СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Робертс А. Натуральный каучук. М.: Мир, 1990. 695 с.
- Zheng P., Chen W. Thermooxidative degradation natural rubber // Applied Polymer Science. – 2003. – № 6. – P. 227–232.
- Roger P., Brown T. Ageing of Rubber Accelerated Heat Ageing Test Results. – Shropshire: Rapra technology Ltd, 2001. – 155 p.
- Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М.: Энергия, 1973. – 328 с.
- Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций. – М.: Энергия, 1968. – 464 с.
- Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
- Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Справочник. – М.: Атомиздат, 1989. – 484 с.
- Платунов Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме. Л.: Энергия, 1973. 144 с.
- 9. Кондратьев Г.М. Тепловые измерения. Л.: Машгиз, 1957. 240 с.

Поступила 15.04.2010 г.

УДК 620.179.15:621.391:621.396.96:535.317.25

АПЕРТУРНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ ТЕНЕВЫХ РАДИАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ. Ч. І. ОДНОМЕРНАЯ КОРРЕКЦИЯ

В.И. Солодушкин, В.А. Клименов, В.А. Удод, А.К. Темник

Томский политехнический университет E-mail: vi s@mail.ru

Предложен алгоритм одномерной коррекции апертурных искажений теневых радиационных изображений в радиометрических системах контроля, Отмечено его преимущество по сравнению с алгоритмом, основанным на применении известной формулы инверсии апертурных искажений, и приведены примеры, иллюстрирующие эффективность его использования.

Ключевые слова:

Апертура, алгоритм коррекции искажений, радиометрическая система, неразрушающий контроль, теневое радиационное изображение.

Key words:

Aperture, algorithm correction of distortions, radiometric system, non-distruction control, shadow radiation image.

Введение

Теневое радиационное изображение, возникающее в результате просвечивания объекта контроля пучком ионизирующего излучения, несет в себе информацию о состоянии внутренней структуры контролируемого объекта. Осуществляемое в радиометрических системах контроля преобразование радиационного изображения в электрический сигнал неизбежно сопровождается апертурными искажениями, обусловленными, в частности, конечными размерами апертуры детектора излучения [1–5]. Вследствие этого информация об объекте контроля поступает на конечное регистрирующее устройство в искаженной форме.

Известные в настоящее время методы коррекции апертурных искажений, как правило, реализуются в частотной области, вследствие чего полная коррекция апертурных искажений оказывается принципиально невозможной из-за наличия нулей у передаточной функции апертуры детектора излучения [4, 6, 7].

Апертурные искажения порождают систематическую погрешность результатов измерения излучения в радиометрии. Данные искажения вызваны усредняющим свойством апертуры детектора излучения, что приводит к понижению контраста и «размытию» теневого радиационного изображения. Вследствие чего возникает необходимость разработки эффективных алгоритмов коррекции апертурных искажений теневых радиационных изображений в радиометрических системах контроля.

Алгоритм одномерной коррекции апертурных искажений

Применительно к радиометрическим системам контроля апертурную трансформацию (искажение) одномерной функции (сигнала) можно описать уравнением [1, 2, 4]:

$$\int_{t-a}^{x} s(t)dt = y(x), \tag{1}$$

где a — размер апертуры детектора излучения в направлении сканирования; s(t) — строка теневого радиационного изображения по направлению сканирования объекта контроля детектором излучения (входной сигнал); y(x) — строка искаженного теневого радиационного изображения по направлению сканирования объекта контроля (выходной сигнал). Для наглядности описания апертурной трансформации в радиометрических системах контроля на рис. 1 приведена схема радиометрического контроля объекта, содержащего семь инородных включений, на рис. 2 — график входного сигнала, а на рис. 3, 4 — графики выходных сигналов для апертур различных размеров.



Рис. 1. Схема радиометрического контроля: 1) поток излучения; 2) объект контроля с 7-ю инородными включениями; а – размер апертуры детектора излучения в направлении сканирования; b – размер локального дефекта в направлении сканирования

Задача коррекции апертурных искажений состоит в том, чтобы в уравнении (1) по измеренному сигналу y(x) найти функцию s(t). Решение данной задачи сопряжено с определенными трудностями. Если предположить, что y(x) — непрерывно-дифференцируемая на всей числовой оси функция, а s(t) непрерывная функция, то ур. (1) разрешимо (относительно s(t)) неоднозначно. В указанном классе функций все решения уравнения (1) будут иметь вид:







Рис. 3. Выходной сигнал для апертуры длиной a=0,5b и a=b



Рис. 4. Выходной сигнал для апертуры длиной a=1,5b и a=2b

$$s(t) = s_0(t) + p(t),$$

где $s_0(t)$ — некоторое фиксированное решение данного уравнения, а p(t) — произвольная непрерывная периодическая (с периодом T=a) функция, удовлетворяющая условию

$$\int_{0}^{t} p(t)dt = 0.$$

Для однозначного разрешения уравнения (1) необходимы дополнительные условия (априорная информация), которым должна удовлетворять функция *s*(*t*). Такой информацией может быть одно из условий:

1.
$$s(t)=0$$
 при $t<0$.
2. $\int_{-\infty}^{0} s(t) dt$ – сходится.

3. Значения *s* (*t*) известны на отрезке [d;a+d], где d – некоторое фиксированное число.

При выполнении ограничения 1) верна формула обращения (инверсии) [4]:

$$s(t) = \sum_{n=0}^{m} \frac{d}{dt} y(t - na),$$
(2)

где *т* равно целой части дроби *t/a*.

Отметим, что если t – время (или некоторая известная функция от времени), то преобразование по формуле (2) можно технически реализовать в аналоговом режиме (в реальном масштабе времени). Это утверждение вытекает из того, что для нахождения значения s(t) в момент времени t достаточно знать значения y(t) в моменты времени, не превосходящие t.

Формулу (2) можно представить и в другом виде:

$$s(t) = y(t) * h(t)$$
, где $h(t) = \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{d}{dt} \delta(t - na)$, (3)

ИЛИ

$$s(t) = \frac{d}{dt} s_0(t)$$
 где, $s_0(t) = \sum_{n=0}^m y(t - na).$ (4)

Здесь $\delta(.)$ — дельта-функция Дирака; символ «*» означает операцию свертки. Формула (3) будет также верна и при ограничении 2.



Рис. 5. Пример численного восстановления входного сигнала по «зашумленному» выходному сигналу на основе использования формулы обращения (2): s₁(x) – восстановленный сигнал

Численную реализацию алгоритма коррекции апертурных искажений на основе формулы (2) (или формул (3), (4)) можно записать в виде:

$$s(x) \approx \frac{M}{\Delta a} \sum_{i=-n_x}^{i=n_x} i s_0(x+i\Delta a),$$

где

$$M = \frac{3}{n_x(n_x + 1)(2n_x + 1)},$$

 Δa – шаг дискретизации сигнала $s_0(x)$, а $2n_x+1$ – количество отсчетов сигнала $s_0(x)$, используемых для оценки значения сигнала s(t) в точке x.

На рис. 5 приведен пример численной коррекции апертурных искажений входного сигнала на основе применения формулы обращения (2).

К недостаткам алгоритма, основанного на формуле инверсии (2), можно отнести:

- достаточно быстрое увеличение статистической погрешности восстановления (дисперсия восстановленного сигнала в точке *x* растёт пропорционально количеству слагаемых *m* равного целой части дроби *x/a*), поскольку при радиометрических измерениях, как правило, сигнал *y*(*x*) зашумлен аддитивной помехой со слабокоррелированными значениями;
- увеличение объёма вычислений при численной реализации алгоритма, обусловленного ростом числа слагаемых в формулах обращения (2)–(4).



Рис. 6. Схема получения радиометрических данных: 1) пространственно-периодическая коллимационная пластина; 2) направление сканирования; 3) линейка детекторов

Предлагаемый нами в данной работе алгоритм коррекции обладает всеми достоинствами инверсии по формуле (2), и притом лишен недостатка «накопления шумов». Сущность алгоритма заключается в следующем. Весь объект контроля условно разбивается по направлению сканирования на чет-



Рис. 7. Пример численного восстановления сигнала по предложенному алгоритму: s(x) – входной сигнал; y(x) – выходной сигнал; s₁(x) – восстановленный сигнал, усредненный скользящим средним с интервалом усреднения Δ=0,05a; s₂(x) – восстановленный сигнал, усредненный скользящим средним с интервалом усреднения Δ=0,05a; s₂(x) – восстановленный сигнал, усредненный скользящим средним с интервалом усреднения Δ=0,05a

ные и нечетные участки, каждый из которых имеет протяженность, равную длине апертуры отдельного детектора из линейки. После этого между объектом контроля и линейкой детекторов устанавливается пространственно-периодическая коллимационная пластина, состоящая из прозрачных и непрозрачных к излучению участков, каждый из которых имеет протяженность по направлению сканирования, равную длине апертуры (рис. 6).

Затем осуществляется непрерывное сканирование объекта контроля линейкой детекторов, в результате считывается информация о теневом радиационном изображении на нечетных участках. Далее коллимационная пластина смещается по направлению сканирования на величину, равную длине апертуры, после чего линейка детекторов осуществляет сканирование объекта контроля в противоположном направлении. Происходит считывание информации о теневом радиационном изображении на четных участках. На завершающем этапе сигналы для каждого детектора, полу-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Завьялкин Ф.М., Солодушкин В.И., Удод В.А. Коррекция апертурных искажений пространственным кодированием проекций // Тез. докл. II Всес. симп. по вычислительной томографии. – Куйбышев, 1985.– С. 57–58.
- Sidulenko O., Solodushkin V., Udod V. Correction of aperture distortions in radiometric systems of radiation control // Proc. of the 5th Korea-Russia Intern. Symp. on Science and Technology. – Tomsk, June 26–July 3. – Tomsk, 2001. – P. 374–377.
- Довнар Д.В., Предко К.Г. Метод устранения прямолинейного равномерного смаза изображения // Автометрия. – 1984.– № 6. – С. 94–97.
- Сондхи М.М. Реставрация изображения: устранение пространственно–инвариантных искажений // Обработка изобра-

ченные с четных и нечетных участков, «склеиваются» в соответствием с порядком их пространственного формирования.

Пример численного восстановления сигнала по предложенному алгоритму при длине апертуры a=2b представлен на рис. 7.

Выводы

Предложен алгоритм коррекции апертурных искажений теневых радиационных изображений по направлению сканирования, основанный на пространственно-периодической модуляции потока излучения. Построчная реконструкция изображений по данному алгоритму обладает тем преимуществом, что количество вычислительных операций уменьшено по сравнению с общеизвестными алгоритмами инверсии.

Работа выполнена в рамках программы развития Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский политехнический университет» на 2009–2018 гг.

жений при помощи цифровых вычислительных машин / под ред. Г. Эндрюса и Л. Инло. – М.: Мир, 1973. – 219 с.

- Троицкий И.Н. О коррекции постоянной времени сглаживающего фильтра в сцинтилляционных гамма-дефектоскопах // Дефектоскопия. – 1973. – № 2. – С. 88–92.
- Фриден Б. Улучшение и реставрация изображения // Обработка изображений и цифровая фильтрация / под ред. Т. Хуанга. – М.: Мир, 1979. – 320 с.
- Солодушкин В.И., Удод В.А. Оптимальная по разрешающей способности одномерная фильтрация изображений // Оптика атмосферы. – 1991. – Т. 4. – № 10. – С. 1030–1034.

Поступила 07.09.2010 г.