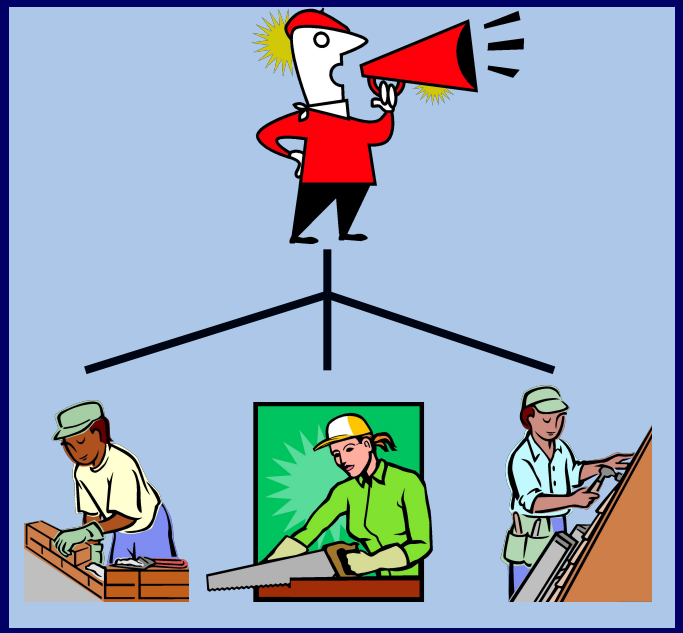
Параллельное программирование в стандарте OpenMP

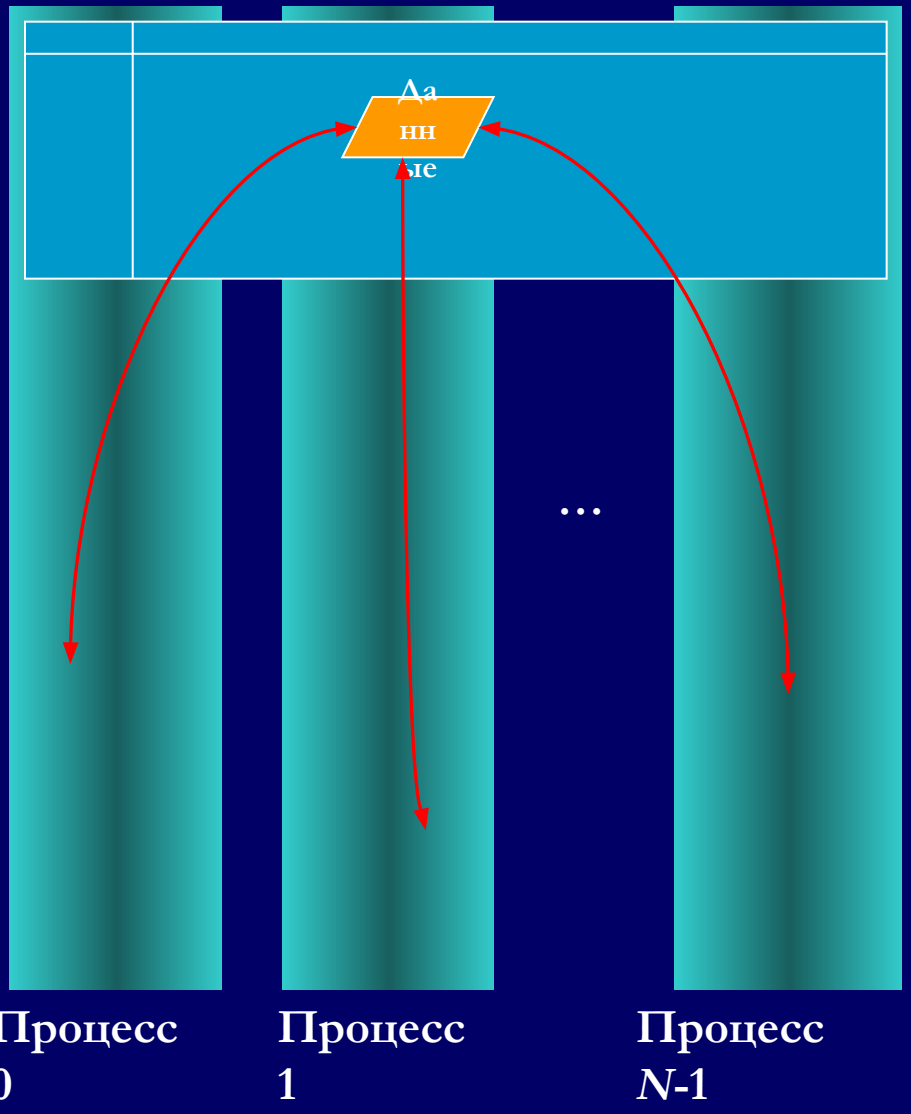


М.Л. Цымблер

Содержание

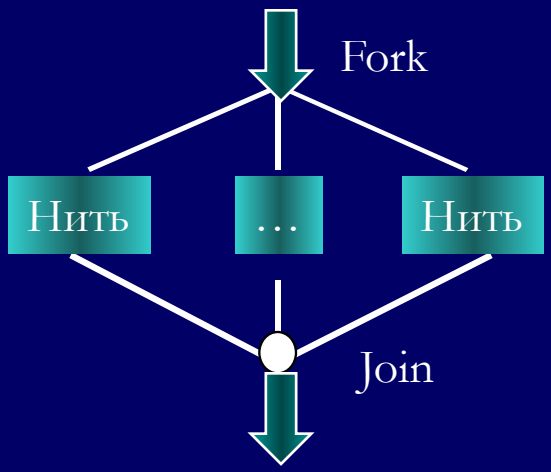
- Модель программирования в общей памяти
- Модель FORK-JOIN
- Стандарт OpenMP
- Основные понятия и функции OpenMP

Программирование в общей памяти



- *Параллельное приложение* состоит из нескольких *процессов*, выполняющихся одновременно.
- Процессы разделяют общую память.
- Обмены между процессами осуществляются посредством чтения/записи данных в общей памяти.
- Процессы могут выполняться как на одном и том же, так и на разных процессорах.

Модель FORK-JOIN



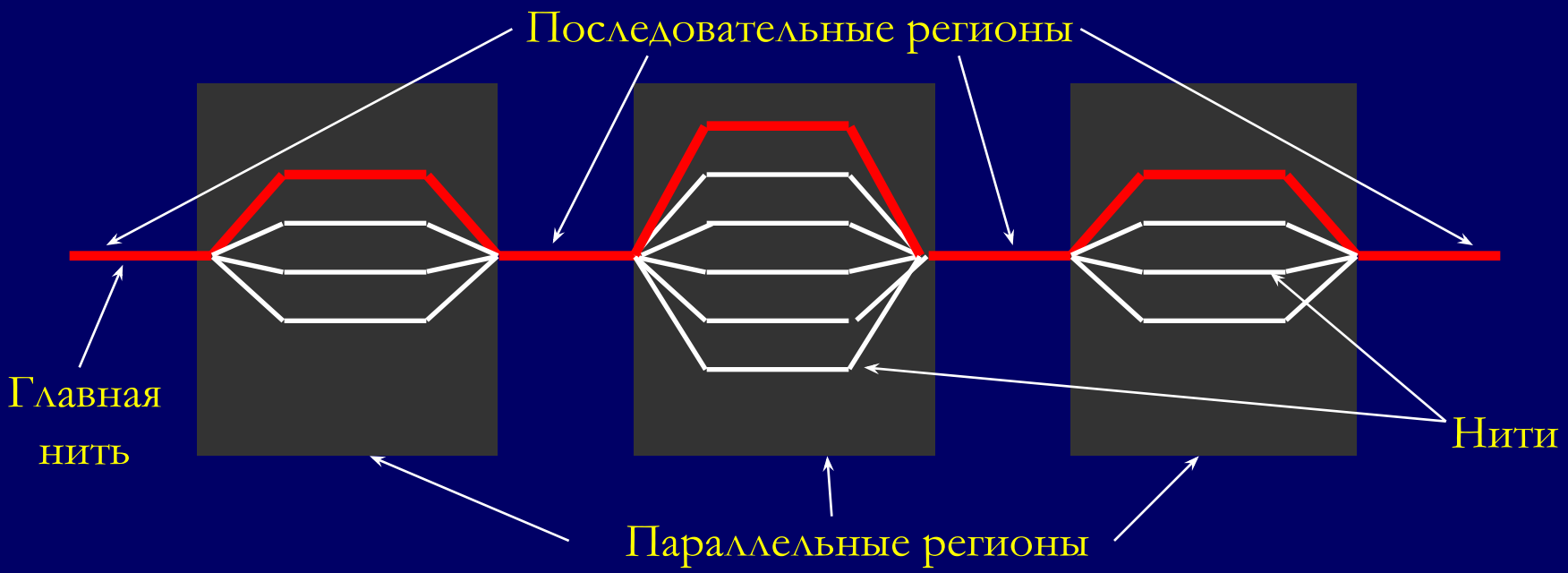
- Современные операционные системы поддерживают полновесные *процессы* (программы) и *легковесные процессы (нити)*.
  - Процесс – *главная нить*.
  - Нить может запускать другие нити в рамках процесса. Каждая нить имеет собственный сегмент стека.
  - Все нити процесса разделяют сегмент данных процесса.

Стандарт OpenMP

- *OpenMP* – стандарт, реализующий модели программирования в общей памяти и Fork-Join.
- Стандарт представляет собой набор директив компилятора и спецификаций подпрограмм для на языках C, C++ и FORTRAN.
- Стандарт реализуется разработчиками компиляторов для различных аппаратно-программных платформ (кластеры, персональные компьютеры, …, Windows, Unix/Linux, …).

Структура OpenMP-программы

- Главная нить (программа) порождает семейство дочерних нитей (сколько необходимо). Порождение и завершение осуществляется с помощью директив компилятора.
- Преобразование последовательной программы в параллельную может происходить "инкрементно".



Директивы OpenMP

- Директивы OpenMP – директивы C/C++ компилятора #pragma.
  - Для использования директив необходимо установить соответствующие параметры компилятора (обычно -openmp).
- Синтаксис директив OpenMP:
  #pragma omp имя_директивы [параметры]
- Примеры:
  #pragma omp parallel
  #pragma omp for private(i, j) reduction(+: sum)

Функции библиотеки OpenMP

- Назначение функций библиотеки:
  - контроль и просмотр параметров OpenMP-программы
    - omp_get_thread_num() возвращает номер текущей нити
  - явная синхронизация нитей на базе "замков"
    - omp_set_lock() устанавливает "замок"
- Для использования функций необходимо подключить библиотеку
  - #include "omp.h"

Переменные окружения OpenMP

- Переменные окружения контролируют поведение приложения.
  - OMP_NUM_THREADS – количество нитей в параллельном регионе
  - OMP_DYNAMIC – разрешение или запрет динамического изменения количества нитей.
  - OMP_NESTED – разрешение или запрет вложенных параллельных регионов.
  - OMP_SCHEDULE – способ распределения итераций в цикле.
- Функции назначения параметров изменяют значения соответствующих переменных окружения.

Директивы определения параллельных фрагментов

- #pragma omp parallel
  Определяет блок кода, который будет выполнен всеми созданными на входе в этот блок нитями.
- #pragma omp for
  Определяет цикл, итерации которого должны выполняться одновременно несколькими нитями.
- #pragma omp section
  Определяет множество блоков кода, каждый из который будет выполняться только одной из созданных на входе в этот блок нитью.
- #pragma omp master
  Определяет блок кода, который будет выполнен только главной нитью.

Простая программа на OpenMP

Последовательный код

```
void main()
{
  printf("Hello!\n");
}
```

Результат

```
Hello!
```

Параллельный код

```
void main()
{
#pragma omp parallel
{
    printf("Hello!\n");
}
}
```

Результат (для 2-х нитей)

```
Hello!
Hello!
```

Директива parallel for

- OpenMP поддерживает *редукцию* вычислительных операций, выполняемых в циклах. Редукция подразумевает определение для каждой нити частной переменной для вычисления "частичного" результата и автоматическое выполнение операции "слияния" частичных результатов.

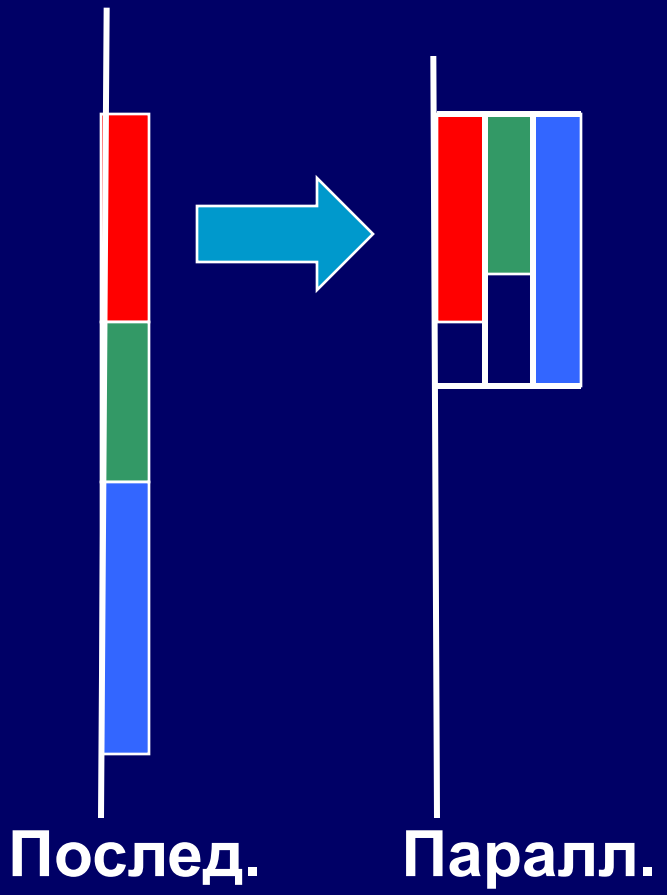
```
#pragma omp parallel for reduction(+:sum)
  for (i=0; i<N; i++) {
    sum += a[i] * b[i];
  }
```

Операция	Нач. значение
+	0
*	1
-	0
^	0
&	~0
|	0
&&	1
||	0

Параллельные секции

- Явное определение блоков кода, которые могут исполняться параллельно.

```
#pragma omp parallel sections
{
   #pragma omp section
   phase1();
   #pragma omp section
   phase2();
   #pragma omp section
   phase3();
}
```

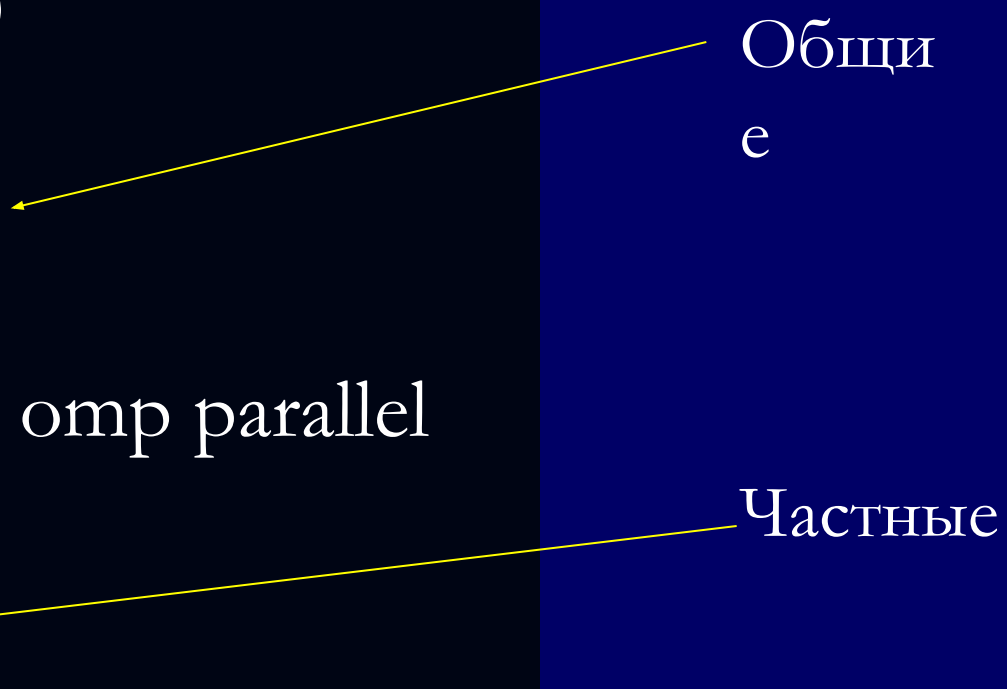


Область видимости переменных

- *Общая переменная (shared)* – доступна для модификации всем нитям.
- *Частная переменная (private)* – доступна для модификации только одной (создавшей ее) нити только на время выполнения этой нити.
- Правила видимости переменных:
  - все переменные, определенные **вне** параллельной области – **общие**;
  - все переменные, определенные **внутри** параллельной области – **частные**.

Общие и частные переменные

```
void main()
{
  int a, b, c;
  …
  #pragma omp parallel
  {
    int d, e;
    …
  }
}
```



Явное указание области видимости

- Для явного указания области видимости используются следующие параметры директив:
  - shared() – общие переменные
  - private() – частные переменные
- Примеры:

```
#pragma omp parallel shared(buf)
#pragma omp for private(i, j)
```

Общие и частные переменные

```
void main()
{
  int a, b, c;
  …
  #pragma omp parallel shared(a) private(b)
  {
    int d, e;
    …
  }
}
```

Общие и частные переменные

```
void main()
{
  int rank;
 #pragma omp parallel
  {
    rank = omp_get_thread_num();
  }
  printf("%d\n", rank);
}
```

```
void main()
{
  int rank;
 #pragma omp parallel
  {
    rank = omp_get_thread_num();
    printf("%d\n", rank);
  }
}
```

Общие и частные переменные

```
void main()
{
  int rank;
#pragma omp parallel shared
(rank)
  {
    rank = omp_get_thread_num();
    printf("%d\n", rank);
  }
}
```

```
void main()
{
  int rank;
 #pragma omp parallel private
(rank)
  {
    rank = omp_get_thread_num();
    printf("%d\n", rank);
  }
}
```

Директивы синхронизации

- #pragma omp master
  Определяет блок кода, который будет выполнен только главной нитью.
- #pragma omp critical
  Определяет блок кода, который не должен выполняться одновременно двумя или более нитями.
- #pragma omp barrier
  Определяет точку барьерной синхронизации, в которой каждая нить дожидается всех остальных.
- #pragma omp atomic
  Определяет переменную в левой части оператора "атомарного" присваивания, которая должна корректно обновляться несколькими нитями.
- #pragma omp flush
  Явно определяет точку, в которой обеспечивается одинаковый вид памяти для всех нитей.

#pragma omp master

- Определяет блок кода, который будет выполнен только главной нитью. Не подразумевает барьера для других нитей.

```
#pragma omp parallel
{
  DoSomeJob1(omp_get_thread_num());
#pragma master
{
   printf("Job #1 done\n");
}
  DoSomeJob2(omp_get_thread_num());
#pragma master
{
   printf("Job #2 done\n");
}
}
```

#pragma omp critical

- Определяет блок кода, который не должен выполняться одновременно двумя или более нитями.

```
float dot_prod(float* a, float* b, int N)
{
  float sum = 0.0;
#pragma omp parallel for shared(sum)
   for (i=0; i<N; i++) {
     sum = sum + a[i] * b[i];
   }
  return sum;
}
```

```
float dot_prod(float* a, float* b, int N)
{
  float sum = 0.0;
#pragma omp parallel for shared(sum)
   for (i=0; i<N; i++) {
#pragma omp critical
     sum += a[i] * b[i];
   }
  return sum;
}
```