

Maslov Oleg Nikolayevich, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; the Head of Department of Economic Information Systems, Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +79023710624. E-mail: maslov@psati.ru

Vaulina Kristina Vladimirovna, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; student. Tel.: +78462280036, +79270169811.

References

1. Vaulina K.V., Maslov O.N. Vliyanie neopredelennosti isходnyx dannyx na e'ffektivnost' statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya nereflektornoj sistemy. Chast' 1. Testovaya SIM-model' [Initial data uncertainty influence on effectiveness of non-reflective system statistical simulation. Part 1. Test statistical simulation model]. *Informacionnye tekhnologii*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 132-139. doi: 10.18469/ikt.2016.14.4.07
2. Dimov E.M., Maslov O.N., Pcheljakov S.N., Skvorcov A.B. *Novye informacionnye tehnologii: podgotovka kadrov i obuchenie personala. Ch. 2. Imitacionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v infokommunikacijah* [New information technologies: personnel training. P.2. Simulation modelling and management of business processes in infocommunications]. Samara, SNC RAN Publ., 2008, 350 p.
3. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. *Statisticheskoe imitacionnoe modelirovanie i upravlenie biznes-processami v social'no-jekonomicheskix sistemah* [Statistical simulation modeling and business process management in the socio-economic systems]. Astrahan, AstISI Publ., 2015. 366 p.
4. Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. Snizhenie neopredelennosti vybora upravlencheskix peshenij s pomoshh'ju metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya [Reducing Uncertainty in a Choice of Management Desicions Using Statistical Simulation]. *Informacionnye tekhnologii*, 2014, no. 6, pp. 51-57.

Received 10.02.2017

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 621.396

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ДИСТАНЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Горячкин О.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ.

E-mail: oleg.goryachkin@gmail.com

Рассмотрены практические технологии получения радиолокационных изображений, в зависимости от вариантов базирования аппаратуры радиолокационных систем землеобзора: авиационные и космические моностабильные; комбинированные с наземными системами мультистабильные авиационные и космические; мобильные и наземные. Показаны перспективы применения мобильных радиолокационных (МРЛК) систем в целях подповерхностного зондирования с борта летательных аппаратов, многочастотного зондирования, наблюдения замаскированных или укрытых целей. Приводятся основные сравнительные характеристики авиационных радиолокаторов с синтезированной апертурой УКВ диапазона и МРЛК.

Ключевые слова: радиолокация, радиолокация с синтезированной апертурой, радиолокационное изображение, радиолокационные системы, дистанционное зондирование Земли, трубопровод, кабель, локация

Введение

В связи с бурным развитием технологий радиолокационного дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) намечается существенный прогресс в решении ряда актуальных прикладных задач, к которым можно отнести проблемы природно-ресурсного и геологического мониторинга, создания природно-ресурсных кадастров, поиска

полезных ископаемых, дистанционного картографирования и мониторинга протяженных объектов естественного и искусственного происхождения. В частности, можно упомянуть контроль состояния газо-, нефте- и продуктопроводов, воздушных и подземных электросетей, сетей телекоммуникаций, а также поиск трасс и составлении схем подземных коммуникаций.

В зависимости от вариантов базирования аппаратуры радиолокационных (РЛК) систем землеобзора практические технологии ДЗЗ можно разделить на следующие типы: авиационные и космические моностатические РЛК-станции ДЗЗ; комбинированные с наземными системами мультистатические авиационные или космические РЛК-станции ДЗЗ; мобильные и наземные РЛК-станции ДЗЗ. В статье рассмотрены потенциальные возможности применения технологий ДЗЗ для поиска и фиксации трасс кабельных линий и трубопроводов.

Моностатические РЛК-станции ДЗЗ

Эффективным инструментом для решения задач картографирования и мониторинга протяженных объектов являются авиационные или космические моностатические РЛК-станции ДЗЗ. В основе эффективности этих систем высокая проникающая способность РЛК-сигналов, высокая чувствительность к параметрам растительного покрова, влажности почвы и геометрии земной поверхности, а также независимость качества информации от времени суток и облачного покрова. РЛК-съемка обеспечивает получение радиолокационных изображений с пространственным разрешением от сотен метров до десятков сантиметров (см. рис. 1).

Космическая РЛК-интерферометрия обеспечивает точность непосредственного измерения геометрии поверхности Земли до единиц метров, одновременно в масштабах сотен км, с периодичностью от нескольких часов до нескольких суток. Метод дифференциальной РЛК-интерферометрии, обеспечивающий регистрацию миллиметровых и сантиметровых деформаций земной поверхности.

Следует упомянуть о возможностях РЛК-систем VHF и Р-диапазонов частот по подповерхностному зондированию, которые позволяют получать изображения объектов, находящихся под поверхностью Земли, в том числе углубленных на десятки метров, в зависимости от типа грунта (см. рис. 2).

Своевременности и реальности научных работ по разработке информационных технологий ДЗЗ способствует наличие соответствующих данных космической съемки, которые поставляются, например, тандемом немецких космических аппаратов TerraSAR-X и Tandem-X, канадским космическим аппаратом RADARSAT-2, системами космических аппаратов COSMO-SkyMed, Sentinel. Развитие современных персональных вычислительных комплексов и соответствующего программного обеспечения позволяет осуществ-

лять весь комплекс разработки картографического продукта.

Программные комплексы ERDAS, ER Mapper, ENVI, PHOTOMOD Radar и т.п. при доступной цене обеспечивают эффективный интерфейс между данными космической съемки и ГИС, обеспечивая некоторый набор типовых операций тематической обработки и возможность создания пользователем собственных инструментов.

Расширение защитного интервала до 99 мкс (см. рис. 2) позволило обеспечить ее работоспособность, поскольку эхо-сигналы от передатчиков SFN сети (2-5) не выходят за его границу. Однако следует отметить, что коррекция параметров сети возможна только в случае формирования потока T2-MI в региональном центре мультиплексирования. Если поток T2-MI формируется в федеральном центре мультиплексирования, то коррекция параметров одночастотной сети путем изменения защитного интервала в регионах невозможна. В этой связи возникают проблемы работоспособности сети SFN – в частности, с такими проблемами столкнулись специалисты филиалов РТРС в Самарской и Оренбургской областях.

Комбинированные с наземными системами мультистатические космические РЛК-станции ДЗЗ

Известно, что при реализации моностатических систем разработки сталкиваются с проблемой разрушающего влияния ионосферы, ограничениями Регламента радиосвязи, необходимостью развертывания в космосе крупногабаритной антенной системы и, в конечном итоге, с весьма высокой стоимостью космического аппарата (КА) [1-5].

В [7-9], напротив, было показано, что развитие технологии бистатического РЛК-наблюдения открывает возможности по созданию космической аппаратуры РЛК-зондирования в VHF или Р-диапазонах частот, не сопряженной с вышеперечисленными трудностями. Однако необходимость использования наземной стационарной или мобильной станции на относительно небольшом расстоянии (до 20 км) до наблюдаемого объекта ограничивает области применения бистатической РЛК-системы ДЗЗ.

Бистатический радиолокатор с синтезированной апертурой (далее БРЛК) малого КА «Аист-2Д» является первым в истории космического ДЗЗ радиолокационным комплексом, работающим в Р-диапазоне частот. Технические решения, отработанные в рамках экспериментов с БРЛК, могут позволить реализовать в ближайшем буду-

щем моностатический РЛК-комплекс в Р-диапазоне на отечественном малом КА с тактико-техническими характеристиками, не уступающими зарубежным.

В рамках программы создания малого КА «АИСТ-2Д» предполагается отработка ключевой технологии в виде развертывания БРЛК с синтезированной апертурой Р-диапазона. Выбор Р-диапазона связан с необходимостью соответствия РЛК-системы действующему в настоящее время Регламенту радиосвязи.

Бортовая аппаратура БРЛК представляет собой многорежимный импульсный передатчик, обеспечивающий широкую гамму стабильных сигналов на несущей частоте 435 МГц, в полосе до 6 (30) МГц с возможностью перестройки от 1 до 30 МГц. Типы используемых зондирующих

сигналов: последовательность прямоугольных импульсов, последовательность ЛЧМ-импульсов, последовательность фазоманипулированных сигналов, кодируемых М-последовательностью [9]. Бортовая передающая антенна типа Уда-Яги с линейной поляризацией имеет коэффициент усиления 5 дБ. Наземная стационарная аппаратура представляет собой двухканальный малощумящий приемник прямого усиления (до 110 дБ) с цифровой регистрацией 16-разрядных квадратурных компонент на частоте до 200 МГц и последующей цифровой обработкой сигналов. В настоящее время бортовая аппаратура КА «АИСТ-2Д» не работает в штатном режиме, поэтому далее особенности технологии иллюстрируются в наземном эксперименте с данной аппаратурой.

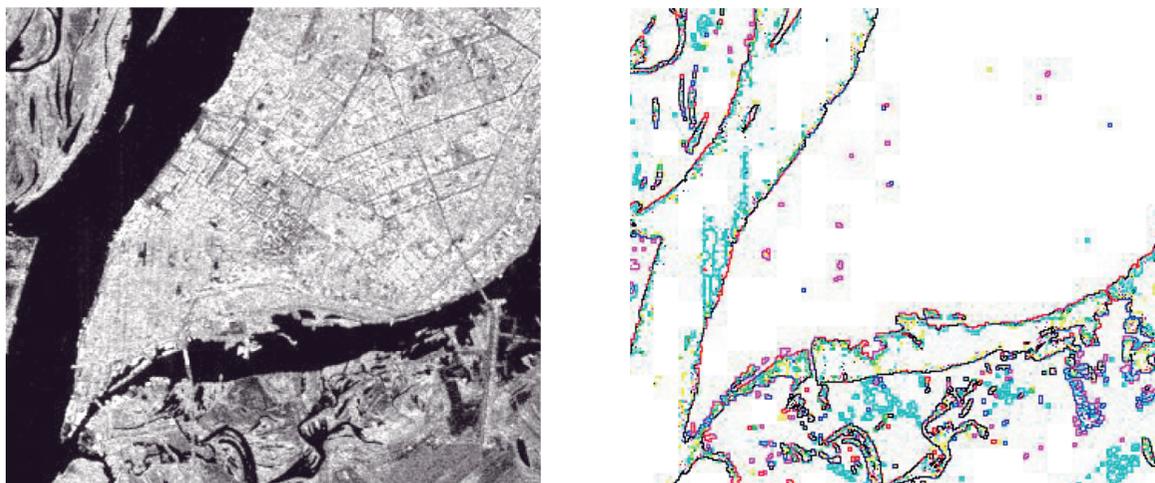


Рис. 1. Космическое РЛК-изображение г. Самары, границы водоемов и зон увлажнения, получено РЛК SIR-C-X-SAR, США, обработано в ЦР ДЗЗ ПГУТИ в режиме предварительной проверки качества работы SFN

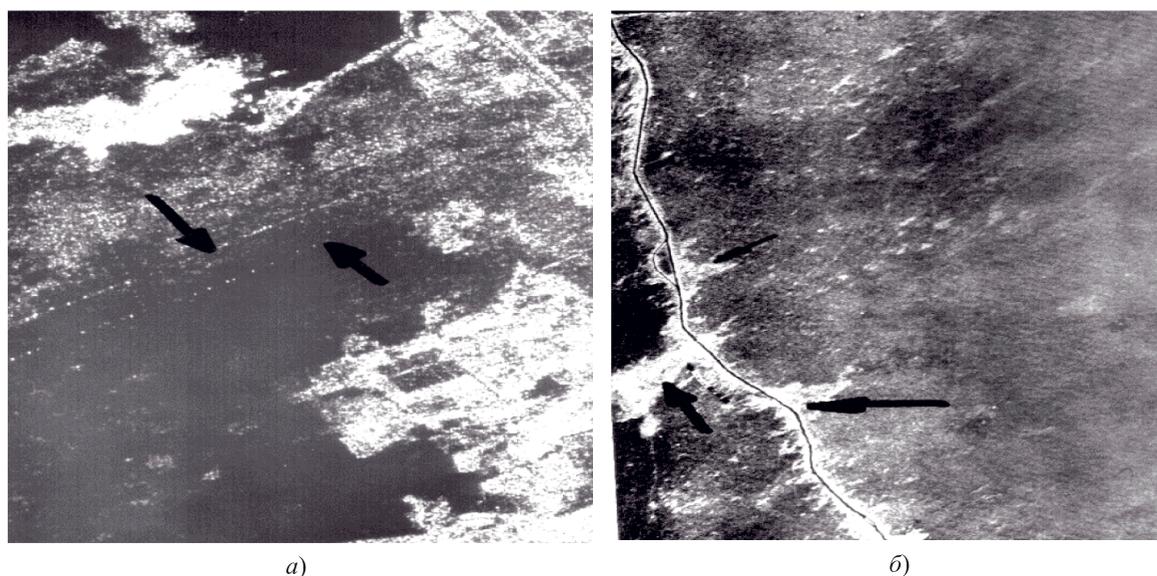


Рис. 2. Подповерхностные РЛК-изображения; а) продуктопровод; б) водный канал, зоны увлажнения и аварийной фильтрации, полученные авиационной РЛК «МАРС», ИРЭ АН УССР, г. Харьков

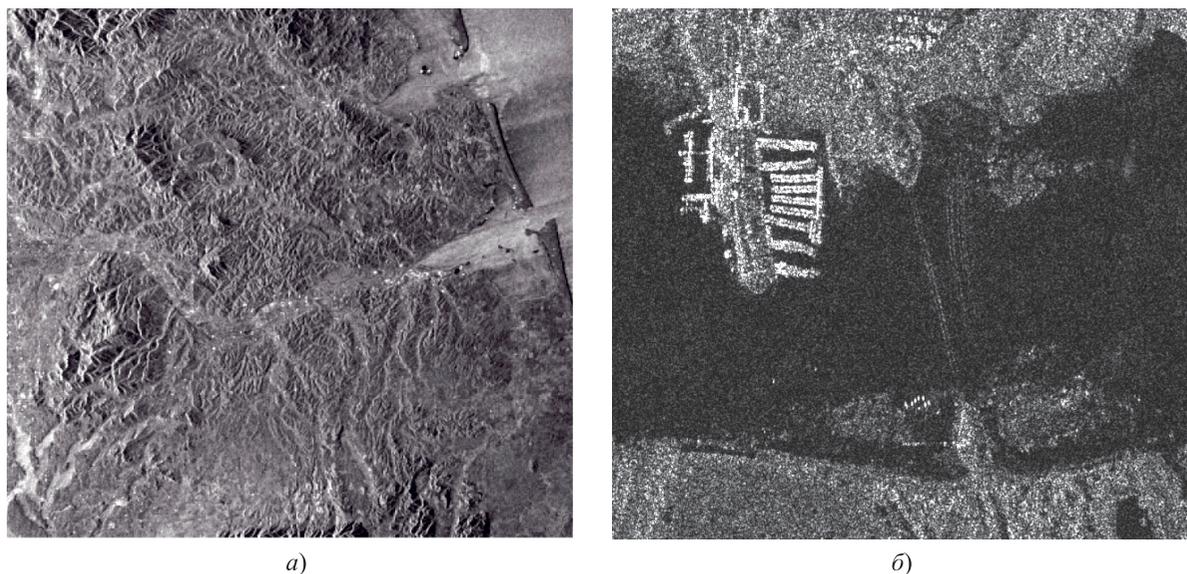


Рис. 3. Космические РЛК-изображения: *а)* геологической структуры (Калифорния, США), полученное европейским космическим аппаратом ERS-2; *б)* проводов ЛЭП (Самара, Россия), полученное немецким космическим аппаратом TerraSAR-X



Рис. 4. Изображения железнодорожного моста: *а)* оптическое; *б)* РЛК при полосе частот 30 МГц, режим излучения ЛЧМ-импульсов, шаг пикселей $5 \times 5 \text{ м}^2$



Рис. 5. Изображения лесной посадки: *а)* оптическое; *б)* РЛК при полосе частот 30 МГц, режим излучения ЛЧМ-импульсов, шаг пикселей $5 \times 5 \text{ м}^2$



Рис. 6. Изображения ЛЭП: а) оптическое; б) РЛК при полосе частот 30 МГц, режим излучения ЛЧМ-импульсов, шаг пикселей $5 \times 5 \text{ м}^2$

Таблица 1. Основные характеристики авиационных РЛК-комплексов УКВ-диапазона

Название проекта	Страна, разработчик, город	Диапазон частот, МГц	Разрешение, м	Тип сигнала	Реализация, год	Летательный аппарат
«МАРС»	СССР, ИРЭ РАН УССР, Харьков	160-172	16-25	ЛЧМ	1990	Ил-18д
CARABAS-I, II	Швеция	20-90	2-5	ЛЧМ	1992	
ИМАРК	Россия, НПО «Вега», Москва	113-123	15-20	РИ	1994	Ту-134А
«Компакт»	Россия, НИИТП, Москва	113-163	3-5	ЛЧМ	2005	Любой тип авиационного носителя
«МРЛК»	Россия, ПГУТИ, Самара	115-165	3-5	ФМС	2013	Любой тип мобильного носителя

Для работы БРЛК необходимо, чтобы передающая позиция перемещалась в пространстве: в данном случае для организации процесса перемещения использовался автомобиль, двигающийся по мосту (высота моста порядка 20 м).

На рис. 4-6 представлены РЛК-изображения местности, полученные в процессе наземного эксперимента в режиме излучения ЛЧМ-импульсов, шаг пикселей $5 \times 5 \text{ м}^2$, время синтеза апертуры 30 с. Там же показаны соответствующие им фрагменты оптических изображений из сервиса Google maps. В процессе эксперимента местность наблюдалась под сверхмалыми углами места (не более $5-7^\circ$), поэтому на радиолокационных изображениях видны в основном высокие объекты: мачты, столбы ЛЭП, высокие здания, одиночные высокие деревья, лесопосадки и т.п. По результатам проведенного эксперимента можно сделать вывод о том, что подобные системы могут быть использованы

в различных технологиях ДЗЗ: например, для круглосуточного контроля территории, геосъемки, прибрежного и речного судоходства, картографирования и мониторинга протяженных объектов и т.п.

Мобильные и наземные РЛК-станции ДЗЗ

Один из первых в мире авиационный РЛК-комплекс ДЗЗ УКВ-диапазона «МАРС» был разработан в ИРЭ АН УССР (в настоящее время Исследовательский центр радиофизических методов дистанционного зондирования Земли им. А.И. Калмыкова НАН Украины, г. Харьков) по заданию ЦСКБ (г. Самара) в 1990 г. В начале 1991 г. прошли его успешные авиационные испытания. Разработка велась в обеспечение перспективных проектов космических систем ДЗЗ по инициативе известного советского ученого-радиофизика, профессора А.И. Калмыкова.

Основной мотивацией разработки подобных РЛК-комплексов являлось создание средств подповерхностного зондирования с борта летательных аппаратов, многочастотное зондирование, наблюдение замаскированных или укрытых целей [1-2]. В таблице 1 приведены основные сравнительные характеристики авиационных РЛК-систем УКВ-диапазона, разработанных в разные годы, и мобильной РЛК-системы (далее МРЛК).

В настоящее время остаются актуальными исследования по применению информации низкочастотных радиолокаторов с синтезированной апертурой в различных коммерческих приложениях ДЗЗ: таких как всепогодная картография, мониторинг районов стихийных бедствий и катастроф, наблюдение подземной инфраструктуры.



Рис. 7. Внешний вид МРЛК, размещенного на автомобиле

Особенно интересен поиск новых приложений, основанных на высокой проникающей способности радиоволн данного диапазона. В этой связи разра-

ботка МРЛК, реализующего все основные технологии РЛК-наблюдения в данном диапазоне, представляется актуальной задачей.

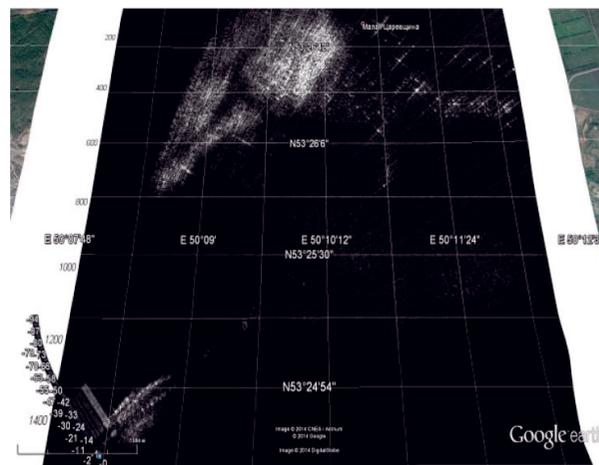
Основные характеристики МРЛК представлены в таблице 1. На рис. 7 показан вариант размещения МРЛК на автомобиле, использованный в процессе экспериментальной отработки. Данный МРЛК обеспечивает формирование РЛК-изображений местности с максимальным пространственным разрешением $3 \times 3 \text{ м}^2$, в полосе от 500 до 20000 м справа по движению автомобиля на трассе при наличии соответствующей видимости. МРЛК состоит из радиопередающего и радиоприемного устройств, набора антенн и фидеров, предназначенных для различных вариантов размещения МРЛК, высокоскоростного переключателя прием/передача (для моностатического режима), устройства цифровой регистрации и обработки информации, вторичного источника электропитания.

На рис. 8 показано место проведения эксперимента по построению РЛК-изображения земной поверхности при движении автомобиля по мосту.

На РЛК-изображении (см. рис. 8) трасса автомобиля находится в левом нижнем углу, расстояние от трассы до верхнего угла изображения примерно 8 км. Полученные РЛК-изображения объектов на поверхности Земли позволяют качественно подтвердить заявленные характеристики РЛК-систем с синтезированной апертурой. МРЛК может быть использован для решения разнообразных практических задач, таких как: оперативный мониторинг районов бедствий и катастроф, непрерывное наблюдение природных объектов и элементов инфраструктуры, 3D моделирование местности и городской застройки, наблюдение подповерхностных объектов и структур, археология, лесное хозяйство. В том числе и для поиска трасс подземных кабелей и трубопроводов, определения глубины их залегания.



а)



б)

Рис. 8. РЛК-изображение места проведения испытаний: а) совмещенное с картой Google; б) полученное в ходе испытаний

Таким образом, современные технологии РЛК дистанционного картографирования и мониторинга протяженных объектов могут быть внедрены в практическую деятельность заинтересованных организаций и предприятий. Для мониторинга подповерхностных объектов сегодня наиболее интересны комбинированные с наземными системами мультистатические авиационные и космические, мобильные и наземные РЛК-системы ДЗЗ, работающие в P-, UHF- и VHF-диапазонах.

Литература

1. Ishimaru A., Kuga Y., Liu J. et al. Ionospheric effects on synthetic aperture radar at 100 MHz to 2 GHz // *Radio Science (USA)*. Vol. 34, №1, 1999. – P.257-268.
2. Goriachkin O.V., Kloovsky D.D. The some problems of realization spaceborne SAR's in P,UHF,VHF bands // *Proceedings IEEE 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Hamburg, Germany)*. Vol. 2. July 1999. – P. 1271-1273. doi: 10.1109/IGARSS.1999.774601
3. Горячкин О.В. Влияние атмосферы Земли на деградацию характеристик изображений космических радиолокационных станций с синтетической апертурой // *Компьютерная оптика*. №24, 2002. – С.177-183.
4. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. М.: Радио и связь, 2003. – 230 с.
5. Goriachkin O.V. Azimuth Resolution of Spaceborne P,VHF-Band SAR // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. Vol.1, №4, 2004. – P. 251-254. doi: 10.1109/LGRS.2004.833777.
6. Ramongassie S., Valle P., Orlando G. et al. P-band SAR instrument for BIOMASS // *EUSAR*, 2014 – P. 1156-1159.
7. Горячкин О.В. Пути развития радиолокационных космических систем дистанционного зондирования Земли // *Вестник СГАУ*. №2, 2010. – С. 92-104.
8. Borisenkov A.V., Goriachkin O.V., Dmitrenok V.I. et al. Bistatic P-band SAR for spacecraft AIST-2 // *Procedia Engineering*. Vol. 104, 2015. – P. 1-162. doi: 10.1016/j.proeng.2015.04.089.
9. Горячкин О.В., Женгуров Б.Г., Бакеев В.Б., Барабошин А.Ю., Невский А.В., Скоробогатов Е.Г. Бистатический радиолокатор с синтезированной апертурой P-диапазона для МКА «АИСТ-2» // *Электросвязь*. № 8, 2015. – С. 34-39.

Получено 15.02.2017

Горячкин Олег Валериевич, д.т.н., заведующий Кафедрой теоретических основ радиотехники и связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, научный руководитель Центра радиолокационного дистанционного зондирования Земли. Тел. 8-917-947-42-86. E-mail: oleg.goryachkin@gmail.com

INFORMATION TECHNOLOGIES OF RADAR DISTANT MAPPING AND MONITORING OF EXTENDED OBJECTS

Goriachkin O.V.

Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: oleg.goryachkin@gmail.com

The analysis of potential opportunities of use of radar technologies of the remote sensing of the earth (RSE) for search of routes of a layer pad of underground communications, such as pipe ducts, and determination of depth of their bedding is presented in the offered article. Three practical technologies of obtaining radar images, depending on options of basing of the equipment of radar-tracking systems of a land survey are considered, namely: aviation or space monostatic; combined with land multistatic aviation or space; mobile and land. It is noted that the problems arising at realization of monostatic systems such as collapse of influence of an ionosphere, restriction of regulations of a radiocommunication, need of expansion for space of large-size antenna system, it is expedient to solve the combined radar-tracking systems of a land survey. The prospects of use of mobile radar-tracking systems for subsurface sounding from a board of aircraft, multifrequency sounding, and observation of the disguised or covered purposes are shown. The option of development of the mobile radar-tracking system is described; results of a land experiment of the area are given in the mode of radiation of LChM of impulses. The main comparative characteristics of the aviation RSA VHFS of range developed in different years and MRLK are provided in article. As an example, results of an experiment on creation of RLI of the land surface at the movement of the car on the bridge are presented.

Keywords: radiolocation, synthetic aperture radar (SAR), radar image, radar system, earth remote sensing, duct, cable, locating

DOI: 10.18469/ikt.2017.15.1.09

Goriachkin Oleg Valerjevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; the Head of Department of Radio Engineering and Telecommunication Theory, Scientific Director of the Center for radar remote sensing, Doctor of Technical Science. Tel.: +79179474286. E-mail: oleg.goryachkin@gmail.com

References

1. Ishimaru A., Kuga Y., Liu J. et al. Ionospheric effects on synthetic aperture radar at 100 MHz to 2 GHz. *Radio Science (USA)*, 1999, vol. 34, no. 1, pp. 257-268.
2. Goriachkin O.V., Kloovsky D.D. The some problems of realization spaceborne SAR's in P, UHF, VHF bands. *Proceedings IEEE 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Hamburg, Germany), July 1999*, vol. 2, pp. 1271-1273. doi: 10.1109/IGARSS.1999.774601.
3. Goriachkin O.V. Vliyanie atmosfery Zemli na degradaciyu karakteristik izobrazhenij kosmicheskikh radiolokacionnyh stancij s sintezirovannoj aperturoj [Influence of the atmosphere of Earth on degradation of characteristics of images of space radar stations with the synthesized aperture]. *Kompyuternaya optika*, 2002, no. 24, pp.177-183.
4. Goriachkin O.V. *Metody slepoj obrabotki signalov i ih prilozheniya v sistemah radiotekhniki i svyazi* [Methods of blind processing of signals and their application in systems of radio engineering and communication]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 2003, 230 p.
5. Goriachkin O.V. Azimuth Resolution of Spaceborne P, VHF-Band SAR. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2004, vol. 1, no. 4, pp. 251–254. doi: 10.1109/LGRS.2004.833777.
6. Ramongassie S., Valle P., Orlando G. et al. P-band SAR instrument for BIOMASS. EUSAR, 2014, p.1156–1159.
7. Goriachkin O.V. Puti razvitiya radiolokacionnyh kosmicheskikh sistem distancionnogo zondirovaniya Zemli [Ways of development of radar-tracking space systems of remote sensing of Earth]. *Vestnik SGAU*, 2010, no. 2, pp. 92–104.
8. Borisenkov A.V., Goriachkin O.V., Dmitrenok V.I. et al. Bistatic P-band SAR for spacecraft AIST-2. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 104, pp. 1–162. doi: 10.1016/j.proeng.2015.04.089.
9. Goriachkin O.V., Zhengurov B.G., Bakeev V.B., Baraboshin A.YU., Nevskij A.V., Skorobogatov E.G. Bistaticheskij radiolokator s sintezirovannoj aperturoj P-diapazona dlya MKA «AIST-2» [Bistatic synthetic aperture radar P-band for the MCA «AIST-2»]. *Elektrosvyaz*, 2015, no. 8, pp. 34-39.

Received 15.02.2017

УДК 621.396.49: 654.021.8

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ ВОСХОДЯЩЕЙ ЛИНИИ В СЕТИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Севериненко А.М.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: andrey.severinenko@gmail.com

Рассмотрены функции управления загрузкой соты, используемые на сетях, работающих по технологии WCDMA, в том числе функции перераспределения пользователей, интеллектуального контроля доступа, контроля приема запросов, балансировки загрузки между частотами и между сотами, корректировки параметров при угрозе перегрузки соты, экстренной корректировки в режиме перегрузки. Рассмотрены основные параметры, измеряемые средствами базовой станции и контроллера радиосети в рамках определения загрузки соты. Показано, что текущая загрузка восходящей линии связи является одним из главных факторов для применения алгоритмов управления загрузкой. Предложен и подробно рассмотрен автоматический адаптивный алгоритм обновления фонового шума, обеспечивающий его ограничение в изменяющихся условиях окружающей среды. Намечены перспективные направления дальнейшего развития предложенного подхода.