

# КЛАСТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Бервено В.С., Резник В.Н., Смагин А.Н.

Кафедра ЭВМ

ДонНТУ

[volodimir@fromru.com](mailto:volodimir@fromru.com)

[bonvlad@tcc-online.com](mailto:bonvlad@tcc-online.com)

[smagin@cs.dgtu.donetsk.ua](mailto:smagin@cs.dgtu.donetsk.ua)

## **Abstract**

*Berveno V.S., Reznik V.N., Smagin A.N. The cluster technologies: past, present and future. The overview of cluster technologies, analysis of the current state and evolution.*

## **Введение**

В течение последних лет наблюдался бурный рост производительности микропроцессоров и вычислительной техники на их основе. Однако, не смотря на это, потребность в суперкомпьютерах не снизилась, а наоборот продолжает расти. Многие задачи, требующие решения, являются весьма требовательными к вычислительным ресурсам. А это требует создания вычислительных систем, превышающих самые современные микропроцессоры по производительности во много раз. Становится очевидным, что единственным выходом из этой ситуации становится использование многопроцессорных технологий. Эти технологии имеют массу преимуществ. Одним из них является возможность масштабирования этих систем, а именно изменения объёма вычислительных ресурсов за счёт числа процессоров, используемых в системе. Поэтому многопроцессорность в настоящее время перестаёт быть чертой, исключительно присущей суперкомпьютерам.

Сама же идея параллельной обработки данных была выдвинута более сотни лет назад до появления первого компьютера Чарльзом Бэббиджем, но существовавшие на тот момент технологии не могли позволить ему реализовать её. И вот, с появлением ЭВМ эти идеи стали воплощаться в жизнь. До недавнего времени этим воплощением были супер ЭВМ, но и им появилась альтернатива. И эта альтернатива - **кластер**.

## **Основные определения и принципы**

Итак, что же такое кластер? Дадим ему определение:

Кластер — это разновидность параллельной или распределенной системы, которая состоит из нескольких связанных между собой компьютеров и используется как единый, унифицированный компьютерный ресурс.

Кластер всегда состоит из узлов, являющихся полноценными компьютерами, которые соединены сетью для выполнения обмена данными. При этом, эти компьютеры не обязательно должны быть однотипными, система может быть и гетерогенной, объединяя в себе компьютеры различной архитектуры - от персональных ЭВМ до сверхпроизводительных супер ЭВМ.

Кластер может быть как территориально сосредоточен, так и распределён. Построению распределённых кластеров способствует развитие глобальной сети Internet. На наш взгляд, в будущем будет происходить преобладание именно этого типа кластеров, что позволит получить вычислительные мощности огромных объёмов, которые не будут уступать отдельным супер ЭВМ.

При построении кластеров можно выделить два следующих подхода:

- в кластерную систему собираются все доступные компьютеры, которые также могут функционировать и отдельно. Например в такую кластерную систему можно объединить компьютеры, находящиеся в учебной аудитории или подключённые к университетской сети;
- в кластерную систему целенаправленно соединяются промышленно выпускаемые ЭВМ. При это создаётся мощный вычислительный ресурс. Этот подход позволяет удешевить саму кластерную систему, т.к. не требуется снабжать каждый отдельный узел монитором, клавиатурой и другими периферийными устройствами.

Отметим, что при использовании второго подхода узлы кластера располагаются в специальных стойках, а для управления кластером и мониторинга его состояния выделяются один или несколько полнофункциональных компьютеров. Эти компьютеры называются *хост-компьютерами*. Подобный подход использован, например, в кластере CliC (Chemnitzer Linux Cluster) Кемнитцкого технического университета (TU Chemnitz), Германия.

## **Краткая история появления и обзор существующих кластерных систем**

Идея построения кластеров зародилась ещё в начале 80-х годов, когда компанией Digital Equipment был представлен кластер VAXCluster, использовавший операционную систему OpenVMS. Далее пришло время кластеров на основе Unix-подобных операционных систем. Это было связано с тем, что всё большее число компаний стало использовать Unix для критичных приложений, что само собою ставило вопрос надёжности и высокой готовности, а, значит, и кластеризации.

В 90-х годах начался процесс интенсивного развития кластерных технологий. В эту область пришло большое количество разработчиков и производителей. В следующей таблице приведен список производителей параллельных вычислительных систем с указанием их доли.

Таблица 1

Список производителей параллельных вычислительных систем

	Count	Share	Rmax [GF/s]	Rpeak [GF/s]	Processors
IBM	160	32%	50867.91	79074	63164
Hewlett-Packard	153	30.6 %	19867.90	29325	13432
SGI	40	8%	10514.00	15400	22876
Cray Inc.	39	7.8 %	14083.17	21015	22378
Sun	30	6%	4963.83	7417	9276
Fujitsu	19	3.8 %	5805.30	6624	1372
Compaq	16	3.2 %	10343.80	14649	8201
NEC	16	3.2 %	4380.40	4906	1708
Hitachi	14	2.8 %	8092.40	9750	1892
Self-made	6	1.2 %	2158.90	3715	3695
Dell	4	0.8 %	710.00	1599	1420
HPTi	1	0.2 %	442.70	840	580
Hitachi/Tsukuba	1	0.2 %	368.20	614	2048
Intel	1	0.2 %	2379.00	3207	9632
Total	500	100%	134977.51	198135	161674

Перечислим наиболее интересные проекты, связанные с кластерными технологиями.

**Проект Beowulf ([www.beowulf.org](http://www.beowulf.org)).** Этот проект возник летом 1994 года в научно-космическом центре NASA - Goddard Space Flight Center ([GSFC](http://www.gsfc.nasa.gov)), точнее в

созданном на его основе CESDIS (Center of Excellence in Space Data and Information Sciences). Всё начиналось сборкой в GSFC 16-процессорного кластера (на процессорах 486DX4/100MHz, 16MB памяти и 3 сетевых адаптера на каждом узле, 3 "параллельных" Ethernet-кабеля по 10Mbit). Этим проектом занимались Томас Стерлинг (Thomas Sterling) и Дон Бэкер (Don Becker). Этот кластер положил начало целому семейству кластеров, а его название стало для них нарицательным. В ходе выполнения этого проекта было также разработано специализированное программное обеспечение (в частности высокопроизводительные сетевые драйвера).

**Проект Avalon ([cnls.lanl.gov](http://cnls.lanl.gov)).** Avalon берёт своё начало в 1998 году в Лосаламосской национальной лаборатории для группы теоретической астрофизики. Этот проект возглавил Майкл Уоррен (Michael Warren). Avalon представляет из себя Linux-кластер на базе процессоров DEC Alpha/533MHz. Первоначально он состоял из 68 процессоров, затем был расширен до 140. В каждом узле установлено 256MB оперативной памяти, EIDE-жесткий диск на 3.2GB, сетевой адаптер от Kingston (общая стоимость узла - \$1700). Узлы соединены с помощью 4-х 36-портовых коммутаторов Fast Ethernet и расположенного "в центре" 12-портового коммутатора Gigabit Ethernet от 3Com. Общая стоимость Avalon - **\$313 тыс.**, а его производительность по LINPACK (**47.7 GFLOPS**) позволила ему занять **114 место** в 12-й редакции списка Top500 (рядом с 152-процессорной системой IBM SP2). 70-процессорная конфигурация Avalon по многим тестам показала такую же производительность, как 64-процессорная система SGI Origin2000/195MHz стоимость которой превышает \$1 млн.

В настоящее время Avalon активно используется в астрофизических, молекулярных и других научных вычислениях. На конференции SC'98 создатели Avalon представили доклад, озаглавленный "Avalon: An Alpha/Linux Cluster Achieves 10 Gflops for \$150k" и заслужили премию по показателю цена/производительность ("1998 Gordon Bell Price/Performance Prize").

Также внимания заслуживают следующие кластерные системы:

- **CLiC** (Chemnitzer Linux Cluster, [www.tu-chemnitz.de](http://www.tu-chemnitz.de)), созданный в Техническом университете города Кемнитц (Chemnitz), Германия. Использует операционную систему Linux и содержит 528 узлов;
- **Lots of Boxes on Shelves** (LoBoS, [www.lobos.nih.gov](http://www.lobos.nih.gov)), реализованный в Национальном Институте здоровья США в 1997 году. Представляет интерес

тем, что в качестве среды коммуникаций используется технология Gigabit Ethernet.

### ***Анализ текущего состояния кластерных технологий на текущий момент***

Как уже было отмечено, в настоящий момент происходит бурное развитие параллельных вычислительных систем и кластерных систем в частности. Как показывает следующая таблица, кластерные системы занимают не последнее место по производительности (как максимальной, так и пиковой).

Таблица 2

Количественное распределение различных параллельных систем в мире.

	Count	Share	Rmax [GF/s]	Rpeak [GF/s]	Processors
MPP	254	50.8 %	85994.98	124545	107536
Constellations	145	29%	24206.46	35697	27964
SMP	58	11.6 %	5944.20	8370	3648
Cluster	43	8.6 %	18831.87	29523	22526
Total	500	100%	134977.51	198135	161674

Одновременно с этим кластерные системы позволяют добиться приемлемой производительности при относительно небольших по сравнению с суперкомпьютерами затратах на их приобретение или построение. Рассмотрим в этом плане пример построения кластера с пиковой производительностью 10 GFLOPS (данные 1999года). Для достижения данной производительности на то время было бы достаточно иметь следующую конфигурацию кластера: 12 машин по 2 процессора Pentium II/350MHz на материнских платах Iwill, 64MB памяти и сетевой адаптер 100Mbit Ethernet от 3Com на каждой машине; машины соединим "звездой" через 12-портовый коммутатор BayStack. На центральную машину установим жесткий диск IDE объемом 10 GB, видеокарту и 17-дюймовый монитор . Суммарная стоимость оборудования такого кластера составит около **\$11200** (взяты цены московских компьютерных магазинов по состоянию на апрель 1999 г.). Как мы видим, затраты являются достаточно посильными.

В настоящее время во всём мире в связи с перспективностью данного направления предпринимаются целенаправленные усилия по развитию работ в данной области. Так, например, в США в 2000 году Корнельским университетом был основан Консорциум по кластерным технологиям (Advanced Cluster Computing Consortium -

АСЗ). В России также ведутся активно работы в этом направлении и создаются организации, подобные Лаборатории Параллельных Информационных Технологий МГУ.

К сожалению в Украине подобных организаций не создано и работы в этом направлении ведутся недостаточно активно. В данное время в Украине широко известен лишь кластер Киевского Национального Университета им. Тараса Шевченко, установленный и развиваемый при поддержке фирмы Intel. Хотелось бы отметить, что на фоне этого обнадеживающе выглядит ситуация на кафедре ЭВМ в ДонНТУ (Донецком Национальном Техническом Университете, [www.cs.dgtu.donetsk.ua](http://www.cs.dgtu.donetsk.ua)), где в настоящее время также ведутся разработки в области кластерных технологий.

### **Заключение**

Итак, подведём итог сказанному, перечислив преимущества и недостатки кластеров.

#### **Преимущества кластеров.**

1. Наличие общедоступного ПО.
2. Возможность использования существующей сетевой инфраструктуры.
3. Не требуется приобретать специализированное оборудование.
4. Возможность создания гетерогенных вычислительных систем.
5. Возможность создания систем с произвольным количеством узлов(от двух до нужного количества).
6. Возможность использования кластера несколькими пользователями одновременно, причём каждый пользователь резервирует лишь необходимые для его вычислений ресурсы.

#### **Недостатки кластеров.**

1. Скорость обмена между узлами зависит от используемого сетевого оборудования. А, следовательно, желательно использовать наиболее современное и дорогостоящее оборудование.

Как мы видим из перечисленного, кластерные технологии являются наиболее перспективным направлением для разработок и исследований в области

высокопроизводительных вычислительных систем. Они позволяют добиться приемлемых результатов при приемлемом уровне затрат, что является одним из основных аргументов в их пользу.

### ***Литература***

1. Аноприенко А.Я., Святный В.А. Высокопроизводительные информационно-моделирующие среды для исследования, разработки и сопровождения сложных динамических систем. //Наукові праці Донецького національного технічного університету. випуск 29. : - Донецьк: ДонНТУ, 2001. - с.346-367.
2. Бройнль Т. Паралельне програмування. - К.: Вища школа, 1999