

ОПЫТ АНАЛИЗА ИСПОЛНЕНИЯ МУЗЫКАЛЬНОГО ПРОИЗВЕДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТОЧНЫХ МЕТОДОВ

Н.А. Соловьева

Описывается метод изучения записи музыкального произведения с целью выявления особенностей исполнительской манеры музыканта через анализ ряда числовых значений, получаемых на основе звукового файла. Запись звучания и нотный текст данного произведения рассматриваются на разных уровнях детализации, что отражено в описании предлагаемой системы моделей. Приведено несколько примеров использования моделей. Значительная часть статьи связана с анализом различных статистических величин, вычисленных для фрагментов записи. Этот анализ оценивает статистические величины с точки зрения их полезности при количественном описании интерпретации музыкального произведения.

Ключевые слова: количественные методы изучения искусства, компьютерный анализ звука, интерпретация музыкального произведения, музыковедение.

Введение

Данное исследование предлагает способ изучения интерпретации музыкальных произведений, при котором на основе звукового файла получают ряд числовых данных, фиксирующих время появления звука, его амплитуду, длительность, а далее вычисляются временные пропорции произведения, используются приемы статистики, теории вероятности, теории случайных процессов. Толчком для работы послужили исследования, проводившиеся в Московской консерватории под руководством Е.В. Назайкинского [1, 2].

Для количественного описания звучащей музыки необходимо обработать огромный объем информации. Одной из задач исследовательских работ в области анализа музыки является снижение объема данных и выявление значимых информационных признаков, характеризующих изучаемую запись. Автор работы предлагает иерархическую систему моделей, которые формируются на основе звукового файла. Каждая последующая модель, находящаяся на более высоком уровне, содержит меньше данных и характеризует запись музыки с более общих позиций [3, 4].

В качестве графических средств отображения данных применяются диаграммы рассеяния, гистограммы, графики амплитуды, длительностей звуков и темпа. Метод иллюстрируется на примере двух произведений для фортепиано: нескольких интерпретаций произведения С.В. Рахманинова «Вариации на тему Корелли» и пьесы Р. Шумана «Грезы» из цикла «Детские сцены» в исполнении А. Рубинштейна.

1. Модели описания музыкального произведения и примеры их применения

Акустическая модель представляет собой фиксацию отдельных музыкальных звуков с указанием их амплитуды и длительности. Статическая структурная модель (ССМ) строится по нотному тексту и содержит сведения об имеющихся структурных частях музыкального произведения. Такая модель может иметь разный масштаб – в качестве единицы анализа можно рассматривать часть большого сложного сочинения (например, отдельную вариацию в Вариациях на тему Корелли С.В. Рахманинова), а можно как единицу рассматривать отдельную фразу, предложение или даже мотив (такой уровень анализа использован при разборе пьесы Р. Шумана «Грезы»). Динамическая структурная модель (ДСМ) строится на основе звучащей музыки и дает представление о том, как исполнитель формирует пропорции произведения. По записи фиксируется время начала каждого фрагмента, выделенного в статической структурной модели. Далее рассчитываются проценты длительности каждого фрагмента относительно целого. Из полученных процентов вычитаются аналогичные значения статической структурной модели. Эта конечная величина характеризует отклонение в процентах длительности звучания фрагмента от условной длительности фрагмента по нотному тексту. Таким образом, длительности фрагментов по нотному тексту являются условными эталонами, с которыми сравниваются длительности таких же фрагментов звучащей музыки. Это дает возможность сравнивать различные исполнения как с нотным текстом, так и между собой.

В табл. 1 представлена статическая структурная модель Вариаций на тему Корелли С.В. Рахманинова. Единицей, определяющей масштаб анализа, здесь является законченная часть произведения – тема или вариация. Длительность каждой части вычислялась в количестве тактов.

Таблица 1

Статическая структурная модель. Вариации на тему Корелли. С.В. Рахманинов

Номер части	Названия части	Темп части	Длительность, такты	Длительность части, % от целого
1	Тема	Andante	16	3,85
2	Вариация 1	Pocopiumosso	16	3,85
3	Вариация 2	L'istessotempo	16	3,85
4	Вариация 3	TempodiMenuetto	16	3,85
5	Вариация 4	Andante	16	3,85
6	Вариация 5	Allegro (manontanto)	16	3,85
7	Вариация 6	L'istessotempo	16	3,85
8	Вариация 7	Vivace	18	4,33
9	Вариация 8	Adagiomisterioso	15	3,61
10	Вариация 9	Unpocopiumosso	19	4,57
11	Вариация 10	Allegroscherzando	25	6,01
12	Вариация 11	Allegrovivace	16	3,85
13	Вариация 12	L'istessotempo	23	5,53
14	Вариация 13	Adagio	17	4,09
15	Intermezzo	A temporubato	13	3,13
16	Вариация 14	Andante (comeprima)	16	3,85
17	Вариация 15	L'istessotempo	26	6,25
18	Вариация 16	Allegrovivace	16	3,85
19	Вариация 17	Menomosso	23	5,53
20	Вариация 18	Allegroconbrio	16	3,85
21	Вариация 19	Piumosso. Agitato	17	4,09
22	Вариация 20	Piumosso	27	6,49
23	Coda	Andante	17	4,09
	Всё		416	100

Далее на рис. 1–4 представлены данные динамических структурных моделей, полученных после анализа четырех записей Вариаций. Эти диаграммы показывают, на сколько длиннее (положительные значения) или короче (отрицательные значения) по сравнению с пропорциями нотного текста длится фрагмент произведения в интерпретации данного исполнителя (отклонения динамической структурной модели – d). Цифры по горизонтали обозначают номер части (см. первый столбец табл. 1). Единица измерения вертикальной оси – проценты. Исполнитель указан в подписях к рисункам.

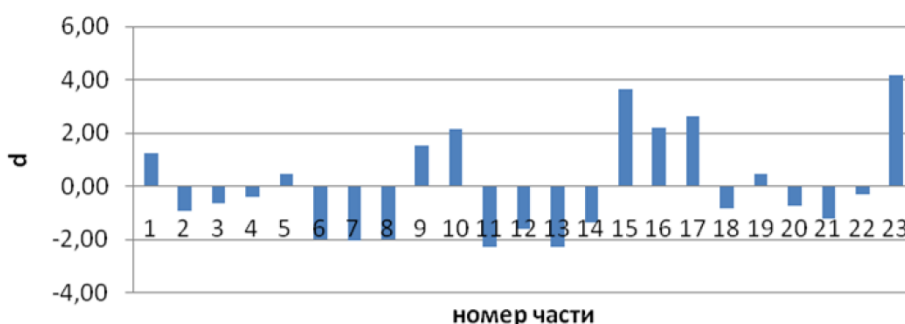


Рис. 1. Разница в длительности фрагментов по сравнению с ССМ. Играет С.Е. Сенков

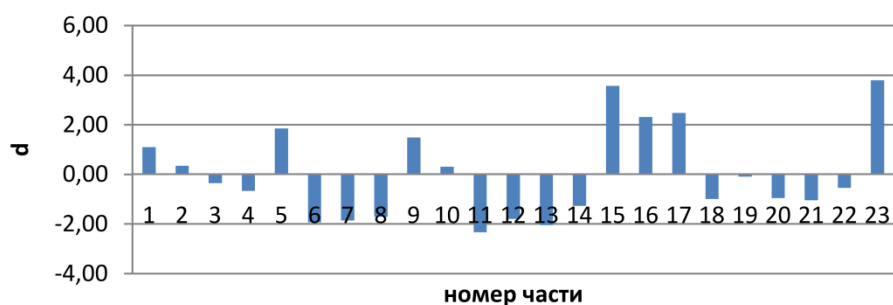


Рис. 2. Разница в длительности фрагментов по сравнению с ССМ. Играет Б.В. Березовский

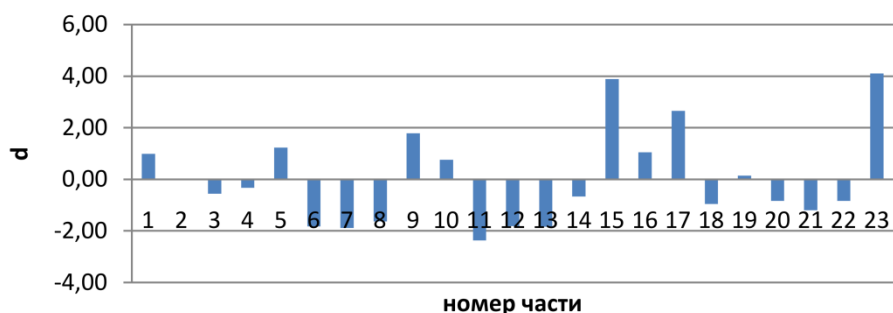


Рис. 3. Разница в длительности фрагментов по сравнению с ССМ. Играет Е. Гримо

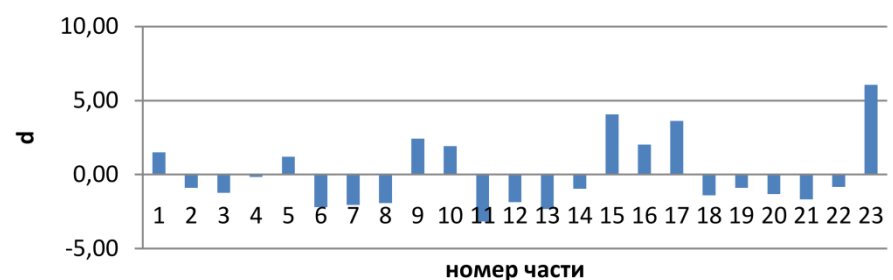


Рис. 4. Разница в длительности фрагментов по сравнению с ССМ. Играет Е.В. Мечетина

Дальнейший анализ будет иллюстрироваться записью пьесы Р. Шумана «Грезы» из цикла «Детские сцены» в исполнении А. Рубинштейна. Пьеса состоит из 8 коротких фрагментов (уровень 3: aa, aa', aa2, aa'2, bb, bb', aar, aar'), пары которых группируются в 4 фрагмента более высокого уровня (уровень 2: A, A2, B, Ar). Уровень 1 – это целое произведение. Статическая структурная модель представлена в табл. 2, столбцы 1–3. Последний столбец таблицы содержит данные динамической структурной модели и показывает отклонение в процентах от длительности фрагментов (рис. 5).

Таблица 2

Статическая структурная модель. «Грезы» из цикла «Детские сцены», Р. Шуман

Название фрагмента	Уровень фрагмента	Длительность части, % от целого	Отклонение динамической модели d
aa	3	9,74	-1,50
aa'	3	11,72	-1,46
aa2	3	10,87	-0,76
aa' 2	3	11,85	-1,32
bb	3	9,81	-2,59
bb'	3	10,38	-2,02
aar	3	12,12	0,49
aar'	3	20,52	6,18
A	2	21,90	-2,51
A2	2	23,19	-1,62
B	2	20,56	-4,24
Ar	2	32,96	7,00

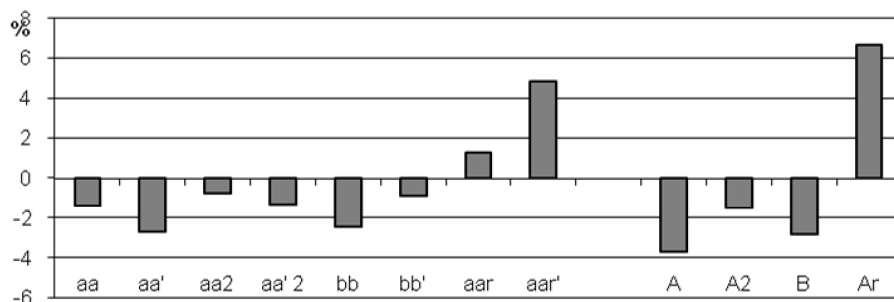


Рис. 5. Разница в длительности фрагментов по сравнению с ССМ.
Р. Шуман «Грезы». Играет А. Рубинштейн

2. Пример анализа данных по акустической модели

На рис. 6–8 представлены данные акустической модели. Каждое значение соответствует одному звуку записи. Здесь видно, что амплитуда меняется достаточно сильно. Имеются отдельные звуки, которые существенно громче соседних. Третья четверть произведения имеет самые большие значения амплитуды. Последний фрагмент – самый тихий. Подавляющее большинство нот в пьесе имеют одинаковую длительность, есть также несколько более длинных. На рис. 7 видно, что длительности звуков постоянно изменяются в небольших пределах. Несколько выбросов – это более длинные ноты. Последнее значение имеет самую большую величину, в два раза превышающую длинные звуки пьесы. Средняя длительность заметно возрастает в последнем фрагменте (замедление в конце). Темп изменяется мало. Его колебания сходны с колебаниями длительности. Отдельные выбросы означают наличие нескольких слишком коротких звуков, что, однако, не вносит качественных изменений. Обращает на себя внимание снижение темпа в последнем фрагменте.

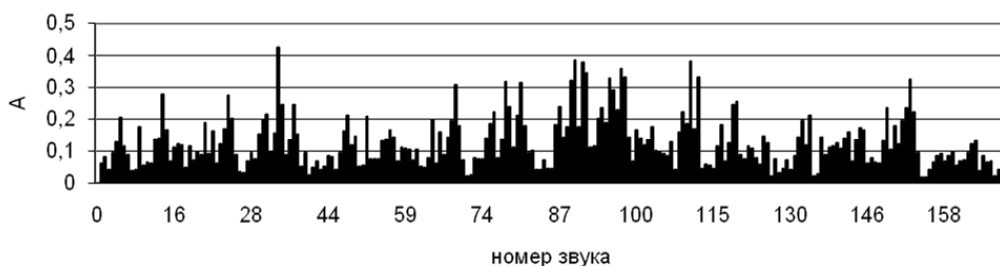


Рис. 6. Амплитуда по акустической модели. Р. Шуман «Грезы». Играет А. Рубинштейн

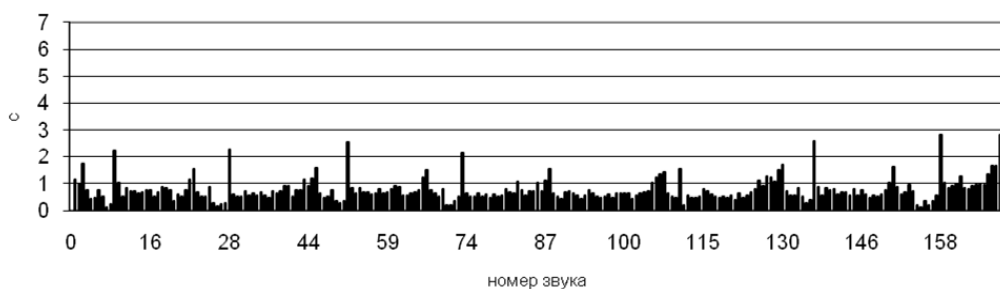


Рис. 7. Длительности звуков по акустической модели. Р. Шуман «Грезы». Играет А. Рубинштейн

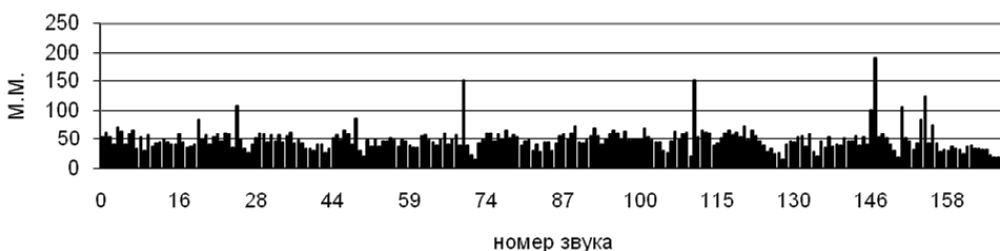


Рис. 8. Темп по акустической модели. Р. Шуман «Грезы». Играет А. Рубинштейн

3. Анализ статистических характеристик

Рассмотрим пример анализа статистических характеристик записи музыкального произведения (Р. Шуман «Грезы» из цикла «Детские сцены» в исполнении А. Рубинштейна).

Диаграммы на рис. 9–12 построены на основе обработки записи на компьютере. На диаграммах сначала следуют данные для 8 фрагментов нижнего уровня, а потом, через отступ, – для 4 фрагментов более высокого уровня. Статистики для целого не рассчитывались, так как подобные данные носят слишком общий характер и неинформативны.

Проанализируем математическое ожидание амплитуды (рис. 9). По диаграмме видно, что фрагмент 5 (середина) громче соседних (почти в 2 раза). Из пар фрагментов 1, 2 и 3, 4 громче второй фрагмент. Два последних фрагмента – самые тихие. Фрагменты второго уровня (9, 10, 11, 12) усредняют картину: два первых примерно одинаковы, середина громче, реприза тихая. Средняя длительность звуков во всей пьесе примерно одинакова, что отражается на близких значениях среднего и медианы. Средний темп меняется незначительно. Середина пьесы (фрагменты 5 и 6) имеет более быстрый темп. Реприза (фрагменты 7, 8) завершает пьесу и идет медленнее.

Медиана лучше, чем математическое ожидание отражает качественное изменение. Так, например, она значительно возрастает в средней части диаграммы для амплитуды, что говорит о большей громкости фрагмента и о его большей эмоциональной напряженности. Медиана темпа хорошо показывает ускорение в середине и замедление в конце пьесы.

Крайние значения амплитуды (рис. 10) меняются в каждом фрагменте. По характеру изменений диаграммы максимума (первый меньше, второй больше) можно выделить пары фрагментов: 1 и 2, 3 и 4, 7 и 8. Во фрагментах 5 и 6 максимумы примерно одинаковы. Диапазон длительности уменьшается в 2 раза в середине, что говорит о более строгой ритмической организации. Выброс появился благодаря очень долгому звуку в конце пьесы. Максимум для всех параметров почти повторяет диапазон. Тем не менее, имеются некоторые отличия.

Дисперсия амплитуды (рис. 11), также как ее максимум, позволяет выделить пары фрагментов. Однако дисперсия лучше отражает качественные изменения. Как известно, дисперсия сильно реагирует на единичные выбросы. Пример этого мы видим на диаграмме темпа. Дисперсия последнего фрагмента отреагировала на очень долгий последний звук. В середине пьесы дисперсия меньше. Значения дисперсии темпа связаны с наличием нескольких второстепенных слишком коротких звуков, которые при используемой технологии обработки тракуются как ускорение темпа. Адекватность дисперсии качественным трактовкам музыки существенно зависит от технологий обработки данных.

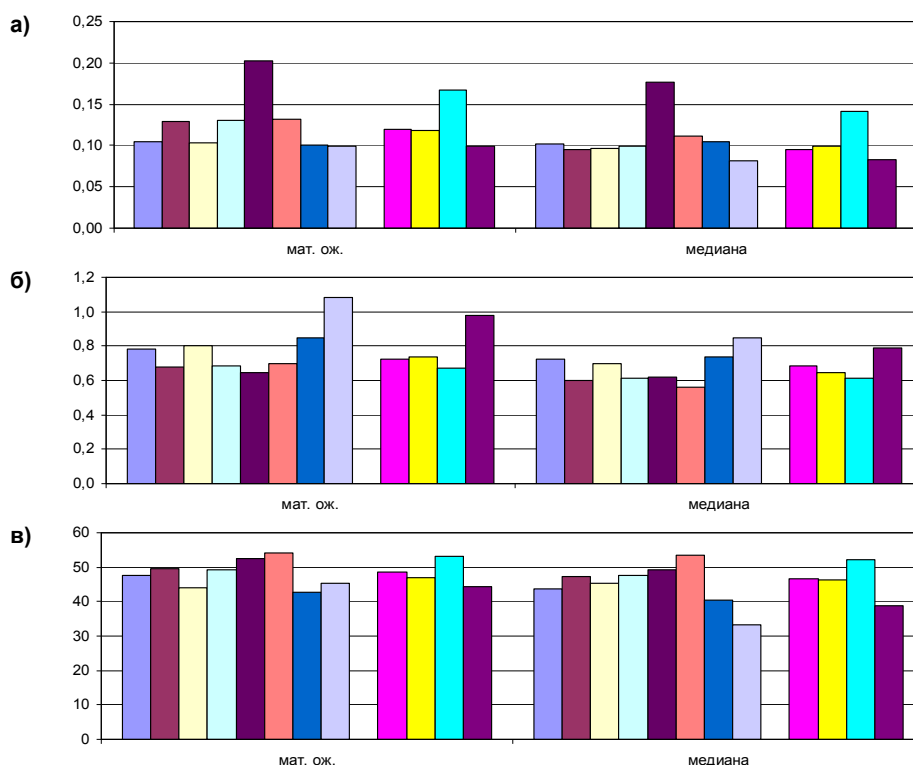


Рис. 9. Математическое ожидание и медиана для амплитуды (а), длительности (б) и темпа (в)

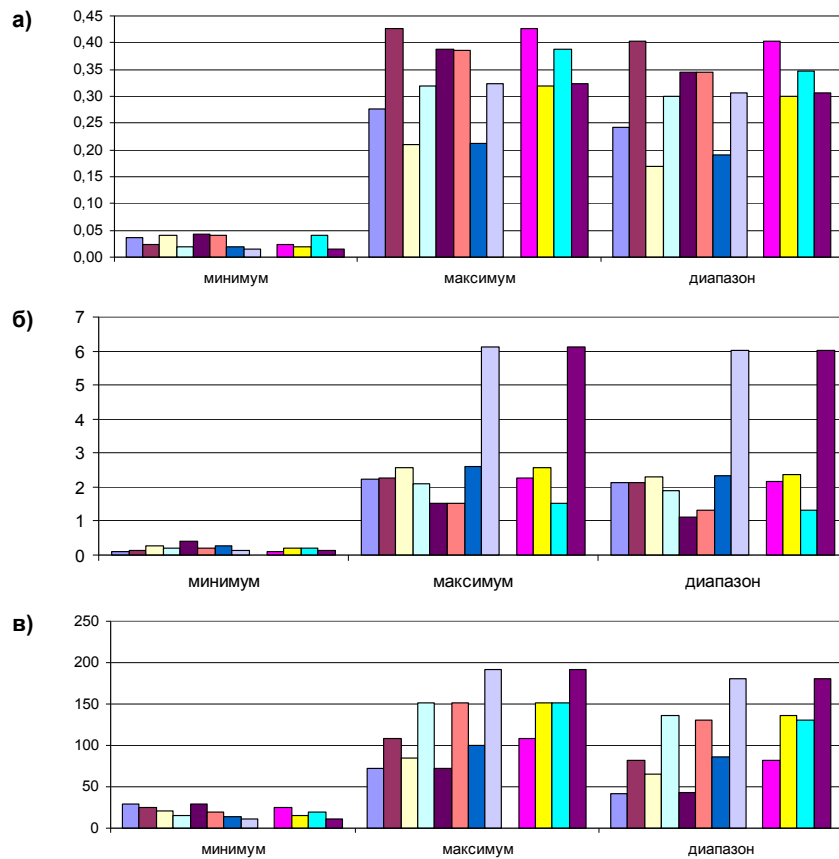


Рис. 10. Минимум, максимум и диапазон для амплитуды (а), длительности (б) и темпа (в)

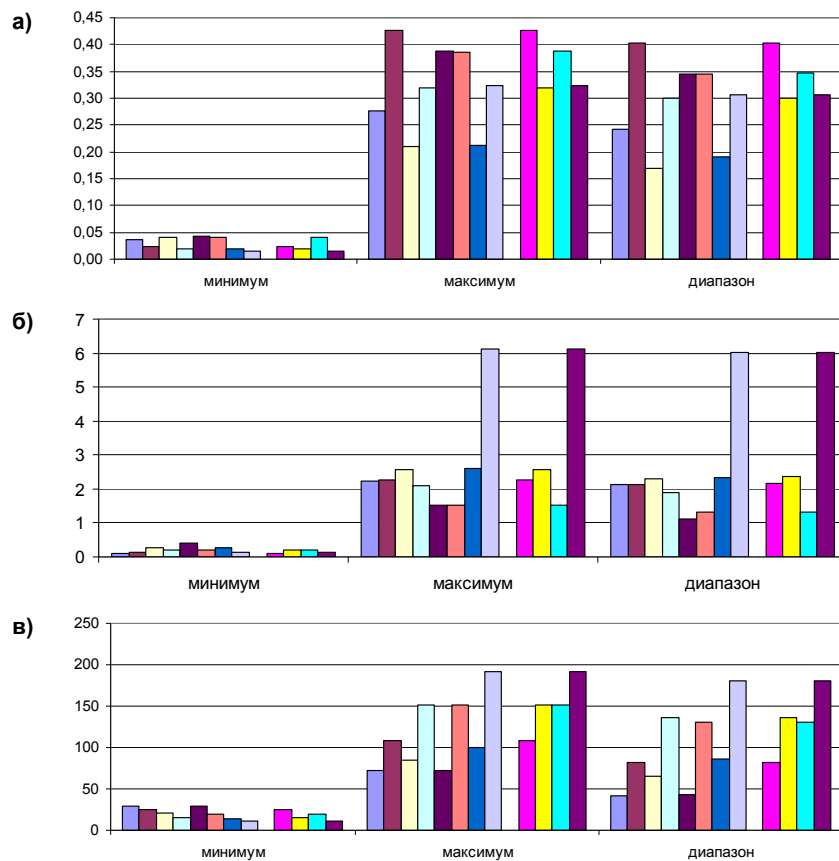


Рис. 11. Дисперсия для амплитуды (а), длительности (б) и темпа (в)

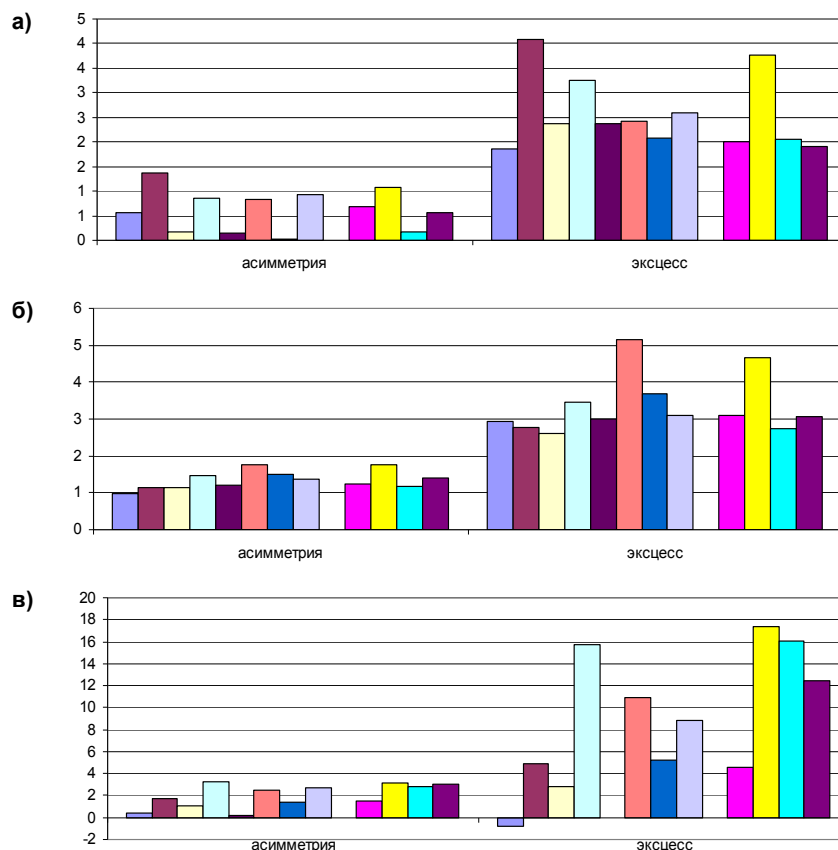


Рис. 12. Асимметрия и эксцесс для амплитуды (а), длительности (б) и темпа (в)

Для всех фрагментов значения асимметрии положительны (рис. 12), что говорит о левостороннем положении максимума на гистограмме распределения соответствующей величины данного фрагмента. В некоторых случаях (амплитуда, темп) отдельные значения асимметрии близки к нулю, что говорит о близости максимума гистограммы к центру. Значения на диаграмме асимметрии амплитуды сильно изменяются. Обращают на себя внимание пары фрагментов 3–4, 5–6, 7–8. Маленькое значение асимметрии говорит о сдвиге максимума к центру распределения. Это значит, что количество звуков, более тихих, чем средняя громкость, и более громких, чем средняя громкость, примерно одинаково. У асимметрии длительности нет резких изменений. Она плавно возрастает к середине пьесы, потом снижается. Увеличение асимметрии говорит о концентрации значений в более узкой области. Небольшие значения асимметрии темпа, и, следовательно, симметричность его распределения, говорят о том, что присутствуют и ускорения, и замедления. Левостороннее положение максимума на гистограмме темпа свидетельствует о преобладании медленных темпов и наличии ускорений. Правостороннее – о наличии значительных замедлений на фоне стабильного темпа (таких примеров здесь нет).

Все значения эксцесса (см. рис. 12), кроме одного, положительны, т. е. максимум на гистограммах достаточно острый. Это говорит о концентрации значений вокруг среднего. Интересна существенная разница эксцессов на всех диаграммах для двух соседних фрагментов второго уровня (фрагменты 9 и 10). Нотный текст в них совершенно одинаков. На диаграмме темпа эксцесс единственный раз показывает отрицательное и нулевое значения. Это можно интерпретировать как свидетельство плавного изменения темпа и отсутствия резких ускорений или замедлений.

4. Использование диаграмм рассеяния

Весьма удобным инструментом анализа являются диаграммы рассеяния. Они представляют числовые данные в графической форме и позволяют делать выводы о характере изменения исследуемой величины.

На рис. 13 представлена диаграмма рассеяния для значений амплитуды, полученных по записи пьесы «Грезы». Видно, что в основном значения концентрируются в сравнительно небольшой области, однако в достаточном количестве присутствуют и более громкие звуки. Это говорит о наличии в исполнении разнообразной динамики, в свою очередь свидетельствующей о структурной организации музыкального произведения.

Выводы

Представлена система математических моделей, с помощью которой можно зафиксировать исполнение музыкального произведения. Приведены примеры применения этих моделей. Выполнен анализ статистических величин с точки зрения их полезности при количественной оценке исполнения. Все отмеченные в тексте особенности представленных данных имеют значение с точки зрения качественной оценки записи музыкального произведения. Проведенный анализ доказывает возможность количественного описания качественных признаков звучащей музыки. Расширение объема изучаемых записей позволит выявить закономерности, связывающие вычисляемые статистические величины с качественной трактовкой звучащей музыки.

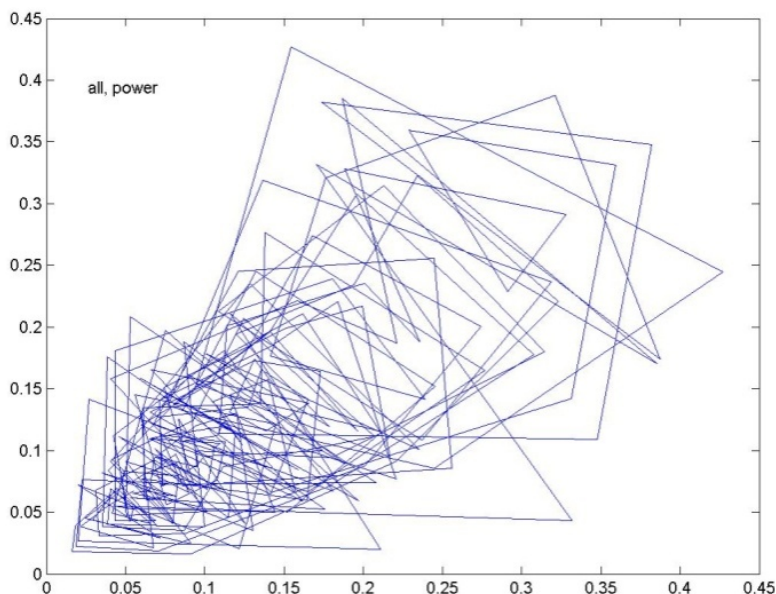


Рис. 13. Диаграмма рассеяния для амплитуды

Литература

1. Назайкинский, Е.В. *О музыкальном темпе* / Е.В. Назайкинский. – М.: Музыка, 1965. – 95 с. (В помощь педагогу-музыканту).
2. Сахалтуева, О. *О взаимосвязях выразительных средств в музыкальном исполнении (на примере анализа пьесы Р. Шумана «Грезы»)* / О. Сахалтуева, Е.В. Назайкинский // *Музыкальное искусство и наука: сб. ст. под ред. Е.В. Назайкинского*. – М.: Музыка, 1970. – Вып. 1. – С. 59–94.
3. Соловьева, Н. А. *Модели описания музыкального произведения* / Н.А. Соловьева // *Научная сессия ГУАП: сб. докл. В 3 ч. Ч. 2: Технические науки* / СПб.: СПбГАП, 2008. – С. 180–183.
4. Соловьева, Н.А. *Анализ статистических характеристик записи музыкального произведения* / Н.А. Соловьева // *Научная сессия ГУАП: сб. докл. В 3 ч. Ч. 2: Технические науки*. – СПб.: СПбГУАП, 2008. – С. 178–180.

Соловьева Надежда Александровна, старший преподаватель кафедры компьютерной математики и программирования, Санкт-Петербургский университет аэрокосмического приборостроения (г. Санкт-Петербург); hopeberd@list.ru.

Поступила в редакцию 17 декабря 2013 г.

THE EXPERIENCE OF ANALYSIS OF MUSIC PERFORMANCE BY MEANS OF PRECISION METHODS

N.A. Solovyeva, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
Saint-Petersburg, Russian Federation, hopeberd@list.ru

The article is about a study of music recording done to reveal peculiarities of a musician's performance manner through analysis of a series of values acquired from a sound file. The music and its recording are studied on several levels of detail, which is reflected in the description of the suggested system of models. Some examples of using these models are given. A great deal of the article is related to analysis of various statistic quantities calculated for fragments of the recording. The analysis evaluates the statistic quantities in terms of their utility in a quantitative description of music interpretation.

Keywords: quantitative method in study of art, computer analysis of sound, interpretation of music, musicology.

References

1. Nazaiykinskiy E.V. *O muzykal'nom tempe* [About Musical Speed]. Moscow, Music Publ., 1965. 95 p.
2. Sakhaltueva O., Nazaiykinskiy E.V. [About Correlations of Expression Means in Musical Execution (on the Example of the Analysis of the Play of R. Schuman of "Dream")]. *Musical Art and Science: Collection of Articles*, Moscow, Music Publ., 1970, iss. 1, pp. 59–94. (in Russ.)
3. Solov'yeva N. A. [Models of the Description of the Musical Piece]. *Scientific Session of GUAP: Collection of Reports: in 3 Parts. Part 2. Technical Science*, SPb., St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation Publ., 2008, pp. 180–183. (in Russ.)
4. Solov'yeva N. A. [Analysis of Statistical Characteristics of Record of the Musical Piece]. *Scientific Session of GUAP: Collection of Reports: in 3 Parts. Part 2. Technical science*, SPb., St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation Publ., 2008, pp. 178–180. (in Russ.)

Received 17 December 2013