

ГОЛОНОМНАЯ КОРРЕКЦИЯ В ЗАДАЧЕ СШИВКИ ПОЛОС ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МНОГОМАТРИЧНЫМ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Б.В. Мартемьянов

Самарский государственный технический университет
443 100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: bvmart@rambler.ru

Рассматривается задача сшивки полос изображений, полученных от ПЗС-матриц мультиматричного оптико-электронного преобразователя. Предлагается методика коррекции вычисленных параметров сшивки смежных полос, в существенной мере учитывающая геометрические (голономные) особенности взаимного расположения ПЗС-матриц в составе мультиматричного оптико-электронного преобразователя. При этом вычисление параметров сшивки осуществляется непосредственно по изображениям без привлечения данных об ориентации носителя оптической системы относительно изображенной поверхности.

Ключевые слова: оптико-электронный преобразователь, сшивка изображений, голономные связи, метод функционализации.

К видеоаппаратуре систем пассивного обзора, наведения и целеуказания предъявляются, зачастую одновременно, высокие требования к размерам поля обзора, разрешающей способности, отношению сигнал/шум и параметрам дискретизации видеосигнала по времени и уровню. В современных технологических ограничениях таким требованиям могут удовлетворять только мультиматричные оптико-электронные преобразователи (МОЭП) изображения, составленные из отдельных матричных приборов с зарядовой связью (ПЗС). Примером может служить аппаратура типа «Сангур» производства российской фирмы «Оптекс», предназначенная для работы с изобразительными системами космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). МОЭП такого типа состоят из многострочных ПЗС матриц, видеосигнал с которых снимается только с одной строки матрицы. Остальные строки матрицы работают в режиме временной задержки и накопления заряда (в режиме ВЗН), накапливая видеосигнал в виде заряда в ПЗС-ячейках матрицы. Двумерное (кадровое) изображение формируется такими системами «заметанием» (сканированием) поля обзора в направлении нормали к линии, проходящей через центры ПЗС-ячеек, составляющих одну строку ПЗС матрицы. В системах ДЗЗ такое сканирование осуществляется за счет движения КА по орбите, но возможно инициирование сканирования за счет эволюций КА относительно собственного центра масс. Формирование кадра способом заметания, при котором естественным образом реализуется режим ВЗН, вызвано необходимостью получения изображения с приемлемым отношением сигнал/шум в условиях малости светосилы оптического сигнала, достигающего отдельные ПЗС-ячейки матрицы.

ПЗС-матрицы в МОЭП располагаются на плоскости изображения (на картинной плоскости) оптической системы (ОС) на конструктивно минимально возможном расстоянии друг от друга, составляя сборку, напоминающую «коленвал» (рис. 1).



Рис. 1. Взаимное расположение ПЗС-матриц в фокальной плоскости ОС

При сканировании поля обзора таким МОЭП каждая ПЗС-матрица порождает полосу изображения. Смежные края фоточувствительных зон ПЗС-матриц, входящих в «коленвал» МОЭП, перекрываются (см. рис. 1). В результате на смежных краях полос изображений, полученных от соседних матриц при штатной работе системы сканирования, присутствуют области (назовем их «швами»), которые отображают одни и те же объекты. При сборке из отдельных полос единого изображения необходимо совместить изображения одних и тех же объектов в пересекающихся областях смежных полос и удалить дубликаты таких изображений. Эта задача называется сшивкой изображений [1]. Задача сшивки изображений осложнена тем, что изображения имеют цифровую форму представления видеосигнала: дискретизированы по пространственным координатам (пикселям, порождаемым дискретными ПЗС-ячейками в структуре ПЗС матриц), амплитуде (результат ограниченной длины разрядной сетки для представления цифрового кода яркости пиксела) и времени (результат экспозиции изображения на ПЗС матрицы в течение некоторого интервала времени).

На рис. 1 величины Δx_i и Δx_{i+1} задают локальную ширину областей перекрытия смежных концов соседних матриц, порождающих швы на изображениях. Ширину таких областей далее будем считать измеренной в «пиксельной» метрике, считая, что в этой метрике размер одной ПЗС-ячейки (пиксела) в любом направлении равен 1. При этом расстояние между соседними пикселями в строках и в столбцах ПЗС матрицы также равно 1.

К сожалению, локальная ширина (Δx_i и Δx_{i+1} на рис. 1) каждого шва не постоянна даже на одном изображении. Поэтому в задаче сшивки полос необходимо для каждой строки y изображения $n+1$ полосы вычислить двумерный вектор ее сдвига относительно полосы с номером n . Далее этот вектор называется «параметр сшивки».

Задача сшивки изображений решается в 2 этапа:

- с субпиксельной точностью вычисляются локальные параметры сшивки в строках вдоль шва (совокупность этих параметров называется далее «протоколом сшивки»);

- содержимое протокола сшивки по всем швам используется для синтеза по исходным изображениям полос единого сшитого изображения.

В статье рассматриваются только вопросы, связанные с первым этапом сшивки.

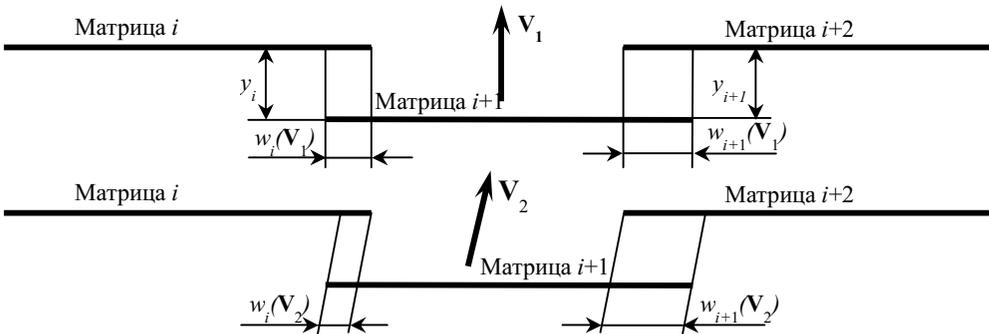
Объективные локальные особенности изображений, попадающих в область шва, могут затруднить или сделать невозможным достаточно точное сведение изображений в этих локальных подобластях. К таким особенностям относятся:

- малая вариация контраста изображения на фоне шума, например на водных гладях, облаках, полях, крышах зданий, в области теней, например от высоких зданий;

- наличие изображений протяженных линейных структур (линеаментов) различной природы, в ближайшей окрестности которых мала вариация контраста изображения (апертурная проблема);
- брак в изображениях, вызванный, например, засветкой ПЗС-ячеек от ярких снимаемых объектов (освещенных солнцем облаков, блестящих металлических крыш).

В таких случаях возникает необходимость в доопределении протокола сшивки там, где фрагменты полос изображений не удалось свести. Доопределение протокола в неблагоприятных локальных подобластях может быть сделано применением методов интерполяции либо на основе использования дополнительной информации. Оказалось, что в качестве дополнительной информации весьма продуктивно использовать геометрические (голономные) связи между крайними ПЗС-ячейками смежных сторон соседних ПЗС матриц (рис. 2). Учет таких голономных связей позволил, например, решить задачу отождествления мультиматричной видеокамеры с полученными ею снимками [2].

Рис. 2. Смежные швы при разных углах рыскания



На рис. 2 показаны два возможных варианта (V_1 , V_2) ориентации вектора скорости «бега» изображения на картинной плоскости ОС. Ориентация векторов V_1 и V_2 относительно матриц МОЭП есть угол сноса (Ψ) изображения относительно этих матриц. Он вызван наличием угла рыскания и изменением угла крена носителя ОС в процессе проведения съемки местности способом заметания. На рис. 2 значению угла $\Psi = 0$ соответствует вектор V_1 , который ориентирован по нормали к матрицам МОЭП, а ненулевому значению этого угла – вектор V_2 .

В процессе формирования изображения значение угла сноса Ψ может варьировать. В результате ширина шва по границе склеивания полос изображений, полученных от двух смежных матриц, будет изменяться от строки к строке. Поэтому ширина w_i i -го шва зависит от номера y строки изображения и от ширины областей перекрытия смежных концов соседних матриц Δx_i , то есть

$$w_i = w_i(\Delta x_i, \Psi(y)). \quad (1)$$

Поскольку угол Ψ однозначно определяется вектором V , то последнюю зависимость можно представить в виде

$$w_i = w_i(\Delta x_i, V(y)). \quad (2)$$

Из элементарных геометрических соотношений (см. рис. 2) ясно, что при условии идеального расположения матриц (строго на параллельных линиях картинной

плоскости) уменьшение/увеличение w_i сопровождается равным увеличением/уменьшением w_{i+1} (3):

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

Поэтому при вариации вектора V сохраняются значения сумм $w_i(V) + w_{i+1}(V)$ для каждой пары соседних швов. Тогда в рассматриваемых идеальных условиях и для обозначений на рис. 1 и рис. 2 справедливо следующее:

$$\Delta x_i + \Delta x_{i+1} = w_i(V_1) + w_{i+1}(V_1) = w_i(V_2) + w_{i+1}(V_2) = \Delta_{i,i+1}. \quad (4)$$

Отсюда следует важный вывод: суммарная ширина двух соседних швов для одной и той же строки y полосы изображения от i матрицы является константой, индивидуальной для каждой сборки матриц, и равной сумме $\Delta x_i + \Delta x_{i-1}$ (см. рис. 1) взаимных перекрытий i -й матрицы с соседними матрицами.

Ширина Δx_i зон перекрытия смежных сторон соседних матриц различна для разных пар матриц, прежде всего по причине неидеальной точности взаимного позиционирования матриц в процессе их механической сборки в МОЭП. По этой же причине возникают ошибки позиционирования (перекоса) матриц относительно параллельных линий на картинной плоскости, вдоль которых эти матрицы расположены (рис. 2). Последние ошибки приводят к нарушению равенств (3) и (4).

На рис. 2 через y_i обозначено расстояние между крайними строками ПЗС ячеек соседних матриц. В идеальном случае, для которого справедливы равенства (3) и (4), матрицы с номерами i и $i+2$ расположены на одной прямой, и при этом $y_i = y_{i+1}$. Выполненная оценка возможных невязок равенств (3) и (4) по причине перекоса положения матрицы на примере реальных параметров аппаратуры типа «Сангур» фирмы «Оптекс» показала следующее.

В режиме съемки с углом сноса Ψm изображения, при котором получается смаз изображения вдоль его строк в 2 пиксела, перекос положения матрицы, нарушающий равенство $y_i = y_{i+1}$ на 1 пиксел, порождает невязку в равенствах (3) менее 0,01 пиксела. Эта оценка более чем на порядок меньше достаточной точности (0,1...0,3 пиксела) вычисления параметров сшивки изображений. Кроме того, на практике величина Δy_i составляет доли пиксела, а угол Ψm сноса изображения, использованный в оценке, превышает реальные углы сноса. Это позволяет в дальнейшем изложении пренебречь возможной невязкой равенств в (3) и в (4), вызванной перекосом положения матриц относительно их идеального положения. Результат решения задачи отождествления мультиматричной видеокамеры с полученными ею снимками [2] на основе учета голономных связей во взаимном позиционировании соседних матриц в МОЭП подтверждает допустимость такого пренебрежения возможными невязками.

Далее будем считать, что значения компонент Δx_i вектора $X = (\Delta x_1, \dots, \Delta x_m)$, участвующих в равенствах (4), известны с некоторыми погрешностями, а значения w_i вычислены с некоторыми погрешностями.

Обозначим:

$\sim x_i, \sim w_i$ – оценка точного значения Δx_i и w_i из (4);

x_i – точное значение Δx_i ;

εx_i – абсолютная погрешность оценки $\sim x_i$;

$w_i, \varepsilon w_i$ – точное значение и абсолютная погрешность вычисленной оценки $\sim w_i$ значения w_i .

При этих обозначениях имеем:

$$\sim x_i = x_i + \varepsilon x_i; \quad \sim w_i = w_i + \varepsilon w_i. \quad (5)$$

С учетом введенных обозначений перепишем (4) в следующем виде:

$$\sim w_i + \sim w_{i+1} = \sim x_i + \sim x_{i+1}. \quad (6)$$

Из (6) можно сделать вывод: компоненты $\sim x_i$ вектора $\sim X = (\sim x_1, \dots, \sim x_m)$ конструктивных взаимных перекрытий матриц, являющиеся константами для данной сборки матриц, позволяют контролировать и корректировать с некоторой погрешностью как вычисляемые значения сумм $\sim w_i + \sim w_{i+1}$, так и вычисляемую ширину $\sim w_i$ отдельного шва. Рассмотрим соответствующую процедуру подробнее.

Несложно видеть, что ширина всех швов через один изменяется в одинаковом направлении. Если, например, ширина 3-го шва увеличивается, то увеличивается ширина всех швов с нечетными номерами и уменьшается ширина всех швов с четными номерами, поскольку ширина любых двух соседних швов изменяется в противоположном направлении. Поэтому (в условиях идеализированного расположения матриц), если изменение угла Ψ сноса изображения приводит к приращению Δw_i ширины w_i i -го шва, то и все швы с номерами $i \pm 2n, n=1, \dots, N$ получают такое же по значению приращение. На основании этого наблюдения и с учетом вышеизложенного можно записать следующие равенства, предполагающие наличие в составе МОЭП 6 матриц, порождающих 5 швов:

$$\begin{aligned} \sim w_1 + \sim w_2 &= \sim x_1 + \sim x_2; \\ \sim w_1 + \sim w_4 &= \sim x_1 + \sim x_4; \\ \sim w_2 + \sim w_3 &= \sim x_2 + \sim x_3; \\ \sim w_2 + \sim w_5 &= \sim x_2 + \sim x_5; \\ \sim w_3 + \sim w_4 &= \sim x_3 + \sim x_4; \\ \sim w_4 + \sim w_5 &= \sim x_4 + \sim x_5. \end{aligned} \quad (7)$$

Заметим, что система равенств (7) избыточна, поскольку некоторые из них являются линейной комбинацией других. Применительно к рассматриваемым вопросам эти избыточные (линейно зависимые) равенства оказываются полезными для голономной коррекции протоколов сшивки полос изображений.

Из соотношений (7) следует: если известны значения всех компонент вектора $\sim X = (\sim x_1, \dots, \sim x_5)$, то для вычисления значений компонент вектора $W = (\sim w_1, \dots, \sim w_5)$ достаточно вычислить какое-либо одно из них, а по нему все остальные могут быть выведены из (7). Такую методику расчета ширины швов будем называть «косвенной», в отличие от методики «прямого» определения ширины швов методом совмещения изображений. Например, определив непосредственно по изображениям значение $\sim w_1$, получим последовательно:

$$\sim w_2 = \sim x_1 + \sim x_2 - \sim w_1; \quad \sim w_4 = \sim x_1 + \sim x_4 - \sim w_1; \quad \sim w_3 = \sim x_2 + \sim x_3 - \sim w_2; \quad \sim w_5 = \sim x_2 + \sim x_5 - \sim w_2. \quad (8)$$

Все возможные варианты вывода четырех значений компонент вектора $W = (\sim w_1, \dots, \sim w_5)$ по одному из них удобно представить в виде неориентированного графа (рис. 3).

На графе ребро, соединяющее вершины v_j и v_i , означает, что значения $\sim w_j$ и $\sim w_i$ входят в одно и то же равенство (7) и непосредственно по этому равенству по значе-

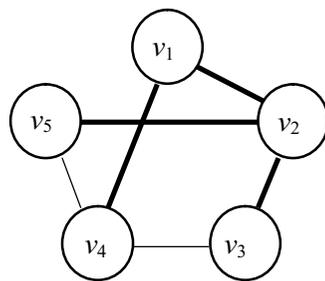


Рис. 3. Граф голономных связей

нию $\sim w_j$ можно вычислить значение $\sim w_i$ и наоборот.

Ребра графа, нарисованные жирными линиями, задают дерево-остов, иллюстрирующее процедуру (8) вычисления значений $\sim w_2, \dots, \sim w_5$ по известному значению $\sim w_1$.

Очевидно, что в этом графе из любой его вершины достижимы все остальные. Поэтому любая из 5 компонент вектора W позволяет вычислить все остальные.

Прием косвенного вычисления ширины w_i швов позволяет вычислять значения w_i для фрагментов швов, по которым прямое вычисление невозможно из-за неблагоприятных локальных особенностей изображения, основные возможные варианты которых перечислены выше.

Оценим погрешность вычисления компонент вектора W по системе равенств (7), то есть с помощью графа рис. 3.

Каждая строка системы равенств (7) имеет вид (6).

Из (6) с учетом (5) получаем:

$$\sim w_i = w_i + \varepsilon w_i = \sim x_i + \sim x_j - \sim w_j = x_i + x_j - w_j + \varepsilon x_i + \varepsilon x_j - \varepsilon w_j. \quad (9)$$

Из (9) получим погрешность εw_i вычисленной оценки $\sim w_i$ для w_i :

$$\varepsilon w_i = \varepsilon x_i + \varepsilon x_j - \varepsilon w_j. \quad (10)$$

Погрешности εx_i и εx_j в (10) носят статический характер: не зависят от обрабатываемых изображений и от положения обрабатываемых фрагментов изображений на швах. Поэтому динамические свойства ошибки εw_i вычисляемого значения $\sim w_i$ вдоль i -го совпадают по модулю и противоположны по знаку динамическим свойствам ошибки εw_j оценки $\sim w_j$ для соседнего j -го шва, по которому вычисляется i -й шов.

Выведем выражения для погрешности вычисления ширины швов при различных путях передвижения по графу голономных связей.

Не теряя общности и для простоты рассмотрим процесс вычисления $\sim w_3$ по вычисленному значению $\sim w_1$ для двух путей между этими вершинами: для пути $v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3$ и для пути $v_1 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3$. Ошибки вычисленных оценок $\sim w_3$ для w_3 на этих путях обозначим как εw_3^{123} и εw_3^{14523} .

Для первого из рассматриваемых путей, выразив $\sim w_3^{123}$ через $\sim w_2$, а $\sim w_2$ через $\sim w_1$, получим:

$$w_3 + \varepsilon w_3^{123} = \sim x_3 - \sim x_1 + \sim w_1 = x_3 - x_1 + w_1 + \varepsilon x_3 - \varepsilon x_1 + \varepsilon w_1. \quad (11)$$

Из (11) следует:

$$\varepsilon w_3^{123} = \varepsilon x_3 - \varepsilon x_1 + \varepsilon w_1. \quad (12)$$

Для пути $v_1 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3$ аналогичными подстановками получим:

$$\varepsilon w_3^{14523} = \varepsilon x_3 - \varepsilon x_1 + \varepsilon w_1. \quad (13)$$

Видим, что $\varepsilon w_3^{14523} = \varepsilon w_3^{123}$. Причем в выражения для εw_3^{14523} и εw_3^{123} не входят параметры швов, которые соответствуют промежуточным вершинам путей на графе голономных связей. Следовательно, погрешности εw_j вычисления оценки $\sim w_j$ ширины w_j швов по голономным связям:

- не зависят от пути продвижения по графу голономных связей;
- не накапливаются при движении по графу голономных связей;
- зависят от погрешности εw_i вычисленной оценки $\sim w_i$ ширины шва, из которого выводится ширина всех остальных швов;

– зависят от погрешностей εx_3 и εx_1 информации о взаимных перекрытиях матриц только двух швов.

Погрешности εw_i связаны с обработкой некоторого отдельного шва и изменяются вдоль шва. Значения же $\sim x_i$ вычисляются и уточняются по результатам обработки десятков изображений и имеют постоянное значение. Поэтому погрешности εx_i должны быть многократно (на порядки) ниже средних погрешностей εw_i : $\varepsilon w_i \gg \varepsilon x_i$. С учетом этого погрешностями εx_i при их суммировании со значениями εw_i в выражениях (10), (12) и (13) можно пренебречь. Тогда из этих выражений можно сделать следующие выводы:

– для пары (i, j) швов с нечетной длиной пути между ними на графе голономных связей имеем $\varepsilon w_i = -\varepsilon w_j$;

– для пары (i, j) швов с четной длиной пути между ними на графе голономных связей имеем $\varepsilon w_i = \varepsilon w_j$.

Последнее означает, что практически погрешности косвенного вычисления ширины швов на основе учета использованных голономных связей равны погрешности вычисленной по изображению ширины шва, от которого вычисляются остальные швы.

Итак, было показано, что по единственному вычисленному шву можно с достаточной точностью вычислить остальные швы. Однако для большей достоверности вычисления всех искомым значений w_1, \dots, w_5 следует пытаться вычислить каждое из них непосредственно, то есть по изображению. При этом голономные связи, определенные выше, можно использовать для корректировки значений, вычисленных с наименьшей степенью достоверности, или значений, которые не удалось вычислить непосредственно. В связи с этим возникают задача оценки достоверности вычисленного параметра сшивки и задача организации оптимального использования вычисленных результатов $\sim w_1, \dots, \sim w_5$ для увеличения точности вычисления хотя бы некоторых из искомым значений w_1, \dots, w_5 .

Один из способов оценки достоверности вычисляемых параметров сшивки изложен в [3]. Этот способ оценки достоверности вытекает из метода функционализации параметров изображений, называемого далее «метод функционализации» [1, 3], на основе которого разработаны алгоритмы и программное обеспечение для вычисления параметров сшивки полос изображений.

Выше рассматривались вопросы использования голономных связей только для вычисления x координат векторов сшивки полос изображений. К сожалению, для y координат векторов сшивки (уКВШ) установить надежные голономные связи не удается. Причина в том, что уКВШ чувствительна к высоте рельефа изображенной местности, которая от шва к шву может меняться достаточно значительно. Это затрудняет использование голономных связей, относящихся к уКВШ. Для обработки изображений плоской местности можно применить голономные связи и в отношении уКВШ.

Если изображенная местность достаточно плоская и в областях швов нет изображений высотных объектов (например башен, небоскребов, облаков), то уКВШ может изменяться только за счет эволюций носителя ОС относительно собственного центра масс. При этом доминирующее влияние на изменение уКВШ оказывает изменение угла тангажа носителя ОС. Поскольку все матрицы в МОЭП поворачиваются одинаково, изменения угла тангажа при съемке одинаково сказываются на изменениях уКВШ по всем швам.

На рис. 4 представлены два набора диаграмм протоколов сшивки двух соседних швов. Ось ординат задает проекции векторов сшивки на оси X и Y в пикселах. Ось

абсцисс задает номера строк изображения. Диаграммы $Y1$ и $Y2$ отображают уКВШ, а диаграммы $X1$ и $X2$ – x координаты векторов сшивки. На диаграммах x координаты имеют отрицательные значения потому, что задают сдвиг правой полосы влево.

На рис. 4, а «пики», достигающие нулевых значений на диаграммах $X1$ и $X2$, означают, что программа оценила вычисленные параметры векторов сшивки как недостаточно достоверные и вычисленные значения x координаты векторов были заменены значением 0. В результате коррекции протокола сшивки двух соседних полос (рис. 4, б) на основе рассмотренных в этой статье голономных связей все такие «пики» были заменены достоверными значениями параметров сшивки полос.

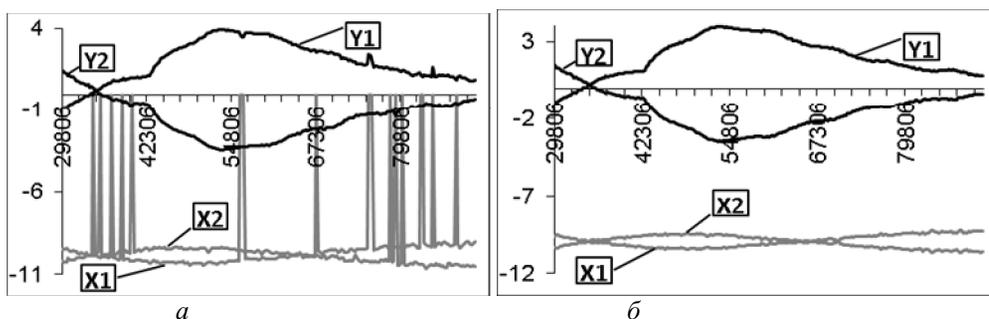


Рис. 4. Примеры диаграмм протокола сшивки: а) до коррекции; б) после коррекции

Диаграммы $Y2$ для исключения их сливания с диаграммами $Y1$ отображены с изменением знака всех вычисленных значений у составляющих векторов сшивки. При этом видна одинаковая динамика изменения у составляющих векторов сшивки в соседних швах: диаграммы симметричны относительно некоторой горизонтальной прямой, проходящей через точку пересечения этих диаграмм. Причем эта точка пересечения не совпадает с осью абсцисс, что говорит о перекосе положения матрицы: $y_i \neq y_{i+1}$.

Из сравнения двух наборов диаграмм можно заметить, что после коррекции уменьшились высокочастотные колебания диаграмм $X1$ и $X2$ и исчезли ложные пики на диаграммах $Y1$ и $Y2$. Причем ложные пики на $Y1$ совпадают с искусственными пиками на $X1$, означающими, что соответствующий вектор сшивки полос был отмечен как недостаточно достоверный.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мартемьянов Б.В. Оценка качества алгоритма сшивки изображений, основанного на методе функционализации // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. – №3(25). – Самара, 2009. – С. 88-95.
2. Мартемьянов Б.В. Метод отождествления многоматричной видеокамеры с полученными ею снимками // Информационно-управляющие системы. №6 (55). – СПб., 2011. – С. 11-15.
3. Кузнецов П.К. Метод определения вектора скорости движения подстилающей поверхности // П.К. Кузнецов, Б.В. Мартемьянов, В.И. Семавин, Е.Ю. Чекотило // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. – №2. – Самара, 2008. – С. 96-110.

Статья поступила в редакцию 2 июня 2012 г.

HOLONOMIC CORRECTION IN PROBLEM CROSSLINKING BAND IMAGES RECEIVED MULTIMATRIX OPTICAL-ELECTRONIC CONVERTER

B. V. Martemyanov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

This article discusses the problem of stitching strips of images obtained by scanning the scene using multimatrix optoelectronic converters. A method of correcting the calculated parameters of stitching of adjacent strips of images to a large extent takes into account the geometric (holonomic) features of the relative position of CCD in the multimatrix optical-electronic converters. The computation of parameters of matching is done directly from the images without using data on the orientation of the optical system with respect to the source of images.

Keywords: *optical-electronic converter, stitching of images, holonomic matching, the method of functionalization of the parameters of images.*