

吴为民

随着现代科学技术的发展,图象识别问题成了一门新兴的学科,无论是卫星上拍的遥感照片,还是气象云图或高速摄影的照片分析,或者核磁成像,正电子扫描与超声红外探测等技术手段的数据处理,无一不与图象识别问题紧密相连。科学家们力图使模糊的变得清晰,畸变的设法使其还原、复杂的设法使其简化、隐晦的使其明朗……,于是,模糊数学蓬勃发展。而现代计算机庞大的处理能力为解决这一复杂问题提供了有力的手段,目前,胶片影像的清晰度、颗粒度以及曝光、色调等都可以通过计算机来进行处理。

在这里向大家介绍一个特殊的图象识别问题,即如何将高能物理实验中用电子学方法记录的实验数据还原成有物理意义的图象,并读出粒子运动的径迹。

用电子学方法记录到的数值我们称为测量值,也称为“击中”。在一个大型探测器中,一次实验所记录到的数据可达几万个之多,要从这些“击中”中剔除本底,提出有用的径迹数值,分门别类找到“归宿”,真是一件不容易的事,正如:

大海捞针

让我举一个简单的例子:如果有十条直线径迹通过三层平行的平板探测器,我们面临的问题,是在一个有三十个点的图影中,找出三条直线。最笨的办法,是对三层平板作三次循环试验,也就是 10^3 次试验,如果是十层探测器呢,则需 10^{10} 次试验。这几乎是不可思议的。

目前,大型高能实验的事例数是很大的,所以计算机的需求量是惊人的。如西欧中心(LEP)上的ALEPH实验计划,虽然经过三级触发选判,仍然每秒记录一个事例,以此推算,一年需要记录31536000个事件,那么就需要化6万多个小时(用IBM(370/168型)机器)去处理这个事例,可见,问题是十分严重的。

这还不是困难的全部,科学家在从事高能物理实验时,往往并不能估计“未来”,也许根本不知道未知的粒子和在物理过程中所形成的径迹,这样,面对成千上万个“击中”,没有一个可以作为样板的图象可以用来作比较。当年发现 $W^\pm$ 和 Z^0 粒子的UA1和UA2实验

组在发现 $W^\pm$ 、 Z^0 前,虽然理论家已有预言它们的存在,但在实验过程中,对于 $W^\pm$ 、 Z^0 的事例应该是什么“相貌”,也很难描绘清楚。因此,在实验的初始阶段,他们的图象识别程序也漏判了许多有用事例。但一旦找到了一个,有了一个“样板”,在重新修改图象识别程序的基础上,把处理过的数据磁带再复查一遍,又找回了许多漏判的有用事例,图象识别问题,不仅仅是一个数学问题,更是一个物理问题,面对各种不同类型的探测器与千变万化的物理过程,千篇一律的答案是没有的。它需要理论,也需要经验,更需要庞大的计算机处理能力作为后盾。我们不禁要问:有没有一个比较聪明的办法?让我们一起来讨论吧!

图象识别的定义

对探测器的一次触发所得到的所有测量值进行分类:

- A. 每一个子数据集,仅仅包括由同一粒子产生的数据。
- B. 有一个子数据集,包括所有的在给定的确定性范围内,不能与任何粒子径迹相关的数据。

A表明每一个子数据集对应一条径迹;B则表明,本底中不再含有属于径迹的数据。

根据这个定义,图象识别问题基本上可以分为两步走,即第一步,选择有测量值的子系统,形成“候选者”,第二步,检查这个子系统,判断是否属于一条径迹。更细致地讲,即是这样的方式:

- 选择一定数量的初值;
- 根据物理背景,进行插查,从而作出“继续”或“排斥”的抉择;
- 引进新的测量值;
- 进一步插查,找到尽可能多的属于同一子数据集的数据;
- 最终的检查、合并、分类;
- 对径迹进行“装配”,参量化。

现在,世界各国许多高能物理实验组建立、发展了许多种图象识别方法,面临各种不同类型的探测器,物理学家们已经成功地编制了“通用”的蒙特卡洛程序库

(或称为“框架”),用户只需把探测器的几何结构等特定参量,编成用户程序,然后适当地编制在程序库的框架内,即可成为特定探测器的蒙特卡洛程序。但是,目前还没有一个“通用”的图象识别程序库,其实,这也是不存在的。但是,我们可以归纳出一些基本方法供大家参考。

基本方法

基本方法有这样几种:

1. 完全组合法。

这种方法,是把所有的测量值,组合成子数据集,每个这样的子数据集,含有可能是“本底”的测量,然后对每一个这样的子数据集进行拟合,看看拟合的结果是否符合作为一个有物理意义的径迹的数据,以决定舍取,最后的结果应该是:

——在本底的数据集中的讯号数应该是最少的,即可以属于某径迹的都已“在”“径迹数据集”中了;

——有物理意义的径迹数应该是最少的,即可以合并的属于同一粒子的径迹都已经合并了。

由于“完全组合法”所需的循环次数很多,所以单纯采用这种方法,没有任何实用价值,但在某种条件下,也不得不采用这种方法。

2. 径迹跟踪法。

这种方法往往用于径迹比较小,分隔比较开的情况。它先是选取若干个测量点作为开始,再用外推法预测下一个点。外推的方法,可以是直线、圆弧线、抛物线等。由于这种方法仅仅考虑局部的径迹模型,总是用最新找到的点来外推下几个点,所以是一个简单而快速的方法。但一旦间隔变大,近似模型不再成立,或由于测量误差使得最新找到的点本身有问题,那时,外推只能造成误差进一步传递,这时,“径迹跟踪法”不再适用。

3. 径迹“路”法。

在“图面”(即空间测量点)上,定义一些有一定宽度的三维空间的管道,俗称为“路”,而“路宽”则由蒙特卡洛方法确定。模型越好,“路”越窄,越省时间。最简单的情况,通常用探测器的三倍标准偏差作为“路”宽,而“路”的模型,常常由物理背景决定,或是螺旋线,或是直线等。这样可以把寻找径迹的工作局限在一条“路”内,减少了完全组合法的试验次数,这是“路法”的优点所在。

4. 统计法

这是一种整体处理方法,常常用于粒子径迹分布在较大范围内的情况。可以适当定义一些以测量值的坐标为自变量的函数,并对此函数作统计图。如果函数定义适当,与径迹相对应的函数值一定会出现峰值。

5. “树”法。

它的基本特点,是以成对的测量点的相互关系为基元。对“路”内测量点的局部区域进行考察,而及时排除一些可能性,这样可以减少由于“路”宽而误进的“候选”者的数量。

上面介绍的多种方法,很难讲哪种比哪种更好,而复杂的物理问题,往往是要用多种方法去综合解决的。例如

ALEPH-TPC

这是在西欧中心正在建造的正负电子对撞机 LEP 上的 ALEPH 实验组的时间投影室,它是一个内径为 0.33 米,外径为 1.77 米,长达 4.4 米的时间投影室。它共有 6000 根丝,21 排,44000 个片。端盖部分,有 18 个锯齿状的组件合成。为了减少工作死区,片的犬牙交错安排。但对图象识别问题,带来了更多的困难,对这样一个复杂的图象识别问题,我们采用一种综合方法。

首先是选择满足一定条件的初值,一可以计算粒子运动的曲率半径,二可以估计径迹的空间位置,从而淘汰一些没有物理意义的或实验家们不感兴趣的径迹。一旦找到了符合条件的初值,即可顺藤摸瓜,检查相邻的那一排上的“击中”,寻找一个新的点以组成新的链,这就是径迹跟踪法。而一旦有了一条好链,便可用它的曲线参量构成一条三维空间的“路”,向正、反两个方向投影,尽可能把链在三维空间中延伸。

在已经找到的径迹中,有些虽然是分别找到的,但实际上属于同一径迹,只是由于各种原因使径迹断开了。所以还有必要对这些径迹加以合并。最后进行螺旋线拟合,给出径迹的参量。以及线差平方和,检验是否符合要求,以便作最后的确认。

在上述的综合方法中,有一个重要环节,就是不断地在新的一排探测器中,找到合适的点,以延伸已经找到的那一段链,从而构成新的链,如图 1。

有没有一种办法,使判断径迹的速度加快呢?笔者与西欧中心的科学家们合作试验了一种新的方法,即双编组法。

双编组法

这个方法的道理很简单,在每一层探测器上的“击中”是很多的,对应的径迹也是很多的。要把每一个“击中”都试一下是不必要的。实际上只需试一下靠近准备延伸的链的预报值附近的几个“击中”就可以了。如果事先把每层探测器的“击中”编成相互有一个重叠的组(即双编组),记录组内“击中”的测量值和地址,存放在一个目录内。一旦需要在某一层探测器中找到具有某个测量值的“击中”,立即可以根据这个目录把它找出来,以连成新的链。由于这个编组工作,对一个事例仅需进行一次,所以可以大大节省寻找新链所需的

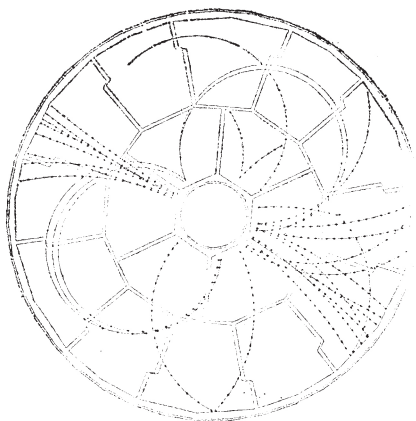


图1 ALEPH-TPC 的一个蒙特卡罗事例的图象识别。

计算机时。

对于三维空间的坐标测量值，由于其零度的规定是人为的，物理径迹并不理会这种 0° 与 360° 的界线，而常常穿越这条“界线”，所以在编组时，必须首尾相连，形成无始无终的循环目录，称之为“循环双编法”。

在名目繁多的图象识别问题中，高能物理所面临的问题，可以说是最复杂的了。因为，记录下来的不仅是看不见摸不着的电子学讯号，而且是许多未知的物理过程隐藏在这些讯号的里面，等待人们去“识别”。一些径迹室中记录不到的中性粒子，一些极短寿命的粒子，飞行中衰变的粒子，新产生的次级粒子……，这一切更增加了问题的复杂性和神秘性。尽管计算机技术已经达到惊人的地步，机器人正在做许多人所不及之事，但起决定因素的还是人。富有经验的物理学家能够干预对图象的识别过程，以充分发挥人的智能，这不仅可以大大加快图象识别的过程，有时甚至能起关键的

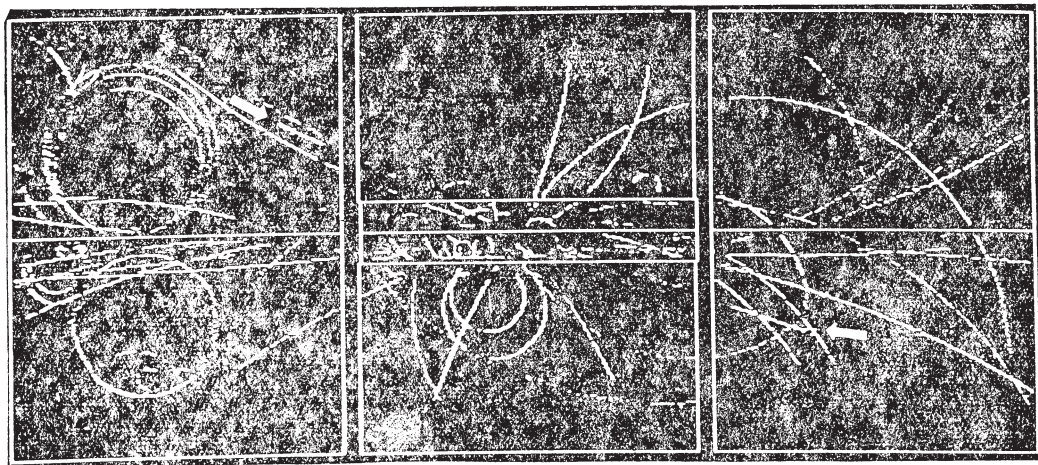


图2 1983年5月在 CERN 的 UAL1 实验组发现了期待已久的 Z 粒子。

作用，如图 2。

目前，在国际市场上，能够实现“人机通讯”的形形色色的三维图象显示系统，应运而生。有一种系统，叫做“Magatek”，它可以把记录的讯号，以立体图象形式显示在彩色屏幕上。通过“人机通讯”手段，物理学家可以将图象在三维空间任意转动，可以“变焦距”，即可局部放大。可以根据需要选取或删改某种径迹，也可以用不同颜色，对不同类型、性质的径迹、粒子加以标记……。这样，物理学家可以对稀有的或复杂的事例，进行仔细的解剖、分析、会诊，而确认一些重要而罕见的物理过程。

我们可以得到这样一个推理：造加速器，是为了做物理实验；选探测器，是为了记录实验信息；而分析实验结果，首先要做的就是图象识别工作了！