

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО-МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОНСТРУКТОРА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ КАРТ

Д.А. Жердев, Е.Ю. Минаев, В.А. Фурсов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) (СГАУ), Самара, Россия,  
Институт систем обработки изображений РАН, Самара, Россия

В работе приводится модель получения радиолокационного изображения трёхмерной модели сцены. Сцена представляет собой фасетную модель формируемую с помощью конструктора радиолокационных карт. При моделировании радиолокационного изображения используются модели диффузного и зеркального отражения от элементов сцены. В работе приведен результат моделирования радиолокационного изображения при помощи конструктора радиолокационных карт.

**Ключевые слова:** радиолокатор, трассировка лучей, обработка изображений

## Введение

Наблюдения, ведущиеся с летательных аппаратов, являются важным источником информации о земной поверхности и объектов находящейся на ней. Моделирование дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) выступает в роли полезного инструмента для понимания и интерпретации реальных данных. Результаты ДЗЗ находят широкое применение в задачах распознавания, классификации, конструирования трёхмерных моделей и т.д.

Конструктор радиолокационных карт представляет собой программно-моделирующий продукт состоящий из нескольких компонент: редактор карт, 3D визуализатор/редактор, генератор рельефа, общий интерфейс. Трёхмерные сцены после генерации хранятся в виде фасетной модели. На трехмерную сцену рельефа также можно поместить различные техногенные объекты.

Одними из важных критериев качества моделирования является время выполнения алгоритма моделирования и точность результата моделирования. В данной работе мы используем метод дающий результаты за малое время, но уступающий другим методам (физической оптики, дифракции, FDTD и т.д.) в точности. Тем не менее данный метод находит широкое применение для интерпретации радиолокационных изображений и в задачах распознавания [1,2].

В работе [3] авторами исследовалась проблема распознавания реальных радиолокационных изображений, а в работе [4], кроме того, рассматривалось моделирование радиолокационных изображений.

## Постановка задачи

Алгоритм моделирования радиолокационных изображений включает в себя последовательность этапов:

1. Трассировка лучей.
2. Расчет радиометрических характеристик (интенсивность отраженного света, формирование тени).
3. Формирование радиолокационного изображения (интерполяция, формирование спекл-шума).

Для реализации выбранного метода моделирования использовался алгоритм трассировки лучей Embree [5]. В программе представлено простое и качественное API для разработки алгоритмов трассировки лучей. Файлы 3D моделей .obj, формируемые в результате генерации рельефа, могут быть легко загружены в структуру программы, используя стандартное API. Программа трассировки лучей написана на языке программирования C++.

Рассмотрим модель бокового обзора радиолокатора с точки зрения геометрической оптики. Аналогичные модели представлены в статьях [1,2,6,7,8]. Такая модель не включает в себя генерацию синтезированной апертуры, но тем не менее является хорошим ее приближением. На рисунке 1 представлена плоскость наблюдения летательным аппаратом рельефа поверхности и объекта на нем, координата азимута фиксирована. Лучи последовательно трассируются из положения радара  $(-h \cdot \tan(\theta_{\min}); N \delta_a; h)$  с некоторым угловым шагом  $\Delta\theta$  в направлении рельефа, где  $h$  высота датчика,  $N$  текущее дискретное положение датчика по азимуту и  $\delta_a$  разрешение по азимуту. После того как все лучи в плоскости YZ трассированы и получена отражательная способность рельефа из точек падения лучей в направлении к радару, то аппарат с радаром перемещается в новое положение по азимуту.

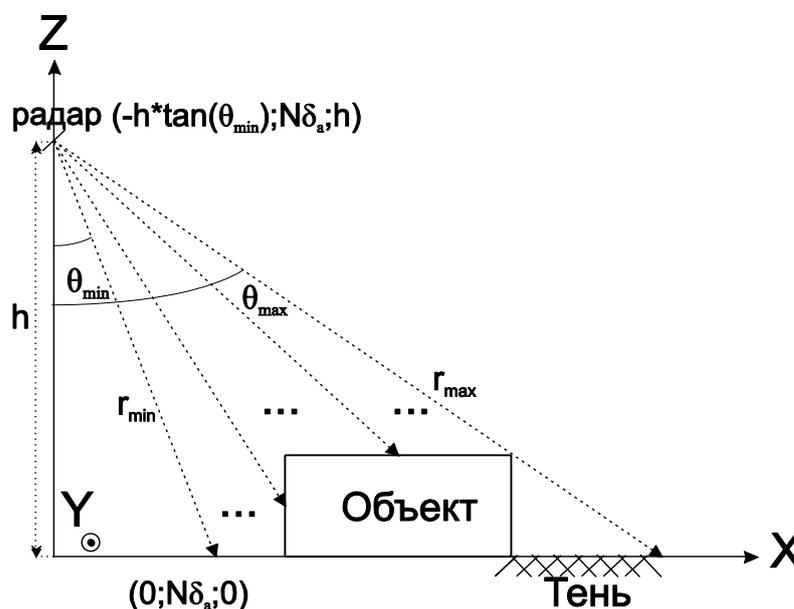


Рис. 1. Боковой обзор радиолокатором

Интенсивность отражения лучей от рельефа и объектов сцены рассчитывается согласно модели диффузного и зеркального отражения. Интенсивность диффузного отражения получается путем вычисления выражения:

$$I = d \langle \vec{n} \cdot \vec{r} \rangle,$$

где  $d$  диффузный коэффициент отражения,  $\vec{n}$  нормированный вектор facetsа и  $\vec{r}$  направление падающего луча. Интенсивность зеркального отражения:

$$I = s \langle \vec{n} \cdot \vec{h} \rangle^p,$$

где  $s$  представляет коэффициент отражения facetsом, это  $\vec{n}$  нормированный вектор facetsа,  $\vec{h}$  вектор между вектором, указывающим направление к датчику и направлением вектора отраженного луча.

Так как построение радиолокационного изображения производится в плоскости земной поверхности XY необходимо произвести интерполяцию нерегулярной сетки интенсивности отраженного поля. Таким образом радиолокационное изображение представляет собой поле рассеяния рельефом относительно координат дальности X и азимута Y.

### Проведение эксперимента

На рисунке 2 изображена последовательность работы с конструктором радиолокационных карт. Этапы в прямоугольниках с пунктирным абрисом можно пропускать. Например, если уже есть готовый рельеф (карта высот) или нет необходимости размещать объекты.

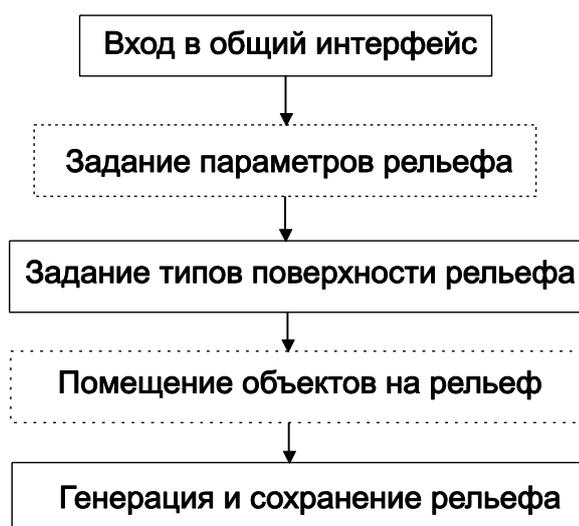


Рис. 2. Схема работы с конструктором радиолокационных карт

При задании типов поверхности предлагается нарисовать карту, где различные цвета соответствуют различным типам поверхности. Кроме того, имеется возможность загружать уже готовые карты поверхности как растровых (png, jpeg и т.д.) так и векторных форматов (osm, sxf). В конструктор радиолокационных карт входят программы 3D визуализации полученных сцен: ogre 3D [9], OpenSceneGraph [10].

Далее продемонстрируем возможность моделирования радиолокационных изображений указанным методом. В конструкторе радиолокационных карт была создана 3D сцена, на которую помещен танк. Смоделированное изображение с наложенным спекл-шумом приведено на рисунке 3. При моделировании спекл-шума используется распределение

Релея [11]. Поскольку рельеф состоит из холмистой местности мы видим многочисленные тени на радиолокационном изображении. Моделирование перемещения летательного аппарата осуществлялось слева. В верхней левой части изображения можно различить образ танка с его радиолокационной тенью.



Рис. 3. Смоделированное изображение с наложенным спекл-шумом

### Заключение

В работе мы привели результаты работы указанного метода моделирования радиолокационных изображений. Данный метод быстро работает с большими и детализированными сценами. Метод основан на моделях диффузного и зеркального рассеяния. Разрабатываемый конструктор радиолокационных карт является удобным инструментом создания 3D моделей местности для последующего моделирования радиолокационных изображений.

В дальнейшем мы будем совершенствовать метод моделирования радиолокационных изображений. В следующих работах мы собираемся осуществить моделирование изображений с синтезированной апертурой радиолокатора.

## Благодарности

Авторы выражают благодарность всем участникам работы над проектом конструктора радиолокационных карт. В частности, Мухачев Б.П., Шанин И.И. (РФЯЦ-ВНИИЭФ), Никоноров А.В. (СГАУ) руководство над проектом, полезные обсуждения хода работ; Гошин Е.В. (СГАУ) разработка генератора рельефа; Петров М.В. (СГАУ) разработка общего интерфейса, сборка и модификация 3D визуализатора.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ и гранта РФФИ №16-00729.

## Литература

1. Tang K. A geometrical-based simulator for target recognition in high-resolution SAR images / K. Tang, X. Sun, H. Sun, H. Wang // *Proceedings of IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. – 2012. – Vol. 9. – P. 958–962.
2. Tang K. A knowledge-based 3-D building reconstruction from single very high resolution SAR images / K. Tang, K. Chen, L. Wang, W. Xiong, M. Jiang, W. Wang // *Proceedings of IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. – 2012. – P. 3604–3607.
3. Жердев Д. А. Распознавание объектов на радиолокационных изображениях с использованием показателей сопряжённости и опорных подпространств / Д.А. Жердев, Н.Л. Казанский, В.А. Фурсов // *Компьютерная оптика*. – 2015. – Т. 39(2). – С. 255-264.
4. Zherdev D.A. Support plane method applied to ground objects recognition using modelled SAR images / D.A. Zherdev, V.A. Fursov // *Proceedings of SPIE 9599, Applications of Digital Image Processing XXXVIII*. – 2015. – P. 95992J-95992J-7.
5. Embree. High Performance Ray Tracing Kernel [электронный ресурс]. – URL: <http://embree.github.io/index.html> (дата обращения 07.04.2016).
6. Auer S. Ray-tracing simulation techniques for understanding high-resolution SAR images / S. Auer, S. Hinz, R. Bamler // *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. – 2010. – Vol. 48(3). – P. 1445-1456.
7. Brunner D. Radar imaging simulation for urban structures / D. Brunner, G. Lemoine, G. Greidanus, L. Bruzzone // *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. – 2011. – V.8(1). – P. 68-72.
8. Tang K. Radar image simulation of complex targets / K. Tang, Y. Zhang, H. Chen, W. Xiong, H. Wang // *IEEE CIE International Conference 2*. – 2011. – P. 1319-1322.
9. OGRE 3D [электронный ресурс]. – URL: <http://www.ogre3d.org/> (дата обращения 07.04.2016).
10. Open Scene Graph [электронный ресурс]. – URL: <http://www.openscenegraph.org/> (дата обращения 07.04.2016).
11. Bolter R. SAR speckle simulation / R. Bolter, M. Gelautz, F. Leberl, // *International archives of photogrammetry and remote sensing*. – 1996. – V. 31. – P. 20-25.