

УДК 004.9
ББК 39.275.7

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА
И КОНТРОЛЯ ОБСТАНОВКИ В ЦЕЛЯХ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СО
СТОРОНЫ ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ВОДНОЙ АКВАТОРИИ**

Ханычев В. В.¹, Милованов М. А.²

*(Открытое акционерное общество «Центральный
научно-исследовательский институт «Курс», Москва)*

Описывается система интеллектуального мониторинга и контроля обстановки для обеспечения безопасности объектов железнодорожной инфраструктуры со стороны прилегающей водной акватории на базе комплексированной информации, поступающей от оптоэлектронных и гидроакустических средств.

Ключевые слова: интеллектуальная система, контроль обстановки, безопасность объектов, железнодорожная инфраструктура, водная акватория, анализ данных.

Введение

Необходимость создания различных систем обеспечения безопасности критически опасных объектов, к которым в полной мере относятся и сооружения железнодорожного комплекса страны, всё в большей степени осознается руководителями ведущих стран мира. Ущерб от разрушения подобных сооружений может оказаться критическим для целых регионов, людские

¹ *Ханычев Виталий Викторович, кандидат технических наук, начальник отдела (vvh@kurs.ru, тел.: (495)365-18-47).*

² *Милованов Максим Александрович, заместитель начальника отдела (Veter789@rambler.ru, тел.: (495)365-18-47).*

потери могут достигать сотен и тысяч. Задача эффективной защиты объектов повышенного риска, в том числе и объектов железнодорожного транспорта (таких как мосты, путепроводы), которые могут быть подвергнуты атаке со стороны террористических организаций и групп, относится к категории чрезвычайно сложной и полностью не решена до настоящего времени.

Создание систем обеспечения безопасности мостовых и прилегающих к водной акватории железнодорожных сооружений связано с определенными сложностями, обусловленными как проблемным, неоднородным состоянием водной среды (туманы, волны, значительная турбулентность потоков, высокая донная, объемная и поверхностная реверберации и т.д.), так и сложными нестационарными помехами жизнедеятельности самих таких объектов. Все это требует серьезного комплексного подхода к проработке вариантов построения систем мониторинга с учетом условий их применения.

1. Назначение и область применения системы интеллектуального мониторинга и контроля обстановки

Создаваемая система интеллектуального мониторинга и контроля обстановки (СИМ и КО) в целях обеспечения безопасности объектов железнодорожной инфраструктуры со стороны прилегающей водной акватории на базе комплексирования информации, поступающей от оптоэлектронных и гидроакустических средств, предназначена для раннего обнаружения нарушителей при приближении к охраняемому объекту, определения их текущих координат и параметров движения.

В последнее время в связи со значительным ростом количества террористических угроз, актов пиратства и диверсионных актов на экономически важных объектах многократно возрастает роль их охраны.

В современных условиях для обеспечения необходимого уровня безопасности такого рода объектов и в связи с возможностью широкого применения террористическими организациями и отдельными террористами современных достижений в области

науки и техники (роботизированные подводные аппараты, подводные дыхательные аппараты замкнутого типа, необитаемые надводные управляемые аппараты и т.п.), а также при повсеместном развитии подводных, надводных и воздушных видов спорта возникла серьезная необходимость как в обнаружении приближающихся к охраняемому объекту на значительном удалении целей, так и в их классификации и прогнозировании возможного характера действий.

Такую задачу реально осуществить только лишь применением современных средств освещения обстановки, комплексированием поступающей от них информации и ее отождествлением, моделированием возможного дальнейшего поведения нарушителя. Большие дальности обнаружения и наиболее точная классификация обнаруженных приближающихся объектов должны позволить выработать эффективное решение и адекватно отреагировать группе охраны на возникшую угрозу.

Освещение обстановки вокруг охраняемого объекта должно осуществляться непрерывно и с заданными вероятностными характеристиками (обнаружения, классификации, ложной тревоги). Для этого разрабатываемая система интеллектуального мониторинга и контроля обстановки должна включать в свой состав средства оперативной гидрометеорологии, позволяющие своевременно определять состояние окружающей среды. На базе этих знаний система должна иметь возможность подстройки характеристик элементов технических средств обнаружения в целях сохранения заданной эффективности и эксплуатационных качеств (адаптации своей работы к изменяющимся внешним условиям).

Учитывая все вышесказанное, своевременным и актуальным, по нашему мнению, считаем развертывание работ по разработке и созданию системы интеллектуального мониторинга и контроля обстановки в целях обеспечения безопасности наиболее дорогостоящих и критичных объектов железнодорожной инфраструктуры со стороны прилегающей воды.

Таким образом, областью применения данной системы является ее использование в составе охранной системы объектов железнодорожной инфраструктуры для повышения вероятности

правильного обнаружения диверсантов (террористов) при приближении их к охраняемым объектам под водой или по воде.

2. Оценка характеристик сигнально-помеховой обстановки в зоне объектов железнодорожной инфраструктуры со стороны прилегающей акватории

Прием гидроакустических сигналов (ГАС) всегда осуществляется на фоне помех. В общем случае помехами приему гидроакустических сигналов являются: собственный (внутренний) шум ГАС и наводки от электрорадиооборудования носителя ГАС; шумы водной среды; излученные шумы носителя ГАС; излученные шумы кораблей и судов (шумовые помехи целей), сигналы активных ГАС других носителей, находящихся в данном районе, и реверберация акватории.

В отличие от помех электрического происхождения гидроакустические помехи связаны либо с естественными шумами водной среды, либо с шумами, создаваемыми технической деятельностью человека, но не являющимися носителями информации о цели.

Акустическое поле помех в точке приема образуется различными источниками, каждый из которых, в свою очередь, может формировать одну или несколько составляющих поля помех, отличающихся характером спектра и абсолютными значениями давления. Наложение совокупности составляющих поля приводит к образованию суммарного поля помех.

Места установки объектов железнодорожной инфраструктуры могут сильно различаться по многим параметрам.

Основными параметрами, определяющими свойства шумовых полей, а соответственно и помехосигнальную обстановку на акватории, являются: район расположения (глубина места, био-населенность, судходность акватории и интенсивность этого судходства, наличие ледового покрова и т.д.), гидрометеорологические параметры (скорость и устойчивость ветра, состояние поверхности акватории, зависимость скорости звука от координат и т.д.), а также особенности самого объекта железнодорож-

ной инфраструктуры.

Считаем, что для объективной оценки характеристик объектов железнодорожной инфраструктуры, подвергаемых нашему анализу, следует ввести разделение их на следующие условные группы:

а) стационарные сооружения и устройства:

– объекты мостового типа (мосты через проливы, заливы, крупные реки, каналы и т.п.);

– железнодорожное полотно, проходящее в непосредственной близости от водных акваторий (рек, заливов, озер и т.п.);

б) подвижной состав железной дороги, различающийся по скорости движения, обтекаемости, длине, массо-габаритным характеристикам, износу ходовой части и сцепных устройств и т.д.

Помимо характеристик объектов железнодорожной инфраструктуры на сигнально-помеховую обстановку в зоне контроля будут существенно влиять и характеристики самой акватории:

– река (ширина, глубина, скорость течения, глубина, характер дна и берегов, наличие и интенсивность судоходства, тоннаж проходящих судов, впадающие ручьи, родники и т.п.);

– пролив (ширина, глубина, скорость течения, соленость, однородность солёности на контролируемой акватории, изменчивость течений, какое дно и берега, наличие и интенсивность судоходства, тоннаж проходящих судов, впадающие ручьи, родники и т.п.);

– залив и т.д. и т.п.

Рассматривая мостовые сооружения, нужно понимать, что каждый из мостов уникален по разработке, имеет свои особенности, обеспечивающие многие факторы его продолжительной и надежной эксплуатации.

Из многих факторов, способных оказать негативное влияние на работоспособность гидроакустических средств мониторинга и контроля обстановки со стороны водной среды, можно выделить следующие:

– конструкция мостового сооружения, длины пролетов, наличие и количество опор, положение этих опор относительно воды;

- материалы, из которых изготовлен мост, коэффициенты затухания вибрации и акустической волны в них, резонансные характеристики;

- гидродинамические характеристики опор и наличие турбулентных потоков в зоне их установки;

- свойства дна и берегов (структура, пористость и т.п.), так как шум и вибрация от приближающегося поезда будет достигать акватории и мостовых сооружений задолго до въезда поезда на мост.

Полученные результаты испытаний гидроакустических средств подтвердили резкую зависимость дальности обнаружения малоразмерных объектов от всех вышеперечисленных факторов. Изменения эти могут достигать десятков раз. Например, приведенный уровень гидроакустических помех может меняться от сотых $\text{Па}/\sqrt{\text{Гц}}$ до единиц $\text{Па}/\sqrt{\text{Гц}}$ при прохождении большегрузных поездов, время воздействия шумящих объектов может варьироваться от нескольких секунд до нескольких минут.

Поэтому в каждом из районов необходимо проводить предварительные исследования сигнально-помеховой обстановки и выявлять основные факторы, влияющие на ее изменение. Только на основе этих знаний возможно построение системы интеллектуального мониторинга и контроля обстановки, эффективно функционирующей в конкретных условиях объекта.

3. Варианты построения системы

Оценка характеристик сигнально-помеховой обстановки в зоне объектов железнодорожной инфраструктуры со стороны прилегающей акватории показала, что данные системы не могут быть построены с использованием только одного из способов добывания информации (например только акустические датчики, или только оптоэлектроника и т.п.). Система должна соединять в себе информацию от различных источников, отождествлять ее, классифицировать и вырабатывать предложения по адекватному реагированию в соответствии с уровнем возникшей угрозы. Возможные варианты построения СИМ и КО представлены на рис. 1, 2.

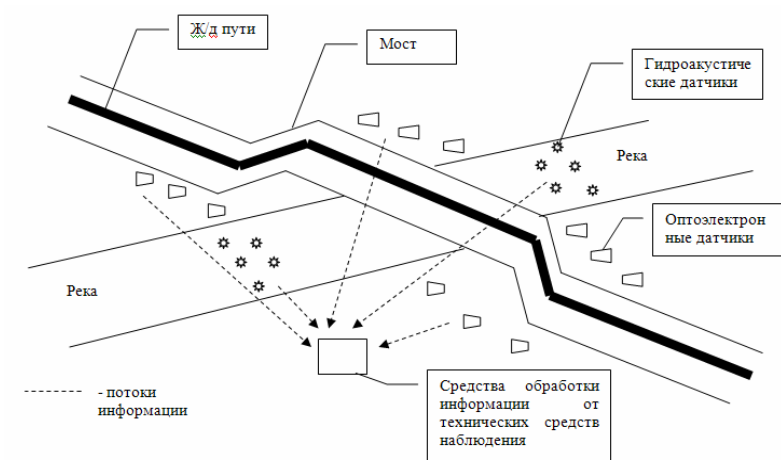
4. Анализ методов интеллектуальной обработки информации для комплексирования данных от оптоэлектронных и гидроакустических средств для распознавания и классификации объектов в наблюдаемой области

Задача комплексного обнаружения динамического объекта с помощью технических средств обнаружения предполагает решение следующих подзадач:

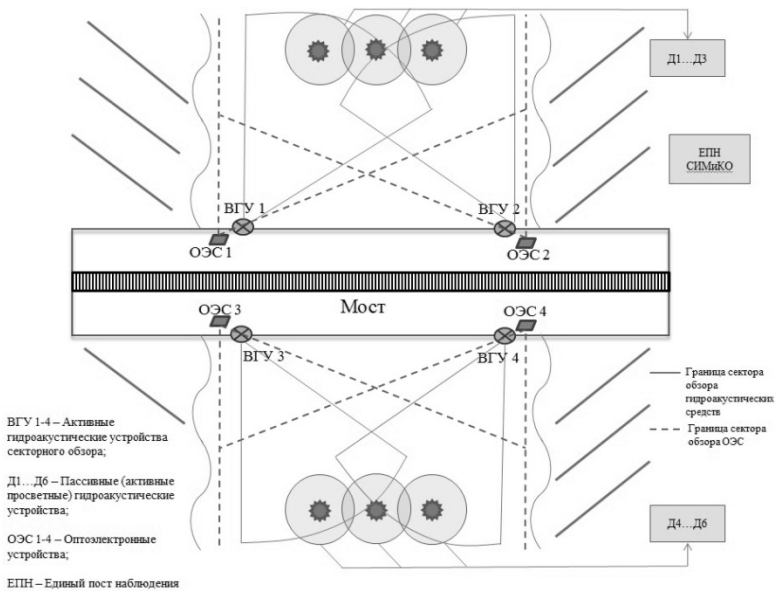
- выделения сигнала от объекта в условиях действия многочисленных помех;
- измерения параметров гидроакустического поля источника сигнала и определение элементов движения объекта;
- измерения параметров оптического поля источника сигнала и определение элементов движения объекта;
- классификации объекта по его гидроакустическим характеристикам и элементам движения;
- классификации объекта по его оптическим характеристикам и элементам движения;
- комплексирование информации полученной от гидроакустических и оптоэлектронных средств обнаружения.

Решение комплекса данных взаимосвязанных задач, таких как обнаружение, измерение и классификация с учетом нестационарности морской внешней среды, недостоверности априорных сведений, неполноты и неточности оценок параметров, также осложнено непредсказуемым поведением наблюдаемого объекта. В такой постановке рассматриваемая проблема считается решенной, если для каждого обнаруженного объекта формируется кортеж, объединяющий вектор состояний, содержащий оценки акустических и оптических характеристик и элементов движения объекта, и его класс с оценкой степени возможности правильной классификации на текущий момент времени.

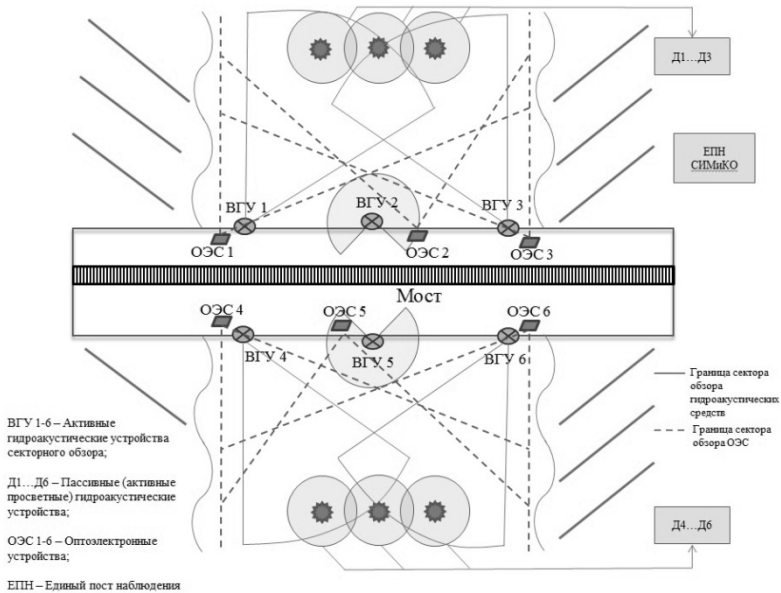
Реализация устройства принятия решения об обнаружении динамического объекта с помощью классических подходов требует построения математической модели, учитывающей множество параметров, которые не удается точно спрогнозировать или формализовать.



а)



б)



в)

Рис. 1. Варианты построения системы мониторинга и контроля обстановки в районе ж/д моста:
 а) мостовое сооружение без опор в воде;
 б) мостовое сооружение над рекой шириной до 500 м с возможностью контроля двумя выносными устройствами, расположенными у берегов;
 в) мостовое сооружение над рекой шириной свыше 500 м с центральными опорами моста с возможностью установки на нем выносного г/а устройства

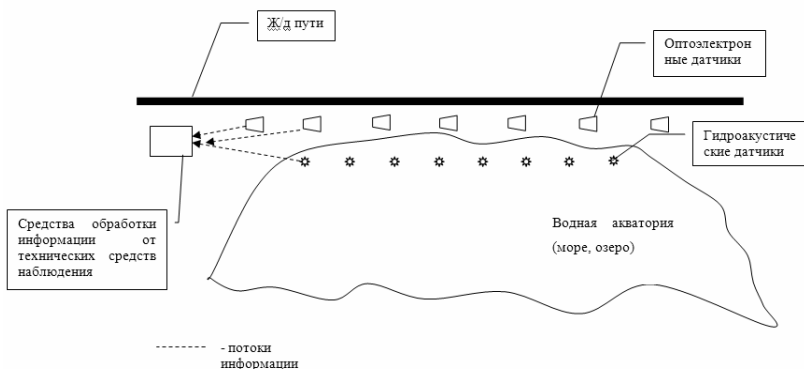


Рис. 2. Вариант построения системы мониторинга и контроля обстановки в районе водной акватории прилегающей к железнодорожным сооружениям

Например, известно, что на уровень энергии в точке приема оказывает влияние местоположение датчика относительно объекта. С перемещением объекта датчик может оказаться в зоне акустической освещенности, и тогда на пограничной дистанции происходят скачкообразные изменения энергии [3]. Причем для расчета этих зон необходимо учитывать множество параметров морской среды, таких как температура, соленость, характер течений, рельеф и состав дна, наличие ледяного покрова и т.д. Четкое описание данных параметров крайне затруднительно, особенно в условиях априорной неопределенности направления и скорости объекта. В результате принятия решений в режиме реального времени в таких условиях возможно лишь опытным оператором или экспертом. Для решения поставленной задачи с вышеописанной особенностью целесообразно применить алгоритмы интеллектуального анализа данных (алгоритмы *Data Mining*), допускающие отсутствие четкой формализованности входных параметров. При этом задача комплексного обнаружения динамического объекта с точки зрения задач *Data Mining* является задачей классификации и регрессии [1].

Задача классификации в *Data Mining* сводится к определению класса объекта по его характеристикам, которыми в нашем

случае являются данные с оптических и гидроакустических датчиков. Задача регрессии позволяет определить по известным характеристикам объекта значение некоторого его параметра, в нашем случае в качестве такого параметра могут выступать параметры движения объекта.

В задаче классификации и регрессии требуется определить значение зависимой переменной объекта на основании значений других переменных, характеризующих данный объект. Формально задачу классификации и регрессии можно описать следующим образом. Имеется множество объектов

$$(1) I = \{i_1, i_2, \dots, i_j, \dots, i_n\},$$

где i_j — исследуемый объект.

Каждый объект характеризуется набором переменных

$$(2) I_j = \{x_1, x_2, \dots, x_h, y\},$$

где x_h — независимые переменные, значения которых известны и на основании которых определяется значение зависимой переменной y .

В *Data Mining* часто набор независимых переменных обозначают в виде вектора

$$(3) X = \{x_1, x_2, \dots, x_h\}.$$

Каждая переменная x_h может принимать значения из некоторого множества

$$(4) C_h = \{c_{h1}, c_{h2}, \dots\}.$$

Если значениями переменной являются элементы конечного множества, то говорят, что она имеет категориальный тип.

Если множество значений $C = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ переменной y конечное, то задача называется задачей классификации. Если переменная y принимает значение на множестве действительных чисел \mathbf{R} , то задача называется задачей регрессии.

В задачах классификации и регрессии обнаруженная функциональная зависимость между переменными может быть представлена одним из следующих способов:

- классификационные правила;
- деревья решений;
- математические функции.

Классификационные правила состоят из двух частей – условия и заключения: «если (условие), то (заключение)».

Условием является проверка одной или нескольких независимых переменных. Проверки нескольких переменных могут быть объединены с помощью операций «и», «или» и «не».

Основным достоинством правил является легкость их восприятия и запись на естественном языке. Еще одно преимущество – их относительная независимость. В набор правил легко добавить новое правило без необходимости изменять уже существующие.

Основными методами построения классификационных правил являются:

- алгоритм построения 1-правил;
- метод *Naïve Bayes*;
- классификация с использованием нейронных сетей.

Деревья решений – это способ представления правил в иерархической, последовательной структуре.

Основными методами построения деревьев решений являются:

- алгоритм *ID3*;
- алгоритм *C4.5*;
- алгоритм покрытия.

Математическая функция выражает отношение зависимой переменной от независимых переменных. В этом случае анализируемые объекты рассматриваются как точки в $(m + 1)$ -мерном пространстве. Тогда переменные объекта $i_j = \{x_1, x_2, \dots, x_h, \dots, x_m, y\}$ рассматриваются как координаты, а функция имеет следующий вид:

$$(5) \quad y_j = \{\omega_0 + \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \dots + \omega_m x_m\},$$

где $\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_m$ – веса независимых переменных, в поиске которых и состоит задача нахождения классификационной функции.

Очевидно, что все переменные должны быть представлены в виде числовых параметров. Для преобразования логических и категориальных переменных к числовым используют разные способы.

Основными методами построения математических функций являются:

- метод наименьших квадратов;
- *Support Vector Mashines*;
- регуляризационные сети;
- дискретизация и редкие сетки.

5. Заключение

Построение системы интеллектуального мониторинга и контроля обстановки для конкретного объекта – такая же уникальная задача, как и конструирование самого мостового перехода. Полностью унифицированное изделие, способное подстраиваться под изменяющиеся условия среды и окружающей помеховой обстановки и отвечающее поставленной перед ним задаче обеспечения безопасности объекта, создать в рамках какой-либо одной работы невозможно. В зависимости от условий района необходимо создавать свою систему со своим набором средств освещения обстановки и со своими возможностями адаптации к этим условиям.

Также становится ясно, что для разных районов, возможно, придется подбирать и разные по принципу действия средства освещения обстановки, так как только специально подобранные или доработанные системы способны будут выполнять свои функции.

Единым для разных комплектов (наборов) средств освещения обстановки должен стать единый пост наблюдения со своим алгоритмом комплексной интеллектуальной обработки информации, поступающей от различных источников, с отождествлением и классификацией, что должно значительно повысить достоверность информации о цели и облегчить процесс принятия решения об уровне угрозы.

Перед началом работ по проектированию СИМ и КО для определенного района установки необходимо провести целый комплекс исследований условий его будущей эксплуатации с использованием набора специализированных измерительных средств, позволяющих определять параметры водной среды, такие как ВРСЗ, скорость течения у поверхности и у дна, скорость и направление ветра, батиметрия дна, акустическая помеха и т.д. и т.п.. Причем эти исследования необходимо произвести в

различных погодных условиях, в разное время года и не только в местах возможной установки выносных гидроакустических устройств, но и по всей охраняемой акватории для выявления возможных зон акустической тени или зон неблагоприятной работы гидроакустических средств, обусловленных гидрофизическими свойствами среды в данном месте.

Работа выполнена по гранту РФФИ №11-07-13149 офи-м-2011-РЖД.

Литература

1. БАРСЕГЯН А.А., КУПРИЯНОВ М.С., ХОЛОД И.И., ТЕСС М.Д., ЕЛИЗАРОВ С.И. *Анализ данных и процессов*. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.
2. ДЮК В.А. *Data Mining – интеллектуальный анализ данных*. – URL: <http://www.olap.ru/basic/dm2.asp>.
3. КОВАЛЕНКО В.В. *Современные тенденции развития гидроакустических методов подводного наблюдения* // Труды Нижегородской акустической научной сессии / Под ред. С.Н. Гурбатова. – Н. Новгород: ТАЛАН, 2000 – С. 15–16.

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT MONITORING AND SITUATION CONTROL SYSTEM FOR RAILWAY INFRASTRUCTURE OBJECTS PROTECTION FROM ADJOINING WATER AREA

Vitaly Khanychev, OJSC “Central Scientific Research Institute “Kurs” (OJSC “CSRI “Kurs”), Moscow, Doctor of Science, head of the department, (vvh@kyrs.ru, +7 (495) 365-18-47).

Milovanov Maksim, OJSC “Central Scientific Research Institute “Kurs” (OJSC “CSRI “Kurs”), Moscow, deputy chief of the department, (Veter789@rambler.ru, +7 (495) 365-18-47).

Abstract: We describe an intelligent monitoring and situation control system for security safeguarding of railway infrastructure objects from the adjoining water area. The system uses interconnected information came from optoelectronic and hydro-acoustic sensors.

Keywords: intelligent system, situation control, object safety, railway infrastructure, water area, data analysis.