**Вспомогательный материал:**

Если же сигнал приходит от источника, смещенного относительно центра головы, то звук приходит в одно ухо быстрее, чем во второе, что позволяет мозгу соответствующим образом интерпретировать это как приход сигнала слева или справа и даже приблизительно определить угол прихода. Численно, разница во времени прихода сигнала в левое и правое ухо, составляющая от 0 до 1 мс, смещает мнимый источник звука в сторону того уха, которое воспринимает сигнал раньше. Такой способ определения направления прихода звука используется мозгом в полосе частот от 300 Гц до 1 кГц. Направление прихода звука для частот расположенных выше 1 кГц определяется мозгом человека путем анализа громкости звука. Дело в том, что звуковые волны с частотой выше 1 кГц быстро затухают в воздушном пространстве

Локализация по временной разнице (фазовая локализация)

Данный механизм работает на частотах от 300 Гц до 1,5 кГц. За счет разницы между положением левого и правого уха звук, приходящий от источника, расположенного под углом к фронтальному направлению, затрачивает различное время для достижения барабанных перепонок.

При одинаковом времени, затрачиваемом для достижения сигнала левого и правого уха, данный механизм будет локализовать источник в азимуте 0 и 180 градусов. Различное время достижения барабанных перепонок приводит к появлению фазового сдвига. Слуховая система различает фазовый сдвиг до 10—15 градусов. С повышением частоты, а соответственно, с уменьшением длины звуковой волны, фазовый сдвиг сигналов, пришедших от одного и того же источника к разным ушам, увеличивается. Как только сдвиг достигает значения, близкого к половине длины звуковой волны механизм перестает работать. Человеческий мозг не может однозначно определить, отстает ли звуковой сигнал в одном из слуховых каналов от другого или, наоборот, опережает его.

Максимальная разница во времени, соответствующая полному смещению источника звука вправо или влево, не может быть больше 630 мкс.

Расстояние между правым и левым ухом взрослого человека составляет 0,15 м—0,20 м, если брать среднее значение по полу. При источнике, излучающем звуковую волну с частотой 20 Гц и скорости звука в 340 м/с, длина волны будет составлять 17 м. Соответственно, если человек повернется к источнику одной стороной, то фазовый сдвиг сигналов, пришедших в одно ухо, а затем в другое, будет составлять примерно 1,1 % от всего периода 20 Гц волны (локализации на таких низких частотах невозможна). Физиологически точность локализации зависит от размера головы, то есть расстояния между ушами. Чем больше это расстояние, тем с большей разницей приходят звуковые сигналы в каждое ухо.

Локализация по уровню интенсивности

При излучении звука источником, расположенным под определенным углом к фронтальному направлению, уровень звукового давления на барабанные перепонки в разных ушах будет различным. Это связано с тем, что одно ухо будет находиться как бы «в тени», которую создает голова, а  также с тем, что звуковые волны выше 1000 Гц сравнительно быстро затухают в пространстве.

Данный механизм является достаточно эффективным, но в диапазоне звуковых частотах от 1600 Гц. При длине звуковой волны, сравнимой с диаметром человеческой головы, дальнее от источника ухо перестает находиться в «акустической тени», что обусловлено явлением дифракции звуковой волны на поверхности головы. При этом опытным путем было выявлено, что способность человеческим слухом определения угла между двумя источниками в горизонтальной плоскости в области частот 1500—2000 Гц резко снижается.

Такой механизм способствует определению расстояния до источника звука. Однако уровень звука от слабого, но близко расположенного источника может быть таким же, как от мощного, но удаленного на значительное расстояние. При таких условиях локализации способствует следующий механизм.

Локализация по разнице амплитудно-частотного спектра

Механизм основывается на возможности анализа мозгом АЧ провалов и подъемов определенных частот в сложном сигнале. Звук, приходящий под углом 90°, содержит как низкочастотные, так и высокочастотные составляющие, а в спектре звука, действующего на дальнее ухо, высокочастотных составляющих будет меньше — экранирующее воздействие головы. Кроме того, звуковой сигнал по-разному отражается от участков ушной раковины, происходит усиление и ослабление различных участков звукового спектра.

Данный механизм отвечает за локализацию фронт-тыл и вертикальную плоскость. Изучение фильтрующего действия головы и ушных раковин слушателя позволило ввести понятие пеленговых полос. При локализации человек анализирует не весь спектр приходящего звука, а лишь изменения некоторых частот. Такие полосы сформировались эволюционно, слух выработал собственную систему отслеживания и предупреждения опасности, достаточно точно локализуя откуда исходит угроза.

Изменения в полосах от 16 до 500 Гц и от 2 до 6 кГц отвечают за локализацию передних источников звука. Полоса от 0,7 до 2 кГц —  изменение тембра источников, которые могут располагаться сзади.

Сигнал со сложным спектральным составом локализуется лучше, а ощущение направления «фронт-тыл» формируется преимущественно теми полосами направления, в которых сосредоточена большая часть мощности сигнала. Чистые тона, которые, практически не встречаются в природе локализуются хуже сложных сигналов. Так, чистые тона свыше 8000 Гц поддаются локализации с трудом. Невозможно определить и местоположение источников звука низкой частоты — менее 150 Гц.

Локализация в вертикальной плоскости гораздо хуже, чем в горизонтальной. Без психологического, зрительного воздействия практически невозможно создать имитацию объекта, который должен располагаться, например, сверху. Этот звук должен быть как минимум привычный и ожидаемый.

Тем не менее уменьшение интенсивности низких частот психоакустически помогает «приподнять» объект, сделать его легче.

## Рекомендации по смещению во времени

Так как локализовывать в реальных случаях приходится сложные сигналы, то было решено формулировать конкретные значения по смещению в микросекундах, а не в градусах сдвига фазы, что подошло бы лишь для простых сигналов.

Для локализации виртуального источника звука в азимуте 0° и избавления от монофонического звучания рекомендуется произвести смещение на 50 мкс правого канала относительно левого при предполагаемом движении источника в азимутах от 0° до –180° или на  50 мкс левого канала относительно правого при предполагаемом движении источника в азимутах от 0° до 180°.

Для локализации в азимуте –45° рекомендуется произвести смещение правого канала относительно левого на 430—440мкспо временной шкале.

Для локализации в азимуте 45° рекомендуется произвести смещение левого канала относительно правого на 430—440 мкс по временной шкале.

Для локализации в азимуте –90° рекомендуется произвести смещение правого канала относительно левого на 630—640 мкс по временной шкале.

Для локализации в азимуте 90° рекомендуется произвести смещение левого канала относительно правого на 630—640 мкс по временной шкале.

Для локализации в азимуте –135° рекомендуется произвести смещение правого канала относительно левого на 430—440 мкс по временной шкале.

Для локализации в азимуте 135° рекомендуется произвести смещение левого канала относительно правого на 430—440 мкс по временной шкале.

## Рекомендации по изменению характеристик интенсивности сигнала

При локализации в азимуте 0° рекомендуется произвести снижение интенсивности сигнала на –1 дБ в произвольном канале, для избавления от монофонического эффекта и создания пространственной демаскировки, что соответствует значению 10% или –10% панорамного спектра (на практике речь идет о ползунке панорамы).

Для локализации в азимуте –45° рекомендуется произвести снижение амплитуды правого канала на –3 дБ и повышение левого на 3 дБ, что соответствует значению –50% панорамного спектра.

Для локализации в азимуте 45° рекомендуется произвести снижение амплитуды левого канала на –3 дБ и повышение правого на 3 дБ, что соответствует значению 50% панорамного спектра.

Для локализации в азимуте –90° рекомендуется произвести снижение амплитуды правого канала на –5 дБ и повышение левого на 4 дБ, что соответствует значению –65% панорамного спектра.

Для локализации в азимуте 90° рекомендуется произвести снижение амплитуды левого канала на –5 дБ и повышение правого на 4 дБ, что соответствует значению 65% панорамного спектра.

Для локализации в азимуте –135° рекомендуется произвести снижение амплитуды правого канала на –3 дБ и повышение левого на 3 дБ, что соответствует значению -50% панорамного спектра.

Для локализации в азимуте 135° рекомендуется произвести снижение амплитуды левого канала на –3 дБ и повышение правого на 3 дБ, что соответствует значению 50% панорамного спектра.

Для локализации в азимутах –180° и 180° изменений в уровне сигнала производить не рекомендуется, что соответствует значению 0% панорамного спектра. Хочу отметить, что такая локализация практически невозможна, если объект статичен.

<http://www.gamedev.ru/sound/articles/volume_sound?page=1>

**Формулы**

Итак, будем использовать звук частотой 1 КГц. Рассмотрим, в первую очередь, смещение по времени при расположении объекта по горизонтальной оси в зависимости от того, находится он левее или правее от центра.

Рассмотрим отклонение предмета вправо до 90° (от 90 до 180 зеркально, для левого рассматриваем смещение правого канала относительно левого). Рассматриваем смещение левого канала относительно правого.  
  
Раз при смещении на 45° рекомендуется произвести смещение на 430—440 мкс по временной шкале, а при 90° - 630—640 мкс. Т.е. разница между 0 и 45° - 430 мкс, а между 45°-90° - 200 мкс, то будем считать, что функция логарифмическая. Тогда

**O = log2(G - X) \* 95,** где О – смещение по временной шкале, G – смещение в градусах, Х – переменная (до 45° = 13 , после = log2G )

Рассмотрим теперь интенсивность сигнала. Рассмотрим при отклонении предмета направо до 90°.  
  
Так как при отклонении на 45° рекомендуется произвести снижение амплитуды левого канала на –3 дБ и повышение правого на 3 дБ, т.е. составить разницу в 6 дБ. А при 90° -5дБ и 4дБ, т.е. 9 дБ. Тогда

**А = log3.5 (X\*G)**, где А – разница амплитуды, G – смещение в градусах, Х – переменная (до 45° = 1, после = 2)