Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

С. А. Прохоров, А. В. Графкин, Использование программного комплекса аппроксимативного корреляционно-спектрального анализа для решения задач обработки данных, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2007, выпуск 1(), 125–129

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu499>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.85.183.62

26 апреля 2023 г., 15:57:13

Прикладная информатика

УДК 681.518.3, 514:681.323/043.3/

С. А. Прохоров, А. В. Графкин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АППРОКСИМАТИВНОГО КОРРЕЛЯЦИОННО-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Приводится описание задач, для решения которых применялся программный комплекс корреляционно-спектрального анализа, позволяющий производить анализ случайных процессов в ортогональных базисах Лежандра, Лагерра, Дирихле. Особое внимание уделено использованию комплекса при разработке методики диагностики амортизаторов передней подвески автомобилей.

Решение задач статистического анализа случайных процессов, позволяющее сделать вывод о характере исследуемых данных, возможно с применением большого числа алгоритмов с помощью распространенных автоматизированных систем. Оно сводится к определению некоторого числа различных характеристик, которое варьируется от задачи к задаче и определяется спецификой предметной области.

Важный класс задач обработки касается интерпретаций сигналов. В этом случае цель задачи состоит не в получении выходного сигнала, а в описании характеристик входного. Например, при диагностике амортизатора автомобиля система диагностики направлена на интерпретацию входных сигналов, иными словами, на извлечение из них информации о демпфирующей способности амортизатора и о возможных неисправностях. При измерении звукоизоляции и звукопоглощения элементов конструкций, исследование характеристик сводится к определению компонент звукового давления [1]. Обычно подобные системы регистрируемый сигнал сначала подвергают цифровой обработке (фильтрация, оценка параметров и т.д.), чтобы привести его в тот вид, из которого система сможет извлечь информацию о техническом состоянии объекта исследования. Например, при диагностике амортизатора спектральная плотность мощности регистрируемых на штоке и «юбке» амортизатора сигналов предоставляет информацию о компонентах вибрации, соответствующих различным дефектам [2]. Информация о спектральном составе сигналов, в свою очередь, может подаваться на вход системы анализа спектров для получения окончательной интерпретации неисправностей амортизатора в виде названия неисправности.

Функциональные характеристики взаимосвязи занимают особое место в статистическом анализе. Они, как правило, требуют значительных материальных и вычислительных затрат, однако предоставляют существенную информацию об исследуемых процессах. Методы, используемые при анализе этих характеристик, можно условно разделить на две группы: цифровые, связанные с численным получением решения, и аналитические, основанные на построении зависимостей, формул или рядов [3]. Аналитические решения обладают рядом преимуществ, включающих возможность исследования влияния физических параметров, начальных и конечных условий на характер решения. Результаты аналитических решений способствуют разработке адекватных математических моделей; они более информативны, устойчивы, обладают возможностью вычисления значения в любой точке с заданной точностью, не прибегая к вычислениям в других точках. Недостатки подобных решений заключаются в том, что на практике обрабатываемые данные регистрируются в виде рядов, поэтому получение аналитических выражений для данных или их характеристик связано с вычислительными и материальными затратами. Численные решения универсальны, применяются тогда, когда аналитическое решение получить невозможно, при этом высокая производительность современных вычислительных комплексов уменьшает недостатки данных методов, связанных с быстродействием. Однако появление различных неустойчивостей, сложность использования результатов расчета, накопление ошибок округления существенно снижает ценность численных выражений.

Программный комплекс, с помощью которого решаются описываемые в данной работе задачи обработки данных, относится к классу программ анализа вероятностно-статистических характеристик случайных процессов и обработки результатов экспериментов в аналитическом виде. Основным достоинством данного комплекса является компактная, удобная для пользователя форма представления результатов, что позволяет их обосновывать и интерпретировать, а при необходимости включать непосредственно в процедуры дальнейших аналитических преобразований и расчетов.

Автоматизированный комплекс предназначен для определения взаимных корреляционных функций (ВКФ), аппроксимации полученных ВКФ ортогональными функциями Лагерра [4], Лежандра [5], Дирихле [5], определения по полученным оценкам ВКФ спектральных характеристик и интервалов корреляции, генерации коррелированных процессов, ввода-вывода случайных последовательностей (СП) в виде сигналов через устройства сопряжения компьютера.

Комплекс представляет собой инструмент, позволяющий гибко настраивать систему на решение задач аппроксимации и корреляционно-спектрального анализа. Настройка комплекса на решение задачи осуществляется созданием вычислительной семантической сети [6]. Сеть представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются вычислительные узлы (функциональные модули), в этих узлах происходит преобразование данных. Обрабатываемые данные передаются от одного узла к другому по дугам (интерфейсам).

Следует заметить, что разработанный программный комплекс является системой, функциональные возможности которой могут быть расширены за счет добавления новых функциональных модулей. При этом основные модули программного комплекса не изменяются, что повышает надежность комплекса в целом.

Программный комплекс позволяет осуществлять исследование (моделирование) сложных систем. При этом ввод параметров исследуемых систем производится в интерактивном режиме, путем графической сборки схемы соединений функциональных модулей, в результате чего получается модель исследуемой системы.

Использованные в рассматриваемом программном комплексе методы и алгоритмы корреляционно-спектрального анализа могут быть задействованы при решении достаточно широкого круга задач, связанных с обработкой экспериментальных данных. Примером такого решения служит использование комплекса при проведении диагностики амортизаторов передней подвески автомобилей.

Актуальность задачи обеспечения вибро-акустического комфорта автомобильной техники не вызывает сомнений. Одной из проблем является снижение шума и вибрации при работе амортизатора. По статистике гарантийных служб станций технического обслуживания большинство нареканий на работу амортизаторов связано с дефектом типа «стук». Существуют субъективные методы контроля шума амортизатора, а также сложные и длительные методы элементарной диагностики. Отсутствие объективных способов диагностики «стука» приводит к конфликтам при замене гарантийных агрегатов и комплектации новых автомобилей.

Одним из объективных методов диагностики является Шок-тест (shock-test). Он проводится на стенде, состоящем из небольшого пневматического подъемника и устройства с подпружиненными рычагами, отслеживающего вертикальные перемещения кузова. Колеса испытуемой оси приподнимаются на высоту 10 см, а затем резко опускаются, вызывая колебания кузова. По результатам измерения колебаний компьютер стенда вычисляет коэффициент затухания колебаний для каждого амортизатора испытуемой оси и сравнивает с предельно допустимой разницей. Однако этот метод не дает информацию о реальном состоянии амортизаторов. Поэтому, чаще используют возможности стендовой диагностики подвески. При этом применяют два основных метода: резонансный метод измерения амплитуды колебаний BOGE/МАНА; метод EUSAMA, который анализирует вибрационные колебания измерительной пластины с заданной частотой.

Принцип работы стендов, использующих резонансный метод, заключается в том, что на каждой оси автомобиля поочередно производится возбуждение колебаний измерительной платы. Частота колебаний увеличивается до достижения резонанса подвески, при котором достигается максимальный ход амортизаторов. Затем принудительное возбуждение колебаний прекращается, и производится анализ картины затухающих колебаний. Данный метод позволяет определить степень износа амортизаторов относительно эталона.

Второй, также широко распространенный, метод EUSAMA заключается в использовании вибрационных колебаний измерительной пластины с заданной частотой. В результате тестируется вся подвеска целиком, а стенд показывает алгоритмически вычисленный коэффициент

сцепления с дорогой колес автомобиля. Данный метод в своих стендах используют такие фирмы, как BOSCH, HOFMANN, Muller Bem, SUN [7].

Недостатком существующих методов является то, что они позволяют диагностировать только способность амортизатора гасить колебания и оценивать работоспособность подвески в целом. При этом отсутствует возможность инструментальной оценки шума изделия, в частности — выявления дефекта «стук».

Таким образом, необходима методика диагностики амортизаторов, выявляющая дефекты типа «стук» и позволяющая диагностировать их в короткое время и, по возможности, без снятия амортизатора с автомобиля.

Выявление дефектов амортизатора можно рассматривать как частные случаи общей задачи, состоящей в определении компонент вибрации, соответствующих различным дефектам и различным полосам частот. Для определения компонент вибрации устанавливалось два датчика акселерометра, один в верхней части амортизатора, на его штоке, другой в нижней части на «юбке» корпуса амортизатора.

Схема расположения датчиков приведена на рис. 1, в которой используются два акселерометра, расположенные в верхней и нижней частях амортизатора. При этом отпадает необходимость в разборке подвески и снятии амортизатора. Измерительная система оценивает воздействия непосредственно на амортизатор автомобиля, что недоступно при стендовой диагностике.

Исследования установили, что диагностика исправности амортизатора может быть произведена путем анализа спектрального разложения для вибрационных процессов, измеренных на исправном и неисправном амортизаторе.

Запись сигналов, вычисление взаимных спектров, передаточных функций являются стандартными функциями современных цифровых двухканальных анализаторов, основанных на использовании алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ). При этом от пользователя требуются навыки подбора параметров моделей, позволяющих оценить СПМ.

Р и с. 1. Структура измерительной системы

Альтернативой может служить метод, основанный на аппроксимативном анализе корреляционно-спектральных характеристик [4, 5, 8]. На первом этапе оценивается корреляционная функция, после чего определяется аппроксимативная модель КФ, знание которой, а также численных значений ее параметров, позволяет легко вычислять интервалы корреляции, спектральную плотность мощности, сократить объем хранимой о корреляционной функции информации.

После обобщения данных, полученных в ходе экспериментальных исследований [2, 9], стало ясно, что достаточно хороший результат оценки вероятностных характеристик можно получить, аппроксимируя взаимные корреляционные функции в ортогональных базисах экспоненциального типа (Лагерра, Лежандра, Дирихле). Выбор ортогонального базиса осуществляется на основе анализа таких показателей как порядок аппроксимативной модели и погрешность аппроксимации.

Для проверки данных измерения вибрационных процессов проводились при различных способах воздействия на подвеску автомобиля: наезд на препятствие, имитирующее импульсное воздействие; наезд на препятствие, имитирующее единичное воздействие; проезд по дороге с тяжёлым булыжником; проезд по дороге с импульсными препятствиями типа «стиральная доска». При проведении испытаний поддерживалась скорость движения автомобиля 10 км/ч.

С целью устранения шума, вызванного креплением датчиков, в полезном сигнале перед обработкой полученных в результате измерений данных использовался фильтр нижних частот с частотой среза 2500 Гц. При проведении экспериментов применялся цифровой фильтр нижних частот с конечной импульсной характеристикой, спроектированный с использованием окна Кайзера. Цифровой фильтр имеет следующие характеристики: частота среза 2500 Гц, полоса перехода 500 Гц, длина 229 Гц. После фильтрации из полученного сигнала устраняется тренд.

У исправного амортизатора наблюдается периодичность автокорреляционной функции, при этом в частотной области спектр имеет явно выраженный максимум на частоте 160 Гц.

В случае неисправного амортизатора автокорреляционная функция сигнала теряет периодичность. При этом на спектральной плотности мощности появляются частоты, которые характеризуют неисправности амортизатора. По частотам можно попытаться определить физику дефекта, возникающего в амортизаторе. Так, например, «стук» характеризуется низкими частотами.

Выявленные аналитические зависимости вибраций на входе и выходе могут быть подтверждены экспериментальными данными, полученными при различных способах воздействия на подвеску автомобиля. Вибрационные процессы на входе измерительной системы во всех режимах практически не изменяются. А пульсации на выходе существенно зависят от демпфирующей способности амортизатора.

Дальнейшее исследование полученных взаимных спектральных плотностей мощности позволяет выявить дефекты амортизатора, при которых наиболее вероятны резонансные явления или возникновение «стука», описать моменты возникновения этих явлений и разработать методику их устранения.

Алгоритм определения демпфирующей способности амортизатора состоит в последовательной оценке автокорреляционных функций сигналов и вычислении по ним спектральных плотностей мощности сигналов, регистрируемых датчиками. В качестве примера на рис. 2, 3 приведены вероятностные характеристики сигналов, полученные для исправных амортизаторов.

Р и с. 2. Автокорреляционная функция вибрации на штоке исправного амортизатора

Р и с. 3. Действительная часть спектральной плотности мощности вибрации на штоке исправного амортизатора

Вероятностные характеристики амортизаторов имеющих дефекты, показаны на рис. 4, 5. На всех рисунках используются следующие обозначения: $Kx(t)$ – корреляционная функция; $ReSx(f)$ — действительная часть спектральной плотности мощности.

Р и с. 4. Автокорреляционная функция вибрации на штоке неисправного амортизатора

Р и с. 5. Действительная часть спектральной плотности мощности вибрации на штоке неисправного амортизатора

В заключение можно сделать вывод, что разработка и внедрение прибора виброакустической диагностики амортизаторов, основанного на использовании методов аппроксимативного

корреляционно-спектрального анализа, позволит исключить вероятность немотивированного брака и сократить время диагностики в 20 раз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шахматов Е. В., Прохоров С. А., Крючков А. Н. и др.* Определение звукоизолирующей способности элементов конструкций / Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф.: Самара: СГАУ, 2003. С. 318–323.
2. *Макарьянц Г. М., Гаспаров М. С., Графкин А. В., Шахматов Е. В.* Использование методов корреляционно-спектрального анализа в виброакустической диагностике автомобильных амортизаторов// Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Мат. докл. междунар. науч.-техн. конф. Самара: СГАУ, 2006. Ч. 1. С. 237–238.
3. *Тюрин Ю.Н., Макаров А.А.* Анализ данных на компьютере / Под ред. В.Э. Фигурнова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2003. 544 с.
4. *Прохоров С. А., Иващенко А. В., Графкин А. В.* Автоматизированная система корреляционно-спектрального анализа случайных процессов / Под ред. С.А. Прохорова Самара: СНЦ РАН, 2003. 286 с.
5. *Прохоров С. А., Графкин А. В.* Программный комплекс корреляционно-спектрального анализа в ортогональных базисах. Самара: СНЦ РАН, 2005. 198 с.
6. *Графкин А. В.* Моделирование автоматизированных систем научных исследований с использованием семантических сетей// Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического моделирования. VIII Всерос. науч.-техн. конф. Тамбов: ТВАИИ, 2006. С. 65–75.
7. *Венгеров И. А., Карев А. В.* Инструментальный контроль автомобилей. М.: За рулем, 1999. 31 с.
8. *Прохоров С. А.* Аппроксимативный анализ случайных процессов/ 2-е изд., перераб. и доп. Самара: СНЦ РАН, 2001. 380 с.
9. *Графкин А. В.* Аппроксимативный анализ взаимных корреляционно-спектральных характеристик временных рядов с помощью ортогональных функций Лежандра, Дирихле/ Дисс. ... канд. тех. наук. Самара, 2006. 147 с.

Поступила 31.07.2006 г.

УДК 57.01+577.4

Л. С. Бекасов, А. А. Тверетин

МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрен принцип формального представления элементарных звеньев ДНК. Предложены критерии физической природы, на основе которых получена графическая модель фрагмента 16S-рРНК. Формализация нуклеотидных последовательностей обуславливает возможность анализа характера упаковки её элементов. Показаны несколько вариантов такой модели, в том числе, иллюстрирующие её чувствительность на имитацию мутационных процессов.

Четыре органические молекулы — аденин (А), гуанин (G), цитозин (C) и тимин/урацил (T/U) являются алфавитом, с помощью которого осуществляется кодирование всей генетической информации. Эти четыре молекулы могут образовывать между собой комплементарные (согласованные) связи. Аденин и гуанин называются пуринами, тогда как тимин и цитозин это пиримидины. Аденин связывается с тимином (урацилом), а гуанин с цитозином. Поскольку все белки строятся из аминокислот, а каждая аминокислота образуется из трёх нуклеотидов (триплетов, кодонов), то моделирование отдельных компонент генетики, в частности белков и нуклеиновых кислот, можно осуществлять, используя аминокислотный алфавит.

Не лишне напомнить, что 21 аминокислота кодируется 64-мя триплетами — структурами, представляющими собой три последовательно расположенных нуклеотида. При этом каждой аминокислоте может соответствовать не один кодон. Всего известно семнадцать вариантов, регламентирующих соответствие между аминокислотами и составом кодонов. Таким образом, переход от нуклеотидного алфавита к аминокислотному обуславливает, в первую очередь, формализацию как самих AGTC-элементов, так и простейших структур.

Формальное представление AGTC-элементов и связей между двумя элементами комплементарного и последовательного характера ранжируется с учётом некоторых критериев. В связи с тем, что модель биологической структуры должна наиболее достоверно отражать её информационную сущность, желательно, чтобы критерий был бы не один, а физическая природа критериев не должна быть одинаковой.