

- [Object representation of a simulation model of the business process of product promotion through electronic markets based on «graph model of interactions»]. *Upravlenie jekonomicheskimi sistemami*, 2013, no. 10. Available at: <http://www.uecs.ru/teoriya-upravleniya/item/2402--q-q> (Accessed 18.09.2015)
3. Dimov Je.M., Agrova K.N. Intellektual'no-analiticheskaja sistema analiza rynochnogo okruzenija na jelektronnyh torgovyh ploshhadkah i podderzhki prinjatija upravlencheskih reshenij [Intellectual and analytical system for analysis of the market environment on electronic trading platforms and support management decision-making] *Nauka i biznes: puti razvitija*, 2014, no. 3, pp. 89-94.
 4. Lancev E.A. Verifikacija agentnyh imitacionnyh modelej Anylogic s primeneniem tehnologii intellektual'nogo analiza processov [Verification of agent-based simulation models Anylogic using the technology of mining processes]. *IMMOD*, 2013, pp. 348-350.
 5. Levin I., Korenblit M., Talis V. Izuchenie dinamiki social'nyh setej na osnove modelirovanija v srede NodeXL-Excel [Research of dynamics of social networks based on the modeling in NodeXL-Excel]. *Problems of education in the 21st century*, 2013, vol. 54, pp. 125-137. Available at: http://www.tau.ac.il/~ilia1/publications/analit125-137levin_vol54.pdf (Accessed 1.09.15).
 6. Prohorov A., Larichev N. Komp'juternaja vizualizacija social'nyh setej [Computer visualization of social networks]. *Komp'juterPress*. Available at: <http://www.compress.ru/arti-cle.aspx?id=16593> (Accessed 22.09.15).
 7. Pupyrev S.N., Tihonov A.V. Vizualizacija dinamičeskikh grafov dlja analiza slozhnyh setej [Visualization of dynamic graphs for analysis of complex networks]. *Modelirovanie i analiz informacionnyh system*, 2010, no. 1, pp. 117-135.

Received 30.09.2015

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 621.396

МОБИЛЬНЫЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ УКВ-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Борисенков А.В., Горячкин О.В., Долгополов В.Н., Женгуров Б.Г.,
Курков И.Г., Калимуллин Р.Г., Мовчан В.К., Хохлов С.М.*

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: gor@psati.ru*

В статье представлены результаты разработки мобильного радиолокационного комплекса с синтезированной апертурой УКВ (ОВЧ)-диапазона для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с высоким пространственным разрешением (3-5 метров). Комплекс предназначен для размещения на борту летательных аппаратов малой авиации, автомобильном транспорте, объектах наземной инфраструктуры. Конструкция МРЛК обеспечивает легкую трансформацию из моностатической в бистатическую конфигурацию съемки.

Ключевые слова: радиолокатор с синтезированной апертурой, радиолокационное изображение, линейная частотная модуляция, согласованная фильтрация, диаграмма направленности.

Введение

Один из первых в мировой истории техники авиационный радиолокационный 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 ТЗ 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 радиолокационных 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 РСА УКВ-диапазона, разработанных в разные годы, и МРЛК.

Таблица 1. Основные характеристики авиационных РСА 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

В настоящее время продолжают быть актуальными исследования по применению информации низкочастотных радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) в различных коммерческих приложениях ДЗЗ, таких как всепогодная картография, мониторинг районов стихийных бедствий и катастроф, наблюдение подземной инфраструктуры. Особенно интересен поиск новых приложений, основанных на высокой проникающей способности радиоволн данного диапазона.

В этой связи разработка мобильного комплекса, реализующего все основные технологии радиолокационного наблюдения в данном диапазоне, представляется актуальной задачей

1. Основные характеристики МРЛК

Основные характеристики МРЛК показаны в таблице 1. На рис. 1 показан вариант размещения МРЛК на автомобиле, использованный в процессе экспериментальной отработки. Данный РЛК обеспечивает формирование радиолокационных изображений местности (РЛИ) 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.

РЛК состоит из радиопередающего устройства (РПУ), радиоприемного устройства (РПРУ), 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 питания.



Рис. 1. МРЛК, размещенный на автомобиле

Радиопередающее устройство МРЛК

Радиопередающее устройство (РПДУ) РСА формирует фазоманипулированный сигнал, кодированный M-последовательностью с базой от 63 до 4095, на перестраиваемой несущей от 100 до 200 МГц, с периодом повторения от 0,1 до 83000 Гц. Полоса частот РПДУ составляет 50 МГц, пиковая мощность в импульсе от 90 до 500 Вт, в зависимости от типа используемого источника питания.

Структурная схема РПДУ приведена на рис. 2, где использованы следующие обозначения: «ЮСБ» – сигнал управления интерфейса USB, «ПИ» – преобразователь интерфейса USB – RS232, «ДТМ» – датчик температуры, «ДТК» – датчик тока, «ДНВ» – датчик напряжения питания, «ДН5» – датчик напряжения 5 В, «П»

– процессор, «СЧ» – счетчик адреса, «ЗУ» – запоминающее устройство, «К» – коммутатор, «М» – модулятор, «ВЧГ» – высокочастотный генератор, «РУ» – регулируемый усилитель, «УМ» – усилитель мощности, «АНТ» – антенный выход, «ВЧ2» – радиочастотный выход, «Син» – выход синхронизации.

Необходимая М-последовательность формируется либо процессором «П», реализованным на микропроцессоре ATMEGA8535, либо загружается из внешней ЭВМ в запоминающее устройство «ЗУ» в цикле ожидания, в режиме отсутствия передачи, побайтно. Максимальная длина М-последовательности составляет 32768 бит. В режиме передачи процессор устанавливает в счетчике «СЧ» начальный адрес выборки

«ЗУ» и запускает передачу. Из «ЗУ» по текущему адресу считываются восемь бит и передаются в коммутатор, где они далее последовательно передаются на фазовый модулятор с частотой 50 МГц, на второй вход которого подается высокочастотный сигнал с частотой 140 МГц, формируемый в синтезаторе частот «ВЧГ», реализованном на микросхеме SN761683.

Частота на выходе синтезатора может быть перестроена в диапазоне 100 ... 200 МГц с шагом перестройки 50 кГц. С выхода модулятора высокочастотный сигнал поступает на регулируемый усилитель «РУ» для изменения амплитуды выходного сигнала, а затем на вход усилителя мощности «УМ», выполненного на микросхеме RA60H1317M, и далее на антенный выход.

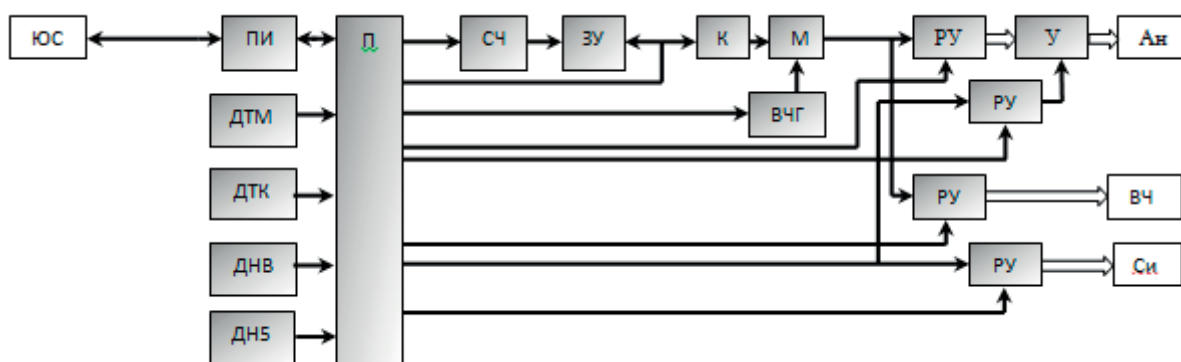


Рис. 2. Структурная схема передатчика МРЛК

Максимальная импульсная мощность передатчика составляет 240 Вт (или 500 Вт при использовании внешнего «УМ», реализованного на базе двух микросхем RA60H1317M). Работа «УМ» управляется синхросигналом, амплитуда которого изменяется регулируемым усилителем. Для синхронизации внешних устройств применяется выход синхронизации «Син», амплитуда напряжения на котором изменяется регулируемым усилителем «РУ». Для использования внешнего усилителя мощности предусмотрен дополнительный высокочастотный маломощный выход «ВЧ2», амплитуда сигнала на выходе которого также регулируется этим усилителем.

В РПУ встроены датчики температуры «ДТМ», тока потребления «ДТК», входного напряжения «ДНВ» и др., параметры которых контролируются в процессоре. Процессором также устанавливаются параметры регулируемых усилителей. Управление передатчиком осуществляется по интерфейсу USB с последующим преобразованием в RS232 с гальванической развязкой в блоке преобразователя интерфейса «ПИ» с помощью внешнего ПК.

Радиоприемное устройство обеспечивает прием в заданной полосе частот и линейное усиление минимального отраженного сигнала (60-90 Дб) до уровня, используемого в АЦП $1.35/2^{12} = 330$ мкВ. В качестве АЦП используется канал первичной обработки, состоящий из базового несущего модуля FMC106P и мезонинного модуля АЦП FM412×500M.

Радиоприемное устройство МРЛК

Радиоприемное устройство МРЛК предназначено для усиления радиочастотных сигналов в диапазоне 140 МГц. Структурная схема приемника диапазона 140 МГц приведена на рис. 3, где использованы следующие обозначения: «Вх» – входной сигнал, «Сс» – сигнал синхронизации, «Ус» – усилитель сигнала синхронизации, «К» – ключи стробирования входного и выходного сигналов, «У» – блок усилителя с фиксированным усилением 26 дБ, «ПФ1» – полосовой фильтр диапазона 140 МГц, «М» – аналоговый коммутатор 1 вход/выход на 4 входа/выхода, «ПФ2», «ПФ3», «ПФ4», «ПФ5» – полосовые фильтры диапазона

140 МГц, «АТ» – аттенуатор с фиксированным ослаблением –3дБ, «РУ» и «ДС» – регулируемый усилитель и детектор сигнала, «Вых» – выходной сигнал, «БУ» – блок управления.

Входной сигнал «Вх» поступает на ключ стробирования входного сигнала «К», который позволяет отключать входной сигнал от тракта усиления под действием сигнала внешней синхронизации «Сс». Далее принимаемый сигнал усиливается в малошумящем усилителе «У», который собран на микросхеме SPF5122Z. Данная микросхема на частоте 140 МГц обеспечивает усиление порядка 26 дБ с уровнем собственного шума 0,35 дБ.

Усиленный сигнал поступает на низкочастотный полосовой фильтр «ПФ1», который ограничивает полосу входного сигнала в районе 140 МГц. Далее отфильтрованный сигнал усиливается еще двумя усилителями «У» на 52 дБ и поступает на вход блока выбора фильтра, состоящего из аналоговых коммутаторов «М» и полосовых фильтров «ПФ2-ПФ5». Под действием сигналов управления из блока управления «БУ» происходит выбор одного из высокодобротных полосовых фильтров, которые отличаются друг от друга центральными частотами и величиной полосы пропускания.

Сформированный в блоке выбора фильтра сигнал поступает в блок фиксированного усиления/ослабления, состоящего из аналоговых коммутаторов «М», усилителей «У» и аттенуатора с фиксированным ослаблением –3дБ «АТ». Под действием сигналов управления из блока управления «БУ» происходит выбор одного из режимов: 1) прохождение сигнала без преобразования, 2) ослабление на 3 дБ, 3) усиление на 26 дБ, 4) усиление на 52 дБ.

С выхода блока фиксированного усиления/ослабления сигнал поступает на регулируемый усилитель и детектор сигнала «РУ» и «ДС», собранный на микросхеме AD8367. Данная микросхема позволяет усиливать сигнал в полосе до 500 МГц с переменным коэффициентом усиления

от –2,5 дБ до +42,5 дБ и имеет в своем составе детектор уровня выходного сигнала. Далее полученный сигнал поступает на выход усилителя через ключ стробирования выходного сигнала «К», который позволяет отключать выходной сигнал под действием сигнала внешней синхронизации «Сс».

Максимальное усиление порядка 140 дБ РПУ имеет на частоте 140 МГц. Блок управления РПУ предназначен для управления режимами работы приемника. В его состав входят центральный процессор на микропроцессоре ATMEGA8535, клавиатура, двустрочный жидкокристаллический индикатор, регистры формирователи сигналов управления. Блок управления РПУ обеспечивает:

- управление сигналом стробирования входного и выходного сигналов;
- выбор полосового фильтра «ПФ2»-«ПФ5»;
- выбор дополнительного канала усиления/ослабления сигнала;
- плавную регулировку сигнала;
- измерение величины выходного сигнала;
- индикацию режимов работы приемника, уровня усиления регулируемого усилителя, уровня выходного сигнала.

Для минимизации уровня помех, создаваемых процессором и цифровым индикатором в канале усиления, в блоке управления реализован режим полного отключения процессора и индикации с сохранением всех режимов управления.

Антенное устройство МРЛК

В качестве антенного устройства (АУ) МРЛК использована широкополосная 7-элементная антенна Yda-Yagi, оптимизированная для установки на крыше автомобиля. Основные параметры АУ: центральная частота – 140 МГц; входное сопротивление – 49,63 Ом; КСВ на частоте 140 МГц – 1,02; коэффициент усиления – 13,05 dBi; коэффициент подавления заднего лепестка – 21,95 dB. Габариты антенны проектировалась для расположения над крышей автомобиля марки ВАЗ «Кали-

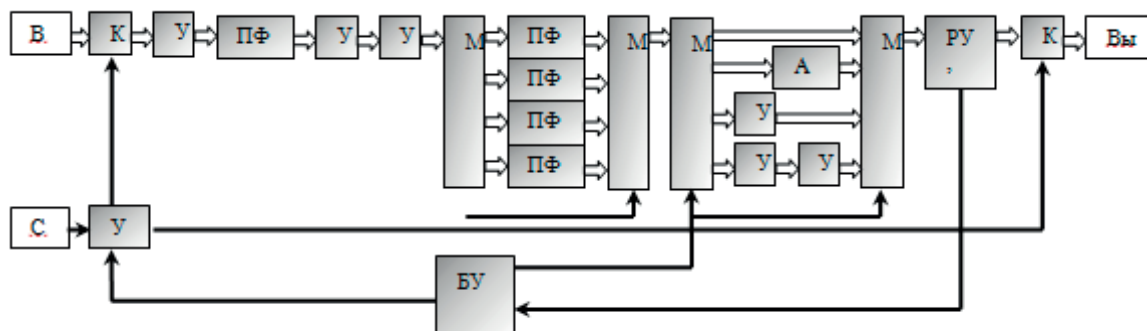


Рис. 3. Структурная схема приемника МРЛК

на» с направлением излучения перпендикулярно направлению движения автомобиля. С учетом Правил дорожного движения РФ на расположение грузов, выступающих за габариты автомобиля, максимальная длина траверсы антенны получилась равной 1,86 м.

Учитывая условия распространения радиоволн УКВ-диапазона в условиях городской застройки, были предприняты максимально возможные меры для подавления боковых и задних лепестков излучения антенны.

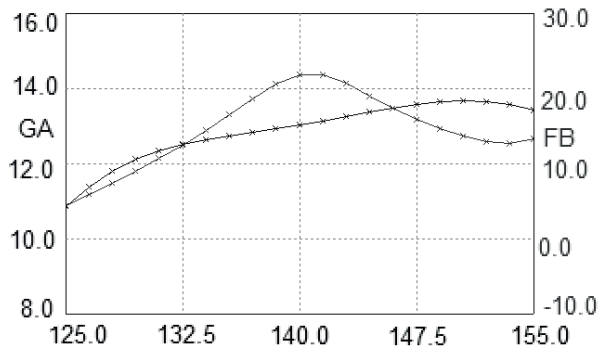


Рис. 4. Графики зависимости коэффициента усиления АУ МРЛК (GA, [dBi]) и отношения излучения вперед/назад АУ (FB, [dB]) от частоты излучения

Результатом проектирования стало применение рефлектора ромбообразной формы.

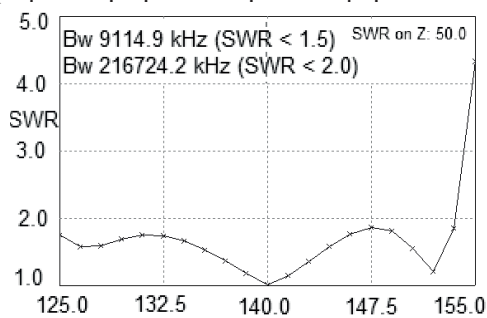


Рис. 6. КСВ антенны МРЛК в рабочей полосе радиочастот

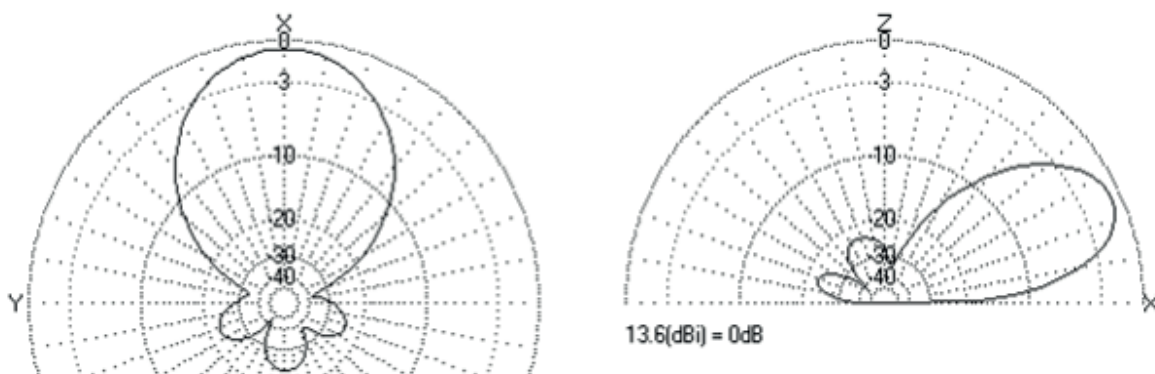


Рис. 5. Диаграммы направленности антенны МРЛК в азимутальной (слева) и угломестной (справа) плоскости с учетом влияния корпуса автомобиля

Как видно из графиков на рис. 5-6, размещение АУ на металлической крыше автомобиля приводит к подъему угла максимального излучения в угломестной плоскости на $24,8^\circ$ от горизонтали.

Система цифровой регистрации и программно-алгоритмическое обеспечение обработки информации МРЛК

Система регистрация реализована на универсальной ЭВМ и включает в себя модуль аналого-цифрового преобразователя и систему хранения данных. Модуль АЦП состоит из несущего модуля FMC106P и аналогового мезонинного модуля FM412×500M производства ЗАО «ИнСис» (г. Москва). Модуль АЦП позволяет осуществлять преобразование двух сигналов в полосе от 10 МГц до 1300 МГц с частотой дискретизации до 400 МГц и разрядностью до 14 бит. Максимальная амплитуда входного сигнала составляет 1,35 В.

Ввод данных в ЭВМ осуществляется с помощью интерфейса PCI-E×8, позволяющего осуществлять непрерывный сбор данных со скоростью потока свыше 1600 Мбайт/с. Система хранения данных представляет собой 4 твердотельных накопителя SSD OSZ Vertex-4 256 ГБ, подключаемых к ЭВМ через порты с интерфейсом SATA3. Поступающие из АЦП данные накапливаются в буферном ОЗУ и разбиваются на блоки, которые записываются на разные накопители параллельно.

Предварительная обработка записанных данных состоит из оценивания параметров импульсов, разделения сигнала на квадратурные компоненты и согласованной фильтрации ФМС. В процессе оценивания параметров импульсов выполняется уточнение значения центральной частоты и длительности импульсов в отсчетах, соответствующих выбранной частоте дискретизации АЦП. В квадра-

турном расщепителе производится перемножение входного сигнала с комплексной синусоидой с частотой равной центральной частоте с последующей низкочастотной фильтрацией. ФНЧ квадратурного расщепителя объединен с согласованным фильтром и реализован в виде трансверсального цифрового фильтра с помощью алгоритма быстрой свертки на базе БПФ. Импульсная характеристика фильтра представляет собой свертку выбранной М-последовательности с ИХ фильтра нижних частот. В процессе фильтрации осуществляется также понижение частоты дискретизации, в соответствии с полосой частот зондирующего импульса.

$$\hat{\xi}(x, y) = \left| \int_{t_1}^{t_2} G_{\Sigma}(t, x, y) s_1^*(t - \tau_2(t, x, y) + \tau_1(t)) \dot{s}_2(t) e^{-j\omega_0 \tau_2(t, x, y)} dt \right|, \quad (1)$$

где $\hat{\xi}(x, y)$ – коэффициент обратного рассеяния (радиолокационное изображение); $\dot{s}_2(t)$ – сигнал, зарегистрированный в «отраженном» канале после предварительной цифровой обработки; $\dot{s}_1(t)$ – сигнал, зарегистрированный в «прямом» канале после предварительной цифровой обработки (сигнал представляет собой последовательность зондирующих импульсов после предварительной согласованной фильтрации на «нулевой» несущей); $\tau_2(t, x, y)$ – временная задержка сигнала в процессе его переотражения от точечной цели на поверхности Земли с координатами (x, y) ; $\tau_1(t)$ – временное смещение, вызванное нестабильностью передатчика, оцениваемое в процессе синхронизации; $G_{\Sigma}(t, x, y)$ – весовая функция, соответствующая движению в пространстве ДН антенны МРЛК.

Особенностью системы является возможность одновременной регистрации данных в «прямом» и «отраженном» канале (12 и 14 рядов на отсчет, соответственно). Эта возможность используется при реализации режима бистатической съемки.

С этим связана также необходимость синхронизации «прямого» и «отраженного» каналов перед процедурой синтеза апертуры в МРЛК.

Процедура синтеза апертуры в режиме моностатической РСА может быть описана следующим выражением

Экспериментальная отработка МРЛК

На рис. 7 показано место проведения эксперимента по построению РЛИ земной поверхности при движении автомобиля по мосту. На РЛИ (см. рис. 8) трасса автомобиля находится в левом нижнем углу, расстояние от трассы до верхнего угла РЛИ примерно 8 км.

Заключение

В статье рассмотрены результаты разработки и экспериментальной отработки мобильного РСА УКВ-диапазона. Полученные РЛИ объектов на поверхности Земли позволяют качественно подтвердить заявленные характеристики РСА. МРЛК может быть использован для решения разнообразных практических задач, таких как: оперативный мониторинг районов бедствий и катастроф, непрерывное наблюдение природных объектов и элементов



Рис. 7. Место проведения эксперимента по построению РЛИ земной поверхности (справа) при движении автомобиля по мосту (слева), стрелкой показано направление съемки

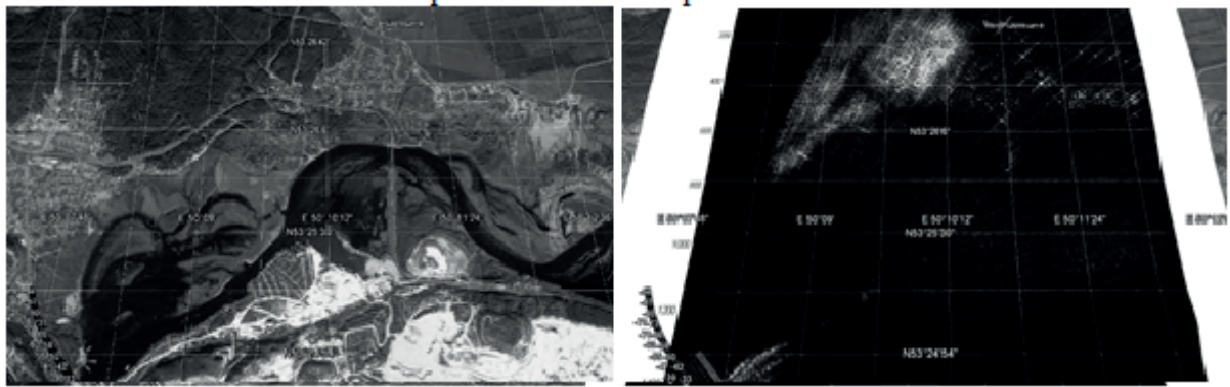


Рис. 8. Полученное в ходе испытаний радиолокационное изображение (справа), совмещенное с картой Google (слева)

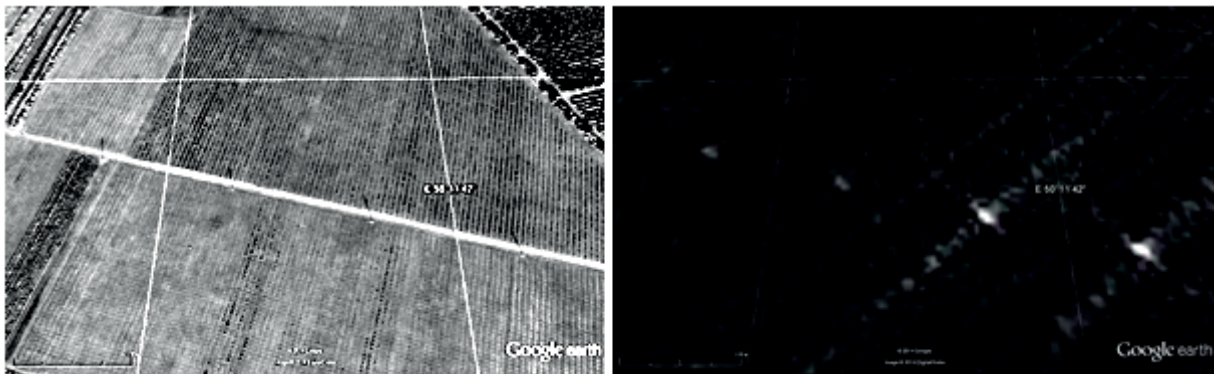


Рис. 9. Радиолокационное изображение ЛЭП, база ФМП В = 63, оптическое изображение (слева), радиолокационное (справа)

инфраструктуры, 3D моделирование местности и городской застройки, наблюдение подповерхностных объектов и структур, археология, лесное хозяйство.

Литература

1. Горячкин О.В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. М.: Радио и связь, 2003. – 230 с.
2. Неронский Л.Б., Михайлов В.Ф., Брагин И.В. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны. СПб.: Изд. СПбГУАП, 1999. – 220 с.
3. Lars M.H., Bjorn F., Per-Olov F. Bistatic Experiment with Ultra-Wideband VHF- band

Synthetic Aperture Radar // 7th European Conference on Synthetic Aperture Radar. Friedrichshafen, Germany. June 2008. – P. 131-135.

4. Борисенков А.В., Горячкин О.В., Долгополов В.Н., Женгуров Б.Г., Курков И.Г., Хохлов С.М. Некоторые направления развития многопозиционных радиотехнических систем // Сборник научных трудов XX МНТК «Радиолокация, навигация, связь». Т. 2. Воронеж, апрель 2014. – С. 1014-1022.

Получено 28.05.2015

Борисенков Алексей Владимирович, к.т.н., доцент Кафедры теоретических основ радиотехники и связи (ТОРС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел.:228-00-72; E-mail: tors@psati.ru

Горячкин Олег Валериевич, д.т.н., заведующий Кафедрой ТОРС ПГУТИ, научный руководитель Центра радиолокационного дистанционного зондирования Земли (ЦРДЗЗ). Тел. (8-846) 228-00-72. E-mail: gor@psati.ru

Долгополов Вадим Николаевич, с.н.с. Кафедры ТОРС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-72. E-mail: tors@psati.ru

Женгуров Борис Глебович, аспирант Кафедры ТОРС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-72. E-mail: loir47@rambler.ru

Калимуллин Ренат Галиуллович, старший преподаватель Кафедры ТОРС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-72. E-mail: tors@psati.ru

Курков Игорь Геннадьевич, с.н.с. ЦРД33, соискатель Кафедры ТОРС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-72; E-mail: rw4hox@rambler.ru

Мовчан Валерий Кириллович, заведующий лабораторией Кафедры ТОРС ПГУТИ.

Хохлов Сергей Михайлович, с.н.с. ЦРД33, соискатель Кафедры ТОРС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-72. E-mail: hgns@mail.ru

MOBILE VHB-BAND SAR FOR EARTH REMOTE SENSING

*Borisenkov A.V., Goriachkin O.V., Dolgopолоv V.N., Zhengurov B.G.,
Kalimullin R.G., Kurkov I.G., Movchan V.K., Khokhlov S.M.*

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

E-mail: gor@psati.ru

We present results of design of mobile VHB-band radar complex with synthetic aperture radar (SAR) for Earth remote sensing with high spatial resolution 3...5 meters. Designed radar complex can be installed on board of small aircraft, vehicles, surface facilities etc. We present main parameters of proposed radar and detailed description of its components including transceiver, receiver and antenna system. Designed radar provides easy transformation from monostatic to bistatic configuration. The last part of work is concerned with radar images been got by system over VHF-band.

Keywords: synthetic aperture radar, radar image, chirp modulation, matched filtering

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.4.11

Borisenkov Alexsey Vladimirovich, PhD in Technical Science, Assistant Professor of the Department of Radio Engineering and Telecommunication Theory, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +78462280072. E-mail: tors@psati.ru

Goriachkin Oleg Valerjevich, Doctor of Technical Science, the Head of Department of Radio Engineering and Telecommunication Theory, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.:+78462280072. E-mail: gor@psati.ru

Dolgopолоv Vadim Nikolaevich, Senior Researcher of the Department of Radio Engineering and Telecommunication Theory, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.:+78462280072. E-mail: tors@psati.ru

Zhengurov Boris Glebovich, PhD-student, Department of Radio Engineering and Telecommunication Theory, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +78462280072. E-mail: loir47@rambler.ru

Kalimullin Rinat Galiulovich, Senior Lecturer of the Department of Radio Engineering and Telecommunication Theory, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.:+78462280072. E-mail: tors@psati.ru

Kurkov Igor Gennadjevich, Senior Researcher of the Centre of the of Earth remote radar sensing, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.:+78462280072. E-mail: rw4hox@rambler.ru

Movchan Valery Kirillovich, Head of the Laboratory, of the Department of Radio Engineering and Telecommunication Theory, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation.

Khokhlov Sergey Mihajlovich, Senior Researcher of the Centre of the of Earth remote radar sensing, Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.:+78462280072. E-mail: hgns@mail.ru.

References

1. Goriachkin O.V. *Metody slepoj obrabotki signalov i ih prilozheniya v sistemah radiotekhniki i svyazi* [Methods of blind signal processing and its application for system of radio technology]. Moscow, Radio and Communication Publ., 2003. 230 p.
2. Neronski L. B., Mixailov V. F., Bragin I.V. *Radiolokatory s sintezirovannoj aperturoj anteny* [Synthetic aperture radar antenna]. St. Petersburg, SPbGUAP Publ., 1999. 220 p.

3. Lars M.H., Bjorn F., Per-Olov F., Bistatic Experiment with Ultra-Wideband VHF- band Synthetic Aperture Radar. *7th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, Friedrichshafen, Germany. 2-5 June- Friedrichshafen, Germany, 2008, p. 131-135
4. Borisenkov A.V., Goriachkin O.V., Dolgopolov V.N., Zhengurov B.G., Kurkov I.G., Khokhlov S.M. Nekotorye napravlenija razvitiija mnogopozicionnyh radiotekhnicheskikh system [Areas development of the multiposition radio systems]. *Sbornik nauchnyh trudov XX MNTK «Radiolokacija, navigacija, svjaz'»*, Voronez, 2014, pp. 1014-1022.

Received 28.05.2015

УДК 621.371

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ РАДИОСВЯЗИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ RADIO-OVER-FIBER

Нарышкин М.И.

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: nmi@rambler.ru*

В работе рассматривается концепция построения распределенной сети радиосвязи на базе технологии Radio-over-Fiber. Представлен обзор и классификация систем передачи радиосигналов по волоконно-эфирной структуре, методы их реализации. Рассмотрены типовые структурные схемы построения таких систем, их основные компоненты.

Ключевые слова: Radio-over-Fiber, беспроводные сети, сети радиосвязи, волоконно-эфирная структура, центральная станция, базовая станция, удаленный антенный модуль, передача радиосигналов по оптическим волокнам.

Введение

В настоящее время технология Radio-over-Fiber (RoF), реализующая передачу радиочастотного сигнала по волоконно-эфирной структуре, является одним из наиболее перспективных путей построения распределенных сетей радиосвязи.

Первые публикации в рамках данного направления (см., например, [1-4] и др.) датированы началом 90-х годов прошлого века и в основном посвящены вопросам моделирования и экспериментальной реализации беспроводных микросотовых телефонных сетей связи на базе технологии RoF.

На сегодняшний день в качестве ключевых приложений RoF можно выделить следующие [5 - 10]:

- сотовые сети связи: мобильный трафик транслируется между центральной и базовой станциями по волоконно-эфирной структуре;
- беспроводные локальные сети передачи данных (LAN): в частности, беспроводные LAN, функционирующие на частотах 2,4 и 5 ГГц;
- системы передачи видеосигнала: проводные и беспроводные городские сети широкополосного доступа, в том числе телевизионного вещания;
- беспроводные сети связи между транспортными средствами, а также беспроводные

сети контроля и управления интеллектуальными транспортными системами.

Как правило, данные сети включают центральную станцию (ЦС), базовые станции (БС) и абонентские терминалы (АТ). При этом БС соединяются с ЦС волоконно-оптическими линиями, а АТ с БС по радиоканалам через удаленный антенный модуль (Remote Antenna Unit – RAU) (см. рис. 1).

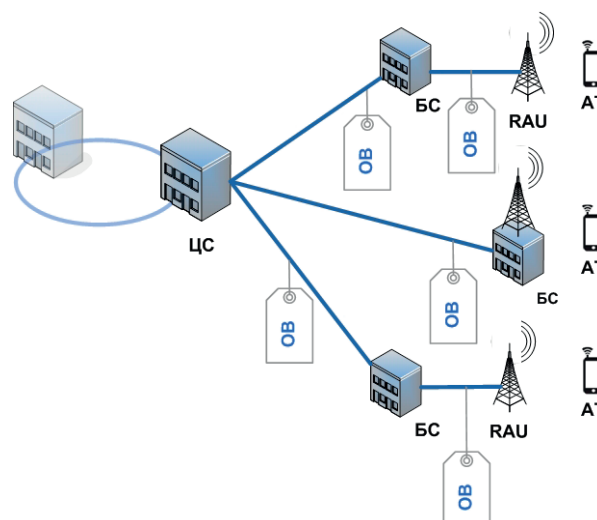


Рис. 1. Обобщенная структурная схема построения сети радиосвязи на базе технологии RoF

Среди очевидных преимуществ систем RoF по сравнению с традиционными технологиями