

Значение вероятностно-множественного подхода в преподавании инженерных дисциплин на современном этапе развития материальных и информационных технологий

Чабдаров Ш.М., Надеев А.Ф., Файзуллин Р.Р., Егоров А.Е.

Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева, г. Казань

E-mail: domax@newmail.ru

Аннотация

Рассматриваются особенности формирования стохастического мышления в процессе инженерной подготовки студентов. Показано, что развитие науки и техники носит диалектический характер, как переход от детерминистических моделей и методов исследования к стохастически-множественному подходу в изучении научной дисциплины.

1. Введение

Подготовка специалистов, соответствующих современному уровню бурно развивающихся материальных и информационных технологий должна опираться на фундаментальные закономерности развития технических дисциплин.

Процесс обучения в ВУЗе на первых этапах ориентирован на детерминистический подход к инженерным методам проектирования, разработки и производства, что на современном этапе развития материальных и информационных технологий качественно не соответствует глубоко стохастичному характеру естественнонаучных достижений. Изучение студентом технических дисциплин в необходимой детерминистической постановке сводится к наблюдению и исследованию отдельно взятой, конкретной реализации того или иного явления в рафинированных условиях функционирования аппаратуры, что приводит к несоответствию уровня мышления специалиста, и как следствие, математического аппарата применяемого им в своих исследованиях, с реальными свойствами процессов, полей и т.п., имеющим место в проектируемых им устройствах. В условиях современного бурного развития науки, техники и технологии, студент, ставящий своей целью стать квалифицированным специалистом в своей области, должен обладать также и качественно иным уровнем мышления, постоянно имея ввиду множество возможных

реализаций рассматриваемых процессов и явлений совместно с их частностями. Иными словами, в процессе его обучения в высшем учебном заведении должен произойти диалектический переход от детерминистических моделей и методов исследований к осознанию идеологии стохастически-множественного подхода к инженерным задачам. Решению указанной методической задачи и соответствуют в полной мере новые информационные технологии. По нашему опыту, это является одной из важнейших характеристик передовых обучающих технологий, основанных на имитационном моделировании.

2. Детерминистический и стохастически-множественный этапы развития научного знания

Анализ истории техники убеждает, что новая техническая дисциплина, возникающая в соответствии с потребностями общества, в своем развитии проходит несколько этапов. Она возникает, как правило, тогда, когда сумма вновь познанных свойств реального мира в соответствующей области естествознания достигает, образно говоря, "критической массы", т.е. когда адекватное использование этих-знаний начинает приводить к полезному для общества эффекту. В большинстве случаев новые технологические дисциплины при этом возникают на методической и технической базе одной или нескольких других технических дисциплин, ранее порожденных относительно близкими естественнонаучными достижениями. Таким образом, первое практически-прагматическое использование полученных естествоиспытателями новых знаний с помощью адаптированных технических средств и опыта более ранних технических дисциплин - это первый этап, предыстория новой технической науки.

Следующий этап развития собственно новой технической науки - это создание теории и технологии, инженерных методов проектирования,

накопление опыта разработок, производства и эксплуатации новой техники. Одновременно возникают новые естественнонаучные проблемы - становление и первые шаги прикладной науки стимулируют исследования в соответствующих областях фундаментальных наук. Последующие крупные достижения в базовой области естествознания обеспечивают качественные скачки в дальнейшем развитии прикладной науки, вплоть до вычленения из нее новых дочерних технических дисциплин.

Основная характеристика указанных первых двух этапов развития новой технической дисциплины - детерминизм. При этом инженерные методики и опыт разработки, производства и эксплуатации отражают детерминистический взгляд на технические и эксплуатационные показатели новой техники с позиций основных положений базисной области естествознания. Возможно, что сама сущность естественнонаучных открытий, порождающих новую прикладную дисциплину, принципиально стохастична. Можно убедиться, что и в этой ситуации первые этапы развития прикладной науки связаны с детерминистическими формами технических и эксплуатационных параметров промышленной продукции.

Когда же глубина знаний теоретиков и мастерство практиков исчерпывают возможности детерминистических моделей реальных явлений, когда точность инженерных моделей и методик, и возможности производства с неизбежностью достигают уровня технических и (или) естественных флуктуации, наступает стохастический период развития прикладной науки. В подавляющем большинстве технические дисциплины связаны с массовым производством и (или) многократным повторением существенных явлений в относительно однородных условиях, когда справедлива гипотеза о статистической устойчивости и, следовательно, применимы методы современной теории вероятностей и математической статистики.

В свою очередь, переход в описании существенных технических характеристик от детерминизма к стохастическим представлениям, требуя качественно нового методологического подхода, осуществляется, как показывают факты из истории технических наук и инженерной подготовки, некоторыми этапами. Эти этапы определяются использованием различных теоретико-вероятностных моделей существенных факторов, с различной полнотой отображающих реальные флуктуации протекающих рабочих процессов и возмущающих воздействий, а также разбросы параметров технических устройств.

Итак, в развитии прикладных наук можно

выделить предысторию, период детерминизма и период стохастизма, каждый из которых разбивается на определенные этапы. Для введения количественного параметра в интересах периодизации развития технических наук в связи с выделением периодов детерминизма и стохастизма обратимся к понятиям вероятностных моментов различных порядков. Как известно, полнота описания всякого случайного явления тем больше, чем выше порядок и размерности смешанных вероятностных моментов, определяющих используемую вероятностную модель. Для полного описания реальных случайных явлений практически достаточно счетного множества вероятностных моментов различных порядков, используемого непосредственно или в более компактной форме. При этом для описания детерминированных явлений достаточно ограничиться вероятностными моментами только первого порядка. Размерности смешанных вероятностных моментов, в частности, отражают учет характера вероятностной взаимозависимости описываемых случайных явлений.

Период детерминизма соответствует использованию в теоретических моделях вероятностных моментов только первого порядка: детерминированные зависимости между существенными переменными фактически используют математические ожидания реальных случайных факторов.

Дополнительно к характеристике новых двух этапов периода детерминизма, отметим еще один аспект, связанный с этими этапами. На первом этапе становление теоретических основ в прикладных науках связано с установлением статических, зачастую лишь линейных взаимосвязей формализованных существенных явлений. Инженерам практически всех специальностей хорошо известны методики расчетов, основанные на линейных соотношениях переменных с эмпирическими коэффициентами. И лишь затем, в процессе объективно необходимого развития теории, разрабатываются инженерные методики, основанные на методах и моделях математической теории динамических систем и структур, вначале линейных, затем нелинейных линеаризуемых, с существенными нелинейностями, с распределенными параметрами, их различные структурные свойства. Фактически это означает нарастание соответствия математических моделей и методов теоретических основ прикладной науки реальным свойствам существенных параметров, процессов, полей и т.п., имеющим место в создаваемых устройствах и характеризующих их взаимодействие со средой функционирования.

В начале стохастического периода в дополнение к

изучавшимся ранее только средним значениям существенных переменных добавляется учет и средних отклонений этих переменных от средних значений. Другими словами, в теоретических моделях в качестве свободных - варьируемых показателей используются вероятностные моменты не выше второго порядка. Это приводит к ряду стандартных вероятностных распределений (с необходимостью малопараметрических). Наиболее характерной и распространенной вероятностной моделью на этом этапе стохастического периода является гауссовское - нормальное случайное явление (случайная величина, вектор, процесс, поле и т.п.). Гауссовские модели приводят к корреляционной теории случайных явлений и, как правило, к линейным формам достаточных статистик, а в общем случае - к достаточным статистикам не выше второго порядка.

Для отдельных технических дисциплин в пределах корреляционного этапа можно выделить, в свою очередь, подэтап некоррелированных моделей и процедур независимых испытаний, а также последующий подэтап, характеризуемый учетом взаимозависимости случайных факторов в виде реальных авто- и взаимокорреляционных функций, схемами зависимых испытаний и т.д. Для радиотехники первый подэтап связан с белым шумом в качестве модели помех в теории оптимального приема, с независимостью факторов в теоретических основах технологии и др. Второй подэтап - это окрашенный коррелированный шум в теории оптимального приема, возникновение теории оптимальных сигналов и эффективных шумовых помех. Вообще различия этих подэтапов формализуются свойствами смешанных вероятностных моментов второго порядка. Для первого эти моменты факторизуются, для второго - нет.

Когда же практика исчерпает объяснительно-предсказательные возможности корреляционной теории, программирующей инженерные исследования и разработки, в стохастическом периоде с неизбежностью наступает послекорреляционный этап (порядок вероятностного момента более 2), где реальные явления описываются более полными вероятностными моделями. При этом развивается новая программа исследований и разработок, выявляющая более широкие объяснительно-предсказательные возможности по отношению к предмету данной технической дисциплины.

На каждом этапе своего развития техническая дисциплина формирует соответствующую эмпирическую и теоретическую основу, логику и совокупность доказанных утверждений, инженерную методологию и т.д. Как правило, на каждом новом

этапе эти основные компоненты теории опираются на прежние и вбирают их как важнейшие, частные случаи. Здесь в полной мере непосредственно реализуется принцип соответствия Бора по которому "новые теории должны включать старые в виде предельных случаев" (Указ, работа Гвоздева В.И., Попова О.Н., Сезонова Ю.И.).

Аналогично тому, как в детерминистическом периоде теоретической радиотехники основной моделью сигналов являлось гармоническое колебание, одним из основных методов являлось преобразование Фурье, связанное с дискретными или континуальными совокупностями гармонических функций, а в начале стохастического периода корреляционная теория случайных явлений связана с гауссовскими моделями, послекорреляционный этап, в дополнение к гауссовским и другим малопараметрическим моделям, с неизбежностью будет связан с вероятностными смесями подобных стандартных моделей.

Действительно, этап корреляционных приближений в технике, когда подавляющее большинство случайных явлений принимается нормальными -гауссовскими, связан с предельной проблемой теории вероятностей, в частности, с центральной предельной теоремой Ляпунова для сумм независимых случайных слагаемых. Но дальнейшее развитие этой проблемы и, в частности, переход к суммам зависимых слагаемых, составляющий основу центральной асимптотической проблемы теории вероятностей, свидетельствует о том, что в этих случаях роль известных трех предельных распределений играют смеси этих же распределений.

В соответствии с тем, как распространен гауссов закон на корреляционном этапе, на следующих этапах стохастического периода развития технических наук следует ожидать использования в дополнение к гауссовским вероятностных смесей гауссовских законов, т.е. полигауссовых моделей и методов.

Наличие в математическом арсенале прикладной науки вероятностных смесей случайных явлений требует детального изучения, а в начале исследований и упрощенных инженерных методик - более или менее оправданных допущений о механизме смешивания. Прежде всего - это вопросы вероятностной зависимости или независимости смешиваемых компонентов, далее - конкретные особенности и приемлемые математические модели процедуры смешивания компонентов.

В соответствии с этим послекорреляционный этап стохастического периода, как и предшествующий, можно разделить на подэтап вероятностных смесей с независимыми компонентами и простейшим

процессом их смешивания типа белого шума и подэтап со взаимозависимостью.

Методы соответствующие стохастическому этапу предполагают работу с множествами возможных реализаций на основе формализации и использования соответствующих вероятностных законов, заданных на этих множествах. Применительно к инженерным задачам это фактически означает работу с множествами возможных технических решений. Корректное решение подобных задач возможно при условии того, что инженер (исследователь) владеет общей идеологией современного стохастического этапа развития.

Актуальность вероятностно-множественного подхода обусловлена еще и тем обстоятельством, что в условиях современного бурного развития научно-технического прогресса, передовых материальных и информационных технологий, множество возможных технических решений (множество реализаций) лавинообразно растет, при этом методы детерминистического подхода, ориентированные на работу с отдельными реализациями, практически не оставляют шансов отыскания оптимальных решений в стремительно увеличивающемся множестве возможных.

3. Описание виртуальной среды статистического моделирования

В настоящее время, благодаря интенсивному развитию потенциала вычислительных средств, большую роль при построении современных технических систем играет имитационное моделирование. При анализе и синтезе алгоритмического обеспечения различных систем, в частности телекоммуникационных систем, возникает задача исследования свойств, характеристик и показателей эффективности системы в зависимости от ее структуры, составляющих элементов, алгоритмов функционирования и различных режимов работы, стохастической природы мешающих воздействий. Решение системных задач такого класса становится невозможным без имитационного моделирования на ПЭВМ. В Казанском государственном техническом университете им. А.Н.Туполева для освоения студентами, обучающимися по направлению «Телекоммуникации», основ вероятностно-множественного подхода, под руководством профессоров Чабдарова Ш.М. и Надеева А.Ф. разработана виртуальная среда моделирования задач построения оптимальных алгоритмов и устройств обработки сигналов, а также пакет лабораторных работ по статистическому моделированию общеизвестных современных, а также полигауссовых

и марково-смешанных полигауссовых алгоритмов обработки многоэлементных сигналов при комплексе разнородных случайных помех и оценке их помехоустойчивости. Сущность машинного моделирования систем и сетей состоит в проведении эксперимента с некоторой моделью, которая представляет собой программно-имитационный комплекс, описывающий формально и алгоритмически поведение элементов системы в процессе ее функционирования. Такой метод моделирования обладает следующими достоинствами:

- наглядно отражает как структуру системы, так и динамику процессов, протекающих в системе;
- позволяет получать оценки характеристик системы в условиях, близких к реальным, а также исследовать показатели эффективности функционирования системы;
- позволяет “растягивать” или “сжимать” время протекания моделируемого процесса, а также оперировать в широких пределах случайностью ряда параметров системы, обеспечивая при этом широкое экспериментальное поле для анализа поведения системы.

При этом максимальная эффективность моделирования и достоверность его результатов достигается при наиболее полном учете специфики процессов исследуемой предметной области (адекватность и полнота математической (формализованной) модели) в рамках доступных вычислительных ресурсов. Таким образом, для задач имитационного моделирования, как и для задач синтеза, встает упоминавшаяся выше проблема соответствия алгоритмического обеспечения современным программно-аппаратным средствам. Это означает, что алгоритмы имитации случайных процессов должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать адекватное представление нестандартных случайных процессов со сложными внутренними взаимосвязями;
- допускать эффективную реализацию на современных вычислительных комплексах при наличии ограничений на используемые ресурсы.

Основными составляющими частями указанных имитационных комплексов являются:

- Блок априорной информации: содержит начальные данные необходимые для имитации сигнальных компонент;
- Блок имитации помехового комплекса: содержит данные по распределениям импульсных помех и гауссовского шума;
- Блок выбора типа модели в виде вероятностной смеси: определяет полигауссов или марково-

смешанный полигауссов характер носит распределение смеси;

- Блок формирования радиотрассы: происходит смешивание сигнальных и помеховых компонент;
- Блок обработки многомерного вектора наблюдений: моделирует работу алгоритма;
- Блок принятия решений: путем выбора максимума принимается решение в пользу той или иной гипотезы.

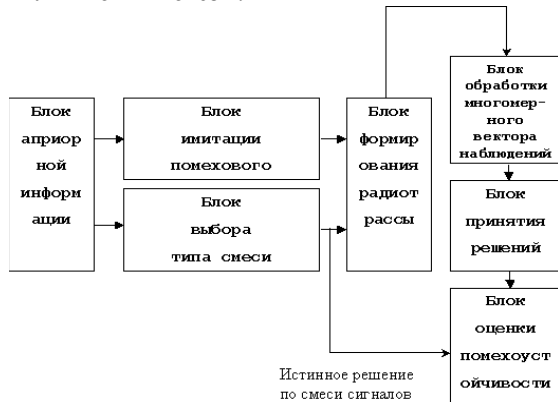


Рис. 1. Структурная схема модели статистических испытаний.

На всех этапах работы с имитационными моделями студент практически знакомится с присущими реальным системам множествами реализаций условий их функционирования, т.е. овладевает стилем стохастического мышления, одновременно рассматривая весь ансамбль с соответствующими вероятностными распределениями.

На рис. 2 представлена структурная схема программного пакета статистического моделирования полигауссовых (ПГ) и марково-смешанных полигауссовых (МС-ПГ) алгоритмов обработки сигналов. Пакет имеет модульный принцип построения, что обеспечивает легкость модификации при разработке программных модулей новых алгоритмов.

Большинство современных алгоритмов ориентированы на работу в рамках модели нормального случайного процесса, что не адекватно реально существующим распределениям сигнально-помеховой обстановки. Таким образом негауссовость сигналов и помех, нелинейность их обработки и ограничения на техническую реализуемость этих процедур приводят к недостаточности использования только гауссовых моделей, и требует использования новых методов анализа и синтеза систем передачи и обработки информации.

В комплексе имитационного моделирования реализованы модели сигналов, использующиеся в различных классах информационных систем, в

частности в системах подвижной радиосвязи, на основе полигауссовых и марково-смешанных полигауссовых моделей, которые позволяют с заданной точностью представлять произвольные вероятностные распределения.

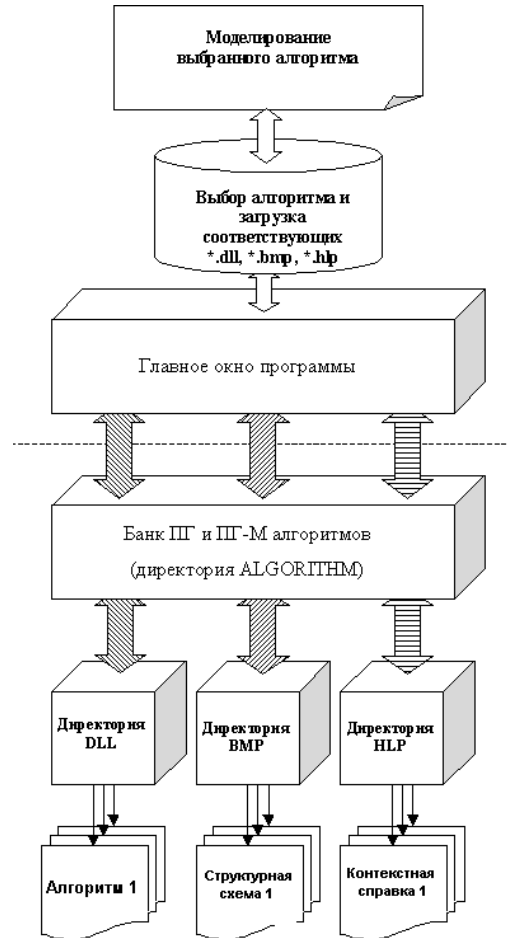


Рис. 2. Структурная схема программного пакета статистического моделирования ПГ и МС-ПГ алгоритмов.

Комплекс позволяет определять различные типы сигналов, помех, шумов, предоставляя возможность построения алгоритмов имитации удовлетворяющих указанным выше требованиям. Для построения процедур генерации ПГ и МС-ПГ процессов необходимо реализовать два уровня стохастической имитации:

- компонентный,
- событийный (смешивающий).

Первый уровень заключается в имитации системы гауссовских процессов, соответствующих гауссовским компонентам смешанной модели имитируемого процесса, он достаточно хорошо исследован в предшествующих работах по имитации смешанных случайных процессов.

Второй уровень фактически обеспечивает “сборку” результирующего смешанного процесса и представляет собой алгоритмическое обеспечение стохастического коммутатора. Использование МС-ПГ моделей, сочетающих достоинства смешанных и марковских моделей, позволяет эффективно реализовать оба уровня процедуры имитации.

На рис. 3 показан один из модулей комплекса, реализующий марково-смешанный полигауссов алгоритм обнаружения многоэлементных сигналов, широко использующихся в системах связи.

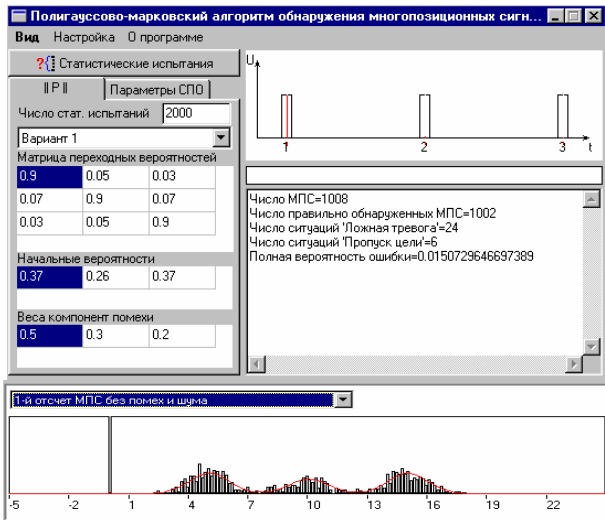


Рис.3. Модуль моделирования МС-ПГ алгоритма обнаружения многоэлементного сигнала.

Параллельно с процессом моделирования можно следить за формированием гистограмм (для каждого отсчета, одномерные распределения) как отдельно по сигнальным составляющим, так и по смеси “сигнал+помеха”, “сигнал+помеха+шум”. Одновременно с гистограммами можно отобразить теоретическое распределение плотности вероятности значений амплитуды для каждого отсчета.

По результатам моделирования, при необходимости, обучаемый может построить графики зависимости вероятности полной ошибки от числа импульсов в многоэлементном сигнале, вероятности “ложной тревоги”, вероятности “пропуска цели” (рис. 4).

Комплекс позволяет моделировать широкий класс статистических алгоритмов обработки сигналов современных систем связи, например один из модулей реализует алгоритм обработки сигналов системы множественного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA), как решение задачи полного разрешения многоэлементных сигналов (рис. 5).



Рис.4. Зависимость вероятности полной ошибки обнаружения, построенная по результатам моделирования.

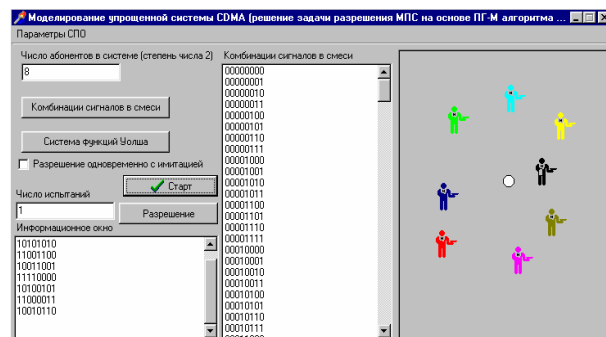


Рис.5. Моделирование работы системы CDMA.

Таким образом, изучение идеологии вероятностно-множественного подхода совместно с пакетами статистического моделирования стохастических алгоритмов позволяет сформировать у студентов соответствующую эмпирическую и теоретическую основу инженерного мышления, свободно владеющего математическим аппаратом исследования вероятностных систем.

4. Литература

- [1] Чабдаров Ш.М., Сафиуллин Н.З., Феоктистов А.Ю. Основы статистической теории радиосвязи: Полигауссовы модели и методы: Учеб. пособ. Казань: КАИ, 1983.-87 с.
- [2] Статистические модели и методы обработки сигналов в системах радиосвязи: Учебное пособие/ Ш.М.Чабдаров, Р.Р.Файзуллин, А.Ф.Надеев, Р.Х.Рахимов, А.Ю.Феоктистов; Казань: Изд-во Казанского гос. техн. ун-та. 1997.-90 с.
- [3] Чабдаров Ш.М., Надеев А.Ф., Файзуллин Р.Р., Егоров А.Е. Модели и методы обработки сигналов на основе вероятностных смесей с марковостью в информационных системах. // Международная конференция по телекоммуникациям IEEE/ICC2001, С.-Петербург, 2001.-С.137-140