

Специфика реализации цифровых систем эффективного видеоконтроля удалённых объектов

В настоящее время задача обнаружения (селекции) изменений в пространственно-временной и цветовой структуре изображений при телевизионном (ТВ) контроле объектов, является, безусловно, актуальной. Решение данной задачи существенно усложняется в условиях низкой или не оптимальной по уровню и спектральному составу освещенности контролируемых объектов, при необходимости селекции медленно-временных изменений в структуре ТВ изображения, определяющих несанкционированное вторжение, при воздействии на текущий ТВ сигнал помех, в том числе дискретизации [4], неравномерности фона [3], мешающего действия локальных и распределённой подсветки от источников света и т.д.

При видеоконтроле в естественных (наружных) условиях мешающее влияние могут оказывать изменения мелкоструктурных составляющих изображения: колебания листвы и ветвей на деревьях, наличие в зоне контроля разнородно освещенных объектов, теневых, в области контроля, зон, фоновых изменений во времени средней освещенности, погодных условий, муаровые преобразования мелкой структуры изображений, маскирующие несанкционированное нарушения задымлением, распылением и др.

Существенное влияние на эффективность видеоконтроля оказывает и заданный режим контроля объектов: с регистрацией нарушений или без регистрации, с пространственно спектральной селекцией и опознаванием типа, средств, элементов и инициаторов нарушений или без такового, с передачей соответствующих последовательностей информационных сигналов на удалённый пункт реагирования или нет, с приёмом сигналов управления режимом работы системы видеоконтроля и реагирования от пункта приёма (интерактивность) или нет.

В действующей системе видеоконтроля значительное внимание должно быть уделено защите функциональных элементов и обеспечению живучести при функционировании посредством её реализации в виде распределённой структуры с заданным числом независимо и параллельно действующих составляющих, обеспечивающих разнородный и взаимодополняющий контроль смежных зон

пространства объектов с определённой степенью резервирования. При этом коммутации введённых дополнительных связей между указанными независимыми составляющими с соответствующим изменением условий и режима их использования обеспечивает, при выходе из строя отдельных из последовательно включённых функциональных элементов, сохранение работоспособности системы в наиболее важных, по крайней мере, для видеоконтроля участках контролируемого пространства. Достоинством такого варианта построения является возможность адаптивного изменения общей конфигурации функционирования системы при изменении условий, требований, типа, местоположения и формы контролируемых объектов

Интегральный учёт всей совокупности существующих и возможных требований к функциональным характеристикам и параметрам системы видеоконтроля фактически невозможно обеспечить в рамках реализации одного, общего для всех случаев, например, адаптивного варианта. Экономически выгодно определить и разработать ограниченное число типовых, минимизированных по числу элементов оборудования, вариантов систем видеоконтроля, обеспечивающих эффективное и относительно полное целевое решение ограниченного круга задач для наиболее часто встречающихся и в тоже время существенно разнородных условий применения. Использование таких вариантов и составляющих их структуры для решения более сложных, комплексного типа, задач видеоконтроля, существенно упростит в экономическом отношении реализацию распределённых систем, удовлетворяющих по характеристикам функционирования требования подавляющего числа пользователей.

Следует учитывать необходимость накопления и обновления в распределённых системах архива разрешенных ситуаций с формализацией соответствующих им независимых признаков (параметров) и их вычислительной оценкой в текущем режиме работы по всей совокупности контролируемых объектов. Это позволит, в конечном итоге, создавать системы, реализующие автоматизированный адаптивный контроль объектов с ограниченным участием оператора или даже без его участия. В системе должна в таком случае осуществляться, например, периодическая относительная оценка формальных параметров развития ситуации в зоне контроля. Когда результаты оценок превышают заданный порог реализуется архивирование

ситуации, определяется, по виду соответствующего параметра, тип нарушения и соответствующей реакции.

Одним из наиболее сложных вариантов является вариант текущего ТВ контроля удалённых объектов. Сложность в данном случае в основном определяется необходимостью передачи видеoinформационных сигналов на относительно большие расстояния с использованием узкополосных каналов связи. При этом чаще всего целесообразно опираться на уже реализованные системы, например, мобильной связи. Соответственно в любом случае в системе контроля удалённых объектов должно быть предусмотрено применение цифрового сжатия спектра видеoinформационных (ТВ) сигналов.

Важное значение имеет также правильное согласование информационных характеристик сигналов изображений и характеристик операций процесса их преобразования, цифровой обработки и кодирования. Это обуславливает необходимость дифференциального выявления и конкретизации пространственно-временных параметров видеoinформационных сигналов на всех этапах процесса их формирования.

Неортогональный телевизионный контроль.

Обычно в цифровых системах наземного видеоконтроля удалённых объектов используют вариант неортогонального оптического отображении видеoinформации на датчик ТВ сигнала.

На рис.1 схематически показан вариант наземного контроля ситуации с использованием высотной установки телевизионной камеры, позволяющей осуществлять обзорный стационарный контроль удалённого наземного участка местности. Здесь ПНК- пространство неортогонального (наземного) контроля, ПИОК – пространство (поверхность) идеального ортогонального контроля, ПОК- пространство ортогонального контроля. Поверхность идеального оптического отображения чаще всего имеет форму сферы. Первоначально рассмотрим специфику идеального ортогонального контроля.

При идеальном ортогональном контроле пространство видеoinформация распределённая в пределах соответствующей поверхности проецируется в плоскость изображений. Из-за несовпадений форм поверхностей в пространствах объектов и изображений возникают соответственно искажения контроля расстояний в

видеоинформационном пространстве и габаритных размеров в пространственной структуре объектов.

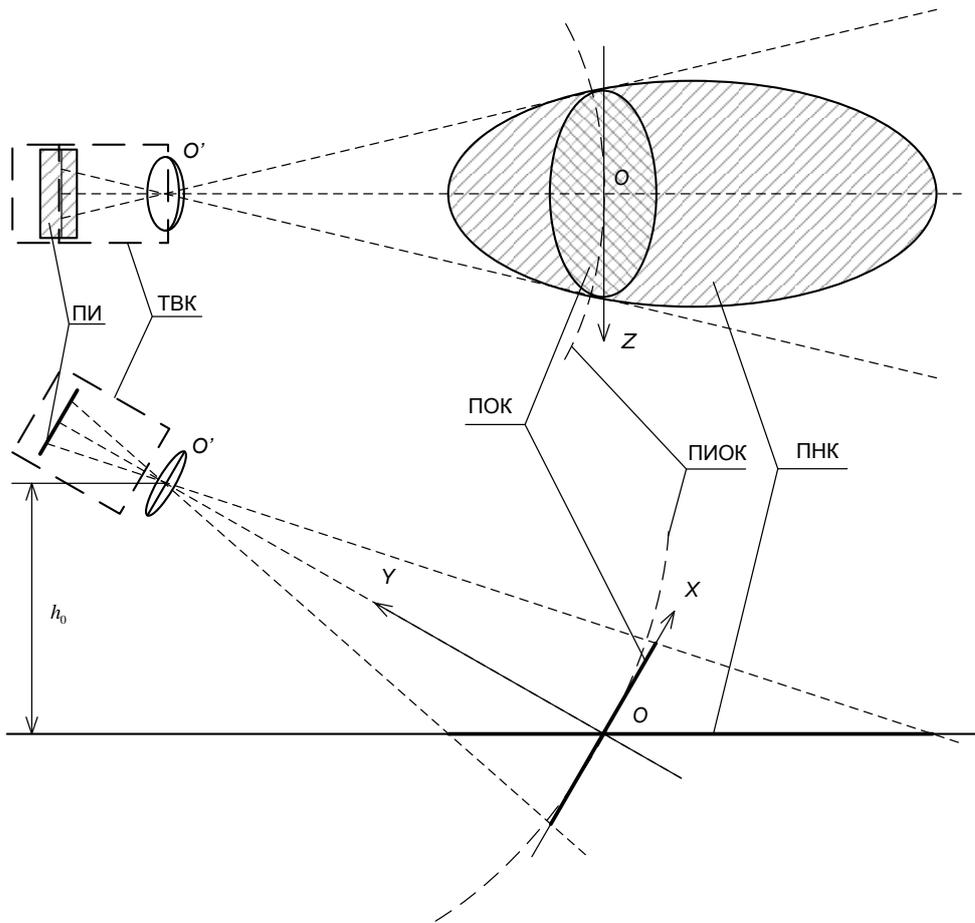


Рис. 1. Неортогональный телевизионный контроль удаленных объектов

Если понятие протяженности объекта сопоставлять с выбором максимального из его существующих размеров по направлениям в пространстве, то последующим определением максимального размера по ортогональному направлению выявляется прямоугольная область локализации объекта. Усреднённые размеры объекта могут в таком случае, например, определяться с использованием реальной площади объекта. Важное значение при видеоконтроле имеет отношение площадей контролируемого объекта и всего пространства ортогонального контроля.

Будем полагать, что в идеальном случае поверхность ортогонально контролируемого пространства локализована в пределах поверхности сферы (поверхность идеального ортогонального контроля – ПИОК на рис 1).

Спецификой неортогонального ТВ контроля объектов являются масштабные искажения, обусловленные уменьшением угла оптического проецирования видеоинформации на светочувствительную поверхность телевизионной камеры. Последнее приводит к существенным относительным снижениям размера объектов,

проецирование которых из области видеоконтроля реализуется с уменьшенными значениями углов оптического переноса в пределы светочувствительной поверхности данной телевизионной камеры. Существенное падение стоимости телевизионных камер, которое имеет место в последнее время, позволяет увеличивать эффективность неортогонального видеоконтроля за счёт перехода к многокамерным вариантам систем. Целесообразно реализовывать при этом сопряжение (по углам наклона и поля зрения, по высоте установки) двух и более ТВ камер. Если две камеры осуществляют, например, в таком случае симметричный видеоконтроль верхней части соответствующего пространства и имеют уменьшенные углы поля зрения и наклона, то одна может осуществлять видеоконтроль нижней части пространства, имея соответственно увеличенные углы и уменьшенную высоту подвеса.

Основным результатом является в данном случае достижение, приблизительно, эквивалентности условий видеоконтроля объектов во всех частях пространства. Последнее позволяет увеличить при телевизионном контроле изотропность и уравнивать общие параметры пространственного спектра всех распределённых на подстилающей поверхности объектов, что отражается не только существенным возрастанием качественных характеристик преобразования соответствующей видеоинформации в электрический сигнал, но и существенно увеличивает общую эффективность последующего цифрового сжатия спектра видеоинформации.

Телевизионный контроль динамики объектов.

Однако использование лишь статически установленных (обзорного типа) ТВ камер не может обеспечить в системах неортогонального видеоконтроля возможность эффективного архивирования информационных сигналов и последующего опознавания объектов, осуществивших нарушение. Соответственно в системе должно быть предусмотрено параллельное использование камер статического и динамического контроля объектов. При этом телевизионные камеры, используемые для статического контроля, должны обеспечивать высокое разрешение, а динамического контроля – иметь относительно малый угол поля зрения, что позволяет, в условиях реализации автоматического прослеживания, обеспечивать видеоконтроль подвижных объектов с относительным увеличением масштаба соответствующего изображения [5]. Одновременно с этим обеспечивается

растровое стробирование полезной информации. Снижается соответственно избыточность пространственной структуры анализируемого изображения и возрастает эффективность сжатия его спектра. Обзорные телевизионные камеры в таком случае используются для обнаружения нарушений, формирования сигналов координат, тревожной сигнализации и данных. Предварительное стробирование видеоинформации и определение координат объекта, осуществляющего нарушение, реализуется в системе за счёт выбора, по результатам текущего анализа, одного из сопряжённых растров. В случае попадания подвижного объекта на участки сопряжения растров имеет место идентификация момента полного его перехода из области, контролируемой одной из камер обзорного типа в область, контролируемую другой из них. Дифференциальная обработка исходного сигнала изображений в пространстве кадров и во времени позволяет подавить влияние низкочастотных (пространственно - временных) составляющих на сигналы управления и параметров, которые формируются, по результатам анализа изменений в структуре видеоинформационного сигнала. Селекция указанных изменений должна осуществляться в реальных системах с предварительным определением и ограничением их возможного диапазона и по высокочастотной области.

Если $\bar{V} = i V_x + j V_y$ является вектором скорости перемещения независимого объекта, оптически отображённого во внутрикадровое пространство на светочувствительной поверхности преобразователя, направление которого определяется соответственно величинами косинусов:

$$\cos(\bar{V} \hat{x}) = \frac{V_x}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}}, \quad \cos(\bar{V} \hat{y}) = \frac{V_y}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}},$$

а длина модулем вектора, т.е.

величиной $\bar{V} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$, то в реальной ТВ системе в каждом кадре формируется сигнал ТВ изображений последовательности положений объекта с учётом трансформации по ходу движения его конфигурации при данных условиях видеоконтроля. От относительной скорости его перемещений во внутрикадровом пространстве зависит протяжённость временного спектра, которая и определяет по существу требования к необходимой частоте кадров при формировании ТВ сигнала. По существу в системах видеоконтроля с применением сжатия необходимо

передавать на приёмную сторону лишь участки видеоинформации, отражающие её санкционированные или наоборот несанкционированные изменения (динамика) во времени. Чаще всего соответственно на передающей стороне должна быть решена задача селекции ТВ сигнала движущихся объектов и их параметрической оценки. Может быть предложен следующий алгоритм её осуществления.

1. Если используется вариант оценки сигнала нарушения по отношению к эталонному изображению, то превышение порога сигналом разности фактически определяет исходные координаты («параметр») и момент («параметр») обнаружения нарушения.

2. В следующий отрезок времени и в текущем режиме по межкадровому направлению должна осуществляться относительная оценка изменений амплитуды («параметр») сигнала изображения и площади («параметр») локализации объекта, осуществляющего нарушение.

3. Момент времени, когда прекратилось возрастание площади независимого объекта, осуществляющего данное нарушение, определяет «параметр» совершения, например, однократного нарушения.

4. Момент времени, когда прекратилось возрастание общей площади и площади последнего из независимых объектов, осуществляющего нарушение, определяет «параметр» совершения группового нарушения.

5. Должна осуществляться периодическая фиксация отсчётов функций изменения «параметра» координат, «параметра» площади и «параметра» амплитуды каждого из независимых объектов, осуществляющих нарушение.

6. По значениям предшествующих оценок целесообразно осуществлять предсказание в текущем времени новых значений указанных параметров по п.п.5.

7. В случаях величин отклонений предсказанных значений от фактических, превышающих заданное пороговое значение, осуществляют регистрацию и передачу соответствующих участков видеоинформации во внутрикадровом пространстве и по межкадровому направлению.

8. Следует осуществлять по межкадровому направлению также передачу параметров и фрагментов внутрикадровой структуры изображений, определяющих в системе санкционированные изменения опорной видеоинформации.

Пространственная чёткость видеоконтроля подвижных объектов.

Фактически эталонное изображение определяет ранее регистрируемую по заданному закону внутрикадровую видеоинформацию в контролируемом пространстве, соответствующую отсутствию нарушений. По отношению к эталонной внутрикадровой видеоинформации реализуют выделение и накопление сигнала нарушений. При этом, по возможности, должна быть сохранена пространственная четкость соответствующего изображения. С учётом результатов, представленных работах [1,2,6] рассмотрим специфику изменения «параметра» пространственной чёткости движущихся объектов при ТВ контроле.

Зададимся идеализированным входным воздействием в виде подвижной δ -функции :

$$\delta(x, y, t) = \delta(x + V_x \cdot t) \cdot \delta(y + V_y \cdot t) . \quad (1)$$

Воздействию такого вида соответствует пространственный спектр-

$$S(\omega_x, \omega_y) = \exp(j\omega_x V_x t + j\omega_y V_y t) . \quad (2)$$

Будем считать, что оптическая система не вносит фазовых искажений и её коэффициент передачи совпадает с пространственной частотной характеристикой и отражается функцией $K_{os}(\omega_x, \omega_y)$. Тогда сквозной коэффициент передачи определяется в данном случае произведением:

$$K_0(\omega_x, \omega_y, t) = K_{os}(\omega_x, \omega_y) \cdot \exp(j\omega_x V_x t + j\omega_y V_y t) . \quad (3)$$

Учтём время накопления в течении кадра:

$$\begin{aligned} K_{0k}(\omega_x, \omega_y, t) &= K_{os}(\omega_x, \omega_y) \cdot \int_{-\frac{T_K}{2}}^{\frac{T_K}{2}} \exp(j\omega_x V_x t + j\omega_y V_y t) dt = \\ &= T_K \cdot K_{os}(\omega_x, \omega_y) \cdot \frac{\sin(\omega_x V_x \frac{T_K}{2} + \omega_y V_y \frac{T_K}{2})}{\omega_x V_x \frac{T_K}{2} + \omega_y V_y \frac{T_K}{2}} \end{aligned} \quad (4)$$

Полученное соотношение показывает существенное влияние на чёткость ТВ изображения объекта скорости его перемещения в пределах внутрикадрового пространства. Обозначим $\varphi_{\vec{v}}$ угол между направлением перемещения объекта и, например, горизонтальным направлением внутрикадрового пространства. Тогда

$$V_x = |V| \cdot \cos \varphi_{\vec{v}} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \cdot \cos \varphi_{\vec{v}}, \quad \text{а}$$

$V_y = |V| \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{\vec{v}}\right) = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \cdot \sin \varphi_{\vec{v}}$. Следовательно модуль скорости и угол $\varphi_{\vec{v}}$ определяют перемещение объекта во внутрикадровом пространстве.

Чем меньше относительная скорость движения объекта по данному направлению во внутрикадровом пространстве, тем в меньшей степени, согласно (4), по направлению его движения подавляются высокочастотная структура его пространственного спектра. С другой стороны, именно, в ортогональном направлении, по отношению к направлению движения, минимизируется подавление высокочастотной части пространственного спектра движущегося объекта. Соответственно в системах неортогонального телевизионного контроля удалённых объектов существенное внимание необходимо обращать на оценку параметров перемещения объекта во внутрикадровом пространстве.

Область текущей локализации движущего объекта выявляется в таком случае с использованием сигнала межкадровой разности. Целесообразно сигнал изображений во внутрикадровом пространстве при решении данной задачи представить, например, двумя смещёнными под 45° друг по отношению к другу последовательностями блоков(1) и (2). В последовательности блоков структур распределения (1) и (2). предлагается независимо вычислить изменения модуля сигнала межкадровой разности. По результатам вычислений определить в первом приближении для каждой из последовательностей конфигурацию пространственных границ указанного сигнала и вычислить изменения градиента сигнала в пределах границ. Направление минимального градиента границ может совпадать с направлением движения объекта. По относительной оценке результатов независимых функции градиента для указанных случаев реализуется уточняющая оценка границ движущегося объекта. При вычислении сигнала межкадровой разности следует использовать блоки с относительно большим числом пикселей,

что позволяет компенсировать ухудшение отношения сигнал/шум, характерное для реализации дифференциальной обработки ТВ сигнала. Параллельно вычисляется в межкадровой области траектория изменений координат центра проекции движущегося объекта, который определяется точкой пересечения ортогональных линий, разделяющих площадь проекции объекта на две, равные половине, части.

Определим пространственно-временной спектр, соответствующий подвижной δ -функции :

$$S(\omega_x, \omega_y, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x + V_x t) \delta(y + V_y t) \exp(-j\omega_x x - j\omega_y y) \exp(-j\omega t) dx dy dt = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-j(-\omega_x V_x - \omega_y V_y + \omega)t) dt. \quad (5)$$

Осуществим в (3.16) замену переменной:

$$\tau \cdot \frac{\omega}{\omega_x V_x + \omega_y V_y + \omega} = t; \quad d\tau \cdot \frac{\omega}{\omega_x V_x + \omega_y V_y + \omega} = dt. \quad \text{В результате получим:}$$

$$S(\omega_x, \omega_y, \omega) = \frac{\omega \delta(\omega)}{\omega - \omega_x V_x - \omega_y V_y}. \quad (6)$$

Соотношение (6) отражает пространственно- временной спектр подвижной δ -функции без учёта влияния интегральных искажений спектра сигнала изображения, обусловленных действием процесса накопления и апертурных искажений в датчиках ТВ сигнала.

Структура соотношения (6) свидетельствует о том, что движение ($|V| > 0$) определяет изменения структуры и пространственного и временного спектров объектов..

В структуре спектра подвижного объекта при фиксированной скорости возможно возникновение максимумов в области верхних пространственных частот. С увеличением относительной скорости движения максимум смещается в область более низких пространственных частот и падает коэффициент передачи в области высоких пространственных частот. Следует отметить, что данный результат полностью согласуется с выводом, полученном при анализе соотношения (5).

Результаты проведённого выше анализа должны безусловно учитываться при реализации систем неортогонального ТВ контроля удалённых объектов. В системе целесообразно использовать два вида ТВ камер: общего (интегрального или обзорного) видеоконтроля и пространственно-селективного видеоконтроля с прослеживанием движения объекта. Сигнал изображений от ТВ камер общего видеоконтроля обеспечивает при этом возможность предварительной передачи по относительно узкополосному каналу связи и архивирование (накопление) на приёмной стороне фиксированной (фоновой по отношению к вариантам внештатных ситуаций или, по другому, опорной) видеоинформации. Необходимое накопление опорной видеоинформации может быть реализовано фактически

без потерь в качестве пространственной структуры за счёт, например, использования последовательной передачи участков изображения и восстановления их пространственного распределения в пределах раstra видеоинформации на приёмной стороне. Накопление и архивирование такой же видеоинформации реализуется и на передающей стороне.

С использованием сигнала изображений общего видеоконтроля (обзора) осуществляют в текущем режиме также выделение сигнала межкадровой разности по отношению к последнему моменту штатной ситуации. Подвергают его интегральной обработке, например суммируют дискретные отсчёты в сигнале ТВ изображения межкадровой разности в соответствии с распределениями блоков (1 и 2), с присвоением каждого результата конкретному блоку. Количество отсчётов в каждом из таких блоков выбирается 2×2 ; 4×4 ; 8×8 или даже больше в пропорциональной зависимости от освещённости контролируемой территории и, следовательно, от соотношения сигнал/шум. Получают модуль сигнала межкадровой разности, подвергнутого интегральной обработке. Пороговой оценкой отдельно формируют сигнал нарушения штатной ситуации в каждой из последовательностей блоков. Если сигнал нарушений превышает, по совокупности смежных блоков заданное число, вводится режим тревожной сигнализации и фиксации видеоинформации в участке нарушения. Соответственно осуществляется вычисление уточнённой конфигурации области нарушения с учётом, на её граничных участках, блоков и первого и второго вариантов их распределения в

соответствии с результатом пороговой оценки модуля сигнала межкадровой разности. Далее определяется центр области нарушения и в текущем режиме осуществляется оценка последовательных изменений координат её центра. Формируют сигналы управления положением оптической оси ТВ камеры прослеживания, пропорциональные смещениям центра области нарушений в горизонтальном и вертикальном направлениях. Расстояние от центра раstra и размер области нарушений определяют режим фокусировки и величину угла поля зрения ТВ камеры, осуществляющей прослеживание данной области нарушений. Применение прослеживания, согласно полученным выше результатам, увеличивает (за счёт снижения относительной скорости движения проекции объекта в пределах раstra) пространственную чёткость контролируемых ТВ изображений в зоне нарушения. В конечном итоге за счёт этого возрастает эффективность видеоконтроля и опознавания контролируемых объектов.. Управление углом поля зрения ТВ камеры позволяет фиксировать при выполнении видеоконтроля во внутрикадровом пространстве масштаб изображения объекта, реализующего в данный момент нарушение,. Последнее стабилизирует во внутрикадровом пространстве пространственный спектр контролируемого объекта, что, безусловно, упрощает реализацию сжатия. С другой стороны главной задачей прослеживания является снижение протяжённости временного спектра, соответствующего движущемуся в пределах контролируемого пространства объекту. Последнее позволяет резко снизить частоту передачи опорных кадров в условиях применения метода сжатия спектра с фрагментацией изображения совокупностью независимых блоков.

Параллельно на передающей стороне канала связи с использованием ТВ камер общего обзора осуществляют оценку изменений общей протяжённости области локализации нарушения по отношению к моменту фиксации нарушения. Протяжённость в данном случае определяется общим числом независимых блоков, соответствующих структурам их распределения и позиционируемым в пределах области нарушения. Архивируют внутрикадровую видеoinформацию при изменениях величины протяжённости, превышающих заданное значение.

С учётом результатов, полученных при исследовании искажений масштаба целесообразно также изменять точность передачи пространственной структуры

изображений в зависимости от положения контролируемых участков изображения вдоль оптической оси ТВ камеры, реализующей неортогональный видеоконтроль. Шаг, например, квантования амплитуды коэффициентов пространственного спектра изображения после ДКП сигнала изображения в пределах блоков целесообразно уменьшать для тех передаваемых независимых участков изображения, которые контролируются при относительно более низких углах наклона ТВ камеры. При этом для передачи сигнала от ТВ камеры с прослеживанием реализацию варианта сжатия с ДКП целесообразно осуществлять с увеличением размера блока по отношению к стандарту MPEG-2, а передачу сигнала ошибки - с использованием статистического кодирования .

Литература

1. Безруков В.Н. Анализ характеристик спектра ортогональных структур квазипериодической дискретизации в системах телевидения. Журнал «Радиотехника», 1989, № 12, с. 3 – 7.
2. Безруков В.Н. Принципы построения и анализа характеристик спектра структур дискретизации телевизионных изображений, Журнал «Техника кино и телевидения», 1990 № 7, с. 7 – 23.
3. В.Н. Безруков, И.В. Власюк, П.Ю. Комаров. Мультипликативные амплитудные искажения оптического отображения видеоинформации в пространство кадра при телевизионном контроле. // Метрология и измерительная техника в связи. – 2005. – №5. – С.24 – 28.
4. А.В. Балобанов, А.А. Басекеев, И.В. Власюк. Анализ пространственно-частотных характеристик распределения светочувствительных элементов в пределах раstra матрицы ПЗС. // Метрология и измерительная техника в связи. – 2006. – № 3. – С.36 –40.
5. И.В. Власюк. Метод контроля пространственных характеристик телевизионных камер. // Метрология и измерительная техника в связи. – 2005. – № 6. – С.13 – 16.
6. Безруков В.Н. Разработка и применение элементов теории преобразования сигналов изображений в системах прикладного телевидения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М. - 1995.