

УДК 004.4.22

В. А. ХОМЕНКО, Е. Н. СИДОРОВ

Національний авіаційний університет, м. Київ

ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ПРОГРАММНЫХ ИМИТАТОРОВ ШУМА НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

Аннотация. Предлагается подход к созданию имитаторов шума на основе управляемых образцов звуков, выделенных из аудиозаписей полетов летательных аппаратов. Подход может применяться с использованием широкодоступных записей в малобюджетных проектах. Для реализации подхода разработаны обобщенные модели шума и программные средства быстрого конструирования имитаторов. Приведен практический пример разработки имитатора шума для комплексного тренажера двухмоторного турбовинтового самолета.

Анотація. Пропонується підхід до створення імітаторів шуму на основі керованих зразків звуків, які виділяються із аудіо записів польотів літальних апаратів. Підхід може застосовуватися з використанням загальнодоступних записів у малобюджетних проектах. Для реалізації підходу розроблені узагальнені моделі шуму та програмні засоби швидкого конструювання імітаторів. Наведено практичний приклад розробки імітатору шуму для комплексного авіаційного тренажера двомоторного турбовинтового літака.

The Abstract. The approach for the noise simulators creation based on the controllable sound samples from the aircraft audio records is proposed. This approach can be applied at the low-budget projects using widely accessible records. For approach realization the general noise models and simulators software rapid construction tools were developed. The case study of the two-engine turboprop airplane noise simulator development is given.

Введение

Имитатор шума – это неотъемлемый элемент любого современного авиационного тренажера, обеспечивающий имитацию реального звукового окружения пилотов [1] во время учебных полетов. Для пилота звук является ценным источником информации о состоянии механизмов, электро- и радиооборудования, касании взлетно-посадочной полосы и т.п. Современные имитаторы шума для коммерческих профессиональных тренажеров представляют собой программно-технические комплексы, формирующие и воспроизводящие шум летательного аппарата во всех необходимых режимах полета с заданными адекватностью и качеством [2, 3]. Процесс создания имитатора шума тренажера (далее - имитатор) – это весьма сложный и затратный процесс, требующий изучения и анализа шума летательного аппарата – объекта имитации в различных режимах, синтеза имитаторов отдельных шумов, подбора зависимостей их характеристик от параметров полета, техническую реализацию имитатора и проверку адекватности комплекса шумов звуку реального летательного аппарата.

Постановка задачи

В условиях отсутствия или ограниченного доступа к летательному аппарату провести анализ характеристик звука и проверку адекватности работы имитатора шума применяя традиционный подход нельзя, поскольку невозможно изучать звуки механизмов и агрегатов, запуская их отдельно, меняя параметры работы, а также место прослушивания и записи звука. Такие условия могут возникать в малобюджетных проектах, выполняемых независимо от производителей и эксплуатантов летательных аппаратов. В то же время, разработчик имитатора может достаточно легко получить записи звука полета в кабине пилотов, сделанные на любое компактное записывающее устройство. В статье предлагается малозатратный подход к созданию программных имитаторов шума летательных аппаратов с использованием доступных записей звуков полета в пилотской кабине и приведен практический пример его использования для разработки имитатора двухдвигательного турбовинтового самолета.

Традиционный подход

Изучение звукового окружения включает восприятие и запись звуков летательного аппарата в различных типовых режимах его работы с последующим их анализом для выделения отдельных источников шума и определения их характеристик. В условиях доступа к летательному аппарату разработчик имитатора имеет возможность изучать источники шумов в отдельности, управляя соответствующими механизмами, фиксируя характеристики их звука средствами измерений с привязкой к параметрам работы и условиям наблюдения.

Модель M звукового окружения обычно представляется как аддитивное множество шумов, каждый из которых создается отдельным источником (механизмом летательного аппарата или фактором окружающей среды):

$$M = \sum_{i=1}^n m_i ,$$

где m_i – модель отдельного источника шума.

Для каждой из моделей m_i необходимо описать характеристику шума и его зависимость от множества параметров источника шума. Управление шумом в такой модели можно представить функционалом,

который задает зависимости изменения для параметров звука $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ от входных параметров его источника $X = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}$:

$$m_i(Y) = F(X).$$

При построении модели функционал F удобно привести к множеству независимых функций, каждая из которых описывает изменение одного выходного параметра в зависимости от множества входных:

$$y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$$

Например, рассмотрим упрощенную модель звука силовой турбореактивной установки с электро-стартером, которая включает только два источника шума – стартер m_s и турбину m_t :

$$M = \{m_s, m_t\}.$$

Общая модель шума стартера имеет вид

$$m_s(V) = f_{sv}(S_s),$$

где V – громкость шума; f_{sv} – функция зависимости громкости шума от состояния стартера; S_s – состояние стартера (включен/выключен).

Тогда модель можно свести к функции громкости звука от состояния стартера:

$$V = f_{sv}(S_s)$$

В данном случае, функцию f_{sv} громкости стартера упростим до единичной функции:

$$V = \begin{cases} 0 & \text{при } S = \text{OFF}, \\ 1 & \text{при } S = \text{ON} \end{cases}$$

Для турбины модель можно определить следующим образом:

$$m_t(V, F) = f_t(R_t),$$

где V – громкость шума; F – полоса частот шума; f_t – функционал, описывающий зависимости громкости и частоты шума от оборотов турбины; R_t – частота оборотов турбины.

Громкость и полосу частот шума турбины представим независимыми функциями от частоты оборотов $V = f_{tv}(R_t)$ и $F = f_{tF}(R_t)$, которые в упрощенном случае могут быть сведены к линейным зависимостям.

Большинство реализаций имитаторов имеют сходную архитектуру (рис.1), включающую набор управляемых генераторов шума, выходные сигналы которых суммируются, усиливаются и подаются на громкоговорители, установленные в кабине тренажера [1, 2].

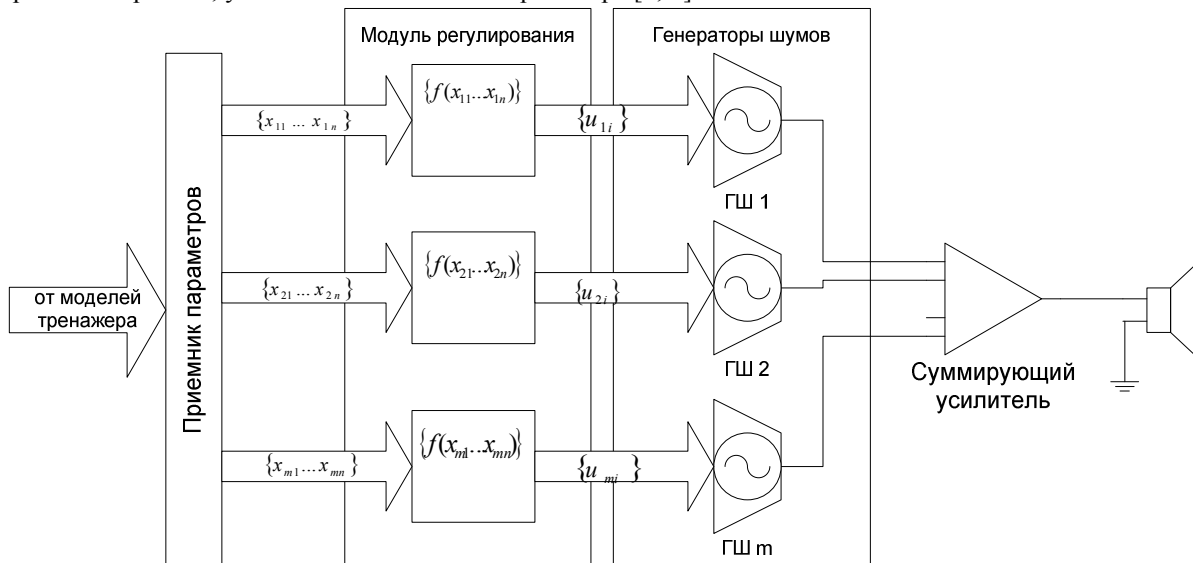


Рисунок 1 – Традиционная структура имитатора шума

Имитаторы разнятся числом каналов воспроизведения (моно, стерео, квадро и более) и распределением функций между технической и программной составляющими. Для каждого отдельного источника

шума по характеристикам разработанной для него модели m_i подбирается и реализуется генератор шума соответствующего типа и управляющие зависимости. Подбор и настройка генераторов требуют значительных затрат.

Для проверки адекватности имитатора применяются количественные и качественные оценки [4]. Конечную субъективную оценку адекватности звукового окружения может дать только опытный пилот имитируемого летательного аппарата. На ранних этапах создания имитатора разработчики применяют собственную субъективную оценку, реализуемую путем сравнения звучания синтезируемого шума с записанными образцами.

Объективный подход к проверке адекватности имитатора заключается в измерении параметров синтезируемого шума, и использовании сравнительного спектрального анализа образцовых и синтезируемых шумов.

Подход на основе управляемых образцов

Идея проигрывания записей звука летательного аппарата для имитации звукового окружения не нова, но для профессиональных тренажеров не разработана и практически не применяется вследствие разных причин [1], в частности потому, что совершенные технологии цифрового воспроизведения и управления звуком стали доступны значительно позже качественной аналоговой генерации шума. Управляемое проигрывание звуковых файлов используется в некоторых игровых симуляторах, например, в MS Flight Simulator [5], но в упрощенном виде и, зачастую, с низкой адекватностью. В предлагаемом подходе в качестве генераторов шума используются проигрыватели цифровых образцов, выделяемых из имеющихся записей звука летательного аппарата. Для имитации шумов эти образцы, в зависимости от режима работы источника (разовые или непрерывные), проигрываются в однократном или циклическом режиме с регулировкой параметров звучания. Метод включает следующие шаги: получение образцов из имеющихся записей шумов летательного аппарата; разработка моделей звукового окружения на основе знаний о летательном аппарате, с учетом полученных образцов; техническая реализация имитатора; оценка адекватности имитатора и его настройка.

Получение образцов. В общем случае, разработчик имитатора, располагающий одной или несколькими записями звука летательного аппарата, сделанными сторонним лицом, может только косвенно догадываться об условиях их создания по общей звуковой панораме или сопутствующему видеоизображению. Первой проблемой при выделении образцов является разделение шумов различных источников и их идентификация. Вторая проблема заключается в отсутствии привязки характеристик шумов к параметрам работы источников. Третья проблема состоит в отсутствии информации об абсолютных уровнях шумов в кабине, поскольку большинство доступных записывающих устройств их не фиксируют. Включенные механизмы автоматического регулирования уровня записи дополнительно усложняют эту проблему, делая менее достоверными даже относительные уровни шумов.

Разработчик должен идентифицировать отдельные шумы и определить их параметры. Идентифицировать шумы в данном случае можно субъективно («на слух») и подтвердить их идентификацию с помощью спектрального анализа и сопоставления параметров составляющих спектра шума с предполагаемыми режимами работы летательного аппарата. Далее, для идентифицированного звука необходимо получить образец приемлемого качества путем выбора и вырезки фрагмента записи. Задача обычно осложняется наличием шумов других источников летательного аппарата, посторонних шумов (разговорами пилотов, щелчками тумблеров в кабине, наружными шумами и т.п.). Кроме того, образец для непрерывных шумов должен иметь достаточно большую длительность (обычно 5 секунд и более) для того, чтобы его можно было проигрывать в циклическом режиме без потери адекватной спектральной структуры. Сочетание этих условий может потребовать тщательного исследования записей, с использованием руководства по летной эксплуатации и спектрального анализа выбранных участков.

Разработка модели звукового окружения. Модель звукового окружения при использовании регулируемых образцов отличается от обычной, в том числе, тем, что не может использовать независимые модели для каждого шума, вследствие сложности выделения «чистых» образцов, содержащих звуки только своих источников шумов. Модель определенного источника шума, как правило, зависит от моделей других шумов:

$$m_i(Y) = F(X, \{m_k\}, k \neq i),$$

где m_i – рассматриваемая модель, Y – параметры шума, X – параметры источника шума, $\{m_k\}$ – множество моделей других шумов.

Эта проблема решается путем выбора максимально независимых образцов и учетом оставшихся зависимостей при выборе управления их параметрами. Прослушиванием и анализом записей разработчик находит участки, где шум данного источника наименее «замусорен» другими шумами. Найденный участок должен быть достаточно длительным. Далее необходимо соотнести выделенный шум с параметрами работы его источника. Это можно сделать с использованием индикаторной информации в кабине, по-

павшей в видеоизображение записи, а при ее отсутствии – применением спектрального анализа и знаний режимов работы механизмов летательного аппарата в различных режимах полета. Например, спектр шума винта обычно имеет характерные пики, представляющие собой основную частоту вращения винта и ее гармоники, помноженные на число лопастей:

$$\omega_i^g = \omega^s \times n \times i,$$

где ω_i^g – частота i -ой гармоники, ω^s – частота винта, n – число лопастей винта, i – номер гармоники.

Пересчитывая частоты гармоник в частоту винта и сравнивая ее с номинальными режимами работы силовой установки можно выделить соответствующие характерные участки записи (см. пример на рис. 2).

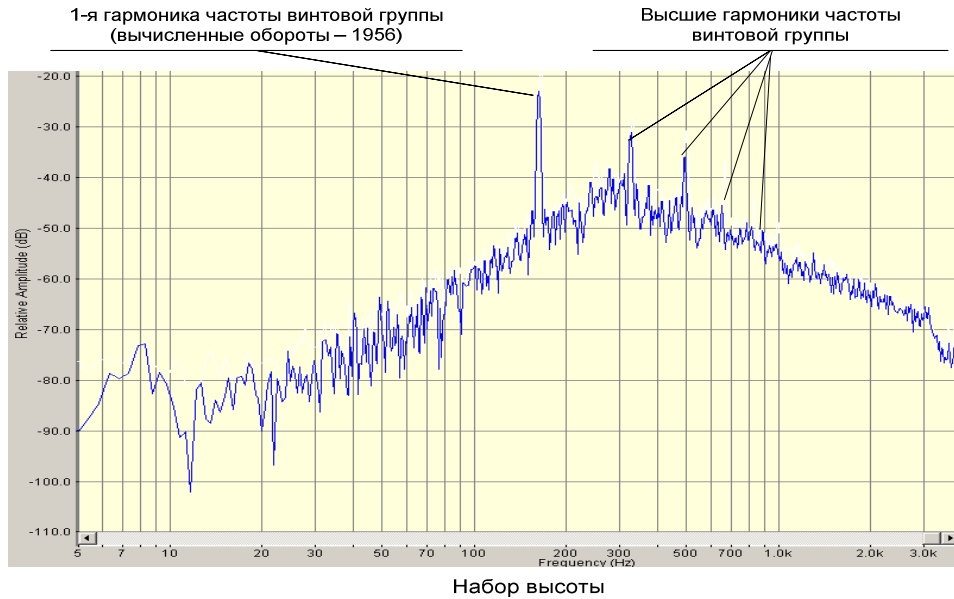


Рисунок 2 – Анализ спектров шума турбовинтового самолета

Учет влияния моделей отдельных шумов друг на друга может быть произведен на основе знания взаимных зависимостей соответствующих механизмов в различных режимах полета. Например, образец шума винта турбовинтового самолета во взлетно-посадочных и крейсерском режимах, как правило, не может быть эффективно отделен от шума турбины. В то же время, линейное изменение громкости и полосы частот такого образца приводит к «провалу» частотных составляющих турбины при малых оборотах винта, что «на слух» проявляется как отсутствие шума турбины. Поэтому, образец турбины должен быть выделен из другого участка записи, например в момент начала раскрутки винта, когда его шум незначителен, а управляющая зависимость должна учитывать усиление шума турбины в образце шума винта путем снижения характеристики громкости (рис. 3).

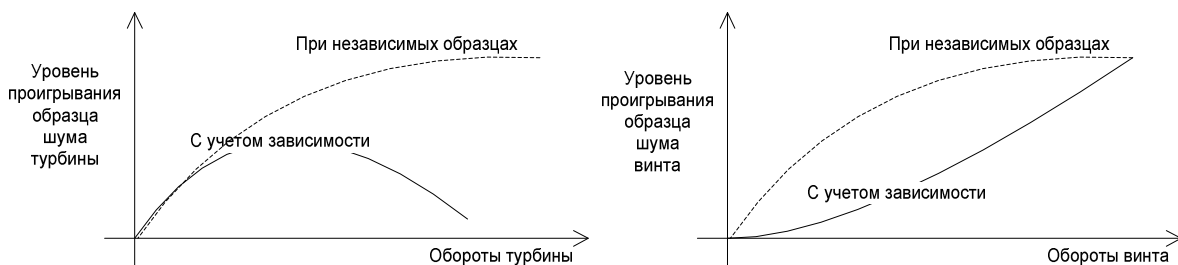


Рисунок 3 – Иллюстрация коррекции громкости проигрывания образцов для учета их взаимозависимости

Проблема отсутствия данных об абсолютных уровнях шумов в кабине может быть решена только с использованием экспертной оценки.

Техническая реализация имитатора. Структура предлагаемого имитатора похожа на традиционную и представляет собой множество регулируемых проигрывателей, выходные сигналы которых

суммируются (рис. 4). Проигрывание может регулироваться по скорости, для создания эффекта изменения частоты шума, по громкости, а также по нескольким дополнительным параметрам, таким как фланг-эффект, эхо и т.п. Режим проигрывания может быть однократным (для разовых звуков, таких как шум выпуска/уборки шасси) и зацикленным (для непрерывных, таких как шум турбины или винта). Связь между регулируемыми параметрами проигрывателей и моделируемыми параметрами летательного аппарата осуществляется специальными преобразователями. Каждый преобразователь может реализовывать функцию одного параметра проигрывателя от одного или нескольких параметров модели. Как правило, скорость проигрывания есть функция от одного параметра. Громкость шумов может зависеть от нескольких параметров и может быть представлена произведением функций от одной переменной:

$$V = V_{\max} \times \prod_{i=1}^n f_i(x_i),$$

где V – громкость проигрывания; V_{\max} – максимальная громкость шума; $f_i(x_i)$ – нормированная функция изменения параметра V от параметра x_i модели.

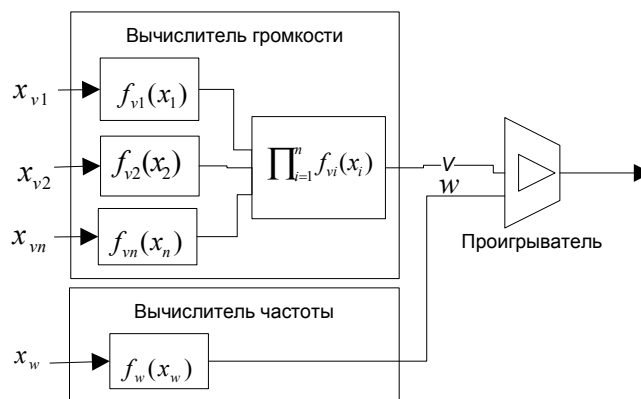


Рисунок 4 – Структура регулируемого проигрывателя – элемента имитатора шума

Это обусловлено тем, что зависимость громкости звука работы основных механизмов от их параметров имеет мультипликативный характер. Например, громкость шума воздушного винта мультипликативно зависит от частоты его оборотов и шага (угла поворота лопастей); громкость касания колеса взлетно-посадочной полосы – от горизонтальной и вертикальной скоростей посадки. В таком случае функцию регулирования параметра проигрывателя можно реализовывать как произведение нормированных аппроксимирующих функций, определенных для каждого параметра. Это позволяет создать удобный инструмент для описания функций регулирования в виде множества выбранных параметров модели летательного аппарата $\{x_i\}$ и функций $f_i(x_i)$, определенных с помощью кусочно-линейной аппроксимации (рис. 4).

Пример практической реализации

Предлагаемый подход был разработан и опробован в проекте реинженерии комплексного авиационного тренажера TL410M Национального авиационного университета [6, 7, 8]. Универсальный самолет для местных воздушных линий L410M «Turbolet» представляет собой классический двухмоторный турбовинтовой высокоплан, оборудованный двигателями Вальтер М 601А и винтами с регулируемым шагом [9]. С 1961 года было выпущено более 1100 самолетов различных модификаций, большинство из которых были поставлены в СССР. Значительная часть самолетов эксплуатируется в странах бывшего Советского Союза, Восточной Европе, Латинской Америке и Африке.

К моменту начала проекта в 2006 году оригинальный чешский тренажер TL410M 80-го года производства уже значительное время находился в неисправном состоянии. Устаревшая вычислительная система тренажера стала неремонтопригодной, но основные механические и электрические системы оставались в исправном состоянии, поэтому было принято решение заменить вычислительную систему новой и провести силами специалистов и студентов университета переработку программного обеспечения тренажера. При проведении работ было выявлено, что оригинальный аппаратный имитатор шума также пришел в полную негодность. В условиях малого бюджета проекта и отсутствия доступа к функционирующим самолетам L410 был разработан новый программный имитатор шума с использованием предлагаемого подхода.

Получение образцов. Оригинальный имитатор тренажера позволял имитировать достаточно большой набор шумов: выхлопных газов двигателя, винтовой группы, аэродинамического шума, запуска двигателей, рулежки [10],

Первой задачей, стоявшей перед разработчиками, было получение записей звуков самолета. Базовая запись была получена на диктофон, взятый в полет пилотами самолета L410. Эта запись дала панорамное представление о звуке на разных этапах полета и послужила основой для части образцов. Часть осциллограммы записи, от этапа запуска двигателей до перехода в крейсерский режим полета, показана на рис.5. Основной проблемой при работе с этой записью было отсутствие идентификации источников шума и их привязки к параметрам работы механизмов. Идентификация источников была произведена экспертно, путем прослушивания характерных участков записи и их сверки с эксплуатационной документацией самолета. Таким образом удалось выделить основные этапы полета (рис.5) и идентифицировать основные источники шумов (стартеры, двигатели, винты). Привязка этих шумов к параметрам их источников производилась с использованием спектрального анализа. Для этого в спектре была найдена наиболее мощная и характерная составляющая, связанная с оборотами винта (рис.2.). Частоты, вычисленные для разных этапов полета, с высокой точностью сошлись с рекомендуемыми значениями в руководстве по летной эксплуатации. Поскольку обороты газогенератора (турбины) в нормальных установившихся режимах имеют достаточно жесткую привязку к оборотам винта, то удалось определить режимы работы турбины на разных участках записи. Далее, в качестве образцов были взяты фрагменты с наиболее выраженными шумами одного источника и наименьшими составляющими других. Звук турбины был выделен на участке малых оборотов винтов после запуска двигателей, винтов – в установившемся крейсерском режиме полета. Нарастающий шум стартера был выделен для образца целиком, поскольку характер его звучания, как правило, не меняется от запуска к запуску.

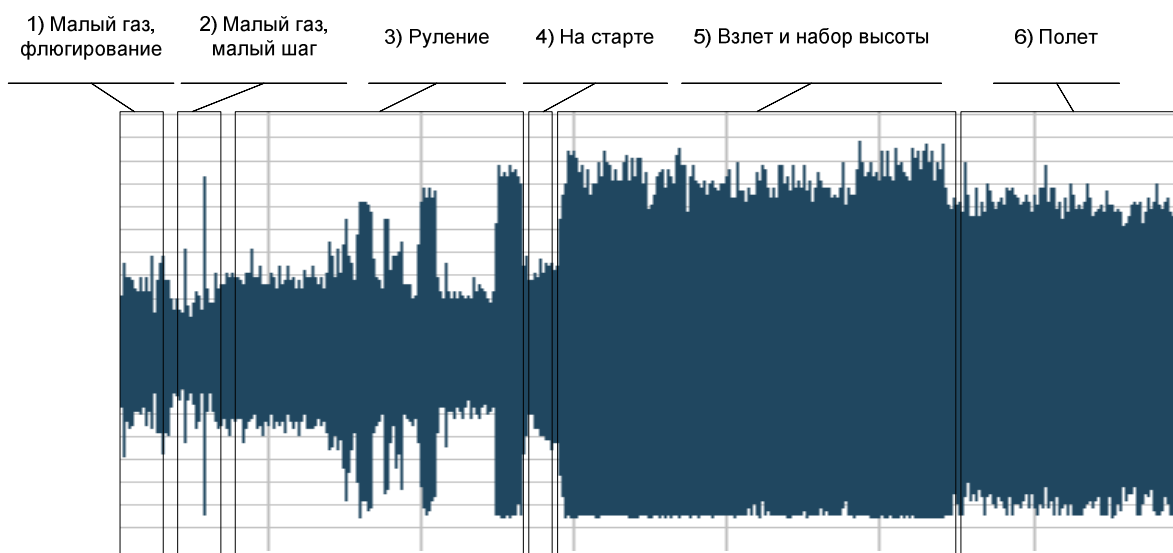


Рисунок 5 – Осциллограмма фрагмента звука полета самолета

Поскольку упомянутая выше запись не позволяла выделить другие необходимые шумы, то было проведено изучение открытых интернет-источников, таких как ресурс «youtube» и специализированный ресурс «avsim.su» [11]. В результате анализа найденных видео и аудиозаписей удалось найти приемлемые образцы для большинства других характерных шумов – преобразователей напряжения, топливных насосов, зажигания двигателя, механизма поворота лопастей.

Применение предлагаемого подхода и специально разработанного программного обеспечения конструктора имитаторов шумов позволило при отсутствии доступа к L410 полностью восстановить все возможности оригинального имитатора и существенно расширить их. Так, в имитатор, по сравнению с оригинальным, были добавлены шумы электропреобразователей, топливных насосов, изменения шага винтов, удар шасси и скрежет колес при касании взлетно-посадочной полосы.

Конструктор имитатора шумов.

Для поддержки предлагаемого подхода разработано программное средство для конструирования имитаторов шумов летательных аппаратов. Средство обеспечивает:

- создание произвольного числа генераторов шума;
- подключение образцов шума к генераторам;
- связывание параметров генераторов шума с параметрами модели тренажера и определение их зависимостей с помощью кусочно-линейной аппроксимации;
- настройку дополнительных эффектов воспроизведения звука (фланг-эффект, эхо и прочее);

- тестирование генераторов шума;
- графический интерфейс разработчика имитатора;
- режим имитации шумов с приемом параметров модели от тренажера;
- сборку готового имитатора в виде консольного приложения.

Конструктор создан на платформе .NET, на языке C#. Архитектура программного обеспечения основана на «Model–View–Presenter» [12]. Разделение модели и представления в этой архитектуре, накладывая дополнительные затраты на разработку, дает такие существенные преимущества, как отдельную разработку модели имитатора и интерфейса пользователя, упрощение тестирования, возможность независимого изменения элементов интерфейса и модулей модели.

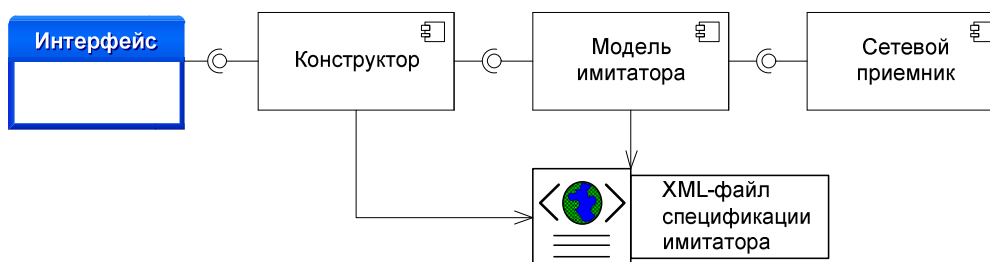


Рисунок 6 – Архитектура конструктора имитаторов шума

Основные компоненты конструктора представлены на рисунке 6.

Файл спецификации имитатора содержит XML-описание имитатора, которое может создаваться с помощью специального графического интерфейса конструктора или любого текстового редактора. Фрагмента описания для шума правого винта самолета дан на рис.7.

```

...
<sound name="Винт правый" type="Непрерывный">
  <!-- Файл с образцом звука -->
  <soundFile>C:\sound-system\Sounds\Крейсерский_1896_винта.wav</soundFile>
  <!-- Канал вывода звука (левый/правый) -->
  <position>"Right"</position>
  <!-- Перечень входных параметров громкости -->
  <volumeParameters>
    <parameter name="R_SCREW_RPM">
      <!-- Таблица точек функции для аппроксимации функции громкости от оборотов винта -->
      <tableOfValues>
        <entry x="0.0" y="0.0"/>
        <entry x="2700" y="0.9"/>
        <entry x="3800" y="1.0"/>
      </tableOfValues>
    </parameter>
    <parameter name="R_SCREW_PITCH">
      <!-- Таблица точек функции для аппроксимации функции громкости от шага винта -->
      <tableOfValues>
        <entry x="0" y="0.5"/>
        <entry x="90" y="1.0"/>
      </tableOfValues>
    </parameter>
  </volumeParameters>
  <!-- Входной параметр скорости проигрывания -->
  <frequencyParameter name="R_SCREW_RPM">
    <!-- Таблица точек функции для аппроксимации функции скорости проигрывания от оборотов винта -->
    <tableOfValues>
      <entry x="0" y="0.0"/>
      <entry x="1896" y="1.0"/>
      <entry x="3800" y="2.0"/>
    </tableOfValues>
  </frequencyParameter>
</sound>
...

```

Рисунок 7 – Фрагмент XML-файла спецификации имитатора

Чтение/запись файла спецификации при работе конструктора обеспечивается специальным драйвером файла.

Модель имитатора реализует логику инициализации и функционирования имитатора и содержит в себе аудиопроигрыватели образцов, модуль управления проигрывателями и компонент аппроксимации.

Конструктор имитатора реализует графический интерфейс пользователя, с помощью которого инженер может добавлять/удалять источники шума, определять их атрибуты и зависимости, тестировать шумы (рис.8).

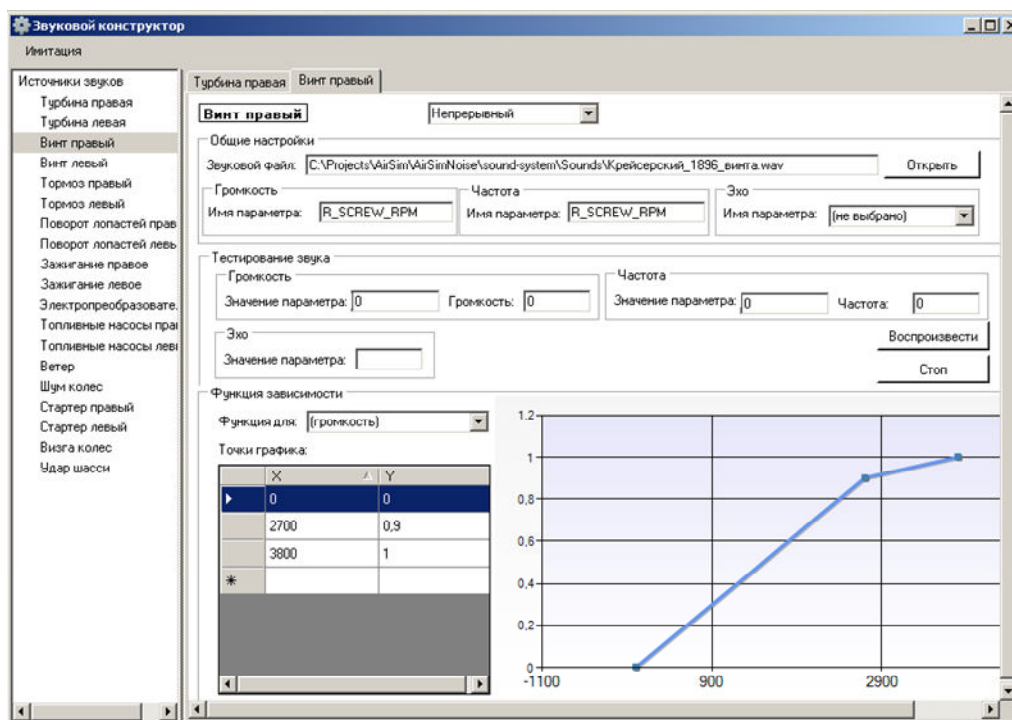


Рисунок 8 – Интерфейс пользователя конструктора имитаторов шумов

Сетевой приемник параметров обеспечивает получение необходимых для управления генераторами шума параметров тренажера через сеть с использованием специального прикладного протокола, сохраняет их значения и оповещает модель имитатора об изменениях.

После окончания разработки программные средства позволяют получить готовый к развертыванию имитатор в виде консольного приложения (рис.9).

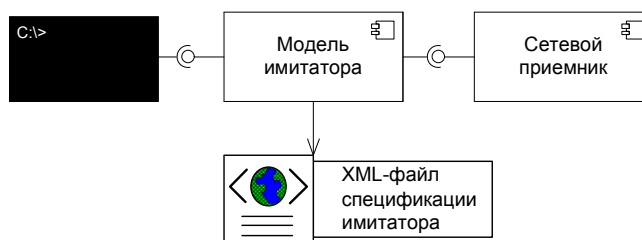


Рисунок 9 – Компоненты готового имитатора

Оценка имитатор шума для TL410

Оценка созданного имитатора производилась двумя методами - субъективной оценкой имитируемого шума самолета и сравнением осциллограмм и спектрограмм синтезированных и оригинальных шумов самолета.

Субъективная оценка проводилась путем сравнения «на слух» имеющихся записей шумов самолета с синтезированными в различных режимах полета тренажера. Такая оценка позволила выявить, в первую очередь, различия в совместном звучании шумов нескольких источников и в условиях их динамического изменения, приближенного к реальным режимам полета.

Сравнение осцилло- и спектрограмм звука дала возможность объективно проверить относительные уровни громкости шума в различных режимах и степень совпадения спектральных картин.

Выводы

Предложенный подход созданию имитаторов шума авиационных тренажеров позволяет на основе разработанных моделей и архитектуры средств быстро и с малыми затратами создавать имитаторы шумов летательных аппаратов без непосредственного доступа к последним, используя только имеющиеся записи звука определенного качества и эксплуатационную документацию. Подход обладает определенными ограничениями (зависимостью от качества имеющихся записей, практической невозможностью полностью учесть и компенсировать взаимозависимости образцов звука), но может применяться в условиях малобюджетных проектов и отсутствия доступа к объекту имитации.

Формализация модели имитатора шума позволила создать программные средства для быстрого конструирования имитаторов, поддерживающие их создание, тестирование и интеграцию в тренажер.

Пример разработки имитатора шума авиационного тренажера TL410 Национального авиационного университета показал работоспособность предложенного метода.

К направлениям улучшения предложенного подхода можно отнести определение методов предварительной обработки образцов для улучшения их качества (фильтрация помех, коррекция спектров и т.п.), способов автоматизации анализа и компенсации взаимного влияния образцов.

Список литературы

1. Alfred T. Lee. Flight simulation: virtual environments in aviation. – Ashgate Publishing Limited. – 2005. – 147 p.
2. David Allerton. Principles of flight simulation. – John Wiley and Sons Ltd. – 2009. – 457p.
3. Design of a flight simulator software architecture. Göran Ancker, Jan Wallenberg. – School of Mathematics and Systems Engineering, Växjö University. – 2002. – 91 p.
4. Сидоров Н.А., Хоменко В.А., Недоводеев В.Т., Сердюк И.П. Реинженерия программного обеспечения информационно-моделирующих тренажерных комплексов. Управляющие системы и машины. – 2008. – № 4. – С.68-74.
5. Сайт поддержки Microsoft: How to locate the Flight Simulator 9 SDK – <http://support.microsoft.com/kb/555857>.
6. Сидоров М.О., Иванова Л.М., Хоменко В.А. Методологічні принципи реінженерії програмного забезпечення успадкованих авіаційних тренажерів // Мат. VIII Міжнар. наук.-техн. конф. „Авіа-2007”. – К.: 25-27 квітня 2007. – т.1, С. 13.119–13.122.
7. Сидоров Н.А. Хоменко В.А., Мендзевровский И.Б. Шаблон программного обеспечения устройств связи с объектом авиационных тренажеров. Проблемы программирования. –2008. – №2.3. – С. 239-248.
8. Сайт тренажера TL410 Национального авиационного университета – <https://sites.google.com/site/tl410nau/home>.
9. Руководство по летной эксплуатации самолета Л410 УВП-Э. Книга 1. – Министерство гражданской авиации СССР. – 1986. – 305 с.
10. Тренажер TL410. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Книга 5. – Praha, Rudy Letov. – 1979. – 75 с.
11. Аудио-, видео- записи самолета L410 на ресурсе AVSIM.SU – <http://www.avsim.su/files.phtml?uploader=2860>.
12. Fowler, Martin. Patterns of Enterprise Application Architecture . – Addison-Wesley Professional, 2002 – 560p.

Відомості про авторів

Хоменко Володимир Анатолійович - кандидат технічних наук, заступник завідувача відділу Інституту програмних систем Національної академії наук України, м.Київ, пр. Академіка Глушкова, 40, корп.5, тел.- 050 383 44 82, 044 526 63 21, ел.пошта - vlkhomenko@isofts.kiev.ua

Сидоров Євген Миколайович - кандидат технічних наук, доцент кафедри Комп'ютерних інформаційних систем факультету Комп'ютерних наук Національного авіаційного університету, м. Київ, пр. Космонавта Комарова, 1, тел.- 091 305 12 12, ел. пошта – eugen.sidorov@live.com