

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P10-86-723

Г.В.Шестакова, В.Н.Шигаев

**АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА РАСПОЗНАВАНИЯ
КОМПАКТНО РАСПОЛОЖЕННЫХ
ВЕРШИН СОБЫТИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ
МИНИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НРД**

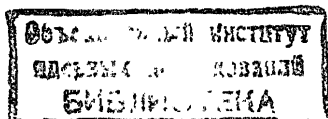
1986

Распознавание вершин событий на снимках с трековых камер — одна из задач, решаемых в автоматизированных системах обработки, построенных на базе сканирующих измерительных автоматов.

В так называемых системах минимального управления MG (Minimum Guidance) распознавание вершин событий на снимках выполняется человеком-оператором на стадии просмотра пленок. Он обеспечивает систему необходимой управляющей информацией, которая включает в себя целеуказание вершин событий в форме их приближенных координат. В системах, где весь дальнейший процесс идет без управляющих воздействий человека-оператора, эффективность распознавания, как свидетельствует опыт, в сильной степени зависит от точности целеуказаний. В силу же специфических особенностей конкретного эксперимента (объемная мишень, блики на снимках) точность целеуказаний вершин не всегда может под- держиваться на высоком уровне.

Понижение точности целеуказаний фактически переводит систему в условия функционирования, характерные для систем с так называемым зонным управлением ZNG (Zone Guidance). В этих условиях в задачу программы автоматического распознавания входит полный анализ заданной зоны, в границах которой число вершин может быть больше 1. Аналогичная задача встает перед системой MG в тех случаях, когда в заданной окрестности компактно расположены вершины разных событий, вторичные вершины искомого события или случайные вершиноподобные сочетания треков на обрабатываемой проекции стереоснимка.

При разработке системы MG ^{/1,2,3/}, рассчитанной на использование сканирующего автомата HPD ^{/4,5,6/} и спецпроцессора SNP ^{/7/}, были практически испытаны три алгоритма ^{/3/} выделения вершины события, однако ни один из них не обеспечивает возможности расширения системы для работы в режиме зонного управления. Результаты испытаний системы MG на снимках с ЖВК ОИЯИ послужили толчком к разработке нового алгоритма распознавания вершин в духе требований системы ZNG . Ядром алгоритма является процедура $zonver$, выделяющая множество v вершиноподобных структур в границах зоны H_v , определяемой параметрами обращения. Вершиноподобные структуры (группы треков, объединяемые общей точкой), которые выделяются этой процедурой, мы будем именовать плоскими вершинами, поскольку, во-первых, процедура применяется к данным отдельной проекции стереоснимка и, во-вторых, плоская



вершина не обязательно является проекцией пространственной картины реального события. Общую точку, связывающую треки вершиноподобной структуры, будем именовать центром плоской вершины.

Остановимся подробнее на построении процедуры ZONVER, дав ее пошаговое описание (см. рис. I).

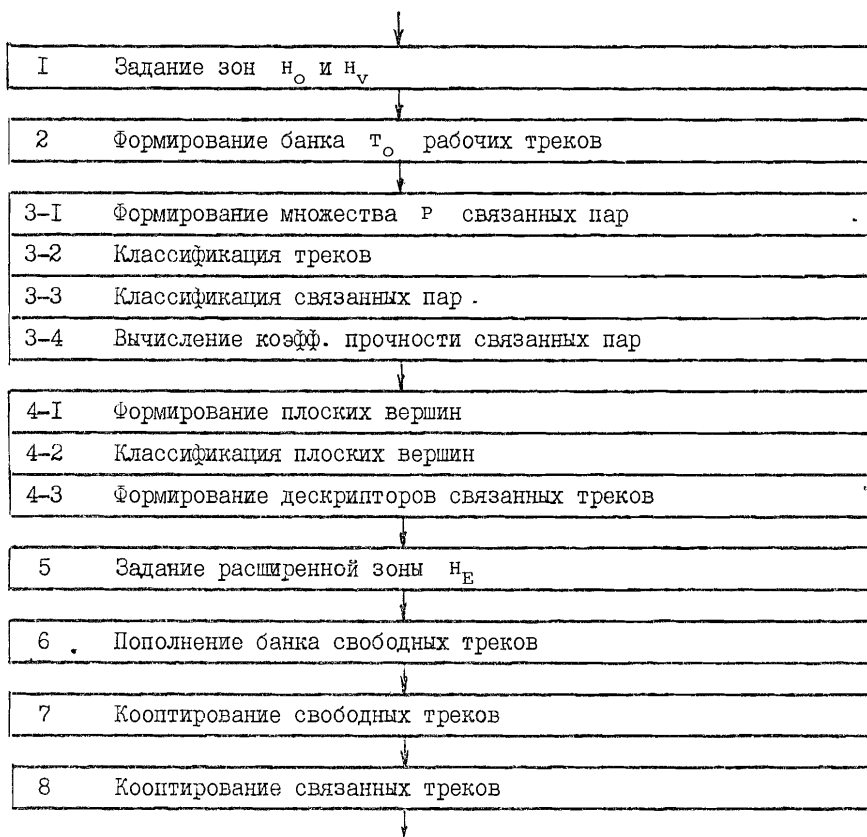


Рис. I. Пошаговая схема алгоритма ZONVER.

Шаг I. Задание зон H_0 и H_V . Зона H_0 задается для отбора рабочего подмножества T_0 треков из всего множества T отфильтрованных треков на анализируемом снимке. H_V - зона, внутри которой ищутся центры плоских вершин, порождаемых треками T_0 . Обе зоны - прямоугольники.

Шаг 2. Отбор из T рабочего подмножества треков T_0 , удовлетворяющих двум условиям:

- а) концевые точки трека (одна или обе) принадлежат H_0 ,
- б) длина трека не менее заданного порога L_{min} .

Шаг 3-1. Формирование множества P связанных пар, порождаемых T_0 , узлы которых принадлежат H_V . Поясним используемые здесь понятия. Связанная пара - это структура из 3 компонент. Будем говорить, что тройка $P_{i,j,k} = (t_i, t_j, \bar{R}_{i,j,k})$ есть связанная пара с узлом $\bar{R}_{i,j,k}$ и треками t_i, t_j , если совместно выполнены следующие условия:

- а) $\bar{R}_{i,j,k}$ - общая точка кривых τ_i, τ_j , аппроксимирующих треки t_i, t_j ;
- б) $\bar{R}_{i,j,k} \in H_V$;
- в) $\bar{R}_{i,j,k}$ расположена на τ_i, τ_j вне интервалов, соответствующих трекам t_i, t_j (граничные точки этих интервалов - точки кривых τ_i, τ_j , наиболее близкие к концевым точкам треков t_i, t_j);
- г) $G_{i,k} \leq g_{max} L_i, G_{j,k} \leq g_{max} L_j$, где L_i, L_j - длины треков t_i, t_j , $G_{i,k}, G_{j,k}$ - расстояния от узла $\bar{R}_{i,j,k}$ до ближайших концевых точек треков t_i, t_j , g_{max} - пороговая константа.

При использовании круговой модели треков число связанных пар, порождаемых произвольными двумя треками, не превышает 2 ($k \leq 2$).

Шаг 3-2. Разбиение T_0 на два подмножества:

- а) T_P - подмножество связанных треков, т.е. треков, входящих в структуру хотя бы одной связанной пары из P , и
- б) T_Z - подмножество свободных треков, т.е. не входящих в P .

Шаг 3-3. Разбиение P на два подмножества:

- а) P_S - подмножество прочно связанных пар и
- б) P_W - подмножество слабо связанных пар. В программе ZONVER критерием принадлежности связанной пары $P_{i,j,k}$ к P_S служит совместное выполнение условий:

$$G_{i,k} \leq G_{max}^{(s)}, G_{j,k} \leq G_{max}^{(s)},$$

$$|\varphi_{i,j,k}|_{\text{mod } \pi/2} \geq \varphi_{min}^{(s)}, \text{ где}$$

$\varphi_{i,j,k}$ - угол между касательными к τ_i, τ_j в т. $\vec{R}_{i,j,k}$.

$G_{\max}^{(s)}$ и $\varphi_{\min}^{(s)}$ - пороговые константы.

Шаг 3-4. Вычисление коэффициента прочности $w_{i,j,k}$ связанных пар. В программе ZONVER $w_{i,j,k} = \sin^2 \varphi_{i,j,k}$.

Шаг 4-I. Формирование множества V плоских вершин (над множеством связанных пар). Группа связанных пар порождает плоскую вершину, если узлы этих пар образуют сгущение. Координаты центра плоской вершины вычисляются как взвешенное среднее координат этих узлов. В качестве веса узла $P_{i,j,k}$ используется его коэффициент прочности $w_{i,j,k}$. Если сгущение содержит смесь прочно связанных и слабо связанных пар, то координаты центра плоской вершины вычисляются с использованием только прочно связанных пар. Первая плоская вершина иницируется прочно связанной парой, имеющей наибольший коэффициент прочности (вес). Центру плоской вершины присваиваются координаты узла этой пары и ее вес. Тестирование и присоединение остальных пар к плоской вершине идет в порядке понижения их веса вначале в классе прочно связанных пар, затем - в классе слабо связанных пар. Аналогично формируется следующая плоская вершина, которая иницируется свободной прочно связанной парой (если такие еще есть) либо свободной слабо связанной парой с наибольшим весом. Тестируемая пара присоединяется к плоской вершине, если ее узел попадает внутрь окрестности радиуса r_p вокруг динамически уточняемого центра плоской вершины. Если присоединяемая пара принадлежит тому же классу, что и иницирующая пара, производится уточнение координат центра плоской вершины (с учетом веса присоединяемой пары и текущего веса плоской вершины) и пересчет веса обновленной вершины. Факультативно процесс уточнения координат центра плоской вершины может блокироваться, если дрейф текущего центра относительно узла иницирующей пары превысит заданный порог.

Шаг 4-2. Классификация сформированных плоских вершин. Плоские вершины подразделяются на 4 категории. К первой категории относятся плоские вершины, в состав которых помимо слабо связанных пар вошло не менее 2 прочно связанных пар. Ко второй категории относятся плоские вершины, в состав которых помимо слабо связанных пар вошла только одна прочно связанная пара. Плоские вершины третьей категории не содержат прочно связанных пар, но число слабо связанных пар в их составе не менее 2.

Состав плоской вершины четвертой категории исчерпывается одной слабо связанной парой.

Шаг 4-3. Формирование банка векторов-дескрипторов $D_m, m=1,2,\dots$, которыми описываются треки, вошедшие в состав плоских вершин. Компоненты дескриптора D_m содержат следующую информацию:

- индекс j трека t_j в банке T отфильтрованных треков;
- индекс i плоской вершины V_i , с которой связан данный трек t_j ;
- категория i - й плоской вершины;
- указатель типа связанной пары, посредством которой данный трек t_j был включен в состав плоской вершины V_i ;
- длина L_j трека t_j ;
- расстояние G от центра плоской вершины V_i до ближайшей концевой точки трека t_j ;
- угол φ касательной к кривой τ_j , аппроксимирующей трек t_j , вычисляемый в окрестности центра плоской вершины V_i ;
- общее число плоских вершин, с которыми связан данный трек t_j .

Шаг 5. Задание расширенной зоны H_E .

Шаг 6. Пополнение банка свободных треков T_z треками, которые не входят в T_0 , но концевые точки которых (одна или обе) принадлежат расширенной зоне H_E .

Шаг 7. Проверка свободных треков (из T_z) на согласование с плоскими вершинами. Свободный трек t_z включается в состав плоской вершины V_i с центром \vec{R}_{V_i} , если совместно выполнены два условия:

- а) расстояние от \vec{R}_{V_i} до кривой τ_z , аппроксимирующей трек t_z , не превосходит заданного порога, и
- б) ближайшая к \vec{R}_{V_i} точка на кривой τ_z расположена вне интервала, соответствующего треку t_z (аналог условия в), Шаг 3-I).

Для свободного трека, включенного в структуру плоской вершины, формируется соответствующий вектор-дескриптор D с меткой кооптированного свободного трека.

Шаг 8. Проверка связанных треков (из T_p) на согласование с теми плоскими вершинами, в состав которых они не вошли на Шаге 4-I. Включение в состав плоских вершин выполняется по алгоритму включения свободных треков (Шаг 7). Для связанного трека, включенного в состав другой вершины, формируется соответствующий вектор-дескриптор D с меткой кооптированного связанного трека.

Процедура выделения вершиноподобных структур, как видим, базируется на использовании информации, содержащейся в бинарных отношениях треков. На реальных снимках число бинарных отношений треков может быть велико, однако не все они продуктивны в смысле образования связанных пар. И хотя число связанных пар, порождаемых отношением двух треков, в общем случае может быть больше 1, тем не менее можно ожидать, что при обработке реальных снимков общее число связанных пар будет меньше общего числа бинарных отношений, причем во многих случаях — существенно меньше.

Формирование множества P связанных пар означает дальнейшую абстракцию исходных данных об анализируемом снимке. От представления снимка как совокупности треков мы в соответствии с характером решаемой задачи переходим к представлению снимка как совокупности элементарных вершин. Последнее используется как база для формирования полного набора V вершиноподобных структур (плоских вершин).

В системе минимального управления MG , использующей процедуру $ZONVER$, последний шаг в выделении вершин событий очевиден. В системах же зонного управления ZNG и нулевого управления ZG (Zero Guidance) необходима еще операция восстановления пространственных координат комбинаций плоских вершин с разных проекций стереоснимка для выделения реальных вершин в объеме камеры.

Алгоритм выделения плоских вершин реализован на ЭВМ CDC-6500 в виде фортран-программы $ZONVER$ и встроен в комплекс MG /3/. Программа использует следующие средства взаимодействия с комплексом:

- общий массив с индексами треков T и параметр, указывающий общее число индексов;
- общий массив с указателями числа точек (трек-элементов $TЭ$) в треках;
- подпрограмма, вычисляющая параметры окружности, аппроксимирующей заданный трек;
- подпрограмма, вычисляющая отклонение заданной точки от заданной окружности;
- две функции, дающие индексы первого и последнего $TЭ$ заданного трека;
- две функции, дающие значения координат x и y заданного $TЭ$;
- функция, дающая индекс следующего $TЭ$ трека;
- общий массив с пороговыми константами алгоритма.

Система MG с встроенным в нее модулем $ZONVER$ была подвергнута практическим испытаниям на реальных снимках. Испытания проводились на серии из 30 кадров с I м ЖВПК ОИЯИ ($\alpha-p$) с варьированием нескольких параметров алгоритма. Зона n_v , в границах которой проводилось выделение центров плоских вершин, была выбрана большой — $4,5 \text{ см}^2$ на

пленке, что приближает проведенный эксперимент к условиям обработки снимка в режиме нулевого управления ZG . Измерения снимков на HPD были произведены с использованием программы $MSNR$ /1/, в которой операция префильтрации данных была предварительно заблокирована.

Статистика	Средн. по 30 кадр.			Макс. по 30 кад.			Мин. по 30 кадрам			
	A	B	B	A	B	B	A	B	B	
Экспериментальная серия										
Число треков в зоне n_v	21,1	21,1	21,1	39	39	39	10	10	10	
Число треков в зоне n_E	52,3	52,3	52,3	91	91	91	21	21	21	
Число связанных пар	6,97	19,7	19,7	23	69	69	2	3	3	
Число плоских вершин первых 3 категорий	2,14	3,94	3,75	7	17	17	0	0	0	
Число плоских вершин по категориям	1-я кат.	0,36	0,47	0,38	2	2	2	0	0	0
	2-я кат.	1,03	1,20	1,66	5	6	11	0	0	0
	3-я кат.	0,75	2,27	1,71	3	9	6	0	0	0
	4-я кат.	2,88	8,06	10,85	9	25	33	0*/1	1	1
Общее число плоских вершин (1+4 категории)	5,02	12,0	14,60	16	37	43	0*/1	2	2	

В таблице приведены результаты трех экспериментальных серий для следующих комбинаций параметров r_p (Шаг 4-1) и σ_{max} (Шаг 3-1):

Серия А: $r_p = 450 \text{ мкм}$, $\sigma_{max} = 0,33$
 Серия Б: $r_p = 450 \text{ мкм}$, $\sigma_{max} = 1,00$
 Серия В: $r_p = 225 \text{ мкм}$, $\sigma_{max} = 1,00$

Приведенные данные показывают, что число связанных пар, как и ожидалось, существенно меньше общего числа бинарных отношений треков из T_0 (от 2 до 8%).

Число плоских вершин первых трех категорий находится в пределах 20-30% от числа связанных пар.

Число плоских вершин первых трех категорий составляет 25-40% от общего числа сформированных плоских вершин.

На 28 снимках из 30 вершина искомого события вошла в список плоских вершин, выделенных модулем ZONVER. На оставшихся 2 снимках в зоне H_v плоские вершины не были выделены, так как не было сформировано ни одной связанной пары из-за больших дефектов в треках (расстояние от потенциальной вершины до ближайшей концевой точки трека превышает длину отфильтрованной части трека). Нули, помеченные звездочкой в таблице, определены этими двумя кадрами.

В заключение отметим, что программа типа ZONVER, реализующая алгоритм выделения полного набора вершиноподобных структур в заданной области снимка, может быть составной частью программного обеспечения не только автоматических систем с функцией робота-просмотрщика, но и интерактивных человеко-машинных систем. Наибольший эффект следует ожидать при обработке сложных снимков с очень большой множественностью треков, когда традиционный визуальный поиск вершин событий становится чрезвычайно трудным делом.

Авторы выражают благодарность С.А.Багиняну за помощь на этапе включения модуля ZONVER в программный комплекс МГ.

Литература

1. Багинян С.А. и др. ОИЯИ, Р10-86-528, Дубна, 1986.
2. Багинян С.А. и др. ОИЯИ, Р10-82-238, Дубна, 1982.
3. Багинян С.А. и др. ОИЯИ, Р10-86-472, Дубна, 1986.
4. Алмазов В.Я. и др. ОИЯИ, IO-4513, Дубна, 1969.
5. Рубцов В.Ф. и др. ОИЯИ, Р10-11037, Дубна, 1977.
6. Бондаренко С.Н. и др. ОИЯИ, Р10-11038, Дубна, 1977.
7. Bacilieri P. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1979, 160, p.353.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 ноября 1986 года.

Шестакова Г.В., Шигаев В.Н.
Алгоритм и программа распознавания компактно
расположенных вершин событий для системы
минимального управления НРД

Р10-86-723

Описан алгоритм программы ZONVER для распознавания вершин событий на снимках с трековых камер. Программа ZONVER формирует полный набор вершиноподобных структур в плоскости снимка, используя отфильтрованные треки в качестве исходных данных. Данный алгоритм применим в автоматических системах просмотра и измерения снимков с трековых камер.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Shestakova G.V., Shigaev V.N.
Algorithm and Program for Recognition
of Compactly Positioned Event Vertices
for HPD Minimum Guidance System

P10-86-723

The ZONVER program algorithm for recognition of event vertices on track chamber photographs is described. The ZONVER program constructs a full set of vertex-type structures in film plane using filtered tracks as source data. The algorithm is suitable for using in automatic scanning and measuring systems for track chamber photograph analysis.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986