

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора

МАЛЫЦЕВА Георгия Николаевича

на диссертацию Бобровского Алексея Ивановича

«Теоретические основы синтеза методов и алгоритмов адаптивной обработки видеоинформации в космических системах наблюдения динамических сцен»
по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук

Актуальность темы диссертации

Тема диссертации актуальна и связана с совершенствованием высокотехнологичных образцов космической техники – бортовых оптико-электронных информационных систем космических аппаратов (КА). Современный этап развития космических систем характеризуется расширением областей применения и перечня задач, решаемых бортовыми оптико-электронными информационными системами как в бортовом контуре управления КА, так и в составе бортовых специальных комплексов. В диссертации бортовые оптико-электронные информационные системы КА различного назначения объединяются понятием бортовой видеоинформационной системы (ВИС). Отличительной особенностью функционирования бортовых ВИС является наблюдение динамических сцен в условиях непрерывного изменения условий наблюдения. Поэтому реализация потенциальных возможностей по обнаружению, измерению параметров и классификации наблюдаемых объектов при решении различных прикладных задач связана с адаптацией бортовых ВИС к условиям функционирования.

В современных условиях техническая основа для создания бортовых адаптивных ВИС создается благодаря развитию элементной базы цифровой телевизионной техники, в частности, появлению мегапиксельных фотоприемных КМОП-матриц для регистрации наблюдаемых сцен с возможностью управления пространственным и временным разрешением входного сигнала, многоядерных процессорных модулей и систем на кристалле для космических приложений. Это позволяет осуществлять адаптацию параметров фотоприемной матрицы и алгоритмов обработки видеоинформации в бортовом вычислителе к динамическим характеристикам изображений объектов сцены, наблюдаемой в широком диапазоне дальностей и скоростей. В то же время характер и диапазон изменения условий наблюдения в сочетании с жесткими ресурсными и временными ограничениями при функционировании бортовых ВИС приводят к необходимости развития теоретических основ их построения, включая как собственно разработку методов

и алгоритмов обработки регистрируемой видеоинформации, так и разработку общей концепции адаптации структуры и параметров бортовой ВИС к динамическим свойствам наблюдаемой сцены в интересах создания бортовых оптико-электронных систем нового поколения для перспективных КА и видеоинформационного обеспечения их применения.

Научная новизна диссертации

В диссертации получены результаты, обладающие научной новизной и свидетельствующие о личном вкладе автора в науку.

Объектом исследования являются бортовые ВИС наблюдения космических объектов, рассматриваемые преимущественно при решении задач видеоинформационного обеспечения стыковки КА. Предметом исследования являются процессы адаптивного управления обработкой изображений динамических сцен, наблюдаемых бортовой ВИС, в фотоприемной матрице и бортовом вычислителе.

Автором разработан научно-методический аппарат реализации в бортовых ВИС методов совместной адаптивной обработки изображений динамических сцен в фотоприемной матрице и бортовом вычислителе, обеспечивающих высокие достоверность обнаружения и качество регистрируемых изображений наблюдаемых космических объектов на различных дальностях.

Научная новизна диссертации определяется следующими новыми научными результатами:

1. Обоснованием концепции адаптации структуры и параметров бортовой ВИС наблюдения динамических сцен, охватывающей оптическую, фотоэлектронную и вычислительную подсистемы ВИС, включающую структурный облик адаптивной бортовой ВИС, перечень регулируемых параметров ВИС в различных режимах наблюдения и характеристические расстояния, на которых осуществляется смена режимов наблюдения космических объектов.

2. Разработкой метода селекции наблюдаемых объектов в бортовой ВИС на больших дальностях наблюдения на звёздном фоне по вектору скоростного смаза и яркости на основе последовательной обработки перекрывающихся фрагментов изображения наблюдаемой сцены с управлением масштабом изображения.

3. Разработкой метода адаптации кадровой частоты бортовой ВИС на больших дальностях наблюдения с оценкой амплитуды доминантного сигнала и скоростного смаза фоновых звёзд, обеспечивающего минимум суммы ошибок классификации наблюдаемого объекта и фона и задержки принятия решения.

4. Разработкой метода адаптации кадровой частоты бортовой ВИС на малых дальностях наблюдения с контролем четкости изображения, обеспечивающего максимум времени, в течение которого суммарная ошибка пространственно-временной дискретизации изображения в матричном фотоприемнике не превышает допустимого значения.

5. Разработкой метода адаптивного кодирования кадров, делимых на доминантный объект и фон, для источника видеоизображений по критерию взвешенной среднеквадратической ошибки с различными весами ошибки передачи фрагментов изображения, содержащих доминантный объект и фон.

6. Обоснованием нейроподобных вычислительных структур для алгоритмической реализации разработанных методов обработки видеoinформации с оптимальным уровнем локального параллелизма в условиях ресурсных ограничений.

Научные результаты по пп. 1-4 могут быть квалифицированы как новые. Они имеют теоретический характер. Описание разработанных методов адаптации включает обоснование критериев, содержательное описание алгоритмов, формулировку и анализ уравнений управления и состояния системы. Личный вклад автора в достижение этих результатов подтверждается его публикациями. Научные результаты по пп. 5-6 могут быть квалифицированы как частично новые. Они имеют прикладной характер и являются развитием известных результатов.

Теоретическая значимость результатов диссертации определяется вкладом автора в теорию управления в части обоснования концепции и критериев адаптации для класса оптико-электронных информационных систем КА, функционирующих при непрерывном изменении условий наблюдения с переключением режимов наблюдения, и в теорию цифровых телевизионных систем в части обоснования структурного облика адаптивной бортовой ВИС, перечня ее регулируемых параметров и алгоритмов управления кадровой частотой и бортовой обработкой видеoinформации в различных режимах наблюдения космических объектов.

Характеризуя отдельные результаты, следует выделить концепцию адаптации структуры и параметров бортовой ВИС наблюдения динамических сцен. Такая концепция по отношению определенному классу оптико-электронных информационных систем, функционирующих при непрерывном изменении условий наблюдения с управлением режимами наблюдения, сформулирована впервые. Автором обоснован перечень регулируемых параметров ВИС в различных режимах наблюдения и характеристические расстояния, на которых осуществляется смена режимов наблюдения – «горизонт чувствительности», «горизонт крупной детали», «граница своевременной реакции на события наблюдаемой сцены».

Обоснованность научных положений и достоверность выводов диссертации

Основные научные положения диссертации в достаточной степени обоснованы. При разработке методов и алгоритмов адаптации параметров и обработки видеoinформации в бортовой ОИС автор корректно использует методы теории информации и теории управления, теорию оптико-электронных систем и теорию цифровых телевизионных систем, элементы теории нейросетей. Для оценки эффективности разработанных методов и алгоритмов использовались методы математического и имитационного моделирования и обработка реальных эксперимен-

тальных видеоданных в виде полученных бортовыми ВИС динамических изображений КА на фоне звёзд и на фоне Земли. Оригинальные результаты автора в части методов селекции на изображениях наблюдаемых космических объектов и управления кадровой частотой бортовой ОИС на различных дальностях наблюдения согласуются с опубликованными экспериментальными данными, практикой наблюдения космических объектов наземными оптико-электронными информационными системами и известными подходами к совместной оптимизации параметров подсистем оптико-электронных систем формирования изображений по информационным критериям.

Достоверность результатов, представленных в диссертации, подтверждается согласованностью теоретических и прикладных результатов исследований, а также использованием реальных исходных данных об условиях функционирования бортовых ОИС при решении задач видеоинформационного обеспечения стыковки КА. Результаты адаптации структуры и параметров бортовой ВИС иллюстрируются примерами обработки реальных изображений космических динамических сцен и повышения их качества. Прикладные исследования проводились с использованием современных прикладных программ компьютерной обработки изображений. Задачи оптимизации в ряде случаев с достаточным обоснованием решались численными методами, отсюда особое внимание автора к принципу итерации, хотя при этом не всегда используются все возможности поиска строгих аналитических методов решения рассматриваемых задач синтеза.

Могут быть признаны адекватными решаемой научной проблеме использованное формализованное описание процессов функционирования бортовой ВИС при наблюдении динамических сцен, введение характеристических расстояний, на которых осуществляется смена режимов наблюдения космических объектов, и полученные оценки информационных характеристик бортовой адаптивной ВИС при реализации в ней разработанных методов адаптации. Работоспособность разработанных алгоритмов подтверждается результатами математического и имитационного моделирования, обработки и тестирования видеоданных, полученных бортовыми ВИС. Получены оценки реализуемости в бортовых ВИС разработанных методов обработки видеоинформации с учетом достигнутых промышленностью характеристик фотоприемных матриц. Предложена методика оценки реализуемости алгоритмов обработки видеоинформации, использующая параметрическую модель вычислительной мощности многопроцессорной компьютерной платформы и параметрические модели вычислительной сложности и потребной емкости памяти реализуемых алгоритмов.

Достоверность результатов диссертации также подтверждается их апробацией на российских и международных научно-технических конференциях, большим числом публикаций автора в ведущих рецензируемых изданиях, опубликованием полученных результатов в коллективной монографии.

Практическая значимость и внедрение результатов диссертации

Практическая значимость диссертации определяется следующим.

1. Обоснованы структурный облик адаптивной бортовой ВИС и рекомендации по выбору регулируемых параметров ВИС и режимов наблюдения космических объектов на различных дальностях, которые могут быть использованы при системном проектировании различных типов бортовых ВИС, предназначенных для наблюдения динамических сцен в космосе.

2. Разработаны методы адаптивной обработки видеоинформации, позволяющие улучшить технические характеристики и информационные возможности бортовых ВИС:

- методы селекции наблюдаемых объектов и адаптации кадровой частоты бортовой ВИС на больших дальностях наблюдения позволяют расширить диапазон рабочих дальностей ВИС, на которых обеспечивается наблюдение космических объектов с заданным качеством;

- метод адаптации кадровой частоты бортовой ВИС на малых дальностях наблюдения позволяет расширить диапазон дальностей своевременной реакции ВИС, на которых заданная суммарная ошибка пространственно-временной дискретизации изображения в матричном фотоприемнике не превышает допустимого значения;

- метод кодирования источника в бортовой ВИС при выполнении условия разделения кадров на доминантный объект и фон позволяет снизить требуемую скорость передачи с КА видеоинформации по радиоканалу.

3. Определены перспективы практической реализации разработанных алгоритмов обработки видеоинформации с помощью бортовых вычислителей с высокой степенью параллелизма вычислений.

В своей совокупности полученные результаты позволяют достигнуть поставленную цель диссертации – повысить информационные возможности бортовых ВИС наблюдения космических объектов. Данная формулировка цели обобщает несколько частных целей, перечисленных автором в диссертации: «повышение качества выдаваемой информации, расширение горизонта чувствительности системы и приближение границы своевременной реакции потребителя».

Результаты диссертации реализованы в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах ведущих организаций отрасли. В диссертации представлены копии актов реализации в организациях промышленности – АО «ВПК «НПО машиностроения», АО «ЛОМО», ФГАНУ «ЦНИИ РТК», АО «НИИ телевидения» и учебном процессе высшего учебного заведения – СПбГЭТУ «ЛЭТИ». В то же время отсутствие сведений о конкретных формах реализации результатов диссертации в автореферате может затруднить оценку практической значимости и внедрения результатов диссертации в отзывах на автореферат.

Публикация и апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в научной печати и прошли апробацию на научно-технических мероприятиях. Соискателем опубликовано более 60 работ по теме диссертации, включая 1 коллективную монографию, 18 статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, включённых в перечень ВАК, 7 статей в изданиях, включённых в международные базы цитирования, 35 публикаций в других изданиях и материалах конференций, 1 патент, 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Результаты диссертационных исследований докладывались на ряде представительных международных и всероссийских научно-технических конференций.

Сведения о публикациях автора по теме диссертации и об апробации полученных результатов позволяют сделать вывод о том, что они известны научной общественности, занимающейся вопросами построения бортовых оптоэлектронных информационных систем КА и их применения для решения прикладных задач космических систем.

Недостатки диссертации

Диссертация не свободна от недостатков, среди которых можно выделить недостатки методического плана, относящиеся к представлению результатов диссертации, и недостатки научно-технического плана, относящиеся непосредственно к материалам диссертации.

В числе недостатков первой группы отметим следующие:

1. Оценка степени разработанности темы диссертации и результатов диссертации, выносимых на защиту, показывает, что автору следовало бы претендовать не на «теоретические основы синтеза методов и алгоритмов ...», как это сформулировано в названии и по тексту диссертации, а на «развитие теоретических основ методов и алгоритмов ...».

2. Формулировка понятий, определяющих квалификационные признаки диссертации, представляется недостаточно четкой и конкретной. В частности, формулировки научной проблемы и цели исследования в значительной степени повторяют формулировку темы диссертации («теоретические основы синтеза ...»), а формулировка предмета исследований больше соответствует характеристике полученных результатов («критерии и методы ...»).

3. Не выполнена формализация выходного качества видеоинформации, выдаваемой ВИС потребителям, или ее информационных возможностей, как обобщенного системного показателя, адекватного выносимой на защиту концепции адаптации структуры и параметров бортовой ВИС. При общем характере этой концепции и ее значении для системного проектирования бортовых ВИС достижение цели исследования характеризуется частными показателями для каждого из разработанных методов, относящихся к различным режимам работы ВИС.

В числе недостатков второй группы отметим следующие:

1. Характеристика бортовых ВИС наблюдения космических объектов, являющихся объектом исследований, не дает исчерпывающего представления обо всех их типах и решаемых задачах в составе космических систем. Рассматриваются преимущественно бортовые ВИС, используемые для видеоинформационного обеспечения стыковки КА. Указывается также задача орбитального обслуживания, но ее содержательное описание отсутствует. В то же время различные задачи наблюдения космических объектов могут характеризоваться различными баллистическими схемами и динамикой изменения наблюдаемых сцен и, как следствие, особенностями адаптации бортовых ВИС в процессе наблюдения.

2. При оценке качества видеоинформации, полученной ВИС, используются формальные статистические и теоретико-информационные критерии и не используются критерии визуального распознавания. Однако в соответствии с представленной схемой взаимодействия предполагается работа оператора и на борту КА, и в наземном комплексе управления, и в наземном специальном комплексе. Для такой схемы характеристику выходного качества видеоинформации необходимо давать с обязательным привлечением критериев визуального распознавания.

3. Некорректно используется термин «пространственно-временные координаты объекта». На самом деле данный термин рассматривается в диссертации применительно не к измерению координат наблюдаемых объектов, а к пространственно-временной дискретизации изображения в матричном фотоприёмнике ВИС. При этом определяются условия минимизации суммарной ошибки дискретизации при адаптации кадровой частоты бортовой ВИС, но не в режиме измерения координат, а в режиме наблюдения объекта на малых дальностях.

Указанные недостатки отчасти связаны с междисциплинарным характером темы диссертации и стилем изложения автора. Они несколько снижают качество представленного материала, но не изменяют общей положительной оценки выполненной диссертации.

Заключение по диссертации

Диссертация имеет несомненную научную и практическую ценность и свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Работа в рамках принятых автором допущений и границ исследований обладает внутренним единством, результаты представлены в логической последовательности. Автор владеет методами научных исследований и обоснованно применяет соответствующий математический аппарат. Выводы и рекомендации опираются на корректное использование автором теоретических и численных методов исследования. Иллюстрационный материал хорошо продуман и наглядно выполнен. Совокупность представленных результатов позволяет сделать вывод о достижении цели исследований.

Тема и содержание диссертации соответствуют пунктам 3, 4, 9 паспорта специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, по которой она представляется к защите. Автореферат соответствует содержанию диссертации и содержит изложение ее основных идей и выводов. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями.

Вывод: Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, которая содержит новое решение актуальной научной проблемы, имеющей важное хозяйственное и прикладное значение для космической деятельности, и соответствует критериям (пп. 9-14) «Положения о присуждении ученых степеней», которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени доктора наук. Автор диссертации – БОБРОВСКИЙ А.И. – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

профессор кафедры Космических радиотехнических систем
Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского

Заслуженный деятель науки Российской Федерации
доктор технических наук профессор  МАЛЬЦЕВ Г.Н.

« 8 » ноября 2021 г.

Личную подпись официального оппонента
доктора технических наук профессора МАЛЬЦЕВА Г.Н. заверяю.

Начальник отдела кадров
Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского

 ПЛОТНИКОВ Г.В.

« 8 » ноября 2021 г.

Организация: Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации (ВКА имени А.Ф. Можайского) (<https://vka.mil.ru>)

Адрес: 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13

Телефоны: 8 (812) 237-12-49 (факс)

Email: vka@mil.ru