



4. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. – М.: Мир, 1982. – 304 с.
5. Косников Ю.Н., Афанасьев А.И. Расширение изобразительных возможностей средств визуализации с помощью управления гладкостью геометрических форм // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2021): труды Международной научно-технической конференции /под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2021. – С.39 – 42. – Электронный ресурс. – Доступно из URL: <https://ssau.ru/events/1137-mezhdunarodnaya-nauchno-tekhnicheskaya-konferentsiya-perspektivnye-informatsionnye-tekhnologii-pit-2021>
6. Catmull, E., Rom, R. A Class of Local Interpolating Splines // Computer Aided Geometric Design / R.E. Barnhill and R.F. Reisenfeld, Editors, Academic Press. – NY, 1974. – pp. 317–326.
7. Косников, Ю.Н. Применение бикубических сплайнов в графических системах реального времени // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2005 – №4(9). – С.30 – 36.

Н.П. Кривулин

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ

(Пензенский государственный университет)

Проблема восстановления входных сигналов измерительных систем занимает одну из ключевых позиций во многих областях техники. Она возникает при динамических измерениях, в радиолокации, теории распознавания изображений, теории связи и т. д. Обзоры методов решения данной проблемы можно найти в работах [1–4].

Как отмечается в монографии [1] существует два подхода к решению данной проблемы. Первый, априорный, который заключается в том, что путем совершенствованием конструкции измерительных систем (ИС) добиваются минимума искажений в системе приема сигнала (один из таких подходов рассмотрен в работе [5]), и второй, апостериорный, в основу которого положены алгоритмы восстановления входного сигнала по выходному сигналу. Построение таких алгоритмов осуществляет редукцию к идеальному прибору.

Предлагаются методы, основанные на втором подходе, восстановления входных сигналов нестационарных систем путем построения ИС. ИС состоит из первичного измерительного преобразователя ПИП и последовательного соединенного виртуального измерительного преобразователя (ВИП). ВИП обрабатывает выходной сигнал от ПИП, таким образом, что на его выходе наблюдается измеряемый входной сигнал.



В качестве математической модели ВИП предложены интегральная и дифференциальная модели, описываемые интегральными и дифференциальными уравнениями, соответственно.

1. Построение ИС по интегральной модели.

В качестве математической модели ПИП рассмотрим интегральную модель, описываемую уравнением вида

$$\int_0^t g(t, \tau)x(\tau)d\tau = f(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (1)$$

где $g(t, \tau)$ – известная импульсная характеристика, $f(t)$ – известный выходной сигнал системы (1), $x(t)$ – искомый входной сигнал.

Для ПИП (1) строится ВИП, математическая модель [6] которого имеет вид:

$$x(t) = \sum_{k=1}^n \gamma_k x_k(t), \quad (2)$$

$x(t)$ – восстанавливаемый входной сигнал ПИП (1).

Функции $x_i(t), i = 1, 2, \dots, n$, определяются следующим образом:

1. Выбирается система линейно независимых функций $\{\varphi_i(t)\}, i = 1, 2, \dots, n$.
2. Функции $x_i(t), i = 1, 2, \dots, n$, определяются из решения интегральных уравнений:

$$\int_0^t g(t, \tau)x_i(\tau)d\tau = \varphi_i(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

$\gamma_i, i = 1, 2, \dots, n$, - коэффициенты определяются из разложения выходного сигнала $f(t)$ ПИП (1) по системе функций $\{\varphi_j(t)\}, j = 1, 2, \dots, n$:

$$f(t) = \sum_{k=1}^n \gamma_k \varphi_k(t).$$

Восстановление входного сигнала производится по формуле (2).

2. Построение ИС по дифференциальной модели.

Метод основан на построение математической модели ВИП измерительной системы в виде дифференциального уравнения

$$a_n(t) \frac{d^n f(t)}{dt^n} + a_{n-1}(t) \frac{d^{n-1} f(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0(t) f(t) = x(t). \quad (3)$$

Здесь $x(t)$ - входной сигнал, подлежащий восстановлению; $f(t)$ - выходной сигнал ПИП, $a_n(t), \dots, a_0(t)$ – коэффициенты.

Для восстановления входного сигнала $x(t)$ по формуле (3) требуется:

1. Определить коэффициенты $a_n(t), \dots, a_0(t)$;
2. Вычислить производные $\frac{d^n f(t)}{dt^n}, \dots, \frac{df(t)}{dt}$.

Вычисление коэффициентов $a_n(t), \dots, a_0(t)$ основано на применении [4,7] метода виртуальных сигналов по известной импульсной характеристике ПИП.



Приближенные методы вычисления производных в (3) $\frac{d^n f(t)}{dt^n}, \dots, \frac{df(t)}{dt}$,

основаны на квадратурных формулах для гиперсингулярных интегралов [4,7]. Данные методы отличаются от принятых, высокой точностью и устойчивостью.

В докладе данный метод иллюстрируется на примере [8] восстановления параметров векторов ускорения акселерометра, описываемого дифференциальным уравнением второго порядка.

3. Построение ИС по коррекции выходного сигнала

Методы восстановления входного сигнала основан по обработке выходного сигнала ПИП (линейного и нелинейного). В качестве ВИП используется корректирующее устройство (КУ), реализация которого может быть выполнена как аппаратно, так и программно.

3.1. Линейные системы.

Рассмотрим ПИП, описываемый уравнением:

$$\int_0^t g(t, \tau)x(\tau)d\tau = f(t), 0 \leq t < \infty, \quad (4)$$

строится измерительная система, состоящая из ПИП, описываемый уравнением (4) и КУ, функционирование которого описывается уравнением :

$$\int_0^t g_C(t, \tau)f(\tau)d\tau = x(t), 0 \leq t < \infty,$$

где $f(t)$ - входной сигнал КУ (выходной сигнал ПИП (15)); $f(t)$ - выходной сигнал КУ; $g(t, \tau)$ - импульсная переходная функция ПИП; $g_C(t, \tau)$ - импульсная переходная функция КУ.

Восстановление функций $g(t, \tau)$, $g_C(t, \tau)$ осуществляется методами, описанные в [4,9,10].

Восстановление входного сигнала $x(t)$ в режиме работы измерительного преобразователя определяется по формуле:

$$x(t) = \int_0^t g_C(t, \tau)f(\tau)d\tau.$$

3.2. Нелинейные системы

Рассмотрим ПИП, описываемый уравнением:

$$y(t) = \int_0^t g_1(t, \tau_1)x(\tau_1)d\tau_1 + \iint_{00}^{tt} g_2(t, \tau_1, \tau_2)x(\tau_1)x(\tau_2)d\tau_1d\tau_2 + \dots \quad (5)$$

$$\dots + \int_0^t \dots \int_0^t g_N(t, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N)x(\tau_1)\dots x(\tau_N)d\tau_1\dots d\tau_N,$$

где $x(t)$ – входной сигнал ПИП, подлежащий восстановлению; $y(t)$ – выходной сигнал ПИП; $g_1(t, \tau_1), \dots, g_N(t, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N)$, – ядра Вольтерра.

Для ПИП (5) строится измерительная система, состоящая из ПИП, описываемый уравнением (5) и КУ, функционирование которого описывается в виде конечного ряда Вольтерра [11]:



$$\begin{aligned} x(t) = & \int_0^t g_1^K(t, \tau_1) y(\tau_1) d\tau_1 + \iint_{00}^{tt} g_2^K(t, \tau_1, \tau_2) y(\tau_1) y(\tau_2) d\tau_1 d\tau_2 + \dots \\ & \dots + \iint_{00}^{tt} \dots \int_0^t g_N^K(t, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N) y(\tau_1) y(\tau_2) \dots y(\tau_N) d\tau_1 d\tau_2 \dots d\tau_N, \end{aligned} \quad (6)$$

где $x(t)$ – входной сигнал ПИП; $y(t)$ – выходной сигнал ПИП; $g_1^K(t, \tau_1), \dots, g_N^K(t, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N)$ – ядра Вольтерра, подлежащие восстановлению.

Восстановление $g_1^K(t, \tau_1, \tau_2), \dots, g_N^K(t, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N)$ – ядер Вольтерра, осуществляется методами, описанные в [11].

Восстановление входного сигнала $x(t)$ в режиме работы измерительного преобразователя определяется по формуле (6).

Литература

1. Василенко Г. И. Теория восстановления сигналов / Г.И. Василенко. – М. : Сов. радио, 1979. – 272 с.
2. Грановский, В. А. Динамические измерения: теория и метрологическое обеспечение вчера и сегодня / В. А. Грановский // Датчики и системы. – 2016. – № 3 (201). – С. 57–72.
3. Сизиков В. С. Устойчивые методы обработки результатов измерений : специальная литература / В.С. Сизиков. – Санкт-Петербург, 1999. – 240 с.
4. Бойков И. В. Аналитические и численные методы идентификации динамических систем : моногр. / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – 398 с.
5. Серебряков Д.И. Расчет конструктивных параметров чувствительного элемента волоконно-оптического сигнализатора уровня жидкости / Д.И. Серебряков, Т.И. Мурашкина, Н.П. Кривулин // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 7. – С. 20–22.
6. Кривулин Н. П. Восстановление входных сигналов нестационарных динамических систем / Н. П. Кривулин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико – математические науки. – 2018. – № 3. – С. 64–78.
7. Бойков И. В. Восстановление параметров линейных систем, описываемых дифференциальными уравнениями с переменными коэффициентами / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин // Измерительная техника. – 2013. – № 4. – С. 6–11.
8. Бойков И. В., Приближенный метод восстановления входных сигналов измерительных преобразователей / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин // Измерительная техника. – 2021. – № 12. – С. 3–7.
9. Бойков И.В. Определение временных характеристик линейных систем с распределенными параметрами / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин // Метрология. – 2012. – №8. – С. 3–14.



10. Бойков И. В. Восстановление характеристик нестационарных динамических систем по трем тестовым сигналам / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин // Измерительная техника. – 2020. – № 3. – С. 9–15.

11. Бойков И. В. Идентификация параметров нелинейных динамических систем, моделируемых полиномами Вольтерра / И. В. Бойков, Н. П. Кривулин // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2018. – Том XXI, 2(74). – С. 17-31.

Н.А. Кузнецов, А.А. Смагин

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСШИРЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ДИАПАЗОНА ОБМЕНА ДАННЫМИ В КАНАЛАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

(Ульяновский государственный университет)

Выделяемые в настоящее время диапазоны для обмена информацией являются фиксированными и определяются средой функционирования и характеристиками используемого оборудования. Дестабилизирующие факторы космического пространства, как среды передачи сигналов, а также не санкционируемые вмешательства в передаваемые сообщения задают границы временного диапазона обмена данными, передаваемыми по каналам спутниковой связи [1]. Ко всему прочему применяемая аппаратура является достаточно уязвимой в условиях динамической и быстро изменяющейся обстановки. Временной диапазон обмена сообщениями включает в себя выполнение множества емких сеансовых операций, таких как прием-передача данных, анализ состояния каналов связи, обнаружение нарушений целостности получаемых данных, наличие ошибок (их местоположений), постоянный мониторинг присутствия абонентов в системе обмена данными, контроль работоспособности оборудования.

Аппаратура на борту спутника должна своевременно идентифицировать признак нестандартной ситуации не позднее чем через 16 часов, а дискретность передачи этого признака составляет 2,5 минуты [1]. Величина этого диапазона крайне важна, особенно в случае одновременного воздействия нескольких отрицательно влияющих факторов. В целом границы временного диапазона определяют перечень всех операций обмена данными и влияют как на ее скорость, так и на выбор решения в случае возникновения сбоя или необходимости восстановления работоспособности системы спутниковой связи.

Расширение границ этого диапазона позволяет также увеличить возможности по обработке большего количества информации, а также позволяет использовать дополнительные ресурсы для обнаружения и исправления аддитивных ошибок различной кратности и нарушений процесса корректной передачи данных. Решение этой задачи требует построения модели обеспечения целостности данных, циркулирующих в каналах спутниковой связи, описывающей с необходимой точностью процессы и события, существующие в системах обмена информацией бортовых спутниковых ретрансляторов.