

в автоматическом режиме система отслеживает сдвиг текущего изображения относительно эталона. В основе работы макета лежит направленный алгоритм поиска экстремума /2/. Признаком того, что искомый экстремум найден, является тот факт, что ближайшие соседние точки критерия близости не превышают (для корреляционного функционала) экстремального значения. Для уточнения положения экстремума используется интерполяция треугольной функцией.

Исследования показали, что погрешность определения координат экстремума не превышает 0,3% от размера изображения; максимально допустимый сдвиг составляет порядка двух радиусов корреляции исходных изображений; время срабатывания системы не более 100 мс.

Библиографический список

1. Андреев Ю.А. Влияние дискретизации изображений на точностные характеристики КЭС //Корреляционно-экстремальные системы управления: Сб.науч. работ. - Томск: Изд-во ТГУ, 1982. - С. 31-37.

2. Андреев Ю.А., Штейнбок М.Я. Исследование двухуровневого алгоритма функционирования КЭНС. - В наст. сборнике.

УДК 621.38.13.122

О.П.Валов, Р.Р.Вафин, Л.М.Шарнин

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНТЕЗА
ПЕРВИЧНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА РАСТРОВОМ ИНДИКАТОРЕ

(г. Казань)

Растровые индикаторы на электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) нашли широкое применение в различных областях техники. Область применения растровых индикаторов определяет выбор вида развертывающих функций растра, например, в телевидении применяются устройства с прогрессивной и чересстрочной, а в радиолокации со спиральными развертками. Способы формирования первичных изображений (вектор, полуплоскость, окружность) на телевизионном растре широко представлены в литературе /1,2/. При анализе изображений используется так на-

зывается потенциальный метод. Этим методом традиционно пользуются, когда известна форма специальных напряжений, определяющих моменты времени, в которые необходимо произвести засветку раstra /3/, при описании процессов формирования телевизионных специальных эффектов, а также для формирования наклонных фигур вытеснения в /2/, где сам способ формирования называется методом широтно-импульсной модуляции. Необходимо учесть тот факт, что для одних и тех же изображений форма этих специальных напряжений может быть различной, и их выбор определяется простотой их аппаратурной реализации и требуемой точностью формирования изображения.

В рассматриваемой работе искомые функциональные зависимости для специальных напряжений строятся с помощью преобразований, осуществляемых с трехмерной моделью раstra. Геометрически процесс формирования раstra можно представить следующим образом. На рис. 1 плоскость экрана телевизионного индикатора находится в плоскости проекций OXY , на оси t откладывается текущее время развертки раstra. Пересечение строчных плоскостей Q_n с плоскостью поля раstra P дает совокупность параллельных прямых в трехмерной системе координат, проекция которых на плоскость OXY образует растр. Запишем уравнение плоскости P , используя выражение для нормального уравнения плоскости в трехмерной декартовой системе координат /4/. При этом можно показать, в соответствии с рис. 1, что углы, образованные перпендикуляром, опущенным из начала координат на плоскость P , с осями координат $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_t$ равны: $\alpha_x = \frac{\pi}{2}, \alpha_y = \pi - \varphi_y, \alpha_t = \varphi_y$, а расстояние от начала координат до плоскости P равно $\frac{T_k}{2} \sin \varphi_y$, где $\frac{\pi}{2} - \varphi_y$ - угол между плоскостями P и OXY .
Уравнение для плоскости P

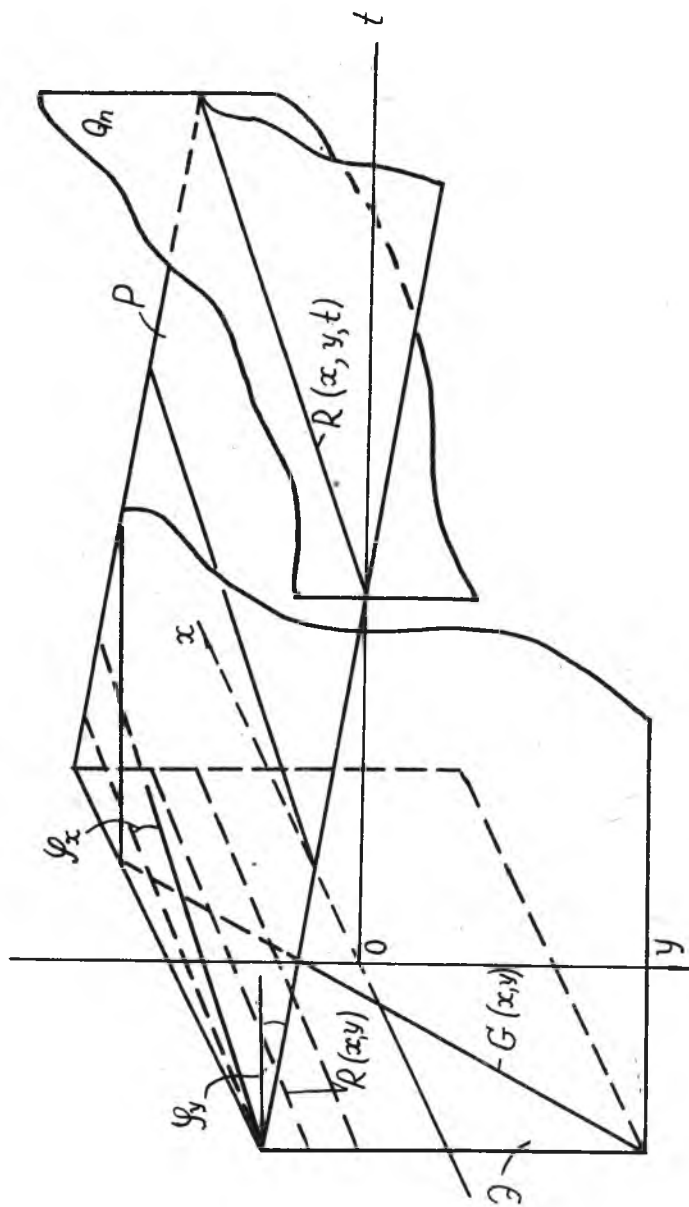
$$y \cos \varphi_y + t \sin \varphi_y - \frac{T_k}{2} \sin \varphi_y = 0. \quad (1)$$

где и в дальнейшем T_k, T_c - периоды кадровой и строчной разверток телевизионного раstra; x, y, t - текущие координаты.

Уравнение для строчной плоскости Q_n , параллельной оси Y , в соответствии с введенными обозначениями

$$x \cos \varphi_x + t \sin \varphi_x - \frac{T_c}{2} \sin \varphi_x - NT_c \sin \varphi_x = 0, \quad (2)$$

где φ_x - угол между плоскостями Q_n и OXY ; $N = \text{ent} \left(\frac{t - 0,5T_c}{T_c} \right)$ - целое число строк в интервале $[0, t]$.



Р и с. 1. Геометрическая модель телевизионного раstra

Уравнение для совокупности параллельных прямых, заданное в параметрической форме, найденное в результате пересечения плоскостей P и Q_n , можно записать как

$$\begin{cases} x_R = f_1(t) = tg \varphi_x (t - NT_0 - \frac{T_0}{2}) \\ y_R = f_2(t) = tg \varphi_y (t - \frac{T_k}{2}) \\ t_R = t. \end{cases} \quad (3)$$

Точки, удовлетворяющие системе (3), составляют множество разрешенных точек, в которых формируется изображение, а проекция этих точек на плоскость OXY образует растр $R(x, y)$. Используя уравнение (3), функцию $R(x, y)$ можно преобразовать в некоторую функцию $T(t)$. При этом для формирования изображения, представленного, например, функцией $G(x, y)$, необходимо определить точки $A_i(x_i, y_i)$, удовлетворяющие условию $\{x_i, y_i\} \in R(x, y) \cap G(x, y)$, а затем определить каждой точке $A_i(x_i, y_i)$ соответствующий аргумент t_i функции $T(t)$. Уравнение $G(x, y) = 0$, определяющее синтезируемое изображение, можно представить в трехмерной системе координат цилиндрической поверхностью и записать в параметрической форме:

$$\begin{cases} x_G = \varphi_1(t) \\ y_G = \varphi_2(t) \\ t_G = t \end{cases} \quad (4)$$

При этом без потери общности можно потребовать раздельного выполнения условий

$$\varphi_1(t) = f_1(t); \quad \varphi_2(t) = f_2(t).$$

Тогда искомые моменты времени t_i для засветки элемента изображения, определяемые равенствами (3) и (4), можно найти из уравнений

$$x_R(t) - x_G(t) = 0; \quad y_R(t) - y_G(t) = 0. \quad (5)$$

Таким образом, мы получили параметрическое уравнение, равное нулю при подстановке конкретного t_i и указывающее на то, что данная точка является искомой. Умножение выражения (5) на произвольную невырожденную матрицу M не изменяет общего результата. Выбор M позволяет преобразовать вид параметрического уравнения (5) без изменения формируемого изображения $G(x, y) = 0$. При выборе M , очевидно,

следует отказаться от вариантов, увеличивающих порядок параметрического уравнения, так как реализация зависимостей большего порядка с заданной точностью обычно требует больших временных и аппаратных затрат. Поэтому ограничимся классом линейных преобразований, частными случаями которых для трехмерного пространства являются центральная и параллельная проекции. Исследование таких преобразований показало, что наиболее простые зависимости для искомым специальных напряжений $u_c(t) = M[y_R(t) - y_c(t)]$ получаются при выборе в качестве M матрицы параллельной проекции. При использовании параллельной проекции вариация плоскости проекций дает нам также бесконечное множество вариантов реализации $u_c(t)$. Рассмотрим несколько примеров проекций на плоскость $x \sin \theta + y \cos \theta = 0$, параллельную оси t . Для $\theta = 0$ в случае формирования вектора с углом наклона γ и расстоянием до центра экрана C

$$u_c(t) = (t - \frac{T_k}{2}) v_y - \operatorname{tg} \gamma v_x (t - NT_c - \frac{T_c}{2}) - \frac{C}{\cos \gamma}, \quad (6)$$

где $v_x = x'(t) = \operatorname{tg} \gamma v_x$, $v_y = y'(t) = \operatorname{tg} \gamma v_y$ — крутизна или скорость разворачивающихся функций по оси x и y телевизионного раstra. Для случая формирования окружности

$$u_c(t) = v_y (t - \frac{T_k}{2}) - \sqrt{R^2 - [v_x (t - NT_c - \frac{T_c}{2}) - a]^2} + b,$$

функция $M[y_c(t)]$ изменяется в интервале $[0, T_c]$, причем крутизна этой функции может быть значительно больше v_x . Этот случай очень сложен для технической реализации. При $\theta = \frac{\pi}{2}$ для вектора:

$$u_c(t) = v_x (t - NT_c - \frac{T_c}{2}) - \operatorname{ctg} \gamma (t - \frac{T_k}{2}) v_y + \frac{C}{\sin \gamma}, \quad (7)$$

для окружности:

$$u_c(t) = v_x (t - NT_c - \frac{T_c}{2}) - \sqrt{R^2 - [(t - \frac{T_k}{2}) v_y - b]^2} + a.$$

Одна функция $M[y_R(t)]$ для этого случая изменяется со строчной частотой, а другие $M[y_c(t)]$ для различных векторов и окружностей изменяются с кадровой частотой, причем крутизна функции изменяется в интервале $[0, v_x]$. Этот случай для технической реализации значительно проще предыдущего. При $\theta = \gamma$ для вектора:

$$u_c(t) = (t - \frac{T_k}{2}) v_y \cos \gamma - (t - NT_c - \frac{T_c}{2}) v_x \sin \gamma - C, \quad (8)$$

для окружности, после преобразования уравнений (5) в равенство и возведения левой и правой частей в квадрат

$$u_c(t) = R^2 - v_x^2 \left(t - NT_c - \frac{T_c}{2} \right)^2 - 2a v_x \left(t - NT_c - \frac{T_c}{2} \right) + a^2 - \left(t - \frac{T_k}{2} \right)^2 v_y^2 + 2B \left(t - \frac{T_k}{2} \right) v_y - B^2.$$

Устройства, структурная схема которых построена в соответствии с такими зависимостями, известны в литературе /1, 2/. При технической реализации синтезаторов изображений в соответствии с выражением (8) имеет параллельную схему синтеза сложных изображений, так как для построения K однотипных элементов изображения необходимо применить K генераторов. В выражениях (7) одно из слагаемых является общим для всех элементов изображения, а второе является неизменным в течение времени строки, вследствие чего по этому алгоритму, производящему неоднократный расчет за T_c второго слагаемого для нескольких векторов и окружностей, можно реализовать последовательную схему синтезатора /5/. В общем случае, когда синтезируемая кривая на телевизионном экране задается в повернутой системе координат на угол γ , выражение для формирующих функций может быть определено в соответствии с рассмотренным алгоритмом в виде

$$u_c(t) = \varphi \left[v_x \left(t - NT_c - \frac{T_c}{2} \right) \cos \gamma + \left(t - \frac{T_k}{2} \right) v_y \sin \gamma \right] + v_x \left(t - NT_c - \frac{T_c}{2} \right) \sin \gamma - \left(t - \frac{T_k}{2} \right) v_y \cos \gamma. \quad (9)$$

Структурная схема синтезатора таких зависимостей рассмотрена в работе /6/.

Для обеспечения постоянства толщины контура синтезируемых на растре элементов изображения необходимо модулировать длительность импульсов засветки этих элементов изображения по определенному закону. Рассмотрим наиболее простой случай формирования прямой на телевизионном растре. На нашей модели прямую линию с углом наклона γ , толщиной контура D и расстоянием C до центра экрана можно себе представить как образованную двумя плоскостями A и B :

$$A - y = tg \gamma x - \frac{C}{\cos \gamma} \quad B - y = tg \gamma x - \frac{C+D}{\cos \gamma}.$$

В соответствии с полученными выражениями для $u_c(t)$, например (6), запишем

$$\left(t - \frac{T_k}{2} \right) v_y = tg \gamma v_x \left(t - NT_c - \frac{T_c}{2} \right) - \frac{C}{\cos \gamma},$$

$$\left(t - \frac{T_k}{2} + \tau_u\right) v_y^2 = \operatorname{tg} \gamma v_x^2 \left(t - NT_c - \frac{T_c}{2} + \tau_u\right) - \frac{C+D}{\cos \gamma},$$

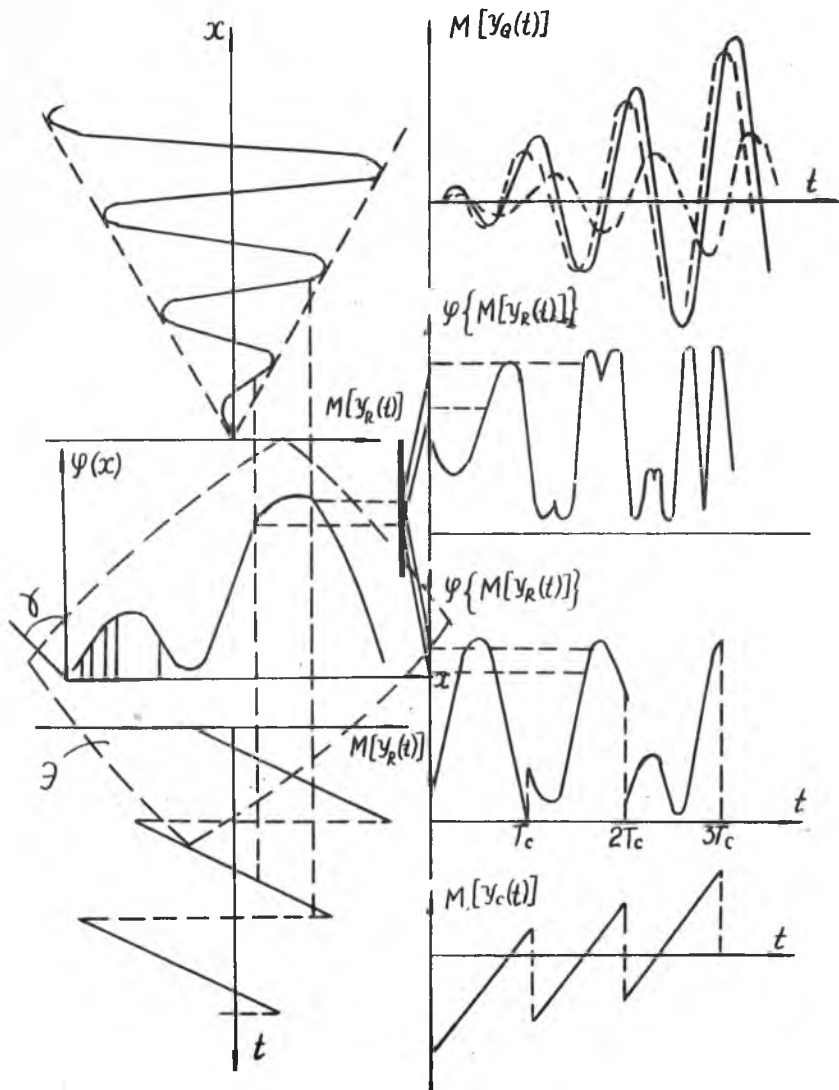
где τ_u - длительность импульсов подсвета.

Решив систему двух уравнений, получим

$$\tau_u = \frac{D}{v_x^2 \sin \gamma - v_y^2 \cos \gamma} = \frac{D}{v_0^2(t)}, \quad (10)$$

Точно так же можно получить зависимость $\tau_u = f(\gamma)$, используя выражения (7) и (8) для различных проекций. Оно оказывается идентичным полученному выше в соответствии с выражением (10), что и естественно, потому что длительность импульса определяется лишь углом наклона линии и растровыми соотношениями и не зависит от метода нахождения моментов засветки. Выражение (10) справедливо для случая формирования произвольной кривой, что просто доказывается, если толщину кривой определить как расстояние между двумя касательными, проведенными с внутренней и внешней стороны контура кривой в исследуемой точке. При этом мы приходим к случаю, рассмотренному выше.

Авторами был рассмотрен ряд растров с различными зависимостями для развертывающих функций. Рассмотренная методика позволяет упростить нахождение зависимостей для специальных формирующих функций при построении первичных элементов изображения на произвольном растре. Все полученные выше выражения для телевизионного растра остаются справедливыми, если функции разверток телевизионного растра в них заменить на соответствующие рассматриваемому. Выражение (10) для τ_u остается справедливым для толщин контуров символов, в пределах которых растровые линии можно считать прямолинейными. Геометрически построение произвольной кривой в повернутой системе координат на спиральном растре показано на рис. 2. На рисунке для сравнения показан случай построения кривой, повернутой на угол γ на спиральном и телевизионном растрах (см. выражение (9)). Функции $M[y_R x(t)]$ являются аргументами функций $\varphi\{M[y_R(t)]\}$, точки которой находятся графоаналитическим методом. Импульсы засветки кривой на растре находятся в моменты равенства функций $M[y_R(t)]$ и $\varphi\{M[y_R(t)]\}$.



Р и с. 2. Графики формирующих функций

Библиографический список

1. Телевизионные методы и устройства отображения информации /Под ред. М.И.Кривошеева. - М.: Советское радио, 1975.
2. Гуглин И.Н. Электронный синтез телевизионных изображений.- М.: Советское радио, 1979.
3. Варбанский А.М. Телевизионная техника. - М.Л.: Энергия, 1964.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. - М.: Наука, 1977.
5. А.С.485478 СССР.Устройство отображения информации/Гуглин И.Н - Опубл. БИ, 1975, № 35.
6. А.с. 841029. Устройство для формирования кривых на экране ЭЛГ /О.П.Валов, В.И.Макаров, Л.М.Шарнин. - Опубл. 24.03.80. БИ, 1981, № 23.

УДК 378.1:681.31

Ю.Г.Кавалев, А.И.Хмельницкий

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА УРОВНЕ РЕАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ
ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ, ОПИСЫВАЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИМИ МОДЕЛЯМИ
(г. Москва)

Рассматриваются вопросы имитационного моделирования объектов, описываемых динамическими моделями вида

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = f(\vec{x}, \vec{u}, t), \quad (1)$$

где $\vec{x} = \vec{x}(t)$ - n - мерный вектор состояния объекта, $\vec{u} = \vec{u}(t)$ - k - мерный вектор управляющих воздействий (управления); x_0 - заданное начальное состояние объекта, $0 \leq t \leq T$. Модели вида (1) встречаются при описании широкого класса физических систем. С ними связаны важные практические приложения в таких областях, как управление движущимися объектами, управление технологическими процессами и процессами в системах автоматизации эксперимента.

Структурная схема общей процедуры имитационного моделирования изображена на рис. 1.