

УДК 53.072

*С.В. ШИДЛОВСКИЙ, В.И. СЫРЯМКИН, В.С. ШИДЛОВСКИЙ***ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ АЛГОРИТМОВ
В РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ МАТЕРИАЛОВ**

Рассматривается применение реконфигурируемых алгоритмов для высокоточного позиционирования поворотного стола микротомографа.

Ключевые слова: томография, управление, параллельность.

Введение

Прогресс в таких областях научного знания, как нанотехнологии, полимерные технологии, микробиология, а также медицинская диагностика, связан с методами неразрушающего исследования внутренней структуры объектов со все более высоким разрешением. Наиболее удобным, а в некоторых случаях и единственным подходом для таких исследований остается использование рентгеновского излучения.

Одной из главных задач и по сей день остается создание рентгеновских микроскопов, имеющих разрешение выше, нежели в оптическом диапазоне, но, в отличие от электронных, не требующих предварительной обработки образцов. Кроме того, рентгено-микроскопические методы исследования, в отличие от электронно-микроскопических, позволяют исследовать влажные образцы и в ряде случаев не вызывают значительного повреждения их структуры [1].

Современные методы рентгеновской томографии базируются на применении мощных вычислительных методов обработки данных, получаемых томографическим сканированием (рис. 1).

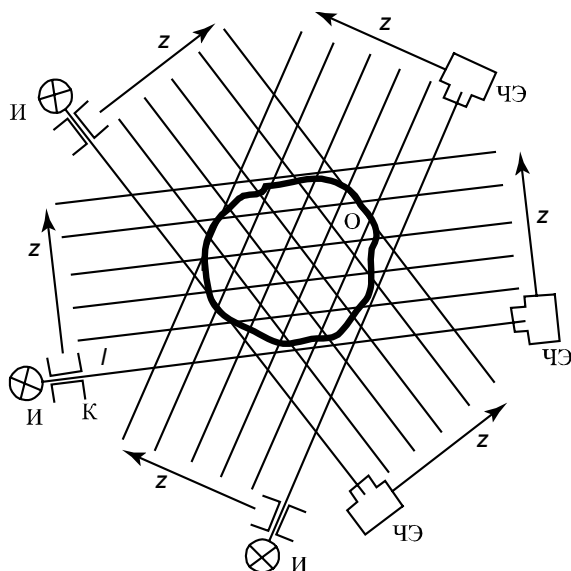


Рис. 1. Схема сканирующего томографа

Узкий пучок рентгеновского излучения от источника (И), сформированный коллиматором (К), просвечивает объект (О), после чего регистрируется чувствительным элементом (ЧЭ). При синхронном перемещении источника и детектора вдоль некоторого направления z осуществляется последовательное сканирование всех участков объекта, причем связь зарегистрированной ЧЭ интенсивности излучения I с линейным коэффициентом поглощения среды объекта μ имеет вид интегрального уравнения [2]

$$I(z) = I_0 \exp \left[- \int_l \mu(z, l) dl \right],$$

где I_0 – интенсивность падающего пучка; dl – элемент пути поглощения вдоль луча l , соответствующего направлению сканирования. Измерения повторяются для нескольких направлений сканирования относительно объекта. Для восстановления распределения μ , а следовательно, плотности и состава вещества по объёму объекта используют специальные алгоритмы обработки данных на ЭВМ.

Качество решения задачи поддержания перемещения объекта исследования относительно источника во время сканирования влияет как на достоверность полученных результатов, так и на время, затрачиваемое на облучение объекта. Поэтому при выборе системы управления позиционированием рентгеновского микротомографа особое внимание необходимо уделить ее качественным характеристикам, т.е. чтобы она обеспечивала высокую точность позиционирования за короткий промежуток времени.

Позиционирование поворотного стола микротомографа

В последнее время были предприняты попытки строить системы с различными законами управления для комплексной автоматизации производственных процессов на основе цифровой техники. Для осуществления высококачественного управления более перспективными по сравнению с системами с неизменяемой структурой являются системы с перестраиваемой структурой [3]. При решении задач управления объектами, информация о состоянии которых представлена в цифровом коде, специфика построения регуляторов с перестраиваемой структурой, а именно необходимость выполнения целого ряда логических операций, связанных с формированием алгоритмов управления, представляет дополнительные возможности для технической реализации таких регуляторов на типовых логических элементах цифровой техники.

На рис. 2 изображена структурная схема системы автоматического управления (САУ) с цифровым реконфигурируемым устройством управления.

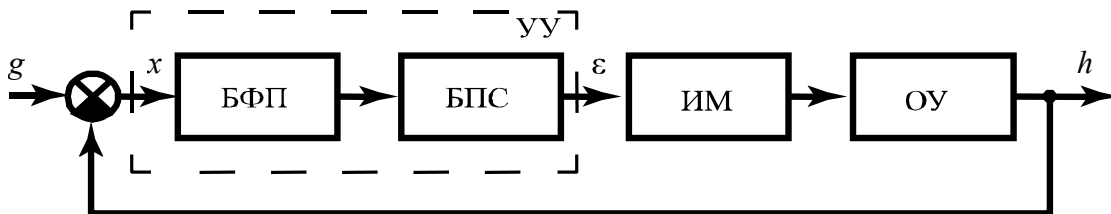


Рис. 2. Структурная схема САУ: ОУ – объект управления; БФП – блок формирования функций переключения; УУ – устройство управления; ИМ – исполнительный механизм; БПС – блок перестройки структуры; x , ε – решетчатые функции; x – сигнал ошибки; ε – управляющее воздействие; g – сигнал задания; h – регулируемая величина

Управляющее воздействие ε формируется в соответствии с общим законом управления системы с перестраиваемой структурой в цифровой форме:

$$\varepsilon = \sum_{i=0} \varphi_i \Delta^i x.$$

Коэффициент φ_i изменяется скачкообразно в соответствии с логическим законом

$$\varphi_i = \begin{cases} u'_i & \text{при } s\Delta^i x > 0, \\ u''_i & \text{при } s\Delta^i x < 0, \end{cases}$$

где $\Delta^i x$ – i -я разность по переменной x ; $s = \Delta x + cx$ – функция, управляющая изменением структуры регулятора; c – постоянный коэффициент.

Реализация УУ может осуществляться с помощью вычислительных средств, построенных по принципу как последовательной, так и параллельной архитектуры [3, 4].

Проектируемая САУ предназначена для тонкого управления движением позиционного стола. Система производит автоматическое управление характеристиками движения поворотного стола, такими, как положение по вертикальной оси и величина угла поворота.

Разрабатываемая система призвана также:

- осуществлять мониторинг информации о ходе технологического процесса;
- повышать эффективность управления и контроля передвиганием поворотного стола рентгеновского микротомографа;
- защищать рабочий персонал от условий протекания технологического процесса (например, рентгеновского излучения).

Определение статических характеристик объекта управления

Первым шагом на пути создания макета разрабатываемой САУ является определение характеристик объектов управления, в роли которых выступают два сервомотора, перемещающие объект исследования относительно источника излучения.

На рис. 3, а приведена программа, разработанная в среде LabVIEW и предназначенная для измерения скорости угла поворота в зависимости от приложенного напряжения на вход сервопривода, а на рис. 3, б – ее графический интерфейс.

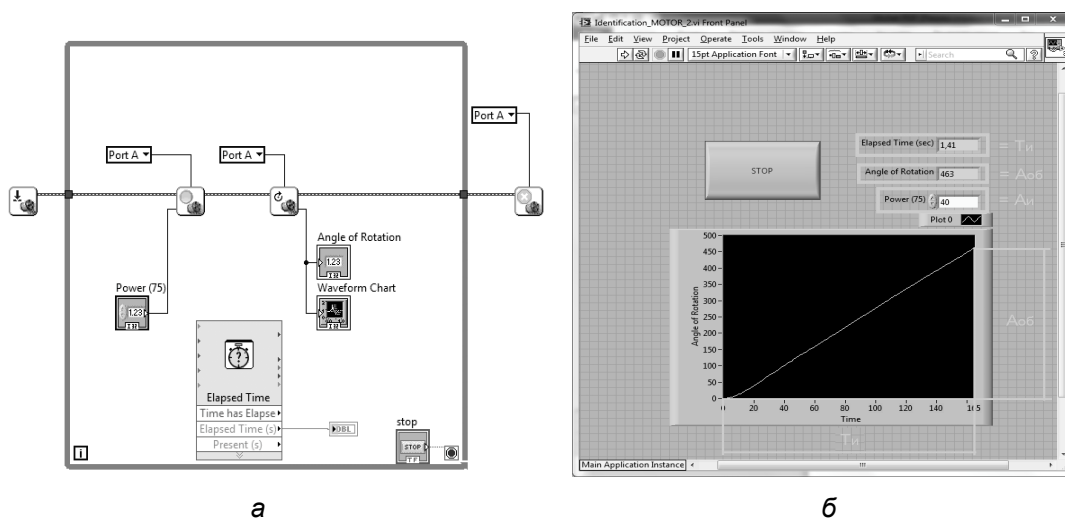


Рис. 3

Результаты проведенных экспериментов сведены в таблицу.

Результаты измерений

Питание, мВ	Скорость вращения, об/с
10	0,51
20	1,44
30	2,31
40	3,24
50	4,12
60	5,04
70	5,88
80	6,80
90	7,70
100	8,95

На основе полученных данных с помощью метода наименьших квадратов получена статическая характеристика сервопривода (рис. 4):

$$y = 7,8 \cdot 10^{-12} x^7 + 2,2 \cdot 10^{-24} x^6 - 1,4 \cdot 10^{-7} x^5 - 2,7 \cdot 10^{-20} x^4 + 0,8 \cdot 10^{-3} x^3 + 7,2 \cdot 10^{-17} x^2 + 6,96 \cdot x - 3,42 \cdot 10^{-15}.$$

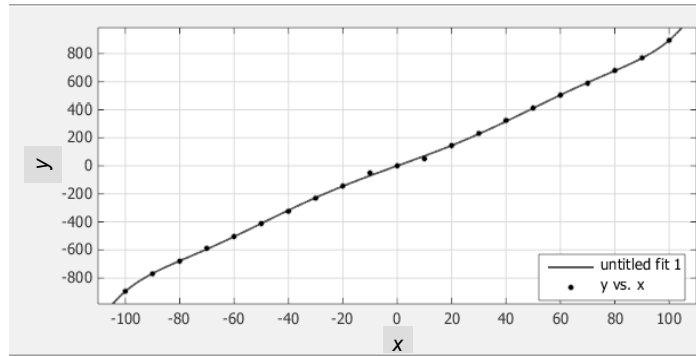


Рис. 4. Статическая характеристика сервопривода

Моделирование и анализ системы

Полученная статическая характеристика сервопривода позволяет построить модель САУ с реконфигурируемым регулятором, параметры которого определены с помощью имитационного моделирования в системе Matlab (рис. 5). На рисунке блок S-Function3 представляет собой модель статической характеристики сервопривода. Параметры реконфигурируемого цифрового регулятора выбраны следующие: $K = 0,0015$; $K_2 = 0,45$; $\alpha = 2$; $\beta = -1$.

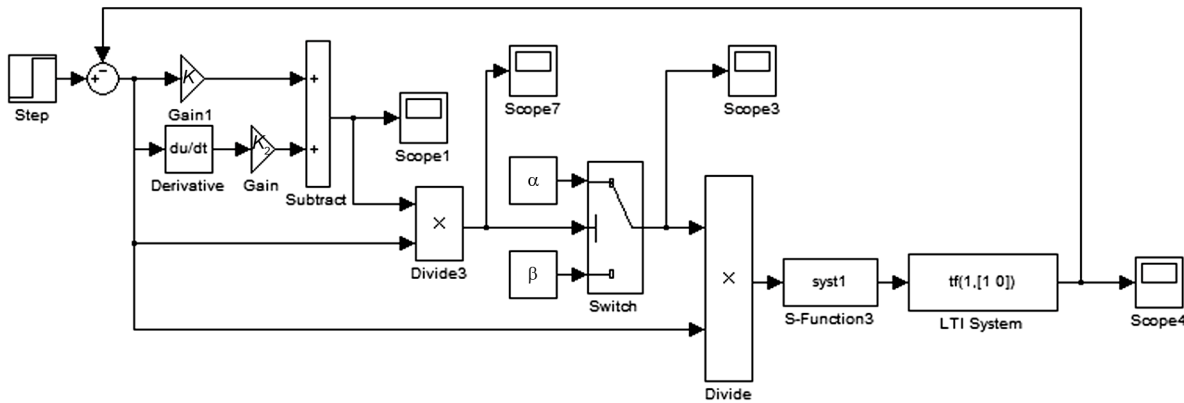


Рис. 5. Модель САУ

Результаты имитационного моделирования реакции системы на скачкообразное воздействие представлены на рис. 6.

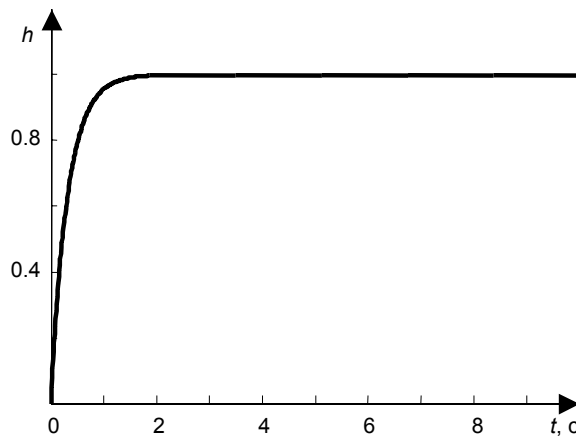


Рис. 6. Переходный процесс

Анализ переходного процесса показывает, что время регулирования составляет 1,2 с, как статическая, так и динамическая ошибки равны 0. Исследования выявили, что при использовании классических алгоритмов управления (ПИД) в системе время регулирования составляет поряд-

ка 7 с, а также присутствуют динамические ошибки. Следовательно, синтезированная САУ с цифровым реконфигурируемым регулятором обеспечивает высокоточное позиционирование за короткий временной интервал.

Заключение

Для создания макета позиционного стола использовались два идентичных сервомотора, для каждого из которых создана независимая САУ на основе рассмотренной в работе модели. Алгоритмическое обеспечение реализовано на базе среды LabVIEW. В графическом интерфейсе (рис. 7) программной части макета предусмотрено как задание точного значения положения стола микроотографа, так и его движение по заранее заданной траектории (например, по спирали).

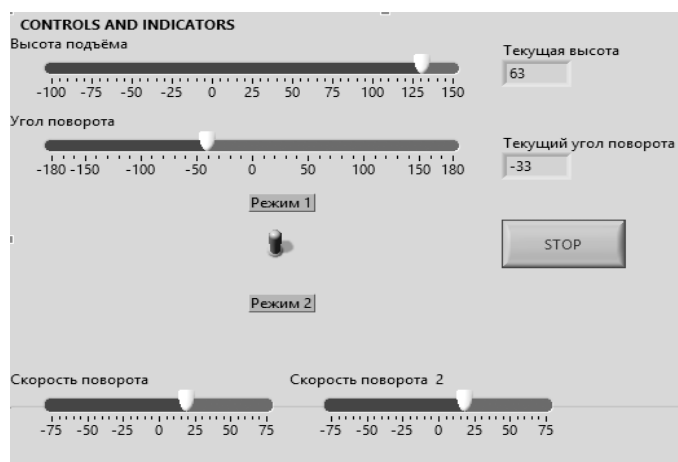


Рис. 7. Панель управления позиционным столом

Полученные с помощью перестраиваемых алгоритмов высокая точность и скорость позиционирования обеспечивают выявление даже малых интересующих очагов в исследуемых неоднородных материалах.

Следует отметить, что электронная и оптическая микроскопии обладают более высоким пространственным разрешением, чем получаемые рентгеновские изображения, но они располагают информацией только о поверхности исследуемых объектов. Представление же о внутренней структуре может дать только анализ микроизображений в рентгеновском диапазоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика визуализации изображения в медицине: в 2 т. Т. 1: пер. с англ. / под ред. С. Уэбба. – М.: Мир, 1991. – 408 с.
2. Троицкий И. Н. Статистическая теория томографии. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
3. Шидловский С. В. // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2006. – № 2. – С. 123–127.
4. Хорошевский В. Г., Курносоев М. Г., Мамойленко С. Н. // Вестник ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 1(14). – С. 79–84.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: Shidlovskiysv@mail.ru

Поступила в редакцию 09.10.13.

Шидловский Станислав Викторович, д.т.н., зав. лаб. высокопроизводительных реконфигурируемых систем;
Сыряжкин Владимир Иванович, д.т.н., профессор, зав. каф. управления качеством факультета инновационных технологий;
Шидловский Виктор Станиславович, к.т.н., ст. науч. сотр.