

Алгоритмы моделирования радиоголограмм для РСА на основе ФКМ сигналов

М. С. Смирнов

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

smirnov.murom@xmail.ru

К. К. Храмов

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

hramovkk@gmail.com

Аннотация. Для радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны на основе космических аппаратов важной проблемой является получение моделей радиоголограмм. В работе рассматриваются реализации алгоритмов моделирования радиоголограмм для радиолокаторов с синтезированной апертурой. В качестве опорных сигналов, рассматриваются ансамбли фазокодоманипулированных сигналов, построенных на основе кодов Голда и кодов Касами.

Ключевые слова: радиоголограммы; ФКМ; РСА; коды Голда; коды Касами

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В процессе разработки алгоритмов обработки и анализа радиолокационных изображений важную роль играет наличие исходных комплексных отсчетов сигнала, получаемого в процессе радиолокационного наблюдения объектов (радиоголограммы), полученных с радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) космического базирования. Отсутствие большого количества реальных спутниковых РСА сильно усложняет задачу получения радиоголограмм с различной подстилающей поверхностью и подвижными объектами.

В данной работе описывается методика синтеза радиоголограммы с возможностью выбора при синтезе геометрии обзора и режимов работы радиолокатора; формирования сцен с различным типом подстилающей поверхности; выбора отражательных характеристик объектов и подстилающей поверхности моделируемой радиолокационной сцены; синтеза радиоголограмм с различным пространственным разрешением. В качестве базовых сигналов используются фазокодоманипулированные сигналы, построенные на основе кодов Голда и кодов Касами.

II. МЕТОДИКА СИНТЕЗА РАДИОГОЛОГРАММЫ

Для синтеза радиоголограммы предварительно необходимо создать проект модели с заданием входных параметров спутника, подстилающей поверхности, а также неподвижных и движущихся целей.

Все варианты выделения целей могут проходить в следующих сценариях подстилающей поверхности: морская поверхность; береговая линия; лесной массив; степь; железнодорожное полотно; взлетно-посадочная полоса; пустыня.

Для построения радиоголограммы в процессе разработки были определены следующие классы целей: колесный легковой транспорт; колесный грузовой транспорт; гусеничная тяжелая техника железнодорожный транспорт; малые морские суда; средние морские суда; крупные морские суда.

Перед процессом формирования радиоголограммы необходимо сформировать массив подстилающей поверхности с учетом находящихся на ней целей.

Формирование значений массива подстилающей поверхности происходит по следующему алгоритму:

1. Вычисляется элементарная площадь покрытия согласно формуле: $S = R_{az} \times R_{уг}$ где R_{az} – разрешающая способность в азимутальной плоскости, $R_{уг}$ – разрешающая способность в угломестной плоскости.

2. Вычисленное значение площади умножается на значение удельной эффективной площади рассеяния для различных типов подстилающей поверхности, согласно таблице, приведенной в [1]. При этом для каждого типа подстилающей поверхности учитывается длина волны, угол падения волны и тип поляризации.

3. Полученное значение умножается на коэффициент эллиптичности луча антенны, равное 0,72.

4. Для добавления шума с вычисленное значение домножается на значение случайной величины, имеющей рэлеевское распределение вероятности.

При формировании отражающих поверхностей целей необходимо учитывать размер цели и ракурс наблюдения. Размер цели задается ее классом, ракурс цели определяется положением космического аппарата относительно цели. Поскольку цель является трехмерной, то при формировании значений отражающей поверхности строится проекция цели на двумерную карту. Проекция цели строится исходя из высоты космического аппарата и угла наблюдения. Угол наблюдения рассчитывается исходя из координат непосредственно самого космического аппарата и координат центра съемки.

Следующим этапом являются расчеты геометрических параметров съемки, таких как расчет наклонной дальности, орбитальной скорости космического аппарата, времени синтеза кадра и угла падения электромагнитной волны на центр объекта съемки, а также и временных параметров съемки таких как расчет длительности периода зондирования, а также числа импульсов до начала обработки. Методика расчет

временных и геометрических параметров съемки подробно описана в [2].

Также в качестве исходных данных необходимо использовать координаты всех точек поверхности (x_i, y_i) , имеющих отражательную способность. Определение значения точек подстилающей поверхности с неподвижными и подвижными целями подробно описано в [3]. Исходя из координат, рассчитываются дальность и азимут до отдельной точки (X_i, Y_i) . Затем рассчитывается количество спектральных отсчетов по азимуту и дальности. Размер опорной функции по азимуту ($N_{\text{хоп}}$) определяется как отношение размера азимутальной зоны к шагу движения по азимутальной координате, размер опорной функции по дальности ($N_{Y_{\text{оп}}}$) численно равен значению числа отсчетов в импульсе после дискретизации.

При формировании модели траекторного сигнала необходимо учитывать сумму сигналов от всех точек поверхности. Первым шагом является формирование отсчетов диаграммы направленности антенны при указании на каждую конкретную точку поверхности.

Вторым шагом является формирование отсчетов времени задержки сигнала до цели по наклонной дальности.

Третьим шагом является накопление действительных и мнимых отсчетов сигнала, отраженного от поверхности.

III. ВЫБОР СИГНАЛОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОГОЛОГРАММ

При выборе сигналов для реализации РСА космического базирования необходимо решать задачи по увеличению разрешающей способности по дальности с одновременным снижением пиковой мощности передатчика привело к созданию технологий расширения спектра зондирующего сигнала за счет использования внутримпульсной модуляции – частотной или фазовой. Традиционным вариантом является использование ЛЧМ сигнала, при этом одноканальный приемник ЛЧМ сигнала может обеспечить перекрытие широкого диапазона доплеровских частот целей. Однако ФКМ-сигнал обладает преимуществами, над ЛЧМ-модуляцией, в условиях воздействия пассивных помех из-за того, что данный сигнал обладает функцией неопределенности кнопочного типа.

В настоящее время при синтезе ФКМ сигналов основное внимание уделяется не столько разработке методов синтеза, сколько отысканию конкретных сигналов, обладающих, если не оптимальными, то, по крайней мере, удовлетворительными свойствами и в первую очередь малыми остатками. Путем подбора были найдены оптимальные последовательности, которые называются кодами Баркера. Для последовательности длиной 13 отсчетов уровень боковых лепестков составляет $-22,3$ дБ. Коды Баркера были бы идеальными кодами при использовании их в РЛС со сжатием импульсов, если бы можно было получить такие коды большей длины. В РЛС со сжатием импульсов, в которой используются упомянутые коды, максимально достижимый коэффициент сжатия не превышает 13.

Для получения кодов с длительностью большей чем 13 используются, например, М-последовательности или нуль-последовательности максимального периода.

На сегодняшний день известно большое количество цифровых последовательностей различных классов [4]. В системах расширения спектра одной из основных задач является выделение полезного сигнала из потока данных, получаемых приемником. Отсюда следуют повышенные требования к взаимнокорреляционным свойствам используемых кодов. Величина корреляции всех последовательностей в кодовом ансамбле и количество используемых последовательностей определяют максимальное количество абонентов для данной системы.

Первая из рассматриваемых последовательностей подобного типа – это последовательности Голда. Метод Голда для двоичных последовательностей состоит в следующем. По определенному правилу выбирается пара М-последовательностей одинакового периода N и на их основе формируется ансамбль М-последовательностей, который включает в себя пару М-последовательностей и p^k-1 последовательностей, полученных путем суммирования первой выбранной последовательности и циклически сдвинутой второй последовательностью от 0 до p^k-1 дискрета. В результате получается ансамбль, состоящий из p^k+1 М-последовательностей, обладающих малым значением ВКФ.

На рис. 1. приведена ВКФ пары М-последовательности, полученных на основе кодов Голда.

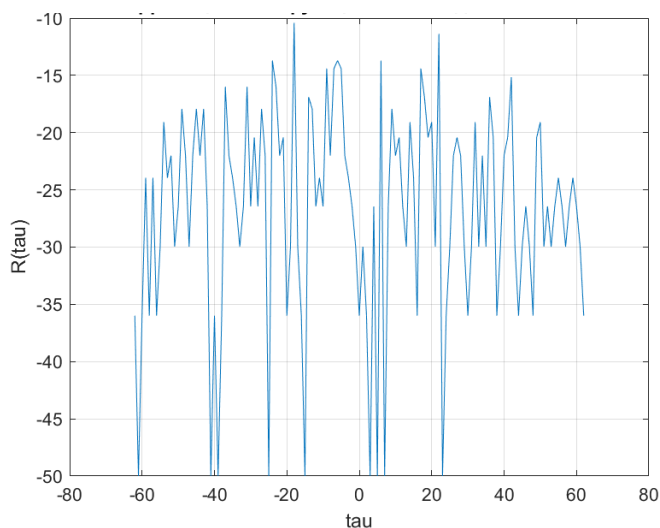


Рис. 1. ВКФ пары М-последовательностей, полученных по методу Голда

Из рис. 1 видно, что уровень ВКФ не выше $-10,41$ дБ, при этом АКФ полученной последовательности соответствует АКФ М-последовательности для $k = 6$, уровень боковых лепестков равен $-11,9$ дБ, интегральный уровень бокового лепестка равен $-1,64$ дБ.

Второй подобный ансамбль последовательностей – это последовательности Касами. Алгоритм формирования последовательностей Касами близок к алгоритму формированию последовательностей Голда. В [5] показано, что если существует М-последовательность $a(n)$ длиной $N=p^k-1$, где k – четное, и последовательность $b(n)$ длиной $K=p^{(k/2)}-1$, дополненная до N путем копирования элементов, то все последовательности,

полученные путем поэлементного умножения последовательности $a(n)$ и сдвинутых последовательностей $b(n-j)$, образуют малую систему последовательностей Касами.

Для получения большой системы сигналов Касами необходимо использовать пару М-последовательностей $a_1(n)$ и $a_2(n)$ длиной $N=p^k-1$ и последовательность $b(n)$ длиной $K=p^{(k/2)}-1$, дополненную до N путем копирования элементов. Для получения большой системы необходимо найти все последовательности, получаемые путем посимвольного перемножения последовательности $a_1(n)$ со сдвинутыми последовательностями $a_2(n-l)$, и $b(n-j)$. Общий объем большой системы сигналов Касами составляет около N^{32} .

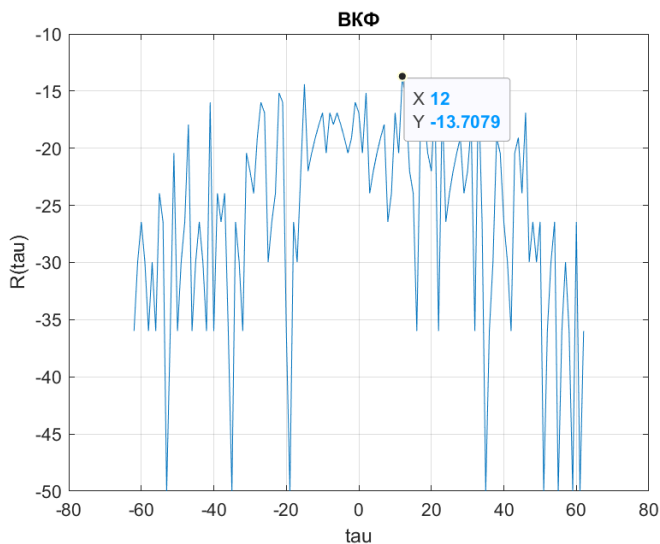


Рис. 2. ВКФ пары М-последовательностей, полученных по методу Голда

На рис. 2 приведена ВКФ полученной последовательности и последовательности $a(n)$. Видно, что максимум УБЛ составил $-15,1$ дБ, что более чем на три децибела меньше, чем у последовательности, полученной по методу Голда, интегральный УБЛ составил $-2,4$ дБ. Максимум ВКФ у полученных последовательностей тоже существенно ниже, чем у последовательностей, полученных по методу Голда. Максимум ВКФ в этом случае составил $-13,7$ дБ, в то время как у последовательностей Голда он получился $-10,41$ дБ.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный метод формирования радиоголограмм позволяет сформировать набор «снимков» с различной подстилающей поверхностью и различным набором движущихся целей, не используя для этого реальные космические аппараты.

Рассмотренные циклические последовательности позволяют говорить о возможности применения ФКМ-сигналов, имеющих малый уровень боковых лепестков АКФ и ВКФ между разными последовательностями в ансамбле. Ограничений на максимальную длину для всех рассмотренных подходов нет. Каждый подход к формированию системы сигналов обеспечивает свой ряд длин, входящих в него бинарных последовательностей.

Максимальным объемом получающего ансамбля сигналов обладают последовательности Касами, построенные по второй схеме и последовательности Голда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под ред. В.С. Вербы. М.: Радиотехника, 2010. 676 с.
- [2] Храмов К.К., Костров В.В., Смирнов М.С. Расчет геометрических параметров радиолокационной съемки с помощью РСА космического базирования для программного комплекса формирования радиоголограммы // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции [Электронный ресурс]. Муром, 7 февр. 2020 г. Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2020. С.89-90.
- [3] М.С. Смирнов, В.В. Костров, В.А. Пальманов Разработка программного комплекса для моделирования радиоголограмм от радиолокаторов с синтезированной апертурой. Всероссийские открытые Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн / Материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2020. 484 с.
- [4] Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. / Пер. с англ. под ред. В.С. Кельзона. М.: Сов. радио, 1971. 568 с.
- [5] Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.