

Совмещение изображений

aks@module.ru

О.Ю. Аксенов

Рассматривается алгоритм совмещения изображений, обеспечивающий объединением информации, содержащейся на нескольких изображениях, соответствующих одной наблюдаемой сцене и имеющих небольшие отличия в геометрии. При этом решаются задачи пространственной синхронизации изображений и слияния информации, содержащейся на них. Синхронизация базируется на анализе перепадов яркости, соответствующих совмещаемым изображениям. Слияние выполняется за счет полупрозрачного наложения одного из изображений на другое, сдвинутое в результате синхронизации. Проведенное моделирование показало работоспособность предложенных алгоритмов.

Image Merging

aks@module.ru

O.Yu. Aksenov

An image merging algorithm is considered. This algorithm provides combination of information from several images corresponding to the same observed scene but having some differences in geometry. The tasks of spatial synchronisation of images and data fusion are solved. Synchronisation is based on brightness drop analysis. Merging of images is based on semitransparent images overlay. One of those images must be biased after synchronisation. Simulation has shown efficiency of the proposed algorithm.

Одно из актуальных направлений обработки изображений связано с совмещением изображений – объединением информации, содержащейся на нескольких изображениях, соответствующих одной наблюдаемой сцене. Совмещение изображений в настоящее время активно привлекается для использования в таких приложениях, как контроль местности и объектов на ней, в том числе противопожарный, картографирование и т.п. Для осуществления совмещения изображений необходимо, во-первых, осуществить пространственную синхронизацию изображений в пространстве – осуществить их поточечную взаимную привязку; а во-вторых, выполнить слияние – объединить информацию, создав результирующее изображение. Задача настоящего исследования – оценить возможности осуществления совмещения изначально не синхронизированных изображений за счет их цифровой обработки в интересах осуществления совмещения изображений, получаемых, например, при обзоре земной поверхности с некоторой возвышенности или с борта летательного аппарата.

Пусть имеется комплект из двух изображений, которые требуется совместить. При этом предполагается, что оба изображения соответствуют одному и тому же участку местности, но отличаются друг от друга масштабом или/и привязкой к местности. В этом случае можно говорить об отсутствии пространственной синхронизации изображений. Одно из таких изображений удобно считать эталонным. В отсутствии простран-

ственной синхронизации второе искажение можно трактовать как изображение с искажениями.

В случаях, представляющих практический интерес, отличия искаженного изображения от эталонного могут быть описаны как:

- пространственный сдвиг;
- изменение масштаба;
- изменение геометрии.

Не претендуя на полноту рассмотрения, представляется целесообразным анализировать практически полезные ситуации, которые иллюстрируют Рисунок 1, Рисунок 2, Рисунок 3.

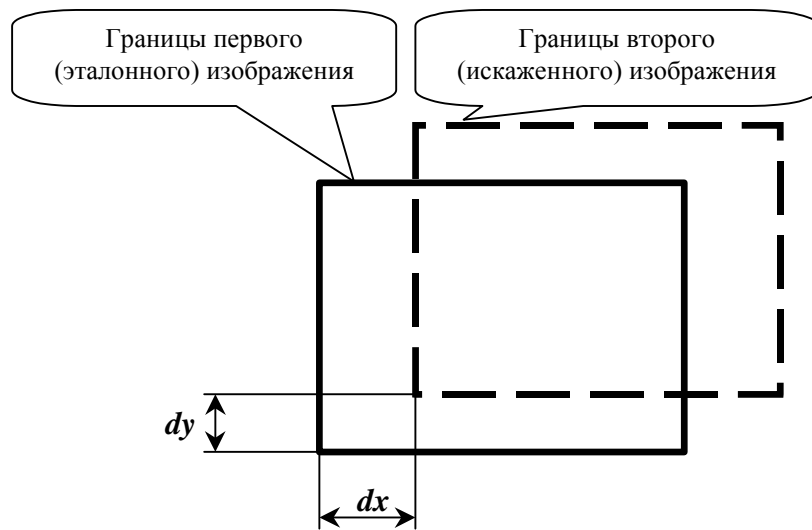


Рисунок 1. Отличия изображений (сдвиг).

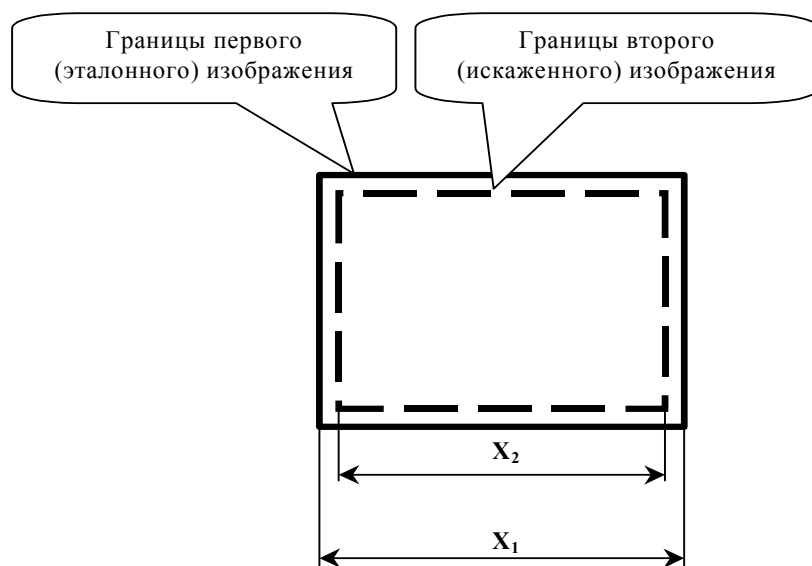


Рисунок 2. Отличия изображений (масштаб).

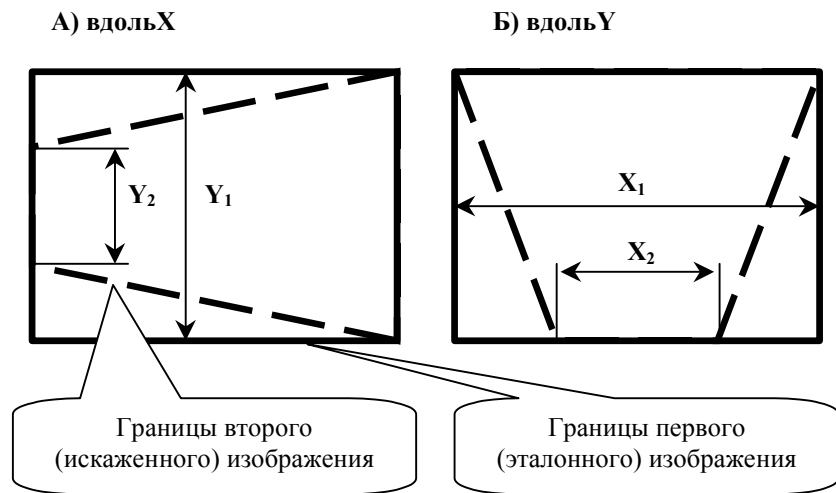


Рисунок 3. Отличия изображений (геометрия).

Очевидно, возможны и комбинации рассмотренных ситуаций.

Искажения типа «пространственный сдвиг» удобно охарактеризовать значениями сдвигов вдоль соответствующих осей dx, dy (Рисунок 1).

Искажения типа «изменение масштаба» удобно охарактеризовать в виде $dm = x_1/x_2$ (Рисунок 2).

Искажения типа «изменение геометрии» удобно охарактеризовать при помощи величин $dm_x = x_1/x_2$ (Рисунок 3,А), $dm_y = y_1/y_2$ (Рисунок 3,Б).

Для случая, когда анализируемый комплект содержит более двух изображений, все указанные величины можно задавать относительно одного «эталонного» изображения.

Ниже рассматривается задача совмещения для изображений, характерных в случае наблюдения земной поверхности с борта самолета. Рисунок 4 содержит пример подобного изображения, полученного в видимом диапазоне спектра. Данное изображение имеет формат $414 \times 403 \times 8$ bit GrayScale. Пример искаженного изображения дает Рисунок 5. Серая рамка вокруг этого изображения показывает разницу в масштабах этих изображений. А ее изменяющаяся толщина – наличие пространственного сдвига и изменения геометрии.



Рисунок 4. Изображение без искажений



Рисунок 5. Изображение с искажениями

Предполагается, что изображения, подлежащие синхронизации, характеризуются наличием пространственных сдвигов и малыми значениями изменений масштаба и геометрии, что соответствует значениям: $|dx| > 0$, $|dy| > 0$, $dm \approx 1$, $dm_x \approx 1$, $dm_y \approx 1$. Таким образом, при синхронизации надо оценить значения величин dx , dy в предположении, что отличия величин dm , dm_x , dm_y от 1 не сильно повлияют на результат.

Таким образом, в указанных условиях, совмещение эталонного и искаженного изображений сводится к следующим действиям:

- пространственная синхронизация изображений – оценка dx , dy и сдвиг искаженного изображения на dx , dy ;
- слияние изображений – наложение искаженное изображение на эталонное.

В данном случае может быть использовано полупрозрачное наложение.

Если известны истинные значения пространственных сдвигов dx_r , dy_r , то качество совмещения можно оценить:

- в абсолютных значениях как: $\Delta x = dx_r - dx$, $\Delta y = dy_r - dy$,
 $\Delta r = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$ [пикселей];

- в относительных единицах (в процентах) как: $\Delta X = \frac{dx_r - dx}{dx_r} \cdot 100\%$,

$$\Delta Y = \frac{dy_r - dy}{dy_r} \cdot 100\%, \quad \Delta R = \sqrt{\frac{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}{(\Delta x_r)^2 + (\Delta y_r)^2}} \cdot 100\% \quad [\%].$$

Если истинные значения пространственных сдвигов неизвестны, доступными остаются лишь визуальные оценки.

Каждое их совмещаемых изображений может иметь свои яркостные особенности, являющиеся, например, результатом того, что они получены при различном освещении или при помощи приемных устройств, работающих в различных диапазонах спектра. Поэтому для обеспечения независимости результатов синхронизации от яркостных особенностей совмещаемых изображений целесообразно потребовать инвариантности процедуры синхронизации к абсолютным значениям яркости используемых изображений. Для этого удобно от исходных изображений перейти к бинаризованным. Последнюю операцию можно выполнить, например, за счет выделения на исходных изображениях перепадов яркости.

С учетом сказанного синхронизация двух изображений, одно из которых обозначено как эталонное (E), а другое – как искаженное (D), может быть выполнено по следующему алгоритму:

1. Оценить гистограммы распределения яркости изображений E и D .
2. По гистограммам найти эффективные диапазоны яркости изображений – $MinE...MaxE$ и $MinD...MaxD$ соответственно¹.
3. Исходя из эффективных диапазонов яркости, оценить пороги бинаризации изображений $t_E = (MaxE - MinE)/3$; $t_D = (MaxD - MinD)/3$.
4. Перевести изображения « E » и « D » бинарную² форму – « E_b » и « D_b » с использованием, например, фильтра Робертса и значений порогов t_E и t_D соответственно.
5. Разбить изображение E_b на N образов так, что, i -ый образ – O_{Ei} ($i = 0...N$) имеет размеры $S \times S$, а его положение на изображении характеризуется координатами; (x_{Ei}, y_{Ei}) .
6. В дальнейшем рассматривать только те образы, которые содержат не менее Nb «ярких» – со значением «1» – точек.
7. Искать каждый из образов изображения « E » на изображении « D », сдвигая его в пределах $(x_{Ei} \pm B_x, y_{Ei} \pm B_y)$, при этом за положение образа O_{Ei} на изображении D_b принимаются координаты (x_{Di}, y_{Di}) , обеспечивающие максимум функции

¹ Эффективный диапазон может быть более узким, чем диапазон между минимальным и максимальным значениями.

² Бинаризованное изображение имеет пиксели со значениями яркости 0 или 1.

$$K(x_{Di}, y_{Di}) = \sum_x \sum_y E_b(x, y) \cdot D_b(x - x_{Ei} + x_{Di}, y - y_{Ei} + y_{Di}) \quad \text{при}$$

$x_{Di} = (x_{Ei} - B_x) \dots (x_{Ei} + B_x)$, $y_{Di} = (y_{Ei} - B_y) \dots (y_{Ei} + B_y)$. Это позволит оценить пространственные сдвиги i -ого образа на изображении D относительно положения этого образа на изображении E – $dx_i = x_{Di} - x_{Ei}$ и $dy_i = y_{Di} - y_{Ei}$.

8. Найти средние для всего изображения значения пространственных сдвигов

$$dx = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{i < N} dx_i, \quad dy = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{i < N} dy_i.$$

Для случая совмещения двух изображений предполагается, что совмещенное изображение – I должно содержать оба исходные в «полупрозрачном» виде. Тогда, при использовании оценок пространственных сдвигов, полученных выше, совмещение изображений E и D осуществляется следующим образом:

$$I(x, y) = \frac{E(x, y) + D(x + dx, y + dy)}{2}$$

Если же требуется совместить M изображений L_j при $j = 0 \dots M - 1$, то предварительно должны быть оценены $M - 1$ пар значений пространственных сдвигов изображений L_j ($j = 1 \dots M - 1$) относительно изображения L_0 . Эти пространственные сдвиги оцениваются, как это показано в предыдущем разделе и обозначаются dx_j , dy_j . Совмещенное изображение в этом случае формируется как:

$$I(x, y) = \frac{L_0(x, y) + \sum_{j=1}^{j < M} L_j(x + dx_j, y + dy_j)}{M}$$

Следует учитывать, что при таком «полупрозрачном» совмещении в итоге динамический диапазон яркости, а значит и различимость деталей каждого из исходных изображений сужается.

Для получения количественных оценок использовалось изображение которое отображает Рисунок 4, которое принималось за эталонное. Искаженное изображение (Рисунок 5) формировалось из него за счет искусственного введения пространственных сдвигов и искажений масштаба и геометрии. Такой подход позволил не только смоделировать процесс совмещения, но и проанализировать зависимости точности совмещения (синхронизации) от параметров алгоритмов и искажений.

Моделирование проводилось для следующих условий.

1. При использовании описанной выше процедуры синхронизации изображение E_b делилось на N образов с использованием «плиточного» подхода. Это

предполагает, что все изображение делится на одинаковые не перекрывающиеся квадратные области – «плитки». Размеры каждой «плитки» $S \times S$ пикселей. Величина при этом S рассматривается как параметр модели.

2. Каждый из N образов бинаризованного изображения E_b должен содержать не менее Nb (ярких) точек. В противном случае, эта область для синхронизации не используется.

Искусственно вводимые искажения характеризуются параметрами:

3. Искажения масштаба: dm .
4. Искажения геометрии вдоль соответствующих осей: dm_x и dm_y .
5. Сдвиг вдоль соответствующих осей: dx_r , dy_r .

Процедуру поиска образов изображения « E » на изображении « D » характеризуют параметры:

6. Максимальный сдвиг образа вдоль соответствующих осей относительно начального положения: $\pm B_x$, $\pm B_y$.
7. Шаг сдвига образа вдоль соответствующих осей: p_x , p_y .
8. Шаг просмотра образа вдоль соответствующих осей: o_x , o_y .

При моделировании были приняты следующие численные значения:

1. $dx_r = 6$ пикселей, $dy_r = (-6)$ пикселей;
2. $Nb > 30$ точек;
3. $B_x = B_y = \pm 8$ пикселей;
4. $p_x = p_y = p$;
5. $o_x = o_y = o$.

В качестве ошибки совмещения использовалось значение ΔR [%].

Результаты анализа влияния искажений (dm , dm_x , dm_y) и шагов (p , o) на относительную ошибку совмещения ΔR при неизменном размере области эталона – S содержит Таблица 1. Первая колонка содержит номер эксперимента (#). Из приведенной таблицы следует, что при $p = 1$, $o = 1$, или при вычислительно более выгодных значениях $p = 2$, $o = 2$, ошибки совмещения минимальны – практически они отсутствуют.

Зависимость относительной ошибки совмещения от искажения масштаба (dm) при различных значениях размера эталона содержит Таблица 2. Из нее следует, что наименьшие значения ошибок имеют место при $dm < 1.02$. Кроме того, для данного изображения целесообразно использовать $S \geq 20$.

Таблица 1. Зависимость ошибки совмещения от параметров искажения и шага поиска

#	Иск. X	Иск. Y	Иск. XY	S	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	
					1	1	1	2	2	1	2	2	1	3	3	1	2	3	3
1	1	1	1	30	0	0	0	0	48	0	0	60	11	0	71				
	1.005	1	1	30	0	11	58	0	11	58	11	11	70						
	1.01	1	1	30	0	11	35	0	11	35	11	23	58						
	1.015	1	1	30	0	11	23	0	11	23	11	11	58						
	1.02	1	1	30	0	11	11	0	23	23	11	11	58						
2	1	1	1	30	0	0	48	0	0	60	11	0	71						
	1	1.005	1	30	0	0	60	0	0	60	11	11	71						
	1	1.01	1	30	0	0	60	0	0	58	11	11	71						
	1	1.015	1	30	0	0	60	0	0	70	11	11	71						
	1	1.02	1	30	0	0	60	0	11	58	11	11	71						
3	1	1	1	30	0	0	48	0	0	60	11	0	71						
	1	1	1.005	30	0	0	16	0	16	16	0	11	26						
	1	1	1.01	30	0	23	26	0	37	26	0	35	37						
	1	1	1.015	30	0	23	23	0	11	23	11	35	35						
	1	1	1.02	30	11	26	35	11	26	37	23	37	47						

Таблица 2. Зависимость ошибки совмещения от параметров искажения и шага поиска

#	Иск. X	Иск. Y	Иск. XY	S	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O	P	O
					1	1	1	2	2	1	2	2	1	3	3	1	2	3
4	1	1	1	10	0	0	60	11	0	71	26	23	58					
	1	1	1	20	0	0	48	0	0	58	11	11	70					
	1	1	1	30	0	0	48	0	0	60	11	0	71					
	1	1	1	40	0	0	35	0	0	58	0	0	58					
	1	1	1	50	0	0	58	0	0	58	0	0	58					
5	1	1	1.005	10	11	37	11	16	37	35	23	58	35					
	1	1	1.005	20	0	11	16	0	16	26	11	23	37					
	1	1	1.005	30	0	0	16	0	16	16	0	11	26					
	1	1	1.005	40	0	11	11	0	11	16	0	23	16					
	1	1	1.005	50	0	0	16	0	11	16	0	11	16					
6	1	1	1.01	10	11	47	23	16	48	47	23	58	47					
	1	1	1.01	20	0	26	26	0	26	26	11	47	35					
	1	1	1.01	30	0	23	26	0	37	26	0	35	37					
	1	1	1.01	40	0	26	26	0	23	26	0	23	23					
	1	1	1.01	50	0	23	23	0	26	26	0	35	26					
7	1	1	1.015	10	16	37	58	26	52	58	47	70	70					
	1	1	1.015	20	0	23	37	0	23	35	23	37	48					
	1	1	1.015	30	0	23	23	0	11	23	11	35	35					
	1	1	1.015	40	0	11	23	0	23	23	0	11	35					
	1	1	1.015	50	0	11	11	0	11	11	0	11	23					
8	1	1	1.02	10	16	37	58	26	48	70	47	58	70					
	1	1	1.02	20	11	37	48	23	26	48	35	47	58					
	1	1	1.02	30	11	26	35	11	26	37	23	37	47					
	1	1	1.02	40	11	11	23	11	23	35	11	35	35					
	1	1	1.02	50	11	11	35	11	23	23	11	11	23					

Проведенное моделирование позволяет сделать следующие выводы:

- Предложенные алгоритмы позволяют совмещать изображения с качеством, представляющим удовлетворительным для зрительного восприятия.
- При незначительных искажениях масштаба и геометрии (не превышающих величины 1.02) предложенные алгоритмы при работе по использованному изображению обеспечивают практически безошибочное совмещение.

- Для исходных изображений рассмотренного типа наиболее целесообразно использовать для синхронизации изображений эталон размером $\sim 30 \times 30$ пикселей.
- Использование прореженного шага анализа изображений ($p = o = 2$ вместо $p = o = 1$) в рассмотренных условиях сокращает вычислительную сложность данной задачи, но практически не сказывается на точности совмещения.
- Для сокращения временных затрат на совмещение изображений целесообразно не обрабатывать всю площадь изображений, а использовать данные о положении на изображении объектов, которые можно использовать для совмещения (синхронизации) изображений.

Представленные результаты иллюстрируют работоспособность предложенного алгоритма синхронизации изображений применительно к задаче совмещения обзорных изображений земной поверхности.