электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Инновационные пути повышения потенциала перспективных цифровых РЛС

12, декабрь 2014

Скосырев В. Н., Ананенков А. Е.

УДК: 621.396.96

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Московский авиационный институт
shum_ov@mail.ru

Введение

В современной радиолокации наблюдается существенный прорыв за счёт развития и освоения вычислительной и цифровой техники, в том числе, в части формирования зондирующих сигналов (ЗС). Широкое внедрение цифровой и вычислительной техники позволяет сократить потери за счёт оптимизации алгоритмов обработки эхо-сигналов и повысить эффективность в процедурах когерентного накопления. С другой стороны, развитие помехово-целевой обстановки, заключающейся в снижении эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) [1, 2] и росте скоростей целей, требует от РЛС повышения энергетического потенциала (произведения мощности передатчика P и коэффициента усиления антенной системы G), для сохранения прежних значений рубежей обнаружения. Однако, «лобовое» решение этой задачи за счёт увеличения размеров апертуры антенной системы и мощности передатчика было исчерпано уже на рубеже XXI века. Таким образом, возникает актуальная научная задача - найти новый ресурс повышения потенциала современных цифровых РЛС, который в настоящее время был бы далёк от исчерпания.

Исследование и разработка путей и методов повышения энергетического потенциала РЛС (P*G) являлось актуальной проблемой на всех этапах развития радиолокации. Задачу повышения энергетического потенциала за счёт классического увеличения параметров мощности передатчика P и коэффициента усиления антенной системы G на разных этапах развития радиолокации решалась по-разному. На начальном этапе (до 60 г.г.) этот параметр обеспечивался за счёт успехов вакуумной электроники, обеспечивающей мощности передающих систем, а так же увеличения апертуры антенных систем. Однако этот путь «лобового» решения в направлении повышения произведения P·G практически исчерпал себя к началу 70-х годов прошлого века. Позднее были предложены и внедрены методы, повышения энергетического потенциала, опирающиеся на применение сложномодулиро-

ванных зондирующих сигналов (ЗС) и программной концентрации энергии в пространстве за счёт применения антенных систем на основе фазированных антенных решёток (ФАР) [3]. Большие надежды разработчиков на решение проблемы повышения радиолокационного потенциала за счёт внедрения твердотельных активных ФАР (АФАР) не оправдались в связи с высокой стоимостью твердотельных приемо-передающих модулей (ППМ) и сравнительно низким КПД (25-30%) и малой импульсной мощностью [4].

В настоящее время без применения радиолокационных датчиков различных типов практически невозможно функционирование транспортных средств, особенно авиации, и для радиолокаторов этого типа наряду с обеспечением высококачественного обнаружения объектов актуальна проблема экологической безопасности, т.е. снижения мощности излучения.

Для РЛС этого класса (мониторинга малой и средней дальности) особенно актуален поиск путей и методов, направленных на снижение мощности излучения ЗС, без ухудшения при этом параметров РЛС, в первую очередь, по рубежам обнаружения. В то же время, проблема снижения мощности излучения весьма актуально и для РЛС военного применения, как для обеспечения экологической безопасности (например, на лётной палубе авианосца), так и для снижения электромагнитной заметности [5] и уязвимости от противорадиолокационных ракет.

Приведённые выше соображения обострили проблему поиска путей и методов повышения энергетического потенциала для сохранения, по крайней мере, достигнутых рубежей обнаружения при снижении ЭПР целей. В настоящее время в радиолокации наметились определённые успехи в разработке новых путей и методов обеспечения заданных рубежей обнаружения малоразмерных целей и сокращения времени «завязки» трасс без повышения потенциала РЛС (P×G). Поскольку все эти успехи возможны только за счёт развития и внедрения высокопроизводительной цифровой и вычислительной техники, целью данной статьи является методически объединить их, введя новое понятие *эквивалентного энергетического потенциала*.

1. Основная часть

Рассмотрим некоторые аспекты предлагаемой технологии повышения эквивалентного энергетического потенциала цифровых РЛС за счёт использования вычислительных и цифровых ресурсов без изменения P·G. В зависимости от типа и функциональных задач, стоящих перед конкретным типом РЛС, возможно использование различных методов и алгоритмов данной технологии. Проиллюстрируем некоторые конкретные аппаратно-алгоритмические решения, направленные на повышение эквивалентного энергетического потенциала без увеличения P·G, которые применимы в РЛС различных типов.

Известно, что при использовании традиционных методов первичной аналоговой обработки за счёт неполного использования принятого сигнала, обусловленного дискретной расстановкой по частоте и дальности, из-за трудностей с реализацией многоканальности в частотной (по Доплеру) и временной (по дистанции) области приводит к потерям энергии

принятого эхо-сигнала [6]. Цифровая обработка с увеличением канальности (и большим уровнем перекрытия каналов) позволяют устранить имеющиеся потери в 2-3 дБ.

Применение цифровой техники привело к тому, что в настоящее время эхо-сигналы оцифровываются на СВЧ-несущей или промежуточной частот (ПЧ), и вся первичная обработка ведётся с исходным цифровым массивом. В связи с этим количество каналов обработки ограничивается только доступным вычислительным ресурсом и указанные потери могут быть практически исключены.

Имеются традиционные подходы [7, 8], которые позволяют оценить рубежи обнаружения и измерения координат при определённой энергетике РЛС, т.е. для заданного отношения сигнал/шум прогнозировать выполнение задачи с определённым качеством.

Высокие требования к первичной обработке со стороны вторичной были обусловлены в прошлом низкой производительностью вычислителя вторичной обработки и стремлением ускорить «завязку» трассового сопровождения и сократить операции по отсеиванию ложных трасс. Этим и обусловлены требования к вероятности правильного обнаружения от Д=0,8-0,9 и выше, а к уровню ложных тревог 10^{-7}-10^{-9}, что обеспечивается при отношении сигнал/шум порядка 14-16 дБ.

При современных высокопроизводительных вычислителях можно перераспределить функции между первичной и вторичной обработкой, понизив качество первичного обнаружения до Д=0,5-0,6 при вероятности ложных тревог 10^{-5}-10^{-6}, что реализуется при отношении сигнал/шум порядка 10-11 дБ. Этот выигрыш позволит «завязать» трассу в 1,3 раза дальше по дистанции за счёт роста потребления вычислительного ресурса, который в настоящее время далёк от исчерпания.

Ещё одним из путей решения задачи сокращения времени «завязки» трассы, что эквивалентно более раннему обнаружению, является реализация программного метода обзора при использовании двумерных ФАР и АФАР. Программный обзор позволяет осуществлять завязку трассы даже в РЛС кругового обзора уже на одном обзоре пространства за счёт программного возврата (отскока) луча в элемент пространства, в котором было зафиксировано первичное обнаружение.

Приведённый пример показывает, что если применять на первом этапе обзора пространства сигналы с невысоким разрешением по дальности, то учитывая ограниченное число элементов по дальности, можно снизить уровень ложных тревог, переложив задачи их селекции на этап вторичной обработки. Данный подход позволят повысить рубеж обнаружения за счёт решения задачи обнаружения при более низком отношении сигнал/шум.

Используя упомянутый выше программный обзор в сочетании с повышением разрешающей способности по дальности на втором этапе (при отскоке луча по азимуту, через некоторый временной интервал, существенно меньший чем период обзора), можно реализовать процедуру обнаружения-распознавания с использованием априорной информации о наличии у цели дальностного портрета.

Факт наличия у цели дальностного портрета позволяет качественно повысить вероятность правильного обнаружения и «завязки» трасс. Попутно, при повышении разрешающей способности по дальности растут точности определения координат цели. Разницу в энергетике за счёт расширения полосы частот излучения можно скомпенсировать увеличением времени когерентного приёма, отраженного от цели сигнала. При использовании этого метода сама процедура «отскока» луча обеспечивает «завязку» трассы уже при первом обзоре, с высокоточным измерением координат цели. При этом сокращается время «завязки» трассы, что эквивалентно увеличению рубежа обнаружения.

Рассмотренные выше подходы и алгоритмы обработки информации были направлены на снижение потерь или принятия решения по обнаружению при более низком значении сигнал/шум. Однако для ряда типов РЛС наряду с повышением энергетического потенциала для обеспечения требуемых рубежей обнаружения стоит задача повышения качества информации, в первую очередь, в направлении повышения разрешающей способности и точности оценки координат. Классический путь решения этой проблемы повышения качества заключается в увеличении отношения сигнал/шум. Для повышения отношения сигнал/шум было предложено [9] использование процедур длительного когерентного накопления (ДКН), что позволяет поднять эквивалентный энергетический потенциал ещё на 3-4 дБ за счёт существенного усложнения процедур обработки сигнала.

Реализация некоторых квазиоптимальных обнаружителей (использующих априорную информацию) [10] связана со значительными вычислительными затратами и, методически, может быть отнесена к рассматриваемой технологии. При наличии в локационном канале пассивной помехи, как показано в [11], повысить эффективность обнаружения возможно адаптивным порогом для каждого дискретного элемента по дальности (и азимуту).

Общей чертой рассмотренных методов является то, что увеличение нагрузки на вычислительную подсистему РЛС позволяет получить выигрыш, эквивалентный росту мощности передающего устройства или площади антенной системы. Для описания этой технологии, целесообразно впервые ввести новый ресурс повышения потенциала цифровых РЛС кроме традиционных P×G, а именно энергетического выигрыша полученного за счёт увеличения производительности цифровой аппаратуры.

Введём оценку эквивалентного радиолокационного потенциала РЛС

$$W = P \times G \times I, \quad . \tag{1}$$

где $I = \Sigma k_i N_i$ - усреднённый суммарный выигрыш (в дБ), реализуемый за счёт введения новых алгоритмов и совершенствования их параметров; k_i - коэффициент эффективности; N_i - требуемая вычислительная производительность вычислителя для реализации i-го алгоритма.

Количество компонентов суммы в настоящее время постоянно увеличивается, поскольку предлагаются всё новые алгоритмы, позволяющие увеличить рубежи обнаружения, например за счёт использования кооперативного приёма сигналов в группировке РЛС [12]. Рассмотренные в данной работе методы позволяют в совокупности говорить о росте

эквивалентного энергетического потенциала на порядок, что эквивалентно увеличению рубежа обнаружения в 1,7 раза.

Заключение

Рассмотрены ряд методов, обеспечивающих повышение рубежей обнаружения целей за счёт совершенствования алгоритмов первичной и вторичной обработки в РЛС с цифровой обработкой эхо-сигналов. Предложено объединить методически эти алгоритмы обработки в единую технологию.

Предложенная новая технология повышения эквивалентного радиолокационного потенциала, позволяет сохранить рубежи обнаружения целей при сокращении на порядок величины ЭПР цели, без изменения классического энергетического потенциала (P×G). Найден новый ресурс повышения потенциала современных цифровых РЛС, который в настоящее время далёк от исчерпания. Введено понятие эквивалентного энергетического потенциала, позволяющего корректно оценивать увеличение рубежей обнаружения в цифровых РЛС.

Статья выпущена в рамках НИОКТР "Реализация комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства радиолокационного комплекса для системы управления воздушным движением с удаленной диспетчеризацией", выполняемой МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ОАО "РТИ" в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, в целях реализации постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», при финансовой поддержке по проекту Министерства образования и науки Российской Федерации.

Список литературы

1. Боков А.А. Проблема обнаружения летательных аппаратов типа «стелс». Зарубежное военное обозрение №7 1989 С.37-42
2. Бочкарев А.М., Долгов М.И. Радиолокация малозаметных летательных аппаратов. — Зарубежная радиоэлектроника, 1989, № 2.
3. Активные фазированные антенные решетки / под ред. Д.И. Воскресенского и А.И. Канащенкова. М.: Радиотехника, 2004. 488 с.
4. Скосырев В.Н., Усачёв В.А., Технические пути повышения энергетического потенциала радиолокаторов. Вестник МГТУ. Спецвыпуск «Приборостроение» 2009г. стр. 78-89.
5. Куприянов А.И., Скосырев В.Н., Скрытность сверхширокополосных радиолокационных импульсных сигналов. Технологии ЭМС №2 (29) 2009г. стр. 13-18.

6. Трухачёв А.А. Радиолокационные сигналы и их применения М.: Военное издательство, 2005. 320 с.
7. Справочник по радиолокации под ред. Сколника М. том 3., М.: Сов Радио, 1979, стр.293.
8. Ширман Я.Д., Теоретические основы радиолокации. М.: изд-во «Советское радио», 1970. 560 с.
9. Кузнецов А.А., Сенин А.И., Слукин Г.П. «О распределении потока ложных отметок в РЛС с длительным когерентным накоплением». Вестник МГТУ. Спецвыпуск «Приборостроение» 2009г. стр. 99.
10. В.В. Балагура, М.Ю. Кудряшов, В.Н. Скосырев, А.А. Худанов Квазиоптимальный многоканальный эрадный обнаружитель сверхкоротких радиоимпульсов "Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике" Муром, 2007
11. А.Е. Ананенков, В.П. Бакалов, А.В. Коновальцев, В.М. Нуждин, В.В.Расторгуев, В.Н. Скосырев, П.В. Соколов. Обнаружение малоразмерных объектов сверхкороткоимпульсной РЛС. "Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике" Муром, 2007.
12. Борисов Е. Г., Машков Г. М., Турнецкий Л. С., Организация процессов обнаружения-измерения в активно-пассивной многопозиционной радиолокационной системе с кооперативным приёмом сигналов. Известия Южного федерального университета. Технические науки. № 3 (140) / 2013