

Средства повышения контраста ТВ изображений

Н.Е. Уваров,

начальник сервисного центра
"ЗАО КОМПАНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬ", к.т.н.

В телевизионных системах охраны, как правило, оператор решает задачи обнаружения и опознавания малоконтрастных объектов. Актуальность обнаружения малоконтрастных объектов особенно высока при контроле визуальной обстановки на периметрах охраняемых объектов. Потенциальный нарушитель всегда выберет цвет и форму одежды, обеспечивающие необходимую маскировку. Белый халат зимой и плащевка на фоне пожухлой травы осенью, обладают весьма низкими исходными световыми контрастами [1]. Попытаемся разобраться, чем обусловлены контрастные характеристики наблюдаемых объектов и какие средства повышения исходных контрастов представляет оборудование охранного телевидения оператору.

Если сцена освещена равномерно, с $E = \text{constant}$ по всему растру, то динамический диапазон по контрасту наблюдаемого видеокamerой исходного изображения определяется соотношением коэффициентов отражений объектов максимального к минимальному. Обычно это значение не превышает двух порядков (черный бархат с коэффициентом отражения 0,01 на снегу с коэффициентом отражения 0,9). В яркий солнечный день контраст передаваемой сцены определяется не только упомянутым соотношением коэффициентов отражения, а еще и соотношением освещенностей на солнце и в тени. Как правило, при этом значение контраста сцены не превышает 1000-5000, если, конечно, нет прямых зеркальных отражений солнца в поле зрения наблюдателя или видеокamerы.

Способность видеокamerы воспроизводить такие контрасты прямо зависит от величины ее параметра - отношение сигнал/шум (С/Ш). И этот фактор подробно освещен в [2]. Однако сможет ли оператор воспринять малоконтрастные объекты в телевизионном изображении, зависит от того, как эти контрасты будут трансформированы ТВ системой в область восприятия контрастов зрительного аппарата человека. Поясним это на примере.

Допустим, что оператор наблюдает картину стены в виде бесконечного шахматного поля с коэффициентами отражения на "белой" клетке равным единице, на "черной" клетке - равным 0,4. При этом часть изображения шахматного поля освещена

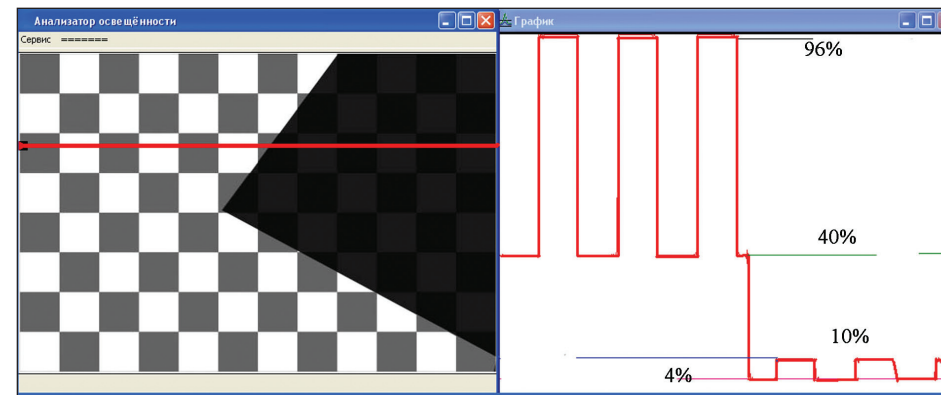


Рис.1 Исходное изображение и осциллограмма распределения яркости

солнцем, а часть изображения находится в тени, например стоящего рядом высотного здания. Значения освещенностей на солнце и в тени отличаются в 10 раз, на практике это распространенный случай. На самом деле, бывает и гораздо больше, все зависит от погодных условий. В яркий солнечный день, при метеорологической дальности видимости (МДВ) более 10 километров различие освещенностей достигает 40-50 раз. В этом не трудно убедиться при наличии обыкновенного люксметра. Автор статьи неоднократно проводил такие измерения люксметром "LM1010" ELVOS GmbH.

Осциллограмма распределения яркости изображения (условно ограниченного рамками кадра), по строке, в соответствии с принятыми параметрами: распределением освещенности и коэффициентами отражения на объекте, представлена на **рисунке 1**.

Итак, если наблюдать картину бесконечного шахматного поля непосредственно глазами, то, ввиду наличия природной нелинейности контрастной чувствительности глаза (определяется величиной обратной яркости поля, вызывающей пороговое раздражение глаза [3]), наблюдатель увидит изображение, представленное на **рисунке 2**. Для удобства сравнения, воспринимаемая картина на **рисунке 2** представлена ограниченной рамками кадра, хотя наблюдатель видит ее вживую, с направлением взора на угол тени.

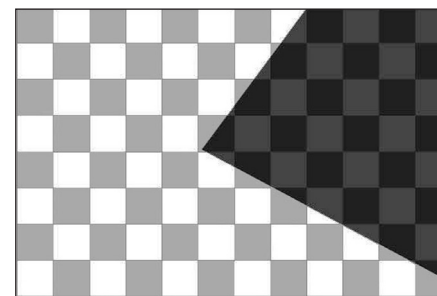


Рис.2 Изображение "шахматного поля", реально воспринимаемое наблюдателем

На экране же монитора видеотрактом со сквозным показателем "Гамма-коррекции" равным единице будет отображаться и восприниматься глазами изображение, представленное на **рисунке 3**.

Очевидно, что на мониторе, при адаптации глаза к локальной средней яркости экрана монитора, зрительным аппаратом человека будет восприниматься изображение в соответствии с природной контрастной чувствительностью глаза и возможностями

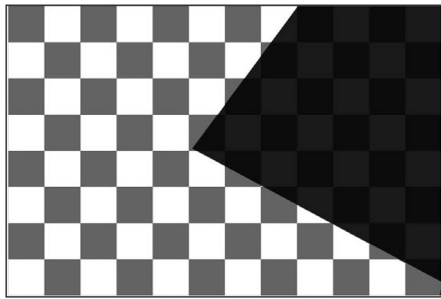


Рис.3 Изображение "шахматного поля", воспринимаемое наблюдателем с экрана монитора

Отсюда следует, что малоконтрастный объект, например футбольный мяч, при перемещении его из освещенной области в тень на экране монитора теряет контраст и становится практически невидимым для глаза. Знакомая картина для телевизионного болельщика, не правда ли?

В практике ж применения телевизионных систем охраны подобная ситуация, прежде всего, встречается при наблюдении объектов в помещении на фоне окна или открытой двери, с выходом на освещенную улицу. На **рисунке 4** представлено изображение человека, наблюдаемого на фоне окна. Очевидно, что черты лица и рисунок рубашки практически не просматриваются из-за адаптации чувствительности ТВ камеры к максимальной освещенности на улице за окном [4]. В целях повышения контраста изображения человека, в такой ситуации, в видеокамерах охранного телевидения предусмотрена специальная аппаратная функция, которая носит название "**компенсация засветки фона**" (Back light compensation). В простейшем случае, в режиме компенсации засветки фона параметры камеры адаптируются не к интегральной освещенности по всему полю кадра, а к освещенности вне его центральной части. Таким образом, за счет некоторого ухудшения качества изображения за окном, улучшается изображение самого предмета наблюдения.

В более сложных моделях видеокамер имеется возможность программного задания размеров и положения окна, в котором производится компенсация засветки. На **рисунке 5** представлено изображение с включенной функцией "Back light compensation". Вполне очевидно, что за проработку деталей лица человека пришлось заплатить потерей деталей (веток деревьев) за окном.

Следующая аппаратная функция повышения контраста, широко используемая в видеокамерах охранного телевидения, получила название "**автоматическая компенсация уровня черного**" (Automatic black-level). Бесспорно, что в воспроизводимом монитором изображении исходное "черное" должно воспроизводиться как "черное". И если по каким либо причинам темные детали начинают светлеть (например, за счет светорассеяния в атмосфере или объективе, либо за счет неэффективности переноса в ПЗС сенсоре), то возникает необходимость в коррекции уровня "черного". Эта задача решается введением в тракт видеосигнала нелинейного, как правило,

монитора воспроизводить контрасты. Известно, что контраст черно-белого изображения на экране монитора с ЭЛТ (в затемненном помещении) не превышает 100, а контрастная чувствительность глаза составляет (1-5)% и существенно зависит от условий наблюдения [3]. Вот поэтому-то изображение шахматной структуры в тени на экране монитора, при наличии внешней засветки, практически не различается. Если же внешнюю засветку в вечернее время выключить, то шахматная структура будет хорошо просматриваться.



Рис.4 Изображение человека на фоне окна, отображаемое ТВ системой с выключенной функцией "Back light compensation"



Рис.5 Изображение человека на фоне окна, отображаемое ТВ системой с включенной функцией "Back light compensation"

автоматического корректора уровня "черного". Корректор уровня "черного" в видеосигнале производит привязку уровня самого темного участка изображения в кадре к стандартному уровню "черного" в полном видеосигнале (0,3 вольта). При этом происходит автоматическая адаптация динамического диапазона видеосигнала на полный размах (от "черного" до "белого"). То есть, происходит как бы отсечка фоновой засветки снизу, автоматически возрастает размах собственно видеосигнала. Это значительно повышает контраст воспроизводимых деталей изображения в области уровней "черного" и общая картина из "выбеленной" становится "сочной", контрастной.

На **рисунке 6** представлено изображение автостоянки в утреннем тумане. Светло окрашенные автомобили еще как-то просматриваются, а вот движущийся между рядами автомобилей практически сливается с фоном. На приведенной ря-

дом осциллограмме видно, что фоновая засветка от тумана составляет 67% от размаха полного видеосигнала, а контраст движущегося автомобиля не превышает 4%. То есть, динамический диапазон видеосигнала от 0,3 вольта до 1,0 вольта по стандарту ГОСТ 7845 92, заполнен полезной информацией всего на 33%.

При включении функции "Automatic black-level" картинка преобразуется. На **рисунке 7** очевидно, что довольно существенно возрос общий контраст воспроизводимого ТВ камерой изображения, и движущийся автомобиль воспринимается оператором с уверенностью. Приведенные справа осциллограммы черных и красных строк изображения, свидетельствуют о том, что видеосигнал в кадре занимает динамический диапазон от 26% до 96% полного видеосигнала. Практически более чем в два раза возрос контраст изображения движущегося автомобиля. Очевидно, что остаточный уровень "черного" в этом изображении еще велик и составляет 26%. То есть уход

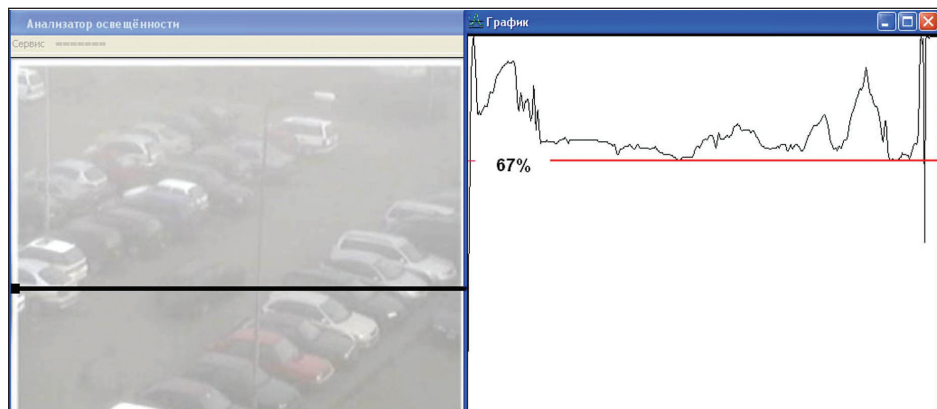


Рис. 6 Изображение стоянки автомобилей в тумане и осциллограмма распределения видеосигнала в строках, отмеченных черной линией

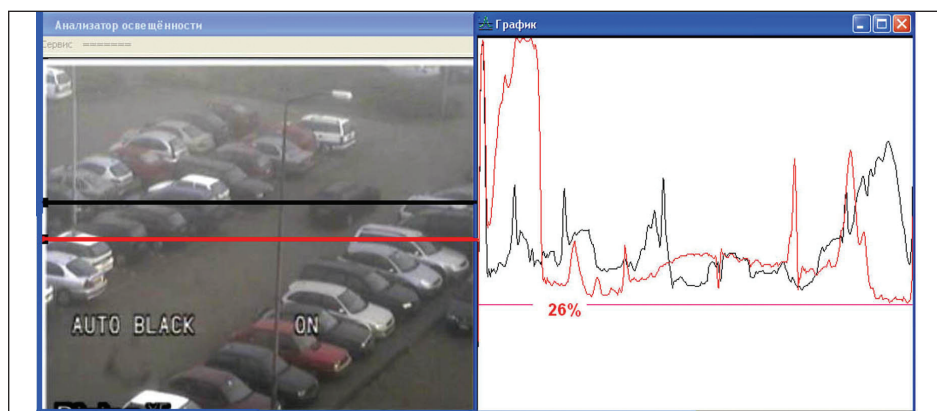


Рис. 7 Изображение стоянки автомобилей в тумане, отображаемое ТВ системой с включенной функцией "Automatic black-level"

уровня "черного" в представленном случае скорректирован на 41%. В телевизионных камерах высокого класса корректируется уход уровня "черного" до 60%.

Однако вернемся к изображению на **рисунке 1**, где, как мы видим по осциллограмме распределения яркости, с целью повышения общего контраста необходима пофрагментная обработка изображения. А именно, на освещенной части изображения надо бы включить функцию "Automatic black-level", а на теневой части просто существенно повысить коэффициент усиления в видеотракте, например, включить автоматическую регулировку усиления (APY). Однако сформировать такой сигнал управления вышеназванными механизмами обработки видеосигнала - задача не простая. И хотя вариант ее реализации был предложен давно [5], в системах охранного телевидения он не нашел применения.

История решения этой проблемы в охранном телевидении связана, прежде все-

го, с появлением несколько лет назад видеокамеры "Super dynamic". В ней реализован механизм пофрагментного управления чувствительностью телевизионной камеры [6]. Напомню суть: каждая светочувствительная ячейка (тот самый пиксель, которых в матрице может быть 768x582) разделена на две, с разным временем накопления (выдержкой). В результате одновременно получается как бы два снимка: с короткой выдержкой, в котором хорошо проработаны светлые области, и с длинной - там вытянуты темные области. Дальнейшая цифровая обработка позволяет совместить оба кадра, так что в результате получается один, но с удивительно высоким динамическим диапазоном.

Реальный выигрыш от применения этой технологии, как убедительно показано в [6], оказался невелик. Дело в том, что каждая из половинок светочувствительной ячейки обладала, собственно, низкой динамикой. Объем потенциальной ямы был невелик и столь малые размеры полуячеек значительно ухудшили шумовые параметры каждой из них. И никакие ухищрения не позволили в результате получить существенного выигрыша по динамическому диапазону.

Другой подход к решению этой же проблемы был реализован технологией "pixim". Новая разработка предлагает более гибкий подход. Теперь каждая ячейка состоит из одной собственно светочувствительной области и дополнительно имеет некоторую логическую структуру (более 40 транзисторов), которая позволяет у каждой ячейки индивидуально задавать время накопления заряда в зависимости от силы света, падающей именно на эту ячейку. Последующая цифровая обработка на основе этих двух параметров (время накопления и полученный заряд) позволяет сконструировать выходное изображение с якобы небывальными характеристиками. Динамический диапазон достигает 100-120 дБ, то есть столько, сколько вообще может обработать ПЗС-матрица с диапазоном регулировки выдержки от 1/50 до 1/100000, но теперь - в одном кадре! То есть одновременно хорошо видны и ярко освещенные предметы на улице и слабоосвещенные предметы в помещении, в отличие от традиционной технологии компенсации засветки фона, которая обеспечивает только что-нибудь одно.

Конечно, результат еще не идеален: очень яркие объекты на темном фоне (фары автомобиля в темноте) по-прежнему расплываются, заряды проникают в соседние ячейки. Кроме того, вынужденное уменьшение размера светочувствительной ячейки (те самые 40 транзисторов занимают некоторое место) несколько ухудшило чувствительность относительно обычных матриц того же размера (1/3"), но в целом разработка очень интересная. В журнале "Системы безопасности" №2, 2004 г., имеются материалы по тестированию ТВ камер, среди них есть и видеокамера компании Bexall Hyper D, S430, где использована технология pixim, однако результаты тестирования весьма скромные.

И, наконец, радикальное решение выравнивания контраста изображения по всему кадру было реализовано в видеокамерах серии "DINION-XF" компании "BOSCH". Кроме таких традиционных для цифровых камер видов обработки, как двумерное оконтуривание, гамма-коррекция, компенсация засветки фона, компенсация уровня черного, автоматический баланс белого, которые в "DINION-XF"

превосходно реализованы, здесь впервые в практике телекамер введена функция нормализации контраста на основе эквализации гистограммы уровней распределения яркостного сигнала. Эта функция позволяет значительно повысить контраст сюжетно важных деталей в изображении, что особенно важно делать в условиях значительных яркостных перепадов, типа "свет-тень", а так же при недостаточно равномерном освещении объектов наблюдения. Суть метода выравнивания контраста заключается в следующем.

На **рисунке 8** представлено изображение с участками, освещенными и находящимися в тени, а справа - гистограмма распределения уровней видеосигнала, полученная с помощью программы "Photoshop". Из анализа гистограммы, очевидно, что сюжетно важные участки изображения находятся в области низких освещенностей и в области самых высоких освещенностей. То есть при оцифровке видеосигнала больше половины уровней квантования было бы затрачено на сюжетно не важную информацию о границе раздела между светом и тенью.

Заметим, что 10-битовый аналого-цифровой преобразователь (АЦП), имеющий 1024 уровня квантования, фактически, судя по гистограмме, обеспечил бы порядка 256 информационных уровней в области низких освещенностей и порядка 80 уровней в области высоких освещенностей. Вполне очевидно, что такого количества "активных" уровней для формирования контрастного цветного изображения недостаточно. Используемая в "DINION-XF" 15-битная технология цифровой обработки видеосигнала в совокупности с мощным видеопроцессором DSP (Digital Signal Processing - "HERCULES") обеспечивает высококачественную обработку видеoinформации, в частности выравнивание гистограммы уровня распределения видеосигнала.

Результат выравнивания контраста по всему полю изображения представлен на **рисунке 9**, а справа находится гистограмма преобразованного изображения. Очевидно, что общий контраст сюжетно важных деталей значительно возрос. Легко просматриваются ранее невидимые фигуры людей, рисунок кирпичной кладки на фронтальной стене, как на свету, так и в тени, особенно на крыше пристройки, ну и так далее. Все это достигнуто путем исключения неинформативных уровней квантования и повышения коэффициента передачи (усиления) информационных уровней при восстановлении изображения в цифроаналоговом преобразователе на выходе видеокамеры. Об этом свидетельствует гистограмма уровня распределения, которая стала более равномерной и имеет трехмодовую структуру, обусловленную тремя уровнями освещенности: яркой боковой стены слева; менее яркой фронтальной стены и ближнего участка крыши пристройки, крыши автомобиля и наиболее информативная структура среднеосвещенной части изображения.

Поразительный эффект в повышении контраста исходного изображения обусловлен детальным анализом распределения освещенности в поле зрения телевизионной камеры. Именно это дало возможность нивелировать последствия неравномерной засветки на ухудшение контраста сюжетно важных объектов. Отметим, что технология выравнивания контраста по всему полю изображения особенно важна для использования в высокоскоростных купольных видеокамерах. Так как при их ис-

пользовании в охранном телевидении, оператор очень часто попадает в ситуации с наблюдением неравномерно освещенных исходных изображений.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы.

1. Исходные световые контрасты определяются, в основном, отличием коэффициентов отражения объекта и фона, а также неравномерностью освещения.
2. Путем выбора ракурса и угла поля зрения видеокамеры при установке последней желательно добиваться по возможности равномерного распределения яркости воспроизводимого изображения.
3. Следует избегать попадания в поле зрения камеры прямых солнечных засветок, больших участков неба, бликов, засветок от источников оптического излучения.
4. Технические средства повышения контраста, позволяют несколько уменьшить влияние некоторых факторов, снижающих контраст сюжетно важных объектов.
5. Наиболее радикальным средством повышения контраста изображения в целом являются корректоры уровня распределения видеосигнала, так называемые выравниватели гистограмм.

Литература:

1. Д.Л. Филиппов "Адаптация передаточной функции как средство компенсации недостаточности контраста объекта", Все о вашей безопасности №1, 2004
2. Н.Е. Уваров "Динамика воспроизведения контраста ТВ камерой", БДИ №6, 2001.
3. В.К. Зворыкин, Д.А. Мортон, "Телевидение", изд. "ИЛ", М., 1954.
4. Н.Е. Уваров "Настройка системы диафрагмирования ТВ камер", "Скрытая камера" № 8-9(16), 2003.
5. И.В. Мерецкова, Н.Е. Уваров, Н.Г. Хитрово, "Автоматический нормализатор контраста", Авторское свидетельство СССР №1626449, БИ № 5, 1991.
6. Куликов А. Н. "Телевизионное наблюдение при ярком солнечном свете", "Специальная техника" № 5, 2000 г.