

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР ДЛЯ ТРЕКИНГА ЧАСТИЦ МНОГОСЛОЙНЫМИ СБОРКАМИ STRAW-ДЕТЕКТОРОВ

Чумаков Д.К.¹, Дусаев Р.Р.²

¹ *Томский политехнический университет, ИШФВП, аспирант гр. А2-15*

² *Томский политехнический университет, ИШФВП, ассистент*

e-mail: dkc1@tpu.ru

Введение

Определение треков частиц (трекинг) при их регистрации системами детекторов – важная часть современного физического эксперимента. Параметры полученных в результате работы алгоритмов трекинга треки используются для точной настройки экспериментальной аппаратуры, а также в качестве критериев отбора зарегистрированных частиц при обработке результатов. Точность алгоритмов трекинга в итоге влияет на инструментальную погрешность детекторов, откуда и возникает потребность в уменьшении погрешности алгоритмов регистрации треков частиц. Целью текущей работы являлась разработка алгоритма предварительной подготовки данных с детекторов для последующей их обработки распространенными алгоритмами нахождения и подбора треков, таких как фильтр Калмана. Подготовка заключается в минимизации погрешности определения точек регистрации частиц детекторами за счет математической обработки.

Описание принципов работы рассматриваемых детекторов

Разработанный алгоритм предназначен для определения точек регистрации частиц многослойными сборками straw-детекторов. Эти детекторы представляют собой газонаполненные тонкостенные трубки, внутри которых по центру располагается анодная проволочка диаметром ~ 20 мкм. Катодом является сама трубка, выполненная из материала Картон, покрытого слоем меди или алюминия. Типовой диаметр трубок – 4-10 мм, детектор герметизирован и заполнен изнутри смесью газов $\text{Ar}+\text{CO}_2$ [1]. Детектор работает в режиме пропорционального счетчика. Величина межэлектродного напряжения выбирается в зависимости от требуемого коэффициента усиления; так, в работе [2] задано напряжение 1530 В для получения коэффициента усиления 2.5×10^4 .

Преимущества straw-детекторов относительно других типов трековых детекторов, таких как пиксельные полупроводниковые, заключаются в их высокой радиационной устойчивости, хорошем временном разрешении и меньшей стоимости при необходимости покрыть большие площади. Временное разрешение straw-детекторов составляет десятки нс [1]. Кроме того, в отличие от матричных сцинтилляционных детекторов, пространственное разрешение которых будет определяться только геометрическими размерами элементарных ячеек в матрице детектора, разрешение straw-детекторов определяется длительностью сигнала и при типовых диаметрах трубки 4-10 мм может достигать десятков-сотни мкм.

Straw-детекторы располагаются параллельно друг другу вдоль координатной оси, на которой требуется определить координату регистрации частицы (см. рис. 1, слева). Соответственно, один слой используется для определения одной координаты точки регистрации частицы. Пространственные координаты точки регистрации частицы в straw-детекторе определяются по наименьшему расстоянию от траектории пролетающей через детектор частицы до анодной проволочки (см. рис. 1, справа). Это расстояние рассчитывается по времени дрейфа электронов первичной и вторичной ионизации по направлению к аноду.

Множество точек, расположенных на найденном расстоянии от анодной проволочки и соответствующих одному и тому же значению времени дрейфа описывает цилиндрическую поверхность – изохрону, определяемую её радиусом. Проблема лево-правой неопределенности разрешается путем введения второго параллельного слоя детекторов, смещенных относительно первого слоя на величину одного радиуса трубки детектора. Таким образом, элементарная сборка для определения одной координаты регистрации частицы состоит из двух слоев трубок, расположенных в шахматном порядке (см. рис. 1, слева). Зависимость радиуса изохроны от времени дрейфа электронов к анодной проволочке описывается экспериментальной (R-T) зависимостью, форма которой используется для калибровки детекторов. Если же в эксперименте требуется установить вторую координату точки регистрации, за сборкой из двух параллельных слоев, расположенных в шахматном порядке, располагают еще одну сборку из таких же детекторов, расположенных вдоль другой координатной оси (например, Y). В таком

случае, пролетающая частица при условии незначительного отклонения от своей траектории вызовет срабатывание 4 детекторов – двух из слоя «X» и двух – из слоя «Y». Координата Z задается по положению центра сборки из 4 слоев детекторов на оси Z.

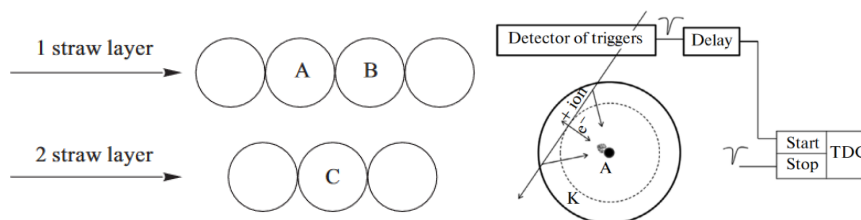


Рис. 1. Схемы работы сборок straw-детекторов: слева – схема расположения детекторов в шахматном порядке (1(2) straw layer = слой детекторов 1(2)) [3]; справа – схема регистрации частицы в одном детекторе (A – анод, K – катод детектора; ion – ион, возникший в результате ионизации газа детектора, detector of triggers – пороговый детектор срабатываний, delay – задержка, TDC – время-цифровой преобразователь) [1]

Пространственное разрешение определения координаты пролетающей частицы для сборки из двух детекторов зависит от угла падения частицы и также составляет 90-120 мкм [1]. Для улучшения пространственного разрешения детектора была использована математическая обработка информации, получаемой со сборок детекторов.

Описание алгоритма

В качестве входных данных алгоритма используется информация о диаметре детекторов; расстояние между слоями; список сработавших детекторов, которым в соответствие ставятся радиусы изохрон для зарегистрированных сигналов; положение центра каждого детектора в пространстве. Кроме того, введены следующие начальные предположения: эффективность детектора составляет 100 %; если радиус изохроны превышает радиус детектора, то срабатывание детектора не засчитывается; траектории частиц – прямолинейные (для криволинейных траекторий частиц в магнитном поле перед использованием алгоритма следует применить конформное отображение для преобразования траекторий в прямолинейные); в каждом слое одному треку соответствует только один детектор.

Два слоя не решают лево-правую неопределенность полностью. Если провести касательные линии к изохронам двух сработавших детекторов из разных слоев, окажется, что к ним можно провести четыре касательные: две внешние и две внутренние (см. рис. 2). Исходя из условий эксперимента и предварительной информации о предпочтительном направлении полета частицы, алгоритм отбирает касательные по углу падения и выбирает предпочтительные. Кроме того, исключаются касательные, пересекающие детекторы, сигнал о срабатывании от которых не был получен. На рис. 2 зеленая касательная исключена; остальные три касательные пересекают только сработавшие детекторы на расстоянии, равном радиусу их изохрон.

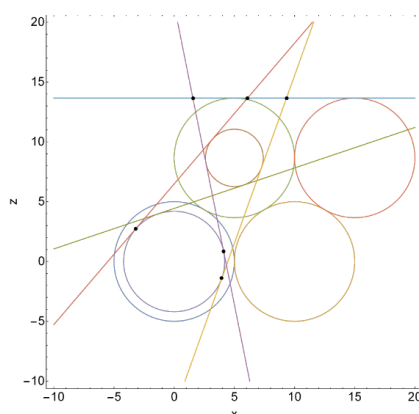


Рис. 2. Результат моделирования регистрации треков частиц детекторами диаметром 10 отн. ед. в плоскости XZ; синяя линия – плоскость регистрации, расположенная в точке регистрации на оси Z; черные точки – точки касания и пересечения плоскости регистрации валидными касательными

Для треков в плоскости XZ неизвестна координата Y точек касания, так же, как и для треков в плоскости YZ неизвестна координата X . Для восстановления трехмерного трека, касательного к сработавшим детекторам как в слоях XZ , так и YZ , необходимо определить неизвестную координату для по крайней мере одной точки касания в любом слое. Для точки регистрации трехмерные координаты строятся по двум плоскостям XZ и YZ : $\{X_c, Y_c, Z_c\}$ (XZ) и $\{X_c, Y_c, Z_c\}$ (YZ) дают $\{X_c, Y_c, Z_c\}$, где X_c, Y_c – координаты точки регистрации из соответствующих плоскостей; Z_c – координата плоскости регистрации на оси Z , расположенной в центре сборки.

Для восстановления трехмерных точек касания необходимо использовать координату Z точки касания из слоя YZ (координата Y для нее известна) и уравнение касательной линии из оси XZ . Найдя таким образом координату X точки касания, алгоритм записывает ее трехмерные координаты и в совокупности с известными координатами точки регистрации определяет уравнение трехмерной прямой в пространстве. Эта прямая касается изохрон всех сработавших детекторов, задействованных в текущей итерации алгоритма, пересекает плоскость регистрации в определенной точке. Она представляет собой трек частицы, прошедшей через сработавшие детекторы (см. рис. 3). В итоге, выходные результаты работы алгоритма – массив точек регистрации и массив соответствующих им направляющих векторов, определяющих прямолинейные треки.

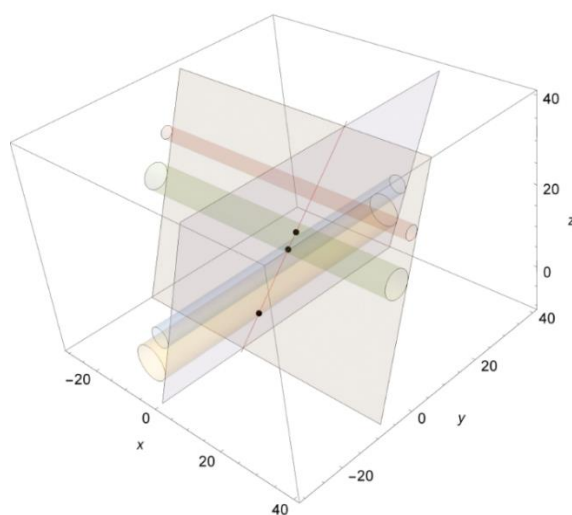


Рис. 3. Иллюстрация работы алгоритма с четырехслойной сборкой детекторов; показаны только сработавшие детекторы, касательные плоскости; черные точки – точки касания и точка регистрации (по центру); красная линия – трек. По осям масштаб задан в относительных единицах

Заключение

Был разработан алгоритм, позволяющий аналитически определять 3D координаты точек регистрации частиц многослойными сборками трековыми straw-детекторами. Увеличение точности определения координат частиц компенсируется увеличением количества возможных треков и ростом временной сложности алгоритма. Пользователю предоставляется возможность отсеивания треков по углу падения в зависимости от условий эксперимента. Полученные результаты в дальнейшем могут передаваться в качестве входных данных в алгоритмы обнаружения и подбора треков (фильтр Калмана, алгоритм ломаных линий). Визуализация треков доступна при реализации алгоритма в среде Wolfram Mathematica, либо в любой другой среде визуализации при использовании входной информации и выходных результатов.

Список использованных источников

1. Peshekhonov V.D. Coordinate detectors based on thin-wall drift tubes // Physics of Particles and Nuclei. – 2015. – Vol. 46, № 1. – P. 94–122.
2. Collaboration ATLAS. The ATLAS TRT end-cap detectors // Journal of Instrumentation. – 2008. – Vol. 3, № 10. – P. 10003–10003.
3. Bychkov V.N., Faessler M., Geyer R. Construction and manufacture of large size straw-chambers of the compass spectrometer tracking system // Particles and Nuclei, Letters. – 2002. – Vol. 2, № 111. – P. 64–73.