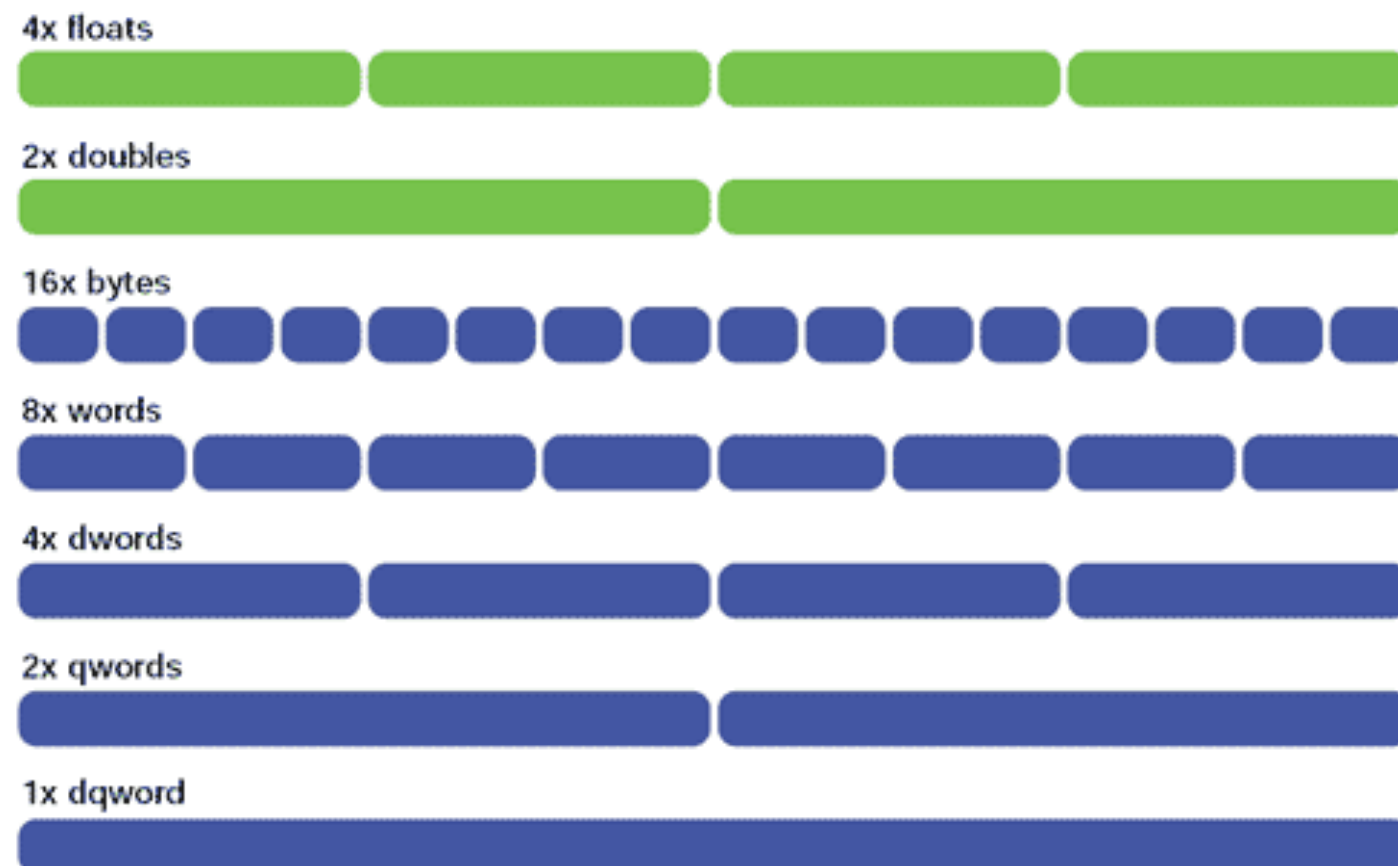


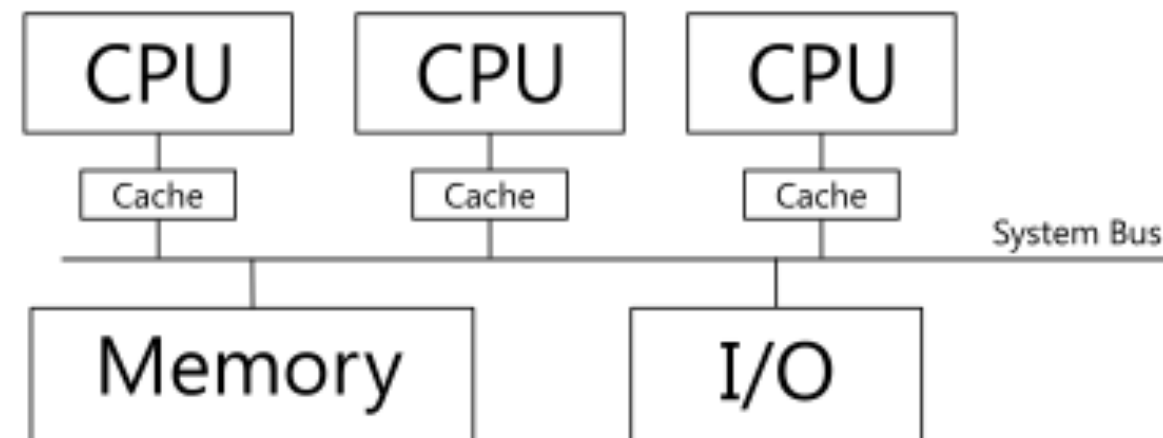
Параллельное программирование

SSE (Streaming SIMD Extension) для одного ядра.

Расширение инструкций процессора для потоковой обработки в режиме SIMD (Single Instruction Multiple Data).



Многопроцессорная система с общей оперативной памятью или SMP (Symmetric Multiprocessing).



Плюсы:

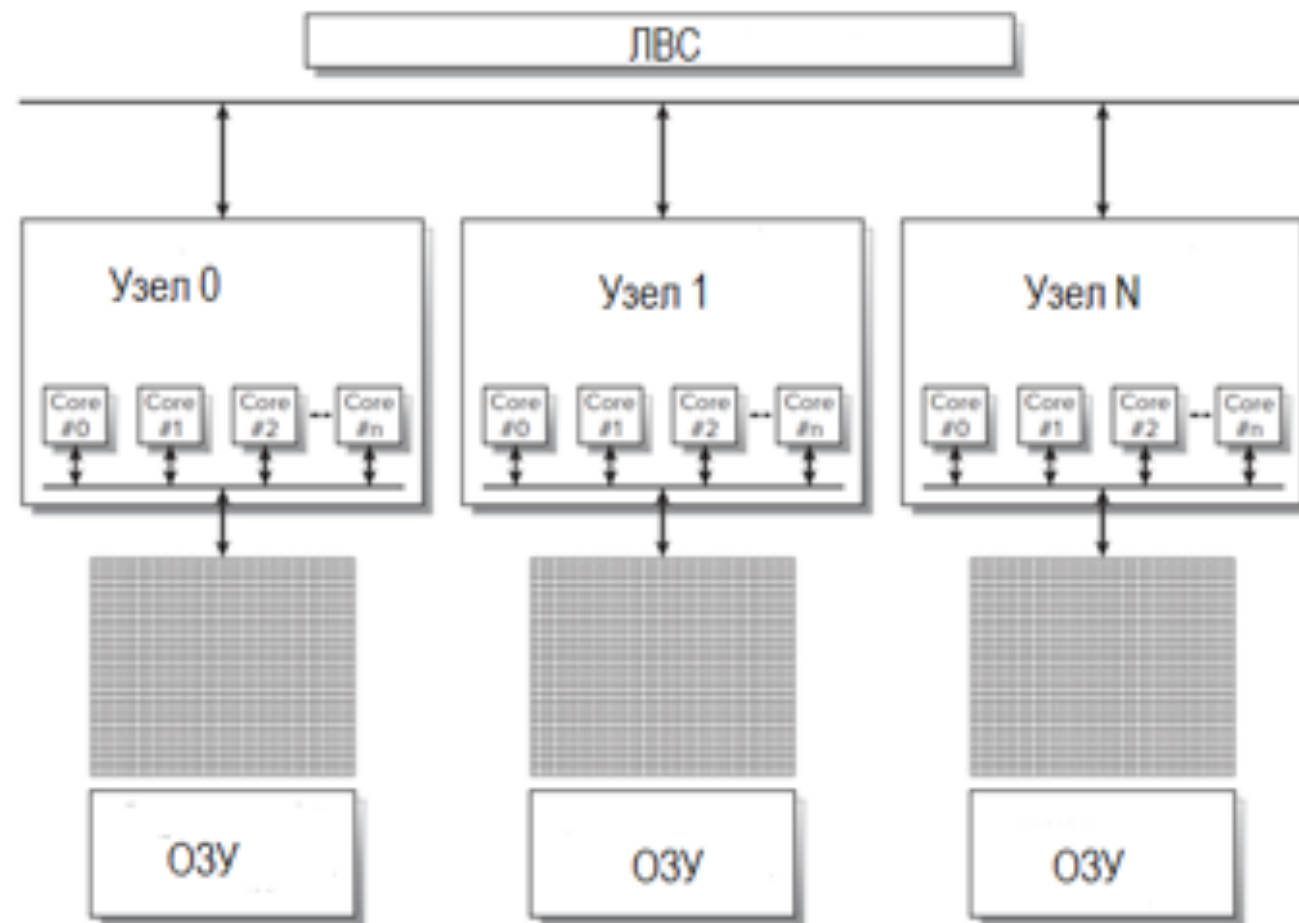
+ нативные потоки

+ платформонезависимые надстройки, такие как потоки в java или boost

Минусы:

- Необходимость синхронизации

Распределённые системы или MPP (massive parallel processing).



Плюсы:

- + большое количество процессоров позволяет быстро решить распараллеливающиеся задачи

Минусы:

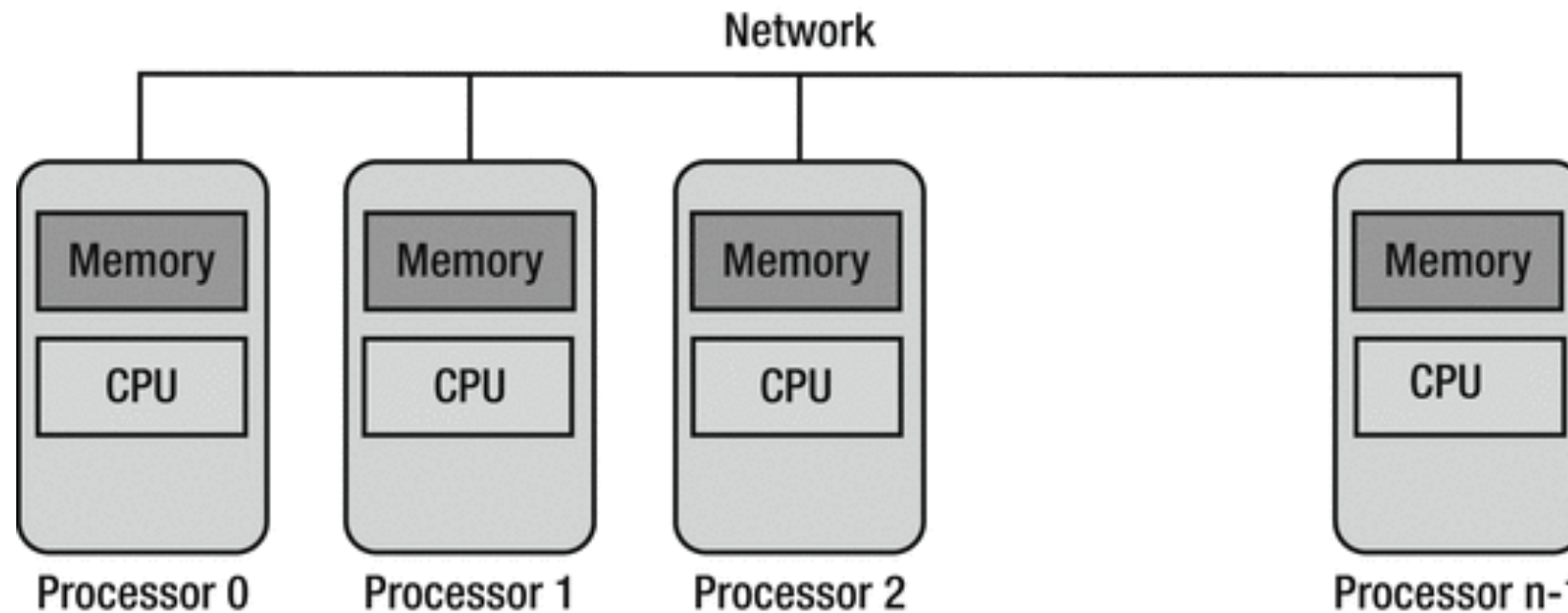
- приходится работать в терминах обмена сообщений

Цели распараллеливания.

- равномерная загрузка процессов;
- минимизация количества и объёма необходимых пересылок данных.

Пересылка данных требуется, если есть информационная зависимость между операциями, которые при выбранной схеме распределения попадают на разные процессы.

MPI (Message Passing Interface).



MPI - стандартизованный механизм для построения параллельных программ в модели обмена сообщениями, разработанная группой MPI Forum.

Версии стандарта MPI.

MPI 1 - 1994 год.

MPI 1.1 - 12 июля 1995 года.

- передача и получение сообщений между отдельными процессами;
- коллективные взаимодействия процессов;
- взаимодействия в группах процессов;
- реализация топологий процессов;

MPI 2.0 - 18 июля 1997 года.

- динамическое порождение процессов и управление процессами;
- односторонние коммуникации;
- параллельный ввод и вывод;
- расширенные коллективные операции.

MPI 2.1 - 1 сентябрь 2008 года.

MPI 2.2 - 4 сентябрь 2009 года.

MPI 3.0 - 21 сентябрь 2012 года.

MPI 3.1 - 4 июня 2015 года

Реализации MPI.

- MPICH2 (Open source, Argone NL)
- MVAPICH2
- IBM MPI
- Cray MPI
- Intel MPI
- HP MPI
- SiCortex MPI
- Open MPI (Open source, BSD License)
- Oracle MPI
- MPJ Express - MPI реализация для Java
- WMPI - реализация для Windows

SPMD (Single Program, Multiple Data)

```
#include <stdio.h>
#include "mpi.h"
#define MAX 100

int main(int argc, char **argv)
{
    int rank, size, n, i, ibeg, iend;
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    n=(MAX-1)/size+1;
    ibeg=rank*n+1;
    iend=(rank+1)*n;
    for(i=ibeg; i<=((iend>MAX)?MAX:iend); i++)
        printf ("process %d, %d^2=%d\n", rank, i,
i*i);
    MPI_Finalize();
}
```


Стандартные коммутаторы.

`MPI_COMM_WORLD` - коммутатор, содержащий все процессы приложения

`MPI_COMM_SELF` - коммутатор, содержащий только текущий процесс

`MPI_COMM_NULL` - коммутатор, не содержащий процессов

Возвращаемые значения.

MPI_SUCCESS	Ошибки нет
MPI_ERR_BUFFER	Неправильный указатель буфера
MPI_ERR_COUNT	Неверное количество аргумента
MPI_ERR_TYPE	Неправильный тип аргумента
MPI_ERR_TAG	Неправильный тэг аргумента
MPI_ERR_COMM	Неправильный коммуникатор
MPI_ERR_RANK	Неправильный номер
MPI_ERR_REQUEST	Неверный запрос (дескриптор)
MPI_ERR_ROOT	Неверный корневой идентификатор

Общие процедуры MPI.

int MPI_Init(int *argc, char ***argv)

int MPI_Finalize(void)

int MPI_Comm_size(MPI_Comm comm, int *size)

int MPI_Comm_rank(MPI_Comm comm, int *rank)

double MPI_Wtime(void)

double MPI_Wtick(void)

int MPI_Get_processor_name(char *name, int *len)

MPI

В языке Си функции `MPI_Init` передаются указатели на аргументы командной строки `argc` и `argv`, из которых системой могут извлекаться и передаваться в параллельные процессы параметры запуска программы. Это позволяет обеспечить их в среде, где аргументы командной строки не предусмотрены. Если не требуется, то могут передаваться значения `NULL`.

MPI

`int MPI_Finalize(void)` - завершение параллельной части приложения. Все последующие обращения к большинству процедур MPI, в том числе к `MPI_Init`, запрещены. К моменту вызова `MPI_Finalize` каждым процессом программы все действия, требующие его участия в обмене сообщениями, должны быть завершены.

Исключения

`int MPI_Initialized(int *flag)` В аргументе `flag` возвращает 1, если

вызвана после процедуры `MPI_Init`, и 0 - в противном случае.

`int MPI_Finalized(int *flag)`

В аргументе `flag` возвращает 1, если вызвана после процедуры `MPI_Finalize`, и 0 - в противном случае.

Эти процедуры можно вызвать до `MPI_Init` и после `MPI_Finalize`.

MPI

`int MPI_Comm_size(MPI_Comm comm,
int *size)` - в аргументе `size` возвращает число параллельных процессов в коммуникаторе `comm`.

`int MPI_Comm_rank(MPI_Comm comm,
int *rank)` - в аргументе `rank` возвращает номер процесса в коммуникаторе `comm` в диапазоне от 0 до `size-1`.

MPI

`double MPI_Wtime(void)` - возвращает для каждого вызвавшего процесса астрономическое время в секундах (вещественное число двойной точности), прошедшее с некоторого момента в прошлом. Момент времени, используемый в качестве точки отсчёта, не будет изменён за время существования процесса.

`double MPI_Wtick(void)` - возвращает разрешение таймера в секундах.

MPI

`int MPI_Get_processor_name(char *name, int *len)` - возвращает в строке `name` имя узла, на котором запущен вызвавший процесс. В переменной `len` возвращается количество символов в имени, не превышающее константы `MPI_MAX_PROCESSOR_NAME`.

Определение характеристик системного таймера.

```
#include <stdio.h>
#include "mpi.h"
#define NTIMES 100

int main(int argc, char **argv) {
    double time_start, time_finish, tick;
    int rank, i, len;
    char *name =
(char*)malloc(MPI_MAX_PROCESSOR_NAME*sizeof(char));
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    MPI_Get_processor_name(name, &len);
    tick = MPI_Wtick();time_start = MPI_Wtime();
    for (i = 0; i<NTIMES; i++){
        time_finish = MPI_Wtime();
    }
    printf ("processor %s, prcs %d: tick= %lf, time=%lf\n",
name, rank, tick, (time_finish-time_start)/NTIMES);
    MPI_Finalize();
}
```

Передача сообщений. Операции типа точка-точка.

В операциях типа точка-точка участвуют два процесса, один является отправителем сообщения, другой – получателем.

Процесс-отправитель должен вызвать одну из процедур передачи данных и явно указать номер процесса-получателя в некотором коммуникаторе, а процесс-получатель должен вызвать одну из процедур приема с указанием того же коммуникатора. Он может не знать точный номер процесса-отправителя в данном коммуникаторе. Все процедуры делятся на два класса: процедуры с блокировкой и процедуры без блокировки (асинхронные).

Процедуры обмена с блокировкой приостанавливают работу процесса до выполнения некоторого условия, а возврат из асинхронных процедур происходит немедленно после инициализации соответствующей коммуникационной операции.

Прием и передача сообщений с блокировкой.

```
int MPI_Send(void *buf, int count, MPI_Datatype  
datatype, int dest, int msgtag, MPI_Comm comm)
```

```
int MPI_Recv(void *buf, int count, MPI_Datatype  
datatype, int source, int msgtag, MPI_Comm  
comm, MPI_Status *status)
```

MPI_Datatype.

MPI_INT – int

MPI_SHORT – short

MPI_LONG - long

MPI_FLOAT – float

MPI_DOUBLE – double

MPI_CHAR – char

MPI_BYTE – 8 бит

MPI_PACKED – тип для упакованных данных.

Прием и передача сообщений с блокировкой.

Если при приеме сообщения пользователя не интересует заполнение структуры `status`, то вместо соответствующего аргумента можно указать predetermined константу `MPI_STATUS_IGNORE`. Это также позволит сэкономить немного времени, требуемого на запись соответствующих полей.

Вместо аргументов `source` и `msgtag` можно использовать константы:

- `MPI_ANY_SOURCE` — признак того, что подходит сообщение от любого процесса;
- `MPI_ANY_TAG` — признак того, что подходит сообщение с любым идентификатором.

Прием и передача сообщений с блокировкой. Пример для взаимодействия двух процессов.

```
#include "mpi.h"
#include <stdio.h>
int main(int argc, char **argv)
{
    int rank;
    float a, b;
    MPI_Status status;
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    a = 0.0;
    b = 0.0;
    if(rank == 0)
    {
        b = 1.0;
        MPI_Send(&b, 1, MPI_FLOAT, 1, 5, MPI_COMM_WORLD);
        MPI_Recv(&a, 1, MPI_FLOAT, 1, 5, MPI_COMM_WORLD, &status);
    }
    if(rank == 1)
    {
        a = 2.0;
        MPI_Recv(&b, 1, MPI_FLOAT, 0, 5, MPI_COMM_WORLD, &status);
        MPI_Send(&a, 1, MPI_FLOAT, 0, 5, MPI_COMM_WORLD);
    }
    printf("process %d a = %f, b = %f\n", rank, a, b);
    MPI_Finalize();
}
```

Прием и передача сообщений с блокировкой.

Обмен сообщениями четных и нечетных процессов.

```
#include "mpi.h"
#include <stdio.h>
int main(int argc, char **argv)
{
    int size, rank, a, b;
    MPI_Status status;
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    a = rank;
    b = -1;
    if((rank%2) == 0){
        if(rank<size-1)
            MPI_Send(&a, 1, MPI_INT, rank+1, 5, MPI_COMM_WORLD);
    }
    else
        MPI_Recv(&b, 1, MPI_INT, rank-1, 5, MPI_COMM_WORLD, &status);
    printf("process %d a = %d, b = %d\n", rank, a, b);
    MPI_Finalize();
}
```