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 отраженного от подстилающей поверхности сигнала БРЛС в режиме «воздух-поверхность»

### Описание алгоритма

Характеристика подстилающей поверхности как объекта рассеивания электромагнитной волны.

Аналитическое выражение, характеризующее сигнал БРЛС, отраженный от наземного точечного *m*-го излучателя имеет вид:

(1.1)

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

‑ амплитудный множитель необходимый для придания требуемой мощности сигналу, отраженному от *i*-го излучателя;

 ‑ множители, характеризующие статистические параметры сигнала:  ‑ отсчет импульсной характеристики точечного *m*-го излучателя;  ‑ комплексный отсчет, характеризующий межпериодную корреляцию сигнала (фаза переотражения);

 ‑ модуляция сигнала ДНА;

 ‑ комплексный закон модуляции зондирующего сигнала;  ‑ огибающая сигнала;  ‑ линейная частотная модуляция;  ‑ ширина спектра закона модуляции;  ‑ длительность одиночного импульса;  ‑ скорость распространения электромагнитной волны;

 ‑ постоянная начальная фаза отраженного импульса, характеризующая изменение радиальной скорости носителя БРЛС и *m*-го излучателя на интервале синтезирования (комплексный отсчет траекторного сигнала).

Соответственно сигнал от участка картографирования, состоящий из N элементов представляет собой сумму сигналов, отраженных от каждого элемента для одного периода повторения:

. (1.2)

Кинематика движения БРЛС относительно участка картографирования представлена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Кинематическая схема картографирования земной поверхности при переднебоковом обзоре

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.

Наземная цель представляет собой совокупность пространственных элементов разрешения участка картографирования (площадь элемента 1 м2). Каждый элемент разрешения характеризуется своими координатами в общей с БРЛС декартовой системе координат (,,) и импульсной характеристикой .

### 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 | 0 | Массив координат наземной цели по оси X |
| 13 |  | | | м | 0 | Массив координат наземной цели по оси Y |
| 14 |  | | | м | 0 | Массив координат наземной цели по оси Z |
| 15 |  | | | усл. ед. | 0 | Массив отсчетов импульсной характеристики наземной цели |

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

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица | | | 1.2 | – Параметры, поступающие на вход алгоритма в процессе моделирования | | | | |
| **№** | **Обознач.** | | | **Ед. изм.** | **Значение** | **Название** | **Куда поступает** | |
| 1 |  | | | м | Соответствуют текущему пространственному положению цели | Текущее положение БРЛС | В алгоритм формирования отраженного сигнала | |
| 2 |  | | | м2 | 0,0,0 | Массив значений среднего ЭПР наземных целей | В алгоритм формирования отраженного сигнала | |
| 3 |  | | | усл. ед. | Зависит от исходных условий | Реальная квадратура фазы переотражения | В алгоритм формирования отраженного сигнала | |
| 3 |  | | | усл. ед. | Зависит от исходных условий | Мнимая квадратура фазы переотражения | В алгоритм формирования отраженного сигнала | |

### Выходные параметры алгоритма

Выходные данные алгоритма приведены в таблице 1.3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица | | | 1.3 | – Выходные данные алгоритма | | | | |
| **№** | **Обознач.** | | | **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 1.2.



Рисунок 1.2 ‑ Схема алгоритма формирования отраженного сигнала

Последовательность выполнения алгоритма формирования отраженного сигнала.

Этапы, выполняемые однократно.

1. Чтение данных:

‑ координаты центра участка картографирования (,,);

‑ координаты БРЛС в середине интервала синтезирования апертуры   
(,,);

‑ скорость движения БРЛС ;

‑ ширина ДНА по углу места ;

‑ ширина ДНА по азимуту ;

‑ скорость распространения электромагнитной волны ;

‑ длина волны зондирующего сигнала ;

‑ длительность зондирующего импульса ;

‑ ширина спектра закона модуляции зондирующего сигнала ;

‑ период повторения импульсов ;

‑ мощность передатчика БРЛС ;

‑ массив координат пространственных элементов участка картографирования, в которых размещена моделируемая цель  
 (, , );

‑ импульсная характеристика моделируемой цели .

1. Расчет наклонной дальности центра участка картографирования

 (1.3)

1. Расчет протяженности участка картографирования по дальности

 (1.4)

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

 (1.5)

1. Расчет шага временной развертки по дальности

 (1.6)

1. Расчет общей временной развертки по дальности, в пределы которой попадают импульсы, отраженные от любой точки участка картографирования

 (1.7)

1. Расчет энергетического коэффициента БРЛС

 (1.8)

 (1.9)

 (1.10)

Этапы, выполняемые каждый период повторения.

1. Чтение данных

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

‑ значение фазы переотражения для *k*-го периода повторения ;

‑ значение среднего ЭПР моделируемого *i*-го пространственного элемента участка картографирования  (среднее значение ЭПР рассчитывается как поток мощности с 1 м2 и изменяется в каждом периоде повторения из-за изменения ракурса наблюдения моделируемого участка).

1. Расчет значения ДНА для центра участка картографирования

 (1.11)

Функция . Результат расчета значений реальной ДНА за интервал синтезирования апертуры приведен на рисунке 1.3.

1. Расчет текущей дальности для *i*-го пространственного элемента

 (1.12)

1. Расчет комплексного значения сигнала на частоте Доплера для *i*-го пространственного элемента (траекторный сигнал)

 (1.13)

На рисунке 1.3 приведены квадратуры сигнала с частотой Доплера и его энергетический спектр для одного пространственного элемента (центр участка картографирования).



Рисунок 1.3 – Квадратуры сигнала на доплеровской частоте, энергетический спектр и расчет реальной ДНА на интервале синтезирования

Моделирование выполнено для следующих условий  = 250 м/c,   
 = 4000 м,  = 20000 м,  = 0 м,  = 10000 м,  = 2 мс,  = 0.03 м,   
 = 1 c. Смещение центральной частоты спектра сигнала относительно нуля вызвано углом ориентации реальной ДНА в азимутальной плоскости отличного от 90 градусов (для данных условий моделирования угол составляет 78.69 градуса).

1. Расчет амплитудного множителя 

 (1.14)

1. Расчет закона модуляции ЗС для *i*-го элемента в *k*-ом зондировании

Временная развертка по дальности, смещенная в отрицательную область

 (1.15)

ЛЧМ импульс, преобразованный на видеочастоту

 (1.16)

 (1.17)

На рисунке 1.4 показан алгоритм моделирования положения импульса на временной развертке по дальности, отраженного от *i*-го элемента участка картографирования в *k*-ом зондировании.



Рисунок 1.4 ‑ 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 *i*-го элемента участка картографирования 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 .

Реальная квадратура отраженного ЛЧМ импульса на временной развертке по дальности приведена на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 ‑ Квадратуры отраженного ЛЧМ импульса на видеочастоте   
( = 50 МГц,  = 4 мкс,  = 2 мкс, = 10 мкс)

Отраженный ЛЧМ импульс рассчитан по выражению (1.16) с учетом времени задержки равному 4 мкс. Частота ЛЧМ импульса в результате преобразования изменяется с  на .

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

 (1.18)

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

### Оптимизация алгоритма расчета отраженного сигнала на ПК. Оценка требуемого времени расчета