

Н.П. Козлов

Научный руководитель: канд. техн. наук, доц. В.А. Ермолаев  
 Муромский институт Владимирского государственного университета  
 602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, д.23  
 E-mail: nikitagalogen@rambler.ru

### Распространение акустического сигнала в ограниченном пространстве

В замкнутом пространстве распространение сигналов сталкивается с проблемой его отражения от различных преград (стен, пола, потолка, мебели), имеющих на пути следования волны от источника к получателю (рис. 1). В случае, когда прямое следование сигнала ограничено или не возможно, его распространение складывается из альтернативных путей, образуя многолучевое распространение сигнала в среде, так называемом канале связи. Из-за этого изменяется как длина волны, так и время ее прибытия, следовательно, и качество доставляемого сигнала. Скорость распространения зависит от того, как быстро перемещаются объекты в среде передачи. Медленные объекты дают меньшие изменения на канал.

В замкнутом пространстве изменения происходят более медленно, чем каналы в открытом пространстве и представляет собой время когеренции. Сигналы, имеющие широкую полосу пропускания, меньше подвержены данному эффекту. Частота, на которой можно бороться с этим эффектом, является задержкой распространения, и связана с разницей по времени между первым и последним путем прибытия.

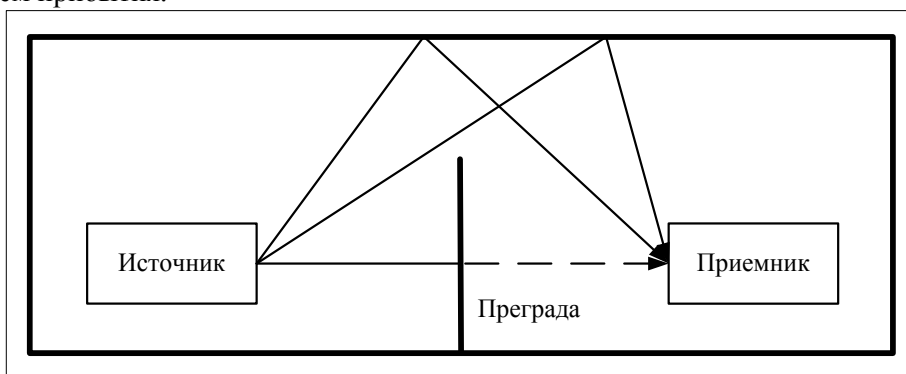


Рис. 1. Пример многолучевого распространения сигнала

Многолучевая модель распространения сигнала, учитывает копии задержек и ослаблений сигнала из-за отражений от волнового фронта и отражений основного звука от стен, пола, потолка и иных препятствий. Они претерпевают одно отражение, создавая дополнительные «образы», большой амплитуды прямого звука, что делает их наиболее важными, оказывающими основное влияние на качество исходного сигнала. Многолучевая модель распространения сигнала имеет следующий вид [3]

$$x_n[k] = \sum_{m=1}^M \alpha_{nm} s[k - t - \tau_{nm}] + w_n[k], \quad n = 0, 1, 2, \dots, N - 1,$$

где  $\alpha_{nm}$  – коэффициент затухания от неизвестного источника,  $t$  – время распространения от источника сигнала к приемнику 0 для пути  $m$  с  $\tau_{01} = 0$ ,  $M$  – число различных путей,  $w_n[k]$  – стационарный Гауссовский шум и предполагается, что он коррелирует как с источником сигнала, так и шумовыми сигналами, наблюдаемыми на других датчиках.

В средах с многолучевым распространением, наиболее оптимальную длину прямого пути должен определять приемник, отсеивая все остальные сигналы. В противном случае, если приемник не способен выявлять отдельные пути, то полезность сигнала будет нарушаться эффектом множественного отражения и возникнет потребность в компенсации эхо-сигналов [4]. Они взаимодействуют с прямым звуком, исходящим непосредственно от источника и достигающего приемника кратчайшим путем, что кардинально влияет на качество принимаемого сигнала.

Задача эхо-компенсации в данном случае осложняется необходимостью учета реверберации. Реверберацию можно охарактеризовать непрерывным распределением исходного сигнала по задержке, представив ее с помощью следующего выражения [2]

$$x(t) = \int_{\Theta} \int_0^t h(\tau, \theta) x_0(t - \tau) d\tau d\theta,$$

где  $x_0(t)$  – исходный сигнал,  $x(t)$  – сигнал с учетом реверберации,  $h(t, \theta)$  – импульсная функция акустического канала с задержкой  $\theta$ ,  $\Theta$  – множество значений задержки.

В этой модели каждый датчик получает большое количество эхо-сигналов [4], они являются результатом многократных переотражений основного звука от поверхностей стен, пола и потолка помещения. Эти сигналы достигают приемника сложными, длинными путями и поэтому имеют низкую амплитуду [1, 3]. Отражения могут, происходит несколько раз, прежде чем сигнал достигнет приемника (рис. 2)

$$x_n[k] = h_n * s[k] + w_n[k],$$

где  $*$  обозначает свертку,  $h_n$  – импульсная характеристика между источником и датчиком, предполагается, что  $s[n]$  является достаточно широкополосный доступ и  $w_n[k]$  не коррелирует с  $s[k]$  и с шумовыми сигналами в других датчиках. В векторно-матричной форме модель выглядит следующим образом

$$x_n[k] = h_n^T s[k] + w_n[k], \quad n = 0, 1, 2, \dots, N - 1,$$

где  $h_n = [h_{n,0}, h_{n,1}, \dots, h_{n,L-1}]^T$ ,  $s[k] = [s[k], s[k-1], \dots, s[k-L+1]]^T$ ,  $L$  – длина самого длинного импульсного ответа.

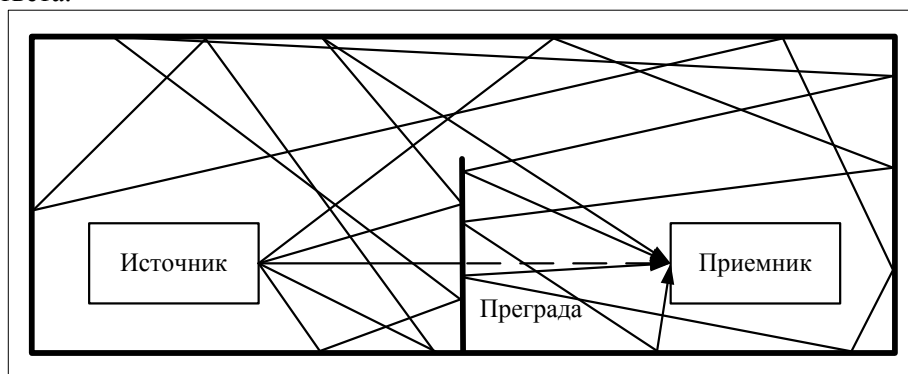


Рис. 2. Пример поздних отражений (реверберация)

Решение с помощью модели реверберации часто заключается в два этапа. На первом этапе происходит оценивание  $N$  импульсных ответов, затем получают путем идентификации два прямых пути от канала источника к приемнику, ответы оцениваются «слепым методом».

### Литература

1. Козлов Н.П. Адаптивная компенсация помех / Козлов Н.П. // Материалы четвертой научно-технической всероссийской конференции "Зворыкинские чтения", 2012. – С. 125 - 126.
2. Ермолаев В.А., Кропотов Ю.А., Проскуряков А.Ю. Методы анализа сигналов в информационно-управляющих системах / Ермолаев В.А., Кропотов Ю.А., Проскуряков А.Ю. Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 196 с.
3. Jingdong Chen, Jacob Benesty, Yiteng (Arden) Huang. Time Delay Estimation in Room Acoustic Environments: An Overview. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Volume 2006, Article ID 26503, Pages 1–19 DOI 10.1155/ASP/2006/26503.
4. Козлов Н.П. Разработка обучаемой системы подавления помех в акустических сигналах / Козлов Н.П., Проскуряков А.Ю. // Материалы пятой международной научно-практической конференции "Наука в современном обществе", 2015. – С. 164 - 166.