

УДК 004.932.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ВОЗДУШНЫХ ПОИСКОВО- СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

И.Е. Мухин¹, Д.С. Коптев², Ю.В. Шуклина³

¹maskskatol21@yandex.ru, ²d.s.koptev@mail.ru, ³shuklina-uv@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет», г. Курск, Россия

Поступила в редакцию 11.05.2023

Аннотация. Для обеспечения безопасности полетов при проведении поисково-спасательных операций в сложных метеорологических условиях Арктической зоны Российской Федерации, формирования сообщений и сигналов о приближающемся препятствии с целью информационной поддержки экипажа необходимо обеспечить визуализацию закабинной обстановки путем комплексирования изображений окружающей среды, получаемых камерами в различных спектральных диапазонах. Интегральный показатель качества изображения применим для оценки информативности как всего изображения, так и его отдельных частей, представляющих интерес, полученных автоматически или выделенных оператором. Данный показатель целесообразно использовать для оценки информативности каналов систем технического зрения с целью адаптивной настройки алгоритмов комплексирования видеоизображений, в частности, в составе аппаратно-программного комплекса обеспечения поисково-спасательных операций в сложных метеорологических условиях. Реализация процедуры комплексирования изображений с последующей визуализацией требует наличия аппаратных средств, видеокамер, телевизионного, длинноволнового и коротковолнового инфракрасного диапазонов. Необходимо отметить, что каждый диапазон требует определенных условий съемки, а соответственно, характеризуется заданным качеством получаемых изображений. В статье показаны преимущества и недостатки использования камер в названных спектральных диапазонах, представлены результаты их практического использования, описана процедура комплексирования изображений, приведены параметры для оценки их качества. Следует сказать, что на сегодняшний день весьма актуальным направлением исследований является синтез комплексов обеспечения воздушных поисково-спасательных операций с модулями и аппаратно-программными средствами, реализующими процедуры обеспечения комплексирования исходных данных, которые зачастую формируются лазерно-телевизионным модулем (ЛТМ), включающим телевизионные видеокамеры (ТВ), камеры длинноволнового инфракрасного диапазона (LWIR), камеры коротковолнового инфракрасного диапазона (SWIR), лазерно-локационный модуль и радиолокационную станцию переднего обзора.

Ключевые слова: комплексирование, интегральный показатель качества, разноспектральные изображения, камеры длинноволнового инфракрасного диапазона (LWIR), камеры коротковолнового инфракрасного диапазона (SWIR), телевизионные

видеокамеры (ТВ), информативность, универсальный индекс качества изображения.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее эффективных методов организации информационной поддержки экипажа для обеспечения безопасности полетов во время проведения поисково-спасательных операций в сложных метеорологических условиях Арктической зоны Российской Федерации является визуализация окружающей обстановки на базе комплексирования изображений с камер, получаемых в разных областях спектра, а также формирование сообщений и сигналов об опасности (приближающемся препятствии).

Рассмотрим два различных режима и соответствующие им форматы представления информации экипажу.

1. Полет. В процессе полета передний обзор закабинного пространства осуществляется лазерно-телевизионным модулем (ЛТМ), в состав которого входят телевизионные видеокамеры (ТВ), камеры длинноволнового инфракрасного диапазона (*LWIR*), камеры коротковолнового инфракрасного диапазона (*SWIR*) и лазерно-локационный модуль (ЛЛ), а также радиолокационная станция переднего обзора (РЛС ПО).

2. Посадка. В процессе посадки основную информацию о подстилающей поверхности, на которую производится посадка, предоставляет ЛТМ в режиме нижнего обзора (*SWIR*, ТВ видеокамеры нижнего обзора (НО)) и радиолокационная станция зондирования подстилающей поверхности (РЛС ЗПП).

В обоих случаях многофункциональный индикатор (МФИ) (рисунок 1) делится на две составляющие, которые располагаются друг под другом. В верхней части индикатора выводится комплексированное изображение от камер различных спектральных диапазонов. Нижняя часть экрана является контейнером для различных индикационных надписей, неречевых сообщений и сигналов.



Рис. 1. Общий вид МФИ.

Комплекс для обеспечения поисково-спасательных операций (КОПСО) обеспечивает передний и нижний обзор закабинного пространства и отображение на МФИ.

Для эффективного комплексирования разноспектральных изображений в составе аппаратуры управления и комплексной обработки информации (АУК) видеокадры всех каналов переднего обзора (ПО), поступающие из ЛТМ и относящиеся к одному интегральному номеру кадра, должны быть синхронизированы в пространстве и времени.

В случае пространственного рассогласования изображений различных спектральных каналов при их комплексировании наблюдается эффект размытия контуров объектов. Количественная оценка улучшения всего изображения или его отдельных деталей неразрывно связана

с анализом информативности изображения или его части. Рассогласование по времени приводит к размытию контуров при взаимном движении носителя и объектов наблюдаемой сцены, как показано на рисунке 2.

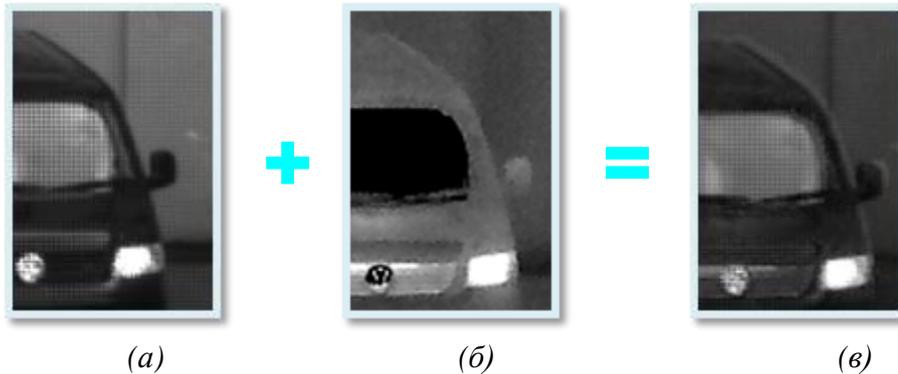


Рис. 2. Результат комплексирования (в) разносектральных изображений (а и б), рассогласованных в пространстве и времени.

На основе мер информативности изображений, полученных в различных диапазонах электромагнитного спектра, решаются задачи оптимизации числа спектральных каналов и другие задачи, стоящие перед системами технического зрения. На практике для оценки качества отдельных изображений обычно используются меры информативности – совокупности признаков, полезных с точки зрения потребителя информации.

Ключевые идеи. В качестве меры информативности отдельных областей изображения как точечных множеств может быть использована так называемая геометрическая информация, имеющая следующий вид:

$$g = (\{s\}, \{m\}, \{p\}), \quad (1.1)$$

где $\{s\}$ – пространственная форма объекта;

$\{m\}$ – метрические характеристики, определяющие «размеры» точечных множеств, имеющих формы из $\{s\}$;

$\{p\}$ – параметры, задающие положение объектов в пространстве R^2 .

Пространственные формы $\{s\}$ представляют собой множества, элементами которых являются классы эквивалентности на совокупности любых точечных множеств в пространстве R^2 . Метрические характеристики $\{m\}$ можно разбить на два вида: $\{m_1\}$, $\{m_2\}$ – соответственно метрические характеристики, задающие локальные свойства точечных множеств и свойства точечных множеств в целом. Так, в качестве компоненты $\{m_1\}$ может выступать радиус кривизны части границы множества, а $\{m_2\}$ – площадь поверхности, центр тяжести, диаметр множества и т. д. В качестве элементов компоненты $\{m\}$ выбираются параметры, характеризующие положение собственной системы координат объекта [1,2].

Пространственное распределение яркости многотонного изображения описывается посредством функции яркости:

$$z = F(r) \quad (1.2)$$

где $r = (x, y)$ – радиус-вектор точки изображения.

Предполагается, что областью её значений является интервал $\Delta = [a, b]$, причем $a \geq 0$. Указанные распределения рассматриваются как трёхмерные геометрические объекты в координатной системе O_{xyz} .

Количественной мерой распределения яркости по плоскости произвольного многотонного изображения X является её плотность $p_x(z)$, которая определяется отношением:

$$p_x(z)dz = \frac{z\mu(dX_z)}{V_x}, \quad (1.3)$$

где $\mu(dX_z)$ – мера Лебега множества точек плоскости проекций с уровнями яркости, принадлежащими интервалу $\Delta X = [z, z + dz]$;

$V_x = \int_s F(r)dz$, интегрирование выполняется по площади изображения (V_x также называется яркостным объемом изображения).

Определение (1.3) не является прямым аналогом принятого в стохастической геометрии определения вероятности (в данном случае – «частот», с которыми в изображениях присутствуют уровни яркости из интервала $[z, z + dz]$) и обосновывается физическими закономерностями формирования изображений в иконических системах, в соответствии с которыми значение яркости является энергетической характеристикой фиксируемого на изображении излучения объекта [3,4].

Совместная плотность пространственного распределения яркостей двух многотоновых изображений X и Y с диапазонами уровней яркости соответственно $\Delta_x = [a, b]$ и $\Delta_y = [c, d]$ определяется в соответствии с выражением:

$$p_{xy}(z)dz = z \frac{\mu(dX_z \cup dY_z - dX_z \cap dY_z)}{\max\{V_x, V_y\}} \text{ при } z \in \Delta = \Delta_x \cap \Delta_y. \quad (1.4)$$

Плотность распределения яркости изображения Y относительно изображения X :

$$p_{y|x}(z)dz = \frac{\mu(dX_z \cap dY_z)V_x}{(\mu(dX_z)V_y)}, \text{ при } z \in \Delta_x. \quad (1.5)$$

В соотношении (1.5) посредством dX_z, dY_z обозначены множества точек соответствующих многотоновых изображений с уровнями яркости, принадлежащими интервалу $[z, z + dz]$. При этом имеют место соотношения:

$$\begin{aligned} \int_{\Delta_x} p_x(z)dz &= 1 \\ \int_{\Delta_x} p_{xy}(z)dz &= 1, \\ \int_{\Delta_x} p_{y|x}(z)dz &= 1 \end{aligned} \quad (1.6)$$

устанавливающие формальную аналогию между $p(z), p_{xy}(z), p_{y|x}(z)$ геометрическими определениями «частот», с которыми в изображениях присутствуют уровни яркости из интервала $[z, z + dz]$ [5, 6].

Это обстоятельство позволяет включить функциональные характеристики распределений яркостей проекционных изображений, определённые соотношениями (1.3) – (1.5), в контекст общих методов теории информации и статистической физики со следующими определениями аналогов энтропии как меры информативности пространственных форм распределений яркости (усредненного по ансамблю яркостей количества информации, приходящегося на ее единственный интервал):

$$E(X) = \int_{\Delta_x} p_x(z) \log_2 p_x(z) dz \quad (1.7)$$

для многоградационного изображения X с интервалом значений яркостей Δ_x .

$$E(X) = \int_{\Delta} p_{xy}(z) \log_2 p_{xy}(z) dz, \quad (1.8)$$

где $\Delta = \Delta_x \cap \Delta_y$, для пары многоградационных изображений X, Y с интервалами уровней яркостей Δ_x, Δ_y .

$$E(Y | X) = \int_{\Delta_x} p_x(z_1) \left[\int_{\Delta_y} p_{y|x}(z_2) \log_2 p_{y|x}(z) dz \right] dz_1 \quad (1.9)$$

для многоградационного изображения Y относительно изображения X .

В рамках определений (1.7) – (1.9) справедливо соотношение $E(XY) = E(X) + E(Y | X)$, из которого следует, что $E(Y | X)$ является мерой дополнительной яркостной информации, которая содержится в изображении Y по отношению к изображению X . При независимости распределений яркостей изображений X и Y имеет место равенство $E(Y | X) = E(Y)$, что даёт возможность трактовать величину $E(Y | X)$ также как меру их схожести. Аналогичным образом можно определить аналоги энтропии для произвольной совокупности многоградационных изображений, каждое из которых получено в определенном спектральном диапазоне [7, 8].

Сравнительный анализ абсолютных и относительных мер информативности изображений отдельных спектральных каналов соответственно выражениям (1.7) и (1.9) позволяет оценить их информационный вклад в многоспектральное изображение в целом [9].

Информативность многоспектрального снимка определяется количеством информации, которая может быть полезной для правильного разделения объектов и фонов, характерных для данной задачи. Поскольку информация о разделимости как природных объектов, так и объектов инфраструктуры содержится в основном в спектральных распределениях соответствующих оптических сигналов, ее количество может быть описано через взаимную информационную меру статистических распределений – дивергенцию Кульбака-Лейблера [10]:

$$D(X) = \int_{\Delta_x} p_x(z) \log_2 \frac{p_x(z)}{q_x(z)} dz, \quad (1.10)$$

где $p_x(z)$ и $q_x(z)$ – плотности вероятности спектрального распределения оптического сигнала объекта и фона соответственно.

Как видно из формулы (1.10), данная мера информативности эквивалентна выражению (1.7), дополненному априорной статистической информацией о виде интересующего объекта местности и фона на изображении.

Использование метода Кульбака-Лейблера предпочтительно при решении тематических задач (мониторинг состояния лесов, обнаружение взлетно-посадочной полосы), поскольку позволяет оценивать информативность многоспектральных изображений с точки зрения не банального распределения яркостей, а выделения интересующих оператора семантических структур. Однако в общем случае его применение затруднено необходимостью предварительного сбора статистической информации о виде всех объектов интереса на изображениях, полученных в различных диапазонах оптического спектра.

Результаты и их обсуждение.

Опыт практического применения различных методик и критериев показал, что для оценки качества обработки изображений неизвестной сюжетной составляющей и низкого визуального качества используется единственно достоверный метод экспертных оценок. Методология подхода базируется на общепринятых шкалах, имеющих балльную оценку, с точки зрения субъективного восприятия качества изображения (рекомендация МККР ВТ.500-11) [11], вносимых ухудшений (рекомендация МККР ВТ.813) [12] или возможности выполнения по предъявленному изображению функциональной задачи (обнаружение, распознавание или идентификация). Его основными недостатками считаются: трудоемкость, значительные материальные затраты и невозможность использования результатов оценки для коррекции цифровой обработки в реальном времени.

Универсальный индекс качества (УИК) предназначен для оценки искажения преобразованного изображения как комбинации трех факторов: потери корреляции, искажений яркости и контраста. Индексы позволяют оценить качество изображения значительно лучше, чем широко используемые методы, основанные на вычислении среднеквадратической ошибки и отношения сигнала к шуму. Однако для оценки алгоритмов повышения информативности изображений, ориентированных на улучшение психофизического восприятия, индексы дают неоднозначные результаты [13].

На рисунке 3 приведены результаты повышения контраста распространенными операторами яркостной предобработки и основные численные характеристики преобразованных изображений.



Рис. 3. Примеры обработки изображений разными операторами повышения контраста и численные характеристики изображений

Исходное изображение имеет плохое визуальное качество, затемнено. На изображении плохо различимы объекты как заднего, так и переднего плана. После линейного преобразования яркости контраст становится максимальным, меняется значение средней яркости, возрастает значение среднеквадратического отклонения яркости при неизменном количестве информационных уровней. Можно выделить отдельные объекты фона, в целом визуальное качество улучшается. После процедуры преобразования гистограммы по равномерному закону (эквализации) становятся различимы объекты на заднем плане, что обеспечивается возросшими значениями контраста, средней яркости и СКО. Недостатками преобразованного изображения представляется чрезмерный сюжетный контраст и потеря некоторого количества уровней. В результате плохо различимы фрагменты изображения как на светлом, так и на темном фонах. Более предпочтительным яркостным преобразованием будет изменение гистограммы по шаблону, нормирующее среднюю яркость, повышающее контраст и сохраняющее большее количество информационных уровней. Значения частных показателей подтверждают и лучшее визуальное качество. Хорошо различимы как объекты заднего, так и переднего планов при уверенном обнаружении объекта на фоне подстилающей поверхности изображения. Из анализа приведенных численных характеристик изображений, показанных на рисунке 2, отношение сигнал/шум, кроме наличия на изображении ярко выраженного структурного шума, в меньшей степени влияет на визуальное восприятие изображений для оператора за счет временной суммации человеческого глаза. Качество зрительного восприятия определяется главным образом энергетическими характеристиками сигналов, поступающих к оператору. К ним относятся, в частности, такие параметры, как диапазон и количество воспроизводимых яркостей, контраст объект/фон. Объективными показателями этих параметров зрительного анализатора будут контраст (К) и количество информационных уровней (N) соответственно [13].

В работе решена задача интегральной оценки качества изображений. Для этого вводится обобщенный критерий качества (F) следующего вида:

$$F = \sum_{i=1}^p \beta_i f_i, \quad (1.11)$$

где β_i – весовые коэффициенты;

f_i – частные критерии;

p – количество частных критериев.

Данный обобщенный критерий будет аддитивным.

Применение представленного варианта обобщенного критерия возможно только в том случае, если все частные показатели качества имеют одинаковую размерность. Для этого необходимо определить пределы изменения параметров и нормализовать их. Причем чем меньше эта величина, тем хуже показатель [14].

Контраст – это нормализованный параметр:

$$K_n = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255}, \quad (1.12)$$

где L_{\min} и L_{\max} – минимальное и максимальное значение пикселя изображения.

Максимальное число информационных уровней в визуализированных цифровых изображениях $N = 256$. Следовательно, нормализованное значение примет вид:

$$N_n = \frac{N}{256}. \quad (1.13)$$

Экспериментальным путем получено [15,16], что СКО изменяется в пределах от 0 до 100, а оптимальным значением будет 50:

$$\sigma_n = \begin{cases} \frac{\sigma}{50}, & \sigma \leq 50 \\ \frac{100 - \varepsilon\sigma}{50}, & \sigma > 50 \end{cases}. \quad (1.14)$$

Для нормализованного значения средней яркости предпочтительны значения, принадлежащие середине диапазона. На границах яркостного диапазона ее значение минимально:

$$L_n = \begin{cases} \frac{\bar{L}}{128}, & \bar{L} \leq 107 \\ \frac{255 - \bar{L}}{128}, & \bar{L} > 147 \\ 1, & \bar{L} \in (107...147) \end{cases}. \quad (1.15)$$

Энтропия изображения (1.3), имеющего диапазон от 0 до 255 градаций яркости, не может превышать 8. Нормированное значение энтропии примет вид:

$$\varepsilon_n = \frac{\varepsilon}{8}. \quad (1.16)$$

Основную сложность применения частных показателей представляет собой выбор весовых коэффициентов, учитывающих влияние соответствующих частных показателей на обобщенный критерий в целом. Весовые коэффициенты для функционала (1.11) определяются по критерию Фишберна. Интегральный показатель качества (ИПК) изображения примет вид [17]:

$$ИПК = 0,33L_n + 0,27L\sigma_n + 0,20K_n + 0,13N_n + 0,07. \quad (1.17)$$

На рисунке 4 рассмотрена работа критерия на конкретном примере, проанализированы частные характеристики и интегральный показатель качества изображения до и после обработки по разным алгоритмам улучшения визуального качества.

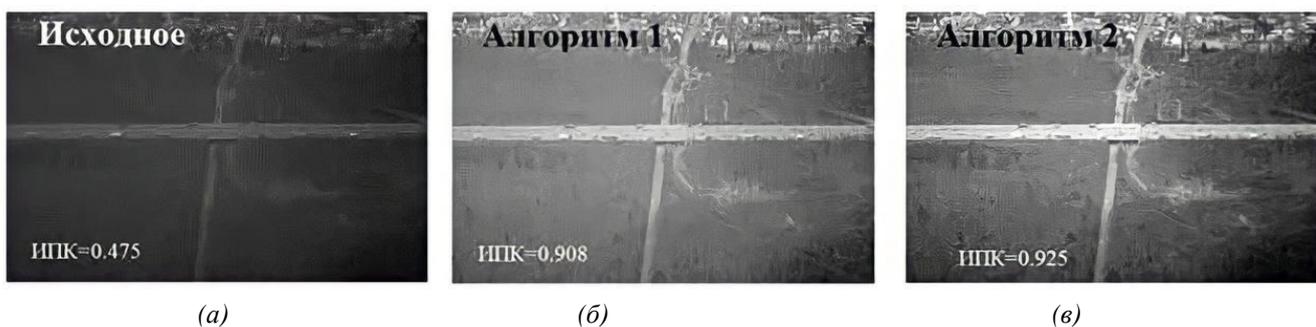


Рис. 4. Примеры обработки изображений разными алгоритмами улучшения видения:
a – ИПК=0,475, *б* – ИПК=0,908, *в* – ИПК=0,925

Интегральный показатель качества (1.17) применим для оценки информативности как всего изображения, так и его отдельных деталей, представляющих интерес и полученных автоматически или выделенных оператором. Показатель предлагается к использованию для оценки информативности каналов системы технического зрения с целью адаптивной настройки параметров алгоритмов комплексирования видеоизображений в составе программного обеспечения КОПСО [18].

Выбор зоны обзора осуществляется при помощи кнопок «ПО» и «НО» соответственно в верхней части МФИ, что продемонстрировано на рисунке 5.



Рис. 5. Режим автоматического комплексирования спектральных каналов переднего обзора

В режиме переднего обзора КОПСО обеспечивает комплексирование исходных данных, формируемых ЛТМ и РЛС ПО.

ЛТМ в режиме «ПО» является источником исходных видеоизображений переднего обзора, формируемых датчиками ТВ, SWIR и LWIR диапазонов, а также полей дальности до препятствий, формируемых ЛЛ.

Управление комплексированием разноспектральных изображений может осуществляться как автоматически, так и настраиваться вручную оператором. Выбор способа управления комплексированием регулируется кнопкой «АВТ/РУЧ» в нижнем левом углу МФИ, как показано

на рисунке 4. Оценка качества визуальной информации от отдельных датчиков, а также комплексирование разносектральных изображений по умолчанию осуществляется в автоматическом режиме.

Использование информации от отдельных датчиков при формировании единого синтезированного изображения переднего обзора закабинного пространства в ручном режиме регулируется кнопками «ТВ», «SWIR», «LWIR» и «ЛЛ» соответственно в левой части МФИ. Выбор алгоритма формирования комплексированного изображения осуществляется кнопками «КМП1», «КМП2» и «КМП3», расположенными в правой части МФИ [19].

При выборе в качестве единственного источника ТВ-канала на МФИ выводится изображение, формируемое камерой телевизионного диапазона, как показано на рисунке 6.

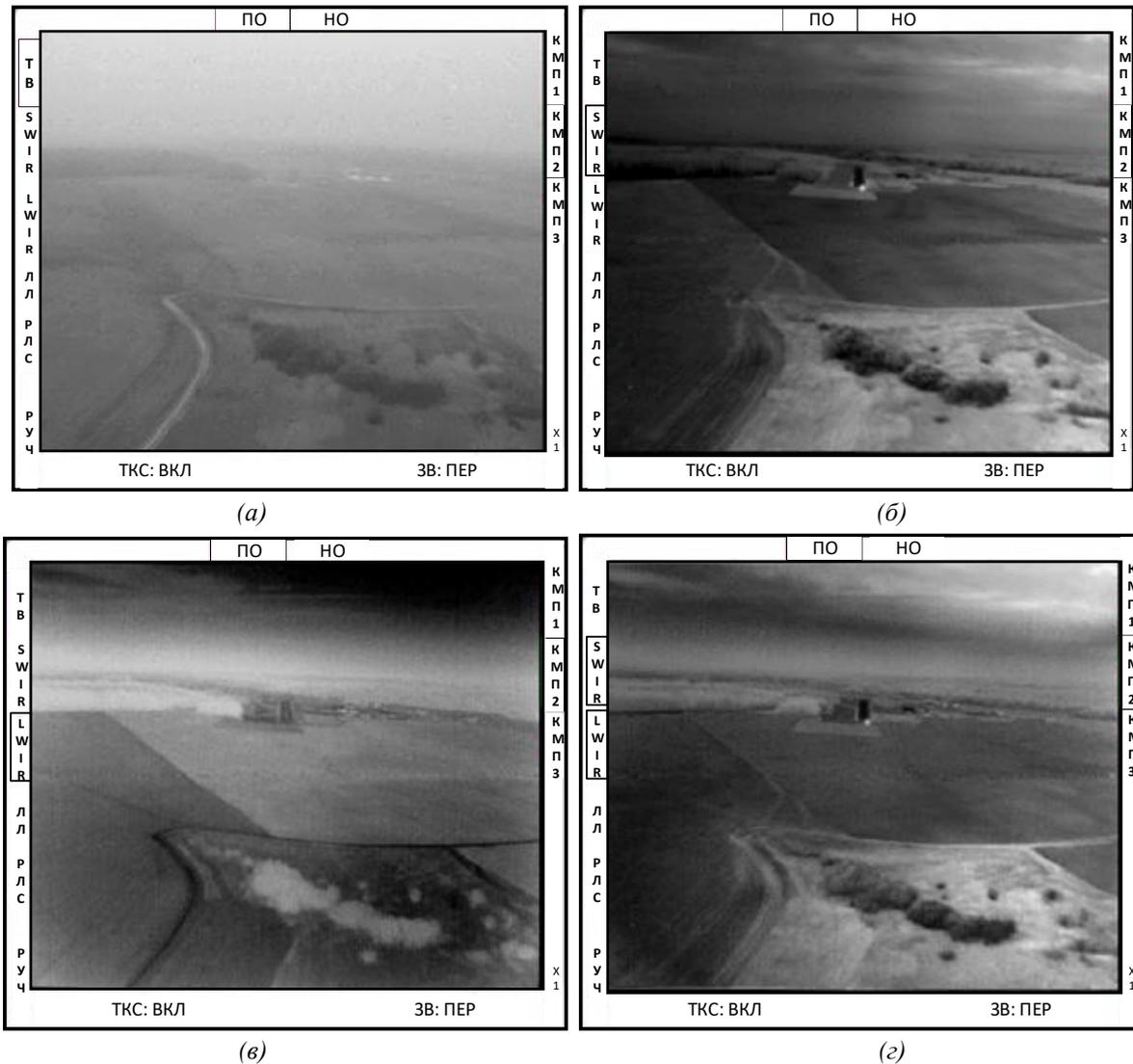


Рис. 6. Режимы переднего обзора: а – «ТВ», б – «SWIR», в – «LWIR», г – «LWIR+SWIR»

Наличие канала видимого участка спектра во многом определяется необходимостью предоставления оператору привычного визуального изображения закабинной обстановки в хороших погодных условиях в случае невозможности ее обозрения через остекление кабины (например, в случае обледенения).

Режим «ТВ» рекомендуется к использованию в светлое время суток в условиях нормальной видимости.

При выборе в качестве единственного источника SWIR-канала на МФИ выводится изображение, формируемое инфракрасной камерой коротковолнового диапазона, что продемонстрировано на рисунке 6, б.

Особенности SWIR-канала:

1. Обеспечивает формирование контрастных изображений окружающей местности в широком диапазоне освещенностей вплоть до глубоких сумерек.
2. Освещенность земной поверхности в диапазоне наибольшей чувствительности камеры SWIR в темное время суток на два порядка выше, чем в видимом диапазоне.
3. Канал плохо видит аэродромные огни малой интенсивности на основе светодиодных излучателей, однако обладает высокой чувствительностью к излучению огней на основе галогенных ламп.
4. SWIR диапазон по сравнению с диапазонами ТВ и LWIR обладает пониженным коэффициентом ослабления излучения в условиях дождя и снегопада.
5. Коэффициент ослабления излучения в SWIR диапазоне в различных аэрозолях невысокой плотности (туман, дым) ниже, чем в видимом диапазоне, но выше, чем в LWIR.

Режим «SWIR» рекомендуется к использованию в темное время суток в условиях дождя/снегопада либо при посадке на аэродромы с системами огней высокой интенсивности (сила света не менее 10000 Кд).

При выборе в качестве единственного источника LWIR-канала на МФИ выводится изображение, формируемое инфракрасной камерой длинноволнового диапазона, как показано на рисунке 6, в.

Особенности LWIR-канала:

1. В любое время суток формирует изображения местности, соответствующие тепловым контрастам объектов съемки.
2. В дождливую и снежную погоду контраст изображений LWIR диапазона снижается.
3. Основным преимуществом диапазона является относительно низкий коэффициент ослабления излучения в дымках и туманах, обеспечивающий в среднем полуторакратное превышение дальности видимости по сравнению с диапазоном SWIR.

Режим «LWIR» рекомендуется к использованию в темное время суток без осадков либо в условиях дымки/тумана.

При выборе в качестве источников LWIR и SWIR каналов на МФИ выводится комплексированное изображение, формируемое на базе изображений инфракрасных камер коротковолнового и длинноволнового диапазонов, как продемонстрировано на рисунке 6, г.

Режим «LWIR+SWIR» рекомендуется к использованию в темное время суток в условиях дождя или снегопада с туманом.

При выборе в ручном режиме в качестве источников ТВ и SWIR каналов, на МФИ выводится комплексированное изображение, формируемое на базе изображений телевизионной камеры и инфракрасной камеры коротковолнового диапазона, что демонстрируется на рисунке 7.

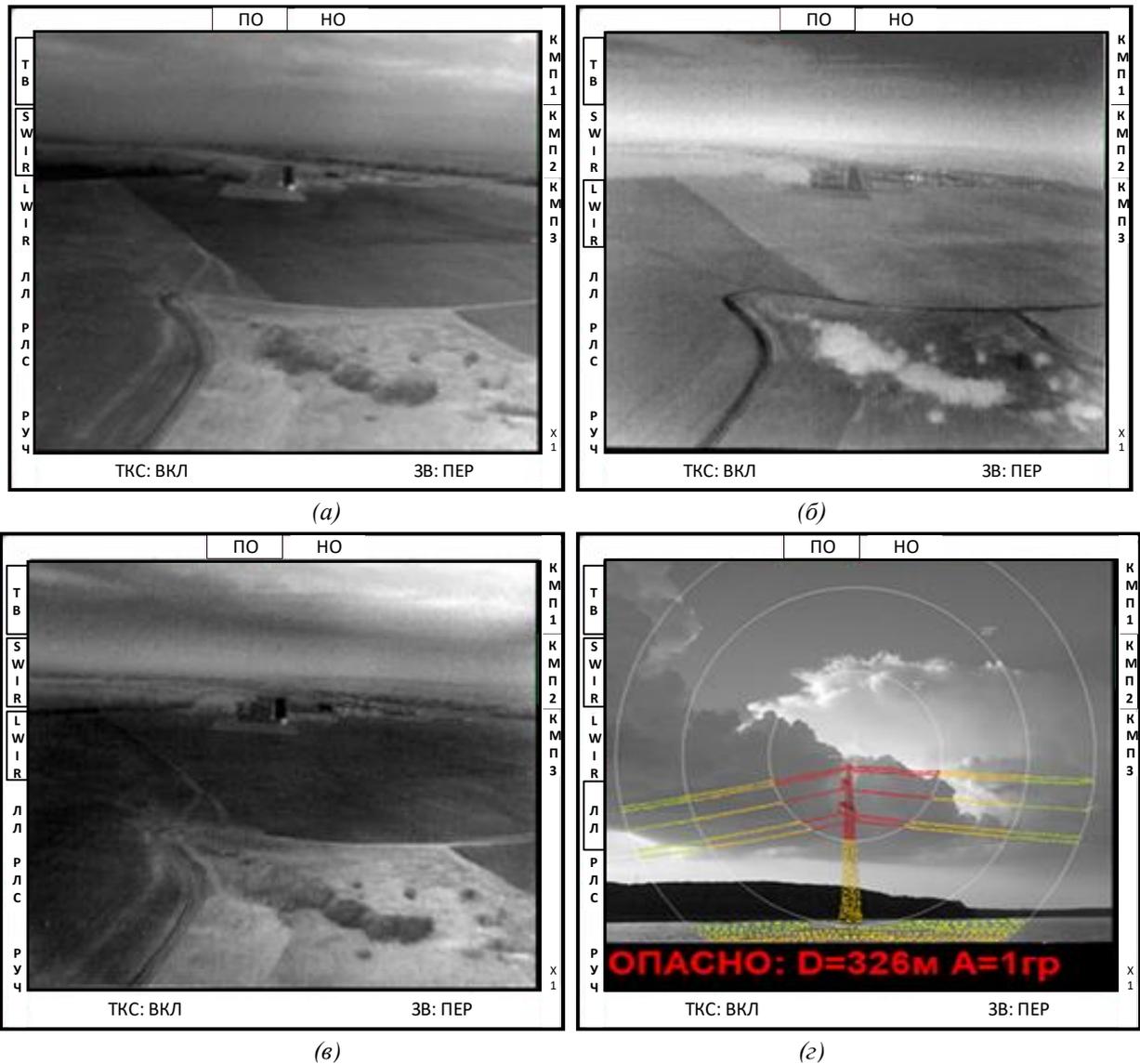


Рис. 7. Режимы переднего обзора: а – «ТВ+SWIR», б – «ТВ+LWIR», в – «ТВ+SWIR+LWIR», г – «ЛЛ»

Режим «ТВ+SWIR» рекомендуется к использованию в светлое время суток в условиях недостаточной видимости вследствие дождя или снегопада.

При выборе в качестве источников ТВ и LWIR каналов на МФИ выводится комплексированное изображение, формируемое на базе изображений телевизионной камеры и инфракрасной камеры длинноволнового диапазона, как показано на рисунке 7, б. Выбор алгоритма формирования комплексированного изображения осуществляется кнопками «КМП1», «КМП2» и «КМП3» в правой части МФИ.

Режим «ТВ+LWIR» рекомендуется к использованию в светлое время суток в условиях недостаточной видимости вследствие дымки или тумана.

При выборе в качестве источников ТВ, SWIR и LWIR каналов на МФИ выводится комплексированное изображение, формируемое на базе изображений телевизионной камеры и инфракрасных камер коротковолнового и длинноволнового диапазонов, что продемонстрировано на рисунке 7, в.

Режим «ТВ+SWIR+LWIR» рекомендуется к использованию в светлое время суток в условиях дождя или снегопада с туманом.

Единое синтезированное изображение переднего обзора формируется в два этапа. На первом осуществляется комплексирование изображений, получаемых камерами ТВ, SWIR и

LWIR диапазонов, с помощью алгоритма с приоритетом ТВ-канала, алгоритма морфологического комплексирования или алгоритма на основе добавления отличий.

На втором этапе исходя из навигационных параметров носителя (высота, скорость и направление полета) производится анализ формируемого ЛЛ поля дальностей и выбор опасных препятствий. При этом изображение градуируется концентрическими кругами различного радиуса с шагом по углу 5 градусов. Каждый пиксель изображения, формируемого ЛЛ-модулем, окрашивается в один из трех цветов в соответствии с принципом «светофора», что показано на рисунке 7, г.

В случае наличия препятствия из красной или желтой зоны в нижней области МФИ формируется мигающее сообщение о наиболее опасном пикселе в формате:

$$\text{ОПАСНО} : D = D_{danger} \cdot \mathcal{M}A = A_{dander} \cdot \rho,$$

где: D_{danger} – дальность до ближайшего опасного пикселя, A_{dander} – угол места ближайшего опасного пикселя. Цвет текста соответствует зоне опасности пикселя, о котором формируется сообщение. Период мигания – 2 Гц. В случае если наиболее опасный пиксель относится к зеленой зоне, сообщение не выводится.

Включение и отключение текстовых сообщений об опасных препятствиях осуществляется кнопкой «ТКС: ***» в нижней левой части МФИ: подпись «ТКС: ВКЛ» означает, что вывод текстовых сообщений включен, «ТКС: ВЫКЛ» – выключен.

Зависимость цветов маркировки от расстояния и угла между направлением на препятствие и вектором путевой скорости носителя представлена в таблице 1 [20,21].

Таблица 1

Зависимость цветов маркировки препятствий от расстояния и угла между направлением на препятствие и вектором путевой скорости носителя

Угол между вектором путевой скорости носителя и направлением на препятствие, °	Расстояние до объекта, м	Цвет маркировки препятствия
до ±5	менее 1000	красный
	более 1000	не маркируется
от ±5 до ±10	менее 300	красный
	от 300 до 500	желтый
	от 500 до 700	зеленый
	более 700	не маркируется
более ±10	менее 100	красный
	от 100 до 300	желтый
	от 300 до 500	зеленый
	более 500	не маркируется

Вследствие того, что при пилотировании в особо сложных условиях пилот не всегда успевает обращать внимание на изменяющуюся информацию на МФИ, в случае если сообщение о препятствии мигает красным цветом, необходимо дополнительно оповестить экипаж об опасности с помощью речевого сообщения или звукового сигнала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, одной из задач разрабатываемого бортового комплекса информационной поддержки проведения поисково-спасательных операций в условиях Арктики является распознавание малоразмерных трудноразличимых объектов заданного типа на видеоизображениях, получаемых от телевизионной камеры, их поиск, обнаружение и классификация. Использование метода Кульбака-Лейблера предпочтительно при решении тематических за

дач (мониторинг состояния лесов, обнаружение взлетно-посадочной полосы), однако в общем случае его применение затруднено необходимостью предварительного сбора статистической информации о виде всех объектов интереса на изображениях, полученных в различных диапазонах оптического спектра.

Анализируя рассмотренные режимы, можно сказать, что режим «ТВ» определяется необходимостью предоставления оператору привычного визуального изображения кабиной обстановки, однако его рекомендуется использовать только в светлое время суток в условиях нормальной видимости. Режим «LWIR» в любое время суток формирует изображения местности, соответствующие тепловым контрастам объектов съемки, обладает относительно низким коэффициентом ослабления излучения в дымках и туманах. Однако контраст изображений LWIR диапазона в дождливую и снежную погоду снижается. SWIR диапазон по сравнению с диапазонами ТВ и LWIR обладает пониженным коэффициентом ослабления излучения в условиях дождя и снегопада. SWIR-изображения в зависимости от условий наблюдения формируются как за счет собственного, так и за счет отраженного от объекта излучения. В результате формируются тени и контраст, что делает их более «узнаваемыми» визуально и упрощает идентификацию. Режим «ТВ+SWIR+LWIR» используется для построения интегрального изображения, содержащего наиболее информативные фрагменты разносектральных изображений и обладающего большей информативностью по сравнению с каждым из них.

Использование комплексирования разносектральных изображений позволяет провести оценку информативности каналов системы технического зрения с целью адаптивной настройки параметров алгоритмов комплексирования видеоизображений в составе программного обеспечения КОПСО в задачах информационной поддержки воздушных поисково-спасательных операций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Логинава, Е. О.** Обзор бесконтактных методов мониторинга рельефа подстилающей поверхности / Е. О. Логинава // Научная сессия ГУАП : сборник докладов, Санкт Петербург, 11–15 апреля 2018 года / Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. Том Часть 1. – Санкт Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2018. [Loginova E.O. Overview of non-contact methods for the monitoring of the underlying surface relief. Scientific session of SUAI: a collection of papers (Saint Petersburg, 11–15 April 2018). Part 1. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 2018 (in Russian).]
2. **Методологические** основы синтеза систем диагностики технического состояния космических и летательных аппаратов / И. Е. Мухин, А. И. Мухин, С. Н. Михайлов, Д. С. Коптев. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2018. [Mukhin I.E., Mukhin A.I., Mikhailov S.N., Koptev D.S. Methodological foundations for the synthesis of systems for the diagnostics of the technical condition of space and aerial vehicles. Kursk: Southwest State University, 2018 (in Russian).]
3. **Визильтер, Ю. В.** Комплексирование многосектральных изображений для систем улучшенного видения / Ю. В. Визильтер, О. В. Выголов, С. Ю. Желтов, А. Ю. Рубис // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2018. – №. 4. [Vizilter Yu.V., Vygov O.V., Zheltov S.Yu., Rubis A.Yu. Aggregation of multispectral images for enhanced vision systems // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Teoriya i Sistemy Upravleniya. 2018. No. 4 (in Russian).]
4. **Коптев, Д. С.** Стратегия разработки систем диагностики и прогностики технического состояния перспективных летательных аппаратов / Д. С. Коптев, И. Е. Мухин // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2019. – Т. 17, № 2. [Koptev D.S., Mukhin I.E. Strategy for the development of systems for diagnostics and prognostics of advanced aircrafts // Information-Measuring and Control Systems. 2019. Vol. 17. No. 2 (in Russian).]
5. **Комплексирование** информации от разнородных источников в бортовых комплексах обеспечения поисково-спасательных операций / В. Н. Гармаш, Д. М. Коробочкин, С. А. Матвеев [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. – 2018. – № 7. [Garmash V.N., Korobochkin D.M., Matveev S.A., et al. Integration of information from dissimilar sources in on-board units supporting search and rescue operations // Voprosy Radioelektroniki. 2018. No. 7 (in Russian).]
6. **Бондаренко, М. А.** Оценка информативности комбинированных изображений в мультисектральных системах технического зрения / М. А. Бондаренко, В. Н. Дрынкин // Программные системы и вычислительные методы. – 2019. – № 1. [Bondarenko M.A., Drynkin V.N. Evaluating the information value of combined images in multispectral systems of computer vision // Software Systems and Computational Methods. 2016. No. 1. P. 64–79 (in Russian).]
7. **Васильев, А. С.** Критерии оценки качества процесса комплексирования изображений в многосектральных оптико-электронных системах / А. С. Васильев, А. Н. Тимофеев, А. В. Васильева, С. А. Ряпосов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2019. – Т. 60. – №. 7. [Vasiliev A.S., Timofeev A.N., Vasilieva A.V., Ryaposov S.A. Quality assessment criteria for image fusion in multispectral optical-electronic systems. Journal of Instrument Engineering. 2017. Vol. 60. No. 7. P. 647–653 (in Russian).]

8. **Коптев, Д. С.** Основные направления разработки и создания интегрированных бортовых систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов, включая системы контроля физиологических параметров здоровья пилота / Д. С. Коптев, И. Г. Бабанин, И. Е. Мухин // Успехи современной радиоэлектроники. – 2019. – № 2. [Koptev D.S., Babanin I.G., Mukhin I.E. Main areas of development and design of integrated on-board systems ensuring the flight safety of aircrafts, including systems controlling the physiological parameters of a pilot's health // Achievements of Modern Radioelectronics. 2019. No. 2. P. 44–53 (in Russian).]
9. **Кириллов, С. Н.** Алгоритмы формирования телевизионного изображения улучшенного качества для дистанционного управления робототехническими комплексами / С. Н. Кириллов, П. С. Покровский, А. А. Бауков, П. Н. Сконников // Радиотехника. – 2019. – Т. 83. – № 5(II). [Kirillov S.N., Baukova A.A., Skonnikov P.N. Algorithms for the formation of a television image of enhanced quality for remote control of robotic systems // Radioengineering. 2019. Vol. 83. No. 5(II). P. 205–214 (in Russian).]
10. **Бахтин В. И.** Спектральный потенциал, действие Кульбака и принцип больших уклонений для конечно-аддитивных мер // Тр. Ин-та математики НАН Беларуси. 2018. Т. 24, № 1. [Bakhtin V.I. Spectral potential, Kulbak's action and the principle of large deviations for finitely additive measures // Proc. of the Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus. 2018. Vol. 24. No. 1 (in Russian).]
11. **ITU-R.** Recommendation BT.500-11 "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures": – International Telecommunication Union, 2002. –URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.500-11-200206-I/en> (дата обращения 27.04.2023)
12. **ITU-R.** Recommendation BT.813 " Methods for objective picture quality assessment in relation to impairments from digital coding of television signals": – International Telecommunication Union, 1992. –URL: <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.813-0-199203-I/en> (дата обращения 27.04.2023).
13. **Aslantas, V. A** new image quality metric for image fusion: the sum of the correlations of differences / V. Aslantas, E. Bendes // International Journal of Electronics and Communications. – 2019. – Vol. 69. – No. 12. – pp. 1890–1896
14. **Романов Ю.Н.** Оценка цифровых качеств изображений / А.П. Богданов, Ю.Н. Романов // Механика, управление и информатика. 2012. №9. С.218–226. [Bogdanov A.P., Romanov Y.N. Digital images quality assessment // Mechanics, Control and Informatics. 2012. No. 9. P. 218–226 (in Russian).]
15. **Марков, А. Р.** Алгоритмы оценки качества цифровых изображений / А. Р. Марков, С. Н. Горшков, А. В. Иконников // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению "Технологии энергообеспечения. Аппараты и машины жизнеобеспечения": Сборник статей Всероссийской научно-технической конференции, Анапа, 25–26 ноября 2019 года. – Анапа: Федеральное государственное автономное учреждение "Военный инновационный технополис "ЭРА", 2019. [Markov A.R., Gorshkov S.N., Ikonnikov A.V. Current state and prospects of development of modern science in the area "Power supply technologies. Life supporting apparatuses and appliances": collection of papers of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Anapa, 25–26 November 2019. – Anapa: Military Innovative Technopolis "ERA", 2019 (in Russian).]
16. **Koptev, D. S.** Parallel system information model diagnostics and forecasting of technical condition of aircraft / D. S. Koptev, I. E. Mukhin // T-Comm. – 2022. – Vol. 16, No. 2.
17. **Larin, S. N.** Integrated assessment of innovative software projects quality: a system of indicators / S. N. Larin, I. M. Ermakova // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2022. – No. 3-3(66). – P. 179-184
18. **Славин, О.А.** Математические модели и алгоритмы оценки качества изображений в системах оптического распознавания / О.А. Славин / Федеральный исследовательский центр «информатика и управление» российской академии наук: Москва, 2018 – 157 с. [Slavin O.A. Mathematical models and algorithms for the quality assessment of images in optical recognition systems. Federal Research Center "Informatics and Control" of the Russian Academy of Sciences: Moscow, 2018. 157 p. (in Russian).]
19. **Челпанов, В. И.** Цифровые методы визуализации и обработки теневых изображений в лазерно-телевизионных системах : специальность 05.12.04 "Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Челпанов Валерий Иванович. – Великий Новгород, 2007. – 241 с. [Chelpanov V.I. Digital methods for the visualization and processing of shadow images in laser-television systems : specialty 05.12.04 "Radioengineering, including television systems and devices " : Cand.Sci. thesis. Veliky Novgorod, 2007. 241 p. (in Russian).]
20. **Овчарук, Д. А.** Система предупреждения экипажа летательного аппарата о наземных препятствиях на основе геоинформационных и радиолокационных данных о рельефе местности / Д. А. Овчарук, Ю. В. Петров, Д. М. Коробочкин // Радиолокация, навигация, связь : XXI Международная научно-техническая конференция, Воронеж, 14–16 апреля 2021 го-да. Том 2. – Воронеж: НПФ «САКВОЕЕ» ООО, 2021. [Ovcharuk D.A., Petrov Yu.V., Korobochkin D.M. System for the terrain warning of the aircraft crew based on geo-information and radar data of the surface relief. Radar Location, Navigation, Communication : XXI International Scientific and Technical Conference, Voronezh, 14–16 April 2021. Vol. 2. – Voronezh: SAKVOEE, 2021 (in Russian).]
21. **Шуклина, Ю. В.** Принципы системного подхода к организации информационно-телекоммуникационных систем прогностики и диагностики технического состояния авиационного комплекса / Ю. В. Шуклина, Д. С. Коптев // Наука молодых - будущее России : сборник научных статей 7-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 12–13 декабря 2022 года. Том 4. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. [Shuklina Yu.V., Koptev D.S. Principles of a systematic approach to organizing information and telecommunication systems of prognostics and diagnostics of the technical state of the aircraft complex. The science of the young is Russia's future: a collection of scientific papers of the 7th International Scientific Conference on the Advanced Developments of Young Scientists, Kursk, 12–13 December 2022. Vol. 4. – Kursk: Southwest State University, 2022 (in Russian).]

ОБ АВТОРАХ

МУХИН Иван Ефимович, проф. каф. КПиСС. Дипл. радиоинженер (Воронежск. пол. ин-т, 1977). Д-р техн. наук по специальности 20.01.09 Военные системы управления, связи и навигации (технические науки) (Военная академия связи им. С.М. Будённого, 2012). Иссл. в обл. разработки систем диагностики и прогностики технического состояния ответственных узлов летательных аппаратов.

КОПТЕВ Дмитрий Сергеевич, ст. преп. каф. КПиСС. Дипл. преподаватель-исследователь (ЮЗГУ, 2022). Иссл. в обл. разработки устройства неинвазивной диагностики функционального состояния пилота воздушного судна в процессе полёта.

ШУКЛИНА Юлия Вадимовна, магистрант 1-го курса каф. КПиСС. Дипл. бакалавр (ЮЗГУ, 2022). Иссл. в обл. обеспечения безопасности полетов воздушных судов.

METADATA

Title: The use of integration of multispectral images in the tasks of information support of aerial search and rescue operations in the Arctic Zone of the Russian Federation.

Authors: I.E. Mukhin ¹, D. S. Koptev ², Yu.V. Shuklina ³.

Affiliation:

Southwest State University (SWSU), Russia.

Email: ¹makskatol21@yandex.ru, ²d.s.koptev@mail.ru, ³shuklina-uv@yandex.ru

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), vol. 27, no. 3 (101), pp. 14-28, 2023. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: In order to ensure flight safety during search and rescue operations in difficult meteorological conditions of the Arctic Zone of the Russian Federation, the formation of messages and signals about an approaching obstacle, for the purpose of information support for the crew, is necessary to provide visualization of the cabin situation by combining environmental images obtained by cameras in various spectral ranges. The integral indicator of image quality is applicable to assess the informativeness of both the entire image and its individual parts of interest, obtained automatically or highlighted by the operator. It is advisable to use this indicator to assess the information content of the channels of technical vision systems with the aim of adaptive adjustment of video image aggregation algorithms, in particular, as part of the hardware and software complex for search and rescue operations in difficult meteorological conditions. The implementation of the image aggregation procedure with subsequent visualization requires the presence of hardware, video cameras, television, long-wave and short-wave infrared ranges. It should be noted that each range requires certain shooting conditions and, accordingly, is characterized by a given quality of the images obtained. The article shows the advantages and disadvantages of using cameras in these spectral ranges, presents the results of their practical use, describes the procedure for image aggregation, and provides parameters for assessing their quality. It should be said that today, a very relevant area of research is the synthesis of complexes for providing aerial search and rescue operations with modules and hardware and software that implement procedures for ensuring the integration of initial data, which are often formed by a laser-television module (LTM), including television video cameras (TV), long-wave infrared (LWIR) cameras, short-wave infrared (SWIR) cameras, a laser-location module and a forward-looking radar station.

Key words: integration, integral quality indicator, multispectral images, long-wave infrared (LWIR) cameras, short-wave infrared (SWIR) cameras, television video cameras (TV), informativity, universal image quality index

About authors:

MUKHIN Ivan Efimovich, Prof. at the Dept. of Space Instrumentation and Communication Systems. Dipl. radio engineer (Voronezh Polytechnic Institute, 1977). Doctor of Technical Sciences, specialty 20.01.09 Military Control Systems, Communications and Navigation (Technical Sciences) (S.M. Budyonny Military Academy of Communications, 2012). Research in the field of development of diagnostic systems and prognostics of the technical condition of critical components of aircraft.

KOPEV Dmitry Sergeevich, Senior Lecturer at the Dept. of Space Instrumentation and Communication Systems. Dipl. Teacher-researcher (Southwest State University, 2022). Research in the field of development of a device for non-invasive diagnostics of the functional state of an air-craft pilot during flight.

SHUKLINA Yulia Vadimovna, 1st-year master's student at the Dept. of Space Instrumentation and Communication Systems. Dipl. Bachelor (SWSU, 2022). Studies in the field of ensuring the safety of aircraft flights.