
СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТАМОДЕЛЕЙ

Павел Афонин

Аннотация: В работе рассматривается задача оптимизации на основе имитационных моделей сложных систем. Основное внимание уделено оптимизации с использованием генетических алгоритмов. Отмечается необходимость построения и использования метамоделей в процессе поиска решения. Представлена архитектура системы оптимизации на основе имитационного моделирования, генетического алгоритма и нейросетевых метамоделей.

Ключевые слова: Имитационное моделирование, оптимизация, генетический алгоритм, мета модель, нейронная сеть.

Введение

На сегодняшний день большое число задач оптимизации сложных систем из различных областей науки и техники не могут быть решены с помощью аналитического моделирования. Во многих случаях единственным методом решения является метод имитационного моделирования [Лоу и Кельтон, 2004]. Задача оптимизации на основе имитационного моделирования формулируется следующим образом: необходимо найти значения входных переменных (факторов), оптимизирующих основной выходной показатель системы (отклик). При этом предполагается, что функция отклика не может быть вычислена аналитически, но может быть рассчитана с помощью имитационного моделирования, т.е. с помощью проведения имитационного эксперимента с моделью сложной системы.

Оптимизация на основе имитационного моделирования заключается в совместном использовании имитационной модели (ИМ) сложной системы и алгоритма оптимизации. С помощью ИМ рассчитывается значения отклика для различных комбинаций значений факторов, которые предлагает алгоритм оптимизации. Поисковый алгоритм оптимизации, в свою очередь, используя значения отклика, пытается улучшить решение. Следует подчеркнуть, что одной из основных проблем оптимизации на основе имитационного моделирования является проблема длительности прогонов ИМ на языках имитационного моделирования. Кроме того, существует проблема предварительной сходимости алгоритма оптимизации.

В данной работе описаны методы и алгоритмы оптимизации на основе имитационного моделирования. Представлены наиболее популярные в настоящее время программные пакеты оптимизации. Для решения проблемы сокращения времени на поиск решения отмечается необходимость построения и использования метамоделей. Основное внимание уделено метамоделям на основе нейронных сетей (НС). Описаны методы построения и использования нейросетевых метамоделей совместно с алгоритмом оптимизации. Проведен анализ факторов, которые могут оказывать влияние на качество получаемого решения, исходя из чего, предложена архитектура системы оптимизации на основе имитационного моделирования.

Методы и средства оптимизации на основе имитационного моделирования

Наиболее важными свойствами, которыми должны обладать системы оптимизации на основе имитационного моделирования, являются: качество получаемых решений (хотя его трудно определить на практике, поскольку истинный оптимум не известен) и время поиска, необходимое для их получения. Время поиска решения зависит от количества конфигураций системы, которые необходимо моделировать, а также от времени прогона одной конфигурации системы.

Необходимо отметить, что применение в качестве алгоритма оптимизации точных математических методов оптимизации, обеспечивающих нахождение оптимального решения, не всегда целесообразно, поскольку имитационная модель является копией реальной системы с некоторой степенью точности. При этом использование точных методов, как правило, требует значительных вычислительных затрат, что во многих случаях является критичным или вовсе недопустимо. Поэтому в большинстве случаев в качестве алгоритма поисковой оптимизации лучше использовать методы, которые не обязательно гарантируют достижение точного оптимума, а находят близкие к оптимальным решения и при этом обеспечивают быструю поисковую сходимости алгоритма.

На сегодняшний день существует несколько программных пакетов оптимизации имитационного моделирования, которые используют средства имитационного моделирования совместно с различными методами поиска решений. Далее представлена краткая информация об этих пакетах с указанием их поставщиков, программ моделирования, которые они поддерживают, а также используемых процедур поиска решений:

- AutoStat AutoSimulations (Inc AutoMod), программы моделирования: AutoSched, процедуры поиска: эволюционные стратегии;
- OptQuest Optimization (Technologies, Inc.), программы моделирования: Arena, Micro Saint, QUEST процедуры поиска: поиск с рассеиванием, поиск с запрещением, нейронные сети;
- OPTIMIZ (Visual Thinking International Ltd.), программы моделирования: SIMUL8, процедуры поиска: эволюционные стратегии, нейронные сети;
- SimRunner2 (PROMODEL Corp.), программы моделирования: MedModel, ProModel, ServiceModel процедуры поиска: эволюционные стратегии, генетические алгоритмы;
- WITNESS Optimizer (Lanner Group, Inc.), программы моделирования: WITNESS, процедуры поиска: имитация отжига, поиск с запрещением.

Как можно видеть, в большинстве пакетов оптимизации в качестве процедур поиска решений используются эволюционные стратегии и генетические алгоритмы (ГА) [Goldberg, 1989]. На сегодняшний день эти методы хорошо себя зарекомендовали как универсальные алгоритмы глобального поиска, которые позволяют находить квазиоптимальные решения за приемлемое время.

Использование метамоделей

Как было сказано выше, одной из основных проблем оптимизации на основе имитационного моделирования является проблема длительности прогонов имитационной модели. Прогон ИМ для некоторых больших систем на языках имитационного моделирования может достигать нескольких часов [Лоу и Кельтон, 2004]. Реализация серии прогонов таких систем, необходимой для алгоритма оптимизации, за разумное время не представляется возможным.

Наиболее применимым на практике способом решения данной проблемы является использование метамоделей. Метамоделью принято называть приближенную математическую модель, полученную в

результате экспериментов с имитационной моделью с целью замещения последней при оптимизации. Основными методами построения метамоделей являются регрессионные модели и искусственные нейронные сети (НС), к которым в последнее время проявляется большой интерес, благодаря их мощной аппроксимирующей способности. Одной из первых фундаментальных работ по построению нейросетевых метамоделей в имитационном моделировании является работа [Pierreval, 1992].

Существуют различные схемы реализации поиска решения с помощью эволюционных вычислений и нейростетевых метамоделей. В частности, в работе [Jin and other, 2002] описаны две схемы организации эволюционных вычислений с помощью метамоделей: схема на основе контроля особей и схема на основе контроля поколений. В первом случае задается число контролируемых особей, для которых на каждом поколении работы алгоритма осуществляется расчет функции пригодности (ФП) с помощью прогона ИМ. Для остальных особей в популяции расчет ФП реализуется с использованием метамоделей. Во втором случае задается число контролируемых поколений, для которых реализуется расчет ФП всех особей популяции с использованием ИМ. Для неконтролируемых поколений расчет ФП осуществляется с помощью метамоделей. При этом непосредственно стратегия поиска решения и обучение НС реализуются с помощью ковариационной матрицы адаптации.

В работах [Rasheed and Hirsh, 2000] и [Persson and other, 2007] представлена схема поиска решения основанная на стратегии информированности операторов ГА. Данная стратегия заключается в генерации большого числа потомков в операторах скрещивания и мутации генетического алгоритма и последующего расчета их ФП с помощью метамоделей. Приводятся результаты экспериментов с моделями сложных систем, которые показывают эффективность выбранной стратегии.

В работе [Kern and other, 2006] описано использование различных эволюционных стратегий совместно с локальными метамоделями. Проведены исследования для большого числа классических тестовых функций. Представлены результаты экспериментальных данных, которые говорят об эффективности тех или иных метамоделей.

Архитектура системы оптимизации на основе имитационного моделирования, генетического алгоритма и нейросетевых метамоделей

В результате анализа описанных выше схем поиска решений с использованием метамоделей было выявлено, что каждая из них обладает определенными достоинствами и недостатками. С целью комбинации достоинств методов, предлагается объединить три описанные схемы, а именно, схему на основе контроля особей, схему на основе контроля поколений и схему, основанную на стратегии информированности операторов в одну систему оптимизации. Определим основные параметры системы оптимизации: 1. число контролируемых особей; 2. число контролируемых поколений; 3. число потомков в операторах скрещивания и мутации; 4. способ генерации потомков в операторах скрещивания и мутации; 5. число прогонов ИМ для расчета ФП одной особи; 6. Способ подбора обучающих данных для НС.

На сегодняшний день не существует общей стратегии по выбору данных параметров при оптимизации конкретных систем. Также следует подчеркнуть, что для организации эффективного поиска решения и корректной сходимости оптимизационного алгоритма должна иметься возможность подстройки параметров системы оптимизации в процессе поиска решения. С этой целью предлагается использовать экспертную систему (ЭС). Рассмотрим систему оптимизации на основе имитационного моделирования, которая разработана опираясь на предложенную ранее архитектуру системы [Афонин, 2006], путем введения экспертной системы и необходимых связей (рис.1).

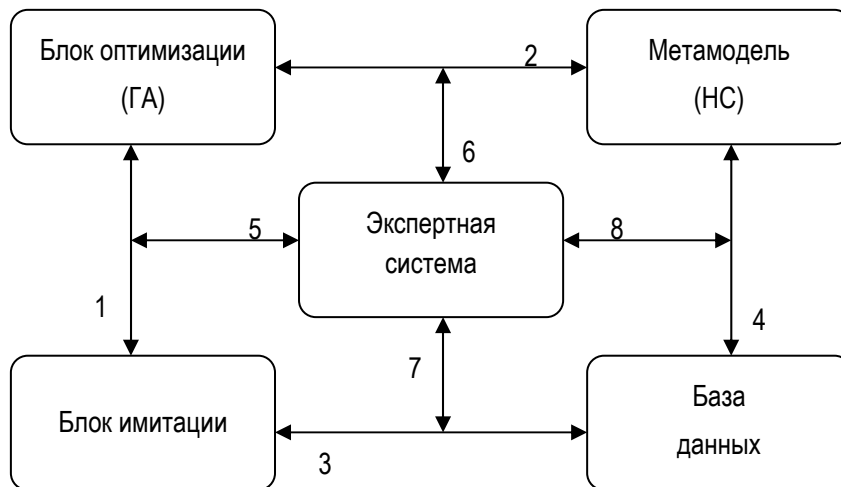


Рис.1. Система оптимизации на основе имитационного моделирования

Опишем связи блоков системы. Связь 1 реализует поиск решения на основе генетического алгоритма и ИМ. Связь 2 реализует поиск решения на основе мета модели. Связь 3 осуществляет формирование обучающих примеров для нейронной сети. Они представляют собой преобразование входов ИМ в выходы, которые были получены с помощью прогона предложенных решений блоком оптимизации на ИМ. Связь 4 реализует передачу обучающих примеров для обучения нейронной сети. В общем случае не все примеры из БД могут использоваться для обучения НС на определенном этапе поиска решения. Связь 5 определяет необходимое число прогонов ИМ для одной особи, которую предлагает ГА. Связь 6 реализует стратегию поиска на основе мета модели (контролируемые особи, контролируемые поколения). Связь 7 определяет, какие примеры могут входить в БД – в общем случае входят все примеры, т.е. которые описывают все прогоны ИМ. Связь 8 Определяет какие примеры будут использоваться для обучения НС на текущем этапе поиска решения. Также в задачи ЭС входит определение числа потомков и способа генерации потомков в операторах скрещивания и мутации на каждом этапе поиска решения.

Заключение

В данной работе представлена архитектура системы оптимизации на основе имитационного моделирования, генетического алгоритма и нейросетевых метамоделей. Выявлены факторы, которые могут оказывать влияние на качество получаемого решения. Отмечена необходимость использования экспертной системы для организации правильного взаимодействия компонентов системы и определения параметров оптимизации в процессе решения. Представлены современные методы, алгоритмы и программные пакеты оптимизации на основе имитационного моделирования. В дальнейшем предполагается детальная проработка и исследование отдельных взаимосвязей и компонентов системы.

Библиография

- [Лоу и Кельтон, 2004] А.Лоу, Д.Кельтон. Имитационное моделирование: Пер. с англ. (3-е изд.) – СПб.: BHV, 2004.
- [Goldberg, 1989] D.E.Goldberg. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. – New York: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
- [Pierreval, 1992] H.Pierreval. Training a neural network by simulation for dispatching problems, Proceedings of the Third Rensselaer International Conference on Computer Integrated Engineering, New York, 1992, 332–336.

-
- [Jin and other, 2002] Y.Jin, M.Olhofer; B.Sendhoof. A framework for evolutionary optimization with approximate fitness functions. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.6, No.5, pp.481-494, 2002.
- [Rasheed and Hirsh, 2000] K.Rasheed, H.Hirsh, 2000. Informed operators: Speeding up genetic-algorithm-based design optimization using reduced models. In Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2000), Las Vegas, Morgan Kaufmann, pp. 628–635, 2000.
- [Persson and other, 2007] A.Persson, H.Grimm, A.Ng. Metamodel-assisted global search using a probing technique. In Proceedings of The IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA'07), 2007.
- [Kern and other, 2006] S.Kern, N.Hansen, P.Koumoutsakos. Local meta-models for optimization using evolution strategies. In proceedings of PPSN, 2006.
- [Афонин, 2006] П.В.Афонин. Гибридные системы интеллектуального имитационного моделирования // Новости искусственного интеллекта. – 2006. – №1.

Информация об авторе

Павел Афонин - к.т.н., доцент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» МГТУ им. Баумана; 2-я Бауманская, д.5, Москва, Россия; e-mail: pavlafon@yandex.ru