

Синхронизация процессов

Метод последовательной верхней релаксации (SOR)

```
float A[ L1 ][ L2 ];
```

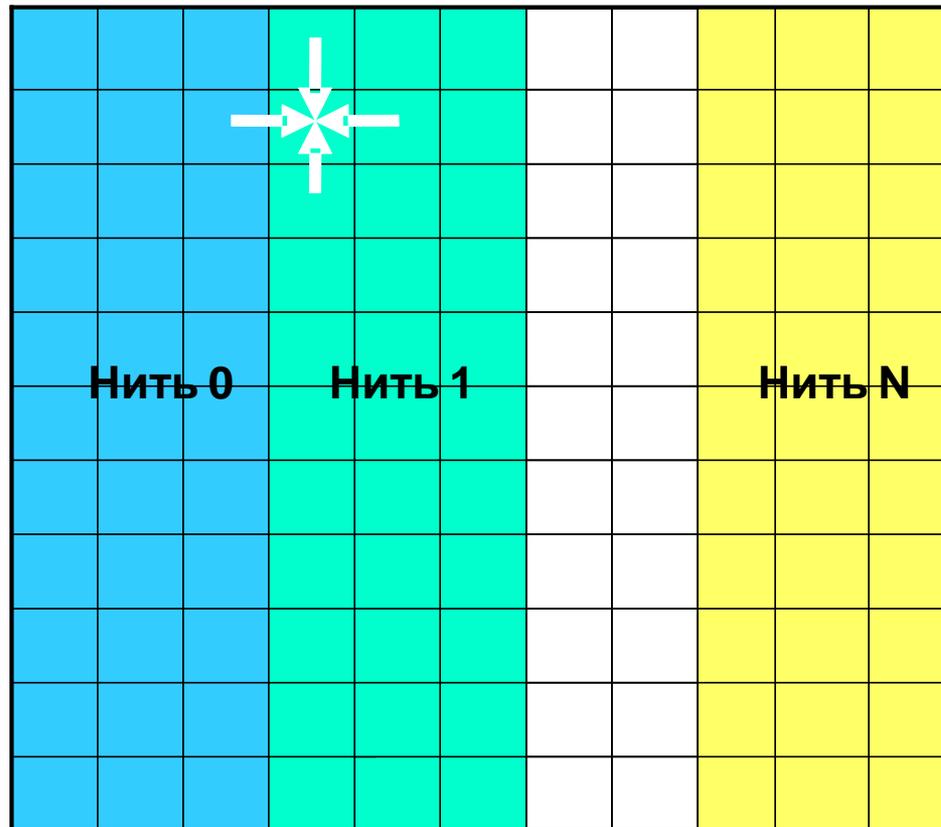
```
for(int i = 1; i < L1-1; i++)
```

```
    for(int j = 1; j < L2-1; j++)
```

```
        A[i][j] = (A[i-1][j] + A[i][j-1] + A[i+1][j] + A[i][j+1]) / 4;
```

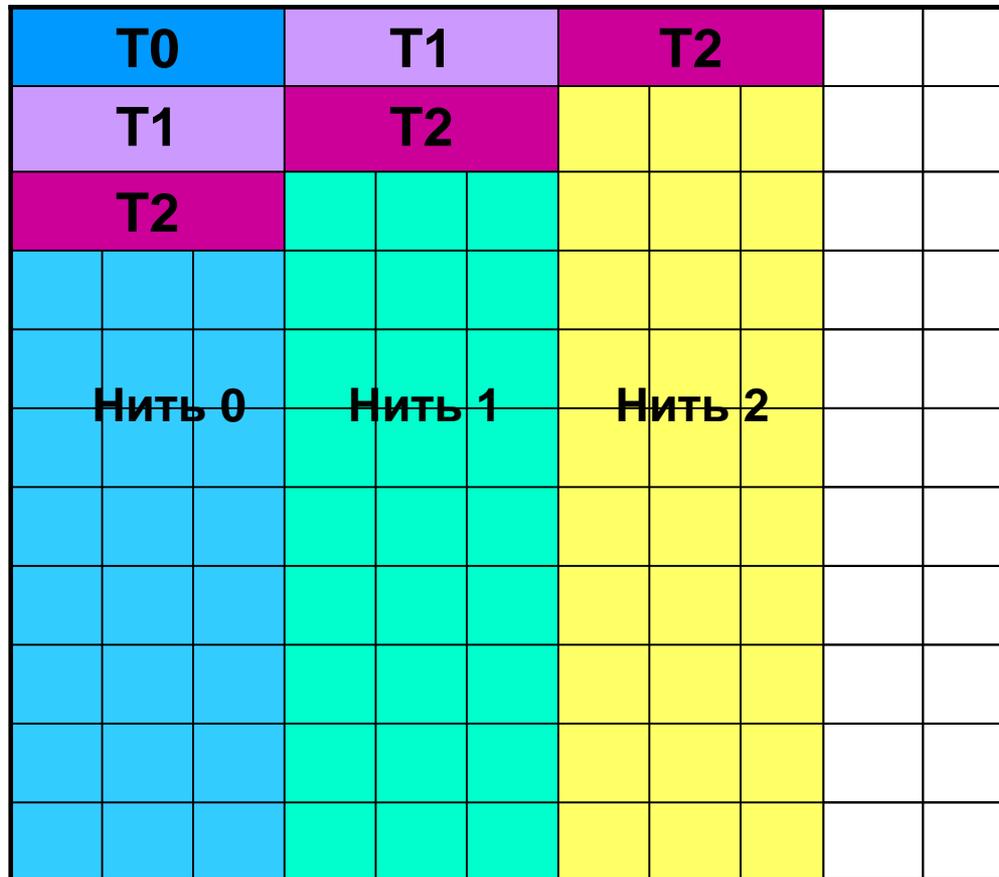
Метод последовательной верхней релаксации (SOR)

```
for(int i = 1; i < L1-1; i++)  
  for(int j = 1; j < L2-1; j++)  
    A[i][j] = (A[i-1][j] + A[i][j-1] + A[i+1][j] + A[i][j+1]) / 4;
```



Метод последовательной верхней релаксации (SOR)

```
for(int i = 1; i < L1-1; i++)  
  for(int j = 1; j < L2-1; j++)  
    A[i][j] = (A[i-1][j] + A[i][j-1] + A[i+1][j] + A[i][j+1]) / 4;
```

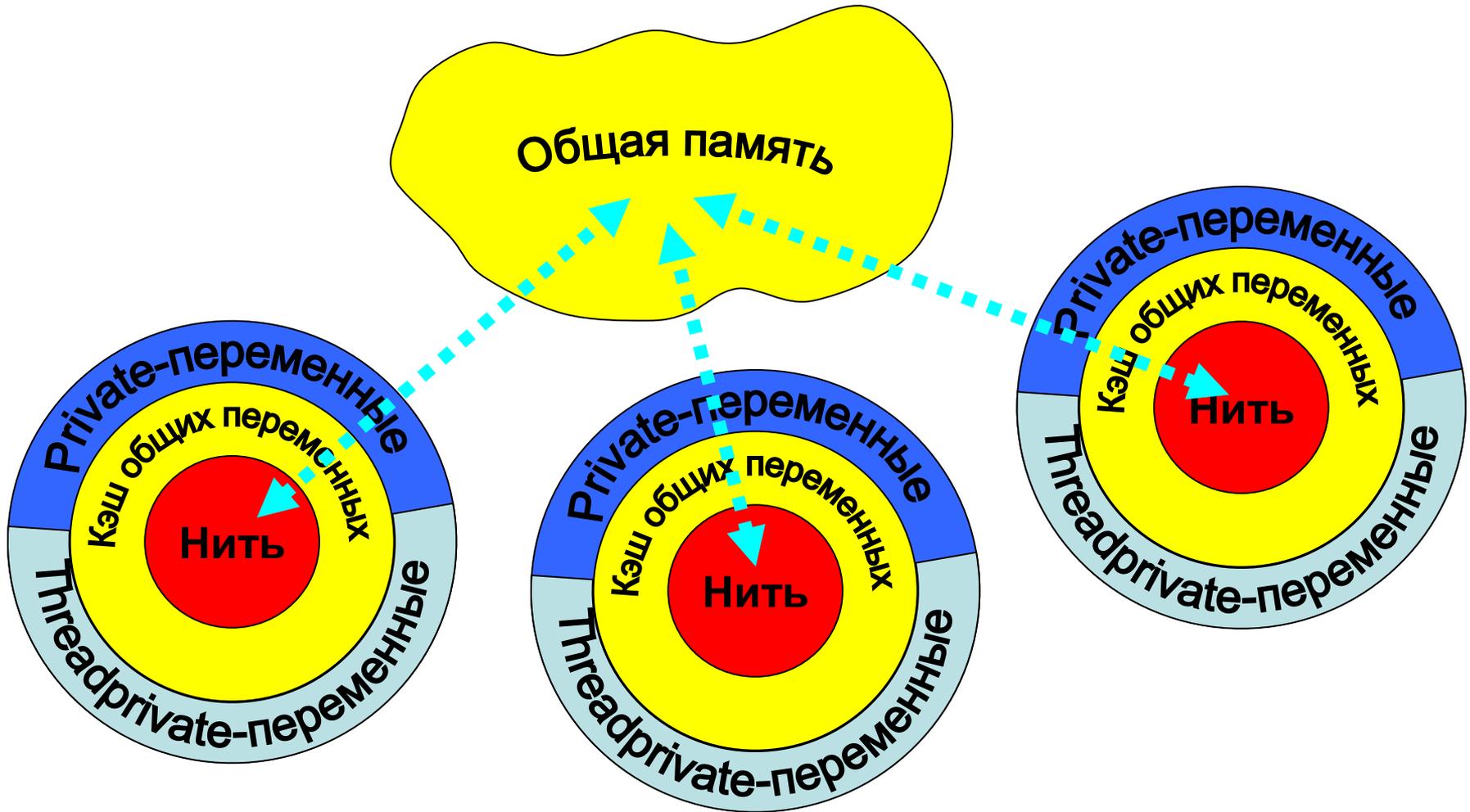


Метод последовательной верхней релаксации (SOR)

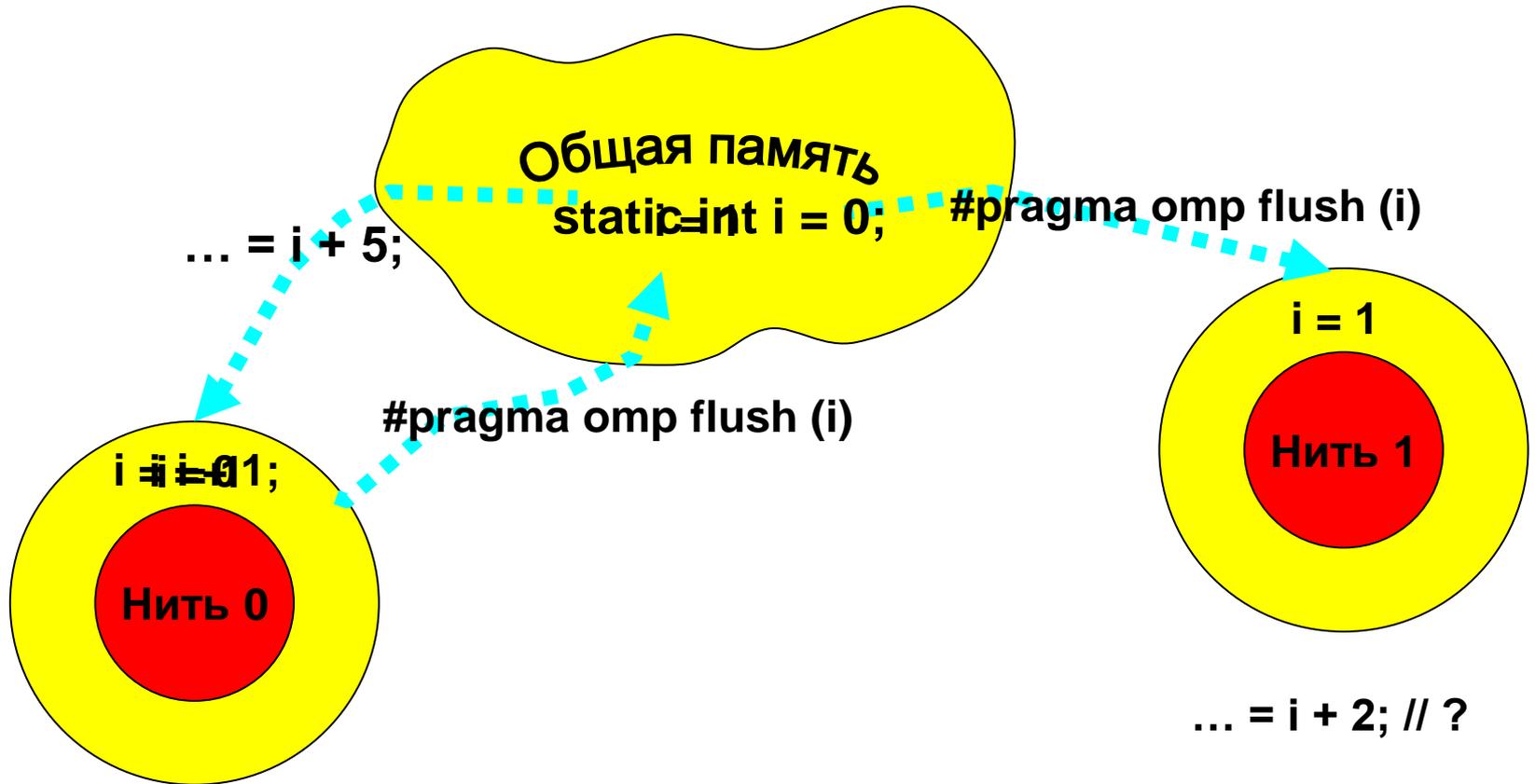
```
int iam, numt, limit;
int sync[NUM_THREADS];
#pragma omp parallel
private(iam,numt,limit)
{
    iam = omp_get_thread_num ();
    numt = omp_get_num_threads ();
    limit=min(numt-1,L2-3);
    isync[iam]=0;
#pragma omp barrier
    for (int i=1; i<L1-1; i++) {
        if ((iam>0) && (iam<=limit)) {
            for (;isync[iam-1]==0;);
            isync[iam-1]=0;
        }
    }
```

```
#pragma omp for schedule(static) nowait
    for (int j=1; j<L2-1; j++) {
        A[i][j]=(A[i-1][j] + A[i][j-1] + A[i+1][j] +
                A[i][j+1])/4;
    }
    if (iam<limit) {
        for (;isync[iam]==1;);
        isync[iam]=1;
    }
}
```

Модель памяти в OpenMP



Модель памяти в OpenMP



Консистентность памяти в OpenMP

Корректная последовательность работы нитей с переменной:

- Нить0 записывает значение переменной – write (var)
- Нить0 выполняет операцию синхронизации – flush (var)
- Нить1 выполняет операцию синхронизации – flush (var)
- Нить1 читает значение переменной – read (var)

A = 1

flush(A)

...

flush(A)

... = A

Консистентность памяти в OpenMP

#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**.

Консистентность памяти в OpenMP

1. Если пересечение множеств переменных, указанных в операциях flush, выполняемых различными нитями не пустое, то результат выполнения операций flush будет таким, как если бы эти операции выполнялись в некоторой последовательности (единой для всех нитей).
2. Если пересечение множеств переменных, указанных в операциях flush, выполняемых одной нитью не пустое, то результат выполнения операций flush, будет таким, как если бы эти операции выполнялись в порядке определяемом программой.
3. Если пересечение множеств переменных, указанных в операциях flush, пустое, то операции flush могут выполняться независимо (в любом порядке).

Метод последовательной верхней релаксации (SOR)

```
int iam, numt, limit;
int sync[NUM_THREADS];
#pragma omp parallel
private(iam,numt,limit)
{
    iam = omp_get_thread_num ();
    numt = omp_get_num_threads ();
    limit=min(numt-1,L2-3);
    isync[iam]=0;
#pragma omp barrier
    for (int i=1; i<L1-1; i++) {
        if ((iam>0) && (iam<=limit)) {
            for (;isync[iam-1]==0;) {
                #pragma omp flush (isync)
            }
            isync[iam-1]=0;
            #pragma omp flush (isync)
        }
    }
}
```

```
#pragma omp for schedule(static) nowait
for (int j=1; j<L2-1; j++) {
    A[i][j]=(A[i-1][j] + A[i][j-1] + A[i+1][j] +
            A[i][j+1])/4;
}
if (iam<limit) {
    for (;isync[iam]==1;) {
        #pragma omp flush (isync)
    }
    isync[iam]=1;
    #pragma omp flush (isync)
}
}
```

Метод последовательной верхней релаксации (SOR)

```
#pragma omp parallel
{
  int iam = omp_get_thread_num ();
  int numt = omp_get_num_threads ();
  for (int newi=1; newi<L1 -1 + numt - 1; newi++) {
    int i = newi - iam;
    #pragma omp for
    for (int j=1; j<L2 - 1; j++) {
      if ((i >= 1) && (i< L1-1)) {
        A[i][j]=(A[i-1][j] + A[i][j-1] + A[i+1][j] + A[i][j+1])/4;
      }
    }
  }
}
```

Метод последовательной верхней релаксации (SOR)

```
#pragma omp parallel for ordered(2) shared(a)
for (int i=1; i<L1-1; i++)
  for (int j=1; j<L2-1; j++) {
    #pragma omp ordered depend (sink: i - 1, j) depend (sink: i, j - 1)
      A[i][j] = (A[i-1][j]+A[i+1][j]+A[i][j-1]+A[i][j+1])/4;
    #pragma omp ordered depend (source)
  }

/* OpenMP 4.5*/
```

Механизм событий

События – это переменные, показывающие, что произошли определенные события.

Для объявления события служит оператор

POST(имя переменной),

для ожидания события –

WAIT (имя переменной),

для чистки (присваивания нулевого значения) - оператор

CLEAR(имя переменной).

Варианты реализации - не хранящие информацию (по оператору POST из ожидания выводятся только те процессы, которые уже выдали WAIT), однократно объявляемые (нет оператора чистки).

Метод последовательной верхней релаксации (SOR)

```
float A[ L1 ][ L2 ];
struct event s[ L1 ][ L2 ];
for ( i = 0; i < L1; i++)
    for ( j = 0; j < L2; j++) { clear( s[ i ][ j ] ) };
for ( j = 0; j < L2; j++) { post( s[ 0 ][ j ] ) };
.....
.....
parfor ( i = 1; i < L1-1; i++)
    for ( j = 1; j < L2-1; j++)
    {
        wait( s[ i-1 ][ j ] );
        A[ i ][ j ] = (A[ i-1 ][ j ] + A[ i+1 ][ j ] + A[ i ][ j-1 ] + A[ i ][ j+1 ] ) / 4;
        post( s[ i ][ j ] );
    }
```

Метод последовательной верхней релаксации (SOR)

```
float A[ L1 ][ L2 ];
semaphore s[ L1 ][ L2 ];
for ( i = 0; i < L1; i++)
    for ( j = 0; j < L2; j++) { P( s[ i ][ j ] ) };
for ( j = 0; j < L2; j++) { V( s[ 0 ][ j ] ) };
.....
.....
parfor ( i = 1; i < L1-1; i++)
    for ( j = 1; j < L2-1; j++)
    {
        P( s[ i-1 ][ j ] );
        A[ i ][ j ] = (A[ i-1 ][ j ] + A[ i+1 ][ j ] + A[ i ][ j-1 ] + A[ i ][ j+1 ] ) / 4;
        V( s[ i ][ j ] );
    }
```

Метод последовательной верхней релаксации (SOR)

```
float A[ L1 ][ L2 ];
struct event s[ L1 ][ L2 ];
for ( i = 0; i < L1; i++)
    for ( j = 0; j < L2; j++) { clear( s[ i ][ j ] ) };
for ( j = 0; j < L2; j++) { post( s[ 0 ][ j ] ) };
for ( i = 0; i < L1; i++) { post( s[ i ][ 0 ] ) };

.....

.....

parfor ( i = 1; i < L1-1; i++)
    parfor ( j = 1; j < L2-1; j++)
    {
        wait( s[ i-1 ][ j ] );
        wait( s[ i ][ j-1 ] );
        A[ i ][ j ] = (A[ i-1 ][ j ] + A[ i+1 ][ j ] + A[ i ][ j-1 ] + A[ i ][ j+1 ] ) / 4;
        post( s[ i ][ j ] );
    }
```

Обмен сообщениями (message passing)

- **Хоар** (Hoare) 1978 год, "Взаимодействующие последовательные процессы". Цели - избавиться от проблем разделения памяти и предложить модель взаимодействия процессов для распределенных систем.

send (destination, &message, msize);

receive ([source], &message, msize);

- Адресат - процесс.
- Отправитель - может не специфицироваться (любой).
- С буферизацией (почтовые ящики) или нет (рандеву - Ада, Оккам).

Пайпы ОС UNIX - почтовые ящики, заменяют файлы и не хранят границы сообщений (все сообщения объединяются в одно большое, которое можно читать произвольными порциями).

Производитель-потребитель

```
semaphore mutex = 1;
```

```
semaphore full = 0;
```

```
semaphore empty = N;
```

```
producer()
```

```
{
```

```
    int item;
```

```
    while (TRUE)
```

```
    {
```

```
        produce_item(&item);
```

```
        P(empty);
```

```
        P(mutex);
```

```
        enter_item(item);
```

```
        V(mutex);
```

```
        V(full)
```

```
    }
```

```
}
```

```
consumer()
```

```
{
```

```
    int item;
```

```
    while (TRUE)
```

```
    {
```

```
        P(full);
```

```
        P(mutex);
```

```
        remove_item(&item);
```

```
        V(mutex);
```

```
        V(empty);
```

```
        consume_item(item);
```

```
    }
```

```
}
```

Производитель-потребитель

```
#define N 100
```

```
/* максимальное число сообщений */
```

```
#define msize 4
```

```
/* размер сообщения*/
```

```
typedef int message[msize];
```

```
producer()
```

```
{  
    message m;  
    int item;  
  
    while (TRUE)  
    {  
        produce_item(&item);  
        receive(consumer, &m, msize);  
        build_message(&m, item);  
        send(consumer, &m, msize);  
    }  
}
```

```
producer() AND consumer()
```

```
consumer()
```

```
{  
    message m;  
    int item, i;  
  
    for (i = 0; i < N; i ++)  
        send (producer, &m, msize);  
    while (TRUE)  
    {  
        receive(producer, &m, msize);  
        extract_item(&m, item);  
        send(producer, &m, msize);  
        consume_item(item);  
    }  
}
```

```
/* запустили 2 процесса */
```