

На правах рукописи

МИРОШНИЧЕНКО Владимир Алексеевич

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МЕТОД ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА
ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ В СИСТЕМАХ ОХРАННОГО
МОНИТОРИНГА

Специальность: 25.00.35 – «Геоинформатика»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2007

Работа выполнена в Государственной морской академии
имени адмирала С.О. Макарова

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Биденко Сергей Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, старший научный сотрудник
Ковчин Игорь Сергеевич
кандидат физико-математических наук, доцент
Акселевич Виталий Иосифович

Ведущая организация – Государственный научно-исследовательский навигационно-
гидрографический институт МО РФ

Защита состоится «___» _____ 200__ г. в ___ ч ___ мин на заседании
диссертационного совета Д.212.197.03 при Российском государственном
гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, пр.
Металлистов, д. 3, аудитория 311.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного
гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан «___» _____ 200 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д.212.197.03
доктор технических наук, профессор

П.П. Бескид

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Земная поверхность (ЗП) является объектом исследования специалистов различных предметных областей, связанных с территориальным распределением и функциональной активностью в пределах географической оболочки Земли.

Важную роль в территориальных исследованиях ЗП играют различные системы охранного мониторинга местности (ОММ). В них постоянно обрабатывается большое количество разнородной априорной и оперативной геоинформации (ГИ) о самих охраняемых геообъектах (ГО), контролируемой территории и субъектах-нарушителях.

Решения задач освещения оперативно-тактической обстановки в охраняемой территориальной зоне различных оборонных, административных, промышленных и других ТО становятся актуальным в связи с возрастающими в настоящее время угрозами терроризма и техногенных катастроф.

Представление и анализ геоинформации (ГИ) о территориальной обстановке в зоне охранного мониторинга постоянно усложняется в связи с возрастанием количества охраняемых ТО и увеличением организационных и функциональных уровней систем охраны ТО.

Для повышения адекватности представления и оперативности решения задач пространственного анализа в настоящее время широко внедряются средства геоинформатики – геоинформационные системы (ГИС) и геоинформационные технологии (ГИТ).

Развивающиеся возможности ГИТ обеспечивают более эффективное решение задач сбора, представления, анализа и выработки управленческих решений в различных сферах деятельности человека, где используется быстро меняющаяся оперативная информация. Однако среди множества программных продуктов, используемых сегодня на рынке полноценных ГИС, в полной мере решение задач безопасности охраняемых ТО, не обеспечивается ни одной из них. Описательный характер моделей ГО, значимых в теории и практике применения ОММ и их пространственно-логических связей в известных ГИС не может быть эффективно использован без существенных изменений принципа представления ГО.

Функционирование ОММ базируется на использовании ГИ от различных источников априорной и оперативной информации. Основой оперативной ГИ является сеть автономных источников информации (АИИ) об обстановке – так называемых контрольно-сигнализационных устройств (КСУ).

Однако, на основе только первичной информации от источников, которая, как правило, противоречива, нечетка и неточна, без специальной ее семантической и прагматической (интеллектуальной) обработки невозможно решить задачу распознавания обнаруженных на охраняемой территории ГО и в целом – задачу освещения обстановки с отображением ее на электронной карте (ЭК). В настоящее время эти задачи обработки и идентификации кон-

трольной ГИ решаются операторами на основе их индивидуальных особенностей и ранее полученного опыта, что делает результат решения зависимым от субъективных факторов. При этом время дешифровки полученных сигналов (распознавания ГО) от сети источников информации (ИИ) может быть значительным и не соответствовать требованиям систем территориального наблюдения.

Вторичная обработка контрольной геоинформации (КГИ) является основой многих современных автоматизированных комплексов управления различными природно-техническими системами, в том числе систем мониторинга территорий, решающих задачи распознавания объектов и ситуаций обстановки для различных приложений, например, ОММ крупных промышленных предприятий, оборонных объектов, административных центров или природоохранного мониторинга (охрана лесов от пожаров).

Вторичная обработка ГИ различного качества от разнородных источников для решения задач автоматического обнаружения и классификации одиночных и групповых территориальных объектов (ГО) в интегрированных системах мониторинга территорий является актуальной научно-технической проблемой. Основная сложность ее решения обусловлена отсутствием приемлемых для практического использования научно обоснованных подходов и методов комплексирования информации от разнородных источников с целью компенсации недостатка информации, получаемой от каждого источника в отдельности при решении задач классификации подвижных или временно неподвижных объектов.

Данный недостаток современных ОММ в условиях повышения к ним требований со стороны территориальных АСУ обуславливает наличие противоречия между требуемой и существующей эффективностью такого класса систем. Способом его разрешения является поиск новых методов повышения эффективности существующих или разработка перспективных комплексов на новых принципах обработки ГИ, базисом для разработки которых могут служить результаты отечественных и зарубежных научных школ и ученых в области:

- информационных систем, систем распознавания образов и принятия решений;
- базовых информационных технологий, среди которых особое значение для специальных охранных приложений имеет ГИТ получения и использования цифровой картографической информации (ЦКИ).

В связи с вышеизложенным разработка геоинформационных методов распознавания и представления геообстановки по динамически изменяемому вектору исходной контрольной ГИ, обладающему принципиальной нечеткостью и противоречивостью ГИ, представляется практически значимой.

Научная актуальность диссертационной работы обусловлена необходимостью развития теоретических основ решения прикладной проблемы распознавания территориальных одиночных, групповых объектов и геоситуаций по исходной ГИ от разнородных источников,

учитывающих различные факторы социальной и природной геосреды для информационного обеспечения автоматизированных систем классификации и представления на ЭК локальных ситуаций геобстановки.

Целью исследования является разработка геоинформационных моделей, методики и алгоритмов обработки нечеткой и противоречивой ГИ от сети КСУ для повышения эффективности распознавания и представления движущихся объектов в ОММ.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие научные задачи:

1. Разработка формализованных описаний и представлений динамических ТО, геомоделей представления знаний и алгоритмов вторичного распознавания динамических ТО по неполной и нечеткой исходной ГИ.

2. Разработка методики распознавания динамических ТО по нечеткой и неполной исходной ГИ.

3. Проверка работоспособности и эффективности полученных результатов.

Методы исследования. Гео моделирование, системный и функциональный анализ, теория систем искусственного интеллекта, теория анализа геоситуаций в нечетких задачах выбора, нечеткая логика, имитационное и аналитико-имитационное моделирование.

Теоретическую базу исследования составили работы в области геоинформатики (Алексеев В.В., Берлянт А.М., Дмитриев В.В., Лурье И.К., Тикунов В.С., Цветков В.Я., Яшин А.И.), информационных систем, систем распознавания образов, базовых информационных технологий (Алёшин И.В., Бескид П.П., Вапник В.Н., Горелик А.Л., Заде Л., Ковчин И.С., Мазуров Г.И., Малинин В.Н., Поспелов Д.А., Советов Б.Я., Царёв В.А.).

На защиту выносятся следующие научные результаты:

1. Модели динамических ТО и геоситуаций на основе их вторичных информационных признаков.

2. Методика и алгоритмы вторичного распознавания динамических ТО по нечеткой и противоречивой ГИ от сети АИИ– КСУ.

Научная новизна полученных в диссертации результатов.

1. Модели динамических ТО и геоситуаций на основе их вторичных информационных признаков отличаются учетом структурных свойств пространственно-временных характеристик системы «динамические ТО – геосреда – сеть ИИ», что позволяет учитывать главные компоненты внешней геосреды, влияющие на эффективность ОММ, которые принципиально не могут быть отслежены и компенсированы на уровне только КСУ;

2. Методика и алгоритмы вторичного распознавания движущихся объектов по нечеткой и противоречивой ГИ от сети КСУ отличаются комплексной ситуативной обработкой ГИ от КСУ, баз данных ЭК, внешних условий функционирования ОММ, что позволяет обеспечивать заданные его системные показатели эффективности по исходной ГИ низкого качества.

Достоверность сформулированных научных положений и выводов подтверждена корректным применением апробированных методов геоинформационного моделирования, методов и моделей прикладного исчисления предикатов, имитационным и аналитико-имитационным моделированием; разработкой и проверкой макета ОММ на испытательных полигонах, внедрением разработанных результатов в НИОКР.

Теоретическая значимость состоит в описании пространственно-временного воздействия условий геосреды на функционирование КСУ и оценке их влияния на эффективность территориального анализа обстановки в ОММ.

Практическая ценность. Полученные в диссертации выводы и рекомендации являются научной базой для конструкторского проектирования ОММ, реализующих основанные на знаниях ГИТ:

- обработки ГИ в ОММ, способ формализации и модели представления знаний, аналитические и логические условия различимости геоситуаций в ОММ, алгоритмы вторичного распознавания динамических ТО по нечеткой и противоречивой ГИ от сети автономных ИИ – теоретическая, методическая и вычислительная база построения автоматизированной системы проектирования ОММ;

- базовые модели обработки ГИ от сети КСУ, алгоритмы отождествления и распознавания, способ формализации и банк формализованных описаний вторичных информационных признаков движущихся основных групповых ТО, алгоритмы имитационного моделирования отдельных компонентов ОММ – основа проектирования опытных образцов ОММ различного назначения.

Апробация. Результаты диссертации докладывались на девяти научно-технических конференциях СПбГЭТУ (ЛЭТИ), ВМИРЭ, СПбВМИ, ВСОК ВМФ, ГНИНГИ МО РФ, РИРВ, ГМА им. адм. С.О. Макарова, на X Международной конференции «Региональная информатика – 2006», в период с 2004 – 2006 г.г.

Реализация. Результаты диссертации исследованы и внедрены в НИР «Прогресс ФВО – ММ», «Специалист», ОКР «Цадик – АМ», в ФАП ГС ВМФ, в учебный процесс ГМА им. адм. С.О.Макарова, СПб ВМИ.

Публикации. Результаты исследований отражены в 17 опубликованных работах, в том числе: 2 научных статьях в изданиях из рекомендованного ВАК перечня, 4 научных статьях в других изданиях, 11 тезисах научных докладов, а также в 3 отчетах по НИР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав с выводами, заключения, списка использованной литературы, включающего 125 наименований, 2-х приложений. Основная часть диссертации изложена на 174 страницах машинописного текста. Диссертация содержит 43 рисунка и 7 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, перечислены методы исследования, изложены основные научные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ предметной области и путей повышения эффективности обработки информации в системах ОММ. Анализ существующих подходов в построении систем вторичного распознавания движущихся объектов для ОММ позволил сформулировать систему требований и ряд ограничений на класс методов обработки информации. В качестве такого ограничения выступают выявленные и принципиально неустранимые нечёткость и неполнота вектора исходной информации, поступающей от сети КСУ. По результатам анализа разработана более полная модель вторичной обработки информации в ОММ: «движущийся ТО – геосреда - КСУ», которая является развитием известной «движущийся ТО - КСУ». Разработанная модель описывает обработку информации в ОММ в виде двухуровневой геоинформационной системы принятия решений, учитывающей иерархический принцип организации её зон ответственности и специфику влияния комплекса геопространственных условий каждого уровня на эффективность системы в целом.

Выявлено, что недостаточная практическая эффективность существующего парка отечественных и зарубежных ОММ в распознавании движущихся объектов обусловлена, в первую очередь, несогласованностью по уровням принятия решений методами и алгоритмами обработки нечёткой исходной информации. Данные методы до сих пор разрабатывались независимо, хотя ОММ представляют собой геоинформационные двухуровневые системы распознавания образов, требующие межуровневого согласования и учёта комплекса динамически изменяемых внешних условий, влияющих на качество распознавания. Это обусловлено тем, что ОММ (из-за геопространственной и климатической специфики применения сети КСУ) следует рассматривать как системы обработки информации с изменяемыми структурой и параметрами.

Предложен метод распознавания движущихся объектов по нечёткой и неполной исходной геоинформации, отличающийся ситуативной обработкой информации от КСУ, учитывающей совокупность основных внешних условий первого и второго уровней обработки и анализа КГИ в ОММ, что позволяет обеспечивать заданные системные показатели эффективности по исходной информации низкого качества. Он основан на получении и использовании следующих оценок и моделей знаний:

– информации от систем наблюдения (оценки прямых измерений параметров обстановки, например, параметры движущихся одиночных и групповых объектов в зоне наблюдения);

- формализованном описании классов эталонов движущихся групповых ТО в нечёткой постановке (априорные оценки информационных признаков эталонов ситуаций обстановки);
- формализованном описании обобщённого критерия качества внешних условий геосреды, полученных от КСУ и из других источников, всегда имеющихся у оператора (оценки текущих условий анализа геоситуации);
- формализованном описании знаний лиц, осуществляющих распознавание геоситуаций в настоящий момент ручным способом.

Суть метода состоит в вычислении оценок обобщённого критерия качества условий принятия решений обнаружителем/классификатором на первом уровне, степени риска в распознавании движущихся объектов по этим данным на уровне вторичных информационных признаков, применении пороговых процедур для адаптации нечётких моделей эталонов ситуаций к изменению внешних условий посредством подстройки множественной функции принадлежности (МФП) их информационных признаков. Обобщённый критерий имеет вид

$$K_{kj} = \sum_{i=1}^l p_i x_{ijk}, \text{ где } x_{ijk} = \frac{m_{ijk}}{n_{ijk}} - \text{индекс качества (ИК)},$$

определяемый как мера отклонений в показателях внутри каждого класса признаков, где: n_{ijk} - полное число признаков качества выбранного показателя, m_{ijk} - число признаков, совпавших при сравнении, k - номер класса, i - номер процесса, явления или свойства, j - номер индекса, p_i - весовой множитель, где $\sum p_i = 1$ - весовой множитель, удовлетворяющий условию нормировки.

Реализация данного метода определила порядок и перечень решаемых в диссертации задач, связанных с разработкой: геоинформационных моделей условий вторичного отождествления и распознавания; моделей представления знаний и алгоритмов вторичного распознавания движущихся ТО по нечёткой и неполной исходной информации; алгоритмов имитационного моделирования для оценки потенциальной эффективности научно-технических решений.

Во второй главе предложена модель цифрового геоинформационного пространства (ЦГИП) ОММ, допускающая учет пространственных и временных условий принятия решений на первом и втором уровнях обработки информации.

Информационное наполнение модели ЦГИП осуществляется на базе подсистемы автоматизированного распознавания геоситуаций, структурная схема которой приведена на рис. 1.

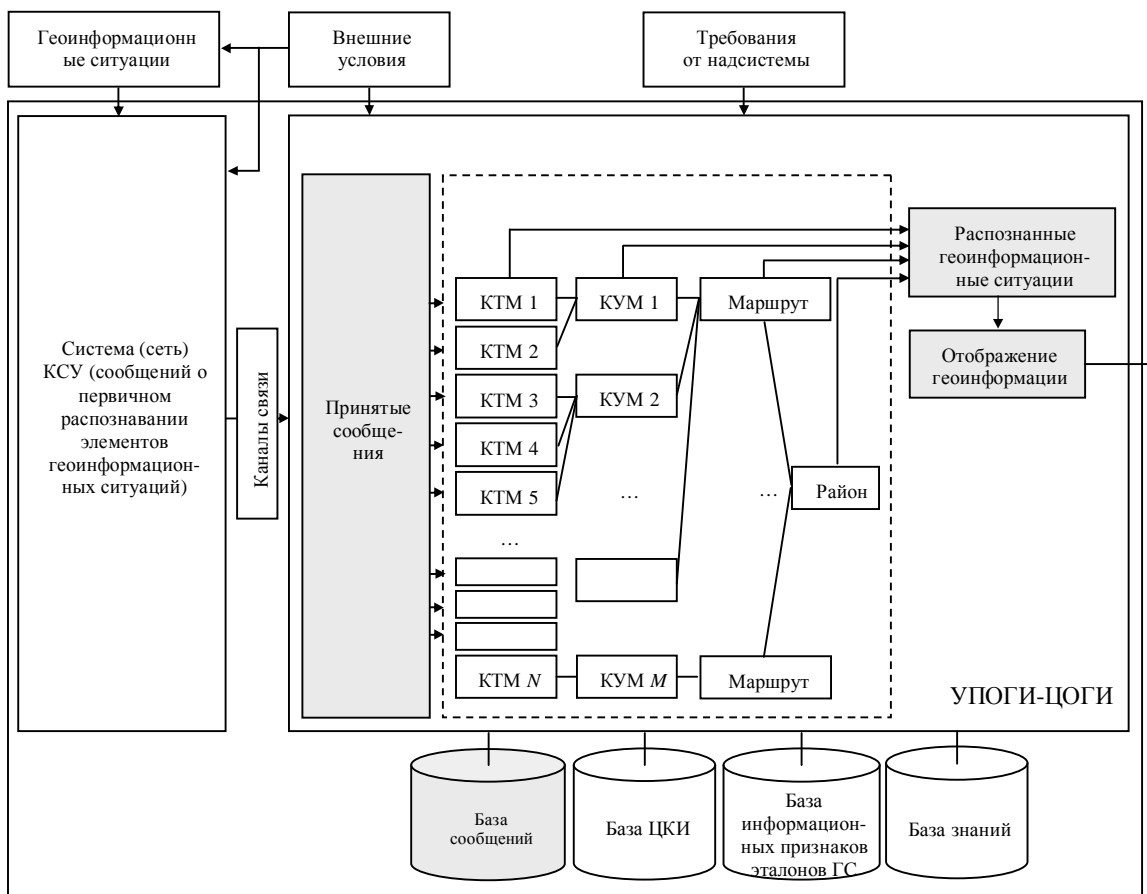


Рис.1.Обобщенная структура системы автоматического (автоматизированного) распознавания геоситуаций.

На примере сейсмических и акустических датчиков геосреды, показана принципиальная невозможность снятия неопределённости в системе «движущийся ТО - КСУ» и устранения методами первичной обработки сигналов отрицательного влияния геопространственных особенностей местности, геологического строения земной поверхности и акустического пространства в районе функционирования отдельного автономного КСУ (или их группы) при решении задачи контроля маршрута движения объекта.

Предложена геоинформационная модель условий вторичного распознавания движущихся объектов на уровне отдельного КСУ и группы из двух КСУ, отличающаяся учётом возможных результатов событийно-временной логики работы источников КГИ, что позволяет выделять в потоке сообщений от сети КСУ заведомо ложные.

Под обобщенной моделью контролируемого участка маршрута (КУМ) будем понимать кортеж:

$$K_i = \langle R_{ij}, L_i, A_i, E_i, M_i \rangle,$$

где: L_i – фактическая длина КУМ; A_i – алгоритмы обработки сообщений от КСУ i -ого КУМ;

$E_i = I(I^o, I^{uh})$ – вычисленные оценки интенсивностей одиночных и групповых объектов раз-

личного типа, $M_i = M_{i1} \wedge M_{i2} \wedge \dots \wedge M_{ij} \wedge \dots \wedge M_{in}$ – модель ситуаций на КУМ, определяемая техническим состоянием КСУ, а также объектами распознавания в зоне их обнаружения

$R_{ij} = \langle X_{ij}, Y_{ij}, P_{ij}, T_{ij}, B_{ij}, O_{ij} \rangle$ – модель КСУ,

где: $X_{ij} = X_{ij} \pm \Delta X_i$; $Y_{ij} \pm \Delta Y_j$ – координаты места установки КСУ с прогнозируемыми погрешностями $\Delta X_i, \Delta Y_j$ его установки; $P_{ij} = (P_{ij}^n, P_{ij}^k)$ – одноместные предикаты $P_{ij} = (1, 0)$, характеризующие факты срабатывания ($P_{ij} = 1$) КСУ в начале и конце обнаружения, соответственно; $T_{ij} = (T_{ij}^n, T_{ij}^k)$ – абсолютные оценки времени срабатывания КСУ в начале и конце процесса обнаружения, соответственно; $B_{ij} = \{b_l\}, l = \overline{1, q}$ – виды обнаруженных объектов; $O_{ij} = (O_{ij}^o, O_{ij}^p)$ – абсолютные оценки чисел одиночных объектов в группе; j – текущий номер КСУ в КУМ;

Модель обработки информации на уровне одиночного КСУ будет иметь вид:

$$R_{i1} = \langle X_{i1}, Y_{i1}, P_{i1}, T_{i1}, B_{i1}, O_{i1} \rangle,$$

Модель ситуаций, определённая на потоке КГИ от КСУ, может быть представлена дизъюнктивным произведением вида:

$$M_{i1} = M_{i1}^1 \vee M_{i1}^2 \vee M_{i1}^3 \vee M_{i1}^4,$$

где: $M_{i1}^1 = (P_{i1}^n = 1) \wedge (P_{i1}^k = 1) \wedge (T_{i1}^n < T_{i1}^k)$ - ситуация полностью исправных КСУ, то есть КГИ от КСУ можно полностью доверять и обрабатывать в системе;

$M_{i1}^2 = (P_{i1}^n = 1) \wedge (P_{i1}^k = 0) \wedge (T_{i1}^n \neq 0, T_{i1}^k = 0)$ - неопределённая ситуация, требующая дополнительного исследования (может быть и исправной в зависимости от типа КСУ) с помощью ЛПР, после которого или отвергается, или пропускается в обработку;

$M_{i1}^3 = (P_{i1}^n = 0) \wedge (P_{i1}^k = 1) \wedge (T_{i1}^n \neq 0, T_{i1}^k \neq 0)$
 $M_{i1}^4 = (P_{i1}^n = 0) \wedge (P_{i1}^k = 1) \wedge (T_{i1}^n = T_{i1}^k = 0)$ } - невозможные ситуации, поэтому сообщению от

КСУ следует не доверять и обрабатывать его отдельно от заведомо достоверных.

В этом случае обработка КГИ от отдельных КСУ будет сводиться к набору статистики по типу, числу обнаруженных классифицированных объектов с её фильтрацией на абсолютно надёжную, не надёжную и ложную, исходя из анализа событийно-временной логики потока сообщений, поступивших в центр обработки контрольной ГИ (ЦОГИ) от КСУ.

Модель обработки будет иметь следующий вид:

$$A_{i1}^T = A_{i1}(M_{i1}) \times A_{i1}^0$$

– алгоритм классификации группового объекта, набора статистики по видам, типу, числу обнаруженных и классифицированных объектов;

$$A_{i1}(M_{i1})$$

– алгоритм выявления ситуации на КСУ;

A_{i1}^0 – алгоритм дополнительной классификации одиночных и групповых объектов, определения числа движущихся объектов, набора статистики и отображения информации в системе ввода-вывода АРМ оператора ЦОГИ.

В случае обработки информации от двух КСУ, имеющих объектно-пространственно-временную корреляцию (специально организованную информационную связь) двух потоков сообщений, логический фильтр, обеспечивающий разделение потока информации на три составляющих (надежная, ненадежная, ложная), будет сложнее. Однако обработка потока информации, по существу, от измерительно-обнаруживающей / классифицирующей системы, состоящей из двух однородных (разнородных) приборов с величиной измерительной базы, имеющей линейные размеры КУМ, обеспечивает и большую «глубину» ее извлечения. Например, возможны следующие варианты и комбинации вариантов обработки информации:

- определение числа и параметров движения объектов в группе;
- классификация движущихся объектов (в случае применения на КУМ приборов-обнаружителей) за счет использования при обработке косвенных информационных признаков о контролируемом участке местности (КУМ) и объектах (тип КСУ, характеристики местности, климатические условия, возможности по проходимости объекта распознавания и т.д.);
- уточнение (подтверждение правильности) первичной классификации от приборов-классификаторов;
- прогнозирование местоположения движущихся объектов для выдачи целеуказаний силам огневого воздействия.

Для построения логико-алгебраической модели обработки рассматривается более подробно возможная событийно-временная логика потока сообщений поступивших на ЦОГИ к моменту ее обработки. Разработанные модели КУМ и модели возможных ситуаций на них имеют следующий вид. Модель КУМ:

$$K_i^L = \langle R_{i1}, R_{i2}, L_i, A_i^L, E_i, M_i^L \rangle,$$

где: $R_{i1} = \langle X_{i1}, Y_{i1}, P_{i1}, T_{i1}, B_{i1}, O_{i1} \rangle$; $R_{i2} = \langle X_{i2}, Y_{i2}, P_{i2}, T_{i2}, B_{i2}, O_{i2} \rangle$ - модели первого и второго КСУ, образующих КУМ.

Модель ситуаций на КУМе из двух КСУ будет конъюнктивным произведением моделей ситуаций на каждой из них:

$$M_{iz}^L = M_{i1} \wedge M_{i2}, \quad z = \overline{1, n}$$

Модель обработки информации от КСУ включает модели обработки КГИ от отдельных приборов (модели обработки КСУ) и дополнительную обработку геоинформации с учетом совместной для двух приборов событийно-временной логики их работы и будет иметь вид:

$$A_{i2}^L = A_{i1}^T \times A_{i2}^T.$$

Событийно-временная логика образуется набором основных соотношений, который является открытым для дальнейшего его пополнения. Для чего введена в рассмотрение функция C^L , характеризующая возможность наступления сложного (совместного для сообщений от двух приборов) события, принадлежащих L -му КУМ.

$$C^L = \begin{cases} 1 - \text{событие произошло} \\ 0 - \text{событие отсутствует} \end{cases}.$$

Тогда возможны следующие события:

$$C_1^L = (P_H = (P_1^H \wedge P_2^H = 1)) \wedge (|T_1^H - T_2^H| \geq \frac{L_i}{V_{\max}^0}) \wedge (T_1^H - T_2^H \geq 0) - \text{движение } R_2 R_1;$$

$$C_2^L = (P_h = (P_1^H \wedge P_2^H = 1)) \wedge (|T_1^H - T_2^H| \geq \frac{L_i}{V_{\max}^0}) \wedge (T_1^H - T_2^H < 0) - \text{движение } R_1 R_2;$$

$$C_3^L = (P_h = (P_1^H \wedge P_2^H = 1)) \wedge (|T_1^H - T_2^H| < \frac{L_i}{V_{\max}^0}) - \text{движение встречное};$$

$$C_4^L = (P_K = (P_1^K \wedge P_2^K = 1)) \wedge (|T_1^K - T_2^K| > \frac{L_i}{V_{\max}^0}) \wedge (T_1^K - T_2^K < 0) - \text{движение } R_2 R_1;$$

$$C_5^L = (P_K = (P_1^K \wedge P_2^K = 1)) \wedge (|T_1^K - T_2^K| \geq \frac{L_i}{V_{\max}^0}) \wedge (T_1^K - T_2^K < 0) - \text{движение } R_1 R_2;$$

$$C_6^L = (P_K = (P_1^K \wedge P_2^K = 1)) \wedge (|T_1^K - T_2^K| < \frac{L_i}{V_{\max}^0}) \wedge (T_1^K - T_2^K < 0) - \text{движение встречное}$$

С учетом значений функции C^L возможны следующие модели ситуаций на КУМ.

$$M_{i1}^L = C_1 \wedge C_4 - \text{фиксируется движение объекта от } R_2 \text{ к } R_1;$$

$$M_{i2}^L = C_2 \wedge C_5 - \text{фиксируется движения объекта от } R_1 \text{ к } R_2;$$

$$M_{i3}^L = C_3 \wedge C_6 - \text{фиксируется встречное движение.}$$

В случае возникновения совместных событий вида:

$$M_{i4}^L = C_1 \wedge C_5; M_{i5}^L = C_2 \wedge C_4; M_{i6}^L = C_3 \wedge C_4; M_{i7}^L = C_3 \wedge C_5$$

фиксируется модель геоситуации типа неопределенность. Неопределенность вида $M_{i5} - M_{i7}$ можно раскрыть и считать, как ситуации C_1, C_2, C_3 соответственно, если допустить предположение, что групповой ТО может изменить свои линейные размеры при движении через КУМ (разряжение, сгущение движущихся объектов).

В остальных случаях фиксируется переход линейного КУМ в контролируемую точку местности(КТМ), образованную одним КСУ:

$$M_{i8}^L = P_H = (P_1^H = 0) \wedge (P_2^H = 1); P_K = (P_1^K = 0) \wedge (P_2^K = 1);$$

$$P_H = (P_1^H = 1) \wedge (P_2^H = 0); P_K = (P_1^K = 1) \wedge (P_2^K = 0).$$

В случае $M_{i9}^L = (P_H = P_K = 0)$, т.е. $P_1^H = P_2^H = P_1^K = P_2^K = 0$ – фиксируется отказ линейного КУМа.

Замечание. Соотношения событийно-временной логики существенно зависят от типа КСУ и способа организации его работы, поэтому эта тема для самостоятельного исследования. В случае накопления знаний в этой области возможно адаптивное управление событийно-временной логикой на уровне отдельных КУМов в процессе обработки общего потока сообщений на ЦОГИ.

На основе синтезированных геоинформационных моделей условий вторичного распознавания движущихся объектов на уровне отдельного КСУ осуществлено упрощение логической сложности процессов распределенной обработки информации. В результате удалось реализовать многоуровневую обработку информации в ОММ с использованием типовых процедур обнаружения, отождествления и распознавания движущихся одиночных и групповых объектов с различным уровнем ее обобщения на электронной карте.

Найдена базовая структура алгоритма одноуровневой и многоуровневой обработки информации от КСУ КУМа произвольной сложности, реализующей разработанный метод дискретно-скользящего линейного КУМа. Суть метода состоит в поэтапном, попарном агрегировании информации начиная с КСУ, которое передало сообщение об объекте нарушителя первым среди всех КСУ, принадлежащих данному КУМу. Этот алгоритм, по существу, формирует правило обхода и свертки информации в многомерной матрице сообщений от сети КСУ.

Третья глава посвящена разработке математического обеспечения нечеткого распознавателя геоинформационных ситуаций. На основе предложенного подхода были разработаны основные формализмы, необходимые для создания нечёткой базы знаний, являющейся носителем экспертной информации, и позволяющей осуществить автоматическое распознавание одиночных и групповых движущихся ТО, с учётом влияния контекста получения КГИ (рис. 2).

При этом сформулирована задача классификации и предложено её решение в наиболее общем виде, допускающем снятие ограничений на равенство длин распознаваемых последовательностей.

Показано, что в условиях неполноты и нечеткости информации, содержащейся в сообщениях от КСУ, необходимо осуществлять описание информационных признаков одиночного и группового ТО в нечеткой постановке.

Описание эталона группового ТО имеет вид:

$ГО = \langle В, К, Т \rangle$, где $К = (X, Y)$, $Т$ - координаты и текущее значение времени, связанное с конкретным групповым ТО, соответственно; $В = \langle S, С, П \rangle$ - вид группового ТО, определяемый, в свою очередь, структурой (S), составом ($С$) и параметрами движения($П$) $S = \langle b, R \rangle$,

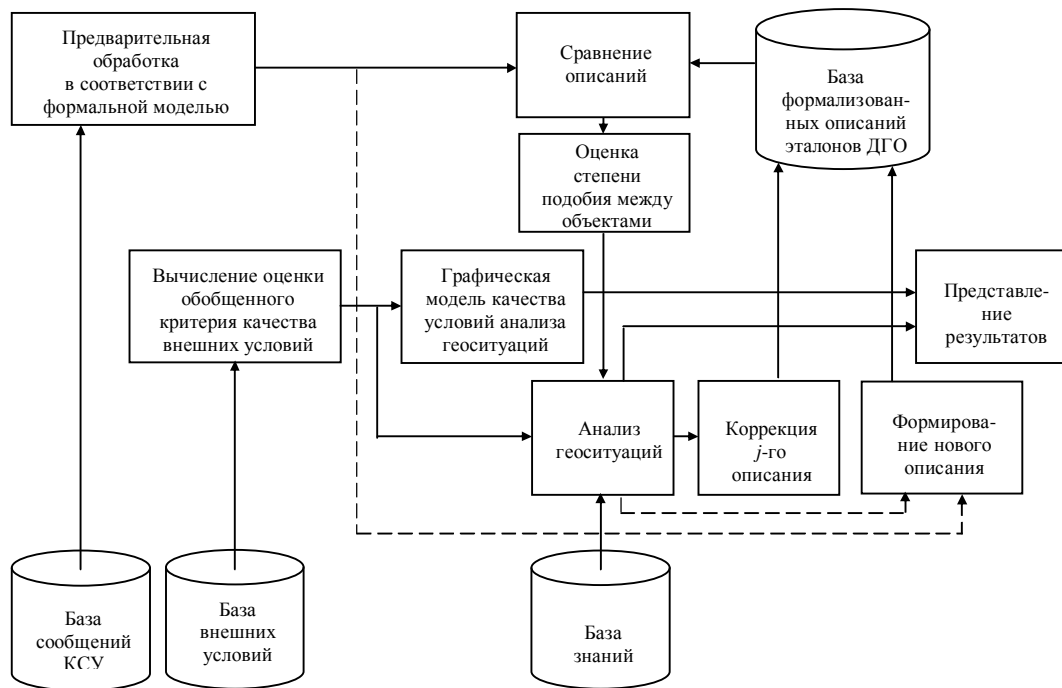


Рис.2. Структура методики вторичного распознавания движущихся групповых ТО.

где $\mathbf{b} = \mathbf{b}_{11} + \mathbf{b}_{12} + \dots + \mathbf{b}_{1i} + \dots + \mathbf{b}_{1n} + \mathbf{b}_{21} + \mathbf{b}_{22} + \dots + \mathbf{b}_{2j} + \dots + \mathbf{b}_{2m} + \dots$ - набор \mathbf{b}_{ij} видов одиночных объектов движения, двигающихся в определенном порядке (\mathbf{R}); $\mathbf{R} = \Psi(\mathbf{Z}, \mathbf{T})$ - порядок следования зависит от решаемой групповым ТО задачи (\mathbf{Z}) и времени ее выполнения (\mathbf{T});

Под параметрами группового ТО понимается кортеж вида:

$$\mathbf{П} = \langle \mathbf{L}, \mathbf{V}, \mathbf{H} \rangle ,$$

где: \mathbf{L} - линейный размер ГО; \mathbf{V}, \mathbf{H} - скорость и направление движения ГО, соответственно.

Предложено признаковое пространство эталона группового ТО представлять в виде совокупности нечётко определённых информационных признаков, задаваемых моделью вида:

$$\mathbf{y} = \langle \mathbf{N}^y, \mathbf{Y}^y, \mathbf{F}^y \rangle ,$$

где $\mathbf{N}^y, \mathbf{Y}^y, \mathbf{F}^y$,- наименование, область определения, нечеткое подмножество на области определения нечеткого признака \mathbf{y} , соответственно;

$\mathbf{F}^y = \mu_{\mathbf{F}}(\mathbf{y}) | \mathbf{y} \in \mathbf{Y}^y$, где $\mu_{\mathbf{F}}(\mathbf{y})$ - функция принадлежности имеет вид:

$$m_{\mathbf{F}} = \begin{cases} [(a-x)/2s] + 1, x \geq a \\ [(x-a)/2s] + 1, x < a \end{cases}$$

где \mathbf{a} - математическое ожидание наблюдаемого информационного признака, которое определяется множеством возможных предписанных значений $\mathbf{S}, \mathbf{C}, \mathbf{П}$ (априорно заданных нормативами выполнения различного класса задач согласно руководящих документов и предписаний).

Разработанное описание послужило основой для создания банка формализованных описаний (БФО) движущихся групповых ТО вероятных нарушителей.

На основе анализа технологии работы операторов различного уровня принятия решений в ОММ, с использованием результатов глав 1, 2 предложены модели представления зна-

ний и логического вывода при решении задач отождествления и распознавания ГО. Модели знаний имеют вид продукции, например, при отождествлении объектов на КУМе могут иметь следующий вид:

$$\text{Если } (P_1 = 1) \wedge (P_2 = 1) \wedge \dots \text{то}$$

Функция Левенштейна рассчитывается, используя метод динамического программирования, на основе вычисления следующего рекуррентного выражения:

$$d_{ij} = \min\{d_{i-1, j} + w(x_i, \varepsilon), d_{i, j-1} + w(\varepsilon, y_j), d_{i-1, j-1} + w(x_i, y_j)\}.$$

По матрице «объект - признак» рассчитываются меры сходства $C(S_i, S_j)$ для каждой пары объектов, например, для пары объектов $C(S_1, S_2)$, мера сходства будет выглядеть следующим образом:

$$C(S_1, S_2) = \frac{2 \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2}}{\sum_{i=1}^n x_{i1} + \sum_{i=1}^n x_{i2}}.$$

На основании полученных мер строится матрица мер сходства для объектов распознавания.

Определяется и метится элемент, имеющий максимальное значение меры сходства $C(S_i, S_j)_{\max}$. Для этой пары классов вычисляется мера сходства $G(H_j, H_k)$:

$$G(H_j, H_k) = 0.5G(H_j, H_u) + 0.5G(H_j, H_l), \quad H_j = S_j (j = \overline{1, 7}), \quad H_k = \{H_u, H_l\}.$$

Полученный массив редуцируется заменой S_1, S_2 на $G(S_1, S_2)$, где $C(S_i, S_j)_{\max}$ и так шаг за шагом, пока размерность матрицы C не станет 2×2 . В результате работы алгоритма находится перечень индексов классов в том порядке, в котором они объединялись в новые классы, а также уровни сходства, на которых это объединение происходило. Предложенные алгоритмы отождествления и классификации реализуют процедуры автоматического выбора из множества альтернатив представителя, обладающего минимальным (или пороговым) значением меры подобия.

Апробация разработанных алгоритмов в полевых условиях на полигонах в составе макета ЦОГИ ОММ показала их практическую реализуемость на отечественном парке вычислительных средств и определенную их эффективность. Однако малочисленность движущихся групповых объектов, их случайный состав и малые объемы экспериментальных данных (эти ограничения связаны со значительными экономическими издержками полигонных испытаний) не позволили исследовать потенциальную эффективность разработанных алгоритмов. Для ликвидации указанного недостатка в работе разработана система имитационного моделирования (СИМ) вторичной обработки информации в ОММ. С помощью данной СИМ было выполнено экспериментальное исследование эффективности распознавания движущихся групповых объектов по нечеткой и неполной информации со снятыми ограничениями на размер группового объекта, параметры его движения и диапазон изменения геопространственных и климатических условий функционирования КСУ.

В четвёртой главе для определения работоспособности разработанных методов предложена обобщённая структура и основные алгоритмы функционирования системы имитационного моделирования (СИМ) вторичной обработки информации в ОММ. Данная СИМ, кроме выше упомянутого предназначения, может использоваться в СППР ЦОГИ как средство прогнозирования развития ситуаций обстановки, анализа последствий от принимаемых решений и для информационной поддержки, обеспечивающей возможность принятия упреждающих управленческих решений.

СИМ состоит из модулей задания внешних условий функционирования КСУ, описания состава и структуры ОММ, библиотек алгоритмов вторичной обработки КГИ, баз данных и знаний СИМ и электронной карты местности (рис. 3).

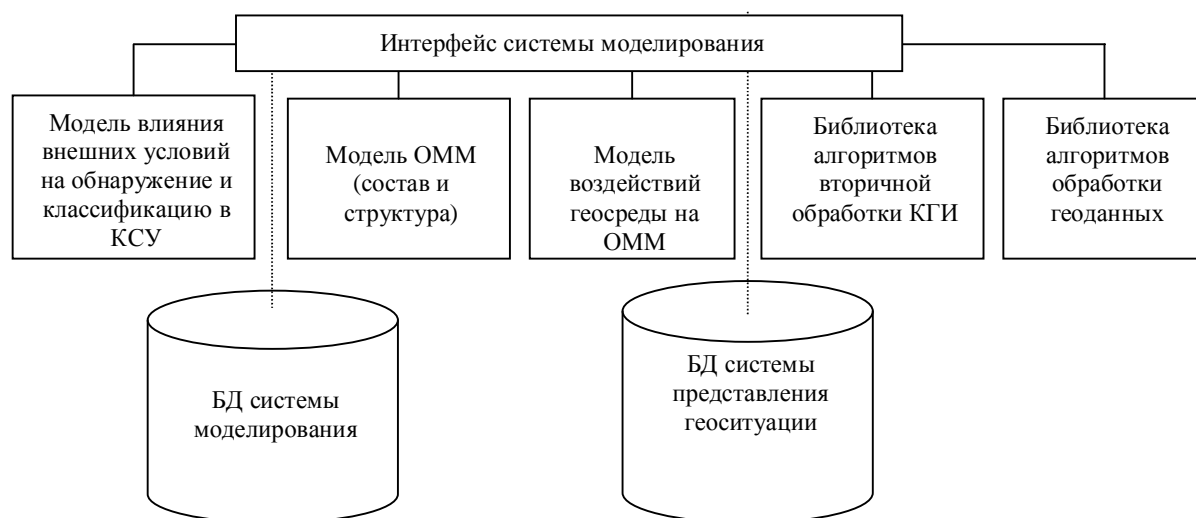


Рис. 3. Структура системы имитационного моделирования вторичной обработки в ОММ.

Отличительной особенностью синтезированных в СИМ аналитико-имитационных моделей процессов первичного обнаружения и распознавания движущихся одиночных и групповых ТО является представление КСУ в виде последовательности взаимосвязанных систем:

- системы массового обслуживания, имеющей один или несколько каналов обслуживания потока возмущений движущимся объектом физического пространства на входе сенсорного устройства в сочетании с временным окном алгоритма обнаружения;
- нелинейного фильтра, решающего задачу классификации движущихся объектов.

Алгоритмы вторичного отождествления и распознавания движущихся объектов по нечёткой и неполной исходной информации реализуют рассмотренные в главе 3 соответствующие модели и метод её обработки.

Интерфейс конечного пользователя обеспечивает функционирование СИМ в следующих режимах: задание структуры и состава ОММ; вывод структуры и настройка параметров модели геоинформационных условий функционирования КСУ; синтез структуры и парамет-

ров движения одиночного или групповых объектов; создание, модификация базы данных формализованных описаний движущихся групповых объектов в табличном или графическом виде; планирование координат мест установки сети КСУ с учётом выполнения требований к тактико-техническим характеристикам УКВ - канала связи; вторичная классификация и отождествление движущихся одиночных и групповых объектов на уровне КТМ, КУМ, маршрута.

Выполненное экспериментальное компьютерное моделирование вторичного отождествления и распознавания движущихся объектов показало, что: при вероятности первичного распознавания одиночных объектов в пределах 0.65-0.80, вероятность правильного вторичного распознавания групповых объектов длиной до 500 единиц специальной техники, разнородной по составу, составила не ниже 0.9; распознавание групповых объектов в 70-90% случаев осуществлялось в автоматическом режиме, а в остальных требовало участия эксперта; оперативность подготовки решений по обстановке и планированию к применению ОММ, включая вопросы организации линий радиосвязи между средствами наблюдения и центром обработки информации, повысилась в 2-3 раза по сравнению с существующими способами.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.

1. Разработаны геоинформационные модели внешних условий обнаружения и распознавания движущихся ТО в ОММ, выполнено их разбиение на группы, установлена связь конкретных групп условий с возможными исходами принятия решений (классификаций) на выходе КСУ.

2. Разработана методика вторичного распознавания движущихся объектов по нечеткой и противоречивой информации от сети автономных КСУ, основанных на производственных правилах, нечетком логическом выводе и лингвистических терминах, с использованием оригинального обобщенного критерия качества условий принятия решений.

3. Разработано формализованное описание движущихся объектов с использованием нечетких количественных и качественных информационных признаков, позволившее разработать электронный формуляр эталона движущегося группового объекта специальной техники и банк их формализованных описаний.

4. Разработаны и исследованы алгоритмы вторичного отождествления и распознавания движущихся объектов по нечеткой и неполной исходной информации, использующие событийно-временную логику работы КСУ, разработанную процедуру нечеткой оценки степени соответствия наблюдаемого признакового пространства объекта признаковому пространству классов-эталонов различной размерности на основе вычисляемого расстояния Левенштейна.

ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

I. В изданиях из рекомендованного ВАК перечня:

1. Геомоделирование в системах управления навигационным и гидрографическим обеспечением в зоне ответственности ГС флота // Записки по гидрографии. – 2004, № 265а, – С. 19-26. (соавтор Биденко С.И.)
2. Классификация территориальных объектов в системе наблюдения района гидрографической службы // Записки по гидрографии. – 2005, № 266а, – С. 18-24. (соавтор Биденко С.И.)

II. В остальных изданиях:

3. Моделирование и представление полей распределённых контрольно-сигнализационных устройств в задачах оценки и классификации территориальной обстановки // Труды 15-ой межвузовской НТК «Военная радиоэлектроника: опыт использования и проблемы подготовки специалистов». – Петродворец: Изд-во ВМИРЭ, 2004, - С. 56-57.
4. Геомоделирование территориальных полей контрольно-сигнальных устройств в системах охранного мониторинга местности // «Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»», серия «Информатика, управление и компьютерные технологии». – 2004. – Выпуск. – С. 18-24. (соавторы Биденко С.И., Яшин А.И.)
5. Имитационное моделирование системы охранного мониторинга местности // Труды научно-теоретич. конф. «Современное состояние военно-морского образования». – СПб: СПбВМИ, 2004, - С. 35-37. (соавтор Биденко С.И.)
6. Геомоделирование территориальной обстановки в системе наблюдения гидрографической службы // Навигация и гидрография – 2004, № 8, – С. 29–33. (соавтор Биденко С.И.)
7. Геомоделирование динамических территориальных объектов и геоситуаций на основе их вторичных информационных признаков // Труды 16-ой межвузовской НТК «Военная радиоэлектроника: опыт использования и проблемы подготовки специалистов». – Петродворец: Изд-во ВМИРЭ, 2005, - С. 79-80. (соавтор Биденко С.И.)
8. Метод вторичного распознавания движущихся территориальных объектов по нечеткой и противоречивой ГИ от сети автономных источников контрольной информации // Труды 17-ой межвузовской НТК «Военная радиоэлектроника: опыт использования и проблемы подготовки специалистов». – Петродворец: Изд-во ВМИРЭ, 2006, - С. 68-67.
9. Методика классификации территориальных ситуаций в системах охранного мониторинга // Труды межрегиональн. конф. «Проблемы навигационной и экологической безопасности южных морей РФ». - Геленджик: Изд-во НИПИОкеангеофизика, 2005, - С. 28–32. (соавтор Ярославцев Н.А.)
10. Обработка координатно-временной информации от датчиков охранного мониторинга // Труды РИРВ, Сер. 1 (Навигация), № 4с, (33), 2005, - С. 218–224. (соавторы Биденко С.И., Семенов Г.А.)

11. Пространственная модель представления территориальной ситуации в системе освещения обстановки в ближней и средней зонах // Политехника, № 6, 2005,- С. 23–29. (соавторы Биденко С.И., Самотонин Д.Н.)
12. Геоинформационный метод отображения и оценки обстановки в интересах управления сложными территориальными объектами // Труды научно-технич. конф. ГМА им. адм. С.О. Макарова, СПб: Изд-во ГМА, 2006,- С. 112–114.
13. Моделирование геоситуаций в АСУ территориальными объектами // Труды научно-технич. конф. ГМА им. адм. С.О. Макарова, СПб: Изд-во ГМА, 2006,- С. 115–119. (соавтор Биденко С.И.)
14. Принципы обработки нечёткой контрольной геоинформации в распределённых системах наблюдения // Труды X Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика-2006», СПб: Изд-во СПОИСУ, 2006,- С. 257-258. (соавтор Биденко С.И.)
15. Организация многоуровневой обработки геоинформации в системах мониторинга территории // Труды межведомств. конф. «Проблемы военно-морского образования и науки». - СПб: Изд-во ВСОК, 2006,- С. 28–32.
16. Методика распознавания движущихся территориальных объектов по неполной и нечеткой исходной контрольной геоинформации // Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 14 / Под ред. С.И. Биденко. – СПб: Изд-во ГМА, 2007,- С. 29–34.
17. Аналитико-имитационная модель процессов распознавания движущихся территориальных объектов // Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 14 / Под ред. С.И. Биденко. – СПб: Изд-во ГМА, 2007,- С. 35–39. (соавтор Биденко С.И.)