

7. Погосткин Л. С. Исследование анизотропного пространственного фильтра, реализованного электронно-оптическим методом // Автоматизация процессов управления и обработки информации.— Л.: ВНИИЭлектромаш, 1981.
8. А. с. 943778 СССР. Устройство для прослеживания контуров объектов, расположенных на сложном фоне/ М. Ю. Загорский, А. И. Кривоустов, В. Т. Пивоваров и др.— Оpubл. в БИ, 1982, № 26.
9. Кривоустов А. И., Пивоваров В. Т., Погосткин Л. С., Феофанов С. В. Согласованная пространственная фильтрация протяженных элементов на изображениях // Автоматизация процессов управления и обработки информации.— Л.: ВНИИЭлектромаш, 1981.

Поступила в редакцию 28 мая 1984 г.

УДК 681.327.12

И. Н. КУКЕЛЬ, В. Г. ХАЦИРЕВИЧ, А. К. ЯКУШЕВ
(Минск)

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТЫ В ПЛАНШЕТНЫХ УСТРОЙСТВАХ ГРАФИЧЕСКОГО ВВОДА

В последнее время (начало 80-х годов) разработчики планшетных устройств ввода в ЭВМ графической информации стали проявлять определенный интерес к устройствам с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ) тока опроса координатных шин [1—3]. Например, в устройстве [1] при формировании кода точного отсчета, а в устройстве [3] при формировании кода промежуточного отсчета применена АИМ с линейным законом модуляции тока опроса шин. Согласно способу [4, 5] в этом случае i -я величина тока J опроса и соответствующая i -я координата $R_{уд*i*}$ удаления точки с некоторым пороговым значением индукции от оси шины связаны соотношением

$$B_i = (\mu_0 J_i) / 2\pi R_{уд*i*} = \Delta B = \text{const}, \quad (1)$$

где B_i — суммарный модуль магнитной индукции, создаваемой i -м током опроса шины; μ_0 — магнитная проницаемость воздуха, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Из выражения (1) можно найти:

$$R_{уд*i*} = K J_i, \quad (2)$$

здесь

$$K = \mu_0 / (2\pi \Delta B) \quad (3)$$

— коэффициент пропорциональности, который при $\Delta B = \text{const}$ представляет собой постоянную величину.

Таким образом, координата $R_{уд}$ удаления точки с индукцией ΔB имеет линейную зависимость от тока опроса. Условие $\Delta B = \text{const}$ можно выполнить путем настройки порогового элемента, подключенного к измерительной катушке, на величину

$$\Delta e = L \frac{d\Delta B}{dt},$$

где L — индуктивность катушки.

В пределах элементарного приращения координаты Δx связь между элементарным приращением ΔJ тока опроса и создаваемым им приращением магнитной индукции ΔB будет иметь вид

$$\Delta B = (\mu_0 \Delta J) / 2\pi \Delta x. \quad (4)$$

Подставляя это выражение в соотношение (3), получим

$$K = (\Delta x) / \Delta J. \quad (5)$$

С учетом выражения (5) соотношение (2) примет вид

$$R_{y_{дi}} = \Delta x J_i / \Delta J. \quad (6)$$

Отсюда можно записать

$$R_{y_{дi}} / \Delta x = J_i / \Delta J \quad (7)$$

или

$$N_x = N_J, \quad (8)$$

где N_x и N_J — число дискрет квантуемой координаты плоскости и амплитуды тока опроса шины соответственно. Измеряемая координата $R_{y_{д}}$ определяется путем подсчета элементарных приращений тока опроса до момента появления первого управляющего импульса с выхода порогового элемента:

$$R_{y_{д}} = \sum_i^n \Delta x = K \sum_i^n J_i. \quad (9)$$

В реальных устройствах [1, 3], реализующих способ [4, 5], не наблюдается абсолютной линейной зависимости между N_x и N_J и равенство (9) выдерживается с определенной степенью приближения. Это происходит из-за того, что технически трудно создать для индукционного графического пера (ГИП) электромагнитную измерительную систему, выходной электрический сигнал которой формировался бы за счет изменения во времени суммарного модуля B магнитной индукции. Обычно в качестве измерительных катушек используются либо специальные сложной геометрии катушки, реагирующие на изменение во времени горизонтальной составляющей магнитной индукции [6, 7], либо цилиндрические катушки, выходной сигнал которых формируется в основном за счет использования вертикальной составляющей B_{\perp} суммарного модуля магнитной индукции [8]. Вертикальная же составляющая связана с измеряемой координатой другой, функциональной, зависимостью, нежели суммарный модуль.

Применение цилиндрических катушек для изготовления ГИП обеспечивает приемлемые эксплуатационные и метрологические характеристики устройства в целом. Для ГИП с цилиндрической катушкой B_{\perp} имеет вид [8]

$$B_{\perp} = (\mu_0 J x) / 2\pi (x^2 + h^2), \quad (10)$$

где h — высота расположения центра катушки над плоскостью укладки шин; x — измеряемая координата.

Высота h зависит от различных факторов, например: от толщины защитного слоя планшета, толщины бумажного носителя графической информации, а также от параметров самой катушки. Влияние h при измерении координаты по способу, основанному на АИМ тока опроса, сводится к тому, что будет измеряться не истинная координата x , а некоторое фиктивное расстояние R_{ϕ} от оси шины до центра катушки ГИП. Значение R_{ϕ} можно получить из выражения (10):

$$B_{\perp} = (\mu_0 J) / 2\pi R_{\phi}, \quad (11)$$

где

$$R_{\phi} = (x^2 + h^2) / x = x + h \operatorname{tg} \alpha; \quad (12)$$

α — угол между прямой, соединяющей ось координатной шины с центром катушки I , и плоскостью укладки шин 2 (рис. 1). В частном случае, когда $h = 0$ $R_{\phi} = x$.

Таким образом, величина разности между фиктивной координатой R_{ϕ} и действительным значением координаты x будет зависеть от отношения h^2/x ; поэтому преобразование координаты в код в устройствах, использующих АИМ тока опроса, отличается от линейного преобразования. Число N_J модулированных импульсов тока опроса, подаваемых в координатную шину, станет определяться соотношением

$$N_J = R_{\phi} / \Delta x = (x / \Delta x) + (h^2 / x \Delta x).$$

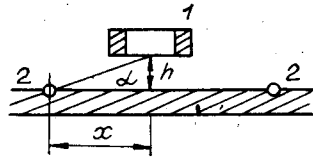


Рис. 1. Расположение индукционной катушки 1 относительно плоскости укладки координатных шин 2

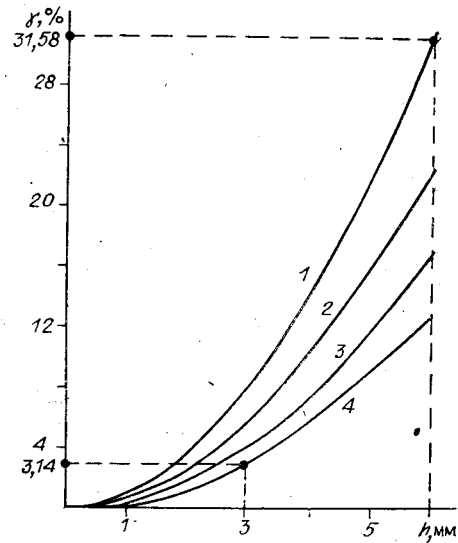


Рис. 2. Графики $\gamma = f(x)$, построенные для различных значений координаты x_{ki} удаления конца диапазона преобразования Δx_i от оси координатной шины (мм):
 1 — $x_{k1} = 3$; $\Delta x_1 = 28$; 2 — $x_{k2} = 4$; $\Delta x_2 = 27$;
 3 — $x_{k3} = 5$; $\Delta x_3 = 26$; 4 — $x_{k4} = 6$; $\Delta x_4 = 25$

Учитывая, что $\frac{x}{\Delta x} = N_j^2$ — число модулированных импульсов, необходимое для измерения действительной координаты, запишем

$$N_j^\phi = N_j^2 + \frac{h^2}{x\Delta x},$$

отсюда

$$N_j^\phi - N_j^2 = \frac{h^2}{x\Delta x}.$$

Таким образом, влияние конструктивного параметра h сводится к тому, что в счетчике точного измерения координаты устройства будут зафиксированы фиктивные (лишние) импульсы, число ΔN которых зависит от соотношения

$$\Delta N = h^2 / (x\Delta x).$$

Оценку величины рабочего диапазона и определение координат начала и конца этого диапазона относительно оси шины с учетом влияния h можно произвести по критерию допустимой погрешности преобразования $R_\phi = f(x)$. Для этого воспользуемся разложением выражения (12) в ряд Тейлора:

$$R_\phi = \sum_n \frac{1}{n!} \left(\frac{\partial^n R_\phi}{\partial x^n} \right) \Delta x^n.$$

При аппроксимации R_ϕ членом первого порядка этого разложения погрешность аппроксимации определяется остаточными членами разложения выше первого порядка. Ограничимся вторым членом разложения. Тогда абсолютная погрешность σ аппроксимации будет иметь вид

$$\sigma = \frac{h^2}{x_{ni}^3} (x_{ni} - x_{ki})^2, \quad (13)$$

где x_{ni} и x_{ki} — координаты начала и конца i -го диапазона преобразования относительно оси шины; $\Delta x = (x_{ni} - x_{ki})$ — величина диапазона преобразования. Значения σ , вычисленные для различных значений Δx , h и x_{ki} при $x_{ni} = \text{const}$, приведены в таблице. В этой же таблице даны соответствующие значения относительной погрешности $\gamma = \sigma/x_{ni}$, выраженной в процентах. Из таблицы видно, что снижение относительной погрешности происходит, если смещать координату x_{ki} конца диапазона в сторону больших значений x и уменьшать значения h . Например, при $h = 6$ мм и $x_{ki} = 3$ мм $\gamma = 31,58\%$, а при $h = 3$ мм и $x_{ki} = 6$ мм $\gamma = 3,14\%$. Диапазон уменьшился с 28 до 25 мм, т. е. лишь на 3 мм; погрешность же

h , мм	x_{K1} , мм	x_{H1} , мм	$x_{H1} - x_{K1}$, мм	σ , мм	γ , %	h , мм	x_{K1} , мм	x_{H1} , мм	$x_{H1} - x_{K1}$, мм	σ , мм	γ , %
6	3	31	28	0,947	31,58	6	5	31	26	0,816	16,33
5	3	31	28	0,657	21,9	5	5	31	26	0,567	11,34
4	3	31	28	0,421	14,03	4	5	31	26	0,363	7,26
3	3	31	28	0,236	7,89	3	5	31	26	0,204	4,08
2	3	31	28	0,105	3,5	2	5	31	26	0,0907	1,814
1	3	31	28	0,0263	0,877	1	5	31	26	0,0226	0,45
6	4	31	27	0,88	22,02	6	6	31	25	0,755	12,58
5	4	31	27	0,611	15,23	5	6	31	25	0,524	6,14
4	4	31	27	0,391	9,78	4	6	31	25	0,335	5,59
3	4	31	27	0,220	5,5	3	6	31	25	0,188	3,14
2	4	31	27	0,0978	2,44	2	6	31	25	0,0839	1,39
1	4	31	27	0,0244	0,61	1	6	31	25	0,0209	0,34

уменьшилась более чем в 10 раз, что свидетельствует об эффективности этих двух мер для снижения погрешности линейности преобразования в устройствах, реализующих способ [4, 5]. На рис. 2 показаны кривые $\gamma = f(x)$, построенные для различных значений x_{K1} и Δx на основании данных таблицы.

Стремление к уменьшению параметра h вызывает жесткие требования к технологии изготовления как координатных матриц, так и самих катушек индуктивности ГИП. Однако можно предложить несколько принципиально отличных технических возможностей, позволяющих обойти трудности, связанные с технологией прецизионного изготовления основных узлов рассматриваемых устройств. Первая из них заключается в применении в качестве измерительной системы ГИП датчиков Холла и магниторезисторов. Те и другие могут быть изготовлены методами интегральной технологии, а следовательно, иметь чрезвычайно малые размеры [9]. Вторая возможность заключается в том, что координатную шину можно опрашивать импульсами тока, модулированными не по линейному или линейно-ступенчатому закону, а импульсами, модулированными по сложному функциональному закону, установленному либо расчетным, либо экспериментальным путем. Для реализации такой возможности, очевидно, потребуется использование функционального генератора токовых импульсов. И, наконец, одна из возможностей заключается в применении микропроцессора, который по известному измеренному значению R_{ϕ} рассчитывал бы истинное значение координаты x по формуле

$$x = \frac{1}{2} (R_{\phi} + \sqrt{R_{\phi}^2 - 4h^2}),$$

полученной непосредственно из выражения (12). При непрерывно снижающихся ценах на микропроцессоры такое техническое решение наиболее перспективно по своей реализации. Кроме вычислений, связанных с определением истинной координаты, на микропроцессор можно возложить также и некоторые другие операции, например, масштабирование координат, их преобразование (сжатие), ввод и вычисление различных поправочных коэффициентов и т. п.

Используя принцип построения устройств, основанный на АИМ тока опроса, можно (как видно из таблицы) получить достаточно большие диапазоны преобразования (25 мм и более) при сравнительно низких относительных погрешностях линейности преобразования. Это дает возможность увеличить шаг укладки шин координатной матрицы планшета, что, в свою очередь, расширяет функциональные возможности устройства и позволяет изготовить планшеты больших размеров при достаточно простой электронной схеме коммутации координатных шин планшета.

Расширение функциональных возможностей устройства достигается так, что координатная матрица (например, с шагом 25 мм) укладывается на планшет из оптически прозрачного материала (органического

стекла) с матовым полупрозрачным слоем — экраном. В этом случае планшет устройства может служить как кодирующей поверхностью, так и просветным экраном для проекции изображения со стороны, противоположной пользователю. В силу того, что координатная матрица изготавливается из очень тонкого провода и имеет большой шаг укладки, она практически не оказывает заметного влияния на качество полуавтоматического кодирования проецируемого графического изображения, например рентгеновского снимка [10, 11]. Местоположение самих координатных шин фиксировано в плоскости планшета, и координаты их заранее известны. Поэтому в случае необходимости координаты самих координатных шин могут быть учтены программным способом.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 517906 (СССР). Устройство для считывания графической информации/Э. Н. Леонович, В. Г. Хациревич.— Оpubл. в БИ, 1976, № 22.
2. Пат. 3819857 (США). Electromagnetic induction-type pattern input apparatus/S. Inokuchi.— Оpubл. 25.06.74.
3. А. с. 108484-А (СССР). Устройство для считывания графической информации/В. Г. Хациревич, А. К. Якушев.— Оpubл. в БИ, 1984, № 13.
4. А. с. 484536 (СССР). Способ считывания графической информации/Э. Н. Леонович, В. Г. Хациревич.— Оpubл. в БИ, 1975, № 34.
5. А. с. 729602 (СССР). Способ считывания графической информации/Э. Н. Леонович, Г. П. Апарин, В. Г. Хациревич.— Оpubл. в БИ, 1980, № 15.
6. А. с. 413504 (СССР). Съёмник координат для устройства графического ввода/Э. Н. Леонович, В. Г. Хациревич.— Оpubл. в БИ, 1974, № 4.
7. Леонович Э. Н., Хациревич В. Г. Индукционный съёмник координат полуавтоматического устройства считывания графической информации // Вычислительная техника в машиностроении: Науч.-техн. сб.— Минск: ИТК АН БССР, 1976, № 2.
8. Леонович Э. Н., Хациревич В. Г., Кулешов А. Я. Оценка возможностей одного способа считывания графической информации.— Там же, 1981, № 2.
9. Хомерики О. К. Применение гальваномагнитных датчиков в устройствах автоматизации и измерений.— М.: Энергия, 1971.
10. Пат. 2651689 (ФРГ). Einrichtung zur Eingabe der Position eines Antipppunktes in einen Rechner/A. Helbert, S. Dieter, Y. Zuhair.— Оpubл. 24.05.78.
11. Вайда Ф., Чакань А. МикроЭВМ.— М.: Энергия, 1970.

Поступила в редакцию 27 декабря 1984 г.

УДК 62.501

К. И. ЛИВШИЦ

(Томск)

ВЫДЕЛЕНИЕ ТРЕНДА СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА СПЛАЙНАМИ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Введение. При выделении трендов нестационарных случайных процессов в условиях неполной априорной информации удобно строить модель тренда в виде сплайн-функции [1] с последующей оценкой параметров сплайна по измерениям. Такая обработка имеет ряд преимуществ перед классическим регрессионным анализом, так как позволяет строить модели с меньшим числом одновременно оцениваемых параметров, а получающиеся алгоритмы дают возможность сравнительно просто организовать обработку информации в реальном масштабе времени по мере поступления исходных данных. В работе рассматривается задача аппроксимации тренда сплайном первого порядка и оценки параметров сплайна методом наименьших квадратов и его модификациями: скользящим методом наименьших квадратов; методом наименьших квадратов с объединением в группы.

1. Оценка параметров сплайна методом наименьших квадратов. Будем предполагать, что наблюдаемый процесс

$$z_i = f(t) + n_i,$$