

# Системы пространственного звучания

Конструкции фонографов, граммофонов и патефонов сейчас интересуют только историков техники, поэтому мы о них говорить не будем, а перепрыгнем сразу в 1957 год, когда британской компанией Decca Records была разработана первая в мире стереофоническая грампластинка. Тут надо сказать, что общепринятый сейчас термин "стереозвук", характеризующий двухканальную запись, возник по недоразумению или из-за слабого знания разработчиками греческого языка. Дело в том, что слово "stereos" означает "пространственный", то есть применительно к звуку - многоканальный, а не только двухканальный, но в технике некорректные термины встречаются так часто, что проще пользоваться привычными, чем придумывать новые.

Разработчики механических систем пытались записывать на один носитель две звуковые дорожки еще с начала XX века, но либо устройства получались сложными и громоздкими, либо мешали причины коммерческого характера, а возможно, стереозвук просто не был востребован.

Официальной датой рождения стереофонического радиовещания считается 1 июня 1961 года, в 1963 году фирма Philips выпустила на рынок первую компакт-кассету, а в 1969-м Рэй Долби создал систему подавления шумов магнитной ленты, и процесс, как говорится, пошел.

Стереофонические системы очень быстро завоевали симпатии специалистов и потребителей, поскольку

двухканальный звук давал явные и ощутимые преимущества: с ним стало возможно воспроизводить не просто плоский "отпечаток", а отображать картину звукового пространства, что особенно важно, например, для симфонической музыки. Слушатель стал как бы ощущать перед собой настоящий оркестр и слышать каждый музыкальный инструмент с того места, где он реально находился в оркестре при записи. Кроме того, стереозапись позволила сглаживать недостатки самой фонограммы и техники, поскольку качественный звук в одном канале словно замазывал огрехи в другом.

Воодушевленные успехами стереофонии, инженеры немедленно взялись за создание звуковоспроизводящей аппаратуры с большим числом каналов, так как надеялись на еще более значительное повышение естественности и качества звука.

Не тут-то было. Многочисленные эксперименты с четырехканальной (квадрафонической) аудиоаппаратурой, проводимые в 70-е годы прошлого века, закончились впечатляющим провалом. Попытки использовать в бытовой аудиотехнике решения, найденные для многоканального звука в кино, оказались неудачными. И дело здесь даже не в технической реализации квадрофонии, будь то полная, псевдо- или квазиквадрофония, отличающиеся друг от друга числом каналов записи и воспроизведения, и не в высокой стоимости аппаратуры, хотя и это сыграло свою роль.

Ошибочной оказалась философия звукорежиссеров, в соответствии с которой аудиопрограммы записывались так, что слушатель оказывался сидящим как бы в центре оркестра. В результате музыка окружала

человека со всех сторон, и он, как летчик-истребитель, вынужден был постоянно вертеть головой, непроизвольно поворачиваясь на очередной громкий звук.

То, что хорошо подходило для кинозала, какого-нибудь аттракциона в Диснейленде или для дискотеки, не годилось для прослушивания хорошей музыки или для просмотра видео.

И идея тихо, без мучений, скончалась, а квадрофонические аудиомонстры покрывались пылью в дальних углах магазинов радиотоваров.

По-настоящему успешные многоканальные аудиосистемы появились на рынке только тогда, когда звукорежиссеры поняли, в чем проблема. Микрофоны для записи музыки стали размещать на сцене, а тыловые микрофоны, предназначенные для воссоздания реальной звуковой картины - позади слушателей, причем эти микрофоны должны были записывать не "прямой" звук со сцены, а его отражения от тыльной и боковой стен зала.

В 1976 году в лаборатории Долби был разработан принцип пространственного звучания для кинематографа, который впоследствии стал известен как Dolby Stereo. Это была четырехканальная система, состоявшая из трех фронтальных звуковых каналов и одного тылового, получившего название канала "окружения". Он был монофоническим, но воспроизводился двумя акустическими системами, расположенными в углах задней стены комнаты. Система была матричной, т.е. при записи сигналы четырех каналов с помощью особых матриц преобразовывались в два, а при воспроизведении происходило их восстановление. Процесс внедрения

Dolby Stereo шел ни шатко ни валко, но помощь пришла, как говорится, откуда не ждали - Джордж Лукас снял свои первые "Звездные войны", и вот здесь-то система пространственного звучания себя показала! Хозяева кинотеатров чуть ли не дрались за комплекты нового оборудования. Идея оказалась настолько удачной, что благополучно дожила до наших дней и все еще используется в кино.

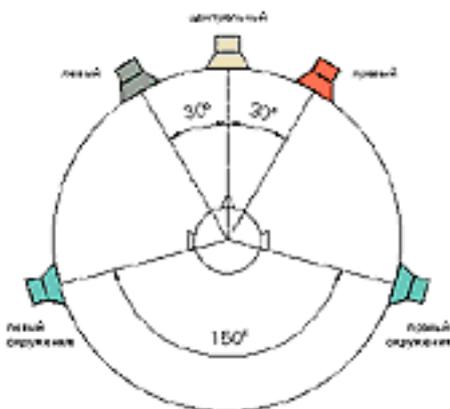
Подлинный расцвет систем пространственного звучания приходится на 80-е годы прошлого века, когда начала стремительно развиваться цифровая микроэлектроника и в воздухе замаячила идея домашнего кинотеатра. В самом деле, кто откажется наслаждаться качественным изображением и звуком не в кинотеатре, где соседи хрустят попкорном, булькают пивом и хихикают, а дома? Правильно, никто. Рынок сказал свое веское слово, и инженеры взялись за работу.

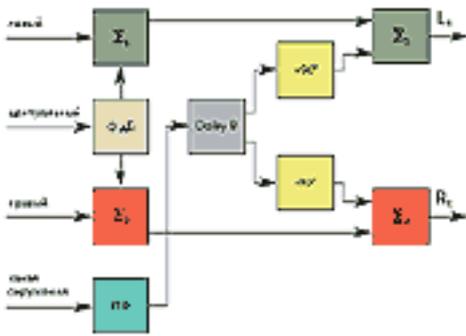
Первую цифровую многоканальную аудиосистему создали опять-таки в лаборатории Рэя Долби и опять-таки для кино. Она получила не особенно оригинальное название Dolby Digital и включала в себя пять независимых широкополосных цифровых аудиоканалов: три фронтальных (левый, центральный и правый) и два тыловых (левый и правый). Шестой, низкочастотный, был предназначен для воспроизведения спецэффектов. Сигналы всех каналов оцифровывались и по специально разработанному алгоритму AC-3 (Audio Coding-3) кодировались в единый цифровой поток. Премьера системы состоялась одновременно с премьерой кинофильма "Возвращение Бэтмена".

В 1993 году фирма DTS (Digital Theatre Systems) на премьере фильма "Парк Юрского периода" продемонстрировала собственный цифровой формат пространственного звучания. В настоящее время обе эти системы стандартизованы и используются в телевидении высокой четкости, спутниковом вещании и в домашних кинотеатрах на основе дисков DVD. Рассмотрим их более подробно.

## Dolby Stereo

Система была построена на основе квадрофонической матрицы фирмы Sansui, только кодер для нее придумали новый и дали ему название Dolby MP (Motion Picture - кино). В нем сигналы трех фронтальных каналов - левого, правого и центрального - и канала окружения преобразовывались в два сигнала Lt и Rt формата обычного стерео. Если на воспроизводящей аппаратуре не было декодера Dolby Stereo, то сигнал представлялся не как многоканальный, а как самый обычный стереофонический. Это было грамотное техническое решение, поскольку оно обеспечивало обратную совместимость с обширным парком уже существующей звуковоспроизводящей аппаратуры.

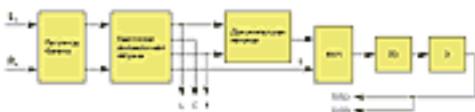




В 1982 году был разработан декодер Dolby Stereo для бытовой аппаратуры, и система вышла на рынок под названием Dolby Surround. Акустические системы в помещении рекомендовалось размещать, как показано на рис. 1.

Кодер системы Dolby MP был выполнен по структурной схеме, представленной на рис. 2.

Сигналы четырех каналов поступают на вход кодера, причем сигналы левого и правого фронтальных каналов без обработки через сумматоры 1, 3 и 2, 4 соответственно проходят на выход кодера без обработки. Для того чтобы сохранить правильную картину пространственного распределения звука, сигнал центрального фронтального канала ослабляется на 3 дБ и замешивается в сигналы левого и правого каналов с помощью сумматоров 1 и 2. Сигнал тылового канала окружения замешивается уже в выходные сигналы кодера Lt и Rt, но предварительно подвергается обработке. Его полоса частот ограничивается до значений 100 Гц - 7 кГц, сигнал сжимается шумоподавителем Dolby B, и его фаза сдвигается на +90 градусов для левого канала и на -90 градусов для правого.



Полученные сигналы Lt и Rt можно записать на любой пригодный для этой цели носитель или передать в эфир в системе стереофонического вещания (рис. 3). Входные сигналы Lt и Rt проходят через регулятор баланса мощности, чтобы ослабить взаимное проникновение из канала в канал, и поступают в главную часть декодера - адаптивную декодирующую матрицу. Именно в ней происходит восстановление исходной информации. Сигналы фронтальных каналов сразу поступают на выход декодера, а сигналы канала окружения получают в дополнительной матрице путем вычитания энергий правого и левого фронтальных каналов из энергии канала окружения. Кроме того, фаза выходного сигнала окружения синхронизируется с фазой сигнала S с выхода адаптивной декодирующей матрицы. Фильтр низких частот ограничивает полосу сигнала окружения до уже упомянутой частоты 7 кГц, а линия задержки задерживает сигнал на 9 - 30 мс. Это необходимо для того, чтобы создать эффект объема помещения, где записывался звук, иначе сигналы, отраженные от задней стены студии, достигнут ушей слушателей одновременно с сигналами фронтальных каналов. Заключительная операция - обработка экспандером, характеристика которого обратна характеристике шумоподавителя.

Главным недостатком Dolby Surround, как и любой матричной системы кодирования звука, является недостаточное разделение каналов, из-за чего, например, может возникнуть эффект, что диалоги актеров на экране будут отчетливо слышны сзади. Усовершенствованным вариантом Dolby Surround является Dolby Pro Logic. Кодеры у них совершенно

одинаковы, а вот в декодерах есть различия. Изюминка Dolby Pro Logic в том, что она умеет выделять из общего звукового сигнала человеческую речь. Как только декодер обнаружит ее, он увеличит усиление в центральном фронтальном канале и одновременно снизит усиление в левом и правом фронтальных каналах, чтобы ярче выделить диалоги актеров, которые, естественно, находятся в центре экрана, на фоне шумов, музыкального сопровождения и пр. Когда речь исчезает из звукового сигнала, первоначальное усиление каналов восстанавливается. Еще одним новшеством системы Dolby Pro Logic является использование отдельного НЧ-излучателя - сабвуфера. Сигналы низких частот плохо позиционируются человеческим слухом, поэтому в системе достаточно одного такого аппарата. Сигнал для него выделяется из фронтальных каналов путем их суммирования и ограничения фильтром низких частот с частотой среза 80 - 125 Гц.

Поскольку воспроизведение басов в этом случае возлагается на сабвуфер, акустические системы фронтальных каналов получаются меньше по размерам, проще и дешевле, субъективное качество звука также повышается.

Система Dolby Pro Logic имеет лучшее разделение между фронтальными и тыловыми каналами и позволяет использовать вместо двух четыре тыловых акустических системы.

### **Dolby Digital (AC-3)**

Эта система пространственного кодирования и воспроизведения звука является, как уже упоминалось, цифровой. Она была разработана специально для звукового сопровождения передач

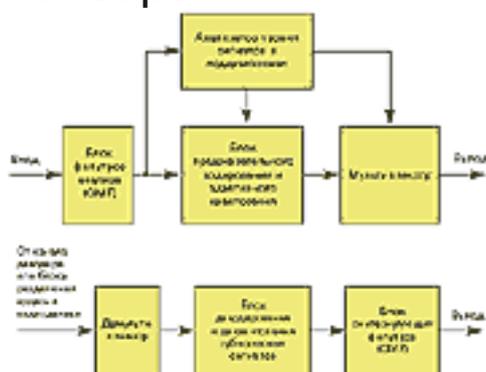
HDTV, а впоследствии закреплена за спутниковым радиовещанием, кабельным ТВ и звуковым сопровождением фильмов, записанных на DVD в странах Северной Америки.

Dolby Digital способна передавать от одного до шести независимых каналов.

Поскольку она не является матричной, то начисто лишена главного недостатка таких систем - просачивания сигнала из канала в канал. Несмотря на то, что в Dolby Digital все звуковые каналы передаются в общем цифровом потоке, они независимы и их паразитное влияние друг на друга исключено.

Каждый из пяти основных каналов имеет полосу пропускания 2 Гц - 20 кГц, а канал сабвуфера LFE (Low Frequency Effects) 25 Гц - 120 Гц.

Домашние кинотеатры, работающие со звуком Dolby Digital, как правило, имеют отдельный выход для подключения сабвуфера, использование которого желательно, но не обязательно. Если сабвуфер не подключен, басы будут воспроизводиться левой и правой фронтальными акустическими системами. Хозяева домашнего кинотеатра в этом случае останутся, скорее всего, недовольны, а вот их соседи - наоборот.



Звуковой сигнал в кодере AC-3 квантуется с точностью 16 разрядов при частоте дискретизации 48 кГц.

Скорость потока данных на каждом из 6 входов кодера составляет 768 кбит/с, а после компрессии результирующий поток имеет скорость 384 кбит/с.

При кодировании звука используются методы устранения из потока статистической и психоакустической избыточности.

Кодирование звука с устранением психоакустической избыточности называют перцептуальным кодированием. Оно основано на использовании т.н. границы маскирования. Звуки, уровень которых лежит ниже этой границы, считаются принципиально неслышимыми человеческим ухом и либо игнорируются, "выбрасываются", либо кодируются с меньшей разрядностью, чем основной звуковой поток.

## **Digital Theatre System (DTS)**

Системы пространственного звучания DTS в настоящее время являются серьезными конкурентами продуктов лаборатории Dolby. Считается, что DTS обеспечивают более высокое качество звучания за счет фирменных алгоритмов компрессии и меньшей ее степени.

Например, если в Dolby Digital 5.1 сжатие звука составляет 12:1, то в DTS 5.1 оно куда более гуманное: при 16-разрядном квантовании примерно 3:1, а при 24-разрядном - 4,3:1.

В основе DTS лежит фирменная технология пространственного кодирования звука, получившая название Coherent Acoustics (когерентная акустика). Ее главная особенность в том, что кодирование осуществляется без устранения психоакустической избыточности, звук кодируется в исходном, "неповрежденном" виде.

Все шесть каналов системы DTS полностью независимы друг от друга, каждый из пяти основных

каналов перекрывает диапазон звуковых частот, а шестой, низкочастотный, имеет полосу пропускания 20 - 80 Гц. Скорость потока данных на выходе кодера Coherent Acoustics составляет 1,235 Мбит/с.

Кодер Coherent Acoustics в самом общем виде устроен следующим образом.

На первом этапе обработки спектр сигнала каждого канала делится на 32 поддиапазона с помощью банка так называемых квадратурных зеркальных фильтров QMF (Quadrature Mirror Filter). Их использование позволяет избежать искажений, возникающих из-за частичного перекрытия полос пропускания соседних фильтров.

Кодер Coherent Acoustics работает с переменной разрядностью квантования. Выбор необходимого количества разрядов в зависимости от уровня энергии в каждом поддиапазоне выполняет анализатор уровня сигнала. Кодирование звука по такому принципу до некоторой степени напоминает MPEG-кодирование в том смысле, что использует алгоритм предсказания. Предсказание будущего значения сигнала выполняется на основе его предыдущего значения и характера изменения. Чем точнее предсказание, тем компактнее получается код сигнала. Эту задачу решает блок предсказательного кодирования и адаптивного квантования (рис. 4).

Адаптивным квантование называется потому, что его шаг автоматически меняется, чтобы поддерживать постоянным отношение сигнал/шум квантования.

Мультиплексор объединяет каналные потоки аудиосигналов в единый поток.

При воспроизведении кодированного аудиопотока декодер восстанавливает поток данных,

сформированных кодером, и подает его на декодер Coherent Acoustics (рис. 5).

В демультимплексоре из общего аудиопотока извлекаются потоки данных каналов, которые подаются на блок декодирования и деквантования субполосных сигналов (поддиапазонов). В блоке синтезирующих фильтров 32 сигнала поддиапазонов объединяются и подаются на ЦАП и аналоговые усилители воспроизведения каналов.

Мир, в котором мы живем, это мир окружающих нас звуков. И если мы хотим получить аппаратуру, максимально точно воспроизводящую их во всем богатстве и многообразии, то, вероятно, в будущем нам придется смириться с увеличением количества каналов звуковоспроизводящей аппаратуры, а следовательно, с ростом ее цены. Уже сейчас на смену формату 7.1 идет 10.2, в котором имеется даже один вертикальный канал, в шутку называемый "Гласом божьим". Для бюджетных решений, скорее всего, подойдут устройства, состоящие всего из двух акустических систем и психоакустического процессора, имитирующего пространственный звук.

Для пользователей систем пространственного звучания, в общем-то, не важно, сколько именно каналов будет иметь его аппаратура, ему важно, чтобы она создавала иллюзию бесконечного числа каналов, то есть - подлинно объемного звука. Эта задача для инженеров, работающих в области звукотехники, и является главной.

# Системы пространственного звука

В 1970-е годы началось внедрение квадрофонии, использующей передачу звуковой информации по четырем каналам. Одной из первых систем была матричная квадрофоническая система, предложенная Р. Шайбером. На основе его идей были созданы такие матричные системы как SQ компании CBS и QS компании Sansui. Кроме того была предложена система фирмы Electro-Voice, в которой использовались четыре громкоговорителя — два передних и два тыловых, а также система Окамото и Купера 1971 года, где использовалась другая конфигурация: центральный, левый, правый громкоговорители и один моноканал для заднего громкоговорителя. За этот период были созданы декодеры, отработана технология квадрозаписи на диски (система RCA/JVC CD-4), был предложен формат квадрозаписи на кассеты, появились в продаже коммерческие квадрофонические записи и т. д. Однако система квадрофонии оказалась экономически неэффективной для бытовой техники и не нашла дальнейшего применения.

Особое место в это время заняла система пространственного звука «Ambisonics», изобретенная М. Герценом и др.

В 1976 году лаборатория Dolby разработала специальную аппаратуру кодирования и

декодирования для четырехканальной матричной системы Dolby Stereo для кино, при этом на тыловые громкоговорители подавался один моносигнал. Система была усовершенствована в 1978 году в этой же лаборатории за счет введения дополнительных фазовых сдвигов для тыловых каналов. В 1983 году фирма Dolby предложила новый алгоритм Pro-Logic, использующий динамическую систему матрицирования. Успешная демонстрация систем пространственного звука при создании кинофильмов подтолкнула развитие домашних систем. Уже с 1982 года системы Dolby Surround начали использоваться в домашних системах звуковоспроизведения, получивших название «домашний кинотеатр».

Третий период — цифровой звук и системы Surround Sound: внедрение цифрового звука, которое было, по существу, революцией в аудиотехнике, началось в 70-е годы. Впервые на конгрессе AES в 1976 году в Нью-Йорке были продемонстрированы цифровые записи на рекордере фирмы Hewlett Packard. В 1970 году была создана первая цифровая линия задержки Lexicon Delta — T 101. В 1975 году фирма EMT разработала первый цифровой ревербератор, а в 1981-м появился лазерный компакт-диск.

Дальнейшим шагом вперед по отношению к используемой в то время четырехканальной матричной системе фирмы Dolby была предложенная фирмой Lucasfilm пространственная система с двумя дополнительными тыловыми громкоговорителями и одним низкочастотным блоком. Эта система в 1991 году была внесена в стандарт ITU-R Rec. BS 775-1.

В 1993 году фирма Sony ввела новую 7.1-канальную систему SDDS, где два дополнительных канала использовались для пяти экранных громкоговорителей. В этом же году фирма DTS показала свою систему пространственного звучания, которая к настоящему времени может обеспечивать передачу до восьми звуковых каналов с диапазоном скоростей от 32 Кбит/с до 4,096 Мбит/с.

В 1993 году цифровая система 5.1-канального пространственного звука была выбрана для телевидения высокой четкости (HDTV), в ней начал использоваться кодер ATSC Dolby Digital (AC-3). Этот же кодер был выбран в 1997 году для обеспечения звука на DVD-Video (с DTS-кодером как альтернативой), а в 1999-м для DVD-Audio с очень высоким качеством пространственного звука. В настоящее время формат 5.1 принят для пространственных звуковых систем в DVD, HDTV, кино и Интернете (хотя появляются предложения о введении SDDS 7.1-формата, различных систем с тремя или четырьмя тыловыми громкоговорителями, IMAX-канальной конфигурации и новой системы с 10.2 каналами). Были сделаны попытки создания систем с использованием дополнительных каналов для вертикальных потолочных громкоговорителей, с увеличенным числом боковых и экранных громкоговорителей и т. д.

Однако обычный стереоформат продолжает еще активно использоваться в аудиокассетах и радиовещании. Попытки извлечь пространственную информацию из стереозвука с помощью специальных пространственных синтезаторов были предприняты в ряде систем: Dolby Pro-Logic II, DTS Neo 6, Lexicon Logic

7 и др. Фактически эти системы являются своего рода мостом между стереосистемами и 5.1 дискретными системами.

К настоящему времени для передачи пространственного звука предлагается много различных способов: цифровые пространственные системы (Surround Sound), системы типа Ambiphonic Ambisonics, Wave Field Synthesis и др.

Что касается будущего пространственных систем, то ближайшая задача, требующая своего решения, — это расширение зоны стереоэффекта: современные системы формата 5.1 обеспечивают достаточно хороший пространственный эффект для центральной зоны расположения слушателей. Для боковых зон происходит расщепление восприятия на отдельные каналы. С увеличением числа каналов зона пространственного эффекта может быть расширена, но вопрос состоит в том, какое количество каналов является оптимальным. Современные средства передачи звуковой информации могут поддерживать большое число каналов: например, для отрезка музыкального сигнала 60 мин и скорости 32 Кбит/канал стандарт DVD может обеспечить 400 каналов. Д. Блауерт показал [66], что для формирования пространственного впечатления примерно двух десятков каналов вполне достаточно. Однако работать в реальном времени с большим количеством каналов звукорежиссеру будет практически невозможно, поэтому вопрос должен стоять следующим образом: как из ограниченного числа передающих каналов автоматически восстановить оптимальное число воспроизводящих каналов. Это задача будущих систем

пространственной звукопередачи. Проблема состоит также и в том, как воспроизвести большое число каналов с помощью громкоговорителей, размещенных в многочисленных точках пространства: на потолке, боковых стенах и т. д.

Если общую проблему дальнейшего развития пространственных систем ставить таким образом, чтобы с помощью дискретного числа каналов передать информацию о непрерывном распределении звукового поля в первичном трехмерном пространстве, то такую задачу практически решить невозможно. Возможно, техника пойдет по пути, указанному в докладе Д. Блаурта на 113-м конгрессе AES: учитывая, что человек обладает всего двумя приемниками информации и с их помощью воспринимает пространственный звуковой мир, надо передавать не информацию о звуковом поле в каждой точке трехмерного звукового пространства, а психоакустическую информацию, которая поступает по двум каналам в слуховую систему, извлекающую из этой информации наиболее значимые признаки, определяющие пространственное восприятие звука. Для этого необходимо построить компьютерную модель слуховой обработки сигналов, с помощью которой установить эти значимые признаки и организовать их передачу по каналам связи. Именно этими вопросами и занимается в настоящее время Институт коммуникационной акустики, возглавляемый профессором Д. Блауртом.

Все материалы взяты из открытых источников, носят исключительно ознакомительный характер и предназначены для студентов кафедры звукорежиссуры ТРФ МГИК очной/заочной форм обучения, на период введённого, в связи с режимом самоизоляции, дистанционного обучения. Не для публичного распространения!

Список источников:

[allprosound.ru](http://allprosound.ru)  
[cambridge-mt.com](http://cambridge-mt.com)  
[digitalmusicacademy.ru](http://digitalmusicacademy.ru)  
[etheroneph.com](http://etheroneph.com)  
[ldsound.ru](http://ldsound.ru)  
[moinf.info](http://moinf.info)  
[prosound.ixbt.com](http://prosound.ixbt.com)  
[samesound.ru](http://samesound.ru)