

соответствуют предъявляемым к современной СР техническим требованиям и могут быть использованы при создании серийного образца СР «Полос».

Литература

1. Иванов В.Э. Радиозондирование атмосферы. Технические и метрологические аспекты разработки и применения радиозондовых измерительных средств / В.Э. Иванов, М.Б. Фридзон, С.П. Ессяк; под ред. В.Э. Иванова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 596 с. – ISBN 5-7691-1513-0.
2. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС / Под. ред. В.Н. Харисова, А.И. Петрова, В.А. Болдина. – 2-е изд. исправ. – М.: ИПРЖР, 1999.
3. Иванов В.Э., Плохих О.В. Некоторые результаты разработки системы радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных платформ GPS-ГЛОНАСС. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. Санкт-Петербург: 2009, вып. 6 (тематический выпуск «Широкополосные сигналы и системы»), с. 66-74. ISSN 1993-8985.

ГЕОРАДАР С СИНТЕЗОМ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.А. Добряк, Ал.А. Калмыков, Ан.А. Калмыков, А.С. Куриленко
(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина, abyd@mail.ru)

GEORADAR WITH THE SYNTHESIS OF THREE-DIMENSIONAL IMAGES

V.A. Dobryak, Al.A. Kalmykov, An.A. Kalmykov, A.S. Kurilenko

Георадары [1] предназначены для мониторинга строительных конструкций, автомобильных и железных дорог, археологии и т.д. Развитие голографических принципов регистрации и реконструкции изображений в СВЧ-диапазоне привело к появлению радиоголографии и радиоголографических систем [2–4]. При этом большинство из существующих систем подповерхностного зондирования используют сверхширокополосные импульсные сигналы и позволяют получать плоские изображения разрезов.

В докладе представлен локатор подповерхностного зондирования, основные принципы работы которого заключаются в следующем: применение зондирующего сигнала с линейной частотной модуляцией; корреляционно-фильтровая обработка отраженного сигнала, внутренняя когерентность системы, радиоголографический синтез трехмерных изображений.

Цель применения этих принципов в получении высокой разрешающей способности по дальности за счет применения сверхширокополосного зондирующего сигнала, высокого углового разрешения за счет синтеза апертуры при использовании малогабаритных антенн.

В локаторе использована типовая для непрерывных ЛЧМ-сигналов схема с корреляционно-фильтровой обработкой отраженного сигнала с обобщенным гетеродинированием. Эта схема внутренне когерентна и переносит весь дальнейший процесс обработки информации на низкую частоту сигнала биений.

Высокое угловое разрешение при использовании малогабаритных антенн достигается за счет синтеза апертуры.

Особенностью нашего решения является:

- синтез и визуализация объемных (3D) изображений;
- возможность применения произвольной топологии решетки положений антенн в пространстве (регулярная, случайная, плоская, объемная);
- свободный выбор координат синтезируемого объема и количества точек в нем.

Можно показать, что модель сигнала биений, соответствующая точке зондируемого пространства, имеет вид:

$$s(t) = U \cdot \cos\left(2\pi \frac{\Delta f}{T_m} \tau \cdot t + 2\pi f_0 \tau - \pi \Delta f \tau - \frac{2\pi \Delta f \tau^2}{T_m}\right),$$

где $\frac{\Delta f}{T_m}$ - крутизна закона модуляции, $\tau = R/C$ - задержка отраженного сигнала, U - амплитуда, определяемая коэффициентом отражения от точки в среде и трактом приемо-передатчика, Δf - девиация частоты, f_0 - центральная частота, T_m - период модуляции.

Следовательно, имеется частотная и фазовая зависимость сигнала от дальности, при этом начальная фаза зависит от длины волны зондирующего колебания, и сигнал биений может быть использован для голографического синтеза изображения.

Алгоритм обработки сигналов сводится к следующему:

1. Имеется набор K сигналов биений $\{s_k(t)\}$ для различных положений антенн приемо-передатчика $\{(x_k, y_k, z_k)\}$.

2. Вычисляем комплексные спектры сигналов биений с помощью дискретного варианта преобразования Фурье:

$$S_k(f) = \int_0^{T_m} s_k(t) \cdot e^{-j2\pi f t} dt$$

Учитывая, что $r = T_m \cdot C \cdot f / \Delta f$, получим набор $\{S_k(r)\}$.

3. Выполняем фазирование для всего набора $\{S_k(r)\}$:

$$S'_k(r) = S_k(r) \cdot e^{-j\varphi_0(r)},$$

где $\varphi_0(r) = 2\pi(f_0 - \frac{\Delta f}{2}) \cdot \frac{r}{C} + \eta(r)$, $\eta(r)$ - ФЧХ тракта.

4. Для всех координат требуемого объема (x, y, z) выполняем накопление:

$$I(x, y, z) = \left| \sum_K S'_k(r_k) \right|, \text{ где } r_k = 2\sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 + (z - z_k)^2}.$$

Особенностью алгоритма является возможность, как групповой обработки сигналов $\{s_k(t)\}$, так и последовательной, когда при появлении новой реализации сигнала $\{s_{k+1}(t)\}$ достраивается ранее созданное изображение.

Проведено моделирование алгоритма с целью проверки его работоспособности, а также для определения таких его характеристик, как влияние несущей частоты и девиации, количества положений антенн и топологии решётки, шума, нелинейностей передающего тракта и др. В качестве примера на рис. 1а показана аппаратная функция системы – реакция на точечный отражатель - при $f_0 = 2$ ГГц, $\Delta f = 1$ ГГц, $K=900$, синтезируемая апертура 1,5 на 1,5 м. Диаметр лепестка аппаратной функции, равный 5,5 см, характеризует поперечную разрешающую способность георадара. На рис.1б – изображение точечного отражателя за стеной.

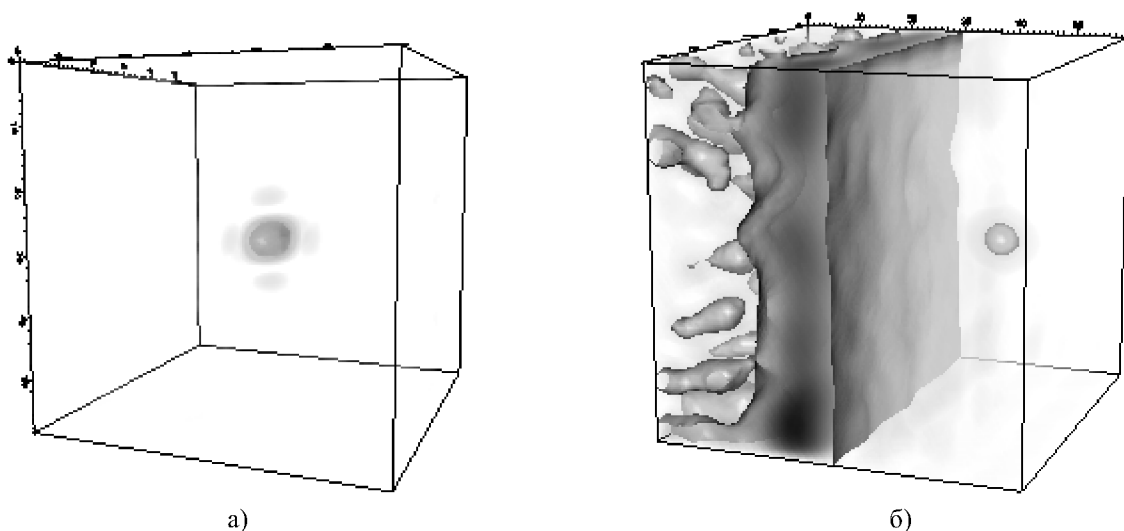


Рис. 1

В докладе приводятся результаты испытаний макета локатора при мониторинге строительных конструкций, а также радиочастотное изображение человека.

Литература

1. Вопросы подповерхностной радиолокации. / Под ред. А.Ю. Гринёва – М.: Радиотехника, 2005. 416 с.
2. Лейт Э. Квазиголографические методы в диапазоне СВЧ. - ТИИЭР, 1971, т.59, №9, с. 24-42.
3. Сафронов Г.С., Сафронова А.П. Введение в голографию. - М.: Советское Радио, 1973.
4. Пространственно – временная обработка сигналов. / Под ред. Л.Д. Бахраха, А.П. Курочкина – Л.: Наука, 1980.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР В ГЕОРАДАРАХ С НЕПРЕРЫВНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Ал.А. Калмыков, А.С. Куриленко

(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина, abyd@mail.ru)

MODELING OF IMAGES OF SUBSURFACE STRUCTURES IN GEORADAR WITH CONTINUOUS PULSE

Al.A. Kalmykov, A.S. Kurilenko

Подповерхностные радиолокаторы предназначены для мониторинга скрытых объектов в зданиях, автомобильных и железных дорог, в археологии и т.д. [1][2].

В докладе моделируются изображения, получаемые при работе подповерхностного радиолокатора с линейной частотной модуляцией зондирующего сигнала особенностью которого являются синтез и визуализация трёхмерных изображений, возможность применения произвольной топологии решётки положения антенн в пространстве и свободный выбор координат синтезируемого объёма.

При моделировании использовалась не полная физическая модель сигналов биений, а лишь охватывающая следующие из факторов:

- моделирование сигналов биений, полученных от набора точечных отражателей, зеркальных плоскостей и протяжённых одномерных отражателей, находящихся на произвольном удалении от приёмопередающих антенн локатора;