

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:!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 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];
}
-
#endif
           /* 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 openmp, заготовки которого уже есть в коде (: (ускорение пропорционально количеству вычислительных ядер)

2. 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 -lguide
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>
#ifndef 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)
        ippSsin_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++
```

Last update: 2008/01/03 etc:common_activities:intel_students_cup:tour2 http://wiki.osll.ru/doku.php/etc:common_activities:intel_students_cup:tour2?rev=1194217032 02:32

```
LDPLAT      =
-LDFLAGS     =
+LDFLAGS    = -g -pg -ax -fprofile-arcs -ftest-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.

zps. Максимальный результат: diff -ruN src-org src-ipp

```
diff src-org/Makefile src-ipp/Makefile
59c59
< CINC      = -I$(SRC_DIR)
---
> CINC      = -I$(SRC_DIR) -I/opt/intel/ipp/5.2/ia32/include
62c62,63
< CDEF0PT   = -O2
---
```

```
> #CDEF0PT      = -O2
> CDEF0PT      = -g
64c65
< CFLAGS      =
---
> CFLAGS      = -O3 -ffast-math -ffinite-math-only -fno-math-errno -funsafe-
math-optimizations -fno-trapping-math -march=pentium4m
69c70
< LDFLAGS      =
---
> LDFLAGS      = -g -pg -ax -fprofile-arcs -ftest-coverage -
L/opt/intel/ipp/5.2/ia32/sharedlib
71c72
< LIBS      = -lm -lc
---
> LIBS      = -lm -lc -lippcore -lippvm -lguide -lipps -lippm
diff src-org/sunset.cpp src-ipp/sunset.cpp
48c48,51
<
---
> #include <ippvm.h>
> #include <ipps.h>
> #include <ippm.h>
> #include <iostream>
307c310,311
<           float   OT, KX1, KY1;
---
>           float   *OT, *KX1, *KY1;
>           float   kx1, ky1, ot; // zps
339a344,346
>           free(OT);
>           free(KX1);
>           free(KY1);
357c364,366
<
---
>           OT      = (float*)malloc(iWaveHarmNum * sizeof(float));
>           KX1      = (float*)malloc(iWaveHarmNum * sizeof(float));
>           KY1      = (float*)malloc(iWaveHarmNum * sizeof(float));
362a372
>
657a668,669
>     ippsMulC_32f(fl0mega, flTime, OT, iWaveHarmNum);
>     float xxx[iAngleHarmNum];
663c675
<           private(currentthread, OT, KX1, KY1) \
---
>           private(currentthread, OT, KX1, KY1, kx1, ky1, ot) \
679a692
>
732c745,749
```

```
< */  
---  
> */// std::cerr << "NKMAX: "<< NKMAX << std::endl;  
>  
>         ippsMulC_32f(flK, flDecartX[i][j], KX1, NKMAX);  
>         ippsMulC_32f(flK, flDecartY[i][j], KY1, NKMAX);  
>  
735,738c752,755  
<             OT = flOmega[t] * flTime;  
<             KX1 = flK[t] * flDecartX[i][j];  
<             KY1 = flK[t] * flDecartY[i][j];  
<  
---  
>             kx1 = KX1[t];  
>             ky1 = KY1[t];  
>             ot = OT[t];  
>             int len = t * iAngleHarmNum;  
741,745c758,761  
<                 iSinIndex1 = t * iAngleHarmNum + l;  
<                 flArgSin[currentthread].aptr[iSinIndex1] = OT -  
<                     KX1 * flAzimuthCosFi[l] - KY1 *  
flAzimuthSinFi[l] +  
<                     flRandomPhase[t*iAngleHarmNum + l];  
<             } /* end for l */  
---  
>             iSinIndex1 = len + l;  
>             flArgSin[currentthread].aptr[iSinIndex1] = ot -  
>                     kx1*flAzimuthCosFi[l] - ky1*flAzimuthSinFi[l] +  
flRandomPhase[iSinIndex1];  
>             } /* end for l */  
747c763,776  
<  
---  
> #if 0  
>             float * dest;  
>             for(t = 0; t < NKMAX; t++)  
>             {  
>                 dest = &flArgSin[currentthread].aptr[t*iAngleHarmNum];  
>                 kx1 = KX1[t];  
>                 ky1 = KY1[t];  
>                 ippmLComb_vv_32f(flAzimuthCosFi, 4,kx1,  
flAzimuthSinFi, 4,ky1, xxx, 4, iAngleHarmNum);  
>                 ippsSubCRev_32f(xxx,OT[t],dest, iAngleHarmNum);  
>  
>             } /* end for t */  
>             dest = NULL;  
> #endif  
> //             ippsAdd_32f_I(flRandomPhase,  
flArgSin[currentthread].aptr, iWaveMeshSize);
```

```

750,752c779,783
<             #pragma ivdep
<             for(t=0; t<iWaveMeshSize; t++)
<                 pFlTmp[t] = (float)sinf(pFlTmp[t]);
-
>         ippssSin_32f_A21(pFlTmp,pFlTmp,iWaveMeshSize);
>
>             // #pragma ivdep
>             // for(t=0; t<iWaveMeshSize; t++)
>             //     pFlTmp[t] = (float)sinf(pFlTmp[t]);
758a790,801
> #if 0
> {
>     const float *pr[]={flAmplitudeX,flAmplitudeY};
>     float __r[2];
>
>
> ippmDotProduct_vav_32f_L(pr,0,4,pFlTmp,4,__r,iWaveMeshSize,2);
>
>     flDerivX = __r[0];
>     flDerivY = __r[1];
> }
> #endif
> #if 1
767a811
> #endif
Только в src-ipp: .sunset.cpp.swp

```

результат:

```

Frame 1 of 16 ... frame time 8.534
Frame 2 of 16 ... frame time 8.508
Frame 3 of 16 ... frame time 8.167
Frame 4 of 16 ... frame time 8.538
Frame 5 of 16 ... frame time 8.467
Frame 6 of 16 ... frame time 8.302
Frame 7 of 16 ... frame time 8.565
Frame 8 of 16 ... frame time 8.425
Frame 9 of 16 ... frame time 8.549
Frame 10 of 16 ... frame time 8.398
Frame 11 of 16 ... frame time 8.425
Frame 12 of 16 ... frame time 8.595
Frame 13 of 16 ... frame time 8.419
Frame 14 of 16 ... frame time 8.312
Frame 15 of 16 ... frame time 8.471
Frame 16 of 16 ... frame time 8.417
=====
Timing:
    Total time is 135.098 sec., average frame time is 8.444 sec.

```

Correctness check:

Last update: 2008/01/03 02:32
etc:common_activities:intel_students_cup:tour2 http://wiki.osll.ru/doku.php/etc:common_activities:intel_students_cup:tour2?rev=1194217032

Max RGB difference is 11.

Number of different color pixels is 3564 (0.7%).

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=1194217032

Last update: 2008/01/03 02:32

