Институт программных систем
Российской академии наук и К°

Open TS: архитектура и реализация среды для динамического распараллеливания вычислений

Абрамов С. М., Московский А. А., Роганов В. А.,
Парамонов Н. Н., Шевчук Е. В.,
Шевчук Ю. В., Чиж О. П.

Новороссийск, Абрау-Дюрсо, 2005-09-20

План доклада

- Короткое само-представление
- Open TS: обзор архитектуры
- Сравнение подходов: MPI vs Open TS
- Приложения, написанные на OpenTS
- Закругляясь:
  - Что осталось за рамками доклада?
  - Планов наших громадье...
  - Благодарности

1. Short Self-Introduction

ИПС РАН, Переславль-Залесский

МГУ им. М.В.Ломоносова

MSU 250

Партнеры

- ИПС РАН
- МГУ им. М. В. Ломоносова
- ОИПИ НАН Беларуси
- наши пользователи:
  - ЧелГУ
  - НИИ мех. МГУ им. М. В. Ломоносова
  - НИИ КС (Хруничев)
  - и др.

Институт программных систем
Российской академии наук и К°

Open TS: Обзор архитектуры

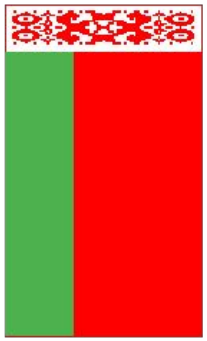
T-Система. История

- **Середина 80-ых**
  Основные идеи T-Системы
- **1990-ые**
  Первая реализация T-Системы
- **2000-2002, Программа «СКИФ»**
  GRACE — Graph Reduction Applied to Cluster Environment
- **2003-сегодня, Программа «СКИФ»**
  Open TS — Open T-system

Суперкомпьютерный проект СКИФ Союзного государства


- 2000-2004
- 10 + 10 исполнителей
- $10M (на 5 лет на 20 предприятий)
- ИПС РАН — головные по России
- ОИПИ НАН Беларуси – головные по Российской Федерации
- Hardware, Software, Applications, Aux.

Выпуск образцов (16)



"Кардиология"
9/5 G
3+1-1U+4U
Intel P-IV-1266

"Первенец"
20/11G
16-3U;
Intel P-III-600

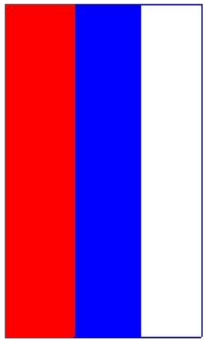
"ВМ-5100"
48/26G
16-2U
Intel P-IV-1500

"Myrin"
89/59G
8-1U
Intel Xeon 2.8

"К-500"
717/415G
64-1U
Intel Xeon 2.8

"К-1000"
2534/2030G
288-1U; IB 4x; AMD Opteron 248(2.2)

2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004



"Первенец"
20/11G
16-3U;
Intel P-III-600

"Студент"
11/6G
9-MiniTower
Intel P-III-600

"ТКС"
403/230G
36-1U
Intel Xeon 2.8

"T-Bridge8i"
45/37G
4-1U; IB 4x
Intel Itanium 2 (1.4)

"Гибрид"
2.4/1.2G
2-4U+6U;
Intel P-III-800

"Первенец-М"
98/57G
16-3U; AMD AthlonMP1800+

"T-Forge32"
115/74G
16-2U; AMD Opteron 224(1.8)

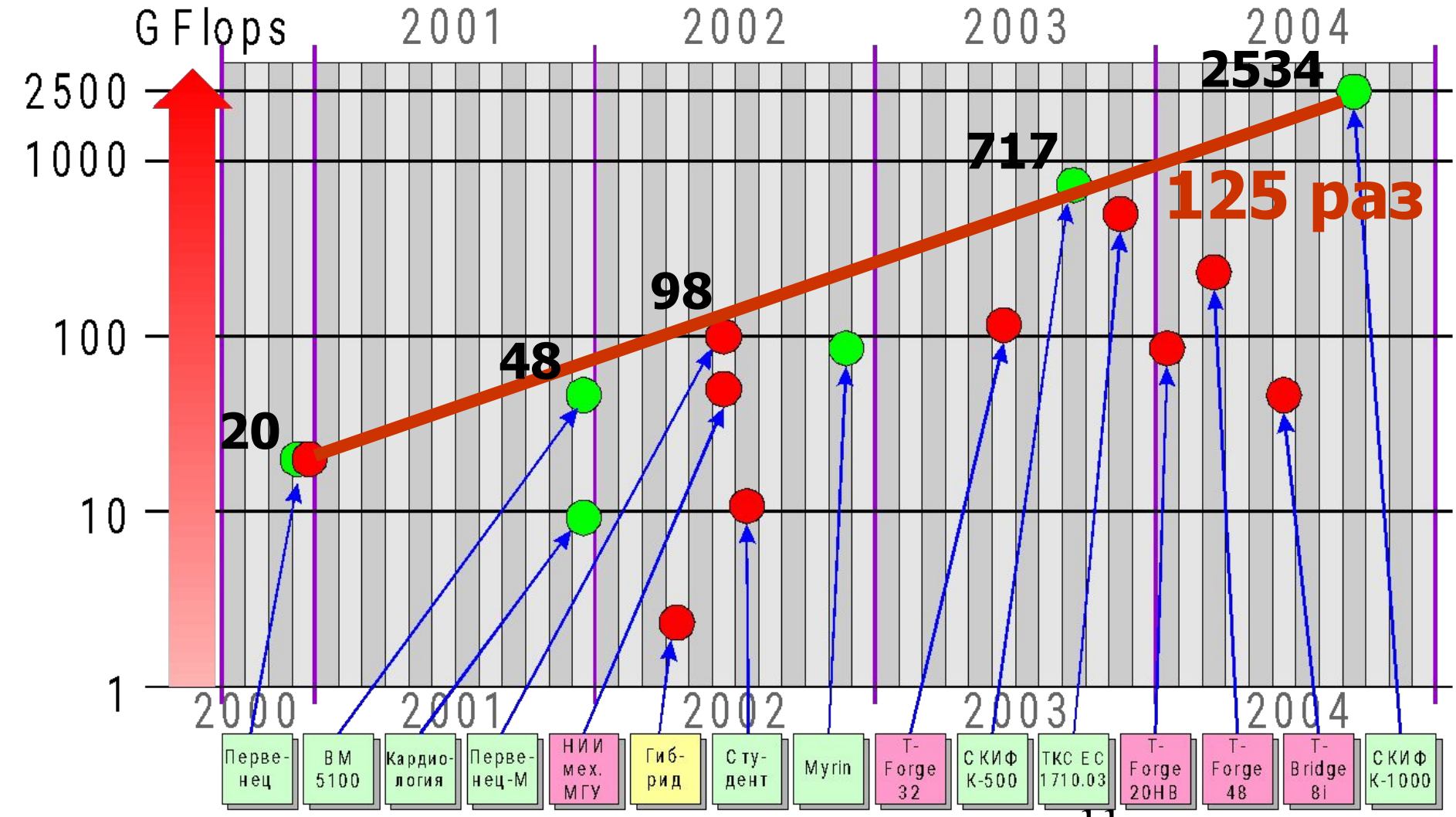
"T-Forge48"
230/184G
24-1U; IB 4x; AMD Opteron (2.4)

НИИ мех МГУ
49/28G
4+4-4U+5U; AMD AthlonMP1800+

"T-Forge20HB"
88/70G
10-HB; IB 4x; AMD Opteron 248(2.2)

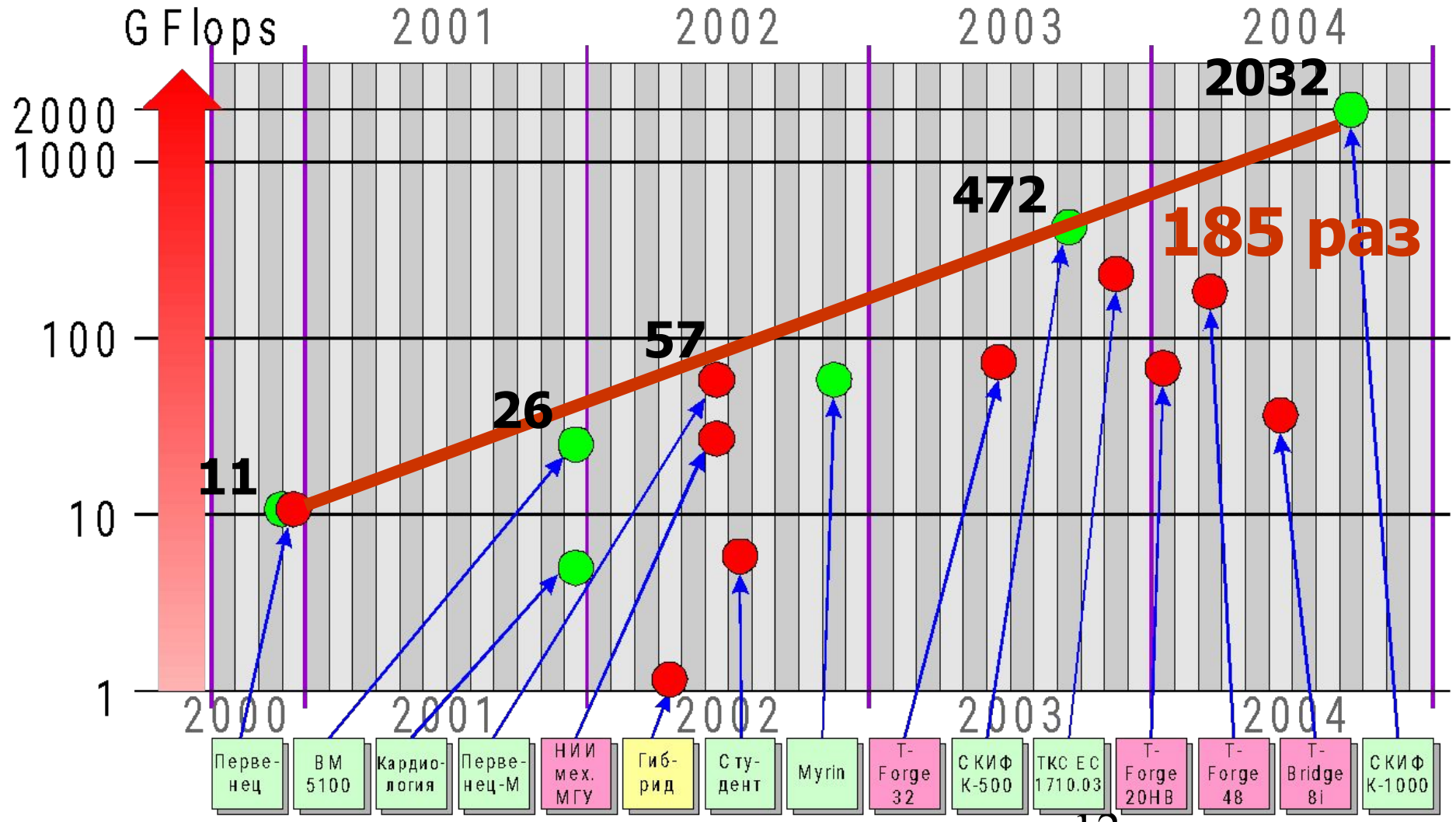
Open TS: архитектура и реализация

Пиковая производительность образцов

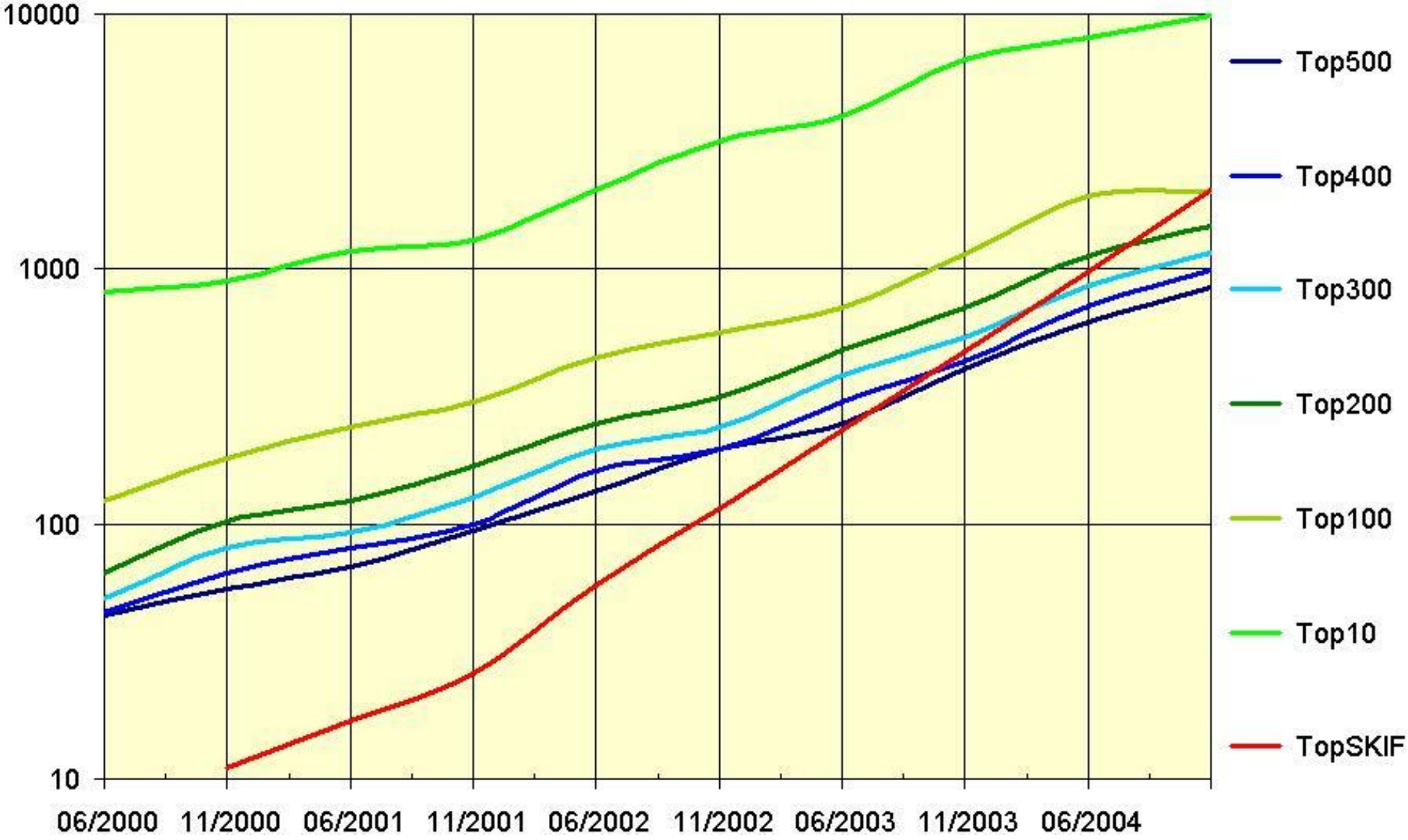


Open TS: архитектура и реализация

Linpack-производительность образцов



Темпы развития отрасли (Linpack)

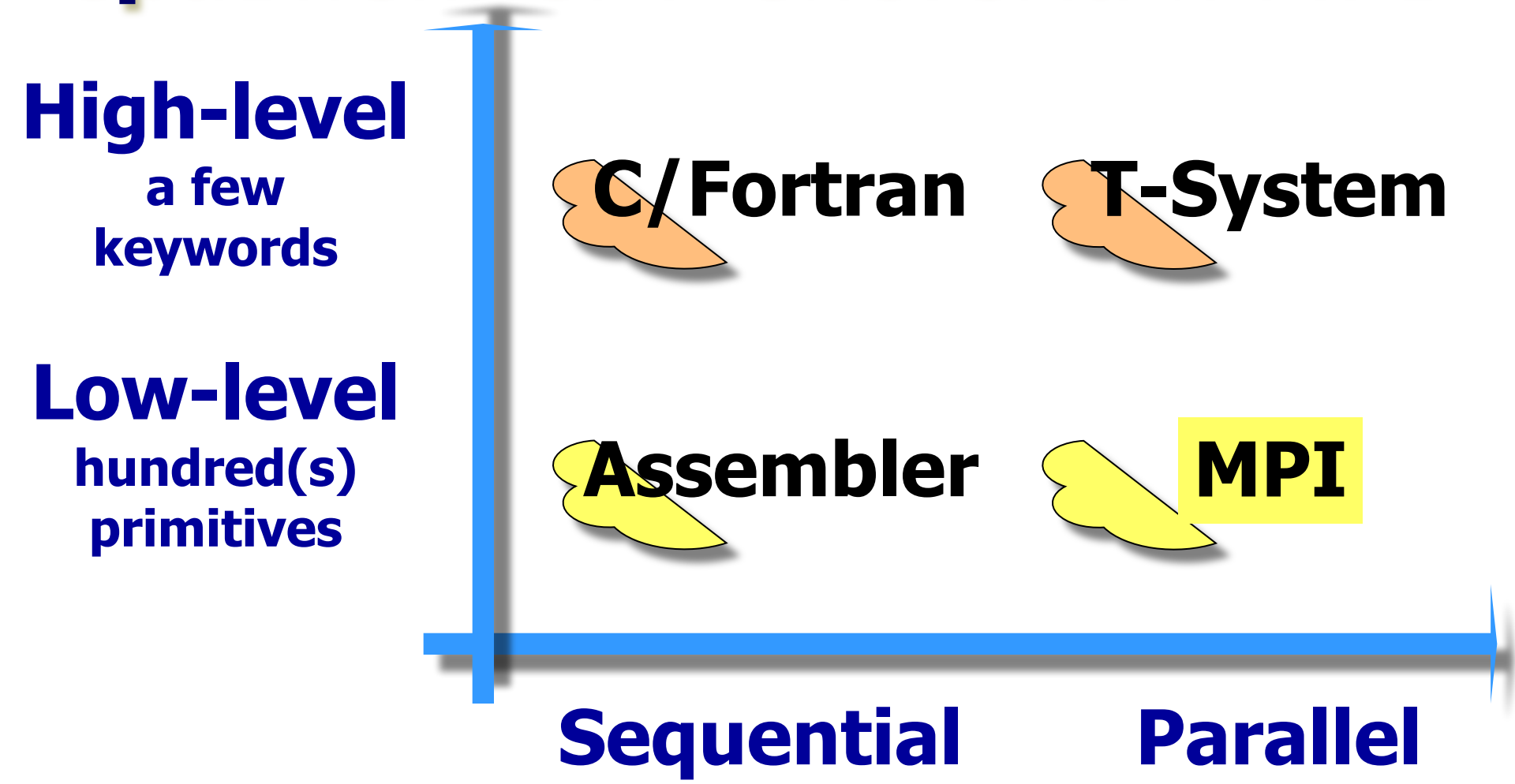


Флагман: «СКИФ К-1000»

- **Пиковая производительность:** 2,5 Tflops
- **Linpack-производительность:** 2,0 Tflops
- **КПД**=80.1 %

- Ноябрь 2004: **Наиболее мощная машина на территории СССР**
- Ноябрь 2004: **№ 98 в Top500**

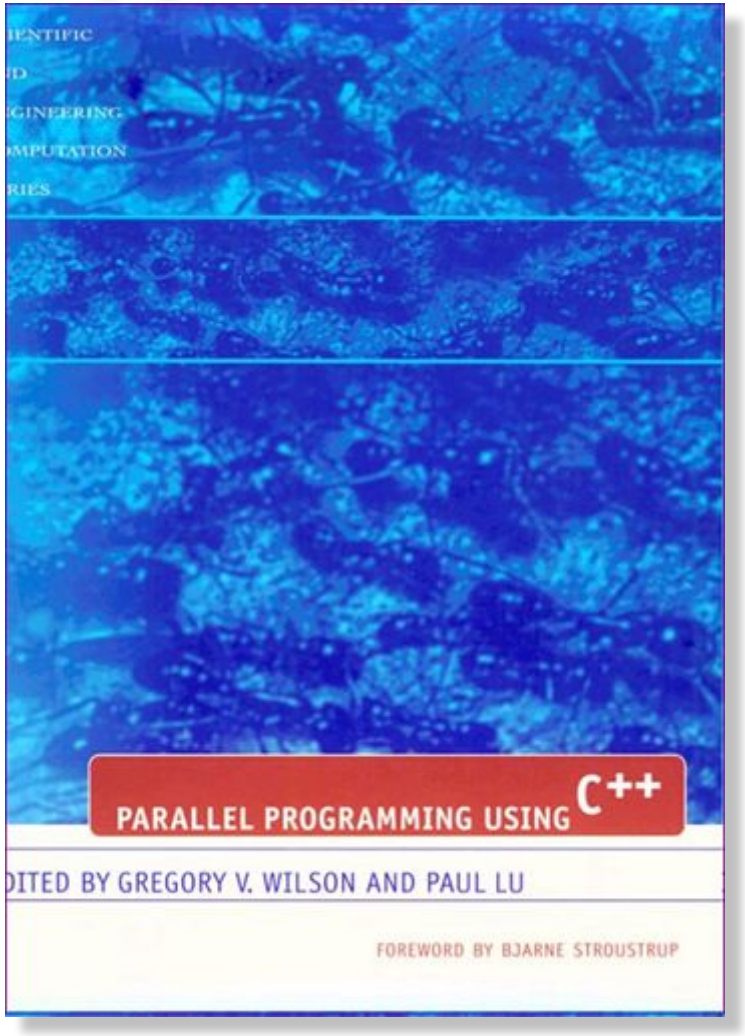
Сравнение: T-Система и MPI



Подобные подходы

- Parallel Programming Using C++ (Scientific and Engineering Computation) by Gregory V. Wilson (Editor), Paul Lu (Editor)

  ABC++, Amelia, CC++, CHAOS++, COOL, C++//, ICC++, Mentat, MPC++, MPI++, pC++, POOMA, TAU, UC++



T-Система в сравнении

Related work	Open TS differentiator
Charm++	TS основана на FP
UPC, mpC++	В TS неявный параллелизм
Glasgow Parallel Haskell	TS допускает низкоуровневы C/C++/ASM оптимизации
OMPC++	TS дает и язык и библиотека C++ шаблонов
Cilk	TS поддерживает SMP, MPI, PVM, и (в планах) GRID

Open TS: на уровне лозунгов

- Наша цель — HPC
- Автоматическое динамическое распараллеливание программ
- Сочетание функциональной и императивной парадигм (и ООП)
- Высокоуровневое программирование
- T++ язык: «параллельный диалект» C++ (незабытое старое: популярно с 90-ых)

T-Подход

- «Чистые» функции (tfunc) — их вызовы способны порождать гранулы параллелизма
- T-Программы:
  - Функциональны – на верхнем уровне
  - Императивны – на нижнем уровне (C/C++/ASM оптимизации)
- C-совместимая модель исполнения
- Неготовые значения, многократные присваивания
- Гладкое расширения языков: C, Fortran, Рефал

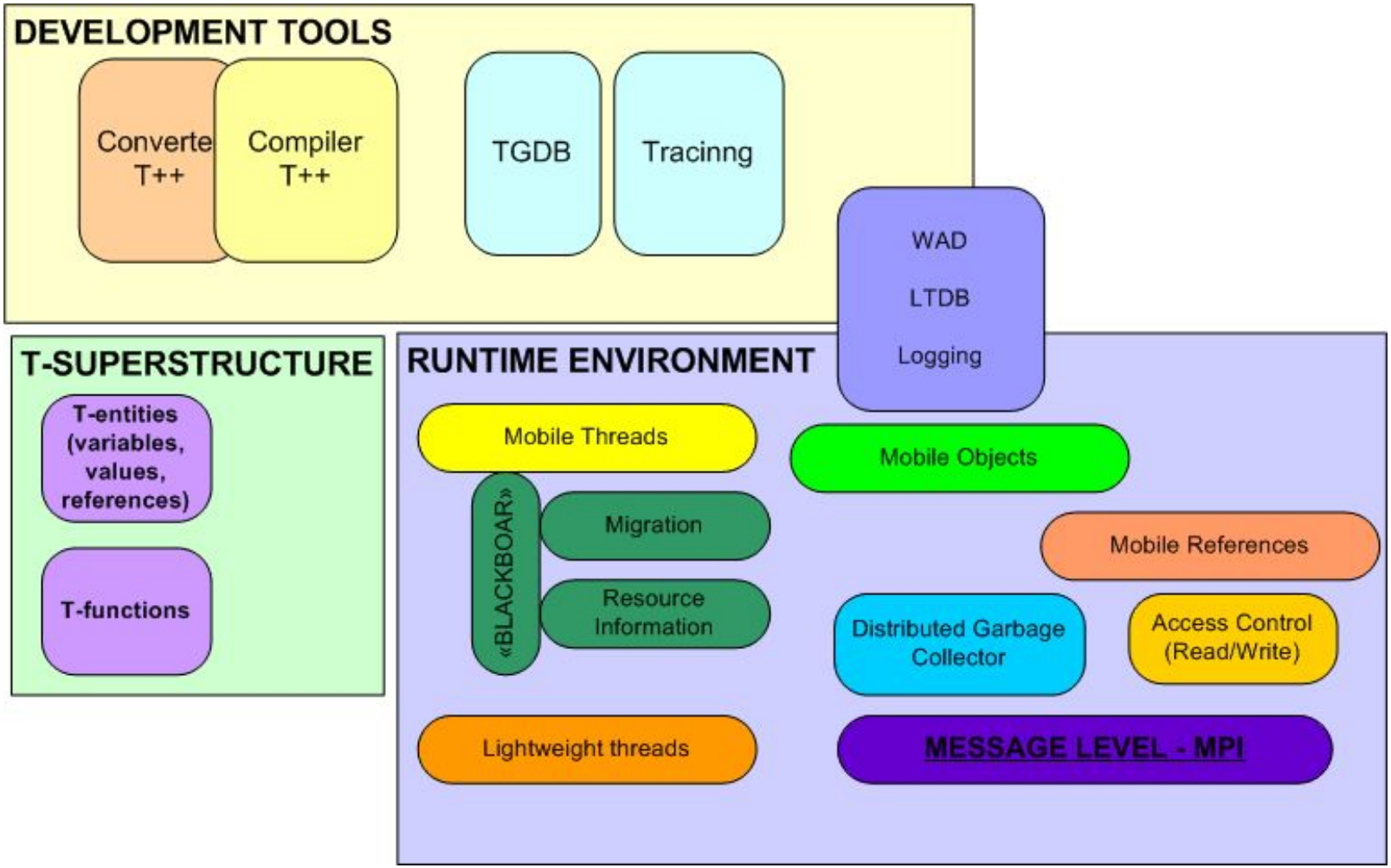
T++ новые ключевые слова

- **tfun** — T-функция
- **tval** — T-переменная (T-значение)
- **tptr** — T-указатель
- **tout** — Выходной параметр (аналог &)
- **tdrop** — Разорвать связь поставщик-потребитель (сделать готовым)
- **twait** — Редкое: ждать готовности
- **tct** — T-контекст

Пример программ

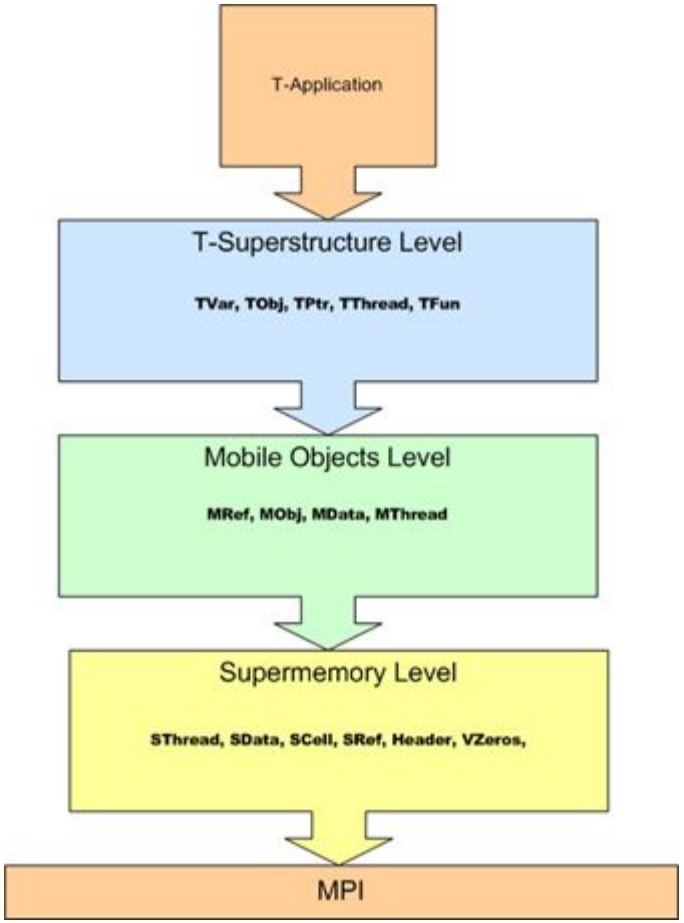
```
#include <stdio.h>

tfun int fib (int n) {
  return n < 2  ?  n : fib(n-1)+fib(n-2);
}

tfun int main (int argc, char **argv) {
  if (argc != 2) { printf("Usage: fib <n>\n"); return 1; }
  int n = atoi(argv[1]);
  printf("fib(%d) = %d\n", n, (int)fib(n));
  return 0;
}
```

Open TS: Среда



Open TS: Runtime

- Трехслойная архитектура (T, M, S)
- Design: microkernel
  Сегодня: 10 расширений
- «Supermemory»
- Lightweight threads
- DMPI: Dynamic MPI
  - auto selection of MPI implementation
  - dynamic loading and linking



Supermemory

- Object-Oriented Distributed shared memory (OO DSM)
- Global address space
- Cell versioning

Multithreading & Communications

- **Lightweight threads** — провокация
  - PIXELS (1 000 000 threads)
- **Asynchronous** communications
  - Нити **A** требуется неготовое значение
  - Передается асинхронный запрос (Active messages & Signals) чтобы стимулировать передачу данных к нити **A**
  - Выделяется квант на коммуникации (нет ли чего в нашем процессоре?) и переход (context switch) на другую готовую нить
- **Latency Hiding** в коммуникациях

DMPI

- **Dynamic MPI**
  - автоматический подбор реализации MPI
  - динамическая загрузка (dynamic loading and linking)
- **Семь реализаций** MPI поддержаны:
  - LAM
  - MPICH
  - SCALI MPI
  - MVAPICH
  - IMPI
  - MPICH-G2
  - PACX-MPI
- **И даже PVM** может быть использован вместо MPI

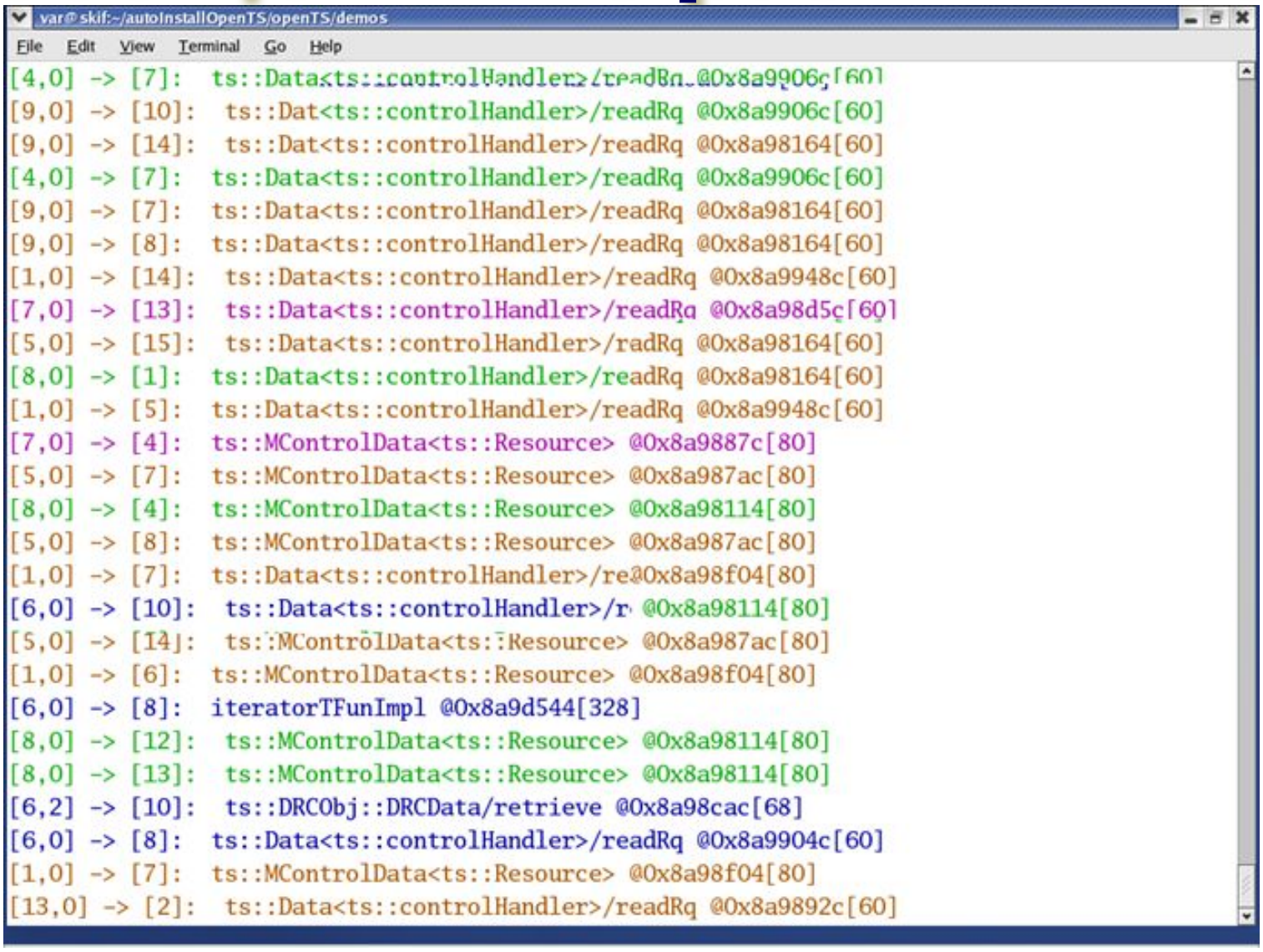
Debugging: WAD, LTDB

```
[var@skif tests]$ cat fault.txx
void writeNull(unsigned long ptr) {
  *(unsigned long*)ptr = 0;
}

tfun int main (int argc, char *argv[]) {
  writeNull(7);
  return 0;
}
[var@skif tests]$ ./fault
Open T-System Runtime v3.0, 2003-2004, PSI RAS, Russia.
Running under unicomputer MPI on 1-rank cluster:
  [3.3Gf,3322BM,0.86GiB]
Starting tfun main, good luck!

WAD: Collecting debugging information...
WAD: Segmentation fault.
#13  0x08049945 in ?()
#12  0x40170a67 in __libc_start_main()
#11  0x0804bd65 in unsigned long()
#10  0x0804a511 in ts::start_threads(void* (*)(void*), int)()
#9   0x0804b7c1 in ts::thread_worker(void*)()
#8   0x08050445 in ts::Service::doAllWork()()
#7   0x0805e56a in ts::MacroScheduler::work()()
#6   0x08061ffe in ts::MacroScheduler::runLocalTasks()()
#5   0x0805057c in ts::ThrH::yield(ts::ThrH*)()
#4   0x0804ad6f in ts::ThrH::hwSaveRestore(ts::ThrH*, ts::ThrH*, void*)()
#3   0x0804b139 in ts::SThread::newTask(ts::SThread*)()
#2   0x0806b5d9 in ts::TFun<int, tfunmainTFunCtxt>::work()(this=0x8c1583c)
              ~ in , at line 5063
#1   0x0806a28e in tfunmainTFunImpl::body()(this=0x8c1583c)
              ~ in , at line 6
#0   0x0806a1ae in writeNull(unsigned long)(ptr=7)
              ~ in , at line 2
[var@skif tests]$
```

Сбор статистики

```
[alexanderm@skif demos]$ mpirun nl,2,3,4 ./fib 29
Open T-System Runtime v3.0, 2003-2004, PSI RAS, Russia.
Running under LAM MPI on 4-rank cluster:
  ([3.1Gf,3060BM,0.86GiB]+[3.1Gf,3060BM,0.49GiB]+[3.1Gf,3060BM,0.86GiB]*2) ~= [1
2.2Gf,12240BM,3.08GiB]
Starting tfun main, good luck!

fib(29) = 514229
Tasks activated:        [407582/416020/420993]
Tasks exported:         [33/35/40]
Msgs sent:              [1534/1577/1639]
Async Msgs:             [0/0/0]
Msgs size:              [114472/118405/124576]
Taskboard visits:       [408080/416657/421748]
Scheduler time:         [1.188/1.219/1.234]
MPI time:               [0.031/0.033/0.035]
Idle time:              [0.011/0.013/0.015]
Tasks time:             [8.942/9.059/9.190]
Total time:             [16.368/16.375/16.380]
```

Сообщения из разных мест



Open TS на территориально-распределенных установках

- Meta-cluster messaging support (MPICH-G2, IMPI, PACX-MPI)
- Customizable scheduling strategies (network topology information used)

Институт программных систем
Российской академии наук и К°

Контракт с Microsoft: Open TS vs MPI case study

Приложения

- Популярные и широко используемые
- Разработаны независимыми MPI-экспертами (без порочащих связей с T-Системой)

- **PovRay** – Persistence of Vision Ray-tracer, C-пакет + C/MPI-patch
- **ALCMD/MP_lite** – молекулярная динамика (Ames Lab)
  Фортран программа + MP_Lite/MPI

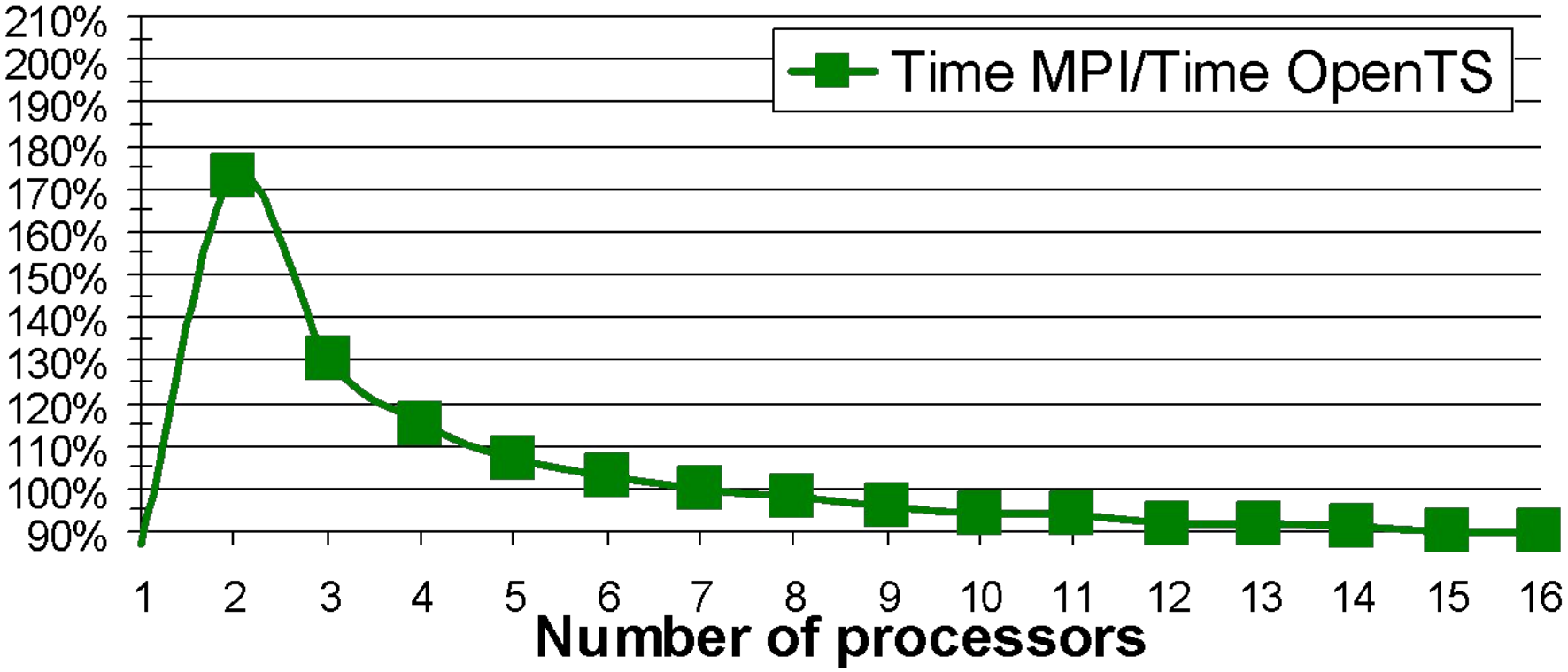
Ключевой вопрос:

- Позволяет ли Т-Система ***удобно*** создавать прикладные системы?
- Экономится ли труд программиста?
- Действительно ли более читабельный и более компактный код? (less space for bugs)
- И при этом мы не сильно жертвуем производительностью (до 30% от MPI)?

T-PovRay vs MPI PovRay: сложность кода

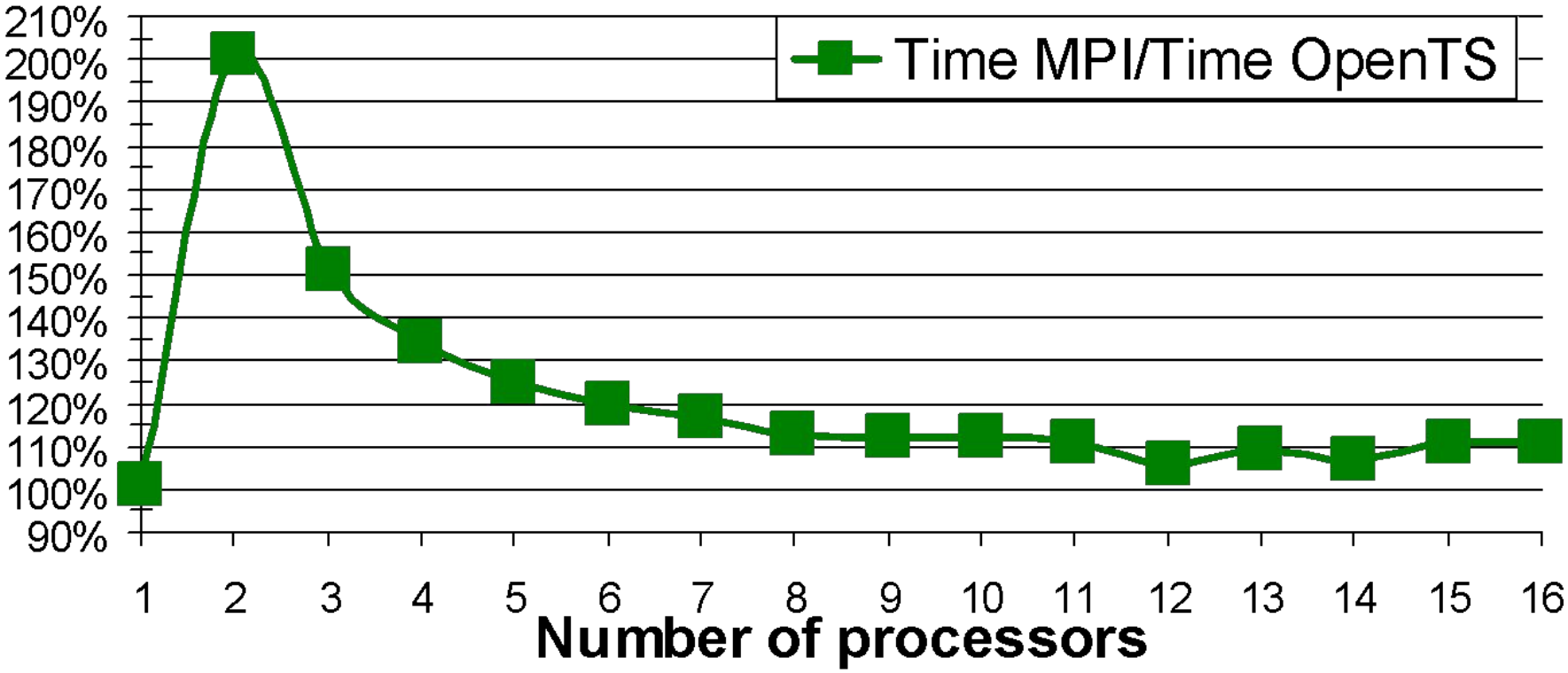
Программа	Объем кода
MPI modules for PovRay 3.10g	1,500 строк
MPI patch for PovRay 3.50c	3,000 строк
T++ modules (for both versions 3.10g & 3.50c)	200 строк

T-PovRay vs MPI PovRay: производительность



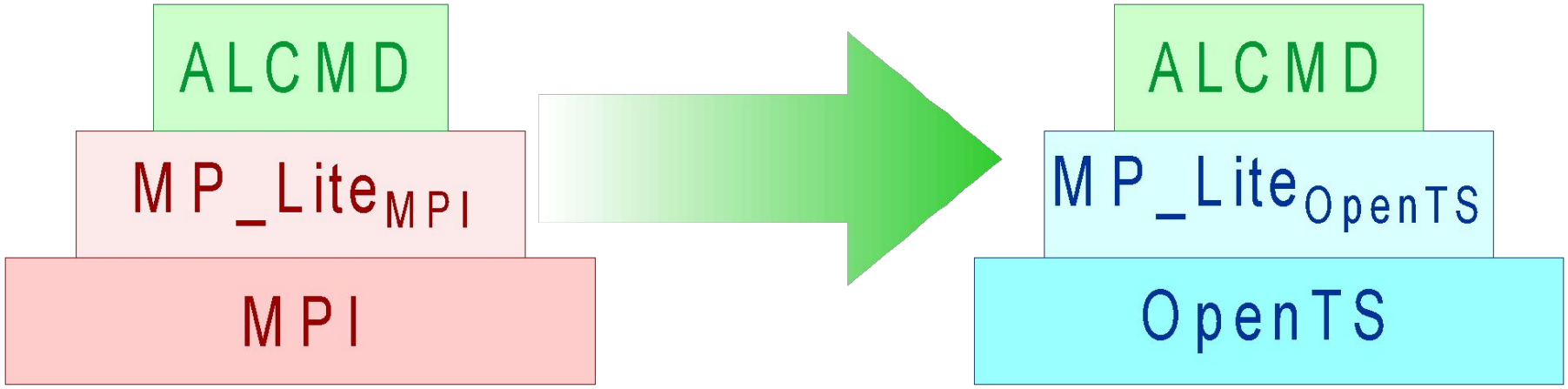
16 dual Athlon 1800, AMD Athlon MP 1800+ RAM 1GB, FastEthernet, LAM 7.0.6

T-PovRay vs MPI PovRay: производительность



2CPUs AMD Opteron 248 2.2 GHz RAM 4GB, GigE, LAM 7.1.1

ALCMD/MPI vs ALCMD/OpenTS



- Библиотека MP_Lite (кусочек) переписана на T++
- Fortran код ***остался нетронутым***

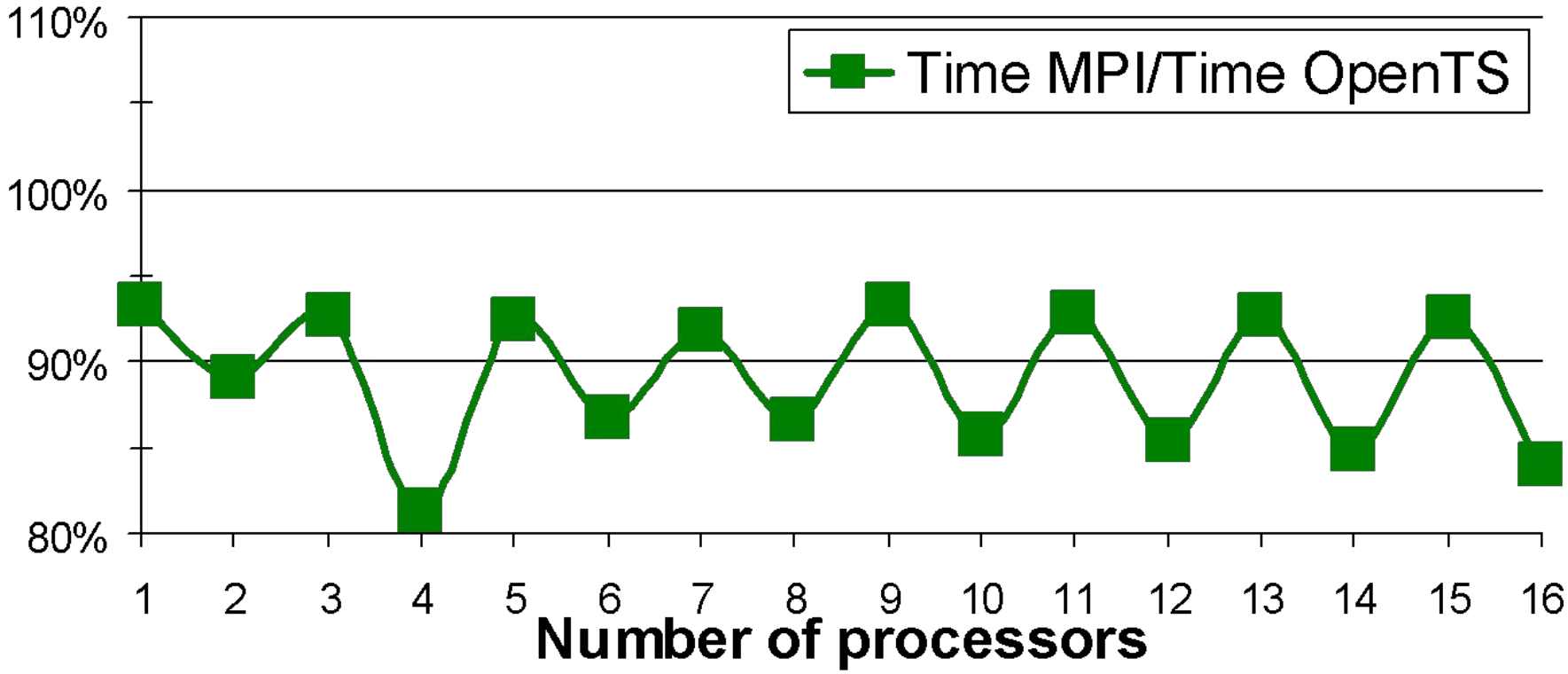
Ключевой вопрос:

- Позволяет ли Т-Система ***удобно*** создавать **библиотеки (подобные MP_Light)** для дальнейшей разработки прикладных систем?
- Экономится ли труд программиста?
- Действительно ли более читабельный и более компактный код? (less space for bugs)
- И при этом мы не сильно жертвуем производительностью (до 30% от MPI)?

ALCMD/MPI vs ALCMD/OpenTS : code complexity

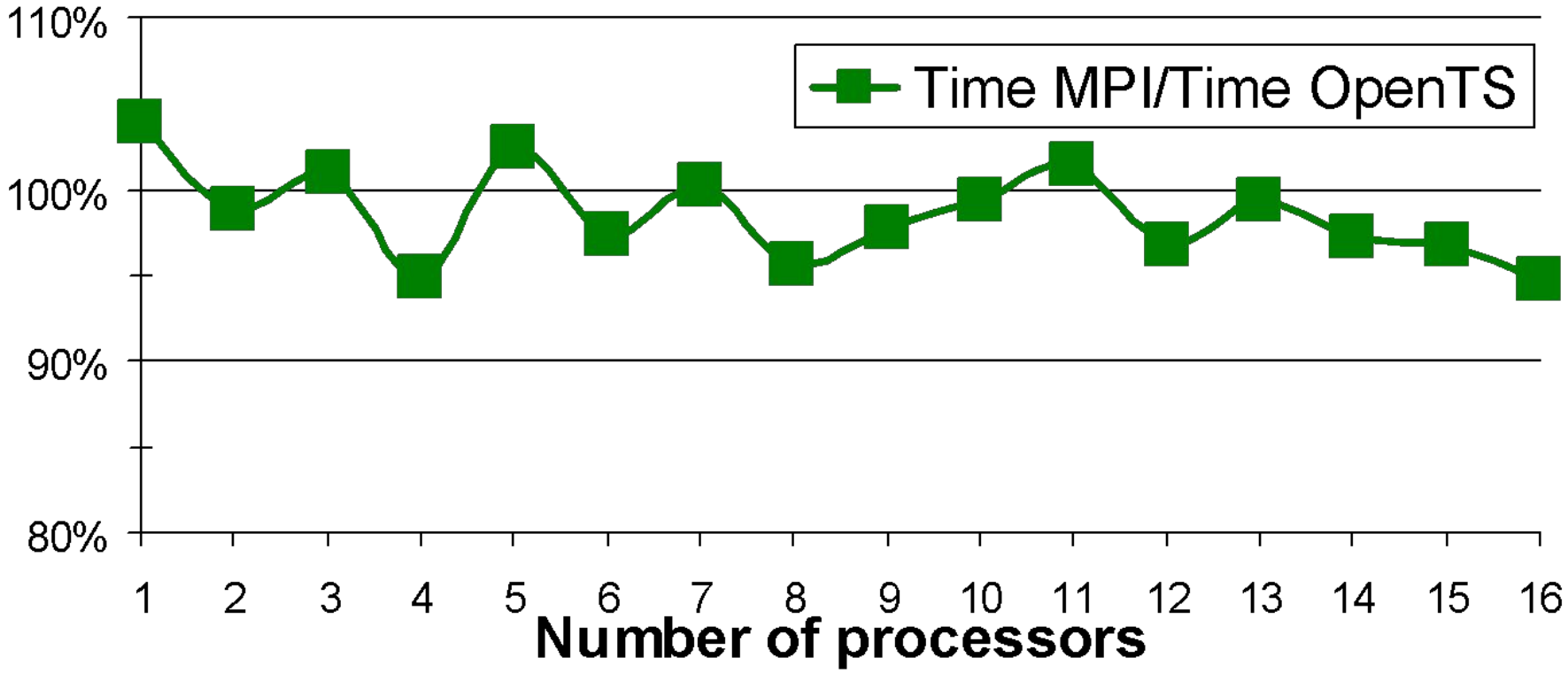
Program	Source code volume
MP_Lite total/MPI	~20,000 lines
MP_Lite,ALCMD-related/ MPI	~3,500 lines
MP_Lite,ALCMD-related/ OpenTS	500 lines

ALCMD/MPI vs ALCMD/OpenTS: производительность



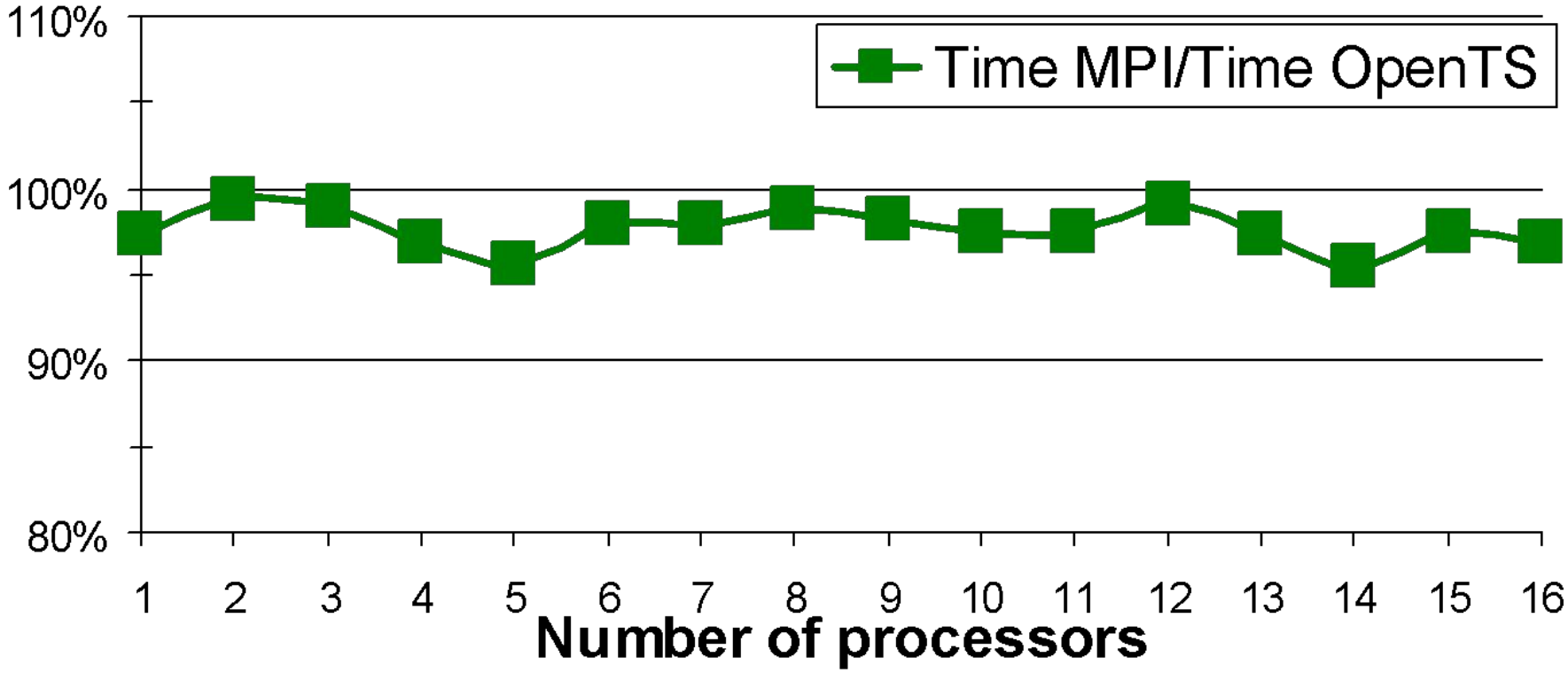
16 dual Athlon 1800, AMD Athlon MP 1800+ RAM 1GB, FastEthernet, LAM 7.0.6, Lennard-Jones MD 512000 atoms

ALCMD/MPI vs ALCMD/OpenTS: производительность



2CPUs AMD Opteron 248 2.2 GHz RAM 4GB,
GigE, LAM 7.1.1, Lennard-Jones MD, 512000 atoms

ALCMD/MPI vs ALCMD/OpenTS: performance



2CPUs AMD Opteron 248 2.2 GHz RAM 4GB,
InfiniBand,MVAMPICH 0.9.4, Lennard-Jones MD,512000 atoms

Институт программных систем
Российской академии наук и К°

Приложения, написанные на Open TS

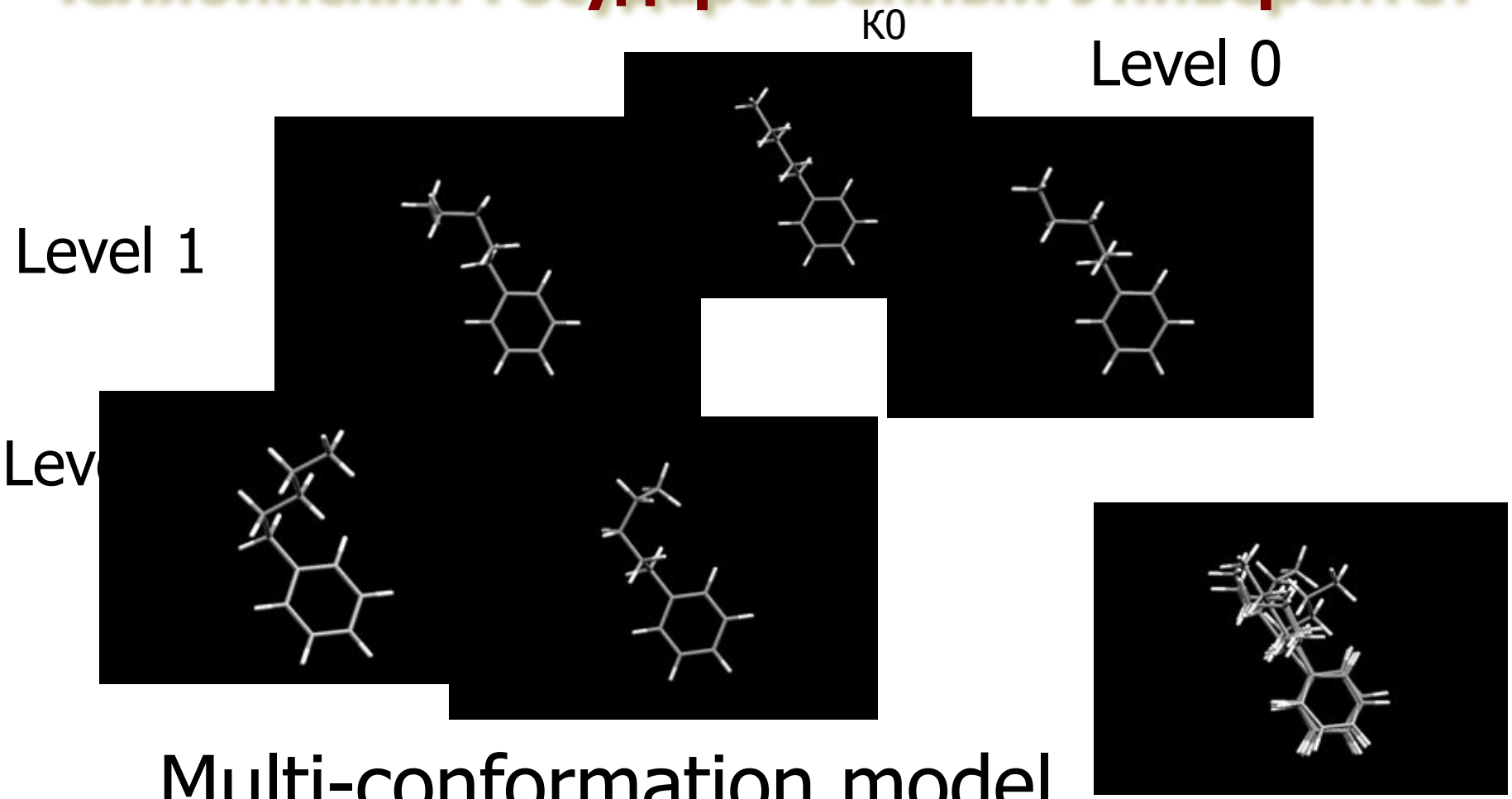
Т-Приложения

- MultiGen – оценка биологической активности веществ
- Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ)
- Моделирование плазмы
- Моделирование белков
- Аэромеханика
- Query engine for XML
- ИИ-приложения (3 штуки)
- и др.

Open TS: архитектура и реализация

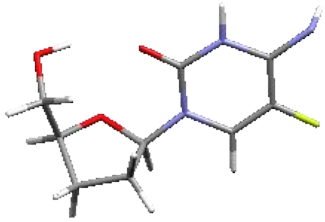
MultiGen

Челябинский Государственный Университет

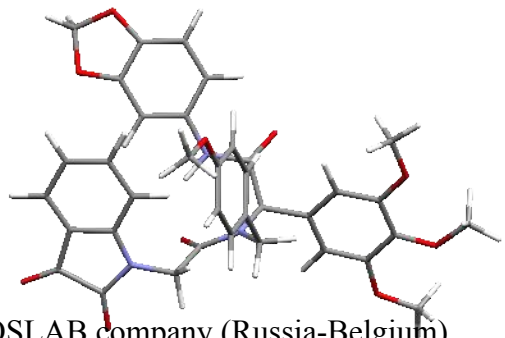


Multi-conformation model

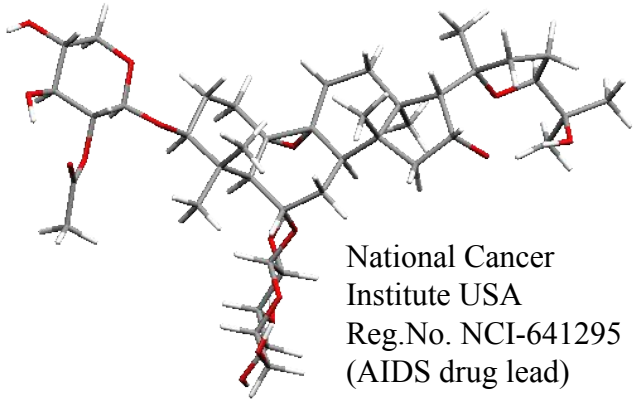
MultiGen: Speedup



National Cancer Institute USA
Reg.No. NCI-609067
(AIDS drug lead)



TOSLAB company (Russia-Belgium)
Reg.No. TOSLAB A2-0261
(antiphlogistic drug lead)



National Cancer Institute USA
Reg.No. NCI-641295
(AIDS drug lead)

Substance	Atom number	Rotations number	Conformers	Exectution time (min.:c)		
				1 node	4 nodes	16 nodes
NCI-609067	28	4	13	**9:33**	**3:21**	**1:22**
TOSLAB A2-0261	82	18	49	**115:27**	**39:23**	**16:09**
NCI-641295	126	25	74	**266:19**	**95:57**	**34:48**

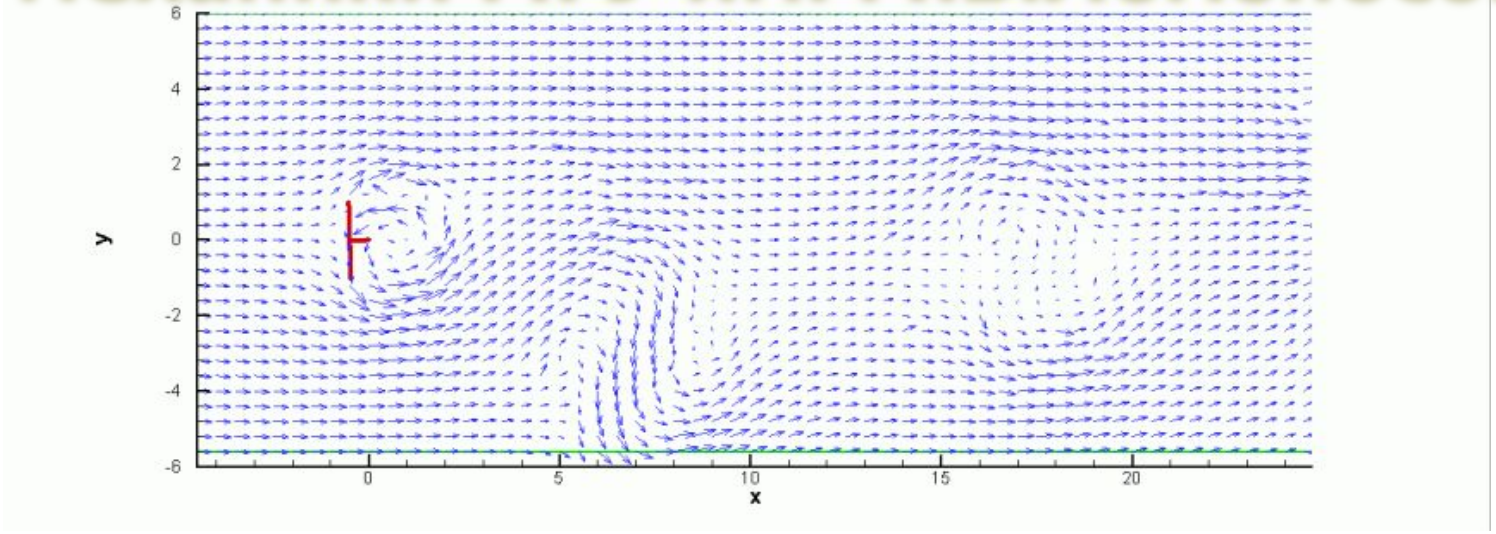
Аэромеханика

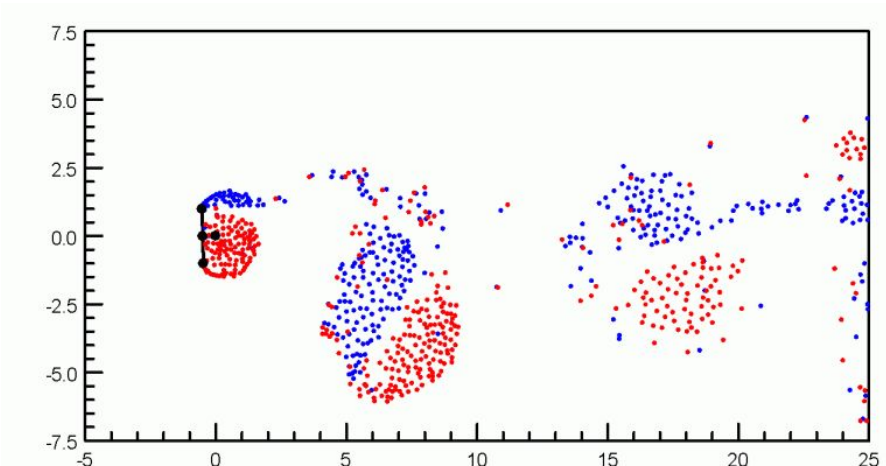
НИИ механики МГУ им. М.В.Ломоносова

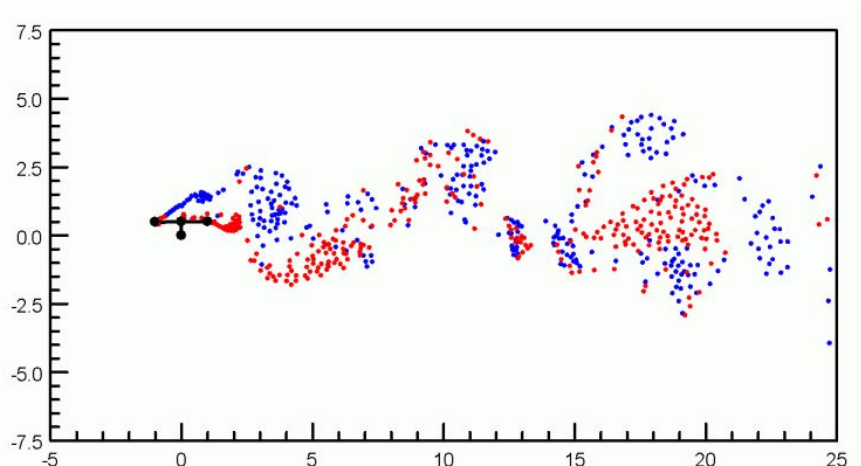
Open TS: архитектура и реализация

Аэромеханика

НИИ механики МГУ им. М.В.Ломоносова

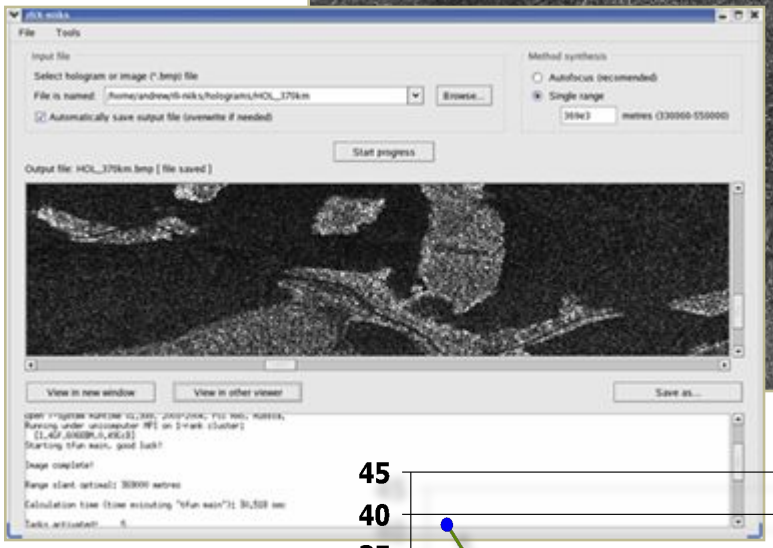


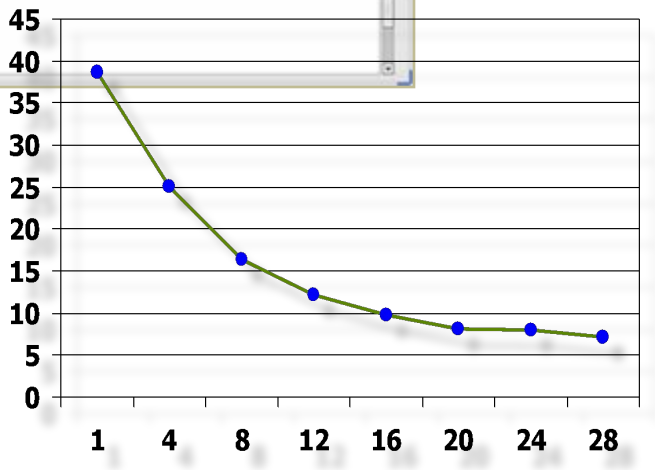


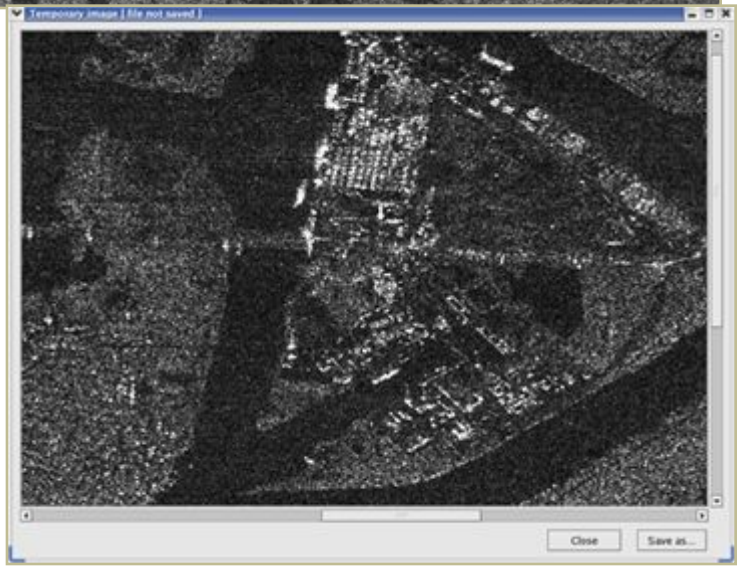


Open TS: архитектура и реализация

Восстановление изображения из голограммы, снятой бортовой РЛС

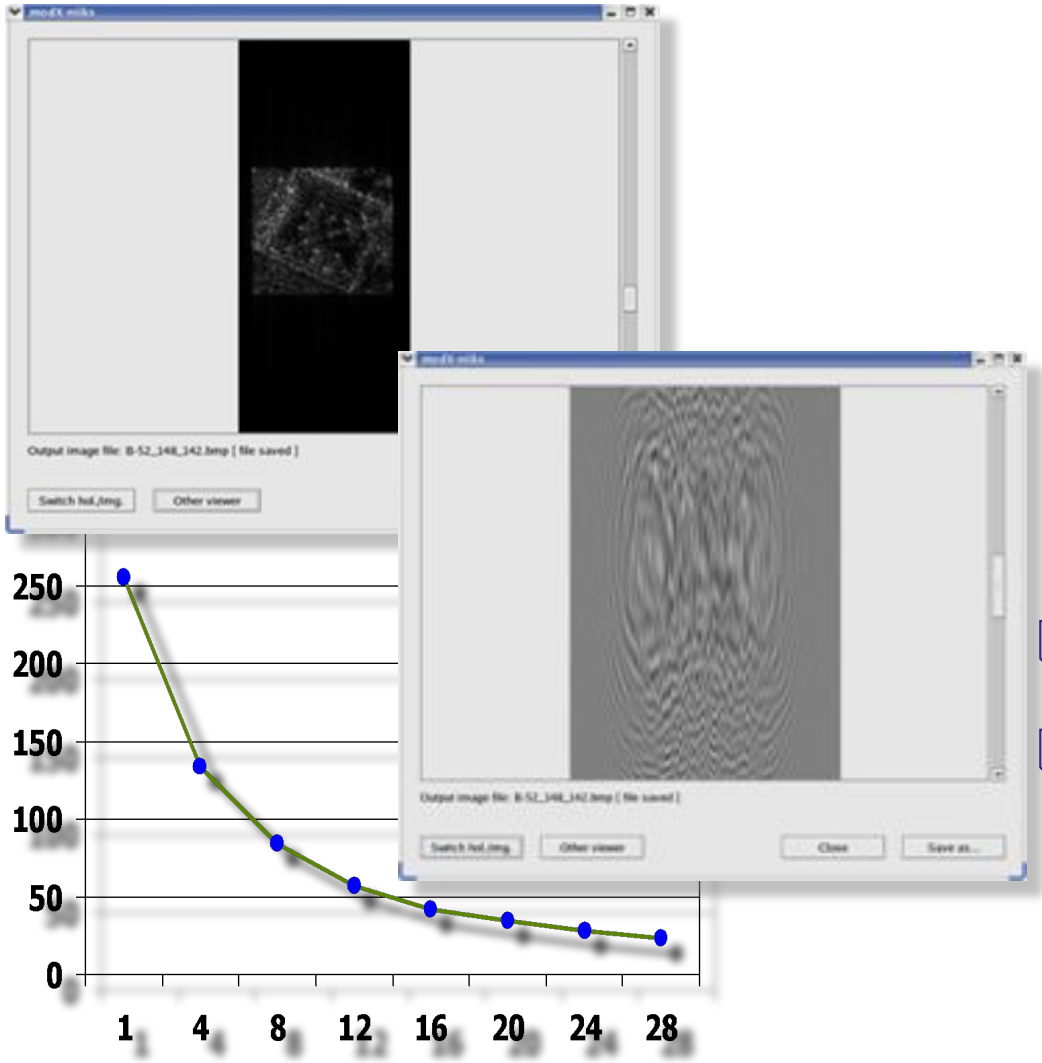


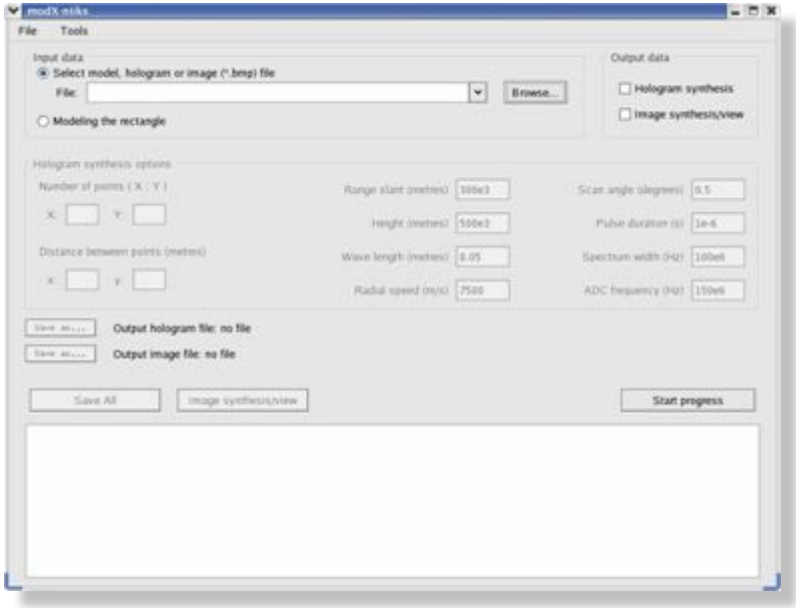




Open TS: архитектура и реализация

Моделирование перспективной широкополосной РЛС



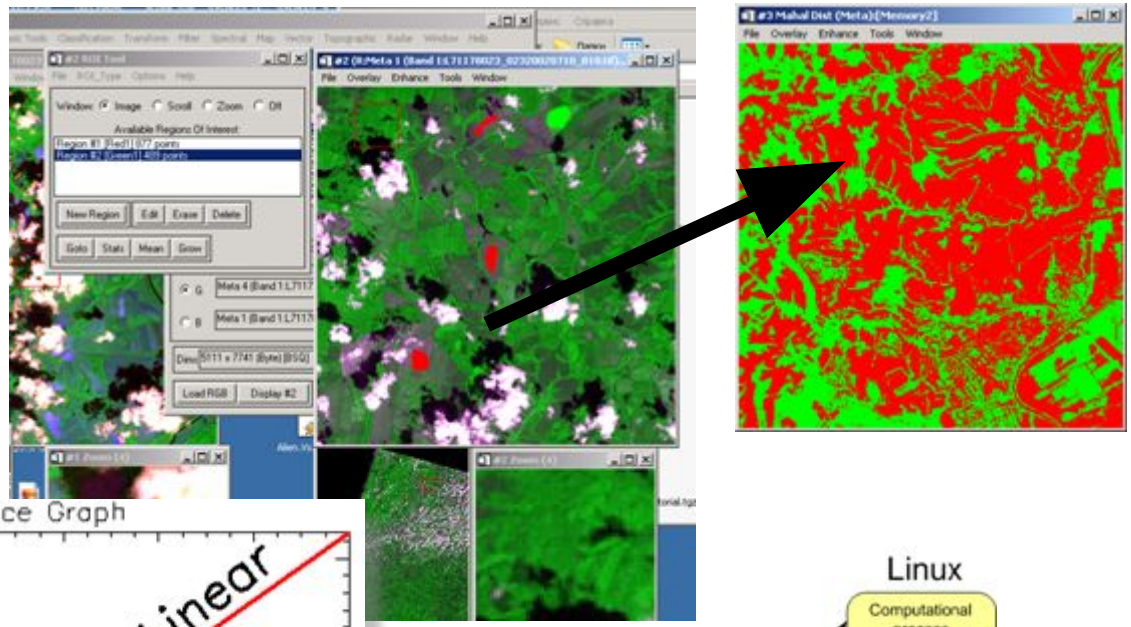


- Graphical User Interface
- Non-PSI RAS development team (Space research institute of Khrunichev corp.)

Open TS: архитектура и реализация

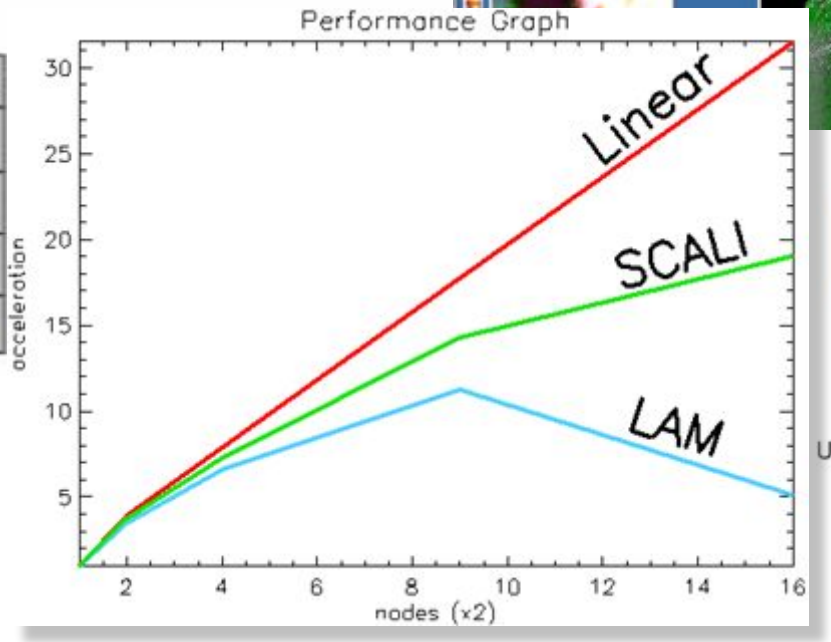
Классификация изображений (Landsat)

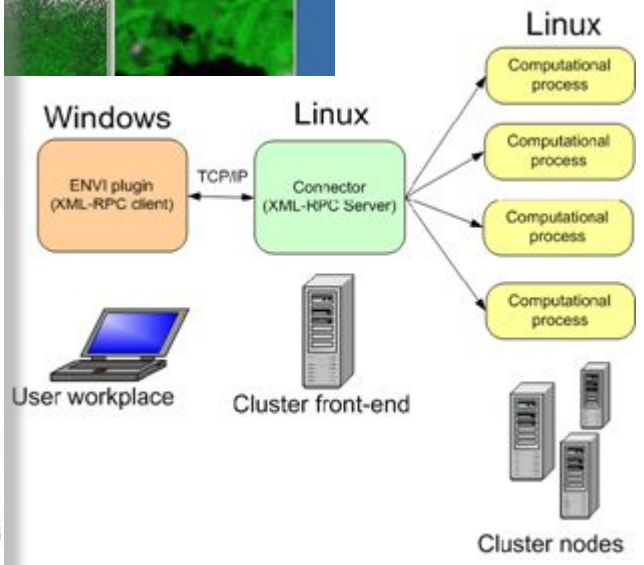
- Вычислительный Web-сервис



48 regions:
...Mahalanobis Distance:
37 mins = 3420 secs
...Mahalanobis Distance at 1 node:
913 secs

	LAM	SCALI
2	256	239
4	136	124
9	80	63
16	176	47





Дальнейшие планы

- Более глубокая поддержка многоядерных CPU
- (Территориально-) Распределенные системы
  - Планировщик
  - Другие коммуникационные реализации DMPI
  - Интерфейсы к Web-сервисам
- Fault-tolerance
- Оптимизация под различные современные CPU
- Скелеты алгоритмов, шаблоны и параллельные библиотеки высокого уровня:
  - sum = fold +
  - minimum = fold min
  - prod = fold *

За рамками доклада

- Другие T-диалекты: T-Refal, T-Fortan
- Мемоизация (табулирование) функций
- Автоматическое переключение между **call-**стилем и **fork-**стилем при вызове T-функций
- Checkpointing
- Heartbeat-механизм
- Ароматы (Flavours) **tptr-**указателей: “**normal**”, “**glue**” and “**magnetic**” — ленивые, жадные и супержадные передачи данных

Благодарности

- Суперкомпьютерный проект СКИФ
- Программы РАН
  - ОИВТС: «Высокопроизводительные вычислительные системы с новыми принципами организации вычислительных процессов»
  - Президиум: «Создание основы для внедрения распределенных научных информационно-вычислительной среды на GRID технологиях»
- РФФИ: грант 05-07-08005-офи_а
- Microsoft – контракт «Open TS vs MPI case study»

Спасибо за внимание…

… … Готов ответить на вопросы … …