ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩИЕ СРЕДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ, РАЗРАБОТКИ И СОПРОВОЖДЕНИЯ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аноприенко А.Я., Святный В.А.
Кафедра ЭВМ ДонГТУ
anoprien@cs.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Svjatnyj V., Anoprienko A. Highperformance simulation environments for research, development and support of compex dynamic systems. *The current state and evolution of components for design and development of highly effective simulation environments, including supercomputers and distributed systems, are analyzed.*

Введение

В 2001 году исполняется 10 лет с момента первой публикации авторов, посвященной разработке моделирующих сред с использованием параллельных ЭВМ [1]. Данную работу во многих отношениях можно считать этапной для научного направления «компьютерное моделирование» в ДонГТУ:

Во-первых, в ней впервые были изложены и обобщены результаты по практическому созданию завершенной моделирующей среды, ориентированной на использование распределенных и параллельных вычислительных средств как новой парадигмы в области вычислений, что в последующем стало одним из наиболее приоритетных направлений исследований и разработок в области компьютерного моделирования на факультете вычислительной техники и информатики ДонГТУ.

Во-вторых, данная работа явилась практически первой (в рамках данной научной школы) совместной публикацией с немецкими коллегами. При этом важно отметить, что описанные в ней результаты стали возможны лишь благодаря начавшемуся в конце 80-х годов интенсивному международному сотрудничеству кафедры ЭВМ ДонГТУ с рядом институтов Штуттгартского университета (Германия). В частности, в качестве прототипа для реализации описанной в работе [1] моделирующей среды была выбрана разработанная под руководством профессора М.Цайгца в Институте системной динамики и управляющей техники (ISR) Штутгартского университета блочно-ориентированная моделирующая система ISRSIM. Основная часть работы была выполнена в Институте параллельных и распределенных суперЭВМ (IPVR), в связи с чем авторы сочли необходимым выразить в статье свою признательность директору D^3VR профессору А.Ройтеру за предоставленное оборудование и оказанное содействие. В 90-х годах такого рода работы и публикации стали традиционными, о чем, в частности, свидетельствуют публикации [2-7] и материалы данного сборника.

В-третьих, в статье [11 был описан фактически первый опыт реинжиниринга достаточно сложной моделирующей системы, заключающийся в сохранении и существенном развитии ее функциональных возможностей при переносе в принципиально новую операционную среду. Этот опыт в дальнейшем оказался весьма

полезным при выполнении целого ряда последующих исследований и разработок (см., например, работы [9-12]).

В-четвертых, в работе [1] впервые была сделана попытка прогноза развития моделирующих сред в предстоящее десятилетие, которую сейчас, с высоты прошедшего десятилетия можно считать вполне успешной. В опубликованной ровно через 5 лет работе [4], посвященной анализу основных концепций и путей развития моделирующих сред, такого рода прогноз был представлен в более развернутой и конкретной форме. Основные гипотезы и положения статьи [4] также выдержали проверку временем.

В связи с этим авторы сочли возможным и целесообразным в данной публикации продолжить традицию и на основе детального анализа состояния компьютерных средств и технологий, влияющих на развитие моделирующих сред, не только подвести своего рода итог десятилетних работ в данном направлении, но и наметить основные пути развития исследований и разработок в следующем десятилетии. Это тем более актуально, что рубеж между этими временными промежутками является также и рубежом эпох - факт, всегда побуждающий к более широкому взгляду на текущее состояние дел и перспективы их развития.

Самым примечательным явлением в области компьютерных систем, существенно изменившим ситуацию за 5 лет, прошедших с момента написания статьи [4], явилось интенсивное развитие технологий Интернет, в связи с чем авторы в данной работе вместо понятия моделирующие среды сочли целесообразным использовать определение **информационно-моделирующие среды,** что предполагает тесную интеграцию модельного и информационного сопровождения исследований и разработок на базе современных и перспективных возможностей Интернет.

Обоснование темы и основные определения

В настоящее время есть все основания утверждать, что в новое столетие инженерный мир входит с практически сформировавшейся традицией обязательного модельного обеспечения всех сколь-нибудь сложных технических разработок и научных исследований. Причем, на современном этапе речь должна идти уже не просто о тех или иных отдельных компьютерных моделях, а о различных вариантах **интегрированных моделирующих сред.** При этом особый интерес в качестве наиболее ресурсоемких и актуальных объектов моделирования представляют **сложные динамические системы** (СДС), т.е. системы различной физической природы, с изменяющимися во времени параметрами, отличающиеся большим числом структурных элементов и/или связей между ними, нетривиальным математическим описанием и/или поведением и/или большим числом параметров. К СДС в таком понимании могут быть отнесены как различные естественные процессы окружающего мира, так и разнообразные технические системы: управляемые механизмы и машины, технологические установки, производства и процессы в них, транспортные объекты, энергетические установки и системы, гидравлические, пневматические, электрические, газораспределительные и вентиляционные сети и др.

Интегрированная информационно-моделирующая среда (ИМС) в контексте данной статьи может быть определена как комплекс аппаратных, программных и информационных средств, который обеспечивает дружественную к пользователю поддержку всех этапов разработки, отладки и исследования моделей динамических систем реальной сложности.

Основные источники информации

При написании статьи кроме собственных материалов авторов в виде архива публикаций, материалов конференций, семинаров и т.п. использовались также монографии [13-16]. При этом следует отметить, что абсолютное большинство монографий по данной тематике издается на английском языке, и в Украине такие издания весьма труднодоступны. На русском и украинском языках литературы по высокопроизводительным вычислениям издается чрезвычайно мало (что можно признать естественным, учитывая уровень распространения соответствующих технологий в СНГ). За последние 5 лет можно выделить только работы [16] и [17].

Однако, следует отметить, что развитие компьютерных технологий за предыдущее пятилетие позволяет отныне принципиально по новому подходить к проблеме источников. К рубежу десятилетий информационная насыщенность инфраструктуры Интернет достигла такого уровня, что можно говорить о качественном скачке в решении проблемы информационного обеспечения исследований и разработок. Суть этого скачка заключается в том, что Всемирная сеть отныне не только существенно обгоняет печатные источники по темпам роста и качеству (актуальности, полноте и т.п.) предоставляемой информации, но и предоставляет принципиально новые инструменты для ее распространения, поиска и анализа.

В частности, одним из основных источников при написании данной статьи стал сайт Лаборатории Параллельных Информационных Технологий Научно-исследовательского вычислительного центра (НИВЦ) МГУ (http://parallel.ru). Это на текущий момент лучший русскоязычный сайт, посвященный проблемам параллельных вычислений, информация на котором систематически пополняется и обновляется. Кроме этого, на сегодня имеется практически неограниченный доступ к электронным версиям периодических изданий по данной тематике и чрезвычайно большому числу аналогичных англоязычных и немецкоязычных сайтов.

Опыт создания и функционирования сайта parallel.ru убедительно показывает, что назрело время говорить именно об интегрированных информационно-моделирующих средах и ставить задачу создания в ДонГТУ **научно-методического информационно-моделирующего центра,** организующим ядром которого может и должен стать соответствующий информационный сайт (портал) в Интернет.

Методологические предпосылки

В работе [4] авторами в первой половине 96-го года была сформулирована концепция универсальных моделирующих сред, логическим продолжением которой является рассматриваемая в данной публикации концепция информационно-моделирующих сред. Следует отметить, что общее стремление к универсализации средств моделирования за последние 5 лет нашло наиболее яркое воплощение в следующих 2-х явлениях:

1. Постепенной конвергенции функциональных возможностей наиболее распространенных систем моделирования типа Matlab, MathCAD, Mathematica в процессе их эволюции.
2. Появлении универсального языка моделирования UML, версия 0,-9 которого была опубликована в июне 1996 года (официальная версия 1.0 появилась в январе 1997г.).

Язык UML явился ответом на «вавилонское столпотворение» языков моделирования и «войну методов» в начале 90-х годов и представляет собой по сути первый объектно-ориентированный общецелевой язык визуального моделирования для спецификации, визуализации, проектирования и документирования сложных систем самого различного целевого назначения, от традиционных динамических систем до программного обеспечения [18-20]. Разработка спецификаций языка выполнена консорциумом OMG (Object Management Group), образованного еще в 1989 году с целью разработки предложений по стандартизации объектных и компонентных технологий CORBA.

В основу построения языка положено несколько фундаментальных принципов организации моделей сложных систем, например, принцип многомодельности, согласно которому утверждается, что никакая сложная модель не может с достаточной степенью адекватности описывать различные аспекты сложной системы. Исходя из этого в UML реализуется концепция интегрированной модели сложной системы.

В связи с тем, что в обозримом будущем язык UML может стать своего международным «эсперанто», на котором смогут общаться математики, физики, программисты, экономисты и специалисты других областей, представляя свои знания в унифицированном виде, в программном инструментарии в ближайшие годы можно ожидать своего рода методологической революции, которая приведет к смене многих устоявшихся понятий и подходов. Это обусловило то, что в данной статье большее внимание уделяется более стабильно и предсказуемо развивающимся аппаратным средствам и лишь бегло затрагиваются вопросы текущего состояния и перспектив развития программных средств.

Однако в предстоящие годы безусловно следует уделить первостепенное внимание практическому освоению **технологий UML и CORBA** с целью ускоренной переориентации на их использование в учебном процессе, а также - в выполнении основных исследований и разработок.

Аппаратные средства: суперкомпьютеры

Неординарная ресурсоемкость задач моделирования сложных динамических систем является причиной того, что такие приложения традиционно занимают первые места в списке «больших вызовов», мотивирующих создание все более мощных суперЭВМ. Наиболее полную и актуальную информацию о современных суперкомпьютерах можно найти в регулярно обновляемом списке Top500 (www.top500.org), который содержит информацию о 500-х наиболее мощных суперкомпьютерах мира, расположенных по убыванию их производительности на тестах Linpack parallel. В числе лидеров Top500 по состоянию на конец 2000 года (таблица 1) находились системы, разработанные в рамках инициативы американского правительства ASCI. Воглавила список ASCI White фирмы IBM с производительностью почти 5 TFLOPS. Второй стоит система ASCI Red фирмы Intel, являвшаяся в 1999 году самой быстрой ЭВМ для численного моделирования. Заветную границу 1 TFLOPS перешагнули (или вплотную к ней приблизились) также суперкомпьютеры SP Power3 фирмы ШМ, SR8000 японской фирмы Hitachi и Cray T3E-1200 фирмы SGI, реализованной на более чем тысяче процессоров AIpha с тактовой частотой 600 МГц. Замыкали Top500 уже в 1999 году 40-процессорные системы Sun HPC 10000 с пиковой производительностью 20,5 GFLOPS.

Таблица 1

Первая десятка из списка 500 самых мощных компьютеров мира

№	Организация	Система	NProc	GFlops	Примечания
1	Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, USA	**ASCI White**, IBM SP Power3 375 MHz	8192	**4938**	2000, Энергетика, **110 млн. $**
2	Sandia National Labs, Albuquerque, USA	**ASCI Red, Intel** Pentium Pro 200 MHz	9632	**2379**	1999
3	Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, USA	**ASCI Blue Pacific,** IBM IBM SP 604e	5808	**2144**	1999, Энергетика, 94 млн. $
4	Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA	**ASCI Blue Mountain,** SGI	6144	**1608**	1998
5	Naval Oceanographic Office, Bay Saint Louis, USA	SP Power3, IBM 375 MHz	1336	**1417**	2000, Океанография
6	National Centers for Environmental Prediction, Camp Spring, USA	SP Power3, IBM 375 MHz	1104	**1179**	2000, Погода
7	Leibniz Rechenzentrum, Muenchen, **Germany**	SR8000-F1/112 Hitachi	112	**1035**	2000, Образование
8	UCSD/San Diego Supercomputer Center, San Diego, USA	SP Power3, IBM 375 MHz 8 way	1152	**929**	2000
9	High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba, **Japan**	SR8000-F1/100 Hitachi	100	**917**	2000
10	Government, USA	T3E1200, Cray Inc.	1084	**892**	1998 (засекречено)

NProc. - число процессоров;

GFlops - максимальная производительность по LINPACK.

Весьма показателен статистический анализ списка Top500 (таблицы 2-5). Из него, в частности, следует, что европейские страны, весьма активно используя суперЭВМ (в первой десятке наряду с прочими оказались Нидерланды, Швеция и Швейцария, индустриальный потенциал которых вполне соизмерим, например, с Донбассом), в то же время практически не участвуют в их создании (таблицы 2, 3), безоговорочно уступая пальму первенства США и Японии.

Таблица 2

Статистика Top500 по странам: первая десятка

№	Страна (население)	Число	Гфлопс (LINPACK)	Гфлопс (Пик)	Процессоров
1	США (268 млн.)	233	58380.08	80803	93345
2	Япония (125 млн.)	63	13372.62	13751	9970
3	Германия (82 мпн.)	55	8275.08	12571	12758
4	Великобритания (50 млн.)	34	5290.88	7078	6544
5	Франция (57 млн.)	29	2899.04	3871	3965
6	Нидерланды (16 млн.)	14	1160.82	1488	1984
7	Италия (57 млн.)	9	854.91	1178	1340
8	Канада (9 млн.)	8	915.50	1205	1092
9	Швеция (9 млн.)	8	943.12	1419	1778
10	Швейцария(7млн.)	8	545.17	793	984

Таблица 3

Статистика Top500 по семействам компьютеров

	Семейство	Число	Гфлопс (LINPACK)	Гфлопс (Пик)	Процессоров
1	IBM SP	214	44928	61752	58946
2	Sun UltraHPC	82	7348	9632	12110
3	SGI Origin	67	8514	11786	21132
4	ТЗЕЛ"	47	13895	19885	22102
5	NEC Vector	23	2932	3208	754
6	NOW	19	3377	5916	7086
7	Fujitsu VPP	17	4246	4646	1049
8	Hitachi SR8xxx	10	5285	6400	648
9	Compaq AlphaServer	9	2032	2801	2088

10	Hitachi SR2xxx	6	2712	1229	40fl0
11	HPSPP	5	449	1210	008
12	Intel Paragon	1	2379	3207	9Ѳ32
	Всего	500	98101	131672	140251

Таблица 4

Статистика Top500 по типам компьютеров

Тип	Число	Гфлопс (LINPACK)	Гфлопс (Пик)	Процессоров
MPP	343	77983.32	102417	104053
Constellations	112	12531.88	18122	26666
Cluster	28	5409.75	8717	9174
SMP	17	2176.20	2416	358
Всего	500	98101.15	131672	140251

Таблица 5

Статистика Top500 по областям использования: первая десятка

	Использование	Число	Гфлопс (LINPACK)	Гфлопс (Пик)	Процессоров
1	Многоцелевое *	264	50881.95	69416	80037
2	Телекоммуникации	44	4010.70	5750	7114
3	Финансы	41	5158.64	7647	8544
4	Погода	22	7992.45	10410	7140
5	Автомобилестроении	20	1529.00	2256	2274
6	Базы данных	20	1624.26	2442	3372
7	WWW	15	1613.42	2345	2814
8	Авиация и космос	14	2905.13	3947	3651
9	Геофизика	14	1419.56	2013	1486
10	Химия	8	1138.40	1893	2260

* - Многоцелевое использовании предполагает, как правило, коллективный доступ к ресурсам и реализацию множества проектов рнзпичного назначения.

Суперкомпьютеры в СНГ

Суперкомпьютеры, установленные в России, единственной из стран СНГ, обладающей системами такого класса, в списке Top500 по-прежнему не представлены. Более того, самые мощные из имеющихся в России суперкомпьютеров многократно пока отстают от систем, замыкающих список Top500.

Среди организаций СНГ, располагающих наиболее мощными суперкомпьютерными ресурсами, можно выделить следующие (таблица 6):

- МСЦ - межведомственный суперкомпьютерный центр Миннауки РФ и РАН (Москва);
- ИВВиБД - Институт Высокопроизводительных Вычислений и Баз Данных Миннауки РФ (Санкт-Петебург);
- ШТМ - Институт Прикладной Математики РАН (Москва);
- ИММ - Институт Математического Моделирования РАН (Москва);
- ИПХФ - Институт Прикладной Химии и Физики РАН (Москва);
- ОИЯИ - Объединенный Институт Ядерных Исследований (Дубна);
- ИФВЭ - Институт Физики Высоких Энергий Минатома РФ (Протвино).

Таблица 6

Суперкомпьютерные ресурсы России: первая десятка

№	Организация	Система	П	Конфигурация узла	RAM, MB	GFLOPS
Н	МСЦ	HP 9000 V-class	16	'PA-8200/240MHz	16384	15
I?	ИВВиБД	Parsytec CCe	20	PowerPC 604e/300MHz	704	12
3	ИПМ	HP 9000 S-class	16	PA-8000/180MHz	4096	11
I4	ИММ	Parsytec CC	32	PowerPC 604/200MHz	2500	6,4
I5	ИПХФ	SNI RM600 E60	16	MIPS R10000	4000	6,4
I6	ОИЯИ	HP 9000 S-class	8	PA-8000/180MHz	1024	5,8
\7	ИФВЭ	DEC AlphaServer 8200	6	Alpha/440MHz MHz	1024	5,3
8	ИФВЭ	DEC AlphaServer 8200	4	Alpha EV5/625 MHz	1024	5,0
9	ИВВиБД	Parsytcc CC/PP	8	|PowerPC 604e/300MHz	1000	4,8
10	РОСГИДРОМЕТ	iiCray Y-MP/8E	8	CRAY	2048	2 7

Аппаратные средства: кластерные системы

Однако внастоящее время обладание суперЭВМ уже не является практически безальтернативным вариантом создания высокопроизводительных моделирующих сред, т.к. развитие сетевых технологий позволяет уже сегодня с меньшими на порядок затратами концентрировать вычислительные мощности в виде **кластеров.**

Если говорить кратко, то вычислительный кластер — это совокупность компьютеров, объединенных в рамках некоторой сети для решения одной

задачи. В качестве вычислительных узлов обычно используются доступные на рынке однопроцессорные компьютеры, двух- или четырехпроцессорные SMP-серверы. Каждый узел работает под управлением своей копии операционной системы, в качестве которой чаще всего используются стандартные операционные системы: Linux, NT, Solaris и т.п. Состав и мощность узлов может меняться даже в рамках одного кластера, давая возможность создавать неоднородные системы. Выбор конкретной коммуникационной среды определяется многими факторами: особенностями класса решаемых задач, доступным финансированием, необходимостью последующего расширения кластера и т.п. Возможно включение в конфигурацию специализированных компьютеров, например, файл-сервера, и, как правило, предоставлена возможность удаленного доступа на кластер через Internet. Простор для творчества при проектировании кластеров огромен: кластером можно считать как пару ПК, связанных локальной 10-мегабитной сетью Ethernet, так и вычислительную систему, создаваемую в рамках проекта Cplant в Национальной лаборатории Sandia: 1400 рабочих станций на базе процессоров Alpha, связанных высокоскоростной сетью Myrinet.

Начальный период развиггия кластерных технологий. В отличие от MPP и SMP, идея кластеризации - отнюдь не нова. Еще в начале 80-х компания Digital Equipment представила VAXCluster с операционной системой OpenVMS. Кластеризации Unix-машин началась несколько позже, когда компании начали использовать Unix для критически важных приложений, что поставило на повестку дня необходимость высокой готовности, а следовательно, кластеризации. Интенсивное развитие кластерных технологий началось в 90-х годах. Одной из первых фирма DEC в 1993 году начала разработку коммерческих продуктов в области кластеризации, выпустив основанный на Unix пакет DECAdvantage. В том же году IBM для собственной разновидности Unix - ALX разработала систему High-Availability Cluster Multi-Processing (HACMP). В последующем системы для организации кластеров из Unix-машин начали предлагать около десятка компаний, и в их числе Data General, Hewlett-Packard, Pyramid Technology, Sequent Computer Systems, Sun Microsystems.

В числе наиболее интересных проектов кластеризации, опыт реализации которых может быть весьма полезен при создании информационно-моделирующих сред, необходимо отметить следующие:

Проект BeowuLf (www,beowulf.org), название которого превратилось в имя нарицательное для всех последующих кластерных систем такого рода (Beowulf-кластеры), был реализован летом 1994 года в научно-космическом центре NASA - Goddard Space Flight Center (GSFQ, а точнее в созданном на его основе центре CESDK (Center of Excellence in Space Data and Mormation Sciences). Первоначальный кластер, который и был назван "Beowulf", создавался как вычислительный ресурс проекта Earth and Space Sciences Project (ESS) и состоял из 16-ти узлов на процессорах 486DX4/100MHz с 16MB памяти и 3-мя сетевыми адаптерами на каждом узле, обеспечивающими связь через 3 "параллельных" Ethernet-кабеля по 10Mbit. В последующие годы в GSFC и другихлодразделениях NASA были собраны аналогичные, но существенно более мощные кластеры. Например, кластер theHfVE (Highly-parallel Integrated Virtual Environment),

содержащий 64 узла по 2 процессора Pentium Pro/200MHz и 4GB памяти в каждом, 5 коммутаторов Fast Ethernet. Общая стоимость этого кластера составила примерно $210 тыс. В рамках проекта Beowulf был разработан ряд высокопроизводительных и специализированных сетевых драйверов (в частности, драйвер для использования нескольких Ethernet-каналов одновременно).

Проект Berkeley NOW (Network Of Workstations) - технология, очень похожая на Beowulf, разработана в университете шт. Калифорния в Беркли. В 1997 году на кластере из 100 рабочих станций на базе UlbraSPARC была достигнута производительность в lOGFLOPS по LINPACK, что позволило ему войти в 200 самых мощных компьютеров мира. Проект официально завершен в мае 1998 года. Через Интернет доступно разработанное в рамках проекта ПО, в том числе ОС GLUnix (специализированная версия UND(), система передачи сообщений Active Messages, реализация MPI и др.

Проект Avalon: суперкомпьютер на базе Linux. В 1998 году в JТос-аламосской национальной лаборатории для группы теоретической астрофизики был сформирован «суперкомпьютер» Avalon, который представлял из себя Linux-кластер на базе процессоров DEC Alpha/533MHz и первоначально состоял из 68 процессоров (затем был расширен до 140). В каждом узле имелось 256MB оперативной памяти, EIDE-жесткий диск на 3.2GB и сетевой адаптер (общая стоимость узла - $1700). Узлы соединялись с помощью 4-х 36-портовых коммутаторов Fast Ethernet и расположенного "в центре" 12-портового коммутатора Gigabit Ethernet от 3Com. Общая стоимость проекта Avalon составила $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 Qrigin2000/195MHz 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/производительностъ ("1998 Gordon Bell Price/Performance Prize").

Проект Lots of Boxes on SheLfes (LoBoS, ***http:/fymmv.lobos.nih.gov)*** реализован в Национальном Институте здоровья США в апреле 1997 года и интересен использованием в качестве коммуникационной среды технологии Gigabit Ethernet. Сначала кластер состоял из 47 узлов с двумя процессорами Pentium Pro/200 МГц, 128 Мбайт оперативной памяти и диском на 1,2 Гбайт на кажцом узле. В 1998 году был реализован следующий этап проекта - LoBoS2, в ходе которого узлы были преобразованы в настольные компьютеры с сохранением объединения в кластер. Сейчас LoBoS2 состоит из 100 вычислительных узлов, содержащих по два процессора Pentium II/450 МГц, 256 Мбайт оперативной и 9 Гбайт дисковой памяти. Дополнительно к кластеру

подключены 4 управляющих компьютера с общим RAID-массивом емкостью 1,2 Тбайт.

Проект Chiba City (http://parallel.ru/news/anI_chibacity.html), реализованный в Аргоннской Национальной лаборатории, отличается весьма интересной идеей разбиения большого кластера на ряд специализированных разделов. **Главный раздел** содержит 256 вычислительных узлов, на каждом из которых установлено два процессора Pentium III/500 МГц 512 Мбайт оперативной памяти и локальный диск емкостью 9 Гбайт. Кроме вычислительного раздела в систему входят **раздел визуализации** (32 персональных компьютера IBM hitellistation с графическими платами Matrox Millenium G400, 512 Мбайт оперативной памяти и дисками 300 Гбайт), **раздел хранения данных** (8 серверов IBM Netfinity 7000 с процессорами Xeon/500 МГц и дисками по 300 Гбайт) и **управляющий раздел** (12 компьютеров IBM Netfinity 500). Все они объединены сетью Myrinet, которая используется для поддержки параллельных приложений, а также сетями Gigabit Ethernet и Fast Ethernet для управляющих и служебных целей. Все разделы делятся на «города» (town) по 32 компьютера. Каждый из них имеет своего «мэра», который локально обслуживает свой «город», снижая нагрузку на служебную сеть и обеспечивая быстрый доступ к локальным ресурсам.

Проект Condor (High Throughput Computing) разрабатывается в университете шт. Висконсин (Madison) и отличается тем, что реализует довольно перспективную идею распределения независимых подзадачи по существующей в организации сети рабочих станций, заставляя компьютеры работать в свободное время (то есть в то время, когда они простаивали бы без своих пользователей). Программное обеспечение системы Condor доступно бесплатно. В настоящее время поддерживаются платформы SGI, Solaris, Linux, HP-UX, и Digital Unix, однако планируется также поддержка Windows **NT.**

Анализ существующих кластерных систем (таблицы 7, 8) показывает, что, во-первых, для их создания вполне могут использоваться исключительно общедоступные и достаточно экономичные компоненты. Фактически используются только 2 аппаратных платформы (Alpha и Pentium) и 2 программных (MS Windows NT/2000 и ипіхЛлпих). Во-вторых, разрыв в производительности суперЭВМ и кластерных систем стремительно сокращается. В-третьих, разница в производительности наиболее мощных кластерных СНГ и ведущих компьютерных стран мира относительно невелика и вполне преодолима.

Таблица 7

Первая десятка самых мощных кластерных систем мира

№	Организация	NPr	NU	Конфигурация узла	Сеть	ОС	Примечания
1	Sandia «Cplant»	400	400	Alpha/500MHz, 192 MB RAM$_1$ без диска	Myrinet (по 16 узлов)	Linux	LINPACK: 152 GFLOPS
2	LANL	256	128	Aloha	Qnet	Tru64	LINPACK:

	«Pathforward»			EV6/500MHz, 1GB RAM		UNIX	150 GFLOPS
3	CTC (Cornell Uni) «AC3 Velocity»	256	64	4xPentiumIII Xeon 500MHz, RAM 4GB, HDD 54GB.	cLAN	Windows NT/2000	
4	Paderborn üni. «PSC»	192	96	2xPentium II 450MHz, RAM 512 MB, HDD 4 GB	SCI (Dolphin)	Solaris 2.6	
5	LANL «Avalon»	140	140	Alpha 21164/533MHz, RAM 256 MB, HDD 3.2 GB	Fast Ethernet + Giqabit Ethernet	Linux	LINPACK: 47.7 GFLOPS (114-й В Top500) $313000
6	OSC	128	32	4xPentium III Xeon 500 MHz	N/A	Linux	
7	NCSA «NT Supercluster»	128	64	2xPentium III 450MHz	Mvrinet	Windows NT	На базе HPVM
8	AHPCC «Roadrunner»	128	64	2xPentium II 450MHz, RAM 512 MB, HDD 6.4 GB	Mvrinet	Linux	
9	Indiana Uni.	64	32	2xPentium II 400 MHz	Fast Ethernet и Gioabit Ethernet	Windows NT + Linux	
10	Paderborn Uni. «PSC1»	64	32	2xPentium II 300 MHz	SCI (Dolphin)	Linux	

Таблица 8

Кластерные ресурсы России: первая десятка

№	Организация	NPr	NU	Конфигурация узла	Сеть	ОС	Примечания
1	MCLt (Межведомственный суперкомпьютерный центр), Москва. Система МВС-1000М/384.	96	48	2xAlpha 21264A 667 МГц, RAM 1 Гб, HDD 15 Гбайт. MyriNet-адаптер	Mvrinet + Fast Ethernet	RedHat Linux 6.2	LINPACK: 20-25 GFLOPS
2	НИВЦ МГУ. Москва	40	20	2xPentium III 850 МГц, RAM 1 Гбайт, 2xHDD 15 Гбайт	Fast Ethernet	Red Hat Linux 6.1	LINPACK: 13 GFLOPS

3	НИВЦ МГУ. Москва	36	18	2x Pentium III 500 МГц RAM 1 Гбайт, HDD 3.2 Гбайт	SCI + Fast Ethernet	Red Hat Linux 6.1	LINPACK: 10 GFLOPS $40000
4	ИПС РАН. Переславль	32	16	2xPentium III 600 МГц, 512 Мбайт, HDD 10 Гбайт	SCI + Fast Ethernet	Red Hat Linux 6.2	Проект «СКИФ»
5	OBLI (Саров), SOCC-1	32	16	2xPentium II 450 МГц, RAM 512 Мбайт, HDD 9 Гбайт	GigaNet + Fast Ethernet	Windows NT 4.0 Workstation	6 коммутаторов GigaNET cLAN5000 Cluster Switch
6	МФТИ. г. Долгопрудный	24	12	2xPentium III 600 МГц, RAM 256 Мбайт, HDD 10 Гбайт	SCI + Fast Ethernet;	ASP Linux 224	Стоимость $34000
7	ГНЦ РФ - НИИАР (НИИ атомных реакторов), г. Димитровград Ульяновской обл.	24	12	2xPentium III 600 МГц, RAM 256 Мбайт HDD 20 Гбайт	Fast Ethernet	VALinux 7.01	LINPACK 5 GFLOPS
8	ИПХФ РАН. Черноголовка	16	16	Pentium III 667 МГц, RAM 256 MB, HDD 10 GB	Fast Ethernet	Mandrake Linux 7.0 RE	LINPACK: 4.85 GFLOPS (одного узла - 400 MFLOPS)
9	СПбГУ, Санкт-Петербург	24	12	2xPentium III 600МГц, RAM 512 MB, HDD 2x4.5 GB Ultra-Wide SCSI	Fast Ethernet	RedHat Linux 6.2	LINPACK: 4.3 GFLOPS
10	СПбГТУ, Санкт-Петербург	16	8	2xPentium III 550Mhz, RAM 256 Mb, HDD 72 Gb, RAID	Mvrinet + Fast Ethernet	Red Hat Linux 6.2	3.1 GFLOPS

Таблица 9

Кластерные ресурсы Украины: существующие и планируемые

№	Организация	NPr	NU	Конфигурация узла	Сеть	ОС	Примечания
1	Киевский Национальный	4	4	Pentium II 450 МГц,	Fast Ethernet	FreeBSD	1999 г. 1 GFLOPS

	Университет им. Тараса Шевченко			RAM128 Мбайт			
2	Киевский Национальный Университет им. Тараса Шевченко	8	8	Pentium III-933МГц, RAM 512 Мбайт, HDD 36 Гбайт	Gigabit Ethernet	FreeBSD	2001 г. 3-4 GFLOPS
	ДонГТУ Проект 1	8	8	Pentium III 1000 МГц, RAM256 Мбайт HDD 20 Гбайт	Fast Ethernet	ASP Linux	2001 г. 3^ GFLOPS 10-12 тыс. $
	ДонГТУ Проект 2	16	8	2xPentium III 1000 МГц, RAM512 Мбайт HDD 40 Гбайт	Giqabit Ethernet	ASP Linux	2002 г. 7-8 GFLOPS 15-20 тыс. $
	ДонГТУ Проект 3	32	8	4xPentium IV 2000 МГц, RAM1024 Мбайта I-IDD 100 Гбайт	Giqabit Ethernet	ASP Linux	2003 г. 25-30 GFLOPS 25-30 тыс. $

В целом может быть сделан следующий вывод:

Ввиду чрезвычайной дороговизны коммерческих суперкомпьютеров (SMP, MPP и параллельно-векторных в ценовом диапазоне от 100 тыс. до 100 млн. $) наиболее целесообразным и перспективным способом концентрации необходимых ресурсов для организации высокопроизводительных информационно-моделирующих сред следует признать создание параллельных и/или распределенных вычислительных систем (кластеров) из общедоступных компьютеров на базе платформы Intel и недорогих Ethernet-сетей. При этом в качестве операционной среды кластерных систем наиболее рациональным вариантом является использование ОС Linux - бесплатно распространяемой версии UND(. При этом могут использоваться бесплатно распространяемых коммуникационные библиотеки PVM или MPI. На многих классах задач (при достаточном числе узлов) такие системы способны обеспечить в ценовом диапазоне от 10 до 100 тыс. $ производительность, сравнимую с суперкомпьютерной.

Таблица 10

Сравнений технологий SMP, кластеризации и MPP

	SMP	iКпастеризация	iMPP
Число узлов (типичное)	Д0 16 процессоров	;До 16 узлов (возможна !реализация SMP в !каждом узле)	!До сотен узлов
Системное администрирование	Одна система	iМультисистемность !(некоторый !инструментарий)	IМультисистемность С !инструментарием
Готовность	Единственная точка сбоя	!Нет единственной точки !сбоя	iНесколько точек сбоя

Возможности роста	Модернизация	!Постепенное добавление |к существующим !системам	Модернизация
Поддержка приложений и подсистем	Практически все	!Необходимы распределенные или !распараллеленные версии	Необходимы распределенные или распараллеленные версии

Учитывая все вышесказанное, следует признать, что кластерные системы во всех их проявлениях являются наиболее перспективным вариантом развития высокопроизодительных вычислений. В связи с чем в ведущих странах мира предпринимаются специальные усилия по развитию работ в данном направлении.

В США, например, летом 2000 года Корнелльским университетом был основан Консорциум по кластерным технологиям (Advanced Cluster Computing Consortium - AC3), основная цель которого - координация работ в области кластерных технологий и помощь в осуществлении разработок в данной области. Ведущими компаниями, обеспечивающими инфраструктуру консорциума, стали Dell, Intel и Microsoft. Среди других членов можно назвать Аргоннскую национальную лабораторию, Нью-Йоркский, Корнелльский и Колумбийский университеты, компании Compaq, Giganet, IBM и другие.

В России благодаря Федеральной целевой программе «Интеграция» в ближайшее время ожидается существенное увеличение числа высокопроизводительных кластеров в российских образовательных и научно-исследовательских организациях, т.к. инициаторы программы справедливо считают, что использование высокопроизводительных вычислительных ресурсов жизненно необходимо для получения качественно новых результатов и поддержания выполняемых фундаментальных научных исследований на мировом уровне.

В Украине пока достаточно широко известен только кластер Киевского Национального Университета им. Тараса Шевченко, установленный и развиваемый при участии корпорации Интел в рамках программы по поддержке высших учебных заведений. Каких-либо достаточно авторитетных организационных структур или исследовательско-информационных центров, подобных Лаборатории Параллельных Информационных Технологий МГУ, в Украине пока нет. В связи с этим актуальной представляется задача организации **в ДонГТУ** такого центра, ориентированного на исследования и разработки в области высокопроизводительных информационно-моделирующих сред. Ориентация на целенаправленное развитие кластерных технологий позволила бы уже через год-два выйти на вычислительные мощности порядка **10 GFLOPS** (таблица 9), к 2005 году - порядка **100 GFLOPS,** а к 2010 году иметь минимум **1-10 TFLOPS!**

Анализ и прогноз производительности различных классов вычислительных систем

Реальная динамика роста производительности вычислительных систем за прошедшее 5-летие заметно превзошла достаточно оптимистичные прогнозы, сделанные в работе [4]. Произошло это в основном за счет

ускоренного развития конвеерно-векторных и параллельных архитектур уже на уровне внутренней архитектуры современных микропроцессоров. В связи с этим есть все основания экстраполировать ранее сделанные прогнозы еще на 5 лет, приняв во внимание достаточно стабильную динамику роста параметров современных микропроцессоров (таблица 10), а также скорректировав эти прогнозы в сторону более высоких оценок ожидаемой производительности (таблицы 11-13). Кроме этого целесообразно также привести отдельную таблицу для сосредоточенных кластерных систем, ускоренное развитие которых вполне реально может привести к достижению ими примерно к 2010 году предельного уровня производительности, соизмеримого с суперЭВМ (таблица 14).

Таблица 11

Эволюция производительности рекордных вычислительных систем

Год	Производительность	Типичная система	Описание
1955	0,01 MFLOPS	IBM-704, БЭСМ	ЭВМ с аппаратной реализацией ПЗ
1965	1 MFLOPS	CDC-6600	Многопроцессорная ЭВМ
1975	100 MFLOPS	Cray-1	Конвеерно-векторная суперЭВМ
1985	10 GFLOPS	ETA-10	Многопроцессорная суперЭВМ
1995	1000 GFLOPS	Paragon	Массивно-параллельная MIMD-система
2000	10 TFLOPS	Проект ASCI	Массивно-параллельная MIMD-система
2005	100 TFLOPS	Проект ASCI	Массивно-параллельная MIMD-система
2010	1000 TFLOPS	Проект ASCI	Массивно-параллельная MIMP-система

Таблица 12

Эволюция обобщенных характеристик микропроцессоров семейства Интел

Год	Тип	Количество вентилей	Частота (усредненная)	Разрядность
1971	4004	1 тыс.	1 МГц	4
1974	8080	3 тыс.	2 МГц	8
1977	8085	10 тыс.	4 МГц	8
1980	8086	30 тыс.	8 МГц	16
1983	80286	100 тыс.	16 МГц	16
1986	80386	300 тыс.	32 МГц	32
1989	80486	1 млн.	64 МГц	32
1992	80586 - Pentium	3 млн.	128 МГц	32
1995	80686 - Pentium II	10 млн.	256 МГц	32
1998	80786 - Pentium III	30 млн.	512 МГц	32
2001	80886 - Pentium IV	100 млн.	1 ГГц	32
2004	80986 - "Titanium II"	1 млрд.	2 ГГц	64
2007	"Titanium III"	3 млрд.	4 ГГц	64
201JL	"Titanium IV"	10 млрд.	8 ГГц	64

Таблица 13

Эволюция производительности массовых вычислительных систем

Год	Производительность	Типичная система	Описание / Объем инсталляции
1985	0,01 MFLOPS	IBM PC XT / AT	16-разр. ПЭВМ /10 млн.
1995	1 MFLOPS	PC 386 / 486	32-разр. ПЭВМ /100 млн.
2000	0,1 GFLOPS	Pentium II	32-разр. ПЭВМ / 0,5 млрд.
2005	1-10 GFLOPS	Titanium II	64-разр. ПЭВМ /1 млрд.
2010	10-100 GFLOPS	Titanium III	64-разр. ПЭВМ / 2 млрд.

Таблица 14

Эволюция производительности кластерных вычислительных систем

Год	Производительность	Типичная система	Описание / Объем инсталляции
2000	10-100 GFLOPS	узлы Pentium II / III	10-100 ПЭВМ или SMP 2-4
2005	1-10 TFLOPS	узлы Titanium II	10-100 ПЭВМ или SMP 4-16
2010	100-1000 TFLOPS	узлы Titanium III / IV	10-100 ПЭВМ или SMP 8-32

Следует отметить, что в последующем десятилетии следует также ожидать ускоренного развития не только сосредоточенных, но и **распределенных кластерных систем,** развитие которых будет основано на существенном увеличении пропускной способности базовой инфраструктуры Интернет. Так как в состав распределенных кластерных систем смогут быть включены не только отдельные ЭВМ и/или сосредоточенные кластеры, НО и суперЭВМ с массовым параллелелизмом, то можно прогнозировать появление суперкластеров (или **мегакласгеров),** суммарная производительность которых сможет существенно превзойти показатели для отдельных суперЭВМ уже примерно к 2010 году. Как частный случай реализации информационно-моделирующей среды на базе мегакластера можно рассматривать концепцию **массивно-параллельной моделирующей среды** [2, 7, 8], развиваемую в ДонГТУ начиная с середины 90-х годов в рамках научного сотрудничества со Штуттгартским университетом.

Основные решения и технологии

1. Узлы кластера. Наиболее целесообразным выбором для построения узлов кластера в каждый текущий момент являются наиболее мощные массовые системы из средней части ценового диапазона на базе процессоров bitel (в 2001 году это примерно Pentium III 1000 МГц). При этом могут использоваться или однопроцессорные ПК, или SMP-сервера с небольшим числом процессоров (2-4). В настоящее время оптимальным считается построение кластеров на базе двухпроцессорных систем (главным образом благодаря доступности относительно недорогих материнские платы для 2-х процессоров Pentium III), несмотря на то, что в этом случае настройка кластера будет несколько сложнее.

Объем оперативной памяти на каждом узле должен составлять 128-256MB (для двухпроцессорных систем 256-512MB).

Одну из машин, как правило выделяют в качестве центральной (головной) куда следует установить достаточно большой жесткий диск и существенно больше оперативной памяти, чем на остальные (рабочие) узлы. Необходимо также обеспечить защищенную связь этой машины с внешним миром с целью наращивания возможностей кластера за счета внешних ресурсов и расширения доступа к нему.

Если эти узлы не планируется одновременно использовать в качестве пользовательских рабочих мест, то нет необходимости устанавливать на них жесткие диски, видеокарты и мониторы. При этом возможна установка узлов в стойки (rackmountmg), что позволит уменьшить место, занимаемое ими, но такой вариант будет стоить несколько дороже.

В условиях университета наиболее целесообразной является организация кластеров на базе уже существующих сетей рабочих станций. В этом случае днем рабочие станции могут использоваться как отдельные рабочие места пользователей, а в качестве узлов кластера служить вечером, ночью и в выходные дни. Системы такого типа иногда называют COW (Cluster of Workstations).

Количество узлов выбирается исходя из необходимых вычислительных ресурсов и доступных финансовых средств. При этом приходится учитывать, что для большого числа узлов придется также устанавливать более сложное и дорогое сетевое оборудование. Жесткая ограниченность финансовых ресурсов и продолжающееся действие закона Мура (практически линейное улучшение показателей компьютерных систем в среднем в 2 раза каждые 18 месяцев) целесообразна реализации **стратегии эволюционирующих кластеров,** суть которой заключается в постепенном помодульном наращивании мощности кластера каждые один-два года на фоне поэтапного вывода из состава кластера компьютеров, возраст которых превышает 3-5 лет.

2. Сеть. В простейшем случае для получения достаточно хорошей производительности межпроцессорных обменов может использоваться полнодуплексный Fast Ethernet (100Mbit/sec). При этом для уменьшения числа коллизий м.б. установлено несколько параллельных сегментов Ethernet или реализовано соединение узлов кластера через коммутатор (switch).

Более дорогостоящими, но существенно более производительными вариантами являются коммутаторы типа Myrinet (1.28Gbit/sec, полный дуплекс) и технология Scalable Coherent Interface (SCI) [16]. Максимальная скорость передачи для технологий Fast Ethernet и SCI составляет 10 Мбайт/с и 80 Мбайт/с соответственно.

В ближайшее время ожидается также широкое распространение относительно экономичной технологии Gigabit Ethernet. Компания 3Com, например, уже в 2000 году приступила к массовому выпуску сетевых адаптеров, поддерживающих технологию Gigabit Ethernet. Адаптер 3Com Etherlink Server 10/100/1000 (3C995-T) предлагается по ценам порядка $400, что означает снижение стоимости

гигабитных соединений почти в 2 раза. При этом построить гигабитную ЛВС при помощи новых адаптеров можно, не перекладывая кабель и вообще не меняя структуру сети.

Однако при разработке кластеров необходимо иметь ввиду, что скорость передачи данных по сети, например, в рамках технологий Fast Ethernet и SCI существенно зависит от длины сообщения. Для Fast Ethernet характерна большая величина латентности (начальной задержки при посылке сообщений), составляющей примерно 160-180 мкс, в то время как для SCI это значение не превышает 5-6 мкс, что особенно важно при передаче большого числа коротких сообщений.

3. Операционная система. Хотя простейшим вариантом программной организации кластера является использование программного обеспечения фирмы Microsoft, в силу целого ряда обстоятельств наиболее целесообразным вариантом следует признать ориентацию на бесплатно распространяемую ОС Linux (в ближайшие годы с усовершенствованным ядром версий от 2.2.* до 2.4.*). Оптимальным представляется использование русифицированного дистрибутива ASP Linux. реализованного на базе RedHat Linux версий 6.2 и выше.

4. Компиляторы. Бесшмтные компиляторы проекта GNU - GCC/G77, распространяемые вместе с Linux, к сожалению, не обеспечивают приемлемого уровня оптимизации программ. Поэтому имеет смысл использовать коммерческие компиляторы Fortran/C/C++, например, входящие в пакет PGI Workstation 3.0 компании Portland Group (PGQ. Эти компиляторы адаптированы к платформе Intel и обеспечивают очень высокий уровень оптимизации для процессоров Pentium (именно они используются на суперкомпьютере ASCI Red), они также поддерживают популярный интерфейс OpenMP для распара.лчеливания программ в модели общей памяти на SMP-компьютерах.

В ближайшей перспективе в условиях развития распределенных вычислений существенно повысится роль таких относительно новых сетевых программных технологий как Java и *C#*. В сочетании с развитием объектно-ориентированных архитектур сетевого взаимодействия (CORBA и аналогичные) эти технологии имеют все шансы стать в будущем основой построения высокопроизводительных распределенных моделирующих сред.

5. Коммуникационные библиотеки. Наиболее распространенным на текущий момент интерфейсом параллельного программирования в модели передачи сообщений является MPI. Рекомендуемая бесплатная реализация MPI - пакет MPICH, разработанный в Аргоннской Национальной Лаборатории. Ддя кластеров на базе коммутатора Myrinet разработана система HPVM, куда также входит реализация MPI.

Для эффективной организации параллелизма внутри одной SMP-системы возможны два варианта:

- Для каждого процессора в SMP-машине порождается отдельный MPI-процесс. MPI-процессы внутри этой системы обмениваются

сообщениями через разделяемую память (необходимо настроить MPICH соответствующим образом).

- На каждой машине запускается только один MPI-процесс. Внутри каждого MPI-процесса производится распараллеливание в модели "общей памяти", например с помощью директив OpenMP.

Однако следует помнить, что MPI, который является относительно низкоуровневым средством программирования, целесообразно использовать преимущественно для разработки соответствующего коммуникационного инструментария или коммуникационных библиотек, но не для конечных приложений.

6. **Выбор задач** для реализации на высокопроизводительных моделирующих средах должен осуществляться исходя из возможности их модульной поэтапной реализации с тем, чтобы достаточно быстро можно было накапливать фонд завершенных программных систем и модулей в самых различных областях применения для их последующего учебного и научного использования.

7. **Демонстрация производительной мощности** кластеров и компьютеров с параллельной архитектурой должна быть по-возможности максимально наглядной и впечатляющей. Желательно (и вполне возможно), чтобы демонстрация вызывала помимо профессионального интереса и чисто познавательное любопытство, то есть была сделана достаточно продуманно и эффектно. Кроме того, целенаправленная реализация при этом принципов когнитивного моделирования [23] может существенно повысить эффективность проведения исследовательских работ и учебных занятий. В связи с этим особое внимание должно уделяться не только тщательному выбору задач, но и детальной проработке средств визуализации. Тем более, что визуализация - это одна из основных областей применения высопроизводительных вычислительных систем.

Заключение

Таким образом, наиболее перспективным вариантом развития моделирующих сред на ближайшее десятилетие представляется разработка и реализация сосредоточенных и распределенных развивающихся кластерных систем и приложений. Накопление такого фонда моделей может и должно привести в последующем десятилетии к существенному синергетическому эффекту в области инженерного образования и моделирования. При этом следует иметь ввиду, что задача ускоренного развития кластерных технологий является актуальной не только для ДонГТУ [24], но и для развития международного научного сотрудничества в регионе в целом, предпосылки для чего уже вполне созрели, с учетом чего в начале 2001 года ДонГТУ и ДонНУ совместно с другими партнерами уже приступили к созданию региональной высокоскоростной научно-образовательной сети [25].

Литература

1. Святный В.А., Цайтц М., Аноприенко А.Я. Реализация системы моделирования динамических процессов на параллельной ЭВМ в среде сетевого графического интерфейса // Вопросы радиоэлектроники, серия "ЭВТ", вып. 2. - 1991. - С. 85 - 94.
2. Anoprienko A., Svjatnyi V., Bräunl T., Reuter A., Zeitz M. Massiv parallele Simulationsumgebung fur dynamische Systeme mit konzentrierten und verteilten Parametern // 9. Simposium in Stuttgart "Simulationstechnik", Oktober 1994. Vieweg. - 1994. - S. 183-188.

3. Anoprienko A., Feldmann L., Lapko V., Svjatnyj V., Braeunl T., Reuter A., Zeitz M. Massive parallel models of net dynamic objects. Proceedings of the 1995 EUROSBVl Conference, EUROSM-95, Vienna, Austria, 11-15 September 1995, ELSEVffiR. - 1995. -P. 237 -242.
4. Аноприенко А Я, Святный В.А. Универсальные моделирующие среды // Сборник трудов факультета вычислительной техники и информатики. Вып.1. - Донецк: ДонГТУ. - 1996. - С. 8-23.
5. Svjatnyi V., Feldmann L., Lapko V., Anoprienko A., Reuter A., Braunl T., Zeitz M. Massive parallel simulation of dynamic systems //Zeszyty naukowe. -1997/1 - P. 207-229.
6. Аноприенко А. Я, Кинле А., Святный С. Н., Осипова Т. Ф. Моделирование реактора синтеза уксусной кислоты на базе моделирующей среды DIVA // Сборник научных трудов ДонГТУ. Серия "Информатика, кибернетика и вычислительная техника". Выпуск 1 (ИКВТ-97). - Донецк: ДонГТУ. - 1997. - С. 16-21.
7. Feldmann L.P., Svjatnyi V.A., Lapko V.V., Gilles E.-D., Zeitz M., Reuter A., Rothermel K. Parallele simulationstechnik // Problems of Simulation and Computer Aided Design of Dynamic Systems. Collected Volume of Scientific Papers. Donetsk State Technical University. Donetsk, 1999, p. 9-19.
8. Святний В.А. Проблеми паралельного моделювання складних динамічних систем // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка: - Донецьк: ДонДТУ, 1999. - С. 6-14.
9. Анопрієнко О.Я., Єрмоленко І.0., Потапенко В.А. Розробка компактних програмних засобів блочно-орієнтованого розподіленого моделювання динамічних систем / Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія "Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем". Випуск 10: - Донецьк: ДонДТУ. - 1999, с. 119-128.
10. Аноприенко А.Я., Забровский С.В., Потапенко В.А. Современные тенденции развития тренажерных систем и их модельного обеспечения // Международный сборник научных трудов "Прогрессивные технологии и системы машиностроения" - Донецк: ДонГТУ. - 2000. - С. 3-7.
11. Аноприенко А.Я., Забровский С.В., Каневский А.Д. Опыт реинжиниринга системы моделирования сложных технологических процессов // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація: - Донецьк: ДонДТУ, 2000. - С. 139-148.
12. Аноприенко А.Я., Святный В.А. Современные тенденции развития моделирующих сред и их влияние на качество подготовки инженерных кадров // Труды международной научно-методической конференции "Инженерное образование на рубеже столетий: традиции, проблемы, перспективы" 28-30 марта 2000 г. - Харьков: ХГПУ. - 2000. - С. 22-23.
13. Хокни Р., Джессхоуп К. Параллельные ЭВМ. Архитектура, программирование и алгоритмы. - М.: Радио и связь, 1986. - 392 с.
14. Дорфман В.Ф., Иванов JI.B. ЭВМ и ее элементы. Развитие и оптимизация. - М.: Радио и связь, 1988. - 240 с.
15. Высокоскоростные вычисления. Архитектура, производительность, прикладные алгоритмы и программы суперЭВМ. - М.: Радио и связь, 1988, 431 с.
16. Корнеев В.В. Параллельные вычислительные системы. - М.: "Нолидж", 1999. -399 с.
17. Бройнль Т. Паралельне програмування. - К.: Вища школа, 1999.
18. Боггс У., Боггс М. UML и Rational Rose. - М.: «ЛОРИ», 2000, - 582 с.

19. Буч Г., Рамбо Дж., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя. - М.: ДМК, 2000. - 432 с.
20. Леоненков А.В. Самоучитель UML. - СПб, 2001. - 304 с.
21. Андреев А., Воеводин В., Жуматий С. Кластеры и суперкомпьютеры - близнецы или братья? / Журнал «Открытые Системы», #05-06/2000.
22. Арапов Д. Можно ли превратить сеть в суперкомпьютер? / Журнал «Открытые Системы», #04/1997.
23. Аноприенко А.Я. От вычислений к пониманию: когнитивное компьютерное моделирование и опыт его практического применения на примере решения проблемы Фестского диска // Научные труды Донецкого государственного технического университета. Серия "Информатика, кибернетика и вычислительная техника" (ИКВТ-99). - Донецк: ДонГТУ. - 1999. - С. 36-47.
24. Аноприенко А.Я., Башков Е.А. Проект УРАН и перспективы развития Интернет в ДонГТУ // Донецкий политехник. - Ноябрь 1999.
25. Минаев А.А., Аноприенко А.Я. Сеть УРАН и перспективы компьютеризации высшего образования в Донбассе // Материалы научно-практической конференции "Стратегия управления социально-экономическим развитием региона на период до 2010 года" 28-29 сентября 1999 г. - Донецк. - 1999.