

Основы параллельного программирования с использованием MPI

Лекция 4

Немнюгин Сергей Андреевич

Санкт-Петербургский государственный университет

физический факультет

кафедра вычислительной физики



Интернет-Университет
Суперкомпьютерных Технологий
High-Performance Computing University

Лекция 4

Аннотация

В лекции описываются средства организации неблокирующих двухточечных обменов. Рассматриваются операции неблокирующих отправки и приёма сообщений, процедуры-пробники, отложенные обмены. Даются примеры использования как блокирующих, так и неблокирующих двухточечных операций.

План лекции

- ❑ Пример использования блокирующих двухточечных обменов
- ❑ Общая характеристика неблокирующих обменов.
- ❑ Неблокирующие передача и приём.
- ❑ Проверка выполнения неблокирующих обменов.
- ❑ Пробники.
- ❑ Отложенные обмены.

Одномерное уравнение Лапласа. Метод Якоби

Уравнение Лапласа

В качестве примера использования операций двухточечного обмена рассмотрим численное решение уравнения Лапласа в случае 1 и 2 измерений:

$$\Delta u = 0$$

$$u|_{\Gamma} = \varphi$$

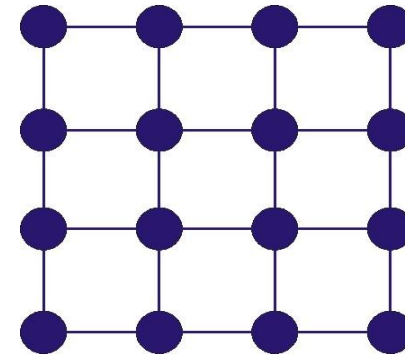
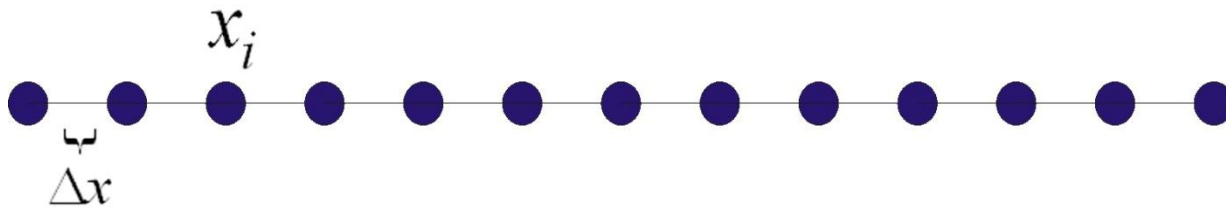
где φ - значение решения на границе области,

Δ - оператор Лапласа:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} \text{ - одномерный; } \quad \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \text{ - двумерный и т.д.}$$

Уравнение Лапласа

Численное решение основано на введении 1- или 2-мерной сетки в области, ограниченной границей Γ



Метод Якоби является итерационным методом. Сначала задаются произвольные значения функции u в узлах сетки, затем выполняются итерации (1-мерный случай):

$$u_i^{(k+1)} = \frac{1}{2} \left(u_{i-1}^{(k)} + u_{i+1}^{(k)} - \Delta x^2 u_i^{(k)} \right)$$

где $u_i^{(k)} = u^{(k)}(x_i)$ - значение u в i -м узле, полученное на k -й итерации.

Уравнение Лапласа

Последовательная программа на языке Fortran 90

Уравнение Лапласа

```
program jacobi_serial
implicit none

real, dimension(0:10001) :: x, newx
real :: dx2
integer :: n, noiters, i, k

  open(unit = 12, file = "laplace1d.in")
! Number of cells
  read(12, *) n
! Number of iterations
  read(12, *) noiters
  close(12)

  dx2 = (1. / n)**2

  do i = 1, n
    x(i) = 1.0
  enddo
```


Уравнение Лапласа

$$x(0) = 0.0$$

$$x(n + 1) = 0.0$$

```
do k = 1, noiters
```

```
  do i = 1, n
```

```
    newx(i) = 0.5 * (x(i - 1) + x(i + 1) - dx2 * x(i))
```

```
  enddo
```

```
  do i = 1, n
```

```
    x(i) = newx(i)
```

```
  enddo
```

```
enddo
```

```
open(unit = 11, file = "laplace1d_serial.dat", status = "NEW")
```

```
  write(11, "(2x, e8.3)") (x(i), i = 1, n)
```

```
close(11)
```

```
end
```

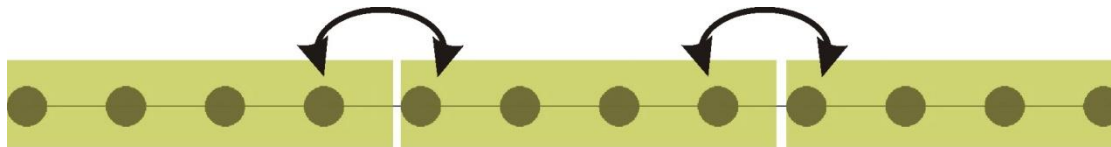
Уравнение Лапласа

Параллельная программа на языке Fortran 90

Уравнение Лапласа

Параллельный алгоритм

Параллельный алгоритм основан на декомпозиции по данным – разбиении одномерной сетки на одинаковые части. Каждая часть обрабатывается на отдельном процессоре. Обмен заключается в пересылке значений функции в граничных узлах. Он может быть организован с помощью операций двухточечного обмена:



Уравнение Лапласа

```
program jacobi_parallel
implicit none
include "mpif.h"
real, dimension(0:10001) :: x,newx
real :: dx2
integer :: n, noiters, i, k
integer :: p, me, ln, tag, ierr
integer, dimension(MPI_STATUS_SIZE) :: status
! Ввод исходных данных
open(unit = 12, file = "laplace1d.in")
! Number of cells
read(12, *) n
! Number of iterations
read(12, *) noiters
close(12)

dx2 = (1. / n)**2
```

Уравнение Лапласа

```
call MPI_Init(ierr)
```

```
call MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, me, ierr)
```

```
call MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, p, ierr)
```

```
tag = 0
```

```
ln = n / p
```

```
do i = 1, ln
```

```
  x(i) = 1.0
```

```
enddo
```

```
if(me == 0) then
```

```
  x(0) = 0.0; lm = 0
```

```
else
```

```
  lm = ln * me
```

```
endif
```

```
if(me == p - 1) then
```

```
  x(ln + 1) = 0.0
```

```
endif
```

Уравнение Лапласа

```
do k = 1, noiters
```

```
! Пересылки граничных значений
```

```
if(me - 1 >= 0) call MPI_Send(newx(1), 1, MPI_REAL, me - 1, tag,  
MPI_COMM_WORLD, ierr)
```

```
if(me + 1 < p) call MPI_Recv(x(ln + 1), 1, MPI_REAL, me + 1, tag,  
MPI_COMM_WORLD, status, ierr)
```

```
tag = tag + 1
```

```
if(me + 1 < p) call MPI_Send(newx(ln), 1, MPI_REAL, me + 1, tag,  
MPI_COMM_WORLD, ierr)
```

```
if(me - 1 >= 0) call MPI_Recv(x(0), 1, MPI_REAL, me - 1, tag,  
MPI_COMM_WORLD, status, ierr)
```

```
tag = tag + 1
```

```
! Итерации Якоби
```

```
do i = 1, ln
```

```
newx(i) = 0.5 * (x(i - 1) + x(i + 1) - dx2 * x(i))
```

```
enddo
```

```
do i = 1, ln
```

```
x(i) = newx(i)
```

```
enddo
```

```
enddo
```

Уравнение Лапласа

! Собираем решение

```
if(me == 0) then
```

```
  do i = 1, ln
```

```
    z(i) = x(i)
```

```
  enddo
```

```
  do k = 1, p - 1
```

```
    lm = ln * k
```

```
    call MPI_Recv(z(lm), ln, MPI_REAL, k, k, MPI_COMM_WORLD, status, ierr)
```

```
  enddo
```

```
else
```

```
  call MPI_Send(x(1), ln, MPI_REAL, 0, me, MPI_COMM_WORLD, ierr)
```

```
endif
```

```
call MPI_Finalize(ierr)
```

! Запись результата в файл

```
if(me == 0) then
```

```
  open(unit = 11, file = "laplace1d_parallel.dat", status = "NEW")
```

```
  write(11, "(2x, e8.3)") (z(i), i = 1, n)
```

```
  close(11)
```

```
endif
```

```
end
```

Неблокирующие двухточечные обмены

Неблокирующие обмены

Вызов подпрограммы неблокирующей передачи инициирует, но не завершает ее. Завершиться выполнение подпрограммы может еще до того, как сообщение будет скопировано в буфер передачи.

Применение неблокирующих операций улучшает производительность программы, поскольку в этом случае допускается перекрытие (то есть одновременное выполнение) вычислений и обменов. Передача данных из буфера или их считывание может происходить одновременно с выполнением процессом другой работы.

Неблокирующие обмены

Для завершения неблокирующего обмена требуется вызов дополнительной процедуры, которая проверяет, скопированы ли данные в буфер передачи.

ВНИМАНИЕ!

При неблокирующем обмене возвращение из подпрограммы обмена происходит сразу, но запись в буфер или считывание из него после этого производить **нельзя** - сообщение может быть еще не отправлено или не получено и работа с буфером может «испортить» его содержимое.

Неблокирующие обмены

Неблокирующий обмен выполняется в два этапа:

1. **инициализация** обмена;
2. **проверка завершения** обмена.

Разделение этих шагов делает необходимым *маркировку* каждой операции обмена, которая позволяет целенаправленно выполнять проверки завершения соответствующих операций.

Для маркировки в неблокирующих операциях используются *идентификаторы операций обмена*

Неблокирующие обмены

Инициализация неблокирующей стандартной передачи выполняется подпрограммами `MPI_I[S, B, R]send`. Стандартная неблокирующая передача выполняется подпрограммой:

```
int MPI_Isend(void *buf, int count, MPI_Datatype datatype,
int dest, int tag, MPI_Comm comm, MPI_Request *request)
```

```
MPI_Isend(buf, count, datatype, dest, tag, comm, request,
ierr)
```

Входные параметры этой подпрограммы аналогичны аргументам подпрограммы `MPI_Send`.

Выходной параметр `request` - идентификатор операции.

Неблокирующие обмены

Инициализация неблокирующего приема выполняется при вызове подпрограммы:

```
int MPI_Irecv(void *buf, int count, MPI_Datatype datatype,  
int source, int tag, MPI_Comm comm, MPI_Request *request)
```

```
MPI_Irecv(buf, count, datatype, source, tag, comm, request,  
ierr)
```

Назначение аргументов здесь такое же, как и в ранее рассмотренных подпрограммах, за исключением того, что указывается ранг не адресата, а источника сообщения (`source`).

Неблокирующие обмены

Вызовы подпрограмм неблокирующего обмена формируют *запрос* на выполнение операции обмена и связывают его с идентификатором операции `request`. Запрос идентифицирует свойства операции обмена:

- режим;
- характеристики буфера обмена;
- контекст;
- тег и ранг.

Запрос содержит информацию о состоянии ожидающих обработки операций обмена и может быть использован для получения информации о состоянии обмена или для ожидания его завершения.

Неблокирующие обмены

Проверка выполнения обмена

Проверка фактического выполнения передачи или приема в неблокирующем режиме осуществляется с помощью вызова *подпрограмм ожидания*, блокирующих работу процесса до завершения операции или неблокирующих подпрограмм проверки, возвращающих логическое значение «истина», если операция выполнена

Неблокирующие обмены

В том случае, когда одновременно несколько процессов обмениваются сообщениями, можно использовать проверки, которые применяются одновременно к нескольким обменам.

Есть три типа таких проверок:

1. проверка завершения всех обменов;
2. проверка завершения любого обмена из нескольких;
3. проверка завершения заданного обмена из нескольких.

Каждая из этих проверок имеет две разновидности:

1. «ожидание»;
2. «проверка».

Неблокирующие обмены

Блокирующие операции проверки

Подпрограмма `MPI_Wait` блокирует работу процесса до завершения приема или передачи сообщения:

```
int MPI_Wait(MPI_Request *request, MPI_Status *status)
```

```
MPI_Wait(request, status, ierr)
```

Входной параметр `request` —идентификатор операции обмена, выходной —статус (`status`).

Неблокирующие обмены

Успешное выполнение подпрограммы `MPI_Wait` после вызова `MPI_IbSend` подразумевает, что буфер передачи можно использовать вновь, то есть пересылаемые данные отправлены или скопированы в буфер, выделенный при вызове подпрограммы `MPI_Buffer_attach`. В этот момент уже нельзя отменить передачу. Если не будет зарегистрирован соответствующий прием, буфер нельзя будет освободить. В этом случае можно применить подпрограмму `MPI_Cancel`, которая освобождает память, выделенную подсистеме коммуникаций.

Неблокирующие обмены

Проверка завершения всех обменов

Проверка завершения всех обменов выполняется подпрограммой:

```
int MPI_Waitall(int count, MPI_Request requests[],  
MPI_Status statuses[])
```

```
MPI_Waitall(count, requests, statuses, ierr)
```

При вызове этой подпрограммы выполнение процесса блокируется до тех пор, пока **все** операции обмена, связанные с активными запросами в массиве `requests`, не будут выполнены. Возвращается статус этих операций. Статус обменов содержится в массиве `statuses`. `count` - количество запросов на обмен (размер массивов `requests` и `statuses`).

Неблокирующие обмены

В результате выполнения подпрограммы `MPI_Waitall` запросы, сформированные неблокирующими операциями обмена, аннулируются, а соответствующим элементам массива присваивается значение `MPI_REQUEST_NULL`.

В случае неуспешного выполнения одной или более операций обмена подпрограмма `MPI_Waitall` возвращает код ошибки `MPI_ERR_IN_STATUS` и присваивает полю ошибки статуса значение кода ошибки соответствующей операции.

Если операция выполнена успешно, полю присваивается значение `MPI_SUCCESS`, а если не выполнена, но и не было ошибки - значение `MPI_ERR_PENDING`. Это соответствует наличию запросов на выполнение операции обмена, ожидающих обработки.

Неблокирующие обмены

Проверка завершения любого числа обменов

Проверка завершения любого числа обменов выполняется подпрограммой:

```
int MPI_Waitany(int count, MPI_Request requests[], int
*index, MPI_Status *status)
```

```
MPI_Waitany(count, requests, index, status, ierr)
```

Выполнение процесса блокируется до тех пор, пока, по крайней мере, один обмен из массива запросов (`requests`) не будет завершен.

Входные параметры:

- `requests` - запрос;
- `count` - количество элементов в массиве `requests`.

Выходные параметры:

- `index` - индекс запроса (в языке C это целое число от 0 до `count - 1`, а в языке Fortran от 1 до `count`) в массиве `requests`;
- `status` - статус.

Неблокирующие обмены

Если в списке вообще нет активных запросов или он пуст, вызовы завершаются сразу со значением индекса `MPI_UNDEFINED` и пустым статусом.

Неблокирующие обмены

Неблокирующие процедуры проверки

Подпрограмма `MPI_Test` выполняет неблокирующую проверку завершения приема или передачи сообщения:

```
int MPI_Test(MPI_Request *request, int *flag, MPI_Status *status)
```

```
MPI_Test(request, flag, status, ierr)
```

Входной параметр: идентификатор операции обмена `request`.

Выходные параметры:

- `flag` — «истина», если операция, заданная идентификатором `request`, выполнена;
- `status` — статус выполненной операции.

Неблокирующие обмены

Неблокирующая проверка завершения всех обменов

Подпрограмма `MPI_Testall` выполняет неблокирующую проверку завершения приема или передачи всех сообщений:

```
int MPI_Testall(int count, MPI_Request requests[], int
*flag, MPI_Status statuses[])
```

```
MPI_Testall(count, requests, flag, statuses, ierr)
```

При вызове возвращается значение флага (`flag`) «истина», если все обмены, связанные с активными запросами в массиве `requests`, выполнены. Если завершены не все обмены, флагу присваивается значение «ложь», а массив `statuses` не определен.

Параметр `count` - количество запросов.

Каждому статусу, соответствующему активному запросу, присваивается значение статуса соответствующего обмена.

Неблокирующие обмены

Неблокирующая проверка любого числа обменов

Подпрограмма `MPI_Testany` выполняет неблокирующую проверку завершения приема или передачи сообщения:

```
int MPI_Testany(int count, MPI_Request requests[], int
*index, int *flag, MPI_Status *status)
```

```
MPI_Testany(count, requests, index, flag, status, ierr)
```

Смысл и назначение параметров этой подпрограммы те же, что и для подпрограммы `MPI_Waitany`. Дополнительный аргумент `flag`, принимает значение «истина», если одна из операций завершена.

Блокирующая подпрограмма `MPI_Waitany` и неблокирующая `MPI_Testany` взаимозаменяемы, как и другие аналогичные пары.

Неблокирующие обмены

Другие операции проверки

Подпрограммы `MPI_Waitsome` и `MPI_Testsome` действуют аналогично подпрограммам `MPI_Waitany` и `MPI_Testany`, кроме случая, когда завершается более одного обмена. В подпрограммах `MPI_Waitany` и `MPI_Testany` обмен из числа завершенных выбирается произвольно, именно для него и возвращается статус, а для `MPI_Waitsome` и `MPI_Testsome` статус возвращается для всех завершенных обменов. Эти подпрограммы можно использовать для определения, сколько обменов завершено.

Неблокирующие обмены

Интерфейс этих подпрограмм:

```
int MPI_Waitsome(int incount, MPI_Request requests[], int
*outcount, int indices[], MPI_Status statuses[])
```

```
MPI_Waitsome(incount, requests, outcount, indices,
statuses, ierr)
```

Здесь `incount` - количество запросов. В `outcount` возвращается количество выполненных запросов из массива `requests`, а в первых `outcount` элементах массива `indices` возвращаются индексы этих операций. В первых `outcount` элементах массива `statuses` возвращается статус завершенных операций. Если выполненный запрос был сформирован неблокирующей операцией обмена, он аннулируется. Если в списке нет активных запросов, выполнение подпрограммы завершается сразу, а параметру `outcount` присваивается значение `MPI_UNDEFINED`.

Неблокирующие обмены

Неблокирующая проверка выполнения обменов

```
int MPI_Testsome(int incount, MPI_Request requests[], int
*outcount, int indices[], MPI_Status statuses[])
```

```
MPI_Testsome(incount, requests, outcount, indices,
statuses, ierr)
```

Параметры такие же, как и у подпрограммы `MPI_Waitsome`.

Эффективность подпрограммы `MPI_Testsome` выше, чем у `MPI_Testany`, поскольку первая возвращает информацию обо всех операциях, а для второй требуется новый вызов для каждой выполненной операции.

Примеры использования неблокирующих двухточечных обменов

Неблокирующие обмены

Пример 1

```
program main_mpi
include 'mpif.h'
integer rank, tag, cnt, ierr, status(MPI_STATUS_SIZE)
integer request
real sndbuf(5) /1., 2., 3., 4., 5./
real rcvbuf(5)
cnt = 5
tag = 0
call MPI_Init(ierr)
call MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, rank, ierr)
...
```

Неблокирующие обмены

```
if(rank.eq.0) then
call MPI_Isend(sndbuf(1), cnt, MPI_REAL, 1, tag,
  MPI_COMM_WORLD, request, ierr)
print *, "process ", rank, " send before Wait", sndbuf
call MPI_Wait(request, status, ierr)
print *, "process ", rank, " send after Wait", sndbuf
else
call MPI_Irecv(rcvbuf(1), cnt, MPI_REAL, 0, tag,
  MPI_COMM_WORLD, request, ierr)
print *, "process ", rank, " received before Wait", rcvbuf
call MPI_Wait(request, status, ierr)
print *, "process ", rank, " received after Wait", rcvbuf
end if
call MPI_Finalize(ierr)
stop
end
```

Неблокирующие обмены

Результат выполнения:

```
[nemnugin@pd00 ~]$ mpiexec -n 2 ./a.out
PROCESS 1 RECEIVED BEFORE WAIT 2.83748136E-08 0. 1.01862059E+31
7.00649232E-44 0.
PROCESS 0 SEND BEFORE WAIT 1. 2. 3. 4. 5.
PROCESS 0 SEND AFTER WAIT 1. 2. 3. 4. 5.
PROCESS 1 RECEIVED AFTER WAIT 1. 2. 3. 4. 5.
[nemnugin@pd00 ~]$
```


Неблокирующие обмены

Пример 2

```
program main_mpi
include 'mpif.h'
integer rank, tag1, tag2, cnt, ierr, status(MPI_STATUS_SIZE)
integer request
real sndbuf1, sndbuf2, rcvbuf1, rcvbuf2
cnt = 1
tag = 0
sndbuf1 = 3.14159
sndbuf2 = 2.71828
call MPI_Init(ierr)
call MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, rank, ierr)
...
```

Неблокирующие обмены

```
if (rank.eq.0) then
call MPI_Ssend(sndbuf1, cnt, MPI_REAL, 1, tag1, MPI_COMM_WORLD,
               ierr)
print *, "process ", rank, " send ", sndbuf1
call MPI_Send(sndbuf2, cnt, MPI_REAL, 1, tag2, MPI_COMM_WORLD,
              ierr)
print *, "process ", rank, " send ", sndbuf2
else
call MPI_Irecv(rcvbuf1, cnt, MPI_REAL, 0, tag1, MPI_COMM_WORLD,
               request, ierr)
call MPI_Recv(rcvbuf2, cnt, MPI_REAL, 0, tag2, MPI_COMM_WORLD,
              status, ierr)
print *, "process ", rank, " received before Wait", rcvbuf1
print *, "process ", rank, " received before Wait", rcvbuf2
call MPI_Wait(request, status, ierr)
print *, "process ", rank, " received after Wait", rcvbuf1
print *, "process ", rank, " received after Wait", rcvbuf2
end if
call MPI_Finalize(ierr)
end
```

Неблокирующие обмены

Результат выполнения:

```
[nemnugin@pd00 ~]$ mpiexec -n 2 ./a.out
PROCESS 0 SEND 3.14159012
PROCESS 0 SEND 2.71828008
PROCESS 1 RECEIVED BEFORE WAIT 3.14159012
PROCESS 1 RECEIVED BEFORE WAIT 2.71828008
PROCESS 1 RECEIVED AFTER WAIT 3.14159012
PROCESS 1 RECEIVED AFTER WAIT 2.71828008
[nemnugin@pd00 ~]$
```

Подпрограммы-пробники

Неблокирующие обмены

Неблокирующая проверка сообщения

Неблокирующая проверка сообщения выполняется подпрограммой:

```
int MPI_Iprobe(int source, int tag, MPI_Comm comm, int *flag,  
MPI_Status *status)
```

```
MPI_Iprobe(source, tag, comm, flag, status, ierr)
```

Входные параметры этой подпрограммы те же, что и у подпрограммы MPI_Probe. Выходные параметры:

- 1 flag - флаг;
- 1 status - статус.

Если сообщение уже поступило и может быть принято, возвращается значение флага «истина».

Неблокирующие обмены

Размер полученного сообщения (`count`) можно определить с помощью вызова подпрограммы

```
int MPI_Get_count(MPI_Status *status, MPI_Datatype datatype, int *count)
```

```
MPI_Get_count(status, datatype, count, ierr)
```

Параметры:

- 1 `count` - количество элементов в буфере передачи;
- 1 `datatype` - тип каждого пересылаемого элемента;
- 1 `status` - статус обмена;
- 1 `ierr` - код завершения.

Аргумент `datatype` должен соответствовать типу данных, указанному в операции обмена.

Неблокирующие обмены

Пример 3

```
program main_mpi
include 'mpif.h'
integer rank, i, k, ierr, tag, dest, status(MPI_status_size)
real x
tag = 0
dest = 2
call MPI_Init(ierr)
call MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, rank, ierr)
if (rank.eq.0) then
  i = 2002
  call MPI_Send(i, 1, MPI_INTEGER, dest, tag, MPI_COMM_WORLD,
               ierr)
else if(rank.eq.1) then
  x = 3.14159
  call MPI_Send(x, 1, MPI_REAL, dest, tag, MPI_COMM_WORLD, ierr)
...
```

Неблокирующие обмены

```
do k = 1, 2
  call MPI_Probe(MPI_any_source, tag, MPI_COMM_WORLD, status,
    ierr)
  if (status(MPI_source).eq.0) then
    call MPI_Recv(i, 1, MPI_INTEGER, 0, tag, MPI_COMM_WORLD,
      status, ierr)
    print *, "received ", i, " from 0"
  else
    call MPI_Recv(x, 1, MPI_REAL, 1, tag, MPI_COMM_WORLD, status,
      ierr)
    print *, "received ", x, " from 1"
  end if
end do
end if
call MPI_Finalize(ierr)
stop
end
```


Неблокирующие обмены

Результат выполнения:

```
[nemnugin@pd00 ~]$ mpiexec -n 3 ./a.out  
Received 3.14159012 from 1  
Received 2002 from 0  
[nemnugin@pd00 ~]$
```

Отложенные обмены

Неблокирующие обмены

Достаточно часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда обмены с одинаковыми параметрами выполняются повторно, например, в цикле. В этом случае можно объединить аргументы подпрограмм обмена в один отложенный запрос, который затем повторно используется для инициализации и выполнения обмена сообщениями.

Отложенный запрос на выполнение неблокирующей операции обмена позволяет минимизировать накладные расходы на организацию связи между процессором и контроллером связи.

Отложенные запросы на обмен объединяют такие сведения об операциях обмена, как адрес буфера, количество пересылаемых элементов данных, их тип, ранг адресата, тег сообщения и коммутатор.

Неблокирующие обмены

Запрос для стандартной передачи создается при вызове подпрограммы

`MPI_Send_init`:

```
int MPI_Send_init(void *buf, int count, MPI_Datatype  
datatype, int dest, int tag, MPI_Comm comm, MPI_Request  
*request)
```

```
MPI_Send_init(buf, count, datatype, dest, tag, comm, request,  
ierr)
```

Неблокирующие обмены

Отложенный запрос может быть сформирован для всех режимов обмена. Для этого используются подпрограммы `MPI_Bsend_init`, `MPI_Ssend_init` и `MPI_Rsend_init`.

Отложенный обмен инициируется вызовом подпрограммы `MPI_Start`:

```
int MPI_Start(MPI_Request *request)

MPI_Start(request, ierr)
```

Неблокирующие обмены

Подпрограмма `MPI_Startall`:

```
int MPI_Startall(int count, MPI_request *requests)
```

```
MPI_Startall(count, requests, ierr)
```

инициирует все обмены, связанные с запросами на выполнение неблокирующей операции обмена в массиве `requests`.

Завершается обмен при вызове `MPI_Wait`, `MPI_Test` и некоторых других подпрограмм.

Заключение

В этой лекции мы рассмотрели:

- примеры использования двухточечных обменов;
- особенности двухточечных неблокирующих обменов;
- реализацию неблокирующих двухточечных обменов в MPI;
- использование подпрограмм-пробников;
- отложенные обмены.

Задания для самостоятельной работы

Решения следует высылать по электронной почте:

parallel-g112@yandex.ru

Задания для самостоятельной работы

Задание 1

Разберите работу следующей программы. Запустите ее на выполнение.

```
#include "mpi.h"
#include <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
    int myid, numprocs, **buf, source, i;
    int message[3] = {0, 1, 2};
    int myrank, data = 2002, count, TAG = 0;
    MPI_Status status;
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &myrank);
    if (myrank == 0)
    {
        MPI_Send(&data, 1, MPI_INT, 2, TAG, MPI_COMM_WORLD);
    }
    else if (myrank == 1) {
        MPI_Send(&message, 3, MPI_INT, 2, TAG, MPI_COMM_WORLD);
    }
    ...
}
```

```
else
{
MPI_Probe(MPI_ANY_SOURCE, 0, MPI_COMM_WORLD, &status);
source = status.MPI_SOURCE;
MPI_Get_count(&status, MPI_INT, &count);
for (i = 0; i < count; i++){
buf[i] = (int *)malloc(count*sizeof(int));
}
MPI_Recv(&buf[0], count, MPI_INT, source, TAG,
MPI_COMM_WORLD, &status);
for (i = 0; i < count; i++){
printf("received: %d\n", buf[i]);
}
}
MPI_Finalize();
return 0;
}
```

Задания для самостоятельной работы

Задание 2

Два вектора **a** и **b** размерности N представлены двумя одномерными массивами, содержащими каждый по N элементов. Напишите параллельную MPI-программу вычисления скалярного произведения этих векторов используя неблокирующий двухточечный обмен сообщениями. Программа должна быть организована по схеме master-slave, причем master-процесс должен пересылать подчиненным процессам одинаковые (или почти одинаковые) по количеству элементов фрагменты векторов.

Если у вас имеется доступ к параллельному кластеру и есть возможность запускать на нем параллельные MPI-программы, проведите исследование зависимости ускорения параллельной программы от размера сообщения.

Задания для самостоятельной работы

Задание 3

Имеется последовательная программа на языке Fortran 90 решения двумерного уравнения Лапласа методом Якоби.

Ниже приводятся исходный текст программы и результат её исследования с помощью анализатора Intel® Vtune.

Задания для самостоятельной работы

Двумерное уравнение Лапласа. Последовательная программа на языке Fortran 90

Задания для самостоятельной работы

```
program laplace
  implicit none
  integer :: nx, ny, i, j, iter
  real(8) :: v0, v1, change
  integer, parameter :: ndim = 100
  real, dimension(ndim, ndim) :: v
  open(unit = 12, file = "laplace.in")
  ! Number of cells along x
  read(12, *) nx
  !Number of cells along y
  read(12, *) ny
  ! Potential on rectangular's boundary OX
  read(12, *) v0
  ! Potential on rectangular's boundary OY
  read(12, *) v1
  ! Minimal relative error
  read(12, *) change
  close(12)
```

Задания для самостоятельной работы

```
change = change / 100
!  
! Boundary potential  
!  
boundary_potential_x : do i = 1, nx  
  v(i, 1) = v0 ; v(i, ny) = v0  
end do boundary_potential_x  
  
boundary_potential_y : do j = 1, ny  
  v(1, j) = v1 ; v(nx, j) = v1  
end do boundary_potential_y  
!  
! Initial approximation for potentials of internal cells  
!  
initial_values : do i = 2, nx - 1  
  do j = 2, ny - 1  
    v(i, j) = 0.9d0 * v0  
  end do  
end do initial_values  
  
call relax(v, nx, ny, change, iter)  
end
```


Задания для самостоятельной работы

```
subroutine relax(v, nx, ny, change, iter)
  implicit none
  integer :: nx, ny, i, j, iter, idum
  real(8) :: v0, change, diff, dmax
  integer, parameter :: ndim = 100
  real, dimension(ndim, ndim) :: v, vaverage
  iter = 0
  iterations : do idum = 1, 100000
    dmax = 0
    iter = iter + 1
    do i = 2, nx - 1
      average_potential : do j = 2, ny - 1
! Average potential of neighbour cells
        vaverage(i, j) = v(i + 1, j) + v(i - 1, j)
        vaverage(i, j) = vaverage(i, j) + v(i, j + 1) + v(i, j - 1)
        vaverage(i, j) = 0.25d0 * vaverage(i, j)
! Relative change of potential
        diff = abs((v(i, j) - vaverage(i, j)) / vaverage(i, j))
        if (diff > dmax) dmax = diff
      end do average_potential
    end do
  end do
```

Задания для самостоятельной работы

```
! Update potential of each cell
  x_loop : do i = 2, nx - 1
    y_loop : do j = 2, ny - 1
      v(i, j) = vaverage(i, j)
    end do y_loop
  end do x_loop
  if (dmax < change) then
    call output(v, nx, ny, iter)
  return
  end if
end do iterations
return
end
```

Задания для самостоятельной работы

```
subroutine output(v, nx, ny, iter)
  implicit none
  integer :: nx, ny, i, j, iter
  integer, parameter :: ndim = 100
  real, dimension(ndim, ndim) :: v, vaverage
  write(6, *) 'Number of iterations = ', iter
  open(unit = 11, file = "laplace.dat", status = "NEW")
  do j = ny, 1, -1
    write(11, "(10(d8.3, 2x))") (v(i, j), i = 1, nx)
  end do
  close(11)
  return
end
```

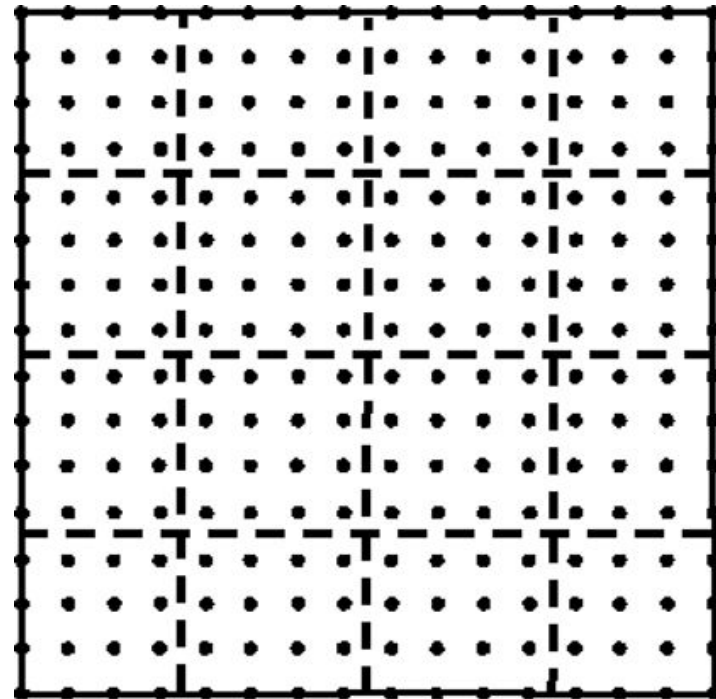
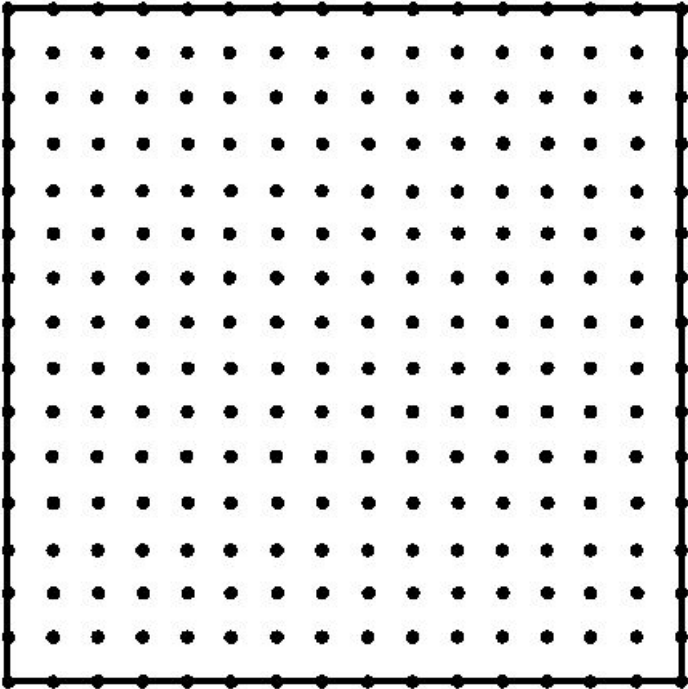
0x2dab	57	653	291	vaverage(i, j) = v(i + 1, j) + v(i - 1, j)
0x2e09	58	894	276	vaverage(i, j) = vaverage(i, j) + v(i, j + 1) + v(i, j - 1)
0x2e83	59	700	454	vaverage(i, j) = 0.25d0 * vaverage(i, j)
	60	0	0	!
	61	0	0	! Relative change of potential
	62	0	0	!
0x2ec9	63	4781	9141	diff = abs((v(i, j) - vaverage(i, j)) / vaverage(i, j))
0x2f24	64	789	360	if (diff > dmax) dmax = diff
0x2f38	65	294	105	end do average_potential
0x2f4a	66	19	8	end do
	67	0	0	!
	68	0	0	! Update potential of each cell
	69	0	0	!
0x2f5c	70	0	0	x_loop : do i = 2, nx - 1
0x2f77	71	4	10	y_loop : do j = 2, ny - 1
0x2f92	72	885	1311	v(i, j) = vaverage(i, j)
0x2fca	73	369	527	end do y_loop
0x2fd8	74	17	37	end do x_loop
0x2fe6	75	0	0	if (dmax < change) then
0x2ff5	76	0	0	call output(v, nx, ny, iter)

Задания для самостоятельной работы

Написать параллельный вариант этой программы.

Применить декомпозицию по данным Γ .

Обмен значениями функции в граничных узлах подобластей.



Тема следующей лекции

Коллективные обмены в MPI