

Суперкомпьютерное моделирование и технологии.

сентябрь – декабрь 2017 г.

Лекция 4

13 сентября 2017 г.

Н.Н. Попова

доцент кафедры АСВК

popova@cs.msu.su



Информационные ресурсы курса

- Методические материалы, инструкции:

<http://angel.cs.msu.su/~popova>

Архитектура и программное обеспечение массивно-параллельной вычислительной системы

IBM Blue Gene / P

<http://hpc.cs.msu.su>

Дополнительная информация на сайте

hpc@ctmc | Высокопроизводительные вычисления на ВМК МГУ - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

hpc@ctmc | Высокопроизводительные ... x +

hpc.cs.msu.su

Google

hpc@ctmc Высокопроизводительные вычисления на ВМК МГУ

Blue Gene/P Общие вопросы Форум Поддержка Ссылки Регистрация

Blue Gene/P

- Новым пользователям
- Быстрый старт
- Подключение
- Файловая система
- Разработка программ
- Запуск заданий
- Программное обеспечение
- Официальная документация
- FAQ
- Серия Blue Gene в мире
- Фотографии
- Публикации

Общие вопросы

- Доступ по SSH
- Выбор пароля
- VPN-подключение

Форум

Поддержка

Суперкомпьютер IBM Blue Gene/P на факультете ВМК МГУ

С 2008 года на факультете ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова работает суперкомпьютер IBM Blue Gene/P, который является одной из первых систем данной серии среди установленных в мире. Архитектура Blue Gene была предложена компанией IBM в рамках проекта по исследованию возможностей достижения новых рубежей в супервычислениях. Более крупные машины данной серии в настоящее время занимают лидирующие позиции в списке пятисот самых мощных компьютеров мира [Top500](#), а машина Blue Gene/P, установленная на ВМК МГУ, в редакции рейтинга от 18 ноября 2008 года оказалась на [128-м месте](#) (в редакции от 16 ноября 2009 года — 348-е место). В списке самых высокопроизводительных компьютеров стран СНГ, опубликованном 22 сентября 2009 года, она находится на [4-й строчке](#).

Система IBM Blue Gene/P принадлежит к новому семейству суперкомпьютеров, обладающих высокой производительностью, масштабируемостью, возможностью обрабатывать данные большего объема, потребляя при этом значительно меньше энергии и занимая меньшую площадь по сравнению с предыдущими системами.

На факультете ВМК МГУ представлена конфигурация, состоящая из двух стоек, содержащих в общей сложности 2048



Топ500,июнь 2012

- Blue Gene/P

7 entries.

Rank	Site	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
25	Forschungszentrum Juelich (FZJ) Germany	JUGENE - Blue Gene/P Solution IBM	294912	825.5	1002.7	2268
38	DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	Intrepid - Blue Gene/P Solution IBM	183840	458.6	557.1	1260
42	DOE/NNSA/LLNL United States	Dawn - Blue Gene/P Solution IBM	147456	415.7	501.4	1134
85	King Abdullah University of Science and Technology Saudi Arabia	Shaheen - Blue Gene/P Solution IBM	65536	190.9	222.8	504
149	IDRIS France	Blue Gene/P Solution IBM	40960	119.3	139.3	315
201	EDF R&D France	Frontier2 BG/L - Blue Gene/P Solution IBM	32768	95.5	111.4	252
377	Rice University United States	BlueGene/P, PowerPC 450 4C 850 MHz, Proprietary IBM	24576	71.4	83.6	189

Топ500,июнь 2012

- Blue Gene/Q

20 entries.

Rank	Site	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	DOE/NNSA/LLNL United States	Sequoia - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom IBM	1572864	16324.8	20132.7	7890
3	DOE/SC/Argonne National Laboratory United States	Mira - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	786432	8162.4	10066.3	3945
7	CINECA Italy	Fermi - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	163840	1725.5	2097.2	821.9
8	Forschungszentrum Juelich (FZJ) Germany	JuQUEEN - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	131072	1380.4	1677.7	657.5
13	Science and Technology Facilities Council - Daresbury Laboratory United Kingdom	Blue Joule - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	114688	1207.8	1468.0	575.3
20	University of Edinburgh United Kingdom	DiRAC - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	98304	1035.3	1258.3	493.1
29	EDF R&D France	Zumbrota - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	65536	690.2	838.9	328.8
30	IDRIS/GENCI France	BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	65536	690.2	838.9	328.8
31	Victorian Life Sciences Computation Initiative Australia	Avoca - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM	65536	690.2	838.9	328.8

Суперкомпьютерное моделирование
технологии. Лекция 4.

Проект Blue Gene

■ **Blue Gene/L**

- Начинаясь как массивно-параллельный компьютер для изучения фолдинга белков
- Первый прототип - 2004 г. Первая строка в Top 500 с производительностью в 70.72 Тфлоп/с
- 2-х ядерный чип

■ **Blue Gene/P**

- Продолжение линейки Blue Gene
- Увеличена частота процессора и объем памяти
- 4-х ядерный чип (технология system-on-a-chip)
- Самая большая система на основе Blue Gene/P установлена в Германии (JUGENE)
 - 1 Пфлоп/с пиковая, 825 Тфлоп/с реальная

■ **Blue Gene/Q**

- 2012 год, производительность ~20 Пфлоп/с
- 8-ядерный чип

История проекта Blue Gene

■ Blue Gene/L

- Начинался как массивно-параллельный компьютер для изучения фолдинга белков
- Первый прототип был собран в 2004 г.
 - занял первую строчку в Top 500 с производительностью в 70.72 Тфлоп/с
- 2-х ядерный чип

■ Blue Gene/P

- Продолжение линейки Blue Gene
- Увеличена частота процессора и объем памяти
- 4-х ядерный чип
- Самая большая система на основе Blue Gene/P установлена в Германии (JUGENE)
 - 1 Пфлоп/с пиковая, 825 Тфлоп/с реальная

■ Blue Gene/Q

- 2012 год, производительность ~20 Пфлоп/с
- 8-ядерный чип

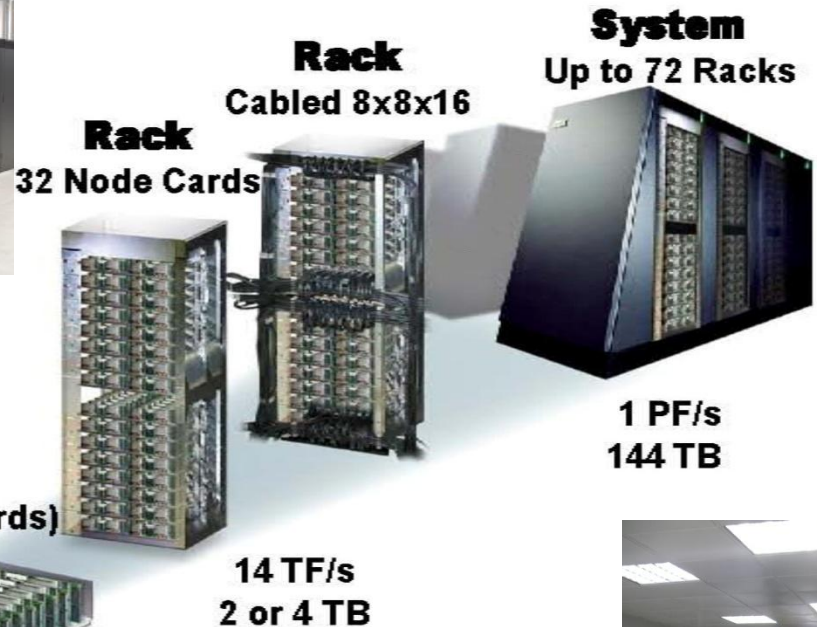
Общая характеристика систем Blue Gene

- Массивно-параллельные системы с распределенной памятью
- Технология System-on-chip (4 ядра, 8 FPU, контроллер памяти и др. на одном ASIC)
- Высокая плотность упаковки
 - процессоры с низким энергопотреблением
- Высокопроизводительный интерконнект
 - несколько коммуникационных подсистем для различных целей
- Ультра легкая ОС
 - выполнение вычислений и ничего лишнего
- Стандартное ПО
 - Fortran/C/C++ и MPI

Общая характеристика систем Blue Gene

- Массивно-параллельные системы с распределенной памятью
- Высокая плотность упаковки
 - процессоры с низким энергопотреблением (40 W ~ лампочка)
- Высокопроизводительный интерконект
 - несколько коммутационных подсистем для различных целей
- Ультра легкая ОС
 - выполнение вычислений и ничего лишнего
- Стандартное ПО Standard software
 - Fortran/C/C++ и MPI

Blue Gene/P Hardware



Blue Gene P

1 стойка

- 1024 четырехъядерных вычислительных узлов
- производительность одного вычислительного узла – 13.6 GF/s
- производительность 1 стойки– 13.9 Tflops
- оперативная память одного узла – 2 GB
- суммарная оперативная память в стойке– 2 TB
- узлов ввода/вывода 8 – 64
- Размеры - 1.22 x 0.96 x 1.96
- занимаемая площадь 1.17 кв.м.
- энергопотребление (1 стойка) - 40 kW (max)

Конфигурация BlueGene P факультета ВМиК

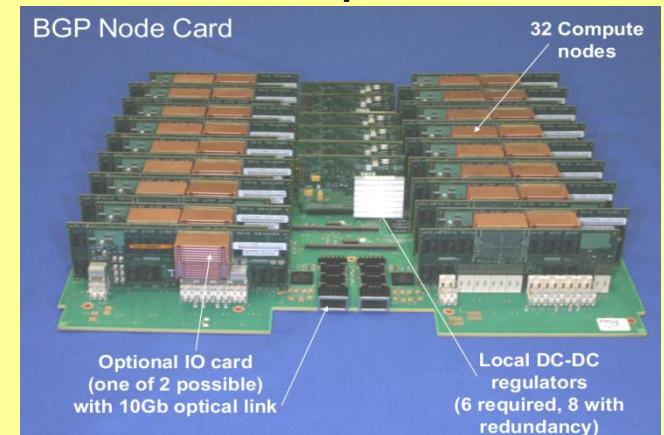
<http://hpc.cs.msu.ru>

- пиковая производительность 27.8 Tflop/s
- 2 стойки
- 2048 4-ех ядерных узлов
- общий объем ОЗУ 4 TB



Компоненты Blue Gene P

- Основная единица – четырехядерный вычислительный узел (процессор) , ядро – PowerPC 450 850Mhz + память (2GB)
- Node card = 32 вычислительных узла + до 2х узлов ввода-вывода
- Стойка – 32 node cards
- Число процессоров в стойке 1024
- Итоговое число ядер на стойку - 4096



Характеристики вычислительного узла

- 4 ядерный 32-битный процессор PowerPC 850 МГц
 - Двойное устройство для работы с вещественными числами с плавающей точкой (double precision)
 - 2 Гб памяти
 - Работает под управлением облегченной ОС
 - Создание процессов и управление ими
 - Управление памятью
 - Отладка процессов
 - Ввод-вывод
 - Объем виртуальной памяти равен объему физической

Характеристики вычислительного узла

– 3 режима использования ядер

- **SMP:**

1 MPI процесс из 4 SMP нитей, 2 Гб памяти

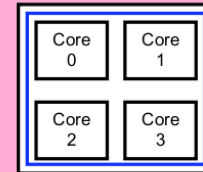
- **DUAL:**

2 MPI процесса по 2 SMP нити, 1 Гб памяти на MPI процесс

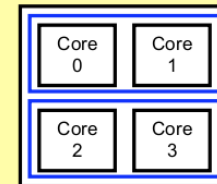
- **VNM:**

4 MPI процесса

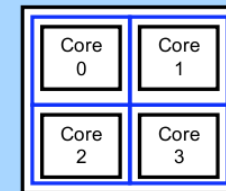
SMP Mode
1 Process
1-4 Threads/Process



Dual Mode
2 Processes
1-2 Threads/Process



Quad Mode (VNM)
4 Processes
1 Thread/Process



Компоненты Blue Gene/P

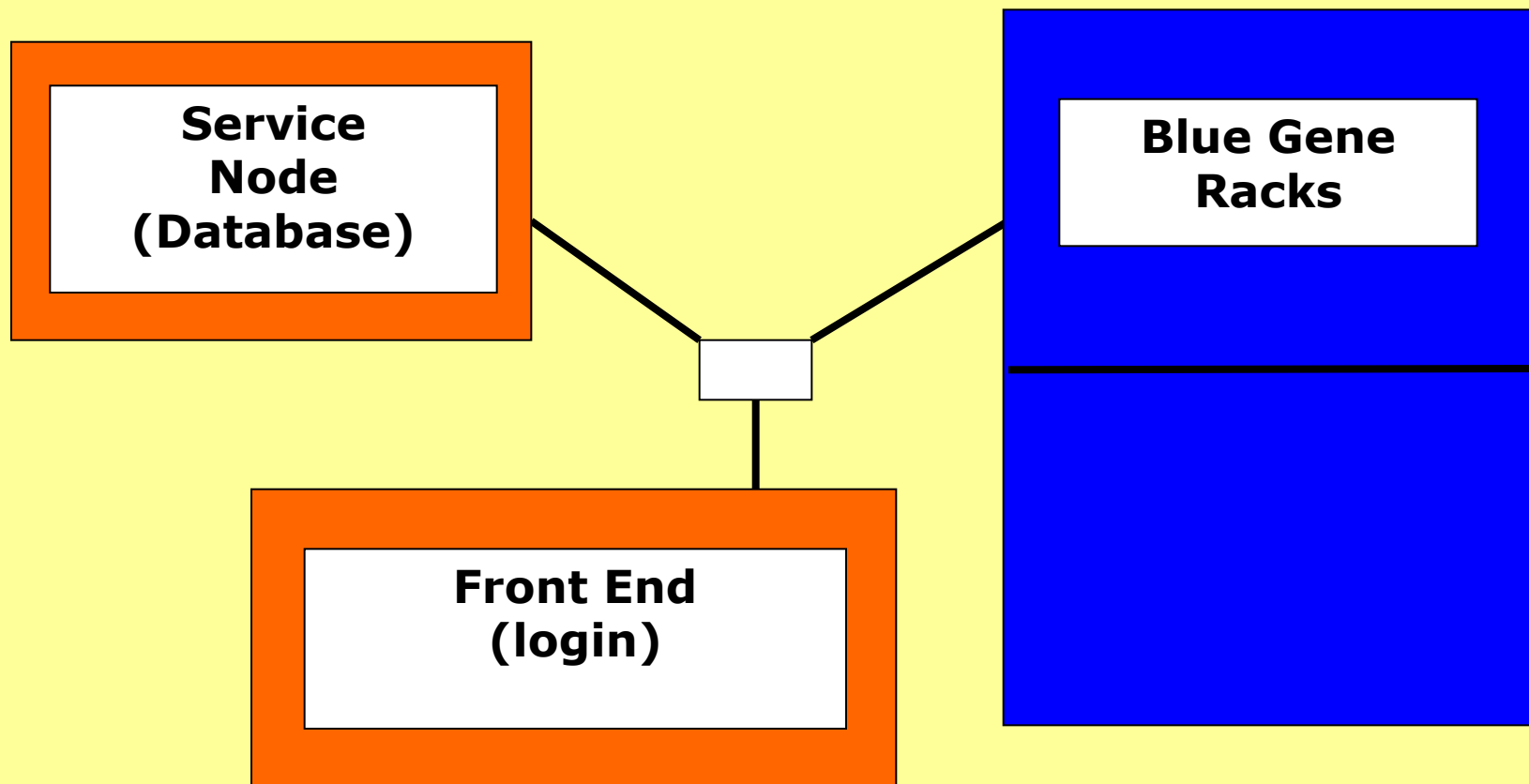
- Помимо вычислительных узлов, в состав системы также входят:
 - узлы ввода-вывода
 - узел управления системой
 - не менее одного узла front end (через них осуществляется доступ пользователей к системе)
 - сеть, связывающая компоненты системы
 - специализированная сеть для сообщения между сервисным узлом и узлами ввода-вывода

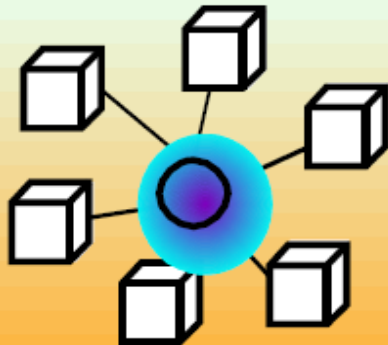
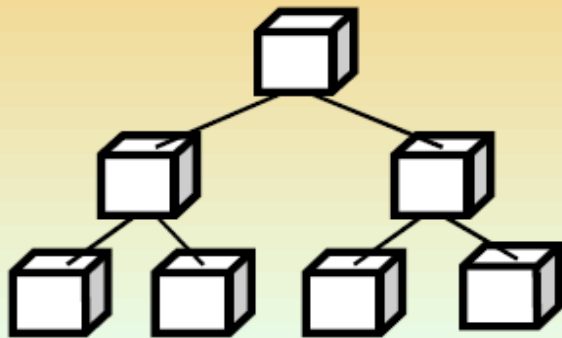
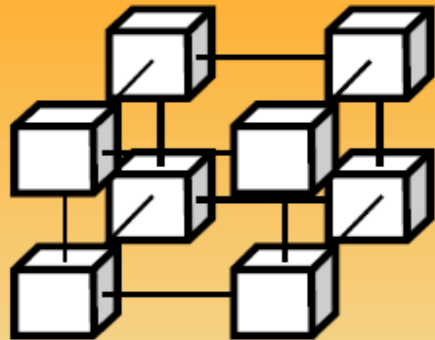
Процессоры ввода-вывода

Отличия по сравнению с вычислительным узлом:

- Установлена полноценная ОС
- Отсутствует подключение к сети тору
- Имеется выход в 10-гигабитную сеть Ethernet

BlueGene/P





■ 3-мерный тор

- Используется для обмена сообщениями между соседними узлами, а также для многих коллективных операций

■ Коллективная сеть – дерево

- Для глобальной коммуникации одно-ко-всем (broadcast, reduction)
- 6.8 ГБ/с на порт
- Соединяет все вычислительные узлы и узлы ввода-вывода
- Используется для коллективных операций и коммутатора MPI_COMM_WORLD

■ Высокоскоростная сеть для глобальных прерываний

- Для MPI_Barrier

Память

- Оперативная память – до 2GB на вычислительный узел, пропускная способность 13.6GBps
- Трёхуровневый кэш:
 - L1 – отдельный для каждого ядра, размер 32Kb
 - L2 – отдельный для каждого ядра, используется для предварительной выборки информации из кэша L1. Считывает\записывает по 16b за одно обращение.
 - L3 – разделен на две части по 4MB, доступ к ним имеют все четыре ядра, для каждого есть канал чтения и канал записи.

Состав ПО

- Linux® на узлах ввода\вывода
- MPI (MPICH2) и OpenMP (2.5)
- Стандартное семейство компиляторов IBM XL: XLC/C++, XLF
- Компиляторы GNU
- Система управления заданиями LoadLeveler
- Файловая система GPFS
- Инженерная и научная библиотека подпрограмм (ESSL), математическая библиотека (MASS)

ОС вычислительного узла BlueGene P

- Compute Node Kernel (CNK)
 - “linux-подобная” ОС
 - Нет некоторых системных вызовов (`fork()` в основном). Ограниченная поддержка `mmap()`, `execve()`
 - Минимальное ядро – обработка сигналов, передача системных вызовов к узлам ввода-вывода, старт-завершение задач, поддержка нитей
 - Большинство приложений, которые работают под Linux, портируются на BG/P

Компиляторы Blue Gene

- IBM XL компиляторы (xlc, xlf77, xlf90)
- работают на front end узлах
 - Fortran: **mpixlf**, **mpixlf90**, **mpixlf95**
 - C: **mpixlc**
 - C++: **mpixlcxx**
- обычно являются скриптами
- GNU компиляторы существуют, но малоэффективны: **mpicc**

Реализация MPI

- MPICH2 1.0.x (стандарт MPI 2.0)
- Не поддерживает управление динамическими процессами
- Для поддержки аппаратного обеспечения Blue Gene/P сделаны добавления и модификации в программной архитектуре MPICH2:
 - коллективные операции могут использовать различные сети при разных обстоятельствах (не только коллективную сеть, но и сеть с топологией тора или сеть глобальных прерываний)
 - Существуют оптимизированные версии функций MPI_Dims_create, MPI_Cart_create, MPI_Cart_map
 - Добавлены функции MPIX - расширение MPI, учитывающее специфику аппаратного обеспечения

OpenMP

- `_r` суффикс для имени компиляторов например, `mpixlc_r`
- `-qsmp=omp`
указание компилятору интерпретировать OpenMP директивы
- Автоматическое распараллеливание
`-qsmp`

Процессорные партии

- Подмножества вычислительных узлов, выделяемых задаче
- Каждой задаче выделяется своя партия
- Загрузка задачи на исполнение производится независимо от других задач
- Размер партии определяется кратным 32
- Для партий размером кратным 512 поддерживается топология тора

Компьютеры

Компилятор		C/C++		Fortran			
		C	C++	Fortran 77	Fortran 90	Fortran 95	Fortran 2003
GCC		mpicc	mpicxx	mpif77	—	—	—
IBM XL		mpixlc	mpixlcxx	mpixlf77	mpixlf90	mpixlf95	mpixlf2003
	потоко- безопасная версия	mpixlc_r	mpixlcxx_r	mpixlf77_r	mpixlf90_r	mpixlf95_r	mpixlf2003_r

Ключи компилятора XL

- **–qarch=450 –qtune=450**
 - Инструкции только для одного из двух FPU
 - Используйте, если данные не выровнены по 16-байтовой границе
- **–qarch=450d –qtune=450**
 - Выравнивание!
- **–O3 (–qstrict)**
 - Минимальный уровень оптимизации под Double Hammer FPU
- **–O3 –qhot (= –qsimd)**
- **–O4 (–qnoipa)**
- **–O5**
- **–qdebug=diagnostic**
 - Информация по SIMD-инструкциям (только с qhot)

Постановка заданий в очередь

**mpisubmit.bg [SUBMIT_OPTIONS] EXECUTABLE [--
EXE_OPTIONS]**

- -n NUMBER – число вычислительных узлов
- -m MODE - mode (SMP,DUAL,VN)
- -w HH:MM:SS – максимальное время выполнения
- -e ENV_VARS – переменные окружения

ПРИМЕР:

```
$> mpisubmit.bg -n 256 -m DUAL -w 00:05:00 -e  
"OMP_NUM_THREADS=2 SOME_ENV_VAR=8x" a.out -- 3.14
```

Дополнительная информация:

- \$> mpisubmit.bg --help
- <http://hpc.cmc.msu.ru/bgp/jobs/mpisubmit>

Перенаправление потоков ввода-вывода

По умолчанию:

- **Stdout :**
 <exec>.\$(jobid).out
- **stderr:**
 <exec>.\$(jobid).err

mpisubmit.bg

- --stdout STDOUT_FILE_NAME
- --stderr STDERR_FILE_NAME
- --stdin STDIN_FILE_NAME

Система управления заданиями IBM **LoadLeveler**

- Оптимизирует использование имеющихся вычислительных ресурсов
 - Учет приоритета задачи пользователей
 - Динамическое распределение ресурсов
- Очередь заданий

Команды:

- llq
- llmap
- llcancel JOB_ID

Просмотр текущего статуса очереди

```
bluegene.hpc.cs.msu.ru - PuTTY
popova@fen1:~/SuperCompModelling_2017> ls
jacobys
popova@fen1:~/SuperCompModelling_2017> llq
```

Id	Owner	Submitted	ST	PRI	Class	Running On
fen1.10983088.0	mmg	9/19 14:34	R	50	n1024_h24	fen1
fen1.10983121.0	shgnik	9/20 01:04	R	50	n256_h12	fen1
fen1.10983124.0	shgnik	9/20 01:22	R	50	n256_h12	fen1

```
3 job step(s) in queue, 0 waiting, 0 pending, 3 running, 0 held, 0 preempted
popova@fen1:~/SuperCompModelling_2017>
```

```

popova@fen1:~/SuperCompModelling_2017> mpisubmit.bg -n 32 jacobyl
llsubmit: Stdin job command file written to "/tmp/loadlx_stdin.10021.h8e5Lx".
submit filter in use[ popova fen1.10983125 ]
llsubmit: Processed command file through Submit Filter: "/etc/LoadL/cmc_submit_f
ilter".
llsubmit: The job "fen1.bg.cmc.msu.ru.10983125" has been submitted.
popova@fen1:~/SuperCompModelling_2017> llq

```

Id	Owner	Submitted	ST	PRI	Class	Running On
-----	-----	-----	--	---	-----	-----
fen1.10983088.0	mmg	9/19 14:34	R	50	n1024_h24	fen1
fen1.10983121.0	shgnik	9/20 01:04	R	50	n256_h12	fen1
fen1.10983124.0	shgnik	9/20 01:22	R	50	n256_h12	fen1
fen1.10983125.0	popova	9/20 03:34	R	50	n32_m15	fen1

lmap

```
popova@fen1:~/SuperCompModelling_2017> llmap
```

Jobs Distribution

		Midplane M0																Midplane M1															
I/O node:		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
Rack R00		A C C C C C C C C																D D D D D D D D D D D D D D D D D															
Rack R01		B B B B B B B B								D D D D D D D D D D D D D D D D D																							

Priority	ID	Job	User	Reqst Nodes	Alloc Nodes	Class	Requested Time	Remaining Time
Running:								
03	A	10983125.0	popova	32	32	n32_m15	00:15:00	00:14:
	B	10983124.0	shgnik	256	256	n256_h12	12:00:00	09:46:

Параметры mpisubmit.bg

-n, --nproc	128	Запрашиваемое число узлов
-w, --wtime	00:15:00	Максимальное время выполнения
-m, --mode	smp	Режим использования ядер процессора
-e, --env		Переменные окружения
-t, --top	PREFER_TORUS	Топология
-d, --debug		Вывести содержимое командного файла на экран без постановки задачи в очередь
-h, --help		

▪ Доступные размеры физических решеток

- 32: $4 \times 4 \times 2$
- 64: $4 \times 4 \times 4$
- 128: $4 \times 4 \times 8$
- 256: $8 \times 4 \times 8$
- 512: $8 \times 8 \times 8$
- 1024: $8 \times 8 \times 16$
- 1024: $8 \times 16 \times 8$
- 2048: $8 \times 16 \times 16$

Отладка

- **На Blue Gene нет виртуальной памяти, поэтому необходимо тщательно следить за утечками памяти**
 - Application killed with signal 6
 - Недостаточно памяти
- **Ключ компилятора -g**
- **addr2line**
 - Утилита для анализа core файлов
- **Application killed with signal 7 (memory alignment error)**
 - BG_MAXALIGNEXP=1
 - процесс умирает при первой ошибке выравнивания (полезно при оптимизации)
 - BG_MAXALIGNEXP=-1
 - игнорировать ошибки выравнивания

MPI + OpenMP:

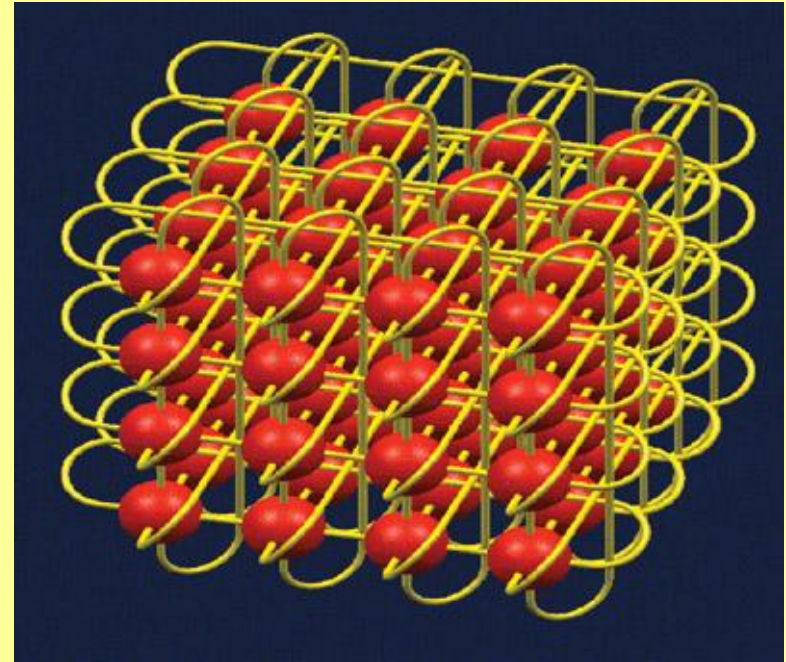
- **C:** `mpixlc_r -qsmp=omp -O3 hello.c -o hello`
- **C++:** `mpixlcxx_r -qsmp=omp -O3 hello.cxx -o hello`
- **Fortran:** `mpixlf90_r -qsmp=omp -O3 hello.F90 -o hello`

MPI + OpenMP, 32 nodes, 15 mins

- **SMP** (4 cores per MPI process):
`mpisubmit.bg -n 32 -m SMP -w 00:15:00 -e "OMP_NUM_THREADS=4" hello`
- **DUAL** (2 cores per MPI process):
`mpisubmit.bg -n 32 -m DUAL -w 00:15:00 -e "OMP_NUM_THREADS=2" hello`
- **VN** (1 core per MPI process):
`mpisubmit.bg -n 32 -m VN -w 00:15:00 -e "OMP_NUM_THREADS=1" hello`

Назначение процессов на процессоры (mapping)

Распределение процессов по процессорам по умолчанию: XYZT, где
<XYZ> - координаты процесса в торе,
T - номер ядра внутри процесса
Сначала увеличивается X - координата, затем Y и Z-координаты, после этого T- номер ядра



Mapping

2 способа назначения процессов на процессоры:

- с помощью аргумента командной строки
-mapfile TXYZ (задаем порядок TXYZ или другие перестановки X,Y,Z,T: TYXZ, TZXY и т.д.)
- указание map- файла в командной строке
-mapfile my.map, где my.map – имя файла.
- Синтаксис файла распределения – четыре целых числа в каждой строке задают координаты для каждого MPI-процесса (первая строка задает координаты для процесса с номером 0, вторая строка – для процесса с номером 1 и т.д.).

0 0 0 1

0 0 1 1

Очень важно, чтобы этот файл задавал корректное распределение, с однозначным соответствием между номером процесса и координатами <X, Y, Z, T>.

Основной шаблон протокола работы пользователя (1)

1. Выход на BGP:

%ssh <опции> <логин>@bluegene1

2. Копирование файлов с локального компьютера на Blue Gene/P: (локальная машина)

%scp example.cpp ivanov@bluegene1:~ivanov/examples

Основной шаблон протокола работы пользователя (2)

3. Компиляция MPI-программы на языке C или C++ : (BGP, front-end)

%mpixlc example.c -o c_ex

%mpixlcxx example.cpp -o cpp_ex

%mpixlf90 example.f90 -o f_ex

4. Компиляция гибридной MPI-OpenMP программы:

%mpixlc_r -qsmp=omp hw.c -o hw

% mpixlcxx_r -qsmp=omp hw.cpp -o hw

Основной шаблон протокола работы пользователя (4)

5. Постановка MPI-программы в очередь задач с лимитом выполнения 15 минут на 128 узлов в режиме **VN** с параметром командной строки :

%mpisubmit.bg -w 00:15:00 -m VN -n 128 prog - 0.1 200

6. Постановка MPI+OpenMP программы **prog** в очередь задач с лимитом выполнения 15 минут на 128 узлов в режиме **SMP** с 4 нитями на каждом узле и с параметром командной строки **parameter**:

***%mpisubmit.bg -w 00:15:00 -m SMP -n 128
-e «OMP_NUM_THREADS=4» prog -- parameter***

LoadLeveler: llq

```

angel.cs.msu.su - PuTTY
-rw-rw-r-- 1 popova cmc      384 2012-06-25 08:44 ysz.bin
-rw-rw-r-- 1 popova cmc      384 2012-06-25 08:44 zs.bin
-rw-rw-r-- 1 popova cmc      384 2012-06-25 08:44 zsdx.bin
-rw-rw-r-- 1 popova cmc      384 2012-06-25 08:44 zsdy.bin
popova@fen1:~/amp12/academy> llq

```

Id	Owner	Submitted	ST	PRI	Class	Running On
fen1.158483.0	popova	6/25 08:37	R	50	n128_m15	fen1
fen1.158478.0	irina	6/25 08:19	I	50	n128_m15	
fen1.158479.0	popov	6/25 08:20	I	50	n128_m15	

```

3 job step(s) in queue, 2 waiting, 0 pending, 1 running, 0 held, 0 preempted
popova@fen1:~/amp12/academy> llmap

```

Jobs Distribution

Midplane:	M0				M1			
I/O node:	0	1	2	3	0	1	2	3
Rack R00				A				
Rack R01		*	*	*				

```

+-----+-----+
+-----+-----+
+-----+-----+
+-----+-----+

```

Priority	ID	Job	User	Reqst Nodes	Alloc Nodes	Class	Requested Time	Remaining Time
Running:	A	158483.0	popova	128	128	n128_m15	00:15:00	00:17:04
Idle:	-13777	158478.0	irina	128		n128_m15	00:15:00	
	-13815	158479.0	popov	128		n128_m15	00:15:00	

```

popova@fen1:~/amp12/academy>

```

Ссылки

- <http://www.ibm.com/servers/deepcomputing/bluegene.html>
- <http://www3.ibm.com/systems/deepcomputing/bluegene/>
- IBM System Blue Gene Solution: Blue Gene/P Application Development, SG24-7287-00
<http://www.research.ibm.com/journal/rd/521/tocpdf.html>