

Рис. 3. Отклики сенсоров на воздействие паров этилового спирта, табачного дыма и дыма горячей конопли

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутурлин А.И. и др. Газочувствительные датчики на основе металлоокисных полупроводников// Зарубежная электронная техника. – 1983. – № 10. – С. 3–39.
2. Таратын И.А., Сергейченко А.В. Микросенсор оксида углерода// Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления. Сборник материалов XII научно-технической конференции. – М.:МГИЭМ, 2000. – С. 69.

УДК 681.327.(0.88)

В.М. Колешко, М.А. Самошкин

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ПРИ СЧИТЫВАНИИ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ФИЛЬТРАЦИИ ВИДЕОСИГНАЛОВ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Предложена методика и получены математические выражения для моделирования процессов параллельно-последовательного считывания информации. Созданы математические модели нелинейной фильтрации видеосигналов с учетом критерия максимального отношения сигнал/шум и оптического контраста.

Перспективной формой представления видеоданных в автоматизированных системах обработки информации, в рамках которой целесообразно вести разработку методов кодирования, являются рекурсивные структуры и структуры на основе регу-

лярной декомпозиции. Помимо эффективности, такие структуры обеспечивают поэтапную передачу информации, что дает дополнительные возможности для ускорения выполнения операций над изображениями.

В связи с этим были предложены способы и программно-технические средства с автоматическим выбором шага, размеров и траектории движения считывающего луча на основе регулярной декомпозиции и рекурсивного представления элементов поля изображения. Это в 3-5 раз снижает объемы передачи, хранения и обработки видеоданных и увеличивает быстродействие системы.

С 1992 г. фирмы Agfa и Linotype-Hell усиленно ведут разработки в области новых технологий растрового ввода-вывода полутоновых черно-белых и цветных изображений. До сих пор все цветные журналы, книги, газеты печатались с использованием технологии амплитудного растрового вывода, в котором расстояние между растр-элементами оставалось постоянным, а изменялся лишь размер растр-элемента. Взгляды на качество ввода и вывода изображений меняются с развитием технологий, и амплитудное представление изображений уже не удовлетворяет современному качеству. Сейчас почти все известные фирмы – разработчики RIP-машин, преобразующих PostScript-файл в растровое изображение, активно внедряют стохастический растровый вывод. Фирма Scitex пошла еще дальше в поисках путей повышения качества. Если в Crystal Raster и Diamond Screen предложены технологии, в которых изменяется только расстояние между одинаковыми растр-элементами при растровом выводе изображений, то в технологии Scitex FULLtone изменяется и размер растр-элемента, что позволяет еще больше приблизить качество полутонового черно-белого и цветного вывода изображений к фотографической печати.

Рассмотрим методику компьютерного моделирования средств автоматического ввода изображений, в том числе и сенсора изображения (СИ) с матричным фотоприемником (МФ), позволяющую исследовать прохождение оптических сигналов через оптико-электронный тракт СИ при параллельно-последовательном считывании изображений с переменным шагом и апертурой сканирующего луча.

Компьютерное моделирование производится в три этапа. На первом этапе выполняется синтез входного сигнала – распределение спектральной лучистости. Косвенное задание входного оптического сигнала в виде матрицы кодов излучающих объектов позволяет представить информацию об объектах с различными излучательными свойствами и геометрической формой, сократить объем вычислений при пересчете спектральных характеристик и уменьшить требуемый объем памяти при помощи кодирования входного оптического сигнала матрицей целых чисел. Исходной информацией на первом этапе является описание излучательных свойств и геометрической формы объектов в плоскости предметов. При моделировании производится пересчет координат точек объектов с учетом их размеров, геометрической формы, пересечений с другими объектами, формируется матрица входного оптического сигнала (СИ).

На следующем этапе моделирования определяется распределение эффективной (т.е. с учетом спектральной чувствительности МФ) облученности в плоскости изображения (ПИ). Это позволяет определить часть энергии оптического излучения, которая будет преобразована в электрический сигнал в МФ, и упростить пересчет чувствительности МФ. Оптический сигнал представляется в виде матрицы значений эффективной облученности в ПИ. Значения эффективной облученности вычисляются с учетом пропускания элементов оптико-электронного тракта и aberrаций оптической системы (ОС):

$$E_p(x', y') = \iint_{-\infty}^{\infty} E(\xi, \zeta) h(x' - \xi, y' - \zeta) d\xi d\zeta, \quad (1)$$

где x', y' – координаты точки в ПИ; $E_p(x', y')$ – значение эффективной облученности в точке (x', y') ПИ с учетом aberrаций ОС; $h(\xi, \zeta)$ – функция рассеяния точки ОС; $E(x', y')$ – значение эффективной облученности в точке с координатами (x', y') в ПИ в случае идеальной (безабберационной) ОС:

$$E(x', y') = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D}{f'} \right)^2 \left(\frac{\beta_{3p}}{\beta_{3p} - \beta} \right)^2 \int_0^{\gamma} L \left(\frac{x'}{\beta}, \frac{y'}{\beta}, \lambda \right) \tau_{oc}(\lambda) \tau_{of}(\lambda) S_{mf}(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

где D, f' – диаметр входного зрачка и фокусное расстояние ОС; β, β_{3p} – соответственно линейное увеличение и линейное увеличение в зрачках ОС; $L(x, y, \gamma)$ – спектральная плотность лучистости в точке плоскости предметов; $\tau_{oc}(\lambda), \tau_{of}(\lambda)$ – спектральные коэффициенты пропускания ОС и оптический фильтр (Оф) соответственно, $S_{mf}(\lambda)$ – спектральная характеристика чувствительности МФ.

На завершающем этапе моделирования определяются значения электрического сигнала каждого фоточувствительного элемента (ФЧЭ) МФ. Этот сигнал включает составляющие темнового сигнала, фотосигнала и шума

$$U(i, j) = U_{\tau}(i, j) + U_{\phi}(i, j) + U_{\omega}, \quad (3)$$

где i, j – номера ФЧЭ в МФ; $U(i, j)$ – выходной электрический сигнал i, j -го ФЧЭ; $U_{\tau}(i, j)$ – темновой сигнал i, j -го ФЧЭ, который задается пользователем или генерируется как случайная величина; $U_{\phi}(i, j)$ – значение фотосигнала i, j -го ФЧЭ; U_{ω} – шумовая составляющая, которая генерируется как случайная величина в зависимости от значения удельной обнаружительной способности МФ.

Значение фотосигнала $U_{\phi}(i, j)$ определяется методом численного интегрирования функции распределения эффективной облученности. Это дает возможность учесть большее количество факторов, включая влияние апертурной характеристики ФЧЭ, неравномерности чувствительности и темнового тока в МФ, а в случае ПЗС определить искажение электрического сигнала из-за потерь при переносах зарядов и растекания зарядов при переполнении потенциальных ям ФЧЭ. Можно добиться также повышения точности вычислений путем выбора соответствующего шага интегрирования:

$$U_{\text{ин}}(i, j) = \frac{S_{\text{н}}}{K_{\text{н}}} e(i, j) \iint_{A(i, j)} E_{\rho}(x^{\text{в}}, y^{\text{в}}) S_{\rho}(x' - x_{\text{н}})(i, j), y' - y_{\text{н}}(i, j) dx', dy', \quad (4)$$

где $S_{\text{н}}$ – интегральная чувствительность МФ; $K_{\text{н}}$ – коэффициент использования излучения паспортного источника; $e(i, j)$ – коэффициент учета неравномерности чувствительности i, j -го ФЧЭ, который задается пользователем или генерируется как случайная величина; $A(i, j)$ – область ПИ, которую занимает i, j -й ФЧЭ; $S_{\rho}(i, j)$ – апертурная характеристика ФЧЭ; $x_{\text{н}}(i, j), y_{\text{н}}(i, j)$ – координаты центра i, j -го ФЧЭ в ПИ.

В случае ПЗС при расчете $U(i, j)$ потери переноса задаются специальным коэффициентом, зависящим от числа переносов зарядового пакета, а растекание зарядов моделируется перераспределением части зарядового пакета ФЧЭ, превышающего уровень потенциальной ямы, между соседними ФЧЭ согласно весовым коэффициентам, заданным в исходных данных.

Выполнено моделирование СИ инфракрасной системы для космических аппаратов с ОС Кассегрена ($f = 500$ мм, $D = 200$ мм) для двух вариантов МФ с ФЧЭ размером $0,1 \times 0,1$ мм: первый изготовлен из материала InSb, второй – на основе CdHgTe. Результаты моделирования для случая, когда объектом наблюдения является спутник с полированной суперчистой алюминиевой поверхностью ($T = 300^{\circ}$ К), имеющий форму конуса размером $1,5 \times 1,5$ м, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование параметров	Значения параметров	
	1-й вариант InSb	2-й вариант CdHgTe
Облученность ПИ, обусловленная излучением объекта, Вт/м ²	0,330	0,330
Эффективная облученность ПИ, обусловленная излучением объекта, Вт/м ²	0,00603	0,0769
Коэффициент использования излучения источника	0,07017	0,1065
Значение фотосигнала, мкА	3,0069	61,873
Отношение сигнал/шум	14,812	59,095
Количество ФЧЭ, которые "накрывают" изображение объекта	20	19

Второй вариант СИ позволяет получить большее значение отношения сигнал/шум за счет более полного использования излучения объекта наблюдения и большего значения интегральной чувствительности. Поскольку на практике МФ для диапазона 3-5 мкм (In Sb) получили большее распространение, чем МФ для диапазона 8-14 мкм, (Cd HgTe) первый вариант может оказаться предпочтительнее. Высокое значение отношения сигнал/шум и то, что изображение объекта «накрывает» 19-20 ФЧЭ, даст

возможность автоматического распознавания по геометрическим признакам для обоих вариантов (см. табл. 1).

Улучшение максимального отношения сигнал/шум можно осуществить за счет оптимальной нелинейной фильтрации с учетом дискретности раstra, т. е. случайного положения изображения точечного объекта (ТО) между строками с шагом разложения по кадру $2d$, величина которого является переменной и равной $2d/2^0, 2d/2^1, 2d/2^2, \dots$,

$$\Psi_{AMB} \approx i_{CM} \sqrt{\frac{\tau_o}{N_o}} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} S^2(T) dT + \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S^2(T)}{1+mS(T)} dT}{\left(2 \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S^2(T)}{1+mS(T)} dT\right)^{1/2}}, \quad (5)$$

где i_{CM} – среднее значение размаха сигнала от ТО на выходе диссектора; $t_o = r_o/v_a$ (r_o – условный радиус распределения освещенности изображения ТО, v_a – скорость строчной развертки); $N_o/2 = qK_1^2(1+B_1)i_{tm}\sigma_d^n$ – интенсивность шума в секции переноса электронного изображения и вторично-электронного умножения (ВЭУ) соответственно; $i_\phi = \epsilon E_\phi S_a \sigma_d^n$ – ток от фона, где ϵ – чувствительность фотокатода; E_ϕ – освещенность фона; S_a – площадь апертуры; $S_a = \pi d^2/4$, а d принимает значения $d/2^0, d/2^1, d/2^2, \dots$; σ_d – коэффициент вторичной эмиссии динода ВЭУ; n_y – число динодов ВЭУ; $S(T) = i_c(T)/i_{CM}$ – нормированный сигнал на выходе диссектора ($i_c(T)$ – ток сигнала от ТО, где $T = t/\tau_o$ – относительное время); $m = i_{CM}/i_\phi$.

В случае круглой апертуры ввода графической информации, равномерной прозрачности носителя и радиуса считывания $R_a = r_a N$, принимающего значения на первом, втором и последующих уровнях считывания $1/2^0 r_a, 1/2^1 r_a, 1/2^2 r_a, \dots$, средние величины сигналов на выходе диссектора

$$i_{CM} = \epsilon E_o \sigma_d^n r_o^2 \frac{\sqrt{\pi}}{4K_c a} \int_{-K_{ca}}^{K_{ca}} I_{10} I dn_o, \quad (6)$$

где E_o – освещенность центра изображения ТО; $K_c = \delta_y/r_a$ – относительное расстояние между центрами апертур соседних строк; $2\delta_y$ – шаг разложения по кадру, $a = R_a/r_o$, $I_{10} = I_1$,

$$I_1 = \int_{-a-n_o}^{a-n_o} [\exp(-n_{o1}^2)] [\Phi(\sqrt{a^2 - (n_{o1} + n_o)^2 - T}) + \Phi(\sqrt{a^2 - (n_{o1} + n_o)^2 + T})] dn_{o1},$$

где $n_o = y_o/r_o$, $n_{o1} = (y - y_1)/r_o$, $y_o = y - y_1$ (y – расстояние между элементарным участком апертуры и ее центром по оси Y , y_1 – расстояние между элементарным участком изображения ТО и центром ТО);

$$\Phi(U) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^U \exp(-t^2) dt - \text{интеграл вероятности, } S_a = r_a^2,$$

$$S(T) = \frac{K_c a \int_{-K_c a}^{K_c a} I_1 dn_0 - K_c a}{K_c a \int_{-K_c a}^{K_c a} I_{10} dn_0}, \quad m = \frac{K_o}{4\sqrt{\pi}(1-K_o)K_c a^3} \int_{-K_c a}^{K_c a} I_1 dn_0,$$

$K_o = E_0 / (E_0 + E_\phi)$ – оптический контраст изображения объекта.

Таким образом, m для первого, второго и последующих уровней считывания определяется

$$m = \frac{K_o}{4\sqrt{\pi}(1-K_o)K_c (r_a N / r_0)^3} \int_{-K_c a}^{K_c a} I_1 dn_0, \quad (8)$$

где r_a – радиус апертуры первого уровня считывания; N принимает значения для первого, второго и последующих уровней считывания изображения соответственно $1/2^0, 1/2^1, 1/2^2, \dots$

Развертка выбирается из условия уверенного захвата объекта для первого, второго и третьего уровней считывания соответственно:

$$V'_a = K_2 V'_y \frac{h_x}{2ar_0}, \quad V''_a = K_2 V''_y \frac{h_x}{2ar_0/2}, \quad V'''_a = K_2 V'''_y \frac{h_x}{2ar_0/4}, \quad (9)$$

где $K_2 = 0,8 - 1,2$ – коэффициент пропорциональности; V'_a, V''_a, V'''_a – вероятностные составляющие скоростей движения ТО по фотокатоду относительно апертуры; h – длина строки растра.

Выигрыш в отношении сигнал/шум при оптимальной нелинейной фильтрации по сравнению с линейной согласованной фильтрацией растет с увеличением контраста.

Так, при изменении контраста K_o от 0,5 до 0,97 выигрыш растет от 1,1 до 10. При фиксированных размерах апертуры по графикам рис. 1 можно определить при известном значении контраста оптимальное отношение сигнал/шум.

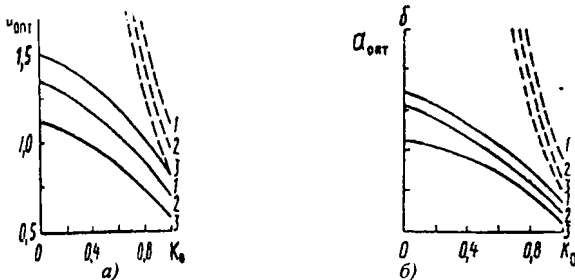


Рис. 1. Зависимость оптимальных размеров круглой (а) и квадратной (б) апертуры от контраста: 1 – $K_0 = 0,6$; 2 – $K_0 = 1,0$; 3 – $K_0 = 1,4$

Разработанная методика компьютерного моделирования может применяться как для проведения энергетических расчетов оптической системы при переменном шаге и апертуре сканирующего луча, так и для анализа геометрических признаков изображений в СИ с МФ, работающих в широком диапазоне спектра оптического излучения.

УДК 621.75.002

Д.В. Кусков, Л.В. Курч

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ CAD/CAM/CAE/PDM ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ ГЛАВНОГО ТОРМОЗНОГО ЦИЛИНДРА

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

В современном машиностроении происходит серьезное переосмысливание подходов к организации производства. Требования потребителя постоянно повышаются. Осведомленность о характеристиках промышленных товаров, представленных на рынке так же довольно высока, что заставляет производителей все больше и больше внимания уделять проблемам качества выпускаемой ими продукции. Кроме качества одним из главных факторов успеха сегодня становится также повышение скорости проектирования и максимально быстрое доведение законченного продукта до рынка. Качество и количество новых разработок напрямую увязывается со степенью освоения и оснащенности предприятия программами CAD/ CAM/ CAE/ PDM.

На крупных предприятиях на передний план выходят вопросы организации взаимодействия проектировщиков и обеспечение интегрированного процесса, охватывающего все стадии: конструирование изделия, анализ, технологическое проектирование, получение программы для станков с ЧПУ.

Современный рынок САПР предлагает широчайший спектр интегрированных и специализированных программных продуктов, рассчитанных для решения глобальных и локальных задач. Условно их можно разделить на три класса:

1. Системы низкого уровня.

Системы низкого уровня CAD типа Auto CAD 2000, AutoCAD Mechanical 2000, предназначены для эффективной работы по выпуску чертежно-конструкторской документации и работают в основном с плоскими 2D – объектами. Это наилучшее программное обеспечение для тех, кто проектирует изделие без создания трехмерных моделей, кто использует стандартный крепеж, часто подбирает подшипники, проектирует пружины, другими словами для всех тех, кто занят оформлением и выпуском чертежей.