

# Автоматизация управления в многоканальной системе мониторинга морской обстановки

Е. Л. Шейнман

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

bell.sunny@yandex.ru

**Аннотация.** Рассматривается задача автоматизации управления в многоканальной системе мониторинга морской обстановки, обеспечивающей поддержку принятия решений, в интересах уменьшения загрузки оператора.

**Ключевые слова:** системы поддержки принятия решений; модель интегрированной системы мониторинга морской обстановки; рекомендации по управлению

Увеличение количества и состава разнородных средств, используемых в системах мониторинга морской обстановки, приводит к резкому увеличению объемов информации, поступающей на верхний уровень и представляемой оператору и лицу, принимающему решение. До настоящего времени задача управления системой осуществлялась только оператором на основании субъективных оценок обстановки, уровня профессионализма и указаний командного пункта. На него возлагаются требования адекватной оценки тактической обстановки вокруг корабля, мгновенной реакции на изменение обстановки, исключение ошибочных действий. Автоматизированная, интеллектуальная поддержка этих решений отсутствовала, что увеличивало загрузку операторов, приводило к ошибкам, неправильной оценке ситуации и увеличивало время принятия решений.

Рассматривается задача повышения уровня автоматизации управления и интеллектуальной поддержки принятия решений по данным средств наблюдения. Эта задача осуществляет автоматизированное обеспечение решаемых задач мониторинга морской обстановки дополнительной прогнозной информацией, планирование использования и управление гидроакустическими средствами наблюдения в различных ситуациях. Результатом работы этих алгоритмов является список рекомендаций по оптимальному управлению системой гидроакустического наблюдения и обоснование предлагаемого поведения в текущей тактической обстановке.

Алгоритмы включают решение следующих задач:

- ранжирование и выбор объектов, приоритетных для управления, с учетом анализа характеристик поведения и опасности обнаруженных объектов и с учетом тактической ситуации;

- выработку прогнозных оценок поведения и маневрирования объектов и выбор приоритетных задач по управлению с учетом текущей тактической ситуации;
- выработку рекомендаций по управлению средствами наблюдения и управлению алгоритмами комплексирования информации и принятия решений;
- выработку рекомендаций по маневрированию корабля, выбор глубины погружения, скорости и режимов хода в интересах оптимального использования средств подводного наблюдения
- моделирование, анализ и представление лицу, которое принимает решения, различных сценариев развития тактических ситуаций; планирование тактических действий;
- выработку рекомендаций и управляющих команд по расстановке и оптимизации использования средств наблюдения системы.

Алгоритмическое обеспечение решения этих задач строится на базе гибридных экспертных алгоритмов, сочетающих подходы инженерии знаний с традиционными подходами к принятию решений. Для выработки рекомендаций и управления средствами наблюдения используются данные о текущей обстановке, выработанные при решении комплексной задачи обнаружения, данные о гидрологических условиях наблюдения, данные о сигнально-помеховой обстановке, решаемая тактическая задача, а также базы данных и знаний, обеспечивающие функционирование экспертной системы.

Для этого используются базы данных (БД) по объектам, по районам плавания и помехам, по характеристикам объектов и системам наблюдения, базы знаний по классификации, по управлению и планированию тактических действий, которые должны корректироваться и дополняться в процессе работы системы. Предусматривается представление оператору выработанной информации, в том числе отображение расчетов и схем маневрирования на электронной карте.

Это новые задачи для средств подводного наблюдения, требующие серьезных исследований. В настоящей работе не ставится задача алгоритмизации экспертной системы автоматизации управления в полном объеме. Предлагаются некоторые подходы к решению этих задач и некоторые варианты логических правил выработки рекомендаций по управлению.

Предусматривается два уровня автоматизированной поддержки принятия решений. На первом уровне решаются задачи выработки рекомендаций по управлению параметрами и алгоритмами принятия решений и подготовки данных для решения задач второго уровня – выработки общекомплексных рекомендаций. Первый уровень включает выработку рекомендаций по выбору, в зависимости от тактической задачи, режимов работы пассивных и активных систем и их параметров, по оптимизации параметров буксировки гибкой протяженной буксируемой антенны, по включению режима адаптации.

Вырабатываются признаки, характеризующие устойчивость сопровождения объекта и признаки «мешающих объектов». Рекомендуются частотные диапазоны, времена накопления сигнала, шкалы, типы сигнала и т.д. Рекомендации по включению режима гидролокации и выбору параметров излучаемых сигналов, а также по выбору параметров пассивных режимов вырабатываются в результате анализа признаков, характеризующих условия обнаружения/потери и сопровождения объекта. Учитывается решаемая задача, анализ зон взаимного обнаружения в различных тактических ситуациях и гидрологические условия распространения звука в среде, а также сигналы гидролокаторов других систем и средств гидроакустического подавления.

Рассмотрим основные задачи верхнего уровня.

В алгоритме ранжирования и выбора объектов на управление осуществляется выбор приоритетных объектов по управлению и очередности управляющих воздействий. Основной исходной информацией является: решаемая тактическая задача и данные о текущей обстановке, включающие в себя формуляры данных обнаруженных объектов, а также данные о районе, в котором находится система мониторинга. Учитывается класс объекта, характер маневрирования и условия обнаружения/потери и сопровождения объекта. При анализе характера маневрирования учитываются близкие объекты, встречные объекты, объекты, идущие наперерез, объекты, которые появляются внезапно на малых дистанциях, объекты в корме.

При выработке рекомендаций учитываются признаки, характеризующие условия обнаружения/потери и сопровождения объекта. К таким признакам относятся: признак отсутствия оценки дистанции или определения ее с большой погрешностью; признак «объекты на одном пеленге»; признаки створивания объектов; наличия мешающих объектов; потери скрытности; признак «возможна потеря контакта с объектом». Последний признак вырабатывается, если для всех систем, обнаруживших объект, выработан признак «возможна

потеря контакта» по одному из условий: по сектору обзора, по дальности, по отношению сигнал/помеха, по зонам контакта. С использованием этих признаков и с учетом ранжирования объектов вырабатывается приоритет очередности наблюдения за объектами.

Для выбранного на управление объекта вырабатываются рекомендации на проведение расчетов по маневрированию, необходимому для наблюдения за обнаруженными объектами и экстраполяция (прогноз) движения объектов на заданное оператором время. Например, вырабатываются рекомендации на расчет маневра для оценки текущих координат объекта, или на расчет маневра по поиску потерянного объекта по результатам анализа выработанных признаков. Алгоритмы маневрирования для приведенных выше случаев известны [1, 2] и дополнительно в настоящей работе не рассматриваются.

Новой задачей является задача текущего обучения при принятии решений. В существующих в настоящее время гидроакустических системах подводного наблюдения задача обучения и корректировки решающих алгоритмов в процессе работы не ставилась и не решалась. Задача обучения алгоритмов выработки параметров, классификации и идентификации может решаться автоматически или автоматизировано. Обучение алгоритмов принятия решений предлагается проводить на основе анализа эффективности вырабатываемых решений в процессе работы. Для выработки рекомендаций об уточнении параметров, используемых в алгоритмах, и о необходимости текущей корректировки и выбора методов принятия решений предусматривается текущая статистическая обработка алгоритмов принятия решений и определения информативных параметров, вырабатываемых в системе наблюдения.

При статистической обработке должен производиться анализ плотностей распределения оцениваемых информативных параметров и расчет критериев эффективности решения задач (эмпирические вероятности правильных и ошибочных решений задач обнаружения, классификации, идентификации, оценки координат, гистограммы распределений, выборочные моменты). По данным о текущей обстановке, имеющейся в рассматриваемой системе наблюдения, определяются вероятности правильного решения, ошибочного решения и отказа от решения как отношение числа испытаний, в которых произошло соответствующее событие, к общему числу испытаний. Критерием правильности выработанного решения является решение оператора или решение, поступившее с верхнего уровня системы, или для оценок координат объекта – оценка параметров режима гидролокации.

Осуществляется сравнительная прогнозная оценка эффективности решений задач освещения обстановки при использовании различного сочетания гидроакустических средств наблюдения с учетом текущей и прогнозируемой общей обстановки.

Проводятся расчеты по оптимальному выходу на гидроакустический контакт отдельных систем

обнаружения по информации всех средств наблюдения корабля. Для оценки потенциально достижимых вероятностных характеристик обнаружения объектов, распознавания и оценки координат при различных возможных вариантах дальнейшего использования режимов гидроакустических систем предлагается использовать методы аналитической оценки эффективности, разработанные в [3], позволяющие получить вероятностные характеристики решения комплексной задачи обнаружения для конкретной тактической ситуации. Сравнение эффективности различных вариантов алгоритмов и выбор наиболее эффективного варианта производится по выбранным критериям эффективности. Дополнительно при выборе оптимального решения учитывается соотношение между выигрышем в эффективности рассматриваемых вариантов и трудоемкостью их получения. Результаты действия алгоритма используются при выработке рекомендаций по оптимальному использованию гидроакустических средств.

Выбор приоритетных объектов, определяющих управление системами подводного наблюдения, зависит от задачи, решаемой на соответствующем этапе боевых действий. Различные противоречивые требования по освещению обстановки и дополнительные управляющие воздействия по одному из объектов могут привести к снижению эффективности работы по другим объектам. Для выработки рекомендаций по управляющим воздействиям анализируются все выработанные признаки и определяются варианты управляющих воздействий, оптимизирующих управление в различных ситуациях. Допустимо оператору предоставлять несколько вариантов действий с указанием, какие из них эффективнее для различных вариантов развития общей обстановки. Для этого предусматривается моделирование различных сценариев развития тактических ситуаций с помощью системы оценки эффективности, разработанной [4]. Также предусматривается возможность выбора одного из вариантов развития тактической ситуации для выполнения функций «автопилота».

По результатам анализа тактической обстановки должна вырабатываться сводная информация, как по текущей общей тактической обстановке, так и отдельно по каждому объекту, и индексироваться оператору. Оператор, прежде всего, должен руководствоваться здравым смыслом и опираться на личный опыт. Выполнение рекомендаций не является обязательным, однако оператор должен обоснованно отказываться от их выполнения.

Выработка рекомендаций по управлению алгоритмами принятия решений включает в себя выработку рекомендаций по управлению алгоритмами идентификации и комплексной классификации, по корректировке порогов обнаружения и параметрами алгоритмов.

В гидроакустических системах пороги определяют эффективность обнаружения объектов в режимах обнаружения, дискретных составляющих спектров сигнала, максимумов корреляционных функций, а также ряда других параметров сигнала. Для текущей выработки

рекомендаций по управлению порогом можно использовать такие результаты статистической обработки, как частоты правильного  $P_{\text{прав}}$ , ошибочного решений  $P_{\text{ош}}$  или пропуска параметра (объекта)  $P_{\text{проп}}$  или математические ожидания правильного, ошибочного выделения или пропуска параметра (объекта). В качестве критерия истинности используется решение оператора в процессе обучения, которое определяет объем набора статистики ( $N_{\text{опер}}$ ) – общее число всех операторских решений. Правильным решением считается решение автомата об обнаружении, подтвержденное оператором. Ошибочным решением считается решение автомата, не подтвержденное оператором (обнаружение помехи – ложная тревога). Пропуском считается назначение оператором обнаружения параметра (объекта), не обнаруженного автоматически ( $P_{\text{прав}} + P_{\text{проп}} = 1$ ), при наличии обнаруживаемого события).

Возможны различные алгоритмы выработки рекомендаций по управлению порогом. Например, вырабатывается рекомендация «повысить порог обнаружения параметра (объекта)», если разница между математическими ожиданиями ошибочного решения и пропуска превышает заданное пороговое значение или если  $P_{\text{ош}} > P_{\text{пор1}}$ , при ( $P_{\text{проп}} < P_{\text{пор2}}$  или  $P_{\text{прав}} > P_{\text{пор3}}$ ). Здесь  $P_{\text{пори}}$  – заданные пороговые значения. Аналогично можно выработать рекомендацию на понижение порога. Возможны и другие правила выработки рекомендаций по корректировке порога.

Для выработки рекомендаций по управлению параметрами алгоритмов анализируются систематические и флюктуационные погрешности оценки параметра и частоты решений по рассматриваемым алгоритмам. При превышении частот ошибочных решений заданного порога или при погрешности оценок параметра, превышающей заданное пороговое значение, выдаются рекомендации по корректировке констант алгоритмов или учету различных параметров или методов оценки параметров в алгоритмах принятия решений.

Для выработки рекомендаций по комплексной классификации производится статистическая обработка решений о классе, поступающих из режимов наблюдения, и автоматических решений о классе в алгоритмах комплексного классификатора с учетом решений оператора. Анализируются полный комплексный алгоритм классификации и частные алгоритмы, вырабатывающие решения о классе, которые учитываются в комплексном алгоритме, а также признаки включения – выключения частных алгоритмов классификации и включения – выключения режимов из алгоритма автоматической классификации объектов.

Для каждого объекта проводится фиксация появления или изменения решения оператора о классе или, при наличии решения оператора, изменения решения автомата в комплексных алгоритмах классификации. В статистику включаются только те испытания, в которых оператор для какого-либо объекта либо впервые принял решение о классе или его изменил или, если было принято решение оператора, изменилось решение автомата.

Вероятности (частоты) событий ищутся для решений о классе в системах обнаружения и в комплексном классификаторе для различных веток алгоритма. Определяется относительная частота события «решение о классе  $k$ , при истинном классе  $i$ »  $P_{K/i,r}(j)$  для  $r$ -го алгоритма или системы обнаружения. В результате для каждого алгоритма и для каждой системы вырабатывается массив частот решений всех классов при различных истинных классах.

Для каждого истинного  $i$ -го класса определяется класс  $K_{0i}$ , для которого частота решений максимальна.  $K_{0i}: \max_k P_{K/i,j}$ . Для выработки рекомендаций по управлению производятся дополнительные проверки. Если имеется класс  $i$ , для которого  $n_{i,r}(j) > n_{\text{пор}}$ ,  $K_{0i} \neq i$ ,  $P_{K/i,j}(j) > P_{\text{пор}}$ , то вырабатывается признак низкого уровня доверия к этому алгоритму или системе обнаружения, который индицируется оператору. Здесь  $n_{i,r}(j)$  – число решений с истинным  $i$ -м классом на  $j$ -м шаге решения оператора или автомата по произвольному объекту для  $r$ -го алгоритма или системы обнаружения,

Для выработки рекомендаций по комплексированию информации производится статистическая обработка автоматических решений об идентификации объектов, обнаруженных в различных системах обнаружения. В статистику включаются только те испытания, в которых оператор для некоторого объекта либо впервые принял решение об идентификации или его изменил. Решение оператора об идентификации для этого объекта считается истинным. Производится подсчет решений оператора об идентификации объектов ( $N_{\text{оп}}$ ).

Например, для интегрированной системы подводного наблюдения, включающей в себя несколько активных и пассивных режимов обнаружения, для каждого операторского решения об идентификации производится подсчет событий и вероятности (частоты) этих событий. Рассматриваются события: подтверждение оператором автоматического решения – правильное решение ( $N_{\text{пр}}, P_{\text{пр}}$ ); несогласие автомата и оператора – ( $N_{\text{нес}}, P_{\text{ош}}$ ); присвоение оператором свободного номера объекта какого-либо режима (или системы обнаружения), в которой есть несколько режимов ( $N_{\text{нов}}, P_{\text{разд}}$ ); объединение оператором объектов разных режимов, то есть исчезновение (потери) какого-либо номера объекта ( $N_{\text{пот}}, P_{\text{объед}}$ ); количество операторских решений по объекту, в состав которой входит проверяемый режим (РЕЖ) –  $N_{\text{реж}}$ , подтверждение оператором решений по объекту, в состав которой входит проверяемый режим ( $N_{\text{пр реж}}, P_{\text{пр реж}}$ ); отделение оператором режима РЕЖ от скомплексированного объекта, то есть либо присвоение свободного номера объекту для РЕЖ, либо сохранение старого номера за объектом, в котором остался только РЕЖ – ( $N_{\text{новреж}}, P_{\text{пр реж}}$ ); перенумерация оператором объекта режима РЕЖ при наличии у объекта других режимов, то есть присвоение другого номера другому объекту (не новому) ( $N_{\text{пер реж}}, P_{\text{пер реж}}$ );

присоединение оператором объекта, имеющегося только в режиме РЕЖ, к какому-либо объекту ( $N_{\text{пот реж}}, P_{\text{объед реж}}$ ).

Перенумерация оператором объектов разных режимов, то есть присвоение режиму другого номера другого объекта (не нового).  $N_{\text{пер}}: P_{\text{пер}} = P_{\text{ош}} - (P_{\text{разд}} + P_{\text{объед}})$ . Ошибочное решение по идентификации объектов РЕЖ:  $P_{\text{ош реж}} = (P_{\text{разд реж}} + P_{\text{объед реж}} + P_{\text{пер реж}})$ .

В результате для перечисленных выше событий вырабатывается массив частот решений. Результаты решения сводятся в таблицу. Для выработки рекомендаций по управлению производится анализ полученных частот решений. Если число испытаний больше порогового  $N_{\text{пор}}$ ,  $P_{\text{ош}} > P_{\text{пр}}$  и  $P_{\text{ош}} > P_{\text{пор}}$ , где  $P_{\text{пор}}$  – заданный порог для соответствующего алгоритма, то вырабатывается признак низкого уровня доверия к режиму РЕЖ, который индицируется оператору. Если число испытаний больше порогового  $N_{\text{пор}}$ ,  $P_{\text{ош}} > P_{\text{пр}}$  и  $P_{\text{ош}} > P_{\text{пор}}$ , для алгоритмов идентификации объекта, то проверяется выполнение неравенств: при  $P_{\text{объед}} < P_{\text{разд}}$  вырабатывается рекомендация по уменьшению порогов, а при  $P_{\text{объед}} > P_{\text{разд}}$  вырабатывается рекомендация по увеличению порогов по пеленгу и ВИП соответствующего алгоритма идентификации.

В настоящей работе не ставится задача алгоритмизации экспертной системы автоматизации управления в полном объеме. Здесь приведены только некоторые примеры, показывающие возможность автоматизированной помощи оператору. Реализация такого подхода позволит обеспечить сокращение времени обработки информации, повышение эффективности мониторинга морской обстановки при решении оператором основных тактических задач и минимизировать его ошибочные действия. Разработка такой системы является первым этапом, повышающим уровень автоматизации работы оператора. Можно прогнозировать, что следующим этапом автоматизации работы оператора окажется реализация части рекомендуемых управляющих воздействий в режиме автомата, что позволит использовать такую систему как «автопилот» в экстренных ситуациях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Абчук В.А., Матвейчук Ф.А., Томашевский Л.П. Справочник по исследованию операций. М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1979.
- [2] Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. М.: Советское радио, 1977.
- [3] Шейнман Е.Л. Критерии и алгоритмы оценки эффективности комплексирования информации в многоканальной информационной системе //Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2010. №1(7). С. 14–24.
- [4] Шейнман Е.Л., Емилова Р.Р. Моделирование интегрированной системы мониторинга судоходства в морской акватории //Тр. XX межд. конф. по мягким вычислениям и измерениям SCM 2017. С. 420–423.