

ПОДАВЛЕНИЕ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ СИГНАЛОВ, СООТВЕТСТВУЮЩИХ РАЗНЫМ ГРУППАМ
ИНСТРУМЕНТОВ, ПРИ МНОГОМИКРОФОННОЙ ЗВУКОЗАПИСИ

Современное развитие цифровых технологий обработки, передачи и хранения звуковых сигналов позволяет разработчикам и пользователям звуковой аппаратуры больше заботиться не о техническом, а об эстетическом качестве звуковых программ. Дело в том, что достижение требований существующих стандартов технического качества (ГОСТ 11515.91 или DIN) уже не вызывает таких проблем, как 20 лет назад, а внедрение цифровых методов обработки сигнала даёт возможность производить такие операции с сигналом, какие в аналоговом виде осуществить невозможно. В данной статье речь пойдёт об одной из проблем записи звука с большим числом микрофонов, а именно об ухудшении такого субъективного параметра звукового сигнала, как «прозрачность». «Прозрачность или раздельность звучания ... определяется способностью слушателя выделять и отдельно воспринимать инструменты, голоса или их группы на фоне звучащего ансамбля» ([1], стр. 247). Почему же прозрачность ухудшается?

Существует различные подходы к звукозаписи: согласно одному из них, запись может и должна производиться на один или несколько микрофонов, будь то запись симфонического оркестра с хором или радиопостановка; согласно другому подходу, для каждой группы инструментов требуется отдельный микрофон, иногда отдельный микрофон предназначается отдельным инструментам (чаще всего солирующим), для записи ударной установки нормальным считается использование 3-8 микрофонов. Первый подход подразумевает тщательный выбор места установки и ориентации тех нескольких микрофонов, на которые производится запись, правильного расположения инструментов с учётом их «звучности», следовательно, подготовка к записи требует много времени. Кроме того, последователи такого подхода исходят из необходимости создания целостной звуковой картины, ансамблевого звучания, искусственное выделение отдельных сольных партий или пассажей недопустимо, баланс громкостей инструментов достигается не при сведении в микшерном пульте, а за счёт ориентации и удалённости микрофонов от музыкальных инструментов. Последователи второго подхода, напротив, наряду с композитором и дирижёром участвуют в интерпретации музыкального произведения — баланс устанавливается звукорежиссёром при микшировании, используется искусственная реверберация, могут быть искусственно выделены пассажи, которые не могут быть исполнены достаточно различимо. В любом случае, звучание «одномикрофонных» записей общепризнанно лучшим с художественной точки зрения.

Потребность в одновременном использовании большого числа микрофонов возникает при записи инструментальных ансамблей, симфонических оркестров, хоров, по мнению автора, в тех случаях, когда звукорежиссёру не хватает времени (недостаток средств для аренды студии) или квалификации для должной подготовки к записи. Звучащий оркестр — распределённый источник акустических колебаний, и задача звукозаписи состоит в полноценном отражении создаваемой звуковой картины. Для передачи звучания всего оркестра можно использовать один микрофон — и это считается идеальным вариантом, — но в задачи звукорежиссёра входит соблюдение баланса громкостей отдельных инструментов и групп инструментов. Крайне редко этот баланс могут соблюсти исполнители и дирижёр, поскольку звучание оркестра (и в частности баланс) через микрофоны отлично от реального — дирижёр, находящийся в студии слышит не тоже самое, что звукорежиссёр через контрольные громкоговорители в аппаратной. Чтобы по отдельности оперировать громкостями групп инструментов, необходимо перед каждой из них установить свой микрофон (или несколько микрофонов).

Рассмотрим совместную работу большого числа микрофонов. Направленные свойства микрофона описываются характеристикой направленности, являющейся функцией частоты и трёх пространственных координат. Звуковое давление, действующее на мембрану каждого микрофона, есть сумма звуковых давлений, созданных в данной точке пространства всеми источниками звука (то есть инструментами или голосами), а также всех отражений от стен помещения. Таким образом, звуковой сигнал на выходе каждого микрофона несёт в себе не только информацию о звучании той группы инструментов, для которой этот микрофон предназначен, но и информацию обо всех остальных группах и о реверберации помещения. Образно выражаясь, в звучание отдельной группы инструментов «просачивается» звучание остальных групп, причём не только прямое, но и отражённое. Очевидно, что звуковое давление, создаваемое данной группой инструментов в различных точках помещения, тем более с учётом отражений, неэквивалентно. Механизм ухудшения прозрачности, видимо, состоит в том, что при сведении сигналов от всех микрофонов в монофонический или стереофонический выходной сигнал ухудшается пространственная и временная локализация каждого источника звука, положение КИЗ «размазывается» по стереобазе, т.к. за счёт неидеальности микрофонов звучание каждой группы инструментов многократно повторяется в звучании остальных групп.

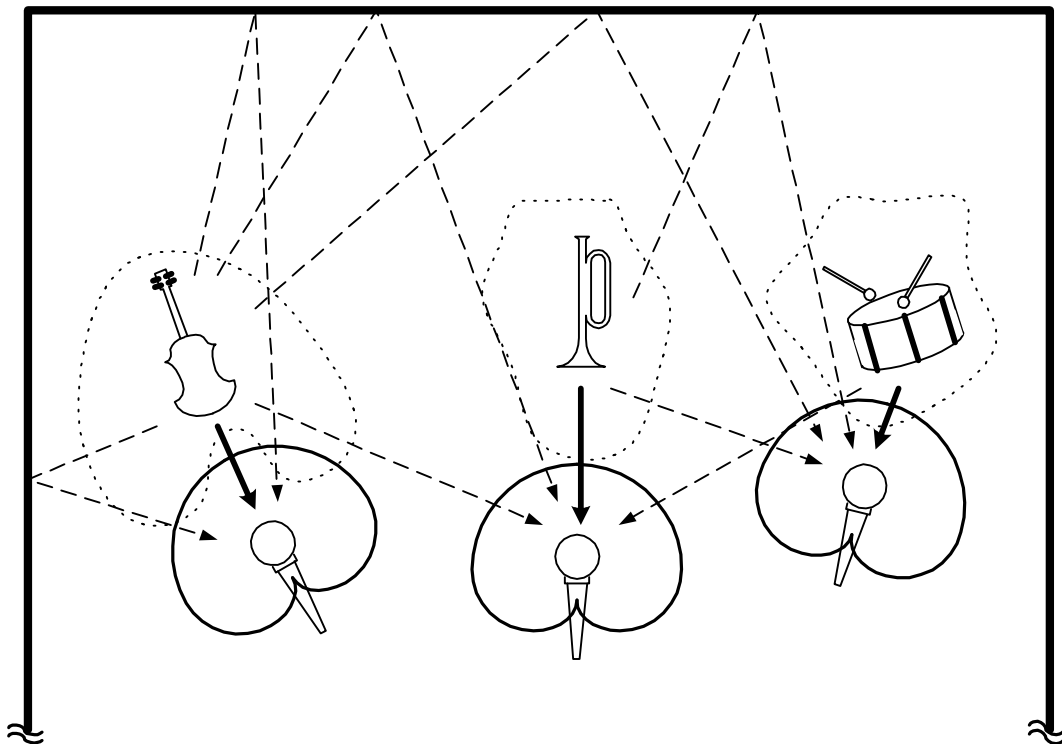
При записи эстрадной музыки такой проблемы избегают, записывая каждый инструмент по отдельности (в разное время, в разных помещениях). К тому же это удобнее с организационной точки зрения — нет необходимости ждать дня, когда все участники

ансамбля смогут приехать в студию звукозаписи. Однако, при записи, например, симфонического оркестра такой способ неприменим по нескольким причинам:

1. исполнители не привыкли играть по отдельности; эстрадная музыка отличается чётко выраженным ритмом, наличием ритм-секции инструментов, на звучание которой можно ориентироваться; при исполнении симфонической музыки каждый исполнитель должен слышать весь оркестр и видеть дирижёра, определяющего темп и ритм исполнения.

2. с точки зрения эмоционального воздействия лучшими считаются записи, сделанные на концертах или при записи всех инструментов одновременно.

Предлагается другой способ решения проблемы. Попробуем формализовать наши рассуждения о совместной работе большого числа микрофонов, при этом будем основываться на предположении, что помещение и среда распространения звуковых волн не вносит нелинейных искажений.



Для простоты рассмотрим случай записи трёх источников звука (трёх групп инструментов) на три микрофона. Каждый источник характеризуется спектром излучения (спектром создаваемого им звукового давления) и своей диаграммой направленности излучения (пространственной). Микрофон, вообще говоря, характеризуется частотной характеристикой направленности (пространственная диаграмма направленности в зависимости от частоты), чувствительностью и комплексным коэффициентом передачи (его фазовой и частотной характеристиками). Обозначим через \dot{P}_i' спектр колебаний звукового давления, создаваемого i -ым источником звука (группой инструментов), \dot{P}_i - спектр колебаний звукового давления, созданного i -ым источником звука в точке установки i -того

микрофона, \dot{P}_{mn} - спектр колебаний звукового давления, созданного m-ым источником в точке установки n-ого микрофона. Запишем выражения в частотной области для выходных напряжений микрофонов:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{P}_1 \cdot \dot{K}_1 + \dot{P}_{21} \cdot \dot{K}_{21} + \dot{P}_{31} \cdot \dot{K}_{31} \\ \dot{U}_2 = \dot{P}_{12} \cdot \dot{K}_{12} + \dot{P}_2 \cdot \dot{K}_2 + \dot{P}_{32} \cdot \dot{K}_{32} \\ \dot{U}_3 = \dot{P}_{13} \cdot \dot{K}_{13} + \dot{P}_{23} \cdot \dot{K}_{23} + \dot{P}_3 \cdot \dot{K}_3 \end{cases}, \text{ где} \quad (1)$$

\dot{K}_i - коэффициенты, учитывающие чувствительность i-ого микрофона в направлении на i-ую группу инструментов и его комплексный коэффициент передачи,

\dot{K}_{mn} - коэффициенты, учитывающие чувствительность n-ого микрофона в направлении на m-ый источник и его комплексный коэффициент передачи.

Учтём реверберацию в помещении следующим образом: будем рассматривать звуковое поле в любой точке помещения как суперпозицию поля, создаваемого источником с учётом его фазовых и частотных искажений на пути к этой точке (зависимость поглощения звуковой энергии от частоты и зависимость скорости распространения звука от частоты), и бесконечного числа его отражений, также с учётом их фазовых и частотных искажений. То есть можно записать, что

$$\dot{P}_i = \sum_l \dot{P}'_i \cdot \dot{A}_l \cdot \exp(-j\omega\tau_l) = \dot{P}'_i \cdot \sum_l \dot{A}_l \cdot \exp(-j\omega\tau_l), \text{ где множитель}$$

$\dot{A}_l = A_l \cdot \exp(j\theta_l)$ учитывает фазовые и амплитудные искажения помещением и микрофоном оригинального спектра звучания, а множитель

$\exp(-j\omega\tau_l)$ — задержку каждого отражения по сравнению с сигналом прямого поля.

То есть звуковое давление в любой точке помещения есть спектрально (и по фазе, и по частоте) искажённое давление, созданное самим источником. Характер этих искажений можно себе представить, если вспомнить, что простейший гребенчатый фильтр получается именно при сложении сигнала с самим собой, но задержанным по времени.

Из сказанного выше следует, что мы имеем право записать:

$$\dot{P}_{mn} = \dot{D}_{mn} \cdot \dot{P}_m, \text{ где}$$

\dot{D}_{mn} - комплексный коэффициент, учитывающий разницу в амплитудном и фазовом спектрах между звуковыми давлениями, создаваемыми источником в точке установки «его» микрофона и в точках установки «не его» микрофонов.

Введём обозначение:

$$\dot{K}'_{mn} = \dot{D}_{mn} \cdot \dot{K}_{mn}$$

Тогда система (1) примет вид:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{P}_1 \cdot \dot{K}_1 + \dot{P}_2 \cdot \dot{K}'_{21} + \dot{P}_3 \cdot \dot{K}'_{31} \\ \dot{U}_2 = \dot{P}_1 \cdot \dot{K}'_{12} + \dot{P}_2 \cdot \dot{K}_2 + \dot{P}_3 \cdot \dot{K}'_{32} \\ \dot{U}_3 = \dot{P}_1 \cdot \dot{K}'_{13} + \dot{P}_2 \cdot \dot{K}'_{23} + \dot{P}_3 \cdot \dot{K}_3 \end{cases} \quad (2)$$

Видно, что сигналы, получаемые на выходах микрофонов, зависят от трёх факторов:

1. От звукового давления, создаваемого каждым источником;
2. От характеристик самих микрофонов;
3. От характеристик помещения и среды распространения звуковых волн (эта зависимость выражается в пространственной структуре полей источников в разных точках помещения).

Стоящая перед нами задача — нахождение величин \dot{P}_i (но не \dot{P}'_i), так как нас интересует сигнал от источника с учётом реверберации (нам нужно сохранить «акустическую атмосферу» данного помещения).

Сделаем вывод: система разделения звучаний групп инструментов должна быть **адаптивной**, то есть приспосабливаться к конкретному помещению, конкретной ориентации источников излучения и микрофонов.

Важно отметить, что простое сложение сигналов от микрофонов приведёт к ещё большим искажениям тембров записываемых источников в суммарном сигнале. Необходима предварительная спектральная (и амплитудная, и фазовая) коррекция отдельных сигналов многоканального звука перед их сведением. Сложение сигналов в микшерном пульте с введением частотной коррекции сигналов по отдельности и групп сигналов может оказаться неэффективной из-за грубости эквалайзеров, устанавливаемых в пультах (обычно, коррекция в трёх полосах частот — нижних, средних и верхних) и невозможности внесения коррекции в фазовый спектр сигнала. Установка в каждый из каналов сложного многополосного эквалайзера и изменение фазового спектра сигнала каждого из каналов в аналоговом варианте — дело дорогостоящее (при большом числе каналов записи) и трудоёмкое (настройка каждого эквалайзера). Кроме того, увеличение числа устройств, стоящих между микрофонами и магнитофоном, приведёт к увеличению шумов. Поэтому выглядит привлекательным вариант решения этой задачи в цифровом виде.

Видно, что в системе (2) неизвестных больше, чем известных. То есть для решения системы уравнений необходимо некоторые неизвестные сделать известными.

Предлагается следующий вариант. Характеристики помещения, среды распространения, а также ориентацию источников излучения и микрофонов будем считать неизменными во времени (предлагаемый вариант не подойдёт для записи театральные

постановок, опер, то есть вариантов звучания с движущимися источниками). Поэтому предлагается перед началом записи провести адаптацию системы к помещению и ориентации источников и микрофонов. То есть сделать известными величины \dot{K}'_{mn} .

1-ый вариант

Характеристики \dot{K}_i будем считать известными. Теоретически для этого можно поочерёдно приравнивать нулю все \dot{P}_i , кроме одного, в каждом уравнении, и, зная \dot{K}_i , находить \dot{K}'_{mn} .

$$\begin{aligned} \dot{P}_1 &= \left(\frac{\dot{U}_1}{\dot{K}_1} \right) \Big|_{\dot{P}_2=\dot{P}_3=0} & \dot{P}_2 &= \left(\frac{\dot{U}_2}{\dot{K}_2} \right) \Big|_{\dot{P}_1=\dot{P}_3=0} & \dot{P}_3 &= \left(\frac{\dot{U}_3}{\dot{K}_3} \right) \Big|_{\dot{P}_1=\dot{P}_2=0} \\ \dot{K}'_{12} &= \frac{\dot{U}_2}{\dot{P}_1} & \dot{K}'_{21} &= \frac{\dot{U}_1}{\dot{P}_2} & \dot{K}'_{31} &= \frac{\dot{U}_1}{\dot{P}_3} \\ \dot{K}'_{13} &= \frac{\dot{U}_3}{\dot{P}_1} & \dot{K}'_{23} &= \frac{\dot{U}_3}{\dot{P}_2} & \dot{K}'_{32} &= \frac{\dot{U}_2}{\dot{P}_3} \end{aligned}$$

Практически это можно реализовать так: поочерёдно звучит только один источник, остальные молчат, это звучание записывается на все микрофоны. Для оценки искажений по всей полосе частот записываемых сигналов можно взять в качестве испытательного сигнала широкополосный шумовой сигнал (синтезировать и воспроизвести через громкоговоритель сигнал с равномерным амплитудным и фазовым спектром). Затем по фрагментам записей с каждого микрофона вычислить коэффициенты \dot{K}'_{mn} .

2-ой вариант

Известными будем считать \dot{P}_i . Но операции будем производить те же самые. То есть, зная зависимость звуковых давлений от времени в точках установки каждого микрофона, будем находить выражения для комплексных характеристик микрофонов и по ним вычислять \dot{K}'_{mn} .

$$\begin{aligned} \dot{K}_1 &= \left(\frac{\dot{U}_1}{\dot{P}_1} \right) \Big|_{\dot{P}_2=\dot{P}_3=0} & \dot{K}_2 &= \left(\frac{\dot{U}_2}{\dot{P}_2} \right) \Big|_{\dot{P}_1=\dot{P}_3=0} & \dot{K}_3 &= \left(\frac{\dot{U}_3}{\dot{P}_3} \right) \Big|_{\dot{P}_1=\dot{P}_2=0} \\ \dot{K}'_{12} &= \frac{\dot{U}_2}{\dot{P}_1} & \dot{K}'_{21} &= \frac{\dot{U}_1}{\dot{P}_2} & \dot{K}'_{31} &= \frac{\dot{U}_1}{\dot{P}_3} \\ \dot{K}'_{13} &= \frac{\dot{U}_3}{\dot{P}_1} & \dot{K}'_{23} &= \frac{\dot{U}_3}{\dot{P}_2} & \dot{K}'_{32} &= \frac{\dot{U}_2}{\dot{P}_3} \end{aligned}$$

После проведённой таким образом адаптации системы к конкретным условиям работы система (2) в каждый момент времени будет представлять собой систему из трёх комплексных уравнений с тремя же неизвестными. То есть, решив эту систему, мы сможем

разделить сигналы, соответствующие каждой группе инструментов. Можно возразить, что предложенный путь слишком сложен, и проще может оказаться разделить группы исполнителей звукоизолирующими перегородками, но, во-первых, перегородки защитят от прямого звука, но не защитят от отражённого, а, во-вторых, установка таких перегородок лишит исполнителей из разных групп видеть и нормально слышать друг друга, что для них очень важно.

После предлагаемого разделения с полученными сигналами можно проводить любые операции по их суммированию для достижения того или иного эффекта (моносигнала, стереосигнала, многоканального сигнала), не внося спектральных искажений.

Алгоритм для решения системы любого количества уравнений можно реализовать аппаратно. Т.е. сигналы с микрофонов подаются на устройство цифровой обработки, осуществляющее все описанные операции, а с выходов этого устройства распределяются как при обычной записи. После расстановки микрофонов необходимо ввести в устройство их количество, провести адаптацию устройства обработки, и после этого приступить к записи. Усложняется лишь процесс подготовки к записи, но технология собственно звукозаписи не нарушается.

Недостатком предложенного решения можно назвать негибкость алгоритма обработки: система жёстко связана с количеством микрофонов, участвующих в записи, и с условиями записи (ориентация источников излучения, места установки и ориентация микрофонов, свойства помещения).

Литература

- [1]. Миллерсон Д. Технология телевизионного производства. — М. : Искусство, 1971.
- [2]. Василевский Ю. А. Практическая энциклопедия по технике аудио- и видеозаписи — М. : ТОО «Леруша», 1996.