

## СПОСОБЫ ОТРАЖЕНИЯ ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЦВЕТА

*Д.т.н., профессор В.Р.Женило (МГЛУ и Академия управления МВД России), М.В. Женило (Центр речевых технологий), к.ф.-м.н. Д.Н. Калюжный*

Многие опытные исследователи звуковых сигналов не раз замечали, что красивый звук (не важно, что это – речь, музыка, трели соловья и т.п.) красивы не только на слух, но и в графическом виде, например, в виде динамических спектральных фильмов.

Первые сонограммы изначально были черно-белыми, поскольку на них следы звука прожигались специальным пером на специальной бумаге белого цвета.

В конце 20-го века, когда сонограммы стали рассчитывать и рисовать на экранах компьютеров, то сначала они, как правило, тоже были традиционно черно-белого цвета – на белом фоне (как на чистом листе бумаги) черным цветом рисовались следы звука<sup>1</sup>.

Но инженерная мысль не угасает, и поэтому со временем стали появляться цветные сонограммы, у которых, как правило, использовались цвета обычной радуги. При этом красные цвета обозначали гармонические компоненты звука с большой амплитудой, зеленые цвета – со средней амплитудой, а синие – с малой амплитудой. С первого взгляда такой подход выглядит, вроде бы, логически оправданным, но, на самом деле, с точки зрения восприятия информации о звуке, визуализируемой в таком виде, такое разукрашивание сонограммы не только избыточно, но и вводит в заблуждение. Избыточно потому, что информация об амплитуде частотной компоненты звука уже отражена в его яркости. И хорошо настроенная сонограмма позволяет даже в черно-белом варианте четко различать гармонические следы звука с малейшими вариациями их амплитуды. Но этого, видимо, показалось мало изобретателям новых форм сонограмм и тогда гармонические компоненты с большей амплитудой стали разукрашивать красным цветом, а с более маленькой амплитудой – зеленым и синим.

Почему были выбраны именно такие цвета<sup>2</sup> доподлинно неизвестно, но можно предположить, что в этом случае перенесли палитру индикатора уровня записи сигнала, которые ранее, да и сейчас, используется на микшерских пультах или в индикаторе уровня входного записываемого сигнала. На этих индикаторах зеленый цвет обозначает нормальный уровень записи, а красные – превышение нормы, из-за чего сигнал оказывается записанным с нелинейными искажениями.

Некорректность такого разукрашивания сонограммы очевидна уже потому, что один и тот же фрагмент звука, записанный дважды, сначала с высоким, но допустимым уровнем, а затем – с низким уровнем, на сонограмме выглядят совершенно в разных цветах. Первый может оказаться красно-зеленым, а второй – зелено-синим. В таком разукрашенном виде сонограммы этих двух сигналов на взгляд кажутся разными. Но достаточно отключить разукрашивание сонограммы, и тогда по черно-белой сонограмме четко видно, что это следы одного и того же звука, но с разными уровнями мощности.

В те же годы конца 20-го века была предложена и реализована идея разукрашивания сонограмм на основе информации, извлекаемой не только из амплитудных спектров, а из второй части комплексных спектров – из их фазовой информационной половины<sup>3</sup>. О целесообразности использования фазовых спектров для анализа, в частности, речевых сигналов указывалось разными учеными<sup>4</sup>.

При этом оказалось, что информацию из фазового спектра целесообразно визуализировать двумя способами: для показа амплитудной или частотной модуляции гармонической составляющей звука. Причем, что существенно, информация об этом извлекается из одного и того же окна спектрального оценивания, из которого извлекается информация об амплитудном спектре. А не из двух соседних окон спектрального оценивания, как это иногда делается при попытке визуализации изменения амплитуды или частоты гармонической компоненты сигнала между соседними кадрами-окнами спектрального оценивания звука.

Но ограничивать применение цвета для визуализации на сонограмме информационно значимых элементов речевого сигнала только лишь показом фазовой информации, видимо не следует. Применение цвета для более яркого высвечивания информационно важных элементов звука можно существенно расширить, если применить более конструктивное определение понятие *информация*, приведенное в математическом энциклопедическом словаре<sup>5</sup>:

<sup>1</sup> Были исключения из этого правила, поскольку некоторым исследователям больше нравились черно-белые сонограммы в инверсном цвете, то есть, когда следы звука рисуются не черным по белому, а, наоборот, - белым по черному.

<sup>2</sup> На самом деле бывают и другие палитры, и даже во многих системах построения сонограмм пользователю дается возможность самостоятельно выбирать свою палитру разукрашивания сонограмм.

<sup>3</sup> Программа «Мастерская сигналов» построения цветных сонограмм, отражающих информацию не только об амплитудах гармонических составляющих звука, но и о их фазовых характеристиках доступна для свободного использования на сайте [www.zhenilo.narod.ru](http://www.zhenilo.narod.ru) (см. рубрику SW-2-11).

<sup>4</sup> Например, см. работу Оппенгейм А.В. и Лим Дж.С. “Важность фазы при обработке сигналов”, ТИИЭР, 1981, Т. 69, № 5. А на том же сайте [www.zhenilo.narod.ru](http://www.zhenilo.narod.ru) в рубрике «Программы» можно найти программу исследования информативности фазовых спектров речевых сигналов.

<sup>5</sup> Математический энциклопедический словарь. - Москва, Советская энциклопедия, 1988, с. 821.

«Информация (от лат. *informatio* – разъяснение, изложение) – ... одна из исходных общенаучных категорий, отражающая структуру материи и способы ее познания, несводимая к другим, более простым понятиям».

Это определение позволяет отвлечься от, казалось бы, привычного и весьма многозначного определения понятия *информация*<sup>1</sup> и сконцентрировать внимание на другом важном понятии - *структура*, которое в рассматриваемом контексте очень близко к понятию *информация*. Действительно, обычно мы говорим о том, например, что мы снимаем копию с какого-то документа или с какой-то фотографии. При этом мы невольно утверждаем, что мы копируем информацию. Но, в действительности, копировальный аппарат - сканер или фотоаппарат - не копирует информацию (он даже об этом и не «подозревает»). Он копирует структурные элементы картинки.

Или, с другой стороны, если информация «отражает структуру материи», то новую копию этой структуры тоже следовало бы назвать «отражением информации». Поэтому, не проще ли было бы N-тую копию структуры тоже называть структурой, а не информацией?

Приняв такое рабочее определение понятия *информация*, можно предложить несколько способов визуализации её с помощью дополнительных цветовых средств.

Справедливости ради следовало бы отметить, что в истории человечества такое желание возникало не один раз. Сначала высказывались общие идеи о связи звука и цвета<sup>2</sup>, а затем появились и более конструктивные и гениальные предложения<sup>3</sup>.

Если рассматривать на сонограмме структуру гармонических компонентов звуков, то, даже самая обыкновенная черно-белая амплитудная сонограмма, прекрасно эту структуру отражает. Точнее - прекрасно отражается динамика структуры гармонических компонентов, из которых состоит или на которые можно разложить любой реальный звук. Но такое отражение очень хорошо подчеркивает кратковременные (в течение нескольких секунд и меньше) изменения гармонической структуры звука. А изменения интегральных (усредненных) характеристик звука обнаруживаются хуже из-за того, что они могут очень медленно меняться.

Например, если записать крик человека, находящегося далеко от микрофона, и такую же фразу, произнесенную им же тихим голосом вблизи микрофона, то не каждый исследователь сразу сможет увидеть различия следов этих звуков на традиционной сонограмме.

Чтобы ярче высветить эти различия можно применить подкрашивание гармонических следов звука следующим образом.

#### Первый способ.

Можно разбить весь диапазон гармонических компонентов звука на три части. И энергии низкочастотных компонент звука поставить в соответствие красный цвет, средним частотам – зеленый цвет, а высокочастотным – синий цвет. Суммирование этих базовых цветов даст новый цвет. Им может стать любой реально существующий цвет, воспринимаемый нашим зрением.

Программно реализовать этот способ на современных компьютерах не представляет труда. Но привести пример внешнего вида такой цветной сонограммы в данной публикации не представляется возможным<sup>4</sup>.

Экспериментальная проверка эффективности первого способа подкрашивания сонограмм показала, что все глухие согласные звуки окрашиваются в холодные цвета, а все гласные и звонкие согласные звуки - в теплые цвета.

Проверка качества разукрашивания сонограмм музыкальных произведений показала следующее. Если звукозапись музыкального произведения производилась в хороших акустических условиях с применением электроакустической аппаратуры высокого класса, то цветные сонограммы имели все цвета радуги. И иногда они получались даже нарочито пёстрыми. А если качество звукозаписи было не высоким, то палитра цветной сонограммы могла резко сужаться. Например, визуализация звуков симфонического оркестра обычно получается одноцветно коричневатой без ярко выраженных других цветов.

#### Второй способ.

В первом способе совершенно не используются законы психоакустического восприятия звука. А именно, в первом способе низкочастотные и среднечастотные гармонические компоненты равной мощности приобретали равный вес базовой цветовой палитры. И из-за этого, например, белый шум приобретал зеленоватый оттенок, а не сероватый или белый (в зависимости от интенсивности этого белого шума).

<sup>1</sup> В том же математическом энциклопедическом словаре на странице 245 справедливо утверждается, что дать определение тому, что такое информация в принципе невозможно, поскольку это первичное понятие.

<sup>2</sup> Так, например, Аристотель в своём трактате о душе писал: «Цвета по приятности их соответствия могут соотноситься между собой подобно музыкальным созвучиям и быть взаимно пропорциональными», - Артамонов И. Иллюзии зрения. - М.: «Наука», 1969, с. 216.

<sup>3</sup> В России основоположником цветомузыкального искусства считают композитора А. Н. Скрябина (1872-1915). А. Н. Скрябин создал первое в музыкальном искусстве произведение - симфоническую поэму "Прометей" (1909-1910), в котором партия цвета выступает на равных с инструментальными партиями и выписана на отдельном нотном стане музыкальной партитуры.

<sup>4</sup> Пример программной реализации этого способа можно найти на сайте [www.zhenilo.narod.ru](http://www.zhenilo.narod.ru) в разделе «Цветомузыка».

Если же веса цветов базовой цветовой гаммы корректировать с учетом равной громкости психоакустического восприятия гармоник разных частот, то цветные сонограммы приобретают менее пёстрый вид.

Можно предложить ещё один способ подкрашивания традиционных амплитудных сонограмм, основанный на учёте такого свойства нашего слуха, как привыкание к стационарным линейным амплитудно-частотным искажениям звука. Этот способ устраняет недостаток, описанный выше для случая визуализации следов звука симфонического оркестра. Его можно было бы назвать так – кодирование цветом меры отклонения мощности гармонических компонентов звука от их среднего значения на относительно большом по продолжительности участке.

#### Третий способ.

Для раскрашивания традиционных амплитудных сонограмм звуковых сигналов относительно большой длительности звучания, целесообразно сначала определить средний спектр мощности всего длинного фрагмента исследуемого звука. А затем цвет каждого спектрального кадра сонограммы определять по мере его отклонения от среднего спектра мощности всего анализируемого звука.

Такой способ позволяет, например, звуки симфонического оркестра в цветовом плане сделать выразительно более яркими. А звуки речи, произнесенные громким и тихим голосом, сделать разными по цвету, даже если искусственно на фонограмме они имеют равную мощность. Если громкая речь записана с относительно более низким уровнем, чем тихая речь, то на цветных сонограммах, построенных по предложенному способу, следы громкого голоса будут по цвету смещены в сторону холодных цветов, а тихая речь – в сторону теплых цветных тонов.

Компьютерные программы окрашивания сонограмм всеми предложенными способами предполагается выставлять на сайте [www.zhenilo.narod.ru](http://www.zhenilo.narod.ru). И авторы будут признательны исследователям, которые пожелают принять участие в исследовании эффективности разукрашивания традиционных амплитудных сонограмм, чтобы можно было прийти к общему мнению о целесообразности применения предложенных технологий.