

записи традиционным методом (кривые I) являются линейными в диапазоне изменения контраста $V \simeq 0,1 \div 0,2$.

Более высокие параметры, достигнутые в режиме затвора, могут быть объяснены тем, что абсолютные изменения параметров среды в процессе формирования скрытого изображения значительно меньше аналогичных изменений в процессе одновременного формирования и проявления изображения, следовательно, влияние нелинейных искажений снижается, т. е. диапазон линейности увеличивается в 3–4 раза, разрешающая способность — до $400 \div 500 \text{ мм}^{-1}$. Улучшение характеристик может быть объяснено также тем, что наличие мощной засветки (для стирания) в традиционном способе записи приводит к возникновению механических напряжений в образце, а устранение этой постоянной составляющей снижает это напряжение и, следовательно, приводит к улучшению параметров.

Выводы

Проведенные измерения показывают, что характеристики ПВМС ПРИЗ значительно улучшаются при работе в режиме затвора. Высокое быстродействие, разрешающая способность, практически неограниченное число циклов запись-стирание, линейность дают возможность более широко и с большей эффективностью использовать эти приборы, работающие в режиме затвора для ввода и обработки изображений в когерентных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неженко Е. С., Фельдбуш В. И., Шитов П. М. Пространственно-временные характеристики управляемого транспаранта ПРИЗ // Автометрия.— 1987.— № 2.
2. Бережной А. А., Бужинский А. А., Грознов М. А. и др. Исследование частотно-контрастных и временных характеристик в кристаллах силиката висмута // Оптика и спектроскопия.— 1984.— 56, вып. 6.
3. Петров М. П., Хоменко А. В., Березкин В. И. Предельная разрешающая способность транспаранта на основе $\text{V}_{12}\text{SiO}_{20}$ // Микроэлектроника.— 1979.— 8, № 1.
4. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография.— М.: Мир, 1974.

Поступило в редакцию 31 мая 1988 г.

УДК 681.34

В. Л. ПЕРЖУ
(Кишинев)

АДАПТИВНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КООРДИНАТ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Одной из важных операций, реализуемых в системах обработки визуальной информации и распознавания образов, является преобразование координат изображений (ПКИ). Такая операция необходима для инвариантного опознавания изображений объектов, при улучшении и восстановлении изображений и в ряде других случаев [1, 2].

В статье рассматривается новый метод ПКИ, основанный на предварительном вычислении сложности преобразуемых изображений, выделении и преобразовании только их высокоинформативной части с учетом возможных сдвигов и изменения масштаба. Такой подход позволяет строить «гибкие» адаптивные системы ПКИ и обработки изображений в целом, отличающиеся более высокими быстродействием и точностью.

Пусть исходное изображение, описываемое непрерывной функцией яркости $P(x, y)$, содержит изображение объекта $R(x, y)$, представленное на некотором фоне $G(x, y)$: $P(x, y) = R(x, y) + G(x, y)$. Кроме того, пусть изображение $P(x, y)$ имеет произвольную угловую ориентацию (параметр e_1), масштаб (e_2) и местоположение на плоскости (e_3, e_4). В соответствии с предлагаемым методом на первом этапе выделяется наиболее информативная часть исходного изображения: $P(x, y) \rightarrow K(P(x, y)) = \tilde{P}(x, y)$, где K — оператор выделения информативной части. При этом одним из эффективных и в то же время достаточно простых способов является

подчеркивание контуров исходных изображений. В данном случае за счет устранения избыточной шумовой информации в изображении появляется возможность снизить временные затраты на этапе преобразования координат, повысить достоверность результатов последующей обработки информации [3].

На втором этапе ПКИ определяется сложность изображения $\tilde{P}(x, y)$.

Сложность изображения может быть охарактеризована как сложностью объектов, содержащихся в данном изображении, так и их количеством. Сложность объектов часто определяется сложностью их формы, особенностями структуры. Известно, что особенности или «тонкие» детали изображения в значительной степени влияют на формирование высоких частот его фурье-спектра. Такие частоты содержат данные, необходимые для отличия одного объекта от другого [4]. Поэтому в качестве меры сложности m изображения в данной работе предлагается использовать такой параметр, как максимальная частота f_m фурье-спектра изображения. Предложенная мера сложности изображений может быть вычислена весьма просто и быстро с помощью оптических средств, что имеет весьма существенное значение в системах реального времени.

На третьем этапе с учетом параметров $e_1 - e_4$ изображение $\tilde{P}(x, y)$ дискретизируется на $N \times M$ элементов:

$$\tilde{P}(x, y) \rightarrow \tilde{P} = \|p_{ij}\|_{N \times M} = \|r_{ij} + g_{ij}\|_{N \times M},$$

где

$$N = F_1(m, e_1, e_2, e_3, e_4); \quad M = F_2(m, e_1, e_2, e_3, e_4).$$

На следующем этапе по признаку порогового ограничения h из изображения \tilde{P} извлекается изображение объекта \tilde{R} , которое затем непосредственно преобразуется в новую систему координат:

$$\tilde{P} \xrightarrow{h} \tilde{R} = \|r_{ij}\|_{N \times M} \rightarrow \tilde{R}_n = \|r_{hl}\|_{N \times M}, \quad k = F_3(i, j), \quad l = F_4(i, j).$$

В соответствии со сложностью m изображения и возможными его искажениями ($e_1 - e_4$) определим необходимое количество элементов дискретизации преобразуемого изображения Γ_n . Пусть D_m — максимальный линейный размер изображения объекта, не подверженного искажениям типа изменения масштаба, поворота. Кроме того, пусть $\max(|e_3|, |e_4|) = zD_m$. Поскольку на этапе дискретизации изображение $P(x, y)$ должно быть представлено на некотором приемном рецепторном поле элементов, то для ПКИ без искажений такое рецепторное поле должно иметь площадь, равную

$$S_n = (2(e_1(D_m/2) + zD_m + vD_m))^2 = (D_m(e_1 + 2z + 2v))^2, \quad (1)$$

где параметр v характеризует расстояние от края рецепторного поля до ближайшего края строки (столбца) рецепторных элементов. С другой стороны, площадь рецепторного поля можно определить через число элементов в строке (столбце) поля ($N = M$) и его параметры d, q, w следующим образом:

$$S_n = ((N-1)q + d + 2w)^2 = (Nq + w)^2, \quad (2)$$

где d — диаметр элемента; q, w — расстояние между центрами и близлежащими краями соседних элементов поля. Приравняв правые части формул (1) и (2), получим выражение для оценки Γ_n :

$$\Gamma_n = N^2 = ((D_m(e_1 + 2z + 2v) - w)/q)^2 = (2f_m D_m(e_1 + 2z + 2v) - a)^2. \quad (3)$$

Здесь f_m — максимальная частота фурье-спектра изображения — определяется по теореме Котельникова как $f_m = 1/2q$; a — постоянная, равная $a = w/q$.

На основании выражения (3) были сделаны расчеты необходимого количества элементов дискретизации Γ_n в зависимости от величины f_m преобразуемого изображения и изменения его масштаба e_1 при различных значениях параметра сдвига z . Данные расчетов для $D_m = 4$ мм представлены на рис. 1. Анализ показывает, что без искажений могут быть преобразованы изображения с $f_m \leq 40$ лин/мм только при значениях параметров $e_1 = z \leq 0,5$ (при стандарте телевизионного разложения в 625×833 элементов). В остальных случаях такие изображения будут преобразованы

с искажениями либо допустима обработка более простых изображений. Так, при $e_1 = z \leq 1,0$ без искажений могут быть преобразованы изображения с $f_m \leq 21,5$ лин/мм, а при $e_1 = z \leq 2,0$ — только изображения с $f_m \leq 11$ лин/мм.

Была разработана оптико-электронная система преобразования изо-

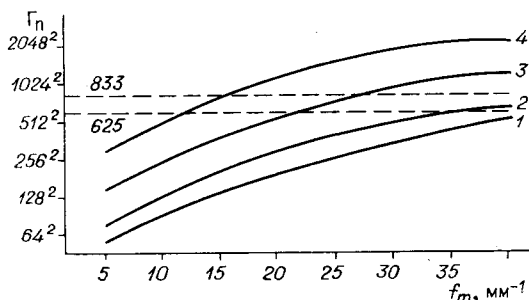
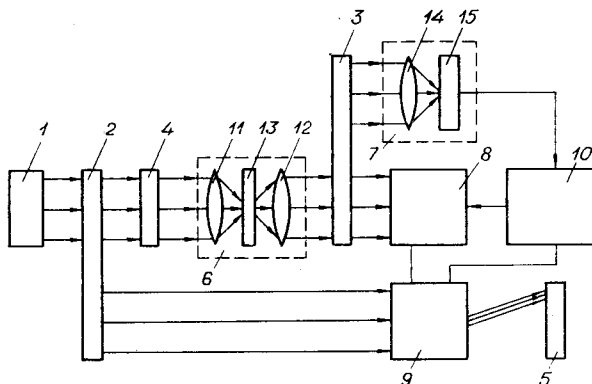


Рис. 1. Зависимости Γ_n от изменения f_m :
1 — при $e_1 = 1,0, z = 0$; 2 — $e_1 = z = 0,5$;
3 — $e_1 = z = 1,0$; 4 — $e_1 = z = 2,0$

Рис. 2. Структура оптико-электронной системы преобразования координат изображений.



бражений, реализующая предложенный метод (рис. 2). Система содержит источник когерентного излучения 1, светоделители 2 и 3, транспаранты 4 и 5, оптический процессор 6, блок вычисления сложности изображений 7, блок фотоприемных матриц 8, блок оптической модуляции и отклонения 9, цифровой процессор 10 [5]. Исходное изображение представляется на транспаранте 4, преобразованное изображение — на транспаранте 5. Оптический процессор 6 предназначен для оконтуривания изображений и реализует оператор Собела методом оптической корреляции [6]. Процессор содержит фурье-линзы 11, 12 и голограмму 13. Вычисление максимальных частот фурье-спектра изображения выполняется в блоке 7 с помощью фурье-линзы 14 и детектора оптического поля 15, в качестве которого используется полупроводниковый радиально-круговой детектор. Цифровой процессор 10 выполняет функции управления в системе, формирования развертывающихся кодов для блоков 8 и 9.

Общие временные затраты на преобразование изображения по предложенному методу определяются следующим образом:

$$T = 20 + c(2f_m D_m (e_1 + 2z + 2v) - a)^2 (t_i + t_n), \text{ мкс}, \quad (4)$$

где t_i , t_n — соответственно время извлечения и преобразования координат одного элемента изображения; c — параметр, характеризующий величину высокоинформативной части в изображении. Временные затраты, необходимые для преобразования координат изображения по одному из известных методов, описанному в [1], можно определить по формуле

$$T' = N'M't_n, \quad (5)$$

где N' , M' — количество элементов стандартного телевизионного раstra (625×833). На основании формул (4), (5) рассчитывались временные затраты, необходимые для преобразования изображения по предложенному и известному методам (рис. 3, 4), а также выигрыш в быстродействии $L = T'/T$ при преобразовании изображений предложенным методом для различных значений параметров c , f_m , e_1 , z при $t_i = 2$ мкс, $t_n = 15$ мкс.

Из рис. 3 видно, что временные затраты на ПКИ по предложенному методу ниже, чем по известному, для изображений с $f_m = 32$ лин/мм только при значении параметра $c = 0,12$.

Результаты расчетов, представленные на рис. 4, показывают, что для $e_1 = z = 2,0$ при изменении f_m от 5 до 11 лин/мм (что соответствует преобразованию изображений без искажений) время T увеличивается от 160 до 520 мс; для $e_1 = z =$

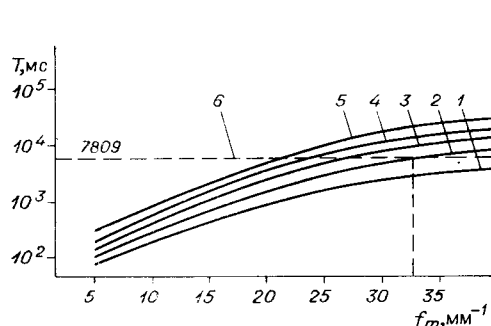


Рис. 3. Зависимости временных затрат T на преобразование изображений от изменения f_m для $e_1 = z = 2,0$:

1 — при $c = 0,1$; 2 — $c = 0,12$; 3 — $c = 0,2$; 4 — $c = 0,3$; 5 — $c = 0,5$; 6 — для известного метода

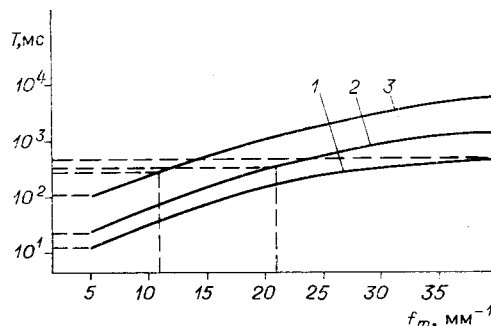


Рис. 4. Зависимости временных затрат T на преобразование изображений от изменения f_m для $c = 0,12$:

1 — при $e_1 = z = 0,5$; 2 — $e_1 = z = 1,0$; 3 — $e_1 = z = 2,0$

$= 1,0$ и $f_m = 5-21$ лин/м значение T изменяется от 40 до 580 мс, а при $e_1 = z = 0,5$ и $f_m = 5-40$ лин/мм — от 11,6 до 700 мс.

Таким образом, временные затраты на преобразование изображений по предложенному методу увеличиваются от 11,6 до 700 мс (для $c = 0,12$). При этом выигрыш в быстродействии будет изменяться от 670 до 11 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Casasent D., Psaltis D. Position, rotation and scale invariant optical correlator // Appl. Opt.— 1976.— 15, N 7.
2. Sawchuk A. Space-variant image recognition by coordinate transformation // JOSA.— 1974.— 64, N 2.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений.— М.: Мир, 1982.— Т. 1.
4. Василенко Г. И., Цибулькин Л. М. Голографические распознающие устройства.— М.: Радио и связь, 1985.
5. А. с. 1550504 СССР. Устройство для преобразования координат изображений/ В. Л. Пержу.— Оpubл. 15.03.90, Бюл. № 10.
6. Casasent D., Chen J. Nonlinear local image preprocessing using coherent optical techniques // Appl. Opt.— 1983.— 22, N 6.

Поступило в редакцию 24 ноября 1987 г.

УДК 621.317.3 : 550.837.81.08

С. В. БАЙДИКОВ, Н. С. ИВАНОВ, А. В. ЛЕВЧЕНКО, А. И. ЧЕЛОВЕЧКОВ
(Свердловск)

АЛГОРИТМЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Возрастающие требования к точности и помехоустойчивости электроразведочной аппаратуры заставляют искать наиболее эффективные алгоритмы обработки измеряемых сигналов.

Известно, что для выделения полезного сигнала на фоне флуктуационной помехи с нормальным законом распределения и нулевым математическим ожиданием наиболее эффективен метод накопления (среднего арифметического) [1]. Однако, как показывает практика электроразведки, наряду с флуктуационными помехами с нормальным законом распределения, имеются более редкие, но большие по величине импульсные помехи с неизвестным законом распределения и переменными вероятностными характеристиками. Вопросу оценивания полезного сигнала в этих условиях посвящен ряд работ.

В [2] рекомендуется для обработки электроразведочного сигнала использовать метод медианы. В [3] утверждается, однако, что целесообразнее использовать медиану Ходжеса — Лемана, и предлагается модифицированный алгоритм ее определения, позволяющий связать объем вычислений. Эффективность метода проверяется моделированием на ЭВМ, но сравнение проводится не с методом медианы, а с методом накопления.

Моделирование в [3] и ряде других работ осуществляется исходя из предположения, что суммарные помехи имеют плотность распределения

$$p(y, \varepsilon) = \frac{1 - \varepsilon}{\sqrt{2\pi} \sigma_1} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_1^2}\right) + \varepsilon h(y),$$

где $h(y)$ — симметричная плотность распределения — обычно гауссова. Указанная модель помехи также предполагает, что принятый сигнал содержит небольшую флуктуационную помеху с приблизительно нормальным распределением $N(0, \sigma_1^2)$, но иногда с вероятностью ε сигнал зашумлен аномальной импульсной помехой, имеющей гораздо большую, чем σ_1^2 , дисперсию σ_2^2 . Однако предположение о симметричном распределении импульсных помех не всегда обосновано. Это прежде всего подтверждается при анализе импульсных помех типа «лестница» [4]. Такие помехи вызываются, например, сменной режимов работы электродвигателей поездов при ускорении или торможении, когда период полезного сигнала гораздо меньше длительности одного переходного режима электропоезда.

© 1990 Байдилов С. В., Иванов Н. С., Левченко А. В., Человечков А. И.