

**Институт математического моделирования
Российской академии наук**

Визуализация в распределенных системах

М.В.Якобовский

mail: lira@imamod.ru

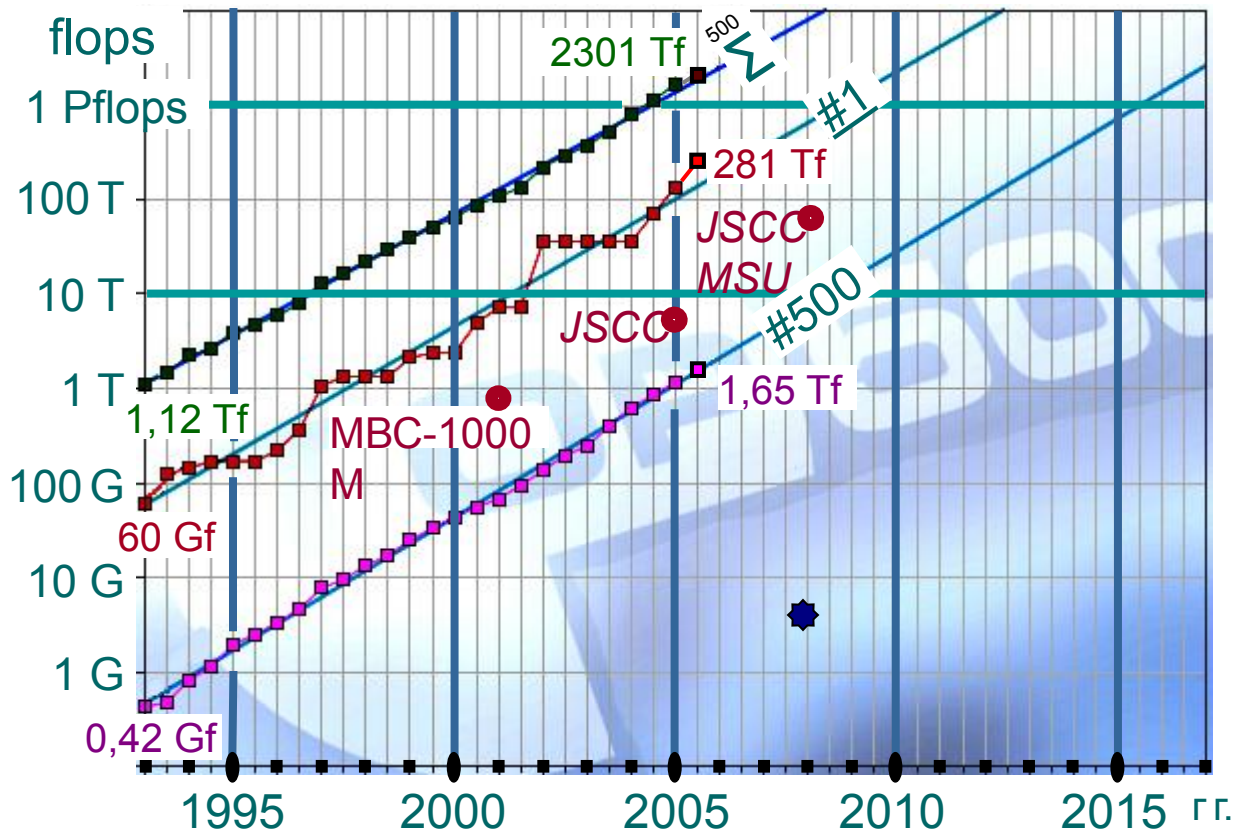
web: <http://lira.imamod.ru>

Нижний Новгород

2009

Особенности момента

- Потребность в суперкомпьютерах высока
- Эффективность использования суперкомпьютеров низка:
 - Использование каждого ядра последовательной программой составляет проценты и доли процентов
 - Обмены, синхронизация и другие дополнительные операции ещё снижают эффективность параллельной программы
- Есть **минимальный** объем вычислений на процессорное ядро, определяющий **максимальное число используемых ядер**
- За счет **многопроцессорности** проблематично **сокращать время** моделирования физического процесса, но можно повышать **сложность решаемой задачи**, например за счет увеличения размеров и детальности представления изучаемых объектов



- Оперативная память
- Кеш
- Операционные устройства
- Множественный доступ
- Бета-тестер

Workstation: 1/100 000

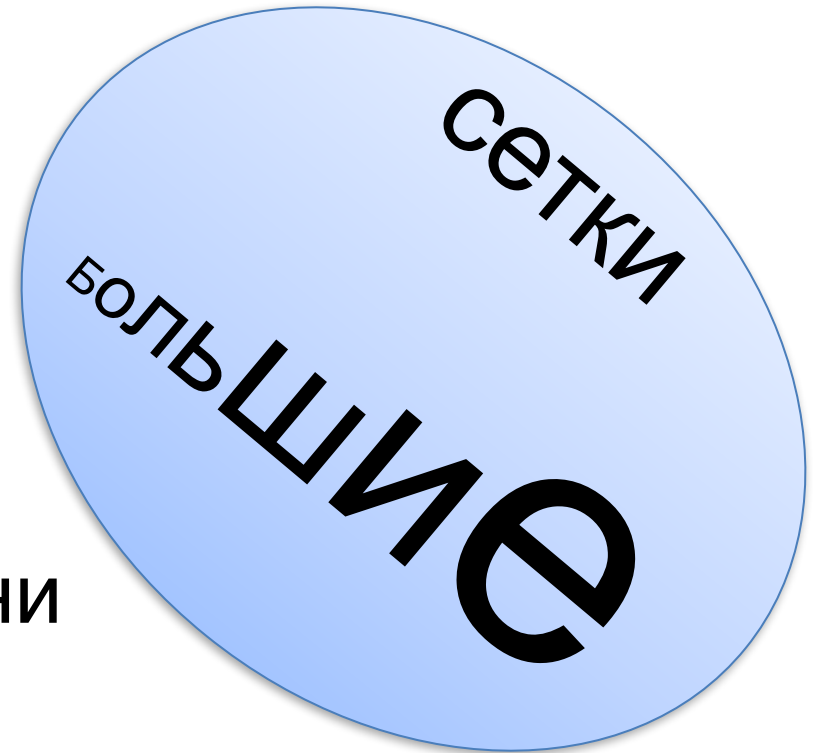
TOP 500





Визуализация

- Скалярные
- Векторные
- Стационарные
- Зависящие от времени
- Решетки
- Треугольные и тетраэдральные сетки



Этапы визуализации

Запись

Сетка

Сеточная функция

Чтение

Формирование объектов виртуальной
сцены

Отображение

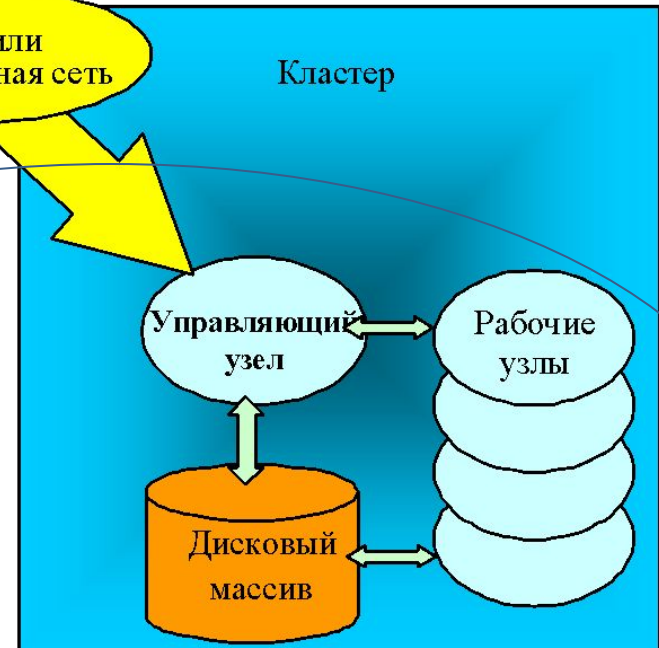
Аппроксимация и потоковая обработка

- Отображение



- Копирование всех данных
- Чтение
- Формирование сцены

- Расчет
- Запись результатов



- Чтение
- Формирование сцены

Клиент-серверная технология

TecPlot
Origin

VISIT ParaView
EnSight OpenDX

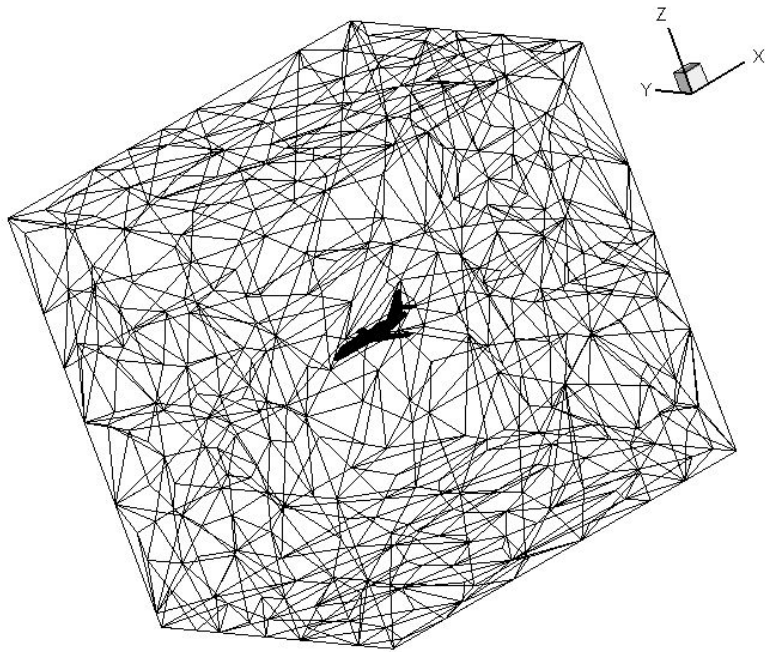
Методы

- Распределенное иерархическое хранение
- Декомпозиция
- Огрубление с контролируемой точностью
- Клиент-серверная технология

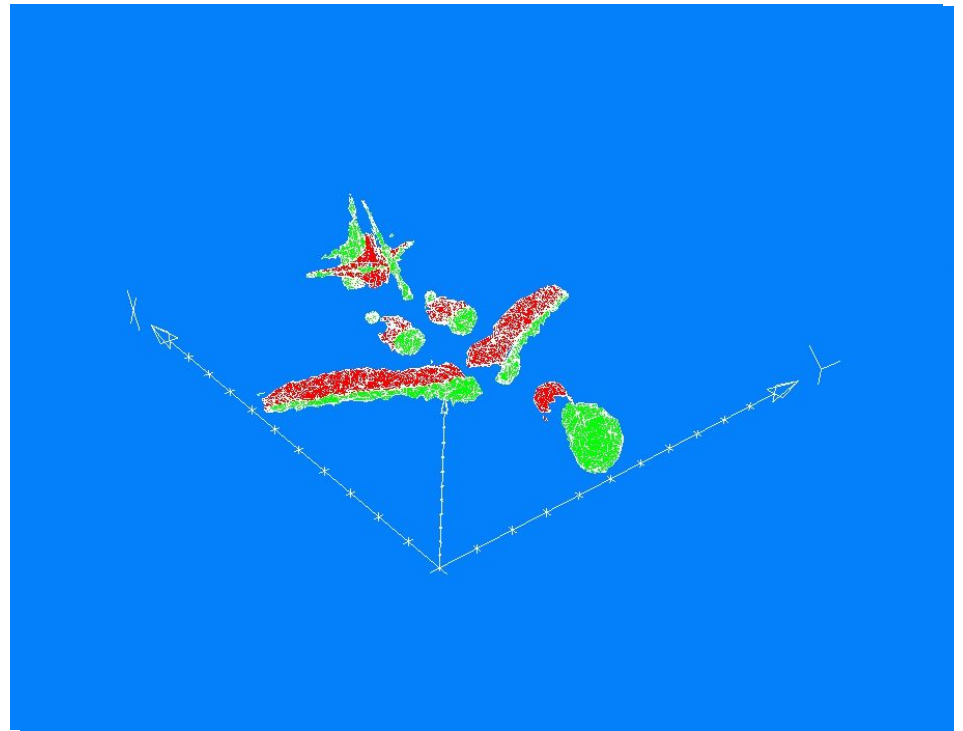
- Поточковая обработка
- Хранение образов

Обтекание самолета

Сетка

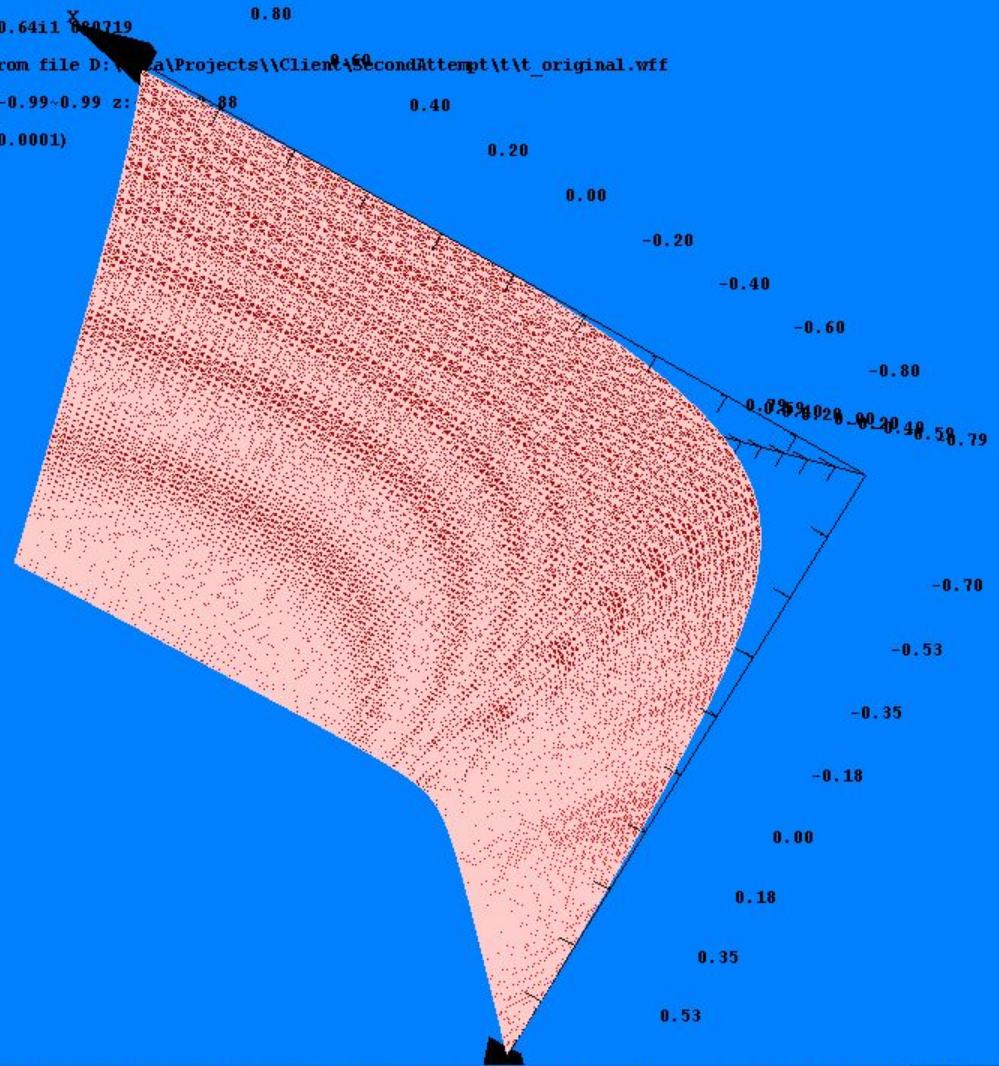


Изоповерхности



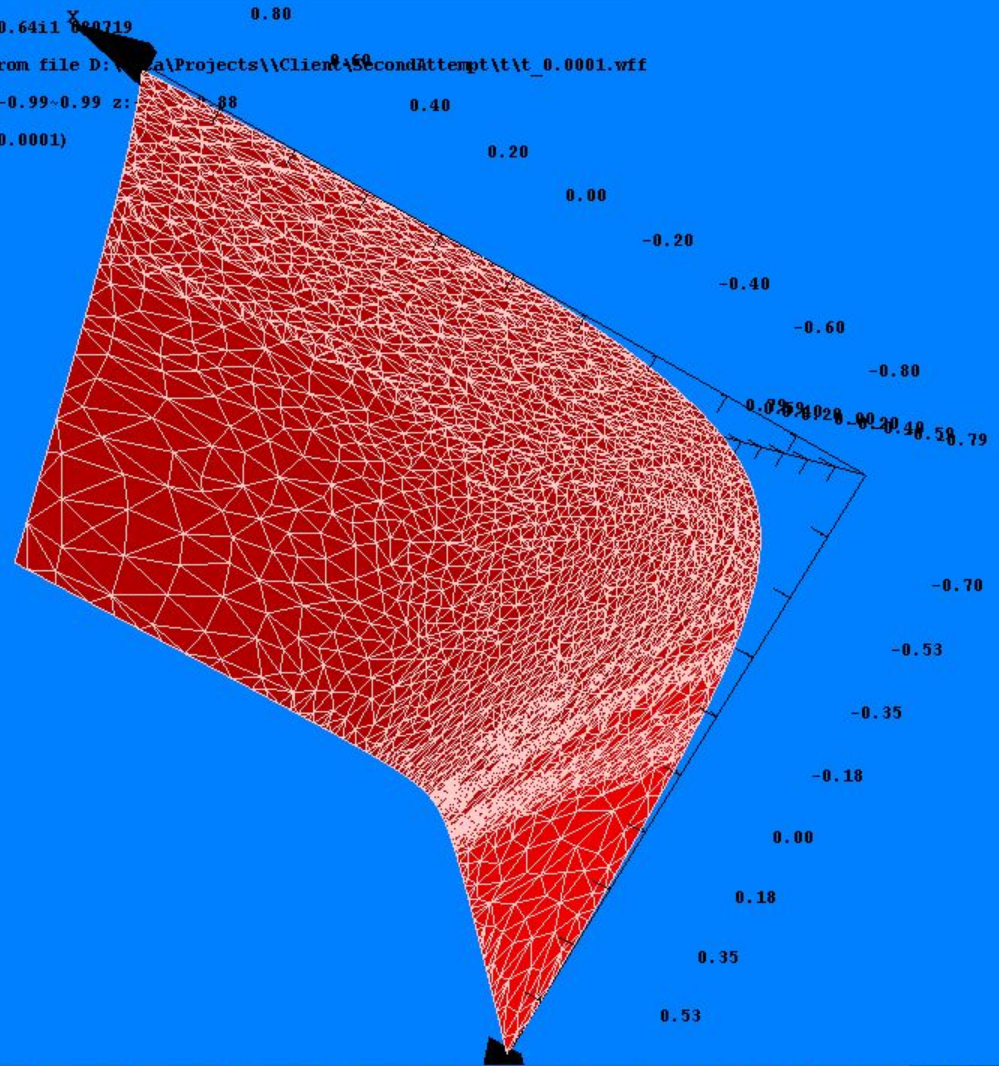


OpenGL Engine v0.6411 0.80719
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\5\secondAttempt\t\t_original.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



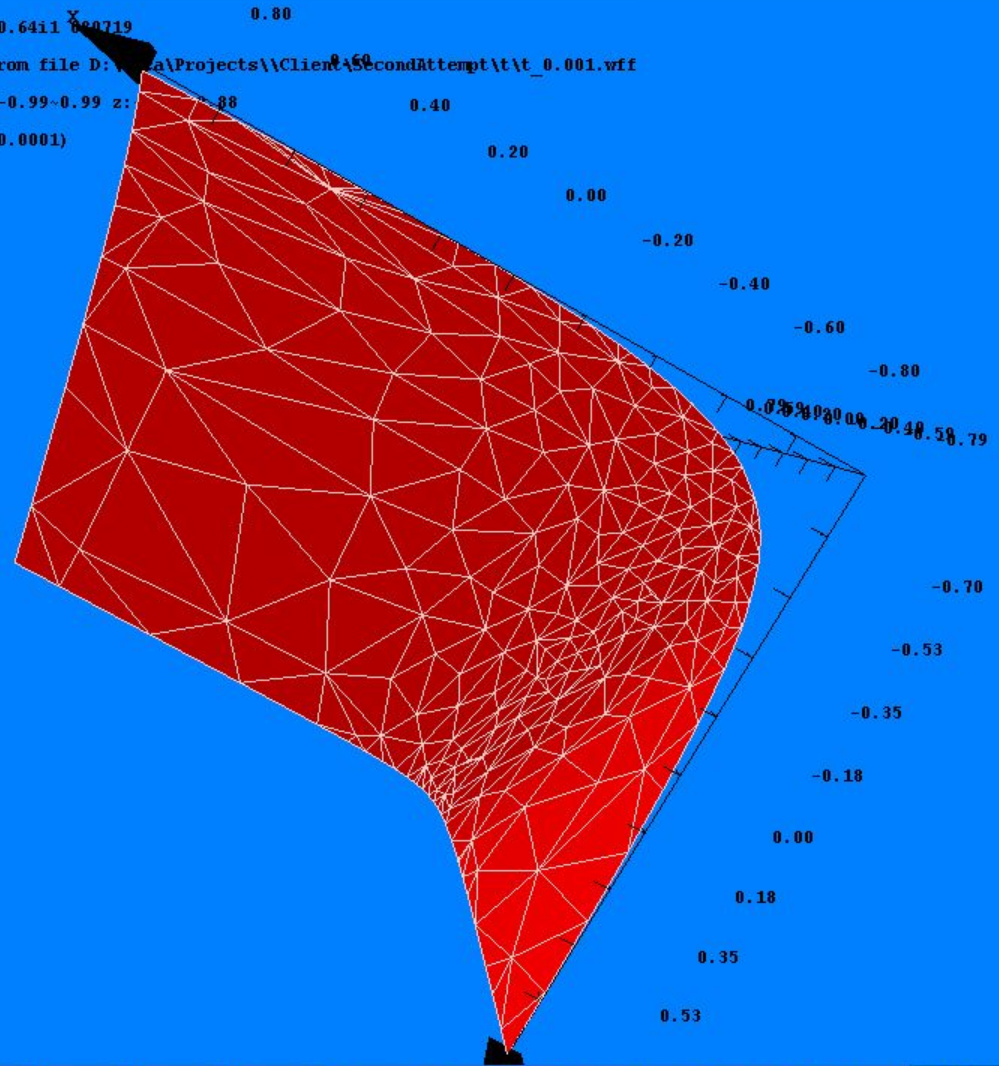


OpenGL Engine v0.6411 0.80719
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.0001.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



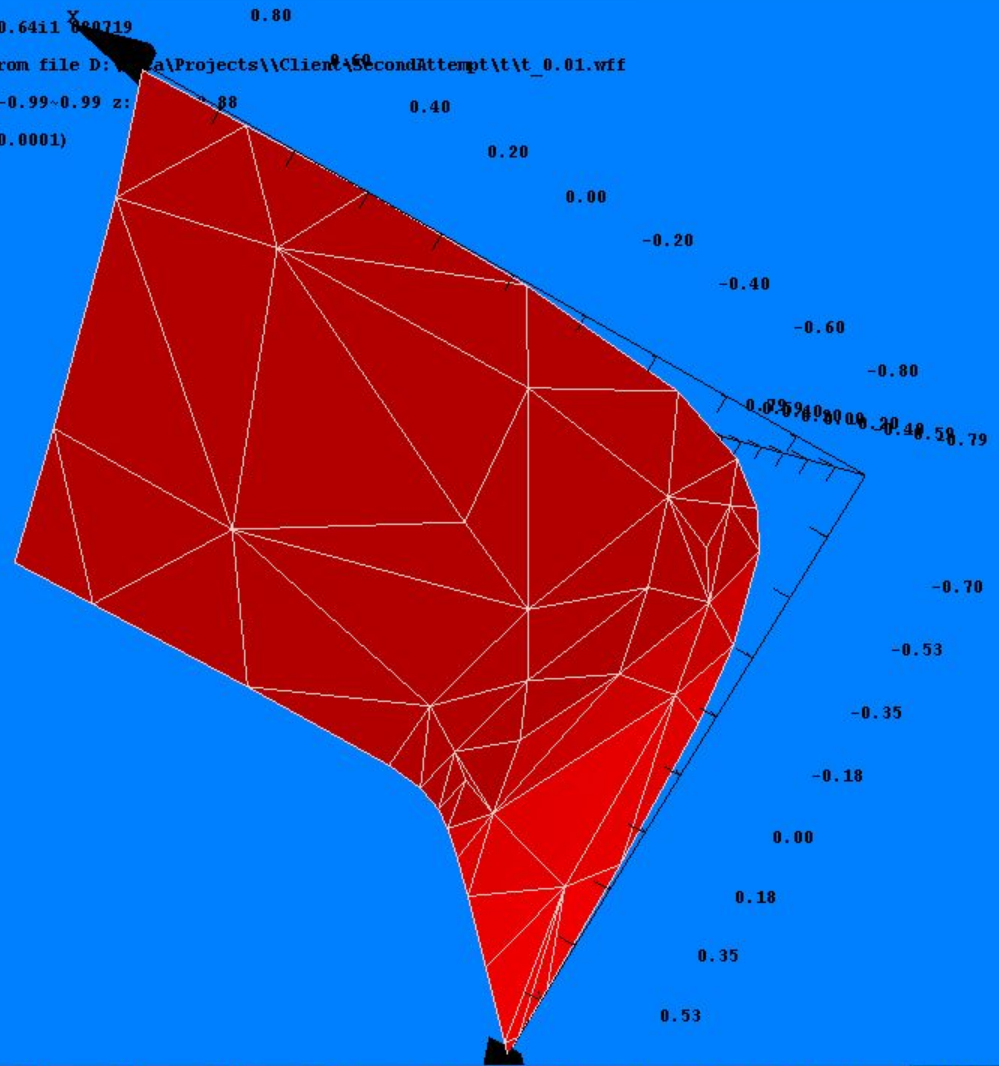


OpenGL Engine v0.6411 0.80719
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.001.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)





OpenGL Engine v0.6411 0.80719
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.01.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)

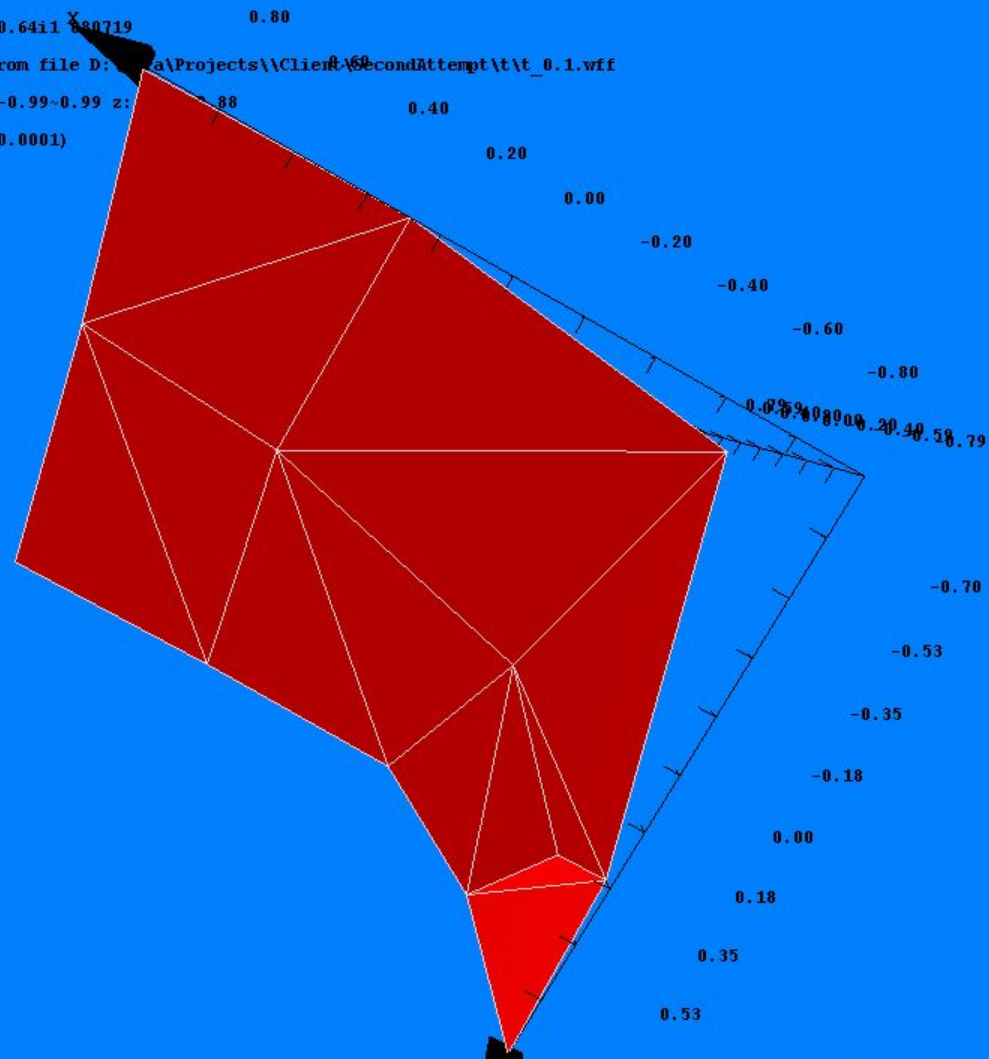




```

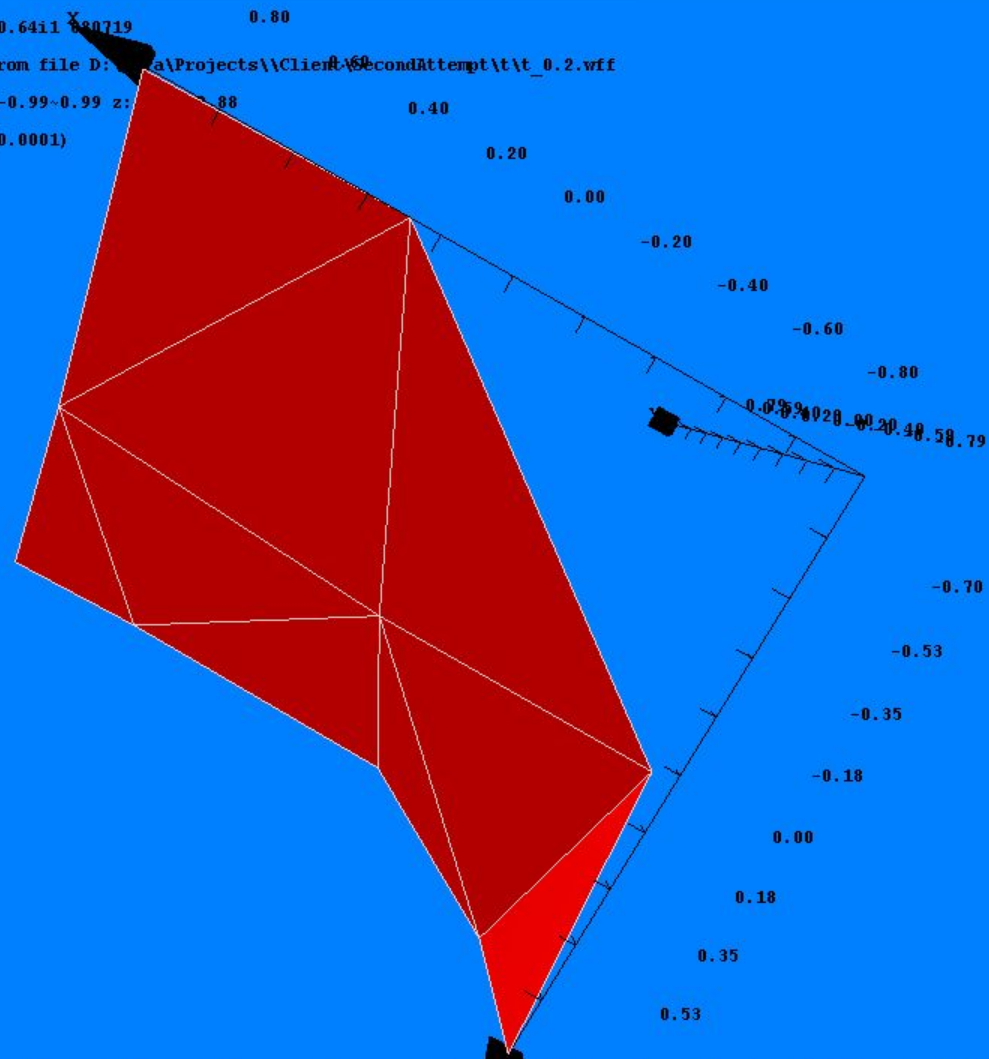
OpenGL Engine v0.6411 0.80719
# Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.1.vff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z:
f0=-0.3 Coarse(0.0001)

```



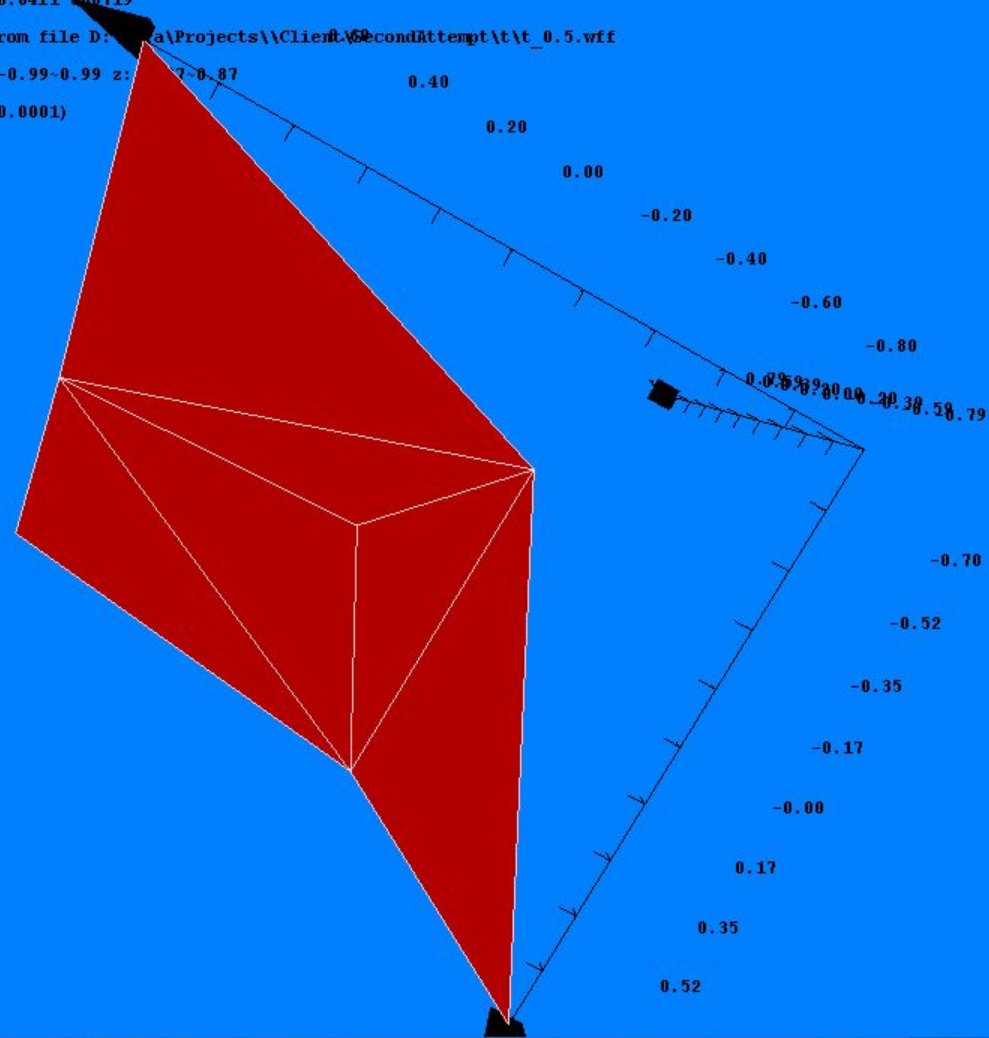


OpenGL Engine v0.6411 380719 0.80
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.2.vff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



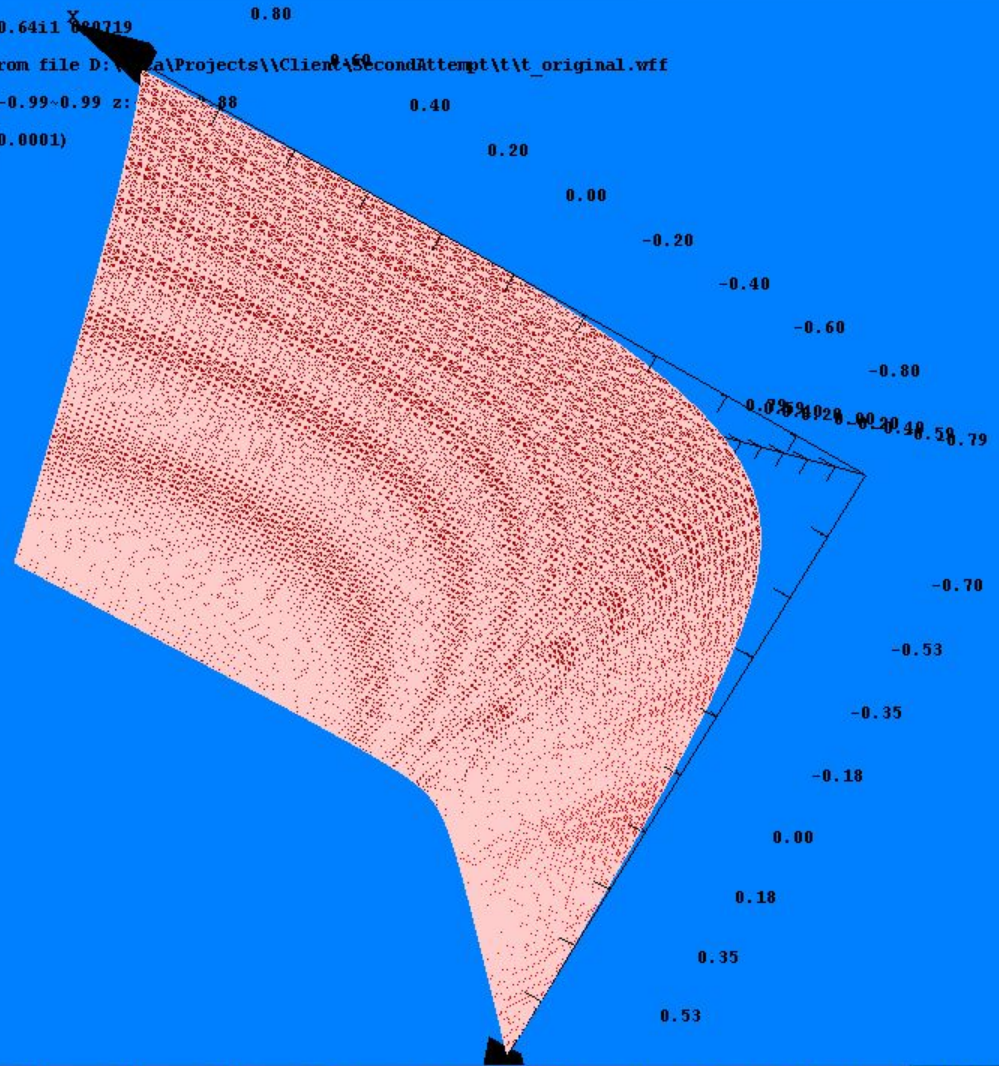


OpenGL Engine v0.6411 X:80719 0.80
Data loaded from file D:\a\Projects\Client\SecondAttempt\t\t_0.5.vff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 7.0.87 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



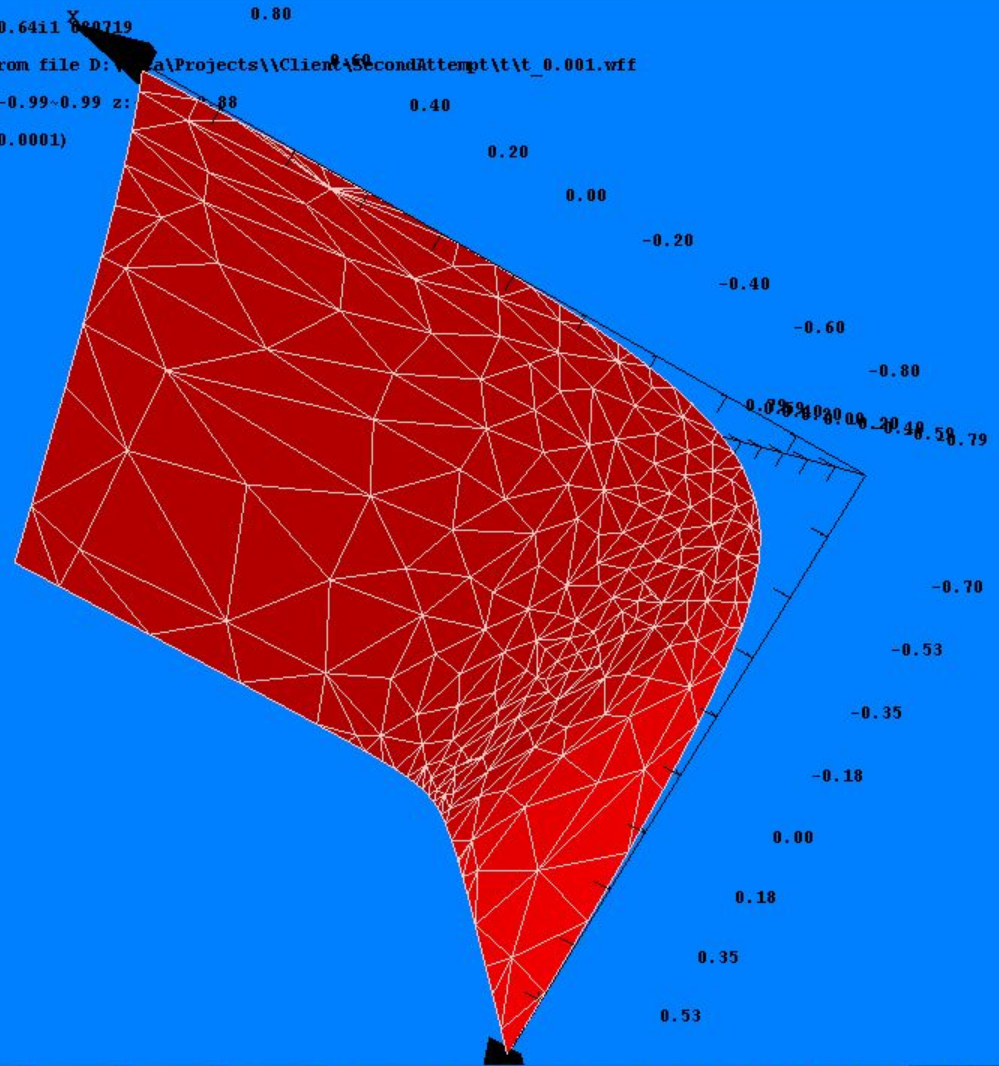


OpenGL Engine v0.6411 0.80719
Data loaded from file D:\...a\Projects\Client\5\secondAttempt\t\t_original.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)

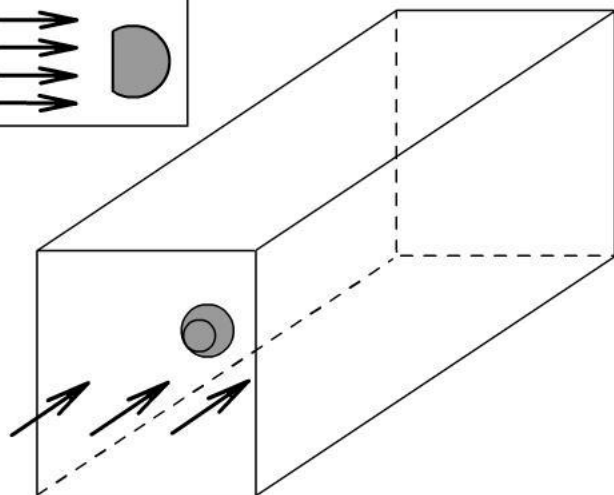
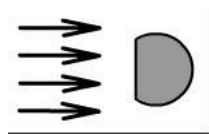
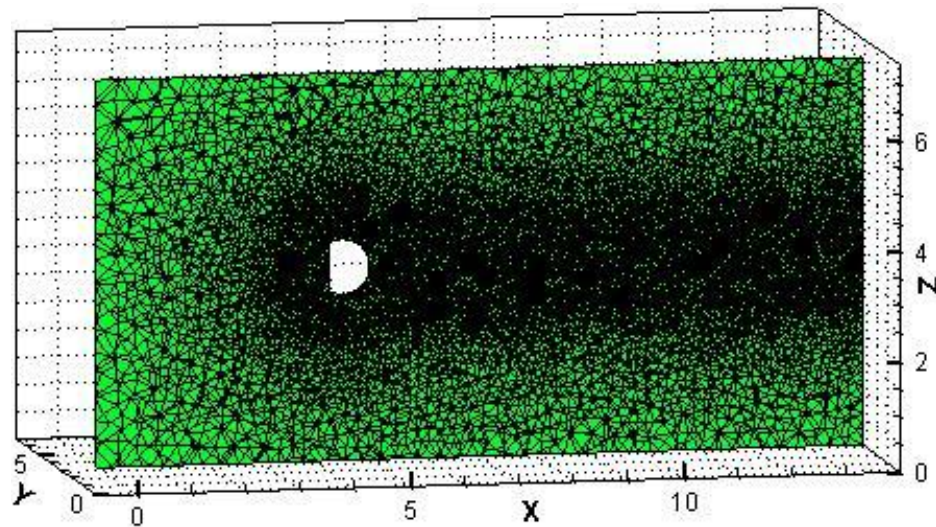
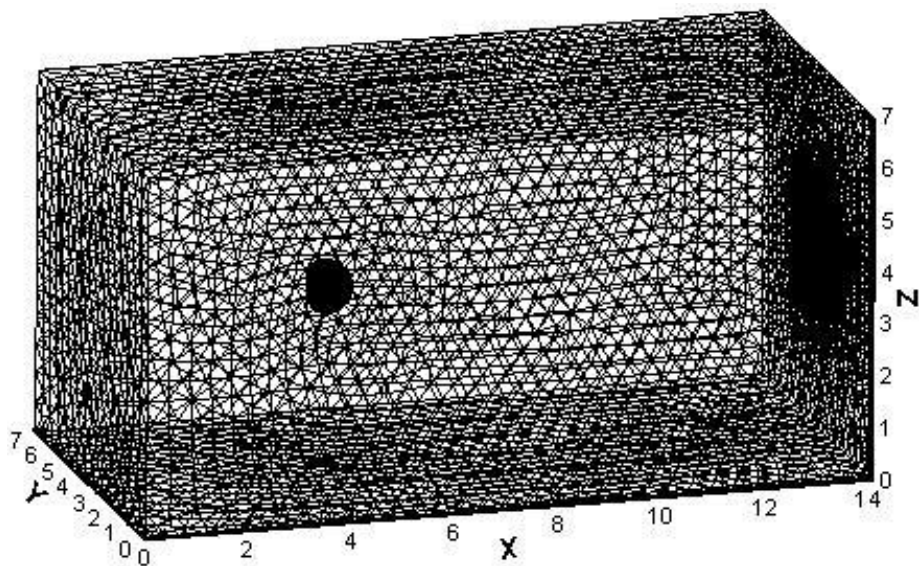




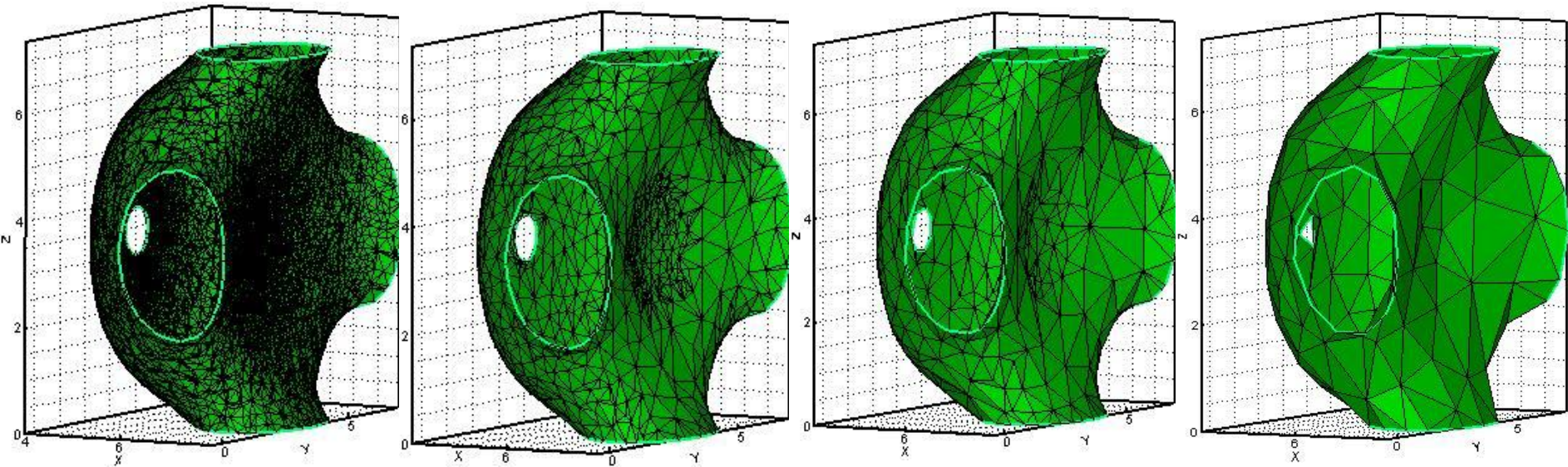
OpenGL Engine v0.6411 0.80719
Data loaded from file D:\...a\Projects\...Client\...SecondAttempt\...t_0.001.wff
x:-1.00-1.00 y:-0.99-0.99 z: 0.88 0.40
f0=-0.3 Coarse(0.0001)



Расчетная сетка

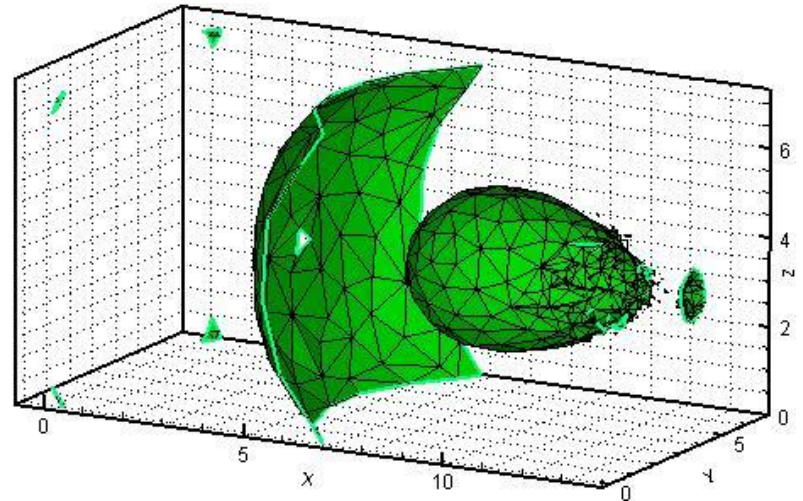
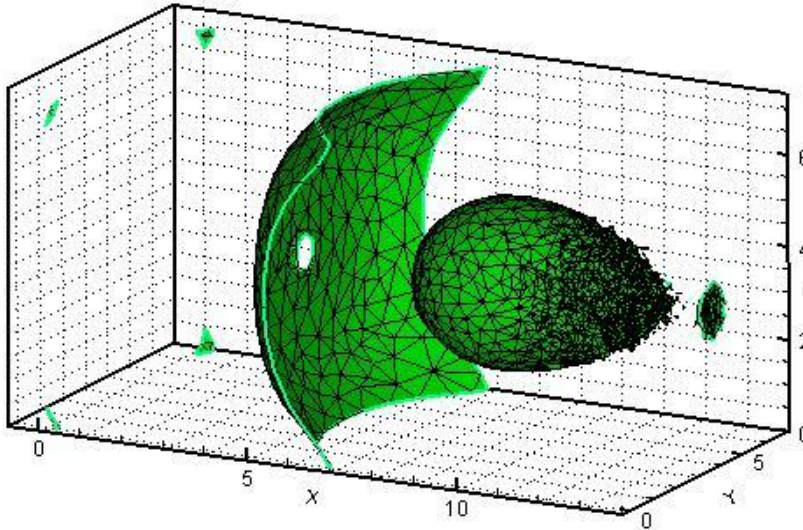
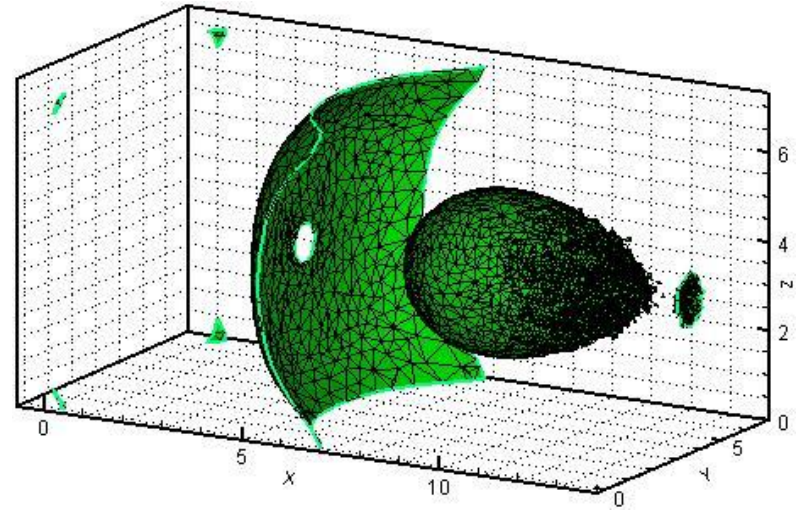
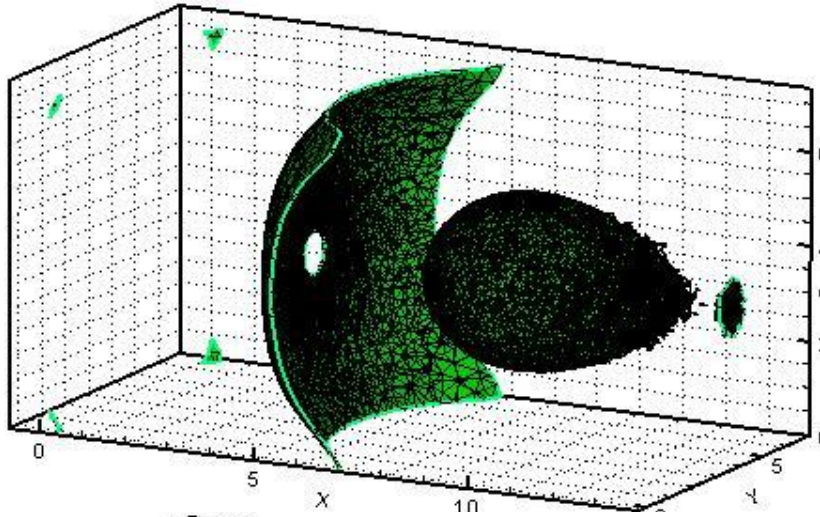


Огрубление поверхностей

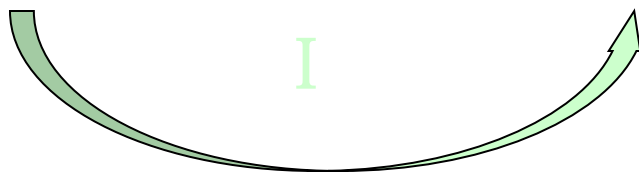
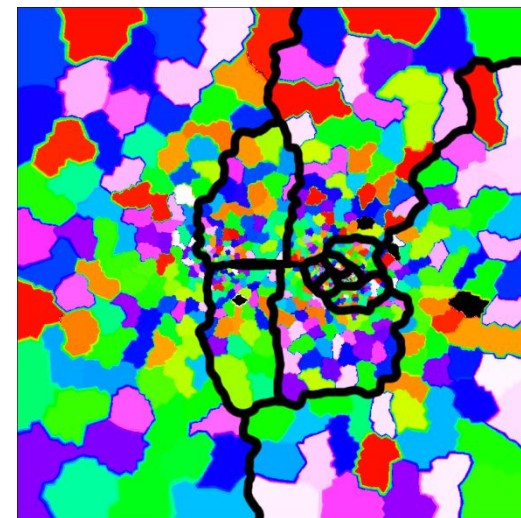
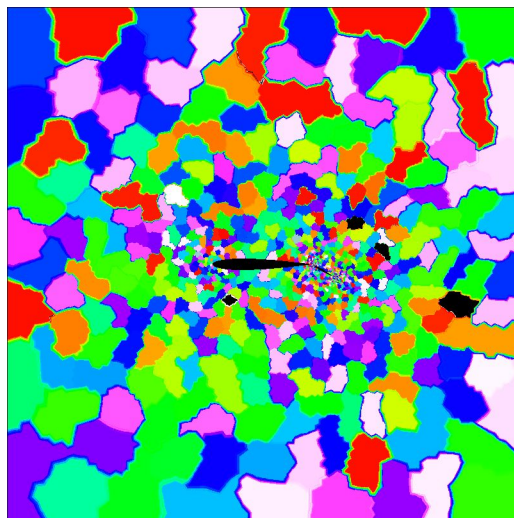
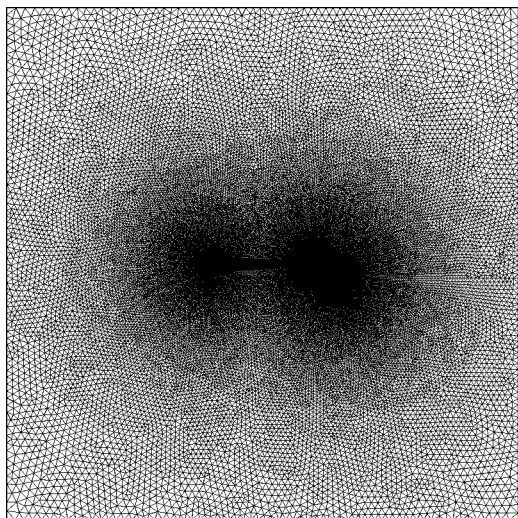


Ошибка	Количество точек	Количество треугольников	Коэффициент сжатия
0%	13800	27357	-
0,1%	1120	2117	12,9
0,2%	447	808	33,9
0,5%	175	304	90,0

Огрубление поверхностей



Двухуровневое разбиение



Сетка предварительно
разбивается на большое число
микродоменов,
образующих *макрограф*

Вершины макрографа
распределяются по
процессорам

Потоковая обработка

40 процессоров, полное чтение файла

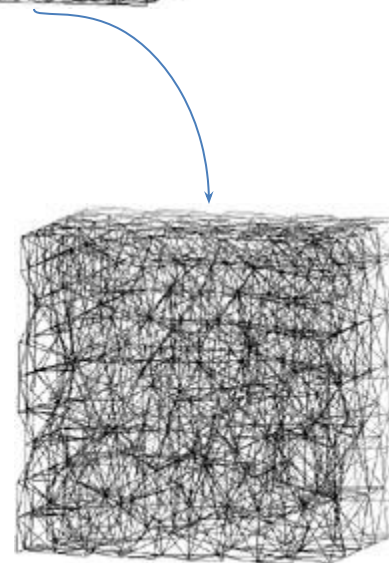
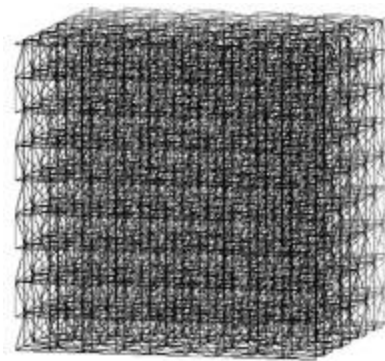
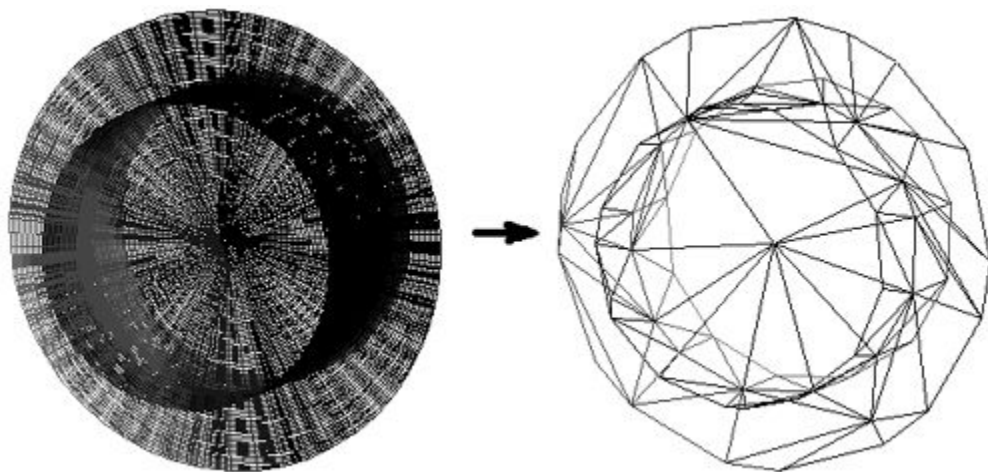
Кол-во исходных точек	Время чтения файлов данных, мин:сек	Общее время работы, мин:сек	Кол-во полученных точек
100 млн.	0:08	0:13	1 681
252 млн.	4:38	36:51	3 010
512 млн.	32:07	Не хватило памяти	-
1000 млн.	56:54	Не хватило памяти	-

40 процессоров, чтение фрагментов файла

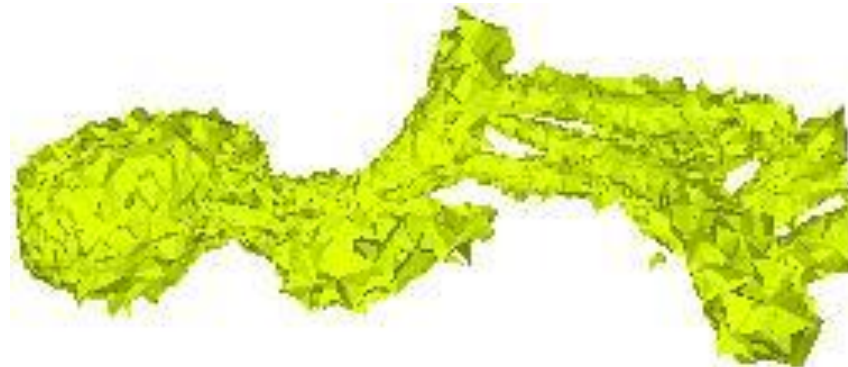
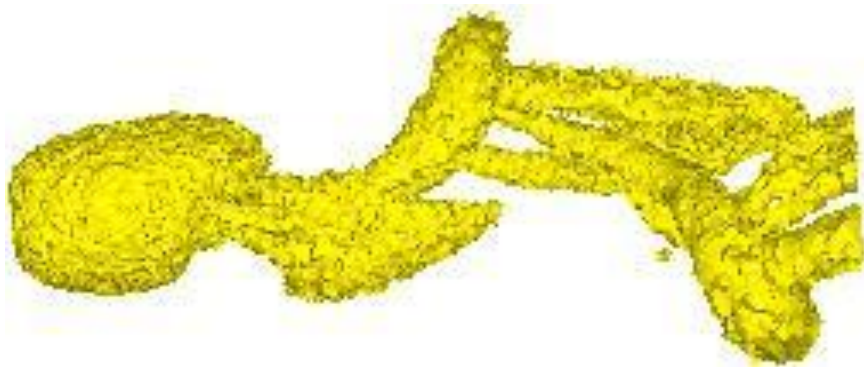
Кол-во исходных точек регулярной сетки	Число фрагментов, на которые разбивался каждый файл	Общее время работы, мин:сек	Кол-во полученных точек изоповерхности
252 млн.	1	24:51	2 997
252 млн.	8	4:20	5 891
252 млн.	64	0:14	11 198
512 млн.	8	41:40	7 996
512 млн.	27	0:25	10 997
512 млн.	64	0:26	14 026
1000 млн.	64 - 56:54	83:25	19 534
1000 млн.	27	0:45	16 171
1000 млн.	8	2:34	13 218

Изоповерхности

Ошибка аппроксимации 5%



Огрубление 3D-данных



Точность	Кол-во точек	Кол-во тетр-в	Коэфф. сжатия	Время сжатия, с
0%	117 075	690 176	-	-
0,1%	71 056	438 025	1,58	122
0,2%	49 129	308 657	2,24	135
0,5%	26 562	168 293	4,10	158
1%	17 329	108 958	6,33	164
2%	12 237	76 104	9,07	170

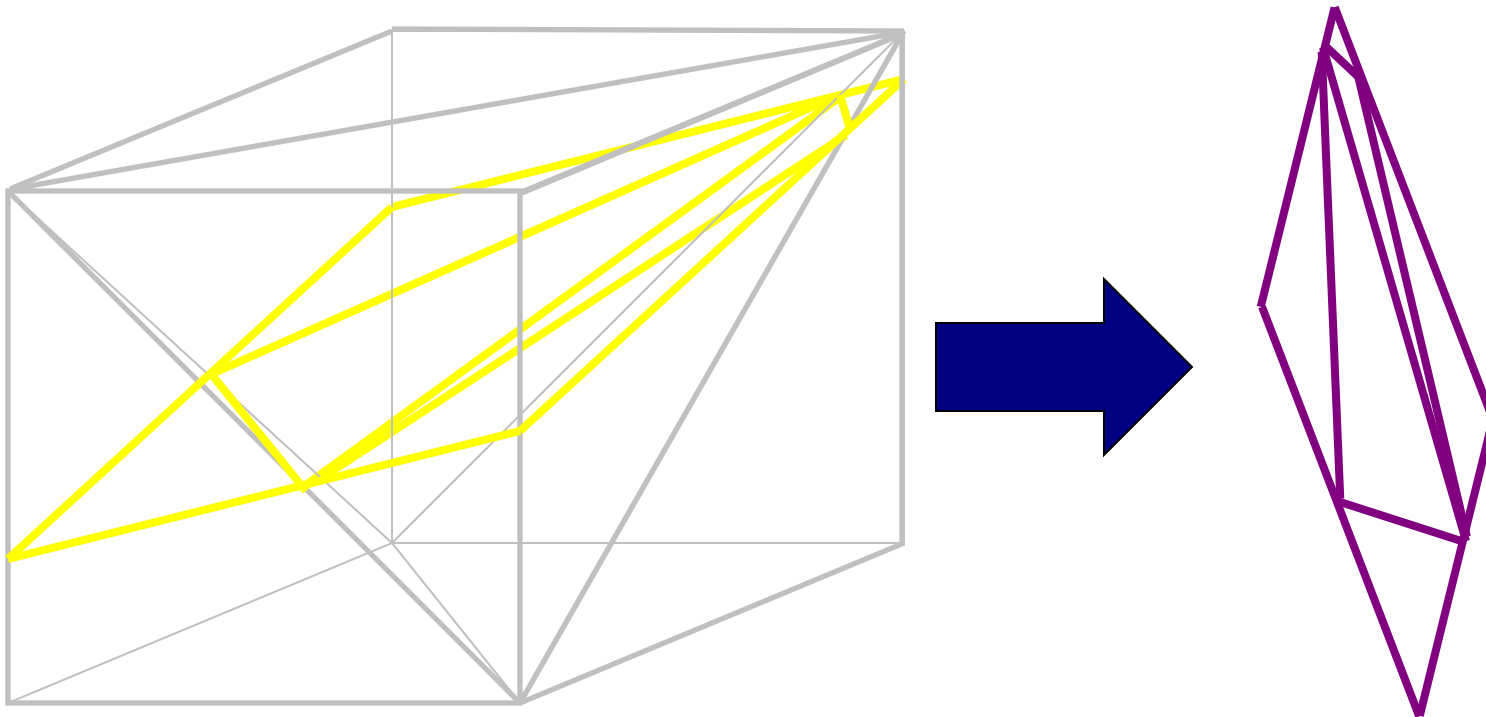
Огрубление 3D-данных



Точность	Кол-во точек	Кол-во тетр-в	Коэфф. сжатия	Время сжатия, с
0%	7 397 060	44 171 264	-	-
0.1%	997 156	6 585 761	6,71	290
0.2%	625 410	4 132 691	10,7	242
0.5%	453 981	2 988 355	14,8	235
1%	418 145	2 751 040	16,1	223

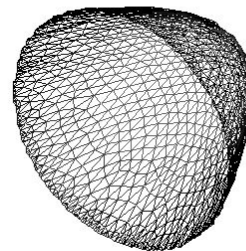
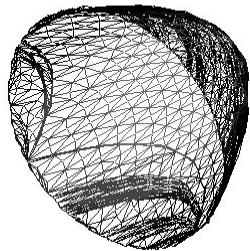
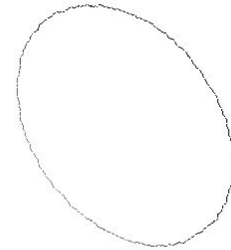
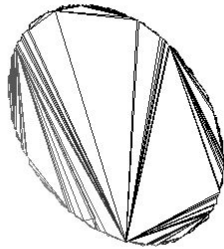
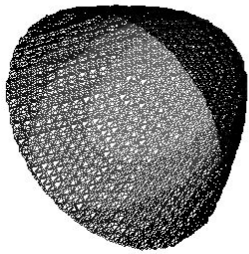
Сечение регулярной 3D сетки плоскостью

- В результате сечения регулярной кубической решетки получается фрагмент неструктурированной сетки



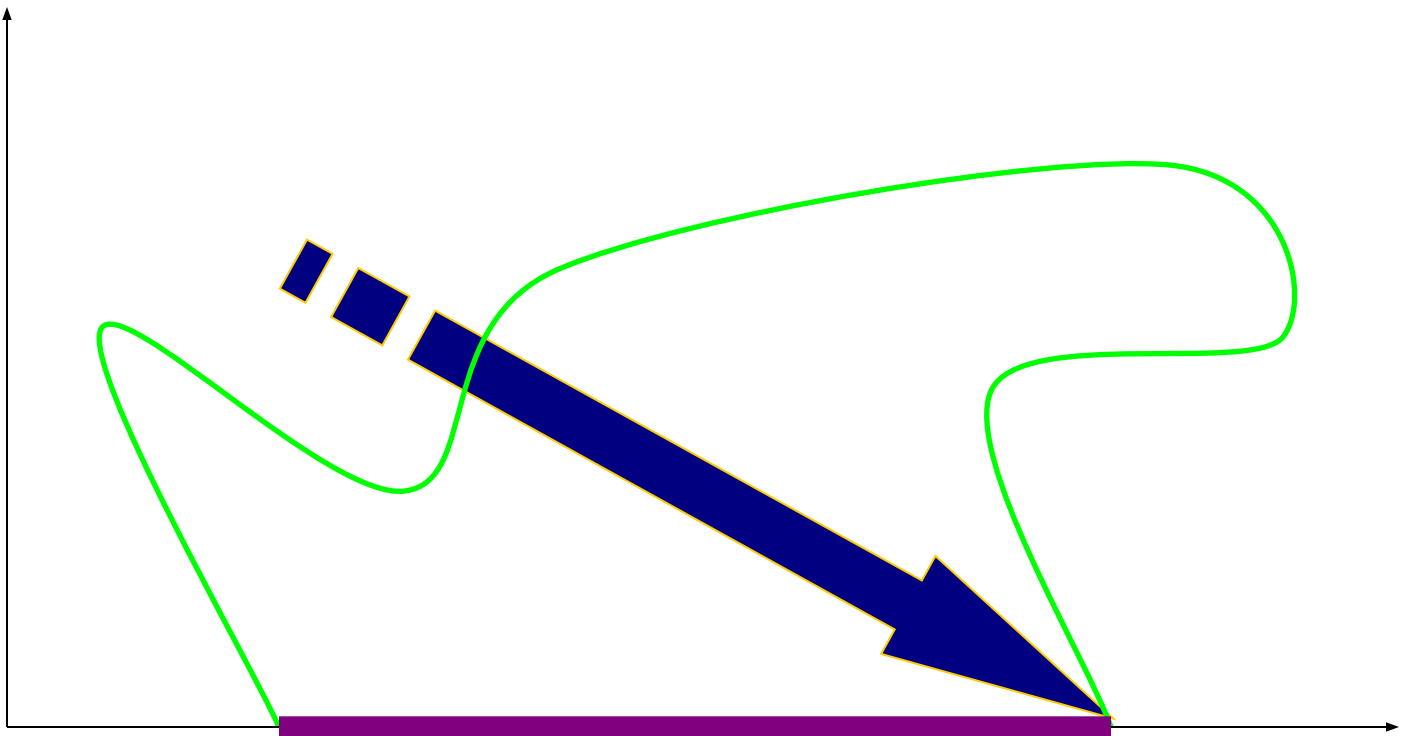
Аппроксимация триангулированных поверхностей

- Алгоритмы синтеза

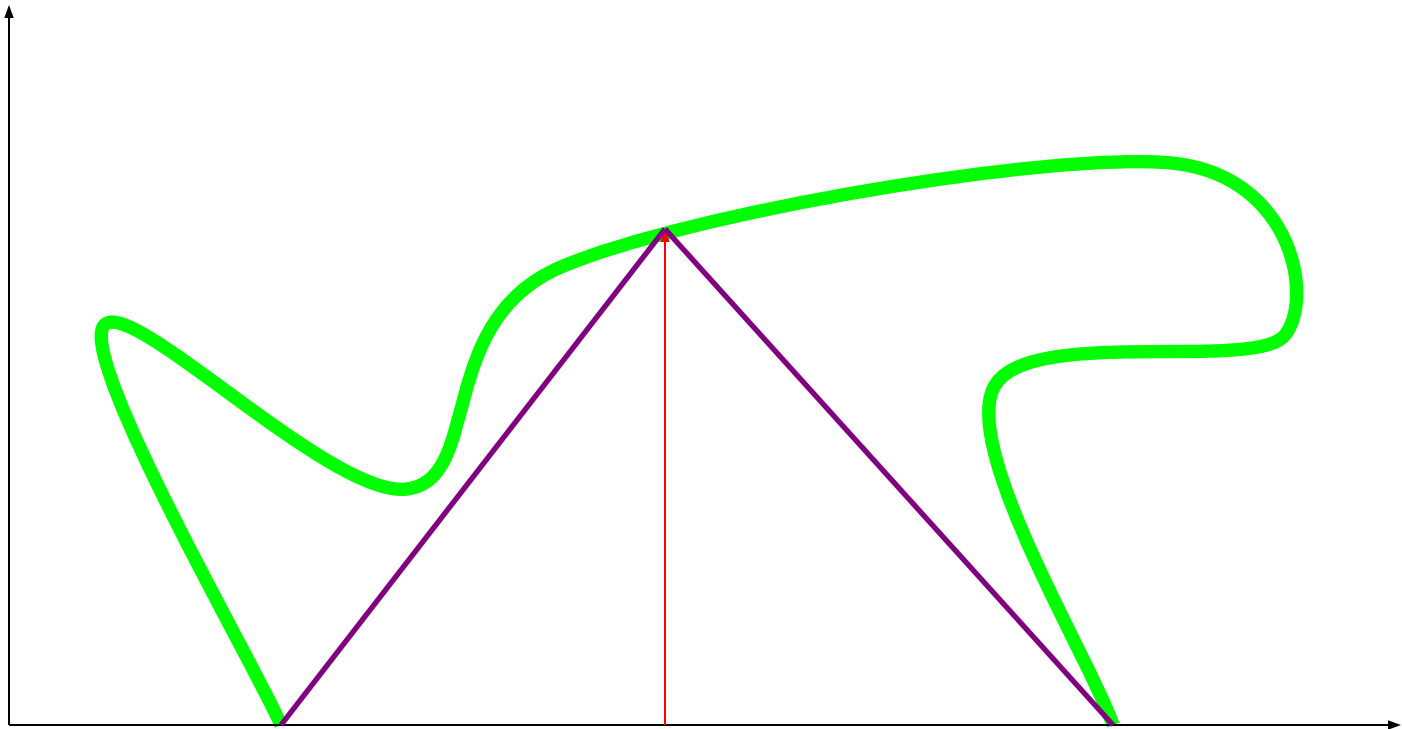


- Алгоритмы редуцирования

Начальная аппроксимация кривой

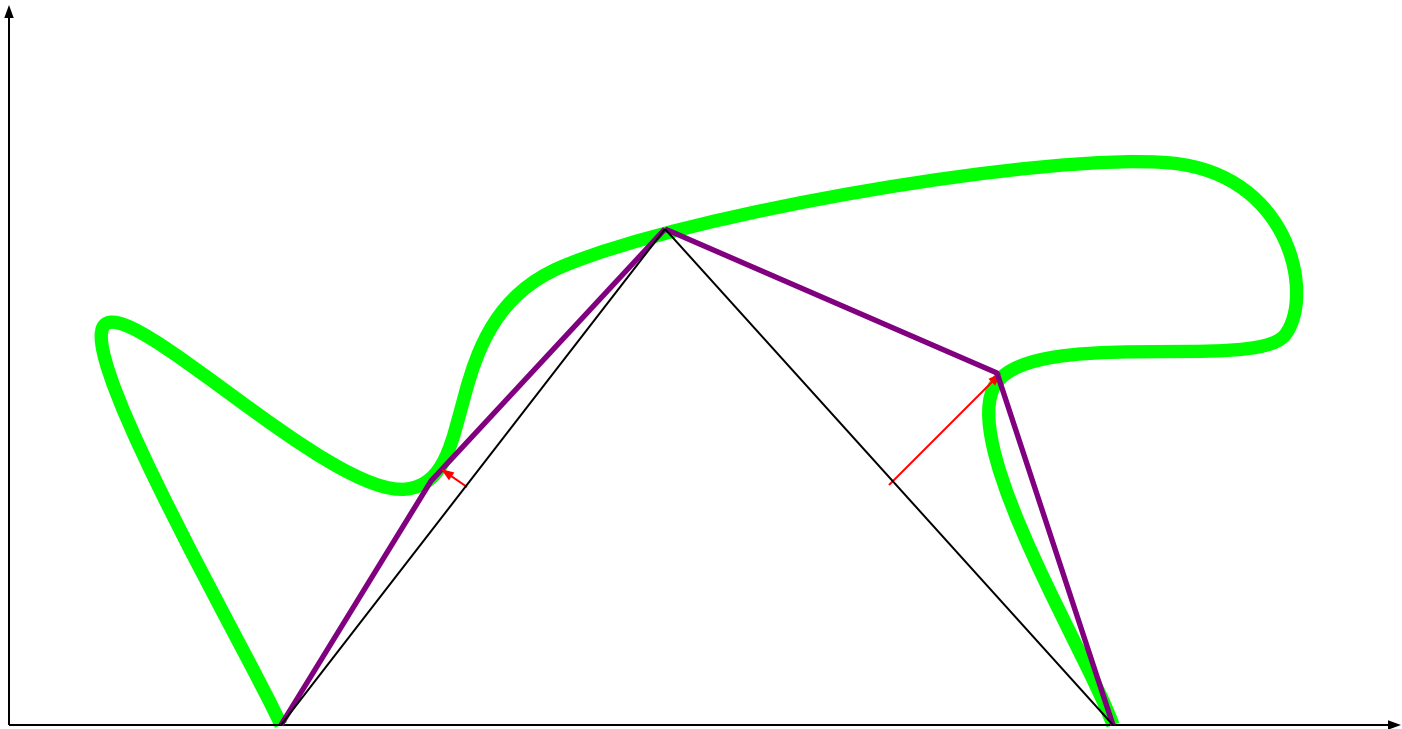


Аппроксимация кривой этап 2



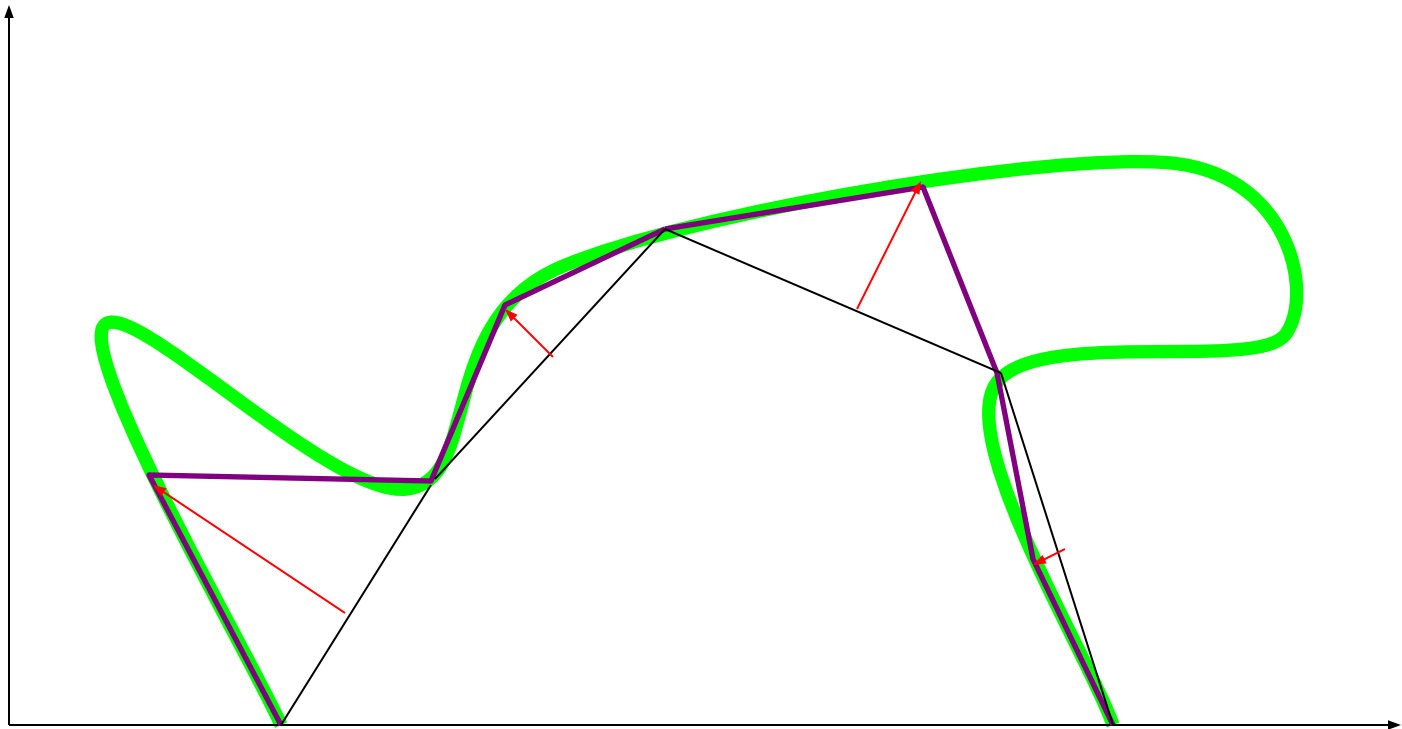
1 вектор

Аппроксимация кривой этап 3



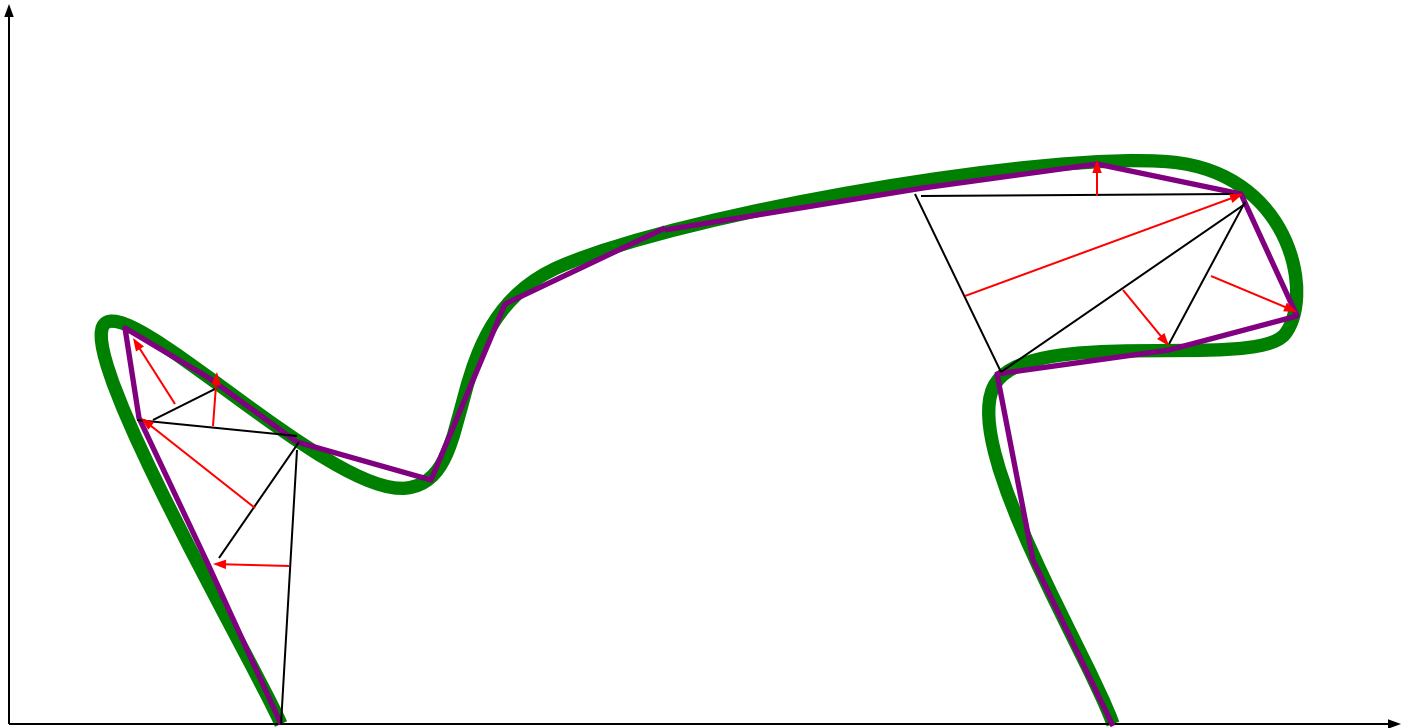
3 вектора

Аппроксимация кривой этап 4



7 векторов

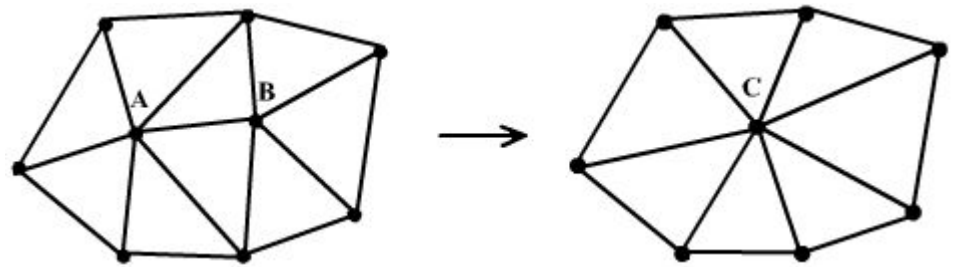
Аппроксимация кривой этап 5



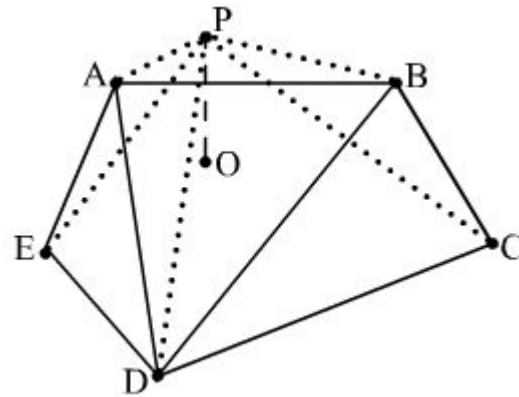
15 векторов

Методы редуцирования

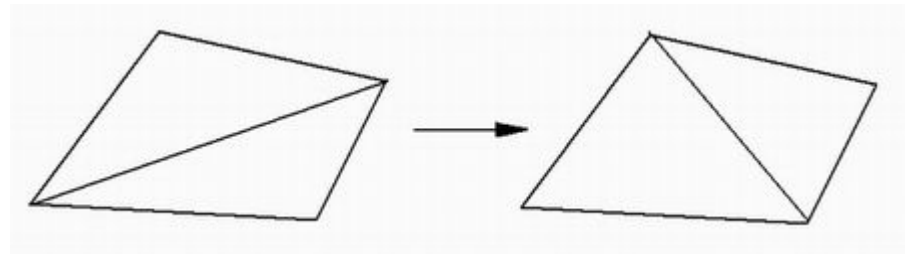
Удаление ребра



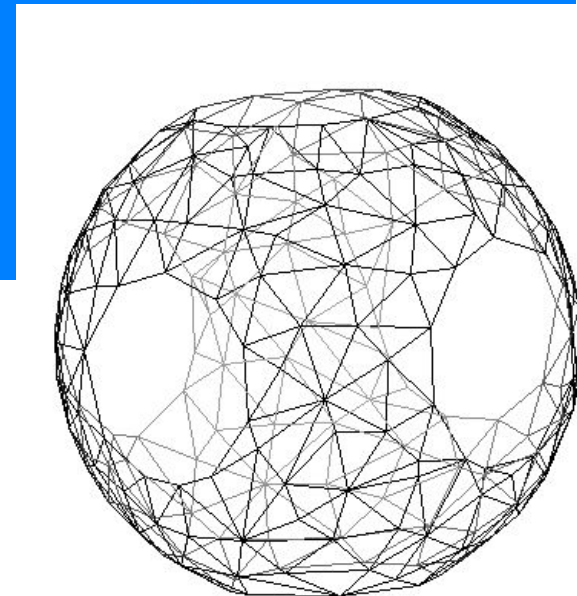
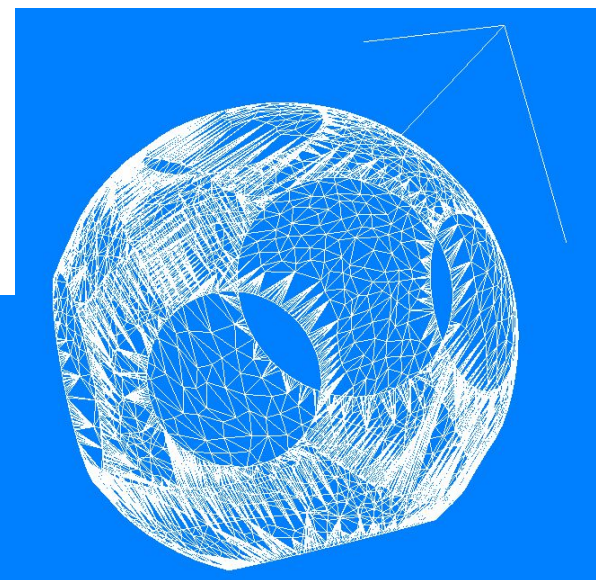
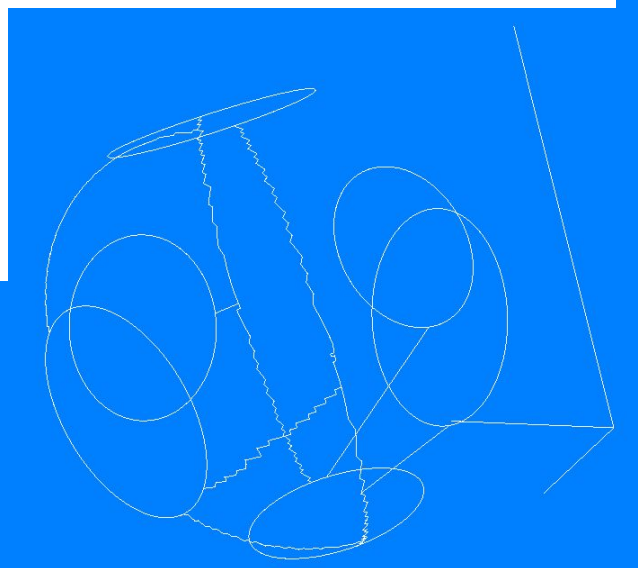
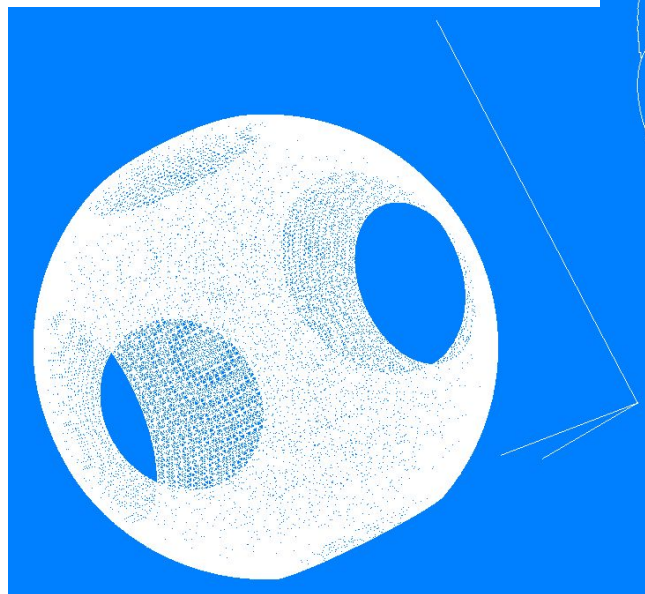
Удаление точки



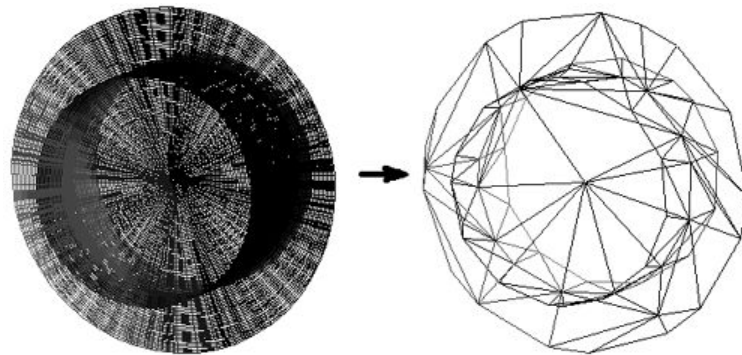
Уточнение топологии



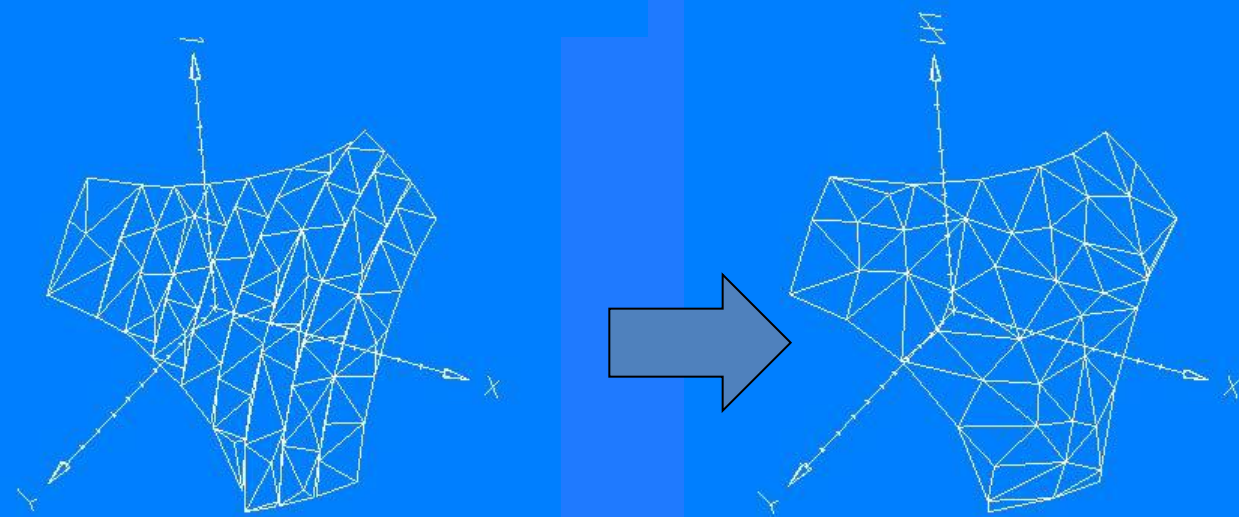
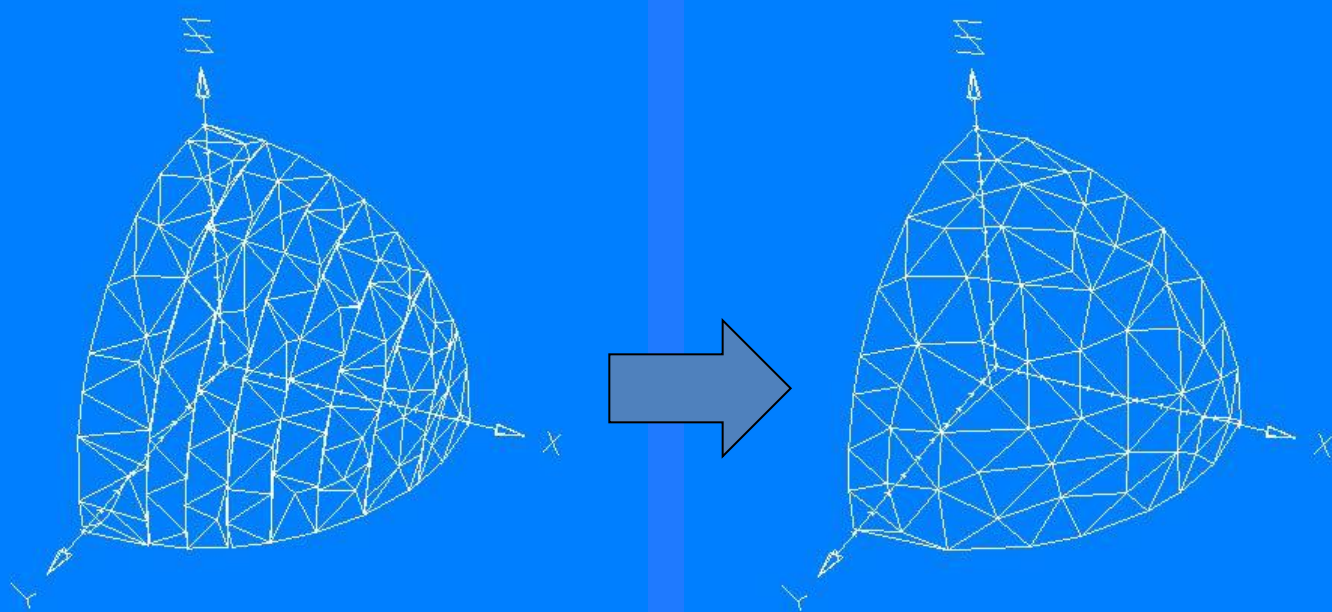
Аппроксимация изоповерхностей



Плоскость, пересекающая цилиндр

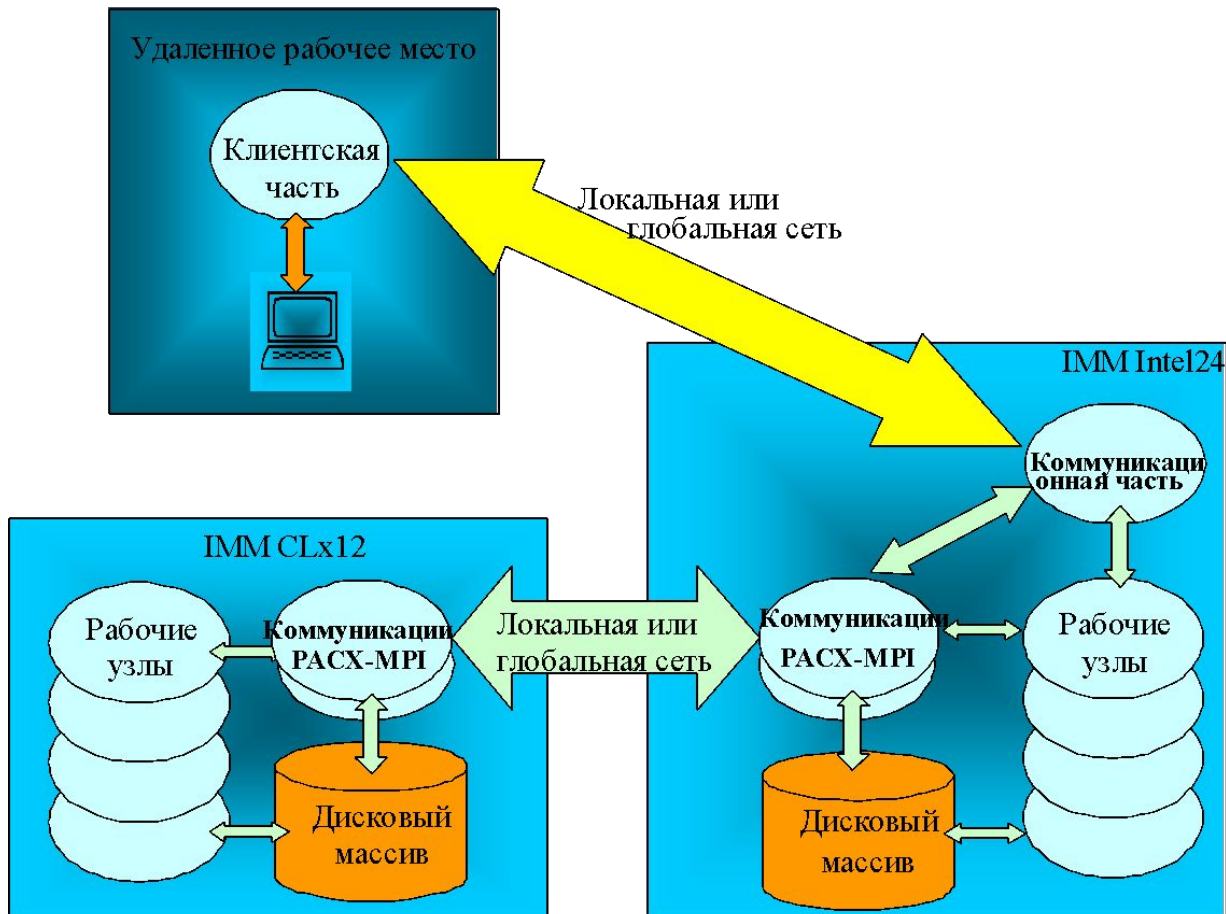


Ошибка аппроксимации 5%

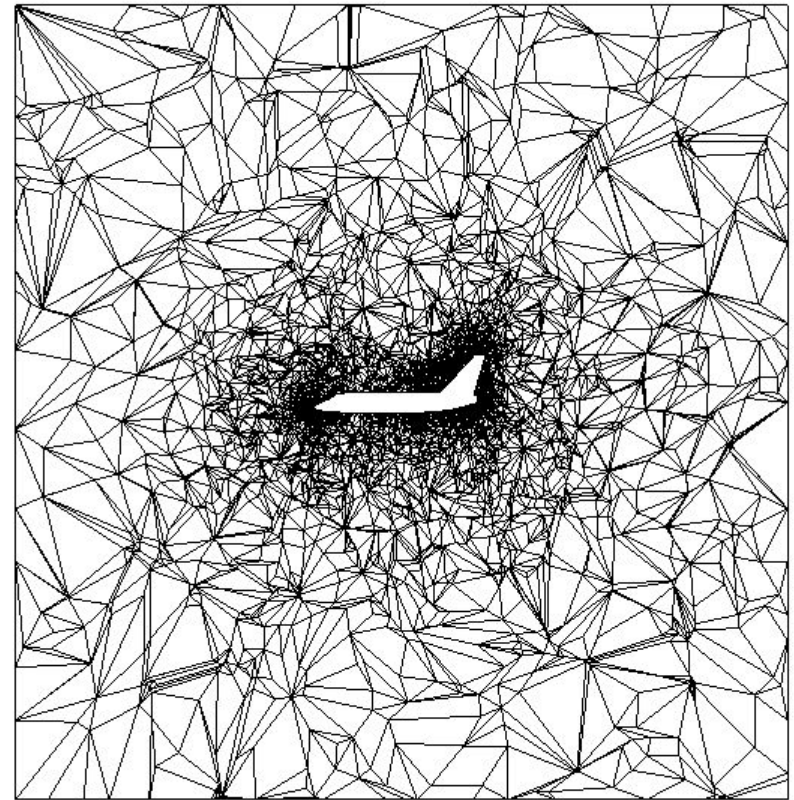
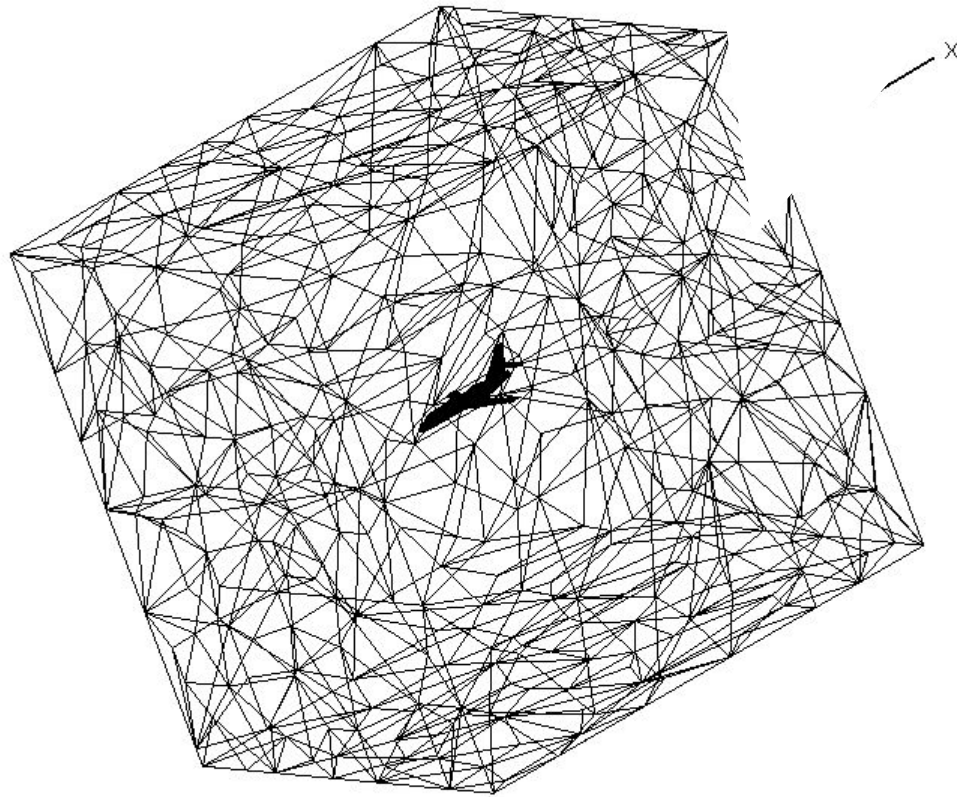


Многоуровневое огрубление больших сеток

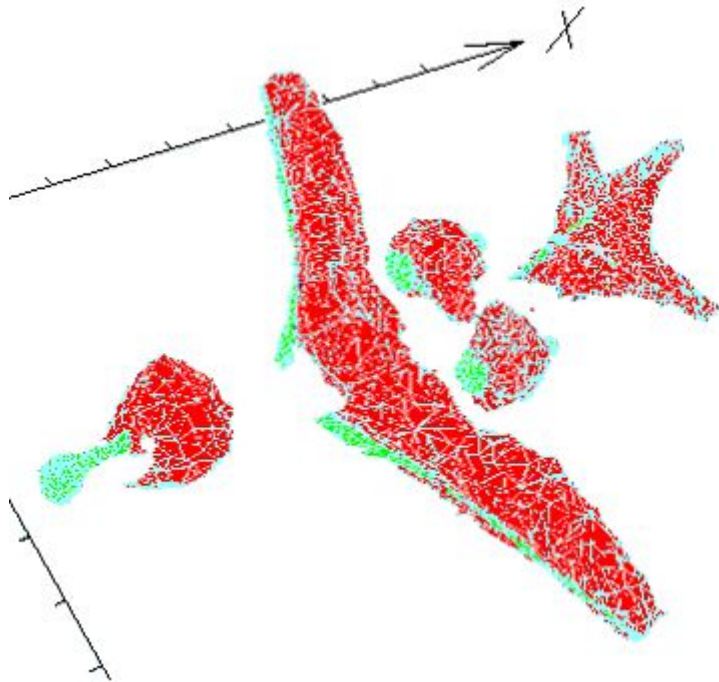
Распределенная визуализация



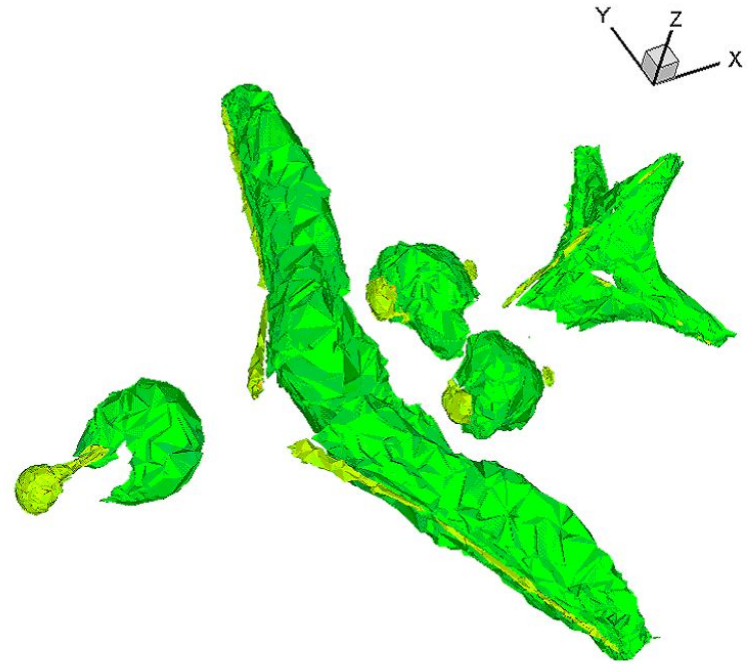
Моделирование течения вокруг летательного аппарата



Изоповерхности поля плотности

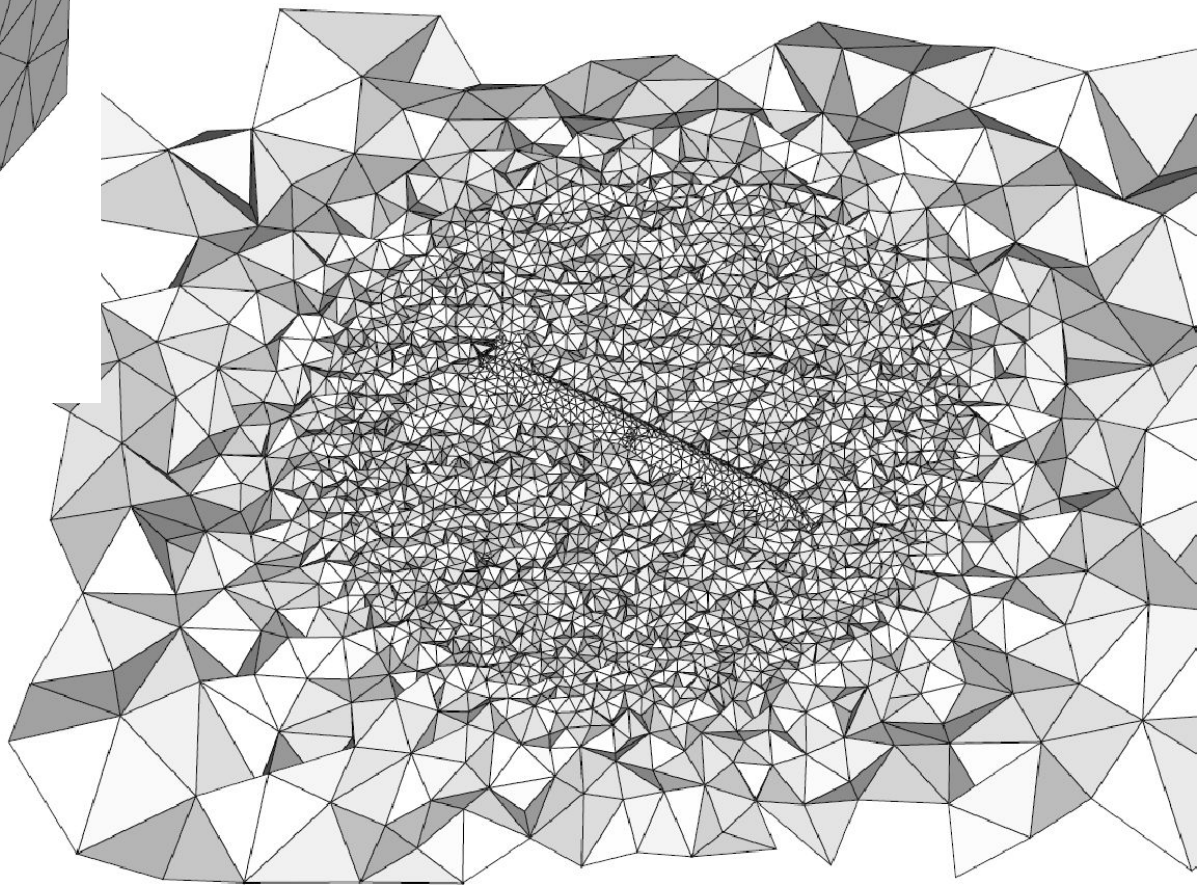
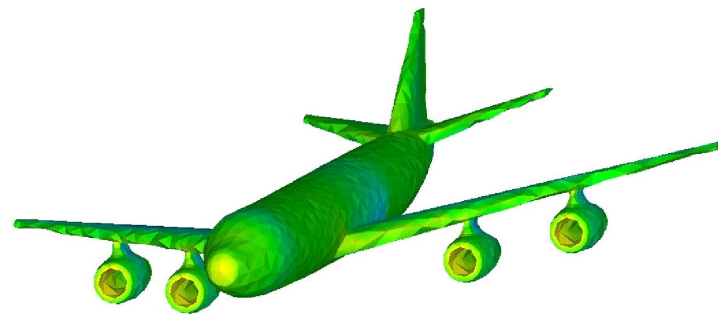
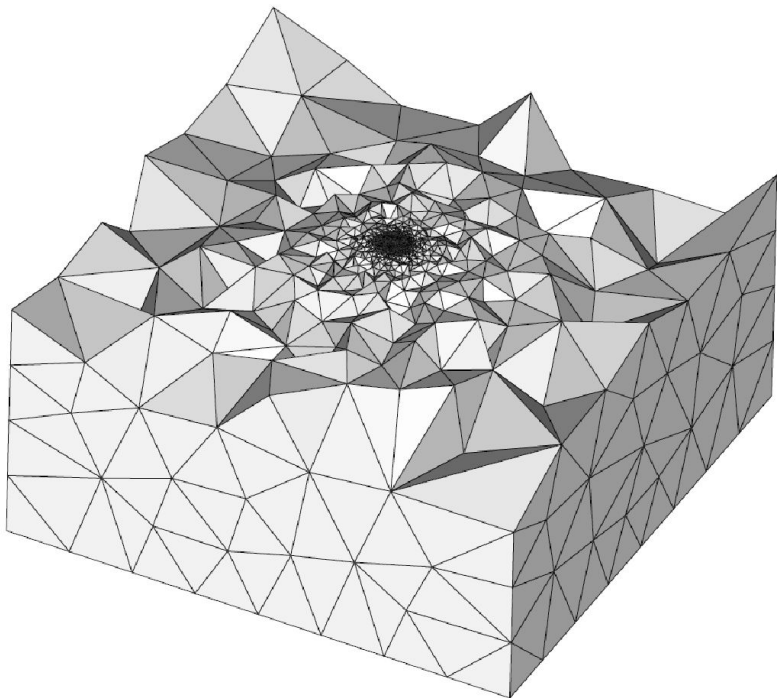


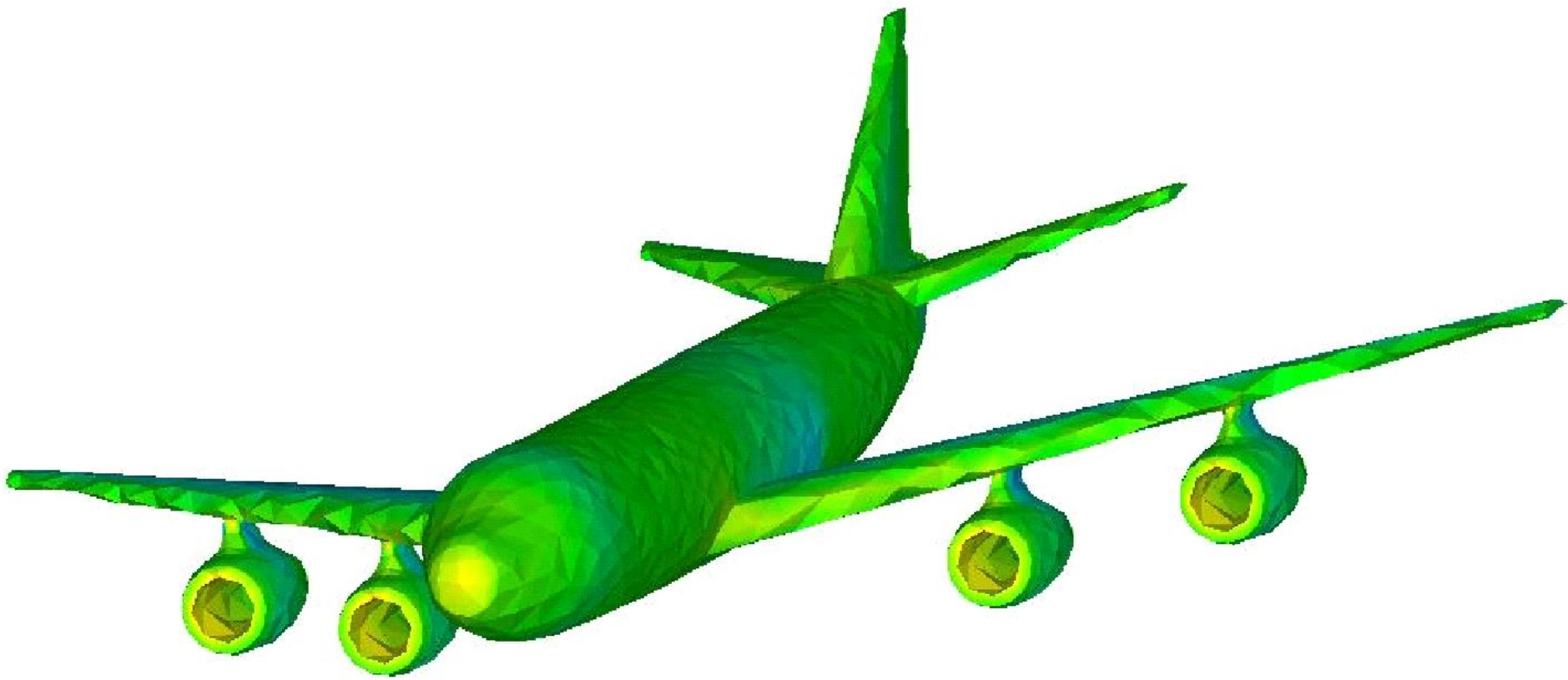
R_{emote} *Viewer*



Tecplot

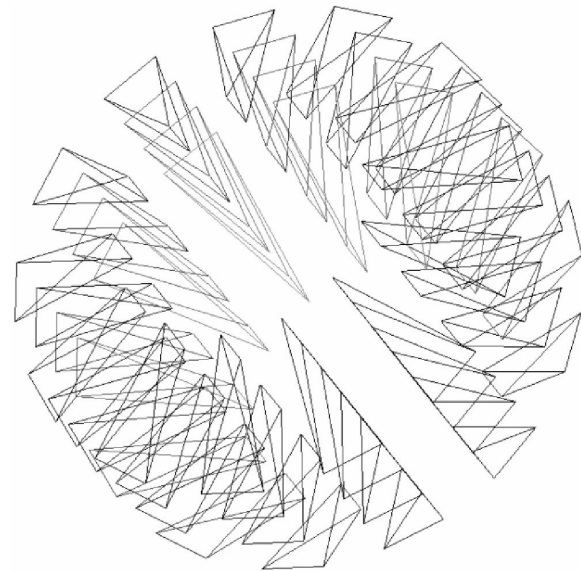
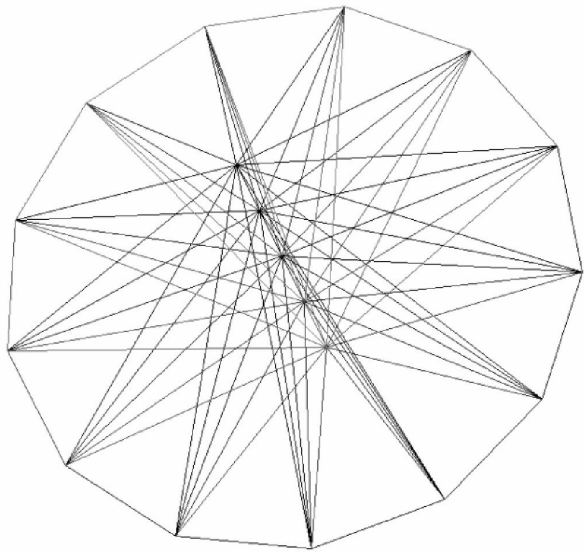
Тетраэдральные сетки 10^8 узлов





Заполнение пространства пирамидами

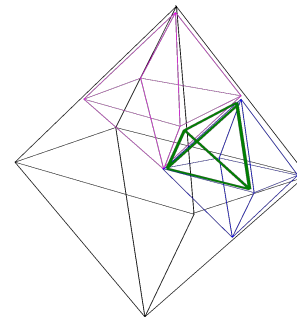
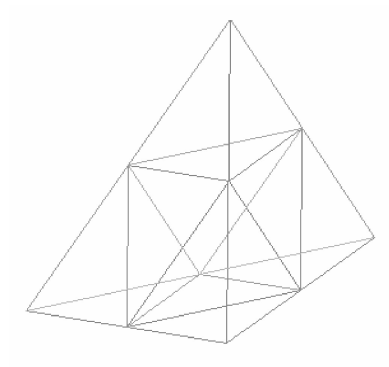
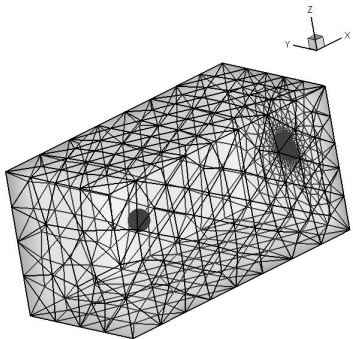
- На каждую из $2n$ точек в среднем опирается $2n$ пирамид
- Число пирамид $\sim n^2$



Зависимость объема хранимых данных от числа микродоменов

Число микродоменов	1	50	1000	1500	2000	2500	3000
Размер описания (МБ)	124	127	145	152	158	163	168

38 350 -> 2 356 196 узлов
219 034 * 8² -> 14 018 176 тетраэдров



На 35%
больше
чем 124

Нерегулярная тетраэдральная сетка

110 533 834 узлов

659 316 736 тетраэдров

2 589 184 поверхностных треугольников

Время выполнения программы на 100 процессорах МВС-15000ВМ составляет *270* секунд (с учетом записи данных на диск).

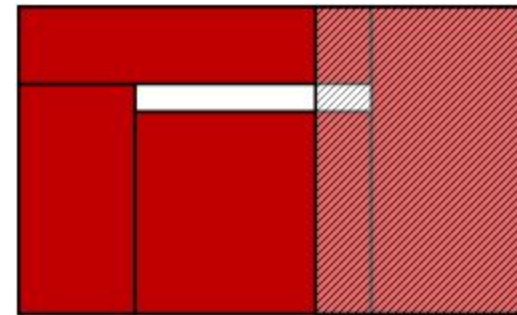
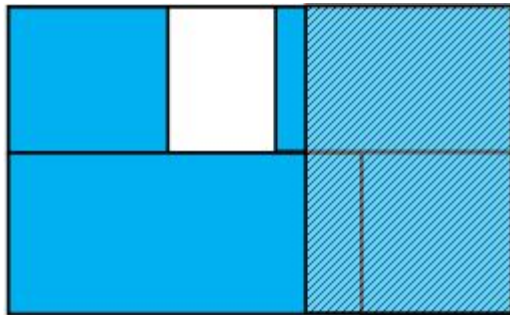
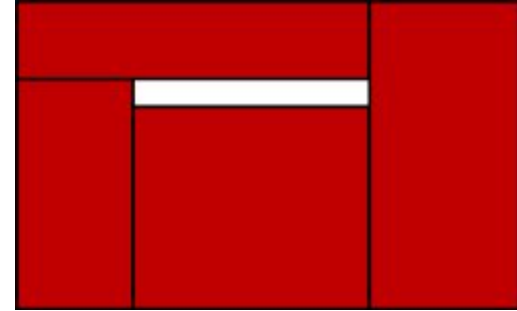
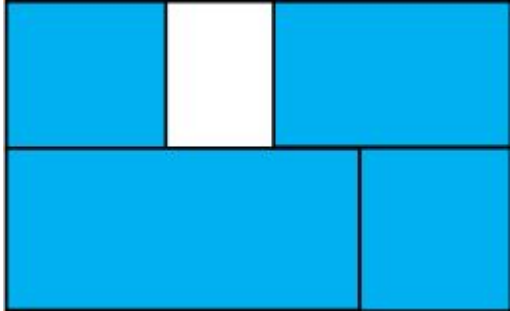
Время равномерного измельчения – 30 секунд.

Дисковое пространство *12.33* Гб

Библиотека ввода-вывода

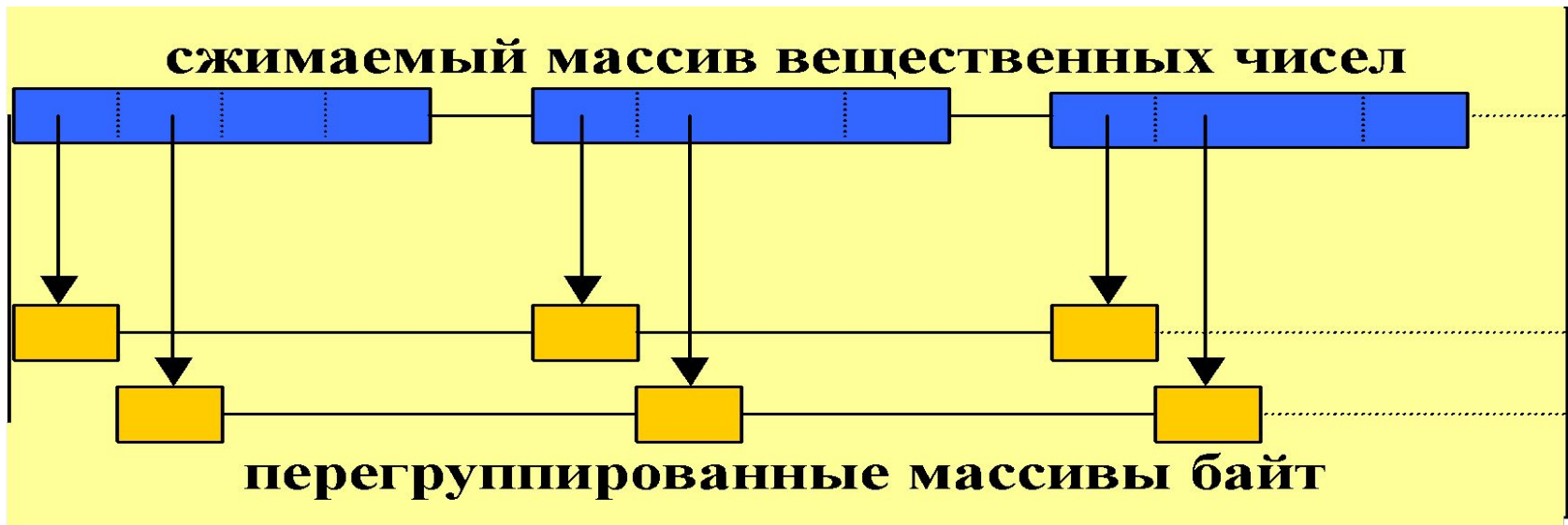
- Ввод-вывод тетраэдральных сеток
 - Хранение микродоменов
 - Хранение макрографа
- Ввод-вывод регулярных решеток
 - Хранение фрагментов сеток
 - Хранение сеточных функций

Записи двух сеточных 2d функций



Групповое сжатие вещественных чисел

Обнуление младших бит мантииссы



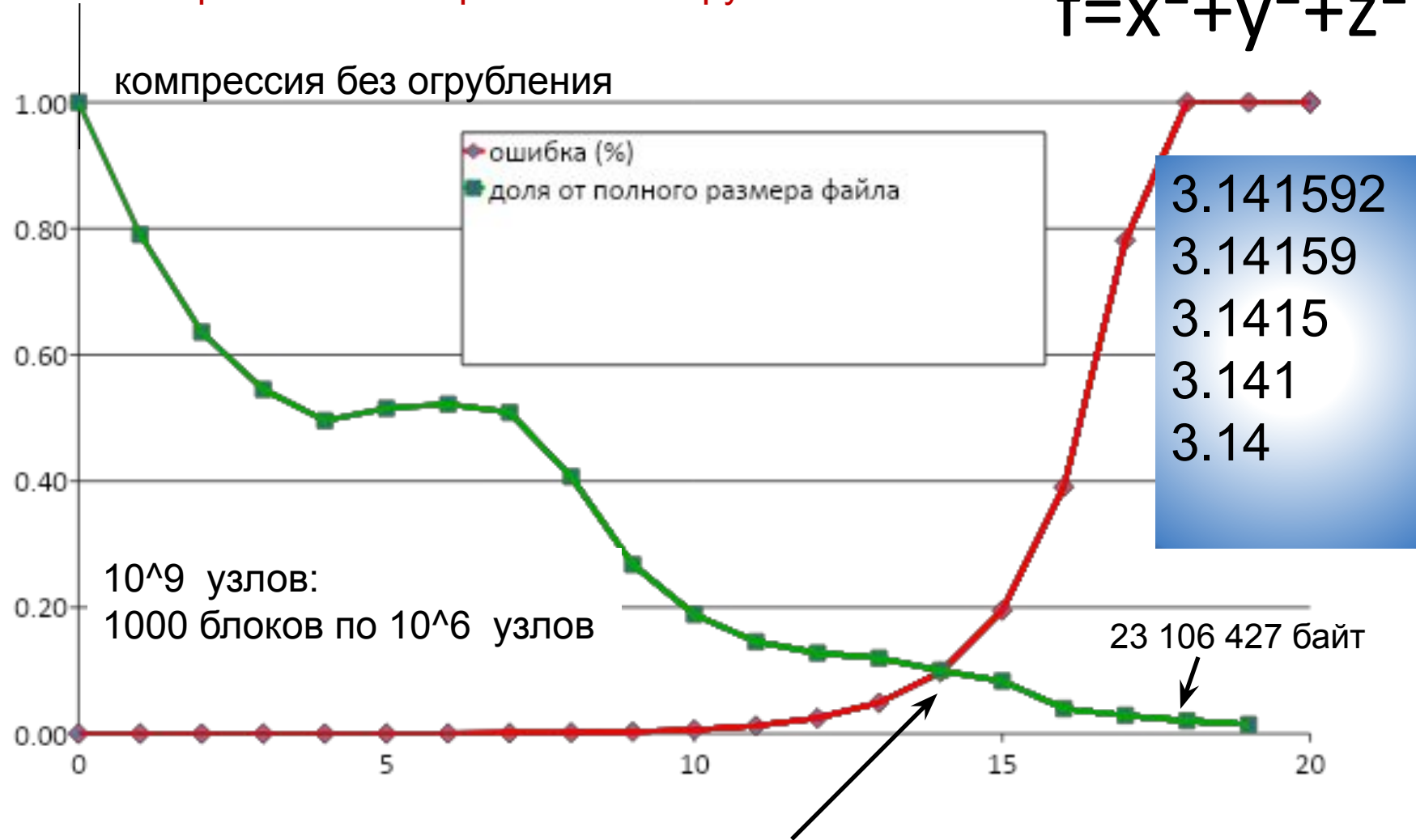
Перегруппировка байт

Сжатие байт стандартной библиотекой
zlib

Отсечение младших бит мантииссы

3.54 ■ бинарный без компрессии без округления

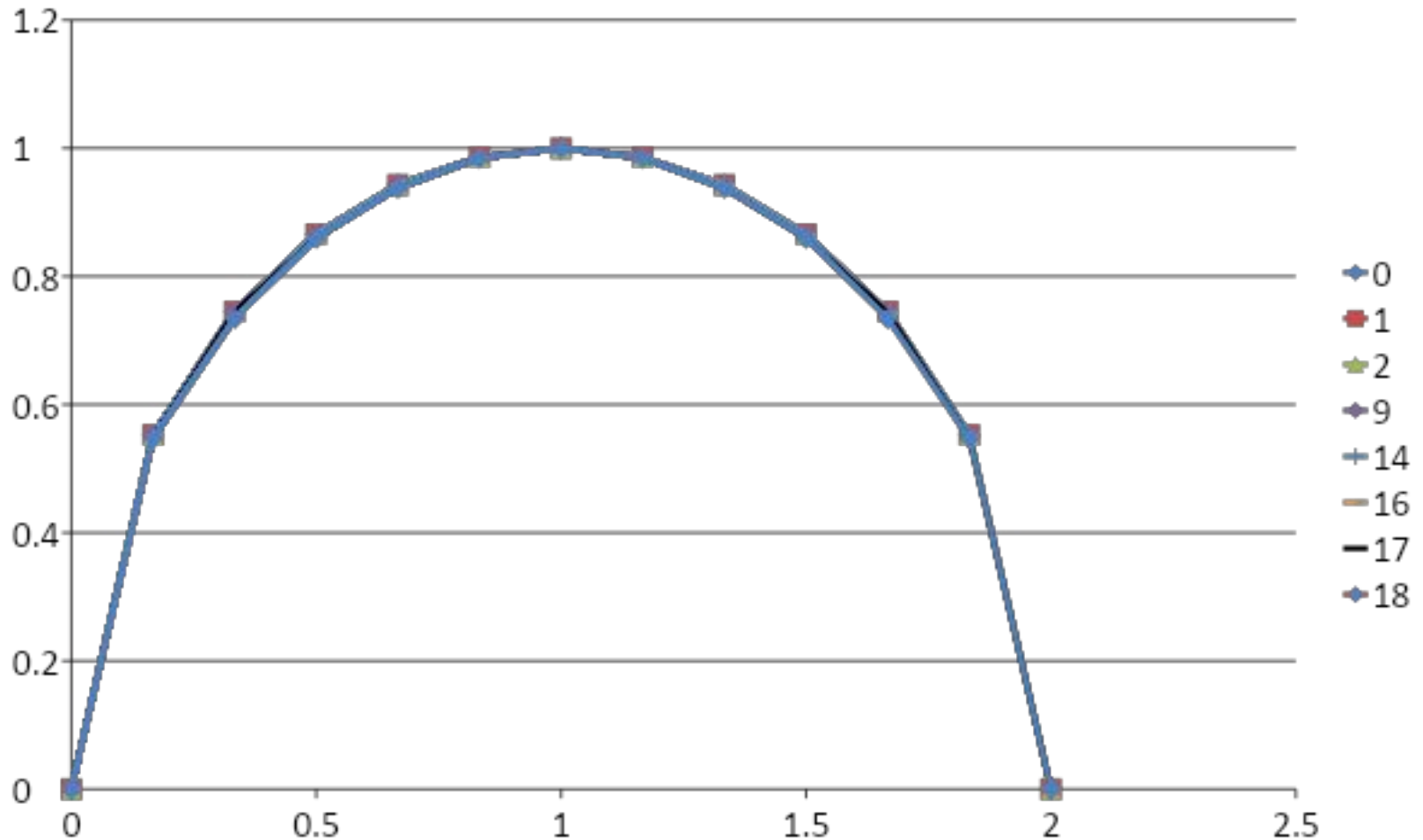
$$f=x^2+y^2+z^2$$



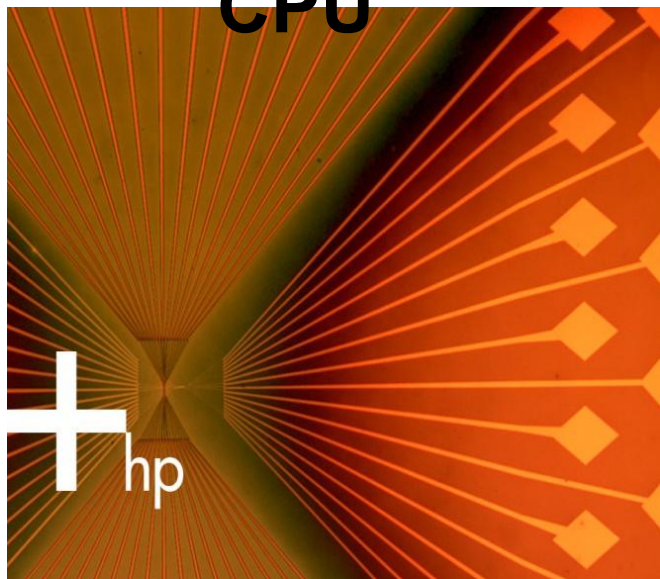
3.141592
3.14159
3.1415
3.141
3.14

10⁹ узлов - 113 354 035 байт – 0.1% - 0.92 бита на узел

Огрубление данных



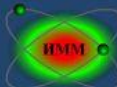
Моделирование процессов охлаждения CPU



РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

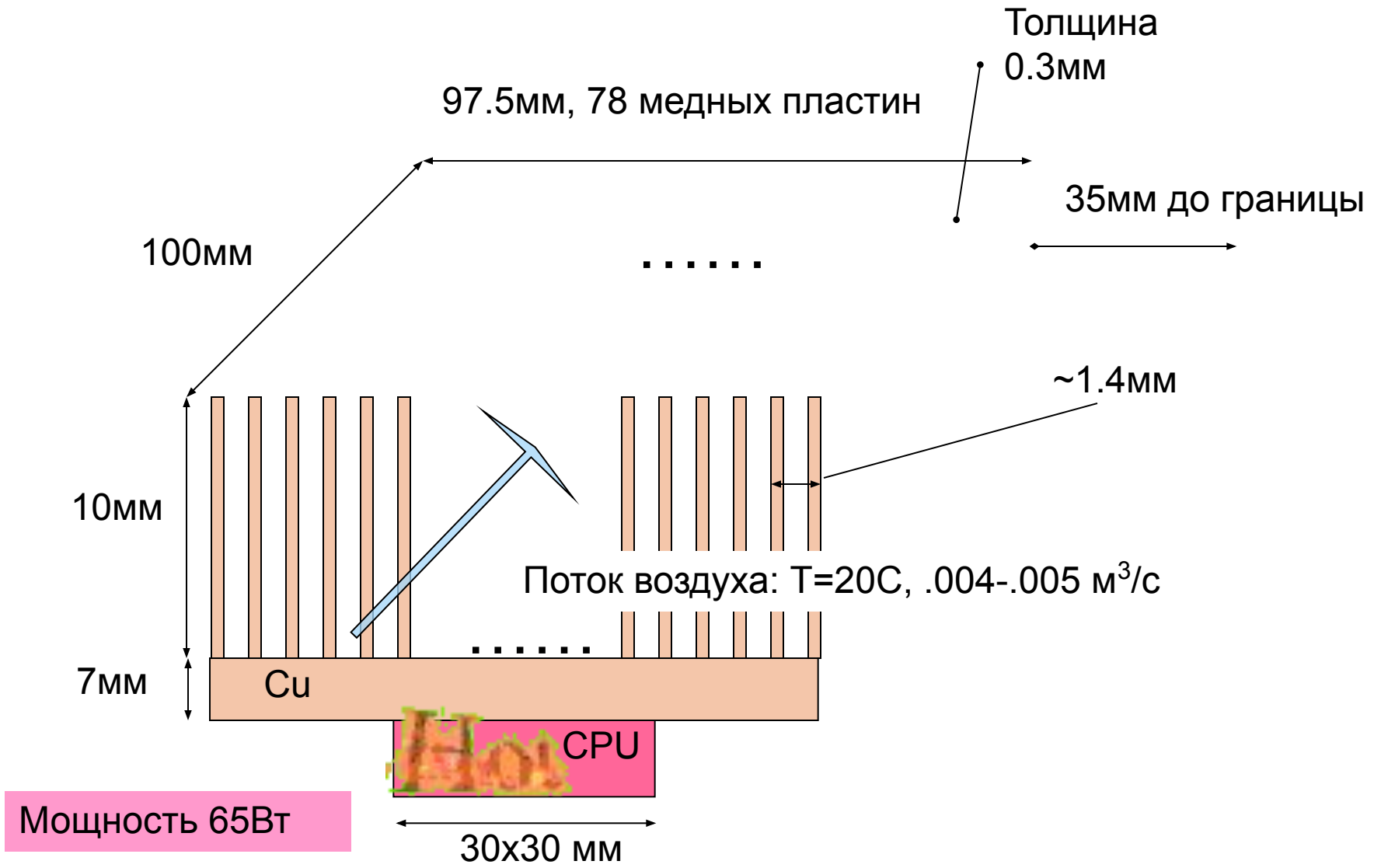
КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ



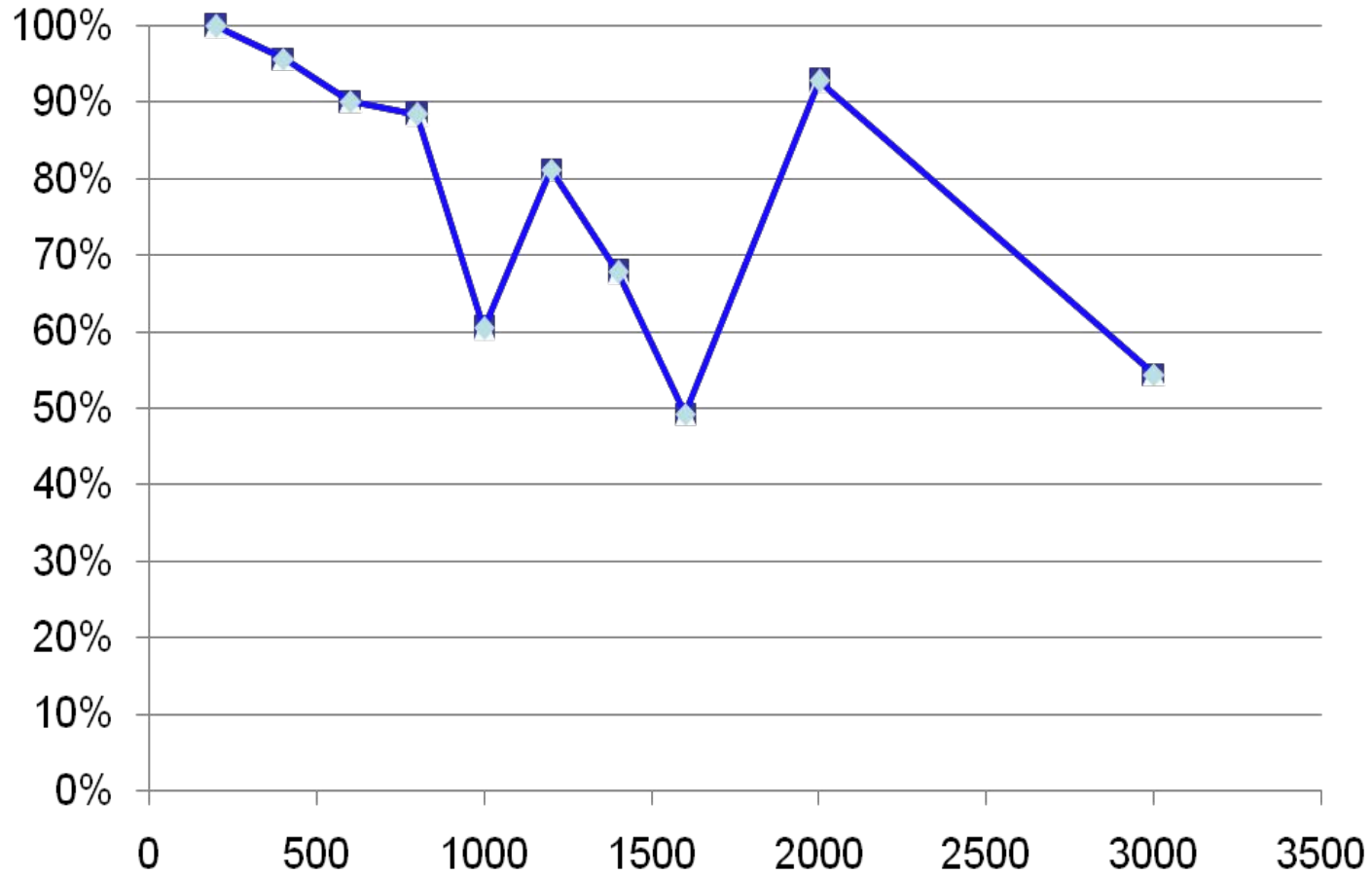
 **Институт Математического Моделирования РАН**
Адрес: 125047, Миусская пл. 4а, Москва, Россия.
Телефон: (+7-095)-250-7986 Факс: (+7-095)-972-0723



Процессор, охлаждаемый медным радиатором



Зависимость эффективности от числа ядер



Конфигурация: 78 тонких ребер (0.3 мм) на радиаторе

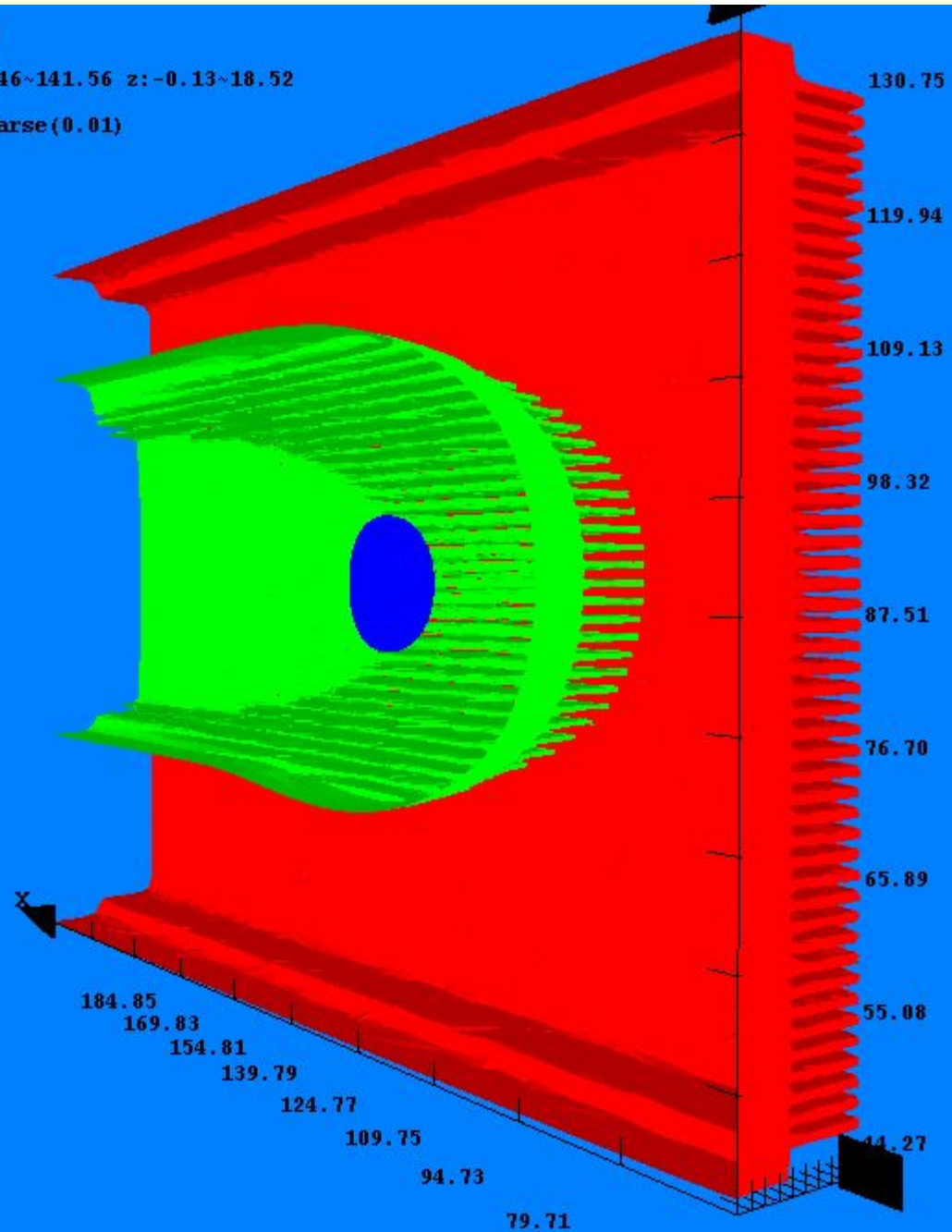
Сетка: 1000 x 3500 x 150 = 525 млн.

Параллельная реализация: MPI + нити (8 нитей на узле)

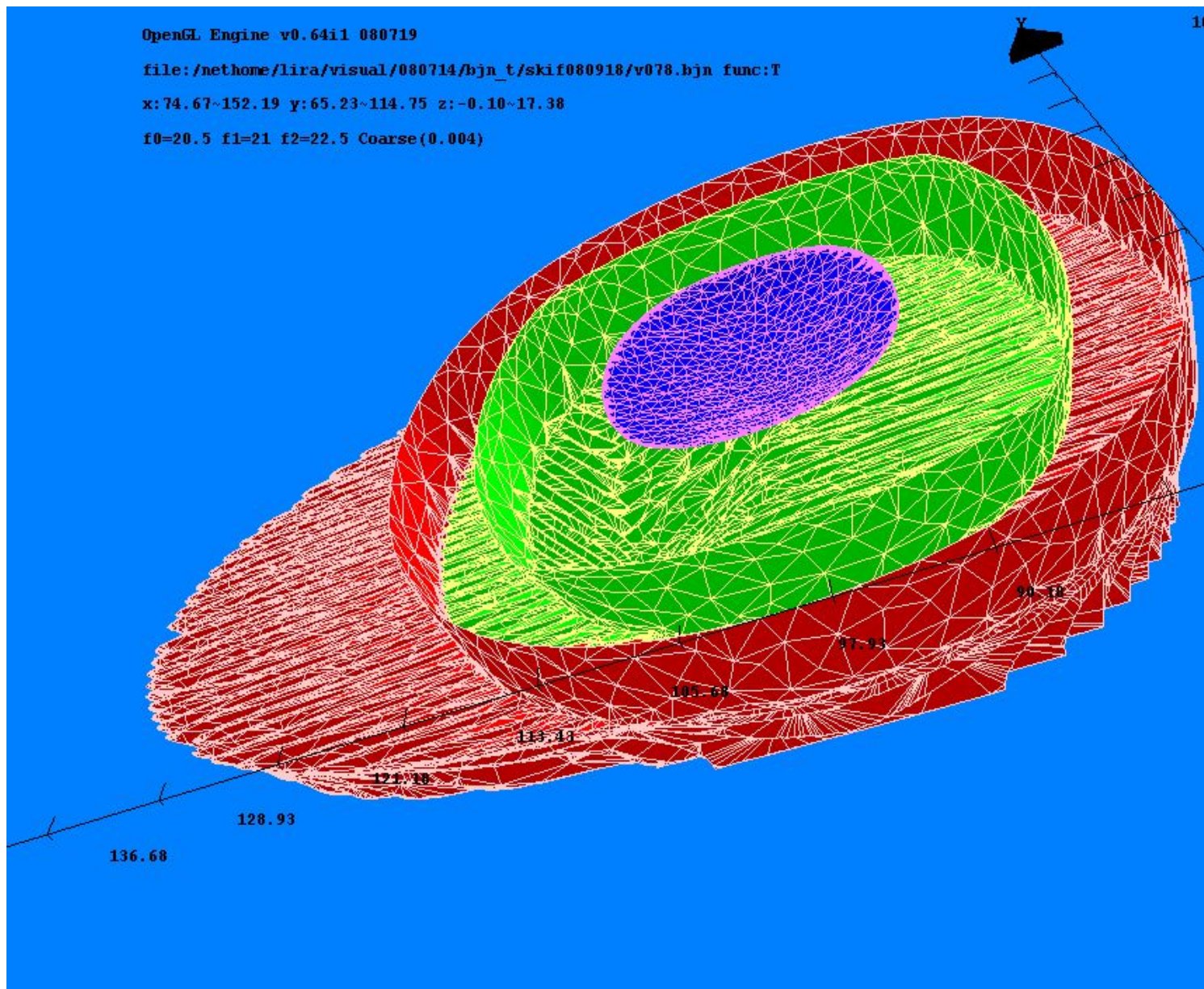
file:v050.bjn func:T

x:49.66~199.88 y:33.46~141.56 z:-0.13~18.52

f0=21 f1=30 f2=33 Coarse(0.01)



Изоповерхности температуры: T=20.5, 21, 22.5 С сетка 800*700*120=67,2 млн. узлов



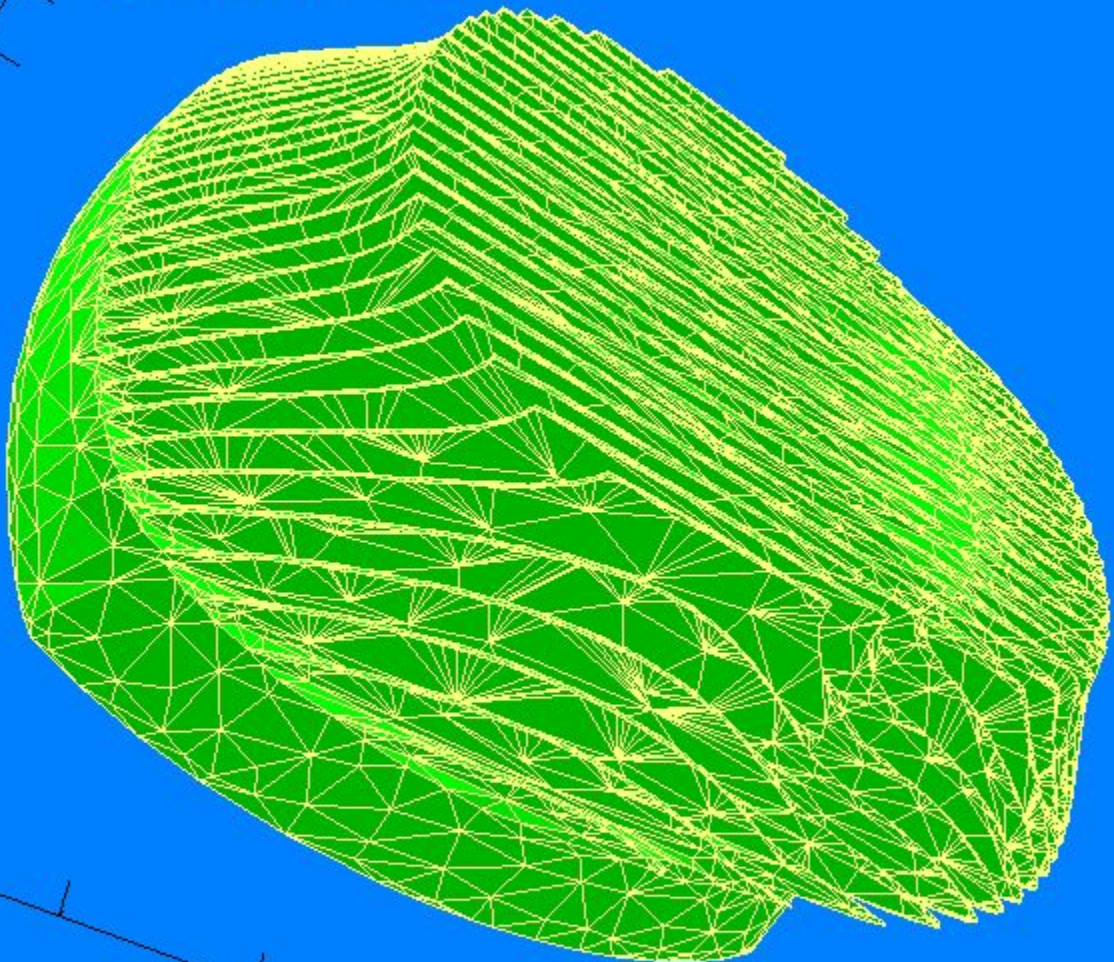
OpenGL Engine v0.64i1 080719

108.64

Path: /nethome/lira/visual/080714/bjn_t/skif080918/v101.bjn func:T

x: 75.85~139.62 y: 66.68~113.30 z: -0.10~15.43

f0=20.5 f1=21 f2=22.5 Coarse(0.004)



88.60

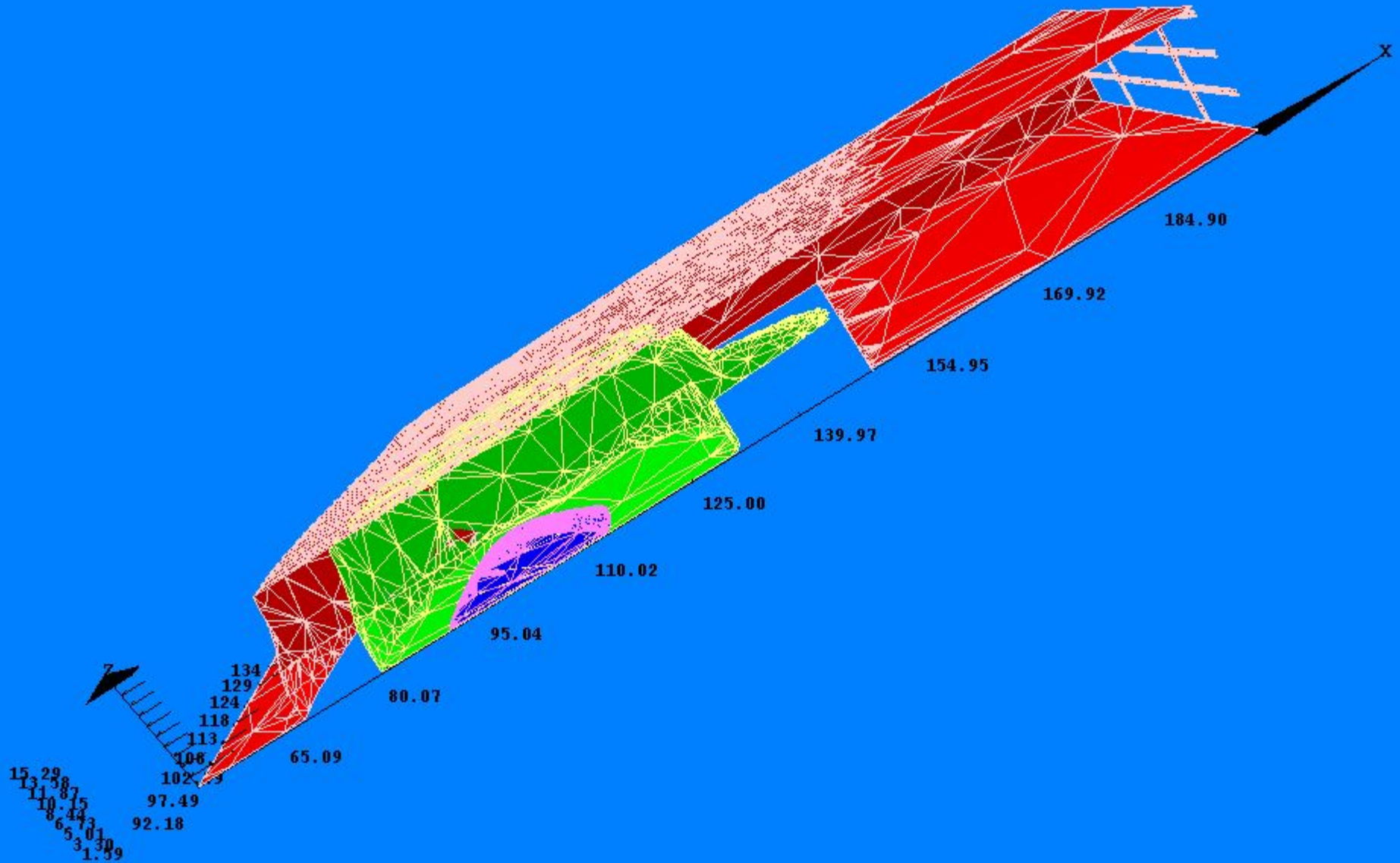
94.98

OpenGL Engine v0.64i1 080719

file:w050.hjn func:T

x:50.12~199.88 y:86.88~139.94 z:-0.13~17.01

f0=69.1 f1=70.51 f2=72.5 Coarse(0.01)

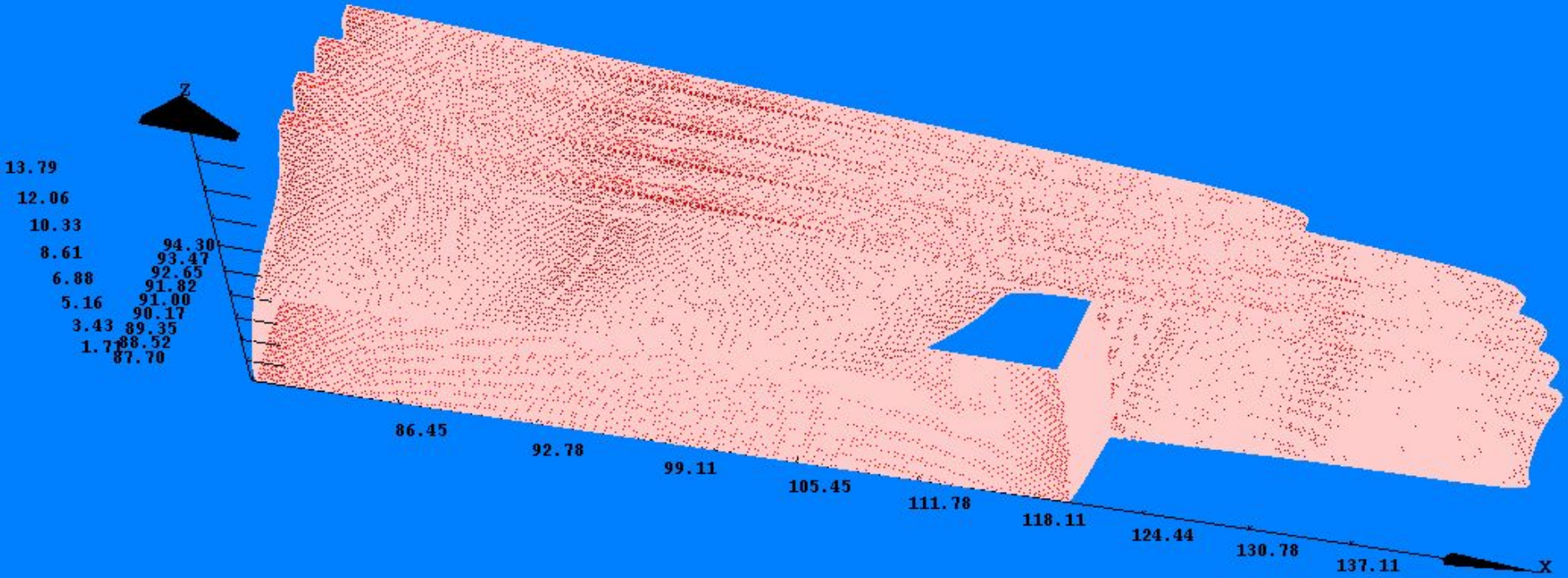


OpenGL Engine v0.64i1 080719

file:v008.bjn func:T

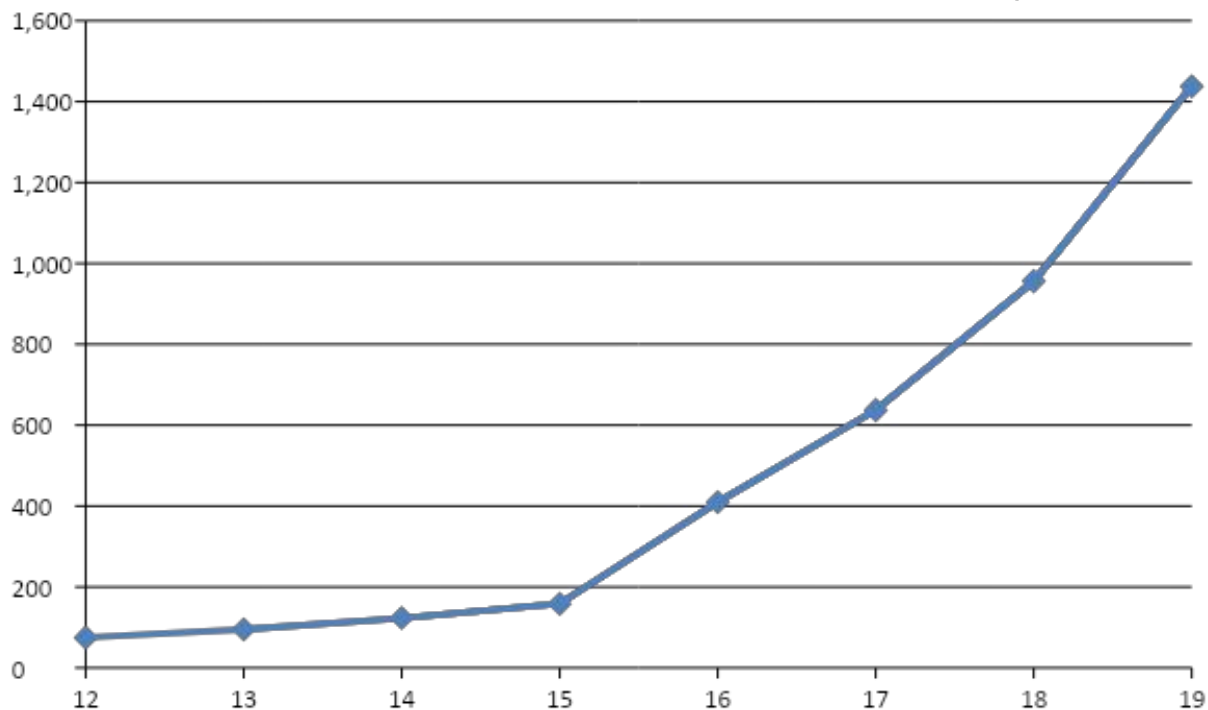
x:80.12~143.44 y:86.88~95.13 z:-0.02~17.24

f0=21.5



Зависимость коэффициента сжатия от числа усеченных бит

Сетка: 1000 x 3500 x 150 = 525 млн узлов



28	244	379	w101_reduced	12.bjn
22	340	718	w101_reduced	13.bjn
17	228	023	w101_reduced	14.bjn
13	339	249	w101_reduced	15.bjn
5	171	208	w101_reduced	16.bjn
3	321	150	w101_reduced	17.bjn
2	213	949	w101_reduced	18.bjn
1	471	818	w101_reduced	19.bjn
793	457		w101grid.bjn	

Параллельные библиотеки

<http://www.imamod.ru>

SDLB - динамическая балансировка (0D)

MCoarse - огрубление сеток (2D, 3D)

VjnlOlib - ввод-вывод регулярных сеток

TMLlib - ввод-вывод неструктурированных сеток

LRND - генерация псевдослучайных чисел

PSORT - параллельная сортировка

Якобовский М.В.

д.ф.-м.н.,

зав. сектором

«Программного обеспечения
многопроцессорных систем и
вычислительных сетей»

Института математического
моделирования

Российской академии наук

mail: _____ mail: lira@imamod.ru mail:

lira@imamod.ru

<http://lira.imamod.ru>

