

## Выбор параметров преобразований во времени масштаба при видеоконтроле объектов в системах телевидения.

Основные операторы, которые реализуются в оптических системах (ОС) камер при телевизионном (ТВ) контроле объектов, это: масштабно-пространственные, масштабно-временные и фазо-временные преобразования; спектральное, спектрально-пространственное и спектрально-временное разделение видеоинформации на составляющие; пространственная, временная и пространственно-временная дискретизация и модуляция видеоинформации и др. В случаях, когда координаты контролируемого объекта не совпадают с осью ОС, при использовании оператора масштабно-временных изменений имеет место смещение центра “тяжести” объекта, подвергнутого преобразованию, в радикальном по плоскости  $xOy$  направлении. При этом возникают радиальные смещения границ масштабируемого объекта за счёт изменения координат его центра “тяжести” и изотропные радиальные смещения его границ, структуры и изменения (обновление) последней. Имеют место и относительные во времени изменения всей внутрикадровой структуры телевизионных изображений. Масштабирование одного из объектов сцены сопряжено с движением (вытеснением за её пределы или появлением новых объектов) и изменением во времени параметров всех объектов во внутрикадровом пространстве.. Варианты масштабных преобразования исходной пространственной структуры изображений во времени существенно обогащают временной спектр сигнала телевизионного изображения и в системах со сжатием спектра могут существенно повлиять в локальных моментах на качество переданных изображений. С другой стороны современные методы сжатия в некоторой мере согласованы с характеристиками зрения и не вносят существенных искажений в изображения, которые изменяются во времени, но воспринимаются при видеоконтроле без заметных деградаций, например, их пространственной структуры по отношению к варианту видеоконтроля в их статическом положении. В связи с этим в содержании данной работы рассмотрены вопросы согласования параметров динамики процесса масштабирования объектов с характеристиками зрения наблюдателя.

Соответственно оператор  $F$  масштабно-временных преобразований в структуре сигналов телевизионных изображений в общем случае может быть упрощенно представлен в виде суммы двух операторов:

$$F = F_m + F_d,$$

где  $F_m$  - оператор изменения масштаба объекта;  $F_d$  - оператор смещения объекта.

Проведённые исследования [1,2] случая  $F_d = 0$  показали, что масштабнo-временные преобразования отражаются суммированием (вычитанием) с исходным изображением объекта воздействием изменяющихся во времени его же дифференциальных в пространстве составляющих. При этом скорость изменения исходного изображения определяется не только функциями зависимости масштаба воздействия вдоль осей  $x, y$  во времени, но и координатами точек контролируемого объекта во внутрикадровом пространстве. Было выявлено [1,2] также наличие существенного расширения многомерного спектра, соответствующего такому объекту, по направлению временных частот в случаях существенной степени преобразования масштаба изображений и высокой динамики его осуществления во времени. При низкой же динамике преобразований изменения во времени затрагивают лишь участки пространственного спектра изображения объекта с наличием относительно существенных по величине значений производных соответствующей объекту двумерной функции спектра. Следовательно, общая энергия изменений пространственного спектра воздействия при масштабнo-временных преобразованиях определяется сложностью структуры пространственного спектра исходной сцены в плоскости аргументов  $P_x, P_y$ .

Рекомендации по выбору параметров динамических во времени вариаций масштаба при видеоконтроле объектов в системах телевидения могут быть для такого случая конкретизированы лишь с учётом специфики характеристик зрительной системы человека. В работе 3 представлены пространственная и временная характеристики зрительной системы человека, при построении которых учитывались результаты, полученные в различных работах. На рис.1 приведены полученные в указанной работе, графики пространственной и временной частотных характеристик зрения, которые по существу представляют собой сечения его общей многомерной частотной характеристики при фиксированных условиях видеоконтроля. В частном случае измерения временной частотной характеристики зрительной системы это, например, значительные пространственные (по углу поля зрения) размеры контролируемого экрана, с изменениями в фиксированных пределах яркости и с фиксированным спектральным составом (воздействие белого света и с, приблизительно, постоянной спектральной плотностью энергии). Соответственно при измерении временной частотной характеристики основная часть энергии пространственного спектра воздействия (экрана) локализована в диапазоне низких пространственных частот. С учётом этого при выполнении измерений использовался экран с полем зрения  $68^\circ$ , причем яркость экрана ( $50 \text{ кд/м}^2$ ) постоянна в центральной зоне поля зрения до  $50^\circ$  и далее убывает к краям до нуля. Аналогичным образом при контроле пространственной частотной характеристики выполнялись условия долговременной адаптации по отношению к фону экрана и была устранена возможность расширения временного спектра испытательного воздействия за счёт, например, быстрых поворотов головы наблюдателем по отношению к экрану, на котором воспроизводилось изображение данной пространственной частоты.

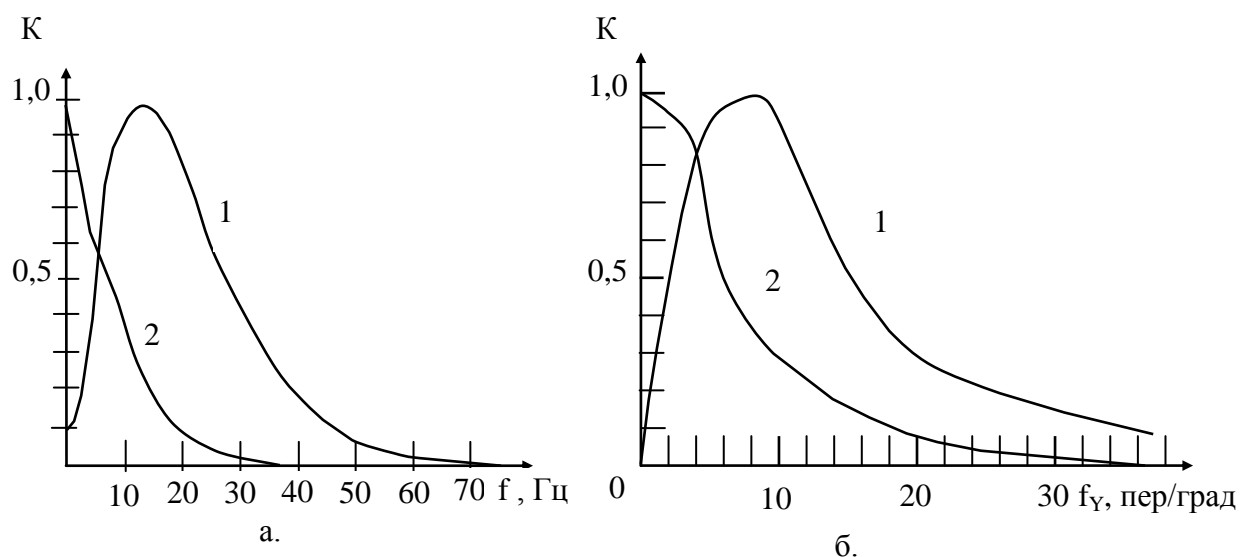


Рис. Частотные характеристики зрительной системы человека: а.- временная частотная характеристика дневного (1) и сумеречного (2) зрения; б- пространственная частотная характеристика дневного(1) зрения и контроля при периодических

Наличие спада временной характеристики в области низких временных частот было выявлено только при фиксации во времени режима работы глаза. Фиксация достигалась за счет компенсации адаптационного механизма работы глаза во времени. Однако контроль ТВ изображений реализуется в обычном режиме работы, т.е. в условиях функционирования адаптационных механизмов зрительной системы. При этом временная частотная характеристика зрения человека реально имеет практически постоянный (максимальный) уровень до значения временной частоты в 20 Гц, отражающего на рис.1 а начало спада уровня характеристики в области высоких частот.

Особенностью функционирования систем телевидения при перестройке масштаба контролируемого объекта во времени является наличие ограничения поля зрения в пределах которого реализуют перестройку. Изменения масштаба объекта при этом может, например, визуально восприниматься либо как увеличение самого объекта, либо как вытеснение окружающего объект фона за пределы ограниченного поля зрения. В условиях визуального контроля составляющие временного спектра процесса масштабирования не должны оказывать влияние на качество визуального контроля и потенциальное качество визуального восприятия пространственной структуры объектов не должно ограничиваться параметрами характеристик зрения.

Можно предположить построение зрения в виде системы, охваченной отрицательной обратной связью в диапазоне низких временных и пространственных частот. Адаптационные механизмы функционирования в общем случае исключают влияние обратной связи на текущий процесс визуального восприятия. К таким процессам следует отнести фоновую адаптацию, скачкообразные движения глаз, тремор, мигание, слежение. Назначение перечисленных функциональных элементов процесса адаптации -

преобразования многомерного спектра контролируемых объектов, обеспечивающее эффективное согласование его параметров с реальными характеристиками глаза. Практически адаптивной перестройкой характеристик зрения определяется степень дифференциальной обработки видеoinформации в области низких частот (спад многомерной частотной характеристики зрения в НЧ участках диапазона). С увеличением средней освещенности (уровень адаптации зрения) контролируемой сцены глубина спада возрастает с соответствующим относительным падением коэффициентов усиления низкочастотных составляющих – видеoinформационного воздействия. При видеоконтроле в таком случае относительный вес низкочастотных составляющих многомерной информации падает. В условиях же малых яркостей и освещенностей контролируемых объектов зрительная система работает как многомерный интегратор видеoinформации (рис.1 а, график 2). Подавление чувствительности зрения за счёт действия отрицательной обратной связи в области низких частот при этом снижается и относительный вес воспринимаемых низкочастотных временных составляющих контролируемого воздействия возрастает. Аналогичным образом изменяется и специфика пространственной частотной характеристики зрения. Интегральный характер пространственной частотной характеристики зрения имеет место также при периодическом воспроизведении объектов. На рис. 1а графиком 2 показана, в частности, пространственная частотная характеристика зрительной системы, экспериментально измеренная для воздействия, представляющего собой периодически мелькающее изображение временной частоты  $f = f_0 = 6$  Гц. Представленный здесь вид характеристики практически соответствует варианту параметрического сечения общей многомерной частотной характеристики зрения при фиксации значения временной частоты  $\omega = 2\pi f_0$  и отражает её изменения, обусловленные указанными условиями наблюдения объектов.

В связи с адаптацией глаза к характеристикам (например, движение) контролируемого объекта попутно имеет место рассогласование характеристик глаза со структурой спектра неконтролируемых объектов. При этом автоматически возникает уменьшение степени воздействия таких объектов на наблюдателя. Заметность составляющих спектра неконтролируемых объектов падает в таком случае из-за смещения составляющих спектра последних в области спада частотных характеристик зрения.

Перед наблюдателем масштабируемых во времени объектов стоит задача собственно, текущего контроля высокочастотной пространственной структуры масштабируемого объекта. Однако, как было показано выше, при масштабировании во времени имеет место суммирование (вычитание) с исходным объектом изменяющихся во времени его же дифференциальных в пространстве составляющих спектра. Другими словами носителями высокочастотной пространственной структуры объекта в данном случае являются составляющие временного спектра процесса масштабирования. Соответственно этому задача эффективного визуального восприятия высокочастотной пространственной структуры масштабируемых объектов вырождается в задачу локализации составляющих временного спектра самого процесса масштабирования в области низких временных частот, по крайней мере, в пределах до максимального

уровня временной частотной характеристики глаза в низкочастотной области. При этом устраняется возможность подавления при видеоконтроле интенсивности составляющих временного спектра процесса масштабирования и, следовательно, обеспечивается сохранение высокочастотных составляющих пространственного спектра масштабируемых объектов. С другой стороны необходимо не только устранить падение амплитуды составляющих временного спектра, но и воспрепятствовать возникновению "эффекта" увеличения заметности последних. Эта задача решается в том случае, если составляющие временного спектра процесса масштабирования совместить с участком спада временной частотной характеристики зрения в низкочастотной области. Граничные частоты этого участка, согласно рис. 1 а , находятся в пределах от 0 – до  $\approx 8$  Гц. При этом процесс адаптации зрения “не отстаёт” от процесса масштабирования и последний не сопровождается заметными пульсациями в пределах границ масштабируемого объекта.

Максимальная протяженность временного спектра процесса масштабирования соответствует случаю скачкообразного во времени изменения масштаба объекта -  $\sigma(t)$  , т. е определяется единичной функцией. Спектр единичной функции имеет вид:

$$S(\omega)_\sigma = \left[ \pi\delta(\omega) + \frac{1}{i\omega} \right]$$

Возрастание протяженности процесса масштабирования во времени при этом отражается сверткой функции: единичной и преобразования масштаба. Самым простейшим вариантом является линейный вариант изменения масштаба во времени. При этом функция преобразования масштаба имеет форму прямоугольного импульса  $f_{x,y}(t, \tau)$ , где  $\tau$ - протяженность функции  $f_{x,y}(t, \tau)$ . Тогда процесс масштабирования во времени описывается сверткой функции  $\sigma(t)$  и  $f_{x,y}(t, \tau)$ :  $P_{x,y}(t) = \sigma(t) \otimes f_{x,y}(t, \tau)$ . Соответственно временной спектр функции масштабирования  $P_{x,y}(t)$  определяется произведением

$$S_p(\omega) = S_\sigma(\omega) \cdot S_f(\omega) .$$

Здесь  $S_f(\omega)$  - спектр функции преобразования  $f_{x,y}(t, \tau)$ .

Заметность составляющих временного спектра процесса преобразования масштаба во времени  $S_p(\omega)$  зависит от относительных (по отношению к фону, размеру экрана) интенсивности , пространственных размеров, от степени и протяжённости изменения во времени исходного масштаба объекта. Влияние пространственных размеров объекта на качество отображения процесса масштабирования можно не учитывать в случае , когда исходный угловой размер  $\varphi_x(\varphi_y)$  масштабируемого объекта превышает угол  $2^0$  (по горизонтали и вертикали), а контрастность превышает 0,7 от максимальной. Угловой размер  $\varphi_x(\varphi_y) > 2^0$  обеспечивает эффективное использование характеристики пространственной чувствительности глаза. С учетом этого диапазон (коэффициент ) изменения масштаба по осям x и y составляет чаще всего величину, равную от 2 до 3. Это связано с наложением "эффекта вытеснения фона". Как было показано в 1, 2 , пропорционально, с некоторым приближением, произведению коэффициентов, отражающих степень изменения по осям x,y масштаба изменяется протяжённость временного спектра

самого процесса преобразования масштаба по отношению к временному спектру функции преобразования.

Влиянием на спектр  $S_p(\omega)$  процесса масштабирования составляющей  $S_\sigma(\omega)$  можно пренебречь из-за выбора чрезвычайно малой протяженности временного спектра процесса преобразования по отношению к протяженности спектра  $S_\sigma(\omega)$ . Соответственно в худшем случае временной спектр процесса масштабирования определяется увеличенной, порядка в 8 раз, протяженностью спектра  $S_p(\omega)$ . В свою очередь оценим протяженность спектра  $S_p(\omega)$ , например, для случая  $f_{x,y}(t, \tau) = \frac{1}{\tau} \text{rect}\left(\frac{t}{\tau/2}\right)$ .

$$\text{При этом } S_f(\omega) = \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}},$$

С учетом пороговой чувствительности глаза предельную протяженность спектра  $S_f(\omega)$  целесообразно оценить как результат выполнения соотношения:

$$x = \left| \frac{\int_0^\infty S_f(\omega) d\omega - \int_0^\omega S_f(\omega) d\omega}{\int_0^\infty S_f(\omega) d\omega} \right| \leq 1\% \quad (1)$$

Подставляя  $S_f(\omega)$  в (1) получим:

$$x = \left[ \frac{\pi}{2} - S_i\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \right] / \frac{\pi}{2}.$$

Отсюда  $\frac{\omega\tau}{2} \geq 3\pi$ . Следовательно, значение частоты  $\omega \geq \frac{2\pi}{\tau/3}$ , т.е. определяется третьей

гармоникой. Для результирующей протяженности временного спектра самого процесса преобразования масштаба получим соответственно значение  $\omega_p = 3 \cdot 8 \cdot \omega_0 = 24 \cdot \frac{2\pi}{\tau}$ . Как было показано, верхняя

граничная частота временного спектра не должна при этом превышать значение  $f_T = 8$  Гц. Тогда находим длительность процесса масштабирования:  $\tau = 24 \cdot \frac{2\pi}{\omega_r} = 3$ .

Таким образом, если длительность цикла изменения масштаба на телевизионном экране превышает значение в три секунды, наблюдатель, при линейном изменении масштаба, не воспринимает (психологически не учитывает) временную динамику процесса масштабирования. Изменением формы функции преобразования может достигаться сокращение длительности процесса масштабирования. Более эффективным, в этом отношении можно, например, считать вариант, когда форма функции  $f_{x,y}(t, \tau)$  отражает свертку двух эквивалентных прямоугольных функций длительности  $\frac{\tau}{2}$ . При этом сохраняется результирующая протяженность процесса масштабирования, а

$$S_f(\omega) = \frac{\sin^2 \frac{\omega\tau}{4}}{\left(\frac{\omega\tau}{4}\right)^2}.$$

Подставляя  $S_f(\omega)$  в (1.48) получим

$$x = \frac{\frac{\pi}{2} - \left\{ \frac{\cos \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} + S_i\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \right\} - \frac{1}{\frac{\omega\tau}{2}}}{\frac{\pi}{2}} \leq 1\% . \quad (2)$$

Решение данного неравенства дает более низкое значение частоты, чем дал вариант с линейной функцией преобразования масштаба.

Дальнейший анализ возможных вариаций формы функции  $f_{x,y}(t, \tau)$  показывает, что предельный выигрыш здесь не позволяет достичь значения, равного первой гармонике. Следовательно, минимально возможная протяженность процесса масштабирования, обеспечивающая в последовательности воспроизводимых кадров ТВ изображения реализацию "эффекта незаметности" временной динамики процесса масштабирования, составляет величину, большую 1 сек.

Таким образом, для моментов контроля телевизионных изображений с относительно большой величиной коэффициента масштабно-временного преобразования объектов характерно резкое расширение соответствующего многомерного спектра по временной оси частотного пространства. Это приводит к подавлению пространственных высокочастотных составляющих в структуре масштабируемых изображений. При этом результирующая протяженность временного спектра зависит от параметров структуры пространственного спектра контролируемого объекта, относительной величины масштабирования и параметров функции, отражающей специфику изменения масштаба во времени, а ее отношение к протяженности спектра последней составляет чаще всего значение  $>1$  (несколько единиц).

Эффективный визуальный контроль масштабируемых во времени объектов обеспечивается за счет совмещения составляющих временного спектра процесса масштабирования с диапазоном на оси временных частот от 0 до 8 Гц. При этом за счёт действия отрицательной обратной связи исключается визуальное восприятие текущей временной динамики процесса масштабирования и соответственно устраняется возможность подавления пространственно-временных составляющих, отражающих высокочастотную структуру пространственного спектра контролируемого в интервале времени масштабирования объекта. Если длительность цикла изменения масштаба на телевизионном экране превышает значение в три секунды, наблюдатель, при линейном законе изменения масштаба во времени, не воспринимает динамику самого процесса масштабирования и, следовательно, эффективно воспринимает всю пространственную структуру изображения объекта. Анализ возможных вариаций формы функции масштабирования во времени показал, что минимально возможная протяженность процесса масштабирования составляет при этом величину, большую одной секунды.

## Литература

1. Безруков В.Н., Коженев А.П., Шауро А.В., Алёшкин В.Н. Особенности пространственно-временного спектра подвижных объектов в условиях оптического контроля// Математические методы обработки геофизической информации; Сб. статей АН СССР, Институт физики земли им. А. Ю. Шмидта/ М.: Наука, 1986.-С.114-136.
2. Безруков В.Н. Разработка и применение элементов теории преобразования сигналов изображений в системах прикладного телевидения. Автореферат диссертации на соискание учёной степени д.т.н., М.: МГУСИ, 1996. –С.18-21.
3. Безруков В.Н., Королёв А.В., Ляпунов В.Н., Новаковская О.С. Выбор параметров систем телевидения высокой визуальной чёткости и качества// Техника кино и телевидения, 1986.-№ 10.- С. 3-9.
4. Безруков В.Н. Специфика видеоконтроля изображений вещательного телевидения// Прогресс технологий телерадиовещания/Материалы международного конгресса НАТ/М.: 2001.-С.115-116.