

Бинауральный слух: Роль локализации звуков

(Wayne Staab; Hearing Health & Technology Matters; пост от 24 февраля 2015 г.)

В предыдущей статье я уже перечислял феномены, участвующие в бинауральном слухе. К ним относятся:

- Эффект тени головы
- Локализация звука
- Подавление шума
- Разность уровней маскировки
- Бинауральная суммация

В совокупности эти феномены приводят, по крайней мере, к следующим практическим преимуществам бинаурального слуха:

- Повышение разборчивости речи в условиях шума
- Уменьшение неприятного фонового шума (эффект Коениг),
- Улучшение локализационных способностей
- Устранение эффекта тени головы, когда голова оказывается между источником звука и ухом, на которое надет слуховой аппарат.

Мы уже говорили в предыдущей статье о влиянии тени головы на отношение сигнал-шум и разборчивость речи. Теперь вы узнаете, что тень головы участвует в локализации.

Основы локализации

- Услышав звук, мы очень часто можем указать расположение его источника.
- Любопытно, что сам по себе звук не обладает физическими свойствами, способствующими его локализации.
- Поэтому способность локализовать звук обусловлена исключительно нейронными процессами.

Человек чувствует себя комфортнее, если может точно локализовать говорящего

Известно, что человек чувствует себя комфортнее, если знает, где находится его собеседник. Еще в 1958 г. д-р Раймонд Кархарт писал:

"Мир звуков становится трехмерным только при наличии условий, обеспечивающих пространственную локализацию. Нормальная способность распознавания биологически и социально важных звуков в неблагоприятной акустической обстановке сопряжена с центральной обработкой двух независимых потоков информации, отражающих время поступления и интенсивность звуковых сигналов. Для наиболее эффективной локализации источников звука требуется наличие обоих типов информации. Способность различать местоположение источников звука в пространстве позволяет слушателю сконцентрировать свое внимание на стимуле, связанном с более важным в данный момент событием, несмотря на акустическую хаотичность ситуации".

Наша способность определять местонахождение источника звука связана с наличием у человека двух пространственно разделенных ушей. При утрате одного из ушей локализация звуков серьезно нарушается.

Локализация или латерализация?

При описании процессов, связанных с бинауральным слухом, эти два термина часто используют вместе или же путают.

Локализация относится к внешним событиям, происходящим в открытом пространстве, когда для создания звукового образа используются все три пространственные координаты (время, интенсивность и фаза). Под латерализацией же чаще понимают внутренний звуковой образ, возникающий при использовании наушников. При этом латерализованный звук воспринимается, как правило, внутри головы или вблизи нее, а не в окружающем пространстве.

Локализация источника звука в пространстве

Fletcher (1929) [2] указывал, что бинауральный слух всегда был при нас и играл важную роль в обнаружении места, откуда исходят те или иные звуки. Даже примитивная слуховая система должна информировать своего обладателя о местонахождении источника опасности, создавая предпосылки для зрительного контакта и намечая пути к отступлению.

Von Békésy (1960) [3] считал, что бинауральные феномены, особенно связанные с локализацией, невероятно сложны. Он подчеркивал, что ни в одной из областей естествознания стимул не вызывает такого количества разнообразных ощущений, как в направленном слухе. Поэтому неудивительно, что слуховые аппараты плохо справляются с локализацией, особенно с теми ее аспектами, которые касаются понятий "близко и "далеко".

Локализация зависит от двух основных параметров:

1. Интенсивность сигнала
2. Время поступления в ухо соответствующих звуковых волн (межушное различие времени поступления).

В некоторых источниках в качестве третьего фактора приводится фаза, тогда как другие источники считают изменение фазы побочным продуктом времени поступления сигнала в каждое из ушей. Как бы то ни было, изменение фазы связано с временем, необходимым для распространения сигнала от одного уха к другому.

Локализация звука

В психофизике локализация описывается с использованием двух координат – азимут (горизонтальная плоскость) и угол возвышения (вертикальная плоскость) (рис. 1). Человек локализует звуки преимущественно в горизонтальной плоскости (по азимуту), поэтому мы почти не затронем вертикальную локализацию.

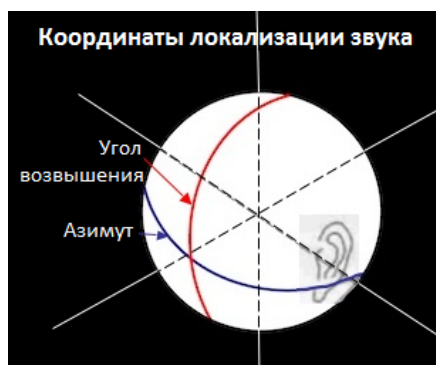


Рис. 1: Координаты, используемые в психофизике для локализации источников звука.

Межушная разность интенсивности

Звук, поступающий строго спереди (точка А на рис. 2), одинаково воспринимается обоими ушами (при симметричном слухе). Однако, если звук поступает справа (точка В) или слева, он будет несколько громче в ухе, ближайшем к источнику звука ("ближнее" ухо). Это связано с тем, что голова препятствует прямому распространению звука (тень головы). Для определения направления на источник звука в реальной обстановке слушатель полагается, прежде всего, на сигнал, поступивший первым, потому что его громкость/интенсивность выше. Разность между относительной громкостью звуков, достигающих ушей, называется межушной разностью громкости, или межушной разностью интенсивности (МРГ, или МРИ). МРИ непосредственно связана с эффектом тени головы, рассмотренным в предыдущей публикации. В определении же расстояния до источника звука большую роль играет межушная разность времени поступления сигнала.

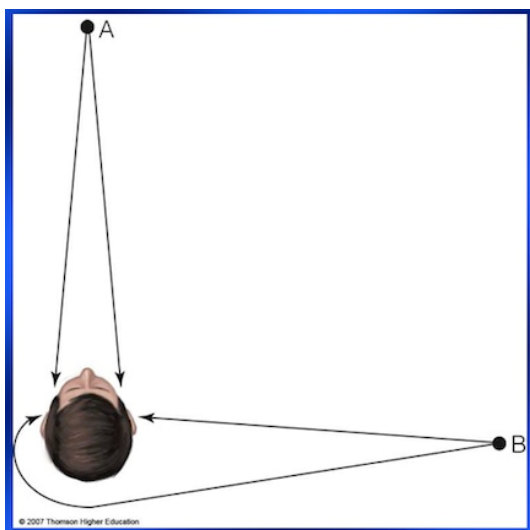


Рис. 2: Межушная разность интенсивности (МРИ) зависит от угла поступления звука и тени головы. Звук из точки А поступает в оба уха одновременно и с одинаковой интенсивностью. При поступлении звука из точки В тень головы приводит к снижению его интенсивности в "дальнем" ухе, особенно на высоких частотах (иллюстрация: ©2007 Thomson higher education).

Эффект тени головы связан с поглощением звуковой энергии тканями головы, приводящим к межушной разности уровня звука. Однако, степень поглощения (или дифракция сигнала) в значительной степени зависит от частоты звука (рис. 3). Для низкочастотных звуков (особенно ниже 1500 Гц) МРИ столь незначительна, что эффект тени головы практически отсутствует. Напротив, для частот свыше 1500 Гц МРИ играет важную роль в локализации.

В горизонтальной плоскости МРИ (неодинаковое количество звуковой энергии, достигающее левого и правого уха) зависит от частоты (рис. 4). Для человека ведущую роль играют звуки, поступающие в горизонтальной плоскости. Уровень высокочастотной (например, 6000 Гц) акустической энергии, поступающей под углом от 45° до 130°, может различаться на 30 дБ. На низких частотах (например, 200 Гц) разность акустической энергии между ушами может быть крайне незначительной или вообще отсутствует. Низкочастотные звуки в меньшей степени подвержены эффекту тени головы, так как они обладают большой длиной волны и способны огибать препятствия, в том числе, голову. Чем выше частота, тем в большей степени проявляется эффект тени головы.

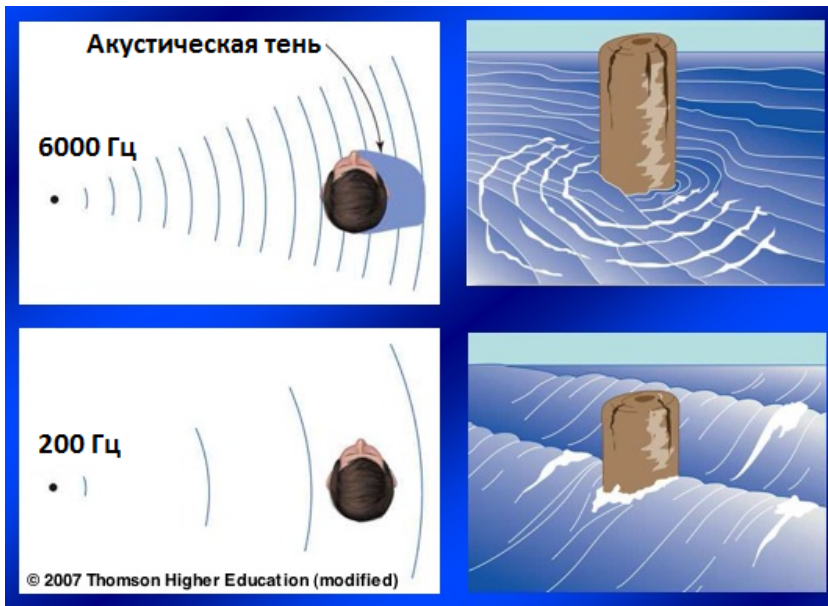


Рис. 3: Эффект тени головы сказывается в основном на высокочастотных звуках с малой длиной волны. Низкочастотные звуки с большой длиной волны огибают голову, поэтому межполушарная разность интенсивности в их случае отсутствует.

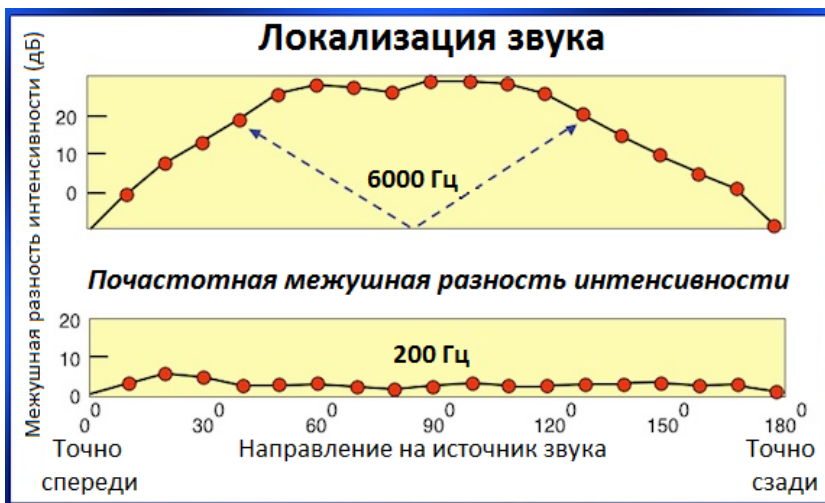


Рис. 4: На высоких частотах межполушарная разность интенсивности звуков (МРИ), поступающих спереди и сзади (отмечено синими пунктирными стрелками), может быть одинаковой, что приведет к неопределенности при локализации. У низкочастотных звуков МРИ невелика или отсутствует, поэтому люди не могут локализовать низкочастотные звуки, например, 200 Гц.

На рис. 5 представлена зависимость МРИ от расположения источника звука на нескольких дополнительных частотах. От рис. 4 он отличается формой отображения данных – ось разности интенсивности направлена вниз.

В следующей публикации мы обсудим межполушарную разность времени поступления сигнала (МРВ).

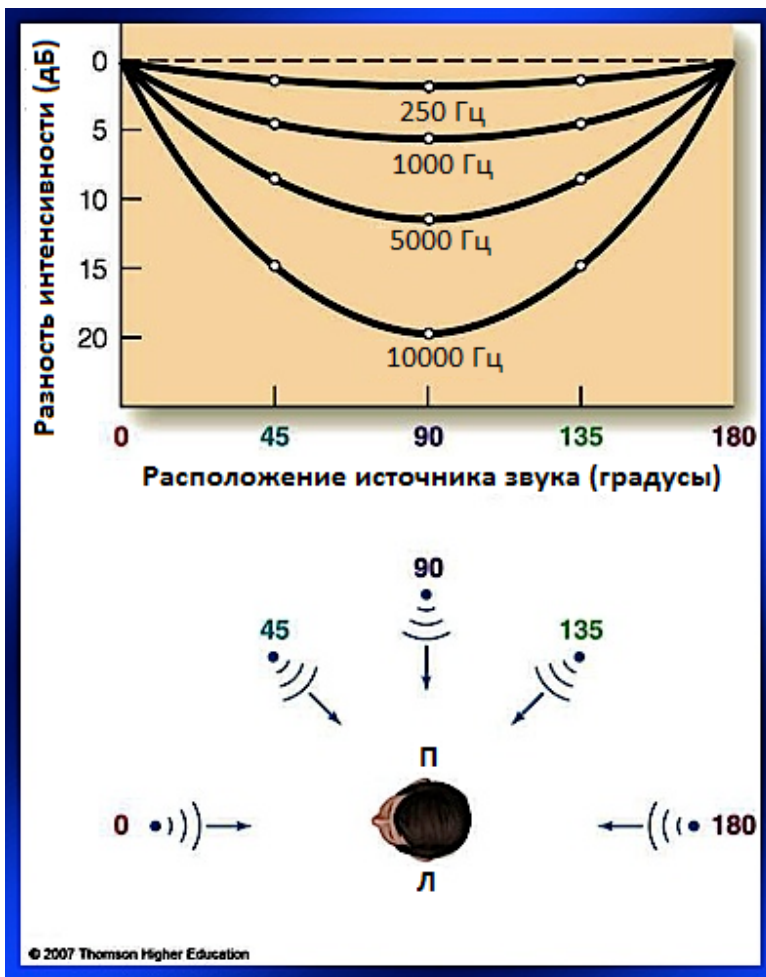


Рис. 5: То же, что на рис. 4, но ось разности интенсивности направлена вниз.

Литература

1. Carhart, R. (1958). The usefulness of the binaural hearing aid, J. Speech and Hear. Dis. February
2. Fletcher, H. (1929). Speech and Hearing in Communication, N.Y.D, Van Nostrand
3. Von Békésy, G. (1960). Experiments in Hearing, McGraw-Hill, NY