

Наблюдение малоконтрастных объектов RTNS/CMOS видеокамерой.

М. С. Семин

Приведены результаты лабораторных исследований видеокамеры и алгоритма обработки видеоданных принципиально снимающие ограничения, связанные с разбросом свет/сигнальных характеристик фотоприемных матриц, при наблюдениях малоконтрастных статических или квазистатических объектов, как, например, звезд или иных космических объектов в дневное время при ведении их телескопом. Предложена методика количественной оценки качества регистраторов видеоизображений.

Решение задачи видеонаблюдения малоконтрастных объектов, будь то объекты на ярком фоне или объекты, проекция которых на фотоприемную матрицу значительно меньше размера пикселя, предполагает регистрацию и накопление количества фотонов, достаточное для выявления объекта на окружающем фоне с учетом шума считывания/оцифровки сигналов пикселей и пространственного шума матрицы регистратора [1].

Задача накопления достаточного количества фотонов, даже при относительно небольшой емкости накопления пикселей матрицы, имеет решение в последовательном суммировании кадров, ограниченном только свойством самого объекта наблюдения сохранять свое пространственное положение.

Погрешность считывания/оцифровки яркостей пикселей одного и того же изображения (временной шум) в современных CMOS матрицах имеет величину порядка единиц электронов, что уже, даже для слабых изображений, часто оказывается меньше фотонного Пуассоновского шума. При этом шум считывания в процессе суммирования кадров еще и усредняется.

Таким образом ни размер емкости накопления пикселей матрицы, ни шум считывания/оцифровки не являются критическими погрешностями в решении задачи наблюдения малоконтрастных объектов.

Пространственный же шум CMOS фотоприемных матриц, обусловленный локальными технологическими отклонениями при производстве, приводит к заметному различию свет/сигнальных характеристик пикселей матриц, что принципиально ограничивает возможность контрастного разрешения камер на основе таких матриц.

В силу этих причин, качество решения задачи подавления пространственного шума матрицы является определяющим при наблюдении малоконтрастных объектов.

В работе [2] приводится решение задачи компенсации пространственного шума матрицы путем коррекции свет/сигнальных характеристик пикселей матрицы с помощью предварительно получаемых коэффициентов коррекции. Такое решение задачи имеет принципиальное ограничение из-за неизбежных различий условий получения и применения коэффициентов коррекции, вследствие чего не полностью компенсированный пространственный шум делает нецелесообразным увеличение суммарной экспозиции после того, как временной и пространственный шум сравниваются [2].

Целью создания RTNS/CMOS (RealTimeNoiseSuppression) камеры явилось снятие ограничения на возможность улучшения контрастного разрешения путем покадрового суммирования экспозиций. При этом применение такой камеры в существующих системах видеонаблюдения не должно накладывать дополнительных требований к комплексу устройств наблюдения.

Для оценки качества предлагаемого решения был изготовлен макет RTNS/CMOS камеры с использованием в качестве базового устройства ранее разработанную на предприятии «НПК ВИДЕОКАН» CMOS камеру сверхконтрастного разрешения [3] [4].

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ RTNS/CMOS КАМЕРЫ

Перед лабораторными исследованиями макета RTNS/CMOS камеры были поставлены задачи:

1. количественной оценки пространственного шума камеры при регистрации однородного изображения;
2. оценки возможности получения изображения и качества визуализации малоконтрастных деталей статического объекта во всем диапазоне яркостей его фрагментов.

Известно, что в случае отсутствия аппаратных и алгоритмических погрешностей регистрации/обработки изображения, временной шум пикселей матричного фотоприемного устройства, определяемый как среднеквадратическое значение выборки последовательно регистрируемых яркостей пикселей одного и того же изображения, пропорционален корню квадратному яркости этого фрагмента, а в случае регистрации изображения равномерно освещенного поля таким же свойством обладает и выборка совокупности значений яркостей пикселей фотоприемной матрицы в каждом кадре (пространственный шум) при условии, что все пиксели матрицы имеют одинаковые свет/сигнальные характеристики.

Эти свойства статистики Пуассоновских (временного и пространственного) процессов были положены в основу методики объективной оценки потенциальной контрастной чувствительности макета RTNS/CMOS камеры. Суть данной методики заключалась в получении ряда нормированных значений среднеквадратических отклонений яркостей пикселей, полученных при регистрации равномерного поля с различными временами суммарной экспозиции, и сравнения их значений со значениями, полученными расчетным путем.

При проведении экспериментов по п. 1 объектив камеры снимался и на его место ставился рассеивающий экран, что обеспечивало равномерное освещение поверхности фотоприемной матрицы (см. изображения Рис. 1 и 2). Значения среднеквадратических отклонений определялись для времен суммарной экспозиции: 0,64 с; 1,3 с; 2,5 с; 5,1 с и 10 с. (см. Рис. 2, поля изображений 2-6 соответственно).

Результаты экспериментов обрабатывались программой ImageJ. Величины нормированных значений среднеквадратических отклонений приведены в столбцах StdDev окон результатов программы ImageJ.

Анализ результатов (см. Таблицу) показывает, что при каждом удвоении времени суммарной экспозиции нормированные значения среднеквадратических отклонений яркостей пикселей изображений, полученных RTNS/CMOS камерой, уменьшаются на величины близкие к расчетному значению, равному $\sqrt{2}$.

таблица

суммарная экспозиция [с]	0,64		1,3		2,6		5,1		10
StdDev	2,21		1,50		1,06		0,78		0,58
Отношение значений StdDev		1,47		1,41		1,37		1,33	

Наличие шестипроцентного отклонения в уменьшении отношений StdDev с увеличением суммарного времени экспозиции с 5,1 до 10 секунд возможно связано с наличием шумов оцифровки или других аппаратных погрешностей данного макета камеры.

Следует отметить, что это выявленное «уменьшение» демонстрирует возможности данного метода исследования как для обработки аппаратно/программных решений при разработке видеорегистраторов, так и для объективного сравнения различных регистраторов.

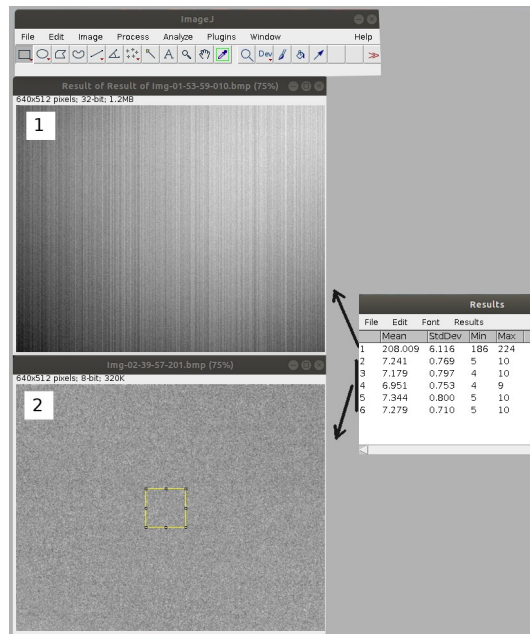


Рис. 1. Кадр исходного изображения CMOS камеры — поле 1 и изображение, полученное вычитанием из кадра текущего изображения ранее усредненного изображения по серии таких же кадров, поле 2. В строке 1 таблицы Result приведены параметры исходного изображения. В строках 2-6 приведены параметры фрагментов усредненного изображения взятых в углах и центре поля.

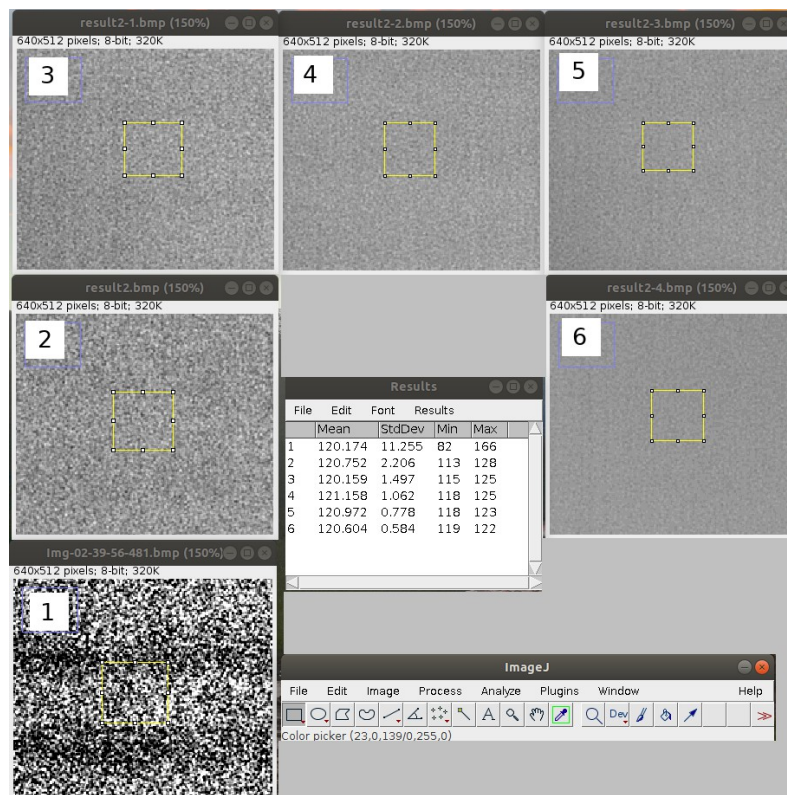


Рис. 2. Фрагменты изображений, полученных RTNS/CMOS камерой при различных временах накопления, и статистические характеристики их пространственного шума. На данном рисунке в поле 1 представлено то же изображение, что и на Рис. 1 в поле 2, с одинаковой для

всех изображений данного рисунка растяжкой области актуальных яркостей. Времена суммарной экспозиции (числа кадров накопления) изображений полей 2 - 6 составляют: 0,64 с (320); 1,3 с (640); 2,5 с (1280); 5,1 с (2560) и 10 с (5120).

В эксперименте по пункту 2 камерами регистрировалось изображение фрагмента купюры.

На Рис. 3 представлены изображения фрагмента купюры, полученные с разрешением 640x512 пикселей CMOS камерой и макетом RTNS/CMOS камеры.

Такое разрешение очевидно недостаточно для качественного выявления мелких и мало контрастных деталей изображения. Тем не менее на изображении, полученном макетом RTNS/CMOS камеры с тем же разрешением, отчетливо видны отверстия перфорации как на светлых, так и на темных участках купюры, а также выявляется наличие мало контрастной микропечати в розетке с достоинством купюры.



Рис. 3. Фрагмент пятитысячной купюры - а) изображение CMOS камеры, и б) изображение макета RTNS/CMOS камеры с увеличенным фрагментом розетки «5000».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов исследования, показавших уменьшение пространственного шума макета RTNS/CMOS камеры при увеличении числа/времени накопления кадров, хорошо согласуются с временными и пространственными свойствами Пуассоновских процессов, что позволяет сделать вывод о возможности RTNS/CMOS камер эффективно использовать возможности накопления кадров при наблюдении малоконтрастных объектов.

RTNS/CMOS камеры позволяют вести наблюдение как за динамическими, так и за статическими объектами.

RTNS/CMOS камеры не требуют выполнения подготовительных операций, вследствие чего могут быть готовы к наблюдению сразу после обращения.

RTNS/CMOS камеры могут быть использованы в существующих комплексах видеонаблюдения без предъявления дополнительных требований к комплексам.

Использованная в лабораторных испытаниях методика количественной оценки качества регистраторов видеоизображений может быть эффективно использована для отработки и объективного сравнения различных устройств регистрации изображений.

Автор выражает благодарность Д. В. Николаеву за помощь в программной реализации алгоритма обработки видеоданных RTNS/CMOS камеры.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. С. Семин, ЭОП/ПЗС=>КМОП Смена поколений устройств регистрации быстропротекающих //2020 г. Журнал Красный угол. <http://videoscan.ru/page/632>
2. Гаранин С. Г., Жуков И. В., Зыков Л. И., Климов А. Н., Копалкин А. В., Смышляев А. П., Сюддюков А. Ю.. Дневное наблюдение звезд слабой яркости ($8^m - 10^m$) и космических объектов видеокамерой с суммированием изображений. //Том 87 № 7 /Июль 2020/ Оптический журнал.
3. Гаранин С. Г., Зыков Л. И., Климов А. Н., Куликов С. М., Смышляев А. П., Степанов В. В., Сюддюков А. Ю.. Дневное наблюдение звезд слабой яркости ($7^m - 8^m$) и космических объектов видеокамерой с суммированием изображений. //Том 84№12/Декабрь 2017/ Оптический журнал.
4. ООО "ВИДЕОСКАН" Видеозаписи, сделанные камерой микроконтрастного разрешения ВидеоМКР // http://videoscan.ru/page/633/alb_id/14