

УДК 621.396.969.34:629.735

СПОСОБ РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ГРУППОВОЙ ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ

А. В. Баженов,

канд. техн. наук, профессор

И. Е. Афонин,

адъюнкт

Ставропольское высшее военное авиационное инженерное училище (военный институт) имени маршала авиации В. А. Судца

Предложен способ радиолокационного разрешения групповой воздушной цели по характеру отклика на зондирующие сигналы сложной структуры. Приведен алгоритм разрешения, реализующий этот способ.

Ключевые слова — радиолокационное разрешение, групповая воздушная цель, сигналы сложной структуры, фазоманипулированный сигнал, бортовая радиолокационная станция.

Введение

В настоящее время наиболее перспективным и эффективным способом ведения воздушной наступательной операции является групповое ведение боевых действий. Для эффективного противодействия групповой воздушной цели (ГВЦ) необходимо решать задачу целераспределения. Это, в свою очередь, требует определения количественного состава группы [1]. Также следует отметить, что боевые порядки летательных аппаратов (ЛА) образованы парами «ведущий — ведомый». Причем расстояние между ЛА в паре меньше, чем разрешающая способность РЛС, что требует дополнительных мер по разрешению такой ВЦ, а расстояния между парами ЛА, составляющими боевой порядок, превышают размеры разрешающей способности бортовых РЛС (БРЛС) и, соответственно, ВЦ разрешаются существующими БРЛС. Таким образом, наибольший интерес представляет ситуация, когда ГВЦ состоит из пары воздушных целей, поэтому под определением количественного состава будем понимать определение, парная это цель или одиночная.

Много работ посвящено задачам определения углового положения энергетического и геометрического центра объекта, а также задачам разрешения парного объекта на основе разности доплеровских портретов. Предлагаемый способ радиолокационного разрешения является альтернативой существующим методам радиолокационного разрешения групповых объектов и основан на

создании в районе ГВЦ фазового фронта электромагнитной волны, обеспечивающего синфазное отражение от ее элементов.

Основания и описание способа

Предлагаемый способ радиолокационного разрешения основан на следующих предпосылках. ГВЦ представляет собой пару однотипных воздушных целей, летящих в сомкнутом боевом порядке. Так как воздушные цели однотипны и, соответственно, имеют одинаковые характеристики отражения, то их можно представить двумя энергетическими центрами с определенными статистическими характеристиками отражения.

Зондирующий сигнал представляет собой когерентную пачку импульсов, начальная фаза каждого четного дискрета импульса меняется от пачки к пачке. Когерентная обработка и обнаружение проводятся в пределах каждой пачки («кадра» обработки).

Таким образом, для решения рассматриваемой проблемы предлагается использовать фазовую манипуляцию зондирующего сигнала в целях компенсации фазового сдвига в отраженных от отдельных целей сигналах, обусловленного пространственным разносом элементов ГВЦ, для обеспечения их синфазного приема. Причем фазовая манипуляция осуществляется таким образом, что в каждой пачке импульсов длительность отдельного импульса разбивается на элементарные временные интервалы (дискреты). В течение

одного элементарного дискрета начальная фаза радиоимпульса неизменна. В одном импульсе каждый четный элементарный дискрет имеет одинаковые значения начальной фазы $\Delta\varphi$. При переходе от пачки к пачке значение приращения $\Delta\varphi$ изменяется по линейно нарастающему закону от 0 до π .

Падение фазового фронта ЭМВ на отдельные элементы ГВЦ и фазовый фронт отраженного зондирующего сигнала с учетом скачка фазы, внесенного в зондирующий сигнал, показано на рис. 1.

Результатом применения предлагаемого способа является то, что при наличии в составе ГВЦ двух целей при одном из значений фазового сдвига отраженный сигнал будет иметь существенно большее значение амплитуды, чем при отражении от одиночной ВЦ. По отсутствию амплитудного скачка, при всех реализациях вносимого в зондирующий сигнал сдвига фазы, принимается решение о том, что цель одиночная.

Общий вид алгоритма радиолокационного разрешения ГВЦ по характеру отклика на сигналы сложной структуры представлен на рис. 2.

После обнаружения воздушной цели производится ее облучение зондирующим сигналом со сдвигом фазы четных импульсов, равным нулю, т. е. немодулированным сигналом

$$s_{\text{изл}}(t) = U_0 e^{-j(\omega t + \varphi_0)}. \quad (1)$$

Отраженные от элементов ГВЦ сигналы поступают на вход приемника бортовой РЛС, где в результате интерференции складываются, и по величине амплитуды суммарного сигнала устанавливается порог принятия решения $u_{\text{п}}$. Выбор порога производится по критерию Неймана—Пирсона:

$$s_{\text{прм1}}(t) = \sigma_1(\theta, \psi) U_0 e^{-j(\omega t + \varphi_0)}; \quad (2)$$

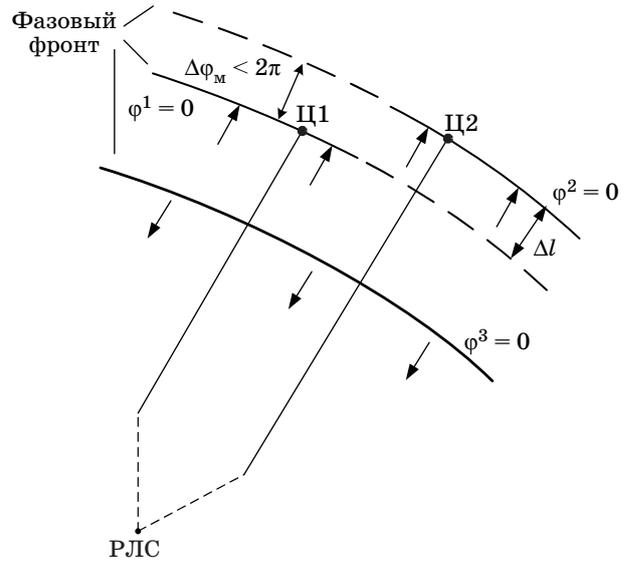
$$s_{\text{прм2}}(t) = \sigma_2(\theta, \psi) U_0 e^{-j(\omega t + \varphi_0 + \alpha)}; \quad (3)$$

$$s_{\Sigma}(t) = s_{\text{прм1}}(t) + s_{\text{прм2}}(t) = \sigma(\theta, \psi) U_0 (e^{-j(\omega t + \varphi_0)} + e^{-j(\omega t + \varphi_0 + \alpha)}) + n(t), \quad (4)$$

где $\sigma(\theta, \psi) = \sigma_1(\theta, \psi) + \sigma_2(\theta, \psi)$ — характеристика рассеяния и поглощения ЭМВ в атмосфере;

$\alpha = \Delta l \frac{4\pi}{\lambda}$ — сдвиг фазы, обусловленный разностью хода ЭМВ за счет пространственного разноса элементов ГВЦ.

Далее производится перестройка фазовращателя на некоторый дискрет фазы $\Delta\varphi$, причем этим сдвигом фазы модулируются только четные импульсы зондирующей последовательности. Полу-



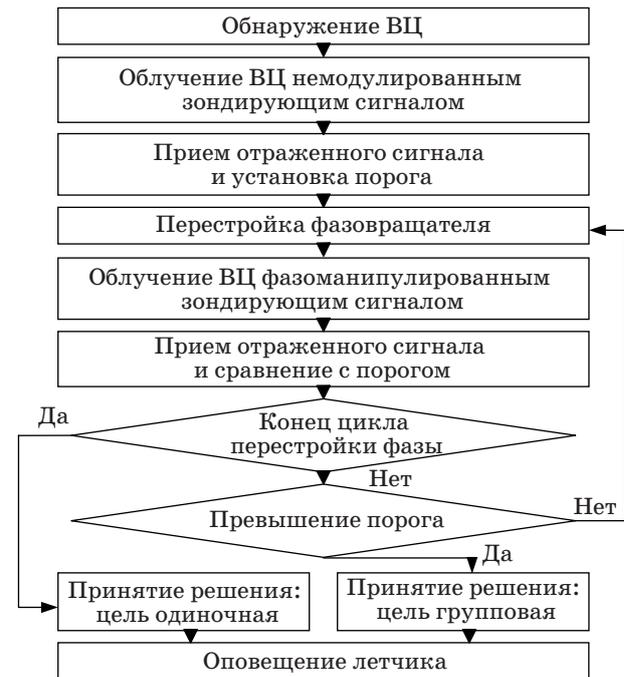
■ Рис. 1. Процесс отражения зондирующего сигнала от элементов ГВЦ

ченным фазоманипулированным сигналом производится облучение цели

$$s_{\text{изл}}(t) = U_0 e^{-j(\omega t + \Delta\varphi a(t) + \varphi_0)}, \quad (5)$$

где $\Delta\varphi$ — величина скачка фазы, вносимого в зондирующий сигнал; $a(t)$ — закон изменения фазы.

Отраженный от воздушной цели сигнал принимается РЛС, и его амплитуда сравнивается с установленным пороговым значением $u_{\text{п}}$:



■ Рис. 2. Алгоритм, реализующий предлагаемый способ радиолокационного разрешения

$$s_{\Sigma}(t) = s_{\text{прм1}}(t) + s_{\text{прм2}}(t) = \sigma(\theta, \psi)U_0 \times (e^{-j(\omega t + \varphi_0 + \Delta\varphi\alpha(t))} + e^{-j(\omega(t+\Delta t) + \varphi_0 + \Delta\varphi\alpha(t+2\Delta t))}), \quad (6)$$

где Δt — время задержки сигнала, отраженного от одного объекта, относительно сигнала, отраженного от другого объекта.

После чего производится проверка на окончание цикла перестройки фазы. Если цикл перестройки окончен и при всех реализациях зондирующего сигнала уровень сигнала не превысил пороговое значение, то принимается решение о том, что цель одиночная. Решение о том, что цель двухэлементная, принимается в случае превышения амплитудой принятого сигнала порогового уровня только при одной реализации зондирующего сигнала и непревышении порогового уровня при остальных реализациях сигнала.

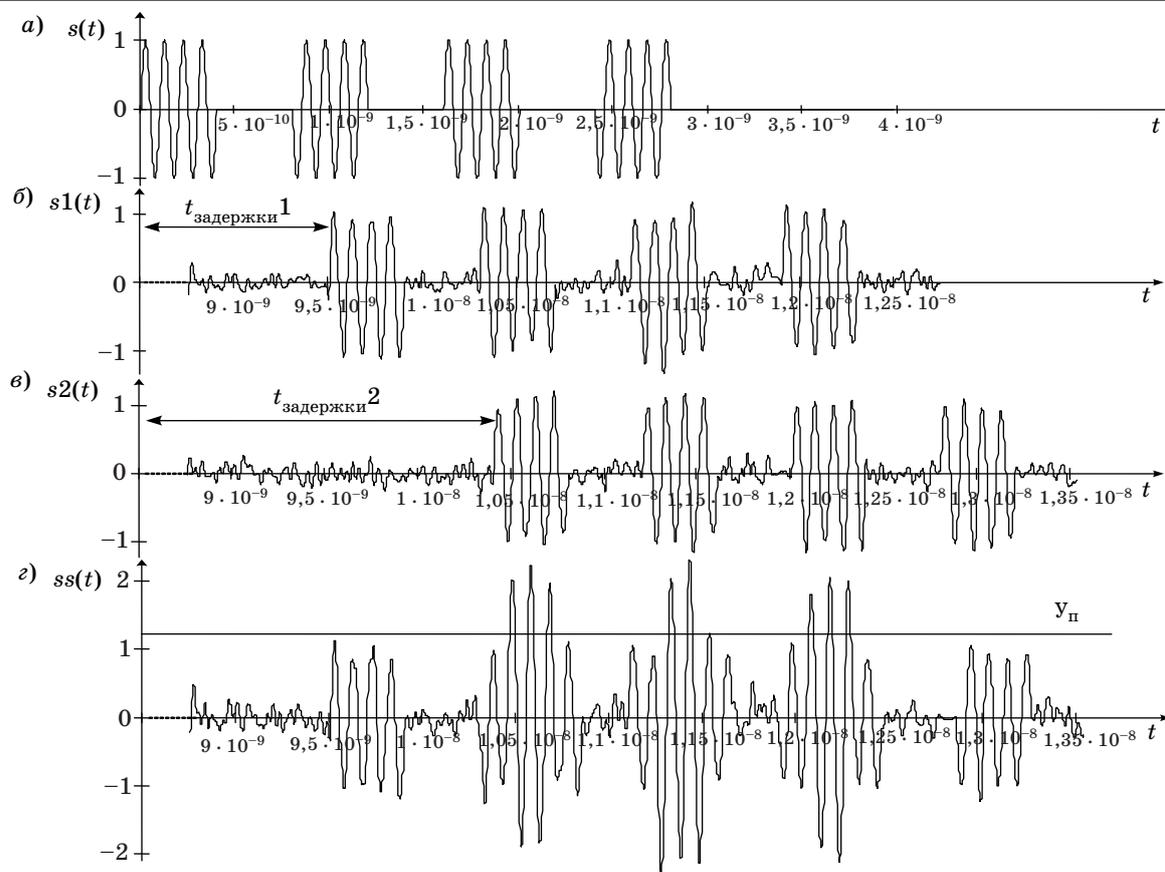
Для синтеза предлагаемого способа была разработана математическая модель процесса отражения зондирующего сигнала сложной структуры от ГВЦ, представленной парой самолетов, находящихся в одном разрешаемом объеме РЛС [2].

Временные диаграммы (рис. 3) характеризуют работу предлагаемого способа.

Следует также отметить, что при математическом моделировании в сигналы, отраженные от ВЦ, была введена естественная помеха (которая может быть обусловлена нестабильностью параметров среды распространения, параметров взаимного перемещения ВЦ, а также внутренними шумами приемника). Причем были сделаны следующие допущения: уровень шумов не превышает 10 % уровня сигналов, отраженных от отдельных объектов в составе ГВЦ; фазовые искажения распределены по равномерному закону, амплитудные — по релеевскому.

Из рисунка видно, что при обеспечении синфазного приема сигналов, отраженных от элементов ГВЦ, уровень суммарного сигнала существенно превышает пороговый уровень $y_{\text{п}}$.

Логическим завершением вышеприведенного алгоритма является оповещение летчика о составе обнаруженной ВЦ, что позволит ему принять решение на групповой воздушный бой и осуществить целераспределение своим истребителям (если их несколько), а также выбрать тактику ведения воздушного боя и определить потребный наряд ракет для одновременного обстрела целей ГВЦ.



■ Рис. 3. Временные диаграммы, характеризующие работу предлагаемого способа: а — зондирующий сигнал; б — отраженный от первой цели сигнал; в — отраженный от второй цели сигнал; г — результирующий сигнал на входе приемника бортовой РЛС

Очевидно, что наличие данной информации об атакуемой ГВЦ на борту истребителя позволит осуществить определенную поддержку решений летчика и оптимизировать наведение ракет на элементы ГВЦ в интересах повышения эффективности борьбы с такими целями.

Заключение

Таким образом, предложенный способ радиолокационного разрешения, основанный на создании в районе ГВЦ фазового фронта электромагнитной волны, обеспечивающего синфазное отражение от ее элементов, может быть использован в задачах разрешения групповых объектов. Предлагаемый алгоритм принципиально позволяет принимать решение о составе ГВЦ, а именно: парная это цель или одиночная, — на основе первичной радиолокационной информации без исполь-

зования данных вторичной обработки. Однако предложенный способ не позволяет оценить число воздушных целей, если в пределах разрешаемого объема РЛС их больше, чем пара.

Литература

1. **Бабич В. К.** Авиация в локальных войнах. — М.: Воениздат, 1988. — 208 с.
2. **Афонин И. Е.** Модель процесса отражения зондирующего сигнала со сложной структурой от групповой воздушной цели // Проблемы совершенствования боевых авиационных комплексов, повышение эффективности их эксплуатации и ремонта: Сб. докл. Всерос. науч.-техн. школы-семинара / СВВАИУ (ВИ). Ставрополь, 2007. С. 8–10.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

При подготовке рукописей статей редакция просит Вас руководствоваться следующими рекомендациями.

Статьи должны содержать изложение новых научных результатов.

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и библиография) не должен превышать эквивалента в 16 страниц, напечатанных на бумаге формата А4 на одной стороне через 1,5 интервала в Word шрифтом Times New Roman размером 13, поля не менее 2 см.

Обязательными элементами оформления статьи являются: индекс УДК, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание, полное название организации; заглавие, аннотация (5–7 строк) и ключевые слова на русском и английском языках. Название статьи должно быть кратким, но информативным. При написании аннотации не используйте аббревиатур и не делайте ссылок на источники в списке литературы.

Формулы набирайте в Word, при необходимости можно использовать формульный редактор; для набора одной формулы не используйте два редактора; при наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой; для установки размера шрифта никогда не пользуйтесь вкладкой Other..., используйте вкладку Define; в формулах не отделяйте пробелами знаки: + = –.

При наборе символов в тексте помните, что символы, обозначаемые латинскими буквами, набираются светлым курсивом, русскими и греческими — светлым прямым, векторы и матрицы — прямым полужирным шрифтом.

Иллюстрации в текст не заверстываются и предоставляются отдельными исходными файлами, поддающимися редактированию:

— рисунки, графики, диаграммы, блок-схемы изготавливаются в векторных программах: Visio 4, 5, 2002–2003 (*.vsd); Coreldraw (*.cdr); Excel; Word; AdobeIllustrator; AutoCad (*.dxf); Компас; Matlab (экспорт в формат *.ai);

— фото и растровые — в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением (не менее 300 pixels/inch).

Наличие подрисовочных подписей обязательно (желательно не повторяющих дословно комментарии к рисункам в тексте статьи).

В редакцию предоставляются:

— сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученое звание, учебное заведение и год его окончания, ученая степень и год защиты диссертации, область научных интересов, количество научных публикаций, домашний и служебный адреса и телефоны, факс, e-mail), фото авторов: анфас, в темной одежде на белом фоне, должны быть видны плечи и грудь, высокая степень четкости изображения без теней и отблесков на лице, фото можно представить в электронном виде в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением — не менее 300 pixels/inch при минимальном размере фото 40 × 55 мм;

— экспертное заключение.

Список литературы составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом:

— для книг и сборников — фамилия и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее количество страниц;

— для журнальных статей — фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год издания, номер журнала, номера страниц;

— ссылки на иностранную литературу следует давать на языке оригинала без сокращений;

— при использовании web-материалов указывайте адрес сайта.