

Устранение интерференционных помех в радаре для обнаружения движущихся целей за оптически непрозрачными преградами

В.Н.Марчук, С.В.Иода, Я.О.Васильев

ФИРЭ им В.А.Котельникова РАН, г. Фрязино, Московской области;

ФГУП СКБ ИРЭ РАН, г. Фрязино, Московской области;

Marchuk@ms.ire.rssi.ru

На основе теоретических расчетов, позволяющих учесть интерференционные взаимодействия радиосигналов в приборах для обнаружения людей за оптически непрозрачными преградами предложены различные способы устранения помехустройств, предназначенных для противодействия терроризму. Полученные выводы подтверждены экспериментом.

The various methods for eliminating interference in devices designed to counter terrorism have been proposed. They are based on theoretical calculations, allowing taking into account the interference interactions of radio signals in devices for detecting people behind optically opaque obstacles. The obtained conclusions are confirmed by the experiment.

Одним из направлений борьбы с терроризмом является разработка методов и средств для обнаружения минно-взрывных устройств и прочих незаконных средств в схронах и тайниках, а также людей, скрытых за оптически непрозрачными преградами (стенами, под землей, в лесных массивах).

При выборе средства противодействия терроризму важны такие свойства приборов, как оперативность и возможность дистанционного обнаружения. Этими свойствами обладают приборы, использующие радиоволновые методы. [1, 2] Использование сверхширокополосных сигналов, которые представлены наносекундными радиоимпульсами, развитие микропроцессорной техники и новых методов и алгоритмов обработки сигналов позволили создать новые типы радаров, такие, как: радары подповерхностного зондирования - георадары и радары для обнаружения людей за оптически непрозрачными преградами.

В силу случайного характера интерференционных явлений в условиях многолучевого распространения устранить их или компенсировать невозможно. Однако разработаны методы, существенно снижающие их негативное проявление. К числу таких методов относятся [3, 4]:

- применение избыточного кодирования с целью обнаружения и коррекции некоторого количества ошибочных символов;
- применение сверточного, блочного и турбокодирования;
- адаптивное выравнивание задержек с помощью эквалайзера;
- применение методов разнесения;
- применение направленных и многоантенных систем;
- применение оптимальных методов модуляции.

На практике часто применяют комбинации методов кодирования. Здесь описаны в основном методы, используемые для передачи информации, но они могут быть использованы для радиозондирования.

Избыточное кодирование применяют практически во всех современных системах передачи. Для увеличения надежности передачи в цикл передаваемых данных (трафик плюс биты управления) вводят дополнительные (избыточные) биты, позволяющие на приемном конце обнаруживать некоторое количество ошибочных битов. Обнаружение происходит при обработке по определенному алгоритму избыточных битов. Введение избыточных символов требует увеличения общей скорости передачи, поскольку за

фиксированное время цикла передачи информационных данных и данных каналов управления теперь необходимо передать еще и проверочные символы. В целом скорость передачи информационного трафика за счет этих символов немного снижается.

Мощным средством повышения надежности доставки информации по ненадежному каналу является применение канального кодирования с применением сверхточного, турбо- и блочного кодирования и перемежения. Их применение особенно эффективно при пачечном режиме многопользовательской передачи в условиях многолучевого распространения. Суть этих способов сводится к тому, что блоки информации от пользователей, выстроенные в первоначальную очередь, смешиваются между собой по закону, определенному выбранным методом кодирования, и лишь затем подаются на модулятор. В этом случае для пользователей, имеющих проблемы кратковременных сбоев из-за интерференции, будет потерян не весь блок данных, а лишь его малая часть. Ибо в следующий момент времени в поступающем потоке данных "место и время" данных, предназначенных конкретному пользователю, будет иным, и интерференция для этого случая может оказаться не столь губительной. Особенно эффективно применять при этом одновременную смену частот всем участникам данного сеанса связи, как это делается в системе сотовой связи GSM.

Адаптивное выравнивание является способом борьбы с межсимвольной интерференцией. С помощью сложных алгоритмов цифровой обработки выравнивают время задержки нескольких копий отраженных сигналов с целью увеличения мощности принимаемых символов. При использовании линейного эквалайзера из каждого принимаемого символа производят несколько выборок через равные промежутки времени. Каждая выборка независимо перемножается с некоторым вычисленным коэффициентом, и выборки суммируются, образуя выходной сигнал приемника. Этот способ повышения надежности передачи требует значительных вычислительных затрат.

Методы разнесения основаны на том, что замирания в разных каналах независимы. Если передаваемую информацию распределить по нескольким каналам, то пораженным окажется лишь часть информации. Разнесение можно осуществлять либо по времени (временное разнесение), либо по частоте (частотное разнесение). При временном разнесении, например, путем перемежения (чередования) по временным каналам, информация для каждого пользователя передается в разные моменты времени. При относительно медленном перемещении пользовательской станции она сравнительно длительное время может находиться в области глубокого замирания, и тогда может не помочь применение даже мощных кодов коррекции ошибок. Недостатком разнесения по времени является появление временной задержки на период, необходимый блоку обработки приемника для восстановления временного порядка поступающих данных. При частотном разнесении сигнал пользователя распределяется либо по широкому диапазону частот, либо передается на нескольких несущих.

Применение направленных и многоантенных систем можно отнести к методам пространственного разнесения. Можно использовать несколько направленных под разными углами антенн. Путем обработки в приемном устройстве сигналы, пришедшие с разных направлений, суммируются. При многоантенном приеме расположение антенн связано с длиной волны передаваемого сигнала. В зависимости от направления прихода электромагнитной волны (например, отраженных сигналов) время их прихода на каждую антенну будет разным. Разница задержек определена разнесением антенн, поэтому сигналы можно разделить и просуммировать. С помощью направленных антенн или системы из нескольких антенн можно формировать диаграмму

направленности таким образом, чтобы принимать наиболее сильный сигнал с необходимого направления и ослаблять нежелательные сигналы с иных направлений.

Ослабить негативное воздействие интерференции, шумов и помех в конкретных системах передачи удастся и применением оптимального для данного вида связи метода модуляции. Разные методы модуляции обеспечивают не только разные скорости передачи, но и имеют разную ширину занимаемой полосы частот или полосу частот на 1 передаваемый бит. Следовательно, влияние внешних помех и интерференции будет по-разному оказывать негативное воздействие при разных видах модуляции и разных технологиях их применения.

Первые три рассмотренных метода требуют использования значительных вычислительных мощностей для кодирования и декодирования сигнала, что в портативном приборе является затруднительным. Использование сложного типа модуляции (например, ЛЧМ) также усложняет схему прибора и увеличивает его энергопотребление. Использование узконаправленных антенн является более приемлемым решением, но требует увеличения габаритов, а, следовательно, и веса устройства. Поэтому будем рассматривать только использование разнесенных каналов. Будем учитывать, что возможно как пространственное разнесение, так и разнесение по несущей частоте сигнала.

Зависимость амплитуды A принимаемого сигнала от дальности r до отражающего объекта и высоты устройства h над уровнем пола можно представить формулой

$$A(f, r, h) = A_0 \left(e^{ikr} + R \cdot e^{ik\sqrt{r^2 + 4h^2}} \right),$$

где $k = 2\pi \frac{f}{c}$ – волновое число, f – несущая частота сигнала, A_0 – амплитудный коэффициент, учитывающий эффективную отражательную способность цели и коэффициент сферической расходимости радиоволн при распространении сигнала от передатчика до цели и обратно.

На рис.1 представлены расчеты для трех частот излучаемого сигнала (3.0, 3.1 и 3.15 ГГц) при расположении приемопередающей системы на высоте 1.5 м. Из рисунка видно, что интерференционные «замирания» сигнала происходят на разных дальностях, следовательно, этот способ пригоден для борьбы с интерференционными помехами.

Теперь рассмотрим возможность использования нескольких передающих антенн, расположенных на разных высотах. На рис.2 представлены расчеты для трех положений передающих антенн (1.4, 1.5, 1.55 м) относительно приемной антенной системы, расположенной на высоте 1.5 м. Несущая частота сигнала выбрана равной 3 ГГц. Из рисунка видно, что интерференционные «замирания» сигнала также происходят на разных дальностях, а значит, на входе приемной антенной системы при суммировании сигналов от разных передающих систем пульсации будут сглаживаться. Следует принять во внимание, что использование нескольких передающих антенн проще в реализации, чем формирование нескольких несущих частот сигнала.

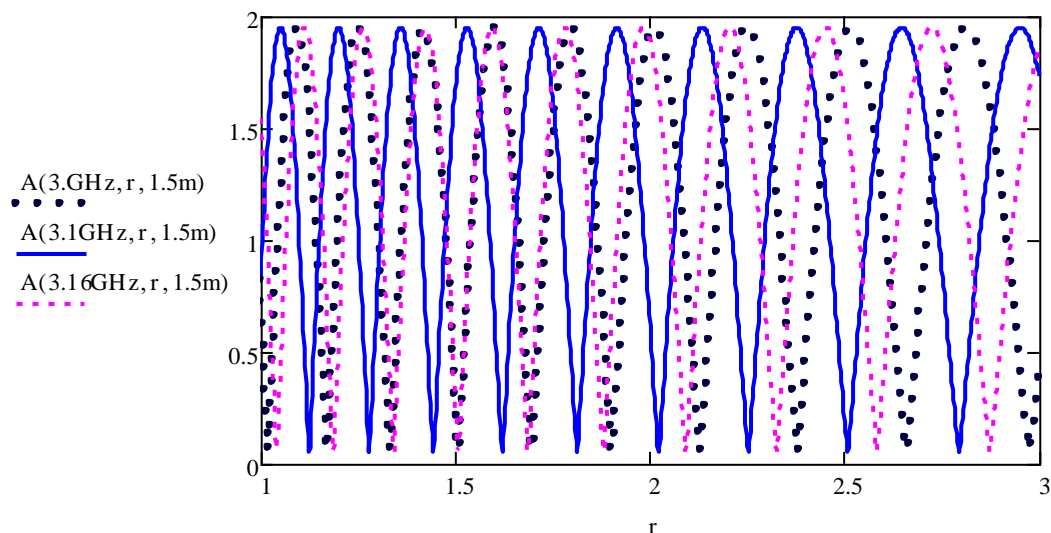


Рис.1. Зависимость амплитуды принимаемого сигнала от дальности r для различных частот излучаемого сигнала $f = 3.0, 3.1, 3.15$ ГГц.

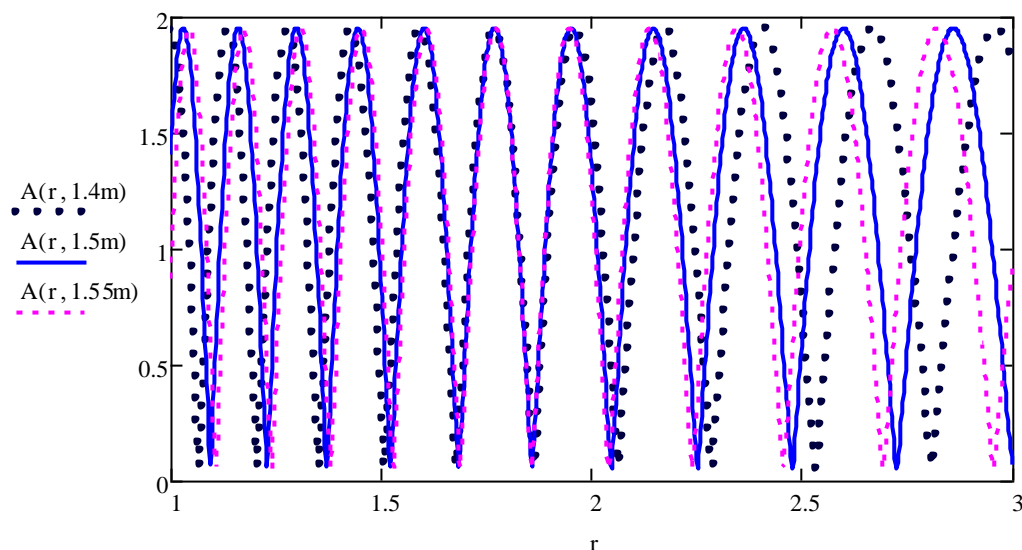


Рис.2. Зависимость амплитуды принимаемого сигнала от дальности r для различных положений передающих антенн.

Выводы

Таким образом, установив две и более передающие антенны, можно устранить воздействие интерференционных помех. Данное утверждение было проверено и подтверждено многочисленными экспериментами в натуральных условиях.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Литература

1. А.С. Бажанов, С.В. Иода, В.Н. Марчук, В.И. Матвеев Перспективы создания новых типов радиоволновых приборов для противодействия терроризму // Сборник трудов VIII Всероссийские Армановские чтения, 26-28 июня 2018 г., Муром, МиВЛГУ, С. 499-503.

2. Подповерхностная радиолокация. Под ред М.И. Финкельштейна М.: Радио и связь, 1994, 216с.
3. Вайншток И.С., Герасимов В.Г., Гурвич Л.К. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. Под ред. В.В. Ключева // Машиностроение. 1976, 391 с.
4. Основы теории мобильной и беспроводной связи // Учебные материалы ОКСО 210000. Электронная техника, радиотехника и связь. Лекции для преподавателей и студентов ВУЗ // <https://siblec.ru/telekommunikatsii/osnovy-teorii-mobilnoj-i-besprovodnoj-svyazi>
5. Марчук В.Н., Секистов В.Н., Смирнов В.М, Юшкова О.В. Моделирование работы георадара численными методами //Наукоемкие технологии. 2006. Т.7. №10, с.39-52.