

Обнаружение малоразмерных объектов сверхкороткоимпульсной РЛС

А.Е. Ананенков, В.П. Бакалов, А.В. Коновальцев, В.М. Нуждин, В.В. Расторгуев,
В.Н. Скосырев, П.В. Соколов

Московский авиационный институт (Государственный технический университет)
kaf407@mai.ru

Рассмотрены результаты натурных экспериментов с использованием сверхкороткоимпульсного радиолокатора (СКИ РЛС), иллюстрирующие специфические особенности получаемых радиолокационных изображений (РЛИ). Сформулированы подходы к построению процедур обработки СКИ РЛС для селекции малоразмерных и низкоскоростных объектов на фоне отражений от подстилающей поверхности.

Results of natural experiments with using of super short pulse radar (SSPR), illustrating specific features of received radar-tracking images (RTI), are considered. Approaches to construction of procedures of processing of RTI in the SSPR for selection of small sizes and slow speed's objects in the presence of signal reflexions from a terrestrial surface are formulated.

В последние годы значительную актуальность приобрела задача всепогодного автоматизированного обнаружения малоразмерных и низкоскоростных объектов на фоне подстилающей поверхности. Не ограничивая общности к таким объектам следует отметить прежде всего людей, животных, малые и сверхмалые летательные аппараты (включая беспилотные и дистанционно пилотируемые) и маломерные суда. Конечными потребителями таких систем являются службы обеспечения охраны и безопасности, диспетчирования на транспорте и т.д.

Традиционно задача всепогодного выделения объектов на фоне подстилающей поверхности решается использованием когерентных Доплеровских РЛС [1]. Причём для обнаружения низкоскоростных объектов используются РЛС миллиметрового диапазона со значительным временем накопления сигнала, что неизбежно приводит к низкому темпу обзора пространства и узкой специализации таких РЛС. Примером таких систем являются РЛС: Фара, Кредо, Гамма-ПВ (мм диапазон делает эти РЛС метеозависимыми). Для решения задачи обнаружения человека на местности низкий темп обзора (5-6 градусов/сек) допустим, но это увеличивает риск пропуска динамичных целей из-за нехватки отметок для своевременной завязки трассы и выдачи целеуказания. В этой парадигме обнаружение низкоскоростных целей имеющих малую радиальную компоненту скорости является проблематичным и на практике не реализовано.

В настоящее время в РФ создана технология сверхкороткоимпульсной радиолокации (СКИ РЛС), позволяющая решить задачу обнаружения малоразмерных низкоскоростных целей (в том числе имеющих малую радиальную компоненту скорости) на фоне отражений от поверхности [2-5]. В СКИ РЛС в качестве зондирующего сигнала (ЗС) используются радиоимпульсы малой длительности (10 наносекунд) в сантиметровом диапазоне радиоволн. Сокращение длительности ЗС является наиболее очевидным способом сокращения мощности отражений от подстилающей поверхности и повышения контрастности РЛИ. Процедура селекции движущихся целей (СДЦ) может реализовываться в СКИ РЛС без использования эффекта Доплера [6], так называемое СДЦ «по положению». В ходе обработки результатов натурных испытаний СКИ РЛС выявлен ряд специфических особенностей получаемых радиолокационных изображений, которые необходимо учитывать в алгоритмах обработки.

Экспериментально полученные распределения модуля огибающей амплитуды отраженных сигналов от различных элементов подстилающей поверхности представлены

на рис. 1 (граница леса) и рис. 2 (деталь конструкции моста). На рис. 3 представлена шумовая выборка при сохранённых настройках приёмного тракта.

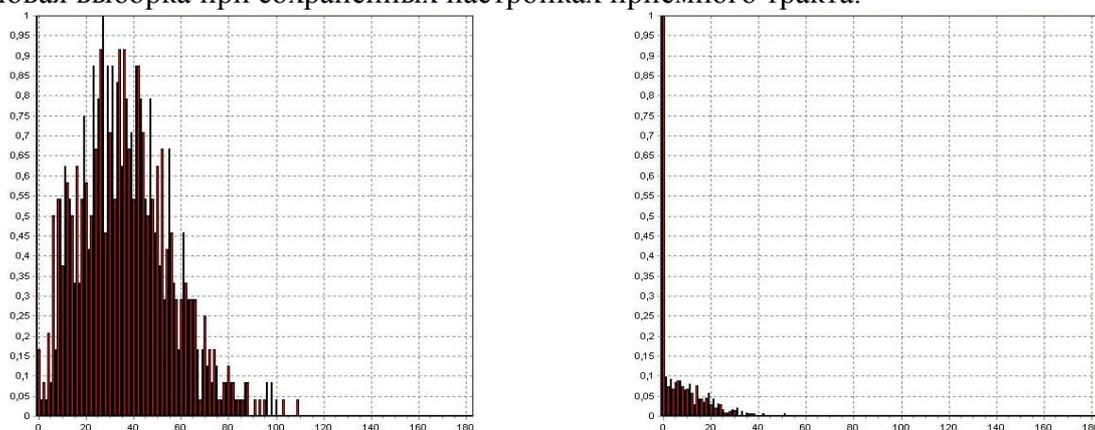


Рис. 1. Распределение модуля огибающей амплитуды сигнала отраженного от края леса до и после процедуры селекции по положению

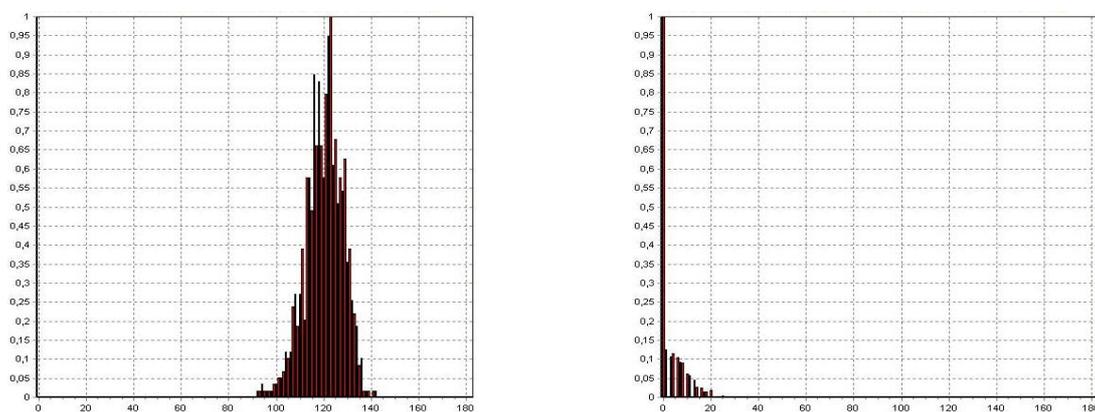


Рис. 2. Распределение модуля огибающей амплитуды сигнала отраженного от искусственного объекта до и после процедуры селекции по положению

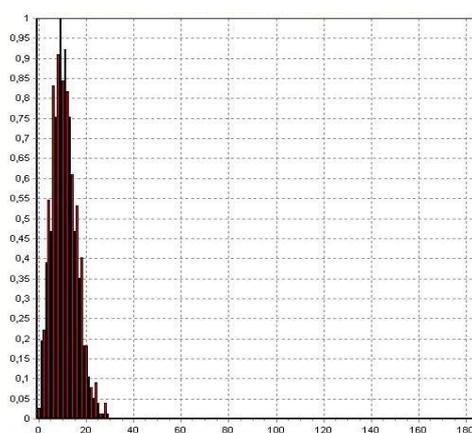


Рис. 3. Распределение модуля огибающей амплитуды шума (шум приёмника + АЦП)

Полученные распределения, в следствие высокого пространственного разрешения СКИ РЛС, не могут быть описаны законами Рэллея или Райса и близки к лог-нормальному распределению [1].

Алгоритмы обработки РЛИ, в полной мере раскрывающие потенциал технологии СКИ РЛС, до сих пор не созданы. В продолжающемся в настоящее время проекте РФФИ № 09-07-13592-офи_ц сделана попытка разработать методы и алгоритмы обработки, учитывающие специфику РЛИ, получаемых по данной технологии.

Специфика РЛИ.

1. Высокая детальность, контрастность и стабильность РЛИ (темп обзора порядка 360 град./ секунду),
2. Большая доля зон радио-тени (областей с распределениями соответствующими шумовой выборке) сравнительно с РЛС аналогичного высокого разрешения,

использующих сигналы с внутриимпульсной модуляцией,

3. Области отражений от поверхности с сильными флюктуациями сигнала ограничены и соседствуют с областями малофлюктуирующих отражателей и тени.

Специфика обработки.

1. Формируется карта местных предметов (КМП) по всем элементам разрешения в координатах дальность-азимут (каналы по скорости отсутствуют, поскольку селекции по Доплеру нет),
2. Отнесение элементов разрешения к тому или иному типу производится на основе статистической оценки математического ожидания и дисперсии распределения амплитуды принятого сигнала,
3. СДЦ строится «по положению» без использования эффекта Доплера (и без слепых скоростей), что позволяет выделять низкоскоростные цели (в том числе имеющих малую радиальную компоненту скорости),
4. Элементы относящиеся к зонам радиотени (с статистическими характеристиками соответствующими шумовой выборке) исключаются из процедур СДЦ, и имеют единый уровень порога в обнаружителе,
5. Для остальных элементов уровень порога определяется (для каждого элемента разрешения) на основе оценки СКО процесса после СДЦ.

Предлагаемые этапы обработки РЛИ в СКИ РЛС.

Этап 1. Классификация элементов разрешения по стат. характеристикам.

По каждому элементу полученной области наблюдения необходимо набрать статистику флюктуаций сигнала, достаточную для разделения элементов по типам. В дальнейшем по мере обзора пространства такая статистика должна уточняться.

Тип 1 – зона радиотени. Распределение сигнала, полученного от такого элемента разрешения в отсутствии цели, совпадает с распределением шумов приёмника. Задача обнаружения объектов сводится к обнаружению на фоне шума (СДЦ не требуется).

Тип 2 – стационарные отражатели. Характерным примером таких отражателей являются искусственные объекты – здания, опоры мостов, мачты и т.д. Естественные объекты так же могут попадать в эту категорию – например скальные стенки, песчаные откосы и т.д. Классифицирующий признак для причисления элемента зоны обзора к этому типу (по характеристикам закона распределения) – превышение математического ожидания принятого процесса над среднеквадратическим отклонением ($m_x \gg \sigma$).

Тип 3 - флюктуирующие естественные подстилающие покровы. Типичные представители – трава, кустарник, кромки леса. Классифицирующий признак – распределение, с мощностью сигнала, существенно превышающей мощность шумов приёмника. Это наиболее сложные области для обнаружения малоразмерных низкоскоростных целей.

Проиллюстрируем актуальность такого подхода, применительно к высококонтрастным РЛИ, формируемым наноимпульсной РЛС. На рис. 4 представлены РЛИ участка местности включающего автомобильный мост, дорогу и кромку леса, полученные с использованием двух типов зондирующих сигналов: короткого радиоимпульса (10 нс) и ЛЧМ сигнала аналогичной полосы (база 100). РЛИ получены на единой аппаратуре с интервалом 1 секунда (через обзор). Как видно на рис. 4 зона радио-тени, образованная за мостом (показана цифрой 1) на РЛИ, полученном с использованием ЛЧМ сигнала, в значительной степени закрыта боковыми лепестками функции селекции (ФС).

Таким образом, классификация элементов разрешения по типам в значительной степени специфична для наноимпульсных РЛС (доля областей радио-тени в СКИ РЛС заметно выше).

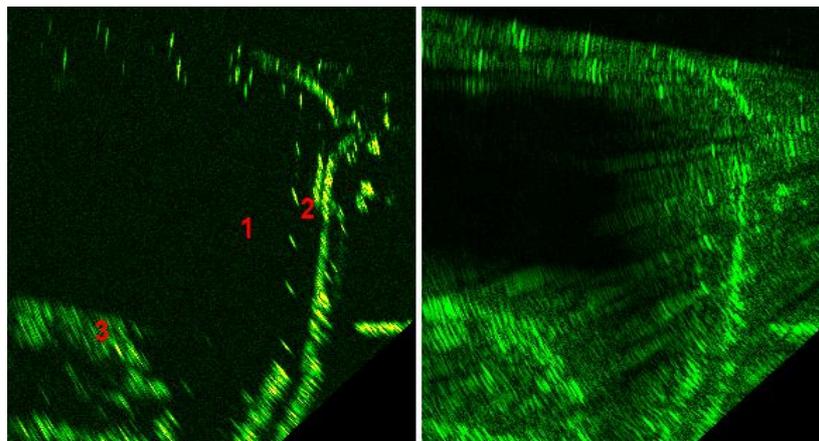


Рис. 4. Экспериментально полученные РЛИ с различными типами зондирующего сигнала короткий радиоимпульс слева и ЛЧМ – справа

2 Этап. СДЦ по положению.

В радиолокаторах с наноимпульсными зондирующими сигналами имеется принципиальная возможность построения алгоритма селекции движущихся малоразмерных и низкоскоростных целей без использования эффекта Доплера [1, 6]. Эта возможность основана на том, что при малом импульсном объеме можно зафиксировать перемещение цели по дальности за малый период времени без использования фазовых соотношений в отраженном сигнале. Для проведения СДЦ по положению можно использовать как последовательно следующие кадры, так и текущий кадр и «эталон». Под эталоном будем понимать РЛИ, усреднённое по временным реализациям, при условии априорного отсутствия целей. Использование эталона, полученного до момента появления целей, в качестве опорного кадра для СДЦ «по положению» снимает вопросы об ориентации вектора скорости и позволяет обнаруживать вновь появившиеся неподвижные объекты.

На рис.5 приведено оптическое изображение фрагмента лоцируемой сцены: человек (движется вправо под углом $\sim 75^\circ$ к направлению визирования) и подстилающая поверхность.



Рис. 5. Фото лоцируемой сцены

На рис. 6. приведён фрагмент соответствующего РЛИ. Человек движется (с малой радиальной компонентой вектора скорости) по насыпи дороги, хорошо просматриваемой на РЛИ. В правом верхнем углу на рис. 6 наблюдается отражение от местного предмета. На рис. 7. представлен тот же фрагмент РЛИ после проведения процедуры

СДЦ по положению с последующим применением порога. Поскольку ЭПР объекта мала (порядка 1 м^2) селекция только пороговой обработкой на фоне отражений от подстилающей поверхности и местных предметов невозможна.

Низкая скорость движения объекта (менее 4 км/ч) и малая радиальная компонента вектора скорости не позволяют выделить его процедурами ЧПК.

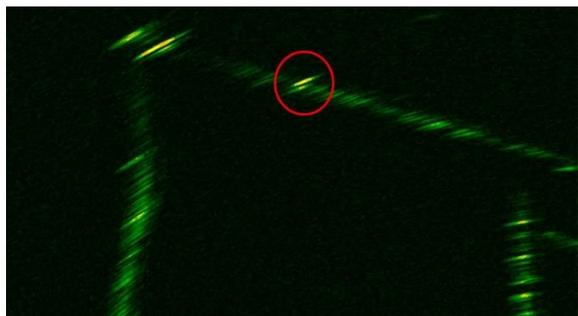


Рис. 6. Фрагмент РЛИ с человеком (обведён красным)

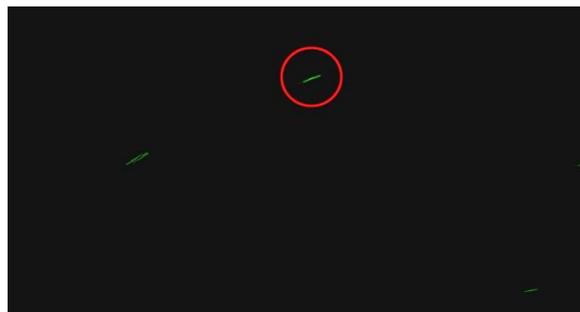


Рис. 7. Результат СДЦ (движущийся человек обведён красным)

3 Этап. Адаптивная пороговая обработка.

Очевидно, что если для каждого элемента РЛИ (2 и 3 типов) формируются свои уникальные статистики принятого сигнала, то и уровни порогов так же должны быть уникальны для каждого элемента РЛИ. Для элементов 1 типа уровень порога должен выбираться аналогично традиционным РЛС (обнаружение на фоне шума).

Уровень порога должен задаваться пропорционально дисперсии процесса в текущем элементе РЛИ (кроме зон радио-тени).

Выводы:

1. В результате обработки экспериментальных данных выявлены особенности РЛИ, формируемых СКИ РЛС.
2. Выявлены специфические особенности алгоритмов обнаружения малоразмерных низкоскоростных целей, позволяющие решить практически важную задачу всепогодного обнаружения человека, ДПЛА и др. малоразмерных целей на фоне отражений от подстилающей поверхности.
3. Натурными экспериментами, подтверждена эффективность предложенных алгоритмов.

Литература

1. Бакулев П.А., Степин В.М. «Методы и устройства селекции движущихся целей» -М: Радио и связь, 1986.
2. В.Н.Скосырев, А.Е.Ананенков, А.В.Коновальцев, В.М.Нуждин, П.В.Соколов: «Перспективы создания информационных сетей для радиолокационного обеспечения задач навигации и судовождения». ISSN 0236-3933. Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. «Приборостроение». 2009, Специальный выпуск.
3. Скосырев В.Н., Нуждин В.М., Ананенков А.Е., Коновальцев А.В. – «Технология сверхкороткоимпульсной радиолокации – ключ к повышению информационных возможностей РЛС», Первая международная конференция «Сверхширокополосные сигналы и сверхкороткие импульсы в радиолокации, связи и акустике», г.Суздаль, 27-29 сентября 2005г.
4. Ананенков А.Е., Коновальцев А.В., Нуждин В.М., Скосырев В.Н. «Технология сверхкороткоимпульсной радиолокации. Состояние и тенденции развития». Труды второй Всероссийской конференции – семинара, г. Муром, 2006г.

5. Ананенков А.Е., Коновальцев А.В., Нуждин В.М., Соколов П.В., Скосырев В.Н. «Особенности применения короткоимпульсных зондирующих сигналов в перспективных РЛС обзора пространства». 2-я Российская научно-техническая конференция «Радиовысотометрия - 2007», Каменск-Уральский, октябрь 2007г.
6. Плекин В.Я. Цифровые устройства селекции движущихся целей. Учебное пособие – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2003.