

4. *Ступин Д.Д.* Дальняя радиолокация: состояние, проблемы и перспективы. Приоритет – сотрудничеству с МФТИ // Антенны. – 2011. – № 10. – С. 19-21.
5. *Зарецкий В.И., Ступин Д.Д.* Вопросы синтеза алгоритмов обнаружения маневра и оценивания параметров движения маневрирующих объектов/ / Сб. трудов 7-й Всероссийской молодежной научной школы «Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение». – Саранск: Изд-во Мордовского государственного университета, 2008. – С. 190-191.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Васильев.

Ступин Дмитрий Дмитриевич – Концерн «РТИ Системь», e-mail: stupin@rtisystems.ru; 127083, Москва, ул. 8 Марта, д. 10, стр. 1; тел.: 84956238348; заместитель генерального директора; к.т.н.; профессор.

Stupin Dmitry Dmitrievich – Concern “RTI Systems”; e-mail: stupin@rtisystems.ru; 10, bild 1, 8 Marta street, Moscow, 127083, Russia; phone: +74956238348; the deputy CEO for R&D; cand. of eng. sc.; professor.

УДК 004.932.4

**С.А. Бачило, Д.Ю. Дзягун, И.И. Итенберг, В.Д. Макогон,
А.Л. Марков, А.В. Рыбин**

ИНТЕГРИРОВАННАЯ АВИАЦИОННАЯ СИСТЕМА СИНТЕЗИРОВАННОГО И УЛУЧШЕННОГО ВИДЕНИЯ

Описывается технический облик ИАССУВ, реализуемой на основе быстродействующей платформы интегрированной модульной авионики. Проведен анализ характеристик изображений наземной обстановки, формируемых каналами технического зрения в условиях пониженной видимости в различных спектральных диапазонах, представлены алгоритмы улучшения характеристик и комплексирования изображений наземной обстановки, формируемых каналами технического зрения различных спектральных диапазонов. Проведен анализ особенностей формирования изображений наземной обстановки и рассмотрены базовые функции обработки изображений с целью улучшения видения.

Улучшение видения; комплексирование; ИМА; авиационные системы.

**S.A. Bachilo, D.Yu. Dzyagun, I.I. Itenberg, V.D. Makogon,
A.L. Markov, A.V. Rybin**

INTEGRATED AIRCRAFT SYNTHETIC AND ENHANCED VISION SYSTEM

The report describes the technical concept of Integrated Aircraft Synthetic and Enhanced Vision System implemented on the basis of high-performance Integrated Modular Avionics Platform. The analysis of characteristics of images of the ground conditions formed by channels of technical sight in conditions of lowered visibility in various spectral ranges is lead, algorithms of improvement of characteristics and комплексирования the images of ground conditions formed by channels of technical sight of various spectral ranges are presented. The analysis of features of formation of images of ground conditions is lead and base functions of processing of images with the purpose of improvement of vision are considered.

Vision enhancement; complexing; IMA; aircraft systems.

Введение. Эффективность применения и перспективы развития авиационных систем определяются возможностью выполнения безопасных полетов днем и ночью, в сложных и быстро изменяющихся метеорологических условиях, в условиях недостаточной видимости.

Традиционный подход к расширению условий выполнения безопасных полетов за счет совершенствования радиотехнических систем навигации и посадки как

аэродрома, так и летательного аппарата (ЛА) сопряжен с большой сложностью и высокой стоимостью таких систем, что существенно ограничивает их широкое внедрение.

Другим подходом является переход к использованию и представлению пилоту необходимой пилотажно-навигационной информации, а именно интегрированных данных спутниковой (GPS и ГЛОНАСС) и инерциальной навигационных систем, связанных с данными цифровых карт рельефа местности.

В настоящее время системы образного представления навигационных данных в виде динамически изменяемых в соответствии с условиями полета трехмерных изображений рельефа местности, траектории полета, заданных ограничений полетных параметров и других характеристик, получившие название систем синтезированного видения (Synthetic Vision Systems, SVS), активно развиваются ведущими авиационными фирмами (например, «Rockwell Collins», «BAE SYSTEMS»). Как показывает анализ, SVS существенным образом упрощают пространственную ориентацию пилота по сравнению с цифро-шкальной индикацией [1]. Однако наличие ошибок навигации, неучтенных препятствий и рельефа местности, задержек формирования и обновления баз данных, фактически не позволяют эксплуатировать SVS автономно.

В связи с этим, другим важным направлением развития средств расширения условий выполнения безопасных полетов является создание и использование так называемых систем улучшенного видения (Enhanced Vision System (EVS), Enhanced Flight Vision System (EFVS)), основанных на использовании разнеспектральных средств технического зрения и канала радиовидения миллиметрового диапазона, которые принципиально позволяют обеспечить пилоту возможность визуального анализа изображений закабинной обстановки в сложных условиях. Работы по созданию и развитию EVS активно ведет ряд известных фирм США («GULFSTREAM», «BAE SYSTEMS», «CMC Electronics» и др.), Евросоюза («Thales» – Франция, «SELEX GALILEO» -Италия), Израиля («Opgal») [2].

Комбинированная система видения (Combined Vision System, CVS) позволяет объединить все преимущества обоих подходов [3].

Анализ особенностей формирования изображений наземной обстановки. Современный уровень развития и показатели качества тепловизионных приборов позволяют их применять в EVS для практически любых типов ЛА. Однако вопрос выбора рабочего диапазона длин волн тепловизионного прибора остается не таким однозначным.

Среди основных факторов, определяющих эффективность приборов различных диапазонов, можно выделить следующие: прозрачность атмосферы в выбранном спектральном диапазоне; рассеяние и поглощение излучения атмосферными аэрозолями и осадками; контрастность изображений объектов в данном спектральном диапазоне; достигаемая чувствительность и пространственная разрешающая способность приемных устройств каналов технического зрения в данном спектральном диапазоне; сложность технической реализации и соответственно стоимость построения канала технического зрения выбранного диапазона спектра.

Прозрачность атмосферы, эффекты поглощения и рассеяния как основные механизмы воздействия различных атмосферных явлений (дымки, туманы, облака, пыль, дым, дождь, снег) при формировании изображений объектов, достаточно хорошо исследованы как теоретически [5, 6], так и в практических аспектах [7, 8], связанных с физикой атмосферы, погодными условиями, условиями выполнения полетов.

Анализ упомянутых выше факторов позволяет утверждать следующее. Существенно расширить условия выполнения безопасных полетов возможно только с применением нескольких каналов наблюдения в различных диапазонах длин волн. Эффективного применения инфракрасных (ИК) каналов наблюдения можно ожидать только в условиях наличия аэрозолей с малым и средним радиусом частиц

(менее 2–3 мкм), что соответствует условиям наблюдения в дымах, мелкодисперсной пыли, слабых туманах и дымке. Для обеспечения эффективности EVS в сложных метеоусловиях следует обратить внимание на возможности получения изображений каналами технического зрения, работающими в миллиметровом диапазоне длин волн [9].

Базовые функции обработки изображений. Наблюдаемые сцены закабинного пространства, как правило, представляют собой изображения подстилающей поверхности. Снижение освещенности и ухудшение метеоусловий приводят к уменьшению динамического диапазона и контрастности изображения. При совместном применении нескольких каналов наблюдения в различных диапазонах длин волн становится актуальной проблема юстировки их изображений и разработка методов и алгоритмов "слияния" (комплексирования) разноспектральных изображений.

Таким образом, типовая структура многоканальной EVS должна содержать следующие блоки обработки: геометрическое преобразование изображений (поворот, сдвиг, масштабирование), преобразование контрастности изображений, комплексирование изображений.

Простейшим методом нормирования контраста является линейное преобразование шкалы яркостей от минимальной до максимальной статистически значимых границ диапазона яркостей входного изображения. Однако при наличии в наблюдаемой сцене ярких (небо) и темных (тени) участков он практически не дает улучшения.

Другим часто используемым методом является адаптивное нелинейное преобразование шкалы яркостей, выполняемое на основе оценки функции распределения яркостей входного изображения. Частным случаем этого преобразования является эквализация, когда функция преобразования яркостей совпадает с функцией распределения яркостей входного изображения.

В ряде ситуаций наблюдения закабинного пространства эти методы оказываются недостаточно эффективными. Так, если яркости элементов изображения занимают максимально допустимый диапазон, а яркости элементов важных деталей – узкий промежуток, то улучшить контраст таких объектов этими методами не удастся.

В таких условиях целесообразно применение локальных методов нормирования контраста. Нелинейное локальное преобразование контраста изображения в общем виде может быть описано следующим выражением:

$$J(x,y) = \sum_{(i)} F(I(x,y), V(x,y)_i)$$

где $J(x,y)$ – выходное изображение после преобразования контраста;

i – номер канала обработки, $1 \leq i \leq N$;

F – функция нелинейного преобразования;

$I(x,y)$ – входное изображение;

$V(x,y)$ – сглаженное входное изображение с параметрами i -го канала обработки.

Как видно из приведенного выражения, локальное преобразование контраста в общем виде многоканальное. Это необходимо для возможности обработки деталей изображения различных размеров. Каждый канал имеет свою степень сглаженности изображения, определяемую величиной апертуры фильтра.

Соответствующая комбинация исходного и сглаженного изображения позволяет увеличить визуальное качество. Необходимо отметить, что увеличение резкости изображения (усиление высокочастотных составляющих) оператором воспринимается лучше, даже при усилении уровня шума после преобразования.

Эффективность обработки изображений методом локального нелинейного контрастирования иллюстрируется рис. 1.



Рис. 1. Пример исходного изображения (а), результат нелинейного локального преобразования контраста (б)

Комплексирование разномасштабных изображений позволяет увеличить информативность оператора и распознаваемость сцены путем повышения информативности отображаемых данных. Следует отметить, что методы комплексирования не универсальны и зависят от приложения. Для обзорных задач наиболее значимыми являются характеристики контраста и амплитуды перепадов яркости изображения.

Наиболее эффективными методами получения композитного изображения являются так называемые многомасштабные, или пирамидальные методы, одним из параметров которых является глубина разложения, или число уровней пирамиды изображения. Благодаря нескольким масштабам комплексирование может выполняться над источниками изображений с разным разрешением.

Наибольшую универсальность и многообразие алгоритмов обеспечивает wavelet-разложение, но оно представляет и наибольшую вычислительную сложность. Результаты моделирования различных многомасштабных алгоритмов комплексирования показали, что близкие к комплексированию с использованием wavelet-разложения результаты дает комплексирование на основе лапласовой пирамиды. Пример результата такого комплексирования приведен на рис. 2.

Ключевым вопросом при формировании изображения SVS является наглядность и реалистичность представления информации. Исходными данными при этом являются цифровые карты рельефа местности, цифровые растровые топографические карты, аэронавигационные данные (объектовая информация), географические данные объектов и ориентиров. Все вышеперечисленные типы данных сводятся в одну географическую информационную систему (ГИС), решающую задачи структурирования, взаимной топопривязки, фильтрации, комплексирования.

Пример 3D-изображения рельефа местности с наложенными пилотажно-навигационной информацией и изображением от EVS приведен на рис. 3.

Технический облик системы. В ОАО «Научно-конструкторское бюро вычислительных систем» на основе высокоскоростной коммутируемой связанной архитектуры создан прототип быстродействующей унифицированной платформы интегрированной модульной авионики (ИМА) с набором унифицированных компонентов – функциональных модулей.

На базе данной платформы для решения задачи повышения ситуационной осведомленности членов экипажа ЛА с помощью синтезированных 2D- и 3D-карт рельефа местности и средств технического зрения с целью снижения рисков при выполнении взлетов, посадок и маневрировании в условиях сложных метеоусло-

вий, рельефов местности, а также на аэродромах с различными уровнями оборудования радиотехническими и световыми сигнальными средствами разработан прототип интегрированной авиационной системы синтезированного и улучшенного видения (ИАССУВ).

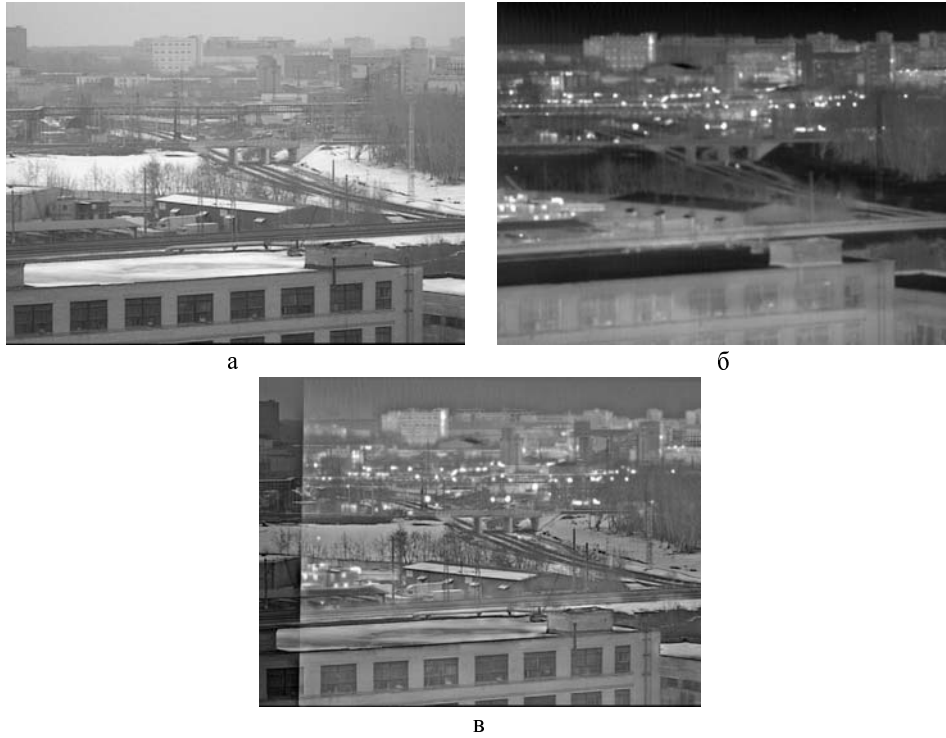


Рис. 2. Исходные изображения ТВ (а) и ПТВ (б), результат композитного многомасштабного комплексирования (в)

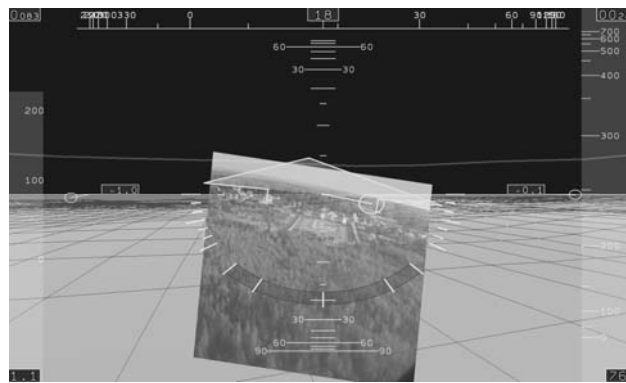


Рис. 3. Пример 3D-изображения рельефа местности с наложенным изображением от EVS-камер

Обобщенная структурная схема ИАССУВ приведена на рис. 4.

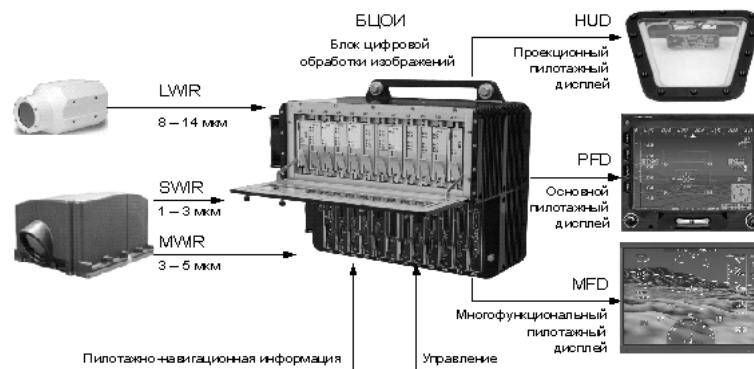


Рис. 4. Обобщенная структура ИАССУВ

В общем виде ИАССУВ включает блок опико-электронных датчиков различных спектральных диапазонов, блок цифровой обработки изображений (БЦОИ) – бортовую вычислительную систему, а также средства отображения информации – пилотажные дисплеи различного типа: проекционный пилотажный дисплей (Head-Up Display – HUD), основной пилотажный дисплей (Primary Flight Display – PFД), многофункциональный пилотажный дисплей (Multifunctional Flight Display – MFD).

Прототип БЦОИ предназначен для апробирования, исследования и оценки требуемой производительности вычислительного ресурса при выполнении задач EVS и SVS, включающих прием и многоканальную обработку видеоизображений, взаимодействие с бортовым оборудованием ЛА с целью получения пилотажно-навигационной информации и управляющих команд, синтезирование 2D- и 3D-изображений карт и закабинного пространства, многоканальное формирование индикационной информации для отображения на пилотажных дисплеях ЛА. Решение тестовых задач EVS и SVS показало готовность БЦОИ выполнять типовые задачи видеобработки в реальном масштабе времени, время выполнения расчетных задач и задачи взаимодействия составило от 10 до 20 мс, время выполнения задач отрисовки – от 3 (при синтезировании сложных 3D-изображений с использованием программной реализации библиотеки OpenGL) до 30 кадров в секунду (в задачах видеобработки с наложением типовой ПНИ).

Заключение. В ходе работы по исследованию путей построения ИАССУВ проведен анализ современного мирового уровня развития авиационных SVS и EVS, их технических характеристик. Проведен анализ характеристик изображений наземной обстановки, формируемых каналами технического зрения в условиях пониженной видимости в различных спектральных диапазонах, представлены алгоритмы улучшения характеристик и комплексирования изображений наземной обстановки, формируемых каналами технического зрения различных спектральных диапазонов. Определен технический облик ИАССУВ, реализуемой на основе быстродействующей платформы ИМА. Проведены исследовательские испытания и экспериментальная оценка временных характеристик решения задач улучшения видения и синтезирования 3D-изображений на экспериментальном образце прототипа платформы ИМА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. McKinley J.B., Heidhaus E., Crame J.A., Kron Dr.N. J. University Research Foundation, Greenbelt. Flight testing of an airborne svS with highway-in-the-sky on a head-up display. – www.ll.mit.edu.

2. *Glenn D. Hines, Zia-ur Rahman, NASA Langley Research Center.* Real-time Enhanced Vision System. – www.naca.larc.nasa.gov.
3. *Randall E. Bailey, Lynda J. Kramer, and Lawrence Prinzel III, NASA Langley Research Center.* Fusion of Synthetic and Enhanced Vision for All-Weather Commercial Aviation Operations.
4. *Glenn D. Hines, Zia-ur Rahman, Daniel J. Jobson, Glenn A. Woodell, NASA Langley Research Center.* Real-time Enhancement, Registration, and Fusion for a Multi-Sensor Enhanced Vision System. – www.naca.larc.nasa.gov.
5. *Хвостиков И.А.* Теория рассеяния света и ее применения к вопросам прозрачности атмосферы и туманов. – УФН, 1940. – Т. XXIV. Вып. 2. – С. 165-227.
6. *Хргиан А.Г.* Физика атмосферы. В 2-х томах. – М.: Гидрометеиздат, 1978. – 568 с.
7. *Грин Х., Лейн В.* Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. – Л.: Химия, 1972. – 427 с.
8. *Яковлев А.М.* Авиационная метеорология. Транспорт. – М., 1971. – 248 с.
9. *Gleed-DG, Appleby-R, Salmon-NA, Price-S, Sinclair-GN, Anderton-RN, Borrill-JR, Wasley-MRM, Lettington-AH.* Operational issues for passive millimeter wave imaging systems. Proceedings-of-the-SPIE – The-International-Society-for-Optical-Engineering. – Vol. 3064. 1997. – P. 23-33.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. М.Ю. Медведев.

Бачило Сергей Александрович – Открытое акционерное общество "Научно-конструкторское бюро вычислительных систем"; e-mail: bachilo@nkbvs.ru; 347936, г. Таганрог, ул. 1-я Линия, 144-а; тел.: 88634682560; к.т.н.; технический директор; заместитель главного конструктора.

Дзягун Дмитрий Юрьевич – e-mail: dzyagun@nkbvs.ru; заведующий лабораторией.

Итенберг Игорь Ильич – e-mail: itenberg@nkbvs.ru; к.т.н., генеральный директор, главный конструктор.

Макогон Вадим Дмитриевич – e-mail: makogon@nkbvs.ru; тел.: 88634682560; заведующий отделом.

Марков Альберт Леонидович – e-mail: markov@nkbvs.ru; тел.: 88634682560; заместитель технического директора.

Рыбин Андрей Владимирович – e-mail: rav@nkbvs.ru; тел.: 88634682560; заведующий отделом.

Bachilo Sergey Alexandrovich – Joint Stock Company "Scientific Design Bureau of Computer Systems"; e-mail: bachilo@nkbvs.ru; 1 Liniya street, 144-a, Taganrog, 347936, Russia; phone: +78634682560; cand. of eng. sc.; technical director; deputy chief designer.

Dzyagun Dmitriy Ur'evich – e-mail: dzyagun@nkbvs.ru; laboratory manager.

Itenberg Igor P'ich – e-mail: itenberg@nkbvs.ru; cand. of eng. sc.; director general; chief designer.

Makogon Vadim Dmitrievich – e-mail: makogon@nkbvs.ru; phone: +78634682560; department manager.

Markov Albert Leonidovich – e-mail: markov@nkbvs.ru; phone: +78634682560; deputy technical director.

Rybin Andrey Vladimirovich – e-mail: rav@nkbvs.ru; phone: +78634682560; department manager.