При использовании вольтомметра В7-34 для измерения стоомного сопротивления терморезистора абсолютная погрешность равна $\pm 0{,}025$ Ом и

$$\Delta\Theta = \frac{\Delta R}{\alpha R_{\Theta o}} = \frac{\pm 0{,}025}{0{,}00391 \cdot 100} = \pm 0{,}064^{o}C.$$

В расчёте на наихудший случай максимальное значение аддитивной составляющей погрешности терморезистора после такой индивидуальной градуировки равно: $\Delta\Theta_o = 0{,}005 + 0{,}064 = 0{,}069^{o}C$ и формула определения погрешности такого терморезистора класса допуска А может быть записана в виде: $\Delta\Theta = \pm(0{,}069 + 0{,}002\,|\Theta|)^{o}C$.

Меньшее значение предельной погрешности терморезистора может быть получено при использовании в качестве меры температуры тройной точки воды, воспроизводящей $0{,}01^{o}C$ с погрешностью, не превышающей $\pm 0{,}001^{o}C$, а в качестве средства измерения сопротивления более точного измерительного прибора, например, вольтомметра В7-46.
Мультипликативная составляющая погрешности терморезистора может быть уменьшена индивидуальной градуировкой терморезисторов в других реперных точках международной практической температурной шкалы, например, в точке температуры кипения воды, воспроизводимой с погрешностью, не превышающей $\pm 0{,}001^{o}C$,

И.И. Волков, А.Г. Золин

РЕГУЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ПОДХОД ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СМАЗАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЛИНЕЙНЫМ СМАЗОМ

(Самарский государственный технический университет)

Современные космические системы высокодетального наблюдения (КСВН) Земли, для получения изображений используют съемочные устройства на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС). Для правильной работы в режиме накопления видеосигнала, необходимо, чтобы скорость движения космического аппарата была точно согласована с периодом опроса матрицы. На практике, это условие может нарушаться из-за ошибки вычисления скорости спутника и неточности задания частоты опроса ПЗС-матрицы. В результате возникают смазанные изображения [1].

Параметры смаза могут существенно варьироваться от долей до десятков пикселей и иметь как одну, так и две пространственные составляющие.

В настоящее время известны основные подходы к решению задачи восстановления смазанных изображений, однако их практическое применение связано с различными недостатками конкретных реализаций. В статье [1] рассматриваются два подхода: спектральный метод коррекции, основанный на использовании фильтра Виннера и алгебраический метод, основанный на решении систем линейных уравнений методами псевдообращений. К сожалению, при реализации обоих подходов появляются заметные тени от контрастных объектов.

В статье [2] рассматривается метод восстановления изображения с неизвестным параметром смаза. Тем не менее, описанная итерационная процедура восстановления, требует наличия не смазанной области, что может быть труднодостижимо при обработки данных КСВН.

В данной работе представлено решение обратной задачи восстановления смазанного изображения с известной функцией рассеяния точки, причем смаз имеет одну пространственную составляющую. Рассмотрим процесс смаза изображения как динамическую систему с известной передаточной функцией $W_0(z)$. Известен также ее выходной сигнал $Y(z)$. Необходимо определить входной сигнал $X(z)$ [3].

Возьмем один класс смазанных изображений, для которых весовая функция прямого фильтра будет равна

$$h_0(v) = \frac{1}{N_0}, v = \overline{0, N_0 - 1}.$$

В этом случае передаточная функция фильтра определяется так:

$$W_0(z) = \sum_{v=0}^{N_0-1} h_0(v) z^{-v} = \frac{1 - z^{-N_0}}{N_0(1 - z^{-1})}. \tag{1}$$

Передаточная функция обратного (восстанавливающего) фильтра имеет вид:

$$W(z) = \frac{1}{W_0(z)} = \frac{N_0(1 - z^{-1})}{1 - z^{-N_0}}.$$

В [3] показан подход, вводящий регуляризирующий параметр А (0<A<1). Согласно данному подходу передаточная функция обратного фильтра будет определяться следующим образом:

$$W(z) = \frac{AN_0(1 - Az^{-1})}{1 - A^{N_0} z^{-N_0}} = \frac{AN_0}{\sum_{v=0}^{N_0-1} A^v z^{-v}}. \tag{2}$$

При реализации данного обратного фильтра возникает две проблемы:

1. фильтр является фильтром АР, а это означает, что его реализация будет связана с рекурсивными вычислениями, приводящими к погрешностям.
2. Значение регуляризирующего параметра А должно быть близким к 1, однако необходим алгоритм выбора его конкретной величины.

Для решения первой проблемы перейдем к фильтру типа СС. Справедливо соотношение:

$$W(z) = \sum_{v=0}^{\infty} h(v) z^{-v} \ , \tag{3}$$

здесь $h(v)$ – весовая функция фильтра с передаточной функцией (2), вычисляемая следующим образом:

$$h(v) = A^{N_0} h(v - N_0) + AN_0(\delta(m) - A\delta(m-1)), v = 0,1,... \tag{4}$$

Фильтр с передаточной функцией (3) имеет бесконечно большой порядок и поэтому технически не реализуем. В связи с этим возьмем фильтр конечного порядка *(pN_0-1)*:

$$W'(z) = \sum_{v=0}^{pN_0-1} h(v) z^{-v}\ . \tag{5}$$

Из (4) находим:

$$\begin{cases} h(vN_0) = A^{vN_0+1} N_0 \\ h(vN_0+1) = -A^{vN_0+2} N_0 \\ h(vN_0+k) = 0 \\ k = \overline{2, N_0-1}, v = 0,1,... \end{cases} \tag{6}$$

Подставив h(v) из (6) в (5), получим:

$$W'(z) = \sum_{k=0}^{p-1} N_0 A^{kN_0+1}(1-Az^{-1}) z^{-kN_0}\ . \tag{7}$$

Отсюда приходим к следующему алгоритму вычисления оценки *x'(m)*:

$$x'(m) = \sum_{k=0}^{p-1} N_0 A^{kN_0+1}(y(m-kN_0) - Ay(m-kN_0-1)). \tag{8}$$

Теперь перейдем к решению второй проблемы: выбору значения регуляризирующего параметра A. Для этого выразим оценку восстанавливаемого сигнала через весовую функцию H_k последовательно соединенных прямого и обратного фильтров:

$$x'(m) = \sum_{k=0}^{N_0 p+1} H_k x(m-k) = H_0 x(m) + \sum_{k=1}^{N_0 p+1} H_k x(m-k)\ .$$

Погрешность оценивания будет равна

$$\delta(m) = x'(m) - x(m) = \sum_{k=0}^{N_0 p+1} \Psi_k x(m-k), \tag{9}$$

где: $\Psi_0=H_0-1,\ \Psi_k=H_k,\ k=1..N_0p+1$

Из (9) на основании неравенства Коши-Буняковского получаем, что:

$$|\delta(m)| \le \sqrt{\left(\sum_{k=0}^{N_0 p+1} \Psi_k^2\right)\left(\sum_{k=0}^{N_0 p+1} x^2(m-k)\right)} \text{ или}$$

$$|\delta(m)| \le \sqrt{\varepsilon_p} \sqrt{\left(\sum_{k=0}^{N_0 p+1} x^2(m-k)\right)}, \tag{10}$$

где

$$\varepsilon_p = \sum_{k=0}^{N_0 p+1} \Psi_k^2 = (1-H_0)^2 + \sum_{k=1}^{N_0 p+N_0-2} H_k^2 \tag{11}$$

- квадратическая погрешность рассогласования между весовой функцией последовательного соединения прямого и обратного фильтров и ее ?.

Теперь вычислим значение весовой функции:

$$\begin{cases} H_0 = A \\ H_k = A(1-A) \\ k = \overline{1, N_0 - 1} \\ H_{vN_0} = -A^{(v-1)N_0+2}(1-A^{N_0-1}) \\ H_{vN_0+k} = A^{vN_0+1}(1-A) \\ k = \overline{1, N_0-1}, v = \overline{1, p-1} \\ H_{pN_0} = -A^{(p+1)N_0+2} \\ H_{pN_0+k} = 0 \\ k = \overline{1, N_0 - 2} \end{cases} \tag{12}$$

Значение погрешности вычисляется по формуле (11).

С учетом (12) будем иметь:

$$\varepsilon_p = (1-A)^2 + (N_0-1)A^2(1-A)^2\sum_{v=0}^{p-1} A^{2vN_0} + A^v(1-A^{N_0-1})\sum_{v=0}^{p-2} A^{2vN_0} + A^{2(p-1)N_0+4} \tag{13}$$

По этому соотношению определяем такое значение A, при котором погрешность (13) минимальна.

Для апробации алгоритма было взято тестовое изображение из КСВН, имеющее 1024 градации серого. Был выполнен смаз изображения вдоль горизонтальной оси на различное количество пикселей (от 3 до 10), после чего предприняты попытки восстановления по алгоритму (8) с различными значениями регуляризирующего параметра A. Наилучшие результаты были получены при значениях A близких к 1. Относительная среднеквадратическая погрешность (ОСП) вычислялась по формуле

$$ОСП = \sqrt{\frac{\sum\left(x'(m)-x(m)\right)^2}{\sum x(m)^2}}$$

Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты восстановления изображения

Величина смаза	**ОСП смазанного изображения**	**Восст. по формуле (8)**	**Восст. Matlab deconvreg**
3	0,065	0,017	0,024
5	0,098	0,016	0,30
7	0,118	0,019	0,41
10	0,139	0,036	0,43

В результате исследований был поучен простой в реализации алгоритм восстановления смазанных изображений. Приведенные результаты апробации показали достаточно высокое качество реконструкции исходного изображения. В настоящее время ведутся работы по сокращению времени переходного процесса восстановления, а также применения данного алгоритма к изображениям, смаз которых имеет две пространственные составляющие.

Литература

1. Егошкин, Н.А. Коррекция смаза изображений в системах космического наблюдения земли[Текст] / Егошкин Н.А., Еремеев В.В.// Цифровая обработка сигналов. 2010. №4.

2. Jian-Feng Cai Blind motion deblurring using multiple images[Текст]/ Jian-Feng Cai, Hui Ji, Chaoqiang Liu, Zuowei Shen //Journal of Computational Physics 228 (2009) 5057–5071.

3. Батищев, В.И. Синтез фильтров для восстановления смазанных изображений с использованием методов регуляризации [Текст]/ Батищев В.И., Волков И.И., Золин А.Г. // Проблемы управления и моделирования в сложных системах (ПУМСС-2013): Труды XV Международной конференции, ИПУСС РАН, Самара, 2013.

С.Н. Грудинин, В.Д. Фроловский

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРМЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРИК В ЗАДАЧЕ ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ МАНЕКЕНОВ

(Новосибирский государственный технический университет)

В основе виртуальных измерений лежат реальные метрические характеристики некоторой предметной области. В качестве источников данных используются различные регламентные документы, например: антропометрические стандарты ISO 7250-1: 2008; стандарты швейного производства EN 13402, ГОСТ 17522-72, ISO 3635:1981, ISO 8559:1989; стандарты космической или военной индустрии NASA-STD-3000, ANSUR88-1 1988 [1, 2]. Подход основывается на общепринятых размерных признаках (РП) типовых фигур и антропометрических точек (АТ). Определение совокупного на основании рассматриваемых стандартов множества АП и РП, используемых в исследовании, происходит за счет комбинации наиболее информативных данных из различных стандартов. На основе этих данных разрабатывается классификация виртуальных антропометрических точек (ВАТ) и виртуальных размерных признаков (ВРП).

Исходными данными для описываемого подхода является *3D*-модель женского манекена стандартной формы, которая получена трехмерным сканированием или с применением скульптурного моделирования. Входная модель имеет полигональную структуру: множество точек $\mathbf{t}_{ij}$, соединенных в треугольные полигоны $p_i = (\mathbf{t}_{i1}, \mathbf{t}_{i2}, \mathbf{t}_{i3})$, $i = \overline{1,N}$, $j = \overline{1,3}$, где N – количество полигонов (здесь и далее точки описываются радиус-векторами). Модель не имеет внут-