

Исследование вопроса

- Текущие задачи
- Детали алгоритма

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];
-      }
-
+#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;

Результаты

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]);
    }
#endif
}
```

```
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 -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
< CDEFOPT       = -O2
---
> #CDEFOPT      = -O2
> CDEFOPT       = -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(flOmega, 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,0T[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]);
---
>         ippsSin_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:  
    Max RGB difference is 11.  
    Number of different color pixels is 3564 (0.7%).
```

Результаты работы на конфигурации P4(2,6)Windows:

Лучший из полученных результатов:

```
Frame 1 of 16 ... frame time 3.591
Frame 2 of 16 ... frame time 3.492
Frame 3 of 16 ... frame time 3.497
Frame 4 of 16 ... frame time 3.499
Frame 5 of 16 ... frame time 3.485
Frame 6 of 16 ... frame time 3.492
Frame 7 of 16 ... frame time 3.494
Frame 8 of 16 ... frame time 3.492
Frame 9 of 16 ... frame time 3.523
Frame 10 of 16 ... frame time 3.491
Frame 11 of 16 ... frame time 3.496
Frame 12 of 16 ... frame time 3.495
Frame 13 of 16 ... frame time 3.494
Frame 14 of 16 ... frame time 3.492
Frame 15 of 16 ... frame time 3.503
Frame 16 of 16 ... frame time 3.495
```

```
=====  
Timing:  
    Total time is 56.036 sec., average frame time is 3.502 sec.
```

```
Correctness check:  
    Max RGB difference is 20.  
    Number of different color pixels is 5437 (1.1%).
```

Достигнут:

указанием ключа `fast` при компиляции
заменой дублирующих вычислений в циклах в очевидных местах
выносом вычисления синусов и косинусов (`ipp`) полярных координат

Совсем неочевидные/исследовательские шаги

- [Табличный синус](#) (плавающие числа) – тупиковая ветвь.
- Целочисленная реализация алгоритма расчета вектора нормали – выигрыша по скорости нет, по точности – проигрыш. Тупиковая ветвь.
- [Уменьшение количества гармоник](#) – тупиковая ветвь.

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

Permanent link:
http://wiki.osll.ru/doku.php/etc:common_activities:intel_students_cup:tour2

Last update: **2008/01/03 02:32**

