

considered as additional signal of effective solutions for complex LPR problems. Proposed indicator was utilized for the football club «Krylya Sovetov» (Samara, Russia). We demonstrated that improvement of football effectiveness requires management decision making as for strategy as well as for playmaking by taking into account sport and economic factors.

**Keywords:** indicator, system, analytics, statistics, algorithm, database, development, strategy, economic and social systems, football

**DOI:** 10.18469/ikt.2016.14.4.09

**Maslov Oleg Nikolaevich**, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Head of the Department of Economic Information Systems; Doctor of Technical Sciences, Professor. Tel.: +79023710624. E-mail: maslov@psati.ru

**Kolotilkina Julia Dmitrievna**, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, 77 Moskovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; Master Student of the Department of Economic Information Systems. Tel.: +79372048744.

### References

1. Vishnekov A.V., Safonova I.E., Kurilova N.S., Badulin V.I. *Metody ehkspertnyh ocenok. Metodicheskie ukazaniya k laboratornoj rabote po kursu «Sistemy podderzhki prinyatij reshenij»*. Moscow, MGIEHM Publ., 2001. 24 p. (In Russian).
2. Saharov A.A. *Koncepciya postroeniya i realizacii informacionnyh sistem, orientirovannyh na analiz dannyh* [Concept of construction and implementation of information systems focused on data analysis]. Moscow, SUBD Publ., 1996. 198 p.
3. Pavlovskij Yu.N., Belotelov N.V., Brodskij Yu.I. *Imitacionnoe modelirovanie* [Imitation modeling]. Moscow, Akademiya Publ., 2008. 236 p.
4. Kleshchev N.T., Romanov A.A. *Proektirovanie informacionnyh sistem* [Design of information systems]. Moscow, REHA Publ., 2000. 386 p.
5. Musaev A.A., Barlasov I.A. Ocenivanie sostoyaniya fondovyh rynkov na osnove mnogomernoj regressii na skol'zyashchem okne nablyudeniya [Estimation of the state of stock markets based on multivariate regression on a sliding monitoring window]. *Trudy SPIIRAN*, 2011, pp. 243-250.
6. Official site PFC «Krylya Sovetov». Available at: <http://www.kc-camapa.ru/> (accessed 15.12. 2016)
7. StatSoft Russia. Available at: <http://statsoft.ru/> (accessed 15.12.2016)

Received 30.11.2016

## ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 621.396

### ПОСТРОЕНИЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ С ПОМОЩЬЮ РАДИОЛОКАТОРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ, ПАРАЗИТИРУЮЩЕГО НА СИГНАЛАХ ТВ-ВЕЩАНИЯ

Горячкин О.В., Маслов И.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ  
E-mail: [macloff@mail.ru](mailto:macloff@mail.ru)

Рассматривается задача построения рельефа местности с помощью радиолокатора с синтезированной апертурой антенны (РСА), паразитирующего на сигналах телевизионного вещания. Представлена схема радиолокационной съемки с фиксированным передатчиком и подвижным двухканальным приемником. Моделирование алгоритмов восстановления рельефа местности методом РСА-интерферометрии осуществлялось с помощью реальных телевизионных сигналов, зарегистрированных в «прямом» канале. Проведен анализ возможности восстановления высоты при воздействии помех на отраженный сигнал. Полученные результаты показывают возможность практического использования данной технологии.

**Ключевые слова:** радиолокация, радиолокатор с синтезированной апертурой, радиолокационное изображение, интерферометрия, цифровая модель местности

## Введение

В настоящее время радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны (РСА) являются важным и достаточно эффективным инструментом дистанционного зондирования Земли. Одним из главных преимуществ использования радиолокационных систем по сравнению с оптическими системами является возможность применения интерферометрической обработки для построения высокоточных цифровых моделей рельефа (ЦМР). Различают однопозиционные и многопозиционные системы. Частным случаем многопозиционной системы является бистатическая конфигурация, при которой передатчик и приемник разнесены в пространстве. Сегодня в мире достаточно активно используются бистатические системы [1-9] в качестве экспериментальной базы для изучения явлений рассеивания, методов обработки, решения технических задач, связанных с приемом данных и синхронизацией. Одновременно они обеспечивают возможность выполнения следующих экспериментов:

- поперечная и продольная интерферометрия;
- дифференциальная интерферометрия;
- селекция движущихся целей.

Ключевой проблемой в любой многопозиционной (бистатической) системе является синхронизация между приемником и передатчиком, поэтому в случае с истинно пассивной (паразитической) системой необходим прямой канал синхронизации, для которого источник сигнала находится в прямой видимости и который необходимо полностью записывать, в отличие от известного импульсного сигнала, для которого возможно сохранять только временные метки прихода прямого сигнала. Особенно эта задача осложняется, если в качестве передатчика используется система радиосвязи, навигации или телевизионного (ТВ) вещания. В литературе такие системы называют паразитирующими [10].

Также актуальной задачей является мониторинг с помощью дифференциальной РСА-интерферометрии городских районов, подверженных проседанию грунта, что может принести дополнительную пользу, особенно если использовать многопозиционные системы. Кроме того, многопозиционные системы могут одновременно наблюдать территорию из разных точек, используя только один передатчик.

В статье представлены первые шаги по оценке возможности применения бистатической ин-

терферометрической съемки с использованием реального сигнала и получения цифровой модели высот местности с использованием однопроходной бистатической интерферометрической съемки в РСА, паразитирующем на ТВ-сигналах.

## Схема радиолокационной съемки

Предлагается провести полунатурное моделирование пассивной бистатической системы для интерферометрических измерений с конфигурацией, где в качестве зондирующего сигнала используется реальный сигнал от ТВ-центра, находящегося на господствующей высоте, и приемник, который расположен на автомобиле, движущемся по мосту вдоль заданной области интереса.

На рис. 1 показана условная геометрия съемки, где в точках  $Ant_1$  и  $Ant_2$  расположены приемные антенны, закрепленные на крыше автомобиля и удаленные от точки интереса на расстояния  $R_1$  и  $R_2$  соответственно. В качестве опорного сигнала, принимаемого в прямом канале, используется реальный записанный сигнал от телецентра на несущей частоте 703,25 МГц (50 ТВ-канал).

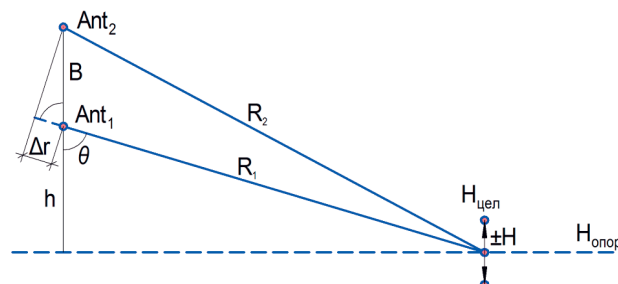


Рис. 1. Схематичное изображение геометрии при бистатической интерферометрической съемке

В качестве отраженных сигналов берутся смоделированные сигналы, которые получены используя эталонную фоно-целевую обстановку, приближенную к реальной.

На рис. 2 показаны оптическое изображение и смоделированная фоно-целевая обстановка с учетом высоты. В качестве траектории движения автомобиля используется реальный трек, записанный по данным GPS-приемника. На смоделированной фоно-целевой обстановке введены дополнительные тестовые объекты и одновременно с объектами, расположенными ниже траектории движения автомобиля, присутствуют высотные здания.

Отметим, что в условиях плотной городской застройки яркие точки будут формироваться

за счет уголкового отражателя, образованных конструкциями зданий. При этом можно предположить, что чем выше будет находиться отражающий элемент, тем «чище» будет от него отраженный сигнал, так как он при распространении будет в меньшей степени интерферировать с сигналами от других отражателей.

На рис. 3 показаны амплитудное и фазовое радиолокационные изображения, полученные в ходе моделирования, зарегистрированные антенной, расположенной в точке  $Ant_1$ . Антенна в точке  $Ant_2$  также регистрирует отраженный сигнал с некоторой вертикальной базой относительно первой антенны. Алгоритм формирования радиолокационных изображений описан в [4]. При моделировании учитывалось затенение низко расположенных объектов более высокими, что хорошо видно на полученном амплитудном изо-

бражении, где тестовые объекты затенены более высокими зданиями. Время синтеза 20 с, ширина диаграмм направленности около  $60^\circ$ .

### Интерферометрическая фаза и высота

После получения двух смоделированных изображений находится интерферометрическая разность фаз. В данном случае этап совмещения двух изображений не требуется, совмещение происходит автоматически, так как при обработке используется одна и та же область интереса. В данной ситуации не требуется также развертка фазы из-за достаточно малой базы интерферометра.

Интерферометрическая разность фаз равна соответствующей разности расстояний от цели до первой и второй приемной антенны, при этом

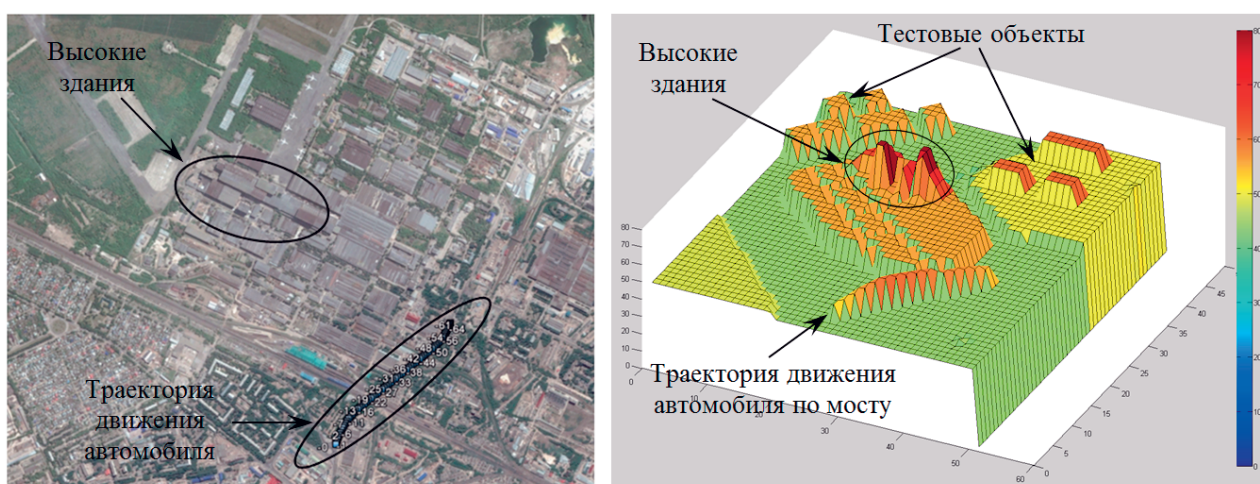


Рис. 2. Реальная карта местности и смоделированная карта высот с расположением наиболее высоких зданий, слева и справа соответственно

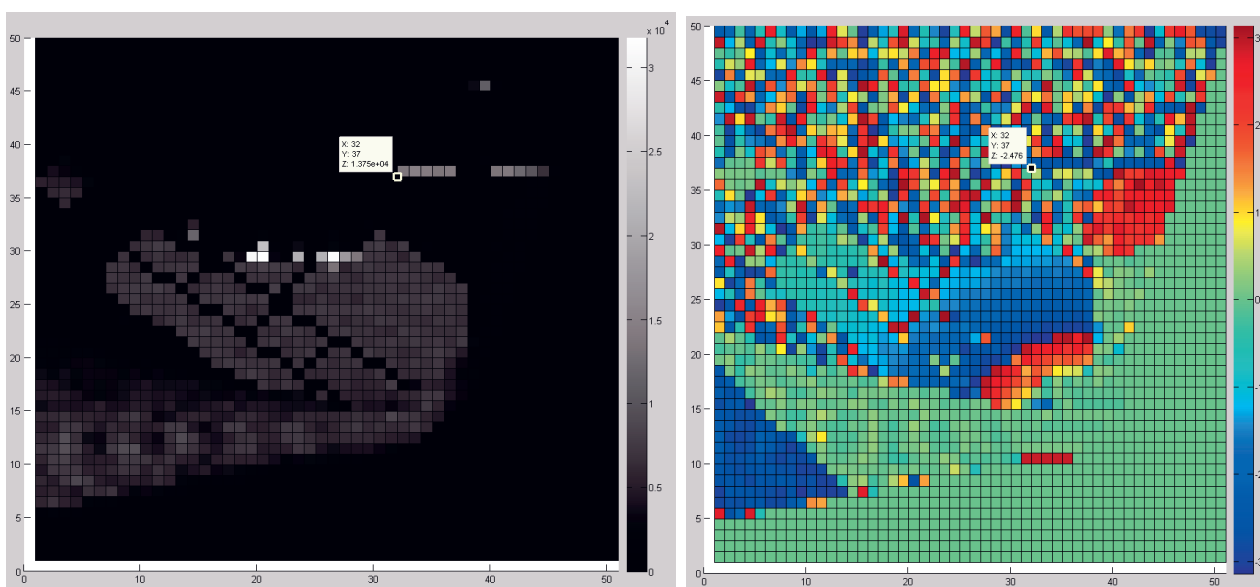


Рис. 3. Смоделированное бистатическое амплитудное и фазовое изображения (показано для одного приемного канала), слева и справа соответственно

необходимо отметить, что фаза зависит только от расстояния от цели до приемной антенны:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r, \quad (1)$$

где  $\Delta r = B \cos \theta$  согласно рис. 1,  $\cos \theta = h / R_1$ . С учетом этого для высоты точки  $H$ , расположенной на расстоянии  $R$  от приемника, с углом падения  $\theta$ , базовой линией  $B$  и интерферометрической разности фаз  $\Delta\varphi$ , можно записать

$$H = \frac{\lambda}{2\pi} \Delta\varphi \frac{R_1}{B}. \quad (2)$$

Окончательно высота цели относительно высоты опорной поверхности  $H_{\text{опор}}$  есть

$$H_{\text{цел}} = H_{\text{опор}} + H. \quad (3)$$

На рис. 5 показана полученная интерферометрическая разность фаз и высота, пересчитанная с учетом высоты опорной поверхности относительно уровня моря. Также хорошо видно, что целесообразно вести пересчет интерферометрической разности фаз в высоту только в тех точках изображения, где амплитудная составляющая комплексного изображения имеет приемлемые значения, то есть необходимо использовать амплитудное изображение в качестве маски для полученной указанной разности фаз. На рис. 4 показана полученная модель высот с учетом применения амплитудного изображения в качестве маски, которая сопоставима по значениям высот с моделью, показанной на рис. 2.

Оценим возможности данного интерферометрического метода измерения высоты с учетом воздействия шума на принятый сигнал. Для этого также были смоделированы два изображения с несколькими яркими (контрольными) точками, одно из двух смоделированных бистатистических изображений показано на рис. 5, отношение «сигнал/шум» –16 дБ. Данное значение отношения «сигнал/шум» можно считать предельным

для данного случая, поскольку при дальнейшем увеличении шумовой составляющей полностью «рассыпаются» как амплитудное, так и фазовое изображения.

На рис. 5 (справа) показана высота, пересчитанная через интерферометрическую разность фаз: хорошо видно, что высота из-за воздействия помех колеблется в пределах  $\pm 3000$  м, что, очевидно, является неприемлемым. Поэтому необходимо отфильтровать заведомо ложные значения высот. Соответственно, единственным возможным способом является наложение маски из амплитудного изображения, где критерием является величина значения амплитуды в данной точке. Результаты такой обработки показаны на рис. 6 (слева), где можно наблюдать только несколько значений от самых ярких точек. На рис. 6 (справа) дополнительно показана полученная высота при отношении «сигнал/шум» –14 дБ, где возможно достоверно восстановить высоту для большего числа точек. В таблице 1 для сравнения представлены значения высот только для самых ярких точек.

### Заключение

В результате эксперимента и проведенного имитационного математического моделирования показана принципиальная возможность использования РСА паразитирующего на ТВ-сигнале для построения рельефа местности методом однопроходной интерферометрии поперек пути. Также показана возможность восстановления значений высоты при отношении «сигнал/шум» до –16 дБ.

Предложенный метод получения высотной модели местности в дальнейшем может быть использован для измерения высот зданий городской застройки и других объектов, определения подвижек грунта и объектов наземной инфраструктуры с использованием сигналов не только ТВ-вещания, но и от других систем, в том числе космических радиотехнических комплексов различного назначения.

Таблица 1. Результаты моделирования

Номер контрольной точки	Высота при моделировании (эталон), м	Отношение «сигнал/шум» –16 дБ		Отношение «сигнал/шум» –14 дБ	
		Полученная высота, м	Погрешность измерения, м	Полученная высота, м	Погрешность измерения, м
1	80	82,74	2,74	78,73	1,27
2	80	87,49	7,49	82,15	2,1
3	70	70,37	0,37	69,38	0,62
4	80	59,49	20,51	81,08	1,08

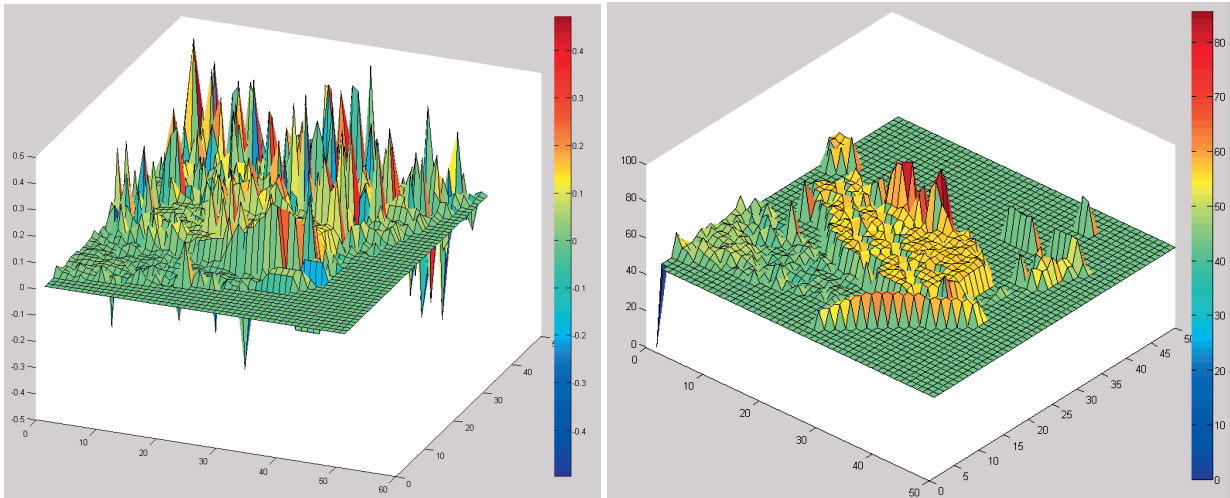


Рис. 4. Полученная интерферометрическая разность фаз (слева) и пересчитанная в высоту с учетом использования амплитудного изображения в качестве маски (справа).

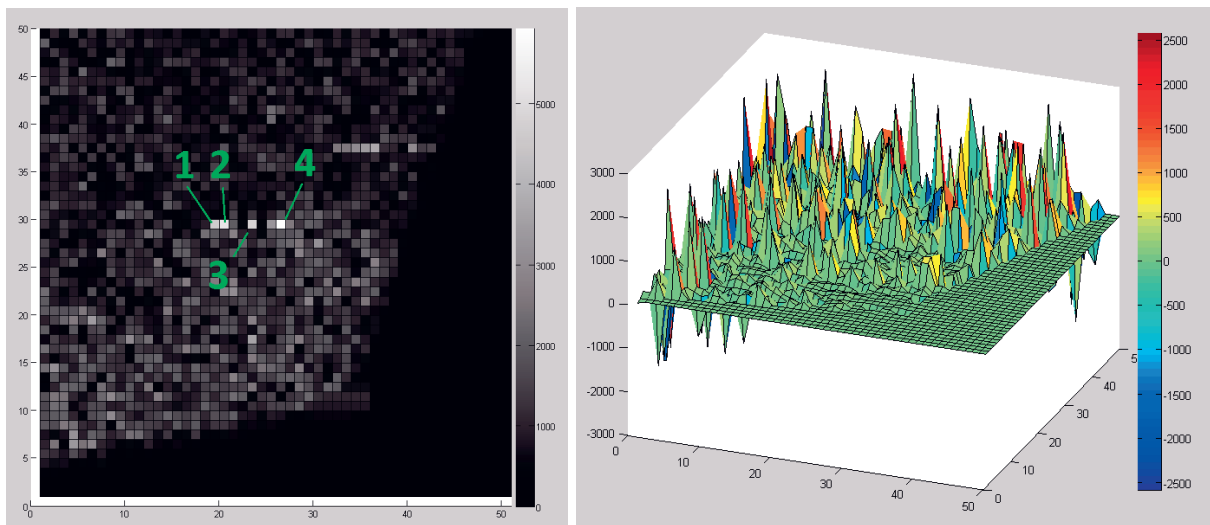


Рис. 5. Смоделированное бистатическое изображения (показано для одного приемного канала), отношение «сигнал/шум»  $-16$  дБ (слева) и полученная высота без применения маски

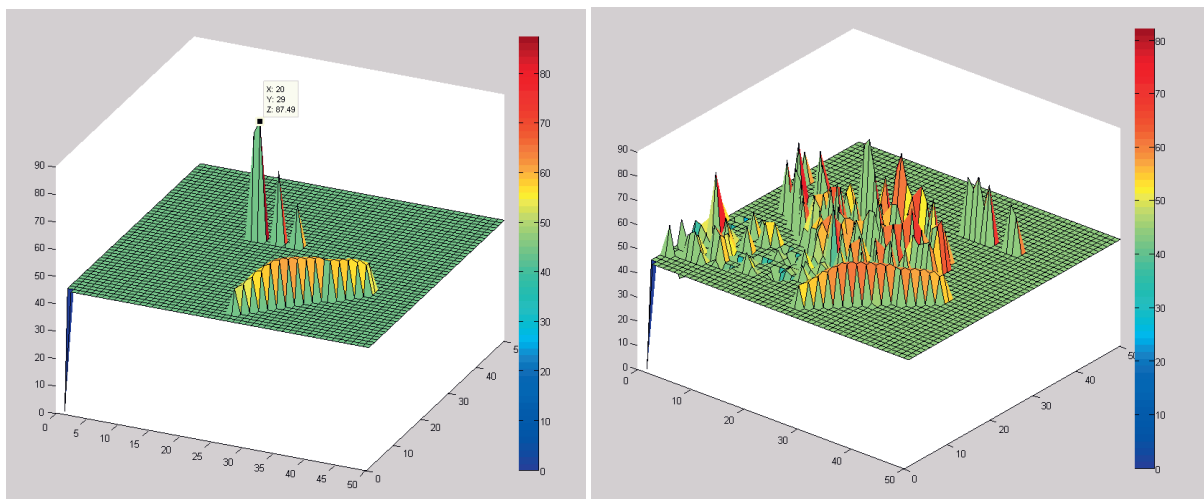


Рис. 6. Полученная высота для наиболее ярких точек при отношении «сигнал/шум»  $-16$  дБ (слева) и полученная высота при отношении «сигнал/шум»  $-14$  дБ (справа)

**Литература**

1. Sergi Duque, Paco López-Dekker, Jordi J. Mallorqui. Single-Pass Bistatic SAR Interferometry Using Fixed-Receiver Configurations Theory and Experimental Validation // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. V. 48, No. 6, June 2010. – P. 2740-2749.
2. Holger Nies, Florian Behner, Simon Reuter, Otmar Loffeld, Robert Wang. Polarimetric and Interferometric Applications in a Bistatic Hybrid SAR Mode Using Terra SAR-X // IGARSS 2010. – P. 110-113.
3. Paco López-Dekker, Sergi Duque, Juan C. Merlano, Juan C. Rodriguez-Silva, Jordi J. Mallorqui Fixed-Receiver Bistatic SAR Along-Track Interferometry // First Results EUSAR 2010. – P. 990-993.
4. Holger Nies, Florian Behner, Simon Reuter, Otmar Loffeld, Robert Wang. SAR Experiments in a Bistatic Hybrid Configuration for Generating PolInSAR Data with Terra SAR-X Illumination // EUSAR 2010. – P. 994-997.
5. Ling Wang, Can Evren Yarman, Birsen Yazıcı Doppler-Hitchhiker. A Novel Passive Synthetic Aperture Radar Using Ultranarrowband Sources of Opportunity // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. V. 49, No. 10, 2011. – P. 3521-3537.
6. Michail Antoniou, Zhangfan Zeng, Feifeng Liu, Mikhail Cherniakov Passive Radar Imaging with GNSS Transmitters and a Fixed Receiver // Latest Results EUSAR 2012. – P. 271-274.
7. Craig Tong, Michael Ingg, Amit Mishra Towards a MIMO Radar based on Commensal use of FM Broadcast Transmitters of Opportunity // EUSAR 2012. – P. 283-286.
8. Fabrizio Santi, Marta Bucciarelli, Debora Pastina, Michail Antoniou, Mikhail Cherniakov Passive multi-perspective GNSS-based SAR using CLEAN technique: an experimental study // EUSAR 2016. – P. 1063-1066.
9. Tao Zeng, Mao Zhu, Cheng Hu, Weiming Tian, Teng Long Experimental Results and Algorithm Analysis of DEM Generation Using Bistatic SAR Interferometry With Stationary Receiver // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. V. 53, No. 11, 2015. – P. 5835-5852.
10. Борисенков А.В., Горячкин О.В., Долгополов В.Н., Женгуров Б.Г. Бистатический радиолокатор с синтезированной апертурой, паразитирующий на сигналах телевизионного вещания // Вестник СГАУ. №2 (44), 2014. – С. 16-24.

*Получено 16.10.2016*

**Горячкин Олег Валериевич**, д.т.н., заведующий Кафедрой теоретических основ радиотехники и связи (ТОРС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-72. E-mail: goryachkin-ov@psuti.ru

**Маслов Иван Владимирович**, инженер-конструктор АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», аспирант Кафедры ТОРС ПГУТИ. Тел. 8-929-707-64-82; E-mail: macloff@mail.ru

## **RELIEF RECOVERY BY SYNTHETIC APERTURE RADAR THAT PARASITES OVER TV BROADCASTING SIGNALS**

*Goriachkin O.V., Maslov I.V.*

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

*E-mail: goryachkin-ov@psuti.ru*

Nowadays digital relief recovery is one of the most top-priority areas of modern Earth remote probing system applications, where synthetic aperture radar (SAR) is possible and effective techniques, and so-called “parasitic systems” are the most interesting among SARs for described purposes, which utilize radio signal unrelated to radio systems as a probing signal. This work is concerned with problem of digital relief recovery by using SAR that “parasites” over TV broadcasting signals. Digital model development is strongly complicated process especially under low angles of incidence and signal interference occurring due to compact design. We present of some results for SAR simulation that parasite over TV broadcasting signals. Here radar imaging is considered with fixed transmitter and mobile dual-channel receiver. Simulation of algorithms for digital relief recovery by radar interferometry was performed by real TV signals detected in “direct” channel. Reflected signals and interference image were simulated. We analyzed ability of height recovery under noised reflected signal. Simulation results demonstrated potentiality of proposed technology application on practice.

**Keywords:** radiolocation, synthetic aperture radar (SAR), radar image, interferometry, digital terrain model

**DOI:** 10.18469/ikt.2016.14.4.10

**Goryachkin Oleg Valerievich;** Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moscovskoe shosse, Samara 443090, Russian Federation; the Head of Department Theoretical Foundations of Radio Engineering and Communication, Doctor of Technical Sciences. Tel.: +78462280072. E-mail: goryachkin-ov@psuti.ru.

**Maslov Ivan Vladimirovich;** Space Rocket Centre Progress, 18, Zemetsa str., Samara, Russian Federation; Design Engineer. Tel.: +79297076482. E-mail: macloff@mail.ru.

### References

1. Sergi Duque, Paco López-Dekker, Jordi J. Mallorqui. Single-Pass Bistatic SAR Interferometry Using Fixed-Receiver Configurations Theory and Experimental Validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, vol. 48, no. 6, pp. 2740-2749.
2. Holger Nies, Florian Behner, Simon Reuter, Otmar Loffeld, Robert Wang. Polarimetric and Interferometric Applications in a Bistatic Hybrid SAR Mode Using Terra SAR-X. *IGARSS 2010*, pp. 110-113.
3. Paco López-Dekker, Sergi Duque, Juan C. Merlano, Juan C. Rodriguez-Silva, Jordi J. Mallorquí Fixed-Receiver Bistatic SAR Along-Track Interferometry. *First Results EUSAR 2010*, pp. 990-993.
4. Holger Nies, Florian Behner, Simon Reuter, Otmar Loffeld, Robert Wang. SAR Experiments in a Bistatic Hybrid Configuration for Generating PolInSAR Data with Terra SAR-X Illumination. *EUSAR 2010*, pp. 994-997.
5. Ling Wang, Can Evren Yarman, Birsen Yazıcı Doppler-Hitchhiker. A Novel Passive Synthetic Aperture Radar Using Ultranarrowband Sources of Opportunity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2011, vol. 49, no. 10, pp. 3521-3537.
6. Michail Antoniou, Zhangfan Zeng, Feifeng Liu, Mikhail Cherniakov Passive Radar Imaging with GNSS Transmitters and a Fixed Receiver. *Latest Results EUSAR 2012*, pp. 271-274.
7. Craig Tong, Michael Inggs, Amit Mishra Towards a MIMO Radar based on Commensal use of FM Broadcast Transmitters of Opportunity. *EUSAR 2012*, pp. 283-286.
8. Fabrizio Santi, Marta Bucciarelli, Debora Pastina, Michail Antoniou, Mikhail Cherniakov Passive multi-perspective GNSS-based SAR using CLEAN technique: an experimental study. *EUSAR 2016*, pp. 1063-1066.
9. Tao Zeng, Mao Zhu, Cheng Hu, Weiming Tian, Teng Long Experimental Results and Algorithm Analysis of DEM Generation Using Bistatic SAR Interferometry With Stationary Receiver. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2015, vol. 53, no. 11, pp. 5835-5852.
10. Borisenkov A.V., Goryachkin O.V., Dolgoplov V.N., Zhengurov B.G. Bistaticheskiy radiolokator s sintezirovannoy aperturoy, parazitiruyushchiy na signalakh televizionnogo veshchaniya [SAR which parasitize the TV signals]. *Vestnik SGAU*, 2014, vol. 44, no. 2, pp. 16-24.

Received 16.10.2016

УДК 535.016

## ПОСТРОЕНИЕ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ RoF

Кубанов В.П.<sup>1</sup>, Нарышкин М.И.<sup>2</sup>, Тяжев А.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

<sup>2</sup>ОАО «Концерн «Автоматика», Самара, РФ

E-mail: kubanov@psati.ru

В статье проводится анализ вариантов построения корпоративных сетей подвижной радиосвязи, использующих сотовый принцип построения и различные технологии покрытия территории радиосвязью. Приводятся требования к корпоративным сетям подвижной радиосвязи, описан принцип работы системы, использующий технологию Radio over Fiber (RoF): радио через волокно. Показано, что применение технологии RoF обладает техническими и экономическими преимуществами по сравнению с известными традиционными системами радиосвязи.