

- Координатно-чувствительные фотоприемники и оптико-электронные устройства на их основе: III Всесоюз. сов.— Барнаул: АлтПИ, 1986.— Ч. I.
3. Баклицкий В. К., Бочкарев А. М., Мусьяков В. П. и др. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации.— М.: Радио и связь, 1986.
 4. Жаботинский Ю. Д., Исаев Ю. В. Адаптивные промышленные роботы и их применение в микроэлектронике.— М.: Радио и связь, 1985.
 5. Красиленко В. Г., Подорожнюк В. А., Колесницкий О. К. Принципы построения оптоэлектронных процессоров для обработки изображений // Оптические сканирующие устройства и измерительные приборы на их основе: III Всесоюз. сов.— Барнаул: АлтПИ, 1986.— Ч. I.
 6. А. с. 1262571 СССР. Оптоэлектронный сдвигающий регистр/В. М. Свищ.— Опубл. 27.09.86. Бюл. № 37.
 7. Красиленко В. Г., Подорожнюк В. А., Заболотная Н. И. Матричный оптоэлектронный процессор // Координатно-чувствительные фотоприемники и оптико-электронные устройства на их основе: IV Всесоюз. сов.— Барнаул: АлтПИ, 1987.— Ч. II.

Поступила в редакцию 29 февраля 1988 г.

УДК 681.51 : 007.5

М. Я. ЖИТОМИРСКИЙ, В. М. ЛИСКИН, А. А. МАЙСТРЕНКО,
В. П. МАШТАЛИР, Е. П. ПУТЯТИН

(Харьков)

АЛГОРИТМЫ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1. Развитие в последнее десятилетие микропроцессорной технологии дало толчок к созданию эффективных методов и малогабаритных систем цифровой обработки визуальной информации в реальном масштабе времени. При разработке подобных систем (например, телевизионных автоматов промышленных роботов) возникает необходимость синтеза алгоритмов анализа последовательностей быстроменяющихся во времени видеок кадров [1]. На практике можно считать, что различие информации в изображениях в основном индуцируется изменением взаимного расположения объекта и видеодатчика, т. е. движением самого объекта и (или) датчика изображений.

Традиционный подход к обработке последовательностей изображений заключается в анализе пар видеок кадров, полученных в фиксированные моменты времени, и определении трансформаций, связывающих изображения наблюдаемого объекта. На некотором интервале времени эти деформации, как правило, достаточно адекватно описываются группами геометрических преобразований плоскости (поля зрения видеодатчика). Данному подходу свойствен значительный объем вычислительных затрат. Хотя в его рамках и удается достичь требуемого быстродействия, приходится понижать разрешающую способность телевизионных автоматов и ограничиваться лишь самыми простыми видами геометрических преобразований, что в конечном итоге снижает надежность функционирования вычислительных комплексов в целом.

Перспективным направлением совершенствования цифровых телевизионных автоматов является разработка алгоритмов, учитывающих особенности динамики последовательностей изображений [2]. В упрощенном виде постановка задачи заключается в следующем.

Пусть B_t — изображение некоторого движущегося объекта в момент времени t . Изображение B_0 считаем эталонным. В зависимости от

характера возможных перемещений объекта изображения B_t эквивалентны изображению B_0 относительно действия той или иной группы геометрических преобразований плоскости. Обозначим эту группу G . Тогда эквивалентность B_t и B_0 означает, что в каждый момент времени существует преобразование координат $g_t \in G$, $g_t: x \rightarrow h_1(x, y, t)$, $y \rightarrow h_2(x, y, t)$, которое переводит изображение B_0 в изображение B_t : $B_t = g_t B_0 = B_0(h_1(x, y, t), h_2(x, y, t))$. Зная g_t , легко найти обратное преобразование g_t^{-1} . Такое преобразование нормализует изображение B_t , т. е. приводит его к эталонному (каноническому) виду. Процедуры нормализации позволяют сводить распознавание изображений к сравнению с эталоном, а знание параметров группы дает возможность оценивать трехмерные преобразования объектов, т. е. отслеживать их перемещения в пространстве.

В настоящей работе предложены алгоритмы нормализации последовательностей изображений, основанные на процедуре типа прогноз — коррекция. При этом нормализующее преобразование определяется как решение задачи об эквивалентности видеок кадров лишь в отдельные моменты времени. В остальных случаях сложный алгоритм определения неизвестного преобразования заменяется простой процедурой прогноза, что приводит к значительному сокращению временных затрат на обработку видеок кадров.

В качестве модели трансформаций изображений использованы линейные (аффинные) преобразования плоскости, т. е.

$$G = \text{Aff}_2(R) = \{x \rightarrow a_{11}x + a_{12}y + b_1, y \rightarrow a_{21}x + a_{22}y + b_2\},$$

где $\det \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \neq 0$; a_{ij} , b_i — параметры преобразований.

2. Практически любая последовательность изображений реального движущегося объекта обладает тем свойством, что существует последовательность однопараметрических подгрупп G_1, G_2, \dots, G_k и последовательность временных дискретов t_1, t_2, \dots, t_k таких, что изображения B_{t_i} и B_{t_j} эквивалентны относительно действия G_k при $t_{k-1} \leq t', t'' \leq t_k$. Другими словами, многопараметрическое управление движением обычно разбивается на последовательность однопараметрических. Например, на рис. 1 показана совмещенная в одном видеок кадре последовательность изображений. При переходе к каждому следующему изображению автомобиля изменяются и координаты центра тяжести, и масштаб, и ориентация, т. е. действует четырехпараметрическая группа евклидовых подподобий, являющаяся подгруппой аффинных преобразований. Тем не менее ее можно анализировать как однопараметрическую, поскольку и величина смещения, и коэффициент изменения масштаба, и угол поворота определяются лишь временем поступления видеoinформации.

Допустим, что известны моменты времени t_1, t_2, \dots, t_k смены действия однопараметрических подгрупп (это предположение введено для упрощения рассуждений, ниже мы от него избавимся). Покажем, как можно нормализовать последовательность изображений B_t , решая задачу об эквивалентности лишь k раз. Для этого достаточно указать способ получения всех g_t при $t_0 \leq t \leq t_1$ путем однократного решения задачи об эквивалентности относительно аффинной группы. Пусть методами нормализации (см., например, [3]) найдено преобразование g_1 , связывающее эталон B_0 и изображение B_{t_1} в момент времени $t = t_0 + 1 \leq t_1$. Покажем, как найти g_t при $t_0 \leq t \leq t_1$.

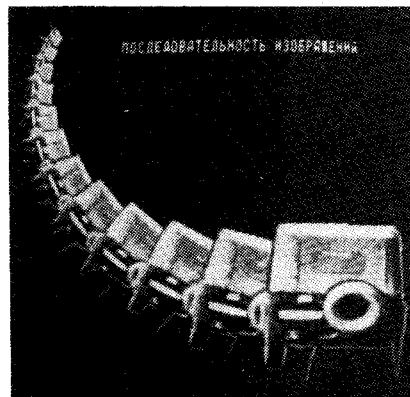


Рис. 1

Алгебру Ли группы $\text{Aff}_2(R)$ обозначим L_{Aff} . Тогда существует элемент $\lambda \in L_{\text{Aff}}$ такой, что $G_1 = \{g_t\}$, $g_t = \exp t\lambda$ (здесь и ниже используются некоторые понятия и факты теории групп и алгебр Ли и их применение к обработке изображений, см., например, [4, 5]). Тем самым для того, чтобы найти любой элемент G_1 , достаточно найти λ . Для этого воспользуемся равенством $\exp \lambda = g_1$, где g_1 — известное преобразование.

Пусть $g_1: z \rightarrow Az + b$, где A — 2×2 -матрица, $\det A \neq 0$, $z = (x, y)$, $b \in R^2$, λ — векторное поле вида $(\alpha_1 x + \beta_1 y + \mu_1) \frac{\partial}{\partial x} + (\alpha_2 x + \beta_2 y + \mu_2) \frac{\partial}{\partial y}$. Уравнение $\exp \lambda = g_1$ можно записать в форме $\exp \widehat{C} = \widehat{A}$, где $\widehat{A} = \begin{pmatrix} A & b \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ — 3×3 -матрица; $\widehat{C} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \mu_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \mu_2 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ — неизвестная 3×3 -матрица,

т. е. получить матричное равенство

$$E + \begin{pmatrix} C & \mu \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \frac{1}{2!} \begin{pmatrix} C & \mu \\ 0 & 0 \end{pmatrix}^2 + \dots = \widehat{A}, \quad (1)$$

где E — единичная матрица; $\mu \in R^2$; $\mu = (\mu_1, \mu_2)$; $C = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \beta_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 \end{pmatrix}$. Из (1) следует, что $C = \ln A$, а вектор μ можно найти из уравнения

$$\left(E + \frac{1}{2!} C + \frac{1}{3!} C^2 + \dots \right) \mu = b. \quad (2)$$

Заметим, что матрица в левой части (2) не вырождена, поскольку функция $g(z) = 1 + \frac{1}{2!} z + \frac{1}{3!} z^2 + \dots$ — целая функция комплексной переменной z и $g(0) \neq 0$. Поэтому $\mu = [g(z)]^{-1}|_{z=c}$. Пара C, μ определяет λ и соответственно преобразование g_t при всех $t_0 \leq t \leq t_1$. Действительно, матрица $\exp t\widehat{C}$ имеет вид $\begin{pmatrix} A(t) & b(t) \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$, т. е. при $t_0 \leq t \leq t_1$ $g_t: z \rightarrow A(t)z + b(t)$.

Вычисления существенно упрощаются при условии $\det(A - E) \neq 0$, что соответствует большинству практических задач. В этом случае $\det C \neq 0$ и, как легко заметить, $g(C) = C^{-1}(A - E)$, $g(t) = t^{-1}C^{-1}(A^t - E)$, где A^t — степень A (при дробных t : $A^t = \exp(t \ln A)$). Принимая во внимание, что $b(t) = \text{tg}(tC)\mu$, $\mu = [g(C)]^{-1}b = (A - E)^{-1}Cb$, с учетом приведенных соотношений находим $b(t) = (A^t - E)(A - E)^{-1}b$. Тем самым доказан следующий результат.

Теорема. Пусть $G = \{g_t\}$, $g_t: z \rightarrow Az + b$, $\det(A - E) \neq 0$. Тогда

$$g_t: z \rightarrow A^t z + (A^t - E)(A - E)^{-1}b. \quad (3)$$

Итак, преобразования g_t при $t \leq t_1$ легко находятся по известному преобразованию g_1 . Аналогично определяются g_t при $t_1 \leq t \leq t_2$ по известному преобразованию g_{t_1+1} . Для этого достаточно найти преобразование $g_{t_1+1}g_{t_1}^{-1}$, связывающее изображения B_{t_1} и B_{t_1+1} , сделать замену времени $t' = t - t_1$ и воспользоваться полученными формулами. Тем же способом можно получить g_t при $t_2 \leq t \leq t_3$, зная преобразование g_{t_2+1} , и т. д. В целом для решения задачи нормализации на временном отрезке $[t_0, t_{h+1}]$ достаточно отыскать преобразования $g_1, g_{t_1+1}, \dots, g_{t_h+1}$, связывающие изображения $B_1, B_{t_1+1}, \dots, B_{t_h+1}$ с эталоном B_0 .

3. В реальных задачах обработки изображений динамических объектов моменты времени t_1, t_2, \dots, t_h неизвестны. Поэтому уже на первом этапе следует предположить что $t_1 \geq h$ (далее, не нарушая общности, будем считать, что $t_0 = 0$), где h — значение, выбранное из априорных соображений (частоты смены видеок кадров, среднего расстояния до объекта, скорости его перемещения и т. д.). На основе первых нормированных моментов изображений B_0 и B_1 , вычисленных по отдельным грациям функций распределения яркостей или объединениям граций,

строится переопределенная система линейных уравнений. Решение системы дает преобразование $g_1: z \rightarrow Az + b$, связывающее видеокadres B_0 и B_1 , т. е. устанавливает их эквивалентность [3]. Тем самым находится однопараметрическая группа G_1 . Преобразования g_t при $t \leq h$ задаются соотношением (3).

Для того чтобы убедиться в справедливости предположения $t_1 \geq h$, необходимо проверить, эквивалентны ли изображения B_0 и B_h относительно G_1 . Непосредственная проверка условия $\rho(g_h B_0, B_h) \leq \varepsilon$ (ρ — некоторая метрика в пространстве изображений; ε — порог, зависящий от уровня помех) приводит к недопустимо большим временным затратам. Более эффективным средством проверки эквивалентности изображений являются легко вычисляемые инвариантные и нормализующие функционалы (информация о них содержится в п. 4, 5).

Если изображения B_0 и B_h эквивалентны относительно действия группы G_1 , то делается предположение $t_1 \geq 2h$ и процедура определения g_t при $h \leq t \leq 2h$ повторяется без использования информации о B_t при $t > 1$. Таким образом, будут найдены все преобразования g_t при $t \leq (r_1 - 1)h$, где $r_1 = 1 + \text{Int}(t_1/h)$, $\text{Int}(\cdot)$ означает целую часть числа.

При $t > t_1$ (изображения не эквивалентны относительно G_1) решается задача об эквивалентности изображений B_0 и $B_{r_1 h}$ относительно полной аффинной группы и определяется конкретный вид группы G_2 . Последнее требует решения еще одной задачи об эквивалентности: необходимо найти преобразование, связывающее $B_{r_1 h}$ и $B_{r_1 h + 1}$. Пусть это преобразование имеет вид $z \rightarrow \tilde{A}z + \tilde{b}$. Тогда преобразования g_t при $r_1 h \leq t \leq (r_1 + 1)h$ являются произведением $\tilde{g}_t g_{r_1 h}$, где $\tilde{g}_t: z \rightarrow \tilde{A}^\tau z + (\tilde{A}^\tau - E)(\tilde{A} - E)^{-1} \tilde{b}$, $\tau = t - r_1 h$. Действуя по той же схеме, как и для случая $0 \leq t \leq r_1 h$, находим g_t при $r_1 h \leq t \leq (r_1 + r_2 - 1)h$; $r_2 = \text{Int}((t_2 - t_1)/h) + 1$. Продолжая этот процесс и решая задачу об эквивалентности пар видеокadres лишь $(2k - 1)$ раз, найдем g_t при всех $t \in [0, T]$. При этом на временных интервалах $[0, \text{Int}(t_1/h)h]$, $[(\text{Int}(t_j/h) + 1)h, \text{Int}((t_j + 1)/h)h]$, $j = 1, 2, \dots$, вся информация о динамических изменениях изображений наблюдаемого объекта определяется по формуле (3).

Основным достоинством предложенного подхода является достижение реального масштаба времени обработки изображений при достаточно высокой частоте смены кадров B_t и большом числе элементов разложения поля зрения. Как показывают экспериментальные исследования, необходимое число решений задачи об эквивалентности относительно полной аффинной группы на один-два порядка меньше общего количества анализируемых видеокadres.

4. Для реализации алгоритма из п. 3 необходимо определять моменты перехода от прогноза к коррекции. Их поиск сводится к проверке эквивалентности двух изображений B_0 и B относительно однопараметрической подгруппы $G = \{g_t\}$ группы $\text{Aff}_2(R)$. Наиболее быстрый способ такой проверки — сравнение чисел $L_{\text{inv}}(B)$ и $L_{\text{inv}}(B_0)$, где L_{inv} — инвариантный относительно действия группы G функционал, т. е. принимающий равные значения для эквивалентных изображений. В случае выполнения неравенства $|L_{\text{inv}}(B_0) - L_{\text{inv}}(B)| \geq \varepsilon_1$ можно сделать вывод о неэквивалентности изображений B и B_0 (ε_1 — пороговое ограничение, зависящее от уровня помех, погрешностей вычислительных моделей алгоритмов, количества уровней квантования и дискретизации функций распределения яркостей). Однако в противном случае нельзя утверждать, что изображения эквивалентны. Введем еще один функционал, который естественно назвать нормализующим.

О п р е д е л е н и е. Функционал L является нормализующим относительно действия однопараметрической группы $G = \{g_t\}$, если $L(g_t B) = \exp(t) L(B)$ для любого преобразования $g_t \in G$ и изображения B .

Нормализующий функционал ниже будем обозначать $L_{\text{норм}}$. Он бу-

дет согласованным в смысле, определенном в [5], где и объяснен выбор функции $\exp(t)$.

Применение нормализующего функционала к задаче проверки эквивалентности изображений B_0 и B может быть осуществлено для случая, когда известно время τ между поступлением этих изображений (тогда при эквивалентности выполняется равенство $B = g_\tau B_0$). В рассматриваемой в п. 1 задаче такая информация известна, поэтому можно осуществлять проверку двух условий:

$$\begin{aligned} |L_{\text{inv}}(B_0) - L_{\text{inv}}(B)| &< \varepsilon_1; \\ \left| \ln \frac{L_{\text{norm}}(B)}{L_{\text{norm}}(B_0)} - \tau \right| &< \varepsilon_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — пороговые ограничения. Поскольку в робототехнологических комплексах обрабатывается ограниченное множество изображений, можно считать, что выполнение неравенств (4) означает почти единичную вероятность эквивалентности видеок кадров. Отметим, что применение с этой же целью (проверка эквивалентности) алгоритмов корреляционного типа, основанных на анализе меры близости изображений $g_\tau B_0, B$, практически без повышения достоверности предъявляет существенные требования к быстрдействию за счет необходимости геометрического преобразования изображения B_0 .

Определение конкретного вида функционалов L_{inv} и L_{norm} при фиксированной подгруппе $G = \{g_t\}$ группы $\text{Aff}_2(R)$ основано на методике [5]. Оба функционала ищутся в классе интегральных функционалов вида

$$L(B) = \int \int_D B(x, y) \omega(x, y),$$

где D — поле зрения видеодатчика; $\omega(x, y) = \rho(x, y) dx \wedge dy$ — внешняя дифференциальная 2-форма [4, 5]. В [5] показано, что правильным выбором функции $\rho(x, y)$ можно достичь выполнения как свойства инвариантности, так и свойства нормализуемости.

Согласно основным результатам [5], нахождение функции $\rho(x, y)$ основано на интегрировании системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\dot{x} = \psi_1(x, y), \quad \dot{y} = \psi_2(x, y), \quad \dot{z} = - \left(q + \frac{\partial \psi_1(x, y)}{\partial x} + \frac{\partial \psi_2(x, y)}{\partial y} \right) z, \quad (5)$$

где ψ_1, ψ_2 — координаты образующей алгебры Ли группы $\{g_t\}$ [5]; q — параметр, равный 0 или 1. Пусть $z = S_q(x, y)$ — первый интеграл системы (5) с параметром q . Тогда интегральный функционал $L(B) = \int \int_D B(x, y) S_q(x, y) dx dy$ будет инвариантным при $q = 0$ и нормализующим при $q = 1$.

Поскольку группа $G = \{g_t\}$ является подгруппой группы $\text{Aff}_2(R)$, то образующая ее алгебры Ли представляет собой векторное поле $\lambda = \psi_1(x, y) \frac{\partial}{\partial x} + \psi_2(x, y) \frac{\partial}{\partial y}$, где $\psi_1 = a_{11}x + a_{12}y + b_1$, $\psi_2 = a_{21}x + a_{22}y + b_2$.

5. Обратимся теперь к произвольной однопараметрической группе аффинных преобразований. Пусть известна образующая алгебры Ли $\lambda = \psi_1 \frac{\partial}{\partial x} + \psi_2 \frac{\partial}{\partial y}$, $\psi_1 = a_{11}x + a_{12}y + b_1$, $\psi_2 = a_{21}x + a_{22}y + b_2$. Обозначим $A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}$ и, ограничиваясь общими положениями, рассмотрим два возможных варианта.

А. Собственные числа λ_1, λ_2 матрицы A вещественны и различны.

В этом случае можно найти аффинное преобразование $(x, y) = T(x_1, y_1)$, переводящее систему (5) в систему

$$\dot{x}_1 = \lambda_1 x_1;$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 &= \lambda_2 x_2; \\ \dot{z} &= -(q + a_{11} + a_{22})z. \end{aligned}$$

Интегрируя эти уравнения, находим функционалы L_{inv} и L_{norm} . В окончательном виде достаточно заменить x_1 и y_1 в (6): $(x_1, y_1) = T^{-1}(x, y)$.

Б. Собственные числа матрицы A являются комплексно-сопряженными $\lambda_1 = a + bi$, $\lambda_2 = a - bi$, $b \neq 0$.

Интегрируя систему (5), находим функционал

$$L(B) = \int_D \int B(x, y) \exp\left(\frac{\gamma}{b} \operatorname{arctg} \frac{x_1}{y_1}\right) dx dy,$$

который будет инвариантным при $\gamma = -(a_{11} + a_{22})$ и нормализующим при $\gamma = -(1 + a_{11} + a_{22})$. Здесь $(x_1, y_1) = T^{-1}(x, y)$ — преобразование, приводящее A к виду $\begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix}$.

6. Проиллюстрируем предложенный подход к обработке последовательностей изображений на примере наиболее часто используемой на практике группы евклидовых подобий, являющейся подгруппой аффинных преобразований. Пусть $G = \{g_i\}$ — однопараметрическая подгруппа группы евклидовых подобий и известно преобразование $g_1: x \rightarrow kx \cos \varphi + ky \sin \varphi + l_1$, $y \rightarrow -kx \sin \varphi + ky \cos \varphi + l_2$. Результаты п. 2, 3 позволяют найти образующую алгебры Ли:

$$\lambda = (\ln kx + \varphi y + \gamma_1) \frac{\partial}{\partial x} + (-\varphi x + \ln ky + \gamma_2) \frac{\partial}{\partial y},$$

где
$$\begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k \cos \varphi - 1 & k \sin \varphi \\ -k \sin \varphi & k \cos \varphi - 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ln k & \varphi \\ -\varphi & \ln k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \end{pmatrix}.$$

Результаты п. 5 дают возможность на основе учета этой информации найти L_{inv} и L_{norm} :

$$L(B) = \int_D \int B(x, y) \exp\left\{-\frac{q + 2 \ln k}{\varphi} \operatorname{arctg} \frac{x - \alpha}{y - \beta}\right\} dx dy,$$

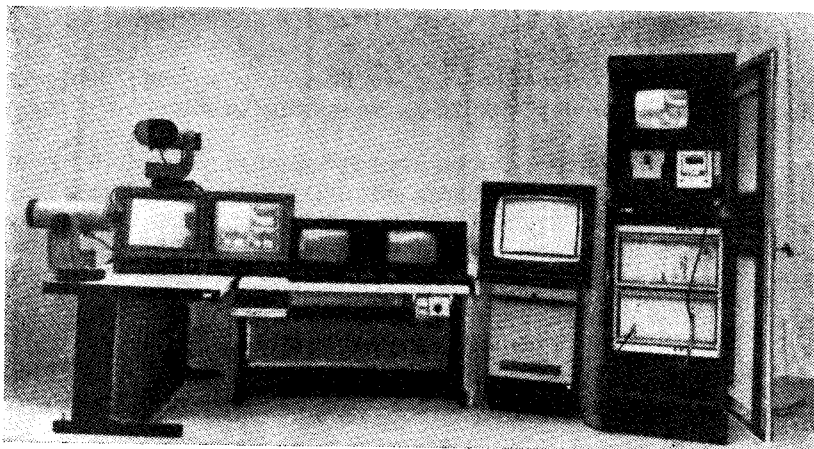


Рис. 2

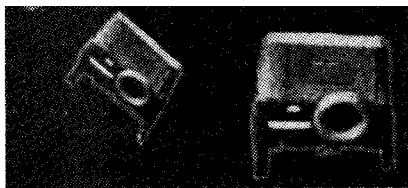


Рис. 3

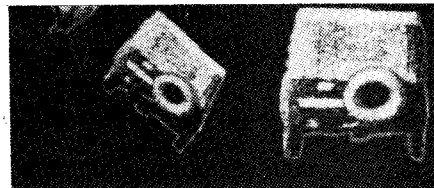


Рис. 4

где, как и выше, при $q = 0$ $L(B) = L_{\text{inv}}$, при $q = 1$ $L(B) = L_{\text{norm}}$. Здесь

$$\alpha = \frac{\varphi\gamma_2 - \ln k\gamma_1}{\varphi^2 + \ln^2 k}; \quad \beta = \frac{-\varphi\gamma_1 - \ln k\gamma_2}{\varphi^2 + \ln^2 k}.$$

Экспериментальная обработка предложенных алгоритмов осуществлялась при помощи исследовательского комплекса цифровой обработки изображений, внешний вид которого представлен на рис. 2. Суть экспериментов состояла в следующем. Для синтезированной на ЭВМ эталонной последовательности изображений (см. рис. 1) производилась нормализация двух первых видеок кадров, т. е. находился элемент группы G .

С одной стороны, все последующие изображения определялись лишь с использованием этого результата. В качестве параметра t принимался номер видеок кадра. Рис. 3, 4 иллюстрируют построение 4-, 8- и 12-го кадров в идеальных условиях (имеются погрешности лишь цифровых моделей алгоритмов) и при аддитивных помехах, усложняющих нормализацию. С другой стороны, все последующие изображения (в условиях шума и без него) анализировались с использованием условий (4) с целью определения моментов времени изменения однопараметрической группы. Так, для параметров $K = 0,9$, $\varphi = 10^\circ$, $l_1 = 8$, $l_2 = 10$, отвечающих случаю рис. 1, инвариантный и нормализующий функционалы имеют вид

$$L_{\text{inv}}(B) = \iint_D B(x, y) \exp\left(C_1 \arctg \frac{x - \alpha}{y - \beta}\right) dx dy;$$

$$L_{\text{norm}}(B) = \iint_D B(x, y) \exp\left(C_2 \arctg \frac{x - \alpha}{y - \beta}\right) dx dy$$

при $C_1 = 1,2$; $C_2 = -4,5$; $\alpha = 36,5$; $\beta = -23,4$, что хорошо соответствует проведенному эксперименту вплоть до величины отношения сигнал/шум, равной 6:1.

Предложенный подход к анализу временных последовательностей видеок кадров позволяет синтезировать алгоритмы, обладающие достаточно высокой помехоустойчивостью и простотой реализации. Эти алгоритмы дают возможность создавать специализированные устройства обработки изображений динамических объектов в реальном масштабе времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Image sequence analysis/Ed. T. S. Huang.— Berlin — Heidelberg — New York: Springer-Verlag, 1981.— P. 438.
2. Путятин Е. П., Бодянский Е. В., Майстренко А. А., Машталер В. П. Адаптивное распознавание объектов на основе анализа последовательностей изображений // АСУ и приборы автоматики.— Харьков: Вища шк., 1985.— Вып. 76.

3. Майстренко А. А., Машталир В. П., Пуятин Е. П. Алгоритмы анализа изображений при геометрических преобразованиях // Вычислительная математика и кибернетика.— Харьков: ХАИ, 1984.— Вып. 1.
4. Постников М. М. Группы и алгебры Ли.— М.: Наука, 1982.
5. Житомирский М. Я., Лискин В. Н., Майстренко А. А. и др. Метод построения функционалов, согласованных с геометрическими преобразованиями изображений // Автоматрия.— 1987.— № 2.

Поступила в редакцию 22 января 1988 г.

УДК 681.142 : 621.317

А. М. ДОРМАН

(Ленинград)

МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ

Введение. Регистрация излучения лежит в основе спектрометрических методов исследований (электронных, оптических, ИК), технической диагностики, пеленгации и др. Помехи — фон и шум — существенно затрудняют регистрацию информативных параметров излучения. Наивысшее качество регистрации достижимо при использовании оптимальных методов. Однако проблема синтеза, включающая в себя задачи определения оптимальной структуры и управления системой регистрации, оказывается все еще полностью не решенной. Отсутствие полной ясности в постановке задачи синтеза, учитывающей разнообразные последствия ошибок регистрации (в полезных) априорной неопределенности о форме характеристического (полезного) сигнала (ХС), мешающего фона и влияния разнообразных искажений, затрудняет создание эффективных методов и систем. Так, анализ литературы указывает на сложность и нерешенность задачи одновременного синтеза структуры (передаточных функций) и управления (законов сканирования) [1—4]. В то же время раздельный синтез структуры и законов сканирования не позволяет в принципе достичь наивысшего качества регистрации.

Применительно к спектрометрии рассматриваемая задача синтеза не ставилась [5, 6], а широко распространенные модели случайного нормального фона [1, 2] часто неадекватны исследуемым процессам [7].

1. Модель ХС, информативных параметров и помех. В процессе регистрации происходит прием собственного или отраженного наблюдаемым объектом излучения, распределенного по пространственным (угловым) X, Y и энергетической (длина волны) E координатам. Далее принятая смесь ХС с фоном неизвестной формы и шумом обрабатывается с целью выделения информативных параметров.

Обычно в любой точке пространства (X, Y) ХС состоит из одного или нескольких пиков излучения, концентрирующихся в узких областях оси энергии, фон же представляет собой функцию, изменяющуюся достаточно медленно. Для оси энергии и соответствующей ей оси частот ω_E признаки «концентрированности» и «медленности» ХС и фона являются дуальными. Такими свойствами ХС и фон могут обладать как по энергетической, так и по пространственным координатам. Дополнительная априорная информация позволяет, естественно, улучшить качество регистрации. Не нарушая общности, будем полагать, что признаки «концентрированности» и «медленности» для ХС и фона имеют место только по оси энергии, а по пространственным координатам они неотличимы.

При регистрации пространственно-энергетических распределений излучения обычно априорно известно расположение интересующих наблюдателя пиков ХС.