

- (WECNF-2020): *materialy XXIII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*. Saint Petersburg, 2020, pp. 224–235. (In Russ.)
4. Najafabadi Z.H. Impact of wireless channel uncertainty upon M-ary distributed detection systems. Stars library university of Central Florida, 2016, pp. 1–29.
  5. Liu Y., Li F., Hu G. Performance Analysis of Cooperative Spectrum Sensing under Noise Uncertainty. *Applied Mathematics and Information Sciences*, 2012, no. 6-2S, pp.587S–593S.
  6. Sahai A., Hoven N., Tandra R. Some fundamental limits on cognitive radio. *Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*. Monticello, Illinois, 2004, pp. 1–11.
  7. Olivieri M.P. et al. A scalable dynamic spectrum allocation system with interference mitigation for teams of spectrally agile software defined radios. *IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*. Baltimore, 2005, pp.170–179.
  8. Weidling F. et al. A framework for RF spectrum measurements and analysis. *IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*. Baltimore, 2005, vol. 1, pp. 573–576.
  9. Lehtomäki J. et al. Spectrum sensing with forward methods. *IEEE Military Communications Conference*. Washington, 2006, pp. 1–7.
  10. Tang H. Some physical layer issues of wide-band cognitive radio systems. *IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*. Baltimore, 2005, pp.151–159.

Received 16.05.2023

УДК 681.518.5

## МЕТОД ИТЕРАЦИОННОГО СОВМЕЩЕНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ НА БАЗЕ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Диязитдинов Р.Р.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: r.diyazitdinov@psuti.ru

Представлен метод совмещения телевизионных сигналов для систем технического зрения на базе линеаризации. Актуальность разработанного метода заключается в уменьшении погрешности при совмещении сигналов на фоне помех, возникающих из-за изменения условий освещенности, а также в обеспечении высокой скорости обработки. Показано, что идея совмещения заключается в замене в математической модели совмещаемых сигналов тригонометрических функций на приближенные значения, и в добавлении в модель двух переменных – аддитивной и мультипликативной составляющей. Оценка всех параметров совмещения проводится в результате решения системы линейных уравнений, которая определяется в результате разложения совмещаемого сигнала в ряд Тейлора. Проведен эксперимент, показывающий корректное совмещение телевизионных сигналов с помощью предложенного метода, а также сделано сравнение с методом полного перебора по показателям погрешности измерения и скорости обработки. Отмечено, что работа будет полезна для разработчиков измерительных систем технического зрения, в которых обработка ведется в режиме реального времени.

**Ключевые слова:** совмещение, итерационный, телевизионный сигнал, линеаризация, техническое зрение, оптический поток, аддитивная и мультипликативная составляющая

### Введение

Обработка сигналов систем видеонаблюдения, и, в том числе, технического зрения, является перспективным направлением в науке и промышленной технике.

Телевизионный сигнал обладает высокой информативностью по сравнению с сигналами от датчиков (акселерометров, гироскопов, одометров и т.д.). Эта особенность позволяет исполь-

зовать телевизионные сигналы для построения интеллектуальных систем технического зрения. Одной из важных задач при обработке является совмещение сигналов. Эта задача возникает при распознавании объектов, слежении за движущимися объектами, определении их положения, формировании панорамных изображений, сжатии видеосигналов и т.д.

Развитие современной вычислительной техники позволяет решать многие задачи обработки

в режиме реального времени. По этой причине разработчики методов и алгоритмов совмещения телевизионных сигналов сосредотачивают свои усилия не только на уменьшении погрешности, но и на оптимизации скорости обработки, чтобы выполнить это требование.

### Релевантные работы

Анализ работ по обработке сигналов позволил выделить несколько направлений исследований в области совмещения.

Первое направление связано с классической теорией оценивания параметров с помощью проверки всех гипотез (переборные методы). Известные параметры оцениваются путем сравнения телевизионных сигналов по минимуму среднеквадратичного отклонения [1–4]. Другой почти аналогичный критерий основан на определении максимального значения коэффициента корреляции [2; 3; 5]. Если среди неизвестных параметров есть угол разворота, то для использования переборных алгоритмов, необходимо генерировать множество шаблонов [2], каждый из которых будет соответствовать некоторому углу поворота [6; 7]. Переборные методы характеризуются низкой погрешностью измерений. Однако их существенным недостатком является наличие высоких требований к вычислительной мощности.

Одним из способов повышения скорости обработки является Фурье-преобразование, которое позволяет уменьшить время расчета среднеквадратичного отклонения и корреляции [8–14].

Для оценки смещений достаточно использования одномерного преобразования Фурье над проекциями изображения на координатные оси [12]. Так как при сдвиге изображения модуль преобразования Фурье меняться не будет, а будет меняться только фазовая составляющая, то этот метод получил название фазовой корреляции изображений [11]. В работе [13] предлагается модификация метода фазовой корреляции, который позволяет проводить совмещение с учетом смещения и угла поворота.

В ряде работ [10; 14; 15] для совмещения изображений по смещению и углу поворота также используется преобразование Фурье. Для упрощения процедуры оценки поворота производится переход к логарифмически-полярной системе координат. Однако эти подходы ограничиваются совмещением с точностью, сравнимой с размером пикселя.

Другое направление совмещения основано на предположении, что на изображении можно выделить особые точки, которым в соот-

ветствии ставятся особые точки на эталонном изображении [16–18]. Параметры совмещения определяются путем решения системы уравнений. Недостатком этого подхода является высокая чувствительность к шуму, что не позволяет работать с реальными изображениями, которые подвержены не только аддитивным шумам и линейным искажениям, но и различного рода нелинейным искажениями (засветкам) [16; 18].

В основе исследований, связанных с линеаризацией, лежит идея разложения обрабатываемого сигнала в ряд Тейлора по аргументам, соответствующим параметрам совмещения. Для формирования линейной зависимости производится отбрасывание всех элементов ряда выше первого порядка. В результате формируется система линейных уравнений, решение которой определяет неизвестные параметры совмещения.

Основоположниками этого метода для совмещения телевизионных сигналов являются ученые Lucas и Kanade [19; 20]. Математическая модель для описания обрабатываемых сигналов с одной стороны является простой, а с другой стороны – удовлетворительно описывающей реальные геометрические трансформации для совмещения. Это определило ее повсеместное использование в различных научных и практических исследованиях. В научной литературе метод Lucas-Kanade часто называется методом оценки оптического потока (optical flow).

Существуют различные модификации метода:

- более точное вычисление частных производных за счет использования полиномов [22];
- удаление импульсных помех за счет анализа данных в смежных фрагментах изображения;
- оценка угла поворота [23–25] за счет использования приближенных значений тригонометрических функций.

В этой статье рассматривается задача, которая не рассматривалась в других исследованиях: одновременная оценка трех параметров (двух смещений вдоль координатных осей и угла поворота) на фоне помех, возникающих из-за изменения условий освещенности (аддитивная и мультипликативная составляющая). Для решения этой задачи был разработан метод на базе линеаризации, который является обобщением работ [19; 20; 23–25].

Метод совмещения телевизионных сигналов при влиянии аддитивной и мультипликативной помех.

Допустим  $f(x, y)$  и  $g(x, y)$  – это обрабатываемые сигналы. Для цифровых телевизионных сигналов (изображений) аргументы  $(x, y)$  принимают дискретные значения  $(x_i, y_j)$ .

Сигналы  $f(x, y)$  и  $g(x, y)$  получены в результате регистрации некоторого исходного сигнала  $s(x, y)$  в различные моменты времени. Параметры геометрической трансформации, определяются тремя параметрами: двумя смещениями вдоль осей, углом поворота, а яркостные характеристики из-за изменения освещенности описываются: аддитивной и мультипликативной составляющей.

Таким образом, можно записать:

$$f(x_i, y_i) = s(x_i, y_i) + k(x_i, y_i), \quad (1)$$

$$g(x_i, y_i) = \lambda s(x'_i, y'_i) + \gamma + m(x_i, y_i), \quad (2)$$

где  $x'_i = x_i \cdot \cos(\alpha) - y_i \cdot \sin(\alpha) + h$ ,

$$y'_i = x_i \cdot \sin(\alpha) + y_i \cdot \cos(\alpha) + p,$$

$h, p$  – смещения, которые необходимо оценить,

$\alpha$  – угол поворота, который необходимо оценить,

$\lambda$  – мультипликативная составляющая,

$\gamma$  – аддитивная составляющая,

$k(x_i, y_i)$ ,  $m(x_i, y_i)$  – реализации шума.

В формулу (1) подставим значения  $x'_i, y'_i$  вместо  $x, y$  и выразим функцию  $s(x, y)$ :

$$s(x'_i, y'_i) = f(x'_i, y'_i) - k(x'_i, y'_i), \quad (3)$$

Подставим выражение (3) в формулу (2), получим:

$$g(x_i, y_i) = \lambda [f(x'_i, y'_i) - k(x'_i, y'_i)] + \gamma + m(x_i, y_i).$$

После подстановки выражений для  $x'_i, y'_i$  и введения обозначения:

$$n(x_i, y_i) = -\lambda k(x'_i, y'_i) + m(x_i, y_i),$$

можно записать:

$$g(x_i, y_i) = \lambda \cdot f(x_i \cdot \cos(\alpha) - y_i \cdot \sin(\alpha) + h,$$

$$x_i \cdot \sin(\alpha) + y_i \cdot \cos(\alpha) + p) + \gamma + n(x_i, y_i).$$

Если положить, что угол  $\alpha$  мал, то можно сделать следующую замену:

$\cos(\alpha) \approx 1$ ,  $\sin(\alpha) \approx \alpha$ , тогда можно записать:

$$\lambda \cdot f(x_i \cdot \cos(\alpha) - y_i \cdot \sin(\alpha) + h,$$

$$x_i \cdot \sin(\alpha) + y_i \cdot \cos(\alpha) + p) + \gamma \approx$$

$$\approx \lambda \cdot f(x_i - y_i \cdot \alpha + h, x_i \cdot \alpha + y_i + p) + \gamma =$$

$$= \lambda f(x_i + (h - y_i \cdot \alpha), y_i + (p + x_i \cdot \alpha)) + \gamma.$$

Раскладывая функцию  $f$  в окрестности точки  $(x_i, y_i)$ , получим:

$$f(x_i + (h - y_i \cdot \alpha), y_i + (p + x_i \cdot \alpha)) \approx$$

$$\approx f(x_i, y_i) + \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x} \cdot (h - y_i \cdot \alpha) +$$

$$+ \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y} \cdot (p + x_i \cdot \alpha).$$

Вводя обозначения:

$$q(x_i, y_i) = \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial x} \approx \frac{f(x_{i+1}, y_i) - f(x_i, y_i)}{x_{i+1} - x_i}$$

$$r(x_i, y_i) = \frac{\partial f(x_i, y_i)}{\partial y} \approx \frac{f(x_i, y_{i+1}) - f(x_i, y_i)}{y_{i+1} - y_i},$$

получаем результирующее выражение:

$$g(x_i, y_i) = \lambda \cdot f(x_i \cdot \cos(\alpha) - y_i \cdot \sin(\alpha) + h,$$

$$x_i \cdot \sin(\alpha) + y_i \cdot \cos(\alpha) + p) + \gamma \approx$$

$$\approx \lambda f(x_i, y_i) + \lambda q(x_i, y_i) \cdot (h - y_i \cdot \alpha) +$$

$$+ \lambda r(x_i, y_i) \cdot (p + x_i \cdot \alpha) + \gamma.$$

Для оценки параметров  $h, p, \alpha, \lambda$  и  $\gamma$  воспользуемся методом наименьших квадратов (МНК):

$$F = \sum_{i=1}^N (g(x_i, y_i) - \lambda f(x_i, y_i) - \lambda q(x_i, y_i) \times$$

$$\times (h - y_i \cdot \alpha) - \lambda r(x_i, y_i) \cdot (p + x_i \cdot \alpha) - \gamma)^2 \rightarrow \min.$$

Решение определяется путем приравнивания частных производных к нулю. В результате определяется система линейных уравнений (смотреть \*).

Система линейных уравнений решается относительно  $h, p, \mu, \varepsilon, \varphi$ .

### Итерационная обработка

Так как для оценки параметров совмещения использовалось разложение в ряд Тейлора, то полученное решение будет содержать методическую погрешность. Она возникает из-за отбрасывания элементов ряда выше первого порядка.

Чтобы уменьшить методическую погрешность, исходный метод был модифицирован:

(\*)

$$\begin{cases} \lambda \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i) \cdot f(x_i, y_i) + \mu \sum_{i=1}^N q(x_i, y_i) \cdot f(x_i, y_i) + \varepsilon \sum_{i=1}^N r(x_i, y_i) \cdot f(x_i, y_i) + \varphi \sum_{i=1}^N u(x_i, y_i) \cdot f(x_i, y_i) - \gamma \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^N (g(x_i, y_i) \cdot f(x_i, y_i)); \\ \lambda \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i) \cdot q(x_i, y_i) + \mu \sum_{i=1}^N q(x_i, y_i) \cdot q(x_i, y_i) + \varepsilon \sum_{i=1}^N r(x_i, y_i) \cdot q(x_i, y_i) + \varphi \sum_{i=1}^N u(x_i, y_i) \cdot q(x_i, y_i) - \gamma \sum_{i=1}^N q(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^N (g(x_i, y_i) \cdot q(x_i, y_i)); \\ \lambda \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i) \cdot r(x_i, y_i) + \mu \sum_{i=1}^N q(x_i, y_i) \cdot r(x_i, y_i) + \varepsilon \sum_{i=1}^N r(x_i, y_i) \cdot r(x_i, y_i) + \varphi \sum_{i=1}^N u(x_i, y_i) \cdot r(x_i, y_i) - \gamma \sum_{i=1}^N r(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^N (g(x_i, y_i) \cdot r(x_i, y_i)); \\ \lambda \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i) \cdot u(x_i, y_i) + \mu \sum_{i=1}^N q(x_i, y_i) \cdot u(x_i, y_i) + \varepsilon \sum_{i=1}^N r(x_i, y_i) \cdot u(x_i, y_i) + \varphi \sum_{i=1}^N u(x_i, y_i) \cdot u(x_i, y_i) - \gamma \sum_{i=1}^N u(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^N (g(x_i, y_i) \cdot u(x_i, y_i)); \\ \lambda \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i) + \mu \sum_{i=1}^N q(x_i, y_i) + \varepsilon \sum_{i=1}^N r(x_i, y_i) + \varphi \sum_{i=1}^N u(x_i, y_i) - \gamma \cdot N = \sum_{i=1}^N g(x_i, y_i); \end{cases}$$

где  $u(x_i, y_i) = -q(x_i, y_i) \cdot y_i + r(x_i, y_i) \cdot x_i$ ,  $\mu = h \cdot \lambda$ ,  $\varepsilon = p \cdot \lambda$ ,  $\varphi = \alpha \cdot \lambda$ .

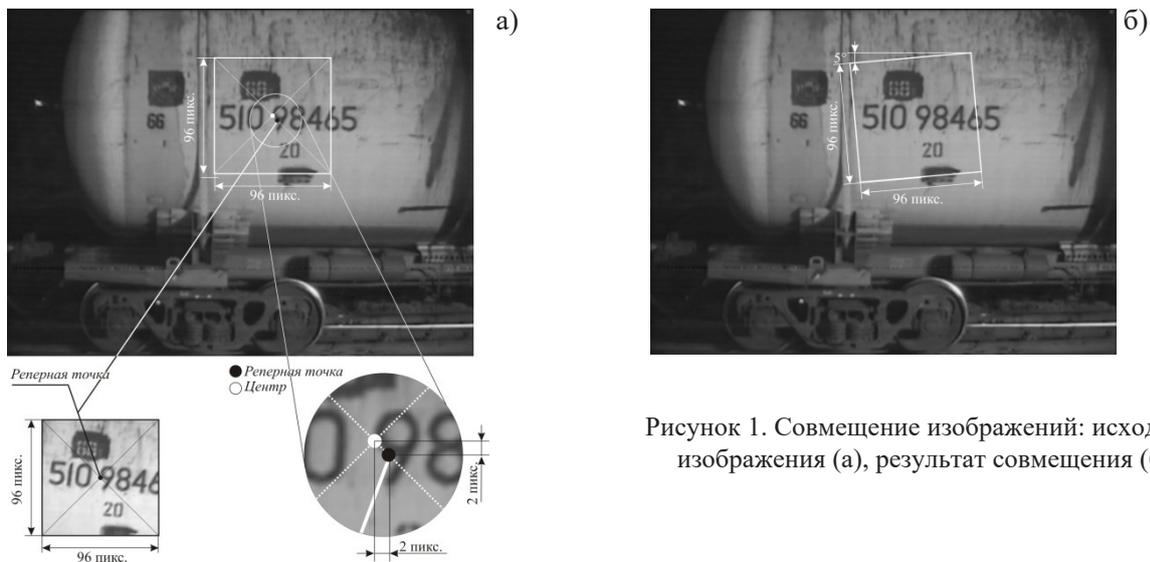


Рисунок 1. Совмещение изображений: исходные изображения (а), результат совмещения (б)

была добавлена итерационная обработка. Суть итерационной обработки заключается в пересчете сигнала  $g(x, y)$  в соответствии с вычисленными параметрами  $h$ ,  $p$  и  $\alpha$ :

$$\begin{aligned} xn_i &= x_i \cdot \cos(\alpha) - y_i \cdot \sin(\alpha) + h, \\ yn_i &= x_i \cdot \sin(\alpha) + y_i \cdot \cos(\alpha) + p. \end{aligned}$$

Новый сигнал  $gn(x, y) = g(xn, yn)$  и исходный сигнал  $f(x, y)$  обрабатывается повторно. В результате, погрешность оценки параметров резко уменьшается. В ходе экспериментов было установлено, что пяти итераций достаточно и дальнейшее увеличение не приводит к существенному уменьшению погрешности.

### Эксперимент

Для проверки разработанного метода был проведен эксперимент с использованием телевизионных сигналов, полученных в системе технического зрения для измерения скорости движения протяженных объектов (рисунок 1).

На рисунке 1а показаны два изображения: на верхнем изображении квадратом выделен фрагмент изображения – это первый сигнал для обработки, а нижнее изображение – это второй сигнал.

Также на рисунке 1а отмечены реперные точки (точки, соответствующие друг другу) и центры фрагментов. У первого сигнала центр и реперная точка не совпадают в отличие от второго сигнала.

Разница между координатами центра и реперной точкой, фактически, определяет смещение, которое необходимо оценить.

Также из рисунка 1а видно, что телевизионные сигналы отличаются поворотом и яркостными характеристиками.

На рисунке 1б показан результат совмещения.

Как можно видеть, разработанный метод по-

зволяет совместить изображения с высокой точностью.

### Погрешность совмещения телевизионных сигналов

Для оценки погрешности совмещения при аддитивном шуме было проведено численное моделирование. Оно заключалось в добавлении помехи к каждому элементу телевизионного сигнала. Помеха имела нормальное распределение с задаваемым среднеквадратичным отклонением (СКО)  $\sigma_n$ . Полученные зашумленные телевизионные сигналы совмещались, а оцениваемые параметры совмещения сравнивались с действительными значениями (получены при нулевом СКО).

Погрешностью параметров будет являться значение среднеквадратичной величины (СКВ):

$$СКВ = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^L (\hat{h} - h)^2 \right) / L},$$

где  $\hat{h}$  – оценка параметра,  $h$  – действительное значение,  $L$  – количество моделирований.

Графики измерений для нескольких сочетаний аддитивной и мультипликативной составляющей представлены на рисунках 2, 3.

Точность оценки совпала с точностью оценки по методу полного перебора. Для получения прецизионной точности с помощью переборного метода, шаг дискретизации выбирался в пять раз меньше, чем размер пикселя, а для восстановления субпиксельных значений была использована линейная интерполяция. Для повышения скорости обработки переборного метода использовалось преобразование Фурье.

Преимущество разработанного метода по сравнению с переборным заключается в умень-

шении времени обработки. Для примера, приведенного в статье, время обработки с помощью разработанного метода было приблизительно в 15 раз меньше, чем с помощью переборного.

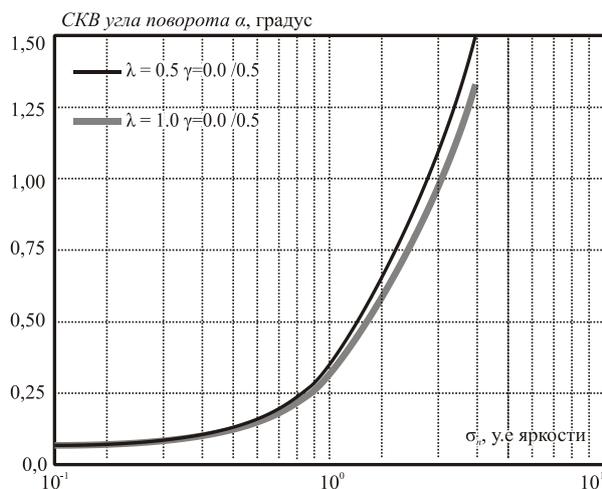


Рисунок 2. Погрешность оценки угла

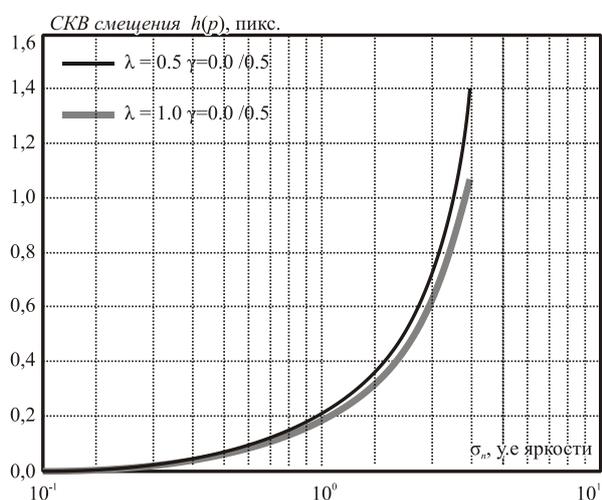


Рисунок 3. Погрешность оценки смещения

Исходя из проведенных исследований зависимости погрешности параметров от мощности шума, можно сделать вывод, что погрешность оценки параметров уменьшается с ростом мультипликативной помехи. Это объясняется тем, что эквивалентное отношение сигнал/шум возрастает с ростом мультипликативной помехи, а аддитивная помеха не оказывает существенного влияния на оценку параметров.

При мощности шума  $\sigma_n = 1$  у.е. яркости (при градациях от 0 до 255 у.е.) по параметрам  $h(p)$  СКВ составляет 0,2 пикселя, по углу поворота  $\alpha$  составляет  $0,3^\circ$ .

### Заключение

Разработанный метод оценки параметров для совмещения телевизионных сигналов является обобщением метода Lucas-Kanade.

С точки зрения погрешности оценки параметров разработанный метод совпадает с методом перебора, однако скорость обработки приблизительно в 15 раз выше.

Разработанный метод направлен на решение задачи прецизионного совмещения по осям координат и углу разворота при влиянии аддитивных и мультипликативных помех.

Разработанный метод может быть использован для задач прецизионной оценки параметров в системах технического зрения, для которых предъявляются требования обработки данных в режиме реального времени.

### Литература

1. Совмещение изображений в условиях неопределенности / В.А. Андросов [и др.] // Зарубежная радиоэлектроника. 1985. № 4. С. 32–41.
2. Методы оценивания взаимного смещения фрагментов изображений / А.В. Губанов [и др.] // Автометрия. 1988. № 3. С. 70–73.
3. Панкова Т.Л., Резник А.Л. Эффективность алгоритмов прецизионного совмещения цифровых изображений // Автометрия. 1991. № 5. С. 39–43.
4. Liu M., Delbruck T. Block-matching optical flow for dynamic vision sensors: Algorithm and FPGA implementation // IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). 2017. P. 1–4.
5. Васин Н.Н., Куринский В.Ю. Обработка видеосигналов для измерения скорости движения железнодорожных вагонов на сортировочной горке // Компьютерная оптика. 2005. № 27. С. 185–188.
6. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Оценка информационных параметров сигнала на фоне аддитивно-мультипликативных помех с произвольным распределением // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2018. Т. 21, № 4. С. 58–62.
7. Дязитдинов Р.Р. Методы различения и оценки параметров оптических сигналов: монография. Самара: ПГУТИ, 2019. 139 с.
8. Brown L.G. A survey of image registration techniques // ACM Computing Surveys. 1992. no. 24(4). P. 325–376.
9. Barnea D.I., Silverman H.F. A class of algorithms for fast digital registration // IEEE Transactions on Computers. 1972. Vol. C-21. P.179–186.
10. Wolberg G., Zokai S. Robust image registration using log-polar transform // Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. 2000. Vol. 1. P. 493–196.

11. Kuglin C.D., Hines D.C. The phase correlation image alignment method // Proceedings International Conference on Cybernetics and Society. 1975. P. 163–165.
12. Alliney S., Morandi C. Digital image registration using Projections // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. PAMI-8, no. 2. P.222–233.
13. De Castro E., Morandi C. Registration of translated and rotated images using finite fourier transforms // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1987. Vol. PAMI-9, no. 3. P. 700–703.
14. Reddy B.S., Chatterji B.N. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1996. Vol 5, no. 8. P.1266–1270.
15. An IDL/ENVI implementation of the FFT-based algorithm for automatic image registration / H. Xie [et al.] // Computer and Geosciences. 2003. no. 29. P. 1045–1055.
16. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. М.: Вильямс, 2004. 928 с.
17. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. М.: Мир, 1982. 312 с.
18. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. М.: Техносфера, 2005. 1070 с.
19. Lucas B.D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision // Proceedings Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence. 1981. P. 674–679.
20. Lucas B.D. Generalized Image Matching by the Method of Differences. Pittsburgh: Carnegie-Mellon University publisher, 1984. 144 p.
21. Horn B.K., Schunck B.G. Determining optical flow // Artificial Intelligence. 1981. Vol. 17. P. 185–204.
22. High Accuracy Optical Flow Estimation Based on a Theory for Wrapping / T. Brox [et al.] // Lecture Notes in Computer Science. 2004. Vol. 3024. P. 25–36.
23. Мачнев А.М., Жук С.Я. Беспойсковый алгоритм определения угла поворота изображений // Вісник Національного технічного університету України. Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2008. № 37. С. 33–37.
24. Мачнев А.М. Определение угла поворота при наложении изображений с использованием смешанной системы координат // Вісник Національного технічного університету України. Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2010. № 42. С. 40–45.
25. Ташлинский А.Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2000. 132 с.

*Получено: 27.09.2023*

**Диязитдинов Ринат Радмирович**, к.т.н., доцент, доцент кафедры сетей и систем связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 927 708-47-39. E-mail: r.diyazitdinov@psuti.ru

## METHOD OF ITERATIVE COMBINATION OF TV SIGNALS BASED ON LINEARIZATION FOR MACHINE VISION SYSTEMS

*Diyazitdinov R.R.*

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

*E-mail: r.diyazitdinov@psuti.ru*

The article describes a method for combining television signals for machine vision systems based on linearization. The relevance of the developed method involves reducing the error when combining signals in the presence of interference arising from changes in illumination, as well as ensuring high processing speed. It is shown that the idea of combination replaces the processing signals of trigonometric functions in the model with a Taylor series, and in adding two variables to the model – additive and multiplicative components. All matching parameters are evaluated by solving a system of linear equations, which is determined by decomposing the matched signal into a Taylor series. An experiment demonstrated the correct combination of television signals using the proposed method, and a comparison was made with the exhaustive search method in terms of measurement error and processing speed. It is noted that the work will be useful for developers of machine vision measurement systems with real time processing.

**Keywords:** combination, iterative, television signal, linearization, machine vision, optical flow, additive and multiplicative component

**DOI:** 10.18469/ikt.2023.21.1.11

**Diyazitdinov Rinat Radmirovich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L.Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Associate Professor of Network and Telecommunication System Department, PhD in Technical Sciences, Associate Professor. Tel. +7-927-708-47-39. E-mail: r.diyazitdinov@psuti.ru

## References

1. Androsov V.A. et al. Image superposition in uncertainty conditions. *Zarubegnaya radioelektronika*, 1985, no. 4, pp. 32–41. (In Russ.)
2. Gubanov A.V. et al. Methods of offset estimation by images fragments. *Avtometriya*, 1988, no. 3, pp. 70–73. (In Russ.)
3. Pankova T.L., Reznik, A.L. Error of accurate superposition of digital images. *Avtometriya*, 1991, no. 5, pp. 39–43. (In Russ.)
4. Liu M., Delbruck T. Block-matching optical flow for dynamic vision sensors: Algorithm and FPGA implementation. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2017, pp. 1–4.
5. Vasin N.N., Kurinskiy V.Yu. Video signal processing for measuring the speed of railway cars on the marshalling hill. *Komp'yuternaya optika*, 2005, no. 27, pp. 185–188. (In Russ.)
6. Artyushenko V.M., Volovach V.I. Estimation of information parameters of the signal on background of additive and multiplicative noise with arbitrary distribution. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, 2018, vol. 21, no. 4, pp. 58–62. (In Russ.)
7. Diyazitdinov R.R. *Methods for distinguishing and estimating parameters of optical signals: Monograph*. Samara: PGUTI, 2019, 139 p. (In Russ.)
8. Brown L.G. A survey of image registration techniques. *ACM Computing Surveys*, 1992, no. 24(4), pp. 325–376.
9. Barnea D.I., Silverman H.F. A class of algorithms for fast digital registration. *IEEE Transactions on Computers*, 1972, vol. C-21, pp.179–186.
10. Wolberg G., Zokai S. Robust image registration using log-polar transform. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, 2000, vol. 1, pp. 493–196.
11. Kuglin C.D., Hines D.C. The phase correlation image alignment method. *Proceedings International Conference on Cybernetics and Society*, 1975, pp. 163–165.
12. Alliney S., Morandi C. Digital image registration using Projections. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, vol. PAMI-8, no. 2, pp. 222–233.
13. De Castro E., Morandi C. Registration of translated and rotated images using finite fourier transforms. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1987, vol. PAMI-9, no. 3. pp. 700–703.
14. Reddy B.S., Chatterji B.N. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1996, vol. 5, no. 8, pp.1266–1270.
15. Xie H. et al. An IDL/ENVI implementation of the FFT-based algorithm for automatic image registration. *Computer and Geosciences*, 2003, no.29, pp. 1045–1055.
16. Forsyth D. Ponce, *Computer Vision: A Modern Approach*. Moscow: Vil'yams, 2004, 928 p. (In Russ.)
17. Pratt W. *Digital image processing*. Transl. From English. Moscow: Mir, 1982, 312 p. (In Russ.)
18. Gonzalez R., Woods R. *Digital image processing*. Transl. From English. Moscow: Tehnosfera, 2005, 1070 p. (In Russ.)
19. Lucas B.D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proceedings Seventh Internatinnal Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1981, pp. 674–679.
20. Lucas B.D. *Generalized Image Matching by the Method of Differences*. Pittsburgh: Carnegie-Melion University publisher, 1984, 144 p.

21. Horn B. K., Schunck B. G. Determining optical flow. *Artificial Intelligence*, 1981, vol. 17, pp. 185–204.
22. Brox T. et al. High Accuracy Optical Flow Estimation Based on a Theory for Wrapping. *Lecture Notes in Computer Science*, 2004, vol. 3024, pp. 25–36.
23. Machnev A.M., Guk S.Ya. Non-search algorithm of image angle estimation. *Vestnik Natsional'nogo tehgnicheskogo universiteta Ukraini. Seriya: Radiotekhnika. Radioapparatostroenie*, 2008, no. 37, pp. 33–37. (In Russ.)
24. Machnev A.M. Estimation of rotation angle on image superposition by using mixed coordinate system. *Vestnik Natsional'nogo tehgnicheskogo universiteta Ukraini. Seriya: Radiotekhnika. Radioapparatostroenie*, 2010, no. 42, pp. 42–45. (In Russ.)
25. Tashlinskiy A.G. *The image sequence space deformation parameters estimation*. Ul'yanovsk: Ul'yanovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2000, 132 p. (In Russ.)

Received 27.09.2023

## УПРАВЛЕНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 004.412

### РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ СППР ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СМЕТЫ ДЛЯ КЛИЕНТОВ ИТ-КОМПАНИИ

Диязитдинова А.Р.<sup>1</sup>, Женгурова В.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

<sup>2</sup>ПромИнфоКонсалт, Самара, РФ

E-mail: dijazitdinova@mail.ru

В работе рассмотрена актуальность поиска инструментария для объективной оценки трудоемкости и сроков разработки программного обеспечения. Основной целью данного инструментария является, с одной стороны, предоставление ИТ-компаниям возможности объективно оценивать трудоемкость и, следовательно, стоимость будущего программного продукта на ранних стадиях, а, с другой стороны, обеспечение прозрачности обоснования приемлемой цены сделки для заказчика. Особенностью ИТ-отрасли является нематериальный характер создаваемого продукта и, как следствие, определенную сложность представляет задача выбора методов (метрик) оценки трудоемкости и прогнозирования сроков реализации программного продукта, позволяющих без особых временных и финансовых затрат получить реалистичные данные. Приведены результаты проведенного анализа и сравнения наиболее распространенных методов оценки трудоемкости разработки программного продукта (в частности, IFPUG, UCP, СОСОМОП и т.д.), выявлены их преимущества и ограничения. Предлагается обобщенный алгоритм работы системы поддержки принятия решений для сокращения времени и повышения обоснованности расчетов при составлении сметы аналитиком ИТ-компания в рамках подготовки технического задания. Приводится описание отдельных экранных форм проектируемого модуля системы поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** техническое задание, смета, программный продукт, система поддержки принятия решений, оценка трудоемкости, методики оценки затрат труда, screen flow

#### Введение

Процесс разработки программного обеспечения (ПО) имеет собственную специфику, которая плохо укладывается в теорию классического управления проектами. Задача проекта заключается в достижении конкретной бизнес-цели, при соблюдении ограничений «железного треугольника»: содержание – стоимость – время [1]. На практике данный принцип означает, что ни одна из трех составляющих не может быть изменена без оказания влияния на две другие. Если же говорить о проекте по созданию ПО, то отдельно следует упомянуть как нематериальный характер создаваемого продукта, так и тот факт, что суще-

ственную долю затрат составляет труд ИТ-специалистов.

Начиная с 60-х гг. XX века (практически с момента появления рынка программного обеспечения), проблема оценки трудозатрат для ИТ-проектов остается одним из самых сложных вопросов в программной инженерии. К настоящему моменту не существует точных и одновременно простых в использовании моделей оценки трудоемкости разработки ПО, которые позволяли бы точно оценивать размер ПО на этапах планирования разработки [2].

Надежные оценки на ранних сроках реализации ИТ-проекта сложно получить из-за от-