сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

Р10-91-444

Г.А.Ососков, А.С.Поспелов*

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ЗАДАЧЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

*Московский институт электронной техники

1991

© Объединенный институт ядерных исследований Дубна, 1991

1. Рассматривается следующая математическая модель. Пусть $\bar{a} = (a_1, a_2, \ldots, a_s)$ – случайный вектор параметров и $g_1(t)$, $g_2(t), \ldots, g_s(t)$ – упорядоченный набор неслучайных функций переменной t. Обозначим через

$$\eta(t) = a_1 g_1(t) + a_2 g_2(t) + \ldots + a_s g_s(t) \tag{1}$$

случайную функцию, реализации которой – неслучайные функции $z(t) = a_1 g_1(t) + a_2 g_2(t) + \ldots + a_s g_s(t)$, в дальнейшем называемые траекториями, измеряются в точках $t_1 < t_2 < \ldots < t_N$ с аддитивными ошибками ϵ_k, $k = 1, 2, \ldots, N$. Таким образом, в точке t_k получаем

$$x_k = z(t_k) + \epsilon_k = a_1 g_1(t_k) + \ldots + a_s g_s(t_k) + e_k . \tag{2}$$

Будем предполагать, что случайный вектор ошибок $\bar{\epsilon} = (\epsilon_1, \ldots, \epsilon_N)^T$ независим от вектора $\bar{\eta} = (\eta(t_1), \ldots, \eta(t_N))^T$ и имеет известное распределение (ковариационную матрицу K_ϵ).

Если в результате эксперимента было реализовано r траекторий случайной функции вида (1), то в результате измерений в каждой из точек t_k, $k = 1, 2, \ldots, N$, получаем неупорядоченное множество $X_k = \{x_k\}$ чисел.

Наконец, полагаем $\mathfrak{M} = \otimes_{k=1}^{N} X_k$. Элементами множества $\mathfrak{M}$ являются векторы $\bar{y} = (y_1, \ldots, y_N)^T$, где $y_k \in X_k$, $k = 1, 2, \ldots, N$. Их число равно $|\mathfrak{M}| = r^N$. Вообще говоря, компонентами векторов $\bar{y}$ являются числа, полученные в результате измерений разных траекторий. Вместе с тем множество $\mathfrak{M}$ содержит также векторы измерений каждой из r реализаций случайной функции $\eta(t)$. Будем обозначать их через $\bar{x} = (x_1, \ldots, x_N)^T$, где в соответствии с (2) $x_k = z(t_k) + \epsilon_k$, $k = 1, 2, \ldots, N$ ($z(t)$ – определенная реализация $\eta(t)$), и называть треками. Полагаем $\mathfrak{M}^{(0)} = \{\bar{x}\}$, так что $|\mathfrak{M}^{(0)}| = r$ и $\mathfrak{M}^{(0)} \subset \mathfrak{M}$.

Задачей предварительной обработки будем называть метод и алгоритм, позволяющий выделить во множестве $\mathfrak{M}$ некоторое подмножество $\mathfrak{M}_0$, удовлетворяющее следующим условиям:

1. $|\mathfrak{M}_0| \lesssim C \cdot r$ (C – постоянная, не зависящая от N);
2. $\mathfrak{M}^{(0)} \subseteq \mathfrak{M}_0$ (или более слабое условие: $\mathfrak{M}^{(0)} \cap \mathfrak{M}_0 \approx r$);
3. Алгоритм метода требует реализации порядка $C_1 N$ операций на произвольный вектор из $\mathfrak{M}$.

К необходимости решения задачи предварительной обработки приводят эксперименты в области физики высоких энергий, результаты которых представляют собой информацию с координатных детекторов, а большая множественность частиц в конечном состоянии требует предварительного сжатия данных сканирования в линейные трек-элементы /1,2/. В настоящее время существует большое число работ, использующих разные подходы к решению этой задачи /3-5/. Предлагаемый ниже метод основан на идеях теории распознавания образов /6/.

2. Будем считать всякий вектор $\bar{y} \in \mathfrak{M}$ набором признаков. Следуя основным выводам теории распознавания, необходимо предложить решающее правило, основанное на величинах и комбинации этих признаков, которое позволяет выделить в множестве $\mathfrak{M}$ подмножество треков. Вместе с тем нетрудно видеть, что компоненты случайного вектора $\bar{\xi} = (\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_N)$, $\xi_k = \eta_k + \epsilon_k$, коррелированы. В связи с этим предварительно следует определить некоторое ортогональное преобразование, декоррелирующее эти компоненты, т.е. применить хорошо известное преобразование Карунена - Лоэва /7/, диагонализирующее ковариационную матрицу случайного вектора $\bar{\xi}$.

Обозначим через C - ковариационную матрицу вектора параметров $\bar{a}$. Пусть далее $G = (g_{ij})$ - матрица порядка $N \times s$, векторами-столбцами $\bar{g}_j$ которой являются наборы значений неслучайной функции $g_j(t)$ в точках t_i, $i = 1,2,\ldots,N$, т.е. $g_{ij} = g_j(t_i)$. Из (1) и (2) тогда следует, что

$$\bar{\eta} = G\bar{a}, \quad \bar{\xi} = G\bar{a} + \bar{\epsilon}. \tag{3}$$

Если K_M - ковариационная матрица вектора $\bar{\eta}$ (т.е. модели) и K - ковариационная матрица вектора $\bar{\xi}$, то в силу независимости ошибок измерений от $\bar{\eta}$, получаем

$$K = K_M + K_\epsilon = G \cdot C \cdot G^T + K_\epsilon. \tag{4}$$

Всюду в дальнейшем мы предполагаем, что $\det C \neq 0$ и система векторов $\bar{g}_j = (g_j(t_1), \ldots, g_j(t_N))^T$, $j = 1,2,\ldots,s$ линейно независима. Обозначим через λ_k, $k = 1,2,\ldots,N$, собственные числа матрицы K из (4), так что $0 \le \lambda_1 \le \ldots \le \lambda_N$, через L_M - подпространство (размерности s), порожденное векторами $\bar{g}_1, \ldots, \bar{g}_s$, а через $L^\perp$ - его ортогональное дополнение.

Т е о р е м а. Пусть $K_\epsilon = \sigma^2 I$ (I - единичная матрица) и матрица K определена соотношением (4). Тогда:

1°. $\lambda_1 = \lambda_2 = \ldots = \lambda_{N-s} = \sigma^2$;

2°. $L^\perp = L^{(\sigma^2)}$,

где через $L^{(\lambda)}$ обозначено подпространство собственных векторов, соответствующих собственному числу λ.

Доказательство. Обозначим через $\lambda_k^{(0)}$ $(0 \le \lambda_1^{(0)} \le \le \ldots \le \lambda_N^{(0)})$ собственные числа матрицы K_M и докажем предварительно, что

1'. $\lambda_1^{(0)} = \ldots = \lambda_{N-s}^{(0)} = 0$;

2'. $L^{\perp} = L^{(0)}$.

Действительно, т.к. $\det C \neq 0$ и $\operatorname{Rang} G = s$ в силу линейной независимости векторов-столбцов этой матрицы, то получаем, что $\operatorname{Rang} K_M = s$. Следовательно, многочлен $\det|K_M - \lambda I|$ имеет корень $\lambda = 0$ кратности $N - s$, т.е. $\lambda_1^{(0)} = \ldots = \lambda_{N-s}^{(0)}$ и пункт 1' доказан. Соответствующее собственному числу $\lambda = 0$ подпространство собственных векторов $L^{(0)}$ матрицы K_M имеет размерность $N-s$.

Предположим теперь, что вектор $\bar{y} \in L^{\perp}$. Тогда скалярное произведение $(\bar{g}_j, \bar{y}) = 0$, $j = 1,2,\ldots,s$ и, следовательно,

$$G^T \cdot \bar{y} = \bar{0}.$$

Отсюда получаем, что

$$K_M \bar{y} = G \cdot C \cdot (G^T \bar{y}) = G \cdot C \cdot \bar{0} = 0 \cdot \bar{y},$$

т.е. $\bar{y} \in L^{(0)}$. Мы показали тем самым, что $L \subseteq L^{(0)}$. В силу равенства размерностей этих подпространств они совпадают, и пункт 2' доказан также.

Наконец, покажем, что если $\tilde{\lambda}$ - собственное число матрицы K_M, то число $\lambda = \tilde{\lambda} + \sigma^2$ является собственным для матрицы K. Действительно,

$$\det|K - \lambda I| = \det|K_M + K_\epsilon - \tilde{\lambda} I - \sigma^2 I| =$$

$$= \det|(K_M - \tilde{\lambda} I) + (K_\epsilon - \sigma^2 I)| = \det|K_M - \tilde{\lambda} I| = 0,$$

т.к. $K_\epsilon = \sigma^2 I$.

Отсюда непосредственно получаем, что $\lambda_1 = \ldots = \lambda_{N-s} = \sigma^2$ и пункт 1° теоремы доказан.

Пусть теперь $\bar{f}_{\tilde{\lambda}}$ - собственный вектор, соответствующий собственному числу $\tilde{\lambda}$ матрицы K_M. Докажем, что этот же вектор $\bar{f}_{\tilde{\lambda}}$ является собственным для матрицы K, а соответствующее ему собственное число равно $\tilde{\lambda} + \sigma^2$. Действительно,

$$K \cdot \bar{f}_{\tilde{\lambda}} = K_M \cdot \bar{f}_{\tilde{\lambda}} + K_\epsilon \bar{f}_{\tilde{\lambda}} = \tag{5}$$
$$= \tilde{\lambda} \bar{f}_{\tilde{\lambda}} + \sigma^2 I \bar{f}_{\tilde{\lambda}} = (\tilde{\lambda} + \sigma^2) \bar{f}_{\tilde{\lambda}} = \lambda \bar{f}_{\tilde{\lambda}}.$$

Отсюда получаем, что подпространство собственных векторов матрицы $L^{(\sigma^2)}$, соответствующих собственному числу σ^2, совпадает с подпространством собственных векторов $L^{(0)}$ матрицы K_M с собственным числом 0, откуда с учетом пункта 2' и следует равенство $L = L^{(\sigma^2)}$. Теорема доказана.

Полученный в теореме результат составляет основу следующего метода выделения (распознавания) треков из всей совокупности полученных измерений. Пусть $\Phi = \{\bar{\phi}_1, \ldots, \bar{\phi}_{N-s}, \bar{\phi}_{N-s+1}, \ldots, \bar{\phi}_N\}$ – ортонормированный базис из собственных векторов матрицы K, построенный следующим образом. Векторы $\bar{\phi}_1, \ldots, \bar{\phi}_{N-s}$ образуют произвольный базис подпространства L, т.е. соответствуют наименьшему собственному числу $\lambda = \sigma^2$, а каждый из векторов $\bar{\phi}_j$, $j = N - s + 1, \ldots, N$, удовлетворяет равенству $K\bar{\phi}_j = \lambda_j \bar{\phi}_j$ и, следовательно, принадлежит подпространству L_M. (Если кратность некоторого λ_j, $j > N-s$, больше единицы, то в соответствующем подпространстве $L^{(\lambda_j)} \subset L_M$ выбираем произвольный ортонормированный базис!).

Если теперь $\bar{y}$ – произвольный вектор из $\mathfrak{M}$, то получаем разложение

$$\bar{y} = \sum_{k=1}^{N-s} c_k \bar{\phi}_k + \sum_{k=N-s+1}^{N} c_k \bar{\phi}_k . \tag{6}$$

Набор координат $(c_1, \ldots, c_{N-s}, c_{N-s+1}, \ldots, c_N)$ вектора в базисе Φ представляет собой некоррелированную совокупность признаков этого вектора. По признакам $c_1, \ldots, c_{N-s}$ и строится решающее правило задачи распознавания.

3. Для построения указанного правила в задаче распознавания (в задаче предварительной обработки результатов измерений) найдем распределения и некоторые характеристики некоррелированных случайных величин $c_1, \ldots, c_{N-s}$:

Будем предполагать сначала, что случайный вектор $\bar{\xi}$ является треком, т.е. $\xi_k = \eta_k + \varepsilon_k$, $k = 1, 2, \ldots, N$. С учетом (1) и (2) тогда находим, что для всякого $j = 1, 2, \ldots, N-s$

$$c_j = (\bar{\xi}, \bar{\phi}_j) = (\bar{\eta}, \bar{\phi}_j) + (\bar{\varepsilon}, \bar{\phi}_j) = (\bar{\varepsilon}, \bar{\phi}_j) = \sum_{i=1}^{N} \varepsilon_i \phi_{ij} , \tag{7}$$

т.к. $\bar{\eta} \in L_M$. Если компоненты вектора ошибок независимы в совокупности и распределены по одному и тому же закону с плотностью $f_\varepsilon(u)$, то плотность $f_{c_j}(u)$ распределения случайного коэффициента c_j представляет собой свертку:

$$f_{c_j} = f_1 * f_2 * \ldots * f_N(u), \qquad (8)$$

где $f_k(u) = f_{\epsilon_k \phi_{kj}}(u)$.

Предположим теперь, что компоненты случайного вектора $\bar{\xi}$ выбираются независимо. В этом случае с учетом (6) плотность f_{c_j} распределения является сверткой плотностей распределений компонент, т.е.

$$f_{c_j}(u) = f_{\xi_1 \phi_{1j}} * \ldots * f_{\xi_N \phi_{Nj}}(u). \qquad (9)$$

Проанализируем полученное соотношение (9). Т.к. $\xi_k = \eta_k + \epsilon_k$, $k = 1,2,\ldots,N$ (но компоненты η_k не формируют вектор-трек $\bar{\eta}$) и ошибки измерений не зависят от измеряемых величин, то

$$f_{\xi_k \phi_{kj}}(u) = f_{\eta_k \phi_{kj}} * f_{\epsilon_k \phi_{kj}}(u). \quad k = 1,2,\ldots,N. \qquad (10)$$

Подставляя (10) в правую часть (9), находим, что

$$f_{c_j}(u) = (f_{\eta_1 \phi_{1j}} * \ldots * f_{\eta_N \phi_{Nj}}) * (f_1 * \ldots * f_N)(u). \qquad (11)$$

где вторая скобка в (11) совпадает с правой частью (8). В результате получаем, что плотность распределения коэффициента c_j в случае независимого выбора компонент вектора $\bar{\xi}$ отличается от плотности распределения того же коэффициента, когда $\bar{\xi}$ является вектором измерений случайного трека, наличием дополнительного сверточного множителя вида

$$f_{\eta_1 \phi_{1j}} * \ldots * f_{\eta_N \phi_{Nj}}(u). \qquad (12)$$

Таким образом, решающее правило может быть построено (с учетом выражения (12)) по видам распределений.

4. Рассмотрим, как формируется решающее правило, исходя из видов распределений (8) и (11). Предположим, что реализациями случайной функции (1) являются прямые, исходящие из одной точки (начала координат $t = 0$). Тогда $s = 1$ и $g_1(t) = t$. Пусть измерения осуществляются в точках $t_k = k$, $k = 1,2,\ldots,N$, причем ошибки измерений (компоненты вектора $\bar{\epsilon}$) равномерно распределены на интервале $[-\Delta, \Delta]$. Наконец, предположим, что случайная величина $\eta(t_1) \equiv \eta(1)$ равномерно распределена на интервале $[-a, a]$. Из этих предположений получаем, что

$$f_\varepsilon(u) = \begin{cases} \frac{1}{2\Delta}, & u \in [-\Delta, \Delta], \\ 0, & u \bar{\in} [-\Delta, \Delta] \end{cases}$$

и

$$f_\eta(u) = \begin{cases} \frac{1}{2a}, & u \in [-a, a], \\ 0, & u \bar{\in} [-a, a]. \end{cases}$$

Нетрудно видеть, что свертка двух функций, каждая из которых имеет конечный носитель, также является функцией с конечным носителем, причем если $\mathrm{supp} f = [a, b]$ и $\mathrm{supp}\, g = [c, d]$, то $\mathrm{supp}(f*g) = [a+c, b+d]$. Используя этот факт, находим, что плотность распределения случайной величины c_j, $j = 1,2,\dots,N$, когда случайный вектор $\bar{\xi}$ является треком, в соответствии с выражением (8) имеет конечный носитель, сосредоточенный внутри интервала $[-N\Delta, N\Delta]$ (т.к. $|\phi_{ij}| \le 1$ для $\forall i, j = 1,2,\dots,N$). Если же компоненты вектора $\bar{\xi}$ выбираются независимо, то носитель плотности распределения случайной величины c_j сосредоточен внутри интервала $[-N(a+\Delta), N(a+\Delta)]$ в соответствии с (11)

Таким образом, если

$$|c_j(\bar{\xi})| > N\Delta \tag{12'}$$

для некоторого $j = 1,2,\dots,N$, то соответствующий вектор $\bar{\xi}$ не является треком.

Естественно, что решающее правило (критерий типа (12')) следует применять при фиксированном j не ко всем реализациям случайного вектора $\bar{\xi}$, а только к тем из них, которые не удовлетворяют этому критерию на предыдущем шаге $j-1$. Такая процедура позволяет значительно уменьшить среднее число операций на одну реализацию.

Было проведено несколько экспериментов с использованием ЭВМ. В каждом эксперименте генерировались 10 треков, каждый из которых представлял собой прямую $\eta(t) = \alpha t$, исходящую из начала координат так, что в точке $t_1 = 1$ случайная величина $\eta(t_1)$, как и выше, была равномерно распределена на интервале $[-a, a]$. В точках $t_k = k$, $k = 1, 2, 3, 4$ (так что $N = 4$) производились измерения каждой из 10 прямых с ошибкой округления значения измерения, распределенной равномерно на интервале $[0, \Delta]$. В результате было получено 4 совокупности X_j, $j = 1,2,3,4$, по 10 измерений каждая. Комбинируя произвольные элементы полученных множеств, получаем 10^4 реализаций случайного вектора (среди которых содержатся и 10 треков!).

По условиям экспериментов подпространство L_M одномерно и, следовательно, порождено вектором

$$\bar{\phi}_4 = \frac{1}{\sqrt{30}}(1,2,3,4).$$

Отсюда размерность ортогонального дополнения L равна трем. Базисные векторы $\bar{\phi}_1$, $\bar{\phi}_2$, $\bar{\phi}_3$ в L (в силу произвольности их выбора) определялись как дискретные многочлены, ортогональные на множестве из 4 элементов.

Для удобства изображения для каждой из реализаций вычислялся не соответствующий коэффициент $c_j(\bar{y})$, а величина $\theta_j = c_j(\bar{y}) / \|\bar{y}\|$, $\bar{y} \in \mathfrak{M}$, представляющая собой косинус угла между векторами $\bar{y}$ и $\bar{\phi}_j$. В этом случае решающее правило не может быть записано в виде неравенства (12′). Вместо этого назначался некоторый порог h, и по критерию

$$c_j(\bar{y}) / \|\bar{y}\| \geq h \qquad (13)$$

соответствующая реализация $\bar{y}$ исключалась из дальнейшего рассмотрения как не являющаяся треком. Во всех экспериментах $a = 0,1$, $\Delta = 0,001$. Некоторые результаты сведены в таблицу, в ячейках которой отмечается число отбрасываемых на каждом шаге векторов $\bar{y}$. В последней строке указано окончательное число оставшихся после применения критерия (13) векторов $\bar{y}$, т.е. треков, для каждого из рассматриваемых значений h.

В результате при $h = 0,03$ алгоритм оставляет 38 треков, включая 10 исходных (что также проверялось алгоритмом в процессе проведения эксперимента). Наличие дополнительных треков вполне объяснимо, их сепарация должна осуществляться в последующем (а не на стадии предварительной обработки).

Таблица

№ эксп.	1	2	3	4	5
h	0,5	0,3	0,1	0,05	0,03
θ_1	548	2715	6491	7662	7987
θ_2	3035	4062	2696	1970	1669
θ_3	7087	2274	544	308	306
число треков	2913	949	269	60	38

5. Рассмотрим теперь случай, когда ковариационная матрица ошибок измерений является диагональной, но не скалярной, т.е. $K_\epsilon = \sigma^2 W$, где $W = \mathrm{diag}(w_1, w_2, \ldots, w_N)$ и $w_k > 0$, $k = 1, 2, \ldots, N$.

В этом случае подпространство, ортогональное L_M, никак не связано с подпространством, получаемым в результате декорреляции матрицы $K = K_M + K_\epsilon$.

Действительно, предположим, например, что $s = 1$, так что $\eta(t) = a g(t)$, где $D[a] = d$. Тогда $K_M = \bar{g} \cdot d \cdot \bar{g}^T$ и

$$K = K_M + K_\epsilon = d\bar{g} \cdot \bar{g}^T + \sigma^2 W.$$

Покажем, что вектор $\bar{g}$ не является собственным для матрицы K. Находим

$$K_M \bar{g} = d \cdot \bar{g} \cdot \bar{g}^T \cdot \bar{g} = d\, |\bar{g}|^2 \cdot \bar{g}.$$

Тогда

$$K_{\bar{g}} = (K_M + \sigma^2 W)\, g = d\, |\bar{g}|^2 \cdot \bar{g} + \sigma^2 W \bar{g}.$$

Для того чтобы вектор $\bar{g}$ был собственным, необходимо и достаточно выполнение условия

$$K\bar{g} = \mu\bar{g},$$

или

$$(d\, |\bar{g}|^2 + \sigma^2 W)\, \bar{g} = \mu\bar{g}.$$

Следовательно,

$$W = \frac{1}{\sigma^2}(\mu - d\, |\bar{g}|^2)\, I,$$

т.е. является скалярной матрицей при любом μ, что противоречит условию.

Рассматриваемый пример показывает, что непосредственное применение декоррелирующего преобразования Карунена - Лоэва в случае диагональной ковариационной матрицы не дает правильного результата. Отметим, что этот факт является ограничением на применение метода, предложенного в работе [4].

Поэтому случай $K_\epsilon = \sigma^2 W$ необходимо сводить к уже рассматривавшемуся. Выполняется это следующим образом. Полагаем $T = W^{-1/2}$ и рассматриваем новый случайный вектор $\bar{\xi}^{(1)} = T\bar{\xi}$. Его ковариационная матрица имеет вид:

$$K^{(1)} = T \cdot K \cdot T^T = (TG)\, C\, (TG)' + \sigma^2 T W T' = G^{(1)} \cdot C \cdot G^{(1)\prime} + \sigma^2 I.$$

Тем самым получается новая модель, порожденная матрицей векторов-столбцов $G^{(1)}$: ошибки измерений имеют теперь одну и ту же дисперсию σ^2.

Последние рассуждения могут быть обобщены на произвольную матрицу ошибок K_r, которая в силу своей положительной определенности всегда представима в виде квадрата некоторой матрицы.

6. В заключение подсчитаем число операций, необходимых для реализации предложенного алгоритма предварительной обработки результатов экспериментов, а также рассмотрим вопрос о возможности проведения вычислений на специализированном процессоре.

В соответствии с решающим правилом (12) (или (13)) основной операцией алгоритма является вычисление коэффициентов $c_j(\bar{y})$, $j = 1,2, \ldots, N-s$ разложения произвольного вектора $\bar{y} \in \mathfrak{M}$ в построенном базисе $\mathcal{F}$. Из (7) следует, что эта операция требует N умножений и столько же сложений. Т.к. число вычисляемых коэффициентов равно $N-s$, то в результате получаем, что общее число операций типа "сложение - умножение", затрачиваемых на вектор $\bar{y}$, равно $(N-s)N$, что не соответствует сформулированному в начале статьи условию 3 (число операций не должно превышать $C_1 N$ на вектор). Вместе с тем, как показано в п.4, решающее правило позволяет отбрасывать часть векторов $\bar{y}$ из $\mathfrak{M}$ после вычисления каждого из коэффициентов c_j и, следовательно, не вычислять для этих векторов последующие коэффициенты. Это значительно сокращает число операций, т.к. основная часть векторов $\bar{y}$ из множества $\mathfrak{M}$ отбрасывается уже после вычисления коэффициента $c_1(\bar{y})$. В частности, в последнем из проведенных экспериментов (см. таблицу выше, последний столбец) после вычисления θ_1 и применения решающего правила в виде критерия (13), остается 2013 векторов (т.е. около 20%), а после вычисления θ_2 и снова применения критерия - всего 306. В результате на каждый из векторов затрачивается в среднем не более $1{,}25\,N (N = 4)$ операций типа "сложение - умножение".

Однотипность выполняемых операций наводит на мысль о возможности реализации данного алгоритма на специализированном процессоре. Можно предложить следующую структуру этого процессора. В N однотипных умножителей заносятся коэффициенты $\varphi_{11}, \varphi_{12}, \ldots, \varphi_{1N}$. Координаты $y_1, y_2, \ldots, y_N$ предъявленного вектора $\bar{y}$ умножаются на эти весовые коэффициенты и результат поступает на сумматор. Таким образом, на сумматоре формируется коэффициент $c_1(\bar{y})$. Далее происходит сравнение полученного числа с выбранным порогом и, если критерий (например, типа (12)) выполняется, то соответствующий вектор помещается в буферную память. После выполнения указанной процедуры для всех векторов из $\mathfrak{M}$ происходит перенастройка умножителей. В них заносятся весовые коэффициенты ϕ_{21}, ϕ_{22}, ..., ϕ_{2N} соответственно. Далее описанная процедура выполняется снова, но уже только для векторов из буферной памяти, память очищается, а результат (т.е. векторы, удовлетворяющие критерию) снова заносится в нее. Наконец, после выполнения (N - s)-го цикла, в буферной памяти оказываются записанными отобранные алгоритмом предварительной обработки треки.

Такой специализированный процессор несложно реализовать и, очевидно, это позволяет сократить время обработки поступившего массива измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин В.А., Ососков Г.А. - Автоматизация измерений и обработки данных физического эксперимента. М.: Изд. Московского ун-та, 1986.
2. Bajla I., Ososkov G.A., Turznova M. - Comp. and Artif. Intelligence, 1984, v.3, No.6, p.527; 1985, v.4, No.1, p.45.
3. Стрэнд Р.С. - Распознавание оптических образов при экспериментах на трековых камерах с частицами высоких энергий. Тем. сб-к под ред. Л.Хармона "Распознавание образов при помощи цифровых вычислительных машин. М.: 1974, с.15.
4. Grote H. - Review of Pattern Recognition in High Energy Physics. CERN, DD/87/3, February, 1987.
5. Hansroul M., Tounsend P., Zanella P. - В сб.: Труды Совещания по программированию и математическим методам решения физических задач. ОИЯИ, Д10-7707, Дубна, 1974, с.460.
6. Ту Дж., Гонсалес Р. - Принципы распознавания образов. М.: Мир, 1978.
7. Лоули Д., Максвелл А. - Факторный анализ как статистический метод. М.: Мир, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 октября 1991 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
Д1,2-86-668	Труды 8 Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
Д3,4,17-86-747	Труды Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
Д2-87-798	Труды 8 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р.55 к.
Д14-87-799	Труды П Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987	4 р.20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р.20 к.
Д17-88-681	Труды Международного совещания "Механизмы высокотемпературной сверхпроводимости". Дубна, 1988.	1 р.50 к.
Д13-88-938	Труды XIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1988.	4 р.30 к.
Р2-89-138	Труды семинара "Гравитационная энергия и гравитационные волны". Дубна, 1988.	1 р.10 к.
Д4-89-221	Труды рабочего совещания по разработке и созданию излучателя и детектора гравитационных волн. Дубна, 1988.	1 р.60 к.
Д9-89-52	Труды XI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1988 /2 тома/	14 р.35 к.
Д9-89-708	Труды II Международного совещания по циклотронам и их применению. Бехин, ЧССР, 1989.	4 р.00 к.
Д7-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа-86". Дубна, 1986.	4 р.45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р.10 к.

Д9-89-801	Труды Международной школы молодых ученых по проблемам ускорителей заряженных частиц. Дубна, 1988	2 р.25 к.
Д7-90-142	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна,1989.	7 р.00 к.
Р2-90-245	Труды II семинара "Гравитационная энергия и гравитационные волны". Дубна, 1989.	1 р.70 к.
Д19-90-457	Труды рабочего совещания по исследованию механизма радиационно-индуцированного мутагенеза и репарации ДНК. Дубна, 1990.	4 р.00 к.
Д2-90-461	Труды IX Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Дубна, 1990	5 р.20 к.
Е17-90-472	Труды Международного семинара по высокотемпературной сверхпроводимости Дубна, 1990. /на англ.яз./	2 р.60 к.
Д13-90-479	Труды Международного совещания "Твердотельные трековые детекторы ядер и их применения". Дубна, 1990.	2 р.00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Ососков Г.А., Поспелов А.С. P10-91-444

Применение дискретных преобразований в задаче предварительной обработки результатов экспериментов в физике высоких энергий

В предположении, что треки заряженных частиц, детектируемые в N координатных плоскостях, описываются линейной моделью с S параметрами, предлагается метод для отбора трек-кандидатов. Этот метод "извлечения признаков" основан на дискретном преобразовании координат треков в подпространство (N - S) признаков, определяемых ковариационной матрицей модели. Метод обобщен на случай неравноточных измерений. Соответствующий алгоритм требует (N - S) операций на каждую проверку и допускает аппаратную реализацию. Приводятся результаты численного эксперимента, показывающие удовлетворительную надежность метода.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод авторов

Ososkov G.A., Pospelov A.S. P10-91-444

Applications of Discrete Transformations in the Problem of Preliminary Data Processing for Experiments in High Energy Physics

It is assumed that charged particle tracks detected in N coordinate planes are described by the linear model with S parameters. A method for the track-candidate selection is proposed. This feature extraction method is based on discrete transformation of track coordinates to the subspace of N - S features determined by the model covariance matrix. The method is generalized to the case of different accuracy of measurements. The corresponding algorithm requires (N - S) operations per every test and suites for hardware implementation. Results of numerical experiments are given, which show the satisfactory method reliability.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991

29 коп.

Редактор Е.К.Аксенова. Макет Н.А.Киселевой.
Набор Л.В.Пахомовой, Е.М.Граменицкой.

Подписано в печать 14.11.91.
Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,98.
Тираж 430. Заказ 44779.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.