

УДК 621.371

DOI: 10.30987/conferencearticle\_61c997ef58db34.29284003

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЫТА РАЗРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ САПР РЛС В СОЗДАНИИ И КОМПЛЕКСНОЙ ОТЛАДКЕ НОВЫХ АЛГОРИТМОВ АДАПТАЦИИ ЗАГОРИЗОНТНЫХ РЛС К ИОНОСФЕРНОЙ ОБСТАНОВКЕ**

**Андрей Олегович Щирый**

АО «НПК «НИИДАР», ст.научн.сотр., к.т.н.

Россия, Москва, andreyschiriy@gmail.com

*Аннотация. Обсуждается возможность применения опыта и разработок, полученных в ходе создания отечественной САПР РЛС, к задачам разработки и комплексной отладки новых подходов и алгоритмов адаптации загоризонтных РЛС к ионосферной обстановке; речь идет об опыте комплексного имитационного моделирования РЛС и их частей.*

*Ключевые слова: имитационное моделирование, мультиагентное моделирование, радиозондирование ионосферы, загоризонтная радиолокация.*

### **USING OF EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF RADAR CAD IN THE DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR ADAPTING OVER-THE-HORIZON RADARS TO THE IONOSPHERIC ENVIRONMENT**

Andrey O. Schiriy

NIIDAR, Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences

Russia, Moscow, andreyschiriy@gmail.com

*Abstract. The possibility of using the experience and developments gained during the creation of the radar CAD to the tasks of developing algorithms for adapting over-the-horizon radars to the ionospheric environment is discussed. Special attention is paid to the experience of complex radar simulation.*

*Keywords: simulation, ionospheric chirpsounding, over-the-horizon radars.*

Работа радиолокационных станций (РЛС) загоризонтного обнаружения (ЗГО) основана на способности декаметровых (ДКМ) радиоволн многократно отражаться от ионосферы и земной поверхности. Важнейшей задачей для обеспечения корректного функционирования РЛС ЗГО является адаптация к ионосферным условиям. Существующие модели ионосферы не способны обеспечить приемлемую точность в интересах РЛС ЗГО. Поэтому для адаптации к ионосферным условиям проводят оперативную диагностику ионосферы [1-4], состояние которой зависит от времени, гелио- и геомагнитной активности, и других факторов, носящих случайный характер.

Из всех методов оперативной диагностики состояния ионосферы, в свете решаемых задач, наибольший интерес представляют вертикальное, наклонное, и возвратно-наклонное зондирование ионосферы (соответственно ВЗИ, НЗИ, ВНЗИ) коротковолновыми радиосигналами [3,4]. Основным способом представления данных радиозондирования является ионограмма. В случае

НЗИ ионограмма – это зависимость амплитуды принятого сигнала от частоты зондирования и времени группового запаздывания радиоволны.

В задаче адаптации РЛС ЗГО крайне перспективным представляется использование достижений машинного обучения: сначала для обработки данных НЗИ и ВНЗ, далее для построения предиктивной модели состояния ионосферы. Наиболее сложной задачей при автоматизации обработки ионограмм является выделение треков мод сигнала: треки требуется выделить не только на фоне помех, но и отделить друг от друга, что является нетривиальной задачей. Далее, может быть нужно классифицировать треки по типам мод распространения (что, вообще говоря, может быть и не обязательно для адаптации РЛС ЗГО, но это зависит от алгоритмов адаптации: если алгоритм будет полагаться на существующую модель ионосферы, а идентифицированные треки использовать для калибровки модели, то этап нужен). Указанным процессам соответствуют классические задачи из теории обучения машин: задача кластеризации и задача классификации. Перспективным представляется применение глубокого обучения, способного выделять признаки самостоятельно. Важно понимать, что применение глубокого обучения требует больших обучающих выборок, причем размеченных данных; это требование вызвано большим числом внутренних параметров в моделях такого типа (а объектов для обучения должно быть гораздо больше, чем параметров модели, иначе модель просто «переобучится»). Также перспективно применение рекуррентных нейронных сетей, поскольку объекты на ионограмме имеют вполне «рекуррентную» природу (есть явная аналогия с обработкой сонограмм звучащей речи рекуррентными нейронными сетями с целью распознавания).

Для ныне существующих классов РЛС ЗГО надводных и воздушных целей с дальностью обнаружения до 3000 км полная автоматизация обработки данных диагностики ионосферы позволит существенно улучшить ТТХ (улучшить время реакции на обнаруженные угрозы и устранить влияние человеческого фактора) и эксплуатационные характеристики (устранение необходимости в подготовленных специалистах по интерпретации данных диагностики на каждом пункте управления РЛС); для несуществующего (уже и пока) РЛС ЗГО класса системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН) с дальностью обнаружения до 10000 км (дальность «по земле») является необходимым условием возрождения систем данного класса [5] (работы по системам данного класса были прекращены по неудовлетворительным результатам опытной эксплуатации РЛС «Дуга»).

При этом обработку и отладку новых моделей ионосферы и алгоритмов адаптации необходимо производить с учетом условий и режимов функционирования РЛС ЗГО. Сложность самой развиваемой системы РЛС ЗГО, большая вариативность и неопределенность фоно-целевой обстановки приводят к невозможности произвести аналитическое сравнение всех возможных вариантов архитектуры системы в целом по всем ее параметрам и сделать ее однозначный рациональный выбор. Традиционным выходом в

такой ситуации было проведение множества натуральных испытаний. Однако дороговизна подобных испытаний в случае с образцами вооружения и военной техники, и тем более невозможность проведения натуральных испытаний в ряде случаев (пример, массированный удар межконтинентальных баллистических ракет) заставляет искать другие решения. Наиболее приспособленными для оценки эффективности сложных систем без проведения натуральных испытаний являются модели имитационного типа. Поэтому имитационное моделирование будет использовано здесь как для отработки новых методов и алгоритмов, так и для проверки достигнутых тактико-технических характеристик (ТТХ). И делается это посредством имитации различных вариантов оперативной, фоно-целевой, и геофизической обстановки, в различных режимах работы РЛС, при наличии или отсутствии помехового противодействия, с учетом сценариев действий сил и средств в периоды мирного времени, в периоды оперативного развертывания, в периоды ведения боевых действий.

Работы будут вестись с опорой на имеющийся у автора опыт участия в разработке отечественной системы автоматизированного проектирования (САПР) радиолокационных станций (РЛС) [6-12] в части архитектуры моделирующей системы, общих концепций и подходов организации имитационного моделирования (мультиагентного типа, по дискретно-событийной схеме), особенностей имитационного моделирования боевых действий, а также создания частных моделей РЛС и их составных частей.

С алгоритмической и программно-архитектурной точки зрения потребная система имитационного моделирования состоит из диспетчера моделирования (и других «системных» частей, таких как визуализатор и редактор боевых сценариев), и имитационных моделей агентного типа, представляющих сущности моделируемой области, среди которых особое место занимает имитатор фоно-целевой обстановки. Функции диспетчера моделирования: чтение сценария, созданного пользователем и содержащего исследуемую конфигурацию сил и средств; загрузка и инициализация имитационных моделей (в том числе имитатора фоноцелевой обстановки); запуск сценария, управление имитационными моделями в процессе моделирования и мониторинг хода его исполнения. Описанная мультиагентная система работает по дискретно-событийной схеме, для реализации которой программно ведется динамическая очередь задач, управляемая диспетчером имитационного моделирования, который определяет порядок передачи управления между вычислительными блоками (агентами, частными моделями). Это делается для синхронизации "модельного времени", причем в условиях, когда модельные агенты "шагают" по времени исходя из своей внутренней логики, временными интервалами произвольного размера. Каждое событие, помещаемое в очередь задач, регистрируется на определенное модельное время. В процессе моделирования происходит логирование (сохранение в файлы) состояний системы в целом и атрибутов отдельных агентов. Полученные лог-файлы являются предметом дальнейшего

рассмотрения и анализа. По результатам моделирования оцениваются боевые возможности и боевая эффективность.

### Список литературы

1. Акимов В.Ф., Калинин Ю.К. Введение в проектирование ионосферных загоризонтных радиолокаторов / под ред. С.Ф. Боева. – М.: Техносфера, 2017. 492 с.
2. Ахияров В.В., Нефедов С.И., Николаев А.И., Слукан Г.П., Федоров И.Б., Шустиков В.Ю. Радиолокационные системы: Учебное пособие / Под ред. А.И. Николаева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 349 с.
3. Колчев А.А., Щирый А.О., Недопекин А.Е. Математические модели и методики измерения АЧХ многолучевых ионосферных коротковолновых радиолоний: монография / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола, 2013. – 147 с. – ISBN 978-5-94808-762-7.
4. Щирый А.О. Разработка и моделирование алгоритмов автоматического измерения характеристик ионосферных коротковолновых радиолоний: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: Спец. 05.12.04; Санкт-Петербургский гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. – СПб., 2007. – 19 с.
5. Щирый А.О. О перспективах использования некоторых современных достижений ионосферного радиозондирования при воссоздании ЗГ РЛС эшелона СПРН // Радиолокация, навигация, связь (RLNC2019): сб. тр. XXV Международной научно-технической конференции: в 6 т. / Воронежский гос. ун-т; АО «Концерн «Созвездие». – Воронеж: Изд-й дом ВГУ, 2019. – Т.3. – с.226-234.
6. Коновальчик А.П., Конопелькин М.Ю., Плаксенко О.А., Щирый А.О. Постановка задачи разработки и предварительная архитектура отечественной САПР РЛС полного сквозного цикла // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2017, № 20. с.127-130.
7. Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирый А.О. Концепция многоуровневого проектирования РЛС в разрабатываемой САПР РЛС полного сквозного цикла // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2017. Т.17. № 4. с.889-892.
8. Коновальчик А.П., Конопелькин М.Ю., Плаксенко О.А., Щирый А.О. Отечественная система автоматизированного проектирования радиолокационных систем, комплексов и станций с учетом средств воздушно-космического нападения // Научные технологии в космических исследованиях Земли, 2018, Т.10, №1. с.40-47.
9. Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирый А.О. Функции имитации боевых действий в разрабатываемой отечественной САПР РЛС полного сквозного цикла // Вопросы радиоэлектроники. 2018. №3. с.30-34.
10. Коновальчик А.П., Плаксенко О.А., Щирый А.О. Обоснование облика перспективных радиолокационных станций посредством разрабатываемой отечественной системы автоматизированного проектирования // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019, Т.11, №1. с.4-11.
11. Коновальчик А.П., Конопелькин М.Ю., Щирый А.О., Арутюнян А.А. Этапы проектирования перспективных радиолокационных станций в специализированной САПР // Вестник воздушно-космической обороны. 2020, № 4 (28). С.111-118.
12. Коновальчик А.П., Щирый А.О. Алгоритмы диспетчеризации и управления модельным временем в перспективной системе автоматизированного проектирования радиолокационных станций // Сборник статей II Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению "Информатика и вычислительная техника"», 27-28 февраля 2020 г., г. Анапа, Военный инновационный технополис «ЭРА». – Анапа, 2020. – с. 142-153.

*Материал принят к публикации 11.10.21.*