

北京谱仪 II 顶点探测器径迹重建软件的研究*

曾瑜 毛泽普¹⁾

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 解决了北京谱仪 II 顶点探测器径迹重建软件系统——VCJULI 从 HP-Unix 平台到 PC-Linux 平台移植中“字典存放”和精度处理的问题,从而使两平台上的候选径迹差别从 74% 降至 0.02%;径迹参数中一些量的差别从 5% 下降至 0.5% 左右,大大改善了寻迹质量并节省了 CPU 时间.

关键词 顶点探测器 径迹字典 径迹重建 HP-Unix PC-Linux

1 引言

北京谱仪 II (BES II) 是工作在北京正负电子对撞机 (BEPC) 上的一台大型通用磁谱仪^[1], 是国内第一个高能物理磁谱仪. 它由束流管、顶点探测器 (VC)、主漂移室 (MDC)、飞行时间计数器 (TOF)、簇射计数器 (SC) 以及 μ 子计数器 (MUON) 等子探测器组成, 用以探测和纪录正负电子对撞产生的各种末态粒子的信息.

北京谱仪 II 顶点探测器由内筒、外筒、内外端面板以及 640 根稻草管几部分组成. 稻草管是由厚 0.1mm, 半径 4mm 兼作阴极的镀铝 Mylar 管和直径为 50 μ m 的中心阳极丝构成. 这 640 根稻草管构成 12 个同心层, 其中内 4 层和外 4 层为轴向丝层, 用于 r - ϕ 方向寻迹; 中间 4 层为斜向丝层, 用于 z 向寻迹. 由于近丝处的空间分辨变坏, 内 4 层和外 4 层的每层稻草管相对于前一层错开 1/2 个管子以保证每根径迹在内、中、外每 4 层中至少有两次较高空间分辨的击中, 同时也使得信号的左右分辨相对容易.

顶点探测器可以作触发以抑制本底, 并可以联合各子探测器进行重建. 主漂移室与顶点探测器的联合重建的研究结果表明, 使用顶点探测器参加 BES II 的径迹重建后, 动量分辨有较大提高, $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ 的动量分辨率提高了 10MeV^[2].

在 2000 年前 BES 事例重建环境由 HP-Unix 系

统组成, 所有子探测器的事例重建程序都在 Unix 平台上运行. 由于 PC 机的高速发展, PC 机的 CPU 与 HP 机器比较具有非常优越的性价比, 所以高能物理所也象世界上其他高能物理实验室一样开始研究采用 PC-Linux 机群 (PC-FARM) 构建物理分析环境^[3]. PC-FARM 是由多台 PC 机构成的集群式计算环境. 它具有计算能力强、性能价格比高、配置灵活、易于管理、升级方便等特点, 是建立大规模计算环境的一个理想方案. PC-Linux 系统从原理上讲与 HP-Unix 系统基本一致, 但由于 HP 工作站与 PC 机硬件上的差异, 以及 Unix 与 Linux 软件系统的一些差异, 使原来工作在 HP 平台上的 BES 事例重建系统在两个平台上运行结果有明显差别, 为了充分利用 PC 机群的优越性, 必须对 BES 事例重建软件作仔细研究, 将 HP-Unix 平台上的程序移植到 PC-Linux 平台上.

2 径迹重建

正负电子在对撞点对撞, 产生的次级粒子穿越顶点探测器时, 将引起探测器内的气体电离, 电离电子在附近的信号丝上产生信号, 这些信号用某种固定的格式记录下来, 并称为原始数据. 径迹重建就是用这些原始数据计算终态粒子的空间坐标信息从而再现带电粒子的飞行径迹. 利用带电粒子飞行径

2003-01-14 收稿

* 国家自然科学基金 (19991480) 资助

1) E-mail: maozp@mail.ihep.ac.cn

迹在磁场方向的垂直平面上的投影是圆弧的原理,从而得到带电粒子的动量、电荷等物理量。

VC重建程序(VCJULI^[4])包括径迹寻找和径迹拟合两部分。

1) 寻迹软件部分采用整体径迹识别方法^[5],利用径迹字典以及类似于人工智能中文字识别的方法挑选径迹,具有速度快、效率高的优点。径迹字典由模式字典、单元字典和辅助字典三部分组成。其中,模式字典存放的是所有的单元组合,采用 MINUIT^[6]技术即可找出在一定的投影半径和紧致系数下的所有的径迹模式;单元字典是单元的径迹模式列表,即每个单元与哪些径迹模式相联系,是模式字典的逆;辅助字典部分用来剔除由于着火丝失效等引起的真实径迹的子径迹^[7]。径迹寻找是利用轴丝层信息在 $r-\phi$ 平面内完成的。利用每根着火丝测量到的漂移时间、丝的几何位置以及带电粒子的空间轨迹在 $r-\phi$ 平面内投影是一圆弧的原理,对径迹作简单拟合找到投影圆弧的参数^[7]。

2) 径迹拟合程序利用轴丝层寻迹得到的 $r-\phi$ 平面的径迹圆弧参数和斜丝层测量到的信息得到径迹的 z 向坐标。根据带电粒子在均匀磁场中运动的空间轨迹方程^[7]作精细的螺旋线拟合,最后得到描写径迹空间螺旋线方程的 5 个参数,即粒子的空间坐标和动量^[8]。

3 顶点探测器径迹重建软件的研究

经过了 BES 合作组很多人的努力将 HP 平台上的软件移植到 PC 平台上,BES 离线数据分析软件 102 版本已经成功地对 J/ψ 数据进行物理分析,然而在 HP 及 PC 平台上进行事例重建时径迹数及径迹参数仍有明显差异,经过仔细地分析和对软件系统进行系统地研究,发现主要原因如下:

1) 虽然 Linux 与 Unix 操作系统十分相似,用户命令也基本相同,但两个系统的 FORTRAN 编译器对源程序的要求仍有许多差异,Linux 平台上的编译器要求源程序严格遵循 FORTRAN 语法,而 HP 平台相比而言则宽松得多^[9];

2) BES 源程序产生于 18 年前的 FORTRAN 版本,虽然经过多次改进,还是存在很多不规范的语句,这些语句将在两个操作系统下产生出不同的结果,或者在不同的系统下无法运行;

3) 目前的 PC 机使用 32 位进行运算,而 HP 工作站使用 64 位运算,使得在两种系统上进行一些高

精度数值计算时,运算结果产生差别;

4) 两种机型对一些数据的存储方式和处理方法也存在差异。

为此,在建立 PC 机平台的 BES 离线分析环境时,需要对 BES 在 HP 平台上的离线分析软件逐个进行仔细检查和移植。为了进一步在 PC 平台下作事例重建,我们对 BES 事例重建软件(V102 版本)作了仔细的检查和修改。

具体检查分两步:(1)分别在两个平台上作事例重建,然后统计对于每个事例在各个子探测器上所找到的径迹数,并比较两个平台上所得到的每个子类的径迹数是否相同;(2)对在两平台上相同径迹数的事例比较每条径迹的各个参数在两个平台上的差别。定义当这一差别超过 $1\% \times (R_{iU} - R_{iL})/R_{iU}$ 时(其中 R_{iU}, R_{iL} 分别为第 i 个参数在 HP-Unix 平台和 PC-Linux 平台下的值),该参数在两个平台上不同。通过研究发现 VC 部分在两平台上的径迹数和径迹参数都有很大区别,其主要差别来自于两平台对“字典”处理方式以及对精度处理方式的不同。

3.1 径迹数检查

对 Run15254.raw 在两平台上重建并统计径迹数,发现不同径迹数的事例是很大的。经过研究发现,引起径迹问题的原因如下:

主漂移室各字典是二进制形式,因而在两平台上不存在程序对字典处理方式的不同。而与主漂移室字典不同的是顶点探测器各字典是 ASC II 码形式存放的,因为两平台整形数的放法是不一样的,并且在寻迹时需要作“位操作”,所以在使用时采用了将 ASC II 数字读入并与一个逻辑变量等价的方法来进行数据传递,但在用逻辑量与整形量等价时,两平台上存取的方式有很大差异,从而导致对候选径迹的选取不同。

考虑一字节数组(每个单元占用 1 个字节)VCS-DCT(100000)和四字节数组(每个单元占用 4 个字节)VCSDC4(25000)等价(EQUIVALENCE(VCSDC4(1), VCSDC4(1))),例如对于值 $2047 = (111111111111)_2$,两平台的处理方式如图 1。可以看到,如果要从某一字节中取值,例如从(2)字节取值,HP-Unix 平台上为 $(00000000)_2$,PC-Linux 平台上却为 $(00000111)_2$,转化为十进制,HP-Unix 平台上值为 0,而 PC-Linux 平台上值为 7。通过比较发现,每四字节的存放方式,在 HP 平台上恰好是倒过来的。

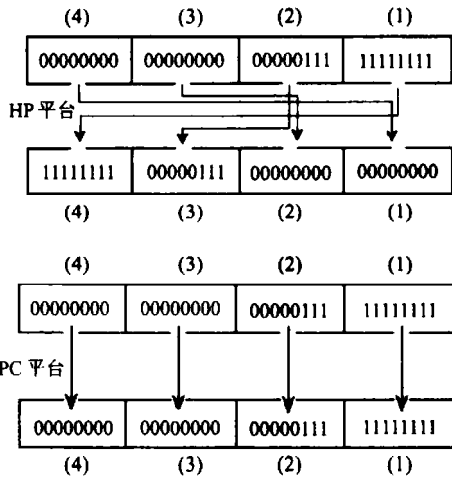


图 1 HP-Unix 平台与 PC-Linux 平台“字典”处理方式一

同样,对于一字节数组(每个单元占用1个字节)VCSDCT(100000)和两字节数组(每个单元占用2个字节)VCSDC2(50000)等价(EQUIVALENCE(VCSDC2(1), VCSDCT(1))),对于值 $2047 = (1111111111)_2$ 在两数组等价后,如从(2)字节取值,HP平台上为 $(11111111)_2$,化为十进制等于-1;PC平台上为 $(00000111)_2$,化为十进制等于7如图2所示.

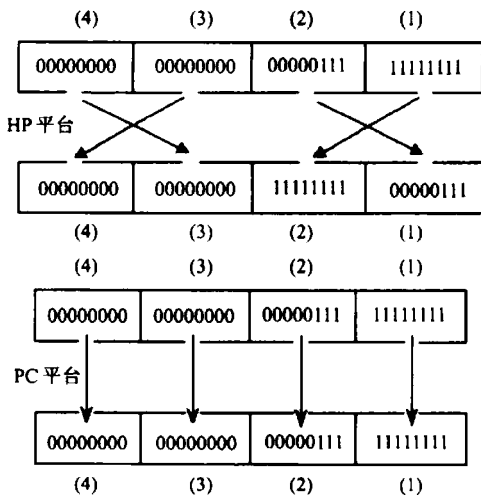


图 2 HP-Unix 平台与 PC-Linux 平台“字典”处理方式二

通过以上比较可发现,两平台对于四字节数组和一字节数组等价及两字节数组和一字节数组等价的处理方式的不同及其规律.由于HP平台和PC平台存在上述处理方式的差别,导致用于寻找候选径迹的程序VCTKFD.f在读入存放字典内容的VCSDCT(*)数组不同,从而导致在 $r-\phi$ 平面找出的候选径迹数不同.该问题通过软件适当处理得到了解决.利用数据Run15254.raw,做5000个事例的结果

如图3所示.横坐标1,13分别为VC的候选径迹和最终径迹,纵坐标是存在径迹差异的事例数所占比例.其中,候选径迹即 $r-\phi$ 平面内找出的径迹,在其加上斜丝层的信息进行螺旋线拟合作取舍后得到的径迹为最终径迹.

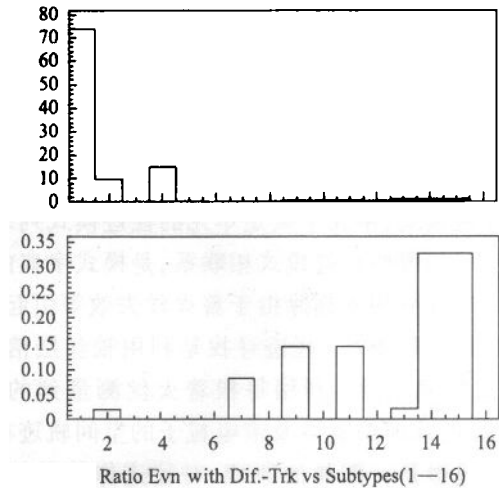


图 3 改进前与改进后候选径迹数不同的事例数所占比例

- 1 VC 候选径迹; 2 中性事例; 3 MDC; 4 TOF; 5 SC; 6 Muon; 7 dE/dx ; 8 Vertex Constrained Track Fit; 9 MDC Pointers; 10 SC Pointers;
- 11 Projected/Decay Coordinates of MDC Tracks; 12 Virtual Track; 13 VC;
- 14 VC Pointers; 15 Projected/Decay Coordinates of VC Tracks;
- 16 MDC-VC Matching Info.

从图3可以发现, $r-\phi$ 平面内候选径迹数不同的事例数由3611下降到1(事例号828),也就是从改动前的74%左右下降到改动后的0.2%.同时可以看到,尽管字典在PC平台上的处理方式与HP平台上不同导致候选径迹数差异很大,但最终径迹数相差却不大,其主要原因是:在利用斜丝层信息时,程序会对字典的大部分作同样的“位操作”处理,这样,加上在 $r-\phi$ 平面内寻迹时的一次“位操作”处理,就相当于对原字典进行了偶数次等价操作,从而最终径迹数与HP平台上差异不大,但寻迹效率很低.而在考虑斜丝层信息时没有做相应的字典等价处理的,即做奇数次等价操作的部分,会导致最终径迹数有所不同.另外,VC部分改动后,与VC部分相关连的外推匹配部分,如TOF,SC(对应于图3中横坐标4和5)等部分,也会有相应的变化.通过仔细研究候选径迹仍不同的事例号828,发现单独做此事例时两平台并无差别,而连着做经过828事例的多个事例后,两平台上出现不同.不同的原因是因为程序还不够严格以及HP-Unix平台某些处理规则较宽松,从而导

致找出的径迹数比 PC-Linux 平台上多出一条,其结果见图 4.

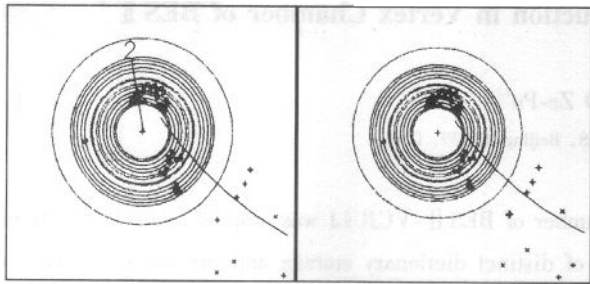


图 4 HP-Unix 平台及 PC-Linux 平台上对事例 828 单事例显示结果

因此,在对顶点探测器重建程序字典读入部分进行修改后,较之修改前两平台上近 74% 的事例径迹数不同有了非常大的提高,候选径迹数已完全相同;最终径迹数也完全相同.

3.2 径迹参量检查

为了提高物理分析结果的精度,减少在各个平台之间分析结果的差别,要求事例的各个物理量在各个平台上保持一致,即在各个平台上径迹参量相同.

引起 VC 各径迹参量在 HP 和 PC 平台上不同的主要原因是:PC 机使用 32 位进行运算而 HP 工作站使用 64 位进行运算,在两平台上进行一些高精度数值计算时,运算结果产生差别.将一些主要的循环变量由单精度改成双精度型以及对一些不规范的程序进行了修改,径迹参量的差别大大减小.对 Run15254.raw 在两平台上做 5000 个事例重建并统计径迹参量不同的径迹数所占比例,改进前后的结果见图 5.

从图 5 可以看出,参量 26,29,33,34 即几个与

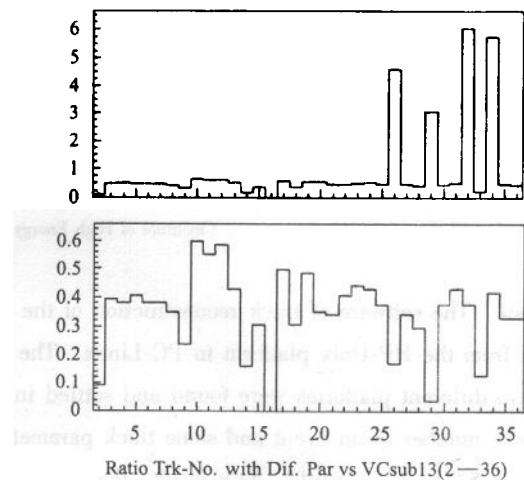


图 5 改进前后径迹参量不同的事例数所占比例

误差矩阵相关的量修改前有 5% 左右的径迹在两个平台上是不一样的,修改后两平台上的径迹参量相差均小于 5%,一些径迹的主要参量如 $P_x, P_y, P_z, P, \theta, \phi$ (4—9) 均小于 4%.

4 总结

北京谱仪顶点探测器径迹重建软件在 PC-Linux 平台上经过改进之后,寻迹质量和寻迹效率大大提高,两平台上的候选径迹数完全相同,径迹参量不同的事例所占比例降为 5% 左右.由于 VC 部分处于谱仪内层,并且与 TOF, MDC, ESC 径迹作外推匹配,涉及的部分很多,因此,如果要进一步提高 VC 径迹外推部分的精度,还需对外推部分的程序作检查或必要的修改.

感谢中国科学院高能物理研究所刻度组在程序调试与改进中的帮助.

参考文献 (References)

- 1 BES Collab. Nucl. Instr. Meth., 2001, **A458**:627
- 2 LIU Jing. Postdoctoral Report of CCAST, 1998 (in Chinese) (刘靖. CCAST 博士后出站报告, 1998)
- 3 LIU T R et al. Proceedings of CHEP 2001, 2001, 97
- 4 CHEN G P et al. The 5th BES Annual Meeting, 1996, 115
- 5 Grote H. Rep. Prog. Phys., 1987, **50**:473
- 6 James F. MINUIT-Users guide, Program Library, CERN, 1992, D506
- 7 CHEN Guang-Pei et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1998, **22**:985 (in Chinese) (陈光培等. 高能物理与核物理, 1998, **22**:985)
- 8 MAO Ze-Pu et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1993, **17**:193 (in Chinese) (毛泽普等. 高能物理与核物理, 1993, **17**:193)
- 9 Walter Toki. The 5th BES Annual Meeting, 1996, 195

Research on the Software of Track Reconstruction in Vertex Chamber of BES II *

ZENG Yu MAO Ze-Pu¹⁾

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

Abstract The software of track reconstruction of the vertex chamber of BES II -VCJULI was studied when it was transplanted from the HP-Unix platform to PC-Linux. The problems of distinct dictionary storage and precision treatment in these two different platforms were found and settled in the modified software. Then the obvious differences of the candidate track number in an event and some track parameters caused by them were reduced from 74 % to 0.02 % and from 5 % to 0.5 % , respectively. As a result, the quality of the track finding was greatly improved and the CPU time saved.

Key words vertex chamber, track dictionary, track reconstruction, HP-Unix, PC-Linux

Received 14 January 2003

* Supported by NSFC(19991480)

1) E-mail: maozp@mail.ihep.ac.cn