Интернет Университет Суперкомпьютерных технологий

Конструкции для синхронизации нитей

Учебный курс

Параллельное программирование с OpenMP

Бахтин В.А., кандидат физ.-мат. наук,
заведующий сектором,
Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН

Содержание

- Директива MASTER
- Директива CRITICAL
- Директива ATOMIC
- Семафоры
- Директива BARRIER
- Директива TASKWAIT
- Директива FLUSH
- Директива ORDERED

Директива master

#pragma omp master

структурный блок

*/*Структурный блок будет выполнен MASTER-нитью группы. По завершении выполнения структурного блока барьерная синхронизация нитей не выполняется*/*

```
#include <stdio.h>
void init(float *a, float *b ) {
  #pragma omp master
     scanf("%f %f", a, b);
  #pragma omp barrier
}
int main () {
   float x,y;
   #pragma omp parallel
   {
      init (&x,&y);
      parallel_work (x,y);
   }
}
```

Взаимное исключение критических интервалов

При взаимодействии через общую память нити должны синхронизовать свое выполнение.

```
int i=0;
#pragma omp parallel {
  i++;
}
```

Время	Thread0	Thread1
1	load i (i = 0)	
2	incr i (i = 1)	
3	->	load i (i = 0)
4		incr i (i = 1)
5		store i (i = 1)
6	store i (i = 1)	<-

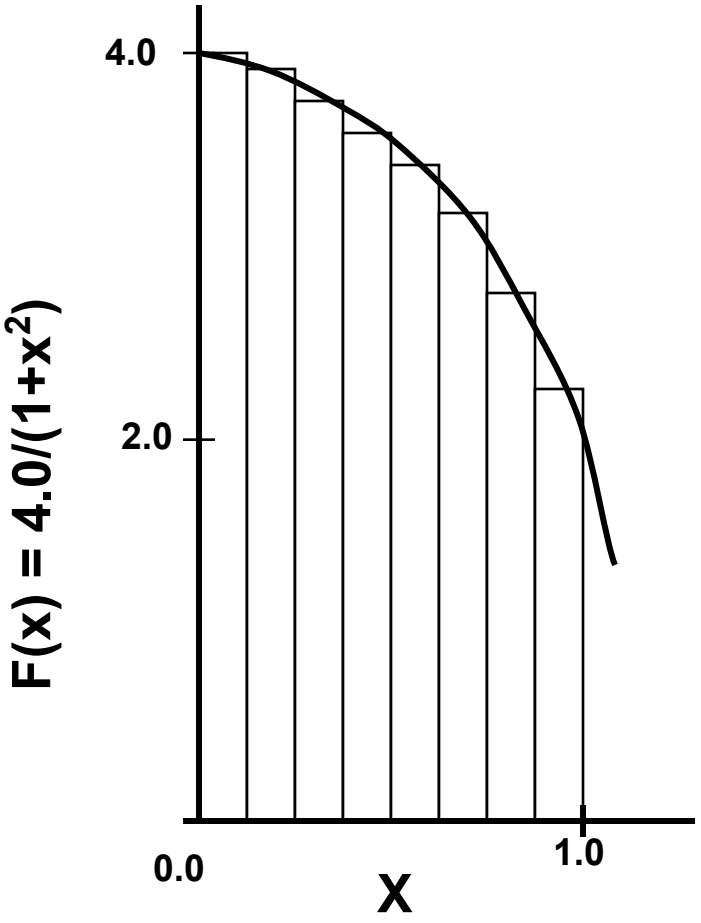
Результат зависит от порядка выполнения команд. Требуется взаимное исключение критических интервалов.

Взаимное исключение критических интервалов

Решение проблемы взаимного исключения должно удовлетворять требованиям:

- в любой момент времени только одна нить может находиться внутри критического интервала;
- если ни одна нить не находится в критическом интервале, то любая нить, желающая войти в критический интервал, должна получить разрешение без какой либо задержки;
- ни одна нить не должна бесконечно долго ждать разрешения на вход в критический интервал (если ни одна нить не будет находиться внутри критического интервала бесконечно);
- не должно существовать никаких предположений о скоростях процессоров.

Вычисление числа π



$$\int_0^1 \frac{4.0}{(1+x^2)}\,dx = \pi$$

Мы можем аппроксимировать интеграл как сумму прямоугольников:

$$\sum_{i=0}^{N} F(x_i)\Delta x \approx \pi$$

Где каждый прямоугольник имеет ширину Δx и высоту $F(x_i)$ в середине интервала

Вычисление числа π. Последовательная программа.

```
#include <stdio.h>
int main ()
{
   int n =100000, i;
   double pi, h, sum, x;
   h   = 1.0 / (double) n;
   sum = 0.0;
   for (i = 1; i <= n; i ++)
   {
            x = h * ((double)i - 0.5);
            sum += (4.0 / (1.0 + x*x));
    }
    pi = h * sum;
    printf("pi is approximately %.16f”, pi);
    return 0;
}
```

Вычисление числа π на OpenMP с использованием критической секции

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main ()
{
   int n =100000, i;
   double pi, h, sum, x;
   h   = 1.0 / (double) n;
   sum = 0.0;
#pragma omp parallel default (none) private (i,x) shared (n,h,sum)
   {
     double local_sum = 0.0;
#pragma omp for
      for (i = 1; i <= n;  i++) {
            x = h * ((double)i - 0.5);
            local_sum += (4.0 / (1.0 + x*x));
       }
      #pragma omp critical
            sum += local_sum;
    }
    pi = h * sum;
    printf("pi is approximately %.16f”, pi);
    return 0;
}
```

#pragma omp critical *[(name)]*
структурный блок

Директива critical

```
int from_ list(float *a, int type);
void work(int i, float *a);

void example ()
{
#pragma omp parallel
    {
        float *x;
        int ix_next;
        #pragma omp critical (list0)
            ix_next = from_ list(x,0);
        work(ix_next, x);
        #pragma omp critical (list1)
            ix_next = from_ list(x,1);
         work(ix_next, x);
    }
}
```

Директива atomic

#pragma omp atomic
expression-stmt
где expression-stmt:

- **x binop= expr**
- **x++**
- **++x**
- **x--**
- **--x**

Здесь x – скалярная переменная, expr – выражение со скалярными типами, в котором не присутствует переменная x.

где binop - не перегруженный оператор:

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

Вычисление числа π на OpenMP с использованием директивы atomic

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main ()
{
   int n =100000, i;
   double pi, h, sum, x;
   h   = 1.0 / (double) n;
   sum = 0.0;
#pragma omp parallel default (none) private (i,x) shared (n,h,sum)
   {
     double local_sum = 0.0;
#pragma omp for
      for (i = 1; i <= n;  i++) {
            x = h * ((double)i - 0.5);
            local_sum += (4.0 / (1.0 + x*x));
       }
      #pragma omp atomic
            sum += local_sum;
    }
    pi = h * sum;
    printf("pi is approximately %.16f”, pi);
    return 0;
}
```

Семафоры

- Концепцию семафоров описал Дейкстра (Dijkstra) в 1965
- *Семафор* - неотрицательная целая переменная, которая может изменяться и проверяться только посредством двух функций:
- P - функция запроса семафора
  P(s): [if (s == 0) <заблокировать текущий процесс>; else s = s-1;]
- V - функция освобождения семафора
  V(s): [if (s == 0) <разблокировать один из заблокированных процессов>; s = s+1;]

Семафоры в OpenMP

Состояния семафора:

- *uninitialized*
- *unlocked*
- *locked*

```
void omp_init_lock(omp_lock_t *lock); /* uninitialized to unlocked*/
void omp_destroy_lock(omp_lock_t *lock); /* unlocked  to uninitialized */
void omp_set_lock(omp_lock_t *lock);  /*P(lock)*/
void omp_unset_lock(omp_lock_t *lock); /*V(lock)*/
int omp_test_lock(omp_lock_t *lock);

void omp_init_nest_lock(omp_nest_lock_t *lock);
void omp_destroy_nest_lock(omp_nest_lock_t *lock);
void omp_set_nest_lock(omp_nest_lock_t *lock);
void omp_unset_nest_lock(omp_nest_lock_t *lock);
int omp_test_nest_lock(omp_nest_lock_t *lock);
```

Вычисление числа π на OpenMP с использованием семафоров

```
#include <omp.h>
int main ()
{
   int n =100000, i;
   double pi, h, sum, x;
   omp_lock_t lck;
   h   = 1.0 / (double) n;
   sum = 0.0;
   omp_init_lock(&lck);
#pragma omp parallel default (none) private (i,x) shared (n,h,sum,lck)
   {
     double local_sum = 0.0;
#pragma omp for
      for (i = 1; i <= n;  i++) {
            x = h * ((double)i - 0.5);
            local_sum += (4.0 / (1.0 + x*x));
       }
       omp_set_lock(&lck);
            sum += local_sum;
        omp_unset_lock(&lck);
    }
    pi = h * sum;
    printf("pi is approximately %.16f”, pi);
    omp_destroy_lock(&lck);
    return 0;
}
```

Использование семафоров

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
int main()
{
   omp_lock_t lck;
   int id;
   omp_init_lock(&lck);
   #pragma omp parallel shared(lck) private(id)
   {
      id = omp_get_thread_num();
      omp_set_lock(&lck);
      printf("My thread id is %d.\n", id); /* only one thread at a time can execute this printf */
      omp_unset_lock(&lck);
      while (! omp_test_lock(&lck)) {
         skip(id); /* we do not yet have the lock, so we must do something else*/
      }
      work(id); /* we now have the lock and can do the work */
      omp_unset_lock(&lck);
   }
   omp_destroy_lock(&lck);
   return 0;
}
```

```
void skip(int i) {}
void work(int i) {}
```

Использование семафоров

```
#include <omp.h>
typedef struct {
    int a,b;
    omp_lock_t lck; } pair;
void incr_a(pair *p, int a)
{
    p->a += a;
}
void incr_b(pair *p, int b)
{
    omp_set_lock(&p->lck);
    p->b += b;
    omp_unset_lock(&p->lck);
}
void incr_pair(pair *p, int a, int b)
{
    omp_set_lock(&p->lck);
    incr_a(p, a);
    incr_b(p, b);
    omp_unset_lock(&p->lck);
}
```

```
void incorrect_example(pair *p)
{
   #pragma omp parallel sections
   {
      #pragma omp section
         incr_pair(p,1,2);
      #pragma omp section
         incr_b(p,3);
    }
}
```

Deadlock!

Использование семафоров

```
#include <omp.h>
typedef struct {
    int a,b;
    omp_nest_lock_t lck; } pair;
void incr_a(pair *p, int a)
{   /* Called only from incr_pair, no need to lock. */
    p->a += a;
}
void incr_b(pair *p, int b)
{
    omp_set_nest_lock(&p->lck);
    /* Called both from incr_pair and elsewhere,
    so need a nestable lock. */
    p->b += b;
    omp_unset_nest_lock(&p->lck);
}
void incr_pair(pair *p, int a, int b)
{
    omp_set_nest_lock(&p->lck);
    incr_a(p, a);
    incr_b(p, b);
    omp_unset_nest_lock(&p->lck);
}
```

```
void correct_example(pair *p)
{
   #pragma omp parallel sections
   {
      #pragma omp section
         incr_pair(p,1,2);
      #pragma omp section
         incr_b(p,3);
    }
}
```

Директива barrier

Точка в программе, достижимая всеми нитями группы, в которой выполнение программы приостанавливается до тех пор пока все нити группы не достигнут данной точки и все явные задачи, выполняемые группой нитей будут завершены.

#pragma omp barrier

По умолчанию барьерная синхронизация нитей выполняется:

- по завершению конструкции **parallel**
- при выходе из конструкций распределения работ (**for**, **single**, **sections**, **workshare**) , если не указана клауза **nowait**.

```
#pragma omp parallel
{
   #pragma omp master
   {
       int i, size;
       scanf("%d",&size);
       for (i=0; i<size; i++) {
          #pragma omp task
              process(i);
       }
   }
   #pragma omp barrier
}
```

Директива barrier

```
void work(int i, int j) {}
void wrong(int n)
{
    #pragma omp parallel default(shared)
    {
     int i;
     #pragma omp for
     for (i=0; i<n; i++) {
         work(i, 0);
         /* incorrect nesting of barrier region in a loop region */
         #pragma omp barrier
              work(i, 1);
          }
    }
}
```

Директива barrier

```
void work(int i, int j) {}
void wrong(int n)
{
    #pragma omp parallel default(shared)
    {
     int i;
     #pragma omp critical
     {
         work(i, 0);
         /* incorrect nesting of barrier region in a critical region */
         #pragma omp barrier
              work(i, 1);
      }
    }
}
```

Директива barrier

```
void work(int i, int j) {}
void wrong(int n)
{
    #pragma omp parallel default(shared)
    {
     int i;
     #pragma omp single
     {
         work(i, 0);
         /* incorrect nesting of barrier region in a single region */
         #pragma omp barrier
              work(i, 1);
      }
    }
}
```

Директива taskwait

```
#pragma omp taskwait

int fibonacci(int n) {
   int i, j;
   if (n<2)
      return n;
   else {
      #pragma omp task shared(i)
          i=fibonacci (n-1);
      #pragma omp task shared(j)
          j=fibonacci (n-2);
     #pragma omp taskwait
     return i+j;
   }
}
```

```
int main () {
   int res;
   #pragma omp parallel
   {
      #pragma omp single
      {
         int n;
         scanf("%d",&n);
         #pragma omp task shared(res)
             res = fibonacci(n);
       }
   }
   printf (“Finonacci number =  %d\n”, res);
}
```

Директива flush

#pragma omp flush *[(список переменных)]*

По умолчанию все переменные приводятся в консистентное состояние **(#pragma omp flush**):

- При барьерной синхронизации
- При входе и выходе из конструкций **parallel**, **critical** и **ordered**.
- При выходе из конструкций распределения работ (**for**, **single**, **sections**, **workshare**) , если не указана клауза **nowait**.
- При вызове **omp_set_lock** и **omp_unset_lock**.
- При вызове **omp_test_lock**, **omp_set_nest_lock**, **omp_unset_nest_lock**
- и **omp_test_nest_lock**, если изменилось состояние семафора.

При входе и выходе из конструкции **atomic** выполняется **#pragma omp flush(x)**, где x – переменная, изменяемая в конструкции **atomic**.

Спасибо за внимание!

Вопросы?

Следующая тема

- **Система поддержки выполнения OpenMP-программ. Переменные окружения, управляющие выполнением OpenMP-программы.**

Контакты

- **Бахтин В.А.**, кандидат физ.-мат. наук, заведующий сектором, Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

  bakhtin@keldysh.ru