

# Исследование вопроса

Текущие задачи

## План

1. Найти hotspots
2. Сравнить их относительный вклад во время работы
3. Наметить пути оптимизации

## Hotspots

Профилировал gcc/gcov. Для этого патчил Makefile (cd src ; patch -p1 Makefile-profiling.patch):

```
diff -ruN src-org/Makefile src1/Makefile
--- src-org/Makefile 2007-09-17 17:43:08.000000000 +0400
+++ src1/Makefile 2007-10-31 22:58:53.000000000 +0300
@@ -59,14 +59,14 @@
CINC      = -I$(SRC_DIR)
CDEFS     =
COBJ      = -c -o$(OBJ_DIR)/$@
-CDEFOPT  = -O2
+CDEFOPT  = -g -pg -fprofile-arcs -ftest-coverage
COPT      =
-CFLAGS   =
+CFLAGS   = -O3
CFLAGS_ALL = $(CFLAGS) $(CINC) $(CDEFS) $(CDEFOPT) $(CPROC) $(CPLAT)

LD        = g++
LDPLAT   =
-LDFLAGS  =
+LDFLAGS  = -g -pg -ax -fprofile-arcs -ftest-coverage
LDOUTOPT = -o "$(OUT_DIR)/$(BENCHMARK)"
LIBS     = -lm -lc
LIBS_ALL = $(LIBS)
```

Результаты (./sunset -cfg ../input/Sample01.cfg) - основное:

```
-:
729:!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
-: 730:!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! Water surface modelling
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
-:
731:!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
-: 732:*/
247782400: 733: for(t = 0; t < NKMAX; t++)
```

```
- : 734:          {
240217600: 735:          OT = flOmega[t] * flTime;
240217600: 736:          KX1 = flK[t] * flDecartX[i][j];
240217600: 737:          KY1 = flK[t] * flDecartY[i][j];
- : 738:
7927180800: 739:          for(l = 0; l < iAngleHarmNum; l++)
- : 740:          {
7686963200: 741:              iSinIndex1 = t * iAngleHarmNum + l;
- : 742:
flArgSin[currentthread].aptr[iSinIndex1] = OT -
- : 743:              KX1 * flAzimuthCosFi[l] - KY1 *
flAzimuthSinFi[l] +
7686963200: 744:              flRandomPhase[t*iAngleHarmNum +
l];
- : 745:              } /* end for l */
- : 746:          } /* end for t */
- : 747:
7564800: 748:          pFlTmp = flArgSin[currentthread].aptr;
- : 749:
- : 750:          #pragma ivdep
7753920000: 751:          for(t=0; t<iWaveMeshSize; t++)
7746355200: 752:              pFlTmp[t] = (float)sinf(pFlTmp[t]);
- : 753:
- : 754:          /* initialize the values of derivation */
7564800: 755:          flDerivX = 0.0f;
7564800: 756:          flDerivY = 0.0f;
- : 757:
- : 758:          /* dot product to compute derivation */
7753920000: 759:          for(t = 0; t < iWaveMeshSize; t++)
- : 760:          {
7746355200: 761:              flDerivX += pFlTmp[t] *
flAmplitudeX[t];
7746355200: 762:              flDerivY += pFlTmp[t] *
flAmplitudeY[t];
- : 763:          }
- : 764:
```

Интерпретация: алгоритм проходит по всем точкам изображения (7564800 действий). Для прообраза каждой точки изображения, находящегося на поверхности воды рассчитывается  $iWaveHarmNum * iAngleHarmNum$  дополнительных значений (во всех примерах -  $32*32 == 1024$ ). Это - аргументы синусов, сами синусы и скалярные произведения амплитуд на эти синусы (7746355200 действий).

Начальное время на моей машине: 45.457/кадр

## Вклад во время

закомментировал блок целиком:

```

diff -ruN src-org/sunset.cpp src1/sunset.cpp
--- src-org/sunset.cpp 2007-09-16 12:04:44.000000000 +0400
+++ src1/sunset.cpp 2007-10-31 23:34:04.000000000 +0300
@@ -730,6 +730,11 @@
!!!!!! Water surface modelling !!!!!!!
!!!!!!
*/
+
+      /* initialize the values of derivation */
+      flDerivX = 0.0f;
+      flDerivY = 0.0f;
+
+#if 0
+
+      for(t = 0; t < NKMAX; t++)
+      {
+          OT = flOmega[t] * flTime;
@@ -751,17 +756,13 @@
+          for(t=0; t<iWaveMeshSize; t++)
+              pFlTmp[t] = (float)sinf(pFlTmp[t]);
+
+      /* initialize the values of derivation */
+      flDerivX = 0.0f;
+      flDerivY = 0.0f;
+
+      /* dot product to compute derivation */
+      for(t = 0; t < iWaveMeshSize; t++)
+      {
+          flDerivX += pFlTmp[t] * flAmplitudeX[t];
+          flDerivY += pFlTmp[t] * flAmplitudeY[t];
+      }
+
+      /* Near horizont area correction */
+      flDerivX *= P2;
+      flDerivY *= P2;

```

Время: 1.225/кадр.

1. Оставил только расчет аргументов. Время: 4.771/кадр.
2. Оставил только расчет скалярного произведения. Время: 2.436/кадр.

Результат: основное время уходит в тригонометрию, затем – в генерацию аргументов, затем – в скалярное произведение.

## Пути оптимизации

### Очевидные шаги

1. включить орентр, заготовки которого уже есть в коде (: (ускорение пропорционально количеству вычислительных ядер)

- очень много математики. однако нет ни специальных значений аргументов, ни проверок matherr, ничего такого. Включить на полную оптимизацию математических вызовов. (ускорение до 35.943/кадр или ~ в 1.2 раза)

```
diff -ruN src-org/Makefile src/Makefile
--- src-org/Makefile 2007-09-17 17:43:08.000000000 +0400
+++ src/Makefile 2007-10-23 22:11:17.000000000 +0400
@@ -59,14 +59,14 @@
CINC      = -I$(SRC_DIR)
CDEFS     =
COBJ      = -c -o$(OBJ_DIR)/$@
-CDEFOPT  = -O2
+CDEFOPT  = -g -pg -fprofile-arcs -ftest-coverage
COPT      =
-CFLAGS   =
+CFLAGS   = -O3 -ffast-math -ffinite-math-only -fno-math-errno -funsafe-
math-optimizations -fno-trapping-math -march=prescott -fopenmp
CFLAGS_ALL = $(CFLAGS) $(CINC) $(CDEFS) $(CDEFOPT) $(CPROC) $(CPLAT)

LD        = g++
LDPLAT    =
-LDFLAGS  =
+LDFLAGS  = -g -pg -ax -fprofile-arcs -ftest-coverage -fopenmp
LDOUTOPT  = -o "$(OUT_DIR)/$(BENCHMARK)"
LIBS      = -lm -lc
LIBS_ALL  = $(LIBS)
```

## Менее очевидные шаги

### Использование Math Kernel Library

[Math Kernel Library](#)(Описание)

- библиотека в основном хорошо реализует матричные операции;

Для исследования Intel Kernel Math Library написал следующее:

Код “глупой” программы, которая вызывает не думая стандартный синус.

```
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

int main()
{
    double X[32][32];
    double F[32][32];

    for(int i=0; i<32; ++i)
```

```
for(int j=0; j<32; ++j)
    X[i][j] = rand()%1024;

for(int x=0;x<800;++x)
    for(int y=0;y<600;++y)
        for(int i=0;i<32;++i)
            for(int j=0;j<32;++j)
                F[i][j] = sinf(X[i][j]);
return 0;
}
```

Код программы, с использованием MKL: В нем применил функцию, вычисляющую синус элементов вектора.

```
#include "mkl.h"
#include <stdlib.h>

int main()
{
    double X[32][32];
    double F[32][32];

    for(int i=0; i<32; ++i)
        for(int j=0; j<32; ++j)
            X[i][j] = rand()%1024;

    for(int x=0;x<800;++x)
        for(int y=0;y<600;++y)
            vdSin(32*32, (const double *)X, (double *)F);
    return 0;
}
```

MakeFile:

```
default: stupid fast

main.o: main.cpp
    g++ main.cpp -c -o main.o

stupid: main.o
    g++ main.o -o stupid

clean:
    rm -f main.o stupid

fast: imkl_main.o
    g++ -L/opt/intel/mkl/9.1.023/lib/32 imkl_main.o -lguide -lmkl_p4m -
    lmkl_ia32 -lm -lirc -o fast

imkl_main.o: imkl_main.cpp
    g++ -I/opt/intel/mkl/9.1.023/include -c imkl_main.cpp -o imkl_main.o
```

Третьим шагом было изменение в “быстрой” программе всех double на float. и вызов функции

vsSin Результат запуска:

```
make && time ./stupid && time ./fast && time ./floatfast
```

```
real    0m41.288s
user    0m39.579s
sys     0m0.143s
```

```
real    0m18.878s
user    0m18.158s
sys     0m0.086s
```

```
real    0m7.799s
user    0m7.412s
sys     0m0.049s
```

помимо всего прочего MKL имеет реализацию одновременного вычисления синуса и косинуса в одной функции

Очевидно, что если в “тупую” программу добавить рядом с вызовом синуса вызов косинуса, то время возрастет в два раза, что и произошло при опытной проверке.

В случае же с MKL, интересней. Далее сравнительные времена выполнения двух программ с применением MKL:

1. вызываются vsSin и vsCos
2. вызывается vsSinCos

```
real    0m16.126s
user    0m15.261s
sys     0m0.026s
```

```
real    0m13.289s
user    0m12.670s
sys     0m0.028s
```

## Использование Intel C Compiler

### [Компилятор\(Описание\)](#)

- должен позволить автоматически использовать SIMD команды (SSE, SSE2...) для оптимизации вычислений в основном в циклах;
- возможно подскажет где что можно ещё распараллелить;

Установил icc в Fedora 7 (только компилятор). Пришлось дополнительно yum install compat-libstdc++-33.i386

Результаты забавные:

- замена -O2 на -O0 в Makefile дает время 54.252/кадр.
- возврат -O2 (и добавление -lirc на линковке) дает 40.606/кадр.
- оптимизация под SSE3 (-axT, -limf -lsvml) дает массу сообщений о векторизованных циклах и время 25.237/кадр.

Разбираюсь с профилированием и PGO.

Изменения в Makefile:

```
diff -ruN src-org/Makefile src-icc/Makefile
--- src-org/Makefile      2007-09-17 17:43:08.000000000 +0400
+++ src-icc/Makefile      2007-11-03 22:28:21.000000000 +0300
@@ -53,22 +53,23 @@

OBJ = .o

-CC      = gcc
+CC      = icc
CPLAT    =
CPROC    =
CINC     = -I$(SRC_DIR)
CDEFS    =
COBJ     = -c -o$(OBJ_DIR)/$@
-CDEFOPT = -O2
+CDEFOPT = -O3 -axT
COPT     =
CFLAGS   =
CFLAGS_ALL = $(CFLAGS) $(CINC) $(CDEFS) $(CDEFOPT) $(CPROC) $(CPLAT)

LD       = g++
-LDPLAT  =
-LDFLAGS =
+LDPLAT  =
+LDFLAGS = -L/opt/intel/cc/10.0.023/lib
LDOUTOPT = -o "$(OUT_DIR)/$(BENCHMARK)"
-LIBS    = -lm -lc
+LIBS    = -lm -lc -lirc -limf -lsvml
+# -lompstub -lomp_db -lguid
LIBS_ALL = $(LIBS)

endif
```

## Использование Integrated Performance Primitives

### [Intel Performance Primitives\(Описание\)](#)

- как заявляется производительность растёт в том числе и за счёт оптимизации библиотеки под различные модели процессоров;
- можно попробовать использовать оттуда не только тригонометрию но и функции работы с изображениями 2D;

P.S. Менеджер проекта этой библиотеки из Нижнего Новгорода откуда и сам sunset :)

тестовая программка, а-ля zps:

```
#include <stdlib.h>
#ifdef USE_IPP
#include <ippvm.h>
#endif
#include <math.h>
#include <stdio.h>

#define COUNT(a) (sizeof(a)/sizeof(*(a)))

float a[1024];
float r1[1024];
float r2[1024];

int main()
{
    for(size_t i=0;i<COUNT(a);++i)
        a[i]=(drand48()-.5)*20;

#ifdef USE_IPP
    for(int i=0;i<800*600;++i)
        ippSin_32f_A21(a,r1,COUNT(r1));
#else
    for(int i=0;i<800*600;++i)
        for(size_t j=0;j<COUNT(r1);++j)
            r2[j]=sinf(a[j]);
#endif

#if 0
    double s=0;
    for(size_t i=0;i<COUNT(r1);++i)
    {
        s+=fabs(r1[i]-r2[i]);
    }
    printf("%lg\n",s);
#endif
}
```

default: stupid fast

stupid: main.o

```
g++ main.o -o stupid
```

clean:

```
rm -f main.o stupid
```

fast: ipp\_main.o

```
g++ -L/opt/intel/ipp/5.2/ia32/sharedlib ipp_main.o -lippcore -lippvm -o
```



```
fast
```

```
ipp_main.o: main.cpp
g++ -I/opt/intel/ipp/5.2/ia32/include -DUSE_IPP -c main.cpp -o ipp_main.o
```

результаты:

```
$ time ./fast && time ./stupid
```

```
real    0m3.666s
user    0m3.661s
sys     0m0.002s
```

```
real    0m37.244s
user    0m37.095s
sys     0m0.046s
```

итого - ускорение в 10 раз. замена A21 на A11 дает

```
$ time ./fast && time ./stupid
```

```
real    0m2.975s
user    0m2.964s
sys     0m0.007s
```

```
real    0m36.754s
user    0m36.675s
sys     0m0.033s
```

Для тригонометрии в hotspot 2 использовал ippsSin.

```
diff -ruN src-org/Makefile src1/Makefile
```

```
--- src-org/Makefile      2007-09-17 17:43:08.000000000 +0400
+++ src1/Makefile         2007-11-02 00:49:53.000000000 +0300
```

```
@@ -56,19 +56,19 @@
```

```
CC      = gcc
CPLAT   =
CPROC   =
-CINC    = -I$(SRC_DIR)
+CINC    = -I$(SRC_DIR) -I/opt/intel/ipp/5.2/ia32/include
CDEFS   =
COBJ     = -c -o$(OBJ_DIR)/$@
-CDEFOPT = -O2
+CDEFOPT = -g -pg -fprofile-arcs -ftest-coverage
COPT    =
-CFLAGS  =
+CFLAGS  = -O3 -ffast-math -ffinite-math-only -fno-math-errno -funsafe-
math-optimizations -fno-trapping-math -march=prescott
CFLAGS_ALL = $(CFLAGS) $(CINC) $(CDEFS) $(CDEFOPT) $(CPROC) $(CPLAT)

LD      = g++
```

```
LDPLAT      =
-LDFLAGS    =
+LDFLAGS    = -g -pg -ax -fprofile-arcs -fptest-coverage -
L/opt/intel/ipp/5.2/ia32/sharedlib
LDOUTOPT    = -o "$(OUT_DIR)/$(BENCHMARK)"
-LIBS       = -lm -lc
+LIBS       = -lm -lc -lippcore -lippvm
LIBS_ALL    = $(LIBS)

endif
diff -ruN src-org/sunset.cpp src1/sunset.cpp
--- src-org/sunset.cpp 2007-09-16 12:04:44.000000000 +0400
+++ src1/sunset.cpp    2007-11-02 00:34:38.000000000 +0300
@@ -45,6 +45,7 @@
#include <omp.h>
#endif
#include "sunset.h"
+#include <ippvm.h>

#define MIN(x,y)  (((x) < (y)) ? (x) : (y))
#define MAX(x,y)  (((x) < (y)) ? (y) : (x))
@@ -747,9 +748,10 @@

        pFlTmp = flArgSin[currentthread].aptr;

-        #pragma ivdep
-        for(t=0; t<iWaveMeshSize; t++)
-            pFlTmp[t] = (float)sinf(pFlTmp[t]);
+        ippsSin_32f_A21(pFlTmp,pFlTmp,iWaveMeshSize);
+        //#pragma ivdep
+        //for(t=0; t<iWaveMeshSize; t++)
+        //    pFlTmp[t] = (float)tab_sinf(pFlTmp[t]);

        /* initialize the values of derivation */
        flDerivX = 0.0f;
```

Результат - 10.044/кадр, 0.7% отличий. Понижение точности до 11 бит дает 9.139/кадр, 1% отличий. Однако, по-простецки с openmp оно дружить не захотело - segfault.

From:  
<http://wiki.osll.ru/> - Open Source & Linux Lab

Permanent link:  
[http://wiki.osll.ru/doku.php/etc:common\\_activities:intel\\_students\\_cup:tour2?rev=1194193815](http://wiki.osll.ru/doku.php/etc:common_activities:intel_students_cup:tour2?rev=1194193815)

Last update: 2008/01/03 02:32

