

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В СЕТОЧНЫХ МЕТОДАХ РАВНОМЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Антонова Г.М.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
gmant@ipu.ru

Аннотация: В статье описано использование имитационных моделей в исследовании динамических стохастических систем. Определяется связь сеточных методов равномерного зондирования с сеточными методами математической физики. Проводится анализ процедур, расширяющих возможности такого аппарата для исследования плохо формализованных систем, в описании которых используются не дифференцируемые функции. Рассматривается содержание основных этапов реализации сеточных методов равномерного зондирования с использованием имитационных моделей для описания исследуемых или проектируемых систем.

Ключевые слова: сеточные методы, имитационное моделирование, многокритериальная оптимизация, область эффективности.

Введение

Создание и совершенствование сложных технических устройств в составе крупномасштабных систем предполагает оценку качества функционирования систем в целом и отдельных наиболее ответственных частей этих систем. Дополнительно появляются задачи уточнения границ областей функционирования с повышенным качеством, в частности, оценки таких областей, в которых усредненные значения показателей качества оказываются лучше, чем в соседних с ними областях. Такие задачи позволяет решать сеточный метод равномерного зондирования, названный $ЛП_\tau$ - поиском с усреднением. $ЛП_\tau$ - поиск с усреднением не единственный способ использования $ЛП_\tau$ - последовательности, равномерно распределенной в многомерном пространстве параметров. Известны несколько разных подходов, направленных на ускорение поиска [1]. И.М. Соболев и Р.Б. Статников [2] применяли первыми метод исследования пространства параметров в самых разных областях и для систем разной степени сложности. И.Н. Статников, Г.И. Фирсов на основе фрагментов аналитических моделей создали ряд механических и строительных конструкций. Авторы разработали метод, названный РЛР-поиском, основанный на планировании эксперимента с использованием точек $ЛП_\tau$ - последовательности. А.Ю. Байков предложил и реализовал метод макрошагов для проектирования многорезонаторного пролетного клистрона. Целью применения $ЛП_\tau$ - поиска являлся выбор режимов функционирования, обеспечивающих высокий коэффициент полезного действия (КПД) с применением дискретно-аналитической модели. Приближенная оптимизация выполнялась не только по точечным критериям оптимизации, но и по критерию, заданному в виде непрерывной функции (КПД).

Основной особенностью $ЛП_\tau$ - поиска с усреднением является равномерное зондирование многомерной области изменения показателей качества и проведение экспериментов с имитационными моделями для оценки значений показателей качества в различных точках, то есть переход к использованию не дифференцируемых функций, расширяющий возможности приближенной оптимизации крупномасштабных систем. Для реализации этого подхода необходимо иметь в распоряжении сетку с хорошими свойствами равномерности в многомерном пространстве значений параметров. Свойства сетки определяют качество исследования поведения не дифференцируемых функций. Перечисленным требованиям наилучшим образом удовлетворяет $ЛП_\tau$ - последовательность или последовательность Соболя.

Сеточные методы равномерного зондирования являются естественным продолжением сеточных методов математической физики, которые используются в широко известном методе конечных разностей (метод сеток). Он представляет собой численный метод решения уравнений в частных производных. В основе этого метода лежит дискретизация пространства изменения параметров. Область непрерывного изменения аргумента заменяется дискретным множеством точек, которое и называется сеткой. Функции непрерывного аргумента замещаются функциями дискретного аргумента, рассчитываемыми в узлах сетки, и получают название сеточных функций. Вместо производных в составе уравнения появляются соответствующие разностные отношения, а дифференциальное уравнение, описывающее функционирование проектируемой системы, превращается в систему алгебраических уравнений (разностное уравнение), которое должно оценить приближенные значения выходных характеристик. Начальные и граничные условия трансформируются в разностные условия для сеточных функций. Этот метод можно применять тогда, когда доказана его сходимости к решению исходного дифференциального уравнения для непрерывной задачи при уменьшении шага сетки.

Сетка формируется как набор стандартных ячеек, которые могут иметь разнообразную форму. Наиболее простая двумерная сетка состоит из четырехугольников и образуется с помощью линий, параллельных осям координат. Ячейки могут иметь форму треугольников, четырехугольников, тетраэдров, призм, параллелепипедов разной размерности и др. При решении сложных задач широко применяются адаптивные сетки. В этом случае размеры ячеек в области размещения предполагаемого решения уменьшаются для увеличения вероятности обнаружения решения и ускорения его поиска. В.Д. Лисейкин является автором ряда монографий, в которых анализируются технологии создания сеток и существующие подходы для решения задач математической физики, сформулированных для систем, описываемых дифференцируемыми функциями [3].

1 Основные этапы сеточных методов равномерного зондирования

1.1 1-й этап реализации сеточных методов равномерного зондирования

На 1-м этапе выбирается метод расчета координат равномерной сетки и алгоритм поиска решения. Для дифференцируемых функций известны многочисленные методы поиска экстремума. Если существует аналитическое описание системы, то решение можно найти, комбинируя достоинства равномерной сетки и выбранного алгоритма оптимизации. На первом этапе необходимо в результате выполненных исследований определить значения координат в пространстве входных параметров, для которых значения показателей качества попадают в окрестность экстремума или соответствуют области эффективности при реализации $ЛП_\tau$ - поиска с усреднением. Алгоритм $ЛП_\tau$ - поиска с усреднением [4] содержит эвристические процедуры и позволяет получить ряд подпоследовательностей точек из пространства входных параметров, в которых проводились имитационные эксперименты: $L_{G_1}, L_{G_2}, \dots, L_{G_i}, \dots, L_{G_l}$.

Каждая подпоследовательность аппроксимирует неизвестную область эффективности. На следующем этапе с помощью экспертного анализа необходимо сформулировать «решающее правило», которое позволит прогнозировать значения критериев оптимизации для различных возможных значений входных параметров.

1.2 2-й этап реализации сеточных методов равномерного зондирования

На 2-м этапе выбирается модель принятия решения с использованием разнообразных методов анализа и обработки экспериментальных данных. Современные методы анализа данных создавались для выборок экспериментальных данных, полученных после экспериментов на реальных системах или их лабораторных аналогах. Особенность применения имитационных моделей как источника данных состоит в тщательной проверке качества этих данных и контроле адекватности модели для выбранных значений входных параметров в процессе проведения имитационных экспериментов. Далее формулируются требования к параметрам системы, соответствующим области эффективности, или конструируется описание области эффективности по выборке из полученных результатов имитационных экспериментов. Проверка для нескольких примеров реализации сеточных методов равномерного зондирования показала возможность применения следующих моделей принятия решения и связанных с ними видов описаний области эффективности.

а) Методы аппроксимации основаны на модели подбора аналитического или графического описания путем использования набора функций, соответствующих определённой подпоследовательности точек $ЛП_\tau$ - последовательности и связанной с ней оценке

б) Методы распознавания образов используют модель обобщения логических закономерностей и требуют применения методов распознавания для решения задачи классификации векторов параметров на два класса. Первый класс будет содержать векторы параметров из области эффективности, а второй будет содержать все остальные векторы. После обработки результатов имитационных экспериментов будут получены два множества предикатов.

Такая модель выбора решения поддерживается специально разработанным программным комплексом и адаптируется согласно предметной области.

Эксперт или группа экспертов выбирают окончательное решение на основе опыта и знаний с учётом интуитивных соображений.

с) Методы идентификации.

Метод параметрической идентификации и обобщенная авторегрессия скользящее среднее с изменяющимися во времени параметрами выбрана для описания результатов имитационных экспериментов

$$(1) \quad y(n) = \sum_r \sum_i c_{ri}(n) x_r(n-i) + \sum_j A_j(n) y(n-j) + v(n),$$

где $x_r(n)$ - наблюдаемый вход, $y(n)$ - наблюдаемый выход, $c_{ri}(n)$, $A_j(n)$ - неизвестные параметры, $v(n)$ - приведенный шум (стохастическое возмущение) в виде дискретного по времени стационарного случайного сигнала с математическим ожиданием $E\{v(n)\} = 0$.

В рассмотренных примерах реализации сеточных методов равномерного зондирования были использованы разнообразные алгоритмы рекуррентной параметрической идентификации для описания результатов имитационных экспериментов с моделями сложных систем. Программный пакет обеспечивает сравнение результатов экспериментов с выбранной обобщенной моделью для более чем пятидесяти рекуррентных алгоритмов параметрической идентификации. Анализ результатов показал, что одновременно несколько алгоритмов идентификации дают совпадение с экспериментальными данными. Однако, выбранная для идентификации модель не устойчива. Не все выбранные адаптивные алгоритмы эффективны, их быстроедействие недостаточно при оценивании нестационарных параметров. Алгоритмы чувствительны к появляющимся стохастическим возмущениям и не всегда позволяют определять глобальный экстремум для выбранного показателя качества.

Была разработана дополнительная формальная процедура определения наиболее эффективного алгоритма. Она предполагает решение многокритериальной задачи сравнения и выбора удовлетворительного алгоритма по критерию оценки в виде функции потерь. Эта функция в каждый момент времени показывает неточность представления идентифицируемого объекта его математической моделью.

1.3 3-й этап реализации сеточных методов равномерного зондирования

На 3-ем этапе полученные результаты проверяются в реальных условиях.

2 Заключение

Сеточные методы равномерного зондирования могут использоваться в разных областях для исследования и приближенной оптимизации крупномасштабных систем и их элементов. Использование имитационных моделей там, где не создано аналитическое описание, существенно повышает ценность получаемых результатов приближенной оптимизации. Возможно дальнейшее развитие алгоритмов построения сеток, равномерных в многомерном пространстве параметров. Это позволит получить и новые алгоритмы приближенной оптимизации. Естественно, совершенствование приёмов и методов построения адекватных имитационных моделей крупномасштабных систем приведёт к ускорению процесса проектирования и повысит качество функционирования крупномасштабных систем и их элементов.

Литература

1. Антонова Г.М. Применение последовательности Соболя для оптимизации динамических стохастических систем. 2015
2. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Дрофа, 2006. – 175 с.
3. Лисейкин В.Д. Методы построения разностных сеток. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2014. – 208 с.
4. Антонова Г.М. Сеточные методы равномерного зондирования для исследования и оптимизации динамических стохастических систем. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 224 с.