УДК 004.934.2 + 37.013.75

Смирнов Д.Н.,
кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры «Звукорежиссура»,
Санкт-Петербургский Гуманитарный Университет профсоюзов
Россия, г. Санкт-Петербург
Смирнов Ю.С.,
старший преподаватель
старший преподаватель кафедры «Звукорежиссура»,
Санкт-Петербургский Гуманитарный Университет профсоюзов
Россия, г. Санкт-Петербург
Кравцов М.И.,
старший преподаватель
старший преподаватель кафедры «Звукорежиссура»,
Санкт-Петербургский Гуманитарный Университет профсоюзов
Россия, г. Санкт-Петербург

ГРАНУЛЯРНЫЙ СИНТЕЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ТВОРЧЕСТВА МУЗЫКАНТА И ПОМОЩНИК САУНД-ДИЗАЙНЕРА

Аннотация. *Статья посвящена использованию гранулярного синтеза в музыке и в саунд-дизайне. Приведена история возникновения синтеза, развитие от середины 1950-х годов до настоящего времени. Показаны основные области применения, программные продукты, аппаратные решения.*

Ключевые слова: *Гранулярный синтез, саунд-дизайн, компьютерные игры, pitch-shifting, time stretching.*

Abstract. *This article explores the use of granular synthesis in music and sound design. It presents the history of granular synthesis, tracing its development*

from the mid-1950s to the present day. The paper also discusses its main fields of application, as well as the software and hardware solutions used to implement granular synthesis.

Keywords: *granular synthesis, sound design, computer games, pitch shifting, time stretching.*

Гранулярный синтез – один из наиболее популярных типов музыкального синтеза и вместе с тем не имеющий однозначного определения и технологии исполнения. Его используют для создания как необычных, фантастических тембров, звуковых текстур, так и для сугубо технических задач, таких, как создание реалистично звучащих механизмов и шумов окружающей среды в игровой индустрии. В настоящей статье будут представлены разные аспекты применения гранулярного синтеза, истоки и предпосылки к его возникновению, а также перспективы развития.

Основоположником идеи считается Деннис Габор (Dennis Gabor) [1, с. 456]. В 1947 году он опубликовал работу Theory of Communication, в которой предложил рассматривать звук как совокупность очень коротких элементарных фрагментов — акустических гранул (grains). В общем случае, согласно концепции корпускулярно-волнового дуализма звук может восприниматься и как упругая волна, и как поток квазичастиц (фононов). Основываясь на этой концепции, Габор представил свой взгляд на физику звука. Согласно его концепции, любой звук можно разложить в семейство функций, полученных в результате частотных и временных сдвигов Гауссовой частицы (Gaussian particle). Другими словами – любой звук может быть представлен в виде комбинации тысяч элементарных гранул. В середине 1940-х Габор представил прибор Kinematical Frequency Convertor [2, с. 61], с помощью которого можно изменять высоту звука без изменения его длительности и наоборот. За основу было взято устройство оптического воспроизведения звука, используемое в кинопроизводстве. В ранних 50-х

Jacques Poullin представил устройство, работающее на магнитных лентах, названное Phonogene и также позволяющее менять скорость воспроизведения без изменения высоты звука. Интересно, что название этого аппарата было взято американской компанией Make Noise, производящей новаторские синтезаторы. В 2010-х они выпустили компонент модульного синтезатора – семплер Phonogene, в котором использовались принципы работы оригинального прибора.

С появлением первых мощных компьютеров идея Габора начала применяться в музыкальном синтезе. Композиторы и исследователи стали экспериментировать с построением звука из множества коротких сэмплов.

Особое влияние оказал Iannis Xenakis, который использовал вероятностные (стохастические) методы композиции. Хотя его методы не являлись гранулярным синтезом в современном понимании, они заложили концепцию формирования звуковых масс из большого количества микрособытий. В своей композиции Analogique B (1959) работал с фрагментами магнитной ленты с записями синусоидальных генераторов, которые он сортировал по амплитуде, времени и частоте. Ксенакис был первым музыкантом, который попытался создать теорию композиции работы со «звуковыми гранулами» [2, сс. 65 - 66].

В середине 1980-х годов Барри Труакс (Barry Truax) впервые реализовал гранулярный синтез в реальном времени [2, с. 112]. До этого вычислительных мощностей хватало лишь на офлайн-рендеринг.

Наиболее значительный вклад внес Кертис Роадс (Curtis Roads). Он разработал теорию гранулярного синтеза, алгоритмы генерации гранул и методы их музыкального применения. Его труд “Microsound” остается основой для разработки современных решений в области гранулярного синтеза.

Итак, что же такое гранулярный синтез? В его основе лежит идея разделения звукового сигнала на короткие звуковые отрезки (гранулы),

длительностью до десятков или сотен долей секунды, которые могут воспроизводиться либо последовательно, либо стохастически, с различной скоростью, в результате чего может быть воспроизведен либо исходный звуковой сигнал, либо измененный. Каждая из этих гранул имеет временную огибающую (плавное нарастание-затухание), форма этой огибающей также будет влиять на результат.

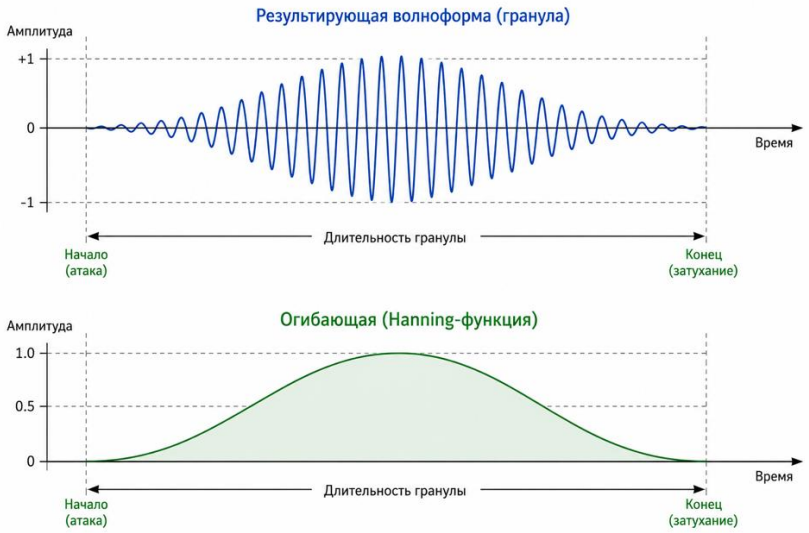

Рисунок 1. Огибающая в виде функции Ханнинга (Hanning)

Гранулу можно рассматривать как строительный блок. Комбинируя сотни таких гранул, музыкант получает звуковые пространства, которые не являются статичными и постоянно изменяются. Эта характеристика приближает такие звуки к естественным, акустическим, «реальным». Длительность гранулы имеет большое значение для получаемого тембра. Фрагменты короче 2 мс ощущаются как щелчок и их высота не распознается человеческим слухом. Однако спектральный свойства можно изменять с помощью фильтров и это будет заметно на слух. Если из таких коротких гранул создавать так называемые «звуковые облака» (Grain Cloud), комбинируя их большое количество, то малейшее изменение спектра и

длительности будет существенно менять тембр звука. Чем длиннее фрагмент, тем более явной будет его звуковысотность.

Форма огибающей может кардинально изменить синтезируемый тембр, влияя на распределение спектра в частотной области. Представленная на рис. 1 так называемая огибающая функции Ханнинга формирует тембр с меньшим количеством высокочастотных составляющих, фрагменты плавно переходят друг в друга. Огибающая с экспоненциальным затуханием (рис. 2) формирует ярко выраженный импульсный характер звука с большим количеством высокочастотных составляющих.

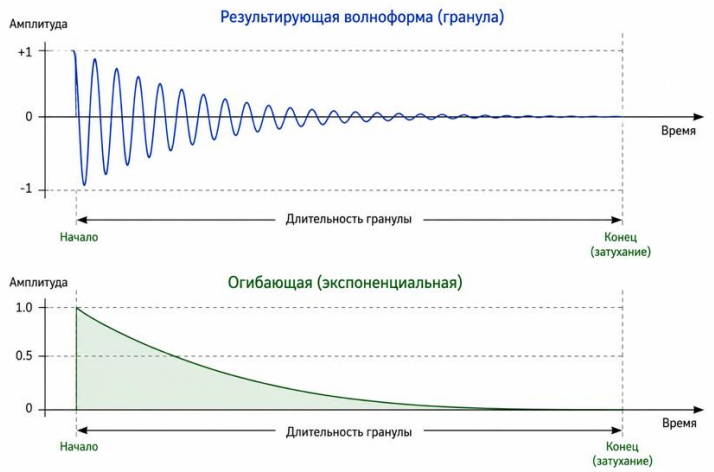

Рисунок 2. Огибающая в виде экспоненциальной функции

Достаточно редко применяемая огибающая в виде sinc-функции формирует очень узкий главный лепесток спектра, однако имеет выраженные боковые лепестки (рис. 3). Может придавать звуку своеобразную окраску и звонкость.

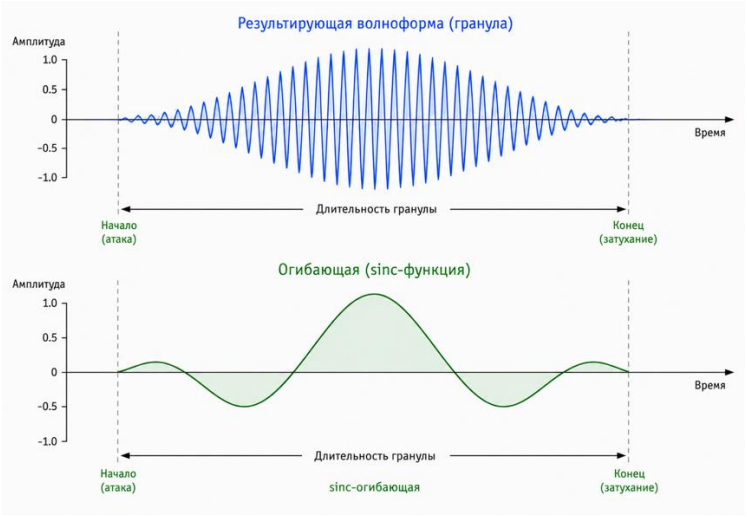

Рисунок 3. Огибающая в виде sinc-функции

Одним из так называемых «служебных» применений гранулярного синтеза является изменение высоты звука без изменения его длительности и наоборот (Pitch-Shifting и Time Stretching).

При обычном замедлении воспроизведения снижается и скорость, и высота звука. Например, запись, воспроизведённая вдвое медленнее, становится вдвое длиннее и примерно на октаву ниже.

Гранулярный метод разделяет два процесса: скорость чтения исходного аудиофайла и скорость воспроизведения самих гранул.

Каждая гранула внутри себя может воспроизводиться с исходной скоростью, поэтому её высота тона сохраняется. Растяжение возникает благодаря изменению расстояния между позициями чтения гранул.

Допустим, исходный звук длится одну секунду, а его нужно растянуть до двух секунд. Алгоритм этом случае будет следующим: выбирается участок исходного сигнала длительностью, например, 50 мс, используется плавная огибающая, гранула воспроизводится, незначительно перемещается позиция чтения в исходном файле, воспроизводится следующая гранула с частичным «перекрытием» первой. Процесс продолжается, пока выходная длительность

не достигнет двух секунд. Так как соседние гранулы могут брать близкие или частично повторяющиеся фрагменты исходного сигнала, материал растягивается без пропорционального снижения высоты тона.

Простой гранулярный time-stretching может создавать различные искажения, такие, как повторение небольших фрагментов, «зернистость», «размывание» атак, изменение формант речи и вокала, фазовые искажения.

Чтобы повысить качество, гранулы можно размещать с учётом периода основного тона. Этот подход используется в алгоритмах типа PSOLA — Pitch-Synchronous Overlap and Add [3, с. 5].

Границы гранул выбираются около повторяющихся периодов сигнала, а их центры синхронизируются с импульсами основного тона. Однако метод требует надёжного определения высоты тона и хуже подходит для шумовых или полифонических сигналов.

Обычное равномерное растяжение размывает резкие атаки барабанов, щипков и согласных звуков речи. Более совершенные алгоритмы анализируют сигнал и отдельно обрабатывают транзиенты. Поэтому атака остаётся короткой, а протяжённая часть звука растягивается сильнее.

На рис. 4 изображена блок-схема формирования звука гранулярного синтезатора в общем случае.

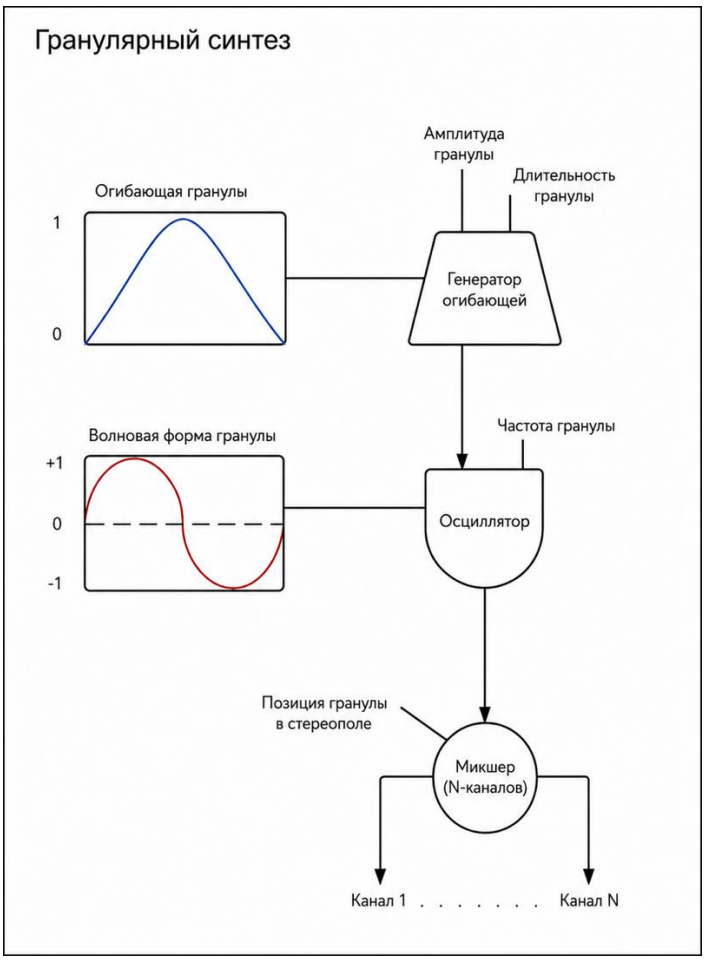

Рисунок 4. Формирование звука гранулярного синтезатора

Гранулярные синтезаторы до сравнительно недавнего времени существовали в подавляющем большинстве только в виде программных продуктов и были достаточно ресурсоемкими. В конце 80-х годов и в начале 90-х гранулярные синтезаторы существовали больше как лабораторные проекты. Такие музыканты, как Кертис Роадс и Барри Труакс сами создавали программы на языке С. Позже их идеи нашли воплощение в более популярных средах звукового программирования – Csound, SuperCollider, Max/Msp. В виде VST-плагина появляется приложение Crusher-X (1999), представляющее из себя мощный гранулярный синтезатор, принцип действия которого базируется на идеях Ксенакиса, Труакса и Роадса. Этот программный продукт существует и в настоящее время [4]. В связи с резким ростом процессорных мощностей

гранулярный синтез также входит в состав многих флагманских плагинов наряду с другими типами синтеза. Это Arturia Pigments, Xfer Serum 2, Native Instruments Reaktor и т. д. Использование процессорной ARM-архитектуры позволило создавать аппаратные гранулярные синтезаторы, такие, как Tasty Chips GR-1, Intellijel Multigrain, Waldorf Iridium.

Возможно ли, используя стандартные методы такого инструмента, как семплер, добиться результатов, схожих с гранулярным синтезом? Да, в некоторой степени. Если с помощью MIDI-арпеджиатора с высокой скоростью воспроизведения (примерно 900 ударов в минуту) проигрывать короткий звуковой фрагмент, и сделать это на нескольких каналах с определенной задержкой между ними, то можно в результате получить тембр, схожий с тембром гранулярного синтезатора.

Однако необходимо помнить, что все вышеперечисленные синтезаторы нацелены прежде всего на применение в контексте музыкальной композиции, где, например, выраженное зацикливание (периодическое повторение) звукового фрагмента является допустимым и желательным. Такие синтезаторы обычно синхронизируют с общим темпом композиции, например, процесс генерации гранул не хаотичен, а привязан к ритмическим долям. Само количество гранул, как правило, ограничено, в связи с оптимизацией ресурсов.

Саунд-дизайн в компьютерных играх основан на записях реальных звуков, которые воспроизводятся в зависимости от того, какое событие его вызывает, будь это выстрел, перезарядка оружия, шаги и т. д. Эти звуки, как правило, не изменяются с течением времени, а просто воспроизводятся от начала и до конца. Чтобы избежать ярко выраженной повторяемости звуков, используют несколько вариаций одного и того же звука. Однако такие звуки, как звуки окружения, атмосферные звуки, звуки двигателей автомобиля и механизмов могут быть достаточно длительными по звучанию, для оптимизации ресурсов можно использовать короткие фрагменты и

зацикливать их, но в этом случае их «закольцованность» будет явной и ненатуральной. Особенно это касается звуков двигателей, для которых важно изменение скорости вращения при изменении скорости движения. Гранулярный синтез в данном случае является более предпочтительным, чем использование длинных семплов или синтезирование звука в реальном времени с помощью осцилляторов, огибающих и фильтров. В последнем случае у звука отсутствует необходимый реализм. В качестве синтезатора можно использовать либо среду Max/Msp компании Cycling74 [5] (придется конструировать синтезатор самостоятельно), либо синтезатор Soundseed Grain в среде Audiokinetic Wwise (приложение для интеграции звука в компьютерных играх) [6].

Можно сказать, что с помощью гранулярного синтеза осуществляется переход от линейной системы воспроизведения звука к адаптивной.

Гранулярный синтез позволяет: изменять плотность звучания в зависимости от игрового процесса; плавно трансформировать музыкальные темы; создавать динамические переходы между состояниями игры; синхронизировать музыку с действиями игрока.

Таким образом, гранулярный синтез является одним из наиболее гибких методов цифрового синтеза звука. Он успешно применяется как в музыкальном творчестве, так и в разработке компьютерных игр. Возможность независимого управления тысячами микроскопических звуковых элементов позволяет создавать уникальные тембры, адаптивную музыку и динамически изменяющиеся звуковые среды. С развитием вычислительных возможностей игровых движков и цифровых аудиостанций роль гранулярного синтеза продолжает возрастать, особенно в области процедурной генерации аудио и интерактивного саунд-дизайна.

Использованные источники:

1. Riedel, M. Frank, and F. Zotter. “The Effect of Temporal and

Directional Density on Listener Envelopment" – Journal AES, vol. 71, no. 7/8, pp. 455–467, 2023 July/August.

2. Roads C. "Microsound". MIT Press, Cambridge, Massachusetts 2001.

3. Adrian von dem Knesebeck, Pooya Ziraksaz, Udo Zolzer. "High quality time-domain pitch shifting using PSOLA and transient preservation." – AES 129th Convention, San Francisco, USA, 2010.

4. Сайт компании-разработчика гранулярного синтезатора Crusher-X. [Электронный ресурс]. URL: https://accsone.com (дата обращения 26.07.2026)

5. Сайт компании Cycling'74. [Электронный ресурс]. URL: https://cycling74.com (дата обращения 26.07.2026)

6. Сайт гранулярного синтезатора Soundseed Grain компании Audiokinetic [Электронный ресурс]. URL: https://www.audiokinetic.com/en/wwise/plugins/soundseed-grain/ (дата обращения 26.07.2026)