

Построение трехмерных моделей подстилающей поверхности для задач дистанционного зондирования земли

В.И. Безродный^а, А.Н. Леухин^а, В.А. Карпов^а, А.Н. Иванов^а

^а ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», 424000, пл. Ленина 1, Йошкар-Ола, Россия

Аннотация

В статье представлен алгоритм формирования радиолокационного изображения на основе имитационной трехмерной факетной модели подстилающей поверхности.

Ключевые слова: факетная модель; дистанционное зондирование земли; подстилающая поверхность; радиолокационное изображение

1. Введение

Согласно феноменологическому подходу построения модели [1] протяженный радиолокационный объект или подстилающую поверхность можно представить в виде набора дискретных отражателей – факетов. Тогда сигнал на входе приемной антенны равен сумме сигналов, отраженных от всех видимых, как правило, статистически независимых факетов [2]. Этот принцип позволяет заменить сложные пространственно-электрические характеристики реальных поверхностей на обобщенную характеристику — эффективную поверхность рассеяния, заданную для фиксированных поляризации, длины волны и угла облучения, зависящую от типа подстилающей поверхности, - диаграмму обратного рассеивания (ДОР).

В данной работе рассмотрим математические трехмерные факетные модели подстилающей поверхности для задач дистанционного зондирования земли и алгоритм формирования радиолокационных изображений, основанный на такой модели.

2. Факетная модель

Исходные данные, используемые для построения трехмерной факетной модели подстилающей поверхности для моделирования процесса дистанционного зондирования Земли:

- 1) точно заданный рельеф поверхности, размеры которого не менее размеров «пятна» облучения;
- 2) коэффициенты отражения элементов поверхности для учета рассеивающих свойств поверхности;
- 3) точно заданная форма объектов, расположенных на подстилающей поверхности. Для движущихся объектов указываются координаты и ориентация в каждый момент излучения антенны.

Отражающую способность подстилающей поверхности характеризуют коэффициентом рассеяния, который представляет собой удельную эффективную площадь рассеяния (ЭПР) – отношение ЭПР элемента разрешения на местности к значению его геометрической площади:

$$\sigma^0 = \frac{\sigma}{S}, \quad (1)$$

где σ - значение ЭПР элемента разрешения, S - площадь поверхности элемента разрешения.

Обычно удельную ЭПР выражают в децибелах:

$$\sigma^0 = 10 \cdot \lg \sigma^0. \quad (2)$$

Для учета случайного характера подстилающей поверхности сигнал, отраженный факетом при узкополосном зондирующем сигнале, полагается случайным процессом, повторяющим по форме зондирующий сигнал, но со случайной амплитудой, распределенной по рэлеевскому закону, и фазой, распределенной по равномерному закону.

На рисунке 1 приведен вариант факетной модели с простой геометрией: подстилающая поверхность представлена в виде набора факетов – точек, летательный аппарат (ЛА) располагается на оси Y на высоте H , антенна имеет заданную форму диаграммы направленности (ДНА). Подстилающая поверхность равномерно заполняется факетами по описанному далее алгоритму, а их число на m^2 определяется разрешающей способностью зондирующего сигнала, точностью моделирования. Отражение от каждого факета происходит как от точечного отражателя. Сигнал, отраженный от поверхности, представляет собой сумму отдельных составляющих, отраженных от каждого факета.

Радиолокационная тень моделируется с помощью функций Nvidia Optix [3]. Из антенны формируются лучи к каждому факету в диаграмме направленности антенны, и, если луч прерывается другим объектом, то отраженный сигнал от такого факета не будет учитываться при расчете группового отраженного сигнала от облученного пятна.

Моделирование нескольких последовательных отражений от элементов поверхности также нецелесообразно ввиду вычислительной и методической сложности, а уровень таких отражений пренебрежимо мал на всех типах поверхностей, кроме городской застройки.

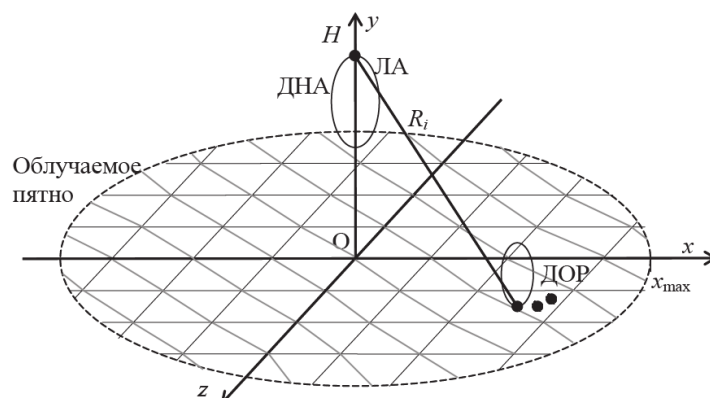


Рис. 1. Пример формирования фацетной модели.

3. Построение имитационной модели

Алгоритм формирования фацетов на имитационной модели:

- 1) загрузка точно заданного рельефа поверхности - точек подстилающей поверхности и параметров моделирования;
- 2) триангуляция подстилающей поверхности. Например, алгоритмом Делоне. В случае использования Nvidia Optix при загрузке подстилающей поверхности из .obj файла, триангуляция происходит автоматически;
- 3) каждый треугольник равномерно заполняется фацетами по алгоритму, описанному в работе [4] или по алгоритму, описанному в этой работе. Выбор алгоритма зависит от текущих задач моделирования;
- 4) для каждого фацета задается его удельная эффективная площадь рассеяния для поляризаций VV, VH, HH, HV, являющиеся исходными параметрами модели;
- 5) в каждый момент излучения антенны обновляются координаты и ориентация подвижных объектов подстилающей поверхности.

Алгоритм распределения фацетов по треугольнику. Пусть дан треугольник с вершинами A, B, C . На треугольник накладывается сетка, размеры ячейки которой определяются параметрами моделирования. Линии сетки параллельны двум сторонам треугольника. Все ячейки, лежащие внутри треугольника, определяются как фацеты. Во избежание явления интерференции и ситуации, когда вся линия фацетов оказывается в одном кольце дальности, вводится дополнительный шум координат фацета, распределенный по равномерному закону с математическим ожиданием равным половине размера ячейки сетки. Для уменьшения ошибок по фазе при синтезе радиолокационного изображения, необходимо шум сгенерировать заранее и в каждый момент излучения антенны смещать фацет одинаково. Сложность алгоритма связана с размером ячейки сетки обратной квадратической зависимостью.

На рисунке 2 представлено распределение фацетов в треугольнике $A = (30;10;20), B = (10;20;30), C = (20;15;21)$, $N = 10000$ размер сетки $d = 0.1$.

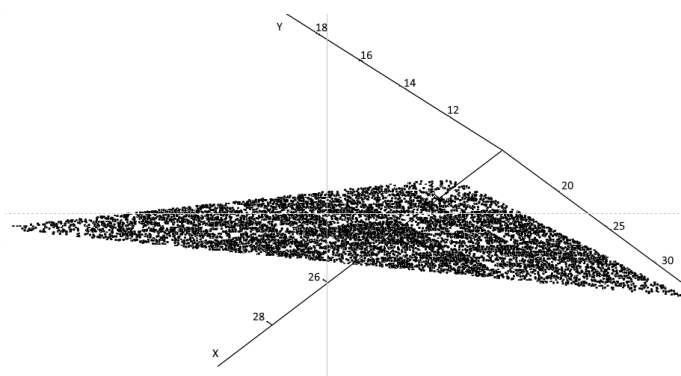


Рис. 2. Распределение фацетов в модели.

4. Результаты моделирования

Параметры имитационной модели:

- Высота полета: 5 км;
- Траектория полета: прямолинейная (точки траектории полета летательного аппарата по направлению движения берутся с постоянным интервалом 15 см);
- Разрешение: 30 см;

- Ширина диаграммы направленности:
 - по азимуту: 3.25° ;
 - по дальности: 4° ;
- Угол сканирования: 45° ;
- Модуляция: фазовая (многофазный код с уровнем боковых лепестков импульсной автокорреляционной функции -50 дБ);
- База сигнала: 1024;
- Несущая частота: 10 ГГц;
- Ширина спектра: 600 МГц;
- Поляризация: VV.

На рисунках 3 и 4 представлены имитационная 3D модель подстилающей поверхности (вид сверху) и синтезированное по 3D модели радиолокационное изображение, соответственно. На данной модели представлены следующие материалы: спокойная водная поверхность, низкорослая травянистая растительность, деревья, камень. Каждому материалу соответствует свой цвет. Эффективные площади рассеяния для этих поверхностей представлены в работе [5]. Радиолокационное изображение синтезировалось с помощью алгоритма миграции дальности.



Рис. 3. Имитационная модель.

5. Заключение

Преимущества данной модели являются простота построения и достаточная близость синтезированного радиолокационного изображения с имитационной моделью. Однако из-за большого числа facets модель является вычислительно сложной в связи с большим числом точек, и на больших моделях подстилающей поверхности ($>3\text{ км}$) необходимо вводить дополнительные ограничения (ускорения): использование CUDA, параллелизм CPU, отсечение треугольников, лежащих вне ДНА.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке программного обеспечения комплексов полунатурного моделирования радиолокационных систем.

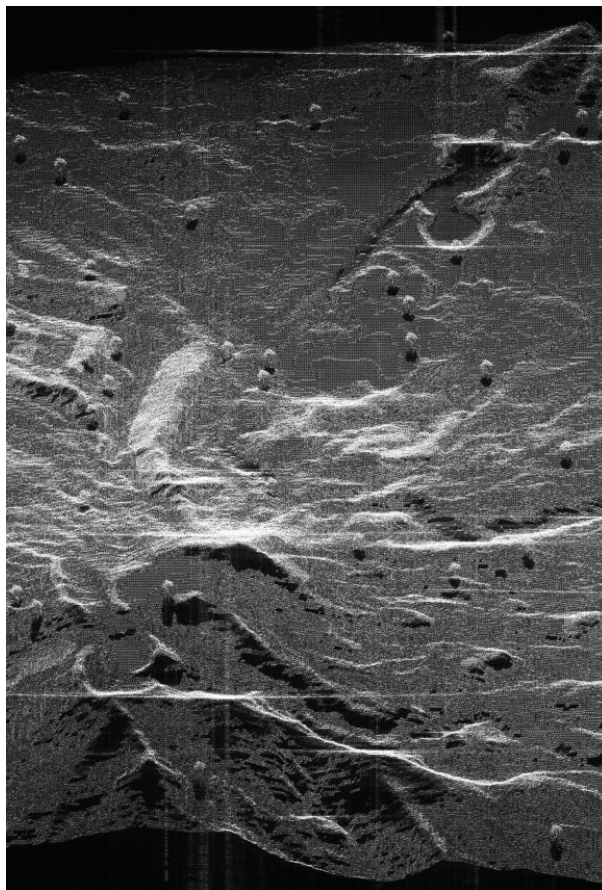


Рис. 4. Радиолокационное изображение имитационной модели.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках государственных контрактов №02.G25.31.0204, №2.9140.2017/БЧ, №2.2226.2017/ПЧ и гранта РФФИ №15-07-99514а.

Литература

- [1] Зубкович, С.Г. Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности / С.Г. Зубкович - М.: Сов.радио, 1968. - 224с
- [2] Жуковский, А. П. Рассеяние электромагнитных волн земной поверхностью : учеб. пособие / А. П. Жуковский. — М. : Изд-во МАИ, 1991. — 80 с.
- [3] Программный ускоряющий движок NVIDIA® OptiX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nvidia.ru/object/optix_ru.html (06.02.2017).
- [4] Роженцов, А.А. Оценка параметров и распознавание изображений трехмерных объектов с неупорядоченными отсчетами / А.А. Роженцов, А.А. Баев, А.С. Наумов // Автометрия. – Т.46. – Новосибирск, 2010. – № 1. – С. 57–69.
- [5] Katz, I. Polarization and Depression-Angle Dependence of Radar Terrain Return / I. Katz and L.V. Spetner // Journal of Research of the National Bureau of Standards – 1960 - Vol. 64. - P 483 – 486.