

Замечая, что  $\|U\|_{L_1(\Gamma_1)} \leq 2\pi^{1/2} \cdot (1-\epsilon^2)^{1/4} \|U\|_{L_2}$ ,  
и учитывая (12), завершаем доказательство.

### Библиографический список

1. Бухгейм А.Л. Введение в теорию обратных задач. Новосибирск: Наука, 1988.

УДК 620.179

А.В.Белов, И.В.Голубятников

### **АДАПТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В МИКРОЗОНДОВЫХ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

Сформулированы принципы рациональной структуры вычислительных средств микронзондовых контрольно-измерительных систем (МКИС). Разработана упрощенная математическая модель формирования и регистрации информационного сообщения в МКИС, учитывающая повышение эффективности работы систем данного класса, которые характеризуются, с одной стороны, ростом требований к достоверности получаемой информации, а с другой – увеличением скорости ее обработки. Обоснована целесообразность и пути использования адаптивных методов для оптимизации систем обработки данных в МКИС при неполных данных о состоянии исследуемого объекта.

Развитие адаптивных принципов обработки информации и конструирование алгоритмов оптимизации систем наблюдения в микронзондовых контрольно-измерительных системах (МКИС), обеспечивающих эффективную обработку результатов анализа в условиях неполной информации и ориентированных на использование ЭВМ, является одной из актуальных задач повышения информативности и надежности МКИС.

Процесс формирования зондирующего излучения для заданного типа генератора можно описать в виде функции

---

Вычислительная томография. Кузбывшев, 1990.

---

$$I_3(t) = I_n(t) + \zeta(t), \quad (1)$$

где  $I_3(t)$  - общий ток пучка;

$I_n(t)$  - эффективное значение тока пучка;

$\zeta(t)$  - случайные отклонения, вызванные физическими процессами при генерации пучка.

При взаимодействии пучка электронов с объектом возникает большое число явлений, которые служат основой для формирования различного рода сигналов. К этим явлениям можно отнести вторичные и отраженные электроны, характеристическое и тормозное рентгеновское излучение, оже-электроны и фотоны различных энергий.

В зоне действия пучка с объектом кинетическая энергия электронов при взаимодействиях с атомами превращается в тепловую энергию, в энергию возбуждения атомов и молекул. Для описания процессов, происходящих в исследуемом объекте при бомбардировке электронным пучком поверхности твердого тела, используются результаты квантовой механики. Процесс взаимодействия электронов зонда с веществом объекта рассматривался в рамках теории рассеяния, в результате чего установлено, что количество рассеянных электронов на изолированном атоме зависит от интенсивности первичного излучения и внутренних свойств объекта, которые определяются сечением рассеяния.

Построим упрощенную математическую модель возникновения вторичного потока электронов, предположив сканирование электронного зонда по поверхности объекта и взаимодействие его с элементарным объемом. Предполагается также, что количество электронов вторичного излучения коррелировало только с числом электронов от соседних, близлежащих областей, а эффектом далеко стоящих областей можно пренебречь.

Таким образом, упрощенная математическая модель взаимодействия первичного излучения с веществом объекта имеет вид

$$x_{ij} = \alpha (x_{i-1, j} + x_{i+1, j}) + \beta x_{i, j-1} + u_{ij}, \quad (2)$$

$$x_{ij}^0 = (x_{0j}, 0, \dots, 0, x_{N+1, j})$$

$$(i = \overline{1, N}; j = \overline{1, N}),$$

где  $x_{ij}$  - количество носителей информации в точке с координатами  $(i, j)$ ;  
 $\beta$  и  $\alpha$  - горизонтальный и вертикальный коэффициенты корреляции соответственно;  
 $u_{ij}$  - дискретный гауссовский белый шум с характеристиками

$$M[u_{ij}] = 0, \quad M[u_{ik} u_{lj}^T] = v \delta_{ij}, \quad (3)$$

$v$  - ковариационная матрица шума.

Представим двумерную модель (2) - (3) в одномерном виде для пространства состояний, обозначив  $x(j)$  - вектор-столбец матрицы  $X$  вида  $[x(I, j), \dots, x(N, j)]$  и  $u(j)$  соответственно  $[u(I, j), \dots, u(N, j)]$

Тогда уравнение (2) примет вид

$$\begin{aligned} F x(j) &= P x(j-1) + u(j), \\ x(0) &= x_0, \quad (j = \overline{1, N}), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $F$  - трехдиагональная матрица

$$F = \begin{pmatrix} 1 & -\alpha & & 0 \\ -\alpha & & 1 & \dots & -\alpha \\ 0 & \dots & -\alpha & & 1 \end{pmatrix} N \times N, \quad (5)$$

$$P = \beta I N \times N. \quad (6)$$

Установлено также, что матрица  $F$  имеет обратную матрицу. Процесс генерации носителей информации представим в виде

$$\begin{cases} x(j) = A x(j-1) + B u(j), \\ x(0) = x_0, \end{cases} \quad (7)$$

где матрицы

$$\begin{cases} A = F^{-1} P, \\ B = F^{-1} \end{cases} \quad (8)$$

Процесс регистрации информационного сообщения можно представить в виде

$$Z_{\text{инф}}(t) = Kx(t) + v(t), \quad (9)$$

где  $x(t)$  - число электронов вторичного излучения;

$v(t)$  - шумы, вносимые системой измерения;

$K$  - коэффициент усиления системы измерения и регистрации.

Усиленный видеосигнал поступает в систему аналоговой обработки с целью улучшения характеристик сигнала для визуального восприятия на экране видеоконтрольного устройства (ВКУ). Процесс аналоговой обработки описывается следующей формулой:

$$Y(t) = \left( \pm A_{yc} z(t) + C_{кон} \pm B_{дур} \frac{dz(t)}{dt} \right)^{1/2}, \quad (10)$$

где  $Y(t)$  - выходной сигнал системы обработки, модулирующий интенсивность электронного пучка ЭТ в ВКУ;

$A_{yc}, C_{кон}, B_{дур}, \gamma'$  - коэффициенты, используемые для улучшения качества изображения.

Ряд параметров, влияющих на величину выходного сигнала (10), а следовательно, и определяющих вероятность появления аномальных ошибок измерения, не поддаются точной оценке непосредственно в процессе работы оборудования. К таким параметрам можно отнести, например, временные функции изменения ускоряющего и фокусирующего напряжения, которые во многом определяют конечные параметры электронного луча. Эти функциональные зависимости могут быть охарактеризованы только по времени. Кроме того, для измерительной аппаратуры характерно наличие неконтролируемых изменений параметров, поэтому аппаратная оптимизация такой сложной системы, как МКИС, с помощью моделей этих функций не гарантирует выхода на оптимизационный экстремум для конкретных сигналов и шумов, следовательно, резко снижается информативность измерительного оборудования.

Эффективным решением задачи повышения информативности и надежности работы МКИС является построение системы обработки информации по адаптивной схеме, с целью чего была определена математическая модель формирования информационного сообщения.

УДК 620.179

И.В.Голубятников, А.В.Белов

СИСТЕМЫ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ  
ЛИНЕЙНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Сформулирована структура систем адаптивной фильтрации линейных стохастических объектов и разработаны алгоритмы оптимизации параметров адаптивных фильтров в случае аддитивных и мультипликативных шумов в измерителе, которые позволили повысить достоверность обрабатываемой информации. В основу конструкции алгоритмов положены необходимые и достаточные условия минимума среднеквадратической ошибки оценивания, зависящие от известных результатов измерений и состояния фильтра.

Характерной особенностью микроанализа с использованием микрозондовых контрольно-измерительных систем является то, что процесс измерений происходит в условиях априорной неопределенности параметров состояния и характеристик возмущающих воздействий как в самом объекте исследований, так и в канале измерений.

Рассмотрим линейный стохастический объект вида

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t), \quad (1)$$

$$x(t_0) = x_0, \quad (2)$$

$$u(t) = \xi(t) + \eta(t), \quad (3)$$

$$y(t) = H(t)x(t) + v(t), \quad (4)$$