

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ХАРДУЕРНИТЕ МАСТЕРИНГ КОМПРЕСОРИ В ПОСТПРОДУКЦИЯТА

Доц. г-р Христо Карагьозов

APPLICATION OF HARDWARE MASTERING COMPRESSORS IN POST-PRODUCTION

Assoc. Prof. Dr. Hristo Karagyzov

Резюме:

Хардуерните мастеринг компресори са задължителна част от всяко студио, специализирано в областта на мастеринга. Те обаче, както ще разберем от тази студия, не винаги могат да изпълнят всички специфични задачи, пред които е поставен мастеринг инженерът. Това е така поради някои особености в алгоритмизирането, което се използва в звуковия процесинг, който е отговорен за постигането на конкретните задачи на финалната звукова обработка. Поради това се налага употребата на хибридни сетъпи, които се различават както като комутация, така и като видове устройства в зависимост от стила на мастеринг инженера и от концепцията на съответното студио. При все това обаче ролята на хардуерните процесори в мастеринга остава висока дори при наличието на нови и модерни софтуерни алгоритми за обработка на музикалната тъкан.

Ключови думи:

Мастеринг, постпродукция, звуков процесор, миксинг, звукова обработка, хардуер

Abstract:

Hardware mastering compressors are a must-have in any studio specializing in mastering. However, as we will learn from this study, they cannot always fulfill all the specific tasks that the mastering engineer is faced with. This is due to some peculiarities in the algorithmization used in sound processing, which is responsible for achieving the specific tasks of the final sound

processing. Therefore, it is necessary to use hybrid setups, which differ both in terms of switching and in types of devices. These setups depend mostly on the style of the mastering engineer; and on the concept of the respective studio. However, the role of hardware processors in mastering remains high even with the availability of new and modern software algorithms for processing the music.

Key words:

Mastering, post-production, sound processor, mixing, sound processing, hardware

В съвременния свят на звукообработката като част от постпродукционния процес властват преди всичко софтуерните решения. Причините за това са много.

На първо време трябва да се отбележи неотклонното преминаване към студийни конфигурации, които използват DAW за почти пълна виртуализация на тонрежисьорската технологична база – подход, който има своето оправдание както от финансова, така и от ергономична гледна точка. На практика за разлика от самия процес на тракинг, който неизменно е свързан с акустичната среда и звуковите събития в нея, последващата работа, особено в средата на дигиталното пресъздаване на звуковата реалност, може в голяма степен да бъде сведена до алгоритми, симулиращи много от процесите в аналоговата среда. На практика дигиталните процеси на софтуерно ниво „канибализират“ другите си дигитални събратя, базирани на назначен хардуер, като в повечето случаи успешно ги пресъздават. Така често можем да видим софтуерни решения, емулиращи не само аналогови, но и дигитални смесителни конзоли, или пък „plug-in“ копия на успешни процесори, които в миналото са били запазена марка за хардуерния свят. Понякога можем да срещнем дори хардуерни копия на процесори, изначално замислени като изцяло софтуерни (като например небезизвестния Waves L2), като подтикът за това решение обикновено е звукозаписната или озвучителната индустрия, които се нуждаят от такова решение в реално време и в реален сетъп.

Съществува и друга основателна причина за разпространението на софтуерните аудио процесори. Доскоро видовете звукообработка можеха без особен проблем да се сведат до три основни вида – честотни (еквалайзери), динамични (с техните четири основни вида и някои допълнителни разновидности), и третият, условно наричан „акустични“ – там бихме причислили всички устройства, които работят с друг вид модификация на звука (амплитудна и честотна модулация, изкривявания от всякакъв род), както и такива, които

създават акустични симулации на базата на размножаване на вълната и позициониране на нейните копия по фаза, отстояние, панорама и т.н. – ревербератори, delay-ефекти, хоруси и т.н.



Днес подобна класификация, успешно просъществувала повече от 50 години, може да се счита само за частично валидна, тъй като в света на звуковите процесори са навлезли и нови техни събрата, които имат за основа или комбинация от съществуващите алгоритми, или са направени на по-нова база.

АЛГОРИТЪМ

Тук няма да се спираме на понятието „алгоритъм“, както и на видовете алгоритми, които се използват за решаване на дадени синтактични, логически или компютърни задачи. Разбира се, в света на звуковите процесори се използват различни алгоритмични методи, за да се опише даден процес и при задаване на началните параметри под формата на входен сигнал да се стигне до изходните резултати, реализирани като модифициран от софтуерния процесор звук. Понятието „алгоритъм“ има различна ширина на научната си

конотация в чистата математика, в логиката, в лингвистиката или в света на компютърното програмиране – от метод за управление на дедуктивните процеси изобщо, до специфични задачи в работата с множества и биективното съотнасяне на елементите, от които те се състоят, с друг вид символи, с които да оперираме и които да подлагаме на изчисление. Така според Ковалски алгоритъмът може да се разглежда като контролирана логическа дедукция¹.

В сферата на аудио процесинга заедно с това се прилагат различни видове имплементации на алгоритмите. По отношение на тактовите цикли и разпределението на задачите можем да видим както серийни, така и паралелни и разпределени алгоритми в зависимост от процесорната база за тяхната реализация, а и според логиката на оптимално софтуерно конструиране на конкретния процес. От друга страна, доколкото бихме могли да предположим, че в основата на аудио процесинга досега са стояли детерминирани алгоритми, при които се преминава през строго определен комплекс от процедури за постигането на ясен и предвидим резултат, със същата степен на вероятност бихме могли да предположим, че в търсенето на решения, които работят с голям обем от входни данни и са базирани на стохастични процеси, може да се търсят програмни методи, основани на евристични алгоритми – в ситуации като например шумопотискане, voice-processing, разделяне на фонограма на нейните звукови съставляващи и т.н. Доколко това е така, могат (разбира се) да кажат единствено създателите на съответните алгоритми от бранша на софтуерния звуков процесинг. При всички положения обаче в днешно време се наблюдава бум на такива програмни решения поради повишаването на процесорната производителност, даваща възможност за работа с големи обеми от данни, както и поради възхода на AI базирани изчисления.

Заедно с това не трябва да се забравя, че алгоритъмът като дедуктивен и впоследствие изчислителен модел не е панацея за решаването на цялото многообразие от задачи, характеризиращи човешката дейност. Някои алгоритми използват линейно време за изчисляване на края на задачата си, други – експоненциално, а за определени алгоритми няма сигурност, че могат да стигнат до решение в измерим времеви период. Заедно с това съществуват неизброимо количество действия, които изобщо не могат да бъдат сведени до алгоритъм. Прямо тях няма как да се приложи методология, която да ни позволи да изградим програмен код, с който да пресъздадем съответния про-

¹ Robert Kowalski - Computational Logic and Human Thinking: How to be Artificially Intelligent

цес като поредица от прогнозируеми последователности, водещи до дефинируем краен резултат – тоест да се създаде софтуерна симулация на съответния процес или поредица от събития, в действителността. Разбира се, можем посредством алгоритми да анализираме постфактум тези процеси или събития, както и да направим съответните статистически или други изводи. За целите на звукотехниката обаче е важно да дефинираме, че в такава ситуация не можем да създадем устойчив (този преекспониран термин от съвременния политически живот) модел на дадени звукови решения от тонрежисьорската практика – нещо напълно нормално. В противен случай доброто миксиране или мастеринг щяха да бъдат сведени до аналога на подаване на входящата информация на перфокарта, а машината впоследствие би могла да „изплюе“ готовия резултат.

В „Аз, роботът“ на Азимов такъв пример е даден от героите на един от разказите – Паул и Донован, където един от роботите показва странно поведение. То, както се оказва, е продиктувано от комплексните условия, в които този робот се озовава, което води до факта, че програмирането на задачите му не е можело да вземе предвид всички действащи в този момент фактори. Машината не може сама да вземе решение на базата на ситуация, която не може да бъде сведена до модел.

Както се изказват лирическите герои от поредицата – „Не можеш да пратиш работа някъде и да му кажеш – „Иди и виж какво става“...“²

Така и в нашата работа не можем да кажем на DAW – направи микса добре. Отговорът ще бъде – „дефинирай ДОБРЕ“. Тъй като подобна дефиниция е само в много малък процент подлежаща на алгоритмизиране на базата на звукови параметри, а в огромната си част е плод на естетически, подсъзнателни, антропоморфни, инстинктивни, психофизиологични и други фактори, не поддаващи се на логически анализ, подобна задача по дефиниция е невъзможна. Миксът ще остане запазена марка за човека, аналитичната му преценка – също.

Използването на научната фантастика като научен пример може да изглежда спекулативно като подход, но по отношение на Азимов, Лем и Стругацки това не е така – тук имаме работа с визионери от най-висок ранг, които са предвидили както технологичните, така и социалните изпитания, с които предстои да се сблъска човечеството напред във времето.

2 Айзък Азимов - I, Robot, 1950

ЗВУКОВ ПРОЦЕСИНГ

В съвременното звукотехническо развитие ставаме свидетели на усложняване на алгоритмите, чрез които можем да опишем даден звуков процес. Това води до факта, че, както вече казахме, теоретичното класифициране на видовете процесори се усложнява, а от друга страна – имаме възможност за създаване на по-комплексни процесори, които работят на базата на комбинираното действие на повече фактори при модифицирането на звуковата реалност.

Това само по себе си е положително явление, тъй като това модифициране на звуковата реалност действа винаги на принципа на селективното действие на процесора спрямо даден ключов фактор – в противен случай той просто ще видоизменя еднакво всички звуци, което не е нашата цел (типичен пример би било действието на каналния фейдър – еднакво за целия преминаващ през него звук). Когато моделът на ключовия фактор се усложни (тоест факторите стават повече от един), могат вече да се програмират по-сложни зависимости – например:

- динамичното регулиране да е честотно зависимо; или пък:
- да се внасят селективно хармоници на база честотна или динамична разлика;
- и какво ли още не.

Така можем да създаваме много и различни процесори, които трудно (не задължително невъзможно) бихме получили в аналогова среда – мултибандови компресори, активни еквайзери, сатуратори, хармонайзери, transient дизайнери и т.н. По този начин също така можем да симулираме и специфични нелинейности на съществуващи процесори, за да направим техни софтуерни клонинги – комплексният алгоритъм ще ни позволи на практика неизброими пермутации на звука, основани на различни комбинации от входните му параметри.

Логичен е въпросът дали необходимостта от хардуер в областта на процесинга (особено аналогов) не е отпаднала, щом:

1. при това положение възможностите на софтуера са толкова засилени в днешно време, и;

2. при положение, че можем да клонираме специфичен хардуер, ако поискаме точно неговите особености на звуково пресъздаване.

Така попадаме в ера на своеобразен технологичен трансхуманизъм, където виртуалното е в състояние да погълне реалното, оставяйки ни в една софтуерно модифицирана вселена, където единствено микрофоните, предусилвателите, конверторите и високоговорителите са връзката ни с физическия свят. Всичко останало вече е в сферата на пренасянето и преизчисляването на двоичен код – носителят на звуковата информация.

В този момент (както обикновено) дискусията между adeptите на двете тенденции (софтуерната и хардуерната) се пренася на полето на емоционалните, вместо на рационалните аргументи, както впрочем много често в човешката история и практика. От едната страна аргументите са:

- „1+1 винаги е равно на 2“, следователно няма особена разлика между изчисленията, направени от софтуер, и от хардуер³;

докато от другата:

- „разликите са очевидни“ и „гроздето е кисело“, т.е. който не може да си позволи хардуер, излиза с аргумента, че нужда от такъв просто няма.

Ясно е в кой лагер се намират, от една страна, притежателите на големи студия, а от друга – bedroom продуцентите. Все пак и от двете страни можем да наблюдаваме както прекрасни миксове и мастери, така и големи провали – така че качеството на готовия продукт не винаги е определящо за взимането на решение по отношение на тази нестихваща дискусия.

ДИНАМИЧНИ МАСТЕРИНГ ПРОЦЕСОРИ

В този момент е време да прецизираме посоката на нашия дискурс – а именно мастеринг процесорите, и по-специално динамичните такива. Процесингът сам по себе си е прекалено обширна тема, за да го разискваме в рамките на този относително малък научен жанр, така че нека се опитаме да хвърлим светлина върху съответния частен случай – динамичните процесори в мастеринга – и по-специално върху хардуерните такива.

3 На практика всички изчисления се извършват от някакъв вид хардуер – тук говорим по-скоро за това кое е механизмът, управляващ процесите.

Първо: нека прецизираме задачите, които поставяме пред себе си в контекста на динамиката на сигнала при етапа на мастеринг. Бидейки ограничени в рамките на готовия микс (обикновено двуканален), ние сме изправени пред много предизвикателства, когато се опитваме да подобрим динамичното представяне на звуковия продукт, който ни е предоставен. Това е така, защото основните елементи на този продукт вече са интегрирани в едно цяло и това, заедно с фактурата и аранжимента, както и използваните средства по време на микса, е предопределило плътността на фонограмата (ако решим да я дефинираме във „фонове“, тоест на базата на нейната субективна гръмкост).

В днешно време наложената звукова мода, особено в областта на популярната музика от която и да е жанр, изисква комбинация от съблюдаване на максимално високи пикови нива в съчетание с висока средностатистическа плътност (т.нар. average level). Съотношението между двете стойности, обикновено дефинирано като crest factor, трябва да е достатъчно голямо, за да осигури достатъчен headroom на звуковата картина – в противен случай тя става силна като усещане, но губи като транзиенти, губи в силата на началните импулси (която обикновено наричаме punch), а и по отношение на т.нар. транспарантност, тоест способността ни да дефинираме елементите в микса.

Както се изразяват инженерите на iZotope, жертваме фактора **clarity**, за да си осигурим фактора **density**.⁴

“Все пак има неща, които могат да се правят в цифров формат, като например фазово линеен еквалайзер или FFT-базирано спектрално редактиране, и които са – и винаги ще бъдат – невъзможни в аналогов.”



⁴ <https://www.izotope.com/en/learn/clean-mastering#:~:text=1.,spectral%20distribution%20of%20your%20track.>

Къде можем да търсим предимствата и недостатъците на софтуерните динамични процесори, и къде – на хардуерните?

Когато разработваме математически модел на подобно устройство, можем да тръгнем по два пътя – или да се опитаме да „снемем“ характеристиките на реално съществуващо такова, и впоследствие да направим софтуерния му аналог, или да започнем „from scratch“, както се казва, и да създадем нещо принципно ново.

В първата ситуация ние ще се опитаме да се придържаме към особеностите на прибора, който симулираме, възпроизвеждайки както положителните, така и отрицателните му страни. В ситуация на микс недостатъците са в много случаи търсени, тъй като придават необходимия характер на звука – бил той плод на търсен ефект или на конструктивни ограничения на съответното устройство. Така култови за времето си динамични процесори като 1176 не се славят с чистия си звук или разнообразието от контроли, което не ги прави по-малко търсени в ситуация на постпродукция. От друга страна, други компресори като Elysia Alpha, Maselec MTC-1X или Millenia TCL-2 работят в много „чист“ режим, с огромен честотен диапазон, свръхмалко ниво на THD и ниско ниво на собствен шум. Така дори когато се прави софтуерна симулация на подобен ефект процесор, тя симулира и неговите силни страни, което я прави подходящ кандидат за употреба в мастеринг сетъп.

При втората хипотеза – направата на софтуерен динамичен продукт от нулата – ние не сме ограничени от съществуващ дизайн и преходни характеристики. Това е добре, защото в средата на чист математически модел може да се тръгне от избран от екипа механизъм на компресията – както спрямо метода за детектиране на сигнала, така и по отношение на начина, по който ще се осъществява компресията на звука. Това се съчетава и с възможността за добавяне на допълнителни контроли (т.е. усложняване на алгоритъма на компресия на базата на нови управляващи фактори), както и въвеждането на функции, трудно реализируеми при аналоговия процесинг (като look ahead например). Когато Джордж Масенбург говори за създаването на MDWDRC2 – Native, той признава, че на практика е тръгнал от нулата, тъй като хардуерният 8900 Dynamic Range Controller (той нарича мастеринг компресорите си „контролери на динамичния диапазон“) не е можел да послужи за отправна точка поради необходимостта да се вградят по-комплексни алгоритми в дизайна на

новото му устройство⁵. Тук виждаме как като концепция софтуерните решения често изпреварват хардуерните си аналози поради по-прогресивния дизайн.



В примера с MDW DRC2 – Native ние виждаме почти всичко, необходимо за избягването на нежелани артефакти в звучността, приложено в този продукт – при това без да се прибегва до диференциация на честотните ленти – както се постъпва в мултибанд решенията (тоест говорим за класически компресор). Това безспорно се дължи на иновативните решения, голяма част от които могат да бъдат осъществени само в софтуерна среда, просто защото не съществува начин за апаратната им реализация, особено в аналогов домейн.

Успоредно с това можем да посочим и абсолютно класически като дизайн софтуерни компресори, които се използват често в режим на мастеринг заради чистия си звук и липсата на оцветяване, което се търси както в този етап на работата, така и когато търсим максимална прозрачност на тона в режима на миксинг. Примери за това има много – един от тях е не особено популярният **Sonoris Mastering Compressor (SMCP)** или LP SplitComp на Algoritmix. В тази група попада и софтуерният аналог на реално устройство **Weiss DS1-MK3** в реализация на Softube.

5 <https://www.youtube.com/watch?v=jOMVduGONtI>



Проблемът с компресията на звука от гледна точка на слуховото ѝ приемане като ефект е в това, че имаме работа с неестествен начин на видоизменяне на звуковата тъкан. Докато в целия слухов тракт – от ушния канал до обработката в мозъчната кора – можем да наблюдаваме честотна промяна, равна на еквилизация, която на определени етапи е много силна, а в други играе ролята на последващ коректор (а понякога остава непроменена – както при Флетчер-Мънсъновите криви), то динамичното коригиране е характерно само за най-гърмките области на реалната звучност, където то се комбинира с чувствително повишаване на нелинейните изкривявания в слуховия тракт.

Така че: докато слухът е доста толерантен към еквилизационните промени, това не може да се каже в същата степен за което и да е изменение в динамиката на сигнала, което е някакъв вид функция на нивото на входния сигнал (а не е просто volume промяна). Компресията засяга в равна степен и транзитите на звука, които са решаващи както за тембралното разпознаване, така и за усещането за „тяга“ (punch). Така пред нас стои невъзможната задача да реализираме достатъчно голяма степен на динамична редукция, като при това сведем до минимум отрицателните ефекти на компресията.

Къде в тази дискусия стоят хардуерните решения и достатъчно релевантни ли са те, при положение че досега говорихме преди всичко за предимствата

на софтуера при подобни реализации?

Първо трябва да изхождаме от определени общи недостатъци на дигиталното представяне на звука; после можем да се насочим към сетъпите и комутицията, които избираме в тази връзка, за да постигнем оптимално качество и слухово приемане на резултата; и накрая ще обобщим ролята на хардуерните динамични ефектпроцесори в тази хибридна среда.

ЗВУКЪТ В АНАЛОГОВА СРЕДА

Звукът по природа е континуитетен. Това означава, че той не е ограничен до дискретни стойности както във времето, така и по амплитуда. Това означава, че обвиващата крива (без значение дали е в акустичната си среда или е вече преобразувана в променливотоков сигнал) е непрекъсваема по природа и може да бъде ограничена само от честотните или амплитудните ограничения на системата – нещо, което обикновено не е проблем на етапа на пренасяне на звука.

В аналогов домейн – при преобразуване на звука в електрически сигнал и последващото го предаване – тези характеристики на звука се запазват непроменени, което изиграва огромна роля за естествеността на приемането му от нашия физиологичен апарат. В режим на аналогов звукозапис (електромеханичен и електромагнитен) това остава валидно, като обаче настъпват някои ограничения – някои от тях по отношение на предаваната честотна лента, други – по отношение на динамичния диапазон, а трети – свързани с настъпващи в самия процес изкривявания, интермодулация, промяна на стереокартината, някои привнесени смущаващи съставки и други нежелани ефекти.

Динамичният диапазон се видоизменя в режим на възпроизведен **аналогов** звук по две основни причини.

1. Първата е технологична.

При електромеханичния и електромагнитния запис динамиката на възпроизведения сигнал достига максимум 60 dB, при положение че не се използват допълнителни средства за шумопотискане. Това, съпоставено с около

100-110 dB на динамиката на възпроизвеждане на музика от класически тип в концертна зала, е явно недостатъчно. Използването на близки микрофонни техники (т.нар. spot-микрофони) създава още по-големи предизвикателства пред звукозаписа, което в момент на тракинг създава необходимост от ограничаване на динамиката на входния сигнал.

Но сега говорим за крайна обработка (мастеринг). Тук основното е как да транспонираме оригиналния динамичен диапазон към условията на аналогов звукозапис. Ако трябва да направим времева екстраполация, това е и една от основните причини, поради които цифровите звукозаписни системи възникват много преди компютърната революция на DAW от 90-те години (компакт-дискът започва да се налага като носител още след 1982 г)⁶.

2. Втората причина за ограничаването на динамиката на възпроизведения звук не е свързана с технологични недостатъци, и следователно не е възможно да бъде елиминирана просто чрез възпроизвеждане в цифрова среда.

Тя е следствие от социалната и цивилизационна роля на звука и в частност на музиката, респективно се отнася към звуковата среда и към условията, където тази музика се потребява. Градската, работната, транспортната среда не са подходящи за музикална консумация – говорим за изключително ограничена работна динамика на звукоизлъчването, „затисната“ в долната част на диапазона си от околния шумов фон, а в горната – от изискването за максимални позволени звукови нива спрямо околните в градското жизнено пространство. Няма да се спираме на отделните казуси в тази област, а и при създаването на звуков продукт (микс и мастеринг) не можем да правим безброй негови версии, съобразени с всеки от тези казуси.

Така работната динамика на възпроизведения звук намалява драстично като диапазон. Често това е проблем, чието решение се търси извън пределите на вече създадената фонограма – като се използват средства за ограничаване на крайната динамика след изготвянето на звуковия мастер. Това са динамичните оптимизатори в медиите, които се съобразяват както с общите технологични изисквания, така и с особеностите на отделните програмни модули; това могат да бъдат и крайните възпроизвеждащи системи на потребителя – като се започне от режимите на dynamic range control при DVD устройствата и се стигне до аудио опциите при автомобилната мултимедия и компютърния звук.

6 Компютърната революция като такава започва, разбира се, преди това. Тук говорим за бума на създаването и прилагането на DAW системите, за който бяха необходими определени технологични предпоставки.

Такива системи има достатъчно и в аналоговите устройства.

При всички случаи обаче трябва в процеса на крайна оптимизация на готовия микс да работим върху динамиката, като (както видяхме досега) в голяма част от работата се налага нейното ограничаване – или чрез компресия, или чрез лимитиране, или и двете. От мастеринг инженера се очаква по такъв начин да ограничи крайната динамика, че да сведе артефактите от компресията/лимитирането до минимум, и заедно с това да направи ефекта от намаляването на динамиката по-малко чуваем.

ЗВУКЪТ В ЦИФРОВА СРЕДА

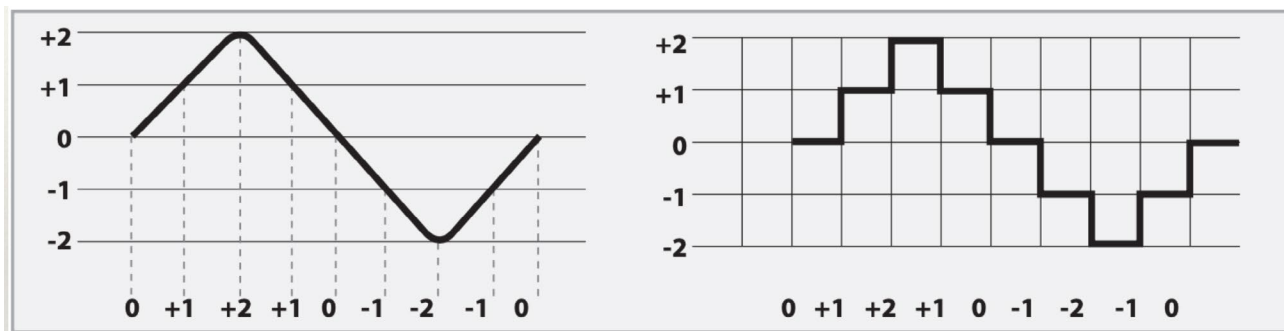
Сега нека видим как се променя технологичната база на звукообработката в режим на **цифров** звукозапис и възпроизвеждане.

Както казахме, аналоговият звук е континуитетен по природа - непрекъсваем по време и по амплитуда. За разлика от него аналоговото видео изображение още от времето на братя Люмиер е дискретно по време – състои се от определен брой неподвижни образи, които мозъкът ни обединява в усещане за движение. При записа върху филмова лента или магнитна такава обаче все пак нямаме дискретни стойности на градациите на нивата на яркост и цвят, което все пак прави изображението континуитетно поне в един от неговите аспекти.

При цифровата звукова информация имаме процес на дискретизация както по абцисната, така и по ординатната ос на обвиващата крива. Така нашата звукова информация страда от непълно представяне по време – чрез ограничението на **семплиращата честота**, определяща честотния диапазон на записания звук; и по амплитуда – чрез ограничението на **битовата резолюция**, определяща динамичния диапазон на звука.

Отклоненията в моментите на семплиране или в отчитането на вече записаните семпли водят до некоректно отчитане на семплите, което наричаме **джитер**. А несъвършенството в квантуването на сигнала, идващо от факта, че амплитудите на звука не могат да заемат стойности между две фиксирани квантизационни нива, и съответно трябва да се усреднят към най-близкото

ниво, се наричат **квантизационни загуби** или **грешки**.



В комбинация тези проблеми, идващи от факта, че континуитетния в аналогова среда звук се превръща в поредица от дискретни приблизителни стойности в цифрова среда, водят до факта, че въпреки очевидните си проблеми аналоговият звуконосител често е предпочитан пред цифровия, което се наблюдава и в днешно време с възхода на виниловите плочи – бивш еталон за некачествен запис. На практика цифровите грешки са много по-неестествени за ухото от аналоговите дефекти и съответно са по-дразнещи дори когато са по-малко чуваеми и с по-ниска амплитуда. Доказателство за това е фактът на **дитера** като опит за палиативно решение на ограничението на битовата резолюция – в записва се индуцира шум, с който сме се борили толкова години в аналогова среда – и всичко това, за да елиминираме частично ефекта от квантизационните загуби.

На практика би трябвало дори 16-битов звук да ни дава необходимия динамичен диапазон, тъй като той осигурява 93 dB динамика. Всъщност обаче под -35dB сигналът става на практика неизползваем поради факта, че само част от битовата резолюция се използва в този момент, което драстично намалява качеството на звука и го примесва с напълно неприемливи артефакти. Получава се абсурдната ситуация, при която аналогов магнетофонен запис с добавена consumer система за шумопотискане от среден клас звучи доста по-добре от професионална система DAT, която е записана в присъщия за нея 16-битов режим.

В днешно време използването на високи битови резолюции елиминира до голяма степен този проблем, когато бива използвано. Все пак повечето стрийминг платформи, на които съвременното общество слуша музика, в съчетание с масово използваните в тях психоакустични кодери, на практика унищожават качеството на възпроизвеждане, което получава крайният потребител. YouTube и Spotify са пример за това.

Досега говорихме само за процеса по запис и възпроизвеждане. Когато обаче влезем в студийна среда (тоест започнем да създаваме продукт), се изправяме пред нови предизвикателства, свързани с конвертирането на звука при преминаването му от аналогов в цифров вид, както и с виртуализацията на всички бивши хардуерни процеси, извършвани в едно студио – което от своя страна води до нови загуби в общата звучност.

На практика **почти всички апарати за работа със звук се виртуализират** с изключение на входно-изходните точки за аналогова комуникация с външния слухов свят. Това са смесителни пултове, ефект процесори, семплери, комутация, многопистов и мастер рекордери, шини и път на сигнала. Това, което преди е било електрическо сумиране на напрежения (напълно естествена процедура по обединяване на континуитетно съществуващи вълни, водеща до същите резултати, както при взаимното движение на звуковите лъчи в акустичното пространство), сега се превръща в **математическа процедура по рекалкулация на дискретни стойности**, приблизително описващи определени моментни състояния на бившата аналогова вълна, и преминали през достатъчен брой конверсии (аналогово-цифрови и обратно). Така дигиталните артефакти се натрупват и водят до една доста добра симулация на това, което бихме създали в аналогово студио, която симулация обаче създава слуховото впечатление за безжизненост и плоскостност на звуковия образ.

Какви са възможните решения?

Тъй като вероятността за връщане към аналоговата технологична линия на продуциране е, както би се изразил Удхаус, меко казано проблематична; а от друга страна, търсенето на високо качество и удовлетворяващ естетиката звук е наша крайна цел, то хибридно решение би било най-добрият компромис в тази ситуация. В днешно време наблюдаваме хибридни решения навсякъде в студийните сетъпи – стандартната смесителна конзола се разгражда на съставните си части и нейните функции се изземват от нововъзникнали или стари устройства – моногочанални предусилватели, сумиращи модули, фейдър и монитор контролери, комутационни полета. В тази среда основното, за което трябва да се погрижим, е да създадем условие за излизане от дигиталния домейн с неговите характерни проблеми (обикновено след процеса на запис) и максимално качественото конвертиране в аналогов вид, за да могат определени процеси да се извършат в по-приемливата за нас аналогова среда. Впоследствие обаче обикновено ни предстои връщането към цифровата регистрация на крайния продукт, което съответно трябва да се извърши отно-

во по най-висококачествен начин. При тези конверсии от дигитал към аналог и обратно най-важното е да съблюдаваме най-високите стандарти на конвертиране, в противен случай грешките в този процес ще нулират предимствата, които сме се опитали да постигнем, когато сме влезли в аналогова среда.

В ситуация на смесване логично решение, ако искаме да избегнем артефактите на цифровото сумиране и рутинг, би било да използваме две опции:

1. Да използваме аналогов смесителен пулт;
2. И да използваме т.нар. summing mixer.

И в двата случая трябва да рутираме каналите на софтуерната конзола на нашето DAW към физически изходи на звуковия си интерфейс, а оттам да подадем тези изходи към входовете на аналоговата си конзола. Системата е хибридна, тъй като голяма част от нашия процесинг остава в insert-шините на виртуалната конзола поради факта, че съществуват достатъчно специфични звукови ефекти, които трудно могат да бъдат транспонирани в аналогова среда – сатуратори, voice процесори, модули за шумопотискане и т.н. Разликата между двете концепции е във факта, че използването на аналогова конзола дава доста повече възможности за реално смесване (като на практика много от сериозните аудио инженери ползват много малко от софтуерните решения и смесват изцяло в аналогова среда), докато при summing миксера се залага единствено на това сумирането на отделните звукови източници да се извърши аналогово, докато балансът и ефектите са предоставени на виртуалната система.

И в двата случая могат да се използват хардуерни процесори - което е и едно от преимуществата на подобен подход. На практика всички професионални host-приложения за миксинг имат възможност да насочват както insert входно-изходните шини, така и aux-шините за изпращане и приемане на сигнал за обработка както към виртуални точки (чрез т.нар plug-ins), така и към физически точки за вход/изход. Така DAW системите са органично хибридни и винаги могат да се интегрират с хардуер за звуков процесинг.

Този процесинг, разбира се, може да се осъществи и в режим на insert на груповите канали, както и при insert на мастер – шината. Това автоматично означава използването на външен хардуер за междинна и крайна обработка на звуковия продукт.

Тук влизаме в средата на мастеринга и неговите възможни сетъпи.

По принцип мастеринг студиото се различава в много отношения от стандартното студио за звукозапис и постпродукция. Тук няма да се спираме на акустичните и мониторни изисквания в двата случая, защото това излиза извън пределите на нашия дискурс. Ще говорим единствено за различията в комутация и схемотехнична база.

По отношение на комутационните особености главното отличие тук е ролята на смесителния пулт. Доколкото в режим на мастеринг смесването вече е извършено, обикновено подобен пулт само би увеличил нежеланите артефакти в звука, бидейки едно от последователните звена в схемотехническата верига. В ситуация на мастеринг търсим максимална транспарантност на звука и минимално влияние на всяко от устройствата върху характеристиките на сигнала. По тази причина модул за смесване би представлявал само допълнителен замърсяващ звука елемент и би имал смисъл единствено, ако мастерът е предоставен чрез т.нар. stems. Заедно с това в мастеринг режим са необходими специфични рутиращи устройства, които да дават възможност за смяна на реда на свързване на устройствата, прехвърлянето им от последователен в паралелен режим и обратно, както и селективно включване и изключване за пълен контрол и сравняване на фонограмите.

Тук хардуерните решения естествено се интегрират в дигиталната среда, като, както вече казахме, се обръща особено внимание на качеството, с което се конвертира сигналът от дигиталната вселена, в която е битувал, в аналогова – и обратно.

На практика дори и в едно многофункционално студио за запис и смесване често (доколко това е правилен подход, е един друг въпрос) се извършва и базисен мастеринг. Често това става по финансови причини, друг път – по логистични, а понякога – поради липса на организационно време и ресурс. Тогава, когато се използва някакъв вид сумиране в съответното студио, то на практика вече е подготвено да посрещне на изхода на сумиращия модул необходимия мастеринг хардуер, макар и не с комутационните опции, които истинското мастеринг студио би могло да предложи. Връщането на готовия мастер в дигитален домейн също е осигурено – в противен случай това студио дори без мастеринг не би могло да осъществи т.нар. print – регистрацията на микса (освен чрез специализиран мастер рекордер като Alesis Masterlink или доста по-модерни негови събратя като Tascam DA-3000SD).

LOUDNESS WAR

Тук стигаме до още един проблем – отдавна известния казус за т.нар. „война на нивата“. При навлизането на цифровата звукообработка се създава възможност за ограничаване на динамиката с прецизност до семпъл и на практика без времезакъснение в атаката на звуковата вълна. Това създава за пръв път опцията за свръхбързо (като времеконстанти) лимитиране, при което нито семпъл от сигнала не може да премине определени гранични нива (разбира се, само ако изрично искаме това). Тази възможност на практика елиминира необходимостта от определен „headroom“, който преди трябваше задължително да резервираме, тъй като пиковите стойности на звука не можеха да бъдат никога на еднакво ниво.

Добре ли е това, или зле? От гледна точка на качеството на възпроизведения звук – разбира се, е проблем, защото унищожаването на „headroom“-а води:

Първо, до унифициране на всички пикови стойности (нещо, което е неестествено и създава „плосък“ и „безжизнен“ звук);

Второ, създава изкривявания, тъй като видоизменя пиковите вълнови форми, което вкарва нови нежелани хармоници в тях;

Трето, влияе зле на транзиентите, като ограничава уникалния комплекс от амплитуди, който те създават.

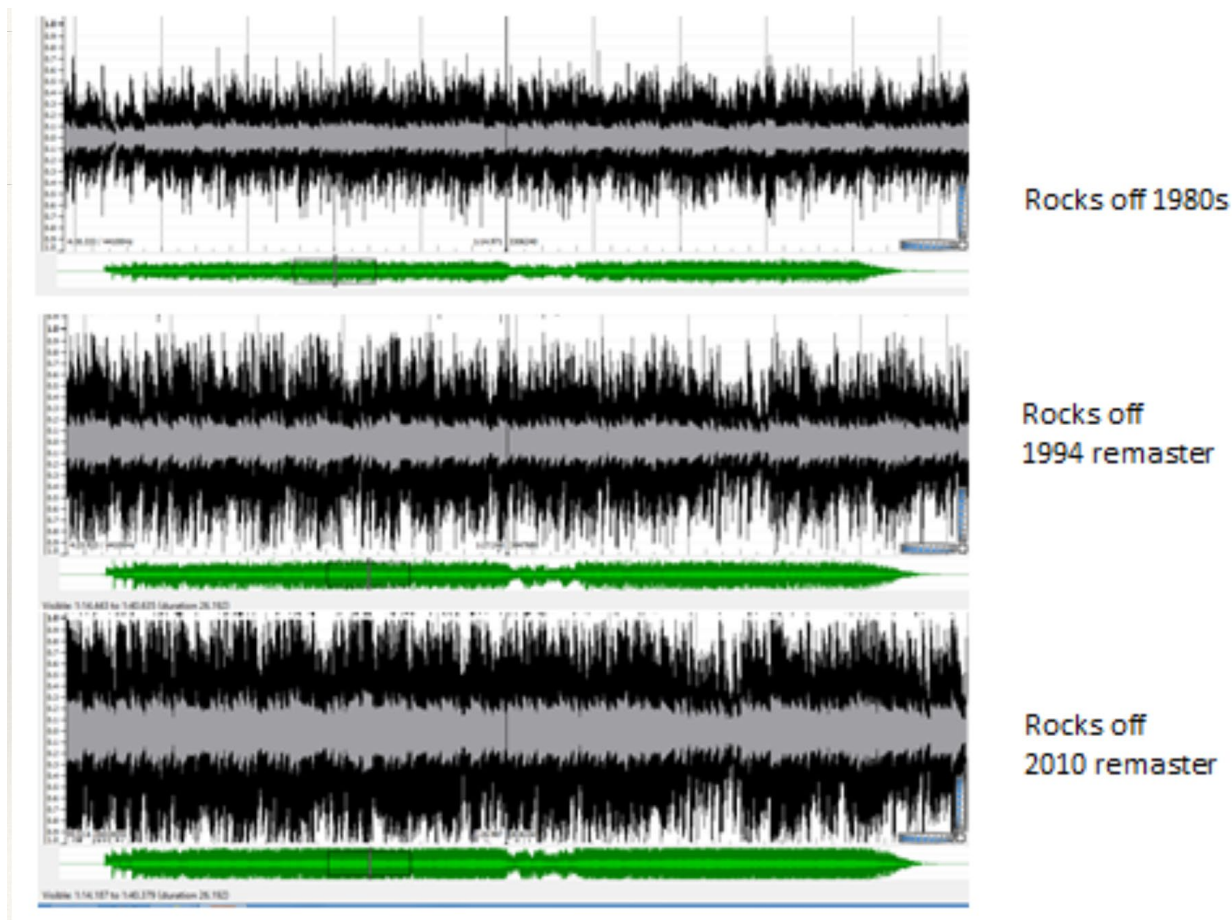
На практика тези три деформации на звуковата тъкан като усещане са взаимосвързани.

Всъщност процесът започва от компресирането на сигнала, за да могат ниските нива да се доближат до високите, което увеличава средностатистическата „average“ гръмкост. Чак впоследствие на сцената излиза дигиталният лимитер, който да подпомогне този процес, като направи пиковите еднакви и в същото време ги повдигне до максимално допустимото ниво (обикновено десети от децибела под т.нар. Most Significant Bit).

При това положение защо индустрията позволява всичко това и кой има полза от тези явно деградиращи звука алгоритми, които се прилагат в режим на мастеринг?

Относно причините за този феномен може много да се говори, но и известна степен на опростяване можем да кажем, че част от тях се крият в комерсиалните задачи, които изпълнява музиката в съвременния свят (което възпитава определен вид звуково „харесване“ у потребителите), а другата част в физиологична – по-силният стимул е по-ярък, а и силният звук е по-тембрист и пълноценен според кривите на Флетчер-Мънсън. Опитите да се внесат закони и други регулации в тази тенденция достигат само до половинчат успех. Въвеждането на LUFS скала доведе до прекалено консервативни норми на нейните стойности, а това от своя страна резултира в безброй различни рекомендации по LUFS в зависимост от използваната платформа и нейния създател (Youtube, Apple Music, Spotify).

В крайна сметка дигиталното лимитиране се превърна в норма при финалната обработка на звуковата картина, което, съчетано с психоакустичните кодери и стремежа да се стигне до 0 dB dBfs на всяка цена, води до забележима деградация в съвременния звук.



На принципа на звуковата мода⁷ част от дефектите на звуковата тъкан първо се дефинират като приемливи, а впоследствие дори като търсени, което води до факта, че част от младото поколение в ролята на респонденти в слухови тестове проявяват предпочитане към по-изкривен звук, с което тенденциите в индустрията се променят. За това помага и факта, че част от това поколение на практика рядко имат досег с акустична реалност, дори и в ситуация на концертна или клубна музикална проява – всичко около тях е на практика модифициран от процесинг звук.

Няма да се опитваме да анализираме тези процеси или да даваме съвети или прогнози. Нека видим в сегашната ситуация кои са ефективните решения за динамичен процесинг в областта на мастеринга – аналогови, дигитални или хибридни.

Предимствата на дигиталния подход са в по-чистия звук от гледна точка на характерните за миналото проблеми – честотна характеристика, съотношение сигнал/шум, коефициент на нелинейни изкривявания, интермодулация, crosstalk. Заедно с това има процеси, които са специфични и запазени само за дигиталния домейн. Както казват инженерите на iZotope:

“Все пак има неща, които могат да се правят в цифров формат, като например фазово линеен еквалайзер или FFT-базирано спектрално редактиране, и които са – и винаги ще бъдат – невъзможни в аналогов.”⁸

От друга страна, съществуват други проблеми, „запазени“ за дигиталния звук, с които аналоговият такъв никога не е бил натоварен. Квантизацията на сигнала оставя своите последствия – всеки мастеринг процесинг на практика се превръща в преизчисляване на стойности, като това представлява поредица от интерполации – така ние през цялото време оперираме със само приблизителни стойности на реалните.

От другата част на координатната ни система грозната си глава надига семплингът – чрез свързаните с него low-pass филтрации, aliasing и израждане на високочестотния сигнал поради малкия брой отчитания на вълната. Скоро се опитам да генерирам синусоидален сигнал от 7 kHz с цел тест за интермодулационни изкривявания (един от подходите е смесване на амлитудите на 60

7 Вж. „Звуковата мода“ – доклад от ФемАкустика конференция: <https://www.yumpru.com/bg/document/read/63128596/-7>

8 Analog vs. digital mastering: what to know – iZotope.com

Hz и 7 kHz в съотношение $\frac{1}{4}$, за да се получат нехармонични обертонове), и установих, че синусоидата при sampling frequency от 44.1 kHz има обвиваща крива, много различаваща се от континуитетната. На практика чак при 192 или 176.4 kHz можем да видим синусоидалната крива такава, каквато би трябвало да бъде. При това положение не е чудно, че много потребители на аналогов звук докладват за лоша дефиниция на високочестотната компонента при цифровото аудио, както и за трудност да различат тембровата характеристика на високочестотните ударни инструменти в дръм-секцията.

При мастеринг тези особености на дигиталното преобразуване водят често до отрицателно слухово впечатление.

Така се оказва, че въпреки някои свои недостатъци аналоговият процесинг има място във финалната верига за звукообработка.

По отношение на динамиката на звука можем също така да набележим някои моменти. Дигиталното лимитиране „изравнява“ пиковите в абсолютна степен – те се унифицират. Ще дадем само един от многото възможни примери.

Ако сравним мастерите на ТОТО от 80-те години (дори и в дигитален носител), с ремастерите от последните години, ще забележим, че въпреки че гръмкостта на новите версии е забележимо по-висока (а може би и поради това), оригиналите са в пъти по-приемливи, при все че са честотно небалансирани. Това до голяма степен се дължи на липсата на повреждаща звука финална цифрова обработка, както и на факта, че всеки индивидуален пик – комбинация от ударните инструменти и другите съпровождащи ги, които влизат в синхрон на силните времена – е със своя уникална динамична сигнатура. Това дава възможност на микса да „диша“, а транзиентите са запазени.

Ако ремастерираме подобна фонограма чрез аналогов хардуер, то бихме могли да изходим от аналоговия оригинал, като го дигитализираме по-най-високи стандарти, за да запазим обвиващата крива най-близка до оригинала и заедно с това да се предпазим от цифрови артефакти. Една динамична обработка, извършена в аналогова среда, би увеличила плътността на звука, запазвайки транспарантността, транзиентната структура (при някои процесори транзиентите дори се подобряват, правейки микса по-„жив“), а по този начин и съхранявайки стереовпечатлението, което винаги страда от еднакво отношение на процесора към пиковите в левия и в десния канал.

Внимателните промени в хармоничния спектър, когато ги позволим, също ни помагат в някои случаи. Усещането за „тяга“ не идва само от чистото ниво на звука, то е функция и на разпределението на хармониците в спектъра. Нашето ухо е нелинейно в силния диапазон на звучене, а това психологически ни „убеждава“, че силният и тембрално богатият звук имат еднакъв генезис. Такова подпомагане от страна на аналоговия процесор, ако е направено фино и целенасочено като спектрално разпределение, може допълнително да помогне за плътността на финалния звук.

Много мастеринг инженери докладват за впечатлението си за по-голяма плътност на аналоговия динамичен процесинг в сравнение с цифровия такъв. От друга страна, те често си позволяват да увеличат RMS нивото на аналоговия си мастер с децибел или два над това на дигиталния, като изказват увереност, че при тези различни нива на плътност на двата мастера усещането за “headroom” е идентично. Така на практика те „печелят“ тези децибели от плътността на фонограмата в аналогов режим на динамична обработка.

По тяхно мнение такова е впечатлението и на крайните клиенти на техния микс – музикални продуценти и изпълнители.

Чрез този метод аналоговият динамичен процесор се превръща в „тайното оръжие“ на мастеринг инженера в борбата за силния звук (loudness war). Разбира се, тук не дискутираме доколко трябва да се води тази борба изобщо. По мнение на пишещия тези редове за постигането на силен звук има много по-добро и естествено решение – потенциометърът на volume-контрола на системата ни за прослушване у дома. Това казвам винаги и на музикантите, с които работя. Но често се налага съобразяване с изискванията на индустрията, колкото и нелепи те да изглеждат.

И накрая – когато мастерът отново трябва да се дигитализира (т.нар. prtinting), трябва да се съблюдава някакво дигитално лимитиране, освен ако не сме абсолютни пуристи и не искаме пиковите на звука да останат такива, каквито са. В тази ситуация може да се приложи финално дигитално лимитиране, съчетано с дитеринг. Най-добре е това да се извърши, като се съблюдава спазването на търсените финални нива в true-peak, а не в sample-peak режим.

С цел запазването на плътността на финалния микс често можем да наблюдаваме тенденция да не се извършва дигитално лимитиране, а да се използва висококачествен аналогово-цифров конвертор, защитаващ входния

сигнал чрез soft saturation. Тогава би могло (и се прави) да се претовари съвсем леко входния тракт, като оставим на тази система да свърши останалата част от работата. Така намесата на дигитално звено в края на процесинг веригата се елиминира като опция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можем обосновано да заключим, че в условията на мастеринг хибридните решения са особено популярни, доколкото някои от алгоритмите за процесинг на звуковата тъкан са трудно постижими в една аналогова хардуерна среда. Въпреки това, мастерингът, извършван изцяло “in the box”, не може да постигне плътността и транзиентната наситеност, която специфичните процесори от висок клас привнасят. Заедно с това фактът, че аналоговата среда предполага континуитетност на звуковата структура, премахва артефактите, свързани с дискретизацията по време и по амплитуда, характерни за цифровата репрезентация (дори и при високи резолюции). Така употребата на хардуер (предимно аналогов) е от съществено значение за постигането на забележими резултати в мастеринг процесите. Трябва обаче да се има предвид, че висококачественото конвертиране и „клокинг“ на сигнала припреминаване от аналогова в цифрова среда и обратно е ключов фактор за крайното качество на процеса, защото при неправилно технологично процедиране получените отрицателни артефакти могат да унищожат положителното влияние на аналоговия хардуер.

Биография:

Доц. д-р Христо Карагьозов е специалист по технологични и хуманитарни дисциплини във Факултет по науки за образованието и изкуствата при СУ „Св. Климент Охридски“. Интересите му са в областта на звукотехниката, музикалната акустика, звуков мастеринг, естетика и тонрежисура.

BIO:

Assoc. Prof. Dr. Hristo Karagyzov is a specialist in technological and humanities disciplines at the Faculty of Educational Sciences and Arts at Sofia University „St. Kliment Ohridski“. His interests are in the fields of sound engineering, musical acoustics, sound mastering, aesthetics and sound engineering.