

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОКОЛОВ СШИВКИ ПОЛОС ИЗОБРАЖЕНИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ МНОГОМАТРИЧНЫМИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

© 2017

**П. К. Кузнецов** доктор технических наук, профессор, директор научно-исследовательского института «Проблем надёжности механических систем»; Самарский государственный технический университет; [kurnesov@mail.ru](mailto:kurnesov@mail.ru)

**Б. В. Мартемьянов** кандидат технических наук, доцент; Самарский государственный технический университет; [bvmart@rambler.ru](mailto:bvmart@rambler.ru)

**Г. Н. Мятлов** кандидат технических наук, заместитель генерального конструктора; АО «Ракетно-космический центр «Прогресс»; [miatov@mail.ru](mailto:miatov@mail.ru)

**А. А. Юдаков** кандидат технических наук, начальник отдела; АО «Ракетно-космический центр «Прогресс»; [antonyudakov@rambler.ru](mailto:antonyudakov@rambler.ru)

Рассматриваются вопросы, связанные с обработкой видеоданных, получаемых составными (многоматричными) оптико-электронными преобразователями целевой аппаратуры космических аппаратов наблюдения. Показано, что видеоданные, получающиеся в областях пересечения полей зрения смежных фоточувствительных матриц, могут быть полезно использованы для решения ряда задач: оценки качества работы системы управления движением космического аппарата на маршруте съёмки, оценки параметров смаза получаемых изображений, оценки отклонений от проектных параметров геометрического расположения фоточувствительных матриц и некоторых других.

*Космический аппарат наблюдения; дистанционное зондирование; сшивка полос изображений; метод функционализации; скорость бега изображения; параметры смаза изображения; фокальная плоскость.*

**Цитирование:** Кузнецов П.К., Мартемьянов Б.В., Мятлов Г.Н., Юдаков А.А. Применение протоколов сшивки полос изображений, формируемых многоматричными оптико-электронными преобразователями // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16, № 3. С. 185-196. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-3-185-196

### Введение

Современные космические аппараты наблюдения (КАН), предназначенные для дистанционного зондирования Земли, формируют широкоформатные изображения средствами оптико-электронных преобразователей (ОЭП), построенных с применением нескольких матричных фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС). При этом изображения формируются в режиме «заметания», а матрицы ФПЗС работают в режиме временной задержки и накопления зарядов (в режиме ВЗН).

Для обеспечения достаточной ширины полосы захвата в структуре ОЭП предусматривают десятки отдельных матриц ФПЗС. Такие ОЭП называют многоматричными (МОЭП). Для исключения наличия «мёртвых» зон (участков наблюдаемой поверхности в пределах полосы захвата, не попадающих в поля зрения матриц ФПЗС) все матрицы в составе ОЭП (рис. 1) выстраиваются в две линии в конфигурации, которую естественно отождествлять с «коленвалом».

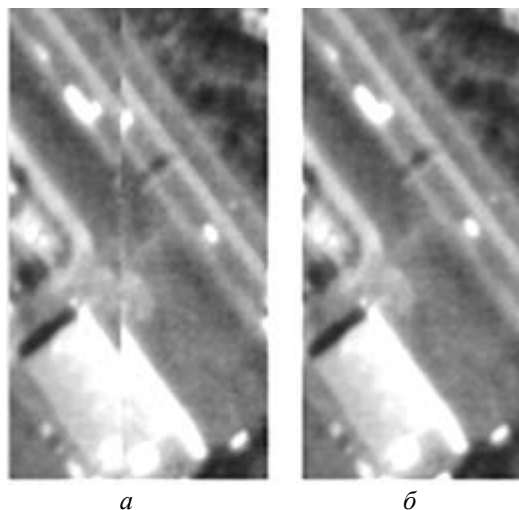


Рис. 1. Расположение матриц в МОЭП

В конфигурации типа «коленвал» каждая пара смежных матриц в области их смежных сторон «перекрывается» на некоторое количество ячеек ФПЗС, порождая взаимное перекрытие «полей зрения» этих матриц. В процессе съёмки изображения маршрута каждая ФПЗС матрица порождает набор видеоданных, содержимое которого при визуализации порождает полосу изображения (далее – полосу). Некоторое количество таких наборов видеоданных, порождённых отдельными матрицами, упаковывается в графический файл. При визуализации содержимого такого файла полоса от матрицы с номером  $i$  находится справа от полосы от матрицы с номером  $i-1$ . За счёт взаимного перекрытия полей зрения смежных матриц полосы, порождённые этими матрицами, содержат вдоль своих смежных сторон изображения одних и тех же наблюдаемых объектов (рис. 2, *а*).

Пару точек двух полос, отображающих одну и ту же точку наблюдаемого объекта, будем называть сопряжёнными точками (СТ). Пару фрагментов полос, отображающих один и тот же фрагмент наблюдаемой сцены, будем называть сопряжёнными фрагментами (СФ). Области смежных сторон двух полос, содержащие все сопряжённые точки (и только такие точки), будем называть швом.

Одна из задач первичной обработки содержимого рассматриваемых графических файлов состоит в сборке полос, получаемых от отдельных ФПЗС матриц, в единый кадр, в котором устранены повторения изображений одних и тех же фрагментов сцены: СФ должны быть совмещены. Таковую задачу называют задачей сшивки полос.



*Рис. 2. Фрагменты смежных полос изображений*

На рис. 2, *б* приведён пример «сшитых» фрагментов полос. Процесс совмещения смежных полос состоит в сдвиге содержимого одной из них в направлении второй полосы. На практике не существует единого вектора, задающего сдвиг каждой строки полосы: он изменяется от строки к строке по обеим своим координатам, что порождает дополнительные осложнения задачи сшивки полос.

Собственно задача сшивки решается в два шага.

1. В области швов (на смежных границах пар полос) находятся СФ. Каждой паре таких фрагментов сопоставляется вектор  $\mathbf{s}(y_r) = (s_x, s_y)$ , задающий искомый сдвиг фрагмента одной полосы в сторону второй полосы. Такой вектор будем называть вектором сшивки (ВС). Компонент  $s_x$  ВС  $\mathbf{s}(y_r)$  равен текущей ширине шва в строке  $y_r$ . Для определённости будем считать, что начало ВС  $\mathbf{s}(y_r)$  «привязано» к крайнему левому пикселу правой ( $r$ ) полосы данной пары полос, расположенному в строке изоб-

ражения с номером  $y_r$ . При этом координата  $x$  начала всех ВС для данного шва становится постоянной. В реальных случаях ВС изменяется вдоль шва. Поэтому не существует единого для всего шва вектора. Учитывая значимую трудоёмкость алгоритмов вычисления отдельного вектора  $\mathbf{s}(y_r)$ , а также медленную изменчивость ВС при переходе к соседней строке, нецелесообразно реализовывать эти алгоритмы для всех строк  $y_r$  подряд. Достаточно вдоль данного шва вычислить некоторое множество  $\{\mathbf{s}(y_r)\}$  ВС. Это множество, упакованное в некоторую структуру, будем называть протоколом сшивки (ПС) данной пары полос.

2. Собственно сшивка смежных полос по их ПС. В результате формируется новый набор видеоданных, который при визуализации порождает изображение, не содержащее СФ.

Далее сосредоточим внимание на использовании вычисленных ПС для решения различных прикладных задач. При этом задача собственно сшивки рассматриваться не будет.

### Предварительные замечания

Для решения всех рассматриваемых далее задач необходимо иметь ПС, в которых векторы сшивки вычислены с достаточно высокой точностью: ошибка вычисления векторов во всех случаях не должна превышать 0,2 пиксела, а в некоторых приложениях должна быть менее 0,1 пиксела. В работе [1] на примере сшивки искусственно разрезанного реального изображения, полученного космическим аппаратом (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) «Ресурс-ДК1», показано, что отклонения вычисленных векторов сшивки от истинных в более чем 80% случаев не превышают 0,01 пиксела, а в более чем 55% случаев не превышают 0,005 пиксела. Конечно, на реальных швах погрешности были более значительные, но оценить их истинные значения не представлялось возможным.

Необходимо отметить, что за последние годы алгоритмы вычисления ПС применительно к изображениям, получаемым современными КА ДЗЗ, были значительно усовершенствованы за счёт учёта более благоприятной компоновки ПЗС матриц в составе ОЭП. Так в МОЭП типа «Сангур», установленном на КА «Ресурс-ДК1», проектная ширина зоны перекрытия смежных матриц составляет 10 пикселей (ячеек матрицы ФПЗС). При этом ширина шва на разных маршрутах съёмки варьирует вдоль шва в пределах от 4 до 16 пикселей. Малая ширина шва означает, в первую очередь, недостаточность объёма информации для точной сшивки сопряжённых фрагментов. В современном КА, например «Ресурс-П», в панхромном МОЭП проектная ширина межматричного перекрытия составляет 36 пикселей. Столь значительное увеличение межматричного перекрытия создаёт значительно более благоприятные условия для точного вычисления ПС.

Требуемая точность вычисления ПС достигается за счёт применения оригинального метода поиска СФ на смежных парах изображений, названного методом функционализации (МФ) [2 – 4].

Получаемые на основе метода функционализации алгоритмы и программы обладают следующими свойствами:

- за счёт отсутствия поисковых процедур отличаются высокой производительностью в сравнении с методиками, основанными на анализе значений взаимно корреляционных функций (ВКФ) совмещаемых фрагментов изображений;
- слабо чувствительны к виду ВКФ совмещаемых изображений; как следствие, используемые в методике процедуры совмещения фрагментов изображений сходятся

быстро и не «застревают» на локальных экстремумах ВКФ, расположенных в окрестности её глобального экстремума;

– не требуют информации о параметрах внешней ориентации носителя изобразительной системы, то есть ориентированы на обработку только собственно изображений.

Важным достоинством метода функционализации является возможность получения на его основе вполне надёжных критериев непохожести совмещаемых фрагментов изображений, позволяющих заканчивать итерации процесса поиска СФ при достижении достаточно высокой точности искомого вектора совмещения фрагментов (в данном случае – вектора сшивки).

### **Вычисление параметров смаза изображения**

Лучистая энергия, достигающая ПЗС матрицы ОЭП КАН, в десятки и сотни раз меньше по сравнению с энергией, попадающей в фотокамеры в условиях бытовой съёмки. По этой причине в космической аппаратуре необходимо принимать меры к обеспечению достаточного времени экспозиции – времени накопления зарядов в ячейках ФПЗС. Проблема экспозиции решается за счёт применения в ОЭП ПЗС матриц, работающих в режиме ВЗН. Но это решение порождает сопутствующие проблемы.

Пусть  $\mathbf{V}$  – вектор скорости движения изображения по фокальной плоскости;  $\mathbf{V}_z$  – вектор средней скорости переноса зарядов вдоль столбцов ячеек ПЗС матрицы за время накопления заряда. В работе [5] показано: когда  $\mathbf{V} - \mathbf{V}_z \neq 0$ , то есть когда движение изображения не полностью компенсировано движением зарядовых пакетов, накапливаемые видеоданные содержат искажения, называемые «смазом» изображения. Величина искажений определяется временем  $\tau$  накопления заряда в ПЗС ячейке, количеством  $q$  использованных строк накопления заряда и значениями компонентов  $v$  и  $u$  вектора  $\mathbf{V}$ . Здесь под «смазом» понимается та составляющая «размытия» изображения, которая связана с неточностями работы системы управления движением (СУД) КА на маршруте съёмки. Размытия, связанные с оптическим трактом, не рассматриваются.

Смаз видеоданных формируется как интеграл от лучистой энергии, достигшей фокальной плоскости и распределённой по некоторой площади, вытянутой вдоль вектора  $\mathbf{B}$  (blur). Этот вектор будем называть вектором смаза, понимая, что сам «смаз» не является вектором. Вектор смаза определяется как  $\mathbf{B} = (b_x, b_y) = \mathbf{V} - \mathbf{V}_z$ , где координаты вектора являются параметрами смаза:  $b_x$  – параметр поперечного смаза;  $b_y$  – параметр продольного смаза.

Параметры смаза в локальной точке в области шва можно выразить через компоненты вектора сшивки полос, начинающегося в этой точке:

$$b_x = (s_x + \Delta m)n / (s - s_y); \quad (1)$$

$$b_y = (s_y + \Delta s)n / (s - s_y), \quad (2)$$

где  $s_x, s_y$  – точное значение компонентов вектора сшивки;  $s$  – «скоба» – проектное расстояние между одноимёнными строками ПЗС ячеек смежных матриц;  $n$  – заданное количество строк накопления зарядов в ПЗС матрице;  $\Delta s$  и  $\Delta m$  – отклонения истинных размеров скобы и межматричного пересечения между соответствующей парой матриц от проектных значений, выраженные в пиксельной метрике.

Знание параметров смаза необходимо для улучшения качества изображения. Приведённая методика расчёта параметров смаза, основанная на использовании данных из

протокола сшивки изображений, позволила восстанавливать [6] очень сильно смазанные изображения (смаз до 100 пикселей), которые поступали от КА «Ресурс-ДК1», и тем самым продлить срок активной эксплуатации КА.

Далее будет показано, что параметры смаза содержат ценную информацию для решения прикладных задач.

Как видно из выражений (1), (2), для вычисления параметров смаза необходимо учитывать отклонения истинных размеров скобы и межматричного пересечения от проектных значений. Вычисление эти отклонений связано с задачей уточнения фактического взаимного расположения ПЗС матриц на фокальной плоскости.

### Идентификация ОЭП по сформированному им изображению

В некоторых специфических ситуациях возникает задача идентификации ОЭП по сформированному изображению. Задача была решена с достоверностью, близкой к 100%, на основе учёта геометрических (голономных) связей параметров компоновки ПЗС матриц в ОЭП.

Компоновка матриц ПЗС в ОЭП осуществляется механической сборкой. Поэтому взаимные расположения различных пар смежных матриц различны. Различия малы, но они есть. В каждой сборке матриц последовательность взаимных сдвигов соседних матриц уникальна. Чем больше матриц в составе ОЭП, тем больше отличий имеют различные сборки матриц.

Реализованный метод идентификации ОЭП как источника данного изображения основан на использовании геометрических особенностей сборки матриц в составе каждого из ОЭП. Эти особенности, то есть реальное взаимное расположение матриц, считаются известными. При этом во внимание принимались лишь межматричные перекрытия смежных сторон смежных матриц.

Суть метода иллюстрируется рис. 3.

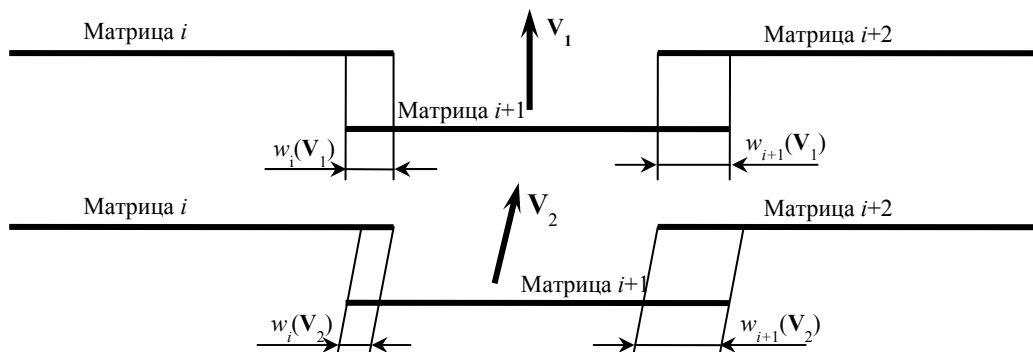


Рис. 3. Смежные швы при разных углах рыскания

На рис. 3 показаны два варианта ( $V_1$  и  $V_2$ ) ориентации вектора скорости движения носителя оптической системы относительно матриц ОЭП. Показано формирование мгновенной ширины  $w_i$  и  $w_{i+1}$  двух соседних швов при разных направлениях вектора  $V$ . Очевидно:  $w_i(V_1) > w_i(V_2)$ ;  $w_{i+1}(V_1) < w_{i+1}(V_2)$ . Но из элементарных геометрических соотношений следует: при условии, что матрицы располагаются в параллельных рядах, при изменении направления вектора  $V$  сохраняются значения следующих сумм:

$$w_i(V_1) + w_{i+1}(V_1) = w_i(V_2) + w_{i+1}(V_2). \quad (3)$$

Таким образом, суммы из (3) не зависят от вектора  $V$ .

Очевидно, должны сохраняться значения сумм ширины любых двух швов, в которых при изменении направления вектора  $\mathbf{V}$  ширина одного шва уменьшается, а другого – увеличивается. Для сборки из шести матриц должны сохраняться значения следующих шести сумм:

$$\begin{aligned} w_1 + w_2 &= x_1 + x_2; \\ w_1 + w_4 &= x_1 + x_4; \\ w_2 + w_3 &= x_2 + x_3; \\ w_2 + w_5 &= x_2 + x_5; \\ w_3 + w_4 &= x_3 + x_4; \\ w_4 + w_5 &= x_4 + x_5, \end{aligned} \tag{4}$$

где  $x_1, \dots, x_5$  – известные межматричные пересечения, являющиеся константами для данной сборки матриц.

Значения сумм вида  $w_i + w_j$  из (4) можно вычислить, решая задачу сшивки полос изображения. Таким образом, задача определения ОЭП, сформировавшего данное изображение, решается выбором того ОЭП, для которого все суммы вида  $x_i + x_j$  из (4) наиболее точно совпадают с суммами вида  $w_i + w_j$ , вычисленными с субпиксельной точностью как суммы  $s_x$  компонентов векторов сшивки для соответствующих швов.

На рис. 4 толстая линия отображает левые суммы из выражений (4). Тонкими линиями отображены диаграммы, построенные по правым суммам из выражений (4) дляборок матриц, составляющих зону компенсации с одним и тем же номером, но в составе разных ОЭП. Из сопоставления пар диаграмм с очевидностью следует вывод, что обработанное изображение сформировано ОЭП №2.

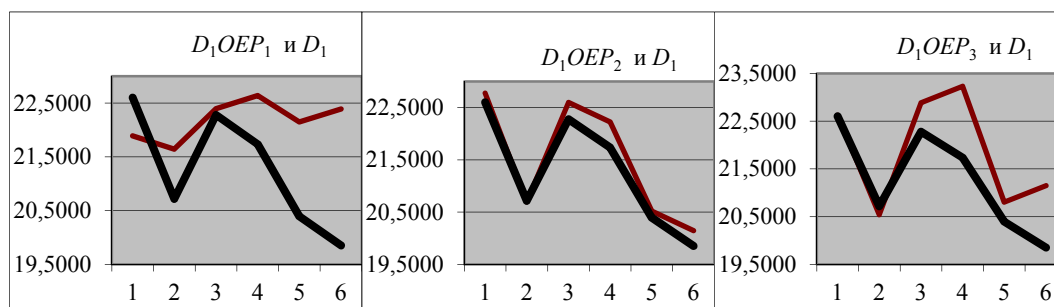


Рис. 4. Диаграммы сумм из выражений (4)

### Исследование геометрии расположения матриц целевой аппаратуры КА

Методика исследования взаимного положения матриц ОЭП целевой аппаратуры КА основана на вычислении с субпиксельной точностью ПС всех полос изображений, получаемых данным ОЭП, и исследовании этих протоколов с помощью авторской программы, визуализирующей содержимое ПС в наглядной форме в виде разнообразных диаграмм.

Применение этой методики позволило с высокой точностью (лучше, чем 0,1 пиксела) определить:

- отклонения межматричных пересечений от проектных параметров;
- абсолютный сдвиг каждой матрицы в поперечном направлении относительно проектного положения;
- отклонения межматричных расстояний от проектного значения в продольном направлении в области краёв матриц для каждой пары смежных матриц.

На рис. 5 приведены эпюры смазов. Смазы вычислены по содержимому ПС, сформированных для всех пар смежных матриц (для всех швов) в составе панхромного ОЭП. Эпюры приведены для конкретной строки изображений, сформированных на маршруте съёмки. При переходе к другим маршрутам или строкам изображений эпюры изменяются, но их характер сохраняется. В частности, на всех маршрутах сохраняется расположенный слева «зуб» на эпюре продольного смаза. Разные межматричные пересечения могут быть различными, но эпюры смазов должны выглядеть как линии прямые или близкие к прямым. Поэтому характер эпюр позволяет сделать вывод об отклонениях взаимного положения смежных матриц от проектных значений. В примере эти отклонения особенно велики для швов с номерами от 3 до 8.



Рис. 5. Эпюры параметров смазов для всех швов маршрута (март 2017 г.)

На рис. 6 приведены эпюры, построенные после виртуальной коррекции взаимного расположения матриц с целью приведения эпюр к «идеальному виду». Тонкая пунктирная линия задаёт трубку, в которую попадает 96% всех реализаций на маршруте параметра продольного смаза. При этом высота трубки составляет лишь 0,05 пиксела.

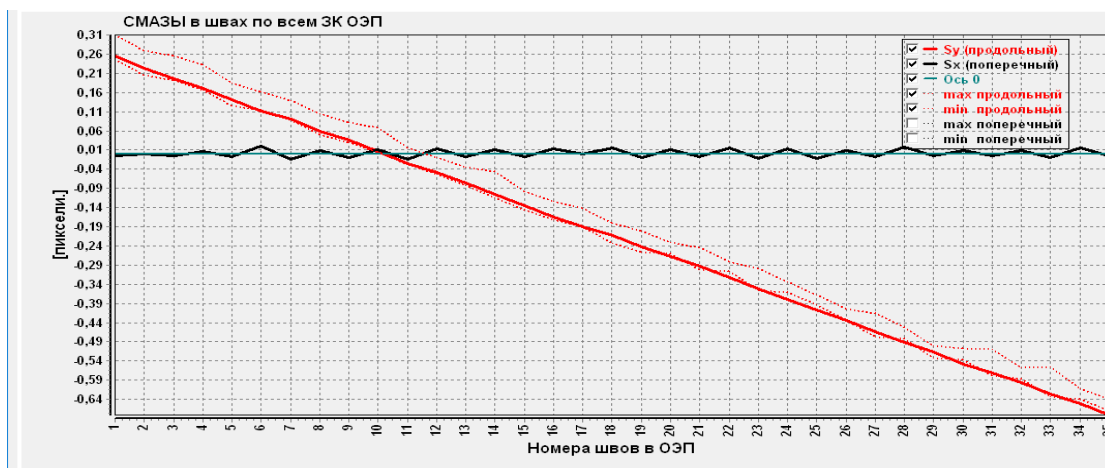


Рис. 6. Эпюры параметров смазов после виртуальной подвижки матриц

### Исследование динамики фокальной плоскости КА

Наклонный вид эпюры (рис. 6) параметров продольного смаза означает, что съёмка маршрута выполнялась при заметном угле крена КА.

Малая толщина трубки объясняется следующими факторами:

- равнинным характером снятой местности;
- отсутствием облаков на маршруте съёмки;
- субпиксельной точностью (лучше 0,1 пиксела) вычисления ПС.

С другой стороны возникает вопрос: почему трубка настолько широкая? Объяснение представлено на рис. 7.

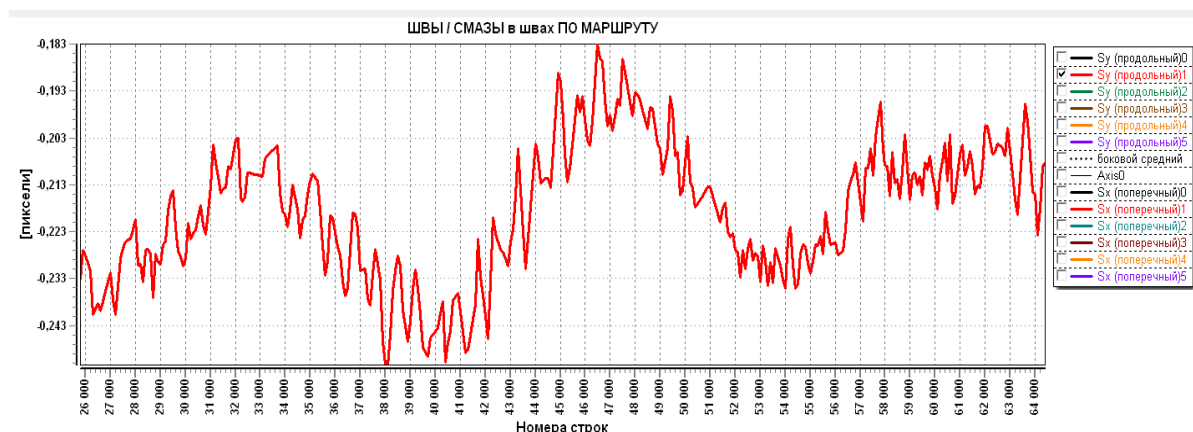


Рис. 7. Диаграмма параметров продольных смазов вдоль маршрута 02369\_02 для 1-го шва 4-й ЗК

Диаграмма параметров продольного смаза вдоль маршрута съёмки имеет низкочастотную гармоническую составляющую с периодом колебаний около 15000 строк, что при тактовой частоте формирования строк изображения в 9216 Гц (из паспорта маршрута) соответствует частоте около 0,6 Гц. Размах этих колебаний в пределах представленного фрагмента диаграммы составляет 0,7 пиксела, что и объясняет толщину трубки min/max значений смазов.

Причиной отмеченных колебаний вероятнее всего является реализованный на маршруте съёмки закон отработки программы движения КА.

Для иллюстрации достоверности диаграммы (рис. 7) далее:

- на рис. 8 показаны диаграммы параметров поперечных смазов по швам №1 и №3 пятой ЗК, которые идеально совпадают по фазе и периоду с диаграммами на рис. 7;
- на рис. 9 показаны диаграммы параметров поперечных смазов одновременно по всем шести швам четвёртой ЗК, которые также идеально совпадают между собой по фазе и периоду.

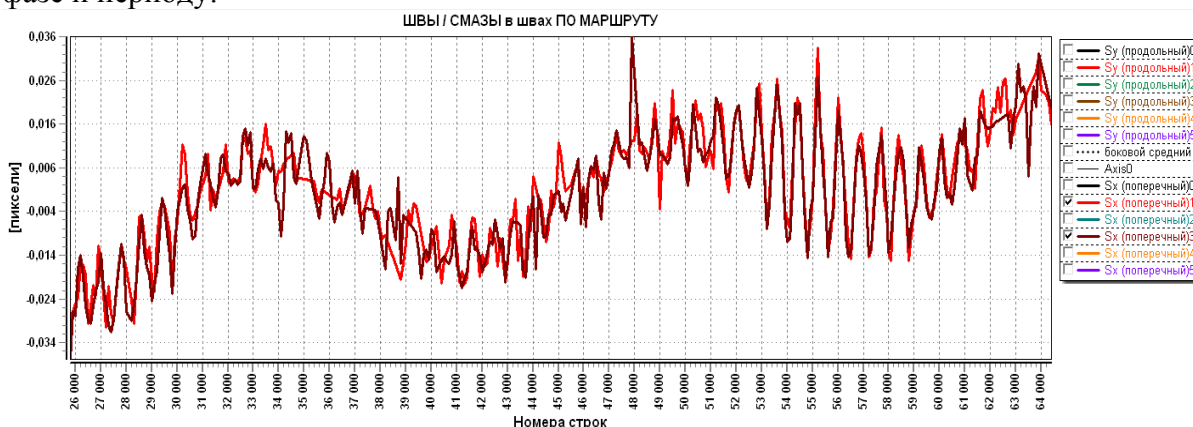


Рис. 8. Диаграммы параметров поперечных смазов вдоль маршрута 02369\_02 по швам №1 и №3 4-й ЗК



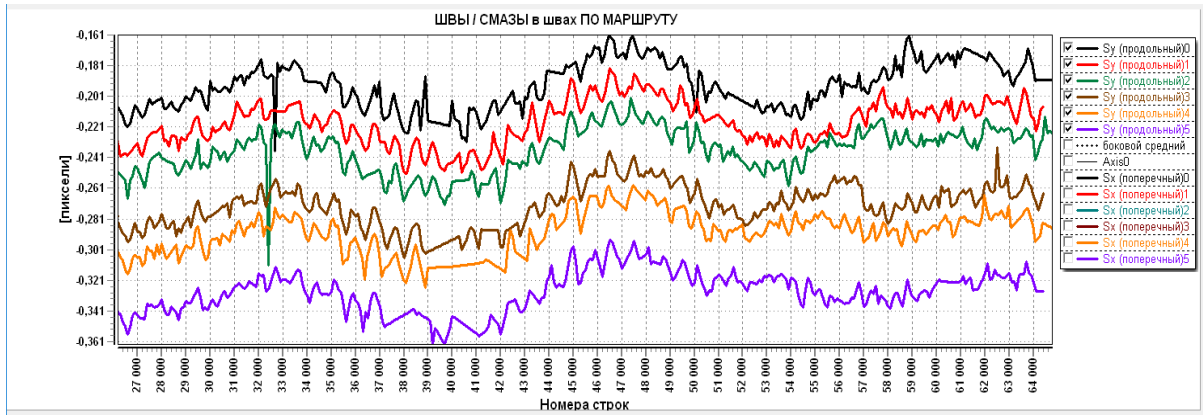


Рис. 9. Диаграммы параметров продольных смазов вдоль маршрута 02369\_02 по всем швам 4-й ЗК

На рис. 7 – 9 наблюдаются высокочастотные колебания, наложенные на низкочастотные. Высокая точность совпадения диаграмм на рис. 8 говорит как о высокой точности вычисления соответствующих ПС полос изображений, так и об объективном присутствии соответствующих колебаний фокальной плоскости. Эти высокочастотные колебания имеют период около 800 строк, что соответствует частоте примерно в 11,5 Гц.

Синхронность колебаний диаграмм как для поперечного, так и для продольного направлений означает наличие «дрожания» во время съёмки маршрута всей фокальной плоскости.

На колебания частотой 11,5 Гц, видимые на рис. 7 – 9, наложены колебания многократно большей частоты, наблюдаемые на фрагментах диаграмм, представленных на рис. 10. Это диаграммы параметров поперечных смазов для швов №1 и №5 второй ЗК.

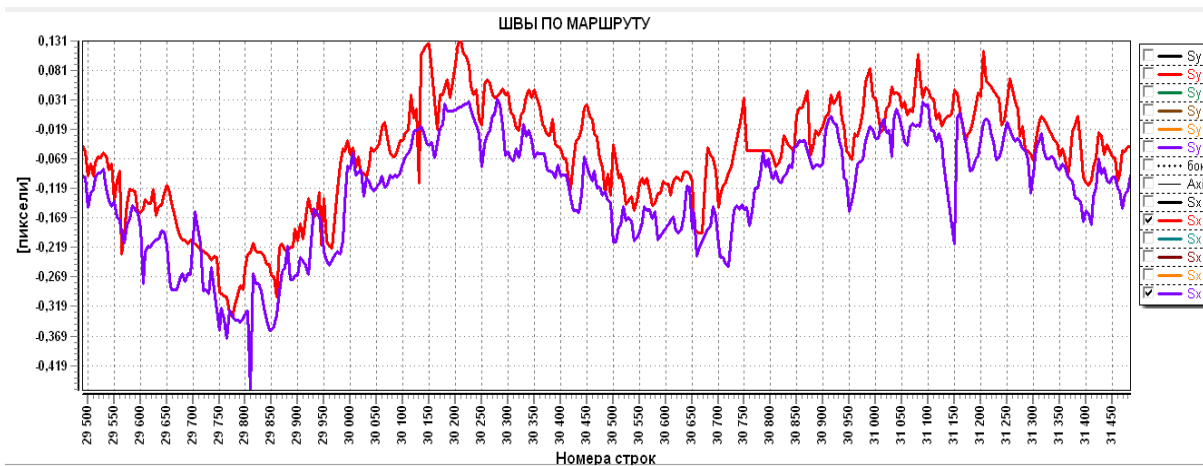


Рис. 10. Диаграммы продольных параметров швов вдоль маршрута 02369\_02 по швам №1 и №5 2-й ЗК

На поле диаграмм вертикальные линии сетки изображены с шагом 50 строк, а горизонтальные – с шагом 0,05 пиксела.

Период наблюдаемых колебаний составляет примерно 50 строк (протоколы шивки вычислены с шагом в 5 строк: шивка через каждые 5 строк изображения), что соответствует частоте примерно  $9216/50 \approx 180$  Гц.

На рис. 11 представлен пример амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) колебаний фокальной плоскости, построенной на основе анализа протоколов шивки изображений, полученных на типичном маршруте съёмки целевой аппаратурой КА типа «Ресурс».

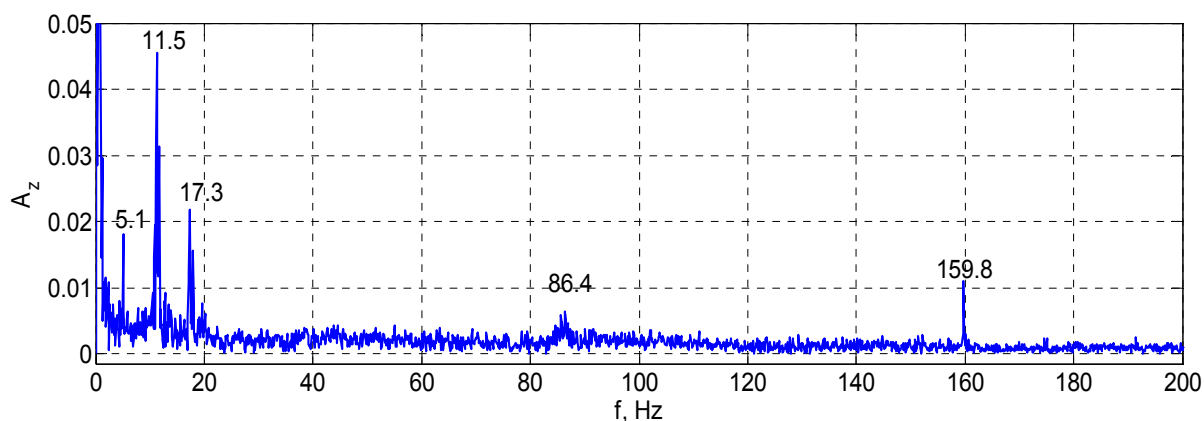


Рис. 11. АЧХ колебаний фокальной плоскости целевой аппаратуры КАН типа «Ресурс» на маршруте съёмки. По оси ординат отложена амплитуда составляющей смаза, причиной возникновения которой являются колебания фокальной плоскости с частотой, указанной на оси абсцисс

Исследования динамики фокальной плоскости, проведённые для двух КА типа «Ресурс-П», дали идентичные результаты. Это означает, что наблюдаемые вибрации фокальной плоскости связаны с особенностями конструкции КА этого типа.

### Заключение

Рассмотрены некоторые задачи оценки смаза изображения и качества работы системы управления движением КАН на маршруте съёмки, решение которых основано на использовании протоколов сшивки полос изображений.

В частности, получены следующие результаты:

- на основе методики виртуальной коррекции взаимного положения смежных матриц с высокой точностью решается задача определения отклонений межматричных пересечений и межматричного сдвига (скобы) от проектных значений;

- наблюдения, проведённые по снимкам, полученным на интервале времени более трёх лет, показали, что положение матриц ОЭП на фокальной плоскости стабильно во времени;

- положение отдельных матриц ОЭП на фокальной плоскости может значительно отличаться от проектного (до 10-12 пикселей), что объясняется, по-видимому, внешними воздействиями на целевую аппаратуру при запуске КА;

- на основе вычисления протоколов сшивки полос изображений с субпиксельной точностью (погрешность сшивки менее 0,05 пикселя) и с достаточно плотным расположением стежков сшивки вдоль маршрута (каждые 5 строк) достоверно наблюдаются малоамплитудные колебания и вибрации фокальной плоскости с частотами от 5 до 160 Гц;

- собственные колебания корпуса КАН мало отражаются на качестве получаемого изображения (десятые доли пикселя);

- в некоторых случаях значительный смаз в видеоданных наблюдается в начале маршрута съёмки; смаз получается как следствие недостаточно быстрого выхода КАН на требуемую по условиям съёмки траекторию движения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Гранты 17-08-01708, 17-48-630637.

### Библиографический список

1. Мартемьянов Б.В. Оценка качества алгоритма сшивки изображений, основанного на методе функционализации // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2009. № 3 (25). С. 88-94.
2. Кузнецов П.К., Мартемьянов Б.В., Семавин В.И. Техническое зрение подвижных объектов. Метод анализа поля скоростей динамического изображения // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 1 (115). С. 3-9. DOI: 10.14489/vkit.2014.01.pp.003-009
3. Кузнецов П.К., Мартемьянов Б.В., Семавин В.И. Техническое зрение подвижных объектов. Совмещение изображений как динамический процесс // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 2 (116). С. 3-10. DOI: 10.14489/vkit.2014.02.pp.003-010
4. Кузнецов П.К., Мартемьянов Б.В., Ращупкин А.В. Техническое зрение подвижных объектов. Методика совмещения изображений, полученных при наблюдении с подвижного основания // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. № 3 (117). С. 10-17. DOI: 10.14489/vkit.2014.03.pp.010-017
5. Кузнецов П.К., Мартемьянов Б.В. Математическая модель формирования видеоданных, получаемых с использованием сканирующей съёмки // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 6-1. С. 292-299.
6. Егошкин Н.А., Еремеев В.В. Коррекция смаза изображений в системах космического наблюдения Земли // Цифровая обработка сигналов. 2010. № 4. С. 28-32.

### PROTOCOLS OF STITCHING IMAGE STRIPS FORMED BY OPTOELECTRONIC CONVERTERS AND THEIR APPLICATION

© 2017

- P. K. Kuznetsov** Doctor of Science (Engineering); Professor; Leading Researcher; Samara State Technical University, Samara, Russian Federation; [kurnesov@mail.ru](mailto:kurnesov@mail.ru)
- B. V. Martem'ianov** Candidate of Science (Engineering); Associate Professor; Samara State Technical University, Samara, Russian Federation; [bvmart@rambler.ru](mailto:bvmart@rambler.ru)
- G. N. Miatov** Candidate of Science (Engineering); Deputy Chief Designer; Joint Stock Company Space Rocket Centre Progress, Samara, Russian Federation; [miatov@mail.ru](mailto:miatov@mail.ru)
- A. A. Yudakov** Candidate of Science (Engineering); Head of Department; Joint Stock Company Space Rocket Centre Progress, Samara, Russian Federation; [antonyudakov@rambler.ru](mailto:antonyudakov@rambler.ru)

The paper deals with processing video data obtained by composite (multimatrix) optoelectronic converters used in purpose designed equipment of observation space vehicles. It is shown that the video data obtained in the areas of intersection of fields of view of two adjacent photosensitive matrices can be beneficially used to solve a number of tasks: assessing the quality of performance of spacecraft motion control system on the survey routes, specifying the parameters of image blur, assessing the deviations of the geometrical arrangement of photosensitive matrixes from the design parameters and some other tasks.

*Observation spacecraft; remote sensing; stitching image strips; functionalization method; image blur parameters; focal plane.*

---

*Citation:* Kuznetsov P.K., Martem'ianov B.V., Miatov G.N., Yudakov A.A. Protocols of stitching image strips formed by optoelectronic converters and their application. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2017. V. 16, no. 3. P. 185-196. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-3-185-196

## References

1. Martemyanov B.V. Error estimation of images stitch processing by functionalization method. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*. 2009. No. 3 (25). P. 88-94. (In Russ.)
2. Kuznetsov P.K., Martemyanov B.V., Semavin V.I. Machine Vision of Mobile Platforms. Method of the Optical Flow Analysis of Dynamic Images. *Herald of Computer and Information Technologie*. 2014. No. 1 (115). P. 3-9. (In Russ.)  
DOI: 10.14489/vkit.2014.01.pp.003-009.
3. Kuznetsov P.K., Martemyanov B.V., Semavin V.I. Machine Vision of Mobile Platforms. Image Registration as a Dynamic Process. *Herald of Computer and Information Technologie*. 2014. No. 2 (116). P. 3-10. (In Russ.). DOI: 10.14489/vkit.2014.02.pp.003-010.
4. Kuznetsov P.K., Martemyanov B.V., Raschupkin A.V. Machine Vision of Mobile Platforms. Technique of Registration Images Obtained by Airborne Surveillance Systems. *Herald of Computer and Information Technologie*. 2014. No. 3 (117). P. 10-17. (In Russ.). DOI: 10.14489/vkit.2014.03.pp.010-017.
5. Kuznetsov P.K., Martemyanov B.V. Mathematical model of video data acquisition with the application of scanning CCD mode. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2014. V. 16, no. 6-1. P. 292-299. (In Russ.)
6. Egoshkin N.A., Ereemeev V.V. Correction smear images in the space surveillance system Earth. *Digital Signal Processing*. 2010. No. 4. P. 28-32. (In Russ.)