

Радиолокация по сигналам сторонних источников. Часть 2: освещение воздушной обстановки и экологический мониторинг



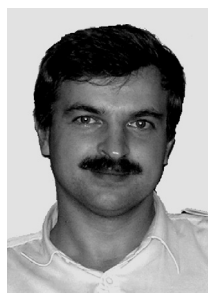
А. В. Бархатов,
С. Н. С.
e-mail: aleksbar@yandex.ru



В. И. Веремьев,
К. Т. Н.,
директор НИИ «Прогноз»
e-mail: ver_vi@mail.ru



Д. А. Ковалев,
аспирант
e-mail: kovalevdmityrspb@gmail.com



А. А. Коновалов,
Н. С.
e-mail: al_an_kon@mail.ru



В. Н. Михайлов
Н. С.
e-mail: VNMIhaylov@yandex.ru

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

В статье рассматриваются различные варианты применения полуактивных радиолокационных систем (ПАРЛС), особенностью которых является использование сигналов сторонних источников, среди которых: обнаружение воздушных целей, экологический мониторинг, расширение возможностей традиционных активных моностатических РЛС.

Ключевые слова: бистатическая радиолокация, полуактивная радиолокация, пассивная когерентная РЛС, обнаружение воздушных целей, мониторинг, вынесенный прием.

1. Обнаружение воздушных целей

ПАРЛС успешно разрабатываются в мире уже на протяжении многих лет. Сфера их применения ограничивается преимущественно решением традиционных задач радиолокации, таких как обнаружение и оценка параметров движения воздушных целей (ВЦ). Успех применения технологии ПАРЛС для обнаружения ВЦ обусловлен рядом ее достоинств. Прежде всего, это более высокая вероятность обнаружения низколетящих целей за счет достаточно высокого (до нескольких сот метров) расположения сторонних передатчиков. Так, на испытаниях ПАРЛС «Поле» показала способность контролировать воздушное пространство на малых и предельно малых высотах (от 50 до 1000 м) и обеспечивать обнаружение целей (Ми-8 и МиГ-29), движущихся с радиальными скоростями относительно РЛС не менее 30 м/с, на дальностях более 40 км; вертолет при высоте 25 м обнаруживался на дальности 37 км, на высоте 600 м — на дальности 51 км [1].

ПАРЛС имеют более высокую вероятность обнаружения целей, выполненных по технологии «Стелс», поскольку современные авиационные стелс-технологии не планировались для использования против сигналов тех частот, которые задействованы в ПАРЛС. Кроме того, они ориентированы на минимизацию моностатической ЭПР, тогда как бистатическая ЭПР может быть значительно больше.

В связи с отсутствием собственного передатчика обеспечивается полная пассивность приемной позиции (ПП) ПАРЛС, а значит, ее более высокая скрытность и живучесть по сравнению с активной РЛС. Более того,

обеспечивается полная пассивность приемной позиции (ПП) ПАРЛС, а значит, ее более высокая скрытность и живучесть по сравнению с активной РЛС. Более того,

поскольку в эфир излучаются стандартные сигналы, даже сам факт присутствия и работы системы остается неизвестным, что дает возможность говорить о ее потенциальной необнаруживаемости, а следовательно, и невозможности организации противодействия. Впрочем, передатчик в системе есть, пусть и сторонний, и выход его из строя приведет к прекращению работы ПАРЛС.

Современные ПАРЛС, работающие по сигналам FM, DAB и DVB-T, способны уверенно обнаруживать и сопровождать воздушные цели на дальностях 50–150 км при высотах 25–1000 м.

2. Полуактивный радиолокационный мониторинг природных сред

Методы активной радиолокации получили широкое распространение для решения задач исследования и мониторинга природных сред: для водной среды — составление карт поверхностных течений и оценка параметров волнения, освещение ледовой обстановки, батиметрия (измерение глубин), отслеживание уровня воды с целью прогнозирования наводнений и пр.; для воздушной среды — обнаружение турбулентных областей, обнаружение, слежение и оценка степени опасности (грозовой, градовой) облаков; а для обеих этих сред — обнаружение различного рода загрязнений, оценка их интенсивности и прогнозирование распространения. Многие из этих задач можно решить и с помощью ПАРЛС (в зависимости от частотного диапазона и энергетики). Однако, судя по публикациям, возможности по применению ПАРЛС для оценки состояния и обнаружения загрязнений природных сред, прежде всего водной поверхности и нижних слоев атмосферы, являются одними из наименее исследованных.

Между тем технология полуактивной локации достаточно широко используется для изучения состояния ионосферы [2]. Например, в Университете Вашингтона создана специализированная РЛС «Хребет Манасташ» (Manastash Ridge Radar, MRR) — бистатическая пассивная РЛС, использующая вещание коммерческих FM-радиостанций, диапазон рабочих частот которых от 88 до 108 МГц. Система содержит два приемника, синхронизированных при помощи GPS, один из которых расположен на территории обсерватории «Хребет Манасташ», второй — на территории Университета Вашингтона. Передача данных осуществляется по Интернету. Основное назначение MRR — изучение плотности ионосферных неоднородностей, преимущественно связанных с авроральными явлениями. В качестве источника подсвета ионосферы также могут быть использованы передатчики цифрового радио стандарта DAB (частота около 200 МГц), свойства сигналов которых (широкая полоса, отсутствие зависимости от контента) дают возможность более точной оценки состояния ионосферы.

Высказывалась идея оценки состояния тропосферы с помощью ПАРЛС, работающей по DAB-сигналам [3]. При достаточно плотной сети передатчиков (Прд) в любой точке приема удастся видеть 5–6 из них. Сигналы Прд подвергаются воздействию среды рас-

пространения, и если она меняется с течением времени, относительные интенсивности и фазы этих сигналов также будут меняться. Располагая приемник близко к одному из Прд, можно провести сравнение сигнала удаленного Прд с сигналом ближнего Прд (при этом сигнал ближнего Прд сравнительно слабо подвержен влиянию среды). Наблюдение за сигналами во времени даст информацию об изменении индекса рефракции и, следовательно, о вариации температуры, давления и влажности. Далее, существование сети Прд даст возможность построения карты индекса рефракции. Однако конкретных экспериментальных результатов авторы [3] не приводят.

Если обратиться к опыту использования методов активной локации для изучения природных сред, то основными используемыми радиочастотными диапазонами являются КВ (3–30 МГц) и СВЧ (3–30 ГГц), в том числе в бистатическом и пассивном режиме. Диапазоны ОВЧ (30–300 МГц) и УВЧ (300–3000 МГц), где располагаются сигналы многочисленных передатчиков наземного радио- и телевидения, в этом плане менее востребованы, хотя определенные результаты получены и для них.

Наибольшие успехи достигнуты при использовании РЛС диапазона УВЧ для измерения речных поверхностных течений. Подобного рода системы наиболее интересны в свете создания ПАРЛС мониторинга водной поверхности, поскольку, во-первых, ориентированы на работу в том числе на пресной воде, во-вторых, как правило используют бистатическую схему построения. Среди радиолокационных измерителей речных течений прежде всего отметим систему RiverSonde компании CODAR Inc. (США). RiverSonde работает на частотах 330–350 МГц, имеет сигнал с шириной полосы 30 МГц, располагается на берегу реки и обеспечивает получение карты течений в реальном времени. При проектировании системы среди возможных вариантов построения рассматривались: бистатическая схема, где передатчик и приемник располагаются на противоположных берегах реки, зона обзора — либо вверх либо вниз по течению; моностатическая схема, где РЛС располагается на берегу, симметричная зона обзора захватывает области вверх и вниз по течению; моностатическая схема, где РЛС располагается в центре реки, наблюдая либо вверх либо вниз по течению [4]. Интересующая нас бистатическая схема построения имеет преимущество над моностатическими в том, что интенсивность отраженного сигнала относительно постоянна по всей ширине канала, поскольку общий путь от передатчика к приемнику примерно постоянен для всех отражающих точек. С другой стороны, существуют определенные сложности при интерпретации данных, поскольку линии постоянной задержки являются эллипсами (вместо окружностей в моностатических схемах), резонансная длина водной волны не равна половине длины электромагнитной волны (ЭМВ), а зависит от бистатического угла, поэтому доплеровский спектр зависит от местоположения анализируемого участка водной поверхности. Моностатические схемы имеют определенные преимущества над бистатической с точки зрения распределения излучаемой энергии по

более широкой полосе частот, а также технической реализации (отсутствие необходимости синхронизации позиций).

По бистатической схеме построена созданная в китайском университете Ухань [5] РЛС для измерения речных течений, при этом обе антенны размещены на одном берегу. Рабочая частота 300–315 МГц. Используется ЛЧМ-сигнал с полосой 15 МГц, мощность передатчика равна 2–3 Вт, максимальная дальность по пресной воде — несколько сотен метров.

В радиолокационной метеорологии разработаны методики построения трехмерных профилей ветра по данным зондирования турбулентных областей атмосферы в средней части диапазона УВЧ (900–1300 МГц). В этом диапазоне, в отличие от ОВЧ, наблюдается высокая чувствительность к наличию осадков, с другой стороны, для них характерна большая дальность действия и меньшее затухание в осадках, чем в РЛС микроволнового диапазона. Поэтому средства диапазона УВЧ являются наиболее подходящими для измерения ветра в граничных слоях нижней тропосферы (высоты 0–5 км). В настоящее время в мире известно множество измерителей ветровых полей, работающих по принципу активной моностатической локации.

С другой стороны, существуют и разработки бистатических активных РЛС, предназначенных для решения тех же задач. Компания Binet Inc. (США) разработала и выпустила в продажу устройство, названное бистатическим сетевым приемником (bistatic network receiver, BNR). Два или более BNR принимают сигнал обычной моностатической метео-РЛС, отраженный от атмосферной неоднородности, и восстанавливают полный трехмерный вектор скорости ветрового поля [6]. ПП имеют несканирующие антенны с низким коэффициентом усиления. Одна моностатическая метео-РЛС и один приемник BNR совместно измеряют двумерный (в горизонтальной плоскости) вектор скорости, при использовании двух и более BNR возможно построение трехмерного вектора скорости. Преимуществами такой концепции является одновременное измерение компонент вектора скорости, что исключает ошибки, вызванные активностью объекта между измерениями, наблюдение объекта с нескольких ракурсов, менее дорогая и более простая установка и эксплуатация системы.

Таким образом, поскольку бистатические активные системы успешно используются для радиолокационного мониторинга природных сред, вполне возможно построение и ПАРЛС соответствующих диапазонов ЭМВ, решающих те же задачи. Использование сторонних источников позволяет добиться снижения стоимости системы за счет отказа от передатчика как наиболее дорогостоящей ее части.

Применение неизлучающей технологии предпочтительнее с точки зрения экологии и электромагнитной совместимости. Отсутствие необходимости получения разрешения на использование частотного диапазона и уменьшение массогабаритных параметров не только снизит стоимость системы, но и упростит ее разработку, размещение и эксплуатацию. Наличие измерений от нескольких оптимальным образом размещенных ПП позволит реализовать схему многопозиционных

измерений, что даст возможность повысить точность оценивания, в некоторых ситуациях — расширить вектор измеряемых параметров (трехмерный вектор скорости ветра или двумерный вектор скорости течений на водной поверхности)

Высокая экологичность системы незлучающего дистанционного мониторинга, кроме того, повышает ее коммерческий потенциал, так как интерес к таким системам в мире среди потенциальных потребителей постоянно растет.

3. Расширение возможностей моностатических РЛС

Рассмотренная выше сеть BNR может служить прекрасным примером расширения возможностей моностатической РЛС за счет дооснащения ее устройствами, работающими по принципу полуактивной локации. Такой подход отличается от распространенных ПАРЛС, поскольку в нем используются сигналы подсвета не сторонних источников, а специализированной моностатической РЛС. Эта РЛС фактически входит в состав комплекса и выступает в нем как в качестве самостоятельного устройства, получающего информацию о состоянии окружающей среды, так и в качестве источника сигнала подсвета для бистатических приемников. Геометрия сети бистатических приемников и их алгоритмы обработки определяются сигналом и режимом работы ведущей РЛС. При этом здесь наблюдается своеобразный синергетический эффект, когда объединенная система получает возможности, отсутствующие в каждой из ее составных частей по отдельности — имеется в виду измерение полного вектора скорости ветра.

Этот подход можно распространить и на более общую ситуацию. Пусть, например, моностатическая РЛС решает некоторую радиолокационную задачу, например обнаружение воздушных целей. Зона видимости РЛС может содержать области затенения, обусловленные рельефом местности, кроме того, РЛС может иметь недостаточно высокую вероятность обнаружения целей в дальней части зоны наблюдения. В этом случае повышение качества радиолокационного наблюдения можно добиться путем дооснащения системы совокупностью пассивных бистатических приемников, размещенных на местности таким образом, чтобы вероятности обнаружения ими целей в заданных областях соответствовали заданным значениям. Среди преимуществ подобного подхода следует выделить повышение точности оценки положения и скорости целей; расширение зоны покрытия и уменьшение слепых зон; гибкость в формировании требуемой зоны видимости вследствие возможности соответствующего расположения приемников (в том числе и там, где активным РЛС работать запрещено); возможность формирования зоны наблюдения в требуемых направлениях, а также относительно низкую стоимость приемников.

По такому пути пошли участники проекта ARGUS 3D (Air Guidance and Surveillance 3D) [7]. Этот проект, выполненный консорциумом из 12 участников пяти стран ЕС (Италия, Великобритания, Германия, Польша, Испания), среди которых промышленные

предприятия, исследовательские организации и конечные пользователи, направлен на улучшение обнаружения пилотируемых и беспилотных средств путем использования более точной информации с целью распознавания потенциальных угроз. Предполагалось, что в результате выполнения проекта будет достигнуто повышение безопасности граждан Европы от террористических атак на основе инновационных радиолокационных технологий, восполняющих недостатки современных систем УВД.

В рамках проекта разработан радиолокационный комплекс, предназначенный для обнаружения и идентификации различных объектов путем совместного использования данных от трехмерной первичной обзорной РЛС, традиционных средств (первичных и вторичных РЛС УВД) и сети, состоящей из множества многофункциональных пассивных бистатических РЛС. Результатом работы комплекса является детальная трехмерная карта области наблюдения, дополненная информацией о свойствах цели и уровне исходящей от нее угрозы.

Важной составной частью проекта было исследование и разработка сети полуактивных РЛС, предназначенной для обнаружения объектов на средних и дальних расстояниях при разных скоростях движения. Цель ПАРЛС — выступить в качестве недорогого дополнения первичной РЛС, устраняющего ее недостатки, вызванные влиянием рельефа местности, слепых зон, ошибками первичных и вторичных РЛС. Концепция ПАРЛ, реализованная в проекте, позволяет одновременно использовать различные сигналы подсвета, аналоговые и цифровые, радио и телевизионные, объединяя их достоинства. При обработке данных анализируется их структура для получения чистой копии опорного сигнала. Разработана методика определения наилучшего расположения приемников ПАРЛС с учетом типичных траекторий самолетов, что позволило ограничить число приемников минимально возможным и тем самым снизить стоимость.

В результате было установлено, что предложенный многочастотный подход способен значительно (до 30%) улучшить качество обнаружения и оценки параметров относительно одиночной ПАРЛС, а применение сетевого подхода позволяет существенно увеличить зону наблюдения (от 60 до 95% относительно одиночной ПАРЛС) для рассматриваемых сценариев при достаточной точности оценивания местоположения цели. Например, при прямой видимости РЛС УВД в 30 км, вынесенные бистатические приемники обеспечат дальность 100–150 км (при этом их собственная зона обнаружения тоже невелика, порядка 30 км).

В качестве одного из выводов участники проекта ARGUS 3D отметили перспективность применения технологии ПАРЛС в разных областях обеспечения безопасности и мониторинга природных сред, что вполне соответствует и нашим прогнозам (см. п. 2).

4. Мониторинг удаленных областей

В качестве отдельного варианта совместного использования активной и полуактивной локации рассмотрим концепцию построения системы мониторинга

и освещения обстановки в труднодоступных районах. При организации освещения обстановки в труднодоступных районах и при больших зонах охвата широко применяются загоризонтные (ЗГ) радиолокационные системы КВ-диапазона, которые в состоянии обеспечить обнаружение и оценку характеристик объектов на дальностях до нескольких сотен и даже тысяч километров. Однако размещение и приемной, и передающей частей ЗГ РЛС непосредственно вблизи зоны наблюдения в труднодоступных районах зачастую невозможно по причине существенных размеров антенн (до нескольких километров) и отсутствия необходимых для работы передатчика энергетических мощностей. В этой ситуации представляется целесообразным использовать бистатическую схему построения ЗГ РЛС, при которой вблизи зоны наблюдения размещается только одна или несколько ПП, а передатчик располагается в более населенных местах на удалении до нескольких тысяч километров.

В бистатической ЗГ РЛС (рисунок) ПП осуществляет направленный прием отраженных целью сигналов, источники которых находятся в пределах первого скачка отражений от ионосферы (800–3000 км), производит обнаружение движущихся целей (воздушных, надводных), оценку их пространственных координат и скорости. Отраженный сигнал может распространяться от цели до приемника в виде прямой (при надгоризонтной локации) или поверхностной (при загоризонтной локации) волны.

Отличительной особенностью данной схемы построения является сочетание в одной системе двух типов загоризонтного распространения сигналов КВ-диапазона: пространственной (ионосферной) волны на трассе «передатчик–цель» и поверхностной волны на трассе «цель–приемник». Идея сочетания пространственной и поверхностных волн была использована в отечественной пассивной системе «Лидер» [8], а схему с вынесенным приемом реализует активная австралийская ЗГ РЛС FBRA (Forward-Based Receiver Augmentation) [9]. РЛС подобной конструкции в режиме надгоризонтной локации способны наблюдать воздушные объекты на удалении до 400 км от ПП. Преимуществом такого подхода является возможность организации постоянного наблюдения за состоянием обстановки в удаленных районах, поскольку передатчик может быть размещен за несколько тысяч, а ПП — за несколько сотен километров от цели. Тем

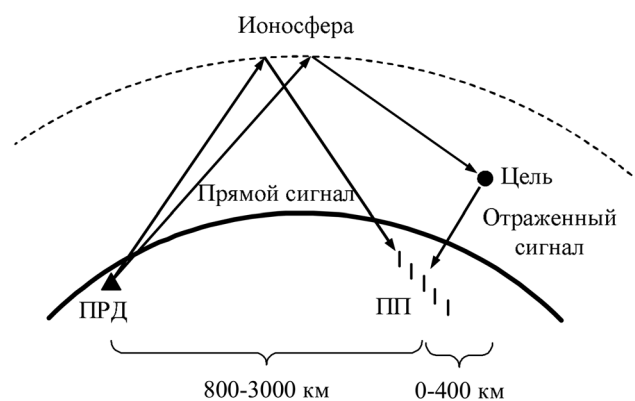


Схема пространственно-разнесенной ЗГ РЛС

самым устраняется необходимость установки всего комплекса сложного, дорогостоящего, нуждающегося в постоянном обслуживании оборудования в труднодоступных районах.

В качестве источника зондирующих сигналов в пространственно-разнесенной ЗГ РЛС могут использоваться сигналы как собственного передатчика, так и сторонних источников (например, сигналы цифрового радио DRM). Первая схема соответствует активной бистатической локации с вынесенным приемом, вторая — полуактивной радиолокации.

Определение координат цели в когерентной ПАРЛС выполняется одной ПП по сигналам одного передатчика. Возможно использование мультистатической схемы, когда одна или несколько ПП принимают сигналы от нескольких находящихся в пределах первого скачка передатчиков. В мультистатической ПАРЛС повышается точность измерения координат цели, что дает возможность уменьшения размеров антенны ПП.

Заключение

В первой части статьи рассмотрены основные идеи полуактивной радиолокации (ПАРЛ), которая заключается в использовании сигналов сторонних, в том числе нерадиолокационных, источников для решения радиолокационных задач. Показаны преимущества ПАРЛ. Рассмотрены основные технические проблемы, имеющие место при реализации ПАРЛ, и способы их преодоления. Во второй части внимание уделяется вопросам практического применения ПАРЛ, среди которых как традиционная задача обнаружения воздушных целей, так и более новые задачи, такие как экологический мониторинг и расширение возможностей радиолокационных систем при совместном использовании принципов активной и полуактивной локации.

Список использованных источников

1. А. Е. Охрименко. Первенец белорусской радиолокации — скрытый радар «Поле». Научно-технический очерк. Минск: БГУИР, 2005.
2. J. D. Sahr. Ionospheric Studies. Bistatic Radar: Emerging Technology, ed. by M. Cherniakov, John Wiley, 2008.
3. S. J. Coleman, R. A. Watson, H. Yardley. A Practical Bistatic Passive Radar System for Use with DAB and DRM Illuminators//IEEE Radar Conference, 2008.
4. C. C. Teague, D. E. Barrick, P. M. Lilleboe. Geometries for Streamflow Measurement Using a UHF RiverSonde//Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vol. 7, 2003.
5. C. J. Wang, B. Y. Wen, Z. G. Ma, W. D. Yan, X. J. Huang. Measurement of River Surface Currents with UHF FMCW Radar Systems//Journal of Electromagnetic Waves and Applications, № 3, 2007.
6. J. Wurman, N. J. Willis. Wind Measurements/N. J. Willis, H. D. Griffiths (eds.). Advances in Bistatic Radar. SciTech Publishing, 2007.
7. ARGUS 3D Information Booklet.
8. Л. С. Виленчик, П. А. Мельяновский. Пассивная когерентная радиолокация дециметрового диапазона//Радиопромышленность, № 2, 2011.
9. G. J. Frazer. Forward-based Receiver Augmentation for OTHR//Proc. of 2007 Radar Conference.

Radars with transmitters-of-opportunity.

Part 2: air situation and ecological monitoring

A. V. Barkhatov, Senior Researcher, St. Petersburg State Electrotechnical University.

V. I. Veremjiev, PhD, St. Petersburg State Electrotechnical University.

D. A. Kovalev, postgraduate student, St. Petersburg State Electrotechnical University.

A. A. Kononov, research associate, St. Petersburg State Electrotechnical University.

V. N. Mikhaylov, research associate, St. Petersburg State Electrotechnical University.

The paper deals with different applications of the passive coherent radar used transmitters-of-opportunity. The applications are the air situation monitoring, the ecological monitoring, the monostatic radar enhancement.

Keywords: passive coherent location, transmitters-of-opportunity, air situation monitoring, ecological monitoring.

Пресс-релиз, Москва, 26.11.2013

Из России – в Германию, из Германии – в Сколково

Один из мировых лидеров по производству рефрактивной микрооптики – немецкая компания LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH, созданная выходцами из России, инвестирует в создание центра НИОКР в Инновационном центре Сколково

В ноябре 2013 г. между Фондом «Сколково» и немецкой компанией LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH, основанной выходцами из России во главе с Виталием Лисоченко, было подписано Соглашение о создании центра НИОКР в Инновационном центре Сколково.

Вкладывая ежегодно более 10% оборота в исследования и разработки и имея более 300 действующих патентов, компания LIMO – лидер высокотехнологичного рынка рефрактивной микрооптики – приняла решение об открытии нового R&D подразделения в России и именно на территории Сколково.

По словам Виталия Лисоченко, учредителя, участника и управляющего LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH, ожидаемый объем вложений в центр должен составить более 100 млн руб., а количество сотрудников – превысить 50 высококвалифицированных ученых-исследователей и инженеров. Среди тематик центра – технологии производства микрооптических элементов и систем, полупроводниковые (диодные) лазерные излучатели, применение лазеров и лазерных систем для обработки материалов, легирования поверхности, обработки покрытий, а также для систем освещения.

«LIMO является важным партнером Кластера ядерных технологий и одним из наиболее авторитетных игроков в своем сегменте рынка, – отметил исполнительный директор Кластера Игорь Караваев, – Сотрудничество с такими компаниями как LIMO должно привести к появлению на территории Сколково центра компетенций в области лазерных технологий».

Сайт LIMO: www.limo.de.

Роман Щербаков, руководитель пресс-службы Фонда «Сколково».

Тел./tel.: +7 (495) 967 01 48, доб./ext. 2260, факс/fax: +7 (495) 967 01 96, e-mail: rs@sk.ru, www.sk.ru.