

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P10-85-252

В.А. Калиников, В.Р. Крастев, Е.А. Чудаков*

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОЦЕССОР,
ВЫДЕЛЯЮЩИЙ СОБЫТИЯ
ПО ЧИСЛУ ПРЯМЫХ ТРЕКОВ

Направлено в ПТЭ

* Московский государственный университет

1985

В последние годы на крупных физических установках в системах запуска широко применяются быстродействующие специализированные процессоры для отбора полезных событий^{/1-5/}. Это вызвано необходимостью оптимизации набора данных в условиях возрастающей сложности топологии событий и количества информации.

В работах^{/6-8/} рассмотрены основные методы аппаратного восстановления прямых треков в системах отбора. Для этих методов характерно:

- промежуточное запоминание события в линейно-позиционном коде на быстродействующих регистрах;
- преобразование данных о событии в двоичный код для упрощения архитектуры процессора;
- применение последовательных способов решения для дополнительного снижения объема процессора.

Время решения трековых процессоров, построенных на базе существующих методов отбора, сравнительно велико и может составлять $0,1 \div 10$ мс.

Описываемый в данной работе процессор производит быстрое восстановление одной проекции треков за время не более 300 нс. Алгоритм работы процессора основан на использовании суперпозиционного кода для преобразования входной информации^{/9/} и параллельного восстановления треков по сгенерированной маске поиска. Работа процессора была исследована на экспериментальной установке БИС-2 ОИЛИ^{/10/}.

Пусть зарегистрированное событие имеет вид, показанный на рис.1. Поиск трека осуществляется внутри зоны, ограниченной размерами мишени и шириной сработавшего "датчика" /группой сигнальных проволочек в плоскости детектора, объединенных по "ИЛИ"/ в плоскости МПК5. Например, для трека 1 зона поиска будет ΔKDL . Если внутри этой зоны в каждой детекторной плоскости произошло срабатывание хотя бы одного датчика, то принимается решение, что это прямой трек, выходящий из мишени. Логическое выражение выхода для данного трека имеет вид

$$\text{Выход}_{\text{трек } i} = \bigvee_{i=e}^f (n_i^1) \cdot \bigvee_{k=v}^q (n_k^2) \cdot \bigvee_{j=g}^m (n_j^3) \cdot \bigvee_{\gamma=p}^s (n_\gamma^4),$$

где $n_i^1, n_k^2, n_j^3, n_\gamma^4$ - номера датчиков в плоскостях МПК1-МПК4, входящих в зоны поиска ef, vq, gm, ps ; $\bigvee_{l=e}^f (n_l^1)$ - логическое

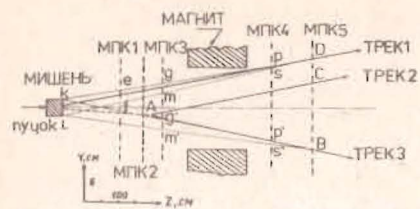


Рис.1. Схема события, зарегистрированного в спектрометре. ТРЕК 1, 2, 3 - треки частиц, возникших в результате взаимодействия пучковой частицы в мишени. МПК1-МПК5 - многопроволочные пропорциональные камеры; e, f, g, q, ... - номера крайних датчиков зон поиска для соответствующих плоскостей.

суммирование сработавших датчиков в зоне поиска. Аналогично осуществляется поиск для треков 2 и 3.

Таким образом, для проведения треков необходимо по сработавшим датчикам в последней плоскости сгенерировать маску поиска /двоичное кодовое слово сработавших датчиков в последней плоскости/ для внутренних плоскостей и проверить наличие сработавших датчиков во всех заданных зонах поиска. Для повышения точности опознавания треков эти зоны разбиваются на более узкие "коридоры", задаваемые сработавшим датчиком в последней плоскости и каждым из датчиков этих зон в предпоследней плоскости. Для исключения неэффективности срабатывания датчиков в какой-либо из плоскостей при проведении треков по всем плоскостям применяется мажоритарный принцип отбора, т.е. требуется наличие сработавших датчиков в заданной зоне поиска в четырех из пяти детекторных плоскостей.

Для осуществления параллельного алгоритма восстановления треков и для исключения избыточности в представлении данных применяется преобразование входной информации с детекторных плоскостей из линейно-позиционного в специально построенный суперпозиционный код /см.ниже/. Задача проведения треков с применением суперпозиционного кодирования сводится к тому, чтобы одновременно во всех зонах поиска, которые определяются сработавшими датчиками в последней плоскости, определить наличие сработавших датчиков в каждой из внутренних плоскостей, т.е. для каждой из внутренних плоскостей в результирующем кодовом слове, которое образуется из кодовых слов сработавших датчиков, определить датчики, соответствующие кодовому слову маски поиска.

Для этого каждому датчику в последней плоскости присваиваем двоичное слово из выбранного суперпозиционного кода. По аналогии с теорией кодирования назовем его "ключевым кодовым словом" или ключом. Каждой зоне поиска присваиваем ключевое слово датчика из последней плоскости, который задает эту зону. Кодовые слова датчиков во внутренних плоскостях образуются логической операцией "ИЛИ" над всеми ключами зон, в которые входит датчик во всех масках поиска.

Поиск треков осуществляется следующим образом. При срабатывании датчиков в последней плоскости объединением по "ИЛИ" над



Рис.2. Проведение треков на базе суперпозиционного кода.

ключевыми словами датчиков вырабатывается кодовое слово маски поиска. Затем эта маска поразрядно сравнивается на совпадение со всеми кодовыми словами, которые получаются при срабатывании датчиков в каждой из внутренних плоскостей. Если в кодовых словах в некоторых разрядах, где в маске присутствует логическая единица, произошло совпадение, то это означает, что произошло срабатывание датчиков, лежащих внутри соответствующей зоны поиска, т.е. найден прямой трек. Рассмотрим это на примере. Пусть две плоскости А и В имеют пять датчиков /рис.2/. Каждому датчику в плоскости В присваиваем ключевое слово простого суперпозиционного кода:

№ датчика	ключевое кодовое слово
1	K1 = 00001
2	K2 = 00010
3	K3 = 00100
4	K4 = 01000
5	K5 = 10000

Предположим, что зоны поиска для треков, "выходящих" из мишени, имеют вид: K1 = 1∨2, K2 = 2∨3, K3 = 3∨4, K4 = 4∨5, K5 = 5. Тогда кодовые слова датчиков в плоскости А могут быть представлены в виде

№ датчика	кодовое слово датчика
1	S1 = K1 = 00001
2	S2 = K1 ∨ K2 = 00011
3	S3 = K2 ∨ K3 = 00110
4	S4 = K3 ∨ K4 = 01100
5	S5 = K4 ∨ K5 = 11000

При срабатывании датчиков 1 и 2 в плоскости В /рис.2/ генерируется маска поиска вида: Q = K1 ∨ K2 = 00011. В плоскости А при срабатывании датчиков 3 и 5 возникает кодовое слово Sp=3∨5=11110. При сравнении маски поиска с кодовым словом в плоскости А на совпадение получается: Q ∧ Sp = 00011 ∧ 11110 = 00010 => K2. Следовательно, здесь найден трек, который проходит внутри зоны с ключом K2 /трек 2, рис.2/. Аналогично осуществляется поиск

треков, не выходящих из мишени, который осуществляется параллельно.

При большом числе датчиков в плоскости детектора N и малом числе треков можно построить суперпозиционный код с разрядностью b, где $\frac{N}{b} \gg 1$. Это позволяет уменьшить объем процессора. Задача при построении суперпозиционного кода с требуемыми параметрами заключается в следующем. Пусть по геометрии эксперимента существует N1 зон поиска (N1 ≤ N) для проведения треков, а r - максимально возможное число зон, в которые входят датчики внутренних плоскостей во всех масках поиска. Тогда при числе треков t необходимо потребовать, чтобы для построенного суперпозиционного кода все суперпозиционные суммы Ci (где i = 1, 2, ..., t) над кодовыми словами из множества N1 были различимы,

$$C_i = \left[\binom{N_1}{r} \right]^i = \left[\frac{N_1!}{r! (N_1 - r)!} \right]^i$$

- число сочетаний из N1 по r в i-й степени.

Таким образом, для требуемого суперпозиционного кода необходимо выбрать такое множество N1 двоичных b-разрядных слов, где все $\left(\binom{N_1}{r} \right)^t$ логические комбинации по "ИЛИ" над кодовыми словами датчиков в плоскости детектора были различимы.

В работах [9, 11, 12] проведено исследование свойств и способов построения суперпозиционных кодов с требуемыми параметрами. Показано, что такие коды легко могут быть построены на базе двоичных кодов, исправляющих ошибки, причем число кодовых слов, удовлетворяющих требованиям суперпозиционного кода, будет не более чем

$$N_1 \leq \frac{(\lambda_{\max}^b + 1)}{(\lambda_{\max}^k + 1)} = \frac{b!(b - \lambda_{\max} - 1)!}{k!(k - \lambda_{\max} - 1)!}$$

где b - разрядность кода; k - вес кодовых слов; λmax - максимальное число совпадающих разрядов в суперпозиционных суммах.

В соответствии с методикой, изложенной в [9] для трекового процессора был построен суперпозиционный код на базе кода Боуза-Чоудхури-Хоквингема /БЧХ-коды/. Использование БЧХ-кодов объясняется тем, что в отличие от других известных конструктивных кодов они являются высокоэффективными и легко описываются в виде проверочной матрицы H^T, порождаемой неприводимым полиномом степени m даже при больших N^{13/}, а проверочная матрица такого кода имеет вид

$$H^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ a & a^3 & \dots & (a^2)^{2t-1} \\ a^2 & a^6 & \dots & (a^2)^{2t-1} \\ a^3 & a^9 & \dots & \\ \vdots & \vdots & \dots & \\ a^{2m-1} & (a^{2m-1})^3 & \dots & (a^{2m-1})^{2t-1} \end{pmatrix}$$

где a - примитивный элемент поля Галуа $GF(2^m)$; m - степень полинома, причем $N=2^m$; t - число ошибок. БЧХ-коды используются не только для обнаружения и исправления ошибок при передаче данных, но и для обработки информации в ядерной электронике^{/14/}.

Проверочная матрица суперпозиционного кода для предложенного трекового процессора приведена в приложении. При числе зон поиска $N_1 = 110$ и разрядности $b = 56$, этот код имеет скорость передачи $R = \frac{N}{b} \approx 2$, что позволяет уменьшить количество обрабатываемой информации.

На рис. 3 приведена функциональная схема трекового процессора. Процессор работает следующим образом. Информация о событии с каждой детекторной плоскости через кодирующее устройство, которое выполнено в соответствии с геометрией эксперимента при заданных зонах поиска и параметрах суперпозиционного кода, записывается в память процессора ($RG_1 \div RG_5$). При срабатывании датчиков в последней плоскости на выходе кодирующего устройства H_5^T вырабатывается кодовое слово маски поиска, которое поступает на все схемы совпадений для промежуточных плоскостей. На этих устройствах осуществляется поразрядное сравнение маски поиска и результирующего кодового слова с детекторной плоскости, записанного в регистре RG_1 . Результат сравнений поступает на дешифраторы, где по выделенным ключам определяются зоны, в которых найден трек. Для поиска треков по всем плоскостям соответствующие выходы дешифраторов подключены к мажоритарным схемам совпадений, применение которых позволяет исключить неэффективность срабатывания датчиков в какой-либо плоскости, т.е. с кратностью $K - 1$, где $K = 5$, отбирать прямые треки.

Краткие характеристики процессора

Число анализируемых плоскостей - 5
 Число входных каналов - 168
 Уровни входных сигналов:

- логический ноль - $2,4 \pm 0,1$ В
 - логическая единица - $0,5 \pm 0,1$ В
- Выходы процессора типа:
- число треков из мишени - $\geq 1, \geq 2, \dots, \geq 8$
 - число треков вне мишени - $\geq 1, \geq 2, \dots, \geq 5$
- Уровни выходных сигналов:
- логический ноль - $0 \pm 0,1$ В
 - логическая единица - $0,8 \pm 0,1$ В
- Длительность входных сигналов - $70 \div 100$ нс
 Время решения - не более 300 нс
 Точность проведения треков - зона поиска с шириной 12мм
 Потребление - 12 А от 6 В
 Микросхемы - ЭСЛ /К500/

Процессор выполнен в стандарте КАМАК и занимает блок шириной 4 М.

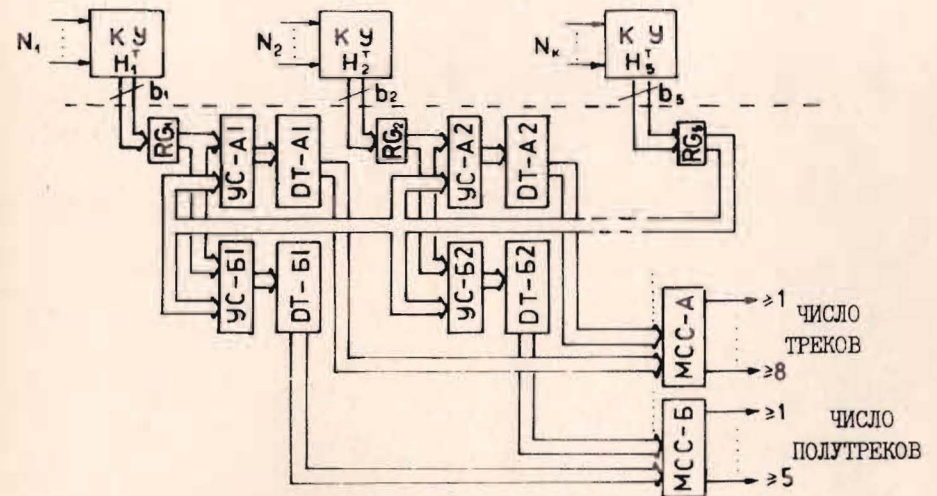


Рис. 3. Функциональная схема быстродействующего трекового процессора. КУ - кодирующие устройства; УС - устройства совпадений; DT - декодировщик треков; МСС - мажоритарная схема совпадений; А и В - индексы каналов параллельной обработки.

В заключение авторы выражают благодарность Б.Н.Гуськову и Д.А.Кирилову за полезные обсуждения и помощь при реализации и испытании трекового процессора, а также Н.М.Никитюку за постоянный интерес и критические замечания к тексту данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гузик З. и др. ОИЯИ, P13-6917, Дубна, 1973.
2. Никитюк Н.М. ОИЯИ, P11-80-484, Дубна, 1980.
3. Крумштейн З.В. и др. ПТЭ, 1982, № 2, с.84.
4. Калинин В.А. и др. ОИЯИ, P1-84-570, Дубна, 1984.
5. Басиладзе и др. ОИЯИ, 13-12453, Дубна, 1979.
6. Solomon J. Nuclear Instruments and Methods, 1973, v.107, No.1, p.15.
7. Pizer I., Lindsay J., Delevallada G. Nuclear Instruments and Methods, 1979, v.156, No.2, p.335.
8. Darbo G., Vitake S. Nuclear Instruments and Methods, 1981, v.195, No.1, p.81-86.
9. Kautz W., Singleton R. IEEE Trans. Inform. Theory, 1964, v.IT-10, p.363-377.
10. Айхнер Г. и др. ОИЯИ, 1-80-644, Дубна, 1980.
11. Робертс И.С. ТИИЭР, 1979, т.67, №12, с.37.
12. Ли П. ТИИЭР, 1963, т.5, №6, с.931.
13. Петерсон У., Узлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. "Мир", М., 1979.
14. Nikityuk N.M., Radzhabov R.S., Shafranov M.D., Nuclear Instr. and Methods, 1978, v.155, No 1, p.485.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 апреля 1985 года

Калинников В.А., Крестев В.Р., Чудаков К.А.
Быстродействующий специализированный процессор,
выделяющий события по числу прямых треков

P10-85-252

Описывается специализированный процессор для быстрого отбора событий по числу прямых треков, в котором используется информация о событиях с пяти детекторных плоскостей. С целью повышения экономичности и увеличения быстродействия при параллельном способе обработки информации в процессоре используется преобразование входной информации в суперпозиционный код и опознавание треков по сгенерированной маске поиска. Время решения процессора не превышает 300 нс. Процессор выполнен в стандарте КАМАК. В качестве элементной базы использованы ЭСЛ микросхемы /около 300 корпусов/.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод Л.Н. Барабаш

Kalinnikov V.A., Krastev V.R., Chudakov E.A.
A Fast Specialized Processor for Event
Selection by the Number of Straight Tracks

P10-85-252

A construction method and a functional diagram of the track processor used for fast event selection according to the number of direct tracks are described. Information on an event is read out from five detector planes. In order to increase economy and fast operation at a parallel method of information processing, input information is transformed to a superposition code and the tracks are reconstructed by a generated finding mask. The decision time of the processor is no larger than 300 ns. The processor is made in the CAMAC standard. ECL microcircuits (300 chips) are used as element base.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985