

ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СМЕЩЕНИЯ И МАСШТАБА ДЛЯ СОВМЕЩЕНИЯ ОДНОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ВЛИЯНИИ АДДИТИВНЫХ И МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ

DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-12-24-30

Manuscript received 02 September 2021;
Accepted 05 October 2021

Диязитдинов Ринат Радмирович,
ФГБОУ ВО Поволжский государственный
университет телекоммуникаций и информатики
г. Самара, Россия, rinat.diyazitdinov@gmail.com

Ключевые слова: итерационный, совмещение,
смещение, масштаб, аддитивный, мультипликативный

В статье представлен алгоритм для совмещения одномерных сигналов. Совмещение сигналов определяется параметрами смещения и масштаба. Дополнительно на сигналы оказывают влияние аддитивная и мультипликативная помехи. Для совмещения подобных сигналов был разработан итерационный алгоритм. Этот алгоритм включает в себя отдельную оценку смещения и масштаба. Смещение оценивается по сигналам в декартовой системе координат. Масштаб оценивается по сигналам в логарифмической системе координат. Итерационный подход заключается в последовательном приближении к оцениваемым параметрам. Значение параметров текущей итерации зависит от результатов оценки, полученных на предыдущей итерации. Для определения погрешности оценки параметров в зависимости от мощности аддитивной гауссовой помехи проводилось численное моделирование. Разработанный алгоритм сравнивался с алгоритмом полного перебора (эталонный алгоритм). Сравнение показало, что разработанный алгоритм и алгоритм полного перебора характеризуются практически одними и теми же погрешностями оценки параметров, но разработанный алгоритм характеризуется более высокой скоростью обработки.

Информация об авторе:

Диязитдинов Ринат Радмирович, ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, кафедра Сети и системы связи, доцент кафедры, доцент, к.т.н., г. Самара, Россия

Для цитирования:

Диязитдинов Р.Р. Итерационный алгоритм оценки смещения и масштаба для совмещения одномерных сигналов при влиянии аддитивных и мультипликативных помех // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №12. С. 24-30.

For citation:

Diyazitdinov R.R. (2021) Iterative algorithm for offset and scale estimation for 1d signals superposition with additive and multiplicative noise. T-Comm, vol. 15, no.12, pp. 24-30. (in Russian)

Введение

Телевизионные системы широко применяются в измерительных системах. При возможности двумерные телевизионные изображения преобразовывают в одномерные сигналы. В этом случае значительно сокращается объем хранимых данных и, как правило, упрощается алгоритм обработки данных [1].

Ниже представлены подобные измерительные системы.

В системах измерения скорости протяженных объектов одномерные сигналы определяются в результате суммирования интенсивности пикселей столбцов изображения. Совмещение определяется по смещению, которое позволяет оценить скорость движения объекта [1, 2].

На вагонах-путеизмерителях одномерные сигналы определяются как координаты точек контуров (профилей рельсов). А совмещение определяется по смещению и масштабу. Совмещенные сигналы позволяют оценить метрологические характеристики путеизмерителя. По разности совмещенных одномерных сигналов определяется среднеквадратичная величина измеренного параметра, которая определяет погрешность путеизмерителя [3, 4]. Также совмещенные сигналы позволяют выявить аномальные помехи в измеренных параметрах, которые имеют вид значительных отличий формы и амплитуды сигналов [5].

Задача совмещения одномерных сигналов является очень известной задачей и достаточно просто формализуемой. Это обстоятельство послужило толчком к активному исследованию данной задачи и разработке большого числа алгоритмов. Основными способами решения задачи совмещения являются:

- метод свертки на основе вычисления коэффициента корреляции или среднеквадратичного отклонения [1-5];
- метод линеаризации для прецизионного совмещения [6].

Для сокращения времени обработки при работе сигналами с количеством отсчетов 1000 и более используется метод Фурье. Чем больше отсчетов в сигналах, тем выше производительность по методу Фурье в сравнении с прямым способом расчета свертки сигналов.

В случае наличия небольших масштабных искажений (5% и менее) никаких дополнительных измерений в алгоритм совмещения, как правило, не вносится. Проводят совмещение отдельных фрагментов сигнала. А масштабный коэффициент оценивается следующим образом. Если обозначить отсчеты первого сигнала как x_i , которые соответствуют отсчетам второго сигнала u_i , $i = 1, 2 \dots N$, то формула, связывающая их между собой, имеет вид:

$$u_i = x_i \cdot \alpha + h, \quad (1)$$

где α – масштаб, h – смещение.

То же самое преобразование в матричной форме имеет вид:

$$\begin{bmatrix} u_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & h \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Параметры α и h можно оценить по методу наименьших квадратов:

$$F(\alpha, h) = \sum_{i=1}^N (x_i \cdot \alpha + h - u_i)^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$\frac{\partial F(\alpha, h)}{\partial \alpha} = 0, \quad \frac{\partial F(\alpha, h)}{\partial h} = 0. \quad (4)$$

Параметры α и h оцениваются путем решения уравнения:

$$\begin{cases} \alpha \cdot A11 + h \cdot A12 = B1; \\ \alpha \cdot A21 + h \cdot A22 = B2, \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{где } A11 = \sum_{i=1}^N x_i^2, \quad A12 = A21 = \sum_{i=1}^N x_i, \quad A22 = N,$$

$$B1 = \sum_{i=1}^N x_i \cdot u_i, \quad B2 = \sum_{i=1}^N u_i.$$

В том случае, если масштабные искажения превышают 5%, то совмещение отдельных фрагментов сигналов может происходить со значительными погрешностями, которые приводят к неверному совмещению сигналов в целом.

Задача учета масштабных искажений может быть решена методами полного перебора. Но эти методы имеют серьезный недостаток – относительно большое время обработки.

Таким образом, при решении задачи совмещения с учетом масштаба и смещения, актуальной становится задача оптимизации скорости обработки.

Данной проблеме посвящена данная статья.

Обзор существующих работ

Теме совмещения одномерных сигналов посвящено достаточно большое количество научных статей.

Работа [1] посвящена совмещению сигналов, отличающихся только смещением. Смещение оценивается по максимуму коэффициента корреляции. Однако в работе рассматривались сигналы, которые не содержат масштабных искажений.

Работы [3-5] посвящены задаче совмещения сигналов, содержащих как смещение, так и масштаб. Однако из-за того, что масштабные искажения не превышали 5%, то предвзвешенно проводилось совмещение отдельных фрагментов сигнала без учета масштаба, а уже по совмещенным фрагментам оценивался масштаб.

В работе [6] рассматривалась задача прецизионного совмещения сигналов за счет линеаризации, но при этом не учитывались масштабные искажения.

В работах [7-9] рассматривается несколько иная задача – совмещение изображений. Однако при совмещении сигналов учитываются масштабные искажения. Для оценки масштаба используется логарифмически-полярная система координат. Этот прием будет использован для оценки смещения и масштаба для совмещения одномерных сигналов.

Описание задачи

Пусть заданы два сигнала (x_i, f_i) , $i = 1..N$, (u_j, g_j) , $j = 1..K$. Между координатами x_i и u_j нет однозначного соответствия. Однако известно, что они связаны между собой следующим законом:

$$u = x \cdot \alpha + h, \tag{6}$$

где α – масштаб, h – смещение.

Формула (5) совпадает с формулой (1) с точностью до индексов.

Сигналы f и g описывают один и тот же сигнал s с точностью до аддитивной и мультипликативной помехи.

$$\begin{cases} f(x) = s(x) + k(x); \\ g(x) = \lambda s(\alpha x + h) + \gamma + m(x), \end{cases} \tag{7}$$

где λ – мультипликативная помеха, γ – аддитивная помеха, $k(x)$, $m(x)$ – аддитивный белый гауссовский шум.

Идея оценки параметров α , h , λ , γ заключается в поиске таких аргументов, при которых функция F принимала бы минимальное значение:

$$F = \sum_i (\lambda f(\alpha x_i + h) + \gamma - g(x_i))^2. \tag{8}$$

Для решения задачи по формуле (8) была разработана итерационная процедура для оценки этих параметров.

Исходные данные

Для проведения численных расчетов были использованы сигналы. Их описание приведено в таблицах 1 и 2.

Сигнал (x_i, f_i)

Таблица 1

№	координата	№	координата
1	(1; 0)	30	(88; 1,4794)
2	(4; 0)	31	(91; 1,4193)
3	(7; 0)	32	(94; 1,0616)
4	(10; 0)	33	(97; 0,6232)
5	(13; 0,0198)	34	(100; 0,3021)
6	(16; 0,0439)	35	(103; 0,1670)
7	(19; 0,0889)	36	(106; 0,2059)
8	(22; 0,1645)	37	(109; 0,4118)
9	(25; 0,2780)	38	(112; 0,8021)
10	(28; 0,4296)	39	(115; 1,3736)
11	(31; 0,6065)	40	(118; 2,0458)
12	(34; 0,7827)	41	(121; 2,6475)
13	(37; 0,9231)	42	(124; 2,9767)
14	(40; 0,9950)	43	(127; 2,9077)
15	(43; 0,9802)	44	(130; 2,4677)
16	(46; 0,8825)	45	(133; 1,8196)
17	(49; 0,7261)	46	(136; 1,1657)
18	(52; 0,5461)	47	(139; 0,6488)
19	(55; 0,3753)	48	(142; 0,3137)
20	(58; 0,2357)	49	(145; 0,1318)
21	(61; 0,1354)	50	(148; 0,0481)
22	(64; 0,0713)	51	(151; 0,0153)
23	(67; 0,0359)	52	(154; 0,0042)
24	(70; 0,0249)	53	(157; 0,0010)
25	(73; 0,0488)	54	(160; 0,0002)
26	(76; 0,1456)	55	(163; 0)
27	(79; 0,3748)	56	(166; 0)
28	(82; 0,7597)	57	(169; 0)
29	(85; 1,2012)	58	(172; 0)

Сигнал (u_i, g_i)

Таблица 2

№	координата	№	координата
1	(6; 4.1619)	16	(51; 3.7226)
2	(9; 4.4392)	17	(54; 3.2715)
3	(12; 4.4831)	18	(57; 3.3618)
4	(15; 4.2732)	19	(60; 3.9759)
5	(18; 3.9097)	20	(63; 5.1546)
6	(21; 3.5412)	21	(66; 6.5709)
7	(24; 3.2682)	22	(69; 7.4502)
8	(27; 3.1107)	23	(72; 7.1625)
9	(30; 3.0434)	24	(75; 5.9234)
10	(33; 3.0617)	25	(78; 4.5431)
11	(36; 3.2816)	26	(81; 3.6090)
12	(39; 3.9255)	27	(84; 3.1822)
13	(42; 4.8543)	28	(87; 3.0410)
14	(45; 5.2326)	29	(90; 3.0067)
15	(48; 4.6226)	30	(93; 3.0009)

Параметры совмещения этих сигналов: $h = -17,7$; $\alpha = 0,7$; $\lambda = 1,5$; $\gamma = 3,0$.

На рисунке 1а показаны исходные сигналы.

На рисунке 1б показан результат совмещения. При этом визуально видно (увеличенная область), что между отдельными координатами сигналов x_i и u_i нет соответствия.

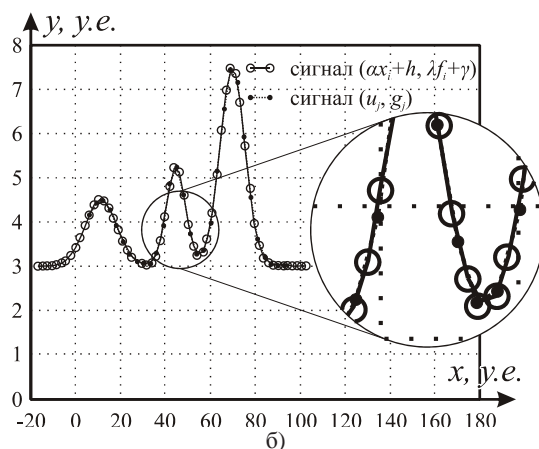
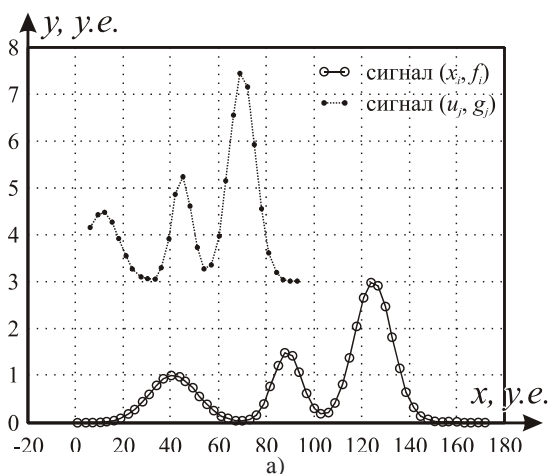


Рис. 1. Исходные данные: (а) до совмещения, (б) после совмещения

Принципы оценки параметров

Пусть известны координаты x_0 и u_0 , которые связаны между собой преобразованием $u_0 = x_0 \cdot \alpha + h$.

Относительно координат x_0 и u_0 найдем отображение сигналов f_i, g_j в логарифмической системе координат.

Для сигнала f_i абсцисса будет равна:

$$rx = \log_2(x - x_0). \quad (9)$$

Для сигнала g_j абсцисса будет равна:

$$\begin{aligned} ru &= \log_2(u - u_0) = \log_2(x \cdot \alpha + h - (x_0 \cdot \alpha + h)) = \\ &= \log_2(\alpha) + \log_2(x - x_0) = \log_2(\alpha) + rx. \end{aligned} \quad (10)$$

Таким образом, координаты точек сигналов f_i, g_j отличаются только на аддитивную составляющую $\log_2(\alpha)$ в логарифмической системе координат.

Если известен масштабный коэффициент α , то координаты точек $x \cdot \alpha$ и $u = x \cdot \alpha + h$ отличаются только на аддитивную составляющую h .

Оценить аддитивную составляющую, как в случае, если известны координаты x_0 и u_0 или масштаб α , можно путем свертки двух сигналов по максимуму коэффициента корреляции [1] (*примечание*: максимальное значение коэффициента корреляции соответствует наибольшей схожести сигналов по форме).

Также дополнительным преимуществом коэффициента корреляции является его инвариантность к мультипликатив-

ной и аддитивной помехи. Это легко доказать, рассчитав коэффициент корреляции для произвольных векторов a и b , a и $b \cdot \lambda + \gamma$. В обоих случаях коэффициент корреляции не изменится.

Задача оценки параметров осложняется тем, что для совмещения неизвестно ни координат x_0 и u_0 , ни масштаба α .

Чтобы преодолеть эту трудность, предлагается следующий способ.

- 1) Выбор координат x_0 и u_0 .
- 2) Преобразование сигналов $(x_i, f_i), (u_j, g_j)$ в логарифмическую систему координат относительно координат x_0 и u_0 .
- 3) Оценка параметра α по сигналам $(x_i, f_i), (u_j, g_j)$ в логарифмической системе.
- 4) Преобразование сигналов $(\alpha \cdot x_i, f_i), (u_j, g_j)$ в декартовую систему координат относительно координат x_0 и u_0 .
- 5) Оценка смещения h по сигналам $(\alpha \cdot x_i, f_i), (u_j, g_j)$ в декартовой системе.
- 6) Уточнение координат x_0 и u_0 по сигналам $(\alpha \cdot x_i + h, f_i), (u_j, g_j)$.
- 7) Переход к шагу №2.

Если на первом шаге значения x_0 и u_0 были выбраны удачно, то каждая новая итерация приведет к уточнению смещения h и масштаба α , приближая их к истинным значениям.

Выход из цикла может происходить или через фиксированное количество итераций, или если при очередной итерации параметры меняются незначительно.

На рисунке 2 схематично показан способ совмещения.

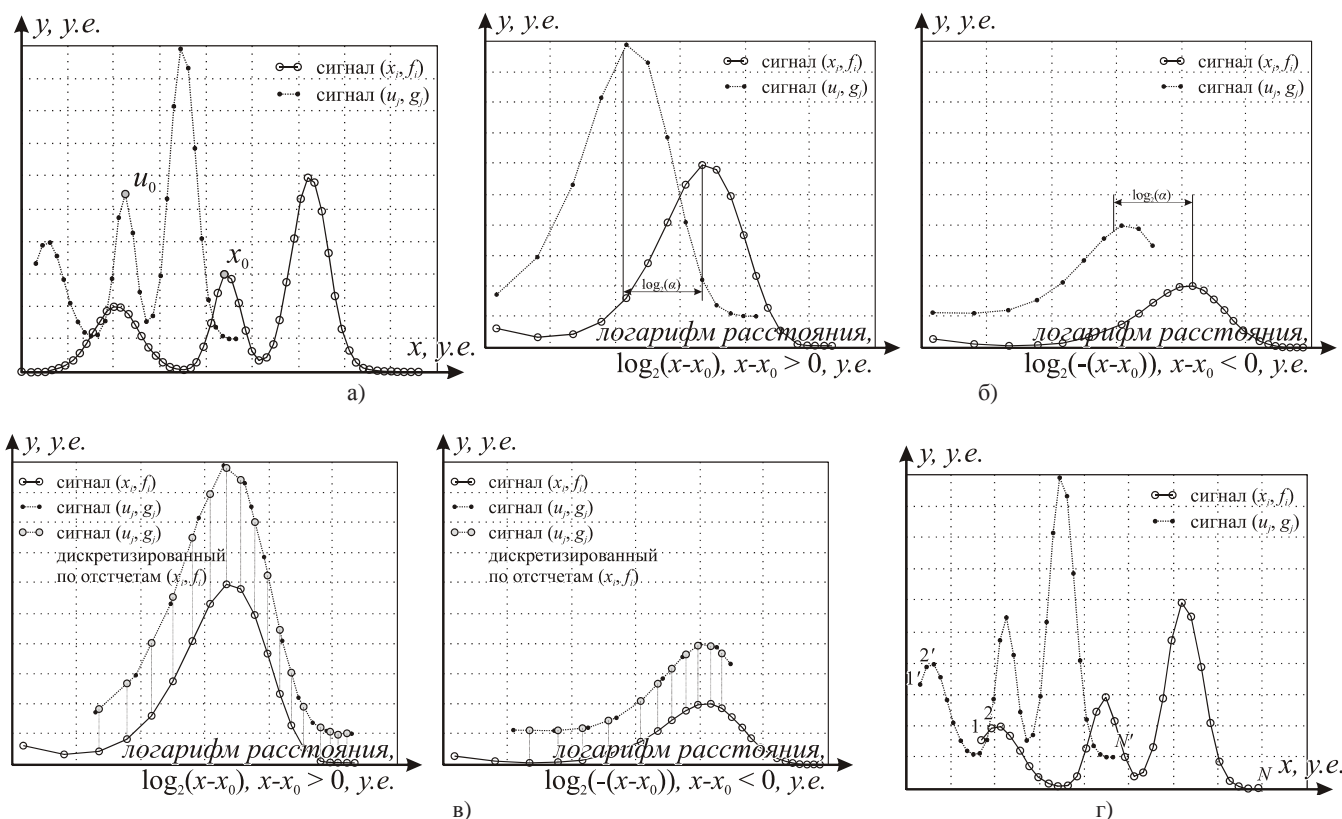


Рис. 2. Этапы совмещения одномерных сигналов:
 (а) исходные сигналы; (б) оценка масштаба по сигналам в логарифмической системе;
 (в) передискретизация; (г) соответствие между точками

На рисунке 2а показаны исходные сигналы и координаты x_0 и u_0 . На рисунке 2б показаны сигналы, преобразованные в логарифмическую систему координат относительно x_0 и u_0 .

Так как функция логарифмирования определена при значениях аргумента больше нуля, то чтобы использовать сигнал с отрицательным значением аргумента, исходный сигнал делится на две части:

– $x-x_0 > 0$, значение в логарифмической системе будет $\log_2(x-x_0)$;

– $x-x_0 < 0$, значение в логарифмической системе будет $\log_2(-(x-x_0))$.

Аналогично происходит преобразование и для аргумента u .

По сигналам, представленным на рисунке 2б, оценивается масштаб α .

Используя параметр α , графики совмещаются, после чего передискретизируются на один и тот же шаг дискретизации (см. рис. 2в).

Обратный переход из логарифмической системы в декартовую образует два графика, у которых имеется однозначное соответствие между точками: точка 1 соответствует точке 1', точка 2 – точке 2' и т.д. (см. рис. 2г).

Оценка параметров по двум последовательностям точек с однозначным соответствием проводится по формуле (5).

После совмещения сигналов можно оценить аддитивную и мультипликативную помеху.

Исходными данными для оценки значения аддитивной и мультипликативной помехи будут являться сигналы (x_i, f_i) , $i = 1..N$, (u_j, g_j) , $j = 1..K$, оценка смещения \hat{h} и масштаба $\hat{\alpha}$.

Пересчет координат первого одномерного сигнала $(\hat{\alpha}x_i + \hat{h}; f_i)$ и передискретизация на сетку аргумента u_j позволяет сформировать два вектора f'_j и g_j , $j = 1..K$.

Параметры λ , γ рассчитываются исходя из метода наименьших квадратов:

$$\sum_{j=1}^K (\lambda f'_j + \gamma - g_j)^2 \rightarrow \min \quad (11)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{Sg \cdot Sf - K \cdot Sfg}{Sf^2 - K \cdot Eg}, \quad \hat{\gamma} = \frac{Sg \cdot Sfg - Sg \cdot Ef}{Sf^2 - K \cdot Eg}, \quad (12)$$

где $Sf = \sum_{j=1}^K f'_j$, $Sg = \sum_{j=1}^K g_j$, $Sfg = \sum_{j=1}^K f'_j \cdot g_j$, $Ef = \sum_{j=1}^K (f'_j)^2$.

Предварительный выбор координат x_0 и u_0

Координаты точек x_0 и u_0 для первой итерации будут выбраны как средние значения аргумента всех точек сигналов f и g :

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad u_0 = \frac{\sum_{j=1}^K u_j}{K}. \quad (13)$$

Такое предположение делается исходя из того, что если сигналы можно совместить, то $u_0 \approx \alpha \cdot x_0 + h$.

Алгоритм совмещения

Исходными данными являются:

(x_i, f_i) , $i = 1..N$ – первый одномерный сигнал,

(u_j, g_j) , $j = 1..K$ – второй одномерный сигнал.

Выходными данными являются:

\hat{h} , $\hat{\alpha}$ – смещение и масштаб;

$\hat{\gamma}$, $\hat{\lambda}$ – значение аддитивной и мультипликативной помехи.

Алгоритм состоит из следующих шагов.

1. Загрузка сигналов (x_i, f_i) и (u_j, g_j) .

2. Вычисление координат x_0 и u_0 по формуле (13).

3. Выбор количества итераций L (примеч.: в работе $L = 9$).

4. Инициализация матрицы преобразования в соответствии с количеством итераций:

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

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

5.1. Определение промежуточной матрицы преобразования M_{res} :

если $k = 1$, то $M_{res} = M_1$,

если $k = 2$, то $M_{res} = M_2 \cdot M_1$,

...

если $k = L$, то $M_{res} = M_L \cdot \dots \cdot M_2 \cdot M_1$.

5.2. Вычисление сигнала (u'_j, g'_j) по матрице преобразования M_{res} :

$$u'_j = u_j \cdot M_{res}(1,1) + M_{res}(1,2), \quad (14)$$

$$g'_j = g_j. \quad (15)$$

5.3. Вычисление матрицы M_i по данным (x_i, f_i) , x_0 , (u'_j, g'_j) , u_0 согласно процедуре оценки параметров, описанной ниже.

5.4. Приравнивание точки u_0 к точке x_0 (примеч.: если первоначальное приближение по п. 5.3 было выбрано верно, то в дальнейшем нет необходимости делать оценок этой координаты, так как после первой итерации будет вычислены достаточно точные значения параметров преобразования, и на последующих итерациях можно считать, что точка $u_0 = x_0$).

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} , $\hat{\alpha}$ по матрице M_{res} :

$$\hat{h} = M_{res}(1,2), \quad (16)$$

$$\hat{\alpha} = M_{res}(1,1). \quad (17)$$

7. Оценка параметров $\hat{\gamma}$, $\hat{\lambda}$ по процедуре, описанной выше, и формуле (12).

8. Выход из программы.

Процедура оценки параметров п.5.3 описана ниже.

Входные данные: (x_i, f_i) , $i = 1..N$ – первый одномерный сигнал, (u'_j, g'_j) , $j = 1..K$ – второй одномерный сигнал, x_0 и u_0 – координаты для преобразования из декартовой в логарифмическую систему.

Выходное значение: M – матрица преобразования размером 2×2 .

1. Преобразование сигнала (x_i, f_i) , $i = 1..N$ в логарифмическую систему координат относительно точки x_0 :

$$rx_000_i = \log_2(x_i - x_0), \quad fx_000_i = f_i,$$

если $x_i - x_0 > 0$,

$$(18)$$

$$rx_{180i} = \log_2(-(x_i - x_0)), fx_{180i} = f_i, \text{ если } x_i - x_0 < 0. \quad (19)$$

2. Преобразование сигнала $(u_j, g_j), j = 1..K$ в логарифмическую систему координат относительно точки u_0 :

$$ru_{000j} = \log_2(u_j - u_0), gu_{000i} = g_j, \text{ если } u_j - u_0 > 0, \quad (20)$$

$$ru_{180j} = \log_2(-(u_j - u_0)), gu_{180i} = g_j, \text{ если } u_j - u_0 < 0. \quad (21)$$

3. Дискретизация сигнала (rx_{000i}, fx_{000i}) на равномерную сетку с шагом $step$ (примечание: $step = 0,01$): $rxn_{000} = min_{rx}, min_{rx} + step, .. max_{rx}$, где min_{rx} / max_{rx} – минимальное / максимальное значение в векторах (rx_{000i}, rx_{180i}) . Формирование сигнала fxn_{000} . Аналогичным образом рассчитывается сигнал (rxn_{180}, fxn_{180}) .

Примечание: для обозначения векторов использовался полужирный шрифт, чтобы не вводить дополнительных индексов и не затруднять восприятие, ранее при обозначении векторов использовались индексы, как например, « rx_{000i} », « fx_{000i} », чтобы показать связь с исходными данными « x_i », « f_i ».

4. Дискретизация сигнала (ru_{000j}, gu_{000j}) на равномерную сетку с шагом $step$: $run_{000} = min_{ru}, min_{ru} + step, .. max_{ru}$, где min_{ru} / max_{ru} – минимальное / максимальное значение в векторах (ru_{000j}, ru_{180j}) . Формирование сигнала gun_{000} . Аналогичным образом рассчитывается сигнал (run_{180}, gun_{180}) .

5. Вычисление первоначального смещения вдоль оси «логарифм расстояния»:

$$d0 = rxn_{0001} - run_{0001}. \quad (22)$$

6. Совмещение векторов (fxn_{000}, fxn_{180}) с векторами (gun_{000}, gun_{180}) с использованием корреляционно-экстремального алгоритма [1]. Результатом будет являться значение смещения d (в отсчетах) между векторами (fxn_{000}, fxn_{180}) и (gun_{000}, gun_{180}) .

7. Преобразование из логарифмической системы в декартовую:

$$x_{000i} = 2^{rx_{000i}} \quad (23)$$

$$u_{000i} = 2^{rx_{000i} - (d0 + d \cdot step)} + u_0. \quad (24)$$

$$x_{180i} = 2^{rx_{180i}} \quad (25)$$

$$u_{180i} = 2^{rx_{180i} - (d0 + d \cdot step)} + u_0. \quad (26)$$

Формирование векторов:

$$x''_i = (x_{000i}, x_{180i}), u''_i = (u_{000i}, u_{180i}). \quad (27)$$

8. Оценка преобразования – матрицы M по векторам x''_i и u''_i по формулам (2-5).

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, σ_n^2) проводилась серия опытов, по которым оценивалась погрешность оценки параметра.

В качестве погрешности выступало значение среднеквадратичной величины (RMS):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - a)^2}{n}}, \quad (28)$$

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

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

Результаты численного моделирования приведены на рисунке 3.

Разработанный алгоритм сравнивался с алгоритмом полного перебора (проверка гипотез относительно измеряемых параметров с выбором той гипотезы, которая определяет минимальное евклидово расстояние между контурами). Погрешности обоих алгоритмов совпадают. Но у разработанного алгоритма скорость вычисления приблизительно в 12 раз выше.

Как видно из графиков (см. рис. 3), значение погрешности практически не меняется на интервале $\sigma_n [10^{-3}; 3 \cdot 10^{-2}]$ у.е. Это связано с тем, что линейная интерполяция при дискретизации контура приводит к появлению погрешности координат точек контура, которая по мощности выше, чем мощность аддитивной гауссовой помехи. И только при превышении СКО помехи более $3 \cdot 10^{-2}$ у.е. становится заметно ее влияния на погрешность оценки параметров совмещения.

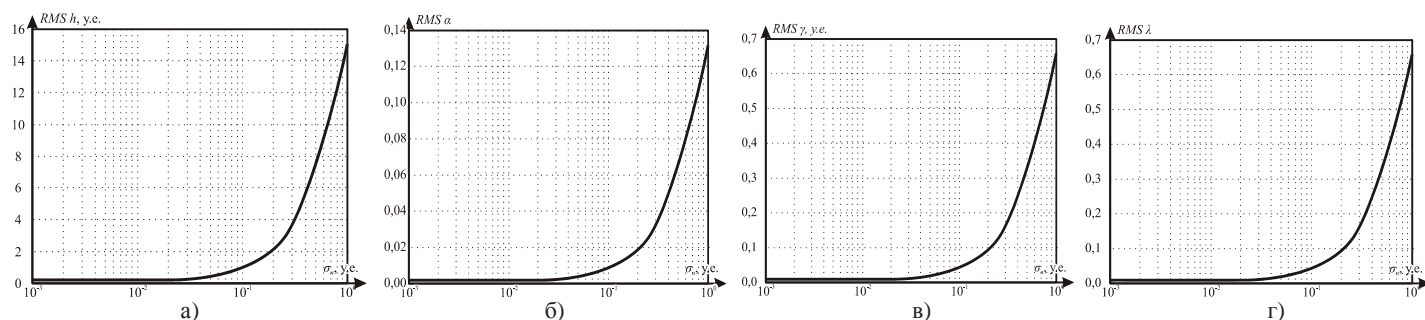


Рис. 3. Погрешность оценки параметров

Таким образом, разработанный алгоритм характеризуется низкой погрешностью оценки параметров (как в алгоритме полного перебора) и высоким быстродействием.

Заключение

Разработанный алгоритм совмещения одномерных сигналов был апробирован на данных вагонов-путеизмерителей (совмещение данных различных сессий измерений, полученных на одних и тех же участках пути).

Кроме измерений на железной дороге, разработанный алгоритм можно использовать в медицине, аэрокосмической отрасли и других промышленных отраслях. В также можно расширять функциональные возможности измерительных систем, проводящих совмещение сигналов.

Погрешности измерения у разработанного алгоритма измерения скорости движения железнодорожных вагонов на сортировочной горке // Компьютерная оптика. № 27, 2005. С. 185-188.

Литература

1. Васин Н.Н., Куринский В.Ю. Обработка видеосигналов для измерения скорости движения железнодорожных вагонов на сортировочной горке // Компьютерная оптика. № 27, 2005. С. 185-188.

2. Васин Н.Н., Диязитдинов Р.Р., Шапорин А.А. Усовершенствование алгоритма измерения скорости движения объектов // Вестник СамГУПС. 2016. № 1 (31). С. 10-14.

3. Кузьмин С.В. Инвариантное к масштабу определение задержек между двумя одномерными цифровыми сигналами // Инфокоммуникационные технологии. №2. 2011. С. 7-10.

4. Кузьмин С.В., Васин Н.Н. Многоканальный корреляционный метод совмещения данных параметров объектов инфраструктуры // Вестник транспорта Поволжья. №1 (25). 2011. С. 68-75.

5. Васильев Д.В., Денисов С.А., Серебряков С.А. Исследование адаптивного корреляционного измерителя скорости с применением математического моделирования // Вестник МЭИ. 1995. №2. С. 9-18.

6. Lucas B.D., Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision // Proc. Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence. 1981. P. 674-679.

7. Мясников Е.В. Определение параметров геометрических трансформаций для совмещения портретных изображений // Компьютерная оптика. 2007. Т. 31. № 3. С. 77-82.

8. Reddy B., Chatterji B. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration // IEEE transactions on image processing. 1996. Vol. 5. P. 1266-1271. DOI: 10.1109/83.506761.

9. Evangelidis G., Psarakis E. Parametric Image Alignment Using Enhanced Correlation Coefficient Maximization // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2008. Vol. 30. P. 1858-1865. DOI: 10.1109/TPAMI.2008.113.

ITERATIVE ALGORITHM FOR OFFSET AND SCALE ESTIMATION FOR ID SIGNALS SUPERPOSITION WITH ADDITIVE AND MULTIPLICATIVE NOISE

Rinat R. Diyazitdinov, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia,
rinat.diyazitdinov@gmail.com

Abstract

We describe the algorithm for ID signal superposition. The superposition is defined by offset and scale. Also the signals contain additive and multiplicative noise. We developed the iterative procedure for superposition of those signals. This procedure includes the separate estimation of offset and scale. The offset is estimated by signals in the Cartesian coordinate system. The scale is estimated by signals in the logarithm coordinate system. The iterative method is approximation to real value of superposition parameters. The parameters of the current iteration depend on the estimation of previous iteration. The error of the parameters estimation from additive gauss noise was by the numerical simulation. The developed algorithm compares with the brute force algorithm (the etalon algorithm). The comparison show that both algorithms are characterized the similar error of the parameters estimation, but developed algorithm is faster.

Keywords: iterative, superposition, offset, scale, additive, multiplicative.

References

1. N.N. Vasin, V.Yu. Kurinsky (2005). Video signal processing for measuring the speed of railway cars on the marshalling hill. *Computer optics*, no. 27, pp. 185-188.
2. N.N. Vasin, R.R. Diyazitdinov, A.A. Shaporin (2016). Improvement of the algorithm for measuring the speed of movement of objects. *SamGUPS Bulletin*. No. 1 (31), pp. 10-14.
3. S.V. Kuzmin (2011). Scale-invariant determination of delays between two ID digital signals. *Infocommunication technologies*, no. 2, pp. 7-10.
4. S.V. Kuzmin, N.N. Vasin (2011). Multichannel correlation method for combining these parameters of infrastructure objects. *Bulletin of transport of the Volga region*. No. 1 (25), pp. 68-75.
5. D.V. Vasiliev, S.A. Denisov, S.A. Serebryakov (1995). Research of an adaptive correlation speed meter using mathematical modeling. *MEI Bulletin*. No. 2, pp. 9-18.
6. B.D. Lucas, T. Kanade (1981). An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proc. Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 674-679.
7. E.V. Myasnikov (2007). Determination of parameters of geometric transformations for blending portrait images. *Computer optics*. Vol. 31. No. 3, pp. 77-82.
8. B. Reddy, B. Chatterji (1996). An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration. *IEEE Transactions on image processing*. Vol. 5, pp. 1266-1271. DOI: 10.1109/83.506761
9. G. Evangelidis, E. Psarakis (2008). Parametric Image Alignment Using Enhanced Correlation Coefficient Maximization. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. 30, pp. 1858-1865. DOI: 10.1109/TPAMI.2008.113

Information about author:

Rinat R. Diyazitdinov, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Associate professor of the department Networks and Communication Systems, Samara, Russia