

О предельных возможностях линейной пространственной фильтрации при подавлении помех пространственно-неоднородного фона в тепlopеленгаторах различных классов

11, ноябрь 2013

DOI: 10.7463/1113.0656657

Климова А. В., Крыжановский В. В., Левшин В. Л., Муратов К. В.
УДК 004.9

ОАО «НПП «Геофизика-Космос», Москва, Российская Федерация

klimovaav@inbox.ru

sltpt@mail.ru

viktor-levshin@yandex.ru

k190@yandex.ru

Введение

При создании оптико-электронных систем, в частности тепlopеленгаторов и тепловых головок самонаведения различных классов, предназначенных для обнаружения малоразмерных целей, в том числе на пространственно-неоднородном интенсивном фоне, встает задача эффективного подавления фоновых помех. Неоднородный фон в виде облачности с разрывами и земного ландшафта с резкими перепадами яркости от одной макроструктуры фона к другой, как показывают расчеты и опыт разработок, может вызывать помеховые сигналы во много раз превосходящие полезные сигналы от цели (в десятки и даже сотни раз), подавление которых до уровня, сопоставимого с уровнем шумов фотоприемного устройства, представляет определенную проблему. Возможность справиться с ней с помощью традиционно используемых для подавления фоновых помех линейных пространственных фильтров находится под большим сомнением. При их выборе встает естественный вопрос об их предельных возможностях при оптимальном построении. До сих пор этот вопрос рассматривался [1] без достаточно корректного отражения влияния пространственного разрешения тепlopеленгатора и эффекта двумерной линейной квазиоптимальной фильтрации. Это мешало сформулировать достаточно радикальные и общие выводы о путях совершенствования средств помехоподавления. Данная работа призвана восполнить этот пробел.

1 Постановка задачи

Важнейшей вероятностной характеристикой пространственной неоднородности фона является, как известно, его корреляционная функция (КФ), которая в случае стационарности фона обозначается $K(\Delta x, \Delta y)$, где аргументами служат интервалы по осям координат Δx и Δy между коррелируемыми точками.

Из общих соображений и опыта разработок известно, что эффект пространственной фильтрации в сильной степени зависит от хода КФ вблизи ее экстремального значения (нуля аргумента), на который в пределах апертуры фильтра сильно влияет пространственное разрешение тепlopелегатора. Поэтому эти вопросы находятся в центре рассмотрения в данной статье. Перевод угловой меры в линейные величины в фокальной плоскости объектива, где размещаются, как правило, современные матричные фотоприемные устройства (МФПУ), и в плоскости фона Земли (или облачного покрова) производится по формулам, учитывающим малость углового разрешения ТП:

$$l_{\phi} = \alpha_n f'; \quad l_n = \alpha_n H_{орб}, \quad (1.1)$$

где α_n – угловой размер пикселя МФПУ, f' – фокусное расстояние оптической системы, $H_{орб}$ – высота орбиты космического аппарата или траектория горизонтального полета аэродинамического носителя тепlopеленгатора. Стоит также отметить, что фоновая помеха на входе в размерности лучистого потока определяется разрешением на местности l_n и дисперсией энергетической яркости фона σ_{ϕ}^2 : $\sigma_{\phi}^2 \sim \sigma_{\phi}^2 l_n^4$, которая должна приниматься во внимание при «сквозном» прохождении всего оптико-электронного тракта тепlopеленгатора. При проводимом нами анализе алгоритмов подавления помех эта величина берется фиксированной.

Вид КФ считается в данном случае порождением наиболее критичной двухкомпонентной структуры яркостного поля фона. Структуры такого рода адекватно описываются моделями Марковского двумерного случайного процесса со скачкообразными изменениями яркости на переходах от одной компоненты к другой. Вероятность скачков в данной точке поля подчиняется закону Пуассона со свойственным ему экспоненциальным видом КФ, сепарабельной по осям координат [2]:

$$K(\Delta x, \Delta y) = \sigma_{\phi}^2 \exp\left(-\frac{|\Delta x|}{x_k} - \frac{|\Delta y|}{y_k}\right), \quad (1.2)$$

где параметры x_k и y_k соответствуют интервалам корреляции по осям координат и определяют частоту присутствия кромок в двухкомпонентном поле яркости через обратные величины: $1/x_k$ и $1/y_k$.

Закон Пуассона соответствует так называемому «телеграфному сигналу», характеризующемуся указанной экспоненциальной КФ. Формула (1.2) отличается от используемого в подобных случаях выражения, исходящего из гипотезы об изотропности фона (зависимости КФ только от модуля расстояния между точками). Мы же исходим из того, что эта гипотеза, сужающая класс описываемых ею фонов, является более грубым допущением по отношению к действительности, чем принятое нами условие сепарабельности, которое в частном случае (при равенстве интервалов корреляции по ортогональным осям) отражает так называемую «квазиизотропность» ($x_k = y_k$). Она характерна изменениями величин интервалов корреляции в зависимости от угла ориентации системы координат.

В районе максимума корреляции при переходе к полю сигналов на выходе оптико-механического блока на ход КФ могут существенно влиять параметры этого блока, так как он (по общему смыслу) ограничивает возможности пространственной фильтрации.

2 Методы исследований

2.1 Учет весовой функции оптико-механического блока при определении КФ на его выходе

В достаточно корректном виде можно получить выражение для КФ на выходе оптико-механического блока ($K_n(\Delta x, \Delta y)$) с помощью его аппаратной весовой функции в виде свертки функции распределения энергии в пятне рассеяния оптической системы, описываемой двумерной центрально-симметричной гауссоидой в качестве модели изображения «точечной» цели, и однородной по пикселю (параллелепипедного вида) весовой функции квадратной площадки МФПУ. Таким образом, принимается, что линейная и стационарная оптико-электронная система состоит из двух последовательных звеньев:

1. Оптическая система с функцией рассеяния, учитывающей дифракцию и геометрические aberrации, аппроксимируемой гауссоидой и играющей роль ее весовой функции:

$$h_o(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2.1)$$

где $\sigma = r_0/3$, r_0 – эффективный радиус кружка рассеяния. При этом делается не принципиальное с точки зрения предмета рассмотрения дополнительное допущение, что оптимальное согласование параметров оптической системы и фотоприемного устройства достигается при общепринятом условии: $2r_0 = l_n$.

2. Площадка МФПУ с весовой нормированной функцией в виде параллелепипеда:

$$h_n(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } |x| \leq \frac{l_n}{2} \text{ и } |y| \leq \frac{l_n}{2}; \\ 0, & \text{если "иначе"}. \end{cases} \quad (2.2)$$

Аппаратная (результатирующая) весовая функция оптико-механического блока определяется из выражения:

$$\begin{aligned} h_{an}(x, y) &= h_o(x, y) \otimes h_n(x, y) = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h_o(u, v) h_n(x - u, y - v) du dv. \end{aligned} \quad (2.3)$$

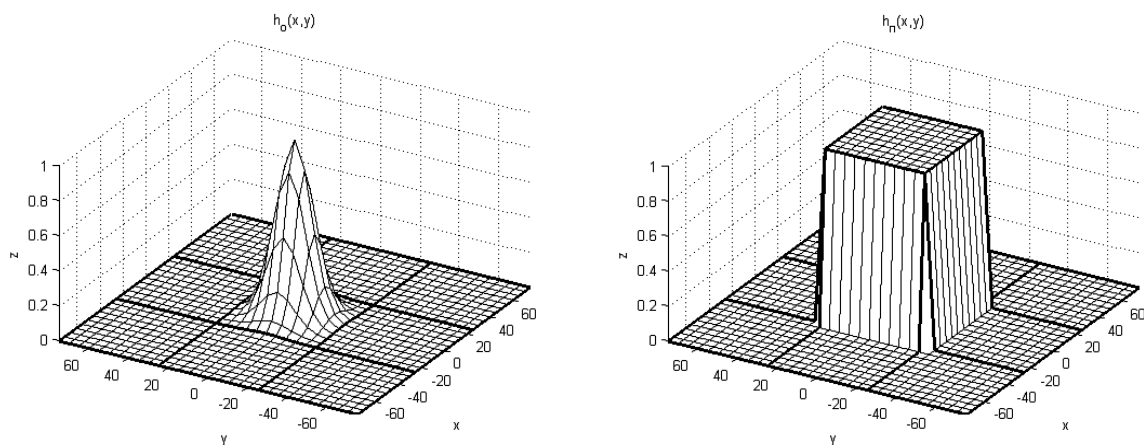
На рисунке 2.1 приведены функции $h_o(x, y)$, $h_n(x, y)$ и $h_{an}(x, y)$ при значениях $l_n = 50$, $r_o = 25$.

Для получения $K_n(\Delta x, \Delta y)$ необходимо произвести двойную двумерную свертку исходной КФ с весовой функцией оптико-механического блока [2]:

$$\begin{aligned} K_n(\Delta x, \Delta y) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K(\Delta x - x' - x'', \Delta y - y' - y'') \times \\ &\times h_{an}(x', y') h_{an}(x'', y'') dx' dy' dx'' dy''. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Для удобства вычислений здесь вводится понятие «автосвертки»:

$$h_{an}^*(\Delta x, \Delta y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h_{an}(x, y) h_{an}(\Delta x - x, \Delta y - y) dx dy. \quad (2.5)$$



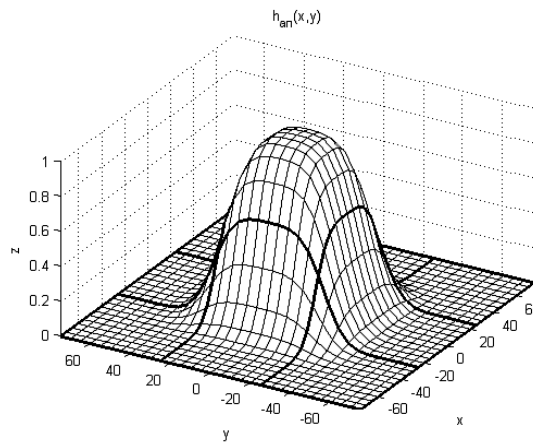


Рисунок 2.1 – Функции $h_o(x,y)$, $h_n(x,y)$ и $h_{an}(x,y)$

В общем виде эти выражения труднообозримы, поэтому дальнейшее рассмотрение целесообразно первоначально всемерно упрощать, выявляя саму сущность вопроса. При относительно высоком разрешении, что характерно для современных тепловизионных устройств, можно в первом приближении принять весовую функцию оптико-механического блока в виде параллелепипеда, считая оптическую систему идеальной. Кроме того, ограничимся в данном случае пока для простоты одномерными соотношениями.

С учетом принятых допущений автосвертка принимает простую треугольную форму:

$$h_{an}^*(\Delta x) = \begin{cases} l_n - \Delta x, & \text{если } 0 \leq \Delta x < l_n; \\ l_n + \Delta x, & \text{если } -l_n < \Delta x < 0, \end{cases} \quad (2.6)$$

а вместо (2.4) имеем:

$$K_n(\Delta x) = \int_{-\infty}^{\infty} K(x) h_{an}^*(\Delta x - x) dx. \quad (2.7)$$

Подставляя соответствующие выражения, получаем финальную формулу для нашего случая:

$$K_n(\Delta x) = \sigma_{\phi}^2 \int_{\Delta x - l_n}^{\Delta x + l_n} \exp\left(-\frac{|\Delta x|}{x_k}\right) (l_n - |\Delta x - x|) dx. \quad (2.8)$$

2.2 Квазиоптимальный линейный фильтр

На базе проведенного рассмотрения можно решить вопрос большой значимости – получить фактический предел помехоподавления при линейной фильтрации фона. Это важно с точки зрения выбора вида пространственной селекции: линейного или нелинейного.

Для принятого вида КФ с помощью теоремы Фурье [2] можно получить пространственный спектр дисперсий:

$$G_{\phi}(K_x, K_y) = G(K_x)G(K_y), \quad (2.9)$$

где $G(K_x) = \frac{2\sigma_{\phi}x_k}{K_x^2x_k^2 + 1}$, K_x и K_y – пространственные частоты по ортогональным осям

координат. Выражение для другой ортогональной оси аналогично.

При нормальном законе распределения стационарного фона, как показано Винером, абсолютно оптимальным является оптимальный линейный фильтр с пространственно-частотной характеристикой (ПЧХ) вида:

$$H(K_x, K_y) = \frac{H_u(K_x, K_y)}{G_{\phi}(K_x, K_y)} \cdot H_{\phi c}(K_x, K_y), \quad (2.10)$$

где $H_u(K_x, K_y)$ – ПЧХ согласующего (с полезным сигналом) звена, соответствующая принятой модели цели (ее изображения). Роль согласующего звена в нашем случае играет фотоприемное устройство, которое «подстроено» под изображение «точечной» цели. Помехоподавляющее звено должно иметь ПЧХ, обратную спектру дисперсий, в связи с чем его называют еще «обеляющим» или «декоррелирующим» звеном. $H_{\phi c}(K_x, K_y)$ – ПЧХ фазосдвигающего звена оптимального линейного фильтра, обусловленного «децентричностью» входного воздействия. Оно свидетельствует о том, что оптимальный линейный фильтр должен строиться в модификациях на каждое возможное положение объекта, что практически заменяется какого-то рода осреднением по площади пикселя.

Отношение сигнал/помеха на выходе такого устройства имеет вид:

$$\left| \frac{(U_c)_{\max}}{\sigma_{\phi}} \right| = \sqrt{\int_{-X}^X dK_x \int_{-Y}^Y dK_y \frac{|H(K_x, K_y)|^2}{G_{\phi}(K_x, K_y)}}. \quad (2.11)$$

Этот предел не может быть превышен в рамках принятой гипотезы нормального закона распределения никаким иным линейным и нелинейным устройством.

Спектр дисперсий яркости фона в рабочем диапазоне частот может быть аппроксимирован квадратичной гиперболой типа:

$$G_{\phi}(K_x, K_y) = \frac{4\sigma_{\phi}^2 x_k y_k}{K_x^2 x_k^2 + K_y^2 y_k^2}, \quad (2.12)$$

которая в случае квазиизотропности ($x_k = y_k = r_k$) приводит к ПЧХ помехоподавляющего звена квазиоптимального линейного пространственного фильтра вида:

$$H^*(K_x, K_y) \equiv \frac{1}{G_\phi(K_x, K_y)} = \frac{1}{x_\kappa y_\kappa} (K_x^2 x_\kappa^2 + K_y^2 y_\kappa^2) = K_x^2 + K_y^2. \quad (2.13)$$

ПЧХ (2.13) соответствует в пространственной области весовая функция оператора:

$$h_{ол}(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}, \quad (2.14)$$

которая при дискретизации приводит к дискретному эквиваленту Лапласиана:

$$h_{олд}(x, y) = \frac{1}{l_n^2} [4U(x, y) - U(x + l_n, y) - U(x - l_n, y) - U(x, y + l_n) - U(x, y - l_n)], \quad (2.15)$$

где $U(\dots)$ – значения интенсивности фона в соответствующих пикселях апертуры.

2.3 КФ на выходе дифференциаторов

КФ на выходе непрерывного дифференциатора без учета оптико-механического блока в одномерном виде в соответствии с [2] будет определяться выражением:

$$K_1(\Delta x) = -K''(\Delta x), \quad (2.16)$$

которое в нашем случае принимает вид:

$$K_1(\Delta x) = \frac{\sigma_\phi^2}{x_\kappa^2} \exp\left(-\frac{|\Delta x|}{x_\kappa}\right). \quad (2.17)$$

При использовании дискретного дифференциатора с вычитанием сигналов двух соседних (по оси ОХ) пикселей с шагом l_n будем иметь:

$$K_{1д}(\Delta x) = \frac{2}{l_n^2} [K(\Delta x) - K(\Delta x - l_n)]. \quad (2.18)$$

Переходя ко второй производной сигнала, получим далее для нее КФ $K_2(\Delta x)$ как и ранее для первой производной. Сначала в непрерывном виде для одномерного случая [2]:

$$K_2(\Delta x) = -K_1''(\Delta x). \quad (2.19)$$

При принятом нами виде $K(\Delta x)$ получим из (2.19):

$$K_2(\Delta x) = \frac{\sigma_\phi^2}{x_\kappa^4} \exp\left(-\frac{|\Delta x|}{x_\kappa}\right). \quad (2.20)$$

В соответствии с принятой схемой дискретного дифференцирования на базе оператора Лапласиана выражение (2.20) трансформируется в соответствии с [2] с учетом дискрета дифференцирования l_n в выражение:

$$K_{2d}(\Delta x) = \frac{1}{l_n^2} [2K(\Delta x) - K(\Delta x - l_n) - K(\Delta x + l_n)]. \quad (2.21)$$

Переходя к 4-связному Лапласиану, будем иметь:

$$h_{old}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{l_n^2} [4K(\Delta x, \Delta y) - K(\Delta x + l_n, \Delta y) - K(\Delta x - l_n, \Delta y) - K(\Delta x, \Delta y + l_n) - K(\Delta x, \Delta y - l_n)]. \quad (2.22)$$

Отметим, что в предельном случае при стремлении интервала корреляции к нулю (случай «белого шума», характеризующий влияние шумов фотоприемного устройства) мы имеем вполне определенные значения, а в предельном случае при стремлении интервала корреляции к бесконечности, что приводит нас к регулярному случаю, – нуль.

Используя выражения (2.4) и (2.22), можно получить отношение дисперсий фона на входе и выходе системы, характеризующее предельно высокую для квазиоптимального линейного пространственного фильтра степень подавления помех пространственно-неоднородного фона. Результаты расчетов представлены на рисунке 2.2. Данные по разрешению на местности (50...200 м) и интервалам корреляции (500...2500 м) взяты из располагаемого экспериментального материала.

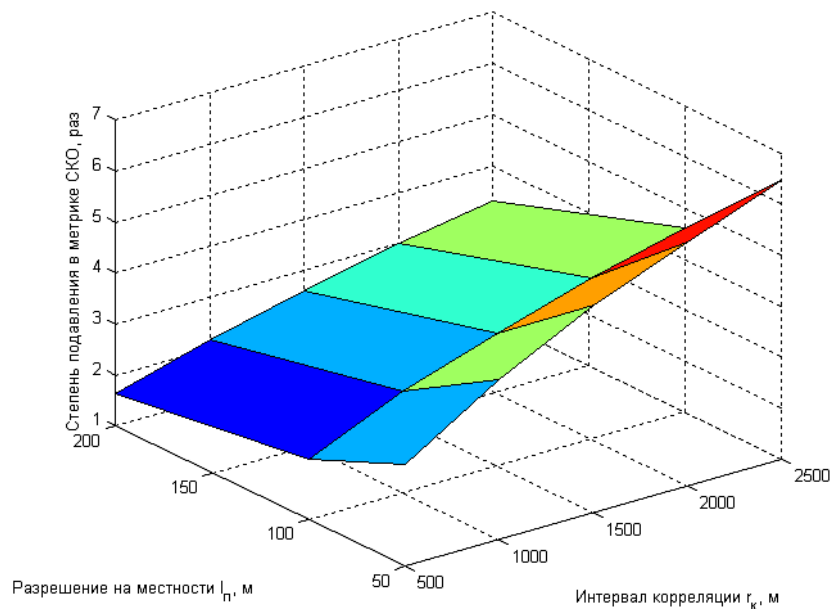


Рисунок 2.2 – Степень подавления помех пространственно-неоднородного фона

Из графиков видно, что предел подавления квазиоптимальным линейным пространственным фильтром в метрике дисперсии фона не превышает 1-2 порядков, а в

метрике СКО – 1 порядок. При этом при ухудшении разрешения на местности степень подавления падает, а при увеличении интервала корреляции в рамках одного разрешения степень подавления возрастает.

Указанные выше результаты были получены в случае квазиизотропности фона. Рассмотрим теперь общий вариант, то есть при разных интервалах корреляции по ортогональным осям и фиксированном $l_n = 50$ м (рисунок 2.3).

Проведенный анализ для анизотропного фона показал, что при фиксированном значении модуля интервала корреляции влияние отношения интервалов корреляции по ортогональным осям в реальных пределах хотя и существенно, но все же является менее весомым фактором.

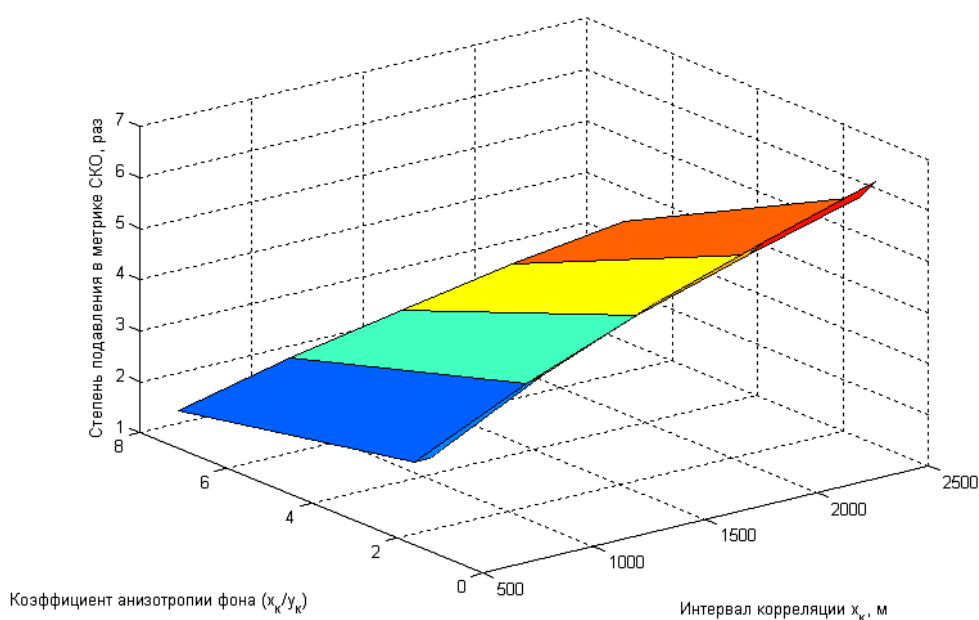


Рисунок 2.3 – Степень подавления помех пространственно-неоднородного фона в случае анизотропии фона

3 Результаты исследований и их обсуждение

3.1 Фильтрация разнонаправленной «ступени» фильтром типа Лапласиан

Модель «ступени» представляет собой важнейший элемент Марковской модели поля яркости фона, неоднородности которого представляют собой именно «ступени» (прообраз, например, кромки облаков). Так как нормированная КФ на начальном этапе довольно близка к единице, то этот элемент Марковского поля может рассматриваться как регулярная по форме фигура, то есть как тест-объект для оценки действия фильтра при различных ее ориентациях. Регулярная форма вполне отвечает выявленной выше высокой

степени коррелированности фона в апертуре фильтра. Поэтому она позволяет наглядно продемонстрировать сам механизм и эффект подавления. На рисунке 3.1 изображена модель «ступени» с шириной спада $x_{ст} = 25$ и углом ориентации относительно апертуры фильтра $\varphi = 10^\circ$.

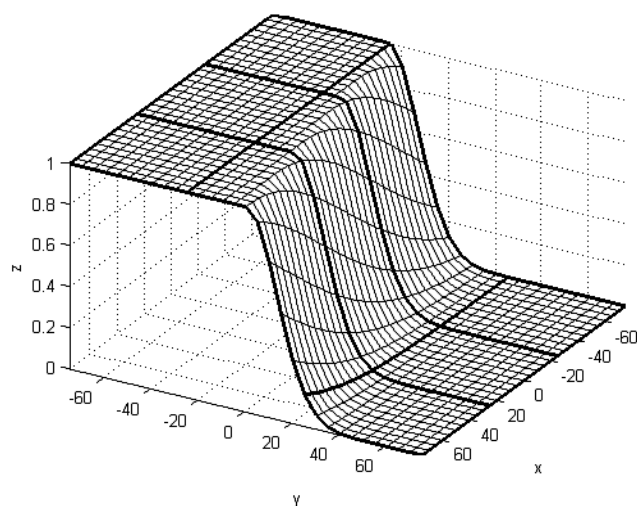


Рисунок 3.1 – Пример модели «ступени»

Для проведения фильтрации необходимо сначала произвести свертку функции «ступени» с весовой функцией оптико-механического блока. На рисунке 3.2 представлен результат рассматриваемого вида пространственной фильтрации. Из него следует, что на большинстве возможных угловых положений «ступени» степень ее подавления довольно незначительна в сопоставлении с реальными значениями перепадов яркости на кромках, достигающих десятков и даже сотен единиц СКО шума МФПУ. Отсюда вытекают (в физическом смысле) и ограниченные возможности линейной фильтрации типичных неоднородностей фона.

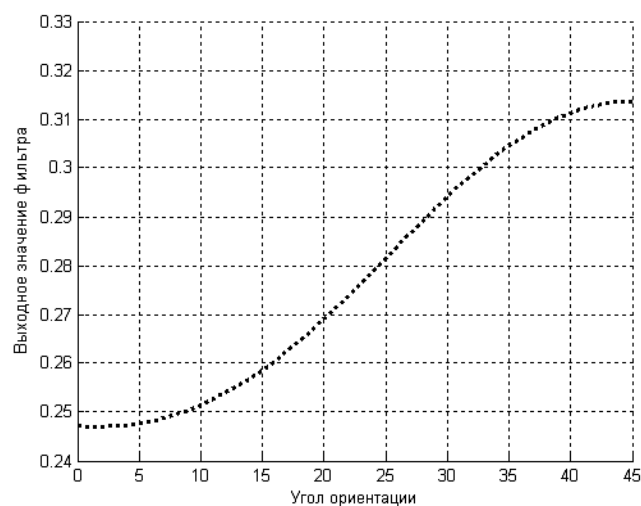


Рисунок 3.2 – Зависимость выходных значений фильтра от углов ориентации «ступени» относительно апертуры фильтра

3.2 Оценка степени подавления помех на реальном видеокадре

Следует отметить, что существенно ограниченные значения степени подавления неоднородностей фона, приведенные выше, обусловлены тем, что нормальный закон распределения яркости фона, для которого рассматриваемые фильтры должны быть близкими к оптимуму, совершенно не соблюдается при сложном фоне. На рисунке 3.3 приведено изображение типичного видеокадра со сложным фоном, который буквально «испещрен» неоднородностями.

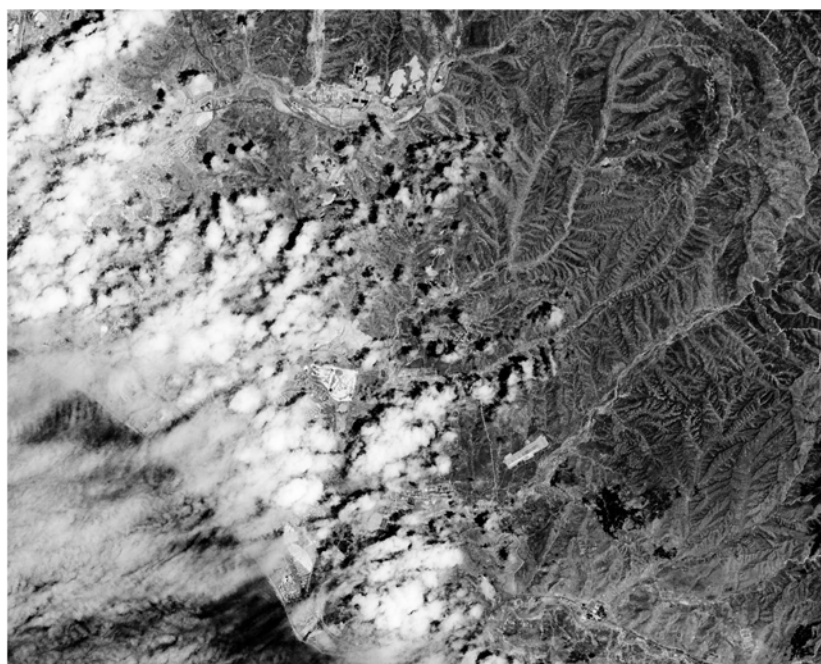


Рисунок 3.3 – Видеокадр со сложным фоном

Ниже на рисунке 3.4 изображена гистограмма яркостей этого кадра. По ней видно, сколь сильно закон распределения столь сложного фона отличается от нормального (Гауссова) распределения. Не удивительно, что в таких условиях дискретный Лапласиан неадекватен подобной фоновой ситуации.

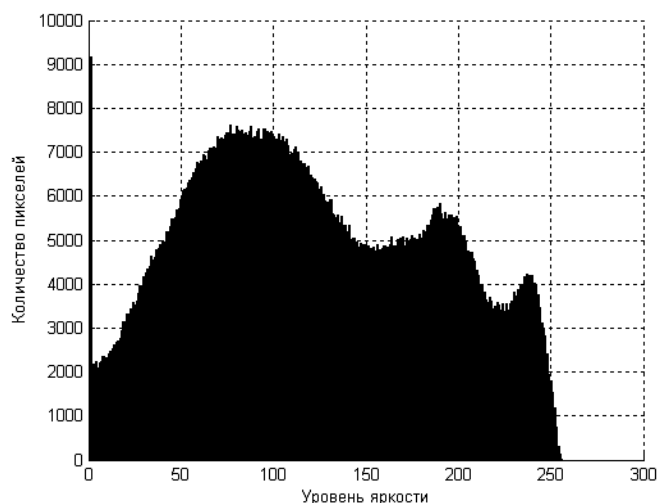


Рисунок 3.4 – Гистограмма яркостей пикселей видеокadra со сложным фоном

На рисунке 3.5 приведен вид КФ, которая (за исключением не имеющего особого значения «пьедестала») достаточно хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью вида (1.2), что в очередной раз доказывает правильность выбранной ранее теории.

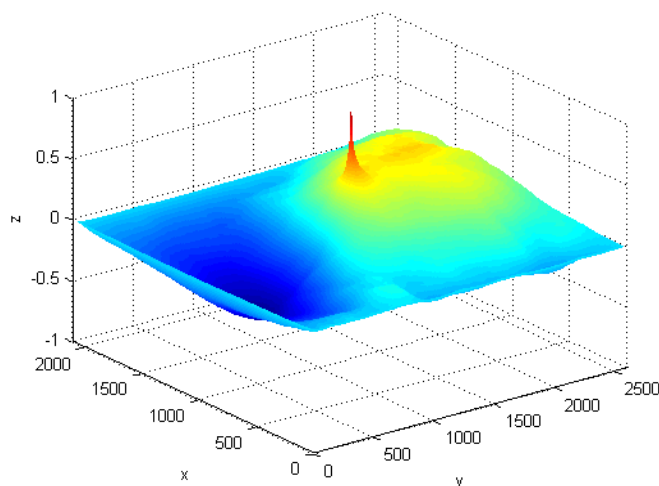


Рисунок 3.5 – Вид КФ данного видеокadra

Результат линейной фильтрации данного видеокадра, изображенный на рисунке 3.6, красноречиво говорит об ограниченных возможностях линейной фильтрации на сложном фоне. Неоднородные участки после подобной обработки остаются крайне «пестрыми». Близкий к оптимуму линейный пространственный фильтр не может расчистить в достаточной степени подобный видеокадр от интенсивных помех.



Рисунок 3.6 – Результат линейной фильтрации видеокадра со сложным фоном

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать несколько выводов и обобщений:

1. Наиболее критичные фоновые ситуации для тепlopеленгаторов, пеленгующих цели на подстилающей поверхности в виде облачности с разрывами или двухкомпонентной макроструктуры земного ландшафта, могут быть адекватно представлены моделью двумерного Марковского поля яркости. Распределение скачков (переходов от одной компоненты фона к другой) определяется законом Пуассона с КФ в виде экспоненты. Данная модель дает возможность по известным значениям интервалов корреляции определить количество критичных, наиболее типичных видов неоднородностей фона типа «ступень» в поле зрения тепlopеленгатора.

2. Получено выражение для аппаратной весовой функции оптико-механического блока, описывающей пространственную свертку гауссоидальной весовой функции оптической системы с параллелепипедной весовой функцией чувствительной площадки МФПУ. Получены выражения для первой и второй непрерывных и дискретных, одномерных и двумерных производных КФ, используемых при подавлении фоновых помех.

3. Показано, что 4-х связная модификация дискретного Лапласиана соответствуют характеристикам помехоподавляющего звена квазиоптимального дискретного пространственного фильтра. Показано, что в случае анизотропии фона следует использовать обобщенный Лапласиан.

4. Получены выражения для КФ на выходе дискриминатора, состоящего из двух указанных звеньев: оптико-механического блока и оператора-Лапласиана. Оценен показатель подавления по дисперсии яркости фона при использовании первой и второй дискретных производных. Показано, что величина пространственного разрешения почти линейно лимитирует подавление по значениям дисперсии помехи, а интервал корреляции оказывает нелинейное обратное действие. Анизотропия фона является существенным, но при фиксированном модуле интервала корреляции не первостепенным фактором.

5. Показано, что при типичных значениях размера пикселя и интервала корреляции степень подавления помех практически доступного наилучшего линейного пространственного фильтра существенно ограничена и не отвечает потребной в сложных фоновых ситуациях величине.

6. Произведена оценка степени подавления важнейшего наиболее критичного элемента пространственно-неоднородного фона («ступени») по ее модели с различными углами ориентации по отношению к осям дискриминатора. Показано, что эта степень подавления несоразмерно мала по сравнению с возможной величиной перепадов яркости на краях макроструктур реального сложного фона.

7. Произведена оценка воздействия рассматриваемого двумерного квазиоптимального фильтра на совокупность критичных видов неоднородностей фона на реальном видеокадре с достаточно сложной фоновой ситуацией. Полученные результаты говорят о том, что класс линейных фильтров, подчиняющихся, как известно, принципу суперпозиции, слишком узок для обеспечения приемлемых показателей помехоподавления при наблюдении цели на достаточно сложных фоновых ансамблях, когда нарушаются условия абсолютной оптимальности оптимальных в этом классе пространственных фильтров. Это связано с существенными отступлениями закона распределения энергетической яркости этого вида фоновых ансамблей от нормального

закона распределения, выражающимися в появлении второго (правого) максимума (бимодальное распределение) или так называемого «тяжелого правого хвоста» яркости фона (при сохранении мономодального вида закона распределения).

8. Из изложенных результатов следует необходимость перехода от использования достаточно узкого класса линейных пространственных фильтров к использованию фильтров нелинейного класса с синтезом в нем квазиоптимальных фильтров, результативность действия которых, в отличие от любых линейных фильтров, не зависит от уровня фоновых помех на входе тепlopеленгатора.

Список литературы

1. Ким А.К., Колесса А.Е., Лагуткин В.Н., Лукьянов А.П., Репин В.Г. Проблемы и принципы обработки информации в космических сенсорах с мозаичным фотодетектором // Международная специализированная выставка-конференция военных и двойных технологий «Новые технологии в радиоэлектронике и системах управления» (г. Н. Новгород, 3-5 апреля 2002 г.): тр. конф. М., 2002. Т. 2.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.

Frontier of linear spatial filtration during interference elimination of a spatially-heterogeneous background in various classes of thermal direction finders

11, November 2013

DOI: 10.7463/1113.0656657

Klimova A.V., Kryjanovskii V.V., Levshin V.L., Muratov K.V.

Russia, Moscow, JSC «NPP «Geophysics-Space»

klimovaav@inbox.rusltpt@mail.ruviktor-levshin@yandex.ruk190@yandex.ru

The frontier of linear spatial filtration during interference elimination of a spatially-heterogeneous background was considered in this article. It is supposed that the effect of linear filtration depends on parameters of the correlation function of the background and characteristics of an optic-mechanical block. The achievable degree of interference elimination, obtained as a result of analytical statistical estimation, was compared with the values required for a difficult background. The authors estimated the degree of signal suppression from the edges of interfering formations on a “step” model and on a video frame with a real difficult background. The obtained results demonstrated that the class of linear filters does not provide comprehensible indicators of interference elimination during observation of targets on difficult background ensembles.

Publications with keywords: [nonlinear filtration](#), [noise immunity](#), [heatdirection-finder](#), [non-uniform background](#), [correlation function of a background](#), [linear spatial filtration](#)

Publications with words: [nonlinear filtration](#), [noise immunity](#), [heatdirection-finder](#), [non-uniform background](#), [correlation function of a background](#), [linear spatial filtration](#)

References

1. Kim A.K., Kolessa A.E., Lagutkin V.N., Luk'yanov A.P., Repin V.G. Problemy i printsipy obrabotki informatsii v kosmicheskikh sensorakh s mozaichnym fotodetektorom [Problems and principles of information processing in space sensors with mosaic photodetectors]. *Mezhdunarodnaya spetsializirovannaya vystavka-konferentsiya voennykh i dvoynykh tekhnologiy “Novye tekhnologii v radioelektronike i sistemakh upravleniya”* [The international specialised exhibition-conference of military and double technologies “New technologies in radioelectronics and control systems”: proc.], N. Novgorod, 3-5 April, 2002. Moscow, 2002, vol. 2.
2. Levin B.R. *Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki* [Theoretical foundations of statistical radio engineering]. Moscow, Radio i svyaz', 1989. 656 p.