

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ, ПРЕИМУЩЕСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ С СИНТЕЗИРОВАНИЕМ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ

А.В. Ксендзук, канд. техн. наук

Национальный аэрокосмический университет «ХАИ» им. Н.Е.Жуковского

В статье рассмотрена многопозиционная система дистанционного зондирования с синтезированием апертуры антенны, основанная на использовании специализированной спутниковой группировки. Проведен анализ преимуществ и недостатков такой системы по отношению к однопозиционным системам дистанционного зондирования с синтезированием апертуры антенны и предложены различные варианты построения и использования МПРСА.

* * *

У статті розглянуто багатопозиційну систему дистанційного зондування з синтезуванням апертури антени, засновану на використанні спеціалізованих супутникової групировки. Проведено аналіз переваг та недоліків такої системи по відношенню до однопозиційних систем дистанційного зондування з синтезуванням апертури антени та запропоновано різноманітні варіанти побудування та використання МПРСА.

* * *

This paper represents the study of the multiposition remote sensing system with synthetic aperture. This system is based on the usage of the special satellites constellation. It was analyzed the advantages and disadvantages of this system in comparison with classical synthetic aperture radar and considered different creation and usage variants of the multiposition/multisatellite synthetic aperture radar system.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими научными или практическими задачами.

Многопозиционные системы с синтезированием апертуры антенны (МПРСА) являются развитием существующих однопозиционных систем дистанционного зондирования. При использовании МПРСА появляются возможности глобального оперативного мониторинга земной поверхности и использования дополнительных режимов работы для решения как народно-хозяйственных, так и военных задач. Однако наряду с преимуществами. МПРСА обладают и рядом недостатков, важнейшим среди которых является их относительно высокая себестоимость. В данной работе анализируются преимущества многопозиционных/многоспутниковых систем и проводится их сравнение с однопозиционными системами дистанционного зондирования.

Анализ последних исследований и публикаций по данному направлению.

В настоящее время РСА используются в различных научно-технических отраслях - при эколо-

гическом мониторинге поверхности Земли, геологической разведке, картографировании, океанологии, оценки урожайности сельскохозяйственных культур, военном деле и др. Их преимущества - всепогодность, нечувствительность к облачности и освещенности, высокая информативность и т.д. К настоящему времени эксплуатировались и эксплуатируются, а также находятся в стадии разработки, значительное количество космических аппаратов (КА) и авиационных систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с РСА среднего и высокого разрешения. Все они принадлежат государствам (или содружествам государств) с высокими технологическими возможностями и сильной экономикой: США, Канада, Европейский Союз, Япония, Россия, Украина [1-4].

Однопозиционные РСА на данный момент времени имеют наибольшее распространение благодаря относительно низкой стоимости и достаточно высокому качеству получаемых результатов. Тем не менее, однопозиционным РСА характерен ряд недостатков – относительно низкая точность получае-

мых оценок, вызванная присутствием мультипликативного шума (спекл-шума) и, как следствие этого, необходимостью сглаживания полученных результатов [5- 9]. Более того, при определенном положении РСА возможен «пропуск» объектов представляющих потенциальный интерес, что недопустимо при решении ряда задач, [10]. Исследование возможностей построения многопозиционных систем с синтезированием апертуры антенны начались сравнительно недавно, при этом основное внимание уделяется характеристикам полученных МПРСА без обоснования необходимости их применения и анализа их преимуществ и недостатков.

Цель статьи.

Основной целью статьи является вынесение рекомендации по построению МПРСА и их использованию, а также анализ преимуществ МПРСА по отношению к однопозиционным системам дистанционного зондирования. Именно это исследование позволяет определить необходимость и/или целесообразность использования многопозиционных систем.

Основной материал статьи.

Многопозиционная радиолокационная система (МПРЛС) – это совокупность разнесенных в пространстве пунктов излучения, приема и обработки информации радиолокационными методами. Особенность МПРЛС состоит в том, что отдельные элементы в ее составе функционально связаны между собой и предназначены для решения определенных задач.

Многопозиционная система с синтезированием апертуры антенны (МПРСА) – это такая МПРЛС, извлечение полезной информации в которой осуществляется с использованием алгоритмов синтеза апертуры. Основные элементы в составе МПРСА – это пункты излучения, приема и обработки информации, а также пункты передачи данных по каналам связи.

Классификация МПРСА по пространственной

конфигурации, способу извлечения информации, месту базирования подробно описана в работе [11].

Рассмотрим основные преимущества активной МПРСА космического базирования с синтезированием апертуры антенны по отношению к однопозиционным системам. Для этой цели представим основные режимы работы многопозиционных систем и сравним возможность получения аналогичных результатов в однопозиционных РСА.

1. Единовременный обзор больших областей пространства с высокой разрешающей способностью. При этом следы диаграмм направленности передатчиков не перекрываются в пространстве и расположены таким образом, что нет перекрытия при относительно небольших временных сдвигах, рис. 1.



Рис. 1. Режим обзора больших областей

В этом режиме работы при достаточно низких требованиях к мощности передатчиков обеспечивается широкая зона покрытия. В однопозиционных системах большая зона покрытия предполагает высокую мощность передатчика.

2. Единовременный обзор больших и средних областей пространства с возможностью отслеживания локальных изменений на небольших интервалах времени. В этом режиме работы следы диаграмм направленности передатчиков перекрываются при относительно небольших интервалах времени, что позволяет выполнять радиолокационную съемку

одних и тех же элементов поверхности с временной задержкой, определяемой скоростью движения носителей и расстояниями между следами фазовых центров их антенн, рис. 2.

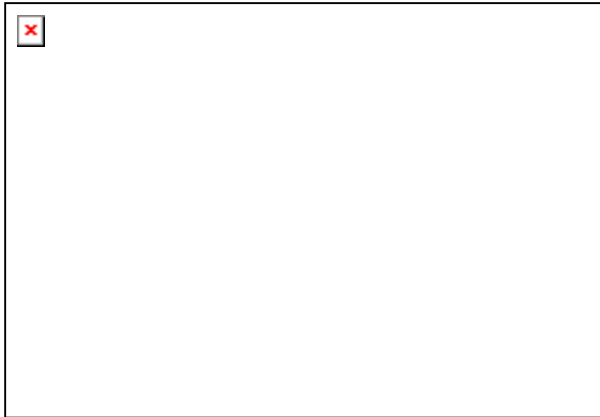


Рис.2. Режим отслеживания локальных изменений

В однопозиционных системах для обеспечения того же режима работы необходимо использовать различные витки (при этом теряется оперативность работы) либо антенну с возможностью сканирования (многолучевую антенну).

В последнем случае для обеспечения небольших интервалов времени, в течение которого отслеживаются локальные изменения, достаточно создать многолучевую антенну, что приведет к необходимости некоторого увеличения мощности передатчика. Если же интервалы времени, через которые отслеживаются изменения зондируемой поверхности относительно велики, возникает необходимость расположения носителя на больших высотах и, как следствие, необходимость существенного увеличения мощности передающего тракта.

3. Режим высокоточной съемки – в этом случае все носители попеременно либо в одни и те же интервалы времени зондируют один и тот же участок поверхности.

В этом режиме работы многопозиционной системы в результате комплексирования полученных данных (в простейшем случае – путем взвешенного суммирования полученных результатов измерений)

дисперсия спекл-шума уменьшается при сохранении высокого разрешения, рис. 3. Как было показано в работах [12-13], такое усреднение является достаточно высокоэффективным средством подавления мультипликативного шума при одновременном сохранении высокой разрешающей способности.

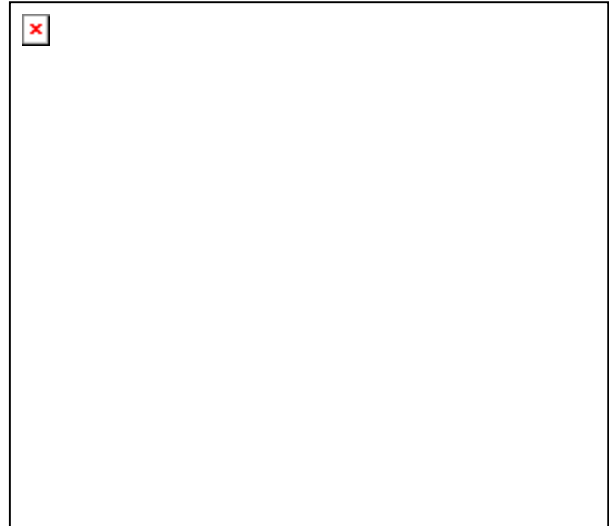


Рис.3. Режимы высокоточной съемки

В однопозиционных системах для уменьшения спекл-шума на РЛИ используются алгоритмы вторичной обработки, приводящие к уменьшению разрешающей способности (увеличению динамических ошибок). Для улучшения качества оценок (устранения мультипликативного шума) при одновременном сохранении высокой четкости РЛИ необходимо повышать разрешающую способность систем с учетом последующего сглаживания операторами вторичной обработки. Так, например, для обеспечения высоких разрешений в азимутальной плоскости необходимо увеличивать время синтеза апертуры (основная сложность при этом заключается в сохранении когерентности на большом интервале обработки), в дальномерной – уменьшать длительность одиночных импульсов (соответственно, усложнять передающую аппаратуру и повышать требования к импульсной мощности передатчика).

4. Модификацией режима 3 является случай, когда сигналы различных передатчиков ортогональны, а приемники могут обрабатывать сигналы всех

передатчиков, облучающих данный участок поверхности. При этом в приемных устройствах обрабатываются сигналы, полученные по различным бистатическим парам, рис. 4, [14-15].



Рис. 4. Модификация высокоточного режима

В таком режиме работы многопозиционной системы существенно возрастает количество независимых измерений параметров зондируемого участка поверхности и, как следствие, существенное уменьшение уровня мультипликативного шума, характерного для радиолокационных измерений.

4. Режим интерферометрической съемки в многопозиционной системе возможен как в режиме обзора больших областей (рис. 5), так и в высокоточном режиме (рис. 6). При этом предполагается наличие на каждом из приемных элементов МПРСА двух приемных антенн, необходимых для измерения разности фаз сигнала, отраженного от элементов поверхности.

Преимущества использования многопозиционных систем и требования к однопозиционным для обеспечения аналогичных показателей аналогичны указанным в пунктах 1-3. Это большая зона покрытия при невысоких требованиях к мощности отдельных передающих устройств для режима обзора больших пространственных областей и высокая точность получаемых карт высоты рельефа поверхности для режима высокоточной съемки.



Рис. 5. Режим интерферометрической съемки больших пространственных областей



Рис. 6. Режим высокоточной интерферометрической съемки

5. Построение многобазовых интерферометрических систем с синтезированием апертуры антенны возможно даже при наличии простой (одиночной) приемной антенны путем совместной обработки сигналов, излученных различными передающими элементами, рис. 7.



Рис. 7. Многобазовый интерферометр

Данный режим работы требует высокоточной взаимной привязки между различными элементами МПРСА. Число баз интерферометра определяется числом передатчиков, одновременно облучающих данный элемент поверхности. При таком использовании появляется дополнительная возможность построения мультипликативных интерферометров, позволяющих добиться одновременного высокого разрешения по высоте и большого интервала неоднозначности, [16-17].

Этот режим возможен в однопозиционных РСА исключительно при использовании результатов измерений, полученных на различных витках орбиты и, таким образом, не может быть оперативным. Более того, изменение характеристик орбиты сопряжено с рядом трудностей.

6. Режим объемного картографирования. Используется для получения трехмерных изображений объектов за счет обработки сигналов, отраженных от элементов поверхности и полученных с различных направлений, рис. 8.



Рис. 8. Режим 3D-съемки

Модификацией данного режима является высокоточные измерения путем использования интерферометрических систем. Очевидно, что при отсутствии затенения число объектов, для которых возможен режим 3D-съемки, ограничен размерами области пересечения диаграмм направленности передающих антенн.

В однопозиционных системах для обеспечения такого 3D-съемки необходимо использовать измерения на различных витках орбиты, причем эта орбита должны быть определенным образом ориентирована по отношению к заданному объекту (объектам). Такое изменение параметров орбиты в большинстве случаев является достаточно сложной задачей, а получаемые результаты будут неоперативными.

7. Высокая гибкость многопозиционной системы. В зависимости от необходимости решения той или иной задачи МПРСА может изменять свою пространственную/сигнальную конфигурацию для обеспечения тех или иных режимов работы или для обеспечения требуемых результатов оценки электрофизических параметров поверхности.

Так, например, можно изменять режимы работы (обычная съемка, высокоточная съемка) путем изменения направления фазовых центров диаграмм направленности.

В ряде случаев целесообразно использовать несколько (в простейшем случае два) одновременно излучаемых сигналов и антенную систему, обеспечивающую отдельную фокусировку по различным сигналам. При этом, в частности, появляется возможность одновременно выполнять обзор больших пространственных областей с высокой разрешающей способностью и небольших областей в режиме высокоточной съемки (картографирование и интерферометрическая съемка).

8. Высокая живучесть, - при определенном изменении конфигурации и/или алгоритмов обработки многопозиционная система будет работоспособной даже при выходе одного/нескольких элементов. Для обеспечения высокой живучести целесообразно предусмотреть возможность пространственного изменения конфигурации, изменения положения фазовых центров передающих элементов, изменения алгоритмов обработки.

9. Возможно альтернативное построение многопозиционных систем с синтезированием апертуры антенны. При этом используются сигналы передающих элементов, входящих в состав других систем (навигационных, радиолокационных, связанных). Таким образом, задача развертывания МПРСА упрощается до задачи создания специализированного приемного устройства, выполняющего обзор поверхности по сигналам «чужих» передатчиков. Одним из наиболее перспективных направлений в рамках данной задачи является использование сигналов навигационных систем ГЛОНАСС/GPS. Аспекты построения таких систем были достаточно подробно рассмотрены в работах [18-20].

10. Совместное использование результатов обработки, полученных в развертываемой многопозиционной системе и результатов обработки сигналов, излученных «чужими» передающими системами. Алгоритмы комплексирования результатов, полученных от различных систем, позволяют существенно повысить качество радиолокационных наблюдений за счет уменьшения мультипликативного шума путем усреднения по различным пространственным областям результатов измерений.

Выводы

Таким образом, в работе рассмотрена возможность построения многопозиционной радиолокационной системы с синтезированием апертуры антенны и проанализированы ее преимущества по отношению к однопозиционным РСА дистанционного зондирования. Рассмотрены различные режимы работы многопозиционной системы и представлены предварительные результаты, которые можно достичь при той или иной конфигурации МПРСА.

По результатам исследования можно утверждать, что многопозиционные системы с синтезированием апертуры антенны являются одним из наиболее перспективных направлений развития авиационно-космической техники и применяться для ре-

шения широкого круга задач народного хозяйства и военно-промышленного комплекса.

Литература

1. В. Витер, В. Петровский, А. Кучейко. Космические аппараты радиолокационного наблюдения, созданные в НПО Машиностроения / Новости космонавтики, 2001, № 3(218), с.42-43.

2. Ю.С. Лифанов, В.Н.Саблин, А.Н. Федоринов, В.И. Шапошников. Направления развития современных радиолокационных средств и систем разведки наземных целей. // Часть 1. Радиолокационные системы космического базирования / Зарубежная радиоэлектроника, 1998, № 5, с.3-14.

3. Егоров В.В., Федотова З.К. Задачи, программы и космические системы исследования Земли / Итоги науки и тех. Сер. исследование Земли из космоса.-1987.- Т. 1.- с. 180-194.

4. Денисов В.И. Перспективы развития и использования радионавигационных систем // Радиотехника. 1996, №1, с 53-56.

5. Lopes A., Bruniquel J., Sery F., Nezry E. Optimal Bayesian texture estimators for speckle filtering of detected and polarimetric data / Proc. IGARSS'97.- Singapore.-1997.- p. 416-419.

6. Hagg W., Sties M. Efficient speckle filtering of SAR images // Proc. IGARSS.- Pasadena, USA.- 1994.- p. 2140-2142.

7. Белокуров А.А. Методы сглаживания спекл-шума на радиолокационных изображениях земной поверхности // Успехи современной радиоэлектроники.-1990.-№ 6.- с. 26-35.

8. Lopes A., Bruniquel J., Sery F., Nezry E. Optimal Bayesian texture estimators for speckle filtering of detected and polarimetric data // Proc. IGARSS'97.- Singapore.-1997.- p. 416-419.

9. Hagg W., Sties M. Efficient speckle filtering of SAR images // Proc. IGARSS.- Pasadena, USA.- 1994.- p. 2140-2142.

10. Справочник по радиолокации / Под ред.

Скопника. — М.: Радио и связь, 1977 г.

11. Ксендзук А.В. Использование спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS для дистанционного зондирования поверхности / Электромагнитные волны.- Москва.- №5, том 8, 2003.-С 8-15.

12. Ксендзук А.В. Качество радиолокационных изображений РСА при использовании алгоритмов декорреляции // Вестник НТУ “ХПИ”.-2001.- №14.- С. 37-42.

13. Ксендзук А.В., Волосюк В.К. Применение методов оптимального восстановления статистических характеристик поверхности при картографировании РСА / Картография XXI века: теория, методы, практика. - Доклады II Всероссийской научной конференции по картографии. – Москва, Россия. - 2001. – С. 306-311.

14. Ксендзук А.В. Комплексование измерений в МПРСА при факторизации комплексного коэффицента отражения / Труды 4 междунар. конф. «Современные информационные и электронные технологии», Одесса, 2003, С 26.

15. Ксендзук А.В. Оптимизация многопозиционных систем по энергетическим показателям / Міжнародна науково-практична конференція „Інформаційні технології управління екологічною безпекою, ресурсами та заходами у надзвичайних ситуаціях” – ХАІ 2003.

16. Ksendzук A.V., Volosyuk V.K. Multi-base In-SAR with enhanced signal processing / Proc. ICATT

2003, pp 405-408.

17. Ксендзук А.В., Еськов С.Н., Волосюк В.К. Особенности формирования карт рельефа поверхности интерферометрическими системами ДЗ / Тезисы докладов 3-й научно-практической конференции «Применение спутниковых радионавигационных систем в Украине», С 116-121.

18. Ксендзук А.В. Использование навигационных систем как элементов глобальной многопозиционной системы картографирования поверхности / Тезисы докладов 3-й научно-практической конференции «Применение спутниковых радионавигационных систем в Украине», С 116-121.

19. Ксендзук А.В. Энергетический потенциал ГЛОНАСС/GPS для решения задач ДЗ / Тезисы докладов 3-й научно-практической конференции «Применение спутниковых радионавигационных систем в Украине», С 116-121.

20. А.В. Ксендзук, В.К. Волосюк. Влияние положения НС на функции неопределенности МПРСА / Тезисы докладов 3-й междунар. конф. «Применение спутниковых радионавигационных систем в Украине», С 116-121.

Поступила в редакцию 12.08.03

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Волосюк В.К., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков