Крутеленок Михаил Андреевич,
Курсант, ЧВВАУШ

РАДИОЛОКАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические и нормативно-технические основы радиолокации в соответствии с государственными стандартами Российской Федерации, включая ГОСТ Р 55648-2013 и ГОСТ 24375-80. Анализируются базовые понятия радиолокационного обнаружения, измерения координат и распознавания объектов. На основе фундаментальных отечественных учебных изданий исследуется современное технологическое состояние радиолокационных систем, основанное на цифровой обработке сигналов и активных фазированных антенных решетках. Особое внимание уделено магистральным направлениям и перспективам развития радиолокации, к которым относятся внедрение радиофотоники, интеграция алгоритмов искусственного интеллекта в рамках когнитивной радиолокации, а также построение пространственно-распределенных сетецентрических систем.

Ключевые слова: Радиолокация, ГОСТ Р 55648-2013, радиофотоника, когнитивная радиолокация, распределенные системы, цифровая обработка сигналов, активная фазированная антенная решетка.

Радиолокация представляет собой фундаментальную область современной радиоэлектроники, обеспечивающую решение критически важных задач пространственного мониторинга, навигации и безопасности как в гражданском секторе, так и в оборонно-промышленном комплексе. Постоянное усложнение условий функционирования радиолокационных систем, обусловленное ростом плотности сигнального потока и снижением заметности объектов наблюдения, требует непрерывного совершенствования их теоретического базиса и нормативно-технического обеспечения. Методологической основой для стандартизации и унификации отечественных разработок в данной сфере выступают государственные стандарты Российской Федерации, в частности ГОСТ 24375-80 и ГОСТ Р 55648-2013, которые жестко регламентируют понятийный аппарат и требования к процессам обработки информации. Согласно этим нормативным документам, базовый функционал любой радиолокационной системы строится на строгой последовательности процедур, включающей радиолокационное обнаружение как факт фиксации наличия цели, радиолокационное измерение для точного определения пространственных координат и радиальной скорости, а также радиолокационное распознавание, направленное на определение класса или индивидуального типа объекта. В фундаментальных трудах отечественной научной школы, включая учебные пособия П. А. Бакулева и Я. Д. Ширмана, данные процессы описываются через призму статистической теории решений, что позволяет математически оптимизировать параметры систем под конкретные физические условия наблюдения.

Современное технологическое состояние радиолокации характеризуется повсеместным переходом от аналоговых методов формирования и фильтрации сигналов к комплексной цифровой обработке. Это технологическое смещение, подробно исследованное в работах А. Н. Фомина, позволило существенно повысить помехозащищенность систем и реализовать сложные алгоритмы пространственно-временной фильтрации. Ключевым аппаратным базисом современных радиолокационных станций стали активные фазированные антенные решетки, которые обеспечивают гибкое электронное управление диаграммой направленности без механического вращения антенной системы. Интеграция индивидуальных приемопередающих модулей непосредственно в полотно решетки не только кардинально

повысила общую надежность комплекса, но и обеспечила возможность одновременного сопровождения множества разнородных высокоскоростных целей. Однако классическая кремниевая микроэлектроника и традиционные металлические волноводные тракты постепенно приближаются к своим физическим и технологическим пределам по полосе пропускания, динамическому диапазону и массогабаритным характеристикам, что формирует объективную необходимость поиска качественно новых физических принципов построения аппаратуры.

В качестве наиболее перспективного ответа на данные вызовы выступает радиофотоника, предполагающая глубокую интеграцию оптических и фотонных технологий в радиолокационные системы ближней и дальней перспективы. Замена коаксиальных кабелей и классических волноводов сверхлегкими волоконно-оптическими линиями связи позволяет не только радикально снизить массу и габариты станций, но и расширить полосу пропускания зондирующих сигналов до десятков гигагерц. Сверхширокополосность радиофотонных радиолокационных систем обеспечивает получение радиолокационных изображений сверхвысокого разрешения, качество которых приближается к оптическому, что переводит функцию распознавания целей на качественно новый уровень. Столь колоссальные объемы поступающей в реальном времени информации требуют адекватных инструментов управления, что логически обуславливает переход к когнитивной радиолокации. Под когнитивностью в современной радиоэлектронике понимается внедрение алгоритмов искусственного интеллекта и динамического обучения непосредственно в замкнутый контур управления радиолокационной станцией. Когнитивная система непрерывно анализирует окружающую помеховую обстановку и параметры отраженных сигналов, на основе чего самостоятельно и адаптивно изменяет форму, частоту и мощность излучения, минимизируя влияние как естественных шумов, так и преднамеренного радиоэлектронного подавления.

Максимальная эффективность когнитивных алгоритмов и радиофотонных компонентов раскрывается при переходе от одиночных мощных моностатических станций к пространственно-распределенным сетецентрическим радиолокационным системам. Такая архитектура предполагает создание разветвленной сети из множества малогабаритных, разнесенных в пространстве приемных и передающих позиций, объединенных высокоскоростными линиями обмена данными. Распределенные системы обладают колоссальной живучестью, поскольку уничтожение единичных узлов не приводит к потере работоспособности всей сети, а лишь незначительно снижает ее точностные характеристики. Более того, многопозиционная геометрия сети позволяет эффективно решать задачу обнаружения малозаметных объектов, созданных с применением технологий снижения заметности, за счет фиксации энергии, рассеиваемой целью в различных направлениях. Таким образом, эволюция радиолокации, опирающаяся на стандартизированную базу ГОСТ и развивающая идеи классических российских учебных изданий, демонстрирует последовательный переход к интеллектуальным, адаптивным и распределенным информационным комплексам, способным надежно функционировать в условиях сложной помеховой и целевой обстановки будущего.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 55648-2013. Системы радиолокационные. Термины и определения. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 12 с.
2. ГОСТ 24375-80. Радиосвязь. Термины и определения. – Москва : Издательство стандартов, 1980. – 66 с.
3. Бакулев, П. А. Радиолокационные системы : учебник для вузов / П. А. Бакулев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Радиотехника, 2015. – 440 с.

4. Ширман, Я. Д. Теоретические основы радиолокации : учебное пособие для вузов / Я. Д. Ширман, Ю. И. Лосев, Н. Н. Минервин [и др.] ; под ред. Я. Д. Ширмана. – Москва : Советское радио, 1970. – 560 с.

5. Фомин, А. Н. Бортовые радиолокационные системы : учебное пособие / А. Н. Фомин. – Красноярск : СФУ, 2019. – 244 с.