

7303

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Экз. чит. зала

10 - 7303

Н.Н. Говорун, В.В. Иванов, И.М. Иванченко,
В.Н. Кузнецов, Л.А. Сеннер

ПРОГРАММЫ РАСПОЗНАВАНИЯ
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ТРЕКОВ,
РЕГИСТРИРУЕМЫХ ПОСРЕДСТВОМ
ИСКРОВЫХ КАМЕР

1973

**ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ**

10 - 7303

Н.Н. Говорун, В.В. Иванов, И.М. Иванченко,
В.Н. Кузнецов, Л.А. Сеннер

ПРОГРАММЫ РАСПОЗНАВАНИЯ
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ТРЕКОВ,
РЕГИСТРИРУЕМЫХ ПОСРЕДСТВОМ
ИСКРОВЫХ КАМЕР

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Введение

Одним из важных этапов комплексной автоматизации исследований в физике элементарных частиц, где применяется методика траекторных измерений, является автоматическое распознавание событий, регистрируемых трековыми детекторами. Широкое распространение получили эксперименты с применением искровых камер, в которых события включают траектории, допускающие линейную или кусочно-линейную аппроксимацию.

В данной работе обсуждаются алгоритмы и приводятся программы LINTR и LINE, предназначенные для автоматического поиска прямолинейных треков в заданной области плоскости XOZ. На первом этапе используется программа LINTR для поиска наборов точек, определяющих треки, а затем LINE — для нахождения параметров аппроксимирующих функций и отбрасывания ложных точек. Программа LINE для одотрековых событий и при небольшой фоновой нагрузке может быть использована самостоятельно.

Алгоритмы апробированы на событиях, сгенерированных методом Монте-Карло, и реальных событиях, зарегистрированных установками из узкоазорных бесфильмовых искровых камер. Программы написаны на автокоде "Ассемблер" /3/ для ЭВМ БЭСМ-4 и оформлены в виде стандартных программ в системе ИС-2.

Алгоритм LINTR.

При разработке алгоритма распознавания существенно использовался опыт создания в ОИЯИ систем обработки данных с искровых камер с автоматическим съемом информации^{4, 5}, были проанализированы алгоритмы распознавания, реализованные в программах семейства TRACK, разработанные в ЦЕРНе, и комплекса программ FILTER /I/.

Один из эффективных методов, использованный в указанных программах, состоит в следующем: в первой (или одной из первых) камере выбирается точка и направление поиска. В прогнозируемой области соседней камеры отыскивается следующая точка и т.д. Присоединение точек к набору прекращается при достижении последней камеры или при отсутствии точек в прогнозируемых областях нескольких камер. Считается, что найденный набор точек есть трек, если количество точек в нем превосходит заданную величину.

Методика слежения по треку дает возможность распознавать объекты и более сложной формы, чем прямолинейные треки, но существенно использует экстраполяцию при поиске очередной точки. Это оказывается недостатком при обработке информации с установок с большими расстояниями между узкоазорными искровыми камерами, а также при наличии фоновых искр и невысокой эффективности камер.

В алгоритмах программ семейства TRACK используется при поиске как экстраполяция, так и интерполяция.

Ряд алгоритмов в FILTER основан на гистограммировании углов или координат точек.

Алгоритм, реализованный в программе LINTR, существенно использует то обстоятельство, что объектом поиска являются прямолинейные треки. При создании программ учитывались требования

высокой эффективности распознавания и постоянный для машин подобного класса компромисс – удовлетворительное время работы при минимальном объеме памяти. Особая актуальность последних требований связана с тем, что программа предназначалась для включения в математическое обеспечение нескольких экспериментов, проводимых в режиме непосредственной связи с ЭВМ. Стремлением к уменьшению времени выполнения алгоритма обусловлен и достаточно широкий набор входных параметров.

Исходными данными являются:

1. Массив $Z [1:N]$ Z – координат – постоянный для фиксированного расположения камер.
2. Массив $X [1:N, 1:KMAX]$ X – координат, получаемый при каждом срабатывании установки из N искровых камер; $KMAX$ – максимальное количество точек в камере.
3. Массив $NSPCN [1:N]$ – количества фактически зарегистрированных координат точек в камерах.
Предполагается, что $Z [I] < Z [I+1]$, $0 \leq X [I,J] < X [I,J+1]$
 $NSPCN [I] \leq KMAX$.
4. $MNSPA$ – минимальное число точек для идентификации трека;
 $MXSPA$ – предполагаемое максимальное число точек на треке;
 TOL – максимальный модуль тангенса угла наклона трека;
 SIG – максимальное отклонение точки от базисной прямой;
 NTR – максимальное количество треков в событии.

Результат работы алгоритма есть два массива:

- $TR [1:JCT, 1:N]$ – координаты точек, попавших на треки;
 $NSPTR [1:JCT+1]$ – количество найденных треков и число точек на них;

$NSPTR [1] = JCT \leq NTR$ - число опознанных треков;

$NSPTR [I] \leq N$ - число точек на $I-1$ -ом треке, $I=2,3,\dots,$

$JCT+1$.

Трек определяется набором точек, расстояние которых от базисной прямой, проведенной через две крайние точки набора, не превышает величины SIG . Набор должен содержать не менее $MNSPA$ точек, угловой коэффициент базисной прямой удовлетворяет условию $|A| \leq TOI$. Камера может быть представлена в наборе не более, чем одной точкой.

Для любых найденных элементов $TR [K1, I] \neq TR [K2, I]$ при $K1 \neq K2$.

Поиск треков осуществляется в несколько этапов. На каждом этапе отыскиваются треки, содержащие не меньше чем $N1$ точек. На первом этапе $N1 = MXSPA$, на втором $N1 = MXSPA - 1$ и т.д. На последнем этапе $N1 = MNSPA$.

На каждом этапе (а также после нахождения каждого трека) проверяется необходимое условие существования трека: имеется ли $N1$ камер, содержащих хотя бы по одной точке. Если это условие не выполняется, следует переход к новому этапу.

Далее выбирается пара камер, с номерами KA и KB , по точкам из которых строятся базисные прямые. Выбор KA и KB связан с прямым перебором от крайних к средним. На каждом этапе (фиксированное $N1$) число рассматриваемых пар (KA, KB) равно $(N - N1 + 1) * (N - N1 + 2) / 2$. Для выбранной пары (KA, KB) проверяется условие: имеются ли $N1$ камер из диапазона KA, KB , содержащих хотя бы по одной точке. Если оно не выполняется, следующая пара выбирается с изменением KA .

По двум точкам, одна из которых принадлежит KA -камере, другая - KB , определяется угловой коэффициент A базисной прямой, проведенной через них. Общее число базисных прямых для пары (KA, KB) не превосходит $NSPCN [KA] * NSPCN [KB]$. Перед началом форми-

рования набора точек выбранной базисной прямой производится проверка условия

$$|A| > TOI. \quad (*)$$

Если это условие выполнено, то при $A < 0$ - происходит переход к рассмотрению следующей базисной прямой, в противном случае ($|A| > TOI$ и $A > 0$) выбирается новая пара (KA, KB) - с изменением KB .

Формирование набора точек осуществляется для допустимой по углу наклона базисной прямой ($|A| \leq TOI$). В промежуточных камерах (с номерами K , удовлетворяющих соотношению $KA < K < KB$) ищутся точки в базисной полосе, X - координаты которых принадлежат сегменту $[X_{kmin}, X_{kmax}]$, где

$$X_{kmin} = A * Z[K] + B - SIG,$$

$$X_{kmax} = A * Z[K] + B + SIG.$$

Просмотр промежуточных камер и точек в них ведется в порядке возрастания индексов. Если в прогнозируемом сегменте точек оказывается больше одной, то в качестве искомой выбирается та, для которой $abs(X - A * Z[K] - B)$ - минимально.

На стадии отбора точек в промежуточных камерах предусмотрено сокращение просмотра точек за счет отбрасывания тех из них, которые анализировались для предыдущей базисной прямой, что реализуется путем введения двух массивов индексов точек. При этом существенно используется то обстоятельство, что базисные камеры являются граничными, и координаты точек в них расположены в порядке возрастания. Эффект процедуры растет с увеличением числа камер, треков и ложных искр в событии.

Формирование набора прекращается при выполнении условия $NOT \times (N - N1)$, где NOT - число просмотренных камер, в которых не оказалось точек в прогнозируемом сегменте.

После просмотра всех камер при формировании набора, координаты найденных точек переписываются в массив TR, а на место отсутствующих точек записываются отрицательные числа. Кроме того, точки, попавшие в набор, помечаются (присваивается 1 в 45 разряд) в массиве X и при поиске следующих наборов не рассматриваются. Как только найден полезный набор точек, вычисляются две величины R1 и R2 - число камер из диапазонов, соответственно, [1, N] и [KA, KB], имеющих информацию, и проверяются условия:

а) $R1 < N1$;

при его выполнении следует переход к новому этапу - поиск треков с числом точек $N1 = R1$, в противном случае - анализируется.

б) $R2 < N1$;

истинность этого выражения влечет за собой выбор новой пары (KA, KB) с изменением KA.

Если же $R2 > N1$, выбирается следующая базисная прямая для рассматриваемой пары (KA, KB).

Окончание работы определяется логической суммой условий:

1. Завершен последний этап, которому соответствует $N1 = MNSPA$;
2. Найдено количество треков NTR, заданное при обращении.

Значение параметра SIG на практике определяется методом последовательных приближений с учетом точности камер и фоновых условий. В работе /2/ было показано, что дисперсия Dd_i отклонений измеряемых точек от базисной прямой является функцией положения промежуточной камеры и, в предположении равноточности камер, опре-

деляется соотношением

$$Dd_i = D_x \times 2 \times (t_i^2 - t_i + 1),$$

где D_x - дисперсия измерений. Для промежуточных камер $t_i \in (0, 1)$, следовательно, для них

$$1.5 D_x < Dd_i < 2D_x.$$

Таким образом, при нормальном распределении ошибок измерений в качестве начального приближения можно выбрать

$$SIG = 3 \sqrt{\max_i Dd_i} = 3 \sqrt{2D_x}.$$

Обращение к программе

α	0 16	$\alpha + 1$	7501	7610
$\alpha + 1$	$\mathcal{K}_1 \mathcal{K}_2 00$	KMAX	№ СП	MNSPA
$\alpha + 2$	$\mathcal{K}_1 \mathcal{K}_2 00$	NTR	N	TOL
$\alpha + 3$	$\mathcal{K}_1 \mathcal{K}_2 \mathcal{K}_3 52$	NSPCH	SIG	X
$\alpha + 4$	$\mathcal{K}_1 \mathcal{K}_2 \mathcal{K}_3 52$	Z	NSPTR	TR

Все указанные параметры - адреса соответствующих значений.

Среди них нет в явном виде лишь MXSPA, его значение должно находиться в ячейке с адресом MNSPA + 1. Все признаки модификации используются в обычном смысле. Значения KMAX, MNSPA, MXSPA, NTR, N, NSPCH, NSPTR задаются в форме 000, КОП, 0000, N, 0000. Значения остальных параметров - машинные нормализованные числа.

Характеристики программы

Длина $(n-1)=474(8)=316(10)$.

Рабочие ячейки 0001+ 0010.

Иных СП не использует.

Для работы с числом камер $N > 10$ необходимо сменить один оператор в автокодном тексте и перетранслировать. В этом случае длина программы определится: $276+4*N(10)$.

Для получения таких характеристик, как время работы программы и эффективность распознавания, использовались специально составленные программы моделирования событий. Время работы существенно зависит от большинства входных параметров, точности их задания, количества и распределения фоновой загрузки, поэтому приведем лишь средние значения для некоторых частных случаев:

Число камер	KMAX	NTR	Время (сек)
10	5	1	0,0875
10	5	2	0,16
10	5	3	0,20
9	4	1	0,088
9	4	2	0,14
8	5	1	0,06
8	5	2	0,12
8	5	3	0,16

Для сравнения с другими алгоритмами просчитан пример, приведенный в работе ^I/ (см. рис. I).

Алгоритм	Тип ЭВМ	Время
STRINGING	IBM 7090	0,093
CHANNELLING	- " -	0,126
ROTATING	- " -	0,563
MAPPINGA	- " -	0,079
MAPPINGC	- " -	0,265
LINTR	БЭСМ-4	0,06

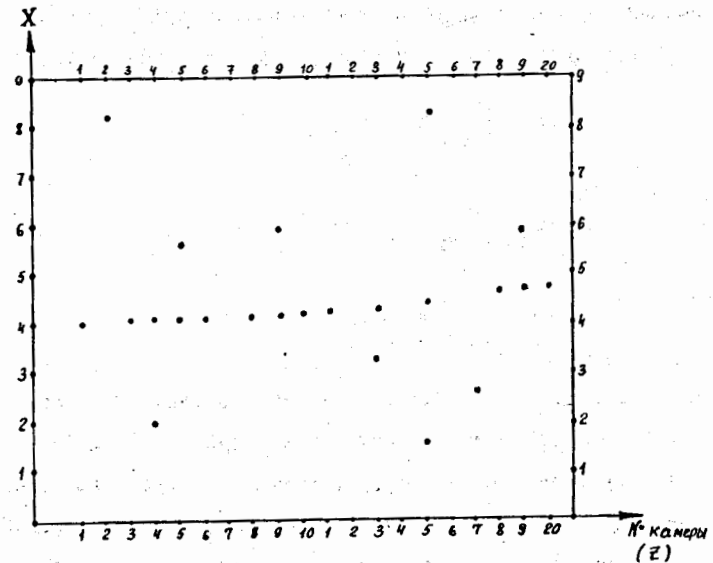


Рис. I.

Исследование программы на эффективность распознавания проводилось на достаточно большой статистике – было смоделировано около 10 000 событий, где варьировались параметры $N(6 + 10)$, $NTR(1 + 3)$, $MNSRA$ (вернее, при моделировании варьировалась эффективность камер от 0,8 до 0,95), $SIG(0.5 + 3)$. Фон в каждой камере для всех значений NTR не превышал двух точек, каждая из которых появлялась с вероятностью 0,9. В результате вычислялись значения параметров:

1. Число смоделированных треков – $NTRG$.
2. Число опознанных треков – $NTR0$.
3. Число опознанных треков, для которых справедливо $TRO \leq TRG - NGBO$;
4. Число опознанных треков, для которых выполнено $TRG - TRO - NGLO$;

Исходя из различных толкований понятия эффективности распознавания, мы приводим здесь значения полученных оценок эффективностей:

$$K1 = \frac{NTR0}{NTRG} = 0,9921$$

$$K2 = \frac{NGBO}{NTRG} = 0,9780$$

$$K3 = \frac{NGLO}{NTRG} = 0,9121$$

Реализовано в виде стандартных программ несколько вариантов указанного алгоритма, отличающихся отдельными блоками. Одна версия производит перебор пар (KA, KB) не по изменению индексов от крайних к центру, а в зависимости от числа зарегистрированных в них искр и расстояния между ними. В другой – отсутствует блок оптими-

зации перебора точек во внутренних камерах – в случае малой фоновой загрузки работает быстрее основной, кроме того, длина ее меньше на четверть, и она не требует перетрансляции для любого числа камер. Наконец, наиболее общий вариант, включающий блок проверки линейности по критерию χ^2 , реализован и отлажен в виде автономно транслируемой процедуры на АЛГОЛе-60, т.е. может быть использован в программах обработки, написанных на АЛГОЛе.

Программа LINE

Данная программа определяет методом наименьших квадратов параметры линейной функции на основе подмножества экспериментальных данных, отобранного из множества, задаваемого на вход программ.

Результирующее множество экспериментальных данных выбирается методом итераций. На каждой итерации определяются параметры a, b, σ , соответствующие минимуму функции

$$M = \sum_{i=1}^n \omega_i (x_i^3 - ax_i - b)^2,$$

где ω_i – вес i -ой точки,

x_i^3 – экспериментально измеренные значения, которые должны быть аппроксимированы функцией $x = ax + b$, где a и b – варьируемые параметры.

n – количество экспериментальных данных, участвующих в данной итерации.

$$\sigma = \sqrt{\frac{M_{\min}}{n-2}}$$

Процесс оканчивается при выполнении одного из условий:

1. Вычисленное значение $\sigma \leq \sigma_n$, где σ_n - пороговое значение оценки отклонения аппроксимирующей функции от экспериментально измеренных значений.

2. Количество оставшихся точек $n = n_{\min}$, где n_{\min} - пороговое значение количества точек в наборе экспериментальных данных.

Созданы две версии программы LINE: LINE1 и LINE2, отличающихся алгоритмом отбора данных. В LINE1 отбор осуществляется следующим образом.

Набор данных, соответствующих K-ой итерации, получается выбрасыванием одной точки, давшей максимальный вклад в M_{\min} на (K-1)-ой итерации.

В программе LINE2 отбор производится по иной схеме. На K-ой итерации определяется подмножество данных, состоящее из (n-k) точек, такое, что значение σ , вычисленное для него, минимально среди σ_i , соответствующих всем подмножествам, получающимся из исходного путем отбрасывания K точек.

Основное преимущество программы LINE2 перед LINE1 в том, что она позволяет с большей эффективностью отбирать полезную информацию. Недостаток ее в том, что время работы LINE2 больше, чем LINE1.

Обращение к программам:

x) 000 I6, x+1, 750I, 76I0;

x+1) $\pi, \sigma, k, d, N_{en}, r$;

x+2) 000 00, ϵ ;

где d(data) - адрес начала массива исходных данных;

r(result) - адрес начала массива результатов;

$k = n_{\min}$ - минимальное количество точек;
 ϵ - адрес ячейки, в которой хранится пороговая константа σ_n .

Массив исходных данных задается последовательностью троек чисел:

$y_i, w_i, x_i; \dots$

признаком конца служит код

777, 7777, 7777, 7777.

Массив результатов представляется в форме двоичных чисел с плавающей запятой и включает последовательно расположенные

a, b, σ, m ,

где $m = N - 2$, N - количество оставшихся точек с ненулевыми весами.

Характеристика СП - LINE1 :

Длина (n - I) = 1348 кода.

Рабочие ячейки - I+IO.

Время работы - см. табл. I.

Характеристика СП - LINE2 :

Длина (n - I) = 3478 кодов.

Рабочие ячейки - I+IO.

Время работы - см. табл. I.

В таблице I приведены времена работы программ LINE1 и LINE2 при выбросе далеко удаленных точек:

Таблица I.

Количество вы- брасываемых то- чек (из IO)	Время LINE1 (сек)	Время LINE2 (сек)
0	0,020	0,02
1	0,037	0,12
2	0,053	0,93
3	0,066	2,88

Авторы выражают благодарность А.С.Чвярову и А.А.Корнейчуку за полезные обсуждения, Н.Н.Карпенко и А.Е.Сеннеру за опробование программ на экспериментальных данных и полезные советы по их усовершенствованию.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.С. DUFF et al. The selection of spark chamber tracks by computer methods. NUCLEAR INST. and METH. 54(1967) P.132-136.
2. Н.Н.Говорун и др. Определение параметров бесфильмовых искровых камер. ОИЯИ, P5-5397, Дубна, 1970.
3. В.А.Загинайко, И.Н.Силин. Автокод "Ассемблер". ОИЯИ, Б-II-4514, Дубна, 1968.
4. С.Г.Басиладзе и др. ОИЯИ, P1-5361, Дубна, 1970.
5. Г.Г.Воробьев, Н.Н.Говорун и др. ОИЯИ, P1-4445, Дубна, 1969

Рукопись поступила в издательский отдел
10 июля 1973 года.