

УДК 621.396

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДВИЖУЩИХСЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В ВЫСОКОИНФОРМАТИВНОМ КОСМИЧЕСКОМ РАДИОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ

Радионович В.В., аспирант

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Козлов С.В. – доктор техн. наук

Аннотация. Приведены результаты построения радиолокационных изображений движущихся протяженных по дальности воздушных объектов (ВО) в координатах «наклонная-поперечная дальность» радиолокатором с синтезированием апертуры космического базирования с высоким разрешением по дальности при угловых рысканиях объектов. Показано, что при малых по амплитуде и медленных угловых рысканиях формируемые РЛИ близки к РЛИ неподвижных объектов. При увеличении угловых рысканий РЛИ объекта расплывается только по поперечной дальности. Приведены оценки степени расширения РЛИ по поперечной дальности в зависимости от параметров угловых рысканий. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования алгоритмов обнаружения движущихся объектов на радиолокационных изображениях при многоканальной обработке траекторного сигнала радиолокатора с синтезированием апертуры космического базирования.

Ключевые слова. Синтезирование апертуры, движущийся воздушный объект, миграция дальности, угловые рыскания, радиолокационное изображение.

Постановка задачи. Для обнаружения движущихся воздушных объектов (самолетов, вертолетов, беспилотных летательных аппаратов) в настоящее время могут быть использованы радиолокаторы с синтезированием апертуры (РСА) авиационного и космического базирования [1,2]. Один из вариантов способа обработки принимаемого сигнала при обнаружении ВО приведен в [2].

Для ВО наряду с поступательным движением центра масс объекта характерны также угловые рыскания по курсу, крену и тангажу. При наблюдении движущегося ВО фокусировка системы обработки выполняется в соответствии с предполагаемыми значениями радиальной скорости, ускорения и, в некоторых случаях, производной радиального ускорения между РСА и центром масс объекта. Для пространственно-протяженного ВО из-за угловых рысканий указанные параметры движения блестящих точек объекта будут отличаться от опорных параметров системы обработки. Это будет приводить к смещению откликов по поперечной дальности на формируемых радиолокационных изображениях (РЛИ) объектов, которое будет различным для разных интервалов радиолокационного наблюдения, то есть будет приводить к изменчивости формируемых радиолокационных изображений.

Для обнаружения на РЛИ объекта k -го типа при ракурсе наблюдения α может быть использован способ некогерентного накопления, предусматривающий суммирование квадратов модулей отсчетов комплексных РЛИ с заданными весами, определяемыми относительными ЭПР элементов разрешения объекта для заданного ракурса наблюдения, с последующим сравнением результата некогерентного накопления с порогом [3]. Для уменьшения вычислительных затрат от перебора всех возможных ракурсов и от весового суммирования отказываются, осуществляя некогерентное накопление в заданной области радиолокационного изображения, размер которой для неподвижных и медленно движущихся наземных объектов определяется их размерами по продольной и поперечной дальности и соответствующим разрешениями РСА. Для ВО размер по поперечной дальности наряду с размерами объекта будет также определяться угловыми рысканиями.

Цель работы – исследование изменчивости РЛИ воздушных объектов в зависимости от параметров угловых рысканий.

Способы построения РЛИ и исходные данные для моделирования. Для выявления основных закономерностей использовалась компьютерная модель высокоинформативного РСА, реализованная в пакете прикладных программ MATLAB. Краткое описание модели приведено в [4]. Обработка сигнала предусматривала построение РЛИ объекта на фоне земной поверхности с учетом внутренних шумов приемника РСА для заданного числа каналов по начальной радиальной скорости и радиальному ускорению с компенсацией миграции дальности и частоты сигнала, отраженного от центра масс ВО.

При исследованиях использовалась модель среднеразмержного самолета (длина 25 м, размах крыла 20 м) в виде совокупности блестящих точек (БТ) на жестком каркасе. Визуализация модели приведена на рисунке 1.

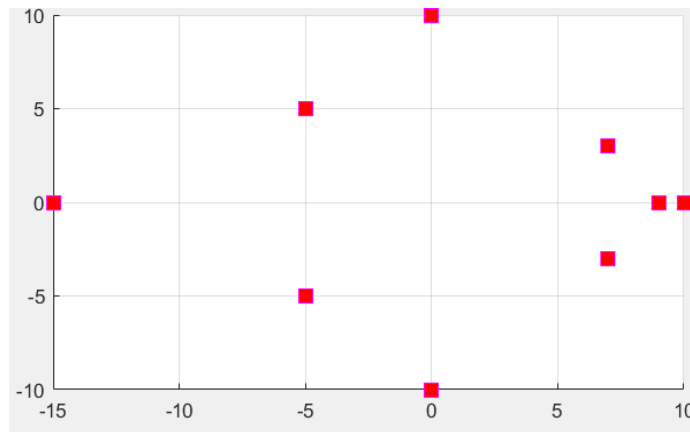


Рисунок 1 – Расположение БТ объекта на жестком каркасе

Модель включает 9 БТ с одинаковой ЭПР 5 м^2 . Все БТ совершают колебания относительно центра масс по курсу, крену и тангажу. Угловые рыскания по каждой координате независимые со случайными начальными фазами и определяются амплитудами A_{oz}, A_{ox}, A_{oy} и периодами T_{oz}, T_{ox}, T_{oy} угловых колебаний по курсу, крену и тангажу.

На рисунке 2 приведены результаты построения РЛИ с компенсацией миграции дальности и частоты при неподвижном (например, на стоянке) самолете и его полете перпендикулярно линии пути в сторону РСА ($V_x = -50 \text{ м/с}$) в гипотетическом случае отсутствия угловых рысканий. Ширина спектра сигнала составляла 150 МГц. При построении РЛИ использовалось окно типа «косинус без пьедестала», что обеспечивает разрешение по наклонной дальности около 1,5 м и по поперечной дальности около 6 м. Для выявления особенностей РЛИ внутренние шумы полагались равными нулю.

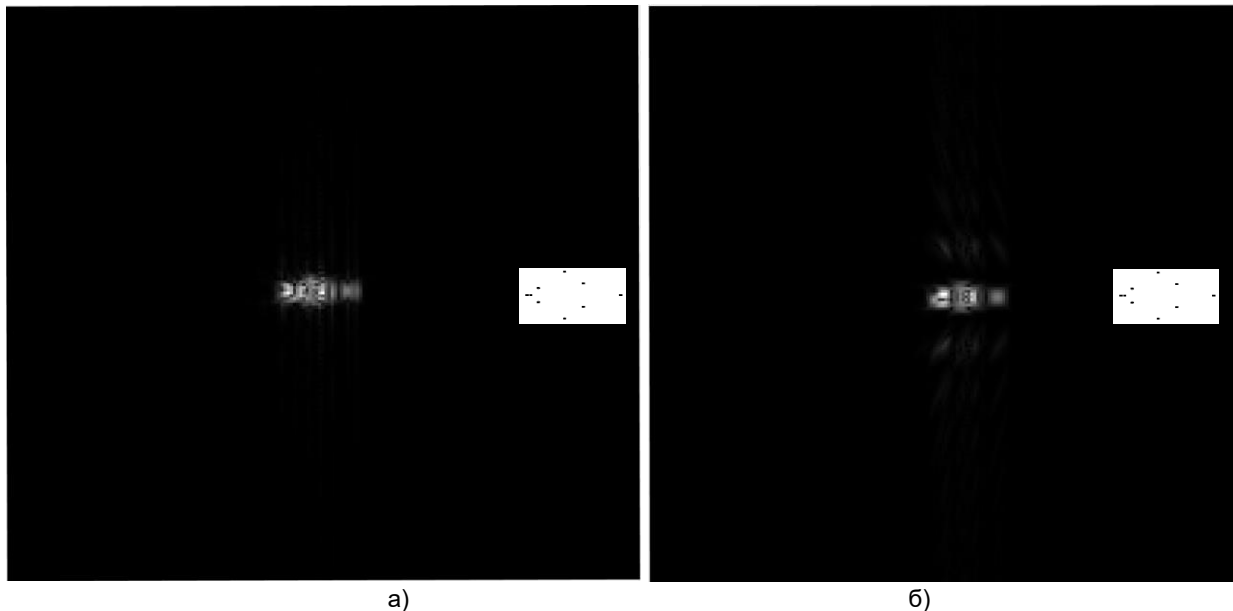


Рисунок 2 – РЛИ неподвижного ВО (а) и ВО с собственной радиальной скоростью 50 м/с (б) при отсутствии внутренних шумов и угловых рысканий

Смоделированные РЛИ являются детальными (для сравнения в белом поле справа на этом и последующих рисунках показана схема расположения БТ объекта): можно примерно измерить протяженность объекта по обеим координатам, однако отдельные БТ явным образом не выделяются. Движение объекта незначительно сказывается на качестве изображения и положении ярких пискелей.

Ситуация изменяется, когда объект испытывает угловые рыскания. РЛИ при $A_{oz} = A_{ox} = A_{oy} = 2^\circ$ для этого случая приведены на рисунке 3 (период рысканий по всем координатам 5 с) и рисунке 4 (период рысканий 2 с, 4 реализации).

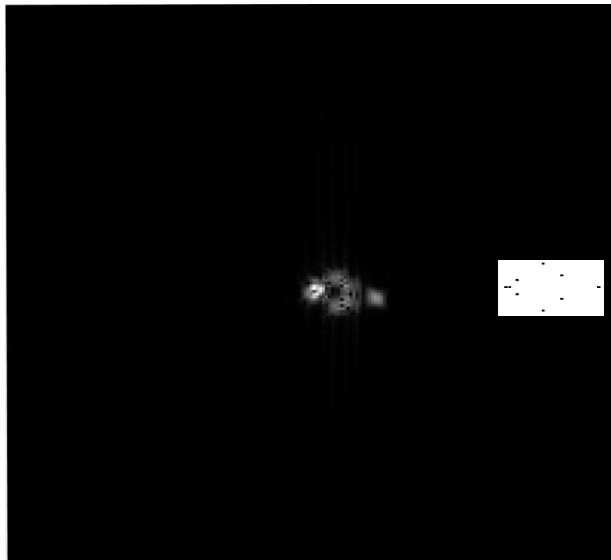


Рисунок 3 – РЛИ ВО с собственной радиальной скоростью 50 м/с при периоде угловых рысканий 5 с

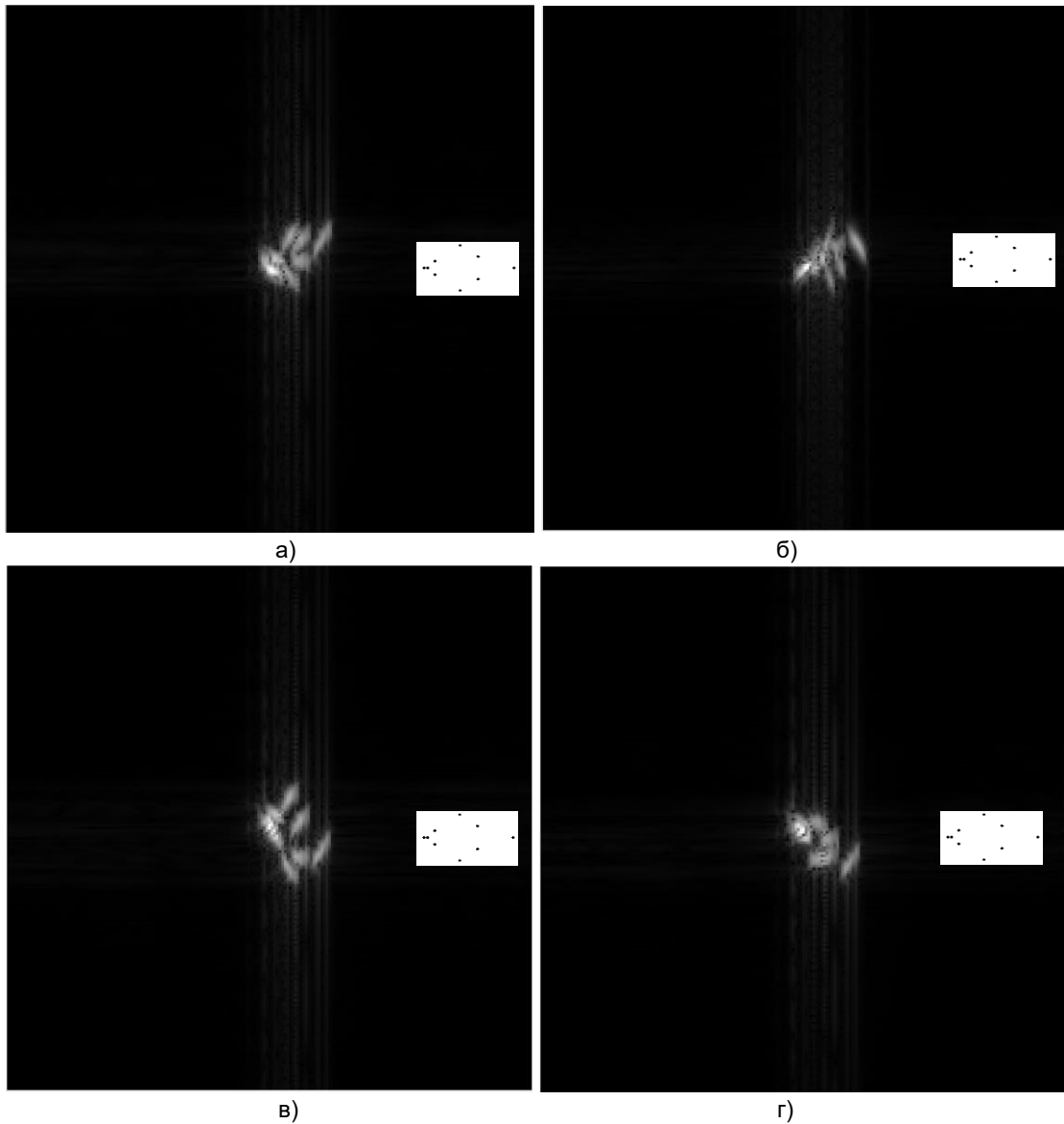


Рисунок 4 – РЛИ ВО с собственной радиальной скоростью 50 м/с при периоде угловых рысканий 2 с в четырех (а-г) реализациях

Как видно из результатов моделирования, РЛИ объекта характеризуются сильной изменчивостью. Уже при относительно «медленных» рысканиях с периодом 5 с отклик расплывается

по поперечной дальности примерно в 1,5 раза по отношению к РЛИ объекта без угловых рысканий. При увеличении скорости рысканий отклик объекта существенно выходит за границы объекта по поперечной дальности, число элементов разрешения, занимаемых откликом, увеличивается, а амплитуда отсчетов уменьшается. РЛИ объекта от одной реализации к другой изменяются весьма причудливым образом: носовая и хвостовая часть РЛИ самолета могут перемещаться на десятки пикселей по поперечной дальности, а видимый размер объекта. По продольной дальности границы положения объекта не изменяются.

При воспроизведении реального уровня внутренних шумов на РЛИ будут выделяться только отдельные отсчеты. Указанная ситуация приведена на рисунке 5 для тех же исходных данных (но других реализациях), что и на рисунке 4. Суммарное (по всем блестящим точкам) отношение сигнал/шум при моделировании задавалось равным 20 дБ.

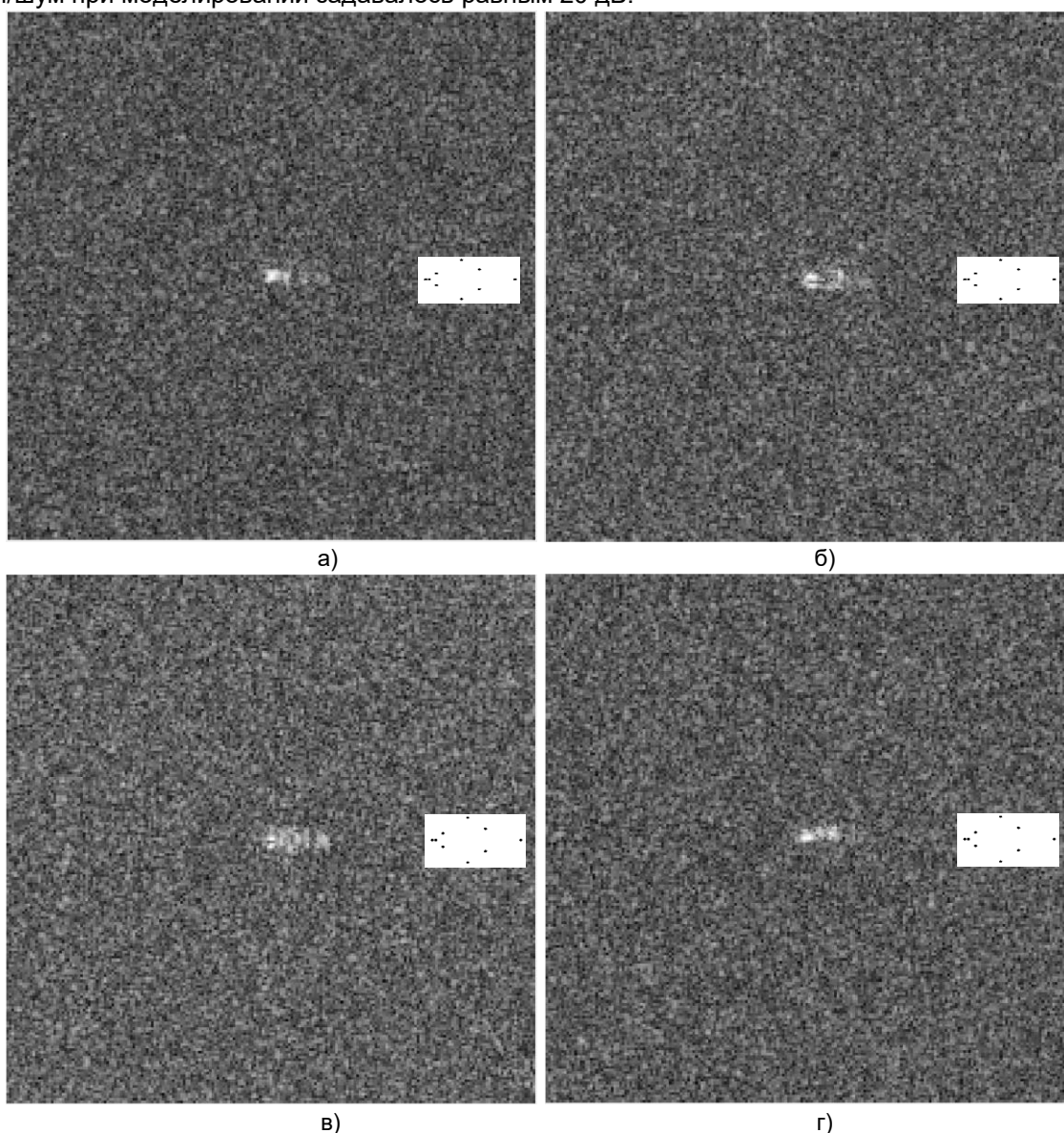


Рисунок 5 – РЛИ ВО при наличии внутренних шумов и периоде угловых рысканий 2 с в четырех реализациях

При этом под «яркими» понимаются не только блестящие точки с большим значением ЭПР, но и отдельные БТ или их совокупности, для которых в рассматриваемой реализации угловых рысканий достигнуто наилучшее совпадение с законом изменения частоты (фазы), то есть эффективность когерентного накопления.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о высокой изменчивости РЛИ воздушных объектов, формируемых высокоинформативным РСА, проявляющиеся случайных смещения откликов сигналов отдельных блестящих точек объекта и их совокупностей по поперечной дальности и соответствующем «расплывании» отклика только по поперечной дальности. Это

необходимо учитывать при обосновании статистического алгоритма обнаружения объекта на сформированном РЛИ. Кроме того, представляет интерес обоснования параметров сверточных нейронных сетей и их обучение для решения задач обнаружения ВО на РЛИ с учетом их изменчивости.

Список использованных источников

1. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
2. Лобжанидзе, Д.Т. Обнаружение воздушных объектов посредством космических РЛС / Д.Т. Лобжанидзе, В.В. Сазонов // Сборник трудов XX международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация и связь RLNC-2014», НПФ «САКВОЕЕ», 15-17 апреля 2014, т. 3. – С. 1459-1463.
3. Купряшкин И. Ф. Космическая радиолокационная съемка земной поверхности в условиях помех / И. Ф. Купряшкин, В. П. Лихачев. – Воронеж : Научная книга, 2014. – 460 с.
4. Радионович, В.В. Декорреляция сигнала от земной поверхности при обнаружении движущихся объектов в высокоинформативном радиолокаторе с синтезированием апертуры. В настоящем сборнике.

UDC 621.396

VARIABILITY OF RADAR IMAGES OF MOVING AERIAL OBJECTS IN A HIGHLY INFORMATIVE SPACE SYNTHETIC APERTURE RADAR

Radionovich V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kozlov S.V. – Doctor of Science in Physics and Mathematics

Annotation. The results of constructing radar images of moving long-range airborne objects in the "slant-transverse range" coordinates by a space-based aperture synthesizing radar with high range resolution in the angular yaw of objects are presented. It is shown that for small amplitude and slow yaws, the formed radar images are close to the radar images of stationary objects. With an increase in yaw, the radar image of the object blurs only in the transverse range. Estimates of the degree of radar image expansion in terms of transverse range are given depending on the parameters of yaw. The obtained results can be used to substantiate algorithms for detecting moving objects in radar images during multichannel processing of a radar trajectory signal with space-based aperture synthesis.

Keywords. Aperture synthesis, moving air object, range migration, yaw, radar image.