

На правах рукописи
УДК 519.67

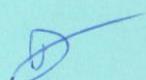
ЧИБИРЁВ Сергей Владимирович

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ,
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ИНТЕРФЕЙСА
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОБРАБОТКИ
ЗВУКОВЫХ ФРАГМЕНТОВ В ФОРМАТЕ MIDI**

Специальность 05.13.18 – математическое
моделирование, численные методы
и комплексы программ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2007



Работа выполнена на кафедре информатики государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Российский государственный педагогический университет им. А.И.Герцена".

Научный руководитель: доктор педагогических наук, профессор Горбунова Ирина Борисовна.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор Зайцев Валентин Федорович; доктор технических наук, профессор Алдошина Ирина Аркадьевна.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения.

Защита состоится "14" ноября 2007 г. в 16.30 часов на заседании диссертационного совета К 212.199.02 по присуждению ученой степени кандидата наук в Российском государственном педагогическом университете им. А.И.Герцена по адресу: 191186, Санкт-Петербург, наб.р. Мойки, 48, корпус 1, ауд. 226.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке РГПУ им. А.И.Герцена.

Автореферат разослан "12" октября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат физ.-мат. наук, доцент.

Емельянов А.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационной работы определяется необходимостью эффективного анализа и моделирования текстов, а также сигналов, которые могут быть представлены как абстрактный текст.

В работе рассматриваются звуковые сигналы, представляющие собой последовательность идентифицированных элементарных звуков с известными параметрами (амплитуда, основная частота, спектр), возникающих в известные моменты времени и имеющих конечную длительность. В этом случае звуковой поток может быть описан как абстрактный текст, т.е. последовательность символов из фиксированного набора. Для хранения звуковой информации такой структуры используются файлы стандарта MIDI, который и был создан для передачи и хранения информации о звуковых событиях, таких как начало или окончание каждого звука в последовательности, и задание его параметров.

Основное внимание уделяется анализу и структуризации статистической информации, полученной при анализе текста стандартными методами. Исследования именно на этом этапе позволяют выделить большее количество закономерностей, по сравнению со стандартным подходом, сделать возможными моделирование и интерактивные эксперименты и в перспективе обеспечить возможность проведения семантического анализа.

Для изучения закономерностей в исследуемой звуковой последовательности (тексте) необходим инструмент представления записи звуковых событий в виде набора статистических параметров, и модель, которая позволяла бы осуществлять синтез текста (звукового фрагмента), удовлетворяющего заданным статистическим параметрам. Такой инструмент исследования дает возможность получить интересные результаты в следующих теоретических и практических областях: построение моделей звуковых последовательностей, удовлетворяющим заданным условиям; изучения особенностей восприятия звуковых сигналов как информационного потока; установления принадлежности различных звуковых фрагментов к определенным типам; установления авторства звуковых записей; восстановление утраченных фрагментов звуковых записей; попытках имитации звуковых сигналов заданного характера.

Эксперименты в указанных областях представляют больший научный интерес, а недостаточная разработанность подходов к математическому моделированию звуковых фрагментов делает работу по выбранной теме актуальной.

Объектом, исследования являются компьютерные методы обработки звуковых фрагментов, представленных в виде записи MIDI-событий, а также компьютерные методы статистической обработки информации.

Предметом исследования являются инструментально-технические средства обработки звуковой и текстовой информации на компьютере.

Целью настоящей работы является построение математической модели представления звукового фрагмента, заданного в виде записи MIDI-событий на основании набора статистических параметров; создание алгоритмов, программных средств и разработка пользовательского интерфейса программного комплекса, обеспечивающего ввод и редактирование данных описанной математической модели.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

- разработка *метода* анализа звуковых записей в формате MIDI с помощью выявления статистических закономерностей в анализируемом потоке;
- разработка *математической модели* создания звуковых фрагментов, удовлетворяющих заданным статистическим параметрам, отражающих характер фрагмента;
- разработка методов, алгоритмов и программной реализации модели;
- разработка пользовательского *интерфейса*, обеспечивающего взаимодействие пользователя с внутренними параметрами модели.

Основные методы исследования. В качестве методов исследования использовались статистический анализ, теория графов, целочисленные методы решения статистических задач. Компьютерная реализация разработанных алгоритмов производилась на основе объектно-ориентированного подхода.

Научная новизна. В предлагаемой диссертации разработаны следующие новые подходы:

1. Разработана модель, состоящая из отдельных независимых блоков, отражающих закономерности звуковой последовательности, что позволяет изучать закономерности как независимо, так и в их связи друг с другом, рассматривать как внутренние связи конкретного блока модели, так и роль каждого блока в модели.
2. В модели не используются различного рода жесткие шаблоны, содержащих части готовых звуковых фрагментов.

3. Модель построена таким образом, что изменение параметров в процессе ее работы не вызывает ошибок в расчете и позволяет вносить изменения в процессе работы модели, что обеспечивает проведение экспериментов в интерактивном режиме.

Указанные особенности выделяют предлагаемую модель среди аналогов и обеспечивают ее преимущества как инструмента изучения закономерностей в звуковых записях по сравнению с существующими моделями.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке метода построения модели абстрактных текстов, основанного на циклическом структурировании статистических данных и структурном анализе статистической информации; в построении модели, позволяющей производить имитацию текстов, удовлетворяющих полученным ранее или заданным вручную параметрам.

Практическая значимость. Разработанная модель и ее программная реализация могут быть использованы в следующих областях:

- для имитации звуковых сигналов заданного характера;
- при изучении воздействия звуковых последовательностей на живые объекты и на сознание;
- установления принадлежности различных звуковых фрагментов к определенным типам;
- восстановление утраченных фрагментов звуковых записей;
- установления авторства звуковых записей.

Положения, выносимые на защиту:

- 1) метод построения модели абстрактных текстов, основанный на анализе статистических данных;
- 2) математическая модель, позволяющая статистически анализировать и создавать звуковые сигналы определенного характера на основе набора параметров, отражающих особенности типовых входных сигналов;
- 3) программный комплекс, реализующий предложенную модель;
- 4) пользовательский интерфейс программного комплекса, реализующий функции манипуляций с данными модели и параметрами моделируемых сигналов в реальном времени.

Личный вклад автора. Все основные результаты диссертации получены автором самостоятельно.

Апробация работы. Результаты исследования нашли отражение в лекционно-практических курсах, читаемых автором на факультете музыки Российской государственной педагогической университета им. А.И.Герцена и разработанных в УМЛ

"Музыкально-компьютерные технологии". Теоретические выводы и практические результаты докладывались на региональных, международных и всероссийских научных и научно-практических конференциях:

- международная конференция "Региональная информатика-2002", СПб., ноябрь 2002;
- международная конференция "Телекоммуникации, математика и информатика — исследования и инновации", СПб, октябрь 2002;
- всероссийская научно-практическая конференция "Информатика и информационные технологии в образовании. ИИТО-2003", СПб., май 2003;
- международная научно-практическая конференция "Современное музыкальное образование", СПб., октябрь 2002.
- VII Российско-американская научно-практическая конференция "Актуальные вопросы современного университетского образования", СПб., май 2004.

Материалы диссертационного исследования докладывались на городском семинаре, проводимом на базе УМЛ "Музыкально-компьютерные технологии" в РГПУ им. А.И.Герцена в 2002, 2003, 2004, 2006 годах.

Публикации. Автором опубликовано по теме диссертации 10 печатных работ.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 202 наименования. Объем диссертации составляет 143 страниц, включая 95 страниц основного текста, 12 рисунков и 6 страниц списка литературы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится обоснование актуальности темы диссертации, сформулирована цель и задачи работы, научные результаты, выносимые на защиту, оценена практическая значимость полученных результатов.

В первой главе "Особенности моделирования звуковых последовательностей" дан общий обзор особенностей моделирования звуковых сигналов в формате потока MIDI-событий, сформулированы особенности подхода при создании рассматриваемой модели по сравнению с подходами предшественников и предложен метод, реализующий эти особенности. Наиболее значимая особенность состоит в отказе от применения шаблонов, содержащих готовые части звуковых фрагментов. Вместо этого применены более гибкие вероятностные ограничения. Вторая важная особенность состоит в

максимальной независимости блоков модели друг от друга, что позволяет изучать независимо как закономерности внутри блоков, так и между ними.

Во втором параграфе *предложен метод* поэтапного анализа потока звуковых событий, а также рассматриваются другие принципы, методы и подходы, используемые для построения модели. *Метод* направлен на выявление закономерностей в анализируемом потоке. Построение модели происходит следующим образом:

- 1) определение анализируемых параметров и поля их значений,
- 2) определение области допустимых значений для всех параметров,
- 3) предварительный частотный анализ значений параметров,
- 4) поиск циклов/периодов,
- 5) вторичный частотный анализ с учетом периодов,
- 6) анализ корреляции частотности с периодами,
- 7) анализ матриц переходных коэффициентов,
- 8) семантический анализ внутри периодов.

Ниже этапы рассматриваются подробно:

1) определение анализируемых параметров и поля их значений

Рассматриваемый непрерывный звуковой поток состоит из отдельных типовых звуков, характеризующихся положением на временной шкале (момент возникновения, время звучания), высотой (основной частотой), громкостью (мощностью звукового давления) и тембром (частотно-временными характеристиками). Таким образом, входная последовательность — это набор векторов вида:

$$A_i = (T_1, T_2, F, V, D(k, t)), \text{ где } T_1 \text{ — время начала}$$

звука, T_2 — время окончания звука, F — основная частота звука,

V — громкость, $D(k, t)$ — спектр, набор к гармоник, являющихся функциями от времени t , которые однозначно определяют Тембр.

После сокращения числа атрибутов, значимыми атрибутами остаются лишь время возникновения и основная частота. После ряда допущений и упрощений входная последовательность будет представлять собой набор векторов вида:

$$A_i = (t, F), \text{ где } i \text{ — порядковый номер элемента, } t$$

— время начала звука $t \in [0; t^*]$, t^* — продолжительность звукового фрагмента, F — основная частота звука (высота), $F \in [20; 20000]$.

Поскольку t — время в секундах иолях секунды от некоторого

момента времени до времени начала звучания элементарного звука, значение t не будет превышать время звучания звукового фрагмента. Поле значений для частоты — частота в герцах, лежащая в пределах диапазона слышимости (20 Гц — 20 КГц).

2) определение области допустимых значений для каждого атрибута

Область допустимых значений для длительности. Поскольку во всех рассматриваемых звуковых фрагментах длительности кратны друг другу (что определяется так же стандартом MIDI), удобно за квант измерения принять минимальную длительность.

Тогда подавляющее большинство длительностей может быть описано формулой:

$$D = C / 2^n , \quad (1)$$

где $C = \text{const}$, выбранная образцовая длительность, n — натуральное число диапазона $[1; 6]$

Область допустимых значений для основной частоты. Во всех рассматриваемых звуковых фрагментах частоты элементарных звуков кратны друг другу или относятся как целые числа. Для задания параметра "высота", мы должны указать одно из дискретных значений хроматического звукоряда n , после чего вычислить частоту по формуле:

$$F = C \cdot 2^{(n/12)} , \quad (2)$$

где C — константа, определяющая начало звукоряда.

Параметр n будем называть *ступенью хроматического звукоряда*. Параметр n принимает значения в интервале $[1; 12]$. Дальнейшие исследования существующих звуковых фрагментов показывают, что в конкретном звуковом фрагменте используется еще меньшее количество значений высоты, которые определяются в использовании конкретного звукоряда, являющегося подмножеством хроматического, в основе которого лежат целые отношения между частотами, и используются n_m ступеней хроматического звукоряда в диапазоне $[1; k]$, обозначающее *номер ступени конкретного звукоряда* и принимает значения меньше или равные 12. Для получения значения частоты звука в Герцах надо сначала произвести преобразование $n_m \rightarrow n$, а затем $n \rightarrow F$ по формуле (2).

Преобразование $n_m \rightarrow n$ запишем в виде

одномерной матрицы (вектора), содержащей k значений в диапазоне $[0; 1]$ и константы, определяющей высоту первой ступени.

$$n = [M_n]_{n_m} + C_n , \quad (3)$$

где $[M_n]$ — одномерная матрица (вектор) преобразования, однозначно определяющая конкретный звукоряд, $[M_n]_{n_m}$ — n_m -ый элемент матрицы, C_n — первая ступень конкретного звукоряда. Имеет смысл сдвиг этого значения только на число, не превышающее размерность хроматического звукоряда, поэтому $C_n \in [0; 1]$. Вместо частоты, дальнейшему анализу будет подвергаться число n_m в диапазоне $[1; k]$, обозначающее *номер ступени звукоряда*.

3) предварительный частотный анализ значений параметров

Для сбора предварительных статистических данных применим частотный анализ атрибутов.

Частотный анализ длительностей. На данном этапе ограничимся простым подсчетом появления тех или иных длительностей.

Частотный анализ высоты. Для описания стохастической неравномерности использования ступеней конкретных звукорядов воспользуемся матрицами переходных коэффициентов. Пространством вершин графа переходов будет являться набор значений $[1; k]$, т.е. его размерность будет совпадать с размерностью конкретного звукоряда. Для описания частотности использования ступеней в зависимости от предыдущей ступени воспользуемся матрицей переходных коэффициентов между ступенями конкретного звукоряда.

$$(n_m)_i = P[M_p]_{(n_m)_{i-1}} , \quad (4)$$

где $(n_m)_i$ — номер ступени последующего звука,

$(n_m)_{i-1}$ — номер ступени предыдущего звука, $[M_p]$ — матрица переходных коэффициентов, $[M_p]_{(n_m)_{i-1}}$ — $(n_m)_{i-1}$ -я строка

матрицы переходных коэффициентов из состояния $(n_m)_{i-1}$ в другие состояния, P – функция, реализующая выбор последующего состояния согласно значениям переходных коэффициентов (целочисленный алгоритм отображения равномерного распределения на заданное описан в параграфе 3)

4) поиск циклов/периодов

В рассматриваемых звуковых фрагментах обычно обнаруживаются периоды различной длины, в которых наблюдается полная или частичная повторяемость значений рассматриваемого атрибута. Для поиска периодов будем рассматривать различные длины и вычислять, с какой долей истинности отрезок данной длины может являться периодом. Для оценки необходимо построить оценочную функцию и определить критерий, выше которого проверяемый интервал времени будет считаться циклом.

$$F(i, j, T) = \sum_{n=0}^{n=T-1} (a_{iT+n} - a_{jT+n})^2, \quad (5)$$

где T — величина периода, i, j — индексы оцениваемых периодов, n — порядковый номер атрибута внутри периода $\in [0; T-1]$, $iT + n, jT + n$ — индексы элементов относительно всего фрагмента, a_{iT+n}, a_{jT+n} — значения анализируемых атрибутов.

Интегральная оценочная функция представляет собой сумму оценочных функций для всех периодов, нормированная на число периодов в квадрате:

$$F(T) = \left\{ \sum_{i=0}^{i < N} \sum_{j=0}^{j < N, i \neq j} F(i, j, T) \right\} / N^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

где: T — проверяемая величина периода, N — число периодов T , укладывающихся в проверяемом тексте, i, j — индексы проверяемых периодов, $F(i, j, T)$ — оценочная функция, для проверки схожести i -го и j -го периодов.

Интегральная функция оценки зависит только от проверяемого T . При анализе проверяются все значения T , кратные по времени длине звукового фрагмента. В результате для

нескольких значений T критерий $F(T)$ будет значительно ниже среднего значения. Величина критерия подбирается экспериментально. Эти величины T и будут найденными периодами.

5) повторный частотный анализ с учетом периодов

После получения значений периодов стала известна структура фрагмента, т.е. величины периодов. Будем считать, что наибольшая зависимость наблюдается у элементов, находящихся в аналогичных позициях относительно структуры периодов (a), а также у элементов, находящихся внутри одного периода (b).

a) $a_{i+1} = P(a_i); i = (T \cdot (n-1)) + c$, где T — величина периода, n — номер анализируемого периода, $n-1$ — предыдущий период, c — смещение исследуемого элемента внутри периода;

b) $a_{i+1} = P(a_i); i \in [T \cdot n; T \cdot (n+1)]$, где T — величина периода; n — номер анализируемого периода.

Указанные исследования зависимостей необходимо провести для всех найденных величин периодов. С ростом величины периода корреляция уменьшается. Поэтому при исследовании звукового фрагмента зависимость (a) учитывается только для минимального периода, а зависимость (b) — для двух минимальных величин периодов, т.е. только для 5 простейших случаев для наименьших величин периодов. В результате получаем набор из 5 матриц переходных коэффициентов $[M_p]_a \dots [M_p]_e$.

6) анализ корреляции частотности с периодами

После вычисления переходных коэффициенты $[M_p]_a \dots [M_p]_e$ для каждого элемента входной последовательности (позиции), обнаруживается, что для определенных мест в периодах некоторые матрицы коэффициентов будут иметь близкое к единице значение. В этом случае их можно исключить из рассмотрения. Эти места — окончания периодов. Исключив из рассмотрения матрицы $[M_p]_a \dots [M_p]_e$, где корреляция мала, обнаружим что зависимость атрибутов в каждой позиции достаточно описать всего лишь одной матрицей переходных коэффициентов из набора. Т.е. в каждом случае, когда элементы находятся на концах периодов, будем

использовать всего лишь одну матрицу, в остальных случаях достаточно использовать корреляцию атрибутов с атрибутами одного предыдущего элемента входной последовательности.

7) анализ матриц переходных коэффициентов

Задача этого этапа — найти зависимости, связывающие содержимое матриц с количественными выражениями некоторых качественных величин. Например, плотность потока, стабильность частоты (высоты), тенденции к повышению/понижению частоты и.т.д. Эти зависимости выражаются функциями над матрицами переходных коэффициентов.

8) семантический анализ внутри периодов.

Данный этап выходит за рамки исследования. При реализации семантического анализа можно воспользоваться стандартными методами и теориями.

Третий параграф посвящен целочисленным методам и алгоритмам, используемым в модели. Большую часть методов представляют собой целочисленные реализации различных непрерывных алгоритмов.

В завершении третьего параграфа обсуждаются возможности использования фрактальных генераторов псевдослучайных последовательностей.

Вторая глава "Описание модели звукового фрагмента" посвящена описанию модели.

В первом параграфе описана логика построения и общая структура модели (рис. 1). Модель получена при применении описанного ранее метода к входной звуковой последовательности. Модель состоит из максимально независимых друг от друга блоков, каждый из которых представляет собой математическую или алгоритмическую реализацию некоторых закономерностей в структуре фрагмента. Схема представлена деревом поэтапного абстрагирования от уже рассмотренных понятий, более нижние блоки НЕ получают в качестве данных уже рассмотренные понятия.

Поэтапное вычисление закономерностей и выделение их в отдельные блоки модели происходило следующим образом:

- на первом этапе в качестве объекта анализа/синтеза выступает звукозапись. Исключая из нее специфику звучания типового элементарного звука (темпер и огибающую), мы получаем для дальнейшего анализа MIDI-запись звуковых событий (этап 1 метода);

- на втором этапе абстрагирования анализируется из MIDI-записи исключаются неиспользуемые ступени звукоряда, в результате получается запись звуковых событий в терминах номеров

ступеней конкретного звукоряда;

- на третьем этапе полученная запись событий анализируется на частотность появления тех или иных значений атрибутов, в результате получаем наборы коэффициентов частотности и матрицы переходных коэффициентов для всех типов атрибутов, т.е. для длительностей и для высот;

- на четвертом этапе абстрагирования рассматривается временная структура звукового фрагмента, с помощью оценочной функции вычисляются величины циклов/периодов, в рамках которых наблюдается подобие звукового сигнала (этап 4 метода), а также степень корреляции сигнала в рамках периодов по каждому атрибуту.

Во втором параграфе подробно показана внутренняя структура блоков и работа модели в процессе синтеза, т.е. генерации звукового фрагмента.

Поскольку работа алгоритма состоит в рекуррентном применении некоторых правил с целью генерации последовательности элементов конечной длины, алгоритм должен охватывать основным циклом, обеспечивающим повторение основного периода заданное число раз. Все это позволяет построить основной цикл с жестко заданными параметрами.

Основной цикл обеспечивает повторение алгоритма генерации каждого последующего элемента, т.е. элементарного звука с вычислением его атрибутов. Вычисление атрибутов происходит согласно матрицам переходных коэффициентов на основе генератора псевдослучайной последовательности.

Для обеспечения подобия атрибутов в каждом последующем цикле используется набор микростилей. Модель может находиться в каждом из состояний некоторое время, каждое состояние-микростиль характерно определенной степенью и законом формирования повторений. Для каждого микростиля создан специальный алгоритм, обеспечивающий те или иные простейшие законы повторения, либо отдельный набор матриц переходных коэффициентов.

В результате работы алгоритмов микростилей получаются значения атрибутов "длительность" и "высота" каждого очередного элемента последовательности MIDI-событий. Теперь полученное значение высоты (т.е. номер ступени конкретного звукоряда) преобразуется в значение частоты и может быть воспроизведено стандартным волновым или частотным синтезатором. И, наконец, элемент с полученными значениями атрибутов записывается в выходной MIDI-файл.

В третьем параграфе рассматривается работа модели в процессе анализа входной звуковой последовательности. Для анализа используется та же основная схема, но последовательность работы по ней обратная, такая же, какая использовалась при построении модели. Преобразование в конкретный звукоряд в блоке "Звукоряд" происходит посредством применения простейшей матрицы преобразования.

Для получения переходных коэффициентов в блоках "длительность" и "высота" используется прямой подсчет количества тех или иных значений атрибутов с последующим нормированием. Для получения значения величин периодов используется оценочная функция и метод наименьших квадратов.

Параграф 4 посвящен макропараметрам модели. Прежде всего вводится понятие макропараметров блоков. Макропараметрами блоков модели будем называть числа, полученные путем математических операций над параметрами блока модели и характеризующие количественным образом характеристики звукового фрагмента. Здесь это математические функции над матрицами переходных коэффициентов, результатом которых являются нормированные числа.

Параграф 5 посвящен обзору возможностей применения и развития модели. Архитектура разработанного программного обеспечения предоставляет пользователю широкие возможности манипулирования данными в процессе анализа и синтеза в реальном времени.

Модель и программа предоставляют следующие возможности при манипуляции параметрами блоков:

- данные каждого блока могут быть установлены пользователем,
- данные каждого блока могут быть получены путем анализа существующего звукового фрагмента,
- данные могут быть скорректированы пользователем во время работы,
- перед запуском процесса анализа пользователь может указать, какие блоков должны быть сохранены, а какие заменены новыми, полученными в процессе анализа,
- в модель заложена возможность осуществления в будущем параллельного анализа и синтеза.

Далее, как вариант применения модели для синтеза звуковых последовательностей, рассматривается модель виртуального оркестра, представляющая собой несколько экземпляров рассмотренной модели с горизонтальными связями.

Глава 3 "Программная реализация модели" посвящена описанию структуры программной реализации модели и пользовательского интерфейса, она также содержит технические аспекты реализации программного обеспечения: структура программы, используемые драйверы и библиотеки, системные требования.

Параграф 1 описывает общие особенности архитектуры приложения. Основной особенностью созданного приложения является "открытость" всех вычисляемых параметров при анализе и генерации звуковых фрагментов и возможность изменять их в реальном времени в процессе работы модели (программы).

В параграфе 2 рассматривается архитектура данных программы. Данные модели и программы группируются в блоки, соответствующие блокам модели. Данные каждого блока могут быть сохранены отдельно в файлах с соответствующим расширением.

В параграфе 3 перечислены аппаратные и программные требования, используемые библиотеки и программные средства.

В параграфе 4 описана разработка новых элементов пользовательского интерфейса, перечислены задачи, которые пришлось решать при создании программной реализации модели. Необходимо было обеспечить наличие стандартных возможностей работы со звуком, которые обычно предоставляются программами-секвенсорами и звуковыми редакторами. Эти функции необходимы прежде всего для обеспечения совместимости форматов данных с другими программами, позволяя загружать внешние MIDI-файлы, созданные в других программах, отображать и корректировать звуковые данные, воспроизводить результаты работы модели. Наиболее сложной из них является задача волнового синтеза, которая решена двумя способами: аппаратным и программным.

В ходе создания пользовательского интерфейса выяснилась необходимость написания собственных элементов управления (*controls*) Windows, которые позволяли бы удобно отображать и редактировать вероятностные параметры. В результате был создан новый элемент управления (*control*) — *SpinLabel*.

В пятом параграфе описан пользовательский интерфейс приложения, который построен на основе MFC (Microsoft Foundation Classes), основанного в свою очередь на пользовательском интерфейсе Windows. Позднейшая версия программы не требует MFC и позволяет менять внешний вид программы путем замены библиотек картинок.

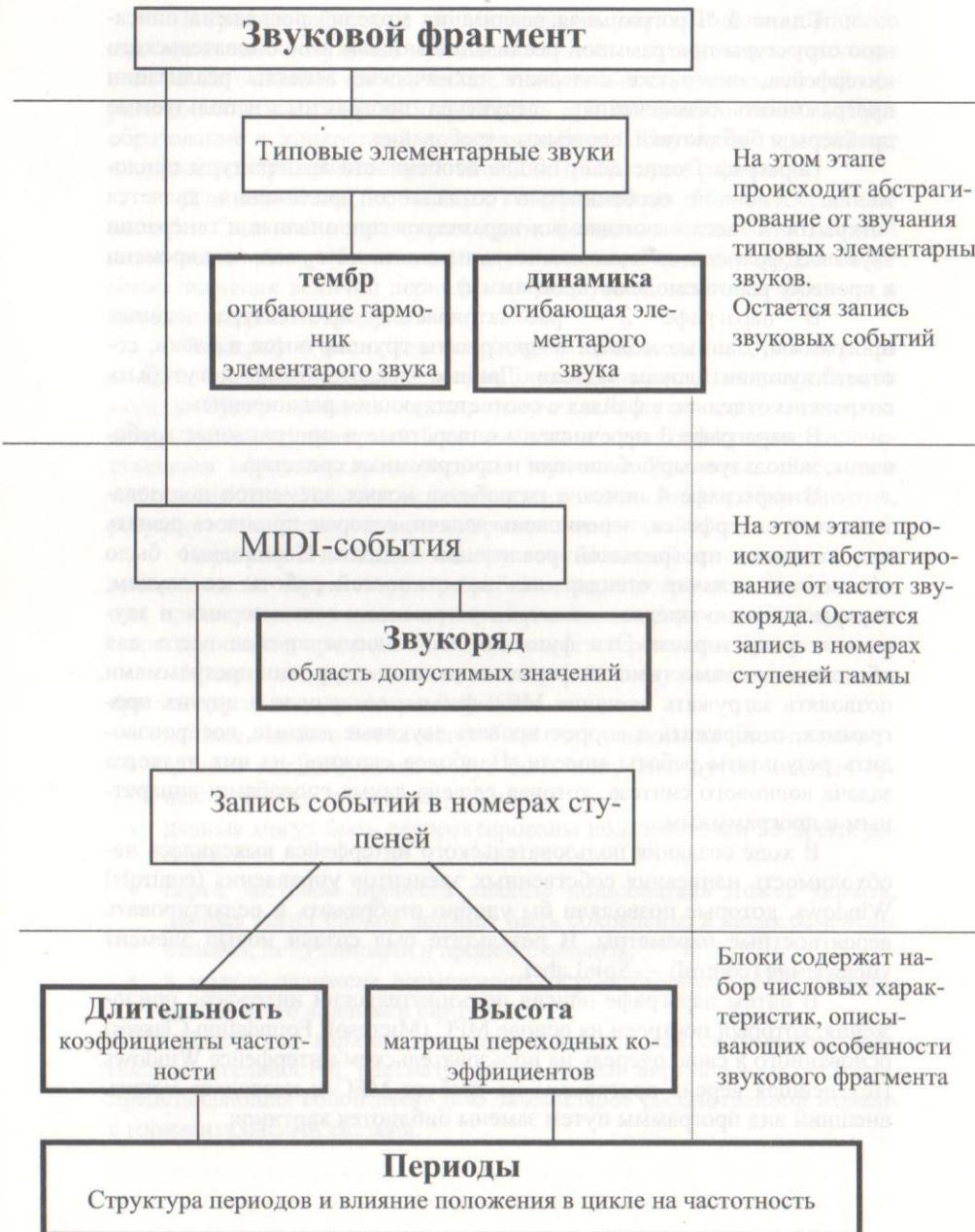


Рис. 1. Структурно-логическая модель звукового фрагмента.

Программа представляет собой многооконное приложение Windows, позволяющее открывать и редактировать несколько однотипных документов. В остальном пользовательский интерфейс продиктован структурой данных модели и его элементы (диалоговые окна) полностью отражают структуру данных и отображают данные блоков в удобном для восприятия виде, позволяя легко редактировать данные блоков.

Для удобства работы пользователя предусмотрен интерфейс второго вида – Application Wizard, позволяющий контактировать с пользователем с помощью вопросов и ответов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были достигнуты следующие основные результаты:

1. Разработан *метод* анализа звуковых записей в формате MIDI.
2. Разработана математическая *модель* генерации звуковых фрагментов на основе набора параметров, отражающих характер фрагмента.
3. Разработан пользовательский *интерфейс* управления моделью.
4. Разработанная модель применена для создания *программного комплекса*, предназначенного для изучения и генерации небольших звуковых фрагментов.
5. На основе результатов работы модели получены *зависимости*, связывающие параметры модели с качественными характеристиками звукового фрагмента.
6. В качестве примера применения создано программное обеспечение, использующее разработанную модель для имитации работы музыкального оркестра в процессе импровизации.

Основное содержание диссертации и некоторые идеи, связанные с разработанной моделью, изложены в следующих *работах*:

- 1) Чибирёв С.В. Системные подходы к моделированию музыкального творчества. // Телекоммуникации, математика и информатика – исследования и инновации. вып. 6. Межвузовский сборник научных трудов. – СПб: ЛГОУ им. А.С.Пушкина, 2002 - с.248–250. (0,12 п.л.);
- 2) Чибирёв С.В. Алгоритмизация структурных элементов музыкальной композиции. // Телекоммуникации, математика и информатика – исследования и инновации. вып. 6. Межвузовский сборник научных трудов. – СПб: ЛГОУ им. А.С.Пушкина, 2002. - с.237–242. (0,31 п.л.);
- 3) Чибирёв С. В. Открытие новых возможностей в изучении

- музыкальной теории с помощью компьютера // Современной музыкальное образование – 2002. Материалы международной научно-практической конференции. – Спб: изд. РГПУ им Герцена, 2002. - с.480–484. (0,29 п.л.);
- 4) Чибирёв С.В. Курс "Современная студия звукозаписи" для выпускников музыкальных ВУЗов. // Современное музыкальное образование – 2002. Материалы международной научно-практической конференции. – СПб: изд. РГПУ им Герцена, 2002. - с.202–205. (0,19 п.л.);
- 5) Чибирёв С.В. Компьютерное моделирование элементов музыкального творчества. // Актуальные вопросы современного университетского образования. Материалы VII Российско-Американской научно-практической конференции, 11-13 мая 2004. – СПб: Изд. РГПУ им А.И.Герцена, 2004. - с.406–408. (0,13 п.л.);
- 6) Чибирёв С.В. Моделирование музыкального творчества — новые горизонты. // Информационные технологии в науке, образовании, искусстве. Сборник научных статей. – СПб: изд. РГПУ им.Герцена, 2005. - с.206–299. (0,19 п.л.);
- 7) Горбунова И.Б., Бергер Н.А., Горельченко А.Г., Чибирёв С.В. Музыкально-компьютерные технологии в современном образовательном пространстве. // Человеческое измерение в информационном пространстве. Материалы всероссийской научно-практической конференции. — М.: 2003, октябрь-ноябрь. - с.117–122. (0,31 п.л./0,14 п.л.);
- 8) Привалова С. Ю., Чибирёв С.В. Интегративный обучающий курс «Музыка и информатика» на базе музыкально-компьютерных технологий. // Emissia.offline. Электронное научное издание. ART 1039. – 2006, сентябрь. <http://emissia.50g.com/offline/2006/1039.htm>. (0,33 п.л./0,2 п.л.);
- 9) Чибирёв С.В. Досемантический анализ при моделировании абстрактного текста на примере фрагментов музыкального текста. – Информационные технологии моделирования и управления, 2006, N8(33). – Воронеж: Научная Книга. 2006, октябрь. - с.995–1003. (0,37 п.л.);
- 10) Чибирёв С.В. Подход к моделированию музыки как абстрактного текста на основе статистической информации. – Системы управления и информационные технологии, 2007, N2.2(28) (август). - С. 306-309. (0,37 п.л.);

Отпечатано в «ООО «Инжиниринг Сервис»
Санкт-Петербург, ул. Казанская, д. 7

Подписано в печать 11.10. 2007.
Объем 1 уч.-изд.л. Тираж 100 экз. Заказ № 1078.
Санкт-Петербург, изд. РГПУ им А.И.Герцена, наб.р. Мойки, 48.