

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.42

Алексеев
Юрий Игоревич

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АНАЛИЗА
СИГНАЛОВ НА МОБИЛЬНЫХ ПЛАТФОРМАХ

Диссертация на соискание академической степени
магистра технических наук

по специальности 1-40 80 05 – Математическое и программное
обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Научный руководитель
Бранцевич П.Ю.
к.т.н., доцент

Минск 2016

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в промышленности используется большое количество тяжелой и крупной техники, вращательных машин роторного и турбинного типа. Зачастую такое оборудование является для завода критическим оборудованием, т.е. при выходе из строя такой техники процесс ремонта и замены будет трудоемким и дорогостоящим, что вызовет незапланированный простой, убытки и остановку технологического процесса. Немаловажен тот факт, что поломка крупного агрегата, обладающего большой массой и вращающегося с большой скоростью, может привести к серьезным травматическим повреждениям рабочего персонала и вызвать разрушения ближайшего оборудования и построек. Для предотвращения подобных ситуаций на предприятиях выработан ряд мер для контроля за техническим состоянием оборудования, важнейшей из которой является вибродиагностика.

Вибродиагностика заключается в установке на оборудовании специальных датчиков, способных реагировать на малейшие колебания. Информация, поступающая с них, определенным образом обрабатывается и анализируется, позволяя определить, имеются ли дефекты, несбалансированность и негативные тенденции в состоянии оборудования, а также данный метод позволяет выявить проблемы, вызванные неправильной или несоосной установкой деталей и некачественным техническим обслуживанием. Для проведения вибродиагностики используются переносные и стационарные виброанализаторы в комплекте с необходимым программным обеспечением.

Мобильные устройства и технологии являются актуальной и развивающейся тенденцией развития техники. Смартфоны и планшеты давно используются в повседневной жизни, активно заменяя громоздкие персональные компьютеры в большинстве простых задач. Такими же темпами мобильные технологии и устройства проникают в сферу профессионального применения. К примеру, смартфоны и планшеты активно используются в работе склада для раскладки и стикеровки товара, инспекторы ДПС также уже сравнительно давно успешно используют мобильные устройства в своей практике. Но существуют области промышленности, проникновение в которые новых мобильных технологий происходит более медленными темпами. Одной из таких областей является вибродиагностика.

В данной магистерской диссертации будет построено алгоритмическое программное средство для анализа вибрационных сигналов на мобильной платформе, произведена адаптация алгоритмов обработки сигналов для удовлетворения ограничениям мобильных устройств, а также будут произведены экспериментальные исследования на реальных данных для проверки эффективности реализованных алгоритмов и работы ПС.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является проведение анализа методов и алгоритмов обработки виброметрических данных с точки зрения их значимости и информативности для оценки вибрационного воздействия, их применимость для реализации на мобильных устройствах, определение наиболее подходящей мобильной платформы для создания программного средства, разработка способов организации программного обеспечения, обеспечивающих обработку больших объемов сигнальных данных с учетом специфики для выбранной мобильной платформы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ методов и алгоритмов обработки виброметрических данных и мобильных платформ.
2. Провести анализ способов выделения информативно-значимых признаков.
3. Предложить структурную организацию ПО, ориентированного на работу на мобильной платформе и обеспечивающего многофункциональную обработку вибрационных данных.
4. Реализовать предложенные алгоритмы и провести экспериментальные исследования на реальных данных.

Объектом исследования являются системы цифровой обработки сигналов и данных. *Предметом* исследования является алгоритмическое и программное обеспечение для анализа вибрационных сигналов на мобильных платформах.

Основной *гипотезой*, положенной в основу диссертационной работы, является возможность реализации программного средства для работы с виброметрическими данными на мобильных платформах для профессионального использования.

Личный вклад соискателя

Результаты, приведенные в диссертации, получены соискателем лично. Вклад научного руководителя Ю.П. Бранцевича, заключается в формулировке целей и задач исследования.

Апробация результатов диссертации

Основные тезисы диссертационной работы были представлены на XIX Республиканской научной конференции студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (Гомель, Беларусь, 2016); 9-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» (Минск, Беларусь, 2016); 52-ой научной

конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, Беларусь, 2016).

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 3 печатных работы, из них 2 работы в сборниках трудов и материалов международных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений. В первой главе находится анализ методов, алгоритмов и ПС для обработки виброметрических данных.

Во второй главе рассмотрены основные методы выявления информативных признаков в исходном сигнале. Третья глава посвящена проектированию и разработке программных средств на мобильной платформе. В четвертой главе рассмотрена реализация мобильного алгоритмического программного средства, представлены результаты экспериментальных исследований реальных виброметрических данных с использованием данного ПС.

Общий объем работы составляет 72 страницы, из которых основного текста – 43 страницы, 29 рисунков на 26 страницах, 4 таблицы на 3 страницах, список использованных источников из 28 наименований на 3 страницах и 2 приложения на 5 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** определена область и основные направления исследования, показана актуальность темы диссертационной работы, дана краткая характеристика исследуемых вопросов, обозначена практическая ценность работы.

В **первой главе** проведен анализ применяемых методов и алгоритмов для обработки виброметрических данных, определены основные параметры вибрационных сигналов. Рассмотрены методы спектрального, вейвлет-анализа, цифровой фильтрации. Выполнен анализ существующих программных средств и программно-аппаратных комплексов на различных платформах для вибрационного контроля за техническим состоянием объектов. Определены их основные функции и возможности, а также выявлено практически полное отсутствие программных средств на мобильной платформе, которые могли бы использоваться для профессиональных нужд.

Вибрационный сигнал является аналоговым либо цифровым сигналом, получаемым с датчиков, которые устанавливаются на различном промышленном оборудовании.

При записи данного сигнала имеет место большое количество шумовых помех, которые накладываются на исходный сигнал. Помехи могут иметь различную природу и их появление неизбежно.

При обработке вибрационных сигналов, как правило, появляется необходимость выхода из ограничений для анализа во временной области. Для этого на практике применяют частотный или спектральный анализ. Он позволяет выделить частотные составляющие сигнала и идентифицировать их уровни.

Цифровая фильтрация находит широкое применение в вибродиагностике. Она заключается в удалении нежелательной, шумовой составляющей и выделении необходимой полосы частот.

Вейвлеты или вейвлет-преобразование – это сравнительно новый способ исследования и обработки сигналов. Вейвлет, с некоторыми ограничениями, можно считать трехмерным спектром, где ось X соответствует время, по оси Y – частота, а ось Z - амплитуда гармонического сигнала с данной частотой в данный момент времени. Он также представляет собой вариант цифрового полосового фильтра.

Анализ современных мобильных платформ показал, что наиболее подходящей экосистемой для реализации программного средства и алгоритмов обработки сигналов является ОС Android.

Проведенный обзор программных средств и программно-аппаратных комплексов для вибрационного контроля показал наличие большого количества программ профессионального уровня для IBM-совместимых компьютеров и практически полное отсутствие таковых на мобильной платформе Android.

Вторая глава посвящена выявлению информативных признаков в вибрационном сигнале. Рассмотрен основной набор наиболее популярных и эффективных методов для поиска аномалий в сигнале.

Алгоритм усреднения находит свое применение при анализе виброданных, полученных за сравнительно длительный промежуток времени. Основное его назначение заключается в удалении и подавлении спектральных составляющих, которые носят случайный характер путем сдвига сигнала во временной области, таким образом, чтобы начальная фаза спектральной составляющей на определенной частоте принимала одинаковое значение, а затем производится суммирование сигналов и нахождение их среднего арифметического.

Рассмотрены методы статистического и корреляционного анализа для нахождения зависимостей между характеристиками сигнала. Корреляция – это статистическая взаимная связь двух случайных величин. Изменение набора значений одной величины влечет за собой изменение значений другой. Коэффициент корреляции отражает корреляционное отношение двух случайных величин и служит их мерой корреляции. В случае, когда изменения не закономерны, т.е. при изменении одной случайной величины другая не меняет свое значение, такая связь не может называться корреляционной, хотя и является статистической.

Мощным инструментом для поиска аномалий в исходном сигнале является алгоритм разложения вибросигнала на периодическую и шумоподобную составляющие. Так как ранние признаки нарастающего дефекта либо неисправности наиболее ярко выражены в виде вибрационных всплесков в шумоподобной

составляющей и практически неразличимы в спектральном представлении или периодической компоненте сигнала.

Методы вейвлет-анализа при обработке вибрационных данных имеют принципиальное отличие от обычных спектров, полученных с помощью преобразования Фурье, так как дают привязку спектра различных особенностей сигнала ко времени.

Рассмотрена необходимость выделения отрезков в сигнале, содержащих исходные данные, а также средства, с помощью которых возможна реализация таких функциональных возможностей в программе.

Так как контроль и измерение всех параметров технического объекта зачастую слишком сложен и требует большого количества ресурсов, то, для анализа и контроля, необходимо выбирать только основные параметры, которые с достаточной степенью надежности отражают функциональное состояние объектов.

Метод моделирования при исследовании вибрационных сигналов имеет широкое применение и заключается в выделении в сигнале наиболее значимых параметров для исследования. Рассмотрен пример моделирования для реального сигнала подшипниковой опоры турбоагрегата.

Третья глава посвящена проектированию программных средств обработки вибрационных сигналов с учетом специфики мобильных платформ.

Проведен анализ основных принципов проектирования для портативных устройств. Выявлены требования и ограничения, которые необходимо учитывать при разработке ПС для них. Описаны основные способы решения данных проблем применительно ОС Android.

Следующим вопросом, рассмотренным в данной главе, является организация совместного доступа к параллельно обрабатываемым данным. Современные мобильные устройства имеют развитую поддержку многопоточности. При обработке больших объемов вибрационных данных методы параллельного программирования позволяют эффективно утилизировать аппаратные ресурсы устройства и производить более высокоскоростную и эффективную обработку данных. Кроме того, согласно спецификации требований разработки для ОС Android некоторые операции, к примеру, сетевой ввод/вывод, должны в обязательном порядке запускаться в отдельном потоке вычисления.

Разработан общий алгоритм работы программного средства (рис. 1).

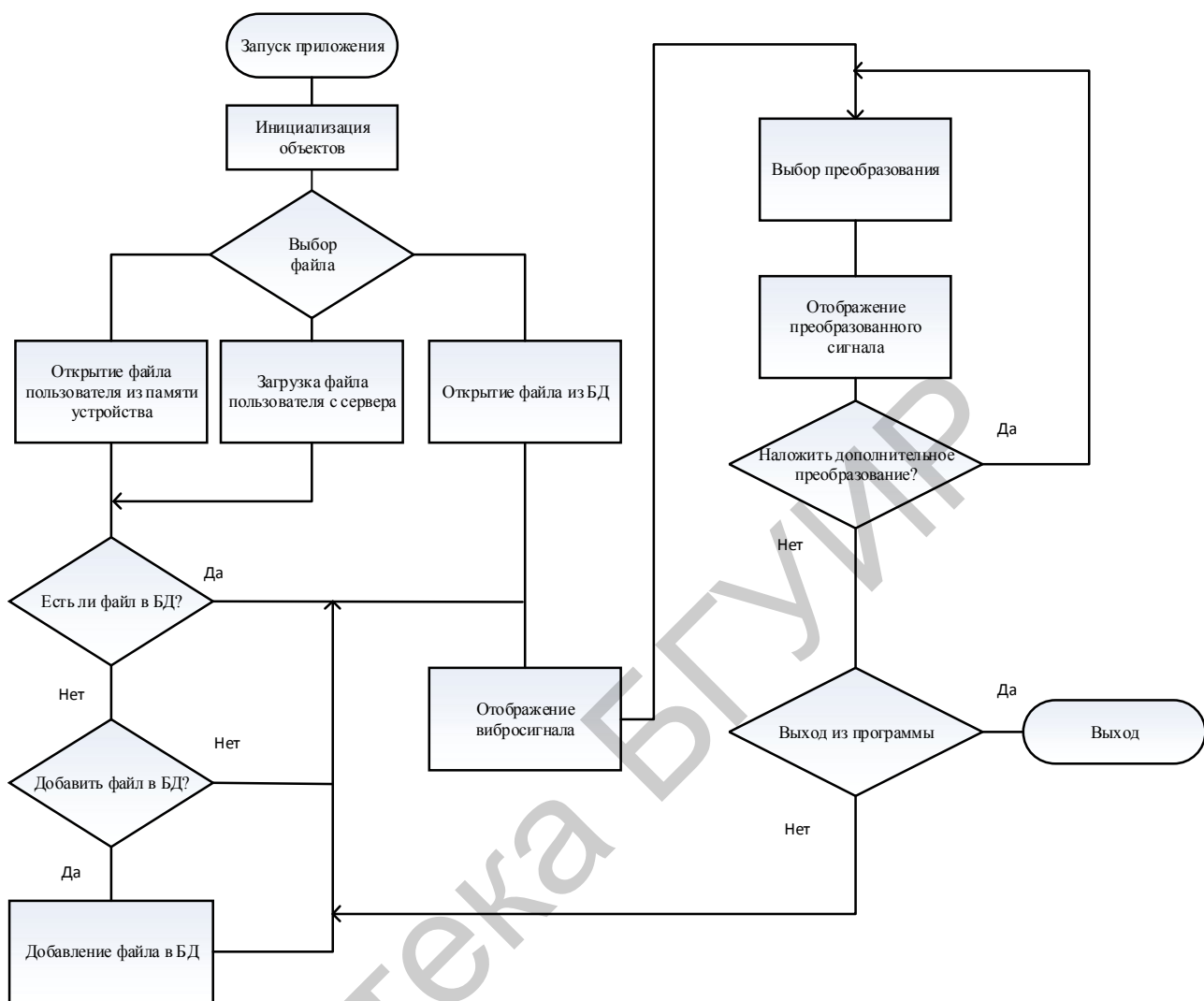


Рисунок 1 - Общий алгоритм работы пользователя с ПС

Предложена структурная организация программной системы в виде разделения программного средства на совокупность функциональных модулей, отвечающих за чтение данных, работу с сетью, запись данных в БД, обработку, выделение основных характеристик сигнала, отображение на дисплее.

В четвертой главе рассмотрена практическая реализация ПО для системы вибрационного контроля, уделено внимание вопросам реализации базы данных, пользовательского интерфейса, разработки программного средства, представлены результаты экспериментального исследования разработанной системы.

В программном средстве использована база данных SQLite. Из-за ограничений данного типа баз данных в таблице сохраняется основная информация о файле сигнала, хранение реализовано отдельно.

При создании интерфейса пользователя применен современный подход и реализован режим «погружения», позволяющий полностью скрыть элементы управления и максимально задействовать всю площадь небольшого экрана под вывод графиков и информации о сигнале.

Система построена по модульно-функциональному принципу, когда основные функциональные действия реализуются отдельными классами. Диаграмма классов ПО анализа вибрационных сигналов на мобильной платформе приведена на рисунке 2.

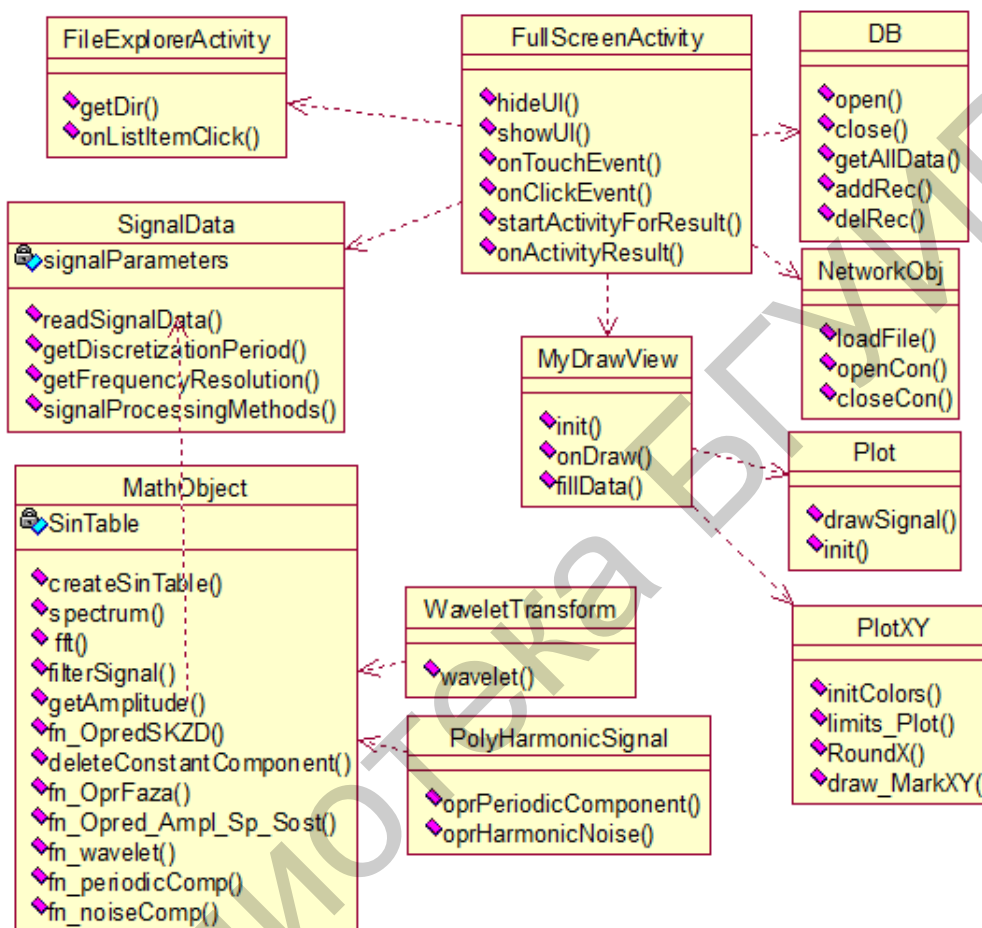


Рисунок 2 – Диаграмма классов программного обеспечения

Экспериментальные исследования разработанной программной системы выполнены на основе реальных вибрационных данных, полученных с действующих технических агрегатов. Путем их анализа, а также алгоритма разделения сигнала на шумоподобную и периодическую составляющие найдены закономерности влияния технического состояния оборудования на составляющие сигнала. Неисправность либо дефект конструкции влияют на амплитуду вибрации объекта, что проявляется в возрастании значений СКЗ, пик фактора, размаха колебаний и имеет вид вибрационного всплеска на графике шумоподобной составляющей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Проверена гипотеза о возможности построения эффективного программного средства на мобильной платформе для профессионального использования. Мобильные приложения и устройства имеют следующие преимущества:

- возможно построение недорогих виброанализаторов на базе практически любого устройства на базе ОС Android;
- наличие автономного источника питания в мобильном устройстве дает возможность работы в непосредственной близости от исследуемого объекта, что позволяет проводить дополнительные проверки и осмотры, а также фиксировать изменения в исходном сигнале во время этого процесса.
- встроенные беспроводные модули позволяют постоянно быть на связи. Благодаря им возможен перенос трудоемких операций на сервер для улучшения быстродействия ПО, а также реализация получения данных в режиме онлайн с беспроводных вибрационных датчиков (следующий этап разработки). Это многократно упростит процесс сбора информации и увеличит удобство использования, а также избавит от большого количества коммуникационных кабелей.

2. Предложена архитектура ПС, обеспечивающая выполнение основных функций по обработке виброметрических данных на мобильной платформе, например, выделение периодической и шумоподобной составляющих, определение основных характеристик сигнала; отображение на экране в графической форме результатов обработки; дополнительные функции по увеличению эффективности работы оператора.

3. Применены современные подходы к проектированию пользовательского интерфейса, реализована работа с базой данных и загрузка файлов вибросигналов по сети, что позволяет:

- производить удаленный мониторинг состояния промышленного оборудования;
- сохранять интересующие сигналы в базе данных для оценки тенденций состояния оборудования;
- контролировать состояние механизмов и производить своевременные работы по техническому обслуживанию;
- уменьшить затраты на разработку аппаратного обеспечения отображения визуальных данных;

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Полученные результаты формируют теоретическую и практическую базу для разработки программного обеспечения мобильных систем, включающих модули вибрационного контроля, мобильные устройства и средства дистанционного доступа к виброметрическим данным через сеть Интернет.

2. Разработанные методы и алгоритмы обработки данных, а также программное средство могут применяться в отделе технического сервиса для проведения планово-профилактических работ, технического обслуживания и ремонта.

3. Последующая разработка и интеграция в систему беспроводных вибрационных датчиков, совместимых с данным программным средством позволит реализовать наблюдение технических объектов в реальном режиме времени, что многократно повысит эффективность контроля за состоянием технических объектов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Алексеев, Ю.И. Программное средство для анализа вибрационных сигналов на платформе Android / Ю.И. Алексеев, И.Г. Алексеев // 9-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения»: материалы IX междунар. науч.-техн. конф. БНТУ, Минск, 20-22 апр. 2016. – Минск, 2016. – Т. 2 С. 15.

2-А. Алексеев, Ю.И. Программное средство для анализа вибрационных сигналов на платформе Android / Ю.И. Алексеев, И.Г. Алексеев // XIX Республиканская научная конференция студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях»: материалы XIX междунар. науч. конф. ГГУ, Гомель, 21-23 мар. 2016. – Гомель, 2016. – В процессе публикации (сентябрь 2016).

3-А. Алексеев, Ю.И. Программное средство для анализа вибрационных сигналов на платформе Android / Ю.И. Алексеев, И.Г. Алексеев // 52-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР: материалы 52-й науч. конф. БГУИР, Минск, 25-30 апр. 2016. – Минск: БГУИР 2016. – С. 46-47.