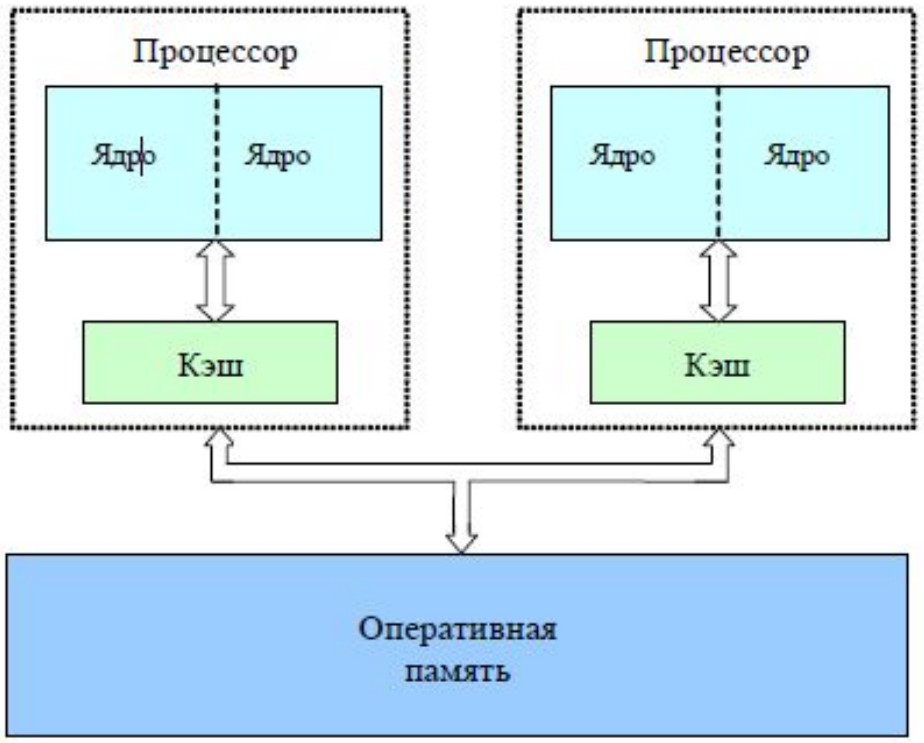
Кислицын Д.И.

Содержание

- Обзор технологии OpenMP
- Директивы OpenMP
  - Формат, области видимости, типы
  - Определение параллельной области
  - Управление областью видимости данных
  - Распределение вычислений между потоками
  - Операция редукции
  - Синхронизация
  - Совместимость директив и их параметров
- Библиотека функций OpenMP
- Переменные окружения
- Информационные ресурсы

Обзор технологии OpenMP

- Интерфейс OpenMP задуман как стандарт параллельного программирования для многопроцессорных систем с общей памятью (SMP, NUMA, …)



В общем вид системы с общей памятью описываются в виде модели параллельного компьютера с произвольным доступом к памяти (*parallel random-access machine – PRAM*)

Обзор технологии OpenMP

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++ API v2.5 (2005)

- Разработкой стандарта занимается организация OpenMP Architecture Review Board, в которую вошли представители крупнейших компаний - разработчиков SMP-архитектур и программного обеспечения.

Обзор технологии OpenMP

- Основания для достижения эффекта – разделяемые для параллельных процессов данные располагаются в общей памяти и для организации взаимодействия не требуется операций передачи сообщений.

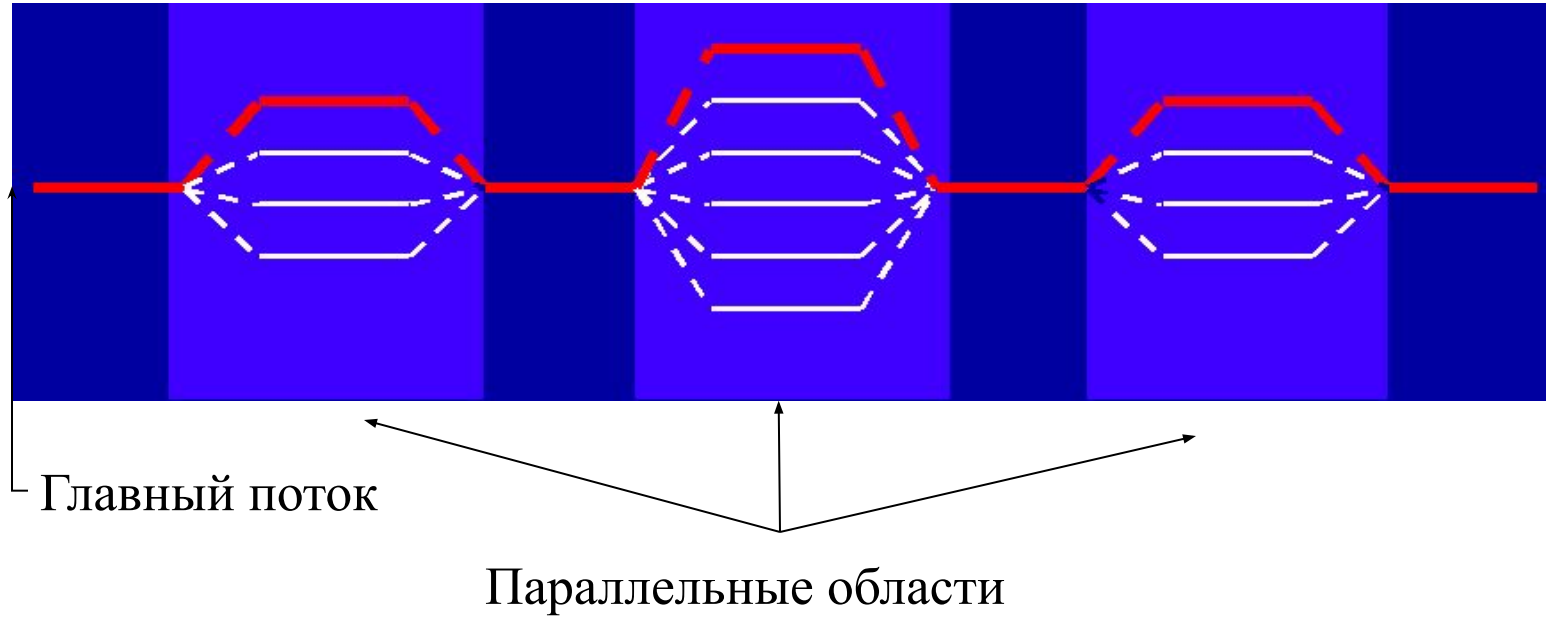
Обзор технологии OpenMP
Положительные стороны

- Поэтапное (инкрементальное) распараллеливание
  - Можно распараллеливать последовательные программы поэтапно, не меняя их структуру
- Единственность разрабатываемого кода
  - Нет необходимости поддерживать последовательный и параллельный вариант программы, поскольку директивы игнорируются обычными компиляторами (в общем случае)
- Эффективность
  - Учет и использование возможностей систем с общей памятью
- Стандартизованность (переносимость), поддержка в наиболее распространенных языках (C/C++, Fortran) и платформах (Windows, Unix)

Обзор технологии OpenMP

Принцип организации параллелизма

- Использование потоков (общее адресное пространство)
- Пульсирующий (“вилочный”, fork-join) параллелизм



Обзор технологии OpenMP

Принцип организации параллелизма

- При выполнении обычного кода (вне параллельных областей) программа выполняется одним потоком (master thread)
- При появлении директивы #parallel происходит создание “команды” (team) потоков для параллельного выполнения вычислений
- После выхода из области действия директивы #parallel происходит синхронизация, все потоки, кроме master, уничтожаются
- Продолжается последовательное выполнение кода (до очередного появления директивы #parallel)

Термины и понятия

- *Параллельный фрагмент (parallel construct)* – блок программы, управляемый директивой **parallel;** именно параллельные фрагменты , совместно с параллельными областями, представляют параллельно-выполняемую часть программы.
- *Параллельная область (parallel region)* – параллельно выполняемые участки программного кода, динамически-возникающие в результате вызова функций из параллельных фрагментов.
- *Параллельная секция (parallel section)* – часть параллельного фрагмента, выделяемая для параллельного выполнения при помощи директивы **section.**

Обзор технологии OpenMP
Структура

- Набор директив компилятора
- Библиотека функций
- Набор переменных окружения

- Изложение материала будет проводиться на примере C/C++

Директивы OpenMP
Формат записи директив

- Формат

```
#pragma omp имя_директивы [clause,…]
```

- Пример

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

Пример показывает также, что для задания директивы может быть использовано несколько строк программы – признаком наличия продолжения является знак обратного слеша "\".

Действие директивы распространяется, как правило, на следующий в программе оператор, который может быть, в том числе, и структурированным блоком.

Директивы OpenMP
Типы директив

- Определение параллельной области
- Разделение работы
- Синхронизация

Директивы OpenMP
Определение параллельной области

- Директива parallel (основная директива OpenMP)

Когда основной поток выполнения достигает директиву parallel, создается набор (team) потоков; входной поток является основным потоком этого набора (master thread) и имеет номер 0

Код области дублируется или разделяется между потоками для параллельного выполнения

В конце области обеспечивается синхронизация потоков – выполняется ожидание завершения вычислений всех потоков; далее все потоки завершаются – дальнейшие вычисления продолжает выполнять только основной поток

Директивы OpenMP
Определение параллельной области

- Пример использования директивы parallel

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
 int main () {
    int nthreads, tid;
    // Создание параллельной области
    #pragma omp parallel private(nthreads, tid)
    {
      // печать номера потока
      tid = omp_get_thread_num();
      printf("Hello World from thread = %d\n", tid);
      // Печать количества потоков - только master
      if (tid == 0) {
        nthreads = omp_get_num_threads();
        printf("Number of threads = %d\n", nthreads);
      }
    } // Завершение параллельной области
  }
```

Директивы OpenMP
Определение параллельной области

- Формат директивы parallel

```
#pragma omp parallel [clause ...] newline
structured_block
```

- Возможные параметры (clause)

```
if (scalar_expression)
num_threads(integer-expression)
private (list)
firstprivate (list)
default (shared | none)
shared (list)
copyin (list)
reduction (operator: list)
```

Директивы OpenMP
Определение параллельной области

- Количество потоков (по убыванию старшинства)
  - num_threads(N)
  - omp_set_num_threads()
  - OMP_NUM_THREADS
  - Число, равное количеству процессоров, которое “видит” операционная система
- Параметр (clause) if – если условие в if не выполняется, то процессы не создаются

Директивы OpenMP
Управление областью видимости данных

- Управление областью видимости обеспечивается при помощи параметров (clause) директив

  private, firstprivate, lastprivate, shared, reduction, …

  которые определяют, какие соотношения существуют между переменными последовательных и параллельных фрагментов выполняемой программы

Директивы OpenMP
Управление областью видимости данных

- Параметр **shared** определяет список переменных, которые будут общими для всех потоков параллельной области; правильность использования таких переменных должна обеспечиваться программистом shared (list)
- Параметр **default** может отменить действие правила по умолчанию (default(none)) или восстановить правило, что по умолчанию: *переменные программы являются общими* (default(shared)).
- Параметр **private** определяет список переменных, которые будут локальными для каждого потока; переменные создаются в момент формирования потоков параллельной области; начальное значение переменных является неопределенным private (list)

Директивы OpenMP
Управление областью видимости данных

Начальные значения локальных переменных не определены, а конечные значения теряются при завершении потоков

- Параметр **firstprivate** позволяет создать локальные переменные потоков, которые перед использованием инициализируются значениями исходных переменных

  firstprivate (list)
- Параметр **lastprivate** позволяет создать локальные переменные потоков, значения которых запоминаются в исходных переменных после завершения параллельной области (используются значения потока, выполнившего последнюю итерацию цикла или последнюю секцию)

  lastprivate (list)

Определение времени выполнения параллельной программы

- Получение текущего момента времени выполнения фрагментов кода параллельных программ обеспечивается при помощи функции

double omp_get_wtime(void)

Функция возвращает количество секунд, прошедших от некоторого определенного момента времени в прошлом.

```
double t1, t2, dt;
t1 = omp_get_wtime ();
…
t2 = omp_get_wtime ();
dt = t2 – t1;
```

Директивы OpenMP

Распределение вычислений между потоками

- Существует 3 директивы для распределения вычислений в параллельной области
  - DO / for – распараллеливание циклов
  - sections – распараллеливание раздельных фрагментов кода (функциональное распараллеливание)
  - single – директива для указания последовательного выполнения кода
- Начало выполнения директив по умолчанию не синхронизируется
- Завершение директив по умолчанию является синхронным

Директивы OpenMP
Распределение вычислений между потоками

- Формат директивы for

```
#pragma omp for [clause ...] newline
for loop
```

- Возможные параметры (clause)

```
private(list)
firstprivate(list)
lastprivate(list)
reduction(operator: list)
ordered
schedule(kind[, chunk_size])
nowait
```

Директивы OpenMP
Распределение вычислений между потоками

- Распределение итераций в директиве for регулируется параметром (clause) schedule
  - static – итерации делятся на блоки по chunk итераций и статически разделяются между потоками; если параметр chunk не определен, итерации делятся между потоками равномерно и непрерывно
  - dynamic – распределение итерационных блоков осуществляется динамически (по умолчанию chunk=1)
  - guided – размер итерационного блока уменьшается экспоненциально при каждом распределении; chunk определяет минимальный размер блока (по умолчанию chunk=1)
  - runtime – правило распределения определяется переменной OMP_SCHEDULE (при использовании runtime параметр chunk задаваться не должен) Так, например, для задания динамического способа при размере блока итераций 3, следует определить:

```
setenv OMP_SCHEDULE "dynamic,3"
```

Директивы OpenMP

Распределение вычислений между потоками

- Пример использования директивы for

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
#define NMAX 100
int main (){
int i, j;
double a[NMAX][NMAX], sum;
for (i=0; i < NMAX; i++)
 for (j=0; j < NMAX; j++)
      a[i][j] = (i+j);
#pragma omp parallel for shared(a) private(i,j,sum)
 for (i=0; i < NMAX; i++) {
  sum = 0;
  for (j=0; j < NMAX; j++)
   sum += a[i][j];
  printf ("Summa of row elements %d is %f\n",i,sum);
 } /* Завершение параллельного фрагмента */
}
```

Директивы OpenMP

Распределение вычислений между потоками

- Пример динамического распределения итераций между потоками

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
#define NMAX 100
#define CHUNK 10
int main (){
int i, j;
double a[NMAX][NMAX], sum;
for (i=0; i < NMAX; i++)
 for (j=0; j < NMAX; j++)
      a[i][j] = (i+j);
#pragma omp parallel for shared(a) private(i,j,sum) \
                  schedule (dynamic, CHUNK)
 for (i=0; i < NMAX; i++) {
  sum = 0;
  for (j=i; j < NMAX; j++)
   sum += a[i][j];
  printf ("Summa of row elements %d is %f\n",i,sum);
 } /* Завершение параллельного фрагмента */
}
```

Директивы OpenMP

Распределение вычислений между потоками

- Управление порядком выполнения вычислений

Если же для ряда действий в цикле необходимо сохранить первичный порядок вычислений, который соответствует последовательному выполнению итераций в последовательной программе, то желаемого результата можно добиться при помощи директивы **ordered** (при этом для директивы **for** должен быть указан параметр **ordered**). Параметр **ordered** управляет порядком выполнения только тех действий, которые выделены директивой **ordered.**

```
#pragma omp parallel for shared(a) private(i,j,sum) \
            schedule (dynamic, CHUNK) ordered
{
 for (i=0; i < NMAX; i++) {
  sum = 0;
  for (j=i; j < NMAX; j++)
   sum += a[i][j];
  #pragma omp ordered
   printf ("Сумма элементов строки %d равна %f\n",i,sum);
} /* Завершение параллельного фрагмента */
```

Директивы OpenMP

Распределение вычислений между потоками

- Синхронизация вычислений по окончании выполнения цикла

По умолчанию, все потоки, прежде чем перейти к выполнению дальнейших вычислений, ожидают окончания выполнения итераций цикла даже если некоторые из них уже завершили свои вычисления – конец цикла представляет собой некоторый барьер, который потоки могут преодолеть только все вместе.

Можно отменить указанную синхронизацию, указав параметр ***nowait*** *в* директиве ***for*** – тогда потоки могут продолжить вычисления за переделами цикла, если для них нет итераций цикла для выполнения.

Директивы OpenMP
Операция редукции

- Параметр reduction определяет список переменных, для которых выполняется операция редукции
  - перед выполнением параллельной области для каждого потока создаются копии этих переменных,
  - потоки формируют значения в своих локальных переменных
  - при завершении параллельной области над всеми локальными значениями выполняются необходимые операции редукции, результаты которых запоминаются в исходных (глобальных) переменных

reduction (operator: list)

Директивы OpenMP
Операция редукции

- Правила записи параметра reduction

  Возможный формат записи выражения

  x = x op expr

  x = expr op x

  x binop = expr

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

  – x должна быть скалярной переменной
  – expr не должно ссылаться на x
  – op (operator) должна быть неперегруженной операцией вида

    +, -, *, /, &, ^, |, &&, ||
  – binop должна быть неперегруженной операцией вида

    +, -, *, /, &, ^, |

Директивы OpenMP
Операция редукции

- Пример использования параметра reduction

```
total = 0;
#pragma omp parallel for shared(a) private(i,j,sum) \
            reduction (+:total)
for (i=0; i < NMAX; i++) {
sum = 0;
for (j=i; j < NMAX; j++)
sum += a[i][j];
printf ("Сумма элементов строки %d равна %f\n",i,sum);
total = total + sum;
} /* Завершение параллельного фрагмента */
printf ("Общая сумма элементов матрицы равна %f\n",total);
```

Использование общей переменной total без создания локальных копий является неправильным, т.к. без обеспечения взаимоисключения возникает ситуация гонки потоков и итоговый результат может быть ошибочным.

Директивы OpenMP

Распределение вычислений между потоками

- Параметр **if** директивы **parallel**

```
#include <omp.h>
#define NMAX 1000
#define LIMIT 100
main () {
int i, j, sum;
float a[NMAX][NMAX];
<инициализация данных>
#pragma omp parallel for shared(a) private(i,j,sum) \
                          if (NMAX>LIMIT)
{
for (i=0; i < NMAX; i++) {
sum = 0;
for (j=0; j < NMAX; j++)
sum += a[i][j];
printf ("Сумма элементов строки %d равна %f\n",i,sum);
} /* Завершение параллельного фрагмента */
}
```

Директивы OpenMP
Распределение вычислений между потоками

- Формат директивы sections

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

- Возможные параметры (clause)

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

Директивы OpenMP

Распределение вычислений между потоками

- Директива sections – распределение вычислений для раздельных фрагментов кода
  - фрагменты выделяются при помощи директивы section
  - каждый фрагмент выполняется однократно
  - разные фрагменты выполняются разными потоками
  - завершение директивы по умолчанию синхронизируется
  - директивы section должны использоваться только в статическом контексте

Директивы OpenMP

Распределение вычислений между потоками

- Пример использования директивы sections

```
total = 0;
#pragma omp parallel shared(a,b) private(i,j)
{
#pragma omp sections
    {
 #pragma omp section
 /* Вычисление сумм элементов строк и общей суммы */
 for (i=0; i < NMAX; i++) {
  sum = 0;
  for (j=0; j < NMAX; j++)
   sum += a[i][j];
  printf ("Summa of row elements %d is %f\n",i,sum);
  total = total + sum;
  }
 #pragma omp section
 /* Копирование матрицы */
  for (i=0; i < NMAX; i++)
   for (j=0; j < NMAX; j++)
    b[i][j] = a[i][j];
    }
} /* Завершение параллельного фрагмента */
printf ("Total summa is %f\n",total);
}
```

Директивы OpenMP
Распределение вычислений между потоками

- Объединение директив parallel и for/sections

```
total = 0;
#pragma omp parallel sections shared(a,b) private(i,j)
{
#pragma omp section
 /* Вычисление сумм элементов строк и общей суммы */
 for (i=0; i < NMAX; i++) {
  sum = 0;
  for (j=0; j < NMAX; j++)
   sum += a[i][j];
  printf ("Summa of row elements %d is %f\n",i,sum);
  total = total + sum;
  }
 #pragma omp section
 /* Копирование матрицы */
  for (i=0; i < NMAX; i++)
   for (j=0; j < NMAX; j++)
    b[i][j] = a[i][j];
} /* Завершение параллельного фрагмента */
printf ("Total summa is %f\n",total);
}
```

Директивы OpenMP
Распределение вычислений между потоками

- Формат директивы single

```
#pragma omp single [clause ...] newline
  structured_block
```

- Возможные параметры (clause)

```
private(list)
firstprivate(list)
copyprivate(list)
nowait
```

Директива **single** определяет блок параллельного фрагмента, который должен быть выполнен только одним потоком; все остальные потоки ожидают завершения выполнения данного блока (если не указан параметр ***nowait***).

Директивы OpenMP
Синхронизация

- Директива master определяет фрагмент кода, который должен быть выполнен только основным потоком; все остальные потоки пропускают данный фрагмент кода (завершение директивы по умолчанию не синхронизируется)

```
#pragma omp master newline
  structured_block
```

- Директива critical определяет фрагмент кода, который должен выполняться только одним потоком в каждый текущий момент времени (критическая секция)

```
#pragma omp critical [name] newline
  structured_block
```

Директивы OpenMP
Синхронизация

- Пример использования директивы **critical**

```
#include <omp.h>
main() {
  int x;
  x = 0;
  #pragma omp parallel shared(x)
  {
    #pragma omp critical
      x = x + 1;
  } // end of parallel section
}
```

Директивы OpenMP
Синхронизация

- Директива barrier – определяет точку синхронизации, которую должны достигнуть все процессы для продолжения вычислений (директива должны быть вложена в блок)

```
#pragma omp barrier newline
```

Директивы OpenMP
Синхронизация

- Директива atomic – определяет переменную, доступ к которой (чтение/запись) должна быть выполнена как неделимая операция

```
#pragma omp atomic newline
  expression
```

- Возможный формат записи выражения `expression`

  x binop = expr , x++, ++x, x--, --x

  x должна быть скалярной переменной

  expr не должно ссылаться на x

  binop должна быть неперегруженной операцией вида

  +, -, *, /, &, ^, |, >>, <<

Директивы OpenMP
Синхронизация

- Пример использования директивы **atomic**

```
total = 0;
#pragma omp parallel for shared(a) private(i,j,sum)
 for (i=0; i < NMAX; i++) {
  sum = 0;
  for (j=0; j < NMAX; j++)
   sum += a[i][j];
printf ("Summa of row elements %d is %f\n",i,sum);
 #pragma omp atomic
  total += sum;
} /* Завершение параллельного фрагмента */
printf ("Total summa is %f\n",total);
```

Директивы OpenMP
Синхронизация

- Директива flush – определяет точку синхронизации, в которой системой должно быть обеспечено единое для всех процессов состояние памяти (т.е. если потоком какое-либо значение извлекалось из памяти для модификации, измененное значение обязательно должно быть записано в общую память)

```
#pragma omp flush (list) newline
```

- Если указан список list, то восстанавливаются только указанные переменные
- Директива flush неявным образом присутствует в директивах barrier, critical, ordered, parallel, for, sections, single

Директивы OpenMP

Совместимость директив и их параметров

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

Сводный перечень директив OpenMP

Директива	Описание
parallel [<*параметр*>…]	Директива определения параллельного фрагмента в коде программы (подраздел 4.2). **Параметры**: *if, private, shared, default, firstprivate, reduction, copyin, num_threads*
for [<*параметр*>…]	Директива распараллеливания циклов (подраздел 4.2). **Параметры**: *private, firstprivate, lastprivate, reduction, ordered, nowait, schedule*
sections [<*параметр*>…]	Директива для выделения программного кода, который далее будет разделен на параллельно выполняемые параллельные секции (подраздел 4.6). Выделение параллельных секций осуществляется при помощи директивы **section**. **Параметры**: *private, firstprivate, lastprivate, reduction, nowait*
section	Директива выделения параллельных секций – должна располагаться в блоке директивы **sections** (подраздел 4.6).
single [<*параметр*>…]	Директива для выделения программного кода в параллельном фрагменте, исполняемого только одним потоком (п. 4.7.1). **Параметры**: *private, firstprivate, copyprivate, nowait*

Сводный перечень директив OpenMP

Директива	Описание
`parallel for [<параметр>…`	Объединенная форма директив `parallel` и `for` (подраздел 4.2). **Параметры**: *`private, firstprivate, lastprivate, shared, default, reduction, ordered, schedule, copyin, if, num_threads`*
`parallel sections [<параметр>…`	Объединенная форма директив `parallel` и `sections` (подраздел 4.6). **Параметры**: *`private, firstprivate, lastprivate, shared, default, reduction, copyin, if, num_threads`*
`master`	Директива для выделения программного кода в параллельном фрагменте, исполняемого только основным (*master*) потоком (п. 4.7.1).
`critical [(name)]`	Директива для определения критических секций (п. 4.5.2).
`barrier`	Директива для барьерной синхронизации потоков (п. 4.7.2).
`atomic`	Директива для определения атомарной (неделимой) операции (п. 4.5.1).
`flush [list]`	Директива для синхронизации состояния памяти (п. 4.7.3).
`threadprivate (list)`	Директива для определения постоянных локальных переменных потоков (п. 4.7.4).
`ordered`	Директивы управления порядком вычислений в распараллеливаемом цикле (п. 4.3.2). При использовании данной директивы в директиве `for` должен быть указан одноименный параметр `ordered`

Сводный перечень параметров директив OpenMP

Параметр	Описание
`private (list)`	Параметр для создания локальных копий для перечисленных в списке переменных для каждого имеющегося потока (п. 4.4.1). Исходные значения копий не определены. **Директивы:** `parallel, for, sections, single`
`firstprivate (list)`	Тоже что и параметр `private` и дополнительно инициализация создаваемых копий значениями, которые имели перечисленные в списке переменные перед началом параллельного фрагмента (п. 4.4.1). **Директивы:** `parallel, for, sections, single`
`lastprivate (list)`	Тоже что и параметр `private` и дополнительно запоминание значений локальных переменных после завершения параллельного фрагмента (п. 4.4.1). **Директивы:** `for, sections`
`shared (list)`	Параметр для определения общих переменных для всех имеющихся потоков (п. 4.4.1). **Директивы:** `parallel`
`default (shared | none)`	Параметр для установки правила по умолчанию на использование переменных в потоках (п. 4.4.1). **Директивы:** `parallel`

Сводный перечень параметров директив OpenMP

Параметр	Описание
`reduction (operator: list)`	Параметр для задания операции редукции (п. 4.4.2). **Директивы:** `parallel, for, sections`
`nowait`	Параметр для отмены синхронизации при завершении директивы. **Директивы:** `for, sections, single`
`if (expression)`	Параметр для задания условия, только при выполнении которого осуществляется создание параллельного фрагмента (п. 4.3.4). **Директивы:** `parallel`
`ordered`	Параметр для задания порядка вычислений в распараллеливаемом цикле (п. 4.3.2). **Директивы:** `for`
`schedule (type [, chunk])`	Параметр для управления распределением итераций распараллеливаемого цикла между потоками (п. 4.3.1). **Директивы:** `for`
`copyin (list)`	Параметр для инициализации постоянных переменных потоков (п. 4.7.4). **Директивы:** `parallel`
`copyprivate (list)`	Копирование локальных переменных потоков после выполнения блока директивы **single** (п. 4.7.1). **Директивы:** `single`
`num_treads`	Параметр для задания количества создаваемых потоков в параллельной области (п. 4.7.5). **Директивы:** `parallel`

Библиотека функций OpenMP

- Позволяет назначить максимальное число потоков для использования в следующей параллельной области (если это число разрешено менять динамически). ***Вызывается из последовательной области программы***

```
void omp_set_num_threads(int num_threads)
```

- Возвращает максимальное число потоков

```
int omp_get_max_threads(void)
```

- Возвращает фактическое число потоков в параллельной области программы

```
int omp_get_num_threads(void)
```

Библиотека функций OpenMP

- Возвращает номер потока

```
int omp_get_thread_num(void)
```

- Возвращает число процессоров, доступных приложению

```
int omp_get_num_procs(void)
```

- Возвращает true, если вызвана из параллельной области программы

```
int omp_in_parallel(void)
```

- Возвращает количество сек., прошедших от некоторого определенного момента времени в прошлом

```
double omp_get_wtime(void)
```

- Возвращает время в сек. между двумя последовательными показателями времени аппаратного таймера

```
double omp_get_wtick(void)
```

Библиотека функций OpenMP

- Разрешение (dynamic=true) динамического режима и его отключение (dynamic=false)

```
void omp_set_dynamic (int dynamic);
```

- Возвращает *true*, если динамический режим разрешён

```
int omp_get_dynamic(void);
```

- Разрешение (nested=true) вложенного параллелизма и его отключение (nested=false)

```
int omp_set_nested(int nested);
```

- Возвращает *true*, если вложенный параллелизм разрешён

```
int omp_get_nested(void);
```

Переменные окружения

- OMP_SCHEDULE – определяет способ распределения итераций в цикле, если в директиве for использована клауза schedule(runtime)
- OMP_NUM_THREADS – определяет число нитей для исполнения параллельных областей приложения
- OMP_DYNAMIC – разрешает или запрещает динамическое изменение числа нитей
- OMP_NESTED – разрешает или запрещает вложенный параллелизм

Информационные ресурсы

- Гергель В.П. Раздел "Параллельное программирование с использованием OpenMP». Учебный курс "Введение в методы параллельного программирования». - Н. Новгород, 2007
- www.openmp.org
- Что такое OpenMP – http://parallel.ru/tech/tech_dev/openmp.html
- Introduction to OpenMP - www.llnl.gov/computing/tutorials/workshops/workshop/openMP/MAIN.html
- Chandra, R., Menon, R., Dagum, L., Kohr, D., Maydan, D., McDonald, J. Parallel Programming in OpenMP. – Morgan Kaufmann Publishers, 2000