

## Реализация пространства

**Каким образом мы воспринимаем пространство с помощью слуха и как знания об этом можно применить для искусственной имитации пространства.**

За время своего эволюционного развития человек выработал развитую и очень точную систему слуха, позволяющую по звуку определять направление и расстояние до источника этого звука. Эта система помогла и помогает нам выжить в условиях естественного отбора, позволяя определить с какой стороны появится хищник в природных джунглях или автомобиль в городских. Эту же систему мы используем для получения удовольствия от прослушивания особым образом организованных звуков, называемых музыкой. Нам необязательно знать, как именно функционирует эта система слуха, для того, чтобы правильно определять направление или получать удовольствие от прослушивания музыки. Но в современной звукозаписи, когда в большинстве случаев мы записываем музыку вне ее естественной среды концертных залов, ярмарочных площадей и подземных переходов, а затем пытаемся искусственно создать акустическую атмосферу, знание некоторых особенностей человеческого слуха может быть полезно. Следует отметить, что этот вопрос еще недостаточно исследован наукой и не существует четких алгоритмов, позволяющих нам в точности имитировать реальные акустические условия.

### Как мы слышим

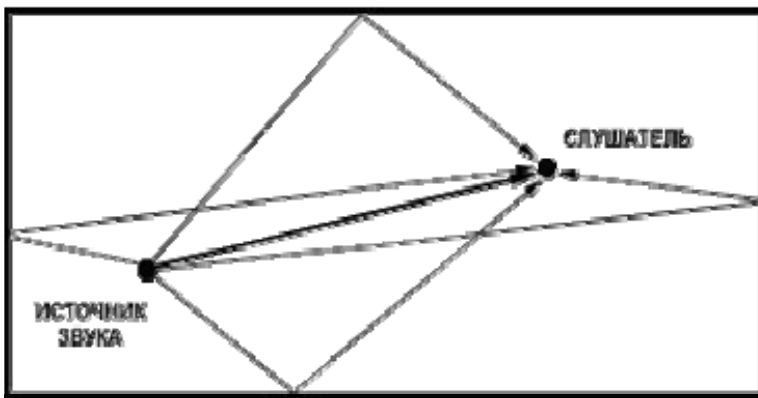
При определении направления и расстояния до источника звука используются следующие факторы: амплитуда, время, тембр, а также отражения от ближайших поверхностей или реверберация.

Амплитуда является наиболее ясным и легче всего имитируемым параметром: чем громче звук, тем ближе его источник; чем громче звук в левом ухе, тем левее находится его источник. В современной звукозаписи эти факторы используются чаще всего - мы увеличиваем громкость звука, чтобы вывести его на передний план (приблизить) и изменяем панораму (то есть увеличиваем громкость в одном канале стерео пары и уменьшаем в другом), чтобы переместить его влево или вправо.

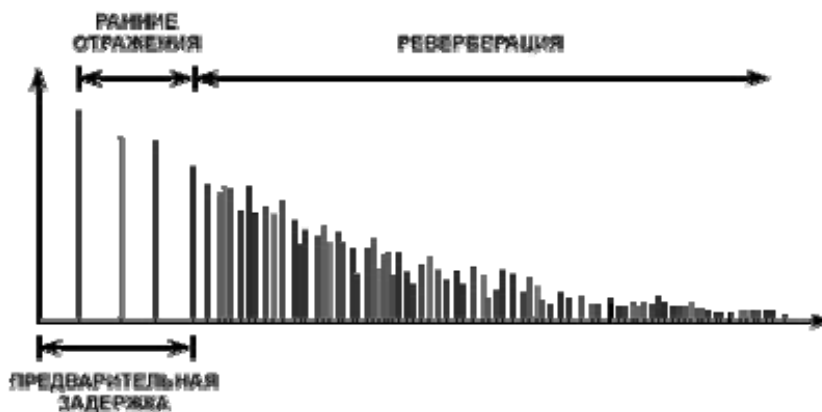
Параметр времени также достаточно ясен - звук источника, расположенного слева, достигает левого уха на несколько микросекунд раньше, чем правого. Однако из-за очень малого времени задержки этот параметр практически невозможно имитировать на записи. Гораздо важнее время отражений, но о них позже.

Изменение тембра в зависимости от расстояния происходит следующим образом - низкие частоты распространяются на более дальние расстояния, так что звуки, раздающиеся издалека, содержат меньше высоких частот. Воздействие тембра на направление сложнее - пока звук доходит от одного уха до другого его тембр изменяется костями черепа и ушными раковинами. Попытка имитации этого эффекта называется head-related transfer function (HRTF). Она основана на субъективном восприятии многих людей, поскольку процесс этот еще недостаточно исследован и не может быть точно описан.

Если звук производится в помещении, то почти всегда кроме самого звука мы слышим и многочисленные его отражения (исключение составляют безэховые камеры). Самыми важными при этом являются так называемые ранние отражения (Early Reflections) - отдельные повторения звука, происходящие в течении первых 50 миллисекунд после прямого звука. В обычной прямоугольной комнате бывает от шести (пол, потолок и четыре стены) до десяти ранних отражений, прежде чем отражения начинают приходить столь часто, что сливаются в единую реверберацию.

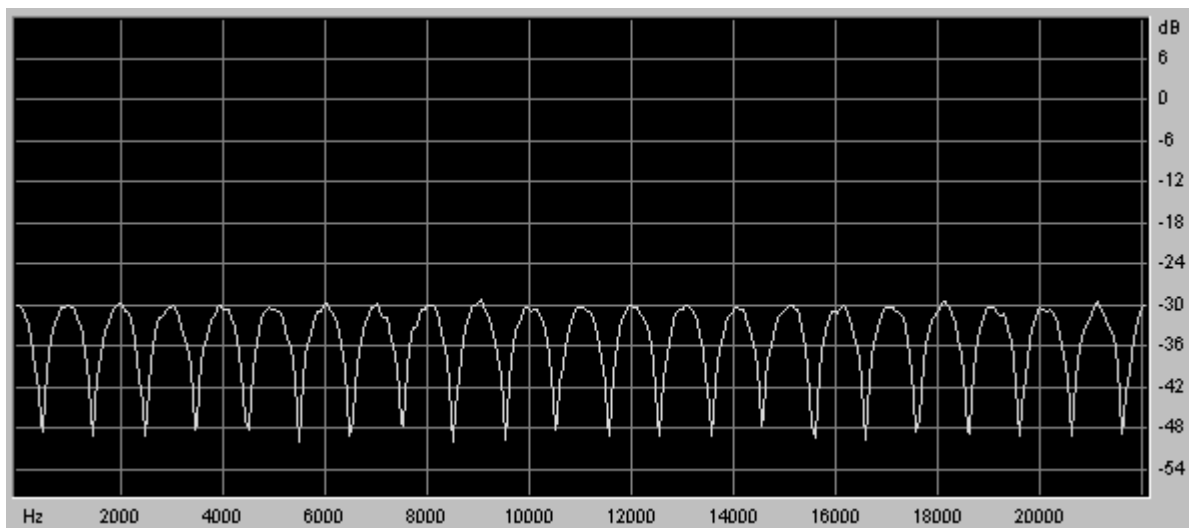


Уровень и время задержки ранних отражений, уровень, время затухания и предварительная задержка (Pre-Delay) реверберации содержат информацию как о размерах помещения, так и о расстоянии от слушателя до источника звука. Частотный состав реверберации сообщает нам о материале поверхностей и дает дополнительную информацию о размере помещения.



Следует отметить, что ранние отражения воспринимаются нами не как повторения звука, а как информация об акустике помещения. Эта способность человеческого слуха называется "эффект Хааса" по фамилии ученого, открывшего этот эффект в 1949 году. Ученый обнаружил, что если схожие звуки поступают с разных направлений с разницей по времени не более 50 миллисекунд, то мозг воспринимает только первый, более ранний звук, как отдельный, даже если последующие звуки громче первого на 10 дБ. Наш мозг автоматически объединяет прямой звук и его повторения, в результате мы слышим один звук, но обогащенный информацией об акустике помещения.

Интересно, что совсем иначе воспринимаются звук и его повторения, если они поступают с одного направления. Если просто объединить прямой звук и его задержанную копию, то произойдет изменение тембра звука, известное как результат действия "гребенчатого фильтра", то есть в определенном порядке одни частоты будут усилены, а другие ослаблены. Например, при объединении звука и его копии, задержанной на одну миллисекунду, будут усилены частоты 1 кГц, 2 кГц, 3 кГц и т. д., и ослаблены частоты 500 Гц, 1,5 кГц, 2,5 кГц и т. д. Однако в реальной жизни этого не происходит. Наша система слуха устроена таким образом, что когда прямой звук и задержанный приходят с одного направления, то это воспринимается нами как информация о тембре, если же они приходят с разных направлений, то это воспринимается нами как информация о пространстве. Таким образом, если вы применяете небольшие по времени задержки (до 50 миллисекунд) для имитации акустики помещения, убедитесь, что прямой звук и задержанный разнесены по панораме. Кроме того, уровень ранних отражений обязательно должен быть как минимум на 6-10 дБ меньше прямого звука: во-первых, потому, что это соответствует реальным акустическим условиям, а, во-вторых, для снижения эффекта гребенчатого фильтра при монофоническом воспроизведении.



Хотя большинство современных систем позиционирования звука в трехмерном пространстве используют изменения тембра, связанные с head-related transfer function, эксперименты, проделанные специалистами по бинауральной записи показывают, что отражения (или реверберация) являются даже более важной составляющей процесса определения направления на источник звука, чем HRTF.

### Применение

В естественных условиях звук не всегда сопровождается реверберацией. Если мы находимся на открытом пространстве (по-английски это называется "free field", что можно перевести как "в чистом поле"), то звуку просто не от чего отражаться. Однако вся многовековая практика художественного исполнения, особенно музыкального, связана с помещениями, не просто обладающими реверберацией, но и использующими ее для усиления воздействия на слушателя.

Когда запись музыки в подавляющем большинстве случаев производилась в тех же помещениях, что и исполнение, и делалось это при помощи простых средств (например, двух микрофонов, установленных в зале), то есть запись была по сути документальной, то кроме звука инструментов и голосов записывались также и отражения. Результаты не были полностью идентичны реальному звучанию, поскольку микрофоны воспринимают звук не так, как человеческие уши, но все же некоторая доля естественной реверберации, а также информация о расположении источников звука на записи сохранялись.

Современная методика записи в большинстве случаев более искусственна (расположение микрофонов близко к инструментам, запись партий по отдельности, применение неакустических источников звука) и обычно никакой естественной реверберации на записи не содержится. Отсюда возникает потребность возместить потерю при помощи устройств искусственной реверберации. Сегодня, применяя ревербераторы, мы, чаще всего, не думаем о том, что восстанавливаем естественную среду, мы просто слышим, что в таком виде звук нравится нам больше. В принципе этого вполне достаточно, однако понимание того, как образуется реверберация в естественных условиях может пригодиться при выборе способа обработки и параметров эффекта.

Итак, каким образом полученные в результате чтения этой статьи теоретические сведения можно применить на практике? Для начала неплохо бы мысленно представить себе пространство, которое вы хотите имитировать, а также расположение в нем источника звука и слушателя. Далее, если ваш процессор эффектов или заменяющая его компьютерная программа позволяют устанавливать такие параметры, как уровень и время ранних отражений, уровень, время затухания и предварительная задержка реверберации, то примите во внимание следующее:

**Чем больше размеры помещения, тем больше время задержки ранних отражений и меньше их уровень. Чем больше размеры помещения, тем больше время предварительной задержки реверберации и меньше ее уровень.** Время затухания реверберации не имеет прямой связи с размерами помещения (может быть короткая реверберация в большом, но хорошо заглушенном помещении, и наоборот), но, в большинстве случаев, чем больше помещение - тем дольше время

реверберации. Последнее верно и для частотного состава реверберации: по идее, чем больше помещение, тем меньше уровень высоких частот, но этот параметр также связан с материалом поверхностей, а точнее их способностью поглощать разные частоты в разной степени. Популярный в последние годы эффект реверберации с долгим временем затухания и большим уровнем высоких частот звучит довольно неестественно, что конечно не означает, что его нельзя применять, однако один из наиболее естественно звучащих цифровых ревербераторов Quantec QRS вообще не воспроизводит частоты свыше 7 кГц.

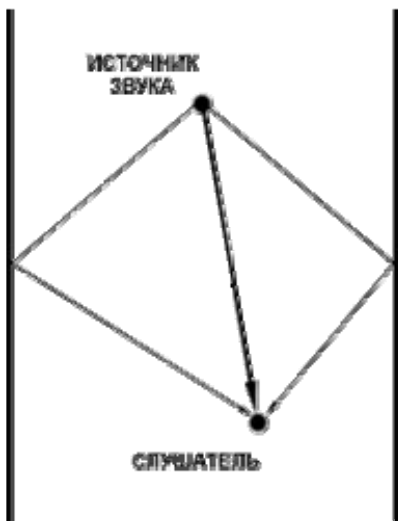
**Чем больше расстояние от источника звука до слушателя, тем больше уровень ранних отражений и меньше время их задержки, а также тем больше уровень реверберации.**

Возникает естественный вопрос: почему при увеличении расстояния до источника звука уровень ранних отражений увеличивается, а время задержки уменьшается, ведь отраженный звук при этом проходит больший путь? Дело в том, что мы говорим об уровне и времени задержки ранних отражений (и об уровне реверберации) по отношению к прямому звуку. При увеличении расстояния до источника звука прямой звук проходит больший путь и уровень его уменьшается. Отраженные звуки также проходят больший путь, однако это расстояние увеличивается меньше, чем расстояние для прямого звука (в такие моменты начинаешь особенно сожалеть о прогулянных в школе уроках геометрии), следовательно уровень отраженных сигналов уменьшается меньше, чем уровень прямого звука, и уровень отраженных сигналов по сравнению с уровнем прямого сигнала увеличивается. Соответственно, то же самое верно и для времени задержки отраженных сигналов по сравнению с прямым звуком.

Некоторые современные процессоры эффектов позволяют обойтись без напряжения пространственного воображения и предлагают формировать эффект, устанавливая размер помещения, расстояние до источника звука и выбирая материал стен, а все вопросы с ранними отражениями и реверберацией решаются этими процессорами самостоятельно. Иногда предлагаются оба метода работы. В любом случае, для более естественной обработки следует использовать истинные стерео процессоры, то есть производящие реверберацию с учетом положения звука по панораме. Соответственно, направлять на них звук необходимо со стерео посылов микшера, а если таковых нет - то со стерео подгрупп.

Тем не менее следует помнить, что мы не можем полностью восстановить или создать на записи естественные акустические условия, поскольку формат стерео воспроизведения ограничивает наши возможности. Об этом более подробно вы можете узнать из статьи "[Объемный звук](#)".

Если у вас нет столь развитого процессора эффектов или он занят другой работой, то при помощи линии задержки можно сделать простую имитацию условного помещения, имеющего только боковые стены. Представим себе, что источник звука находится на равном расстоянии от стен, а слушатель слегка смещен вправо. Моно сигнал с одного канала микшера направляем на стерео выход, панорама канала в центре (поскольку источник находится в центре). Кроме того, с этого канала направляем сигнал на две линии задержки или на двухканальную линию задержки с независимой регулировкой параметров для каждого канала. Устанавливаем время задержки правого канала меньше, чем время задержки левого (поскольку слушатель смещен вправо и находится ближе к правой стене). Напомню, что время задержки должно быть не больше 50 миллисекунд, для начала можно попробовать 30 миллисекунд для правого и 35 для левого каналов. Обработанный сигнал возвращаем в микшер с учетом стерео информации (то есть или через стерео возврат или через два входных моно канала с соответствующей установкой их панорамы). Уровень обработанного сигнала должен быть на 6-10 дБ меньше, чем уровень прямого, соответственно уровень канала с большим временем задержки (в нашем случае - левого) должен быть меньше, чем уровень другого канала. Не следует думать, что подобный эффект даст слушателю точную информацию о размерах помещения ("ба, да это же записывалось в комнате 8x10 метров"), но звучание обработанных таким образом инструментов, особенно солирующих и вокала, станет естественнее и богаче. К тому же подобная обработка меньше засоряет общее звучание, чем реверберация. Не забудьте только проверить результат на совместимость с монофоническим воспроизведением.



Кроме того, при помощи задержки можно с большей долей естественности устанавливать расположение источников звука по панораме. Если вы смещаете звук вправо, то следует установить для правого канала меньшее время задержки и больший ее уровень, чем для левого. Изменение уровня и особенно времени задержки для каналов само по себе является достаточно мощным средством расположения звуков по панораме, даже без изменения непосредственно панорамы.

В заключение хотелось бы отметить, что можно довольно свободно экспериментировать с временем и уровнем задержки, а также другими параметрами реверберации, в том числе и устанавливая очень разные параметры для отдельных инструментов в одном музыкальном произведении, поскольку наш слух легко прощает подобные несовпадения с реальной жизнью. Так что все вышеприведенные советы следует рассматривать в качестве отправной точки для произведения собственных изысканий и экспериментов в непростом, но увлекательном процессе реализации пространства.

**Дмитрий ПОПОВ**  
Музыкальное Оборудование  
март 1998