

ОПТИМИЗАЦИЯ КАНАЛА СВЯЗИ СИСТЕМЫ ММО

Введение

При создании беспроводных сетей могут выдвигаться различные требования, зависящие от условий их эксплуатации, особенностей канала распространения и требований, установленных нормативными актами (как в случае с ведомственными сетями) или правилами. Такими требованиями часто 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 определенный 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 приемной и передающей сторонах, которая, по сравнению с классическими одноантенными системами, имеет ряд значительных преимуществ. Во-первых, такие системы используют многолучевость, что в классических системах связи являлось причиной замираний; во-вторых, система передачи с технологией ММО более гибкая и позволяет перераспределять ресурсы системы, меняя лишь алгоритм ее работы. Однако с увеличением количества параметров системы связи усложняется и задача ее 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; передатчик с двумя антеннами и приемник с двумя антеннами. Характеристики помещения даны 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, отраженные 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 приемника и передатчика не влияет на их количество.

Модель, схема которой приведена на рис. 1, позволяет учитывать следующие параметры системы: количество уровней модуляции PSK и ее угол (в модуляторах $M1$, $M2$ и демодуляторах $D1$, $D2$), длительность одного импульса передаваемых данных и их количество (в источниках данных $RG1$, $RG2$), характеристики канала передачи и отношение сигнал-шум на выходе линейной части приемника (в блоке имитации канала H), а также период дискретизации сигнала (в блоке обработки сигнала F). 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 – $0,2 \text{ нс}$.

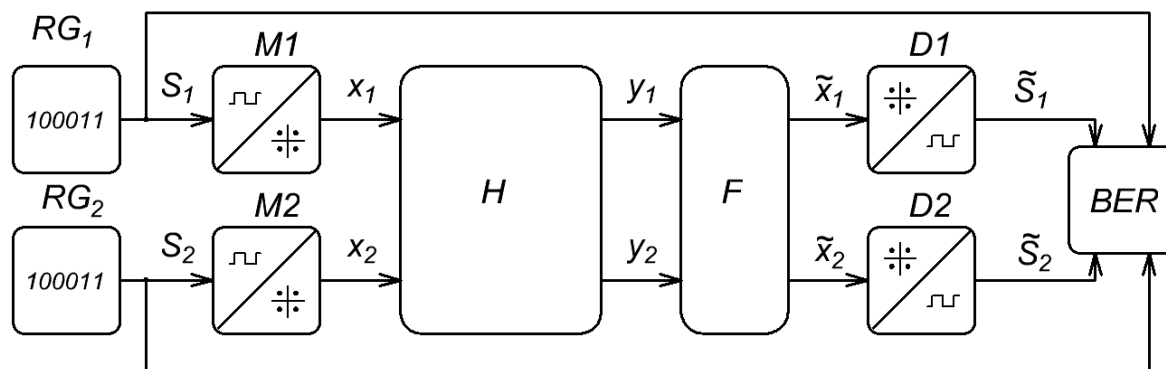


Рис. 1

Постановка задачи оптимизации

Для рассмотрения цифровой системы как объекта оптимизации опишем некоторые ее особенности и закономерности и выделим основные части системы.

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 считается минимум или максимум функции. Если оптимизация связана с расчетом оптимальных значений переменных, являющихся параметрами заданной структуры объекта, то она называется параметрической оптимизацией.

Задачей 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 ее можно записать следующим образом:

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

Рассмотрим канал распространения, в котором находятся три группы объектов, образующих кластеры, степень влияния на канал которых можно менять, тем самым изменяя коэффициент отражения в направлении приемника. 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

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

Введем 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.

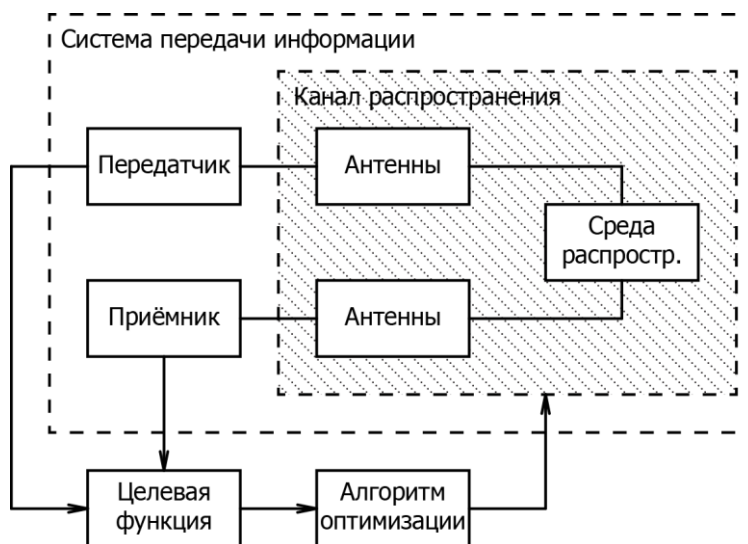


Рис. 2

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).

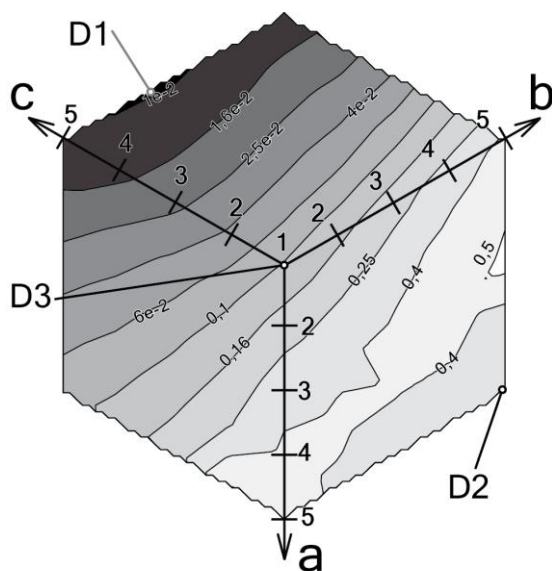


Рис. 3

На рис. 3 изображены три ключевые точки. Точка A1 является исходной, условия, соответствующие ей, отображают состояние канала до его оптимизации. Значение функции составляет 0,1. Точка A2 является глобальным минимумом исследуемой поверхности оптимизации в заданных пределах. Цель оптимизации – наискорейшее получение координат этой точки. В данном случае ее координаты (1, 2, 5), что составляет $7,5 \times 10^{-3}$. Точка A3 является локальным минимумом и имеет координаты (5, 5, 1). При некоторых условиях результаты вычисления детерминированных алгоритмов оптимизации могут сойтись в окрестностях этой точки, что является неудовлетворительным результатом, поскольку значение целевой функции в этой точке составляет 0,26, что хуже, чем канал без оптимизации.

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 ресурсоемкая, 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.

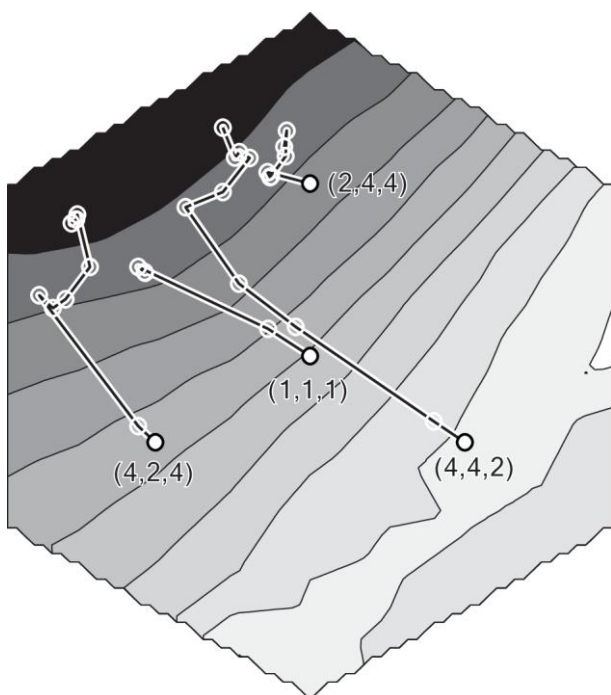


Рис. 4

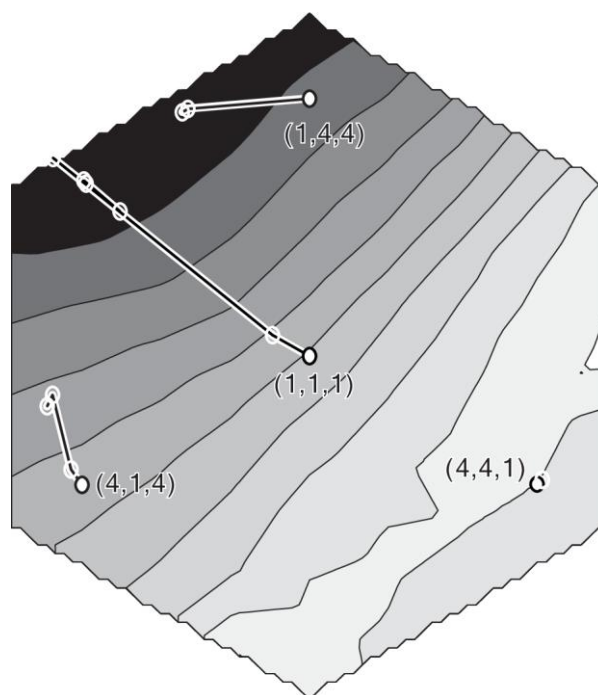


Рис. 5

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 четырех 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 четырех 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 трех приведенных методов.

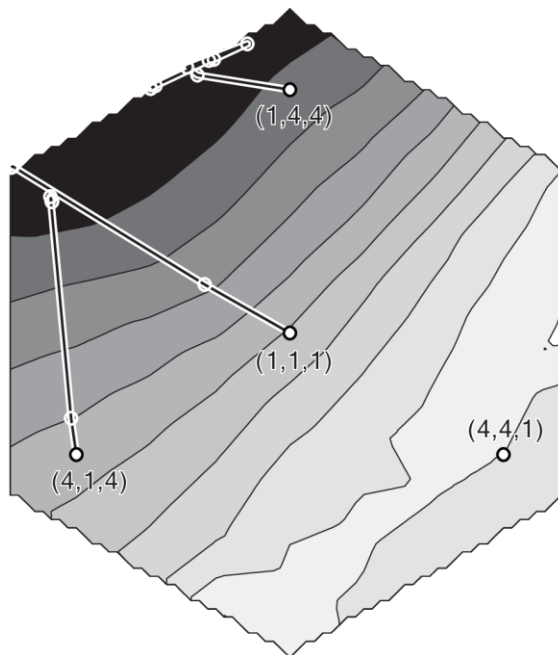


Рис. 6

Заключение

Рассмотрен способ построения беспроводной цифровой системы передачи информации с улучшенными характеристиками 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. – 2012. – Вып. № 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. Ч. I: Модель // Радиотехника. – 2011. – Вып. № 164. 5. Кузнецов, А. А., Цона, А. И. Приближенный анализ защищенности системы MIMO на основе кластерной модели отводного канала. Ч. 2: Результаты моделирования // Радиотехника. – 2011. – Вып. № 165. – С.96-100. 6. Byrd, R.H., Gilbert, J. C., Nocedal, J. A Trust Region Method Based on Interior Point Techniques for Nonlinear Programming // Mathematical Programming. – 2000. – Vol 89, No. 1. – P. 149-185. 7. Moré, J.J. and Sorensen, D.C. Computing a Trust Region Step. // SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing. – 1983. – Vol. 3. – P. 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. – P. 341-349. 10. Byrd, R. H., Nocedal, J. and Waltz, R.A. KNITRO: An Integrated Package for Nonlinear Optimization // in Large-Scale Nonlinear Optimization – 2006. – G. di Pillo and M. Roma, eds. – P. 35-59.