

**СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИКЕ****Хлопков Ю.И.****STATISTIC MODELING IN CALCULATIVE AERODYNAMICS****Khlopkov Y.I.**

В работе излагается обзор методов Монте-Карло, разработанных в вычислительной аэродинамике разреженного газа, и их применение в смежных, нетрадиционных для использования статистического моделирования, областях. Приводится краткая история развития методов, их основные свойства, достоинства и недостатки. Устанавливается связь прямого статистического моделирования аэродинамических процессов с решением кинетических уравнений и показывается, что современный этап развития вычислительных методов немаловажен без комплексного подхода к разработке алгоритмов с учётом всех особенностей решаемой задачи: физической природы процесса, математической модели, теории вычислительной математики и стохастических процессов. Рассматриваются возможные пути развития методов статистического моделирования.

Общая схема методов Монте-Карло. Проявление методов статистического моделирования (Монте-Карло) в различных областях прикладной математики, как правило, связано с необходимостью решения качественно новых задач, возникающих из потребностей практики. Так было при создании атомного оружия, на первом этапе освоения космоса, исследовании явлений атмосферной оптики, физической химии, моделировании турбулентности. В качестве одного из более-менее удачных определений методов Монте-Карло можно привести следующее:

Методы Монте-Карло – это численные методы решения математических задач (систем алгебраических, дифференциальных, интегральных уравнений) и прямое статистическое моделирование (физических, химических, биологических, экономических, социальных процессов) при помощи получения и преобразования случайных чисел.

Первая работа по использованию метода Монте-Карло была опубликована Холлом в 1873 году именно при организации стохастического процесса экспериментального определения числа  $\pi$ .

Сложная нелинейная структура интеграла столкновения и большое количество переменных (в общем случае - 7) создают существенные трудности для анализа, в том числе и численного и практически исключают конечно-разностный подход для серьёзных задач. И, в тоже время, многомерность и вероятностная природа кинетических процессов создают естественные предпосылки для применения методов Монте-Карло. Исторически развитие численных статистических методов в динамике разреженных газов шло по следующим трем направлениям: использование методов Монте-Карло для вычисления интегралов столкновения в регулярных конечно-разностных схемах решения кинетических уравнений; прямое статистическое моделирование физического явления, которое разделяется на два подхода: моделирование траекторий «пробных частиц» по Хэвилленду и моделирование эволюции «ансамбля частиц» по Бёрду; построение случайного процесса типа процедуры Уалама-Неймана, описанной в, соответствующего решению линеаризованного кинетического уравнения либо Master Equation Каца.

Вероятностная природа аэродинамики разреженных газов так важна для применения и разработки численных схем Монте-Карло естественным образом следует из общих принципов кинетической теории и статистической физики.

В книге устанавливается связь прямого статистического моделирования аэродинамических процессов с решением кинетических уравнений и показывается, что современный этап развития вычислительных методов немаловажен без комплексного подхода к разработке алгоритмов с учётом всех особенностей решаемой задачи: физической природы процесса, математической модели, теории вычислительной математики и стохастических процессов. Работа выполнена при поддержке РНФ (Грант № 14-11-00709).

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГНИТИВНОГО ПОДХОДА К ИССЛЕДОВАНИЯМ  
АЭРОТЕРМОДИНАМИКИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ****Хлопков Ю.И., Чернышев С.Л., Зея Мью Мьинт, Хлопков А.Ю.****USAGE OF COGNITIVE APPROACH AT THE STAGE OF PRIMARY PROJECTION  
OF HIGH-SPEED FLYING APPARATUS****Khlopkov Y.I., Chernyshev S.L., Mint Zea Mio, Khlopkov A.Y.**

Вообще, методология познания является главным способом ориентации человеческой цивилизации в окружающем мире. По большому счету, существуют три основных группы методов познания – наука, искусство и религия, хотя хронологически их необходимо расположить в обратном порядке. И совсем неочевидно, как их следует расположить по объёму и важности полученных с помощью этих методов знаний. Каждая из групп обладает своим пространственно-временным масштабом, приоритетным предметом исследования и набором инструментов познания. Принято считать, что в основе науки лежит исследование законов природы при помощи, главным образом, логических умозаключений.

Современный этап компьютерных информационных технологий и математического моделирования в области создания программного комплекса для решения задач многодисциплинарной оптимизации в настоящее время весьма актуальным является изучение и разработка методов, основанных на применении искусственных интеллектуальных систем. В последние годы бурное развитие мировой науки является исследованиями технологий из важнейших четырех направлений: био-, нано-, инфо-, и когно- технологий (Nano-Bio-Info-Cogno technologies). Ядром этих направлений считается когнитивная наука.

Вообще, когнитивные технологии являются достижениями развития теории самоорганизации, компьютерных информационных систем, нейронаукой и ряд других научных направлений. Когнитивная информатика является междисциплинарным исследованием когнитивных и информационных наук, которая исследует информации механизмов и процессов естественного интеллекта (человеческого мозга и разума), и их инженерные приложения с помощью междисциплинарного подхода (искусственный интеллект, современная информатика, информатика, искусственный интеллект, кибернетика, когнитивная наука, нейропсихология, медицинская наука, философия, формальная лингвистика и наука о жизни). Когнитивная наука выделяет системы представления знаний на три основных типов: системы правил - понятия и процедуры, закодированные в виде правил типа условие действия. Такого типа чаще всего применяются в промышленных экспертных системах; семантические сети - связь сложной сетью (род - вид, часть - целое, логические и функциональные связи); структуры отношений - знаний, наиболее популярна теория фреймов М. Минского. Теория представляет собой некую информацию, на основе которой человек строит прогнозы, а также соотносит свое поведение. Большое внимание когнитивного подхода уделяется вопросам понимания естественного языка, компьютерного перевода, проблемам компьютеризации общества и теории искусственного интеллекта. Когнитивный подход может рассматриваться как трамплин, позволяющий преодолеть невидимые барьеры, которые нередко возникают между людьми, говорящими и мыслящими на разных языках. После второй мировой войны с бурным развитием кибернетики и вычислительной техники появились первые думающих машин, пытающихся решать логические задачи, играть в шахматы, понимать устную и письменную речь, переводить ее на другие языки, вынудили по-новому взглянуть на процессы мышления, познания и понимания.

Более полувека назад отцами кибернетики Богдановым, Винером и Нейманом была сформулирована задача соединения вычислительных возможностей компьютера с когнитивными способностями человеческого мозга. Подобный подход был практически реализован (метод Монте-Карло) при освоении атомной энергии, как в военных, так и в мирных целях (Лос-Аламосская национальная лаборатория, Арзамас-16). Эта идея лежит и в основе современных технологий компьютерного проектирования.

Экспериментальное исследование высокоскоростных течений является чрезвычайно сложным и дорогостоящим. Для сокращения времени проектирования и числа дорогостоящих натурных и стендовых экспериментов создаются специализированные компьютерные системы типов - Knowledge Based Engineering (КВЕ), Computer Aided Design (CAD). Традиционно в моделировании используются математические модели, основанные на физике процессов и описывающие физические процессы и явления, происходящие при функционировании объекта. В аэрогидродинамике эти явления описываются сложными дифференциальными и интегро-дифференциальными уравнениями в частных производных (например, краевые задачи для уравнений Эйлера, Навье-Стокса, Рейнольдса, Больцмана). Для таких уравнений, как правило, неизвестны ни теоремы существования и единственности решения, ни характер зависимости решения от параметров и граничных условий. Используемые численные методы имеют значительную вычислительную трудоемкость, как самих расчетов, так и подготовки исходных данных, описывающих вариант построения объекта, и расчетных сеток. Это существенно сокращает возможности использования точных моделей особенно на стадии предварительного проектирования, на которой рассматривается большое количество вариантов решений и высока цена неправильно выбранного решения.

В предельном случае свободномолекулярного течения интеграл столкновений в уравнении Больцмана обращается в нуль, и его общее решение представляет собой граничную функцию распределения, сохраняющуюся вдоль траекторий частиц. Определение граничных условий на обтекаемых разреженным газом поверхностях является одной из важнейших проблем кинетической теории газов. Исследование течений газа в переходной области между течениями сплошной среды и свободномолекулярным представляет собой достаточно сложную задачу. Сложность обусловлена тем, что описание этих течений выходит за рамки обычной газовой динамики и требует учета молекулярной структуры газа для чего необходимо решать уравнение Больцмана. При моделировании натуральных условий основного критерия подобия Рейнольдса необходимо выдерживать целый ряд других критериев подобия.

В последние годы стали развиваться физико-математические модели, основанные именно на когнитивном подходе. Такие модели строятся на основе научного и интуитивного анализа базы данных, полученной путем теоретического, экспериментального, численного исследований, проведенных с различными объектами рассматриваемого класса. Построенные таким образом модели фактически имитируют как источники получения данных, основанные на некоторой исходной модели, так и сами модели, созданные на основе изучения физики процессов. В этой связи появились инженерные методы, основанные на когнитивных подходах и дают возможность предсказания.

Для решения задач многодисциплинарной оптимизации в настоящее время весьма актуальным и важным является изучение и разработка методов, основанных на применении систем с искусственным интеллектом. Можно условно выделить четыре основных подхода к построению интеллектуальных систем (нейронные сети, нечеткая логика, экспертные системы, эволюционные алгоритмы). Отличительной чертой всех этих подходов является то, что в отличие от стандартных детерминированных методов, они используют идеи моделирования работы мозга, механизма принятия решений человеком. В то же время, каждый из этих методов обладает своими особенностями. Важной чертой искусственных нейронных сетей является то, что в силу конструктивных особенностей они позволяют успешно решать задачи с большим количеством переменных, не требуя большого количества вычислительных ресурсов.

В книге излагается разработка когнитивной технологии в вычислительной аэродинамике. Предлагаются методы исследования аэродинамических характеристик высокоскоростных летательных аппаратов в широком диапазоне режимов течения. Книга основана на курсе лекций, прочитанных для студентов факультета аэромеханики и летательной техники МФТИ (государственного университета) профессором Ю.И. Хлопковым. Книга предназначена для студентов и аспирантов высших учебных заведений авиационно-космического профиля, специалистов и всех, интересующихся вопросами освоением космоса, а также для школьников старших классов при выборе будущей профессии. Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант № 14-11-00709).