

ПЕРСОНИФИКАЦИЯ ЗВУЧАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЦИФРОВОЙ ТОНКОМПЕНСАЦИИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Андреев И.Д.

Азаров И.С. – д.т.н., доцент

В работе реализован эффект цифровой тонкомпенсации. Целью эффекта является повышение разборчивости звука при воспроизведении. Эффект достигается путем обработки сигнала таким образом, чтобы при изменении громкости не происходило искажение «звуковой картины» т.е. сохранялась относительная громкость частотных составляющих. Эффект тонкомпенсации реализован путем декомпозиции сигнала на частотные составляющие и коррекции их интенсивности согласно функции громкости. Функция коррекции интенсивности получена в виде аналитического выражения. Приводятся результаты практических экспериментов.

Известно, что чувствительность слуха различна для звуков разной частоты. Одинаковой субъективной громкости звука на разных частотах соответствуют разные уровни звукового давления. В связи с этим громкость звука оценивают, сравнивая её с громкостью стандартного чистого тона (обычно частотой 1 кГц). Для этого применяется такая величина, как фон. 1 фон (единица уровня громкости звука) – разность уровней громкости двух звуков данной частоты, для которых равные по громкости звуки с частотой 1 кГц отличаются по интенсивности (уровню звукового давления) на 1 дБ.

Любая аудиозапись подразумевает определенный «идеальный» уровень громкости при воспроизведении. Если громкость отличается от этого уровня, то «звуковая картина» искажается и человек слышит больше либо меньше звуков, чем должен. При повышении громкости все частотные составляющие звука становятся громче в том числе шумы и искажения, при понижении часть звука пропадает из восприятия что приводит к ухудшению разборчивости. В обоих случаях меняется субъективная относительная громкость между частотными составляющими звука что влияет на общее восприятие звука, искажается «звуковая картина».

В данной работе мы предлагаем исследовать изменение относительной громкости частотных составляющих звука при изменении громкости и реализовать способ цифровой тонкомпенсации, позволяющий увеличить разборчивость. Основной целью является возможность воспроизведения звука на низкой громкости с сохранением высокого уровня разборчивости без заметных для слуха искажений. Основная идея заключается в сохранении относительной субъективной громкости между различными частотными составляющими звука при уменьшении громкости.

Регулировка громкости в звуковоспроизводящей аппаратуре осуществляется изменением интенсивности всех частотных составляющих на один и тот же коэффициент. Такая регулировка не учитывает особенностей слуха человека и приводит к появлению искажений либо потере разборчивости. Более наглядно проблема показана на рисунке 1.

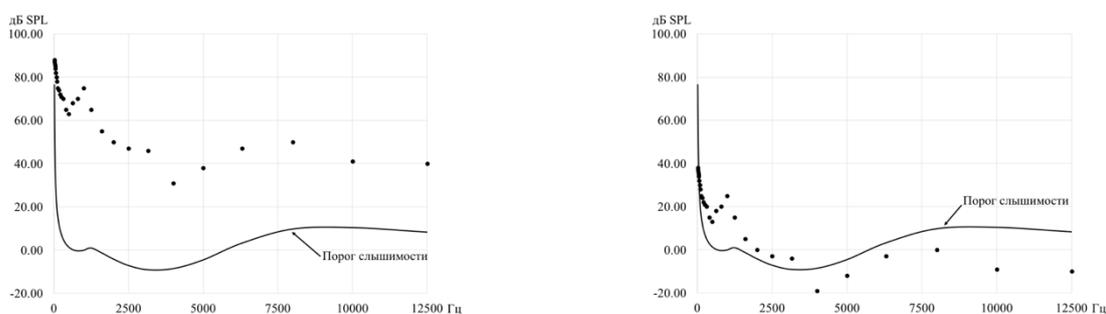


Рисунок 1 – Частотные составляющие фрагмента звукового сигнала при «идеальной» громкости воспроизведения (слева) и при пониженной на 50 дБ громкости (справа)

Точками показаны интенсивности частотных составляющих звукового фрагмента. Черной линией показана кривая порога абсолютной слышимости. Все точки, расположенные ниже этой кривой, не фиксируются человеческим ухом. После уменьшения громкости на 50 дБ некоторые частотные составляющие исчезли из восприятия, т.к. амплитуды этих составляющих оказались ниже порога. Таким образом потерялась часть звуковой информации. С другой стороны, изменилась субъективная относительная громкость между составляющими. Например, разница в субъективной громкости между составляющими с частотой 1 кГц и 5 кГц до понижения составляет 37 дБ, а после понижения разница стала бесконечной, поскольку звуки оказались по разные стороны порога слышимости.

Для решения поставленной задачи необходимо перейти в субъективные единицы измерения громкости. Для оценки громкости международной организацией по стандартизации принята единица сон (sone). 1 сон соответствует громкости чистого тона частотой 1 кГц и уровнем звукового давления 40 дБ. При принятии данной величины был проведен ряд экспериментов на предмет зависимости ощущения громкости

человеком от уровня звукового давления [1, с. 205]. При этом осуществлялся поиск такого инкремента интенсивности звука, при котором ощущение изменяется в 2 раза. Измерения такого рода показали, что уровень звукового давления тона с частотой 1 кГц должен увеличиться на 10 дБ, чтобы увеличить ощущение громкости в два раза. Таким образом, уровень звукового давления 40 дБ должен быть увеличен до 50 дБ, чтобы удвоить громкость, которая при этом станет равна двум сонам. Функция нарастания громкости построена во всем диапазоне уровней на основе экспериментальных измерений.

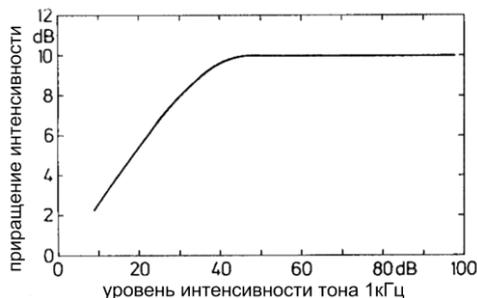


Рисунок 2 – Изменение уровня звукового давления необходимое для изменения ощущения громкости тона частотой 1 кГц вдвое как функция интенсивности

Данные, изображенные на рисунке 2, показывают увеличение уровня, необходимое для создания ощущения вдвое более громкого, чем ощущение от начального уровня. Уменьшение такого же размера будет уменьшать ощущение громкости вдвое. Используя в качестве опорной точки тон в 1 кГц и интенсивность 40 дБ SPL (соответствующую 1 сон) была получена функции коррекции интенсивности (тонкомпенсации):

$$F(l) = \begin{cases} l, & l < 0, \\ \frac{1}{45} \cdot l^2 + \frac{1}{3} \cdot l, & 0 \leq l \leq 30, \\ \frac{5}{3} \cdot l - 20, & l > 30, \end{cases} \quad (1)$$

где F – громкость в фонах, l – уровень условной субъективной громкости в дБ.

Таким образом, идея реализуемой тонкомпенсации заключается в том, чтобы изменять громкость звука используя одинаковое значение в единицах условной субъективной громкости для каждой частотной составляющей. Изменение уровня звукового давления для каждой частоты в таком случае окажется разным.

Результат обработки формируется на основании применения к каждой частотной составляющей коэффициента, рассчитываемого следующим образом:

Расчет коэффициентов коррекции производится по формуле:

$$g_i(m) = F(l_i - v) - F(l_i). \quad (2)$$

где $g_i(m)$ – коэффициент усиления j -й полосы в дБ, v – изменение громкости в дБ.

Для проверки работоспособности полученной модели был проведен следующий эксперимент. Для звуковоспроизводящего оборудования, использованного в эксперименте, был произведен замер уровня порога слышимости. Затем был выбран эталонный уровень громкости (комфортный для слушателя), относительно которого производилось изменение громкости. После этого производилось понижение уровня громкости с коррекцией звука и без нее. Полученные оценки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка разборчивости (MOS)

Изменение громкости, дБ	-3	-6	-9	-15	-20
Разборчивость без коррекции	4,57	4	3,29	2,57	1,86
Разборчивость с коррекцией	4,72	4,43	4,14	3,57	2,86

Под разборчивостью в рамках эксперимента подразумевались полнота ощущения при прослушивании музыкальной композиции, наличие всех музыкальных инструментов в «звуковой картине». Эксперимент показал, что при понижении громкости уменьшение разборчивости без применения коррекции происходит быстрее.

Список использованных источников:

1. Zwicker, E. *Psychoacoustics Facts and Models, 3rd edition* / E. Zwicker, H. Fastl // Springer, 2007. – 463 p.