**Содержание**

Введение

1. Классификация конфигураций решеток

2. Гибридный оптимизационный алгоритм

3. Пример оптимизации

Список литературы:

Заключение

**Введение**

За последнее десятилетие применение генетических алгоритмов (ГА) в качестве оптимизационных средств расчета антенн стало активной областью исследований. Основные причины такого интереса связаны с их устойчивостью, позволяющей решать такие оптимизационные задачи, для которых локальные методы оптимизации не эффективны, а также с их универсальностью, дающей возможность успешно применять одни и те же схемы к решению разных задач (Гаупт 1995).

Однако у применимости ГА есть и характерные ограничения. В связи с их архитектурой, задачи, в которых получение точных результатов от моделирования каждого возможного решения требует большого времени вычисления, до сих пор остаются чрезвычайно затратными.

Чтобы преодолеть такие трудности, были предприняты усилия по нахождению более эффективных оптимизационных схем, что дало не только усовершенствованные версии генетических алгоритмов, напр., микрогенетические алгоритмы (µГА) (Кришнакумар 1989) и гибридные ГА-тагучи (Цай и др. 2004), но также новые глобальные методы оптимизации, основанные на разных философиях, напр., оптимизации по принципу роения элементов (Кенеди и Эберхард 2001) и оптимизации по принципу муравейника (Колеман и др. 2004). Подобные усовершенствования в сочетании с расширяющимися возможностями компьютеров и разработкой параллельных кодов (Левин 1995) обеспечили получение удовлетворительных решений для более сложных задач.

Кроме того, в задачах, когда точность оптимизированного решения не является критичной, обычная мера, направленная на снижение полного времени вычисления, заключается в уменьшении вычислительной нагрузки моделей посредством, к примеру, использования грубой схемы расчетной сетки в эмуляторах, основанных на методах конечных элементов (Мохамед 1999), или посредством уменьшения числа базисных функций в кодах, основанных на методе моментов (Фернандес-Пантойя и др. 2000). К сожалению, зачастую бывает сложно выполнить оценку ошибок, связанную с этими подходами.

В данном сообщении для обеспечения точности конечного результата мы вводим в процедуру оптимизации дополнительный этап. Такой этап, основанный на методе картирования пространства (КП) (Бандлер и др. 2004), вначале позволяет операторам ГА использовать при моделировании грубые модели с тем, чтобы найти приблизительное решение задачи. После этого с помощью КП получают точное решение задачи, экономя на вычислительных затратах. Методы КП в сочетании с разными методами локальной оптимизации уже доказали свою эффективность при решении разных оптимизационных задач в электромагнетике (Бакр 2000, Бандлер и др. 1995).

В качестве примера оптимизации приведем использование гибрида ГА-АКП для выбора длин и точек возбуждения для антенной решетки, состоящей из 3 х 3 излучателей (микрополосок по типу заплат) и находящейся на конечном (заземленном?) экране. Результаты и графики для такого примера содержатся в стендовой презентации, подготовленной для данного сообщения.

**1. Классификация конфигураций решеток**

Антенные решетки можно классифицировать по разным основаниям; в данной работе мы выбрали широкий класс конфигураций, объединяемых по признаку однородного возбуждения (намагничивания) элементов. Самыми распространенными здесь являются периодическая и произвольная решетки. Такие решетки являются полярно противоположными с точки зрения их геометрии и характеристик. Периодические решетки способны иметь относительно низкие уровни боковых лепестков, но являются не очень устойчивыми. Произвольные решетки, с другой стороны, устойчивы, но им обычно не присущ низкий уровень боковых лепестков. Поэтому периодические и произвольные решетки наилучшим образом пригодны только для своих специфических применений.

Помимо указанных конфигураций возможны и иные, основанные на ряде разнообразных подходов к расчету их геометрии. К примеру, оказалось, что весьма ценные особенности имеют конфигурации, построенные на фрактальных геометриях [19-21]. Детерминистские фрактальные решетки обладают такими автомодельными геометрическими свойствами, которые можно использовать при создании быстрого алгоритма формирования ДН, что является очевидным преимуществом при работе с решетками, имеющими большое N. Кроме того, детерминистские фрактальные решетки можно математически рассчитывать с помощью метода, строящегося на системе итерированной функции (СИФ). В основе СИФ лежит ряд аффинных линейных преобразований, выполняемых в точке (x,y), находящейся на эвклидовой плоскости. Обычно для решеток с геометриями, основанными на фракталах, такие преобразования описываются тремя локальными параметрами rn, φn, ψn и глобальным фрактальным масштабным параметром sf, так что.

Такое определение аффинных линейных преобразований и использование глобального масштабного параметра обеспечивает, что каждый преобразованный объект имеет идентичный масштаб и аналогичен исходному объекту. Ряд N аффинных линейных преобразований ω1, ω2,..., ωN называется оператором Хатчинсона, для которого мы введем символ W. Операцию Хатчинсона можно применять рекурсивно и получить СИФ следующего вида: где фрактал ступени ℓ+1, (обозначаемый Fℓ+1) строится из фрактала ступени ℓ (обозначаемого Fℓ). Последовательные применения оператора Хатчинсона дают все более высоко-порядковые итерации фрактальной структуры.

Другой тип решетки, называемый фрактально-произвольной, сочетает упорядоченные свойства фракталов с неупорядоченными свойствами произвольных решеток. Фрактально-произвольные решетки создаются способом ad hoc (для особого случая), когда генераторы произвольно выбираются из ряда возможных выборов и применяются к фрактальной структуре. Такой произвольный выбор генераторов затрудняет математическое описание этих решеток с помощью СИФ. В целом из малого набора параметров, содержащихся в генераторах, невозможно точно воспроизвести фрактально-произвольные геометрии, и потому они по-настоящему не рекурсивны. Этот факт препятствует использованию рекурсии при создании быстрого алгоритма формирования ДН для такого класса решеток. Тем не менее, благодаря сочетанию упорядоченных и неупорядоченных геометрических свойств, оказалось, что фрактально-произвольные решетки обладают относительно низким уровнем боковых лепестков и в то же время являются устойчивыми. Тем самым такие решетки имеют рабочие характеристики, сочетающие характеристики периодических и произвольных решеток.

Чтобы преодолеть недостатки фрактально-произвольных решеток и одновременно сохранить многие из их желательных свойств, создан особый подкласс фрактально-произвольных решеток, названный ПФР. В предыдущей работе мы разработали новый вид СИФ, способный производить полифрактальные структуры. Аналогично фрактально-произвольным, ПФР строятся из множества генераторов, 1,2,...М, каждый из которых имеет соответствующий оператор Хатчинсона W1, W2,..., WM. Каждый оператор Хатчинсона Wm, в свою очередь, содержит Nm аффинных линейных преобразований ωm,1, ω m,2,..., ω m,N m. Такие преобразования ω m,n идентичны по форме Ур.1, включая три локальных параметра rm,n, φm,n, ψm,n и один глобальный масштабный параметр sf, который применяется по всей фрактальной структуре (нижний индекс m добавляется для указания на конкретный генератор). Помимо трех локальных параметров здесь введен четвертый локальный κm,n, который связан с каждым аффинным линейным преобразованием. Этот параметр, называемый показателем связи, является целым значением в пределах от 1 до М, т.е. числа генераторов, используемых для построения ПФР, и применяется для предписания того, как используются аффинные линейные преобразования. Преобразование ωm,n можно выполнить только для тех ПФР ступени ℓ, где генератор, используемый на ступени ℓ, соответствует показателю связи κm,n. Такая процедура приводит к тому, что с каждым оператором Хатчинсона может быть связана только одна уникальная геометрия ПФР. Следовательно, набор ПФР Fℓ ступени ℓ можно для удобства выразить в следующей записи (см. Ур.3), где первый нижний индекс определяет уровень ПФР, а второй - генератор, используемый на этом уровне. Отсюда, ПФР ступени ℓ+1, созданный генератором m, можно представить в виде Ур.4. Чтобы настраивать межэлементное пространство в конфигурации ПФР, мы используем еще один глобальный масштабный параметр sg. Наконец, отметим, что глобальный масштабный параметр sf можно вынести (факторизовать) из операторов Хатчинсона, что дает эффективную нормализованную процедуру построения СИФ для ПФР ступени L (см. Ур.5).

Если использовать определение подобия аффинных линейных преобразований так, как это представлено в Ур.1, с добавлением глобальных масштабных коэффициентов и конструкции, основанной на показателе связи, то можно распространить действие быстрых алгоритмов формирования ДН, связанных с обычными фрактальными решетками, на ПФР. Такую широкую методологию формирования ДН, подробно освещенную в, можно рассматривать как усовершенствованную СИФ, действующую не на геометрических структурах подгрупп, а на основе их диаграмм направленности. Другими словами, общую ДН можно рассматривать как образуемую решеткой, состоящей из решеток, а не как наложение радиоизлучения, произведенного набором отдельных изотропных точечных источников. В Уравнении 6 дано выражение для конфигурации подгруппы генераторов m ступени ℓ, которое основано на ряде конфигураций фрактальных подгрупп ступени ℓ-1. Конечную конфигурацию радиоизлучения можно определить, используя изотропные источники для образования ДН исходных подгрупп и рекурсивно применяя данное выражение вплоть до получения ДН ступени L. Рекурсивные свойства формирования ДН, имеющиеся у ПФР, позволяют исследовать в ходе процедуры оптимизации гораздо б**о**льшие геометрии решеток.

Таким образом, детерминированные фрактальные, полифрактальные и фрактально-произвольные решетки соотносятся друг с другом во многом так, как квадрат с прямоугольником, а прямоугольник с параллелограммом. Фрактально-произвольные решетки обладают наиболее общей геометрией, чем прочие, что в наибольшей степени затрудняет работу с ними. Поскольку в ПФР применяются показатели связи для определения того, как и когда применяется любой из множества генераторов, они являются подклассом фрактально-произвольных решеток. В свою очередь, детерминистские фрактальные решетки по сути являются полифрактальными или фрактально-произвольными решетками, в которых для выбора имеется лишь один генератор. Примеры всех трех типов решеток показаны на Рис. 1. Чтобы вам было легче представить конфигурацию решеток, мы используем характерную геометрию фрактального дерева. Кроме того, на Рис. 2 для представления отношений, связывающих три типа антенных решеток в плане их конфигурации, использована диаграмма Венна. Параметр Sc представляет поле решения и содержит набор всех возможных методов, используемых для построения антенных решеток.

Концепции детерминистских фрактальных и полифрактальных решеток можно использовать не только ради их связи друг с другом, но и для описания конфигураций периодических и произвольных решеток. Поскольку ПФР являются подклассом фрактально-произвольных решеток, положения, связанные с ПФР, в равной степени применимы к фрактально-произвольным. Понятия, касающиеся ПФР, можно использовать в описаниях всего ряда периодических антенных решеток, если тщательно подбирать параметры генератора так, чтобы антенные элементы были на равном расстоянии друг от друга. Для решения этой задачи есть несколько способов: возможно, простейшим для понимания является разложенное (факторированное) полифрактальное представление. Возьмем, к примеру, периодическую решетку, полное количество элементов PT которой можно представить составным числом простых множителей М, так что PT = р1 р2... рМ. ПФР уровня М можно построить из М генераторов, по одному на каждый из простых множителей. Любой оператор Хатчинсона Wm имеет рm аффинных линейных преобразований (т.е. Nm = pm), когда преобразования выбираются таким образом, чтобы каждая из преобразованных (перенесенных) подгрупп имела периодический интервал. Показатель связи для каждого из этих преобразований равен уровню ℓ фрактально-произвольной решетки, так что каждый из генераторов полностью применяется только к одному-единственному уровню ПФР. Поэтому очевидно, что любая конфигурация периодической решетки должна иметь, по крайней мере, одно соответствие среди ПФР.

Хотя для описания любой периодической решетки можно использовать разложенное полифрактальное представление, могут существовать также и более простые схемы полифрактальных периодических решеток. Разложенное полифрактальное представление можно упростить путем объединения нескольких простых множителей в небольшие составные числа, сокращая тем самым общее количество уровней, необходимых для получения антенной структуры. Более того, хотя и не столь очевидным образом, периодические решетки можно также строить из ПФР более общего характера. Далее, некоторые периодические решетки можно также описывать через детерминистские фрактальные решетки. Помимо тривиального случая одноступенчатой решетки, периодическую решетку можно построить в том случае, когда есть возможность разложить число элементов в структуру NL, где N представляет число трансформов в операторе Хатчинсона, а L представляет количество ступеней во фрактальной решетке. Параметры определяют так, чтобы интервалы между любыми аффинными линейными преобразованиями оператора Хатчинсона были равны.

Если набор применяемых генераторов столь велик, что ни один из них не может быть выбран более одного раза, методологией ПФР можно пользоваться для описания полностью произвольных решеток. Полифрактальная модель, хотя и является для чисто произвольных решеток громоздкой и неэффективной, с теоретической точки зрения все же вполне здесь применима. Таким образом, можно сделать вывод, что с помощью ПФР можно описать любой класс антенных решеток. Кроме того, в большинстве случаев оказывается, что для решеток, построенных из множества генераторов, разупорядоченность (произвольность) ПФР является б**о**льшей. Показанная диаграмма Венна представляет классификацию периодических, произвольных, фрактальных и полифрактальных решеток относительно конечной конфигурации решетки. В поле решения Sa показан ряд всех возможных конфигураций решеток; это поле отличается от поля решения Sс, представленного выше. Также очевидно, что любую решетку можно представить в виде ПФР. Однако пунктиром обозначена граница, за пределами которой полифрактальную модель больше невозможно использовать для описания геометрии антенной решетки. В данном реферате мы предъявляем оптимизационную процедуру, с помощью которой можно, используя понятия, характерные для ПФР, последовательно преобразовывать решетки, имеющие периодическую конфигурацию, основанную на фракталах, в более произвольные решетки. В следующих разделах подробно обсуждаются процессы, используемые для того, чтобы оптимизация могла следовать в этом русле.

антенна оптимизационный гибридный алгоритм

**2. Гибридный оптимизационный алгоритм**

Блок-схема алгоритма, представленная на Рисунке 1, в целом состоит из двух разных процедур, выполняемых последовательно. Вначале оптимизатор ГА обеспечивает - посредством периодически повторяющегося, быстрого машинного моделирования возможных решений - оптимальное решение задачи с низкой точностью. Такой промежуточный результат называют грубым оптимальным решением. Далее в целях проверки того, насколько такое решение приемлемо для получения конечного решения задачи, выполняется точное моделирование грубого решения. Если при этом выявляются неудовлетворительные характеристики, т.е. смещение резонансных частот или повышенный уровень входных коэффициентов отражения, то запускается следующая процедура, основанная на АКП. На этом этапе для получения точного решения задачи, называемого точным оптимальным решением, используют локальный оптимизатор, задействующий как грубую, так и точную модель. Такое решение схоже с грубым решением, выданным ГА, в плане соответствия тех параметров, которые избраны в качестве целей оптимизации. Следовательно, разработчику нужно определить параметры, которые изменяются в процессе оптимизации - они имеют обозначения хс и хf (здесь и далее см. обозначения в тексте), а также характеристики (базисные функции, погрешность интегралов и т.п.) как грубых, так и точных моделей. Этот этап критичен, т.к. правильность выбора определяет конечный успех оптимизации. Грубая модель должна быть как можно более быстрой, но такой, чтобы ее выход Rc(хс) сохранял определенное сходство с выходом Rf(хf) от точной модели. Иначе не будет работать этап АКП. После того, как выбор сделан, оптимизатор ГА, применяя генетические операторы только к грубым моделям, находит оптимальное грубое решение, обозначаемое х\*с. Если оказалось, что отклонение выхода, полученного при точном моделировании Rf(х\*с) оптимального грубого решения, является более высоким, чем это приемлемо, то АКП ищет соответствие Р между точной и грубой моделями хс = Р(хf) так, чтобы Rf(хf) ≈ Rc(хс). Для определения Р выполняют итеративную локальную оптимизацию. Ключевыми этапами АКП являются фаза извлечения параметров, когда утверждается грубая модель, лучше всего подходящая для определенной точной модели; уровень обновления соответствия (картирования), когда с помощью уравнения Бройдена (Бандлер и др. 1995) изменяется оценка Р; и уровень инвертирования соответствия, когда определяется точная модель для следующей итерации. Если грубая и точная модели выбраны так, как следует, такая итеративная процедура выдает точное оптимальное решение х\*f, при котром выходы Rf(хf) и Rc(хс) являются схожими вплоть до заранее установленного уровня точности. Подробнее об АКП можно прочитать в (Бандлер и др. 2004).

**3. Пример оптимизации**

Для проверки адекватности метода в качестве примера оптимизации предлагается определение необходимых длин и точек возбуждения для антенной решетки, состоящей из 3 х 3 излучателей (типа заплат), размещенной на конечном квадратном (заземленном?) экране и работающей на частоте 4,5 ГГц. При симметричности задачи, представленной на Рисунке 2(а), имеем всего 12 оптимизационных параметров, связанных как с длиной (L1..., L6), так и с расстоянием точек возбуждения от центра излучателя (d1,... d6). Постоянными величинами в данном примере являются ширина излучателя (W = 3 см), длина стороны экрана (Lg = 12 см) и расстояние между антеннами и землей (h = 0,15 см). Используемой подложкой является воздух.

Для решения этой задачи с помощью глобального оптимизатора необходим надежный код, который моделировал бы произвольно созданные конструкции. Все результаты, представленные в работе, получены из решения интегрального уравнения электрического поля со смешанным потенциалом, содержащего высоко-порядковые базисные функции Лежандра, с помощью метода моментов (Йоргенсен и др. 2004). При заданном специфическом наборе длин и точек возбуждения, описанном выше, для точного решения задачи требуется 6000 базисных функций и, если использовать 2,2 ГГц-ый процессор AMD Opteron, необходимо время анализа, равное 4 мин. на одну частоту. Поскольку для выполнения оптимизационного процесса в пространство поиска входит 1012 возможных решений, алгоритм µГА получает результаты оптимизации спустя примерно 3000 эмуляций. При отсутствии параллелизма обработки общее время оптимизации для такой простой задачи могло бы быть около девяти дней. Применение грубой модели элементов, дающее сокращение как числа базисных функций, так и точности интегралов, что было описано в предыдущем разделе, помогает получить результат быстрее, правда ценою смещения эмулированной характеристики по частотному спектру примерно на 100 МГц.

Таким образом, пришлось прибегнуть к выполнению оптимизации ГА-АКП. Этап ГА, где использовались только грубые модели решетки, был выполнен с помощью зарекомендовавшего себя алгоритма µГА (Кришнакумар 1989), при использовании совокупности, равной 5 элементам и смене совокупности при сходимости в 80%. В качестве операторов ГА использовались турнирный отбор и двухэлементное скрещивание (Бэк и др. 1997). Получаемые результаты имели формат с фиксированной точкой, в котором всего было 12 целых разрядов; для представления длины - от 3 до 3,25 см, а для представления расстояния точек возбуждения до центра излучателя - от 0,33 до 0,60 см. Значения, допустимые для длин излучателей в процессе ГА, были установлены с помощью аппроксимирующих уравнений, используемых для расчета частоты резонанса прямоугольной микрополосковой излучательной антенны, расположенной на бесконечном (заземленном?) экране; значения частоты лежали в интервале от 4,4 до 4,8 ГГц, что соответствовало значениям длин в 3,25 и 3 см, соответственно. Функция пригодности (соответствия) F была выбрана так, чтобы при 4,5 ГГц минимизировать максимальное значение модуля (амплитуды) входного коэффициента отражения для любой антенны решетки (F = max{|S11|i}; i = 1,...,6). На Рисунке 3 показана амплитуда входного коэффициента отражения каждого антенного элемента для такого грубого решения; у каждого излучателя здесь разные частоты резонанса, но все они находятся около желаемого рабочего значения в 4,5 Ггц.

Тем не менее, моделирование, выполненное на точной модели той же антенны, показало смещение спектра приблизительно в 130 МГц (см. Рисунок 4). Для исправления этого эффекта была проведена процедура АКП. Точное пространство определили с помощью лишь двух параметров хf, каждый из которых масштабировал соответственно значения длин и расстояний от точек возбуждения, полученных при оптимальном грубом решении. Как указано в (Бакр 2000), схождение модели лучше всего достигается при использовании в анализе нескольких частотных точек. В данном случае в интервале от 4,25 до 4,75 ГГц распределили 11 частотных точек. Фазу извлечения параметров выполнили с помощью агрессивного подхода картирования пространства (Бандлер и др. 1995), а также принятия для всех излучателей, расположенных вдоль частотной кривой нашего анализа - в качестве меры подобия точной и грубой моделей - среднеквадратической ошибки от расстояния между их соответствующими действительными частями входного полного сопротивления. Другими важными моментами выбора на этапе АКП были критерии останова процесса, которые были установлены на 10-4, а также числовая оценка аналитического определителя Якоби, выполняемая с помощью разностной аппроксимации вперед. Основной момент при достижении быстрой сходимости заключался в оценке подобия между выходами из грубой и точной моделей, когда в качестве измерительной функции использовали не амплитуду входного коэффициента отражения, а действительную часть входного полного сопротивления. Это было обусловлено тем, что б**о**льшая монотонность действительной части входного полного сопротивления позволяет получить лучшие значения разностной аппроксимации вперед. Проведя всего три точных эмуляции и 45 грубых, алгоритм достиг окончательного решения. На Рисунке 5 показано эффективное корректирование рабочей точки к 4,5 ГГц.

Наконец, была выполнена оценка времени, сэкономленного за счет использования метода ГА-АКП по сравнению с методом ГА, использующим только точные эмуляции. Зная, что в данном случае расход времени на работу с точной моделью в 6,5 раз больше на одну частоту, чем при работе с грубой моделью, и что каждая точная или грубая эмуляция, выполненная на этапе АКП, решала 11 частотных точек, определили, что применение гибридного метода позволило выполнить оптимизацию примерно в 5,25 раз быстрее. Следовательно, пока показатель времени зависит от разницы между временем анализа точной и грубой моделей, для достижения б**о**льшей экономии разработчику придется искать быстрее выполнимые грубые модели. В любом случае этот процесс следует выполнять очень тщательно, поскольку этап АКП эффективен только тогда, когда выход из грубой модели подобен выходу из точной.

**Заключение**

В данном сообщении предложена эффективная схема оптимизации антенн. Она заключается в применении вслед за основанной на ГА оптимизацией, использующей при моделировании характеристики антенны грубую модель, дополнительной процедуры АКП. Этот последний этап увеличивает точность оптимизированных результатов, а весь подход в целом, как показано, имеет преимущество с точки зрения вычислительных затрат по сравнению с применением ГА только к эмуляции точной модели. Планируются дальнейшие исследования для сравнения эффективности метода ГА-АКП с эффективностью других гибридных методов, сочетающих методы локальной оптимизации с АКП.

**Список литературы:**

1. Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов / Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Сов. радио, 1972.

2. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г. Антенно-фидерные устройства. М.: Сов. радио, 1974.

3. Антенны и устройства СВЧ: Методические указания к лабораторным работам. Часть 1 / Под ред. А.В. Рубцова. Рязань, 2006.

4. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток / Под ред.Д.И. Воскресенского. М.: Радио и связь, 1994.