

На правах рукописи



Пальгуев Дмитрий Анатольевич

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Специальность 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации,
статистика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Нижний Новгород – 2024

Работа выполнена на кафедре радиотехники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Научный консультант **Бабанов Николай Юрьевич**,
доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроника и сети ЭВМ» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Официальные оппоненты: **Монахов Михаил Юрьевич**,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатика и защита информации» ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых»

Сидоркина Юлия Анатольевна,
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автономные информационные и управляющие системы» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

Ведущая организация: **Соколов Сергей Сергеевич**,
доктор технических наук, доцент, проректор ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» 394018, Россия, г. Воронеж, Университетская площадь, 1

Защита состоится « 3 » октября 2024 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 24.2.345.06 при Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева по адресу: г. Нижний Новгород, ул. Минина, д.5, стр.1.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, прошу направлять по адресу: г. Нижний Новгород, ул. Минина, д.5, стр.1, ученому секретарю диссертационного совета Д 24.2.345.06.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НГТУ им. Р.Е. Алексеева и на сайте <http://www.ngtu.ru>

Автореферат разослан « ___ » _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.С. Суркова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Информационные системы являются основой обеспечения управления и входят в состав всех систем управления. Они обеспечивают сбор, обработку и обмен информацией между источниками и потребителями информации разных уровней. Одним из ключевых и специфических видов информации является радиолокационная. В системе, выполняющей функции контроля и управления воздушным движением и одновременно радиолокационной разведки, радиолокационной информации отводится одна из ведущих ролей.

Исследование посвящено рассмотрению и разработке на базе системного анализа различных видов структур информационных систем, способов их построения, методов и алгоритмов, направленных на повышение эффективности информационной составляющей системы контроля воздушного пространства. Проведен анализ как существующих алгоритмов третичной обработки, так и разрабатываемых алгоритмов сетевой обработки в интересах построения информационных систем сетевой структуры.

На примере радиолокационной системы реализован пилотный проект построения информационной системы полносвязной сетевой структуры, оптимальным образом соответствующей решению задачи сокращения времени нахождения информации в информационной системе, и, как следствие – сокращению длительности цикла управления, повышению качества и достоверности радиолокационной и разнородной информации, повышению эффективности системы контроля воздушного пространства в целом.

Время нахождения радиолокационной информации (РЛИ) в информационной системе является наиболее существенной частью времени доставки информации потребителям от источников и зависит от:

- технических возможностей пунктов обработки информации и системы связи и передачи данных;
- структуры информационной системы;
- применяемых алгоритмов обработки информации;
- общего состояния радиолокационной системы и ее правильной функциональной направленности в условиях применения по назначению.

Таким образом, при системном анализе проблемы построения информационной системы сетевой структуры для обработки и обмена локационной информацией основными направлениями исследования являются:

- разработка методов и синтез алгоритмов высокой производительности при объединении локационной информации в многопозиционной системе по критерию минимизации времени обработки;
- синтез алгоритмов системного уровня для обмена локационной информации в информационной системе сетевой структуры;
- разработка способов построения и подключения перспективных и существующих систем обработки и обмена локационной информации в многопозиционных системах.

Известные подходы к совершенствованию информационных систем Федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства (ФСР КВП), как

составной части единого информационного поля, в рассматриваемой предметной области предполагают использование горизонтальных связей в иерархической структуре и уменьшение количества иерархических уровней.

Вместе с тем, методы и алгоритмы обработки радиолокационной и разнородной локационной информации в узлах (на серверах) информационных систем полносвязной сетевой структуры к моменту начала данного исследования отсутствовали. Соответственно, способы подключения источников, потребителей информации, комплексов средств автоматизации (КСА) к информационной системе сетевой структуры рассматривались только с точки зрения сохранения иерархической структуры систем, входящих в ФСР КВП.

Поэтому **актуальным** является проведение исследования методами системного анализа по построению информационной системы полносвязной сетевой структуры и решению следующих задач: а) минимизации времени нахождения информации в информационной системе с момента обнаружения воздушных объектов (ВО) до момента поступления информации потребителю, как составной части цикла управления, и сокращению длительности цикла управления в целом; б) развития и совершенствования научно-методического аппарата обработки радиолокационной и разнородной информации, который позволяет осуществлять автоматизированную и автоматическую обработку информации с выбором источников с наиболее качественными информационными характеристиками; в) оптимизации суммарного объёма информации, циркулирующей в сетевой структуре; г) обеспечения ситуационной осведомленности потребителей.

Перечисленные задачи носят комплексный, многоплановый, системный характер и составляют основное содержание **научной проблемы** исследования – повышение эффективности системы контроля воздушного пространства за счет совершенствования её информационной системы сбора, обработки и обмена разнородной локационной информацией.

Целью работы является создание методологии построения информационной системы сбора, обработки и обмена разнородной локационной информации полносвязной сетевой структуры. Методология основана на разработке и комплексной реализации методов и алгоритмов сетевой обработки и сетевого обмена, применения разработанных способов подключения информационной системы сетевой структуры к существующим и перспективным информационным системам.

Основным критерием повышения эффективности информационной системы полносвязной сетевой структуры является минимизация времени нахождения локационной информации в информационной системе.

Объектом исследования является информационная система полносвязной сетевой структуры, в которой происходит обработка и обмен локационной информацией в масштабе времени, близком к реальному.

Предметом исследования являются методы и реализованные на их основе алгоритмы обработки локационной информации в узлах информационной системы сетевой структуры; алгоритмы, обеспечивающие информационный обмен в сетевой структуре в целом; физические и логические уровни информационных систем; способы подключения источников и потребителей информации к информационной системе сетевой структуры, а также способы подключения самой перспективной информационной системы сетевой структуры к существующим информационным системам.

Задачи работы:

1. Анализ на основе системного подхода существующих концепций и способов построения информационных систем, основанных на сетевых и сетевых принципах, анализ структур и уровней информационных систем, структурно-параметрический синтез перспективной информационной системы сетевой структуры, определение критериев и ограничивающих условий синтеза метода и алгоритмов обработки информации.

2. Разработка метода и основанного на нем алгоритма обработки локационной информации в узле информационной системы полносвязной сетевой структуры по критерию минимизации времени нахождения информации в информационной системе, на примере обработки радиолокационной информации. Разработка метода обработки разнородной локационной информации с неполными данными на основе метода сетевой обработки.

3. Разработка новых и усовершенствованных частных алгоритмов обработки РЛИ в узле (на сервере) информационной системы сетевой структуры на базе математического аппарата матричной алгебры: а) предварительного отбора РЛИ; б) объединения РЛИ; в) обработки сообщений о новых воздушных объектах (ВО), поступающих на сервер; г) обработки повторных сообщений о ВО, поступающих на сервер; д) обработки повторных сообщений о ВО, поступающих на сервер в случае нарушений в работе канала передачи данных; е) отбора РЛИ для выдачи потребителю.

4. Разработка комплексного алгоритма, обеспечивающего на более высоком, системном уровне обмен РЛИ в информационной системе сетевой структуры в целом.

5. Синтез методологии построения и реализация информационной системы полносвязной сетевой структуры на основе разработанных методов, алгоритмов, способов подключения источников и потребителей локационной информации, разработка практических рекомендаций по конструкции и функциям терминала обработки информации и его использованию в качестве базовой ячейки (узла) информационной системы полносвязной сетевой структуры.

6. Исследование эффективности разработанных алгоритмов обработки локационной информации с использованием математической имитационной модели сервера информационной системы полносвязной сетевой структуры.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Анализ и обоснование выбора структуры перспективной информационной системы сбора, обработки и обмена РЛИ, результатом которого являются: введение новой подсистемы АСУ – автоматизированной системы обработки и обмена РЛИ, запатентованный и экспериментально исследованный способ подключения источников и потребителей к сетевой информационной структуре, позволяющие обеспечить использование свойств сетевых структур для сокращения времени нахождения РЛИ в информационной системе.

2. Запатентованный, экспериментально и с помощью имитационного моделирования исследованный метод и реализованный на его основе алгоритм сетевой обработки радиолокационной информации, отличающийся от метода третичной обработки последовательностью этапов обработки, одновременной обработкой только одного сообщения от источника РЛИ, и позволяющий осуществлять сбор и

объединение РЛИ на серверах сетевой информационной структуры с существенным сокращением времени обработки РЛИ (не более нескольких миллисекунд).

3. Оценка вероятности объединения радиолокационной информации методом сетевой обработки, в отличие от известных приближенных подходов, позволившая точно определить, задать и проверить экспериментально и методом имитационного моделирования правильную вероятность объединения РЛИ при сетевой обработке, вычислить размеры стробов точного отбора.

4. Разработка и математическое моделирование эффективности новых и усовершенствованных частных методик и алгоритмов обработки массивов данных, содержащих РЛИ, основанных на математическом аппарате матричной алгебры: предварительного отбора, объединения, обработки сообщений о новых воздушных объектах, обработки повторных сообщений о сопровождаемых воздушных объектах, обработки повторных сообщений о воздушных объектах в случае нарушений в работе канала передачи данных, отбора информации из информационной системы для выдачи потребителю. Применение матричной обработки позволяет сократить время обработки больших массивов данных (свыше 1000 трасс воздушных объектов).

5. Запатентованный комплексный алгоритм системного уровня для обеспечения обмена РЛИ в информационной системе сетевой структуры в целом, отличающийся от существующих алгоритмов анализом содержания сообщений о воздушных объектах и позволяющий отсеивать задержанную, недостоверную и повторяющуюся информацию в сети.

6. Результаты обработки экспериментальных данных и имитационного моделирования, позволяющие оценить достоверность, производительность и границы применимости разработанных алгоритмов в информационной системе сетевой структуры. Способы построения информационных систем сетевой структуры.

В исследовании предложено построение дополнительной информационной системы сетевой структуры в качестве подсистемы. Это решение позволяет осуществлять обработку и обмен разнородной локационной информацией как в существующих, так и в перспективных информационных системах с существенным сокращением времени нахождения информации в системе и, соответственно, сокращением цикла управления в целом.

Научной новизной работы является методология построения информационных систем в предметной области обработки радиолокационной и разнородной локационной информации, которая позволяет строить системы с малым временем доставки информации от источников потребителям, масштабируемые, более надежные и более выгодные экономически. Методология отличается от известных подходов использованием сочетания свойств сетевой архитектуры системы и новых разработанных методов обработки гетерогенной информации, разделением функций управления и обработки данных о воздушных объектах.

Выделены следующие основные элементы **научной новизны**:

1. Новый запатентованный метод и реализованный на его основе алгоритм обработки радиолокационной информации в узле информационной системы сетевой структуры, отличающийся от известного метода третичной обработки последовательностью этапов обработки и одновременной обработкой только одного сообщения от источника информации, позволяющий значительно сократить количество гипотез при обработке сообщений и время обработки в узле информационной си-

стемы. Усовершенствованный метод позволяет объединять разнородную (радиолокационную, оптическую, ИК. радиотехническую и др.) информацию, в том числе по неполным данным, для обеспечения задач сопровождения и распознавания малогабаритных БПЛА (МБПЛА) в масштабе времени, близком к реальному.

2. Совместный структурно-параметрический синтез информационной системы контроля воздушного пространства, позволивший выявить взаимосвязь свойств алгоритмов обработки РЛИ и свойств структуры информационной системы.

3. Способы подключения информационной системы сетевой структуры к существующим и перспективным информационным системам различных видов структур, отличающиеся выделением информационной системы сбора, обработки и обмена информацией в отдельную подсистему, предназначенную для решения задач обработки и обмена информацией.

4. Математически строгая оценка вероятности правильного объединения РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры, в отличие от известных приближенных подходов, а также решение обратной задачи – вычисление размеров стробов точного отбора по заданной вероятности объединения.

5. Феноменологическая модель информационной системы сетевой структуры для сбора, обработки и обмена информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей; с определением границ применимости модели по отношению к погрешностям экстраполяции прогнозируемых процессов.

6. Методики и алгоритмы обработки локационной информации в узле (на сервере) информационной системы сетевой структуры на базе математического аппарата матричной алгебры, позволившие сократить время обработки больших массивов данных (свыше 1000 трасс воздушных объектов).

7. Комплексный алгоритм, обеспечивающий в целом, на системном уровне, обмен локационной информацией в информационной системе сетевой структуры.

8. Информационная система сетевой структуры, в соответствии с разработанной методологией являющаяся подсистемой по отношению к автоматизированной системе управления. Система представляет собой сеть с распределенным векторным вычислителем, формирующим однородный динамический массив локационной информации. Функциональность векторного вычислителя реализуется на основе совокупности разработанных методов, алгоритмов обработки и обмена локационной информации.

Научная новизна диссертации в целом подтверждена 14 патентами на изобретения, полезные модели и свидетельствами на программы, одной заявкой на патент.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

– в возможности использования разработанного алгоритма и методик обработки и объединения РЛИ в узлах (на серверах) информационной системы полносвязной сетевой структуры, а также при модернизации существующих комплексов средств автоматизации для встраивания их в сетевую структуру системы обмена информацией;

– в возможности применения разработанного алгоритма объединения разнородной локационной информации, в том числе по неполным данным, от пространственно разнесенных некогерентных источников в комплексах обнаружения малогабаритных воздушных объектов (МБПЛА);

– в возможности реализации способов подключения сервера, источников и потребителей информации к информационной системе сетевой структуры или к информационной системе существующей иерархической структуры;

– в разработке практических рекомендаций по конструкции и функциям терминала обработки РЛИ и его использованию в качестве базовой ячейки (узла) информационной системы полносвязной сетевой структуры.

Внедрение результатов работы.

Содержащиеся в диссертации результаты внедрены:

– в разработанных алгоритмах и фрагменте информационной системы сетевой структуры в ОКР «Азалия», в построении систем связи и передачи данных ряда РЛС и РЛК, выпускаемых серийно, в АО «Федеральный научно-производственный центр «Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники» (г. Нижний Новгород);

– в алгоритмах обработки радиолокационной информации в перспективной системе обнаружения малогабаритных воздушных объектов, в АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения» (г. Тула);

– при модернизации аппаратуры передачи данных и Wi-Fi, в АО «ОС ИНФО-КОМ» (г. Санкт-Петербург);

– в учебном процессе на кафедре радиотехники радиофизического факультета ННГУ им. Н. И. Лобачевского (г. Нижний Новгород)

Внедрение подтверждается актами, приложенными к диссертации.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, результатов проведенных исследований и выводов.

Обоснованность теоретических положений диссертационного исследования основана на использовании классических методов системного анализа, математической статистики, теории вероятностей, теории матриц, статистической радиотехники, теоретической радиолокации и статистической радиофизики. Исследования, проведенные в работе, базируются на методах математического имитационного моделирования, полунатурных и натуральных экспериментах, а также на численных методах расчета.

Исследование опирается на современные достижения науки, техники, информационных технологий, с учетом существующих алгоритмов и методик обработки и обмена информации, существующих протоколов функционального взаимодействия между источниками и потребителями информации, требований по времени обработки и доставки информации, особенностей построения структуры обмена информацией и техническими возможностями современных цифровых систем связи.

Экспериментальные проверки, проводимые в ходе различных этапов НИОКР и испытаний, обеспечивают необходимую достоверность результатов и подтверждаются сопоставлением результатов полунатурных и натуральных испытаний с результатами математического имитационного моделирования.

Полученные в работе результаты согласуются с современными научными представлениями и данными, полученными при обзоре и анализе отечественных и зарубежных источников. Результаты, полученные в ходе работы, подтверждаются обсуждением и публикациями в научных изданиях, входящих в перечень, рекомендуемый ВАК.

Наличие действующих патентов на изобретения, полезные модели и свиде-

тельств на программы подтверждают новизну и приоритет полученных в ходе исследования результатов.

Основные положения диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях, включая международные.

Публикации и апробация результатов работы.

По теме диссертации автором опубликовано 56 работ, из них: 18 статей в изданиях, рекомендованных ВАК; 1 статья в других изданиях; 8 патентов РФ на изобретения, полезные модели; 6 свидетельств на программы, 1 заявка на изобретение; 7 статей в материалах международных научных конференций; 4 статьи и доклада в материалах всероссийских научных конференций; 9 статей и тезисов докладов в сборниках трудов региональных научных конференций.

Область исследования соответствует пунктам 4, 5, 6, 7, 10, 11, 15 паспорта специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»: разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта; разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта; методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации; методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем; методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах; методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов; теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования элементов систем управления в нормальных и специальных условиях с целью улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения и приложения. Объем диссертации составляет 328 страниц, включая 305 страниц основного текста. Список использованных источников содержит 209 наименований и приведен на 24 страницах.

Краткое содержание работы.

Введение содержит общую характеристику работы, в частности, обоснование актуальности темы, оценку состояния рассматриваемых вопросов. Формулируются научная проблема, объект, предмет, цель и рамки исследования, а также основные направления исследования и научные задачи, решаемые в ходе исследования. Приводится краткое содержание работы и ее основные результаты.

В первом разделе рассмотрены существующие подходы к построению единого информационного поля и информационных систем ФСР КВП, ЕС ОрВД и ПВО, с учетом различия структур, свойств информации и современных сетевых концепций. Проанализированы теоретические и практические предложения отечественных и зарубежных авторов по реализации концепции единого информационного поля. Обоснована возможность применения сетевой структуры информационной системы в интересах Единой системы организации воздушного движения

(ЕС ОрВД), ПВО ВВС для обеспечения обмена РЛИ и взаимодействия с существующей автоматизированной системой управления. Сформулированы основные требования к базовым элементам информационной системы сетевой структуры – терминалам (серверам); определены условия, ограничения и допущения, при которых осуществляется обработка РЛИ в информационной системе.

Для оценки наиболее общего свойства радиолокационной системы – эффективности адекватного отображения воздушной обстановки использован интегральный показатель информационных потерь α , характеризующий объединенные на основе совокупности нескольких обобщенных свойств системы и связанный монотонной зависимостью с качеством надсистемы \mathcal{E}_s :

$$\mathcal{E}_s = 1 - f(\alpha), \quad (1)$$

где

$$f(\alpha) = f \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L w_l \frac{card\alpha}{cardX} \right\}. \quad (2)$$

В выражении (2): w_l – значения весового коэффициента, характеризующего важность информации того или иного вида, L – общее количество видов информации, N – количество независимых показателей, входящих в интегральный показатель, α – подмножество потерь, характеризующее информацию, не удовлетворяющую требованиям потребителей, в том числе ложную, потерянную в ходе отображения, искаженную, задержанную и устаревшую, X – множество, описывающее воздушную обстановку, $card$ – мощность множества.

Обобщенный показатель качества и эффективности функционирования радиолокационной системы K^k определяется как

$$K^k = \frac{\sum_{n=1}^{N_{1R}} K_n^{\Pi}}{N_{1R} + N^{npon}} (1 - K^{lm}), \quad (3)$$

где N^{npon} – количество пропущенных системой реальных воздушных объектов, N_{1R} – количество объектов, сопровождавшихся с требуемой точностью, K^{lm} – коэффициент существования ложных трасс. К пропущенным относятся и объекты, проведенные с точностью ниже требуемой.

Обобщенный показатель качества и эффективности радиолокационной системы K^k в работе дополнен обобщенным показателем потерь вследствие времени нахождения (времени задержки) РЛИ в системе K^t , тогда

$$\alpha = (1 - K^k)(1 - K^t). \quad (4)$$

Значение функции зависимости информационных потерь от времени нахождения информации в системе носит во многом эмпирический характер, связанный с изменением значимости параметра не только от его абсолютной величины, но и от ценности информации для определенных типов потребителей, от требований к точности РЛИ в определенных зонах пространства, в определенных периодах цикла управления или от конкретно складывающейся воздушной обстановки.

Значимость и количественные показатели допустимого времени задержки информации в системе для различных потребителей и для различных периодов цикла

управления можно оценить при анализе нормативных документов, тактико-технических характеристик конкретных комплексов и систем. В большинстве конкретных случаев удастся определить количественные требования по допустимому времени задержки доставки РЛИ от источников потребителям.

Эффективность радиолокационной системы, как надсистемы по отношению к информационной, является целевой функцией, для которой будет находиться максимальное значение при минимизации критерия времени нахождения информации в системе T_{cuct} и, соответственно, минимизации интегрального показателя информационных потерь:

$$\mathcal{E}_s = 1 - f(\alpha), \text{ где } \mathcal{E}_s \rightarrow \max \text{ при } \alpha \rightarrow \min, T_{cuct} \rightarrow \min \quad (5)$$

Во втором разделе с применением методов системного анализа проводится определение структур, составляющих информационную систему, классифицируются процессы обработки и обмена информацией, определяются цели, средства, методы и этапы построения информационной системы сетевой структуры.

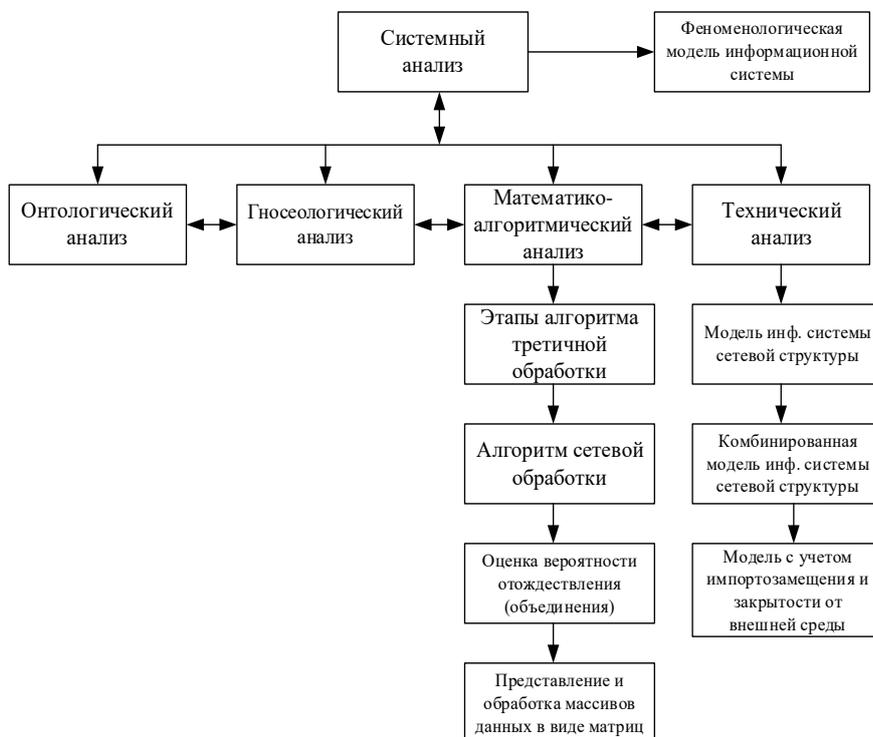


Рисунок 1 – Основные этапы разработки и анализа информационной системы сбора, обработки и обмена информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей

обладает рядом характеристик, которые делают её своего рода уникальной в сравнении с другими видами информации: относительная точность определения местоположения объектов, непрерывность, обновляемость, унифицированность представления, возможность использования для управления воздушным движением и контроля воздушного пространства.

Онтологический анализ позволяет исследовать процесс возникновения информационных систем в радиолокации с момента появления постов воздушного наблюдения, оповещения и связи (ВНОС) до настоящего времени. Гносеологический анализ дает представление о том, каким образом и на основе каких представлений о движении воздушных объектов изменялись и усложнялись методы сбора и

В исследовании проводится системный анализ основных аспектов возникновения и построения информационных систем, прежде всего, для сбора и обработки информации от радиолокационных средств. На рисунке 1 приведены основные этапы разработки и анализа информационной системы сетевой структуры. Системный анализ является объединяющим для всех видов анализа, он определяет постановку целей, методы поиска решений и результаты выводов. Радиолокационная информация

обработки информации и собственно структуры информационных систем.



Рисунок 2 – «Дерево проблем» информационной системы сбора, обработки и обмена информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей

Основные методы обработки РЛИ и алгоритмы, построенные на их основе, а также математические выражения, используемые для построения и оценки алгоритмов и обрабатываемой информации, исследуются с помощью математико-алгоритмического анализа.

Технический анализ рассматривает существующую и перспективные возможности реализации информационных систем, удовлетворяющих возрастающим требованиям по надежности, устойчивости, достоверности передачи информации.

Основные проблемы построения информационных систем сетевой структуры, предназначенных для сбора, обработки и обмена локационной информацией, показаны на схеме рисунка 2.

На основании «дерева проблем» произведен выбор целей, а также методов и средств, которыми эти цели достигаются (рис. 3).

На рисунке 3 к целям по иерархии относятся:

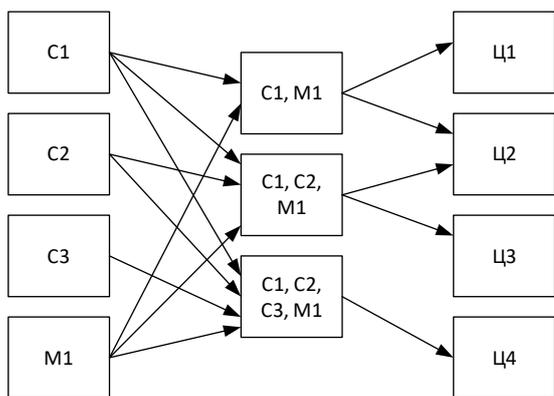


Рисунок 3 – Комбинация средств и методов достижения целей

Ц1 – объединение информации о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных датчиков-измерителей;

Ц2 – объединение объединенной информации от датчиков-измерителей с информацией в сети;

Ц3 – обеспечение непрерывности и достоверности информации о прогнозируемых процессах при переходах границ смежных зон датчиков-измерителей;

Ц4 – обеспечение учета особенностей протоколов информационного обмена потребителей.

Средства представляют собой технические или математико-алгоритмические составные части для построения информационной системы:

C1 – информационная система сетевой структуры;

C2 – алгоритмы системного уровня, обеспечивающие функционирование информационной системы в целом;

C3 – алгоритмы выдачи информации в соответствии с требованиями потребителей.

M1 – метод сетевой обработки информации, в том числе обработки информации по неполным данным от датчиков-измерителей.

В работе показано последовательное достижение целей Ц1...Ц4 с применением метода сетевой обработки, с разработкой и усовершенствованием средств С1...С3. Цели, метод и средства в ходе исследования подразделялись по необходимости на разновидности, направленные на решение проблем (рис. 2).

Предложена феноменологическая модель информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах пространственно разнесенными, некогерентными дискретными датчиками-измерителями (ДИ) (рис. 4.).

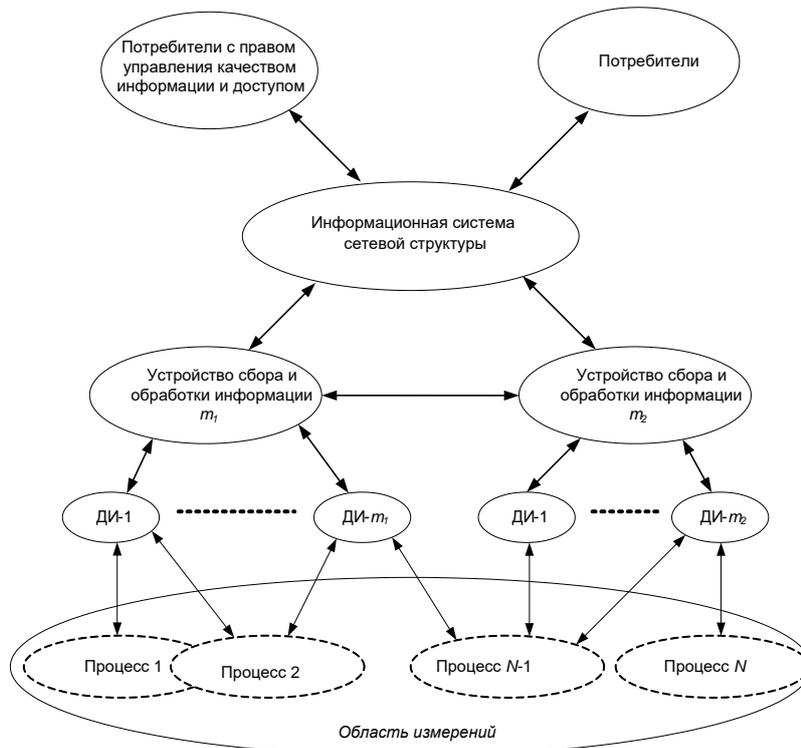


Рисунок 4 – Феноменологическая модель информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах пространственно разнесенными некогерентными дискретными датчиками-измерителями (ДИ)

2. Объединение информации от разнородных датчиков-измерителей и синхронизация объединенной информации с информацией сети производится на устройствах сбора и обработки информации (серверах).

3. Информационные протоколы любых датчиков-измерителей информации о прогнозируемых процессах преобразуются к единому протоколу также на устройствах сбора и обработки. Данные в сети приобретают однородность по представлению информации в сети.

4. На устройствах сбора и обработки информации (серверах) в составе СПО также имеются алгоритмы более высокого, системного уровня, решающие задачи организации правильного обмена информации в сети (удаление повторяющейся, устаревшей информации, обеспечение самовосстановления сети при отказах линий передачи данных и др.).

Совокупность СПО информационной системы, находящегося на простран-

Здесь необходимо отметить следующие особенности обработки и построения структуры информационной системы:

1. Сетевая структура информационной системы образована только устройствами (серверами) сбора и обработки информации, на которых находится специализированное программное обеспечение (СПО), унифицированное для всех устройств сбора и обработки информации. Эта особенность позволяет решать задачи импортозамещения и изолированности информационной системы от сетей общего пользования.

ственно разнесенных серверах и синхронизированное по времени, является **распределенным векторным вычислителем (РВВ)**. Синхронизированный массив данных о воздушных объектах, образованный СПО РВВ и обновляющийся с поступлением каждого нового сообщения от датчиков-измерителей, является **динамическим массивом однородных данных о наблюдаемых прогнозируемых процессах**.

Обновление данных в массиве и их синхронизация в сети в соответствии с показаниями датчиков-измерителей осуществляется распределенным векторным вычислителем. Область применения распределенного векторного вычислителя можно выделить на феноменологической модели информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах дискретными датчиками-измерителями (рис. 5).

Данные о прогнозируемых процессах, получаемые датчиками-измерителями,

обрабатываются и об-

новляются с помощью рас-

пределенного векторного

вычислителя, и представ-

ляют собой однородный ди-

намический массив. В целях

уменьшения времени обра-

ботки больших объемов ин-

формации массив однород-

ных данных может быть

представлен в виде обновля-

емых матриц. Управление

качеством информации

также осуществляется по-

средством распределенного

векторного вычислителя.

Предназначенное для управ-

ления качеством информа-

ции СПО находится на ком-

пьютерах потребителей с

правом управления каче-

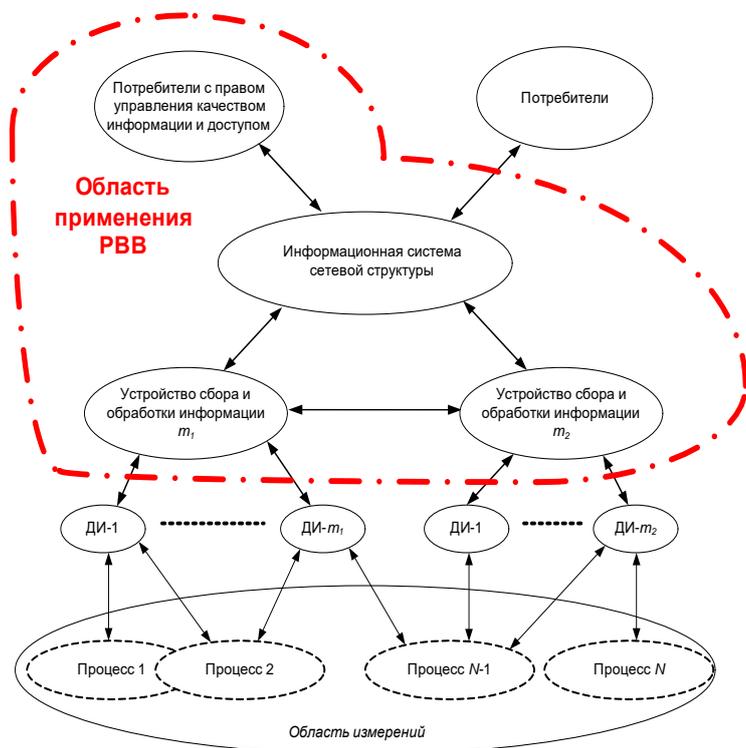
ством информации и правом

доступа, и на устройствах

сбора и обработки информа-

ции.

Рисунок 5 – Феноменологическая модель информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах дискретными датчиками-измерителями с выделенной областью применения распределенного векторного вычислителя (РВВ)



Обычные потребители права доступа к управлению качеством информации не имеют. Параметрами, влияющими на управление качеством информации в информационной системе, являются параметры обработки и экстраполяции прогнозируемых процессов, в основном это вероятностные характеристики областей объединения информации от датчиков-измерителей. На управление качеством информации в сетевой информационной системе также оказывает влияние ограничение доступа обычных потребителей к информации, имеющейся в сети – к определенным датчикам-измерителям, к определенной области пространства, области измеряемых параметров – температуры, давления, влажности и т.п.

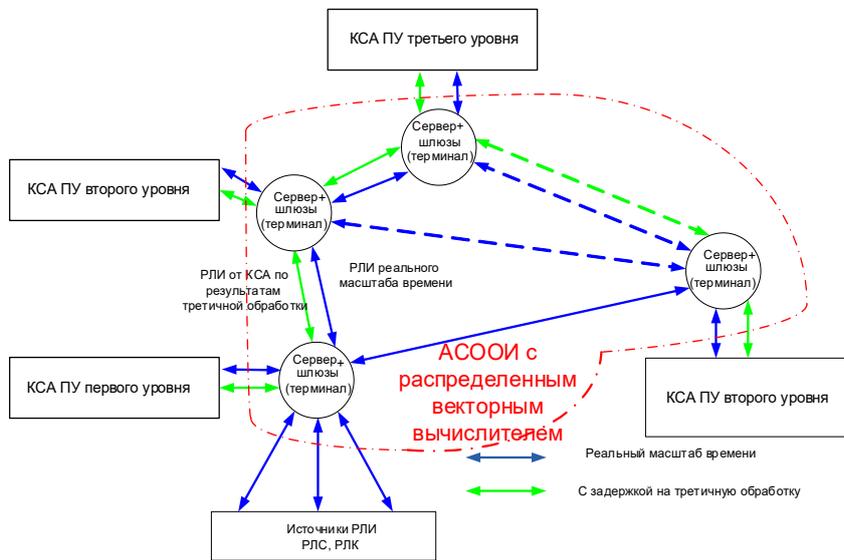


Рисунок 6 – Структурная схема комбинированной информационной системы контроля воздушного пространства

построения сетцентрической информационной системы представлен еще один способ подключения АСООИ к перспективной системе контроля воздушного пространства, как вариант структурной схемы, в которой нет КСА в современном понимании (рис. 7). Обработка, отображение РЛИ и обмен информацией управления производятся с помощью комплексов средств управления и отображения информации, находящихся на пунктах управления.

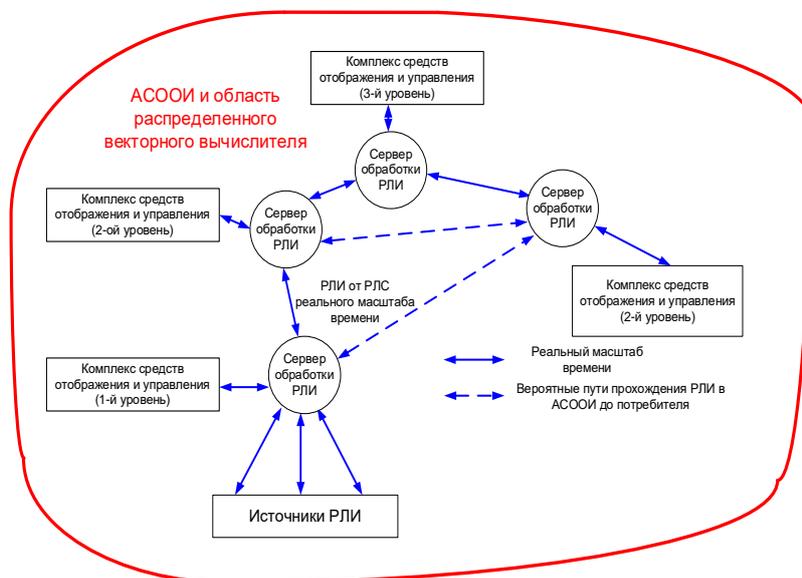


Рисунок 7 – Структурная схема обмена РЛИ в перспективной информационной системе сетевой структуры

управления и отображения после процедуры принятия решения. В этой структуре нет многоступенчатого прохождения информации от источников через узлы иерархической структуры.

Однородная сетевая структура АСООИ позволяет придать ей свойства самоорганизации и самовосстановления. В таком варианте представления феноменоло-

На основе феноменологической модели информационной системы сбора, обработки и обмена информацией сетевой структуры о прогнозируемых процессах дискретными датчиками-измерителями можно построить структурную схему комбинированной информационной системы контроля воздушного пространства (рис. 6), иллюстрирующую один из способов подключения АСООИ к существующей АСУ. В развитие логики

Часть функций обработки РЛИ передана в сетевую структуру – автоматизированную систему обработки и обмена информацией (АСООИ). Обмен информацией управления по-прежнему производится в логической иерархической структуре, технически и программно реализованной на основе сети.

Обмен РЛИ от источников происходит в сетевой структуре. Признаки управления информацией присваиваются информации, проходящей через комплексы

гическая модель с распределенным векторным вычислителем представлена наиболее полно.

Функции обработки РЛИ реализуются в сетевой структуре, а в органах управления находятся средства управления (принятия решения) и отображения.

Управление в системе производится всеми видами информационных средств и ресурсов. Примечателен тот факт, что вследствие малых задержек по времени при передаче информации другим, применение подобной структуры допускает исключение этапов повторной идентификации (опознавания) целей. Это приводит к ещё большему сокращению цикла управления, то есть проявляется синергетический эффект от применения структуры нового типа.

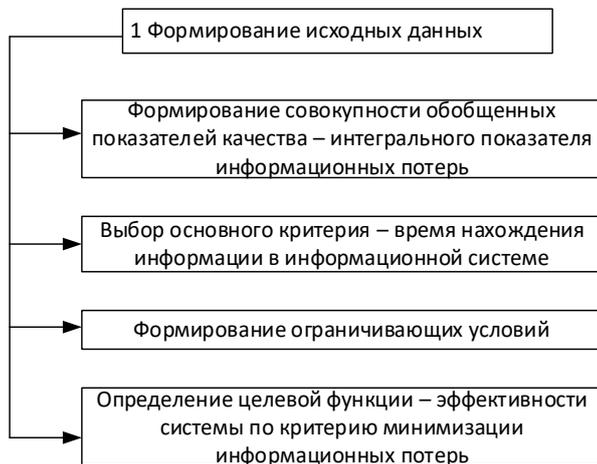


Рисунок 8 – 1-й этап метода сквозного синтеза

(рис. 9).

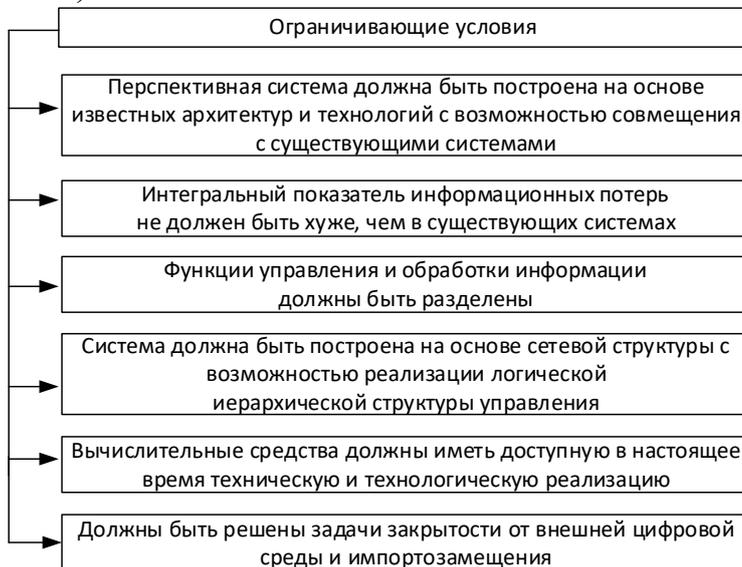


Рисунок 9 Формирование ограничивающих условий

формации в системе и его минимизация.

При разработке новых алгоритмов обработки и обмена информации в системе использовался эвристический метод синтеза с оптимизацией по выбранным критериям. Дополнительным критерием при разработке метода сетевой обработки информации выбран критерий минимизации количества ветвящихся решений (гипотез) при сравнении сообщений о воздушных объектах. В формализованном виде задачу структурно-параметрического синтеза информационной системы сетевой

Для построения информационной системы применен метод сквозного синтеза, состоящий из пяти этапов: формирование исходных данных, синтез принципиального решения, синтез общего решения, синтез частного решения и проверка функционирования системы. Содержание 1-го этапа показано на рис. 8.

К исходным данным также относится формирование и обоснование ограничивающих условий, полученных в результате онтологического, гносеологического, математико-алгоритмического и технического анализа исходных данных

Синтез принципиального решения на 2-ом этапе при решении задачи сквозного синтеза системы в данном случае не проводится, так как применение комбинации известных информационных структур и информационных технологий является одним из ограничивающих условий.

При синтезе общего решения (3-й этап) применен метод структурно-параметрического синтеза. Основным критерием явилось время нахождения ин-

структуры можно представить следующим образом.

Необходимо определить такое множество элементов структуры **SN**, множество связей между элементами **D**, множество методов анализа, обработки и обмена информацией **MI**, а также множество параметров **PRM** для каждого элемента структуры системы, при которых целевая функция эффективности \mathcal{E} достигает максимума

$$\{\mathbf{SN}, \mathbf{PRM}\} = \arg \max_{\mathbf{SN}, \mathbf{PRM}}(\mathcal{E}), \quad (6)$$

где $\mathbf{SN} = (\mathbf{O}, \mathbf{NA}, \mathbf{D}, \mathbf{MI})$, **O** – множество ограничивающих условий, **NA** – множество видов архитектур системы и их комбинаций;

при выполнении:

- множеств ограничений **SO** на связи между элементами структуры **SN**:

$$\mathbf{SO} = \{so_i\}, so_i \rightarrow \gamma_i(D) \subseteq \mathbf{D} \quad (7)$$

- множеств ограничений **PO** на область значений параметров:

$$\mathbf{PO} = \{po_i\}, po_i \rightarrow \begin{cases} \varphi_i(\mathbf{PRM}) = 0, \\ \varphi_i(\mathbf{PRM}) < 0, \\ \varphi_i(\mathbf{PRM}) \in \mathbf{PRM}_i \end{cases}, \quad (8)$$

- множеств ограничений **RO** на минимальные и максимальные границы значений оценок эффективности системы:

$$\mathbf{RO} = \{ro_i\}, so_i \rightarrow \beta_i^{\min} \leq \psi_i(\mathcal{E}) \leq \beta_i^{\max}, \quad (9)$$

где $\gamma_i(D)$ – функция, формирующая подмножество связей в соответствии с условием so_i , которые должны входить в сформированное множество **D**, $\varphi_i(\mathbf{PRM})$ – функция, преобразующая параметры системы к виду, в котором их можно использовать в равенствах, неравенствах или для проверки вхождения в некоторые подмножества \mathbf{PRM}_i , в основном связанных с выполнением временных ограничений при обработке и обмене информацией; $\psi_i(\mathcal{E})$ – функция, преобразующая целевую функцию эффективности или её отдельные компоненты для проверки соответствия минимальным β_i^{\min} и максимальным β_i^{\max} допустимым границам. Основные этапы структурно-параметрического синтеза представлены на рис. 10. Из этого рисунка видно, что решение задачи структурно-параметрического синтеза на 3-ем этапе метода сквозного синтеза является многокритериальным с одним основным критерием, для структурного и параметрического синтеза введены дополнительные критерии в соответствии с ограничивающими условиями.

В третьем разделе проводится анализ традиционного метода третичной обработки, вырабатываются требования к информационной системе сетевой структуры и обосновывается новый метод сетевой обработки, предназначенный для обработки информации в системах сетевой структуры. Осуществлен синтез алгоритма объединения РЛИ методом сетевой обработки. При анализе алгоритма третичной обработки выяснено, что допущение одновременного присутствия в этом алгоритме нескольких групп сообщений соответствуют принятию в обработку сообщений, находившихся в буфере.



Рисунок 10 – Основные этапы структурно-параметрического синтеза

$$P(\Delta U_{ir} \leq \Delta U_{cmp} \Delta S = 0) = \int_{-\infty}^{\infty} w(U_i) \left[\int_{U_i - \Delta U_{cmp}}^{U_i + \Delta U_{cmp}} w(\Delta U_{ir}) d\Delta U_{ir} \right] dU_i, \quad (10)$$

$$P(\Delta U_{ir} \leq \Delta U_{cmp} \Delta S \neq 0) = \int_{-\infty}^{\infty} w(U_i) \left[\int_{U_i - \Delta U_{cmp}}^{U_i + \Delta U_{cmp}} w(\Delta U_{ir} + \Delta S) d\Delta U_{ir} \right] dU_i, \quad (11)$$

где ΔU_{cmp} – размеры строга вокруг отметки от i -го источника; ΔU_{ir} – расстояние между отметками от i -го и r -го источников при условии, что отметки принадлежат одному и тому же объекту, при этом $\Delta S=0$, или если объекты разные и расстояние между объектами $\Delta S \neq 0$, w – функция плотности распределения вероятности отождествления.

Выражения (10-11) выполняются, если имеются сообщения по одному или двум воздушным объектам от двух источников, при этом полностью отсутствуют другие сообщения. Информация об отличии или сходстве этих двух объектов является априорным условием. В практической деятельности такую информацию априорно получить нельзя. Кроме того, показано, что размеры оптимального строга мало зависят от дисперсий ошибок оценки параметров σ_i^2 и σ_r^2 , и при оптимальных размерах строга вероятность правильного отождествления быстро увеличивается при увеличении ΔS_x . Это означает, что строб в данном алгоритме подбирается эмпирическим способом, что увеличивает его размеры и в последующем приводит к

Это означает, что разное время нахождения в буфере соответствует разным величинам ошибок экстраполяции и соответственно приводит только к эмпирическому определению величины строга при объединении и не может удовлетворять точному теоретическому обоснованию вероятности объединения РЛИ. Это показано при пояснении математических выражений для условной вероятности отождествления при третичной обработке (Кузьмин, С.З. Основы цифровой обработки радиолокационной информации / С.З.Кузьмин. – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.):

увеличению количества попарных сравнений при точном отождествлении, и соответственно, к задержкам при обработке и ухудшению достоверности информации.

Ветвящиеся решения, присутствующие в алгоритме третичной обработки в одном узле, также возникают на уровне иерархической структуры в целом, когда на вероятность отождествления (размер строга точного отбора) и на время нахождения информации в системе при прохождении информации по всем уровням иерархии в рамках одного временного цикла обработки в системе влияют ошибки пересчетов координат, ошибки экстраполяции, задержки времени на уточнение данных и управления источниками и т.п. Поэтому с течением времени условия для выражений вероятности отождествления, после прохождения нескольких уровней и узлов системы изменятся, и они станут некорректными. Собственно, именно введение условий для выражений (10-11) и определяет границы применения, достоинства и недостатки принятой схемы информационной системы иерархической структуры с традиционным алгоритмом третичной обработки.

Способом обработки и реализованным на его основе алгоритмом без ветвящихся решений является метод сетевой обработки радиолокационной информации в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления. Основные этапы обработки РЛИ в соответствии с ним показаны на блок-схеме алгоритма сетевой обработки (рис. 11).

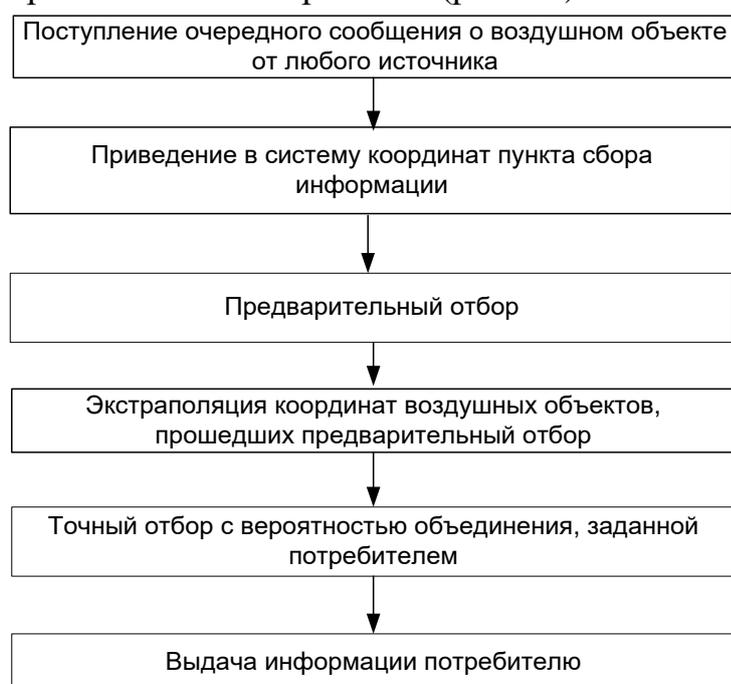


Рисунок 11 – Этапы метода сетевой обработки РЛИ

Основными особенностями алгоритма являются:

– одновременно обрабатывается только одно сообщение, от начала до конца алгоритма. Окончанием алгоритма является выдача обработанного сообщения потребителю или в сеть. Командой для начала выполнения алгоритма является факт поступления сообщения от любого источника на пункт сбора и обработки информации;

– предварительный отбор и последующая экстраполяция проводятся по одному, только что поступившему сообщению. Объекты для сравнения и экстраполяции

берутся из массива уже обработанных ранее сообщений (полностью прошедших алгоритм обработки и объединения).

В традиционном алгоритме третичной обработки экстраполяция проводится перед этапом грубого отождествления и возможна для нескольких сообщений (трасс воздушных объектов). Это означает, что алгоритм изначально предполагает присутствие ветвящихся решений, а также поступление информации о воздушных объектах из некоторого буфера сообщений, то есть с возможной задержкой.

Если полагать, что каналы передачи РЛИ от источников до пункта сбора и обработки информации являются высокоскоростными, а время обработки одного сообщения пренебрежимо мало по сравнению с периодом обновления РЛИ и по

сравнению с задержкой при обмене в сети, то в алгоритме сетевой обработки при объединении РЛИ от разных источников экстраполяция поступившего сообщения не требуется.

Кроме того, из-за существенного уменьшения временных задержек при обработке появляется возможность более точного определения размеров стробов при объединении, чем при третичной обработке.

Сравнение методов третичной и сетевой обработки по количеству обрабатываемых гипотез приводит к следующему:

– Метод совместной (третичной) обработки: после этапа экстраполяции количество обрабатываемых гипотез $N_{\text{гип}} = (M!)^{m-1}$, где M – количество сопровождаемых ВО, m – количество сообщений в стробе (количество РЛС минус 1);

– Метод сетевой обработки на этапе точного отбора $N_{\text{гип}} = (m - 1)$ (при предварительном отборе сравнение гипотез не производится).

Так, для трёх РЛС и 6-ти одновременно наблюдаемых ими воздушных объектов количество гипотез для метода совместной (третичной) обработки будет равно 518 400, для 10-ти ВО составляет $3,632 \times 10^9$, на этапе точного отождествления 2160 и $10,8864 \times 10^6$ соответственно.

Для разработанного метода количество гипотез на этапе точного отбора для трёх РЛС $N_{\text{гип}} \leq 2$ для каждого поступившего сообщения о воздушном объекте, то есть для 18 сообщений о 6-ти ВО общее количество гипотез будет равно 36, для 30 сообщений о ВО в случае 10-ти сопровождаемых трасс ВО тремя РЛС – 60. Все сообщения обрабатываются последовательно.

Изменение последовательности этапов и критериев алгоритма объединения информации при сетевой обработке по сравнению с третичной обработкой существенным образом влияет на скорость обработки при объединении РЛИ и в большей мере отвечает требованиям уменьшения времени на обработку информации, особенностям построения сетевой структуры и особенностям прохождения информации в ней, чем классическая третичная обработка, предназначенная для функционирования в иерархической структуре.

Далее, проведена оценка вероятности правильного объединения сообщений от разных источников на этапе объединения. Предполагается, что ошибки измерения координат источников соответствуют нормальному закону. Тогда плотность распределения вероятности ошибок измерения координат x_1 и x_2 сообщений, поступающих от источников № 1 и № 2, будет иметь вид:

$$f_1(x_1) = \frac{1}{\sigma_{x_1} \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(x_1 - \bar{x}_1)^2}{2\sigma_{x_1}^2} \right), \quad f_2(x_2) = \frac{1}{\sigma_{x_2} \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} \right) \quad (12, 13)$$

где σ_{x_1} , σ_{x_2} – среднеквадратические отклонения (СКО) измеренных координат x_1 источниками № 1 и № 2 от истинного значения; \bar{x}_1 , \bar{x}_2 – математические ожидания случайных величин (СВ) x_1 , x_2 .

Плотность распределения вероятности, как модуля разности случайных величин $\Delta x = |x_1 - x_2|$ определяется выражением:

$$f(\Delta x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_2(x_2) [f_1(x_2 + \Delta x) + f_1(x_2 - \Delta x)] dx_2. \quad (14)$$

Из выражений (12-14) получено выражение для плотности распределения вероятности случайной величины Δx :

$$f(\Delta x) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_1}\sigma_{x_2}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2 - \bar{x}_2 + \Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2 - \bar{x}_1 - \Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 \right] \quad (15)$$

Плотности распределения вероятности случайных величин Δy и Δz , соответственно, определяются выражениями:

$$f(\Delta y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{y_1}\sigma_{y_2}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(y_2 - \bar{y}_2)^2}{2\sigma_{y_2}^2} - \frac{(y_2 - \bar{y}_2 + \Delta y)^2}{2\sigma_{y_1}^2}\right) dy_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(y_2 - \bar{y}_2)^2}{2\sigma_{y_2}^2} - \frac{(y_2 - \bar{y}_1 - \Delta y)^2}{2\sigma_{y_1}^2}\right) dy_2 \right]; \quad (16)$$

$$f(\Delta z) = \frac{1}{2\pi\sigma_{z_1}\sigma_{z_2}} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(z_2 - \bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z_2}^2} - \frac{(z_2 - \bar{z}_2 + \Delta z)^2}{2\sigma_{z_1}^2}\right) dz_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(z_2 - \bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z_2}^2} - \frac{(z_2 - \bar{z}_1 - \Delta z)^2}{2\sigma_{z_1}^2}\right) dz_2 \right]. \quad (17)$$

Если потребителем задана вероятность правильного объединения $P_{\text{объед}}$, то решается задача нахождения пределов интегрирования Δx , Δy , Δz для определения размеров строга точного отбора по известной вероятности объединения:

$$P_{\text{объед}} \Delta x = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_1}\sigma_{x_2}} \int_{-\infty}^{\Delta x} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2 - \bar{x}_1 + \Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{2\sigma_{x_2}^2} - \frac{(x_2 - \bar{x}_1 - \Delta x)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right) dx_2 \right] d\Delta x; \quad (18)$$

$$P_{\text{объед}} \Delta y = \frac{1}{2\pi\sigma_{y_1}\sigma_{y_2}} \int_{-\infty}^{\Delta y} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(y_2 - \bar{y}_2)^2}{2\sigma_{y_2}^2} - \frac{(y_2 - \bar{y}_1 + \Delta y)^2}{2\sigma_{y_1}^2}\right) dy_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(y_2 - \bar{y}_2)^2}{2\sigma_{y_2}^2} - \frac{(y_2 - \bar{y}_1 - \Delta y)^2}{2\sigma_{y_1}^2}\right) dy_2 \right] d\Delta y; \quad (19)$$

$$P_{\text{объед}} \Delta z = \frac{1}{2\pi\sigma_{z_1}\sigma_{z_2}} \int_{-\infty}^{\Delta z} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(z_2 - \bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z_2}^2} - \frac{(z_2 - \bar{z}_1 + \Delta z)^2}{2\sigma_{z_1}^2}\right) dz_2 + \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(z_2 - \bar{z}_2)^2}{2\sigma_{z_2}^2} - \frac{(z_2 - \bar{z}_1 - \Delta z)^2}{2\sigma_{z_1}^2}\right) dz_2 \right] d\Delta z. \quad (20)$$

Решение этой задачи возможно численными методами. Результатом решения является определение величин Δx , Δy , Δz , которые и определяют размеры строга точного отбора при заданной вероятности объединения.

При объединении РЛИ от двух РЛС и двух ВО гипотезы о принадлежности сообщений J_{11} , J_{12} и J_{21} (последняя цифра индекса – номер РЛС) формулируются следующим образом:

– гипотеза H_1 : сообщения J_{11} и J_{12} относятся к одному объекту, а J_{21} – к другому;

– гипотеза H_2 : сообщения J_{21} и J_{12} относятся к одному объекту, а J_{11} – к другому.

Решение о выборе гипотезы H_1 или H_2 принимается по критерию максимума правдоподобия, то есть должно быть определено максимальное значение функции правдоподобия гипотез.

Правило принятия решения об объединении формулируется в следующем виде:

Если

$$\left[\left(\frac{\Delta x_{1312}^2}{\sigma_{x_3}^2 + \sigma_{x_2}^2} - \frac{\Delta x_{1112}^2}{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2} \right) + \left(\frac{\Delta y_{1312}^2}{\sigma_{y_3}^2 + \sigma_{y_2}^2} - \frac{\Delta y_{1112}^2}{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2} \right) + \left(\frac{\Delta z_{1312}^2}{\sigma_{z_3}^2 + \sigma_{z_2}^2} - \frac{\Delta z_{1112}^2}{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2} \right) + \left(\frac{\Delta V_{x_{1312}}^2}{\sigma_{V_{x_3}}^2 + \sigma_{V_{x_2}}^2} - \frac{\Delta V_{x_{1112}}^2}{\sigma_{V_{x_1}}^2 + \sigma_{V_{x_2}}^2} \right) + \left(\frac{\Delta V_{y_{1312}}^2}{\sigma_{V_{y_3}}^2 + \sigma_{V_{y_2}}^2} - \frac{\Delta V_{y_{1112}}^2}{\sigma_{V_{y_1}}^2 + \sigma_{V_{y_2}}^2} \right) + \left(\frac{\Delta V_{z_{1312}}^2}{\sigma_{V_{z_3}}^2 + \sigma_{V_{z_2}}^2} - \frac{\Delta V_{z_{1112}}^2}{\sigma_{V_{z_1}}^2 + \sigma_{V_{z_2}}^2} \right) \right] > 0, \quad (21)$$

то принимается гипотеза H_1 , в противном случае принимается гипотеза H_2 .

Совместная вероятность $P_{\text{объед}}$ правильного объединения объектов может быть представлена в форме:

$$P_{\text{объед}} = \frac{1}{(2\pi)^3 \sqrt{|\Psi_{12}|}} \left[\left(\int_0^{\Delta x} \int_0^{\Delta y} \int_0^{\Delta z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta x^2}{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2} + \frac{\Delta y^2}{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2} + \frac{\Delta z^2}{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2} \right) \right] d\Delta x d\Delta y d\Delta z \right) \left(\int_0^{\Delta V_x} \int_0^{\Delta V_y} \int_0^{\Delta V_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta V_x^2}{\sigma_{V_{x_1}}^2 + \sigma_{V_{x_2}}^2} + \frac{\Delta V_y^2}{\sigma_{V_{y_1}}^2 + \sigma_{V_{y_2}}^2} + \frac{\Delta V_z^2}{\sigma_{V_{z_1}}^2 + \sigma_{V_{z_2}}^2} \right) \right] d\Delta V_x d\Delta V_y d\Delta V_z \right) \right], \quad (22)$$

где Ψ_{12} – корреляционная матрица ошибок источников № 1 и 2. В выражении (22) пределы интегрирования по координатам и составляющим скоростей Δx , Δy , Δz , ΔV_x , ΔV_y , ΔV_z определяются в соответствии с вероятностью объединения информации, определяемой потребителем. Эти данные используются в качестве исходных для вычисления размеров строка точного отбора.

Полагая, что плотность распределения вероятности симметрична относительно оси ординат и что выражение для модуля принимает только положительные значения, то для дальнейшего преобразования выражения (22) можно применить функцию Лапласа вида:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (23)$$

Если обозначить $t_x = \frac{\Delta x}{\sigma_x}$, $t_y = \frac{\Delta y}{\sigma_y}$, $t_z = \frac{\Delta z}{\sigma_z}$, то выражение для вероятности объединения по трем координатам будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{объед}} = \frac{2\Phi(\Delta x)}{\sigma_x} \frac{2\Phi(\Delta y)}{\sigma_y} \frac{2\Phi(\Delta z)}{\sigma_z}, \quad (24)$$

где $\sigma_x = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2}$, $\sigma_y = \sqrt{\sigma_{y_1}^2 + \sigma_{y_2}^2}$, $\sigma_z = \sqrt{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2}$ соответственно,

или

$$P_{\text{объед}} = 8 \frac{\Phi(\Delta x)}{\sigma_x} \frac{\Phi(\Delta y)}{\sigma_y} \frac{\Phi(\Delta z)}{\sigma_z}. \quad (25)$$

Суммарное выражение для многомерной вероятности объединения по трем координатам и трем составляющим скоростей имеет вид:

$$P_{\text{объед}} = 64 \frac{\Phi(\Delta x)}{\sigma_x} \frac{\Phi(\Delta y)}{\sigma_y} \frac{\Phi(\Delta z)}{\sigma_z} \frac{\Phi(\Delta V_x)}{\sigma_{V_x}} \frac{\Phi(\Delta V_y)}{\sigma_{V_y}} \frac{\Phi(\Delta V_z)}{\sigma_{V_z}}. \quad (26)$$

В четвертом разделе разработан и совершенствуется научно-методический аппарат обработки РЛИ в информационной системе сетевой структуры. В рамках этого научно-методического аппарата разработаны алгоритмы и частные методики обработки РЛИ с применением математического аппарата матричной алгебры на сервере информационной системы сетевой структуры: сбора, объединения, обновления, подготовки к выдаче и выдаче РЛИ потребителю, а также внесения изменений о ВО в динамические массивы данных и восстановления данных о ВО в этих массивах.

Данные о воздушной обстановке представляются в виде исходной матрицы $\mathbf{A}(t)$, объединяющих матрицы данных от источников РЛИ № $1 \dots m$:

$$\mathbf{A}(t) = \left\{ \mathbf{A}(t)^{(1)} \cup \mathbf{A}(t)^{(2)} \cup \dots \cup \mathbf{A}(t)^{(m)} \right\} = \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_{N_1}^{(1)} & x_1^{(2)} & \dots & x_{N_2}^{(2)} & \dots & x_1^{(m)} & \dots & x_{N_m}^{(m)} \\ y_1^{(1)} & \dots & y_{N_1}^{(1)} & y_1^{(2)} & \dots & y_{N_2}^{(2)} & \dots & y_1^{(m)} & \dots & y_{N_m}^{(m)} \\ z_1^{(1)} & \dots & z_{N_1}^{(1)} & z_1^{(2)} & \dots & z_{N_2}^{(2)} & \dots & z_1^{(m)} & \dots & z_{N_m}^{(m)} \\ V_{x_1}^{(1)} & \dots & V_{x_{N_1}}^{(1)} & V_{x_1}^{(2)} & \dots & V_{x_{N_2}}^{(2)} & \dots & V_{x_1}^{(m)} & \dots & V_{x_{N_m}}^{(m)} \\ V_{y_1}^{(1)} & \dots & V_{y_{N_1}}^{(1)} & V_{y_1}^{(2)} & \dots & V_{y_{N_2}}^{(2)} & \dots & V_{y_1}^{(m)} & \dots & V_{y_{N_m}}^{(m)} \\ V_{z_1}^{(1)} & \dots & V_{z_{N_1}}^{(1)} & V_{z_1}^{(2)} & \dots & V_{z_{N_2}}^{(2)} & \dots & V_{z_1}^{(m)} & \dots & V_{z_{N_m}}^{(m)} \\ n_1^{(1)} & \dots & n_{N_1}^{(1)} & n_1^{(2)} & \dots & n_{N_2}^{(2)} & \dots & n_1^{(m)} & \dots & n_{N_m}^{(m)} \end{pmatrix}. \quad (27)$$

Распределенный векторный вычислитель \mathbf{F} с помощью разработанных алгоритмов обработки обеспечивает формирование и обновление однородного динамического массива локационных данных \mathbf{B} в автоматизированной системе обработки и обмена информацией в реальном масштабе времени (28). Массив данных \mathbf{B} содержит только неповторяющуюся и актуальную по времени информацию о воздушных объектах.

Схемы алгоритмов формирования исходной матрицы сервера $\mathbf{A}(t)$, замены столбца в матрице источника при получении очередного сообщения о сопровождаемом объекте, формирования результирующей матрицы сервера $\mathbf{B}(t)$, содержащей однородный динамический массив данных; алгоритма формирования результирующей матрицы сервера при нарушениях в работе линии передачи данных и алгоритма формирования выходной матрицы потребителя представлены на рис. 12-16.

$$F(\mathbf{A}(t)) \Rightarrow \mathbf{B}(t) = \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & \dots & x_{N_1}^{(1)} & x_1^{(2)} & \dots & x_{N_2}^{(2)} & \dots & x_1^{(q)} & \dots & x_{N_q}^{(q)} \\ y_1^{(1)} & \dots & y_{N_1}^{(1)} & y_1^{(2)} & \dots & y_{N_2}^{(2)} & \dots & y_1^{(q)} & \dots & y_{N_q}^{(q)} \\ z_1^{(1)} & \dots & z_{N_1}^{(1)} & z_1^{(2)} & \dots & z_{N_2}^{(2)} & \dots & z_1^{(q)} & \dots & z_{N_q}^{(q)} \\ V_{x_1}^{(1)} & \dots & V_{x_{N_1}}^{(1)} & V_{x_1}^{(2)} & \dots & V_{x_{N_2}}^{(2)} & \dots & V_{x_1}^{(q)} & \dots & V_{x_{N_q}}^{(q)} \\ V_{y_1}^{(1)} & \dots & V_{y_{N_1}}^{(1)} & V_{y_1}^{(2)} & \dots & V_{y_{N_2}}^{(2)} & \dots & V_{y_1}^{(q)} & \dots & V_{y_{N_q}}^{(q)} \\ V_{z_1}^{(1)} & \dots & V_{z_{N_1}}^{(1)} & V_{z_1}^{(2)} & \dots & V_{z_{N_2}}^{(2)} & \dots & V_{z_1}^{(q)} & \dots & V_{z_{N_q}}^{(q)} \\ n_1^{(1)} & \dots & n_{N_1}^{(1)} & n_1^{(2)} & \dots & n_{N_2}^{(2)} & \dots & n_1^{(q)} & \dots & n_{N_q}^{(q)} \end{pmatrix}. \quad (28)$$

На рис. 12-16 матрицы \mathbf{A} , \mathbf{E} , \mathbf{F} и другие являются вспомогательными, булевыми или промежуточными, с помощью правил формирования матриц и известных действий из математического аппарата матричной алгебры (знак « \otimes » обозначает произведение Адамара-Шура) осуществляется формирование и преобразование матриц с требуемой информацией. Из метода сетевой обработки синтезирована

схема укрупненного алгоритма сетевой обработки (рис. 17), в котором выделены действия с массивами данных, которые впоследствии представлены матрицами.

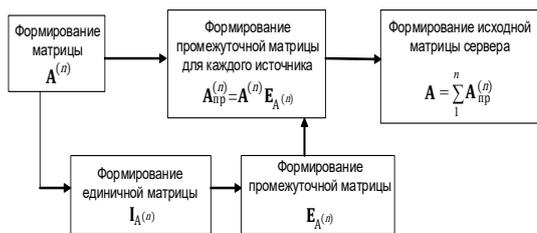


Рис. 12 – Схема алгоритма формирования исходной матрицы сервера A

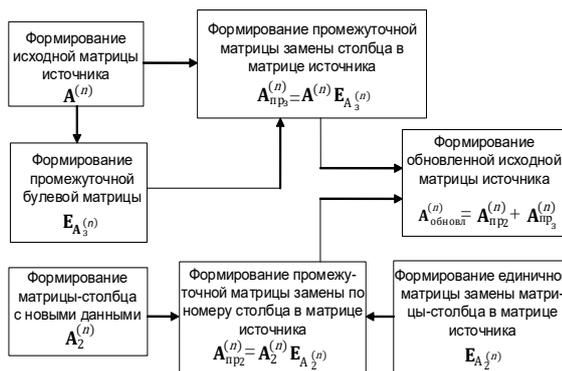


Рисунок 13 – Схема алгоритма замены столбца в матрице источника при получении очередного сообщения о сопровождаемом объекте

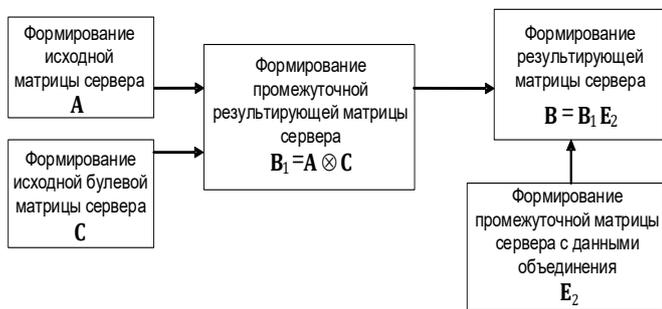


Рис. 14 – Схема алгоритма формирования результирующей матрицы сервера

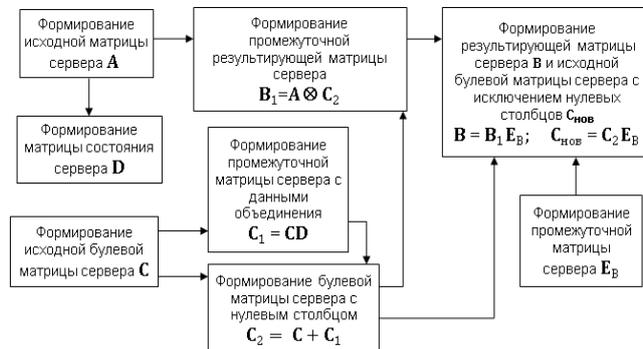


Рис. 15 – Схема алгоритма формирования результирующей матрицы сервера при нарушении в работе линии передачи данных

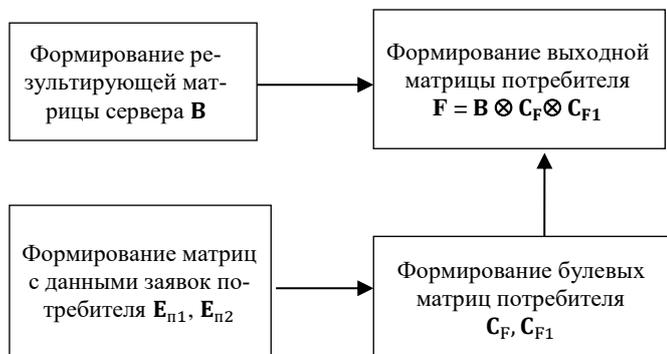


Рис. 16 – Схема алгоритма формирования выходной матрицы потребителя

Графики зависимости времени, затраченного на обработку, от числа обновляемых ВО в результирующей матрице сервера, приведен на рисунке 18. По условиям моделирования информация поступала от трех источников РЛИ. Графики показывают, что при достаточно малом числе трасс нет необходимости применять алгоритмически более сложный метод матричной замены сообщений в массивах данных сервера. Однако, с увеличением числа объектов свыше 500 наблюдается значительное отличие во времени обработки методом поэлементного поиска и методом, использующим матрицы. Значимый выигрыш во времени обработки, а следовательно, и в вычислительном ресурсе, наблюдается после увеличения числа обрабатываемых трасс от 1000 и более.

Сообщение по одному воздушному объекту представляется в виде столбца матрицы, элементы которой соответствуют координатам и составляющим скоростей воздушных объектов. Ветви построены по логическому принципу «или», то есть при обработке одного сообщения, от поступления до выдачи информации, выполняется только одна из ветвей.

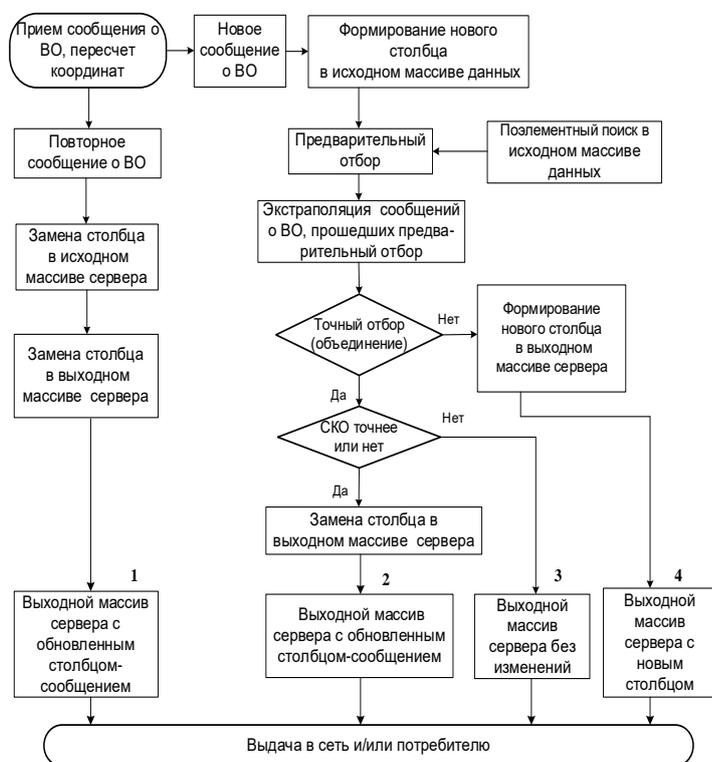


Рисунок 17 – Схема укрупненного алгоритма сетевой обработки

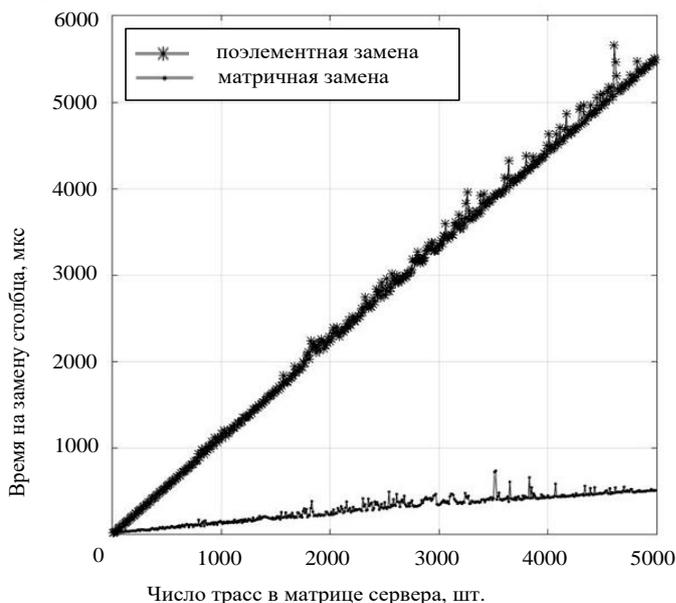


Рисунок 18 – Зависимость времени обработки массивов данных от числа обрабатываемых трасс ВО, полученная методамиazoleментной и матричной замены по ветвям алгоритма 1, 2 и 4

Исследована возможность технической реализации предложенных алгоритмов обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры, а также варианты взаимодействия информационных систем существующей иерархической структуры обмена информацией и перспективной сетевой структуры обмена РЛИ в АСУ.

Проведен сравнительный анализ пропускной способности комплексов связи

Ветвь 3 алгоритма сетевой обработки использует толькоazoleментный поиск при предварительном отборе, матрицы сервера не изменяются, поэтому результаты моделирования показывают одинаковое время обработки для обоих способов.

В пятом разделе проанализированы новые возможности перспективной информационной системы полносвязной сетевой структуры, в частности, применение абсолютных координат, использование нового метода обработки информации – агрегирования, проведено сравнение информационных систем иерархической и сетевой структур на предмет величины времени нахождения информации в системе с точки зрения временных задержек и с точки зрения информационной энтропии. Разработана методика оценки максимальной пропускной способности каналов обмена информацией в информационной системе сетевой структуры на основе информационно-энтропийного подхода с учетом оценки объема информации о ВО в существующих диапазонах РЛС, а также на основе временных задержек информации в системе. Разработаны предложения по построению информационных систем сетевой структуры на основе объединения «дейтацентрических» объектов. Проведен анализ информационных потоков в низкоскоростных каналах связи с целью определения степени применимости

различных типов, применяемых для управления в настоящее время, при максимальных уровнях абонентской нагрузки. В результате анализа обоснован выбор типа комплекса связи и применяемых алгоритмов коммутации речевых сообщений для использования в качестве цифрового шлюза речевой связи как составной части терминала информационной системы сетевой структуры.

Рассмотрено совместное использование метода сетевой обработки и метода агрегирования в информационной системе сетевой структуры. Агрегированное состояние получается разбиением по заданным правилам множества состояний объекта (группы, фрагмента группы) на ряд подмножеств. После проведения анализа подмножества состояний, может быть сформировано агрегированное состояние в целом. Это состояние в той или иной форме отражает наиболее общие свойства всех состояний конкретного подмножества. Совокупность агрегированных состояний, определенных заданными способами, может быть применена для распознавания реальных состояний группы объектов в качестве своеобразного эталона (или совокупности эталонов). Необходимо подчеркнуть, что метод агрегирования, основанный на теории нечетких множеств, не использует такие общепринятые в третичной обработке этапы объединения (отождествления) информации, например, как стробирование для выделения объектов сравнения. Агрегирование обеспечивает снижение информационных потерь, в том числе и в условиях информационной перегрузки, а также является одной из предпосылок применения элементов искусственного интеллекта.

Автоматизированная система обмена и обработки информации имеет сетевую структуру, и, следовательно, обмен информацией в сетевой структуре подвержен типовым недостаткам: чрезмерное накопление неконтролируемой информации, образование «петлей» информации, ширококовачательный «шторм», трудность организации восстановления сети и др. Для обеспечения функционирования сетевой структуры и решения проблем указанного типа предназначены *алгоритмы системного (сетевого), более высокого, чем обработка РЛИ в узлах сети, уровня.* Они представляют собой определенную совокупность известных стандартных алгоритмов и алгоритмов, разработанных специально для обеспечения каких-либо особых условий функционирования сети. Пример структурной схемы запатентованного алгоритма системного уровня приведен на рисунке 19.

Применение первичной маршрутизации данных позволяет доставлять РЛИ от одного узла сети к другому по кратчайшему пути. Это обеспечивает оптимальное использование пропускной способности сети при обмене информацией, а также быструю реакцию на изменение топологии сети. Первичная маршрутизация данных выполнена на основе протокола OSPF. Актуальность получаемой РЛИ зависит от времени регистрации данных в сети и времени локации воздушного объекта.

Первичная фильтрация направлена на отсеивание неактуальной информации, определяемой по времени регистрации данных в сети, а также петлевых данных по признакам источника. Отсеивание производится по результатам анализа соответствующих полей полученного IP-пакета. Первичная фильтрация реализована сетевым фильтром netfilter.

Дополнительный алгоритм фильтрации позволяет выявить и удалить некорректную и нежелательную для данного узла информацию по результатам анализа содержимого кодограммы РЛИ на основе характерных признаков (сетевые адреса

источников, узлов сети и номера источников трасс). Актуальность РЛИ в данном алгоритме определяется на основе времени локации.

Принцип работы дополнительного алгоритма маршрутизации РЛИ заключается в установлении запрета на передачу информации узлу, с которого отправляется дублирующая информация.



Рисунок 19 – Структурная схема алгоритма системного уровня обмена РЛИ

Таким образом, за счет объединения узлов в виртуальную одноранговую локальную сеть, связки двух алгоритмов фильтрации и двух алгоритмов маршрутизации сокращается время прохождения РЛИ в сети системы, исключается передача повторной информации, а также снижаются требования к пропускной способности линий связи и улучшаются показатели качества информации. Применение подобных комплексных алгоритмов позволяет использовать свойства сетевой структуры для создания самовосстанавливающейся сети, а также подключения потребителей и источников по принципу «plug-and-play».

Далее в диссертации проанализированы *результаты экспериментальных данных по определению зависимости времени задержки кодограмм от расположения ВО в зоне обнаружения РЛС при передаче РЛИ от ЭВМ через АПД по низкоскоростному каналу связи*, при нахождении определенного количества ВО в ограниченном секторе зоны обнаружения РЛС. На основании анализа результатов экспериментов сделан вывод, что для построения информационной системы сетевой структуры на практике необходимо обеспечить нормальное распределение на её входе и выходе, не допустить перехода нормального распределения в пуассоновское и тем самым нарушить функционирование системы, основанной на критерии минимизации времени нахождения информации в ней.

Практические рекомендации по обоснованию структуры построения терминала обработки РЛИ. Терминал обработки РЛИ может иметь различные варианты исполнения в зависимости от решаемых задач, пространственного размещения радиолокационных средств и пунктов управления, технических возможностей как систем связи и передачи данных, так и средств передачи данных источников и потребителей. Одним из наиболее оптимальных представляется вариант исполнения терминала обработки РЛИ, структурная схема которого показана на рисунке 20.

Терминал обработки РЛИ состоит из 3-х блоков: сервера обработки РЛИ, шлюза телекодовой информации (ТКИ) и шлюза речевой информации (РИ). Размеры каждого блока 19”3U, общий вес терминала не более 30 кг, потребляемая мощность не более 600 Вт, напряжение питания 27 В и 220 В. Вариант терминала

АСООИ реализован в фрагменте информационной системы полносвязной сетевой структуры в ходе проведения ОКР «Азалия».

Терминалы обработки РЛИ позволяют представить функциональные объекты структуры обмена информацией в функционально однородные («дейтацентрические») объекты, «прозрачные» с точки зрения сетевой структуры в аппаратном и программном плане.

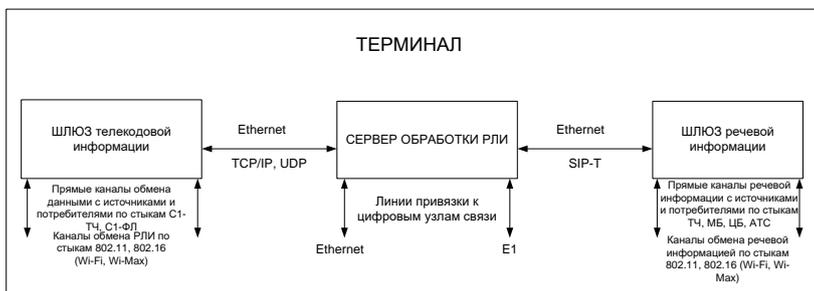


Рисунок 20 – Структурная схема терминала обработки РЛИ

Предлагаемая схема формирования объектов и включения их в общую сетевую структуру представлена на рисунке 21. В соответствии с предлагаемой схемой формирования

однородных объектов для подключения к сетевидной структуре достаточно подвести к каждому объекту только одну высокоскоростную линию обмена информацией. При условии её резервирования объект будет сохранять живучесть и возможность обмена РЛИ в сети. Терминалы позволяют обмениваться информацией по действующим протоколам и стыкам существующим средствам – источникам, потребителям на период одновременного функционирования существующей и сетевой систем без ограничений. Вместе с тем, в подобной сетевой структуре появляется совершенно новая возможность – обеспечения ситуационной осведомленности подключенных органов управления и потребителей информацией об обстановке в масштабе времени, близком к реальному.

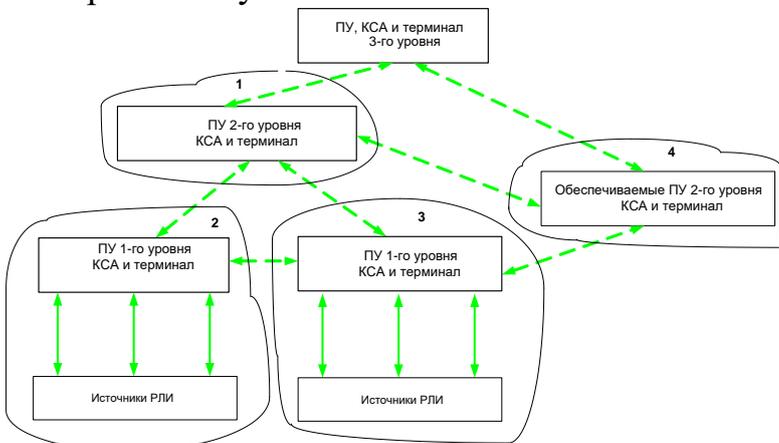


Рисунок 21 – Схема формирования функционально однородных (дейтацентрических) объектов 1-4

Современные технические возможности позволяют создавать подобные терминалы (шлюзы), обеспечивающие пропускную способность 2-4 Мбит/с типовым полевым кабельным линиям, по средствам сверхширокополосной радиосвязи. Суммарный трафик АСООИ обеспечивается возможностями магистральных цифровых сетей связи. Предложены и другие технические решения

например, с применением средств и систем спутниковой связи, позволяющие осуществлять сбор РЛИ для обработки на практически неограниченных удаленностях источников от потребителей.

Построение информационной системы сетевой структуры для обмена и обработки радиолокационной информации с точки зрения импортозамещения и закрытости от внешней среды. Соответственно, выглядит логичным основать структуру специализированной автоматизированной системы обработки и обмена информацией на узлах (серверах), имеющих в своей основе компьютеры с СПО обработки и маршрутизации, а каналы обмена информацией между серверами обеспечить с

помощью средств плездохронной иерархии, основанных на схеме «точка-точка». На рисунке 22 показан вариант построения структуры специализированной системы на основе серверов C1...C5, составляющих основу структуры, и содержащие СПО обработки, маршрутизации и конвертации логических протоколов.

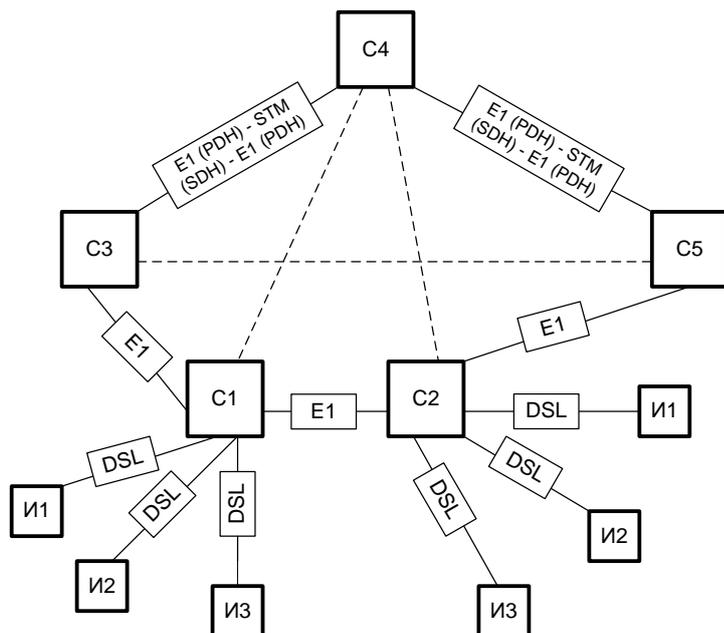


Рис. 22. Структура специализированной системы обработки и обмена данными

цифрового потока, для PDH систем существенным является ограничение по длине рабочего участка при работе по медным линиям, она составляет всего несколько километров в зависимости от скорости передачи информации. Для практической реализации важны два участка специализированной системы – участок сбора информации от источников до соответствующего узла (сервера) системы, и участки между серверами системы, имеющие большую протяженность – от нескольких десятков до сотен километров. Решение этих вопросов представляется по-разному для различных случаев, в каждом из которых предложен вариант решения.

В шестом разделе разработана имитационная модель сервера информационной системы сетевой структуры. С помощью математической модели исследуется эффективность и границы применимости разработанных алгоритмов сетевой обработки РЛИ на сервере.

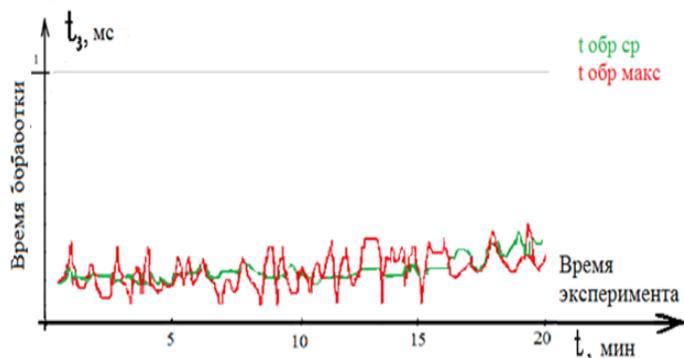


Рисунок 23 – График времени обработки информации о воздушной обстановке

Анализируется среднее и максимальное значения времени задержки при обработке, динамика их изменения в зависимости от данных о ВО, поступающих на сервер от источников РЛИ. На рисунке 23 представлен график времени задержки при обработке информации по 1000 ВО, поступающей от 5 РЛС. Среднее время обработки составляет 261 мкс, максимальное – 2 мс.

На рисунке 24 представлена ситуация воздушной обстановки, в которой моделируется движение ВО, осуществляющего маневры с различными перегрузками, при пересечении зон обнаружения нескольких РЛС. Радиус поворотов составляет 2,5 км. Значения скоростей движения

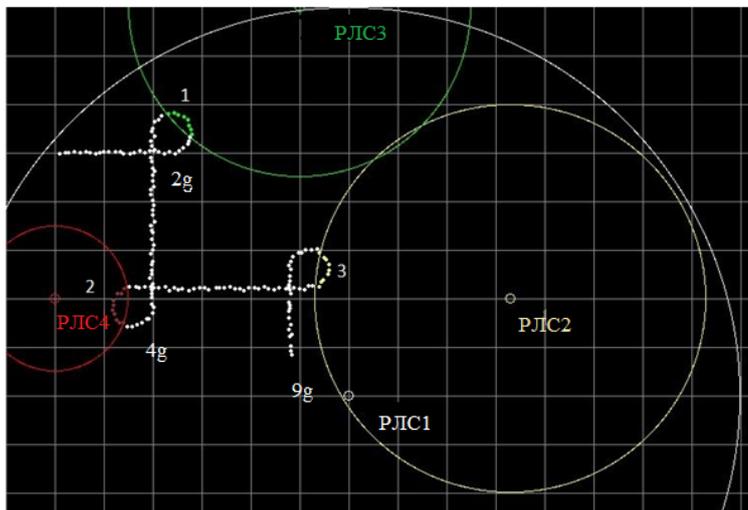


Рисунок 24 – Объединение РЛИ о ВО, осуществляющего маневр на границах зон обнаружения РЛС с переменной скоростью

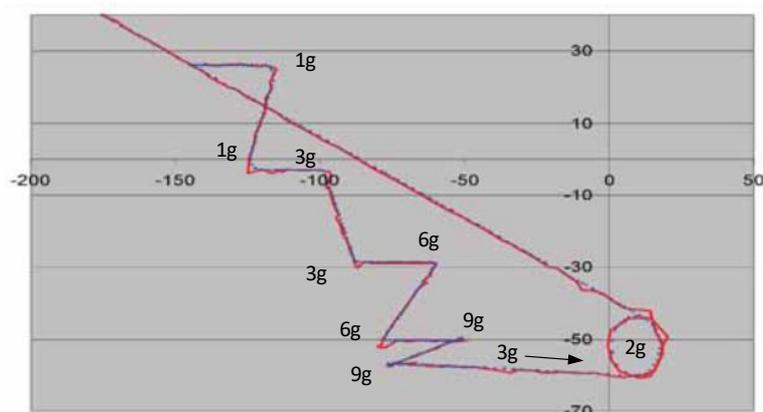


Рисунок 25 – Результаты проводки ВО устройством MRT корпорации Northrop Grumman

ВО на поворотах составляют: на первом – 800 км/ч, на втором – 1138 км/ч, на третьем – 1707 км/ч.

На рисунке 25 изображены результаты проводки ВО устройством MRT, разработанном в 2011 г. корпорацией Northrop Grumman, в ситуации воздушной обстановки, которая сравнима с воздушной обстановкой, приведенной на рисунке 24. Следует отметить, что в исследованных открытых зарубежных источниках отсутствует информация о времени задержки при обработке РЛИ, а также об алгоритмах, применяемых для обработки РЛИ в устройстве MRT.

В результате анализа экспериментальных результатов объединения информации от разнородных источников по неполным данным сделан вывод о возможности такого объединения, алгоритм сетевой обработки дополнен до-

полнительным этапом экстраполяции по неполным данным.

Система селекции малогабаритных малоскоростных воздушных объектов

Для решения задачи селекции МБПЛА на фоне птиц использовались алгоритмы трассовой обработки сетевой объединенной информации. В общем случае модель движения птицы можно представить как хаотичное движение в пространстве. Траектория птицы, в общем случае, состоит из большого числа маневров (участков, где меняется курс птицы), при этом участков траектории, на которых курс изменяется на большую величину меньше, чем участков, где курс изменяется более плавно. В результате проведенного анализа курс птицы предполагается считать случайным процессом, подчиняющемся закону распределения Симпсона (треугольный закон распределения), а скорость птицы – случайным процессом, подчиняющемся нормальному распределению. При построении модели движения МБПЛА предполагается, что МБПЛА имеет определенную цель полета, следовательно, его траектория по большей своей части состоит из участков прямолинейного движения, длительность которых много больше по сравнению с участками траекторией птицы. При этом модуль случайных отклонений МБПЛА меньше, чем для отклонений траекторий птиц. Таким образом, при синтезе алгоритма в качестве селектирующего признака МБПЛА и птицы предлагается использовать количество ма-

невров на некотором участке траектории: «медленный маневр» – путь курс объекта плавно изменяется от начального до конечного состояния за несколько обзоров

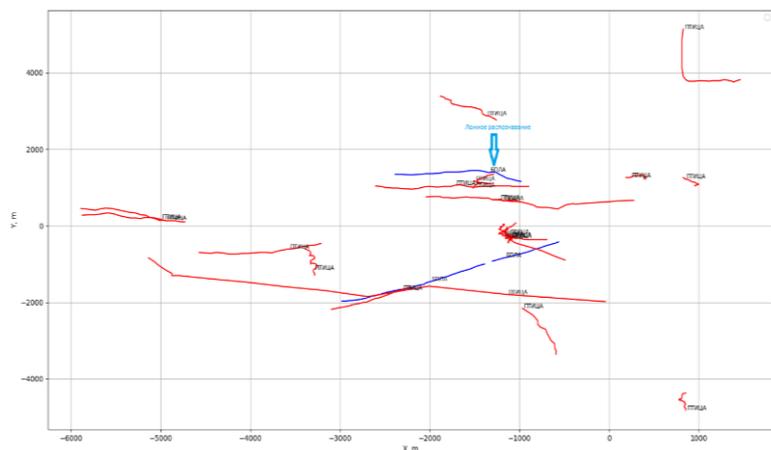


Рисунок 26 – Результат обработки сетевой объединенной информации системой селекции малогабаритных малоскоростных воздушных объектов (всего трасс: 25, неверно распознанных: 1, верно распознанных: 24)

РЛС, «быстрый маневр» – путь курс изменяется от начального до конечного состояния за один обзор РЛС. На рисунке 26 приведены результаты ряда натуральных экспериментов обработки сетевой объединенной информации системой селекции малогабаритных малоскоростных воздушных объектов. Средняя вероятность правильной селекции (распознавания) по результатам обработки составила не ниже 0,7.

К числу полученных лично автором значимых результатов следует отнести:

1. Новый, запатентованный метод сетевой обработки радиолокационной информации для применения в узлах (на серверах) информационных систем полносвязной сетевой структуры.

2. Запатентованный способ подключения серверов информационной системы сетевой структуры к существующим автоматизированным системам управления, входящим в состав больших радиолокационных систем.

3. Разработка новых и усовершенствованных методик и алгоритмов обработки РЛИ на серверах (в узлах) информационной системы сетевой структуры на основе математического аппарата матричной алгебры.

4. Обоснование метода объединения разнородной локационной информации от пространственно разнесенных некогерентных источников по неполным данным, позволяющего объединять разнородную информацию, в том числе в целях распознавания МБПЛА в масштабе времени, близком к реальному.

5. Запатентованный комплексный алгоритм обмена РЛИ в информационной системе сетевой структуры на системном уровне.

6. Обоснование феноменологической модели информационной системы сетевой структуры для сбора, обработки и обмена информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей; определены границы применимости модели по отношению к погрешностям экстраполяции прогнозируемых процессов.

7. Синтез методологии построения и на её основе реализация фрагмента информационной системы полносвязной сетевой структуры комбинированной схемы с применением разработанных методов, алгоритмов, способов подключения источников и потребителей РЛИ, и проведение его испытаний (в качестве главного конструктора ОКР).

При постановке задач и их исследовании в большинстве работ, патентов и свидетельств, опубликованных в соавторстве, автору принадлежит ведущая роль.

В заключении сформулированы основные выводы по диссертационной работе.

Основные результаты работы.

1. Разработан, теоретически обоснован и экспериментально подтвержден новый запатентованный метод обработки РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры, отличающийся от метода третичной обработки последовательностью этапов обработки и одновременной обработкой только одного сообщения от источника РЛИ. Метод обобщен для обработки разнородной информации о прогнозируемых процессах. Время обработки РЛИ при объединении не превышает сотен микросекунд.

2. Предложена феноменологическая модель информационной системы сетевой структуры для сбора, обработки и обмена информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей; определены границы применимости модели по отношению к погрешностям экстраполяции прогнозируемых процессов.

3. На основе методов системного анализа разработаны принципы, методы, этапы и алгоритмы построения информационной системы сетевой структуры для сбора, обработки и обмена информацией о прогнозируемых процессах от пространственно разнесенных некогерентных датчиков-измерителей.

4. Разработан запатентованный способ подключения информационной системы сетевой структуры к существующим и перспективным информационным системам различных видов структур.

5. Произведена математически строгая оценка вероятности правильного объединения РЛИ на сервере информационной системы сетевой структуры, а также осуществлено решение обратной задачи – вычисление размеров стробов точного отбора по заданной вероятности объединения.

6. Разработаны новые и усовершенствованы существующие частные методики и алгоритмы обработки РЛИ на сервере (в узле) информационной системы сетевой структуры на основе математического аппарата матричной алгебры.

7. Синтезирован и проверен экспериментально алгоритм объединения разнородной информации по неполным данным от пространственно разнесенных некогерентных источников, позволяющего объединять разнородную информацию для обеспечения задач распознавания МБПЛА в реальном масштабе времени.

8. Разработан новый запатентованный комплексный алгоритм, обеспечивающий в целом, на системном уровне обмен РЛИ в информационной системе сетевой структуры.

9. Предложена методология построения информационной системы сетевой структуры в предметной области обработки разнородной локационной информации. В соответствии с ней информационная система является подсистемой по отношению к автоматизированной системе управления и представляет собой сеть с распределенным векторным вычислителем, формирующим однородный динамический массив разнородной локационной информации. Функциональность векторного вычислителя реализуется на основе совокупности разработанных методов и алгоритмов обработки и обмена информации.

10. Реализовано построение фрагмента информационной системы полносвязной сетевой структуры комбинированной схемы на основе разработанной методологии. Экспериментально доказана возможность использования разработанных ме-

тодов обработки и обмена локационной информации для повышения эффективности информационных систем. Время нахождения локационной информации в системе не превышает нескольких сотен миллисекунд.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Пальгуев, Д.А. Концепция построения комплексов средств связи и передачи данных в РЛС / Д.А. Пальгуев, Е.М. Маминов // «Радиопромышленность». – 2008. – № 2 – с. 77-83.
2. Пальгуев Д.А. Сравнительная оценка эффективности информационных систем иерархической и сетевой структуры на основе энтропийного подхода / Д.А. Пальгуев / РТС, раздел «Радиотехнические и телекоммуникационные системы», № 1, 2020, с. 15-22 ISSN 2221-2574
3. Пальгуев Д.А., К вопросу оценки вероятности объединения радиолокационной информации при третичной обработке в сетевых структурах/ Д.А. Пальгуев, А.Н. Шентябин/ «Радиопромышленность», Т. 30, № 2, 2020 с. 32-41
4. Пальгуев Д.А., Применение матриц при обработке массивов динамически изменяющихся данных / Д.А. Пальгуев, В.Ю. Семенов/ Вестник Поволжского государственного технологического университета, Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы, № 2 (46), 2020, с. 31-43
5. Пальгуев Д.А., Матричный метод обработки массивов радиолокационных данных при третичной обработке / Д.А. Пальгуев, А.Н. Шентябин / Радиопромышленность, Т. 30, № 3, 2020 с. 99-111
6. Пальгуев Д.А., Вероятностные параметры объединения информации радиолокационных измерений от пространственно-разнесенных источников / Д.А. Пальгуев, Е.С. Фитасов, А.Б. Борзов, Г.Л. Павлов, Д.А. Васильев / РТС, раздел «Радиотехнические и телекоммуникационные системы», № 2, 2020, с. 14-23
7. Пальгуев Д.А., Информационная подсистема сбора, обработки и обмена радиолокационной информацией сетевой структуры / И.В. Грудинин, Д.А. Пальгуев, А.Н. Шентябин / Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, 2020, № 675, с.243-253
8. Пальгуев Д.А., К вопросу о третичной обработке радиолокационной информации в сетевых структурах / Д.А. Пальгуев, А.Н. Шентябин, А.Б. Борзов, Д.А. Васильев, Н.С. Морозов/ Вопросы радиоэлектроники, № 1, 2021. с. 21-29
9. Пальгуев Д.А., Сочетание алгоритмов обработки информации и структуры информационной системы как инструмент построения информационной системы сетевой структуры / Журнал «Радиопромышленность» т.31 № 2 2021. с.49-60
10. Пальгуев Д.А. Сравнительный анализ пропускной способности комплексов громкоговорящей и телефонной связи различной архитектуры в условиях максимальной нагрузки / Д.А. Пальгуев / Проектирование и технология электронных средств № 2, 2021, ISSN 2071-9809 с. 34-38
11. Пальгуев Д.А. Структура специализированной системы обмена и обработки радиолокационной информации с точки зрения импортозамещения и закрытости от внешней среды / Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева № 4 2022, с. 46-55
12. Пальгуев Д.А. Классификация специализированной автоматизированной системы обмена и обработки радиолокационной информации в соответствии с сетевыми моделями OSI и TCP/IP / Датчики и системы № 6 (265) 2022. с. 3-8.

13. Пальгуев Д.А. Особенности построения интегрированной цифровой телекоммуникационной сети обработки и обмена радиолокационной информации в едином информационном поле / Датчики и системы № 1 (266) 2023, с. 4-10.
14. Пальгуев Д.А. Система распознавания малоразмерных малоскоростных воздушных объектов по объединенной разнородной информации и неполным данным от пространственно-разнесенных датчиков // Д. А. Пальгуев, Е. С. Фитасов, А. Д. Ильясафов / Датчики и системы № 1 (266) 2023, с. 16-22.
15. Пальгуев Д.А. Система сбора, обработки и управления качеством информации сетевой структуры от пространственно разнесенных дискретных датчиков-измерителей о прогнозируемых процессах // Проектирование и технология электронных средств № 4, 2022, ISSN 2071-9809, с. 14-20.
16. Пальгуев Д.А. Распознавание воздушных объектов типа «птицы» по траекторным признакам / Пальгуев Д.А., Пархачёв В.В., Пиунов К.Н., Савельев Д.В., Васильев Д.А.// Радиотехнические и телекоммуникационные системы № 4 2022, с. 39-50.
17. Пальгуев Д.А. Структурно-параметрический синтез информационной системы сетевой структуры на этапе общего решения / Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева № 4 (143) 2023 г., с. 27-35.

Статьи в изданиях Scopus

18. Пальгуев Д.А. Экспериментальная оценка проекционного метода доплеровской фильтрации радиолокационных сигналов при обнаружении воздушных объектов с малыми радиальными скоростями / Фитасов Е.С., Леговцова Е.В. Д.А. Пальгуев, С.А. Козлов, А.Г. Саберов, А.Б. Борзов, Д.А. / Известия высших учебных заведений. Радиофизика. Т.64 № 4, 2021 г., с. 331-340

Статьи в других изданиях

19. Пальгуев, Д.А. Концепция построения комплексов средств связи и передачи данных (КСС и ПД) РЛС и РЛК /Д.А. Пальгуев, Е.М. Маминов // Журнал «Связь в Вооруженных Силах», ч. 3. –2008, с. 175.

Монографии, учебные пособия

20. Пальгуев Д.А. Применение отладочной платы Spartan– 3AN FPGA starter kitboard при проектировании радиотехнических систем / В.Ю. Семенов, В.В. Артемьев, Д.А. Пальгуев / Н. Новгород: Нижегородский университет, 2020 г. – 44 с.

Патенты

21. Пат.102269 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Автоматизированная система передачи радиолокационной информации / Пальгуев Д.А., Таныгин А.А.; заявл. 07.09.2010; опубл. 20.02.2011; Бюл. № 5.
22. Пат. 2461843 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Способ обработки радиолокационной информации в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления / Пальгуев Д.А., Таныгин А.А.; заявл. 29.04.2011; опубл. 20.09.2012; Бюл. № 26.
23. Пат. 125725 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Устройство обработки РЛИ в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления / Пальгуев Д.А., Таныгин А.А., Радаева А.С.;заявл. 02.10.2012; опубл.10.03.2013;Бюл.№ 7.
24. Пат. 135152 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01), G06F 13/00 (2006.01). Сервер сетевой информационной структуры / Пальгуев Д.А., Радаева А.С.; заявл. 24.06.2013; опубл. 27.11.2013; Бюл. № 33.
25. Пат. 2543068 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Сетевая автоматизированная система передачи радиолокационной информации / Пальгуев Д.А., Панкратов С.И.;

заявл. 27.11.2013; опубл. 27.02.2015; Бюл. № 6.

26. Пат. 159704 РФ, МПК H04B 7/00 (2006.01). Мобильная узловая станция спутниковой связи для совместной работы в стандартах «Full mesh» TDMA и QPSK / Пальгуев Д.А., Борцов Е.Н.; заявл. 08.09.2015; опубл. 20.02.2016; Бюл. № 5.

27. Пат. 2645154 РФ, МПК G01S 13/91 (2006.01). Способ сетевой обработки информации в автоматизированной системе обработки и обмена радиолокационной информацией / Пальгуев Д.А., Фитасов А.В.; заявл. 15.11.2016; опубл. 16.11.2018; Бюл. № 5.

28. Пат. 2594008 РФ, МПК H04B 7/12 (2006.1). Система частотно-временного разделения информационного ресурса / Пальгуев Д.А., Борцов Е.Н.; заявл. 06.05.2014; опубл. 10.08.2016; Бюл. № 22.

29. Свид. 2015662773 РФ. Программный модуль управления терминалом / Телешов Е.Н., Пальгуев Д.А.; опубл. 05.10.2015.

30. Свид. 2015662777 РФ. Программный модуль сервера обработки радиолокационной информации / Пальгуев Д.А., Радаева А.С., Краснова Е.И.; опубл. 05.10.2015.

31. Свид. 2015662778 РФ. Программный модуль дополнительной обработки радиолокационной информации / Борцов Е.Н., Пальгуев Д.А.; опубл. 05.10.2015.

32. Свид. 2015662779 РФ. Программный модуль сетевого шлюза / Кабаков А.В., Пальгуев Д.А.; опубл. 05.10.2015.

33. Свид. 2016618176 РФ. Программный модуль обнаружения радиолокационного комплекса / Михопаркина С.А., Пальгуев Д.А.; опубл. 25.05.2016.

34. Свид. 2016660484 РФ. Универсальный кодограммный менеджер / Михопаркина С.А., Пальгуев Д.А.; опубл. 15.09.2016.

35. Пальгуев Д.А. Заявка на патент «Способ обработки разнородной информации с неполными данными в сетевой информационной структуре автоматизированной системы управления», рег. № 2023133506 от 17.12.2023 г.

Материалы международных и всероссийских конференций

36. Пальгуев, Д.А. Особенности построения сетевых информационных систем обработки и обмена радиолокационной информацией / Сборник тезисов докладов на Международной военно-научной конференции УО «Военная академия Республики Беларусь» «Современная военно-техническая политика: проблемы и перспективы». – Минск, 21-22.03.2013, с. 172.

37. Пальгуев, Д.А. Особенности построения автоматизированной системы управления сетевой структуры // Проблемные вопросы развития системы противовоздушной обороны в современных условиях / Материалы Международной военно-научной конференции. – Минск, 4-5 февраля 2016 г., с. 15-19

38. Пальгуев Д.А. Метод сетевой обработки в информационных системах сетевой структуры / Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы 14-ой международной научно – технической конференции / Владим. гос. университет; редкол.: А.Г. Самойлов (и др). – Владимир: ВлГУ. - 2021. – 435 с. С. 70-75

39. Пальгуев Д.А. Экспериментальные результаты объединения информации от разнородных источников по неполным данным / Д.А. Пальгуев, А.Б. Борзов, Д.А. Васильев, А.В. Шиндин, С.П. Моисеев, К. Н. Пиунов / Перспективные технологии в средствах передачи информации: Материалы 14-ой международной научно – технической конференции / Владим. гос. университет; редкол.: А.Г. Самойлов (и др). – Владимир: ВлГУ. - 2021. – 435 с. С. 169-172

40. Пальгуев, Д.А. Анализ концепции «сетевых войн» и её развития в вооруженных силах зарубежных государств и в вооруженных силах Российской Федерации / Д.А. Пальгуев, С.В. Геращенко // Сборник докладов XII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы разработки и внедрения информационных технологий двойного применения». – Ярославль, 2011. – С. 316-326.
41. Пальгуев Д.А. Оценка многомерной плотности распределения вероятности отождествления вторичной радиолокационной информации о воздушных объектах на сервере сетевой информационной структуры. Актуальные вопросы разработки и внедрения информационных технологий двойного применения / Д.А. Пальгуев // Сборник докладов XII Всероссийской научно-практической конференции, филиал ВКА им. А.Ф. Можайского. – Ярославль, 2011. – С. 327-332.
42. Пальгуев, Д.А. Особенности обработки вторичной радиолокационной информации в сетевой информационной структуре. Основные проблемные вопросы построения сетевых структур / Д.А. Пальгуев // Тезисы доклада на IX Всероссийской научно-технической конференции «Радиооптические технологии в приборостроении». Тезисы докладов. – Туапсе, 3-7.09.2012.
43. Пальгуев Д.А. Обработка РЛИ от некогерентных и неоднородных источников в информационной системе сетевой структуры. Возможности применения элементов искусственного интеллекта / Труды Конференции. VIII Всероссийская научно-техническая конференция "Дальняя радиолокация на службе Отечеству" (2021). Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, с. 245-258
44. Пальгуев Д.А. К вопросу о формировании однородного динамического массива радиолокационных данных // В сборнике: Радиолокация, навигация, связь / Сборник трудов XXVIII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти Б.Я. Осипова, Воронеж, 2022. С. 70-78.
45. Пальгуев Д.А. Распознавание малоразмерных малоскоростных воздушных объектов на основе оценки энтропии параметров траекторий / Пальгуев Д.А., Васильев Д.А., Ильясафов А.Д. // В сборнике: Радиолокация, навигация, связь / Сборник трудов XXIX Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию кафедры радиопизики ВГУ. В 5-ти томах, Воронеж, 2023. С.410-418
46. Пальгуев Д.А. Управление качеством информации в информационных системах сетевой структуры / Пальгуев Д.А., Фитасов Е.С., Саберов А.Г. // Международная научно-техническая конференция «Современная элементная база радиоэлектроники и её применение», 6-я конференция имени О.В. Лосева, посвящённая 120-летию со дня рождения О. В. Лосева, 12-13 октября 2023 г. Нижний Новгород, ННГУ им. Н.И. Лобачевского / Информационные системы и технологии - 2023: [Электронный ресурс]: Программа и материалы XI Международной научно-технической конференции «Современная элементная база радиоэлектроники и её применение им. О.В. Лосева» – Электрон. дан. – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2023. С. 114-118