7612

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА

Экз. чит. зала

7612

10 - 7612

В.И.Мороз, В.И.Никитина, Г.Н.Тентюкова

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПОЗНАВАНИЯ ТРЕКОВ В УСЛОВИЯХ ПРОПАНОВОЙ КАМЕРЫ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

10 - 7612

В.И.Мороз, В.И.Никитина, Г.Н.Тентюкова

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПОЗНАВАНИЯ ТРЕКОВ В УСЛОВИЯХ ПРОПАНОВОЙ КАМЕРЫ

Введение.

В пузырьковых камерах событие одновременно фотографируется несколькими фотокамерами. На каждом снимке, содержащем изображение события, может быть несколько десятков проекций треков. Возникает проблема опознавания проекций, принадлежащих одному и тому же пространственному треку.

Экспериментатор без затруднения опознает проекции треков в простых событиях с малым числом лучей. Задача опознавания усложняется с увеличением числа треков в событии, увеличением размеров камеры, а также ростом энергии первичного пучка. В таких случаях на помощь приходит ЭВМ.

В настоящее время создан ряд программ на ЭВМ для автоматического опознавания треков /I,2,3,4,5/.

Программы приспособлены к определенным способам измерений и отличаются математическими методами решения задачи. Сложность задачи опознавания в нашей системе обусловлена следующим:

I). При очень высоких энергиях появляются так называемые "сливающиеся" треки (т.е. треки с небольшой разницей кривизн и под малым углом друг к другу). Проекции таких треков сливаются в пучок, и экспериментатор не в состоянии различить их.

2). Задача усложняется при большой неоднородности магнитного поля в камере, а также при заполнении камеры пропаном. Последнее требует учета кулоновского рассеяния и возможности появления изломов на треках.

3). Необходимо иметь возможность опознавания треков, измеренных как на трех, так и на двух кадрах одной стереопроекции.

4). Программа полного автоматического опознавания события получается весьма сложной. На анализ одного события расходуется много машинного времени и занимается значительная часть оперативной памяти ЭВМ. Поэтому в программе оставлена возможность опознавания события экспериментатором как полностью (где это разумно), так и частично.

В этой работе мы предлагаем следующее решение проблемы опознавания.

Программа предполагает заранее опознанными "особые" треки (пучковые или треки с особенностями, т.е. останавливающиеся; треки с изломами; треки, выходящие из вторичных вершин), поскольку экспериментатору не представляет труда их опознать. Эти ограничения были сделаны на основании практики предварительных измерений для HPD /6/ и опыта просмотра и отбора событий для измерений на полуавтоматах.

Программа написана на ФОРТРАНе для БЭСМ-6 и согласована с программой реконструкции для большой пузырьковой камеры "I-8".

Проверка программы проведена для условий 2- метровой пропановой камеры с неоднородностью магнитного поля до 20% /7/.

Программа может быть использована, если измерения выполнены как на полуавтоматах, так и на автоматических устройствах.

Метод опознавания.

Опознавание ведется для треков, принадлежащих одной вершине. Проекции считаются соответствующими одному пространственному треку в том случае, если они удовлетворяют проверочным тестам, построенным на основе свойств оптической системы пузырьковой камеры и вида интеграла уравнения движения.

К комбинациям, составленным из двух ("пара") или трех ("тройка") проекций, применяется алгоритм выборки, построенный на основе теории графов /8/, которая позволяет резко сократить число комбинаций, подлежащих исследованию.

В дальнейшем пару или тройку будем обозначать набором двух или трех компонент, заключенных в круглые скобки. Каждая компонента пары и тройки является условным номером проекции трека на соответствующем снимке.

Тесты разбиваются на две группы:

I). Простые тесты, применяемые к парам.

2). Сложные тесты, применяемые к тройкам.

Вторая группа тестов используется только в том случае, если простых тестов оказывается недостаточно.

Мы называем возможной пару проекций треков k и ℓ на снимках P и Q, если данная пара удовлетворяет всем простым тестам (тесты будут приведены ниже).

В результате применения простых тестов получаем списки возможных пар. Списков может быть либо один (в случае измерений на двух снимках), либо три (в случае измерений на трех снимках).

Если мы имеем на каждом из трех снимков несколько произвольно пронумерованных треков, то наши списки возможных пар выглядят следующим образом:

Список I снимки PQ	Список 2 снимки QR	Список 3 снимки RP
I. (I,I)	I. (I,3)	I. (I,2)
2. (2,5)	2. (3,3)	2. (2,4)
3. (3,3)	3. (3,5)	3. (3,I)
4. (4,2)	4. (4,5)	4. (4,6)
5. (4,3)	5. (5,I)	
6. (5,6)		

Мы называем оригинальной пару проекций трека, которая удовлетворяет всем простым тестам, причем проекции, входящие в эту пару, не встречаются ни в одной другой паре любого из списков. Примером таких пар будет (4,5) из списка 2 и (4,6) из списка 3.

Остальные пары называем сомнительными. Если измерения проводились на двух снимках, то опознавание на этом этапе кончается. Опознавание считается успешным, если не осталось сомнительных пар. Если не все пары оригинальны, то событие считается неопознанным и бракуется. В случае, когда имеется, по крайней мере, одно измерение на 3-ем снимке, из сомнительных пар составляется список троек.

В нашем примере из пары (I,I) списка I, пары (I,3) списка 2 и пары (3,I) списка 3 можно составить тройку (I,I,3). Аналогично составляются остальные тройки. Например, (2,5,I), (3,3,3), (4,3,5) и т.д.

Введем некоторые определения.

Оригинальной тройкой мы называем тройку, составленную из двух или трех возможных пар и так, что ни одна из ее компонент не входит ни в одну из других троек ((2,5,I) в нашем примере).

Сомнительной тройкой мы называем тройку, имеющую общие компоненты с другими тройками (например, (I,I,3) и (3,3,3)).

Неопределенной тройкой мы называем сомнительную пару, не вошедшую ни в одну из составленных троек и преобразованную в тройку с произвольной или отсутствующей компонентой.

Две тройки называются родственными, если они имеют, по крайней мере, одну общую компоненту (например, (I,I,3) и (3,3,3)) /4/.

Две тройки T_I и T_n называются эквивалентными, если имеется ($n-2$) других троек T_i таких, что T_i родственна T_{i+1} для $i=1, \dots, (n-1)$. Так, если список возможных троек включает $T_I=(I,3,6)$, $T_2=(2,3,7)$, $T_3=(2,4,6)$, $T_4=(6,4,3)$, то T_I эквивалентна T_4 (действительно, любая T_i эквивалентна T_j, $i, j=1,\dots,4$) /4/.

Все множество троек мы разбиваем на два подмножества: замкнутые тройки и разомкнутые тройки.

Замкнутыми тройками мы называем тройки, полученные из трех списков пар и так, что первая компонента пары из первого списка равна второй компоненте пары из третьего списка((2,5,I) в нашем примере).

Остальные тройки, которые мы называем разомкнутыми, подразделяются на две группы по способу их получения: тройки, полученные из пар, принадлежащих только двум спискам ((3,3,5)), и тройки, полученные из пар, принадлежащих всем трем спискам, при условии, что первая компонента пары из первого списка не совпадает со второй компонентой из третьего списка ((3,3,3)).

Группа всех сомнительных троек, каждая из которых эквивалентна хотя бы одной тройке этой группы, образует так называемый класс эквивалентных троек.

В каждом классе различаем связанные и несвязанные тройки. Для определения этого понятия введем иерархию троек в классе эквивалентных троек:

I) замкнутые тройки;
2) разомкнутые тройки;
3) неопределенные тройки.

Две эквивалентные тройки одного уровня T_I и T_n мы называем несвязанными, если все тройки T_i ($i=2, \dots n-1$) являются тройками низшего уровня. Такие тройки очень близки к оригинальным и не требуют особой обработки.

Остальные тройки этого же уровня называем связанными.

Таким образом, получаем следующую классификацию пар и троек:

А. Оригинальные пары.
Б. Оригинальные тройки (замкнутые и разомкнутые).
В. Классы эквивалентных троек:

I. а. Тройки замкнутые несвязанные ;
   б. Тройки замкнутые связанные ;

2. а. Тройки разомкнутые несвязанные ;
   б. Тройки разомкнутые связанные.

3. Тройки неопределенные.

Процесс опознавания события по тройкам заключается в следующем:

I . Выбираем оригинальные тройки из всего множества троек. Если все тройки получились оригинальными, то мы считаем процесс опознавания законченным и переходим к выбору оптической стереопары. При правильном выборе допусков в тестах в большинстве случаев практически все полученные тройки являются оригинальными. Если тройки не все оригинальны, то продолжаем процесс опознавания.

2 . Оставшийся список троек разбиваем на классы эквивалентных троек и дальнейшую обработку проводим внутри каждого класса. Используя набор тестов, отбираем последовательно тройки, каждая из которых однозначно определяет трек.

Каждый раз, когда найдена такая тройка, из класса удаляем все тройки, родственные с ней и проверяем, не распался ли данный класс эквивалентных троек на несколько классов.

Если образуется класс, состоящий из неопределенных троек, то событие полностью бракуется. Если в классе осталась всего одна тройка, то считаем ее оригинальной.

Рассмотрим последовательность отбора троек.

а). Сначала выделяем замкнутые несвязанные тройки. Если такие тройки есть, то к каждой применяем $\mathcal{Z}$-тест. (Тесты описаны ниже). Если тройка удовлетворяет $\mathcal{Z}$-тесту, то считаем ее оригинальной, добавляем ее к списку уже отобранных пар и троек, а из рассматриваемого класса удаляем все тройки, родственные с выбранными.

Если тройка не удовлетворяет тесту, то ее удаляем из класса, как ошибочную, а с остальными продолжаем процесс.

б). Выбираем замкнутые связанные тройки, если они есть, и к каждой применяем $\mathcal{Z}$-тест. Если тест прошла только одна тройка, считаем ее оригинальной.

В случае, когда тесту удовлетворяют несколько троек, к ним применяем пространственную реконструкцию. Если пространственная реконструкция удачна только для одной тройки, считаем ее оригинальной. Если этот тест удачен для нескольких троек, то из списка полученных троек выбираем оригинальные в этом списке тройки. Оставшиеся в рассматриваемом списке тройки разбиваем на группы родственных между собой. В каждой группе выбираем тройку с наименьшим значением величины χ^2, а из класса удаляем все тройки, родственные с отобранными.

в). Затем выбираем разомкнутые несвязанные тройки и обрабатываем их аналогично замкнутым связанным (см. п. б).

г). Переходим к последнему этапу - обработке разомкнутых связанных и неопределенных троек.

По отношению к определенным тройкам применяем $\mathcal{Z}$-тест. Удаляем все тройки, не удовлетворяющие критерию. Из оставшихся образуем группы родственных троек. В каждой группе применяем пространственную реконструкцию для определенных троек. Удаляем тройки, не прошедшие тест. Оставшиеся тройки, включая неопределенные, вновь разбиваем на группы родственных. В каждой группе выбираем тройку с наименьшим значением χ^2.

Вычисление некоторых величин.

Для применения тестов необходимы некоторые общие величины, которые мы вычисляем предварительно.

I). Для каждой стереобазы вычисляем направляющие косинусы α^{ij} (i, j =I,2,3).

2). Все проекции треков аппроксимируем параболой, если треки достаточной длины, или прямой, если треки очень короткие.

3). Вычисляем кривизны проекций треков Кпл в первой точке, азимутальные углы βпл в трех точках ($1, n/2, n$), где n - число точек на проекции трека, и углы поворота φ.

Если φ больше заданной константы, то отбрасываем на проекции трека последнюю точку. Снова производим аппроксимацию и вычисляем Кпл, βпл и φ. Этот процесс повторяем до тех пор, пока φ не удовлетворит условию $\varphi \leq const_\varphi$.

Находим γ_k^{ij} - угол между касательной к проекции трека с условным номером k и стереобазой, образованной объективами i и j для всех возможных комбинаций i, j, k. Угол γ вычисляется для каждой проекции в трех точках: крайних и средней.

Используя полученные углы γ_k^{ij}, определяем проекции треков, почти параллельных базе, и либо выбрасываем их из рассмотрения стереопарой i, j, либо обрезаем часть проекции трека. Обрезанная часть трека обрабатывается другой стереопарой.

При описании тестов мы используем четыре системы координат: систему снимка, стереопары, проекции трека и камеры.

Система координат снимка (обозначается (x, y))-левая система, определяемая положением реперных крестов.

Система координат стереопары (i, j) (обозначается (x', y')) - правая система с осью абсцисс, направленной от объектива с номером i к объективу с номером j.

Система координат проекции трека (обозначается (x'', y'')) - правая система с осью абсцисс, направленной от первой к последней точке.

Система координат камеры (обозначается (X, Y, Z)) - правая система, где ось Z направлена вдоль оптических осей стереофотоаппарата.

Тесты для пар.

Мы различаем три вида проекций треков: длинные, короткие и прямые. Для краткости будем писать: длинные, короткие и прямые треки-вместо: длинные, короткие и прямые проекции треков.

Длинные и короткие треки различаются по числу измеренных точек и длине хорды. Прямые треки - это длинные треки с кривизной меньше допуска. В дальнейшем в каждом тесте будет оговорка, для какого вида треков пригоден данный тест.

I). Тест по направлению от линии базы. Обе проекции, образующие пару, должны быть расположены по одну сторону от линии базы.

2). Тест по знаку кривизны (только для длинных треков). Обе проекции, входящие в пару, должны иметь одинаковый знак кривизны.

3). Щелевой тест (исключая короткие треки). На каждой проекции пары берем по 2 точки: ($1/3\,n$ и $2/3\,n$) на левом снимке (обозначение Λ) и (I и n) на правом (П). Переводим координаты выбранных точек в систему стереобазы.

Если координаты "y'" выбранных точек на левом снимке лежат между координатами "y'" выбранных точек правого, то тест считаем удачным.

4). Проверка на совместимость координат "y" (кроме коротких треков). Тест считаем удачным, если $|y'_{n\Lambda} - y'_{nn}|$ меньше допуска.

5). Проверка на совместимость длин (исключаем длинные треки). Тест удачен, если $|\mathcal{L}_\Lambda - \mathcal{L}_n| \le const\cdot(\mathcal{L}_\Lambda + \mathcal{L}_n)$, где $\mathcal{L}$ -длина хорды для проекции трека.

6). Z -тест для пар (для всех треков). Реконструируем координату Z последней точки и проверяем на допуск по размеру камеры.

7). Тест кривизны (для длинных треков). По левому и правому снимку отдельно вычисляются пространственные кривизны K_Λ и K_n. Если $|K_\Lambda - K_n| \le const1 + const2\,(|K_\Lambda| + |K_n|)$, то считаем тест удачным.

8). Нелинейность по Z. Реконструируем три точки (1, $n/2$, n) и по ним вычисляем величину $\Delta Z = 0.5Z_1 - Z_{n/2} + 0.5Z_n$. Если $|\Delta Z| \le$ допуска, тест считаем удачным.

Тесты для троек.

I). Z -тест (исключаются короткие треки).

Тройка перегруппировывается (если в этом есть необходимость) так, чтобы средняя компонента тройки входила в пары, принадлежащие по крайней мере двум спискам. По двум парам реконструируется координата Z последней точки.

Тест удачен, если $|(Z_{ij} - Z_{jk})| \le$ допуска.

2). Пространственная реконструкция (для всех треков).

Тройку перегруппировываем аналогично случаю Z -теста. Треки реконструируем по двум парам и вычисляем χ^2

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{x_{i1} - x_{i2}}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{y_{i1} - y_{i2}}{\Delta y}\right)^2 + \left(\frac{z_{i1} - z_{i2}}{\Delta z}\right)^2 .$$

Здесь n - минимальное число реконструированных точек по первой и второй парам, $\Delta X, \Delta y, \Delta Z$ - заданные ошибки пространственных координат. Если $\chi^2 < DOP$, где $DOP = 3n(\Delta x + \Delta y + \Delta z)^2$ то тест считается удачным.

Выбор стереопары.

После выполнения опознавания переходим к выбору лучшей стереопары.

I. Для меченых треков (т.е. треков, опознанных экспериментатором) стереопара выбирается при просмотре (если измерения велись только на двух снимках) или по двум младшим по номеру объективам (если измерения велись на трех снимках).

II. Для остальных треков также имеется несколько возможностей выбора стереопары.

I). Выбор может быть сделан экспериментатором (измерения на двух снимках).

2). Лучшая стереопара выбирается программным путем на основе значения углов γ. Выбор стереопары ведется по двум ветвям в зависимости от угла поворота φ.

а). φ меньше заданной константы. В качестве оптимальной мы выбираем стереопару с наибольшим значением $\sin\gamma$ в первой точке проекции трека. При реконструкции таких треков, а также описанных в пунктах а) и I) из б), главной считаем проекцию с большим числом точек.

б). φ больше заданной константы. Аналогично пункту 2а) выбираем оптимальную стереопару, но главной проекцией на выбранной стереопаре считаем проекцию с меньшим значением $\sin\gamma$. Выбранная пара остается неизменной, пока

$$|\sin\gamma| > const \tag{I}$$

на дополнительной проекции. При нарушении этого неравенства выбирается другая стереопара, но основной проекцией остается ранее выбранная. На вновь выбранной дополнительной проекции находим первую нереконструированную точку проекции и вычисляем в ней $\sin\gamma$. Если $\sin\gamma$ удовлетворяет условию (I), реконструкция ведется по новой стереопаре до нарушения условия (1), после чего возможен переход на старую стереопару.

Если оба возможных дополнительных снимка не удовлетворяют условию (I), то на каждой проекции трека трех снимков находим первую нереконструированную точку. Вычисляем в каждой из этих точек $\sin\gamma$ и повторяем процесс 2б).

Литература

1. Н.А.Буздавина, В.Г.Иванов, Р.М.Лебедев. Препринт ОИЯИ, Д10-6442, Дубна, 394-397, 1971.
2. C.GROSSO, G.RINAUDO, A.E. WERBROUCK. Nuclear Instruments and Methods, 48(1967), pp.71-76.
3. I.M. Gerard, W.Krischer, D.O. Williams. ANL - 7515,pp.431 - 443, oct. 1968.
4. Vera Pless. ANL-7346, June 1967.
5. F.Klin, G.Reiss, R.Schmidt, Schneider. CERN, 70-21, 24July 1970, p.141.
6. В.Я.Алмазов и др. Препринт ОИЯИ 10- 4513, Дубна, 1969.
7. M.P.Balandin et al. Nuclear Instruments and Methods, V. 20, pp. 110-113, 1963.
8. С.Цой, С.М.Цхай. Прикладная теория графов, Алма-Ата,Наука Каз.ССР, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 декабря 1973 года.