

Аннотация:

В данной статье рассматривается способ построения беспроводной системы передачи информации с оптимизацией канала, описываемого кластерной моделью. Приведены результаты вычислений нескольких алгоритмов оптимизации, для вычисления целевой функции применена имитационная модель системы передачи информации. Исследования основаны на экспериментальных измерениях, а параметры системы приближены к стандарту IEEE 802.11n.

Введение

При создании беспроводных сетей могут выдвигаться различные требования, зависящие от условий её эксплуатации, особенностей канала распространения и требований, установленных нормативными актами (как в случае с ведомственными сетями) или правилами. Такими требованиями зачастую являются увеличение зоны покрытия, повышение пропускной способности, уменьшение вероятности битовых и пакетных ошибок, а также увеличение скрытности и помехоустойчивости системы. Как можно заметить, эти условия порой бывают противоречивы и, при постановке задачи на проектирование сети, необходимо правильно расставить приоритеты. С другой стороны – при реализации сети – непосредственно изменить эти характеристики невозможно, но они зависят от набора параметров системы, которые можно регулировать в некоторых пределах. Такими параметрами могут быть частота несущей, вид модуляции, ширина спектра и форма сигнала, выбор антенн, их расположение и ориентация и другие; все эти параметры ограничены требованиями и техническими возможностями. Разработчику необходимо синтезировать такой набор параметров, при которых система передачи имела требуемые характеристики.

Существует множество различных стандартизированных цифровых систем передачи информации, параметры которых выбраны таким образом, чтобы обеспечивать определённый уровень качества. Такими стандартами являются IEEE 802.11, IEEE 802.15, WiMAX, IEEE 802.22, EDGE, UMTS, LTE. При использовании подобных систем количество параметров, которыми можно манипулировать значительно уменьшается, что упрощает задачу проектирования системы связи и одновременно накладывает ограничения на возможные характеристики системы. Расширить возможности позволило внедрение системы ММО, основной особенностью которой является наличие нескольких независимых антенных каналов на приёмной и передающей сторонах, которая, по сравнению с классическими одноантенными системами, имеют ряд значительных преимуществ. Во-первых, такие системы используют многолучевость, что в классических системах связи являлось причиной замираний; во-вторых, система передачи с технологией ММО является более гибкой и позволяет перераспределять ресурсы системы, меняя лишь алгоритм её работы. Однако, с увеличением количества параметров системы связи усложняется и задача её построения.

Система передачи данных

В качестве примера рассмотрим вариант построения системы связи на основе стандарта IEEE 802.11n с использованием нескольких алгоритмов оптимизации и имитационной модели системы распространения. Допустим, система передачи информации находится в закрытом помещении, передатчика с двумя антеннами, и приёмника с двумя антеннами. Характеристики помещения описаны в [1]. Схема модели системы передачи приведена на рис. 1, подробнее эта модель описана в работах [4, 5].

Модель канала связи, основанная на кластерном подходе, описывает канал набором групп рассеивающих объектов. Кластерами называют импульсы, отраженных от этих объектов, которые объединены по следующим признакам:

- при излучении дельта-импульса интервалы прихода отраженных импульсов будут одинаковы;

- амплитуды импульсов будут затухать экспоненциально.

Кластеров в помещении может быть от двух до шести и взаимное расположение антенн приёмника и передатчика не влияет на их количество.

Модель позволяет учитывать следующие параметры системы: количество уровней модуляции PSK и её угол, количество передаваемых бит, отношение сигнал-шум на выходе линейной части приёмника, длительность одного импульса передаваемых данных, а также период дискретизации сигнала. При моделировании эти параметры были установлены такими значениями: модуляция – BPSK с фазой $\pi/4$; количество передаваемых бит – 10^4 ; отношение сигнал-шум – 7 дБ; длительность импульса – 30 нс; период дискретизации – 0,2 нс.

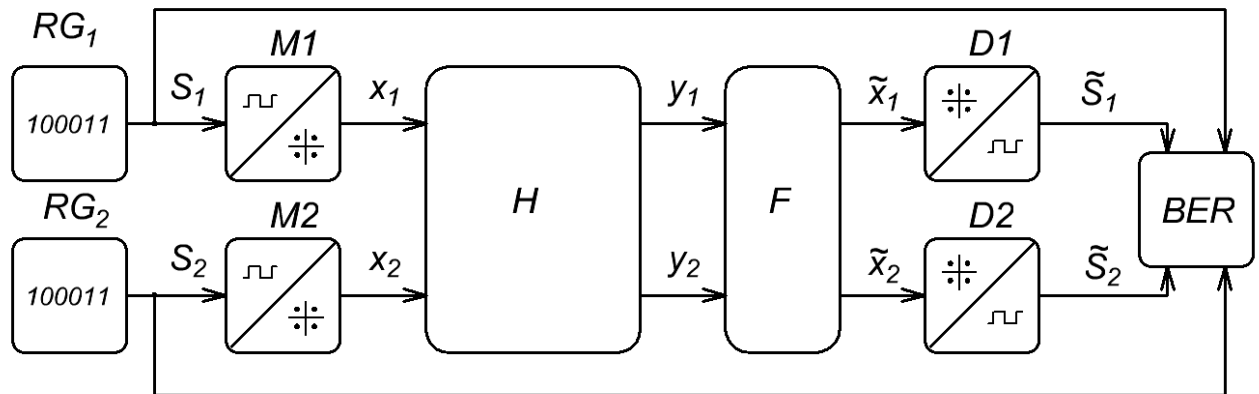


Рис. 1

Постановка задачи оптимизации

При постановке задачи оптимизации в первую очередь необходимо определить набор независимых параметров, а также условий, которые определяют допустимые значения, принимаемые переменными. Следующий шаг – получение целевой функции, как меры качества объекта оптимизации с заданными переменными. Третьим шагом является выбор метода и решение оптимизационной задачи, то есть нахождение такого набора значений переменных, которому отвечает оптимальное значение целевой функции. Оптимальным значением, зачастую, считается минимум или максимум функции. Если оптимизация связана с расчетом оптимальных значений переменных, являющихся параметрами заданной структуры объекта, то она называется параметрической оптимизацией.

В общем случае задача минимизации целевой функции является нахождение такого значения вектора входных параметров X_g , при котором целевая функция $f(X)$ будет иметь минимальное значение в области допустимых значений E . Аналитически её можно записать следующим образом:

$$f(X_g) = \min_{X \in E} f(X). \quad (1)$$

Рассмотрим цифровую систему передачи информации как объект оптимизации. Для этого опишем некоторые её особенности и закономерности и выделим основные части системы.

Рассмотрим канал распространения, в котором находится три группы объектов образующих кластеры, степень влияния на канал которых, мы можем менять, тем самым изменяя коэффициент отражения в направлении приёмника. Иными словами мы можем изменять соотношение амплитуд кластеров. Таким образом, группу параметров, по которым будет производиться оптимизация, представляют три коэффициента при амплитудах кластеров. Обозначим их как a – степень влияния первого кластера, b – степень влияния второго кластера, c – степень влияния третьего кластера. Тогда вектор входных параметров – X , используемый в выражении (1) – будет иметь вид:

$$X = [a \quad b \quad c] \quad (2)$$

Введём ограничения на пределы изменения параметров. При измерении характеристик канала максимальное отношение амплитуд кластеров составляет 3. Основываясь на этом, зададим пределы изменения этого соотношения немного большими:

$$a = [1,0, 5,0]; \quad b = [1,0, 5,0]; \quad c = [1,0, 5,0] \quad (3)$$

Поскольку матрица канала включает также характеристики антенн и канала распространения, то изменениями их параметров можно имитировать различные системы связи и условия распространения. Критерием качества системы связи будем считать вероятность битовой ошибки – BER.

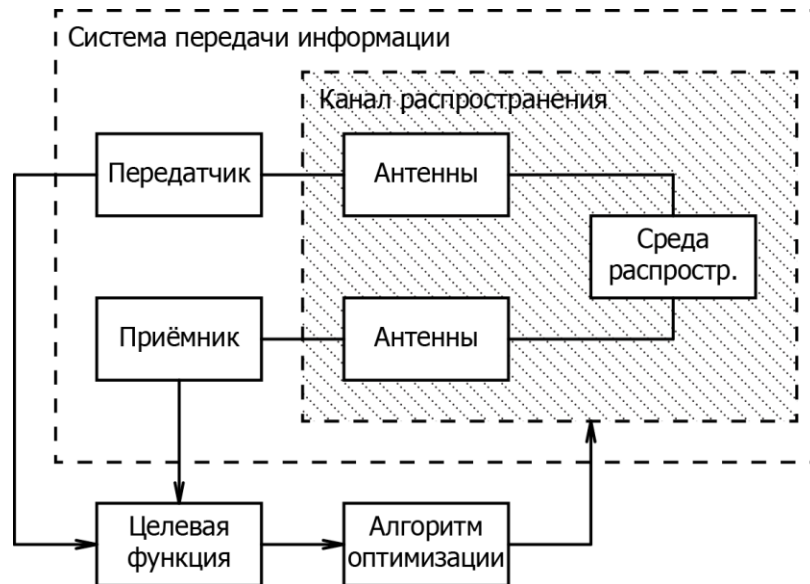


Рис. 2

Оптимизация канала связи

Используя имитационную модель цифровой системы передачи информации, описанную в [4, 5], а также характеристики канала, приведенные в [1] определим вероятность битовой ошибки в системе связи при различных коэффициентах при амплитудах кластеров (a, b, c) и построим график в гексагональной системе координат (рис. 3).

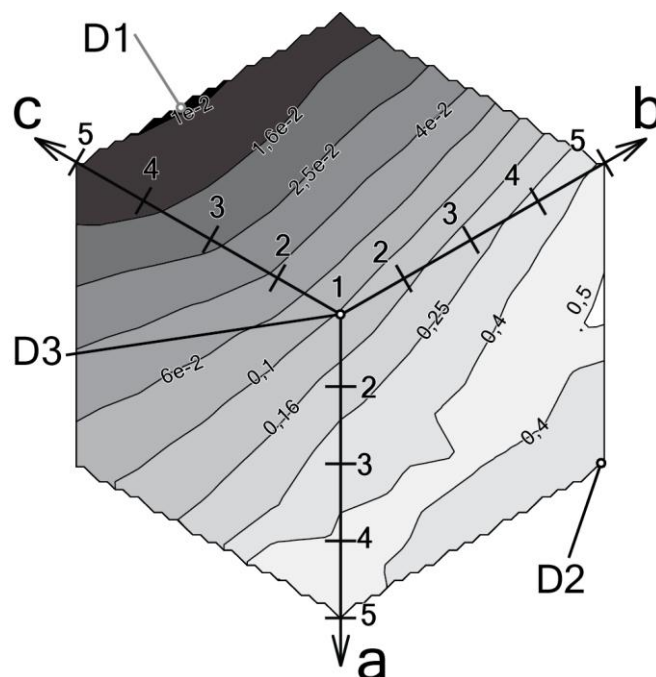


Рис. 3

На рис. 4 изображены шаги процесса оптимизации методом внутренних точек [6] с различными исходными значениями. Критерием остановки было выбрано количество вычислений целевой функции не более 50, поскольку эта операция наиболее ресурсоёмкая, и максимальное количество шагов равное 20. Особенностью этого метода является то, что значение вектора оптимизируемых параметров не может достигать границ области E , что с одной стороны позволило не сойтись в локальном минимуме, находящемся около точки $(4,4,1)$, а с другой стороны не позволило достичь оптимального значения на границе области допустимых значений. Следует заметить, что количество шагов оптимизации для всех исходных значений не превысило 9, что говорит о том, что алгоритм быстро сходится, но не достигает оптимального значения, что может быть объяснено случайным характером целевой функции, обусловленным конечным количеством передаваемых бит и наличием в канале шума, и, как следствие, разбросом значений.

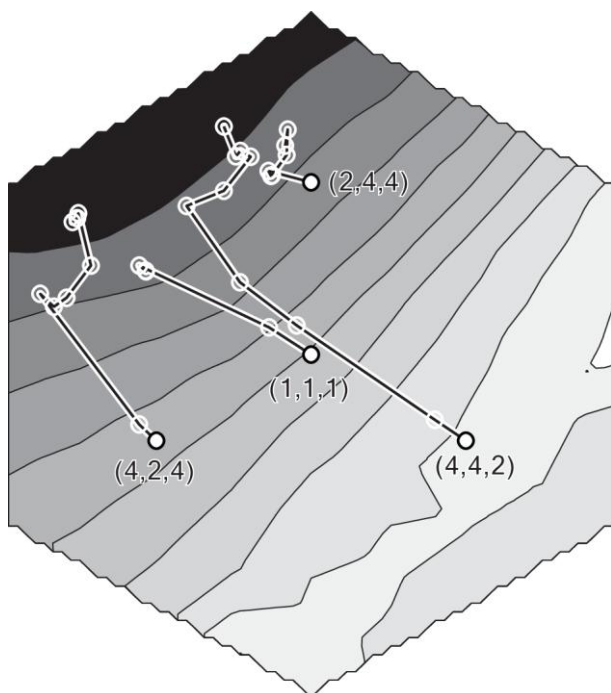


Рис. 4

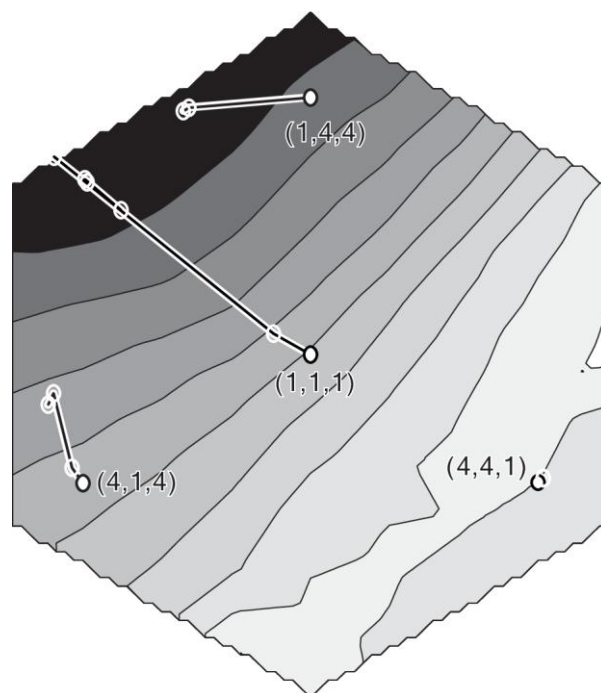


Рис. 5

На рис. 5 приведены результаты работы метода активных ограничений [8]. Максимальное количество шагов и вычислений целевой функции было выбрано таким же, как и для предыдущих случаев. Из четырёх начальных точек одна попала в локальный минимум и также сделала несколько шагов, исчерпав лимит вычислений целевой функции. Из точки $(4,1,4)$ алгоритм сделал шесть шагов, однако, поменял направление движения и был завершён далеко от глобального минимума. Для остальных случаев было сделано 6 шагов.

На рис. 6 изображен процесс оптимизации по алгоритму доверительной области [7]. Критерий остановки был выбран таким же, как и для случая с методом внутренних точек. Оптимизация была проведена для четырёх значений начальных точек. Как показали расчеты, из точки $(4,4,1)$ алгоритм попал в локальный минимум, сделав при этом всего лишь два шага. В остальных случаях алгоритм сошелся за 8 шагов в окрестности глобального минимума. Чтобы достичь окрестностей глобального минимума понадобилось не больше двух шагов, что является лучшим результатом из трёх приведённых методов.

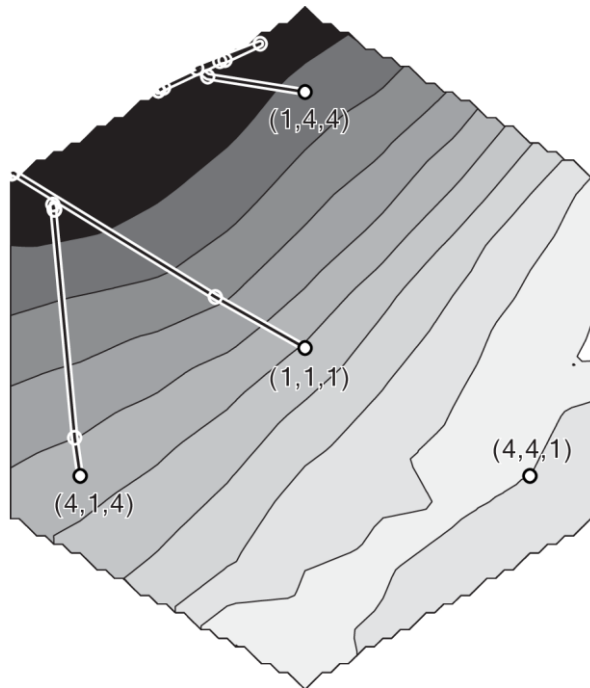


Рис. 6

Заключение

В данной статье был рассмотрен способ улучшения характеристик цифровой системы передачи информации на основе технологии IEEE 802.11n в закрытом помещении с применением алгоритма оптимизации. Для оценки системы связи была использована разработанная ранее имитационная модель системы связи, основанная на кластерном представлении канала. Удобное графическое представление результатов моделирования, предложенное в работе, позволило наглядно продемонстрировать процессы оптимизации для нескольких известных методов.

Сравнительный анализ результатов оптимизации показал, что метод доверительной области требует минимального количества шагов оптимизации для достижения минимума целевой функции, а также менее чувствителен к выбору начальной точки оптимизации.

Список литературы:

1. Кузнецов А. А., Цона А. И. Экспериментальные исследования MIMO канала связи для оценки его качества на основе имитационной модели. // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 2012. – Выпуск № 169. – С. 162-167.
2. Erceg V. Indoor MIMO WLAN Channel Models. // IEEE 802.11-03/940r4. – 2004.
3. Saleh A.A.M., Valenzuela R. A. A statistical model for indoor multipath propagation // IEEE J. Select. Areas Comm. – 1987. – Т. 5. – Р. 128-137.
4. Кузнецов А. А., Цона А. И. Приближенный анализ защищенности системы MIMO на основе кластерной модели отводного канала. Часть I: Модель. // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 2011. – Вып. № 164.
5. Кузнецов А. А., Цона А. И. Приближенный анализ защищенности системы MIMO на основе кластерной модели отводного канала. Часть 2: Результаты моделирования. // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 2011. – Выпуск № 165. – С.96-100.
6. Byrd, R.H., J. C. Gilbert, J. Nocedal A Trust Region Method Based on Interior Point Techniques for Nonlinear Programming. // Mathematical Programming. – 2000. – Vol 89, No. 1. – pp. 149-185.
7. Moré, J.J. and D.C. Sorensen Computing a Trust Region Step. // SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing. – 1983. – Vol. 3. – pp. 553-572.
8. Biggs M. C. Constrained Minimization Using Recursive Quadratic Programming // Towards Global Optimization (L.C.W. Dixon and G.P. Szergo, eds.), North-Holland. – 1975. – pp. 341-349.
10. R. H. Byrd, J. Nocedal, and R. A. Waltz KNITRO: An Integrated Package for Nonlinear Optimization // in Large-Scale Nonlinear Optimization – 2006. – G. di Pillo and M. Roma, eds, – pp. 35-59.