

УДК 520.88+629.78

## АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗВЁЗДНЫХ УЗОРОВ В ЗАДАЧЕ УТОЧНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВНУТРЕННЕГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ

© 2012 А. В. Иванов<sup>1</sup>, Д. Ю. Пашенцев<sup>2</sup>, Р. В. Тишкин<sup>2</sup><sup>1</sup>ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара<sup>2</sup> Филиал ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»-ОКБ «Спектр», г. Рязань

Рассматриваются основные подходы к решению задачи распознавания звёздных узоров для дальнейшего использования в технологии расчёта вектора параметров внутреннего ориентирования оптической системы космического аппарата.

*Дистанционное зондирование Земли, обработка космических изображений, алгоритмы идентификации, звёздные узоры, полётная калибровка.*

Для проведения высокоточной автоматической геометрической коррекции видеоданных, получаемых при дистанционном зондировании Земли, необходимо наличие информации об элементах внутреннего и внешнего ориентирования. К элементам внешнего ориентирования космического аппарата (КА) относятся данные, полученные от гироскопических систем, звёздных датчиков, солнечных датчиков и систем позиционирования, таких как ГЛОНАСС и GPS. К элементам внутреннего ориентирования съёмочной системы (КА) относят: дисторсию объектива, координаты главной точки, расположение матриц в фокальной плоскости и фокусное расстояние.

Параметры, относящиеся к внутреннему ориентированию съёмочной аппаратуры [1], измеряются при наземной калибровке съёмочной аппаратуры, и их точность во многом определяет качество дальнейшей обработки полученных изображений земной поверхности. Однако конфигурация системы оптических датчиков меняется под различными воздействиями, возникающими при выводе КА на орбиту, а также из-за теплового влияния Солнца. Рассматриваемая проблема решается на основе технологии рассогласования координат, наблюдаемых на реальном (телевизионном) изображении и эталонном (машинном) кадре звёзд [2]. При этом

возникает задача идентификации звёзд, выявленных на реальном изображении, и координат звёзд специально подготовленного, сформированного из астрономического каталога, идеального изображения.

### Подходы к решению задачи распознавания

В настоящее время задача распознавания групп звёзд может быть сведена к трём основным алгоритмам:

– распознавание групп звёзд, основанное на вычислении угловых расстояний между звёздами в наблюдаемой группе и сравнение этих расстояний с эталонными;

– использование корреляционных свойств двух перекрывающихся точечных изображений, полученного реального и эталонного изображений [3];

– метод ручного отождествления звёзд на основе визуального восприятия реального и эталонного изображений.

Так как для задачи уточнения элементов внутреннего ориентирования предъявляются высокие требования по быстродействию и автоматизации процесса, то метод ручного отождествления звёздных узоров далее не рассматривается.

## Сравнение угловых расстояний

Принцип построения алгоритма распознавания групп звёзд основывается на вычислении угловых расстояний между звёздами в наблюдаемой группе и сравнении этих расстояний с таковыми же, но вычисленными для звёзд из каталога [4]. При этом для каждой пары наблюдаемых звёзд и соответствующего ей углового расстояния должен быть реализован процесс перебора и сравнения с расстояниями между звёздами каталога. На достоверность распознавания существенно влияют три основных параметра прибора: размер углового поля, предельная рабочая звезда (чувствительность), погрешность угловых измерений.

Решение задачи распознавания звёзд по звёздному полю включает: создание рабочего каталога в памяти компьютера и реализацию алгоритма распознавания. При создании рабочего каталога для алгоритма распознавания групп звёзд по угловым расстояниям выделяются следующие положения:

- в рабочий каталог, помимо всех величин, входящих в обычные звёздные каталоги, должны быть включены и косинусы угловых расстояний между звёздами, которые использовались для сравнения угловых межзвёздных расстояний в алгоритме распознавания. Использование косинусов вместо самих углов сокращает затраты машинного времени на проведение вычислений;

- косинусы в рабочем каталоге должны храниться не для всех возможных расстояний между звёздами по всему небу, а только для тех расстояний, которые соответствуют возможным углам поля зрения прибора ориентации, что значительно сокращает объём памяти для хранения рабочего каталога. Например, для каталога, содержащего 795 наиболее ярких звёзд, число пар звёзд при максимальном угле поля зрения прибора  $30^\circ$  уменьшится с 315 615 до 32 436 (почти в 10 раз).

Для каждой выбранной из астрономического каталога звезды в память компьютера следует заносить её каталожный номер  $N$ , прямое восхождение  $a$  и склонение  $d$ , отнесённые к среднему экватору и среднему равноденствию Земли эпохи 2000 г., а также собственное движение звезды по этим координатам  $da$  и  $dd$ .

Для реализации алгоритма распознавания звёзд используется следующий подход. Исходными данными для алгоритма служат измеренные координаты звёзд  $(x, y)$  в плоскости фотоприёмного устройства съёмочной аппаратуры и данные рабочего каталога. По измерениям абсцисс  $x$  и ординат  $y$  изображений звёзд [5] рассчитываются косинусы углов  $bu$  (будем называть их измеренными) между направлениями на каждую пару отобразившихся звёзд:

$$\cos bu_{ij} = l_i l_j + m_i m_j + n_i n_j, \quad (1)$$

$$l = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + f^2}}, \quad m = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + f^2}},$$

$$n = \frac{f}{\sqrt{x^2 + y^2 + f^2}},$$

где  $f$  – фокусное расстояние звёздной камеры;  $i, j$  – порядковые номера изображений звёзд.

В системе координат звёздного каталога косинусы угловых расстояний между звёздами вычисляются по формуле

$$\cos \beta_{k_{ij}} = \sin \delta_i \cdot \sin \delta_j + \cos \delta_i \cdot \cos \delta_j \cdot \cos(\alpha_i - \alpha_j), \quad (2)$$

где  $a_i, a_j$  – прямое восхождение  $i$ -й и  $j$ -й звёзд;  $d_i, d_j$  – склонение  $i$ -й и  $j$ -й звёзд;  $b_{ij}$  – угол между направлениями на  $i$ -ю и  $j$ -ю звезду.

Поскольку измеренные координаты энергетических центров изображений звёзд вычисляются с ошибками и фокусное расстояние прибора также известно с ограниченной точностью, то вычисленные угловые расстояния в системе координат телескопа и в системе координат звёздного каталога не будут совпадать идеально.

При работе алгоритма распознавания происходит сравнение измеренных косинусов углов  $bu$  для всех пар отобразившихся звёзд с косинусами каталожных пар звёзд  $bk$ , выбор каталожных пар для которых удовлетворяет условию:

$$|\cos bu - \cos bk| < e, \quad (3)$$

где  $e$  – допустимое расхождение между каталожными и измеренными косинусами, обусловленное ошибкой определения углов  $bu$  и  $bk$ .

В частности, ошибки угла  $bu$  зависят от точности определения координат  $(x, y)$  и фокусного расстояния  $f$ . Ошибки в угле  $bk$  – это следствие, главным образом, неодинаковых собственных движений звёзд данной пары. Слишком малая величина  $e$  приводит к тому, что сравнения косинусов вообще может не произойти. При слишком большой  $e$  сравниваемое количество косинусов может привести к избыточности оперативной памяти компьютера.

На сегодняшний день использование распознавания групп звёзд по угловым расстояниям применяется в звёздных датчиках для астроориентации КА.

Для задачи определения элементов внутреннего ориентирования съёмочной аппаратуры на основании сканерного изображения необходимо наличие информации о всех зарегистрированных телескопом звёзд. Создание рабочего каталога для алгоритма распознавания групп звёзд по угловым расстояниям является нецелесообразным. Современные астрокаталоги [6] содержат более 2 миллионов положений звёзд. Вычисление и хранение косинусов расстояний между звёздами по всему небу, а также дополнительных характеристик значительно увеличивают объём памяти и требования по вычислительной мощности ЭВМ для работы и хранения рабочего каталога. Также необходимо учитывать, что при обработке изображения возможно возникновение  $N$  – ложных отметок, которые приведут к ложному отождествлению.

В отличие от метода «угловых расстояний» корреляционно-экстремальный алгоритм является существенно менее требовательным к производительности ЭВМ и более помехозащищенным к наличию ложных отметок.

### Корреляционно-экстремальный алгоритм

Сущность корреляционно-экстремального алгоритма идентификации изображений заключается в том, что взаимной корреляционной функции двух соседних идентифицируемых изображений (реального и идеального) в окрестности её искомого максимума придаётся куполообразная форма путем определённого функционального преобразования одного из изображений [7].

Из машинного каталога звёзд, зафиксированных в некоторой системе координат  $uu$  по измеренному в момент времени  $t$  [8] положению спутника  $h(t) = (X_0(t), Y_0(t), Z_0(t))$  и его ориентации  $q(t) = (a(t), w(t), c(t))$ , извлекается опорный фрагмент звёздного неба в виде множества  $O_3 = \{(u_i, n_i), b_i; i = 1, 2, 3, \dots\}$ , где  $(u_i, n_i)$  – координаты  $i$  – й звёзды,  $b_i$  – её яркость. С помощью оператора  $R_p$  на основе множества  $O_3$  формируется растровое изображение  $K_M(u, u)$ , которое назовём машинным кадром (МК):

$$K_M(u, u) = \begin{cases} b_i, & (u, u) \in O_3, \\ 0, & (u, u) \notin O_3. \end{cases} \quad (4)$$

Отдельный прямоугольный фрагмент полученного изображения или изображение в целом назовём телевизионным кадром (ТК) и обозначим  $K_T(u, u)$ .

### Корреляционные свойства точечных изображений

Рассматривая МК, полученный из звёздного каталога, и ТК, снятый аппаратурой как совокупность точек на плоскости, заметим, что при этом часть отметок на первом и втором кадрах отображает одни и те же объекты. Такую пару точек

назовём одноимённой. Отметки, которые присутствуют на одном из кадров (МК или ТК), но отсутствуют на другом, являются помехами. Совокупность точек МК и ТК опишем соответственно функциями вида

$$\begin{aligned} F_{\text{э}} &= \sum_{i=1}^{I_s+I_b} d(x-x_i, y-y_i), \\ F_{\text{п}} &= \sum_{i=1}^{I_s+I_p} d(u-u_j, v-v_j), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $I_s$  – число одноимённых пар отметок;  $I_{\text{э}}, I_{\text{п}}$  – число точек помех в МК и ТК соответственно;

$$\begin{cases} d(a,b) = 1, & \text{если } a = b = 0, \\ d(a,b) = 0, & \text{если } a \neq 0 \text{ или } b \neq 0. \end{cases}$$

При наличии плоскопараллельного сдвига между кадрами их взаимно-корреляционная функция вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned} K(a,b) &= \sum_{i=1}^{n_s} \sum_{j=1}^{n_p} d(a-(x_i-u_j), b- \\ &-(y_i-v_j)) = \sum_{i=1}^{n_s} \sum_{j=1}^{n_p} d(a-a_{ij}, b-b_{ij}) \end{aligned} \quad (6)$$

где  $n_s$  и  $n_p$  – общее число объектов соответственно в МК и ТК.

Структура  $K(a,b)$  может быть получена путём наложения друг на друга  $n_s$  изображений ТК, повернутых на  $180^\circ$  и сдвинутых относительно начала координат  $ХОУ$  на величины  $a_i = x_i$ ,  $b_i = y_i$ ,  $i = \overline{1, n_s}$ . Тогда значение  $K(a_0, b_0)$  в некоторой точке плоскости корреляции  $(a_0, b_0)$  определяется числом отметок, куда попадут все отметки с координатами, равными разностям координат одноимённых объектов МК и ТК. Значение  $K(a_0, b_0) = I_s + I_u$ , где  $I_s$  – некоторое число шумовых отметок, назовём главным максимумом взаимно-корреляционной функции.

Главный максимум взаимно-корреляционной функции двух точечных изображений (в данном случае МК и ТК) в плоскости корреляции является с высокой степенью достоверности единствен-

ным и расположен в точке с координатами, равными параметрам связи между координатными системами МК и ТК.

Сказанное выше справедливо при отсутствии искажений картины одноимённых отметок в совмещаемых кадрах. При наличии искажений зафиксировать  $K(a_0, b_0)$  в одной точке невозможно ввиду того, что одноимённые объекты кадров образуют группу отдельных выбросов, расположенных в окрестности точки  $(a_0, b_0)$ . Это приводит к размыванию главного максимума взаимно-корреляционной функции в случае плоскопараллельного сдвига и к дальнейшей расфокусировке сигнального пятна при наличии поворота между ТК и МК.

### Выбор метода поиска главного максимума взаимно-корреляционной функции

Выражение (6) будем рассматривать как описание точечной картины на плоскости корреляции. Однократно вычислим все разности  $(x_i - u_j)$  и  $(y_i - v_j)$ ,  $(i = \overline{1, n_s}, j = \overline{1, n_p})$  и точки с координатами  $Z'_{ij} = x_i - u_j$ ,  $Z''_{ij} = y_i - v_j$  нанесём на плоскость корреляции. Очевидно, что наибольшее число попаданий будет зафиксировано в области около точки  $(a_0, b_0)$ . Для уменьшения требуемой памяти будем фиксировать лишь разности, удовлетворяющие условиям:  $|(x_i - u_j)| \leq H \max$ ,  $|(y_i - v_j)| \leq H \max$ , где  $H \max$  – максимальный сдвиг между МК и ТК.

В этом случае удобно фиксировать и сравнивать количества попаданий на отдельные участки плоскости корреляции. Выберем для этих целей квадраты размером  $H \times H$ . Тогда в данном варианте потребуется  $(n_s \times n_p)$  вычислений разности координат и  $(4H^2 \max)/H^2$  сравнений. Сокращение объёма необходимой памяти и числа сравнений даёт методу «редкой

сетки» определённые преимущества в смысле быстродействия.

Итак, метод «редкой сетки» состоит в том, что вычисляются все разности  $Z'_{ij} = x_i - u_j$ ,  $Z''_{ij} = y_i - u_j$ , ( $i = \overline{1, n_x}$ ,  $j = \overline{1, n_p}$ ); фиксируется количество попаданий  $\{(Z'_{ij} + H \max), (Z''_{ij} + H \max)\}$  в соответствующие квадраты  $\left\{ \text{ent}\left(\frac{(Z'_{ij} + H \max)}{H}\right), \text{ent}\left(\frac{(Z''_{ij} + H \max)}{H}\right) \right\}$  на плоскости корреляции, смещённой на  $H \max$  по осям координат; сравнение  $\text{ent}\left(\frac{2H \max}{H}\right)^2$  значений числа отметок, определение координат  $(a_0, b_0)$  наиболее «тяжёлого» из них:

$$a_0 \cong \text{ent}\left(\frac{Z'_{ij} + H \max}{H}\right)_{\max} \times H - H \max - \frac{1}{2} H,$$

$$b_0 \cong \text{ent}\left(\frac{Z''_{ij} + H \max}{H}\right)_{\max} \times H - H \max - \frac{1}{2} H. \tag{7}$$

Заметим, что переход к представлению взаимно-корреляционной функции МК и ТК как точечной картины на плоскости корреляции с укрупнённым шагом квантования приводит к значительному сокращению вычислений.

Однако "слепой" характер нанесения "редкой сетки" на плоскость корреляции может привести к высыпанию сигнальных отметок в соседние ячейки разбиения и, как следствие, к уменьшению вероятности правильного обнаружения объекта, к снижению помехозащищённости алгоритма. Для устранения этого недостатка в алгоритме реализуется процедура "нанесения" на плоскость корреляции "многослойной сетки", отдельные слои которой смещены относительно друг друга в одном из трёх направлений:

$$K(A_1, B_1) = \sum_{i=1}^{n_x} \sum_{j=1}^{n_p} \sum_{k=0}^{n-1} d \left( A_1 - \left[ \frac{a_{ij} - kt}{H} \right], B_1 - \left[ \frac{b_{ij}}{H} \right] \right),$$

$$K(A_2, B_2) = \sum_{i=1}^{n_x} \sum_{j=1}^{n_p} \sum_{k=0}^{n-1} d \left( A_2 - \left[ \frac{a_{ij}}{H} \right], B_2 - \left[ \frac{b_{ij} - kt}{H} \right] \right), \tag{8}$$

$$K(A_3, B_3) = \sum_{i=1}^{n_x} \sum_{j=1}^{n_p} \sum_{k=0}^{v-1} \delta \left( A_3 - \left[ \frac{a_{ij} - k\tau}{H} \right], B_3 - \left[ \frac{b_{ij} - k\tau}{H} \right] \right)$$

Здесь  $n$  – число ячеек, перекрывающих исходную в одном из направлений;  $t$  – наименьшие смещения между соседними ячейками  $t = \frac{H}{n}$  (при  $k=0$  имеет место исходный вариант разбиения);  $[X]$  – целая часть  $X$ ;  $a_{ij}, b_{ij}$  – соответственно разности плоскостных координат  $i$ -й отметки МК и  $j$ -й отметки ТК по осям ОХ и ОУ:

$$|a_{ij}| \leq H_{\max} \text{ и } |b_{ij}| \leq H_{\max},$$

где  $H_{\max}$  – максимальный сдвиг между МК и ТК.

Выбор направления смещения (рис. 1) произведён с учётом того, что в интегральном случае распределение отметок на плоскости корреляции можно считать равновероятным и круговым, а также с учётом простоты организации вычислительного процесса.

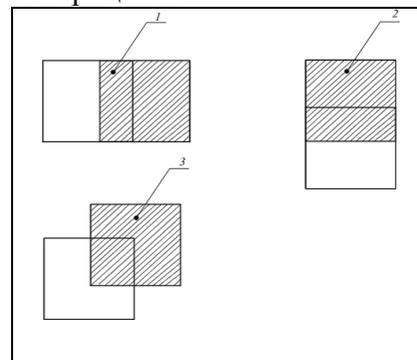


Рис. 1. Выбор направления смещения

Практическая реализация данного алгоритма требует зафиксировать попадание отметки  $(x_i, y_i)$  в  $3(n-1)+1$  ячеек разбиения плоскости корреляции, характеризуемых номерами:

$x_0^{(1)}, y_0^{(1)}; x_0^{(2)}, y_0^{(2)}; x_0^{(3)}, y_0^{(3)}$  соответственно в первом, втором и третьем направлениях сдвига слоёв. Выбор параметра  $H$  осуществляется исходя из максимальных размеров размывания главного максимума взаимно-корреляционной функции.

Несмотря на нанесение многослойной сетки на плоскость кадра, из-за ограничений на выбор числа слоёв (минимального смещения между ячейками) и направлений их смещения, возможна потеря части изображения в выделенной ячейке. Об этом могут свидетельствовать координаты "характерной точки" изображения в ячейке, т.е. координаты "центра тяжести" отметок:

$$\tilde{x} = \sum_{i=1}^m x_i, \quad \tilde{y} = \sum_{i=1}^m y_i. \quad (9)$$

Если  $\tilde{x}, \tilde{y}$  не совпадает с центром выделенной ячейки  $\tilde{x}_0, \tilde{y}_0$ , то реализуется процесс уточнения положения ячейки следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{x}_0^{(t+1)} &= \frac{1}{\Theta} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \tilde{x}_0^{(t)}) \times g \left\{ \frac{H_{x0}}{2} - |x_i - \tilde{x}_0^{(t)}| \right\} \times \\ &\times g \left\{ \frac{H_{y0}}{2} - |y_i - \tilde{y}_0^{(t)}| \right\} + \tilde{x}_0^{(t)}, \\ \tilde{y}_0^{(t+1)} &= \frac{1}{\Theta} \sum_{i=1}^{n_1} (y_i - \tilde{y}_0^{(t)}) \times g \left\{ \frac{H_{x0}}{2} - |x_i - \tilde{x}_0^{(t)}| \right\} \times \\ &\times g \left\{ \frac{H_{y0}}{2} - |y_i - \tilde{y}_0^{(t)}| \right\} + \tilde{y}_0^{(t)}, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $t$  – номер шага приближения ( $\tilde{x}_0^{(0)} = \tilde{x}_0, \tilde{y}_0^{(0)} = \tilde{y}_0$ );

$$\Theta = \sum_{i=1}^{n_1} g \left\{ \frac{H_{x0}}{2} - |x_i - \tilde{x}_0^{(t)}| \right\} \times g \left\{ \frac{H_{y0}}{2} - |y_i - \tilde{y}_0^{(t)}| \right\};$$

$$H_{x0} = H_{y0} = H.$$

Процесс уточнения положения ячейки  $H_{x0} \times H_{y0}$  продолжается до тех пор, пока совокупность отметок в ней изменяется (центр ячейки на  $t$ -м шаге не совпадает с центром на  $(t+1)$ -м шаге). При высокой плотности, например шумовых отметок, остановка процесса возможна по условию:

$$\begin{cases} |\tilde{x}_0^{(t+1)} - \tilde{x}_0^{(t)}| < \epsilon, \\ |\tilde{y}_0^{(t+1)} - \tilde{y}_0^{(t)}| < \epsilon, \end{cases} \quad (11)$$

где  $\epsilon$  – требуемая точность положения ячейки.

### Идентификация одноимённых пар отметок

Выше рассмотрены математические и алгоритмические вопросы решения основной задачи – совмещение двух кадров МК и ТК. Вторая задача на этом этапе – собственно идентификация одноимённых пар отметок на совмещённых кадрах МК и ТК.

Задача объединения отметок в пары на совмещённом изображении (например, ТК приведён к системе координат МК) может быть решена простым присоединением к каждой отметке МК ближайшей отметки ТК, лежащей в достаточно малой окрестности отметки МК. Особое внимание здесь следует уделить выбору размеров строга (апертуры), в котором осуществляется объединение пар. Очевидно, что занижение размеров приводит к пропуску одноимённых отметок, а завышение – к ложной идентификации. При выборе габаритов строга следует принимать во внимание следующие основные факторы:

– значение максимальных ошибок (отклонений) в координатах одноимённых отметок МК и ТК, приведённых к единой системе координат;

– ошибки в обработке параметров смещений между кадрами, обусловленные наличием шумовых отметок на плоскости корреляции, попавших в выделенный квадрат, неоптимального расположения квадрата разбиения относительно окрест-

ности главного экстремума взаимно-корреляционной функции, приводящего лишь к частичному учёту составляющих главного максимума отметок;

– наличие ошибок в координатах одноимённых отметок за счёт угла разворота, масштабных искажений и т.п.

Задача корреляционно-экстремального алгоритма совмещения точечных изображений звёздных узоров сводится к задаче определения координат главного максимума. После вычисления максимума взаимно – корреляционной функции и максимально возможных (по модулю) сдвигов между ТК и МК осуществляется наложение кадров друг на друга с учётом смещений. Критерий отождествления пары звёзд:  $|R_k| = \min |R_{ki}|$ , где  $R_k$  – расстояние для  $k$ -й звезды эталонного кадра,  $R_{ki}$  – массив расстояний между эталонной  $k$ -й звездой и реальной  $i$ -й звездой, попадающих в заданную область.

Подобной процедурой идентификации можно пользоваться лишь при малых поворотах и при масштабных искажениях ТК относительно МК. Для оценки значений угла в более широком диапазоне его измерений следует осуществлять поворот ТК на некоторый малый угол и определять параметры смещения плоскости корреляции. Значения угла поворота и параметров трансляции, при которых зафиксирован абсолютный максимум ВКФ, принимаются в качестве искомым.

Для сокращения времени идентификации отметок на основе корреляционно-экстремального алгоритма при больших поворотах угла между ТК и МК предлагается на предварительном этапе использовать метод угловых расстояний (рис. 2).

### Выводы

Предложенный алгоритм позволяет предварительно найти угол разворота между ТК и МК, тем самым сокращая время отождествления корреляционно-экстремальным алгоритмом. При использовании комбинированного подхода алгоритм

идентификации звёздных узоров становится инвариантным к масштабным искажениям и малым поворотам ТК относительно МК.

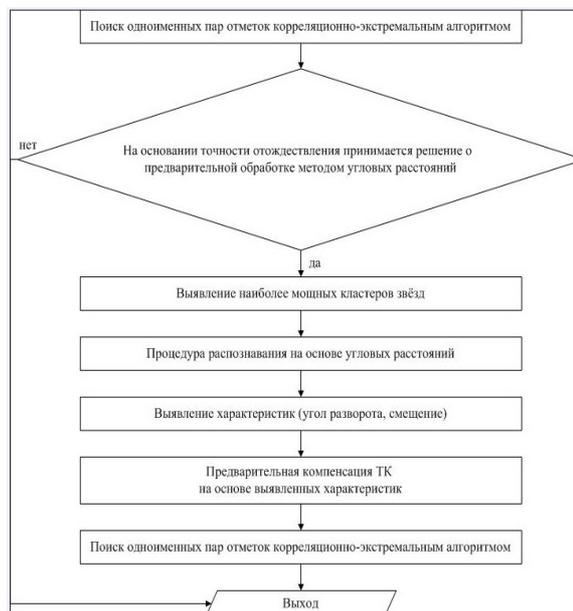


Рис. 2. Корреляционно-экстремальный алгоритм с предварительной обработкой методом поиска угловых расстояний

### Библиографический список

1. Бакланов, А. И. Системы наблюдения и мониторинга [Текст]: учеб. пособие / А. И. Бакланов. - М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2009. – 234 с.
2. Всерос. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы ракетно-космической техники и её роль в устойчивом социально-экономическом развитии общества», посвящ. 50-летию образования ЦСКБ и 90-летию со дня рождения Д. И. Козлова (28 сентября-3 октября 2009, г. Самара) [Текст] / под общ. ред. А. Н. Кирилина. – Самара: СамНЦ РАН, 2009. - 267 с.
3. Моделирование точечных изображений звёздного неба, получаемых от датчика сканерной съемки [Текст]: тр. XXX Российской школы, посвященной 65-летию Победы / А. А. Акимов, Д. Ю. Пашенцев, А. Н. Пылькин [и др.]. — М.: РАН, 2010. - 386 с.
4. Малинин, В. В. Моделирование и оптимизация оптико-электронных приборов с фотоприемными матрицами [Текст]

/ В. В. Малинин; отв. ред. М. Я. Воронин. - Новосибирск: Наука, 2005. - 255 с.

5. Урмаев, М. С. Космическая фотограмметрия [Текст]: учеб. для вузов / М. С. Урмаев. - М.: Недра, 1989. - 279 с.

6. Пашенцев, Д. Ю. Обзор систем поиска информации в звёздных каталогах [Текст] / Д. Ю. Пашенцев, А. Н. Пылькин, Р. В. Тишкин; под ред. А. Н. Пылькина // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвуз.

сб. науч. тр. - Рязань: РГРТУ, 2011. - 224 с.

7. Анисимов, Б. В. Распознавание и цифровая обработка изображений [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов / Б. В. Анисимов, В. Д. Курганов, В. К. Злобин. - М.: Высш. шк., 1983. - 295 с.

8. Злобин, В. К. Обработка аэрокосмических изображений [Текст] / В. К. Злобин, В. В. Еремеев. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 288 с.

## ALGORITHMS FOR THE IDENTIFICATION OF STAR PATTERNS IN THE TASK OF CORRECTING THE INNER ORIENTATION ELEMENTS

© 2012 A. V. Ivanov<sup>1</sup>, D. Y. Pashentsev<sup>2</sup>, R. V. Tishkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State Research and Production Space Rocket Center "TsSKB - Progress", Samara

<sup>2</sup> «TsSKB-Progress» branch, «Spectr» design bureau, Ryazan

The paper presents basic approaches to the solving of the task of identifying star patterns for their further application in the technology of calculating the vector of spacecraft optical system inner orientation parameters.

*Earth remote sensing, space image processing, identification algorithms, star patterns.*

### Информация об авторах

**Иванов Алексей Владимирович**, ведущий инженер-конструктор, ФГУП «ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс». Область научных интересов: обработка аэрокосмических изображений, программные комплексы дистанционного зондирования Земли.

**Пашенцев Дмитрий Юрьевич**, инженер-программист второй категории филиала ФГУП «ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - ОКБ «Спектр». Область научных интересов: обработка аэрокосмических изображений, программные комплексы дистанционного зондирования Земли.

**Тишкин Роман Валентинович**, кандидат технических наук, начальник отдела филиала ФГУП «ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - ОКБ «Спектр». Область научных интересов: обработка аэрокосмических изображений, программные комплексы дистанционного зондирования Земли.

**Ivanov Alexey Vladimirovich**, principal design engineer, Space Rocket Center «TsSKB-Progress». Area of research: space image processing, software complexes for the remote sensing of the Earth.

**Pashentsev Dmitry Yuryevich**, engineer-programmer of the second category, «TsSKB-Progress» branch, «Spectr» design bureau. Area of research: space image processing, software complexes for the remote sensing of the Earth.

**Tishkin Roman Valentinovich**, head of department, Space Rocket Center «TsSKB-Progress» branch, «Spectr» design bureau. Area of research: space image processing, software complexes for the remote sensing of the Earth.