Характеристики студийных звуковых сигналов

Введение

МУЛЬТИМЕДИА (англ. multi – много и media – средство), технология, которая соединяет несколько видов связанной между собой информации (текст, звук, свет, фото, рисунок, анимация, видео и др.) в единый блок, а также носитель такой информации.

Мультимедиа-технологии широко используются сегодня в следующих сферах:

– интерактивное обучение (в т.ч. дистанционное) – электрон. учебники;

– системы проверки знаний;

– мультимедийные презентации (flash-презентации);

– рекламные ролики, клипы на телевидении, радио, ММ биллбордах;

– мультимедийные справочные панели и киоски;

– ММ компьютерные программы, игры;

По каждому из перечисленных разделов можно читать отдельный курс, свою отдельную дисциплину. В нашем курсе лекций рассматриваются аппаратные средства создания звукового сопровождения мультимедиа. Это средства формирования и контроля ЗС, а также средства обработки, записи и передачи ЗС.

1. Характеристики звукового поля

Характеристики звука очень важно знать для того, чтобы создавать аппаратуру с нужными характеристикими – амплитудными, частотными, шумовыми и т.д. Аппаратура должна по возможности не ухудшать свойства ЗС. Т.е. актуальна задача «согласования» характеристик аппаратуры со свойствами звука.

Звуком называются малые механические колебания в твердых, жидких и газообразных средах, частоты которых находятся в диапазоне 20–20000 Гц. Частоты ниже 20 Гц называются инфразвуковыми, а выше 20000 Гц – ультразвуковыми.

Пространство, в котором происходит распространение звуковых волн, называется звуковым полем. Звуковые волны имеют продольный характер, т.е. силы, создающие упругие деформации в среде при распространении звуковой волны, нормальны к фронту волны.

Звук характеризуется звуковым давлением ().

Звуковое давление – это разность между мгновенным значением давления возмущенной среды, и средним давлением в отсутствии звукового поля:

.

Звуковое давление – величина скалярная. В области сжатия давление положительно, в области разрежения – отрицательно. Измеряется звуковое давление в Паскалях (Па). Один паскаль в 105 раз меньше нормального атмосферного давления (Па).

Переносимая звуковой волной энергия характеризуется интенсивностью (I). Интенсивность (или сила) звука – это среднее количество звуковой энергии, проходящей за единицу времени через единичную площадку, расположенную нормально к направлению распространения звуковой волны. Т. е. это мощность, переносимая звуковой волной через единичную площадку. Интенсивность связана со звуковым давлением формулой:

.

 – плотность воздуха в невозмущенном состоянии (1,3 кг/м3), с – скорость звука (340 м/с в нормальных условиях).

Единица измерения интенсивности – Вт/м2 (аналог плотности потока мощности).

Давление, плотность звуковой энергии и силу звука удобно определять в уровнях, выраженных в децибелах.

, .

 – уровень звукового давления (SPL – Sound Pressure Level);

 – уровень мощности звука (PWL – Power Level).

За опорную величину 0 дБ SPL принимается звуковое давление Па, то есть звук, соответствующий порогу слухового ощущения. А уровень мощности акустического сигнала, соответствующий этому порогу, измеряют в дБ PWL по отношению к опорной величине 10-12 Вт/ м2.

При использовании этой единицы уровень громовых раскатов оценивается примерно в 120 дБ, шум самолета или музыка на рок-фестивале отвечает уровню 110 дБ, шум проходящего поезда — 100 дБ, звуки шумной улицы — 80 дБ. Разговор в комнате соответствует уровню звука примерно 50…60 дБ, а шепот — 20…30 дБ.

2. Восприятие звука. Основы психоакустики

2.1 Частотное восприятие

Способность слуховой системы классифицировать звуки по высоте лежит в основе построения звуковысотных отношений в различных музыкальных культурах.

Каждая нота, сыгранная на любом инструменте – это сложный звук, состоящий из основного тона и большого числа обертонов.

Обертоном называется любая собственная частота выше первой. Но только те обертоны, частоты которых кратны частоте основного тона, называются гармониками. Основной тон считается первой гармоникой.

Если звук дает четкое ощущение высоты тона, то он содержит в своем спектре только гармоники, то есть является периодическим (только периодические сигналы дают ощущение высоты тона).

Слух, воспринимая сложное звуковое колебание, действует подобно частотному анализатору, т.е. фиксирует амплитуды и частоты спектральных составляющих звука. Полосы пропускания элементарных резонаторов слуха, определяемые на уровне 0,707, на частотах выше 500 Гц составляют примерно 5% от средней частоты, на низких частотах — 7—10%. Эти полосы получили название критических полос слуха.

В зависимости от силы звука ухо регистрирует от 150 до 250 градаций по частоте. Ухо очень чувствительно к изменениям частоты и может различать синусоидальные колебания, отличающиеся по частоте на 0,2%, в диапазоне 500-4000 Гц.

Гармонические и периодические колебания сложной формы воспринимаются как звуки, имеющие определенную высоту тона. Чем больше основная частота, тем выше тон звука. На слух различие тона по высоте между двумя звуками будет одинаково, если одинаково отношение частот этих звуков, Например, звуки с частотами 100 и 200 Гц различаются по высоте тона так же, как и звуки с частотами 3000 и 6000 Гц.

Поэтому слух одинаково оценивает разность частот, если его образуют две частоты с отношением 200:100 Гц или 2000:1000 Гц. По логарифмической шкале отношение этих двух расстояний одинаково и равно 2:1, по линейной – они отличаются в 10 раз. Поэтому практически при всех измерениях используется обычно логарифмическая шкала частот – это соответствует слуховому восприятию интервалов.

Таким образом, координатная ось с логарифмическим масштабом по частоте является осью с линейным масштабом по высоте тона. Расстояние по высоте тона называется интервалом. Интервалы измеряют в октавах или ее частях. Если отношение частот равно 2, то такой интервал называется октавой, у полуоктавы отношение частот равно . В общем случае октавность определяется как:

.

При =1/3 получим , и такой интервал называется третьоктавой. Звуковой диапазон частот содержит примерно 10 октав.

Сложные звуковые колебания, имеющие одинаковые основные частоты, но отличающиеся по форме, воспринимаются на слух как звуки, имеющие разную «окраску», или, иначе говоря, разный тембр. Звук с высоким тембром – обогащенный высшими гармониками (звонкий звук, форма имеет резкие фронты), низкий тембр – обедненный высшими гармониками (глухой звук, плавные фронты).

Основное влияние на оценку высоты тона оказывают первые 7-8 гармоник, еще 8-9 гармоник несут дополнительную информацию как для оценки высоты, так и для оценки тембра звучания, то есть наиболее значимыми для слуха являются только первые 15-17 гармоник.

Если частота основного тона высока то в слышимом диапазоне (практический верхний предел 16 кГц) будет оставаться меньшее число гармоник (ограничение по частоте сверху).

Другой случай – ограничение по частоте снизу, подавлен основной тон. В этом случае слуховой аппарат способен вычислить частоту основного тона по разности частот высших гармоник:

 .

Сигнал без основного тона выглядит как высокочастотные колебания с низкочастотной огибающей, частота которой равна частоте основного тона.

Это свойство слуха используют при создании звуковых компьютерных эффектов («прогрессивная», клубная музыка), при создании рекламных роликов на радио (учитывается, что нижняя частота, воспроизводимая приемниками не ниже 100 Гц, а часто этот показатель еще хуже).

Как известно из теории колебаний, если в системе происходит сложение двух колебаний с близкими частотами f1 и f2, то возникает режим биений, эти биения воспринимаются на слух как пульсации громкости тона со средней частотой 1/2(f1 + f2) и медленно меняющейся амплитудой с частотой (f1- f2). Пример биений показан на рисунке 3. Когда частоты совпадают, два тона звучат в унисон, если начинать увеличивать частоту одного тона, то, вплоть до разницы 15 Гц, отчетливо прослушивается один тон с меняющейся громкостью – «биения», при дальнейшем увеличении разницы частот начинают прослушиваться оба тона с сильной шероховатостью звучания и, наконец, когда разница частот становится больше критической полосы и шероховатость исчезает.

Это процесс можно легко прослушать, подав на акустическую систему два чистых тона от генератора, частота одного должна быть фиксирована, частота другого меняется. Этим свойством, возникновением отчетливых биений, пользуются для настройки музыкальных инструментов. Частота F, на которой начинают прослушиваться два тона с сильной ?шероховатостью?, называется частотой «перемешивания». Она соответствует примерно разности частот около полутона, то есть df/f = 0,06 (на 500 Гц) и более чем целый тон df/f = 0,12 (на частотах ниже 200 и выше 4000 Гц).

Эксперименты, проделанные с большой группой слушателей, среди которых не было профессиональных музыкантов (поскольку их слух натренирован на заученные образцы консонансных и диссонансных созвучий), позволили установить, при какой разнице по частоте два чистых синусоидальных звука воспринимаются как «приятные» консонансные или как резкие, неприятные «диссонансные».

Максимальная приятность звучания (консонанс) обозначен 1, диссонанс – 0, максимальная неприятность (резкость) – консонанс=0, диссонанс=1.

Если разница частот равна нулю, то есть два тона звучат в унисон, то это совершенный консонанс. Если разница частот больше, чем критическая полоса, то это созвучие тоже звучит как консонанс. Для частот, разница между которыми составляет от 5 до 50% от критической полосы, созвучие воспринимается как диссонанс. Максимальный диссонанс прослушивается, когда разница составляет одну четверть от ширины критической полосы. Следует помнить, что ширина эта меняется с частотой (смотри рисунок). Поэтому два тона могут звучать как консонансный интервал в одной октаве, и как значительно менее консонансный (или даже диссонансный) – в другой.

Эти результаты полезно иметь в виду при составлении различных электронных музыкальных композиций и компьютерной обработке звука. Следует с осторожностью использовать сочетания звуков, частотная разница между которыми порядка одной четверти критической полосы, если не ставить специальной задачи создать такую музыку, чтобы слушатель от нее впадал в нервное расстройство.

2.2 Восприятие по амплитуде

Звуковые колебания воспринимаются на слух как звуки, имеющие определенную громкость. Наименьшее значение интенсивности звука, которое вызывает ощущение, называется порогом слышимости.

Рисунок 1– Кривые равной громкости

Порог слышимости наименьший в диапазоне 1-5 кГц. На частоте 1000 Гц пороговое значение интенсивности звука равно 10-12 Вт/м2, а давления – 2•10-5 Па. Как указывалось ранее, уровни этих величин приняты за нулевые.

С увеличением интенсивности звука растет и ощущение ее громкости. Это происходит до тех пор, когда дальнейшее повышение интенсивности звука, не изменяя ощущения громкости, вызывает болевые ощущения. Наименьшее значение интенсивности звука, которое вызывает ощущение боли, определяется порогом болевого ощущения (порогом осязания). Динамический диапазон слуха (Dc) есть разность уровней интенсивности звука, соответствующих порогу осязания и порогу слышимости:

Dc=No –Nc.

На средних частотах Dc=120...130 дБ.

Изменение интенсивности звука вызывает изменение громкости лишь тогда, когда первая изменяется на определенную величину, т. е. при непрерывном изменении интенсивности звука, ощущение громкости меняется не непрерывно, а дискретно, т. е. скачками. Такие скачки- называют порогом различения интенсивности. При небольших громкостях величина скачка (градации) равна на 2-3 дБ, а с повышением громкости –уменьшается до 0,4 дБ. Можно считать, что по диапазону от порога слышимости до порота осязания величина элементарного скачка составляет в среднем 0,8—1 дБ. Общее число различимых ухом градаций силы звука в диапазоне средних частот составляет 250, на низких и средних частотах оно уменьшается, так что в среднем по звуковому диапазону составляет 160.

Для количественной оценки громкости применяется метод субъективного сравнения. В соответствии с этим методом эталонный звук (в качестве эталонного применяется тон с частотой 1000 Гц) уравнивается по громкости с исследуемым, полученный при этом уровень эталонного звука и принимается в качестве уровня громкости исследуемого звука. Единица измерения уровня громкости — фон.

Таким образом, на частоте 1000 Гц уровень громкости (в фонах), совпадает с уровнем силы звука (в децибелах).

На рис. 1 показаны частотные зависимости кривых равной громкости. Параметром кривых является уровень громкости; каждая кривая показывает, каким образом с изменением частоты должен изменяться уровень интенсивности звука, чтобы громкость синусоидальных сигналов оставалась неизменной.

Отметим одну особенность, которая определяется формой кривых равной громкости: при изменении уровня интенсивности уровень громкости на низких частотах изменяется сильнее, чем на средних и высоких частотах. Следовательно, частотно-независимая регулировка уровня в звуковоспроизводящих устройствах приводит к более резкому изменению громкости низкочастотных составляющих сигнала, т. е. к искажению тембра (АЧХ) сигнала. Поэтому в высококачественных звуковоспроизводящих устройствах применяют тонкомпенсированные регуляторы уровня.

При измерении различного рода акустических шумов и помех необходимо также учитывать свойства слухового восприятия. В шумомерах, например, для этой цели используется три вида частотных характеристик — А, В, С. Характеристика А применяется, для измерения шумов с уровнем громкости 20—55 фон, В — с уровнем 55—85 фон, С — с уровнем выше 85 фон. Характеристика С прямолинейная, а характеристики А и В — обратны к изофонам с уровнями громкости, равными соответственно 40 и 70 фон.

2.3 Временные характеристики слуха

Орган слуха обладает определенной инерционностью при восприятии быстро нарастающих звуков. Ощущение громкости, близкое к предельному, возникает примерно через 50 мс после появления звукового импульса, что свидетельствует об интегрирующей способности слуха.

Слух обладает и «памятью» — ощущение громкости исчезает лишь спустя некоторое время после исчезновения сигнала.

Время, в течение которого ощущение по уровню громкости уменьшается на 8—10 фон, называется постоянной времени слуха. Постоянная времени слуха равна 150— 200 мс. Наличие у слуха «памяти» объясняет тот известный факт, что запаздывающие повторения сигнала не воспринимаются как раздельный сигнал, если время запаздывания не превышает 50 мс. Происходит это потому, что за время 50 мс ощущение от прямого сигнала уменьшается незначительно (при мгновенном исчезновении сигнала ощущение уменьшилось бы примерно на 3 фона) и запаздывающий сигнал принимается как продолжение прямого.

2.4 Нелинейные свойства слуха

Синусоидальный сигнал с большим уровнем воспринимается на слух как сигнал, имеющий гармонические составляющие. Если, например, уровень исходного колебания 100 дБ, то уровни субъективно ощущаемых вторых и третьих гармоник равны соответственно 88 и 74 дБ. Колебание сложной формы с достаточно высоким уровнем может привести к появлению субъективных комбинационных составляющих, причем разностные составляющие воспринимаются на слух как более мощные по сравнению с суммарными.

2.5 Маскировка звука

Мешающий сигнал повышает порог слышимости полезного сигнала. Это явление называется маскировкой. Количественно маскировка оценивается величиной, указывающей, на сколько децибел повышается порог слышимости полезного сигнала в присутствии шумов по сравнению с его порогом слышимости в тишине. Различают маскировку «снизу вверх» и «сверху вниз». В первом случае помеха по частоте находится ниже частот сигнала, во втором — выше. Маскировка «снизу вверх» оказывает большее мешающее действие. Если частота гармонического сигнала располагается внутри полосы шума, то маскировка увеличивается с возрастанием полосы шума, пока последняя не достигнет критической полосы. Дальнейший рост полосы шума приводит к незначительному увеличению маскировки.

2.6 Бинауральный эффект

Способность органа слуха определять направление на источник звука называется бинауральным эффектом. Точность, с которой может быть определено направление на источник звука в горизонтальной плоскости, достаточно высока, ошибка составляет 3—4°.

Можно указать три причины, которые способствуют правильному определению направления на источник звука.

1. К уху, расположенному дальше от источника, сигнал приходит с небольшим запаздыванием во времени по отношению к другому уху, по этой разности во времени человек может судить о направлении на источник звука на низких частотах.
2. На высоких частотах сигнал у одного и другого уха будет иметь разный уровень вследствие экранирующего действия головы.
3. Форма спектра на высоких частотах из-за экранирующего действия головы у левого и правого уха также будет различна.

Бинауральные свойства слуха используются при построении стереофонической аппаратуры.