

УДК 528.8

Мартинов А. О.¹, Гуляева С. И.¹, Литвинович Г. С.¹,
Бручковский И. И.¹, Юрина О. А.², Смоленцева Л. А.²

ПРОГРАММНАЯ КОРРЕКЦИЯ УДВОЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВИДЕОСПЕКТРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВСС

¹ Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

² ПАО РКК «Энергия» имени С.П. Королёва, г. Королёв, Российская Федерация

В работе представлен метод коррекции двухкратного паразитного отражения, возникающего на изображениях ВСС в виде двоящегося изображения. Проведено исследование формирования «призраков» на изображениях ВСС на оптическом стенде при помощи съемки лазерного светодиода. Разработан программный метод коррекции «призраков» на изображения и оценена его эффективность.

Разработанная в НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ по заказу ПАО «РКК «Энергия» видеоспектральная система ВСС [1], представляет собой устройство, позволяющее получать фотоизображения с одновременной регистрацией более сотни пространственно разрешенных спектров отраженного излучения подстилающих поверхностей в видимом и ближнем ИК диапазоне с разрешением 2–5 нм. ВСС предназначен для проведения научно-прикладных исследований в космическом эксперименте «Ураган» с борта Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС). Особенностью ВСС является используемая соосная схема: с помощью светоделителя (полупрозрачная плоскопараллельная пластина) световой поток, спроецированный объективом, разделяется на два. Один из них проецируется на приемную матрицу блока изображений, а второй используется для формирования трех областей спектрометрирования. В использовании оптических систем со светоделителем возникает проблема двухкратного отражения от граней светоделителя (рисунок 1), что приводит к появлению «призраков» в изображении (англ. ghost reflection). У ВСС это проявляется в виде двоящегося изображения фотокамеры.

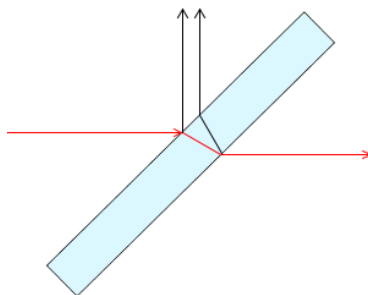


Рисунок 1 – Явление двухкратного отражения

На текущий момент существует возможность аппаратного устранения двухкратного отражения путем использования особых оптических схем: тонкопленочные просветляющие покрытия, светоделительный куб.

Так, в работе [2] предложено использование в качестве светоделительного элемента клина с небольшим углом, таким, чтобы падающее излучение, отражающееся от второй грани, претерпевало полное внутреннее отражение и оставалось внутри клина. Однако такое решение работает только в случае квазипараллельного пучка. Известны решения [3] на основе тонких пленок на основе нитроцеллюлозной мембраны. Но описанное решение не может использоваться в оптической аппаратуре, подверженной вибрации в виду чувствительности пленки к акустическим колебаниям. В литературе описано использование светоделительного куба, однако он имеет проблему множественных отражений. Любой из

описанных аппаратных методов решения проблема двухкратного отражения создает ограничения на геометрию оптической системы. Что же касается программных методов, то хорошие результаты показывает алгоритм, предложенный в [4]. Описанный метод универсальный и не требует предварительных лабораторных измерений. Однако время обработки одного изображения размером 400×600 пк. занимает 22 мин. при использовании 22 ядер процессора. Если предположить, что сложность алгоритма линейно зависит от числа пикселей, то для изображения ВСС (11600×8700 пк.) время коррекции оставит 120 ч. А зависимость может быть не только линейной, но и более высокого порядка. Поэтому был предложен собственный метод коррекции «призраков» на изображении.

Можно сформулировать модель возникновения «призраков» на изображении ВСС следующим образом: на неискаженное изображение накладывается смещенное по вертикали то же изображение с определенным процентом непрозрачности. То есть на значения пикселя с координатами (x, y) влияют значения пикселя с координатами $(x, y+d)$. Однако пиксель с координатами $(x, y+d)$ также является результатом наложения «призрака» на неискаженное изображение – на этот пиксель оказывает свое влияние пиксель $(x, y+2d)$. На который, в свою очередь, влияет пиксель с координатами $(x, y+3d)$, и так далее. Предложенный рекурсивный метод устранения «призраков» описывается формулой 1:

$$\begin{cases} I_0(x, y) = \frac{I(x, y) - I_{g1}(x, y) \cdot p}{1 - p}, \\ I_{g1}(x, y) = \frac{I(x, y+d) - I_{g2}(x, y) \cdot p}{1 - p}, \\ \dots \\ I_{gn-1}(x, y) = \frac{I(x, y+(n-1) \cdot d) - I_{gn}(x, y) \cdot p}{1 - p}, \\ I_{gn}(x, y) = I(x, y+n \cdot d), \end{cases} \quad (1)$$

где x, y – координаты изображения (начало координат в левом верхнем угле); $I(x, y)$ – значение пикселя изображения с «призраком» в соответствующих RGB каналах; $I_0(x, y)$ – значение пикселя неискаженного изображения (без «призрака»); $I_g(x, y)$ – значение пикселя паразитного изображения («призрака»). p – доля непрозрачности (от 0 до 1) паразитного изображения при наложении на неискаженное; d – величина смещения по вертикали изображения-«призрака» относительно неискаженного; n – количество итераций по учету влияния на пиксель его прообраза. Предложенный алгоритм работает за линейное время, или за время $O(n)$, что является хорошей алгоритмической характеристикой [5].

Для уточнения пространственной модели формирования «призраков» был выполнен лабораторный эксперимент, в ходе которого регистрировались изображения лазерного пучка и его «призраков» с помощью ВСС (рисунок 2). Увеличенный фрагмент в зеленой рамке демонстрирует пучок лазера (внизу) и его «призрак» (сверху).

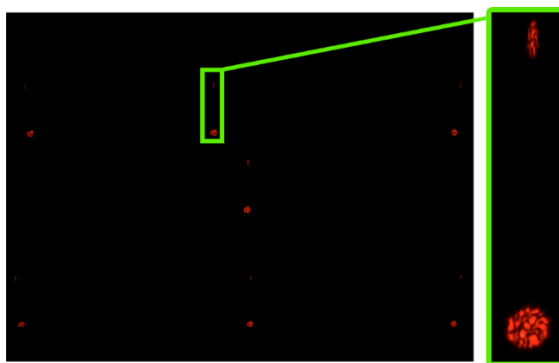


Рисунок 2 – Зарегистрированные лазерные пучки и их «призраки».

Анализируя результаты эксперимента, были определены зависимости смещений формы и положения координат «призраков» от координат пикселей оригинального изображения по обеим осям, что позволило уточнить первичную модель формирования и устранения «призраков» на изображениях ВСС. Определена доля непрозрачности «призрака» $p=0,09$.

Разработано программное обеспечение, реализующее разработанный метод коррекции «призраков» на языке MATLAB. С его помощью было исследовано влияние максимального числа итераций n по устранению «призраков». При $n=2$ достигается оптимальный баланс между точностью устранения «призраков» и временем на проведение вычислений (Теряется всего лишь 0,07% интенсивности третьего прообраза пикселя). На рисунке 3 представлена половина изображения тестовой миры, полученного ВСС, и половина изображения с выполненной коррекцией (при $n=2$). Для оценки результатов была выбрана прямоугольная область II, покрывающая «призрак от темной линии. Выше и ниже этой области выбраны аналогичные по размеру прямоугольные области I и III, на которых отсутствуют «призраки» от темных линий. Для этих областей рассчитаны средние значения интенсивности пикселей. До коррекции «призрак» темной линии (II) темнее окружающего фона (I и III) на 4,46%, а после коррекции область с устраненным «призраком» (II) ярче окружающего фона (I и III) всего на 0,2%. Полученный результат свидетельствует о возможности программного устранения «призраков» на изображении и хороших первоначальных результатах.

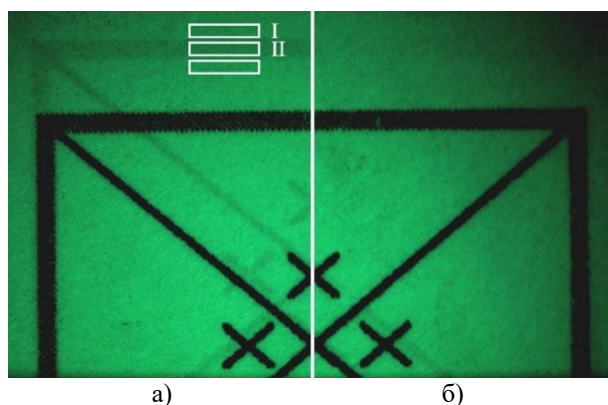


Рисунок 3 – Результат устранения «призраков» на фотоснимке ВСС тестовой миры
а) – область без коррекции; б) – область с коррекцией

Список литературы

1. Устройство и летные испытания научной аппаратуры «Видеоспектральная система» на борту Российского сегмента МКС / Б.И. Беляев, М.Ю. Беляев, Э.Э. Сармин, В.Ф. Гусев, Л.В. Десинов, В.А. Иванов, Ю.А. Крот, А.О. Мартинов, В.В. Рязанцев, В.А. Сосенко // Космическая техника и технологии. – 2016. – № 2 (13). – С. 70–79.
2. Liepmann, T. W. Wedged plate beam splitter without ghost reflections / T.W. Liepmann // Appl. Opt. – 1992. – Vol. 31. – P. 5905–5906.
3. Пленочные светоделители [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.edmundoptics.eu/f/pellicle-beamsplitters/12443/>. – Дата доступа: 13.04.2023.
4. YiChang Shih, Reflection removal using ghosting cues / YiChang Shih, D. Krishnan, F. Durand, W. T. Freeman // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Boston, MA, USA, 2015. – P. 3193–3201.
5. Prasanna Kumar, K. N. A general theory of the system ‘quantum information – quantum entanglement, subatomic particle decay – asymmetric spin states, non locally hidden variables – a concatenated model / K. N. Prasanna Kumar, B. S. Kiranagi, C. S. Bagewadi. // International Journal of Scientific and Research Publications. – July 2012. – T. 2, Issue 7. – ISSN 2250–3153.