Перечень сокращений

|  |  |
| --- | --- |
| БРЛС | - бортовая радиолокационная станция |
| ДНА | - диаграмма направленности антенны |
| ЗС | - зондирующий сигнал |
| ЗМ | - закон модуляции |
| ЛА | - летательный аппарат |
| ПБО | - переднебоковой обзор |
| ПП | - подстилающая поверхность |
| РЛИ | - радиолокационное изображение |
| СА | - синтезированная апертура антенны |
| ТО | - телескопический обзор |
| ТТХ | - тактико-технические характеристики |
| ФЦА | - фазовый центр антенны |
| ЭПР | - эффективная поверхность рассеивания |

## Алгоритм формирования дезинформирующих помех в режиме «воздух-поверхность»

Алгоритм формирования дезинформирующих помех в режиме «воздух-поверхность» рассчитывает имитирующие помехи ретрансляционного типа для каналов азимута и дальности приемника БРЛС при воздействии по главному лепестку ДНА. В качестве модуляции ретранслируемого сигнала для формирования помехи используется фазовая периодическая манипуляция 1/-1 или псевдослучайная манипуляция. Также в алгоритме учитывается возможность изменения параметров модуляции ретранслируемого сигнала для управления положением ложных целей на радиолокационном изображении.

### Предустановленные параметры

При моделировании отсчетов принятого сигнала, используются предустановленные параметры, обусловленные характеристиками БРЛС, видом обзора земной поверхности, а также характеристиками конкретного типа цели. Перечень используемых параметров представлен в таблице 1.1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица | | 1.1 | – Предустановленные параметры моделирования | | | | |
| **№** | **Обозначение** | | | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** |
| 1 |  | | | м | 0,0,6000 | Прямоугольные координаты ФЦА БРЛС в момент времени синтезирования |
| 2 |  | | | м | 0, 0, 0 | Координаты центра участка картографирования |
| 3 |  | | | град | 3.0 | Ширина ДНА по азимуту |
| 4 |  | | | град | 3.0 | Ширина ДНА по углу места |
| 5 |  | | | м/с | 350 | Скорость движения носителя БРЛС |
| 6 |  | | | кВт | 10 | Импульсная мощность зондирующего сигнала |
| 7 |  | | | м/c | 3e8 | Скорость распространения ЭМВ |
| 8 |  | | | мкс | 100 | Длительность зондирующего импульса |
| 9 |  | | | МГц | 150 | Ширина спектра зондирующего сигнала |
| 10 |  | | | мс | 3 | Период повторения импульсов |
| 11 |  | | | м | 0.03 | Длина волны зондирующего сигнала |
| 12 |  | | | м | 1.0 | Разрешение по дальности/азимуту |
| 13 |  | | | м | 0, 0, 0 | Координаты постановщика помех |
| 14 |  | | | дБ | 60 | Коэффициент усиления тракта ретрансляции |
| 15 |  | | | Вт | 10 | Выходная мощность передатчика постановщика помех |
| 16 |  | | |  | 0 | Тип модуляции сигнала для канала дальности (0 – периодическая 1/-1; 1 – периодическая псевдослучайная) |
| 17 |  | | |  | 0 | Тип модуляции сигнала для канала азимут (0 – периодическая 1/-1; 1 – периодическая псевдослучайная) |
| 18 |  | | | мкс | 1 | Длительность элементарной посылки закона модуляции фазы для канала дальности |
| 19 |  | | | мкс | 100 | Длительность элементарной посылки закона модуляции фазы для канала азимут |
| 20 |  | | |  | 7 | Основание М-последовательности для периодической псевдослучайной модуляции фазы |

### Параметры, поступающие на вход алгоритма в процессе моделирования

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица | | | 1.2 | – Параметры, поступающие на вход алгоритма в процессе моделирования для *k*-ого зондирования | | | | |
| **№** | **Обозначение** | | | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** | **Откуда поступает** | |
| 1 |  | | | м | Соответствуют текущему пространственному положению БРЛС | Текущее положение БРЛС |  | |

### Выходные параметры алгоритма

Выходные данные алгоритма приведены в таблице 1.3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица | | | 1.3 | – Выходные данные алгоритма | | | | |
| **№** | **Обозначение** | | | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** | **Куда поступает** | |
| 1 |  | | | усл. ед. | Зависит от исходных условий | Реальная квадратурная составляющая сигнала | В алгоритм формирования принятого сигнала | |
| 2 |  | | | усл. ед. | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратурная составляющая сигнала | В алгоритм формирования принятого сигнала | |

### Описание последовательности выполнения алгоритма

Блок схема алгоритма формирования отраженного от участка картографирования сигнала представлена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 ‑ Схема алгоритма формирования отраженного сигнала

Последовательность выполнения алгоритма формирования отраженного сигнала.

Этапы, выполняемые однократно.

1. Чтение данных
2. Расчет наклонной дальности центра участка картографирования

 (1.1)

1. Расчет протяженности участка картографирования по дальности

 (1.2)

1. Расчет времени начала и окончания приема сигнала, отраженного от участка картографирования

 (1.3)

1. Расчет шага временной развертки по дальности

 (1.4)

1. Расчет временного интервала, соответствующего протяжённости по дальности, в пределы которой попадают импульсы, отраженные от любой точки участка картографирования

 (1.5)

1. Расчет энергетического коэффициентов усиления ДНА БРЛС

 (1.6)

 (1.7)

Этапы, выполняемые каждый период повторения.

1. Чтение данных

‑ координаты текущего положения БРЛС для *k*-го периода повторения   
();

1. Расчет значения ДНА для центра участка картографирования

 (1.8)

1. Расчет текущей дальности для пространственного элемента, в котором находится фазовый центр антенной системы постановщика помех

 (1.9)

1. Расчет комплексного значения сигнала на частоте Доплера

 (1.10)

1. Расчет амплитудного множителя помехового сигнала

‑ плотность потока мощности на фланце приемной антенны постановщика помех:



‑ мощность сигнала на фланце приемной антенны постановщика помех



где  ‑ коэффициент усиления приемной антенны постановщика помех.

‑ мощность сигнала на выходе тракта ретрансляции



‑ мощность сигнала на фланце приемной антенны БРЛС



где  ‑ коэффициент усиления передающей антенны постановщика помех.

‑ амплитудный множитель

 (1.11)

1. Расчет закона модуляции ЗС в *k*-ом зондировании

Временная развертка по дальности, смещенная в отрицательную область

 (1.12)

ЛЧМ импульс, преобразованный на видеочастоту

 (1.13)

 (1.14)

На рисунке 1.2 показан алгоритм моделирования положения импульса на временной развертке по дальности в *k*-ом зондировании.



Рисунок 1.2 ‑ Моделирование временного положения отраженного импульса на развертке по дальности: а) общая временная развертка по дальности; б) развертка, смещенная на  в отрицательную область; в) результат наложения смещенной временной развертки

Время задержки импульса, отраженного от элемента, в котором расположен постановщик помех, в *k*-ом зондировании составляет . На это значение временная развертка  смещается в отрицательную область и обозначается . На смещенной развертке с учетом условия  определяется положение импульса. Далее смещенная развертка с определенным положением импульса накладывается на общую временную развертку, тогда начало отраженного импульса соответствует времени задержки .

1. Расчет закона фазовой манипуляции для формирования помехового сигнала каналу дальности

Принцип формирования закона фазовой манипуляции отображает рисунок 1.3.



Рисунок 1.3 ‑ Формирование помеховой модуляции при периодической манипуляции фазы периодически 0 / π и по закону М-последовательности

Манипуляция фазой осуществляется только внутри периода входного сигнала. Период коммутации и закон коммутации считываются из входного интерфейса. Аналитическое выражение, характеризующее закон фазовой модуляции имеет вид:

 (1.15)

где  ‑ закон модуляции в виде 1/-1 для периодической коммутации фазы или псевдослучайный набор 1,-1 по закону М-последовательности;  ‑ число дискрет закона модуляции ().

Закон фазовой модуляции для формирования помехи каналу дальности является вектором, протяженность которого соответствует длительности временной развертке в каждом периоде повторения.

1. Расчет закона фазовой манипуляции для формирования помехового сигнала каналу азимута

Принцип формирования закона фазовой манипуляции для канала азимута аналогичен принципу для канала дальности. Принципиальное отличие – временной масштаб, а именно на каждый *k*-ый период повторения приходится один отсчет закона модуляции (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 ‑ Формирование помеховой модуляции при периодической манипуляции фазы по закону М-последовательности на интервале синтезирования

Аналитическое выражение, характеризующее закон модуляции фазы траекторного сигнала, имеет вид:

 (1.16)

В каждом *k*-ом периоде повторения рассчитывается только один отсчет закона коммутации фазы.

1. Формирование отраженного сигнала для *k*-го периода повторения

 (1.17)

Выходом алгоритма формирования отраженного сигнала являются реальная и мнимая квадратуры сигнала  рассчитываемые для каждого периода повторения.

### Пояснения к алгоритму

Аналитическое выражение, характеризующее дезинформирующую помеху ретрансляционного типа, имеет вид:

 (1.18)

где  ‑ «медленное» и «быстрое» время, которые в контексте РСА характеризуют изменение межпериодных и внутрипериодных параметров сигнала;

‑ амплитудный множитель необходимый для придания мощности помеховому сигналу. Данный множитель определяется энергетическими характеристиками постановщика помех;

 ‑ комплексный закон модуляции зондирующего сигнала;  ‑ огибающая сигнала;  ‑ комплексный множитель, учитывающий линейную частотную модуляцию зондирующего сигнала;  ‑ ширина спектра закона модуляции;  ‑ длительность одиночного импульса;  ‑ скорость распространения электромагнитной волны;

 ‑ отсчёт комплексного множителя, учитывающего постоянную начальную фазу отраженного импульса, обусловленную изменением радиальной скорости носителя БРЛС и постановщиком помех на интервале синтезирования (комплексный отсчет траекторного сигнала).

 ‑ закон модуляции ретранслируемого сигнала для формирования помехового сигнала для канала дальности в приемнике БРЛС;

 ‑ закон модуляции ретранслируемого сигнала для формирования помехового сигнала для канала азимут в приемнике БРЛС.

Кинематика движения БРЛС относительно участка картографирования представлена на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Кинематическая схема картографирования земной поверхности при переднебоковом обзоре в условиях формирования дезинформирующих помех (постановщик помех выделен красным)

Наклонная дальность центра участка картографирования и середина интервала синтезирования рассчитываются во время  = 0, когда ФЦА находится в начале системы координат ( = 0,  = 0) на высоте . Траектория движения БРЛС – прямолинейная с постоянной скоростью.

Постановщик помех задается пространственным элементом разрешения с координатами , , , а также энергетическими характеристиками: коэффициентом усиления тракта ретрансляции , мощностью передатчика  постановщика помех, шириной ДНА на передачу и прием.

Дезинформирующие помехи формируются за счет внутриимпульсной (для канала дальности) и межпериодной (для канала азимут) манипуляции фазы по двум основным законам:

‑ периодическому закону, когда фаза *периодически* меняется на значения 0 и π с периодом, определяемым длительностью элементарной посылки;

‑ псевдослучайному закону, когда фаза меняется на значения 0 и π с периодом, определяемым длительностью элементарной посылки, по закону М-последовательности.

Фазовая манипуляция ретранслируемого сигнала, должна быть *синхронизирована* с фронтом ретранслируемого сигнала. Отсутствие синхронизации приведет к накоплению некогерентного помехового сигнала в приемнике БРЛС, что в свою очередь значительно уменьшит энергетику помехи на выходе устройства когерентного накопления. Аналитическое выражение закона модуляции имеет вид:

(1.19)

На рисунке 1.6 изображены квадратура ретранслируемого импульса с внутрипериодной фазовой манипуляцией и закон манипуляции фазы.



Рисунок 1.6 ‑ Фазоманипулированный импульс и закон модуляции фазы

Длительность импульса при моделировании составляет 6 мкс, период коммутации фазы – 0.06 мкс. Отсчет периода коммутации фазы начинается с приходом фронта ретранслируемого сигнала.

Результат воздействия фазоманипулированного сигнала в виде отклика согласованного фильтра в канале дальности, приведен на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 ‑ Выход устройства согласованной обработки канала дальности

Дезинформирующая помеха с периодической манипуляцией фазы по закону 0/π позволяет сформировать на выходе устройства согласованной обработки многочисленные отметки, расположенные на равных интервалах друг от друга. Длительность интервала между метками определяется периодом коммутации фазы в ретранслируемом сигнале.

Сигнал с фазовой псевдослучайной манипуляцией и закон модуляции приведены на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 ‑ Квадратура фазоманипулированного импульса и закон модуляции

Закон модуляции получен из М-последовательности с основанием 8. Длительность периода коммутации 0.03 мкс.

Результат воздействия фазоманипулированного сигнала в виде отклика согласованного фильтра в канале дальности, приведен на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 ‑ Выход устройства согласованной обработки при воздействии фазоманипулированной помехи с псевдослучайным законом

Отклик устройства согласованной обработки при воздействии дезинформирующей помехи с фазовой манипуляцией по псевдослучайному закону имеет шумоподобный вид.

Закон модуляции сигнала при формировании дезинформирующей помехи каналу азимут является функцией «медленного» времени, которая определяется выражением:

 (1.20)

где  ‑ это длительность интервала синтезирования апертуры антенны.