گذری بر صدای دیجیتال

● بروس و جنی بارتلت
مترجم: علی صفادل

در انواع دستگاه های ضبط آنالوگ ذرات مغناطیسی رویی نوار در قیاس با شکل موج صوتی جهت دار می شوند، اما دستگاه های ضبط دیجیتال، سیگنال صوتی را به کدهای عددی «صفر» و «یک» تبدیل می کنند.
بیایید وارد دنیای صدای دیجیتال شویم تا نگاهی بر ضبط دیجیتال، دستگاه های ضبط DAT، تدوین دیجیتال با DAWها، دستگاه های ضبط CD-R, MDM (Modular Digital Multitracks)، دستگاه ضبط دیسک سخت، MO (Magntic Optic)، MD (Mini Disc) و IC (Integrated Circuit) بیندازیم.

مقایسه دستگاه های ضبط آنالوگ و دیجیتال

صدای دستگاه های ضبط آنالوگ و دیجیتال یکسان نیست. دستگاه های ضبط آنالوگ دقیق اند اما اندکی «گرمی» به صدا می افزایند که به خاطر قدری اعوجاج هماهنگ سوم، تقویت فرکانس پایین توسط هد و فشردگی توسط نوار است. همچنین این دستگاه ها مقداری نویز هیس نوار، خطاهای پاسخ فرکانسی، «وو» و «فلاتر»[1]، نویز مدولاسیون و اثر لایه های نوار را بر هم سبب می شوند.

دستگاه های ضبط دیجیتال این مشکلات را ندارند و صدای آنها خیلی صاف است. اگر چه برخی از دستگاه های دیجیتال در مقایسه با دستگاه های آنالوگ صدای نامطلوبی دارند، اما در تولیدات جدید چنین دستگاه هایی، کیفیت صدای آنها بهبود یافته است. به ویژه دستگاه های ضبط دیجیتالی که می توانند به صورت ۲۴ بیت و ۹۶ کیلوهرتز کار ضبط را انجام دهند، صدایی به صافی صدای دستگاه های آنالوگ دارند. هر دوی این دستگاه ها رنگ آمیزی صوتی مخصوص به خود دارند. پس دستگاهی را که با نوع موسیقی شما از نظر هنری همخوانی دارد، به کار ببرید.

دستگاه‌های ضبط دیجیتال در مقایسه با دستگاه‌های آنالوگ و ریلی، قیمت کمتری دارند، کوچک‌ترند، دسترسی آسان‌تری به اطلاعات زمان‌بندی شده دارند و بارگذاری نوار (Loading یا Tape) گذاشتن نوار در دستگاه و خواندن اطلاعات روی آن در آنها راحت‌تر است.

ضبط دیجیتال

مانند یک دستگاه ضبط نواری آنالوگ، یک دستگاه ضبط نواری دیجیتال، صدا را روی نوار مغناطیسی ضبط می‌کند اما به شیوه‌ای متفاوت. آنچه رخ می‌دهد چنین است:

-سیگنال از میز صدای شما (شکل الف-۱) به یک فیلتر پایین گذر به‌نام Anti - aliasing filter اعمال می‌شود که تمام فرکانس‌های بالای ۲۰ کیلوهرتز را حذف می‌کند.

-سپس سیگنال فیلتر شده از میان یک مبدّل آنالوگ به دیجیتال (A/D) می‌گذرد. این مبدّل، نمونه‌های ولتاژی شکل موج صدا را چندین هزار بار در ثانیه اندازه‌گیری می‌کند. (شکل ب-۱)

-هرگاه شکل موج اندازه‌گیری می‌شود یک عدد دودویی (شامل صفرها و یک‌ها) که بیان کننده ولتاژ لحظه‌ای شکل موج اندازه‌گیری شده، است تولید می‌شود. (شکل ج-۱)

این فرایند، عددی کردن (ationzQuanti) یا کوانتیزاسیون نامیده می‌شود. هر کدام از «یک‌ها» و «صفرها» یک بیت (Bit) نام دارد که یکی از ارقام عدد باینری را می‌سازند.

-این اعداد دودویی به صورت امواج مربعی مدوله شده با بالاترین سطح و به شکل مغناطیسی بر روی نوار یا دیسک ذخیره می‌شوند. (شکل د-۱)

اما فرآیند پخش وارونه است:

-اعداد دودویی از روی نوار خوانده می‌شوند.

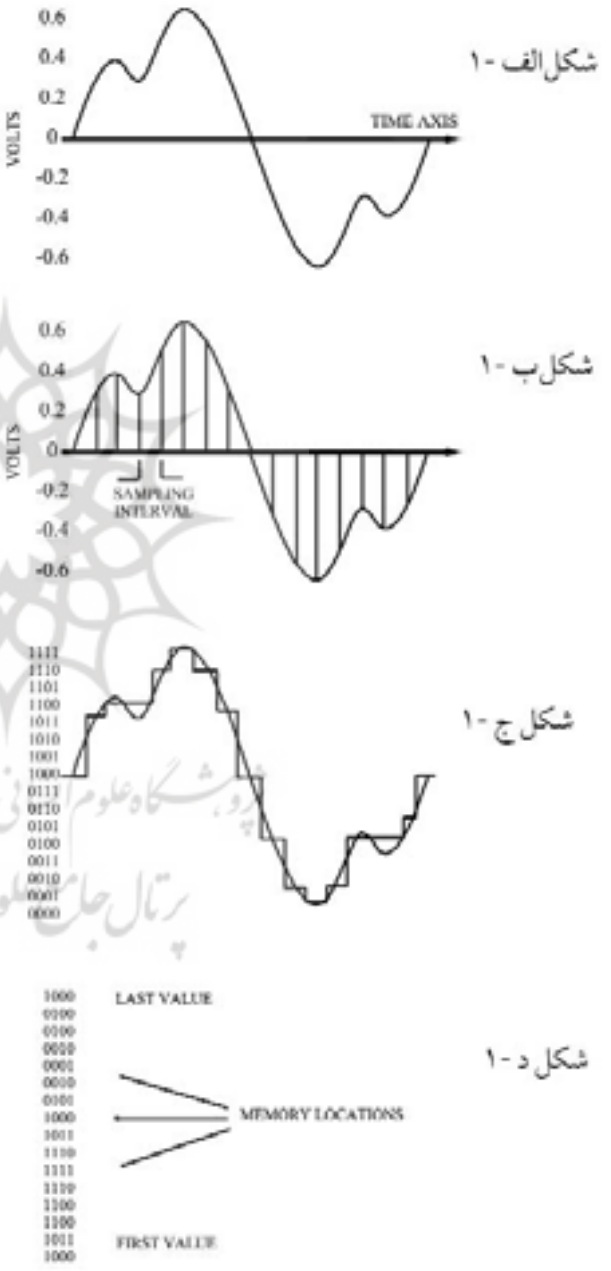
-مبدّل دیجیتال به آنالوگ (D/A) اعداد را به یک سیگنال آنالوگ ساخته شده از سطوح ولتاژی برمی‌گرداند.

-یک فیلتر پایین گذر به نام Anti - imaging filter سطوح ولتاژی سیگنال آنالوگ را برای دستیابی به سیگنال آنالوگ اولیه صاف می‌کند.

از آنجایی که هد پخش دیجیتال فقط «یک‌ها» و «صفرها» را می‌خواند، بنابراین نسبت به نویز هیس نوار و اعوجاج آن غیرحساس است. اعداد خوانده شده برای حذف تغییرات سرعت در یک حافظه موقت (BufferMemory) قرار گرفته، با سرعت ثابتی خوانده می‌شوند.

اغلب خطاها به وسیله تصحیح کننده خطای (Reed-Solomon) اصلاح می‌گردند.

فرایندی به نام پیش‌بینی (Interpolation) اطلاعات گم‌شده را بازسازی می‌کند؛ به این صورت که اگر بیتی ازدست رفته باشد، یک مدار تصحیح خطا براساس بایت‌هایی که قبل و پس از آن قرار دارند، مقدار صحیح آن را «حدس» می‌زند.



شکل ۱- ضبط صدای دیجیتال به صورت مدولاسیون پالس کد یا PCM (Pluse Code Modulation)

تمام دستگاه های ضبط صدای دیجیتال، فرایند یکسانی را برای تبدیل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ به کار می گیرند، اما واسط ضبط آنها متفاوت است. دستگاه DAT از نوار، راه انداز (Drive) دیسک سخت از دیسک سخت مغناطیسی، راه انداز MO از دیسک نوری- مغناطیسی و MO، دستگاه ضبط DVD و CD از دیسک نوری و یک «سمپلر» از حافظه رایانه برای ضبط استفاده می- کنند. کیفیت صدای هر یک از این دستگاه ها به طور اصولی به مبدل های A/D و D/A بستگی دارد.

همان طور که گفتیم برای تولید رشته ای از اعداد دودویی که کلمه (Word) نام دارند، سیگنال صوتی هزاران بار در ثانیه اندازه گیری می شود. هر چه «کلمه» طولانی تر (تعداد بیت های آن بیشتر) باشد، دقت هر اندازه گیری از سیگنال بیشتر است. کلمه های کوتاه قابلیت تفکیک سازی (Resolution) کمی از ولتاژ سیگنال دارند (اعوجاج بالا) در حالی که کلمه های طولانی قابلیت «تفکیک سازی» خوبی را به دست می دهند (اعوجاج کم).

طول کلمه (Word length) ۱۶ بیتی برای بازپخش صدا با کیفیت، قابل قبول (اما نه بهینه) است که استانداردی رایج برای CD می باشد. «طول کلمه» در بعضی از دستگاه های ضبط دیجیتال ۱۸، ۲۰ و یا ۲۴ بیتی است. «طول کلمه» با نام عمق بیت (Bit depth) یا تفکیک بیت (Bit Resolution) نیز شناخته می شود.

نرخ نمونه برداری (Sampling rate) نرخی است که مبدّل آنالوگ به دیجیتال در هنگام ضبط، سیگنال آنالوگ را در آن اندازه گیری یا نمونه برداری می کند. برای مثال، نرخ ۴۸ کیلوهرتز، ۴۸۰۰۰ نمونه در ثانیه است؛ یعنی ۴۸۰۰۰ بار اندازه گیری در هر ثانیه از صدا تولید می شود.

نرخ نمونه برداری بالاتر سبب ضبطی با پاسخ فرکانسی گسترده تر می شود. حد فرکانس بالای سیگنال آنالوگ اندکی کمتر از نصف نرخ نمونه برداری است. اگر نرخ نمونه برداری ۴۴/۱ کیلوهرتز باشد، پاسخ فرکانسی تا ۲۰ کیلوهرتز یکنواخت است. نرخ نمونه برداری ۹۶ کیلوهرتز می تواند بر روی DVD (Digital Versatile Disc) استفاده شود.

نرخ های نمونه برداری ۴۴/۱ و ۴۸ کیلوهرتز تقریباً صدایی شبیه به هم داشته، گرایش به شکنندگی (Brittle) صدا در سیگنال های صوتی سطح بالای فرکانس بالا دارند. نرخ های ۸۸/۲ یا ۹۶ کیلوهرتز به طور

صدای دستگاه‌های ضبط آنالوگ و دیجیتال یکسان نیست. دستگاه‌های ضبط آنالوگ دقیق‌اند اما اندکی «گرمی» به صدا می‌افزایند که به خاطر قدری اعوجاج هماهنگ سوم، تقویت فرکانس پایین توسط هد وفشردگی توسط نوار است. همچنین این دستگاه‌ها مقداری نویز هیس نوار، خطاهای پاسخ فرکانسی، «وو» و«فلاتر»، نویز مدولاسیون و اثر لایه های نوار بر هم را سبب می‌شوند

تقریبی صدایی مانند هم دارند و هر دوی آنها صدایی شفاف تر از ۴۴/۱ و ۴۸ کیلوهرتز ارائه می‌دهند. یک «عمق بیت ۲۴» بیتی صدایی شفاف تر از عمق ۱۶ بیتی دارد. حتی CD های ۱۶ بیتی هنگامی که از CD اصلی ۲۴ بیتی تهیه شوند، صدای بهتری دارند.

به‌طور خلاصه یک سامانه صدای دیجیتال از سیگنال آنالوگ نمونه گیری می‌کند و به هر نمونه یک مقدار عدد می‌دهد.

نرخ نمونه‌برداری بر پاسخ فرکانس بالا و عمق بیت بر گستره پویایی، نویز و اعوجاج اثر دارد.

برطبق نظریه نایکویست (Nyquist theorm) حد فرکانس بالا نصف نرخ نمونه‌برداری است. دیسک‌های فشرده (CD) از نرخ نمونه‌برداری ۴۴/۱ کیلوهرتز استفاده می‌کنند، به‌طوری که پاسخ فرکانسی آنها تا ۲۲/۰۵ کیلوهرتز گسترده می‌شود. در هنگام انتقال

دستگاه‌های ضبط دیجیتال در مقایسه با دستگاه‌های آنالوگ و ریلی، قیمت کمتری دارند، کوچک‌ترند، دسترسی آسان‌تری به اطلاعات زمان‌بندی شده دارند و بارگذاری نوار در آنها راحت‌تر است

اطلاعات دیجیتالی دو کانال یک برنامه صوتی استریو مالتی پلکس (Multiplex) می‌شوند؛ یعنی یک «کلمه» از کانال یک با «کلمه‌ای» از کانال دو دنبال می‌شود که آن نیز با «کلمه‌ای» از کانال یک دنبال می‌گردد و الی آخر.

پالس ساعت (The Clock)

هر دستگاه صدای دیجیتال یک پالس ساعت دارد که زمان‌بندی (Timing) سیگنال‌هایش را تنظیم می‌کند. پالس ساعت مجموعه‌ای از پالس‌هاست که با نرخ نمونه‌برداری دستگاه کار می‌کند. هنگامی که شما صدای دیجیتال را از یک دستگاه دیگر می‌فرستید، باید پالس‌های ساعت آنها هم‌زمان شده باشند؛ بدین ترتیب که یک دستگاه پالس ساعت اصلی (Master Clock) را تهیه کند و دیگری پیرو (Slave) آن باشد. اگر صدای دیجیتال را از دستگاهی به دستگاه دیگر ارسال کنید، دستگاه گیرنده با پالس ساعت دستگاه فرستنده، هم‌زمان می‌شود. این پالس‌های ساعت در خود سیگنال دیجیتال گنجانده شده‌اند. اگر به‌طور هم‌زمان اطلاعات (Data) را از چندین منبع می‌فرستید، از یک کابل جداگانه برای اتصال خروجی «کلمه» پالس ساعت یک دستگاه به دیگر دستگاه‌ها استفاده کنید.

فرمت (Format)های سیگنال صدای دیجیتال

سیگنال‌های صدای دیجیتال چهار فرمت اساسی دارند: AES/EBU، S/PDIF، ADAT و TDIF.

- AES / EBU (Audio Engineering Society / European Broadcasting union) فرمت حرفه‌ای دو کانالی است که از کابل دو سیمه شیلد[۲] (Shilded) شده ۱۱۰ اهمی متقارن و جک اتصالی نوع XLR استفاده می‌کند. دراین فرمت سیگنال در بردارنده صدای دیجیتال به‌علاوه پالس ساعت (یا یک پالس ساعت جداگانه بر روی کابل دیگر) است. کابل AES/EBU می‌تواند تا ۶۰ متر طول داشته باشد اما طول کابل پالس ساعت باید حداکثر ۶ متر باشد.

- S/PDIF (Sony/Philips Digital Interface Format) فرمت خانگی یا نیمه حرفه‌ای دو کانالی است. در اینجا سیگنال دربردارنده صدای دیجیتال بعلاوه «کلمه» پالس ساعت است و یک کابل هم محور (Coaxial) ۷۵ اهمی، جک BNC یا RCA و یا کابل فیبرنوری و جک Toslink به کار برده می‌شود. واسطه‌های نوری از «حلقه‌های زمین» و تضعیف‌های کابلی (Cable losses) پیشگیری می‌کنند. ولتاژ سیگنال‌های AES/EBU بیشتر از S/PDIF هستند و S/PDIF برخی اوقات دارای Scms می‌باشد که روشی برای محافظت در برابر نسخه‌برداری است.

- فرمت ADAT (Alesis Digital Audio Tape) هشت کانال صدای دیجیتال ورودی و خروجی را بر روی یک کابل واحد نوری با جک‌های TOSLINK می‌فرستد. این فرمت در دستگاه چند شیاری دیجیتال ماژولار، ساخت شرکت **Alesis** کاربرد دارد.

- TDIF (Tascam Digital Interface Format) و دستگاه‌های چند شیاری دیجیتال ماژولار مشابه از کابل چند سیمی با جک اتصالی استاندارد ۲۵-DB استفاده می‌کنند. TDIF، هشت کانال صدای دیجیتال ورودی و خروجی را بر روی یک کابل واحد می‌فرستد که این کابل می‌تواند تا پنج متر طول داشته باشد.

پاورقی:

۱. WOW & Flutter: WOW (وو) تغییرات کم سرعت نوار و Flutter (فلاتر) به تغییرات زیاد سرعت نوار است.

۲. غلاف توری فلزی که دو سیم اصلی حامل سیگنال را احاطه می‌کند تا تأثیر امواج مزاحم را از بین ببرد.

منبع:

Bartlett B & J.(In Presss). **Practical Recording Techniques**. U.S.A: Focal Press. (2002).

❖ ❖ ❖