ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОРАБЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ СВЯЗИ

Д.Е. Зачатейский^{1,2}, Л.С. Лазарев²

¹*Институт радиопизики и функциональной электроники Омского научного центра СО РАН,
Омск, Российская Федерация*

²*Омский научно-исследовательский институт приборостроения, Омск, Российская Федерация*

Представлены результаты анализа применения известных подходов к структурированию интеллектуальных систем управления применительно к корабельным комплексам связи. Предложены организационные и технические мероприятия, необходимые для практической реализации таких систем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, система управления, корабельный комплекс связи.

INTELLIGENT CONTROL SYSTEM OF SHIP COMMUNICATION COMPLEX

D. E. Zachateiskiy^{1,2}, L.S. Lazarev²

¹*Institute of Radiophysics and Physical Electronics OSC SB RAS, Omsk, Russian Federation*

²*Omsk Scientific-Research Institute of Instrument Engineering, Omsk, Russian Federation*

The results of the analysis of the application of well-known approaches to the structuring of intelligent control systems as applied to ship communication systems are presented. The organizational and technical measures necessary for the practical implementation of such systems are proposed.

Keywords: artificial intelligence, control system, ship communications system.

Под интеллектуальными системами управления (ИСУ) принято понимать системы, в контур управления которых включены процедуры обработки знаний, позволяющие обеспечить требуемое качество управления в условиях неполноты, нечеткости и неопределенности поступающей входной информации [1]. Считается, что построение ИСУ не требует знания точной математической модели управления, а базируется на опыте действий в аналогичных ситуациях высококвалифицированных специалистов (экспертов) [2]. Неполнота и неопределенность поступающей входной информации в системах управления корабельными комплексами определяется следующими факторами:

1. Большое количество параметров технических средств, включаемых в состав комплекса, и малое время, отводимое на приведение комплекса в готовность для решения задач по связи корабля.

2. Наличие неконтролируемых операторами и должностными лицами корабля воздействий на систему связи, определяемых изменчивостью во времени параметров сред распространения радиоволн, случайных и преднамеренных помех радиосвязи и др.

3. Большое количество возможных контролируемых воздействий, требующих оперативной перестройки режимов работы комплекса связи, что обуславливает целесообразность максимальной автоматизации формирования этих управляющих воздействий на технические средства комплекса.

Таким образом, неполнота входной информации для ИУС может быть обусловлена двумя факторами: отсутствием требуемой информации у оператора комплекса связи и малым временем, отведенным ему на сообщение данных сведений системе управления. Применяемые в настоящее время способы решения данной проблемы, состоящие в предвари-

тельной настройке режимов системы управления (например, предварительном формировании возможных трактов связи), предоставлении операторам возможностей для прогнозирования условий распространения радиоволн и прочего, лишь частично снижают уровень напряженности их работы. С другой стороны, за предыдущие годы уже накоплен большой опыт автоматизированного решения указанных задач [3–5]. Многие экспертные знания нашли свое отражение в различных моделях сред распространения радиоволн и методиках выполнения расчетов. Все это позволяет считать разработку интеллектуальных систем управления в данной предметной области актуальной задачей.

Несмотря на то что данная структура рассматривалась в [1] в основном для задач управления «сложными динамическими системами» (роботизированные комплексы, многозвенные мехатронные устройства, беспилотные летательные аппараты и т. п.), она носит универсальный характер и может, на наш взгляд, быть взята за основу для построения интеллектуальных систем управления и в рассматриваемой предметной области. Конкретизируем данную обобщенную структуру, применительно к обсуждаемой задаче.

чивать своевременную, достоверную и безопасную передачу сообщений, что в совокупности обуславливает пригодность или способность удовлетворять потребности управления силами на море по обмену всеми видами информации.

Требования по своевременности определим через целевую функцию:

$$T_{\text{дов}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $T_{\text{дов}}$ – время доведения информации до должностного лица на корабле или донесений с корабля вышестоящему командованию.

Требования по достоверности могут быть определены через допустимое значений вероятности ошибки в передаваемой информации:

$$P_{\text{ош}} < P_{\text{ош доп}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{ош}}$ – вероятность ошибки в передаваемой информации, $P_{\text{ош доп}}$ – пороговое значение вероятности ошибки, допустимое для передачи информации в данной системе.

Требование по безопасности системы связи определяют широкий круг требований по разведзащищенности, помехозащищенности, имитостойкости, криптографической стойкости и других свойств, которые предлагается описать обобщенным показателем Π_3 , определив для него целевую функцию:

$$\Pi_3 \geq \Pi_{3\text{max}}, \quad (3)$$

где Π_3 – обобщенный показатель защищенности системы, $\Pi_{3\text{max}}$ – пороговое значение обобщенного показателя защищенности, определяющее максимально возможное теоретически значение данного показателя в реальной обстановке.

Таким образом, цель управления может быть описана целевой функцией (1) с учетом ограничений (2), (3).

Программа достижения цели предполагает:

- автоматический выбор рода связи из числа возможных для обмена информацией требуемого пользователю вида;
- автоматический выбор оптимальных режимов работы технических средств;
- автоматизированный выбор оптимальных режимов передачи информации.

При этом наличие альтернатив по использованию подсистем корабельного комплекса, предоставляющих услуги различных родов связи, определяется при составлении Распоряжения по связи корабля на время похода. Например, для предоставления услуг в видеоконференцсвязи должна быть предписана работа в радиосетях спутниковой и широкополосной УКВ радиосвязи, для передачи телеграфных сообщений в адрес одного из корреспондентов – СВ, КВ и узкополосной УКВ радиосвязи и пр.

Возможность полной автоматизации выбора режимов работы технических средств определяется как строгой регламентацией правил работы в радиосетях, так и включением в состав корабельного комплекса связи дополнительных средств диагностики параметров среды распространения и автоматических средств оперативной оценки качества канала связи. Под средствами диагностики параметров среды распространения будем понимать приемные ЛЧМ ионозонды, измерители характеристик ионосферы по радиосигналам спутниковых систем, автоматические измерители параметров контрольно-маркерных сигналов береговых радиостанций и пр. Автоматическими средствами оперативной оценки качества канала связи могут служить средства канального зондирования, позволяющие оценить отношение сигнал/шум, частотное и временное рассеяние в радиоканале, измерители ошибок в тестовых информационных последовательностях и др. Для решения «классической» задачи когнитивного радио – задачи выбора свободного от радиопомех участка радиочастотного спектра – в состав комплекса связи могут дополнительно включаться панорамные радиоприемные устройства с соответствующими устройствами цифровой обработки сигнала, позволяющими строить АФХ для требуемого частотного диапазона.

Автоматизированный выбор оптимальных режимов передачи информации предполагает участие должностного лица при формировании расписания работы комплекса связи в

части определения приоритетов по важности того или иного донесения и соответствующего перемещения его на нужную позицию в очереди передаваемых файлов или организуемых сеансов связи. Дальнейшая работа по обмену информацией файлового типа (вхождение в связь, определение скорости информационного обмена в требуемом радионаправлении, перезапрос непринятых пакетов и пр.) должна выполняться автоматически.

Программа достижения цели может корректироваться с учетом временных изменений условий распространения радиоволн, включая преднамеренное радиоэлектронное противодействие со стороны противника, увеличения информационного потока до уровня, требующего параллельного использования нескольких подсистем связи и др.

Алгоритм управления предполагает выполнение следующих операций:

1. Определение допустимых режимов работы корабельного комплекса связи, исходя из Распоряжения по связи, наличия исправного оборудования, укомплектованности личного состава.

2. Начальное формирование расписания работы комплекса, типовых трактов связи для работы в требуемых по Распоряжению радиосетях и радионаправлениях.

3. Анализ помеховой обстановки, диагностика трактов связи или прогнозирование параметров радиоканалов в требуемых информационных направлениях. Формирование таблиц связности корабельного комплекса с другими радиостанциями.

4. Автоматическое формирование трактов связи, вхождение в связь и передача информации (ведение информационного обмена) в соответствии с расписанием работы.

5. Коррекция (дополнение) расписания работы комплекса новыми заданиями.

6. Протоколирование действий операторов и системы управления. Анализ протоколов с целью получения новых знаний о соответствии режимов работы комплекса в целом и его составных частей различным условиям эксплуатации.

В ИСУ этот перечень должен быть дополнен автоматическим анализом протоколов и пополнением (коррекцией) базы знаний по данной информации.

Исполнительные механизмы формируются в современных корабельных комплексах связи на программном уровне и включают в себя:

1) программную реализацию протоколов управления техническими средствами, интегрированными в состав комплексов связи;

2) формирование трактов связи – автоматизированную адресацию информационных пакетов в корабельной мультисервисной сети;

3) человеко-машинный интерфейс, обеспечивающий ввод команд управления оператором и отображение данных информационной системы.

Объектом управления является интегрированный комплекс связи (ИКС) корабля. Термин «интегрированный» предполагает объединение в единый программно-аппаратный комплекс технических средств как внутрикорабельной связи, так и систем радиосвязи, обеспечивающих обмен информацией по внешним направлениям. Исходя из этого, при декомпозиции ИКС на составные части задача управления сводится к задачам дистанционного управления входящими в него средствами и формирования требуемых пользователям трактов связи. Дополнительно на автоматизированных рабочих местах и других терминалах комплекса могут решаться задачи информационной поддержки действий оператора, компьютерной поддержки принятия решений должностными лицами, электронного документооборота, автоматического документирования действий операторов и системы управления и пр.

Внешняя среда в рассматриваемом случае может быть представлена двумя основными компонентами: естественного и антропогенного происхождения.

Естественными факторами, существенно влияющими на работоспособность системы, являются физические особенности процессов распространения радиоволн, применяемых в различных родах связи, особенности рельефа местности, волнение моря, а также радиощумы естественного происхождения (атмосферные, галактические, пурговые и пр.).

Антропогенные воздействия на ИКС можно разделить на воздействия, существенно изменяющие помеховую обстановку, и воздействия, приводящие к выходу из строя отдельных технических средств.

И в том, и в другом случае средства диагностики состояния технических средств и электромагнитных полей в районе плавания корабля должны предоставлять системе управления соответствующую информацию. Для этого в состав комплекса связи включаются измерительно-информационные средства, уже упоминавшиеся выше: панорамные радиоприемные устройства, приемники ЛМЧ и контрольно-маркерных сигналов береговых радиопередатчиков, приемники сигналов, излучаемых космическими аппаратами. Диагностика может быть реализована и с использованием штатных технических средств, входящих в состав комплекса связи путем разработки и применения специального программного обеспечения, позволяющего реализовать методы соответствующей цифровой обработки сигналов [7]. Информационными средствами, входящими в состав данной подсистемы ИКС, могут считаться средства автоматического прогнозирования условий распространения радиоволн, основанные на применении известных расчетных методов [8].

Механизмы обобщения накопленного опыта и пополнения знаний и сам набор знаний, позволяющие классифицировать рассматриваемую систему управления комплексом связи как «интеллектуальную», базируются на известных методиках, применяемых на флоте. Каждый выход в море и работа комплекса связи позволяют уточнять границы зон обслуживания береговых УКВ и СВ радиостанций в том или ином районе плавания, выполнять сбор данных для дальнейшей адаптации к реальным условиям работы математических моделей, применяемых для прогнозирования условий работы и оптимизации управляющих воздействий на комплекс связи со стороны системы управления. То есть можно считать, что данная информация позволяет производить «обучение» системы управления. Наборы используемых знаний можно определить следующим списком:

1. Статистическая информация о проведенных сеансах связи (с привязкой к местоположению корабля, сезону, времени суток, волнении на море и др.).
2. Результаты выполненных расчетов по прогнозированию условий распространения радиоволн, доступности радиоканалов, режимов работы технических средств, требуемых для обеспечения качественной связи.
3. Результаты работы автоматической системы оперативной оценки качества радиоканалов и зондирования сред распространения радиоволн.
4. Требования нормативных документов, определяющих правила работы в радиосетях.

Механизмы логического вывода, согласно рассматриваемой схеме (см. рисунок), определяют формирование управляющих воздействий трех видов:

Параметрическая и структурная настройка алгоритма управления во многом совпадает с задачами параметрической и структурной адаптации в системах адаптивной радиосвязи [9]. Параметрическая адаптация предполагает автоматический выбор наилучшей рабочей частоты, уровня мощности РПДУ, скорости передачи информации и пр. Структурная адаптация системы связи предполагает изменение структуры тракта связи (например, автоматическое переключение на антенну, размещенную по другому борту корабля, при его развороте) или изменение маршрута доставки информации (например, переход от режима использования канала прямой связи к составному каналу с одним или несколькими ретрансляционными пунктам).

Коррекция программы достижения цели управления может и должна производиться в случаях существенного изменения условий работы ИКС. Например, автоматический выбор рода связи производится из числа доступных радиоперехватных родов связи. Условия (количество альтернатив) для выбора может изменяться при входе/выходе корабля в/из зоны обслуживания системы УКВ или СВ радиосвязи или при уходе за радиогоризонт космического аппарата системы спутниковой связи, или появлении нового аппарата, способного выполнять функции ретранслятора. Автоматический выбор оптимальных режимов ра-

боты технических средств должен производиться с учетом реальной помеховой обстановки в районе плавания корабля и условий распространения радиоволн. При резком росте уровня помех должны применяться методы помехоустойчивой радиосвязи, а также режимы работы, обеспечивающие передачу информации в данных условиях за счет снижения скорости информационного обмена и использования более узкополосных радиоканалов. Коррекция программы работы радиоцентра должна производиться по мере поступления новых срочных донесений. В данном случае интеллектуальная система управления должна автоматически контролировать выполнение нормативов по доставке информации и обеспечивать применение резервных технических средств по необходимости. Соответственно, должна меняться программа работы комплекса, настройки маршрутов доставки информации и параметров работы технических средств.

Коррекция цели допускается, если предыдущая цель управления недостижима или становится неактуальной в данных условиях. Пусть для реализации требований по своевременности доставки донесений системой управления решалась задача передачи буквенно-цифровой информации в коротковолновом радиоканале на максимальной скорости (например, 9,6 кбит/с в полосе 3,1 кГц). Для этого в адаптивной радиолинии производится оперативная смена рабочих частот в соответствии с реальной помеховой обстановкой на разрешенных для связи радиочастотах, варьируется мощность РПДУ, в том числе путем сложения мощностей нескольких передатчиков, используются сигнально-кодовые конструкции, обеспечивающие максимальные скорости информационного обмена в данных условиях. Если корабль удаляется в ходе плавания на расстояния, превышающие дальность одного скачка коротковолновой радиолинии (3,5–4,0 тыс. км), и достижение цели – обеспечение своевременной доставки донесений по коротковолновому радиоканалу становится невозможным, то целеполагающим требованием становится распараллеливание нагрузки по нескольким каналам, коррекция расписания работы, применение радиоканалов других родов связи. Если по команде должностного лица принимается решение о необходимости обеспечения максимальной скрытности работы корабельного комплекса, то системой автоматически должен осуществляться переход на соответствующие режимы работы: минимизация уровня излучений, компенсация потери скорости передачи информации в скрытных радиолиниях за счет применения дополнительных радиоканалов и деления информационных потоков между ними и пр. При этом типовые сценарии решения возникающих в ходе работы задач закладываются в специальное программное обеспечение системы управления на этапе ее разработки, что позволяет минимизировать набор необходимых управляющих воздействий, сведя его к указанию новой цели и вводу минимального набора ключевых параметров в диалоговом режиме информационного обмена с системой управления. Большинство операций, выполняемых оператором, в данном процессе сводится к подтверждению решений, предлагаемых интеллектуальной системой управления.

Таким образом, общие принципы построения интеллектуальных систем управления вполне могут быть применены в интегральных комплексах связи надводных кораблей при реализации следующих технических и организационных мероприятий:

1. Внедрение в систему связи новых способов информационного обмена (адаптивных радиолиний), реализованных по технологии программно-определяемого радио (SDR) и допускающих коррекцию режимов работы по командам внешней системы управления.
2. Последовательное увеличение количества каналаобразующих технических средств, поддерживающих применение технологии SDR и допускающих непосредственное подключение к сети системы управлений по стыку Ethernet.
3. Расширение номенклатуры информационно-измерительных средств, включая встроенные средства контроля, позволяющих организовать оперативный сбор информации о состоянии составных частей ИКС и характеристиках радиоканалов.
4. Разработка новой интеллектуальной системы управления корабельным комплексом, реализующей приведенные выше принципы работы.

АО «ОНИИП» выполняет в настоящее время инициативные работы по всем обозначенным выше направлениям и считает разработку интеллектуальных систем управления для корабельных комплексов связи одной из актуальных задач совершенствования выпускаемых омской промышленностью комплексов связи.

Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН в соответствии с Программой ФНИ ГАН на 2013–2020 годы (номер регистрации проекта в системе ЕГИСУ НИОКТР АААА-А19-119052890058-2)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов [отв. редактор И.М. Макаров]; Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН. М.: Наука, 2006. 333 с.
2. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. М.: Радиотехника, 2009. 392 с.
3. Катанович А.А., Нероба Г.С. Комплексы и системы связи надводных кораблей. СПб.: Судостроение, 2006. 312 с.
4. Базовый автоматизированный комплекс связи «Ураган» как основа для создания корабельных комплексов связи для надводных кораблей всех рангов и назначения / В.Г. Стаднишин [и др.] // Радиотехника, электроника и связь: сборник докладов II Международной научно-технической конференции (Омск, 1–4 октября 2013 г.). М.: Радиотехника, 2013. С. 191–194.
5. Интегрированный комплекс связи надводного корабля: патент РФ RU2548023 / Николашин Ю.Л., Катанович А.А., Лычагин Н.И., Ершов В.Н., Суслов А.В.
6. ГОСТ РВ 52216-2004. Военная связь. Термины и определения. М.: Госстандарт России, 2004.
7. Поддержка принятия решений о выборе рабочих частот для ведения радиосвязи с кораблями в ДКМ диапазоне / Анишин М.М., Зачатейский Д.Е., Зубков М.П., Кривальцевич С.В. // Техника радиосвязи. 2018. №1 (36). С. 34–48.
8. Пакет программ для расчета КВ радиолиний «Трасса-2» / Барабашов Б.Г., Анишин М.М., Зачатейский Д.Е., Прохоров В.Г. // Радиотехника, электроника и связь «РЭС-2017»: сборник докладов IV Международной научно-практической конференции. Омск, 2017. С. 98–104.
9. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / под ред. профессора О.В. Головина. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 598 с.