

УДК 621.398

# ВЛИЯНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ШУМОВ В АСТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НА ПОГРЕШНОСТЬ ОРИЕНТАЦИИ СПУТНИКОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ.

О.О. Замирец<sup>1</sup>, к.т.н. О.Н. Замирец<sup>2</sup>, М.В. Долженко<sup>2</sup>

1. Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского, г. Харьков

2. Государственное предприятие Научно-исследовательский технологический институт приборостроения, г. Харьков.

*Проведен анализ основных типов шума звездного сигнала. Определены функции преобразования звездного сигнала при попадании на сенсор звездного датчика. Важным параметром при обработке изображения является отношение полезного звездного сигнала к шуму, для чего были проанализированы основные факторы при определении пороговой функции изображения звездного датчика.*

*Проведено аналіз основних типів шуму зоряного сигналу. Визначено функції перетворення зоряного сигналу при попаданні на сенсор зоряного датчика. Важливим параметром при обробці зображення є відношення корисного зоряного сигналу до шуму, для чого було проаналізовано основні фактори при визначенні порогової функції зображення зоряного датчика.*

*The main noise's types of stellar signal has been analyzed. Conversion function of stellar signal that falls on the star tracker detector has been determined. As Signal – to – Noise Ratio is an important parameter in image processing, the main factors of determining thresholding function of the star tracker image has been analyzed.*

**Ключевые слова:** датчик звезд, звездный сигнал, отношение сигнал/шум.

## Актуальность применения космических систем при определении географических координат

Космические навигационно-геодезические системы и системы ДЗЗ – адекватный инструментарий создания и актуализации инфраструктуры геопространственных данных, используемых в общепланетарных, региональных, национальных, корпоративных и индивидуальных приложениях.

В настоящее время космическая информация востребована практически во всех сферах деятельности человечества: экология, сельское хозяйство, геодезия, картография, градостроительство, телевидение, Интернет, связь, медицина, геология и т. д. Также благодаря космическим системам проводится мониторинг критически важных объектов опасных грузов, движение всех видов транспортных средств, природных и

антропогенных чрезвычайных ситуаций, инженерных сооружений, лесных пожаров и др.

Космические системы, предназначенные для съемки Земли с высоким пространственным разрешением появились в мире еще в начале 60х годов. Сначала на них устанавливалась фотографическая съемочная аппаратура, использующая возвращаемые капсулы для доставки фотопленки на Землю. Это приводило к низкой оперативности доставки информации.

С тех пор как появились спутники, передающие изображение по радиоканалу, возможности космических систем съемки Земли значительно возросли. Современные аппараты позволяют получать панхроматические снимки с разрешением десятки сантиметров в полосе захвата несколько десятков километров и спектрональные снимки с разрешением единицы метров в той же полосе захвата. Системы, работающие в видимом (ближнем инфракрасном) диапазоне являются важнейшим средством получения изображений в силу их дешевизны, информативности, легкости обработки и дешифровки получаемой информации.

Роль таких систем в решении задач дистанционного зондирования постоянно возрастает. Задачи оперативного спутникового контроля природных ресурсов, исследования динамики протекания природных и антропогенных процессов, анализа причин, прогнозирования возможных последствий и выбора способов предупреждения чрезвычайных ситуаций являются неотъемлемым атрибутом методологии сбора информации о состоянии интересующей территории, необходимой для принятия правильных и своевременных решений. Космические снимки находят все более широкое применение в самых различных отраслях человеческой деятельности, которые выдвигают подчас самые неожиданные и высокие требования к характеристикам получаемой информации. Современные геонформационные системы (ГИС) используют космические снимки высокого разрешения для создания топографических документов: топографических карт, цифровых моделей рельефа местности, их детализировки и тематического наполнения [1]. К космическим снимкам

высокого разрешения предъявляются жесткие требования по точности координатной привязки изображений с целью получения данных, пригодных для составления крупномасштабных топографических карт.

Топографические документы, сформированные в графической, цифровой или аналоговой формах необходимы при оценках и использовании хозяйственных возможностей той или иной территории, прокладке дорог и трубопроводов, планировании строительства, при заблаговременном проектировании и осуществлении оборонных мероприятий, а также при разработках и проведении боевых операций во время войны.

Полноценные топографические документы должны отвечать установленным требованиям полноты и детальности содержания, геометрической точности и достоверности. Последнее означает, что топографический документ должен отображать местность по ее состоянию на момент его использования. Естественно, что топографический документ отображает местность по ее состоянию на момент съемки, по материалам которой он создан. С течением времени местность непрерывно изменяется, в основном вследствие целенаправленной или произвольной человеческой деятельности. Остающийся неизменным топографический документ рано или поздно перестает соответствовать изменившейся местности - "стареет" и подлежит обновлению. Кроме того, при чрезвычайных обстоятельствах возникает необходимость экстренного исправления имеющихся топографических документов. По этим причинам создание, планомерное обновление или оперативное исправление топографических документов ведется непрерывно (на разных территориях) и топографические съемки проводятся постоянно [2].

При использовании космических снимков в целях картографии необходимо определить координаты объектов, изображенных на снимке, то есть координатно привязать снимок. Следует отметить, что высокие требования по точности привязки стали выдвигаться давно - первые ИСЗ, предназначенные для топографической съемки, появились в первой половине 60-х годов. Однако долгое время для такой съемки использовались фотографические системы. Появление космических оптико-электронных систем наблюдения, аппаратура которых, с точки зрения фотограмметрии, имеет ряд существенных отличий, ставит на повестку дня вопрос о путях повышения точности координатной привязки изображений, полученных с помощью таких систем. Актуальность данного вопроса может быть проиллюстрирована тем, что для отечественных фотографических систем топографической съемки точность координатной привязки составляет 18-20 м, а для оптико-электронных систем - около 50 м. В то же время за рубежом уже эксплуатируются оптико-электронные системы дистанционного зондирования,

которые позволяют достигать точности координатной привязки лучше 10 м.

В настоящее время задача получения изображений с точностью привязки 5-10 м стоит и перед отечественными разработчиками перспективных оптико-электронных систем наблюдения. Основными факторами, влияющими на конечную точность, являются: фотограмметрические погрешности съемочной аппаратуры, погрешность определения ориентации космического аппарата, погрешность определения положения космического аппарата в пространстве, погрешность работы системы угловой стабилизации аппарата, взаимные смещения датчиков ориентации и съемочной аппаратуры и т. д. Перечисленные факторы относятся к различным звеньям процесса координатной привязки космических снимков. В реальных системах наблюдения этим звеньям соответствуют как конкретные измерительные приборы и устройства, так и их взаимосвязи. Как правило, основными элементами космических систем наблюдения, ориентированных на получение координатно-привязанной информации являются собственно оптико-электронные камеры, звездные датчики, навигационная подсистема КА. Погрешность датчиков ориентации аппарата и фотограмметрические погрешности съемочной аппаратуры (камер) вносят наибольший вклад и ограничивают достижимую точность координатной привязки получаемых изображений [3].

Высокоточное определение координат и синхронизация становятся неотъемлемой частью:

- обеспечения национальной безопасности;
- хозяйственной деятельности государств;
- повседневной жизни граждан;
- мониторинга антропогенных и природных чрезвычайных ситуаций.

В спутниковых системах различные шумы могут вызывать нежелательное ухудшение качества изображения, в результате чего увеличивается погрешность географической привязки данных и определения координат. При передаче сигнала шум всегда присутствует в той или иной степени и должен быть минимизирован настолько это возможно. В основном, уровень шума сравнивается с уровнем сигнала, чем определяется, является ли сигнал пригодным для использования.

### Изложение основного материала

#### 1. Преобразование звездного сигнала при попадании на сенсор звездного датчика

Оптическая система звездного датчика занимается расфокусировкой фотонов на детекторе в момент сбора света. Каждая звезда, которая попадает на детектор, преобразуется с помощью двумерной функции Эйри, как показано на рис. 1 и рис. 2. Центральная часть функции

Эйри, которая известна как диск Эйри, включает в себя около 86 % от общего числа электронов звезд.

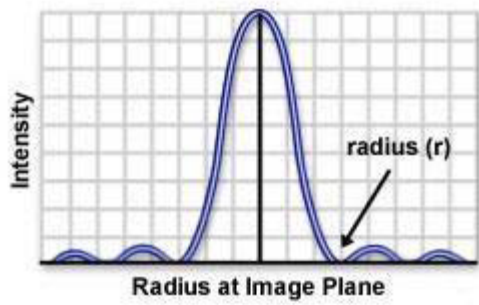


Рис. 1. Профиль интенсивности функции Эйри

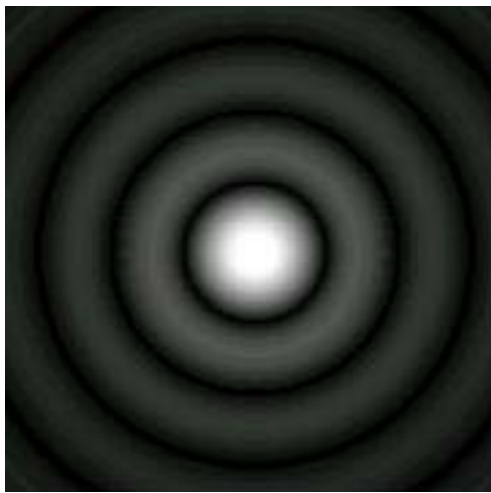


Рис. 2. Диск Эйри с наружными кольцами при цифровой обработке сигнала

Функция Эйри определяется как:

$$A_i(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(\frac{\pi t^3}{3})} dt. \quad (1)$$

Для количественных значений, функция Эйри определяется следующим образом:

$$A_i(z) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \cos(\frac{t}{3} + zt) dt. \quad (2)$$

Двумерная функция Эйри намного быстрее стремится к первому нулю с помощью преобразований двумерной функции Гаусса. За гауссовскую форму принимается приблизительное число фотонов, которые попадают на сенсор. Двумерное преобразование Гаусса определяется как:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\left(\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)}, \quad (3)$$

где  $x$  и  $y$  - координаты пикселей,  $\mu_i$  - математическое ожидание,  $\sigma$  - представляет собой стандартное отклонение от среднего значения. На рис. 3 показан участок двумерной функции Гаусса, имеющий двумерное нормальное распределения со средним значением 0 и дисперсией 1,

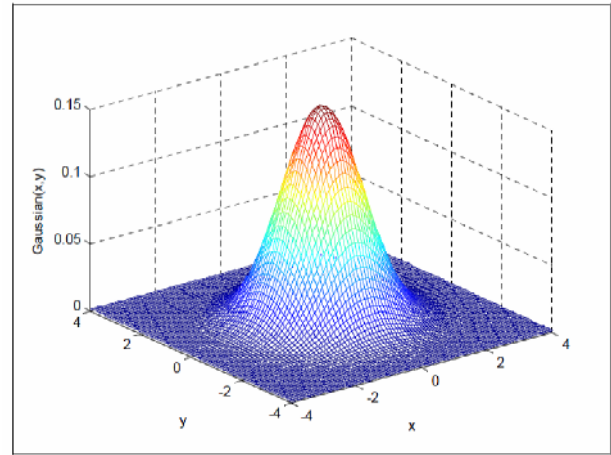


Рис. 3. Гауссовская функция с двумерным нормальным распределением

Самой главной задачей звездного датчика является определение звездного сигнала. В случае КМОП и ПЗС - сенсоров, этот сигнал, как правило, измеряется в зависимости от количества электронов, которые генерируются на сенсоре. Число электронов,  $eNum$ , для данной звезды определяется следующим образом:

$$eNum = (a)(FFSR)(t_{shutter})(g)(10^{\frac{(28-M_v)}{2.5}}), \quad (4)$$

где  $a$  - это область линзы, FFSR - сочетание коэффициента заполнения и спектральных характеристик изображения,  $t_{shutter}$  - это продолжительность времени, когда затвор открыт для сбора света звезд,  $g$  - коэффициент усиления изображения, который измеряется числом электронов, представленных каждым аналого-цифровым блоком (АЦП) и  $M_v$  - визуальная величина. Коэффициент заполнения - это процент индивидуального пикселя, который зависит от фото - отклика и спектрального отклика, и является средним значением отклика фоточувствительного элемента на характерный спектр.

## 2. Анализ основных типов шумов звездного сигнала

В идеале, только фотоны проходящие через сенсор являются фотонами звездного сигнала. Тем не менее, все датчики содержат неопределенности, вызванные введением различных типов шумов, которые оцифровываются вместе с фактическим изображением.

Наиболее распространенными из них являются дробовой шум, темновой ток и фоновые шумы. Кроме того, существуют псевдо источники шума, появляющиеся в процессе оцифровки звездного сигнала, которые включают шум считывания и шум квантования.

Чтобы в полной мере различить цифровой сигнал от шума, необходимо учитывать несколько фундаментальных аспектов теории вероятности и статистики - формулы для одномерных распределений (1D) Гаусса и Пуассона. 1D распределение Гаусса моделируется следующим образом:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (5)$$

где  $x$  - является случайной величиной,  $\mu$  - математическое ожидание,  $\sigma$  представляет собой среднеквадратическое отклонение, и  $\sigma^2$  - дисперсия. 1D распределение Пуассона моделируется по принципу:

$$f(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}, \quad (6)$$

где  $x$  - случайная величина и  $\lambda$  является параметрами распределения (может быть как среднее значение так и дисперсия).

Если  $X_i$  имеет распределение Пуассона с параметром  $\lambda_i$ , то  $X_1 + X_2 + \dots + X_n$  имеет распределение Пуассона с параметрами  $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$ . Это означает, что среднее значение и дисперсия аддитивны при суммировании переменных распределения Пуассона. Это же свойство имеют гауссовы переменные при суммировании. Тем не менее, по мере увеличения параметров Пуассона, распределение Пуассона может быть более точно аппроксимировано с помощью Гауссового распределения, но если параметр имеет большое значение, общим правилом остается сумма среднего значения и дисперсии для двух распределений. Это очень важно, так как различные типы шумов при этом суммируются.

### 2.1 Сигнал дробового шума

Существует неотъемлемый шумовой сигнал, известный как дробовой шум, который проявляется лишь в результате попадания звездного сигнала на сенсор; сам шум связан с неопределенностью в измерении сигнала. Поскольку попадание электрона это пуассоновский процесс, дисперсия равна среднему значению, и, следовательно, стандартное отклонение сигнала шума определяется:

$$\sigma_{shot} = \sqrt{eNum}. \quad (7)$$

### 2.2 Шум темнового тока

Шум темнового тока - результат термически генерируемых электронов, которые присутствуют даже в отсутствии света. Большинство из этих электронов создаются в "запрещенных" энергетических промежутках между валентной зоной и зоной проводимости, где фотоны возбуждают электроны между уровнями интерфейса энергии. Количество шума темнового тока может быть уменьшено за счет работы сенсора в инверсии, где отверстия от канала предотвращают поток электронов в состояниях интерфейса. В космосе, шум темнового тока может быть снижен путем прямого подключения сенсора к пассивным радиаторам или активным охлаждающим устройствам. Шум темнового тока является Пуассоновским процессом:

$$\sigma_{dark} = \sqrt{D} = \sqrt{d \cdot t_{collect}}, \quad (8)$$

где  $D$  - количество электронов темнового тока,  $d$  - скорость темнового тока,  $t$  - время, за которое собираются электроны темнового тока.

### 2.3 Фоновый шум

Фоновый шум появляется от других дополнительных источников шумов, которые способствуют неопределенности сигнала, которые часто включают в себя шум от спутника или окружающей среды. Существуют различные типы фонового шума, но каждый, как правило, очень специфический, поэтому такие шумы часто трудно смоделировать. Фоновый шум, происходящий из окружающей среды, как правило, довольно мал по сравнению с нижней величиной звезды, которая обычно используется для навигации, это доминирует на фоне других потенциальных источников, таких как блики от солнца, которые отражаются от других поверхностей космических аппаратов.

Фоновый шум будет следовать той же статистике Пуассона как сигнал дробового шума, учитывая, что его источником является внешнее по отношению к сенсору окружение, и определяется тем же процессом скорости попадания фотонов на сенсор. Считается, что при фоновом шуме определение скорости такое же как и при темновом токе, но вместо того, чтобы моделировать, его значение ограничивается требованиями к производительности сенсора.

### 2.4 Шумы квантования

Чтобы понять шум квантования, необходимо в первую очередь рассмотреть понятие усиления датчика. Датчик сам генерирует и "рассчитывает" из отдельных

пикселей изображения, где расчеты пропорциональны общему числу полученных электронов. Для моделирования неопределенности в реальном количестве электронов на пиксель, считают коэффициент усиления датчика -  $\Delta$ , который количественно рассчитывает пропорциональность между фактическим количеством электронов на выходе. Хотя усиления часто может быть переменным значением, максимальный коэффициент усиления в целом определяется следующим образом:

$$\Delta = \frac{fullWell}{ADU_{max}}, \quad (9)$$

где fullWell – максимальное количество электронов, которое содержит один пиксель,  $ADU_{max}$  - максимально количество битов на аналого-цифровом преобразователе. В качестве примера IBIS5-A-1300 имеет fullWell около 120000 электронов и максимальное значение  $ADU \ 2^{10} = 1024$  отсчетов. Поэтому максимальный коэффициент усиления для датчика будет:

$$\Delta = \frac{120000}{1024} \approx 117. \quad (10)$$

Это означает, что интенсивность звезд имеет разрешение в примерно 117 электронов на ADU. Следовательно, например, от 0 до 58 электронов будут прочитаны как 0 электронов, а где-то от 59 до 176 электронов будут читаться как 117 электронов. Для увеличения интенсивности разрешения, пользователь может устанавливать для датчика более низкий коэффициент усиления или выбрать сенсор с высоким максимальным значением ADU (которое содержит больше разрядов АЦП).

Шум квантования является результатом неопределенности истинного значения электронного счета, вызванного в АЦП. Шум квантования может быть смоделирован в виде плоского (одномерного) распределения, это означает, что данные распределены таким образом, что все значения находятся между двумя ограничения в равновероятной степени [4]. Таким образом, дисперсия шума квантования находится путем определения ожидаемого значения среднеквадратической ошибки:

$$E\left(\frac{(x - \mu)^2}{N}\right) = \frac{1}{N} E(x^2), \quad (11)$$

или более точно:

$$\begin{aligned} \sigma_q^2 &= \frac{1}{N} E(x^2) = \frac{1}{\Delta} \int_{\frac{1}{\Delta}}^{\frac{1}{\Delta}} x^2 dx = \frac{1}{\Delta} \left[ \frac{(\frac{\Delta}{2})^3}{3} - \frac{(-\frac{\Delta}{2})^3}{3} \right] = \\ &= \frac{1}{\Delta} \left[ \frac{\Delta^3}{24} - \frac{-\Delta^3}{24} \right] = \frac{\Delta^2}{24}. \end{aligned} \quad (12)$$

Таким образом, стандартное отклонение шума квантования определяется по формуле:

$$\sigma_{quantization} = \frac{\Delta}{\sqrt{12}}. \quad (13)$$

## 2.5 Шум считывания

Шум считывания связан с неточной конверсией электронов из сигнала, падающего на сенсор для считывания изображения. Это в основном связано с выходным усилителем, где электроны преобразуются в аналоговое напряжение. Стандартное отклонение шума считывания задается:

$$\sigma_{readout} = \frac{R}{\Delta}, \quad (14)$$

где R - число электронов, вызванное шумом считывания и  $\Delta$  - коэффициент усиления, рассчитанный так же как и для шума квантования. В отличие от ошибки квантования, которая увеличивается с более высоким коэффициентом усиления, считывание ошибки, будучи фиксированным числом электронов, будет уменьшаться по сравнению с сигналом при увеличении усиления. И шум считывания и шум квантования ограничены структурой изображения и поэтому не могут быть улучшены пользователем или методами обработки изображений.

## 2.6 Сочетание различных типов шума

Общее количество шума, падающее на сенсор, зависит от нескольких источников, каждый из которых имеет различные статистические характеристики. Значение дисперсии это фактическое значение средне квадратического отклонения и среднего значения. Если случайная величина может быть выражена как сумма M случайных чисел, то применяется следующее соотношение:

$$\begin{aligned} \sigma_{sample}^2 &= \frac{1}{N} \sum_i^N (x^i - \mu)^2 = \frac{1}{N} \sum_i^N (\sum_j^M (x_j^i - \mu_j))^2 = \\ &= \sum_j^M \sigma_j^2 + \frac{1}{N} \sum_i^N (x_i^1 - \mu^1)(x_i^2 - \mu^2) + \dots \end{aligned} \quad (15)$$

### 3. Отношение сигнал / шум

Самым важным параметром в любой коммуникационной системе является отношение уровня сигнала к уровню шума (S/N). Это величина, которая наиболее полно описывает качество воспроизведения сигнала. Теоретически спутниковые системы могут восстановить неповрежденную картинку даже при достаточно большом уровне шума. Однако на практике требования таковы, что уровень сигнала в этом отношении должен быть выше уровня шумов.

Таким образом, одинаковые системы могли бы восстановить изображение даже при очень низком уровне сигнала (в данном случае, при спутниковых трансляциях). Однако это опять же предполагает, что уровень шума в означенном соотношении ниже уровня полезного сигнала. Таким образом, важным параметром являются не отдельные значения, а отношение между уровнями сигнала и шума.

Отношение сигнал-шум (SNR) является мерой качества сигнала в определенном пикселе, который выражается как отношение измеренного сигнала к шуму. Оно определяется как отношение электронного сигнала к стандартному отклонению от общего шума:

$$SNR = \frac{S}{\sqrt{S + D + R^2 + \frac{\Delta^2}{12} + B}}, \quad (16)$$

где S, D, R, и B представляют собой сигнал, темновой ток, шум считывания, и фоновые шумы соответственно.

Уравнение (16) может быть использовано для определения процентной вероятности того, что сигнал превысит шум в этом соотношении, как показано на рис. 4. По центральной предельной теореме, распределение SNR является нормальным со средним значением S и стандартным отклонением  $\sigma$ . Сплошными стрелками ниже кривой показан процент шума в  $\pm 1\sigma$ ,  $\pm 2\sigma$ ,  $\pm 3\sigma$  группах. Пунктирные стрелки обозначают количество времени, за которое сигнал превышает шум в отношении (16) для  $1\sigma$ ,  $2\sigma$  и  $3\sigma$  количества шума [4].

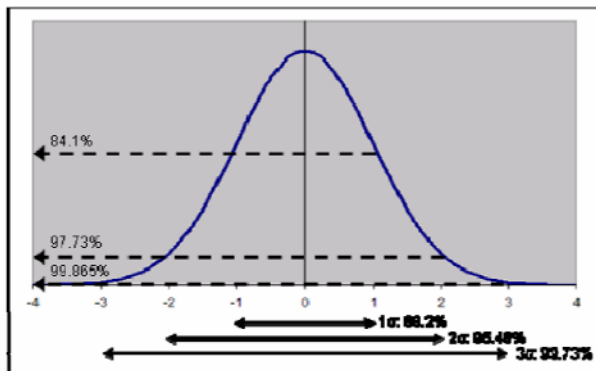


Рис. 4. Стандартное нормальное распределение. Процентная зависимость, что SNR превысит  $1\sigma$ ,  $2\sigma$  и  $3\sigma$  количество шума

С точки зрения звездного моделирования SNR может быть вычислена путем:

$$SNR = \frac{eNum}{2\pi\sigma_{star}^2\sigma_{noise}}, \quad (17)$$

где  $eNum$  - число электронов данной звезды,  $\sigma_{star}$  - ширина точки функции распространения звезды, которая аппроксимируется распределением Гаусса и  $\sigma_{noise}$  - это стандартное отклонение шума на сенсоре.

### 4. Пороговое значение изображения

С учетом общего числа фотонов, которые падают на поверхность сенсора для конкретного изображения, пороговая функция позволяет различать фотоны звезд от электронов шума. В общем, шум считывания является одинаково распространенным по всей плоскости формирования изображений, и, следовательно, дробовой шум и шум темнового тока - основные элементы, которые необходимо отделить от звездного сигнала для точного определения центра. Это достигается путем установки шумового порога, который позволяет пропускать только те пиксели, которые содержат значения электронов выше, чем это минимальное значение, которое рассчитывается как потенциальные пиксели звезд.

Есть преимущества и недостатки при выборе пороговых значений. Установка верхнего порога шума резко снижает шансы нахождения "ложных звезд", но предотвращает от нахождения сенсором неярких звезд и части звезд, значение мощности которых находится ниже этого порога. С другой стороны, установка нижнего порога обеспечивает обработку неярких звезд, но предотвращает различие между зашумленными пикселями и настоящими звездами [4].

Для определения минимального порогового уровня звездному датчику необходимо для начала определить уровень интенсивности фона. Например, звездный микро датчик DIGISTAR использует справочную таблицу, которая была создана на основе эмпирических результатов изображений ночного неба, для того, чтобы установить минимальный пороговый уровень. Средний уровень интенсивности фона входящего изображения определяется для оценки общего уровня фона, с помощью выбора и анализа пяти пространственно распределенных окон  $10 \times 10$  пикселей оставшихся звезд. Как только этот уровень определяется, справочная таблица автоматически устанавливает минимальный пороговое значение, чтобы убедиться, что порог не на уровне или ниже уровня фона, что в итоге может привести к превращению каждого пикселя в потенциальную звезду.

Также вполне возможно, что SNR может быть равным единице, особенно на высокой скорости вращения, что приводит к короткому времени интеграции. Таким образом, каждый пиксель на сенсоре фильтруется дважды: первый основан на отношении значения пикселя к пороговому значению и второй основан на его местоположении относительно других пикселей подобной интенсивности. На рис. 5 (слева) представлено изображение звезд, где вычитаются темные участки изображения, пороговое значение SNR для которых было установлено равное единице. Затененное изображение определяется как среднее значение количества содержания каждого пикселя в пиксельной матрице нескольких изображений в последовательности. На рис. 5 (слева) около 124 000 пикселей (10% пикселей из всего изображения) превышает пороговое значение. Примерно половина из пикселей, которые находятся в непосредственной близости от звезды, должны превышать этот порог. Таким образом, учитывая этот факт можно статистически отличать пиксели звезд и шума. Были выполнены две предварительных фильтрации. Первый фильтр рассматривает область 5 на 5 пикселей с центром в каждом пикселе, превышающем указанный порог, и определяет, по крайней мере 9 из 25 пикселей в этой области, которые тоже превышают пороговое значение. Если хотя бы 9 пикселей найдены, то эта область рассматривается как возможная звезда, так как вероятность того, что это произойдет из-за шума является небольшой.

Однако, в случае SNR=1, есть еще много пикселей, которые могут статистически образовывать группы из 5 или более пикселей, как показано на рис. 5 по центру. Второй фильтр анализирует близость каждого пикселя к соседним пикселям локальной области и исключает возможность определения звезды после первой фильтрации, которая не содержит пиксели с достаточным количеством электронов плотно упакованных в группы.

**Выводы**

Таким образом, в результате проведенного анализа основных типов шумов важным параметром при обработке изображений является отношение полезного сигнала к шуму. Для этого необходимо правильно определить пороговое значение. С учетом общего числа фотонов, которые падают на поверхность сенсора для конкретного изображения, пороговая функция позволяет различать фотоны звезд от электронов шума.

Благодаря природе звездных датчиков, он будет время от времени обрабатывать звезды относительно визуальной величины в целях удовлетворения требований микро - спутника пространственной ориентации. Значения SNR непосредственно влияют на способность центроида определять точное местонахождение центра звезд.

Таким образом, важно понимать необходимость сведения к минимуму количество шума в системе, для поддержания максимально возможного значения отношения сигнал / шум.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Габрук С. В., Гершензон В. Е. *Космические системы дистанционного зондирования Земли [Текст] / С. В. Габрук, В. Е. Гершензон – М, 1997.*
2. Мельканович А. Ф. *Фотографические средства и их эксплуатация [Текст] / А. Ф. Мельканович – М: Изд – во МО, 1984*
3. Ключников М.В. *Звездный датчик и его использование для полетной фотограмметрической калибровки оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли. Москва, 2003 – 116 стр.*
4. Kara M. Huffman *Designing Star Trackers to Meet Micro-satellite Requirements // B.S. Aeronautical and Astronautical Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign. – 2004. – pp. 25 - 53*

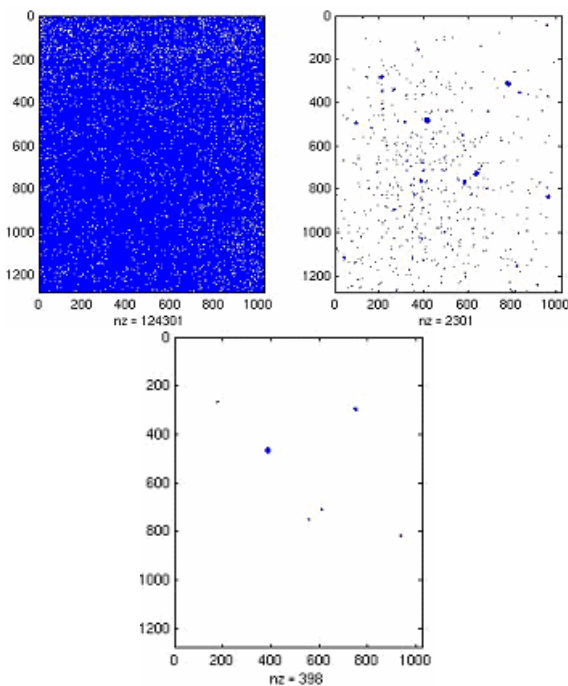


Рис. 5. Отфильтрованные изображения с порогом SNR=1