粒子物理与核物理实验中的数据分析

杨振伟
清华大学

第三讲：ROOT在数据分析中的应用(1)

上讲摘要

- C++基本概念

  类的定义与实现...

- Linux下用g++编译C++程序

  g++ -o hello.exe -I<include> ./src/*.cc

  当前目录下输出可执行文件hello.exe

  指定include目录 如-I./include

  源文件

- 用makefile进行C++编译

  gmake 进行编译

  gmake clean 清除编译结果

- 使用ROOT脚本 root -l hello.C

本讲要点

- 什么是ROOT？
- 登录ROOT环境和体验中心
- ROOT的语法简介
- ROOT的函数，直方图，随机数，文件，散点图

  TF1, TH1I, TH1F, TH1D, TRandom(gRandom)

  TF2, TF3, TH2F, ...

  TFile

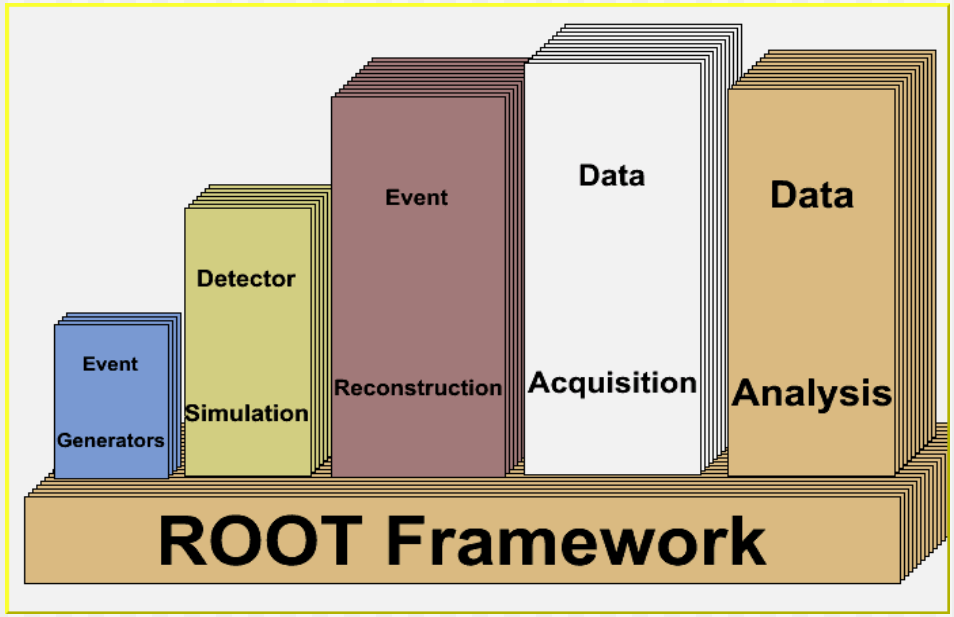
什么是 ROOT ？

ROOT: Executive Summary

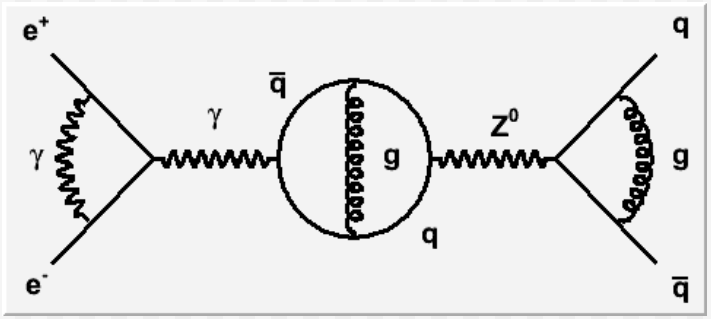
… provides a set of OO frameworks with all the functionality needed to handle and analyse large amounts of data in a very efficient way….

(摘自http://root.cern.ch/root/Mission.html)

关键字：面向对象的框架、所有功能、海量数据、非常有效



结论：很不谦虚！



安装ROOT(1)

到ROOT主页下载需要的版本到指定目录。
比如要在SLC3系统的/projects/yangzw目录下安装5.16.00版本
(注：最新版本的ROOT已经不为SLC3提供预编译版本了，而为SLC4和SLC5提供)

```
cd /projects/$USER   (注：对用户yangzw, $USER=yangzw)
wget ftp://root.cern.ch/root/root_v5.16.00.Linux.slc3.gcc3.2.3.tar.gz
tar –zxvf root_v5.16.00.Linux.slc3.gcc3.2.3.tar.gz
```

设置ROOT的环境变量

```
export ROOTSYS=/projects/$USER/root
export PATH=$ROOTSYS/bin:$PATH
export LD_LIBRARY_PATH=$ROOTSYS/lib:$LD_LIBRARY_PATH
```

可以把上面这3行放到$HOME/.login或者.bashrc或者.tcshrc文件中，
这样每次登录到Linux系统，系统就自动设置ROOT的环境变量
这样，进入linux系统之后，在终端提示行输入：

```
root   或
root -l
```

即可进入ROOT环境。

安装ROOT(2)

如果是其它发行版的Linux，首先查看是否ROOT网站上是否有预编译好的程序包，一般情况下，官方提供SLC4和SLC5在各种不同CPU以及不同gcc版本下的二进制包，

ROOT官网也提供包括Solaris以及Mac OS X以及Windows下的预编译包。

如果没有适合你的操作系统的预编译包，就需要到官网 http://root.cern.ch 下载ROOT的源代码，按照安装指南用gmake编译安装。

Window用户在官网下载相应的.msi文件直接安装即可。

Ubuntu8.10用户可以到下面网页下载5.22.00版本的二进制代码，根据Readme.txt说明安装使用。

安装ROOT(3)

实际上，Linux下安装程序的基本套路很简单：

1. 如果需要用源码编译
   a) 下载源码压缩包
   b)解压缩
   c)编译
   d)设置环境变量(如果需要)
2. 如果已有预编译的包
   a)下载
   b)解压缩
   c)设置环境变量(如果需要)
3. yum/apt-get直接用网络源安装(预编译的包)
4. …

登录ROOT环境

- 运行 >root
- 退出 root[0].q
- 键入 help 指令，如

  root[0]?

  root[1].ls

  root[2].!ls

```
[training] /home/yangzw > root
 ******************************************
 *                                        *
 *       W E L C O M E  to  R O O T       *
 *                                        *
 *   Version   5.20/00      24 June 2008   *
 *                                        *
 *  You are welcome to visit our Web site *
 *          http://root.cern.ch           *
 *                                        *
 ******************************************

ROOT 5.20/00 (trunk@24524, De 05 2008, 11:09:00 on linux)

CINT/ROOT C/C++ Interpreter version 5.16.29, Jan 08, 2008
Type ? for help. Commands must be C++ statements.
Enclose multiple statements between { }.
root [0]
```

ROOT环境其它常用指令：

.L macro.C　　Load文件macro.C

.x macro.C　　执行文件macro.C

.ls　　显示ROOT当前环境的所有信息

.! ls　　显示Linux系统当前目录的所有信息

注：ROOT环境中，ROOT指令都以“.”开头

系统指令都以“.!”开头

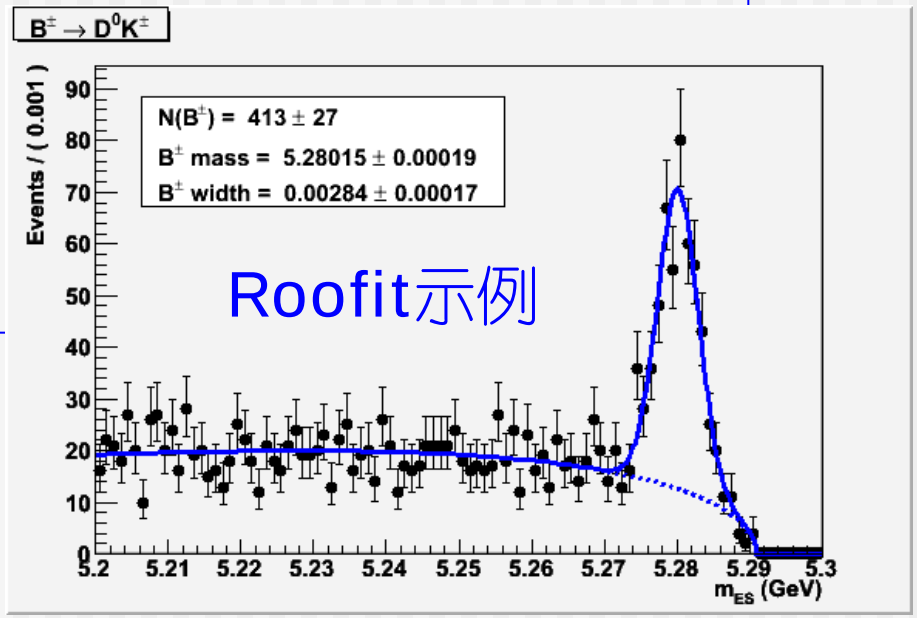
ROOT体验中心(1)

在$ROOTSYS/tutorials目录下，有五花八门的例子。
以后会经常与这个目录打交道。先尝试一下吧。
尝试方法：

```
>cd /projects/$USER
>cp -r $ROOTSYS/tutorials .  (注意不要把这个"."漏掉了)
>cd tutorials
```

然后找个感兴趣的目录/文件，执行ROOT脚本，比如

```
>cd roofit
>root -l RoofitDemo.C
```



小技巧提示：
根据关键字"xxxx"从tuotorials的例子中寻找线索

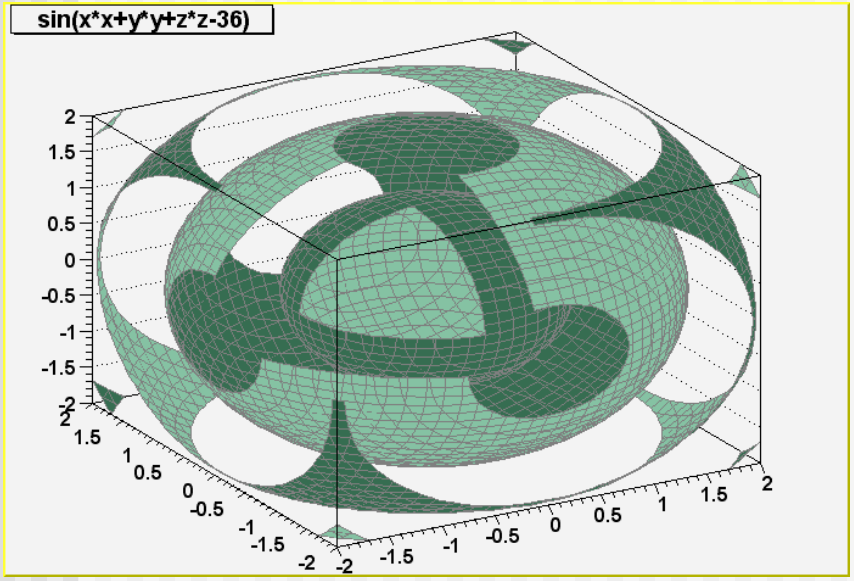
```
grep -sirn "xxxx" $ROOTSYS/tutorials
```

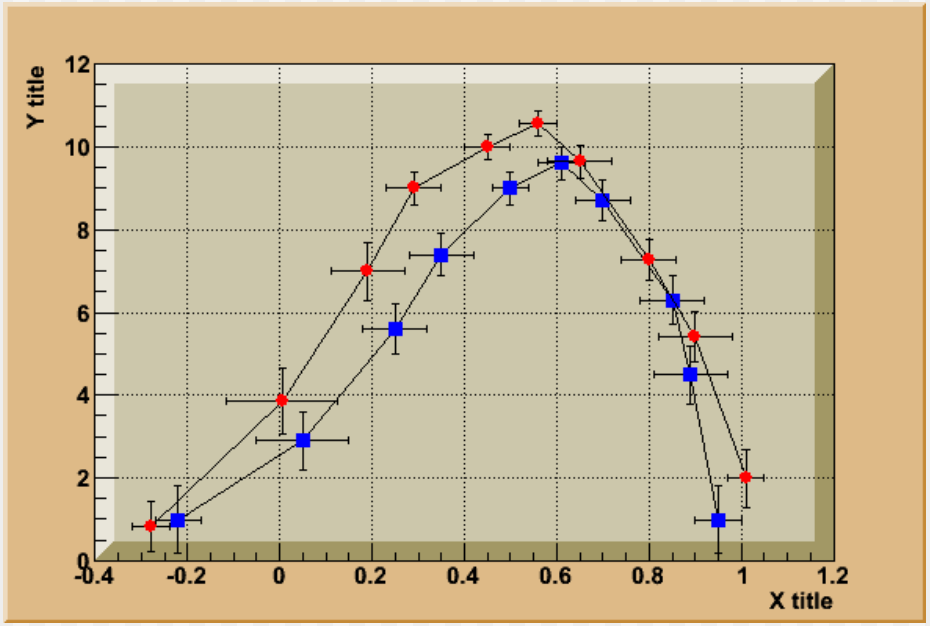
比如找随机数用法：grep -sirn "random" $ROOTSYS/tutorials

ROOT体验中心(2)

还可以在ROOT网站上看到一些ROOT图片：
http://root.cern.ch/drupal/image

当然，ROOT的功能不只是做图，它不是一个作图工具。
跟数据分析有关的东西，基本都是ROOT的擅长；
跟物理有关的很多东西，ROOT基本都可以做得很好：
事例产生、探测器模拟、事例重建、数据采集、数据分析

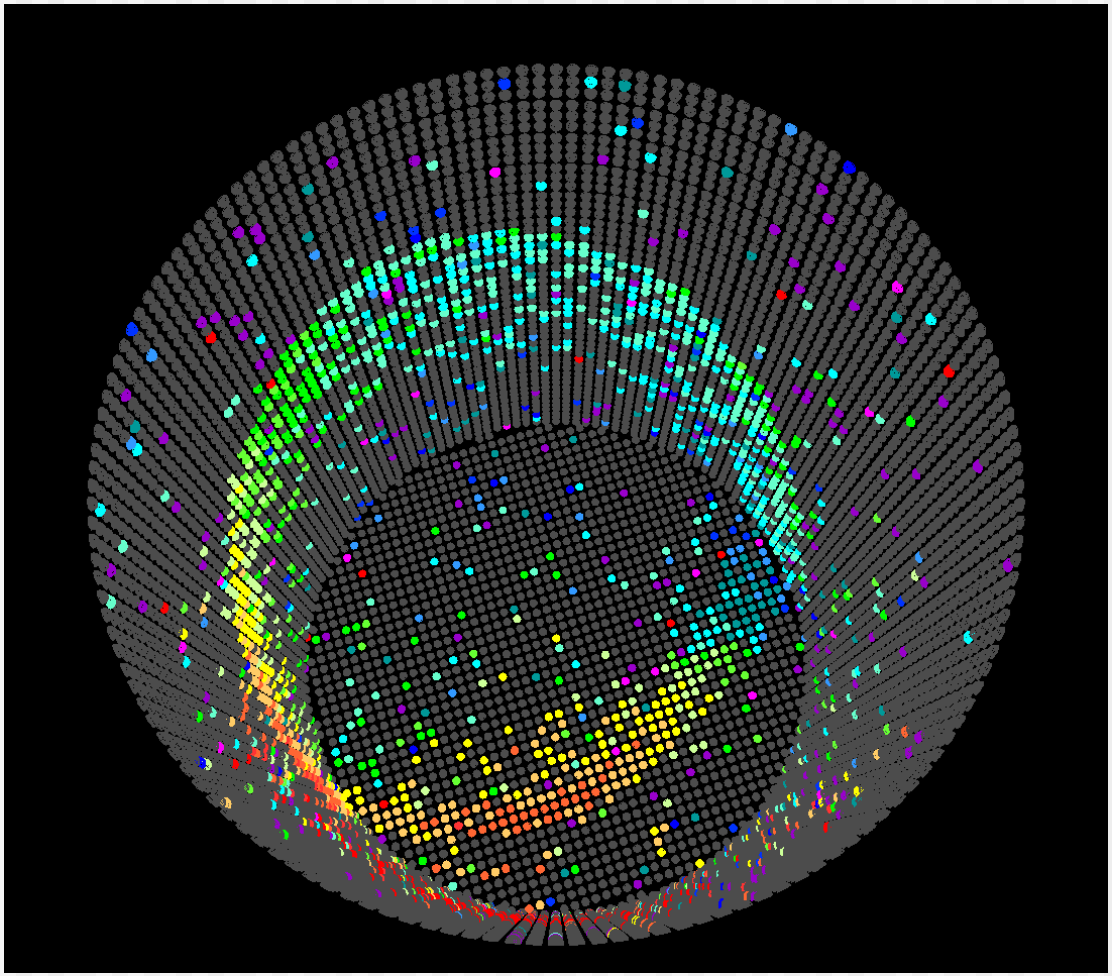




ROOT体验中心(3-1)

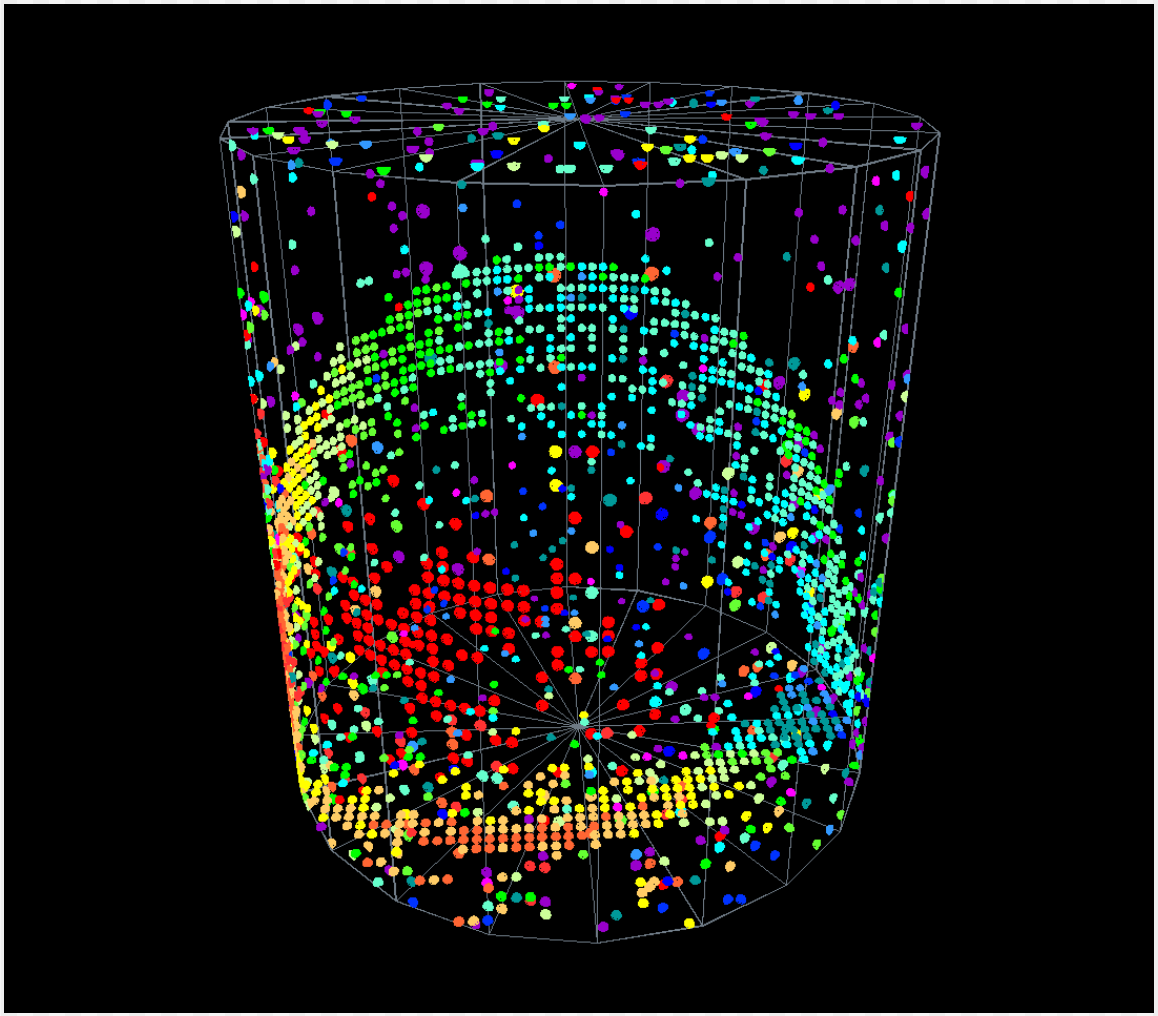
日本超级神冈中微子实验事例显示（by zhanghb）

超大的水池，内外装满了光电倍增管，1万多个



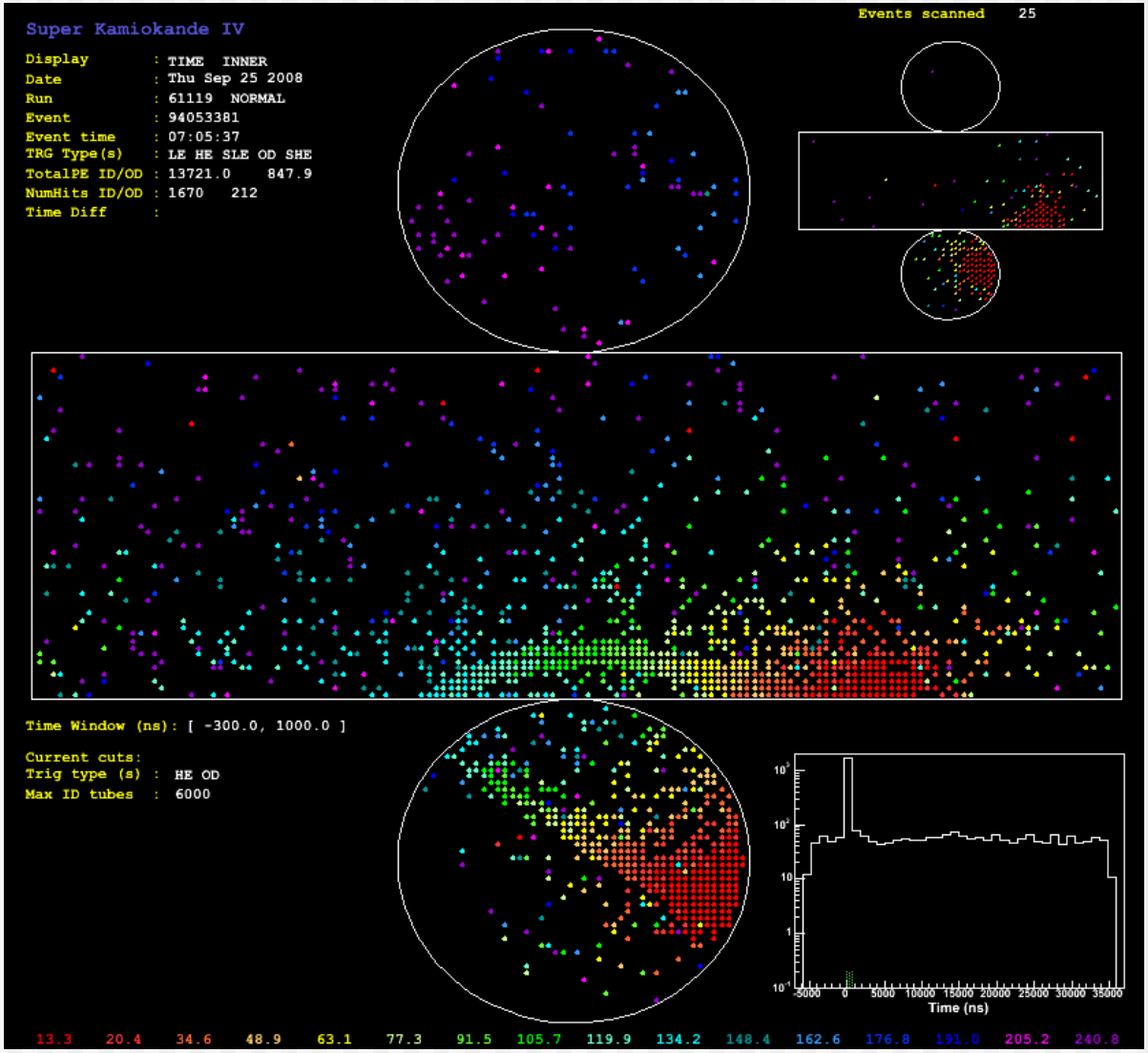
ROOT体验中心(3-2)

仅显示被击中的光电倍增管



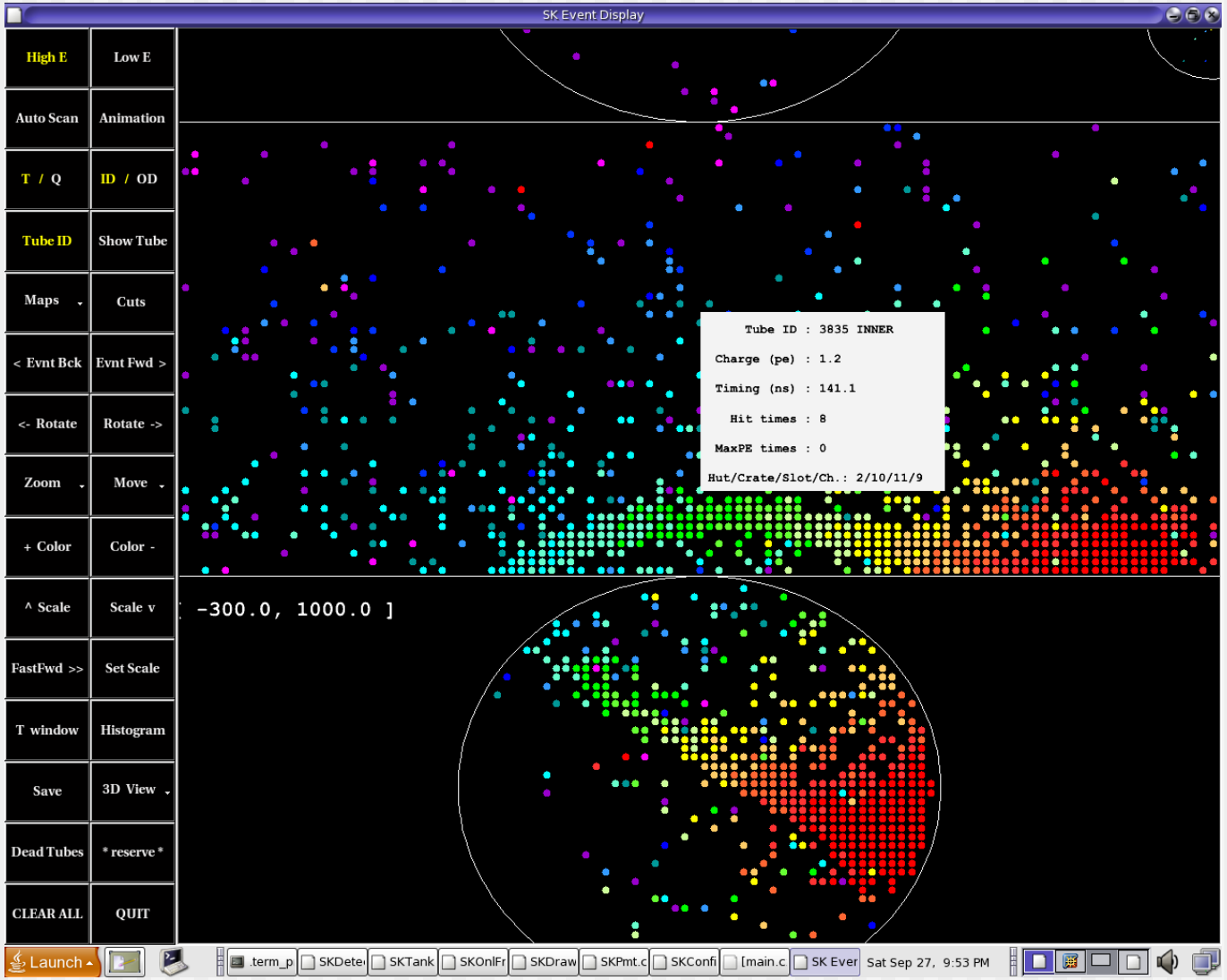
ROOT体验中心(3-3)

平面展开显示



ROOT体验中心(3-4)

平面展开，鼠标缩放，显示鼠标位置光电倍增管信息



ROOT语法(1)—基本信息

- ROOT使用C++语法

  一段C++程序可以直接在ROOT环境运行
- 数据类型重定义

  int → Int_t

  float → Float_t

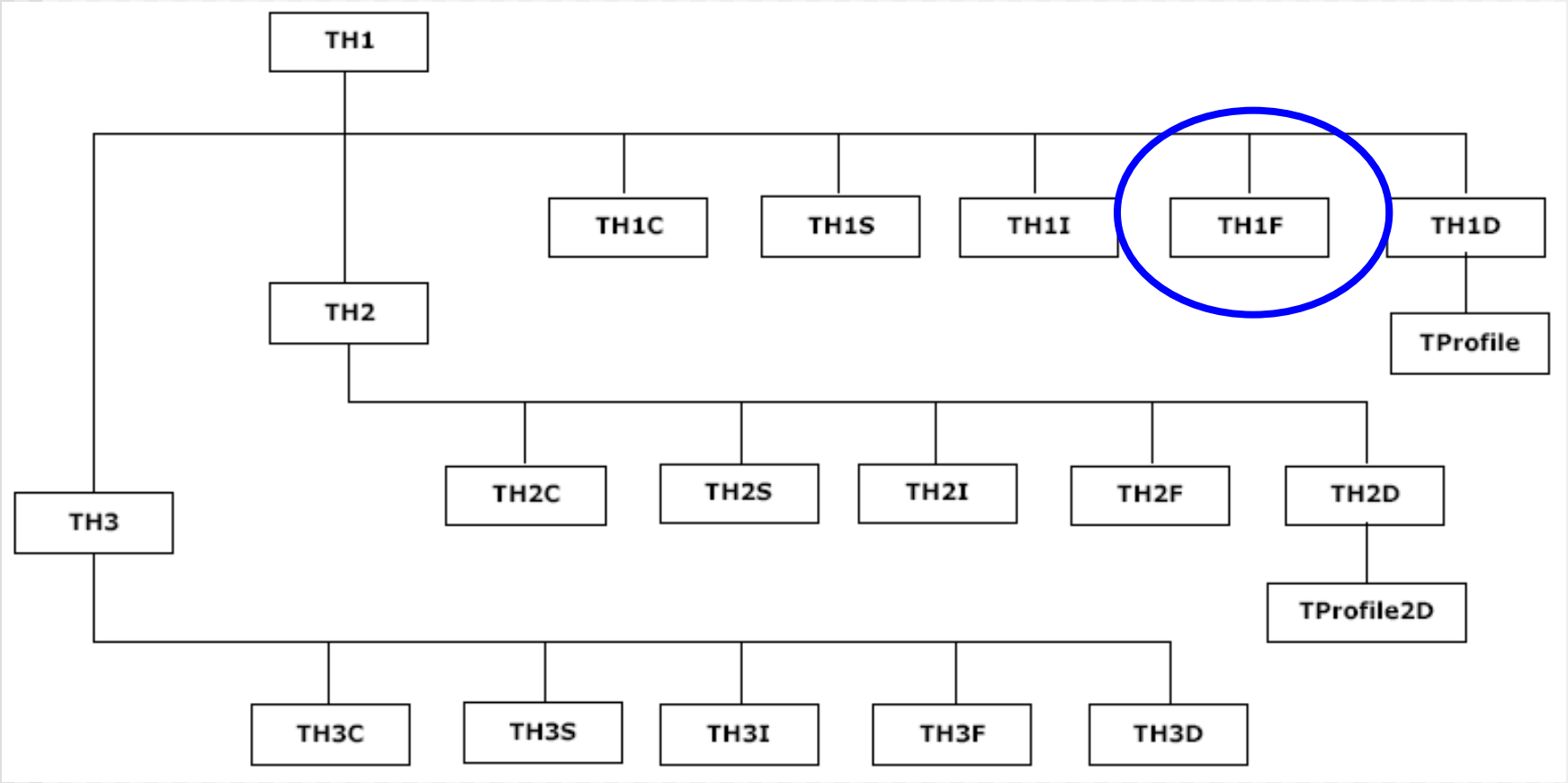
  double → Double_t

  ……
- ROOT的类都以T开头

  如TFile, TH1F, TTree, …
- 详细规定参阅ROOT手册(5.21版)第18-20页，关于Convention和Global Variables部分。
- 可以直接在ROOT环境中运行macro文件(自动调用cint编译器)，也可以在makefile中设置好相关参数用g++编译得到可执行文件运行。

ROOT语法(2)—直方图类

ROOT中有众多已经定义好的类可供使用，
比如直方图家族



ROOT语法(2)—其它类

其它常用类

数学函数：TF1, TF2, TF3...

图　　形：TGraph, TGraphErrors, TGraph2D,...

文　　件：TFile

画　　布：TCanvas, TPad, ...

随 机 数：TRandom,TRandom1,TRandom2,TRandom3

周期	10^9	10^{171}	10^{26}	10^{6000}
速度(ns/call)	34	242	37	45

速度与CPU和编译器有关

比如跟数据结构和分析有关的：

TTree, TChain, ...

参见 http://root.cern.ch/root/html526/ClassIndex.html

(谨代表***邀请各位光临敝舍。 注：***=yangzw)

还有很多全局函数，多数以g开头，如：

gRandom, gROOT, gStyle, gPad, gEnv, gFile...

ROOT语法(3)—随机数

gRandom是指向当前随机数产生子的指针，该产生子默认为TRandom3对象。

http://root.cern.ch/root/html522/TRandom.html

(为什么看TRandom？因为TRandom1/2/3都继承自TRandom)

```
gRandom->Binomial(ntot, p):          二项分布
gRandom->BreiWigner(mean, gamma)     Breit-Wigner分布
gRandom->Exp(tau)                    指数分布
gRandom->Gaus(mean,sigma)            高斯分布
gRandom->Integer(imax)               (0,imax-1)随机整数
gRandom->Landau(mean,sigma)          Landau分布
gRandom->Poisson(mean)               泊松分布(返回int)
gRandom->PoissonD(mean)              泊松分布(返回double)
gRandom->Rndm()                      (0,1]均匀分布
gRandom->Uniform(x1,x2)              (x1,x2]均匀分布
....
```

使用前可根据需要改变随机数种子和机制

思考：什么情况下需要PoissonD(mean)?

ROOT脚本文件示例(1)：Macro文件

/home/yangzw/examples/Lec3/ex31.C

用花括号括起来，后缀名一般用".C"

```
{
   cout << "Hello ROOT" << endl;
   int Num=5;
   for (int i=0;i<Num;i++) {
        cout << "i=" << i << endl;
   }
}
```

纯粹C++语法，执行的时候只需要在命令提示行：

```
cd /projects/$USER
cp -r ~yangzw/examples/Lec3 . (注意最后有个 ".")
cd Lec3
root -l ex31.C
```

ROOT中的数学函数

- 制作一维函数曲线图

```
TF1 *fun_name = new TF1("fun_name","expression",
x_low,x_high);
```

```
root[0]TF1 *f1 = new TF1("f1","x*sin(x)",-5,5);
```

- 制作二维函数曲线图

```
TF2 *fun_name = new TF2("fun_name","expression",
x_low,x_high, y_low,y_high);
```

```
root[0]TF2 *f2 = new TF2("f2","x*sin(x)+y*cos(y)",
-5,5,-10,10);
```

- 制作三维函数曲线图

```
TF3 *fun_name = new TF3("fun_name","expression",
x_low,x_high,y_low,y_high,z_low,z_high);
```

```
root[0]TF3 *f3 = new TF2("f3","x*sin(x)+y*cos(y)
+z*exp(z)",-5,5,-10,10,-20,20);
```

画图时采用 root[1]fun_name.Draw();

数学函数的定义方式(1)

ROOT中定义数学函数的方式多种多样

- 利用C++数学表达式

```
TF1* f1 = new TF1("f1","sin(x)/x",0,10);
```

- 利用TMath定义的函数

```
TF1 *f1 = new TF1("f1","TMath::DiLog(x)",0,10);
```

- 利用自定义C++数学函数

```
Double_t myFun(x) {
    return x+sqrt(x);
}
TF1* f1 = new TF1("f1","myFun(x)",0,10);
```

以上函数都不含参数，但在数据拟合时，我们往往需要定义含未知参数的函数

数学函数的定义方式(2)

ROOT中定义含未知参数的数学函数

- ROOT已经预定义了几种常用的含参函数

gaus:3个参数

f(x)=p0*exp(-0.5*((x-p1)/p2)^2))

expo:2个参数

f(x)=exp(p0+p1*x)

polN:N+1个参数

f(x)=p0+p1*x+p2*x^2+...

其中N=0,1,2,...，使用时根据需要用pol0,pol1,pol2...

landau:3个参数

朗道分布，没有解析表达式

这些预定义函数可直接使用，比如

```
histogram->Fit("gaus"); //对直方图进行高斯拟合
TF1 *f1=new TF1("f1","gaus",-5,5);
```

数学函数的定义方式(3)

ROOT中自定义含未知参数的数学函数

- 利用C++数学表达式

```
TF1* f1 = new TF1("f1","[0]*sin([1]*x)/x",0,10);
```

- 利用C++数学表达式以及ROOT预定义函数

```
TF1* f1 = new TF1("f1","gaus(0)+[3]*x",0,3);
```

- 利用自定义的C++数学函数

```
Double_t myFun(Double_t *x, Double_t *par) {
  Double_t xx=x[0];
  Double_t f=par[0]*exp(-xx/par[1]);
  return f;
}
TF1* f1 = new TF1("f1","myFun",0,10,2);
```

指定参数数目

定义了含参的**TF1**对象**f1**之后，可以设定参数初值，比如
f1->SetParameter(0,value); //为第**0**个参数设初值为**value**

ROOT中统计直方图

- 定制一维直方图

```
TH1F *hist_name = new TH1F(“hist_name”,”hist_title”,
num_bins,x_low,x_high);
```

- 定制二维图

```
TH2F *hist_name = new TH2F(“hist_name”,”hist_title”,
num_bins_x,x_low,x_high,num_bins_y,y_low,y_high);
```

- 定制三维图

```
TH3F *hist_name = new TH3F(“hist_name”,”hist_title”,
num_bins_x,x_low,x_high,num_bins_y,y_low,y_high,
num_bins_z,z_low,z_high);
```

- 填充统计图

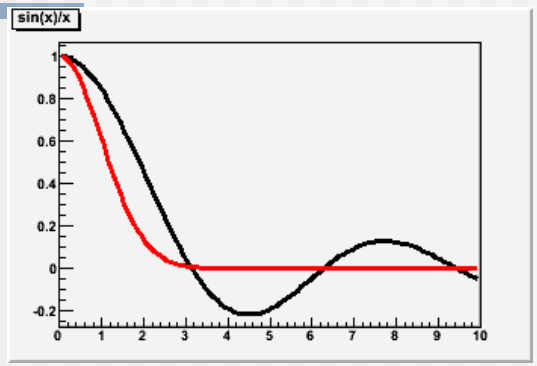
```
hist_name.Fill(x);
hist_name.Fill(x,y);
Hist_name.Fill(x,y,z);
```

绘图：

```
root[0]hist_name.Draw();
```

ROOT脚本文件示例(2):数学函数定义

/home/yangzw/examples/Lec3/ex32.C




```
//a simple ROOT macro, ex32.C
//说明ROOT中数学函数的使用，如TF1

void ex32() {
   //定义函数
   TF1 *f1 = new TF1("func1","sin(x)/x",0,10);
   f1->Draw();//画出函数图像
   TF1 *f2 = new TF1("func1",“TMath::Gaus(x,0,1)",0,10);
   f2->SetLineColor(2);//设置颜色为红色
   f2->Draw(“same”);//用参数”same”，把f1,f2画在同一个画布上
}
```

函数名称　函数表达式　函数区间

运行：在命令提示行下　root -l ex32.C

或在ROOT环境下　.x ex32.C

提示：1)脚本中void函数的名字必须与文件名相同(如ex32)

2)ROOT环境中定义类指针之后，如TF1 *f1，之后输入“f1->”，然后按一下Tab键，可以自动列出该类对象的成员函数和成员变量

ROOT脚本文件示例(3)：画布，保存图片

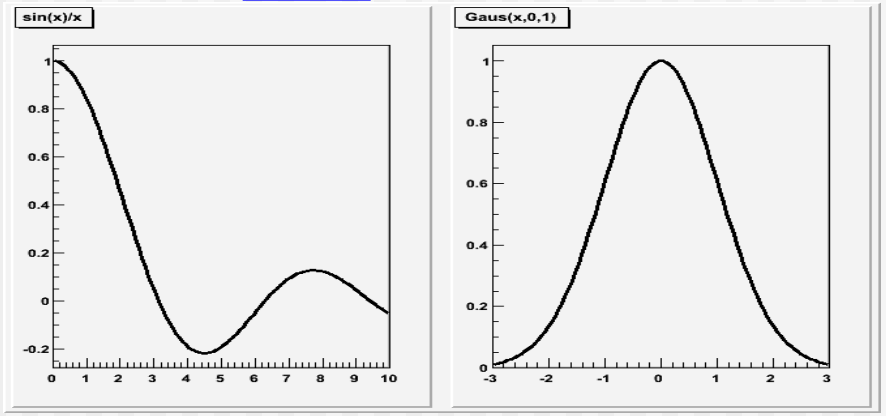
/home/yangzw/examples/Lec3/ex33.C

```
//说明ROOT画布的使用，TCanvas，保存图形
void ex33() {
  //define a function sin(x)/x
  TF1 *f1 = new TF1("func1","sin(x)/x",0,10);
  //define a Gaussian function, mean=0, sigma=1
  TF1 *f2 = new TF1("func2","Gaus(x,0,1)",-3,3);
  //定义一个画布, TCanvas
  TCanvas *myC1 = new TCanvas("myC1","A Canvas",10,10,800,600);
  //将画布分成两部分
  myC1->Divide(2,1);
  myC1->cd(1); //进入第一部分
  f1->Draw();
  myC1->cd(2); //进入第二部分
  f2->Draw();
  myC1->SaveAs("myex33.gif");
  myC1->SaveAs("myex33.eps");
}
```

像素坐标　(10,10):左上角
(800,600):右下角

名称

描述



运行：在命令提示行下　> root -l ex33.C
或在ROOT环境下　root[0] .x ex33.C

ROOT脚本文件示例(4a):直方图，随机数

/home/yangzw/examples/Lec3/ex34a.C

```
//说明ROOT直方图、随机数的使用，如TH1F, gRandom
void ex34a() {

   const Int_t NEntry = 10000;
   //创建一个root文件
   TFile *file = new TFile("hist1.root","RECREATE");
   TH1F *h1 = new TH1F("h1","A simple histo",100,0,1);
   //填充直方图10000次，用(0,1)均匀分布
   for (int i=0;i<NEntry;i++) h1->Fill( gRandom->Uniform() );
   h1->Draw();
   h1->GetYaxis()->SetRangeUser(0,150);
   h1->GetXaxis()->SetTitle("x");
   h1->GetXaxis()->CenterTitle();
   file->cd();    //进入文件file
   h1->Write();//将h1写入文件
}
```

名称

描述

No. of Bin

区间

调用均匀分布Uniform()，其它：
Landau(mean,sigma);
Binomial(ntot,prob);
Poisson(mean);
Exp(tau);
BreitWigner (mean,sigma);

执行的时候只需要在命令提示行　root -l ex34a.C

或者进入ROOT环境之后，运行　.x ex34a.C

ROOT脚本文件示例(4b):随机数-舍选法

/home/yangzw/examples/Lec3/ex34b.C

```
void ex34b() {
  //gDirectory->Delete("*;*");
  Float_t xMin =  0.0 ;
  Float_t xMax = 1.0 ;
  TH1F *hX = new TH1F("hX","sawtooth p.d.f.",100,xMin,xMax);
  gRandom->SetSeed();
  for (int i=0;i<10000;i++) {
    float x=mypdf(xMin,xMax); //舍选法产生随机分布
    hX->Fill(x);
  }
  hX->Draw("e");
}

float mypdf( float xMin, float xMax ){
  float fmax = 2.;  //寻找分布函数最大值
  while (1) {
    float r = gRandom->Uniform(xMin,xMax); //1st随机数(xMin,xMax)
    float z = 2.*r/xMax/xMax; //期待的分布函数
    float u = gRandom->Uniform(0.,fmax); //2nd随机数(0,fmax)
    if(u<=z) return r;
  }
}
```

执行的时候只需要在命令提示行　root -l ex34b.C

或者进入ROOT环境之后，运行　.x ex34b.C

ROOT脚本文件示例(4c):随机数

/home/yangzw/examples/Lec3/ex34c.C

也可以利用类TF1、TF2或TF3自定义函数，通过调用GetRandom()函数获得服从自定义函数分布的随机数：

```
TF1 *f1 = new TF1("f1","abs(sin(x)/x)*sqrt(x)",0,10);
double r = f1->GetRandom();
```

```
void ex34c() {
  //定义直方图
  TH1F *h1 = new TH1F("h1","histogram from TF1",100,0,10);
  //定义TF1函数
  TF1 *f1 = new TF1("f1","abs(sin(x)/x)*sqrt(x)",0,10);
  for (int i=0;i<10000;i++) {
    double r = f1->GetRandom();  //按照f1分布产生随机数
    h1->Fill(r);
  }
  h1->Draw();
}
```

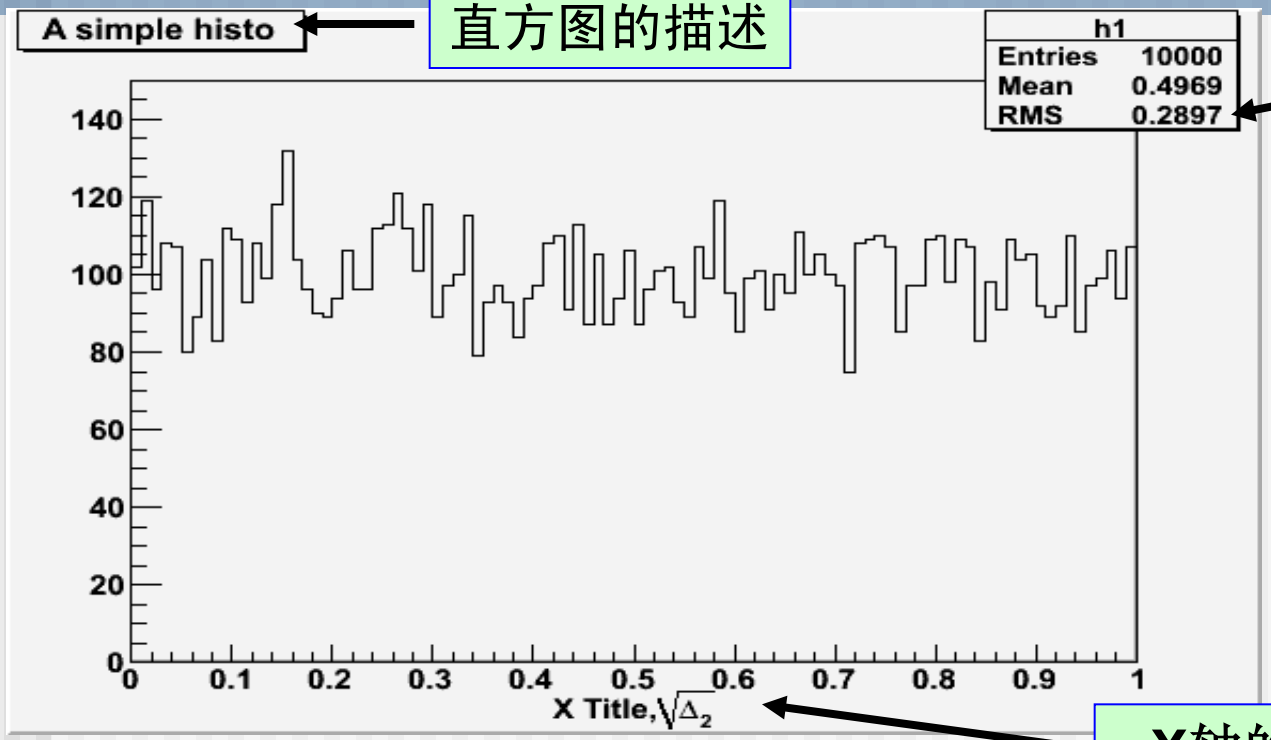
执行时只需要在命令提示行 root -l ex34c.C

或进入ROOT环境后，运行 .x ex34c.C

感兴趣者可以看看TF1的GetRandom()函数是如何实现的。实际上，是把SDA(3.5)-(3.6)进行数值积分得到x(r).

当函数f1有陡峰时，要小心！这时可能需要改变一些参数。

直方图、打开root文件



直方图的描述

直方图统计信息
事例数：Entries
均　值：Mean
方　差：RMS

参见ROOT手册37页
“Statistics Display”

X轴的名称

打开已有的root文件，如hist1.root:

终端提示行下:

```
root –l hist1.root
```

ROOT环境下：

```
TFile f1(“hist1.root”);
.ls
h1->Draw();
```

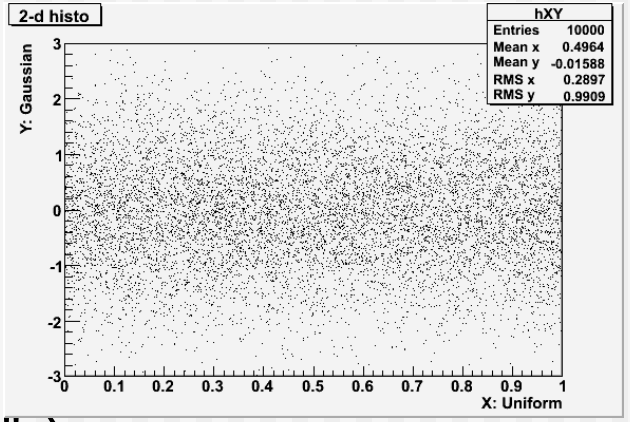
```
[training] /home/yangzw/workdir/examples/Lec3 > root -l
root [0] TFile f1("hist1.root");
root [1] .ls
TFile**         hist1.root
 TFile*         hist1.root
  KEY: TH1F     h1;1    A simple histo
root [2] h1->Draw("e");
```

ROOT脚本文件示例(5): 散点图

/home/yangzw/examples/Lec3/ex35.C

```
//2维直方图TH2F，散点图，散点图的协方差
void ex35() {
   const Int_t NEntry = 10000 ;
   TH2F *hXY = new TH2F("hXY","2d histo",100,0,1,100,-3,3);
   for (int i=0;i<NEntry;i++) {
        float x = gRandom->Rndm() ;
        float y = gRandom->Gaus(0,1) ;
        hXY->Fill(x,y) ; //填充2维直方图
   }
   hXY->Draw();  //2维直方图的散点图
   hXY->GetXaxis()->SetTitle("X: Uniform" );
   hXY->GetYaxis()->SetTitle("Y: Gaussian");
   Float_t covar = hXY->GetCovariance(); //协方差
   cout << "Covariance = " << covar << endl;
}
```

二维直方图的Draw()函数有很多选项，请自行选择



运行：在命令提示行下 root -l ex35.C

或在ROOT环境下 .x ex35.C

小结

- ROOT简介

  C++，面向对象，实验数据处理的强大工具
- 安装与登录以及体验
- 运行ROOT脚本
- 数学函数，画布，直方图，随机数，散点图，舍选法等等

  TF1，TCanvas，TH1F，gRandom，TH2F
- 新建root文件，查看root文件

  TFile

练习

1. 写一个ROOT脚本，ex3_gaus.C, 调用随机数产生子产生高斯分布，区间(-6,6)，分30个bin，画出直方图，比较不同的参数的分布。
   参数组合为：(mean,sigma)=(0,1), (0,2), (1,1), (1,2),
   把这4个分布的直方图画在同一个图中进行比较。
   hint：高斯分布用gRandom->Gaus(mean,sigma)产生。
   使用Draw()函数的"same"参数可以在一个画板上画多个图。
2. 写一个ROOT脚本，ex3_pdf.C，作4个直方图，分别产生10000事例的Gauss,Poisson,Binomial,Landau分布。创建画布，分成2*2块，将4个直方图画在画布的1-4部分。注意不同分布的参数选择合理性，比如Binomial(ntot,p), ntot>0, 0<p<1.
   定义一个二维直方图(TH2F), 将随机产生的1000个坐标(x,y)填充到直方图中，其中x和y都是(0,1)之间的均匀分布。画出散点图，查看x和y的关联。用
   hint：用gRandom->Rndm()产生均匀分布。
3. 将练习2中产生的直方图储存到mypdf.root文件中。
   将所画直方图的x/y轴添加上名称，不同分布用不同颜色。
   将画布存成eps文件和gif文件
4. 将例题ex35.C中的事例数改为1000，屏幕打印出关联系数。
5. cp –r $ROOTSYS/tutorials /projects/$USER
   运行以下几个文件，查看ROOT直方图的常用功能如何实现
   twoscales.C, transpad.C, multicolor.C, logscales.C, hstack.C
6. 阅读ROOT手册第二章以及第三章(直方图)
   熟悉ROOT语法惯例，直方图制作的各种参数，随机数的使用

参考资料

- ROOT手册第2章，第3章
- http://root.cern.ch
- http://root.cern.ch/root/Reference.html
- http://root.cern.ch/root/Tutorials.html
- http://root.cern.ch/root/HowTo.html
- $ROOTSYS/tutorials中的各个例子