Секция «Методы математического и компьютерного моделирования в аэрокосмической деятельности»

Адаптивная фильтрация помех в цифровых антенных решетках спутниковой связи

Научный руководитель – Бондаренко Валерий Николаевич

Чистяков Виталий Александрович

Аспирант

Сибирский федеральный университет, Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Красноярск, Россия

E-mail: vitalys1367@mail.ru

В настоящее время ни одно радиотехническое средство не может обходиться без антенной системы, начиная от примитивных радиоприемников и заканчивая сложными космическими системами. Так на современных космических аппаратах связи устанавливают сложные антенные решетки, которые различаются своей конфигурацией, набором элементов и рядом других немаловажных параметров. Основным направлением развития космических технологий является помехозащита каналов связи в условиях как мирного, так и военного времени. В статье предлагается алгоритм адаптивной фильтрации полезных сигналов на фоне различных помех, который позволяет обеспечить необходимую помехозащиту каналов связи при передачи сообщений.

Адаптивный алгоритм основан на методе прямого обращения корреляционной матрицы сигналов поступающих на вход антенной системы. Основной идеей алгоритма является получение оптимального вектора весовых коэффициентов, которые позволяют изменять амплитудно-фазовое распределение антенной решетки таким образом, что в диаграмме направленности в направлении помех формируются глубокие провалы [1].

Вычисление оценки оптимального вектора весовых коэффициентов находится путем прямого обращения корреляционной матрицы помех. Данный метод подразумевает создание выборочной оценки корреляционной матрицы по пакету обучающих векторов [3].

К достоинствам данного алгоритма можно отнести высокую скорость сходимости вектора весовых коэффициентов и достаточно глубокое формирование провалов в ДН АР в направлении помех. Тем не менее данный алгоритм трудно реализуем, в случае, когда корреляционная матрица является вырожденной, что делает невозможным обращение матрицы [2]. Данная проблема возникает в том случае, когда сигналы с выходов элементов антенной решетки линейно зависимы.

Однако решить данную проблему можно двумя способами.

Первый способ подразумевает использование так называемой диагональной загрузки, которая позволяет увеличить разницу между максимальным и минимальным значением корреляционной матрицы, позволяя тем самым решить проблему сингулярности. Так же данный способ примечателен тем, что он позволяет оценивать корреляционную матрицу, когда количество обучающих пакетов меньше количества элементов антенной решетки.

Второй способ предполагает увеличение числа обучающих пакетов так, чтобы их количество было как минимум вдвое больше числа элементов антенной решетки.

Процесс адаптивной фильтрации представлен на примере плоской прямоугольной 25-ти элементной антенной решетки, на вход которой поступают полезные и мешающие сигналы. В качестве полезных сигналов взяты узкополосные сигналы с ФМ4 модуляцией, действующие в пределах главного лепестка диаграммы направленности. Помехи в свою очередь представлены в виде белого гауссовского шума с широким спектром. В результате моделирования алгоритма автором сформирована адаптивная диаграмма направленности

антенной решетки, также представлен спектр полезного сигнала прошедшего адаптивную обработку, в ходе которой удалось отфильтровать составляющие мешающих сигналов.

Таким образом, проведенное моделирование подтвердило теоретические выкладки алгоритма адаптивной фильтрации прямого обращения корреляционной матрицы, что делает его привлекательным для использования в современных цифровых антенных системах.

Однако, также следует отметить основные факторы влияющие на технические характеристики алгоритма адаптивной фильтрации.

Первым фактором, влияющим на высокие характеристики вышеописанного алгоритма, является, прежде всего, собственный шум, вызванный аналоговой и цифровой аппаратурой, входящей в антенную систему.

В частности, внутренний шум аналого-цифрового тракта определяется дрожанием апертуры, дрожанием от дискретизации, дифференциальной нелинейностью.

Вторым фактором является, длинна выборки обучающих пакетов. Как говорилось выше, корреляционная матрица входных сигналов может быть вырожденной, что ведет к неточному оцениванию весовых коэффициентов, поэтому для избежания данной ситуации необходимо увеличивать число обучающих пакетов.

Третьим фактором, вызывающим ошибки в работе алгоритма адаптивной фильтрации является декорреляция сигналов в приемных каналах цифровой антенной решетки. Связано это в первую очередь с неидентичностью амплитудно-фазовых характеристик каналов антенной решетки, а также расхождение в них моментов дискретизации сигналов. Так декорреляция сигналов ведет к тому, что недиагональные элементы корреляционной матрицы входных сигналов уменьшаются по модулю, что приводит к неверной оценке весовых коэффициентов.

Источники и литература

1) Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М., 2013.
2) Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. М., 2003.
3) Harry L. Van Trees. Optimum Array Processing. New York, 2002.