

## Итерационный алгоритм оценки смещения, масштаба и поворота для совмещения телевизионных сигналов при влиянии аддитивных и мультипликативных помех

Р.Р. Диязитдинов 

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики  
443010, Россия, г. Самара,  
ул. Л. Толстого, 23

*Аннотация* – В статье представлен итерационный алгоритм совмещения телевизионных изображений. Совмещение определяется параметрами смещения, масштабом и поворотом. Также на изображения оказывают влияние аддитивная и мультипликативная помеха. Алгоритм разрабатывался с целью уменьшения времени обработки изображений при вычислении параметров совмещения. Уменьшение времени обработки происходит за счет значительного сокращения вариантов перебора реперных точек, от которых зависит результат совмещения. Первоначально выбранные координаты реперных точек уточняются в ходе работы алгоритма и обеспечивают приемлемое совмещение телевизионных сигналов. Параметры совмещения разделены на две группы: смещения вдоль координатных осей (первая группа), масштаб и поворот (вторая группа). Они оцениваются отдельно друг от друга. Итерационная процедура заключается в использовании смещений для оценки масштаба и поворота, а затем в использовании масштаба и поворота для оценки смещений. Этот процесс повторяется несколько раз, и с каждой новой итерацией вычисленные параметры приближаются к действительным значениям. Разработанный алгоритм позволил уменьшить время обработки в 25 раз по сравнению с алгоритмом полного перебора для изображений, использованных для тестирования. Первое изображение имело размеры 288 × 384 пикселя, второе – 128 × 128 пикселя. Второе изображение являлось фрагментом первого. В заключении статьи приведены результаты численного моделирования, определяющие зависимость погрешности оценки параметров от мощности шума.

*Ключевые слова* – совмещение; изображение; итерационный; смещение; масштаб; поворот; аддитивный; мультипликативный.

### Введение

Совмещение телевизионных изображений является важной задачей в научных исследованиях и технических приложениях. Вопросы совмещения решаются в медицине (совмещение гистологических изображений, трехмерная реконструкция и т. д.) [1], в авиационной технике (совмещение подстилающей поверхности) [2; 3], в железнодорожной сфере (поиск эталонных изображений в видеопотоке для оценки смещения рельсов относительно шпальной решетки), а также в различных системах индексации данных (сопоставление портретных фотографий, поиск изображения по фрагменту и т. д.) [4–7].

Из-за большого объема данных, содержащихся в изображениях, использование алгоритмов оценки параметров, основанных на методе полного перебора, приводит к существенному снижению производительности алгоритма совмещения.

Оценка параметров происходит по метрике (как правило, по коэффициенту корреляции). Количество метрик равно количеству сочетаний оцениваемых параметров. При этом снижение производительности связано с преобразованием

изображений, которых будет столько же, сколько и сочетаний параметров.

По этой причине актуальной проблемой является разработка принципов оценки параметров, отличных от принципов полного перебора. Они должны обеспечивать более высокую производительность. Одним из таких принципов является итерационный метод оценки параметров. В данной статье представлен алгоритм совмещения, в основе которого лежит итерационная процедура.

### Обзор существующих работ

Задача совмещения изображений известна очень давно, и по этой причине разработаны различные подходы, позволяющие повысить скорость обработки.

Также следует отметить, что ряд подходов не являются универсальными и позволяют решить задачу, если выполняются определенные ограничения.

Если совмещаемые изображения связаны между собой только плоскопараллельным смещением, то для повышения скорости вычислений может быть использовано:

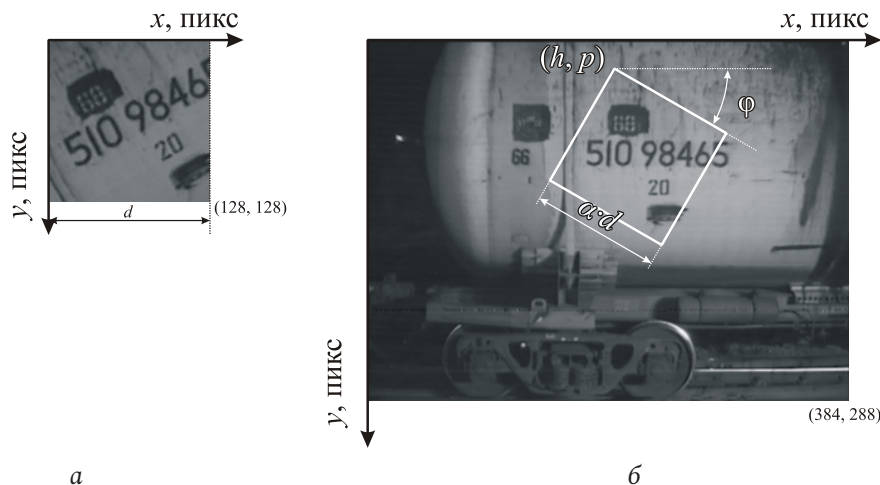


Рис. 1. Исходные изображения:  $f(x, y)$  (а),  $g(x, y)$  (б)  
Fig. 1. Initial images:  $f(x, y)$  (a),  $g(x, y)$  (b)

– расчет сверток на базе преобразования Фурье [4; 7–9];

– метод «пирамид изображений» для уменьшения размерности данных в  $2^n \times 2^n$  раз [10; 11].

Если совмещаемые изображения связаны между собой плоскопараллельным смещением и смещение сравнимо по величине с шагом дискретизации, то для повышения скорости вычислений может быть использован метод линейризации [12]. Производится разложение сигналов в ряд, и параметры оцениваются в результате решения системы линейных уравнений.

Также существует модификация этого метода для учета поворота, если угол не превышает  $15^\circ$ . Авторы статьи [13] предлагают кроме разложения сигналов в ряд вводить замену тригонометрических функций синуса и косинуса на приближенные значения. Повышение скорости вычислений также обеспечивается за счет решения в аналитическом виде.

Если совмещаемые изображения связаны между собой смещением, масштабом и поворотом, то для повышения скорости вычислений может быть использован метод сопоставления реперных точек. Реперные точки – это, как правило, локальные экстремумы. Сопоставление реперных точек проводится за счет совмещения фрагментов в окрестности этих точек. Фрагменты содержат меньшее количество элементов, чем исходные изображения. За счет этого получается выигрыш в скорости обработки. Этот метод часто ассоциируется с дескрипторами [14–16], которые представляют собой вектор, описывающий фрагмент изображения, малочувствительный к масштабным искажениям и повороту. Серьезным недостатком

этого метода является неверное сопоставление отдельных фрагментов и, соответственно, последующее исправление данной ситуации.

Если смещение не превышает  $\pm 10\%$  исходного изображения, масштаб  $\pm 20\%$ , а поворот  $\pm 30^\circ$ , то можно использовать метод раздельной оценки [4–7]. В методе отдельно друг от друга оцениваются две группы параметров:

- смещения вдоль координатных осей;
- масштаб и поворот.

При этом используются декартовая и логарифмически-полярная системы координат. Метод позволяет уменьшить число преобразований изображений (в сравнении с методом проверки всех возможных комбинаций), тем самым обеспечивая повышение скорости обработки.

Разработанный итерационный алгоритм наиболее близок к алгоритмам раздельной оценки параметров совмещения. Но он характеризуется менее строгими ограничениями по масштабу ( $\pm 50\%$ ) и повороту ( $\pm 180^\circ$ ).

#### Исходные данные

На рис. 1 представлены изображения, которые будут использованы для совмещения.

На рис. 1, а содержится изображение  $f(x, y)$ , которое является фрагментом изображения  $g(x, y)$ . На рис. 1, б на изображении  $g(x, y)$  показана область, соответствующая  $f(x, y)$ .

Параметры совмещения:

- смещение вдоль оси абсцисс:  $h = 200$  пикселей;
- смещение вдоль оси ординат:  $p = 20$  пикселей;
- масштаб:  $\alpha = 0,8$ ;
- поворот:  $\varphi = 30^\circ$ ;
- мультипликативная помеха:  $\lambda = 1,2$ ;

– аддитивная помеха:  $\gamma = 20$  у. е.

*Примечание:* у. е. описывает яркости пикселя изображения, кодируемые числом от 0 до 255 у. е.

Эти сигналы будут использованы для проведения численного моделирования для тестирования разработанного алгоритма.

### Исходные данные

Изображение представляет собой двумерный сигнал с равномерным шагом дискретизации.

Параметрическая модель, связывающая между собой изображения, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} f(x_i, y_i) = s(x_i, y_i) + k(x_i, y_i); \\ g(x_i, y_i) = \lambda s(u_i, w_i) + \gamma + m(x_i, y_i), \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} u_i = \alpha x_i \cos(\varphi) - \alpha y_i \sin(\varphi) + h; \\ w_i = \alpha x_i \sin(\varphi) + \alpha y_i \cos(\varphi) + p, \end{cases} \quad (2)$$

где  $f(x, y)$ ,  $g(x, y)$  – совмещаемые изображения;  $h, p$  – смещения вдоль оси абсцисс и ординат;  $\alpha$  – масштаб;  $\varphi$  – поворот;  $\lambda, \gamma$  – мультипликативная и аддитивная помехи.

Совмещение определяется параметрами  $\{h, p, \alpha, \varphi, \lambda, \gamma\}$ . Для оценки параметров будет использован критерий максимума коэффициента корреляции:

$$\begin{aligned} R(\theta) = & \left\{ \left( \sum_{i=1}^N g(x_i, y_i) \cdot f(x_i, y_i, \theta) \right) / N - \right. \\ & \left. - \left( \left( \sum_{i=1}^N g(x_i, y_i) \right) / N \right) \left( \left( \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i, \theta) \right) / N \right) \right\} / \\ & \left\{ \left( \sum_{i=1}^N g^2(x_i, y_i) - \left( \sum_{i=1}^N g(x_i, y_i) \right)^2 / N \right)^{1/2} \times \right. \\ & \left. \times \left( \sum_{i=1}^N f^2(x_i, y_i, \theta) - \left( \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i, \theta) \right)^2 / N \right)^{1/2} \right\}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta} (R(\theta)), \quad (4)$$

где  $\theta = \{h, p, \alpha, \varphi, \lambda, \gamma\}$ ,  $N$  – это количество пикселей изображения.

Критерий, основанный на вычислении коэффициента корреляции, не зависит от параметров  $\lambda$  и  $\gamma$ . В этом можно убедиться, рассчитав коэффициент корреляции для двух произвольных векторов  $\{I_i, Y_i\}$  и для  $\{Z_i = \lambda I_i + \gamma, Y_i\}$ . Коэффициент корреляции для  $\{I_i, Y_i\}$  будет равен коэффициенту для  $\{Z_i, Y_i\}$ .

По этой причине, если оценены параметры  $\{\hat{h}, \hat{p}, \hat{\alpha}, \hat{\varphi}\}$ , то параметры  $\{\lambda, \gamma\}$  могут быть оценены по методу наименьших квадратов:

$$\begin{aligned} \langle \hat{\lambda}, \hat{\gamma} \rangle = \\ = \arg \min_{\lambda, \gamma} \left( \sum_{i=1}^N (\lambda f(x_i, y_i, \theta) + \gamma - g(x_i, y_i))^2 \right). \end{aligned} \quad (5)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{Sg \cdot Sf - N \cdot Sfg}{Sf^2 - N \cdot Ef}, \quad (6)$$

$$\hat{\gamma} = \frac{Sg \cdot Sfg - Sg \cdot Ef}{Sf^2 - N \cdot Ef}, \quad (7)$$

где

$$Sf = \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i, \theta), \quad Sg = \sum_{i=1}^N g(x_i),$$

$$Sfg = \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i, \theta) g(x_i),$$

$$Ef = \sum_{i=1}^N f^2(x_i, y_i, \theta), \quad \theta = \{\hat{h}, \hat{p}, \hat{\alpha}, \hat{\varphi}\},$$

$f(x_i, y_i, \theta)$  – сигнал после преобразования с учетом найденных смещений, масштаба и угла поворота.

Таким образом, количество параметров, которые достаточно оценить, уменьшается с шести до четырех.

### Оценка масштаба и поворота

Если известно соответствие между двумя точками на изображениях, то можно оценить масштаб и поворот, используя логарифмически-полярную систему координат.

Пусть точка  $(x_0, y_0)$  изображения  $f$  соответствует точке  $(u_0, w_0)$  изображения  $g$  и пусть эти точки связаны между собой выражением (2), т. е. индекс  $i = 0$ . Пусть некоторая точка  $(x, y)$  изображения  $f$  соответствует точке  $(u, w)$  изображения  $g$ .

Обозначим координату точки  $(x, y)$  относительно  $(x_0, y_0)$  в логарифмически-полярной системе координат как  $(r, \text{ang})$ . Их значения будут определяться по формулам:

$$\rho = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}, \quad (8)$$

$$r = \log_2(\rho), \quad (9)$$

$$\text{ang} = \text{atan2}(x - x_0, y - y_0). \quad (10)$$

*Примечание:*  $\text{atan2}$  – это функция с двумя параметрами, возвращает значение арктангенса выражения  $(y - y_0)/(x - x_0)$  в радианах, в отличие от арктангенса имеет область значений  $(-\pi; \pi)$  (в арктангенса  $(-\pi/2; \pi/2)$ ).

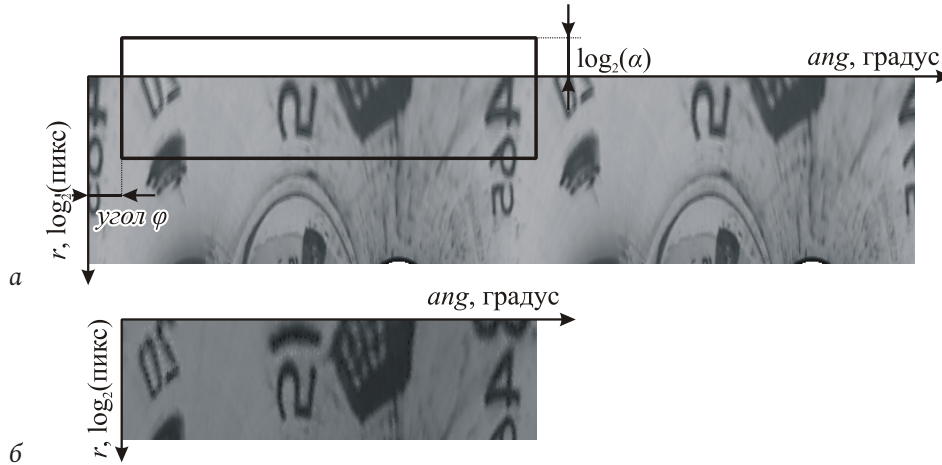


Рис. 2. Оценка масштаба и поворота  
 Fig. 2. Evaluation of scale and rotation

Координаты точки  $(u, w)$  относительно  $(u_0, w_0)$  в логарифмически-полярной системе координат обозначим как  $(r', ang')$ . Ниже представлен вывод выражений для них.

$$u - u_0 = \alpha(\cos(\varphi)x - \sin(\varphi)y).$$

$$w - w_0 = \alpha(\sin(\varphi)x + \cos(\varphi)y).$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \sqrt{(u - u_0)^2 + (w - w_0)^2} = \\ &= |\alpha| \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}. \end{aligned}$$

С учетом того что  $\alpha > 0$ , получаем:

$$\rho' = \alpha \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} = \alpha \rho.$$

$$r' = \log_2(\rho') = \log_2(\alpha) + \log_2(\rho) = \log_2(\alpha) + r. \quad (11)$$

Рассмотрим выражение:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(ang') &= \frac{w - w_0}{u - u_0} = \\ &= \frac{\sin(\varphi)(x - x_0) + \cos(\varphi)(y - y_0)}{\cos(\varphi)(x - x_0) - \sin(\varphi)(y - y_0)}. \end{aligned}$$

Если умножить числитель и знаменатель дроби на выражение  $\frac{1}{\cos(\varphi)(x - x_0)}$ , то выражение  $\operatorname{tg}(ang')$  можно записать в виде

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(ang') &= \frac{\operatorname{tg}(\varphi) + \frac{(y - y_0)}{(x - x_0)}}{1 - \operatorname{tg}(\varphi) \frac{(y - y_0)}{(x - x_0)}} = \\ &= \frac{\operatorname{tg}(\varphi) + \operatorname{tg}(ang)}{1 - \operatorname{tg}(\varphi) \operatorname{tg}(ang)} = \operatorname{tg}(\varphi + ang). \end{aligned}$$

$$ang' = ang + \varphi. \quad (12)$$

Таким образом, можно записать, что

$$(r', ang') = (r + \log_2(\alpha), ang + \varphi). \quad (13)$$

Это означает, что оценить масштаб и поворот можно путем оценки смещения по изображениям, представленным в логарифмически-полярной системе координат.

На рис. 2 показан пример оценки масштаба и поворота по изображениям в логарифмически-полярной системе координат. На рис. 2, а показано изображение  $g$ . На рис. 2, б приведен фрагмент, соответствующий изображению  $f$ . Он выделен прямоугольником. Смещения вдоль осей определяют масштаб и поворот.

При известном значении масштаба и поворота изображение  $f$  можно преобразовать таким образом, чтобы оно являлось фрагментом изображения  $g$ , которое можно совместить плоскопараллельным смещением. Оценить смещения можно известными способами [8–11].

Сложность реализации описанного подхода заключается в том, что неизвестны реперные точки  $(x_0, y_0)$  и  $(u_0, w_0)$  на изображениях  $f$  и  $g$ , которые позволили бы оценить сначала масштаб и поворот, а затем смещения.

Однако если координаты этих точек известны с некоторой погрешностью, то разработанный алгоритм позволяет уточнить первоначально выбранные координаты реперных точек, тем самым обеспечивая совмещение телевизионных сигналов.

### Описание алгоритма

Исходными данными являются:  $f(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, \dots, N$  – первое изображение,  $g(u_j, w_j)$ ,  $j = 1, \dots, K$  – второе изображение.

*Примечание:* координаты пикселей сигнала  $g$  переобозначены как  $(u, w)$  вместо  $(x, y)$ , чтобы было очевидно, какое изображение обрабатывается на том или ином шаге алгоритма.

Выходными данными являются:  $\hat{h}$ ,  $\hat{p}$  – смещения вдоль координатных осей;  $\hat{\phi}$ ,  $\hat{\alpha}$  – угол поворота и масштаб;  $\hat{\gamma}$ ,  $\hat{\lambda}$  – значение аддитивной и мультипликативной помех.

Алгоритм состоит из следующих шагов.

1. Загрузка изображений  $f(x_i, y_i)$  и  $g(u_j, w_j)$ .

2. Предварительный выбор точек  $(x_0, y_0)$  и  $(u_0, w_0)$ .

*Примечание:* так как изображение  $f$  является фрагментом изображения  $g$ , то координаты  $(x_0, y_0)$  фиксируются и не меняются; для удобства представления в логарифмически-полярной системе они равняются координатам центрально пикселя (т. е. при размере  $128 \times 128$  пикселей,  $(x_0, y_0) = (64, 64)$ ); координаты  $(u_0, w_0)$  неизвестны, по этой причине используется метод перебора, однако шаг может выбираться из условия 0,1 размера изображения, при размерах  $128 \times 128$  пикселей шаг был выбран равным 10 пикселей (т. е. немного меньше, чем 12,8); другими словами, проверялись координаты  $u_0 = 1, 11 \dots 381$ ,  $w_0 = 1, 11, \dots 281$  (размер изображения  $g$  равняется  $288 \times 384$ ).

3. Выбор количества итераций  $L$  (*примеч.:* в работе  $L = 4$ ).

4. Инициализация матрицы преобразования в соответствии с количеством итераций:

$$M_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, M_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots M_L = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

5. Цикл по количеству итераций,  $k = 1$ .

5.1. Определение промежуточной матрицы преобразования  $Mres$ :

если  $k = 1$ , то  $Mres = M_1$ ,

если  $k = 2$ , то  $Mres = M_2 M_1$ ,

...

если  $k = L$ , то  $Mres = M_L \dots M_2 M_1$ .

5.2. Вычисление положения точек первого изображения  $(x'_i, y'_i)$  в соответствии с матрицей преобразования  $Mres$ :

$$x'_i = x_i Mres(1,1) + y_i Mres(1,2) + Mres(1,3),$$

$$y'_i = x_i Mres(2,1) + y_i Mres(2,2) + Mres(2,3).$$

5.3. Вычисление координат реперных точек, относительно которых происходит преобразование из декартовой в логарифмически-полярную систему координат:

$$X_0 = x_0 Mres(1,1) + y_0 Mres(1,2) + Mres(1,3),$$

$$Y_0 = x_0 Mres(2,1) + y_0 Mres(2,2) + Mres(2,3),$$

$$U_0 = X_0,$$

$$W_0 = Y_0.$$

5.4. Вычисление матрицы  $M_k$  по данным  $f(x'_i, y'_i)$ ,  $(X_0, Y_0)$ ,  $g(u_j, w_j)$ ,  $(U_0, W_0)$  согласно процедуре отдельной оценки параметров (процедура описана ниже).

5.5. Проверка на выход из цикла:  $k = k + 1$ , если  $k \geq L$ , то выход из цикла, в противном случае переход к п. 5.1.

6. Оценка параметров  $\hat{h}$ ,  $\hat{p}$ ,  $\hat{\phi}$ ,  $\hat{\alpha}$  по матрице  $Mres$ :

$$\hat{h} = Mres(1,3), \quad \hat{p} = Mres(2,3),$$

$$\hat{\alpha} = \sqrt{Mres^2(1,1) + Mres^2(1,2)},$$

$$\hat{\phi} = \arcsin \left( \frac{Mres(2,1)}{\sqrt{Mres^2(1,1) + Mres^2(1,2)}} \right) 180 / \pi.$$

7. Оценка параметров  $\hat{\gamma}$ ,  $\hat{\lambda}$  по формулам (6)–(7):

8. Выход из программы.

Ниже описана процедура отдельной оценки параметров (п. 5.4).

Входные данные:  $f(x'_i, y'_i)$ ,  $i = 1, \dots, N$  – первое изображение,  $g(u_j, w_j)$ ,  $j = 1, \dots, K$  – второе изображение.  $(X_0, Y_0)$ ,  $(U_0, W_0)$  – реперные точки.

Выходные данные:  $M$  – матрица преобразования размером  $[3 \times 3]$ .

1. Преобразование координат  $(x'_i, y'_i)$  в логарифмически-полярную систему координат относительно точки  $(X_0, Y_0)$ .

2. Преобразование координат  $(u_j, w_j)$  в логарифмически-полярную систему координат относительно точки  $(U_0, W_0)$ .

3. Совмещение сигналов  $f$  и  $g$  в логарифмически-полярной системе. В результате оцениваются смещения  $\log_2(ar)$  и  $\phi r$  (см. рис. 2).

4. Вычисление промежуточной матрицы преобразования:

$$mA = \begin{bmatrix} ar \cos(\phi r) & -ar \sin(\phi r) \\ ar \sin(\phi r) & ar \cos(\phi r) \\ 0 & 0 \\ U_0 - (x_0 \cos(\phi r) - y_0 \sin(\phi r)) \\ W_0 - (x_0 \sin(\phi r) + y_0 \cos(\phi r)) \\ 1 \end{bmatrix}.$$

5. Преобразование координат  $(x'_i, y'_i)$  в соответствии с матрицей  $mA$ . Формирование  $(x''_i, y''_i)$ .

6. Совмещение сигналов  $f(x''_i, y''_i)$  и  $g(u, w)$  в декартовой системе координат. В результате оцениваются смещения вдоль координатных осей  $hr$  и  $pr$ .

7. Вычисление промежуточной матрицы преобразования:

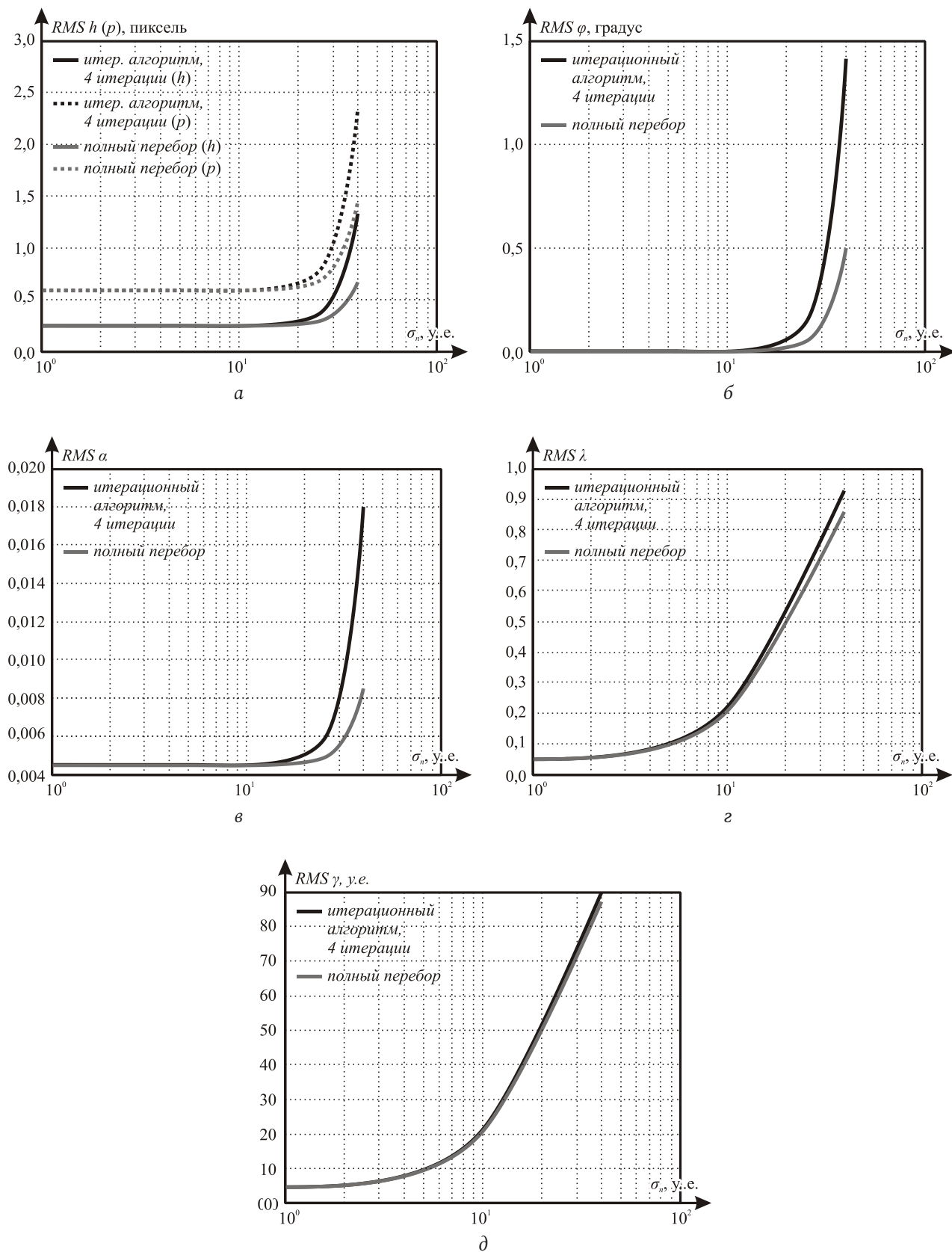


Рис. 3. Погрешность оценки параметров  
 Fig. 3. Error in parameter estimation

$$mB = \begin{bmatrix} 1 & 0 & hr \\ 0 & 1 & pr \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

8. Вычисление выходной матрицы  $M$ :

$$M = mB \cdot mA.$$

### Численное моделирование

Для определения погрешности оценки параметров совмещения было проведено численное моделирование, которое заключалось в добавлении помехи с гауссовым распределением к ординатам одномерных сигналов.

При выбранном значении мощности (дисперсии помехи,  $\sigma_n^2$ ) проводилась серия опытов, по которым оценивалась погрешность оценки параметра.

В качестве погрешности выступало значение среднеквадратичной величины (RMS):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - a)^2}{n}}, \quad (14)$$

где  $a$  – действительное значение параметра;  $a_i$  – измеренное значение параметра в  $i$ -м опыте;  $n$  – количество опытов.

По результатам численного моделирования был построен график зависимости RMS от среднеквадратичного отклонения (СКО) помехи ( $\sigma_n$ ).

Результаты численного моделирования приведены на рис. 3.

Разработанный алгоритм сравнивался с алгоритмом полного перебора: проверялись все возможные варианты точки  $(u_0, w_0)$ , т. е.  $u_0 = 1,2 \dots 384$ ,  $w_0 = 1,2 \dots 288$ . И для каждой точки происходило преобразование в логарифмически-полярную си-

стему координат. Погрешности у обоих алгоритмов почти совпадают. Различия наблюдаются при мощности шума  $\sigma_n > 20$  у. е. Различия возникают вследствие того, что итерационный процесс не приводит к верной оценке параметров за четыре итерации. При увеличении количества итераций до шести графики погрешностей у сравниваемых алгоритмов совпадают. Однако увеличение итераций ожидаемо приводит к снижению скорости обработки и оправдано только при высоком уровне шума, который, как правило, свидетельствует о нештатной работе телевизионного оборудования.

Скорость вычисления у разработанного алгоритма при четырех итерациях в 25 раз выше, чем у алгоритма полного перебора.

Таким образом, разработанный алгоритм характеризуется погрешностью оценки параметров, как в алгоритме полного перебора, но обладает более высоким быстродействием.

### Заключение

Разработанный алгоритм был апробирован для поиска изображений в потоковом видео в видеосистеме вагона-путьеизмерителя в рамках задачи индексации («быстрого поиска»).

Разработанный алгоритм может быть использован в медицинских целях, в аэрокосмической отрасли, охранных системах и для расширения функциональных возможностей многокамерных систем технического зрения.

Разработанный алгоритм обеспечивает высокую скорость обработки видеоданных и может быть использован в задачах совмещения изображений, ориентированных на работу в режиме реального времени.

### Список литературы

1. Сунгатуллина Д.И. Быстрый алгоритм совмещения контуров изображений, связанных изотропным аффинным преобразованием // Графикон 2014. 2014. С. 92–95.
2. Ефимов А.И. Разработка и исследование алгоритмов совмещения изображений от бортовых видеодатчиков с виртуальной моделью местности: дис. ... канд. тех. наук. Рязань: Издательство Рязанского государственного радиотехнического университета, 2016. 172 с.
3. Ефимов А.И., Новиков А.И. Алгоритм поэтапного уточнения проективного преобразования для совмещения изображений // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40, № 2. С. 258–265. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2016-40-2-258-265>
4. Мясников Е.В. Определение параметров геометрических трансформаций для совмещения портретных изображений // Компьютерная оптика. 2007. Т. 31, № 3. С. 77–82.
5. Reddy B., Chatterji B. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration // IEEE Transactions on Image Processing. 1996. Vol. 5, no. 27. P. 1266–1271. DOI: <https://doi.org/10.1109/83.506761>
6. Phase correlation based image alignment with subpixel accuracy / A. Alba [et al.] // 11th Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICAI 2012). 2012. Vol. 7629. P. 171–182. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-37807-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-37807-2_15)
7. Evangelidis G., Psarakis E. Parametric image alignment using enhanced correlation coefficient maximization // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2008. Vol. 30, no. 27. P. 1858–1865. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2008.113>
8. Богатырева В.В., Дмитриев А.Л. Оптические методы обработки информации. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 74 с.

9. Акаев А.А., Майоров С.А. Оптические методы обработки информации: репринтное воспроизведение издания 1988 года. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. 259 с.
10. Pyramid methods in image processing / E.H. Adelson [et al.] // *Computer Science*. 1988. P. 33–41.
11. Бессмельцев В.П., Булушев Е.Д., Быстрый алгоритм совмещения изображений для контроля качества лазерной микрообработки // *Компьютерная оптика*. 2014. Т. 38, № 2. С. 343–350.
12. Lucas B.D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision // *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI, Vancouver, Canada, 24–28 August 1981)*. 1981. P. 121–130.
13. Мачнев А.М., Жук С.Я. Беспойсковый алгоритм определения угла поворота изображений // *Вісник Національного технічного університету України «КПІ»*. 2008. № 37. С. 33–37.
14. Lowe D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints // *International Journal Computer Vision*. 2004. Vol. 60, no. 2. P. 91–110. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>
15. Applicability of the SIFT operator to geometric SAR image registration / P. Schwind [et al.] // *International Journal Remote Sens*. 2010. Vol. 31, no. 8. P. 1959–1980. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160902927622>
16. SURF: Speeded up robust features / H. Bay [et al.] // *Computer Vision and Image Understanding*. 2008. Vol. 110, no. 3. P. 346–359. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014>

## References

1. Sungatullina D.I. Fast algorithm for combining edges of images connected by isotropic affine transform. *Grafikon 2014*, 2014, pp. 92–95. (In Russ.)
2. Efimov A.I. Development and Research of Algorithms for Combining Images from On-Board Video Sensors with a Virtual Terrain Model: Diss. ... Cand. Techn. Sciences. Rjazan': Izdatel'stvo Rjazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta, 2016, 172 p. (In Russ.)
3. Efimov A.I., Novikov A.I. Algorithm for step-by-step refinement of the projective transformation for image alignment. *Komp'yuternaja optika*, 2016, vol. 40, no. 2, pp. 258–265. DOI: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2016-40-2-258-265> (In Russ.)
4. Mjasnikov E.V. Determination of parameters of geometric transformations for combining portrait images. *Komp'yuternaja optika*, 2007, vol. 31, no. 3, pp. 77–82. (In Russ.)
5. Reddy B., Chatterji B. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1996, vol. 5, no. 27, pp. 1266–1271. DOI: <https://doi.org/10.1109/83.506761>
6. Alba A. et al. Phase correlation based image alignment with subpixel accuracy. *11th Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICAI 2012)*. 2012. Vol. 7629, pp. 171–182. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-37807-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-37807-2_15)
7. Evangelidis G., Psarakis E. Parametric image alignment using enhanced correlation coefficient maximization. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2008, vol. 30, no. 27, pp. 1858–1865. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2008.113>
8. Bogatyreva V.V., Dmitriev A.L. *Optical Methods of Information Processing*. Saint Petersburg: SPbGU ITMO, 2009, 74 p. (In Russ.)
9. Akaev A.A., Majorov S.A. *Optical Methods of Information Processing: Reprint Reproduction of the 1988 Edition*. Saint Petersburg: SPbGU ITMO, 2005, 259 p. (In Russ.)
10. Adelson E.H. et al. Pyramid methods in image processing. *Computer Science*, 1988, pp. 33–41.
11. Bessmel'tsev V.P., Bulushev E.D. Fast image algorithm for quality control of laser micromachining. *Komp'yuternaja optika*, 2014, vol. 38, no. 2, pp. 343–350. (In Russ.)
12. Lucas B.D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI, Vancouver, Canada, 24–28 August 1981)*, 1981, pp. 121–130.
13. Machnev A.M., Zhuk S.Ya. Searchless algorithm for determining the angle of rotation of images. *Visnik Natsional'nogo tehnicnogo universitetu Ukraïni «KPI»*, 2008, no. 37, pp. 33–37. (In Russ.)
14. Lowe D.G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal Computer Vision*, 2004, vol. 60, no. 2, pp. 91–110. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>
15. Schwind P. et al. Applicability of the SIFT operator to geometric SAR image registration. *International Journal Remote Sens*, 2010, vol. 31, no. 8, pp. 1959–1980. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160902927622>
16. Bay H. et al. SURF: Speeded up robust features. *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, vol. 110, no. 3, pp. 346–359. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2007.09.014>

---

## Physics of Wave Processes and Radio Systems 2022, vol. 25, no. 1, pp. 36–44

DOI 10.18469/1810-3189.2022.25.1.36-44

Received 1 October 2021  
Accepted 1 November 2021

### Iterative algorithm for offsets, scale and rotate estimation for television image superposition with additive and multiplicative noise

Rinat R. Diyazitdinov 



Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics  
23, L. Tolstoy Street,  
Samara, 443010, Russia

*Abstract* – We describe the iterative algorithm for television image superposition. The superposition is defined by offsets, scale, and rotates. Also additive and multiplicative noise influences the image. The main aim of developing this algorithm is to reduce the time of processing images for estimation superposition parameters. Reducing processing time is provided by reducing the set of reference points, which defines the superposition. The initial coordinate of the reference points is refined at the process of the algorithm work for acceptable superposition of the television images. The superposition parameters are divided into two groups. Offsets belong to the first group, scale and rotate belong to the second group. The parameters in each group are estimated independently. The iterative procedure uses the offsets for estimation scale and rotate, and after it uses scale and rotates for estimation of the offsets. This process is repeated. The next iteration approximates the rate to the real value of the superposition parameters. The developed algorithm allows reducing processing time at 25 times faster than the brute force algorithm for the test data. The test data include two images; the first image has the resolution  $288 \times 384$  pixels, the second image has the resolution  $128 \times 128$  pixels. The second image is the fragment of the first image. Also at the end of the article, the numerical simulation had been presented. The simulation shows the dependences of error estimation of parameters from the noise power.

*Keywords* – superposition; image; iterative; offsets; scale; rotate; additive; multiplicative.

## Информация об авторе

Диязитдинов Ринат Радмирович, кандидат технических наук, доцент кафедры сетей и систем связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* обработка изображений, компьютерная оптика, триангуляционные системы.

*E-mail:* rinat.diyazitdinov@gmail.com

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-6360-0351>

## Information about the Author

Rinat R. Diyazitdinov, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Networks and Communication Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia.

*Research interests:* image processing, computer optics, triangulation system.

*E-mail:* rinat.diyazitdinov@gmail.com

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-6360-0351>

Неганов, В.А.

**Теория и применение устройств СВЧ: учебн. пособие для вузов / В.А. Неганов, Г.П. Яровой; под ред. В.А. Неганова.** – М.: Радио и связь, 2006. – 720 с.



ISBN 5-256-01812-4

УДК 621.396.67

ББК 32.840

Н 41

В учебном пособии рассматриваются методы проектирования и конструктивной реализации устройств СВЧ: линий передачи различных видов, резонаторов, согласующих и трансформирующих устройств, фильтров, фазовращателей, аттенюаторов, тройниковых соединений, направленных ответвителей, различных мостовых соединений, ферритовых устройств (вентилей, циркуляторов, фазовращателей) и СВЧ-устройств на полупроводниковых диодах (умножителей, смесителей, переключателей, выключателей). Приводятся примеры применения устройств СВЧ в радиосвязи, радиолокации, измерительной аппаратуре и т. д. В книгу вошел оригинальный материал, полученный авторами. Учебное пособие может использоваться как справочник по устройствам СВЧ.

*Для специалистов в области теории и техники СВЧ, преподавателей вузов, докторантов, аспирантов, студентов старших курсов радиотехнического и радиофизического профиля.*