

УДК: 621.373

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА МНОГООКТАВНЫХ СИГНАЛОВ ЗВУКОВОГО ДИАПАЗОНА

Н. С. Семенов, к. т. н. Л. А. Белов

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Россия, г. Москва

semenov\_nick@mail.ru, belovla@gmail.com

*Исследован новый метод синтеза многооктавных сигналов звукового диапазона, имитирующих звучание музыкальных инструментов, который основан на аппроксимации изменений мгновенного спектра сигнала во времени звучания. Качество синтеза оценивается вычислением взаимных корреляционных функций исходного и синтезированного сигналов для огибающих и для несущего колебания. Показано высокое качество аппроксимаций по предложенному методу.*

*Ключевые слова: скользящий спектр музыкальных сигналов, спектральный метод; корреляция исходного и синтезированного сигналов.*

Звучание музыкального инструмента характеризуется высотой, тембром и громкостью, которым в спектральной области сигналов соответствуют многооктавный диапазон частот от 20 Гц до 20 кГц, узкие спектральные линии с большим (до 30) количеством высших гармоник и со сравнительно медленным их изменением.

Современные цифровые музыкальные синтезаторы обычно используют сэмплерный [1] метод синтеза. Однако применяемые алгоритмы требуют высокой производительности процессора и больших объемов памяти, что приводит к увеличению сложности и цены.

Целью исследования является поиск существенно менее ресурсоемкого алгоритма синтеза звуковых сигналов и количественная оценка качества синтезированного сигнала.

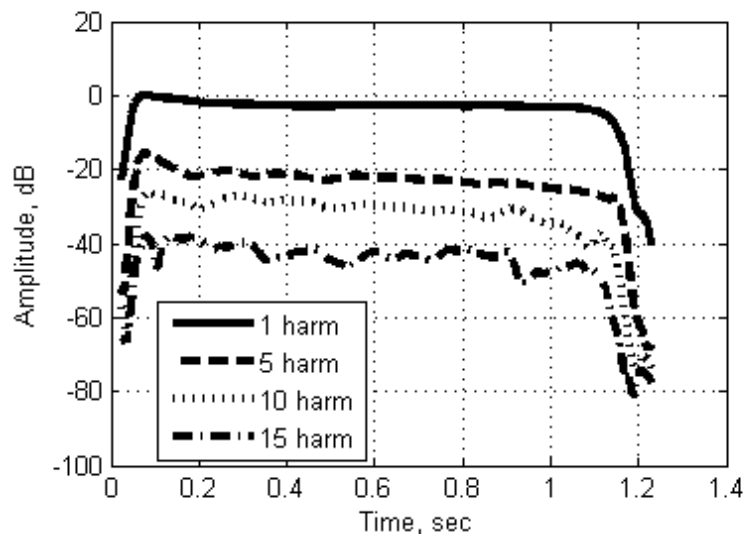
Для исследования использованы полученные с помощью микрофона, записанные и оцифрованные массивы отсчетов звучания саксофона и рояля. При анализе их спектрального состава получены скользящие спектры данных сигналов [2]. Дополнительным параметром преобразования служит ширина, форма и положение временных окон, на которые был разбит исходный звуковой файл. Для увеличения количества дискретов по времени использовано наложение окон [2, 3], произведен поиск и слежение за пиковыми значениями мгновенного спектра, соответствующие гармоникам сигнала. Получены массивы значений амплитуд гармоник сигнала для каждого временного окна. Далее для каждой гармоники были сформированы траектории изменения их амплитуд во времени (см. рисунок).

Анализ исходных массивов показал, что законы изменения амплитуд всех гармоник во времени имеют высокую корреляцию. Использована аппроксимация спектральных траекторий экспоненциальной и степенной функциями. Поиск параметров аппроксимации производится по методу наименьших квадратов. Результирующая модель звучания представляет собой массив из не более чем восьми параметров для каждой гармоники.

Синтез производится путем суммирования парциальных сигналов по каждой из гармоник. Для уменьшения пик-фактора начальные фазы были выбраны случайно с равномерным законом распределения.

Оценка качества синтеза производилась по взаимным корреляционным функциям [4] исходного и синтезированного сигналов для огибающих и отрезков звучания с примерно постоянной мгновенной мощностью. Для восприятия тембра человеком важны характеристики сигнала в установившемся режиме (область пьедестала) и в области появления колебаний (область атаки). Корреляционные функции вычислялись для этих областей длиной в 5—6 периодов основной частоты. Точность считалась достаточной, если максимальные значения нормированных корреляционных функций на

ходились в диапазоне от 0,85 до 1. Отдельно оценивалась корреляция огибающих синтезированного и исходного сигналов.



Экспериментальная кривая изменения амплитуды нескольких гармоник (1-й, 5-й, 10-й, 15-й) сигнала саксофона для ноты Фа первой октавы (частота первой гармоники около 350 Гц)

Получены высокие, не ниже 0,87, значения коэффициентов корреляции между исследуемым и синтезируемыми сигналами при статистической [4] обработке. Экспертные оценки прослушивания исходных и синтезированных звуков показали высокое качество восприятия.

При использовании предложенного метода выигрыш в объеме используемой памяти по сравнению с сэмплерным методом достигает 60 раз, что свидетельствует о перспективности применения разработанного частотного метода синтеза сложных многооктавных сигналов в других приложениях.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Tolonen T., Valimaki V, Karjalainen Evaluation of Modern Sound Synthesis Methods.— Espoo, 1998, pp.10—11 (электронный ресурс: [http://www.acoustics.hut.fi/publications/reports/sound\\_synth\\_report.pdf](http://www.acoustics.hut.fi/publications/reports/sound_synth_report.pdf); 20 января 2014.
2. Beauchamp J. W. Analysis, Synthesis, and Perception of Musical Sounds. — New York: Springer, 2007.
3. Залманзон Л. А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях.— Москва: Наука, 1989.
4. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика.— Москва: Высшая школа, 2003.

N. S. Semenov, L. A. Belov

#### **Multi-octave wideband sound signal spectral synthesis method.**

The paper deals with a new spectral synthesis method for multi-octave wideband sound signals. This method is based on approximation of signal spectra alteration in time. These signals imitate the sound of real musical instruments, such as piano, saxophone etc. The experiment shows that signal spectral components for a certain instrument have good correlation between laws of components variation (amplitude, instantaneous frequency). On this evidence, it becomes possible to considerably simplify the synthesis process. Synthesis quality is estimated by calculation of cross-correlation functions of the original and synthesized signals for their envelopes and carrying oscillations.

Keywords: *sliding spectra, spectral synthesis method, cross-correlation function of original and synthesized signals.*