

Aleksandar Kandić

PRIMENA RAČUNARA U OBRADI ZVUKA

Beograd, 2001.

SADRŽAJ

	UVOD	3
I	ZVUK	4
	1.1 Ljudski sluh	4
	1.2 Karakteristike zvuka	5
	1.3 Percepcija zvuka	12
II	A/D I D/A KONVERZIJA	14
	2.1 Kvantizacija	14
	2.2 Najkvistova teorema	16
	2.3 D/A konverzija	17
III	OBRADA ZVUKA	19
	3.1 Digitalni zapis	19
	3.2 Osnovne funkcije	25
IV	EFEKTI	31
	4.1 Dinamička obrada signala	31
	4.2 Dinamički procesori za WS	35
	4.3 Filtri i ekvilajzeri	38
	4.4 Delay efekti	44
	ZAKLJUČAK	48
	KORISNE ADRESE	49
	LITERATURA	49

UVOD

Zahvaljujući sve većoj brzini mikroprocesora, računari dobijaju značajnu ulogu u obradi i kreiranju zvuka. Mnogi procesi, pre samo desetak godina neizvodljivi na računaru, danas se sa lakoćom obavljaju. Na ovaj način, mikroprocesori i DSP čipovi kontrolisani odgovarajućim softverom uspešno zamenjuju mnoge skupe hardverske uređaje. Granice više ne postoje, virtuelni studio je sve veći i veći.

Dug je put od mikrofona u studiju do zvučnika u našim domovima. Prednost digitalnog zapisa je u tome što sprečava degradaciju zvuka karakterističnu za analogne medijume. Ovo je jasno svakome ko je uporedio isti snimak na kaseti i kompakt disku. Dalje, digitalna obrada obezbeđuje efikasno filtriranje, montažu i druge bitne intervencije prilikom stvaranja određenog audio dela. Kada je u pitanju muzika, najčešće treba snimiti više glasova i instrumenata odvojeno, na više kanala, što snimatelju daje fleksibilnost pri kasnijem miksovanju. Kombinovanje individualnih kanala u dva, ili jedan, naziva se mixdown. Upravo ovde digitalna obrada dolazi do izražaja.

Ne treba zaboraviti jednu veoma važnu DSP primenu – veštačku reverberaciju. Radi se o simulaciji odjeka prostorije, odnosno prirodnog ambijenta, koji može izostati pri studijskom snimanju, ili snimanju u manjem prostoru loše akustike. Bez ove pojave, snimak najčešće zvuči siromašno, odnosno kako se to kaže, suvo. Digitalni procesori sa lakoćom imitiraju ovu pojavu i postižu veoma dugačko vreme reverberacije, odnosno trajanje odjeka. Kao da je čitava katedrala ili veća prostorija smeštena u nekoliko megabajta memorije.

Ipak, svi ozbiljniji snimatelji i producenti još uvek prednost daju analognom zvuku, ne bez razloga. Taj zvuk ima neprevaziđenu toplinu i punoću. Zato se kombinuje analogno snimanje, na višekanalnom magnetofonu, i digitalna obrada, na nekom sistemu sa posebnim DSP čipovima posvećenim samo obradi zvuka. Rezultati su sjajni. Ali, nećemo se baviti ovim odnosom analogije i digitalije, kako se popularno govori.

Posebnu pažnju posvetićemo samom pojmu zvuka, kao i percepciji i odlikama zvuka. Takođe, biće reči i o konverziji analognog u digitalni signal. Oba problema razjašljena su u prva dva poglavlja – ova dva poglavlja su suštinska. Jer, dobro razumevanje pomenutih, omogućuje nam da se snađemo u bilo kojoj situaciji. Sam softver i način na koji on funkcioniše i na koji se koristi stalno se menja, ali zvuk ostaje zvuk. Važno je razumeti same principe i procese koji se tu događaju i tada možemo koristiti bilo koji program ili uređaj. U svakom slučaju, pomenućemo najbolje primere iz industrije, najpopularniji i najkvalitetniji softver.

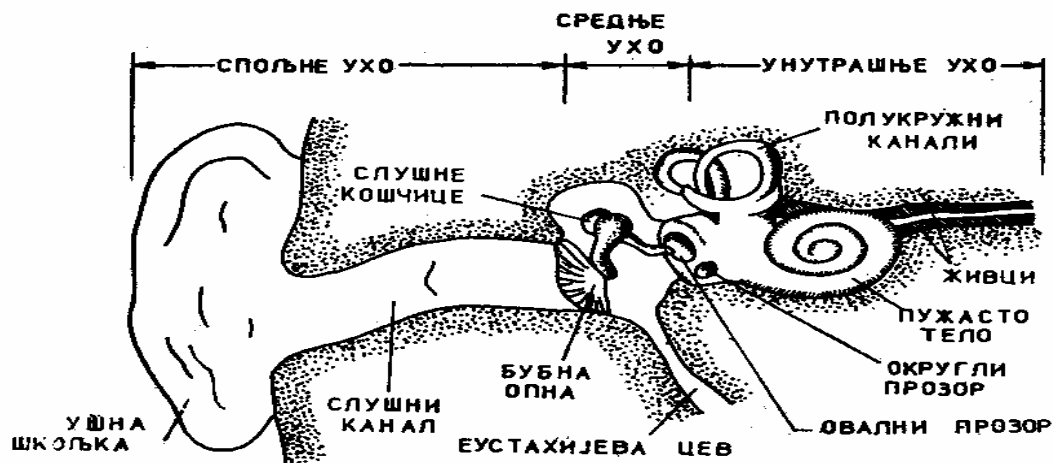
Mogućnosti su veće iz trenu u tren i dok čitate ovaj tekst, budite sigurni da se nešto već promenilo – u svakom slučaju na bolje. Svako ko je na neki način dotaknut ovom revolucijom u obradi, stvaranju i prezentovanju zvuka oseća se moćno i nada da ona nikada neće zastati. A sve su prilike da će tako i biti.

I ZVUK

Da bismo se bavili obradom zvuka na računaru, moramo prvo razumeti šta je zvuk, koje su njegove karakteristike, kako ljudi registruju zvučne pojave. Muzika, digitalni zvuk, računarska obrada, telekomunikacije – sve vodi do ljudskog uha koje je jedan veoma složen organ i čije detaljno proučavanje zahteva poznavanje više fizike, biologije i matematike. Ali, nije loše upoznati se osnovama problema, kao i sa zvukom sa stanovišta akustike, pre nego što se sedne za računar i otvori omiljeni program. Tada počinje umetnički, kreativni deo posla.

1.1 LJUDSKI SLUH

Ljudi zvuk primaju putem čula sluha. Organ čula sluha je uho – veoma složen organ, a da bi sve bilo komplikovanije, informacije iz dva uha kombinuju se u odgovarajućem nervnom centru mozga. U građi uha razlikujemo spoljašnje, srednje i unutrašnje uho. Spoljašnje uho čine dva veća dela: ušna školjka – koja svojim oblikom znatno utiče na primljeni zvuk i kod svakoga je nešto drugačija, pa postoje i razlike u percepciji jednog istog zvuka; i spoljašnji slušni kanal prečnika oko 0.5 cm i dužine oko 3 cm. Ovi delovi, dakle, prikupljaju zvučne vibracije i sprovode ih dalje, do osetljivih organa u srednjem i unutrašnjem uhu koji prevode informacije u nervne impulse, razumljive mozgu. Između spoljašnjeg i srednjeg uha nalazi se bubna opna – membrana koja vibrira pod uticajem kretanja vazduha. Srednje uho je ispunjeno vazduhom i u njemu se nalaze tri koščiце nazvane čekić, nakovanj i uzengija koje dalje prenose zvuk do ovalnog otvora. Ovalni otvor se nalazi između srednjeg uha i puža, organa u unutrašnjem uhu. Puž je ispunjen tečnošću, za razliku od srednjeg uha. Kada zvučni talas prelazi iz vazdušne u tečnu sredinu, samo mali deo energije se prenosi, dok se ostatak odbija. To je zato što tečnost ima mnogo veću otpornost od vazduha. Najveći deo ovog gubitka potiče od razlike u površini između bubne opne i ovalnog otvora. Odnos je oko 15 prema 1. Puž je kanal prečnika 2 mm i dužine 3 cm, uvijen je tako da liči na puža. U njemu



Presek ljudskog uha

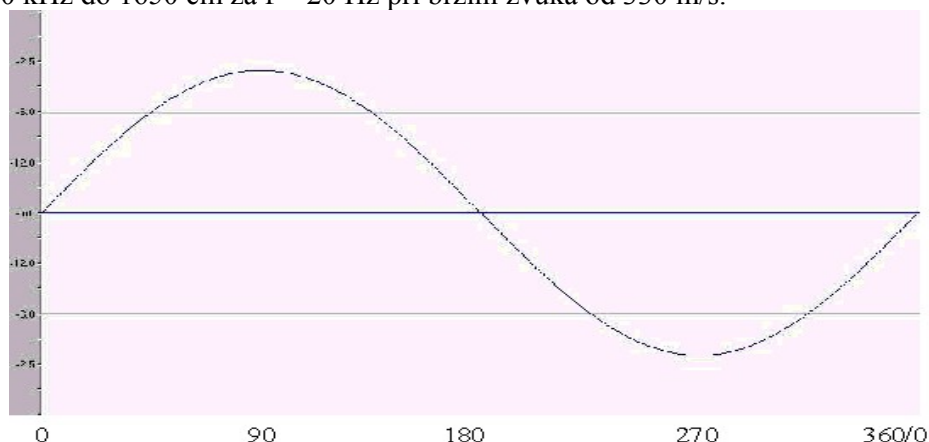
se nalazi bazalna membrana, koja prihvata oko 12000 senzitivnih neurona. Oni čine slušni nerv. Bazalna membrana je najtvrdja do ovalnog otvora, a sve mekša ka suprotnom kraju. Zapravo, ponaša se kao analizator frekventnog spektra – pri visokim frekvencijama osciluje na tvrdem delu, pri niskim na mekšem i time ekscitira odgovarajuće senzitivne neurone. Ovakav način percepcije naziva se princip mesta. Postoji i princip impulsa. Nervne ćelije tada emituju kratke električne impulse, koji odgovaraju frekvenciji zvučnog talasa. Recimo, zvuk frekvencije 200 Hz prikazuje se putem 200 impulsa. Međutim, ovo funkcioniše samo za frekvencije ispod 500 Hz – to je najviši broj impulsa koji mogu da proizvedu neuroni. Ovaj problem rešava se tako što nekoliko neurona preuzima 1 zadatak. Tako, zvučni talas frekvencije 3000 Hz mogu prikazati 10 neurona koji emituju po 300 impulsa u sekundi. Ipak, za frekvencije iznad 4 kHz isključivo se koristi princip mesta. Svi delovi uha su osetljivi, posebno bubna opna. Veoma jaki zvuci kao što su eksplozije, mogu dovesti do pucanja bubne opne. Takođe, dugotrajno delovanje buke smanjuje osetljivost organa za sluh, a može dovesti i do oštećenja, pa o svemu tome treba voditi računa.

1.2 KARAKTERISTIKE ZVUKA

Zvuk je posledica kretanja molekula vazduha, odnosno oscilovanja čestica vazduha kada dolazi do nastajanja zvučnih talasa – longitudinalnih talasa, što znači da dolazi do zgušnjavanja i razređivanja vazduha u pravcu kretanja talasa. Dakle, radi se o promenama vazdušnog pritiska koje ljudsko uho registruje. Međutim, neće biti zabeležena svaka oscilacija, već samo oscilacije iz određenog frekventnog opsega i amplitude iznad određenog praga čujnosti.

Frekvencija, odnosno učestanost oscilacija izražava se brojem oscilacija po jedinici vremena: $f = 1 / T$. Jedinica je 1 Hz (Herc). Ljudi mogu osetiti zvukove čija je učestanost oscilacija od 20 do 2000 treptaja u sekundi. Ovo bi bio najširi opseg i moguće je da deca čuju u ovom rasponu. Sa godinama on se smanjuje i iznosi 30Hz-15kHz, a kod starih ljudi još je manji. Brzina zvuka (velocity) kojom zvučni talas putuje kroz medij definisana je jednačinom $v = d / t$, gde je d udaljenost od izvora zvuka, a t vreme koje je proteklo od nastanka zvučne pojave do njenog registrovanja. Brzina zvuka u vazduhu je 343 m/s na 20 stepeni Celzijusa, a 331,4 m/s na nula stepeni, što znači da zavisi od temperature. Takođe, vlažnost vazduha i strujanje (vetar) mogu uticati na brzinu zvuka.

Talasna dužina je najmanje rastojanje između dve čestice u istoj fazi oscilovanja, odnosno distanca koju pređe čestica tokom jednog punog perioda oscilovanja. Izražava se kao $\lambda = v / f$, gde je v brzina zvuka u medijumu, a f frekvencija. Talasne dužine iznose od 1,65 cm za $f = 20$ kHz do 1650 cm za $f = 20$ Hz pri brzini zvuka od 330 m/s.

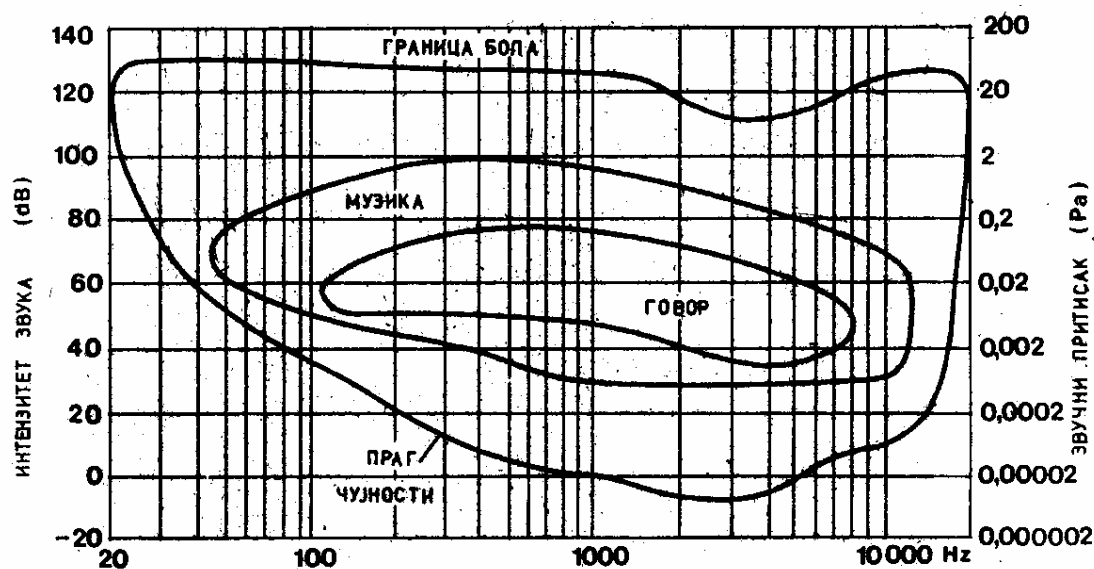


Sinusoida i njene karakteristične faze u stepenima

Faza se meri u stepenima i predstavlja položaj u kojem se nalazi čestica u odnosu na početni položaj pri oscilovanju tokom 1 perioda, pa prema tome ima vrednost od 0 do 360 stepeni. Kada su dva talasa u fazi, a imaju istu frekvenciju, oblik i amplitudu, sabrani daju zvučni talas istih odlika, a dvaput veće amplitude. Kontrafaza, fazna razlika (phase shift) od 180 stepeni, dovodi do potiranja, poništavanja talasa. Na prethodnom primeru, rezultat bi bila tišina. Ako su dva talasa delimično u fazi, a delimično ne, oni će delovati konstruktivno kada su u fazi (sabiraće se), a destruktivno kada nisu (potiraće se). U praksi, fazna razlika je bitna pri, recimo, snimanju muzike na dva kanala (stereo) – bolji mikseri imaju funkciju kojom sabiraju stereo izlaz u mono, pa ako se izgube, odnosno ne čuju, neki delovi, znači da postoji određena fazna razlika između dva kanala, što je neophodno ispraviti.

Percepcija kontinualnog zvuka, kao što je nota nekog muzčkog instrumenta, najčešće se svodi na tri elementa koji su i osnovne karakteristike zvuka: jačinu (loudness), visinu (pitch) i boju (timbre).

Jačina zvuka odnosi se na amplitudu oscilacija, odnosno na količinu promene vazdušnog pritiska. Jedinica mere je 1 B (Bel), ali se u praksi koristi deseti deo Bela – 1 dB. Decibel je logaritamski odnos 2 broja koji predstavljaju intenzitete (npr. napone) dva signala koje upoređujemo. Znači, ne možemo meriti apsolutnu jačinu nekog signala, pojedinačno – uvek se radi o upoređivanju dva signala, jedan uzimamo za nulu, odnosno referentni signal (tišinu), a drugom merimo jačinu u odnosu na referentni. Na pragu čujnosti, amplituda zvuka je 10^{-8} cm, a snaga 10^{-16} W/cm² – slabiji zvuk od ovog ljudi ne čuju. Ova jačina označena je kao 0 dB SPL (Sound Power Level) i uzimamo je za referentnu pri merenju raznih zvučnih pojava kao što je tih razgovor (40 dB SPL), saobraćaj (70 dB SPL), pneumatski čekić (110 dB SPL). Granica bola je na 140 dB SPL.



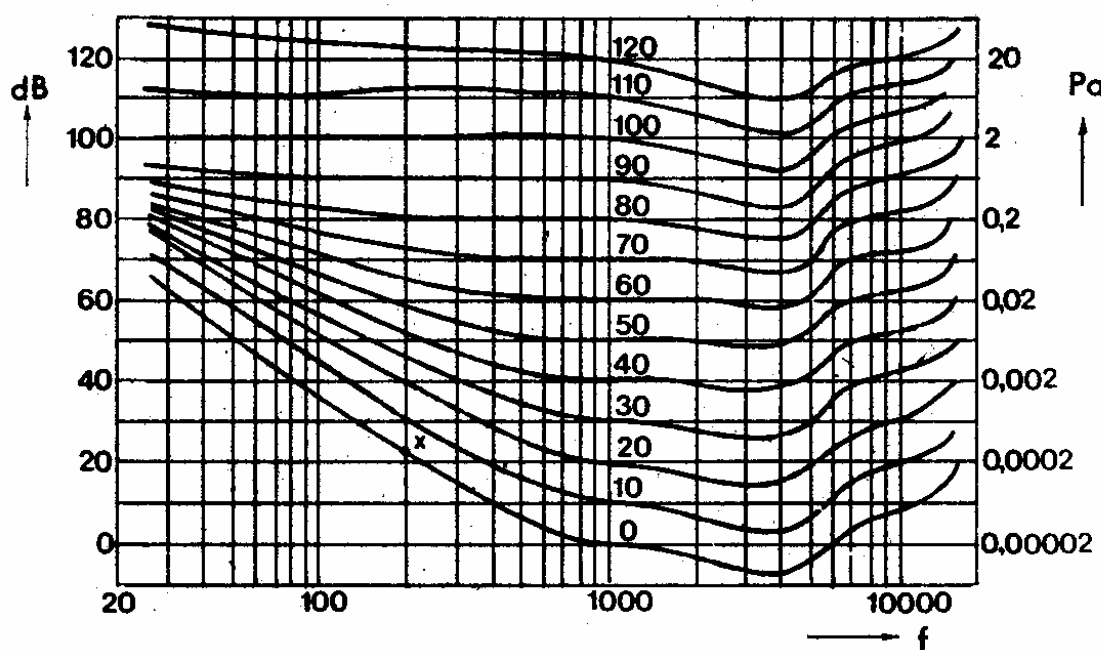
Granice čujnosti i područja govora i muzike

Razlika između najtiših i najglasnijih zvukova koje ljudi čuju je oko 120 dB, oko milion puta je veća maksimalna amplituda od minimalne. Slušaoci čuju promene od oko 1 dB (12% amplitude), što znači da postoji samo oko 120 nivoa jačine. Dvaput glasniji ili tiši zvuk predstavlja promenu od 3 dB, jer je logaritam od 2 za osnovu 10 oko 0,3 – dakle to je oko 0,3 Bela, što je 3 dB. Ipak, važno je zapamtiti da se uvek kao udvostručenje jačine posmatra

promena od 6 dB, zato što ovo važi u mikserima – elektronskim sklopovima, gde se napon menja baš za 6 dB, usled relacije $P = U^2 / R$, gde je P snaga, a R otpor. Dakle, potrebna je duplo veća promena napona, da bi se postigla željena promena snage zvuka. Na ovaj način, i u kompjuterskim programima definišu se promene jačine zvuka (volume).

Takođe, interesantno je da je percepcija jačine povezana sa snagom zvuka preko eksponenta $1/3$. Ako povećamo snagu za 10 puta, slušaoci će primetiti samo udvostručenje, jer je $10^{1/3}$ približno 2. To je problem pri zvučnom izolovanju prostorija, jer ako ne pokrijemo svega 1% površine zida, primljena jačina neće opasti na tih 1%, već na 20%, jer je $0,01^{1/3}$ oko 0,2. Zato zid mora biti 100% pokriven.

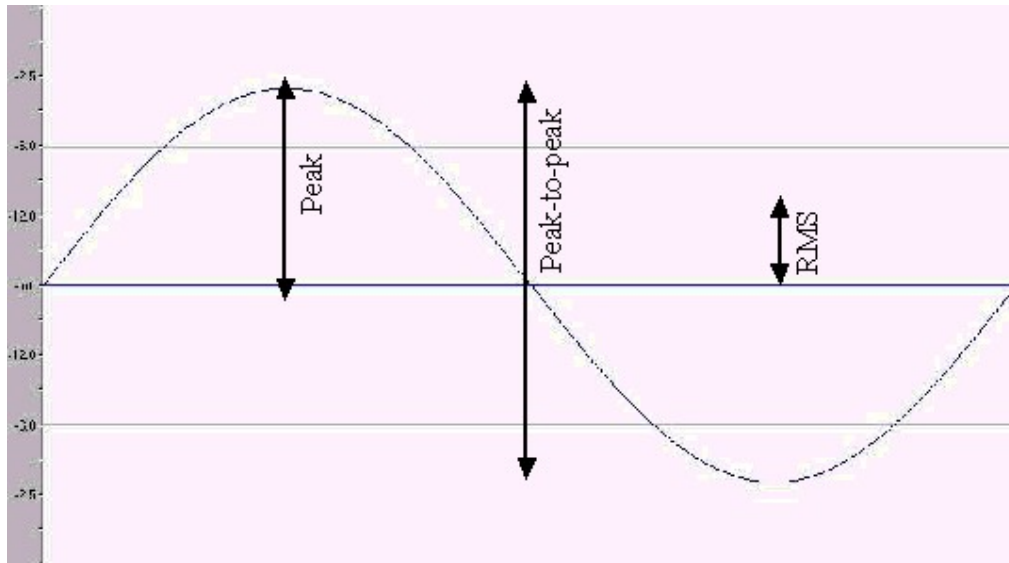
Iako je frekventni opseg koji čujemo od 20 Hz do 20 kHz, uho je najosetljivije na zvuk od 1 kHz do 4 kHz. Recimo, možemo čuti zvuk od gotovo 0 dB SPL na 3 kHz, ali nam je potrebno 40 dB SPL na 100 Hz (100 puta veća amplituda). Možemo primetiti razliku u visini dva tona od 0,3% na 3 kHz, a 3% na 100 Hz. Susjedni tonovi na klaviru razlikuju se oko 6% u frekvenciji.



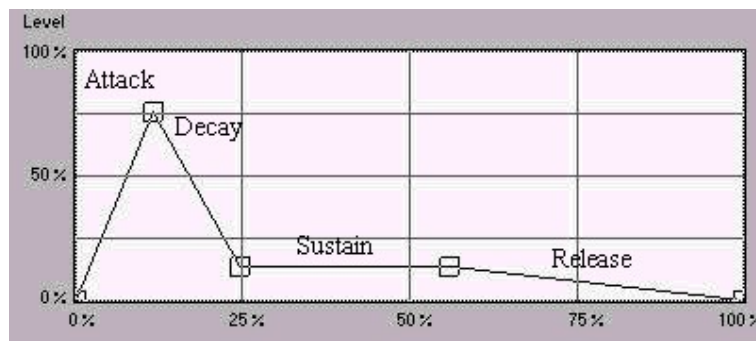
Izofonske linije – ljudski doživljaj jačine zvuka

Koji su bitni pojmovi pri merenju jačine nekog zvuka? To su peak, peak-to-peak i RMS nivoi. Peak je rastojanje od nule (tišine) do maksimalne amplitude u pozitivnom ili negativnom delu progresije zvučnog talasa, bolje reći apsolutnom. Peak-to-peak se retko koristi i odnosi se na rastojanje između pozitivnog i negativnog maksimuma. RMS (root-mean-square) je koren srednje kvadratne vrednosti amplituda nekog signala i upadljivo je manja od peak nivoa – u pitanju je glasnoća zvuka. Uzimaju se vrednosti amplitude u određenim vremenskim intervalima, a ustaljena vrednost je 50 ms.

Sve ove vrednosti izražavaju se u dB. Postoji još jedan veoma važan pojam vezan za tonove instrumenata – to je envelope (envelope). Ona nam govori kako se tokom vremena menja amplituda određenog tona, koliko brzo i dokle raste (attack) i koliko brzo opada (decay). Međutim, decay je podeljen na tri dela – decay, sustain i release. Tu je decay početno opadanje, sustain vreme tokom kojeg je amplituda ista, a release vreme za koje zvuk zamire. Radi se o ADSR (attack-decay-sustain-release) envelope koja je gotovo uvek u upotrebi i po pravilu se sreće kod sintisajzera kao kontrola amplitude nekog instrumenta. Naravno, primenjiva je na bilo koji zvuk.



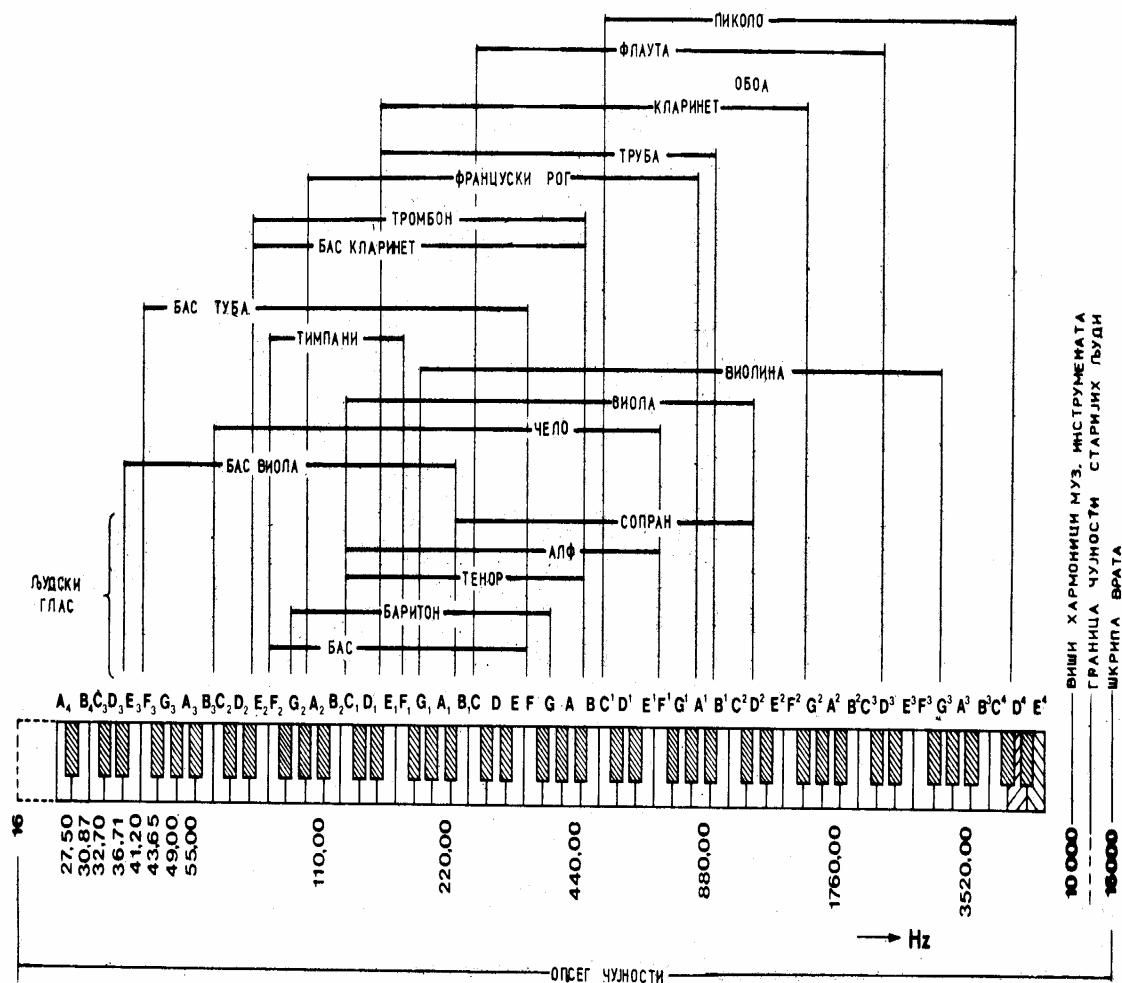
Peak, peak-to-peak i RMS nivoi



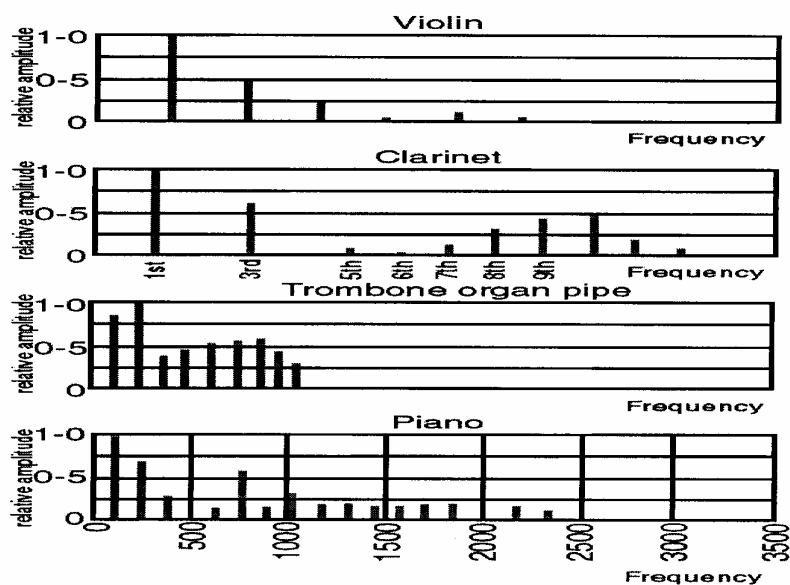
ADSR envelope

Visina zvuka (pitch) je frekvencija osnovnog harmonika nekog tona što je usko povezano sa bojom zvuka (timbre) i njenim odlikama, pa će zajedno biti i objašnjeno. Naime, svaki ton čine harmonici, gde prvi harmonik daje visinu tona i ima određenu frekvenciju f , a ostali harmonici određuju boju tonu i njihove frekvencije su celobrojni umnošci osnovne frekvencije. Dakle, drugi harmonik je $2f$, treći $3f$, itd. Ispod prvog harmonika ne postoji ni jedna frekvencija u zvuku i to je bitno znati. Harmonici su podeljeni na niže (zaključno sa šestim) i više (od sedmog), a niži se dalje dele na parne (drugi, četvrti i šesti) i neparne (prvi, treći i peti). Kakav je oblik zvučnog talasa harmonika? To su zapravo proste periodične oscilacije koje odgovaraju sinusoidi. Kombinovanjem sinusoida dobija se određen složen zvuk, a kako je matematički dokazano svaki ton sačinjen od harmonika, može se prikazati kao zbir sinusoida. Drugi harmonik je u oktavi sa prvim, jer je oktava udvostručenje frekvencije. Dalje, treba znati da je treći harmonik u odnosu na prvi u kvinti, četvrti u još višoj oktavi, peti u terci, šesti opet u kvinti. Sedmi je već disonantan, osmi je ponekad u oktavi, ponekad ne, a svi viši su disonantni. Svaki harmonik daje svoj karakterističan doprinos boji. Dakle, uho određuje visinu tona prema prvom harmoniku.

Frekventni opseg nekog tona može se grafički prikazati, kao i uopšte bilo koji zvuk ili frekventna karakteristika nekog uređaja. Tada se na osi na kojoj prikazujemo frekvencije koristi logaritamska, a ne linearna podela. To je logično, jer su oktave udvostručavanje frekvencije, a zvuče nam isto, samo više ili niže. Tako je zvuk od 20 kHz za oktavu viši od 10



Frekventni opsezi nekih instrumenata



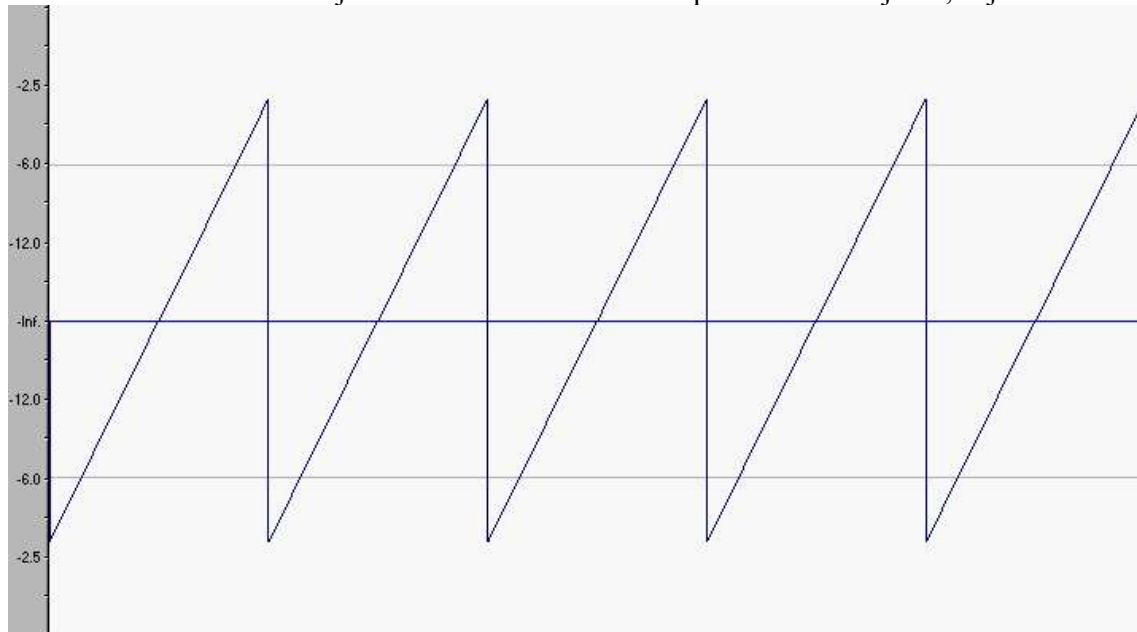
Struktura harmonika nekih instrumenata

kHz – to je čitava polovina čujnog opsega, pa i više, a samo jedan oktava. S druge strane, oktava iznad 55 Hz je 110 Hz, dakle tu je samo 55 Hz razlike. U nižem delu opsega oktave, kao i tonovi, neuporedivo su "zgusnutiji". Upravo iz tog razloga koristi se logaritamska podela kod koje svaka oktava ima fizički istu dužinu na osi, što je pregledno.



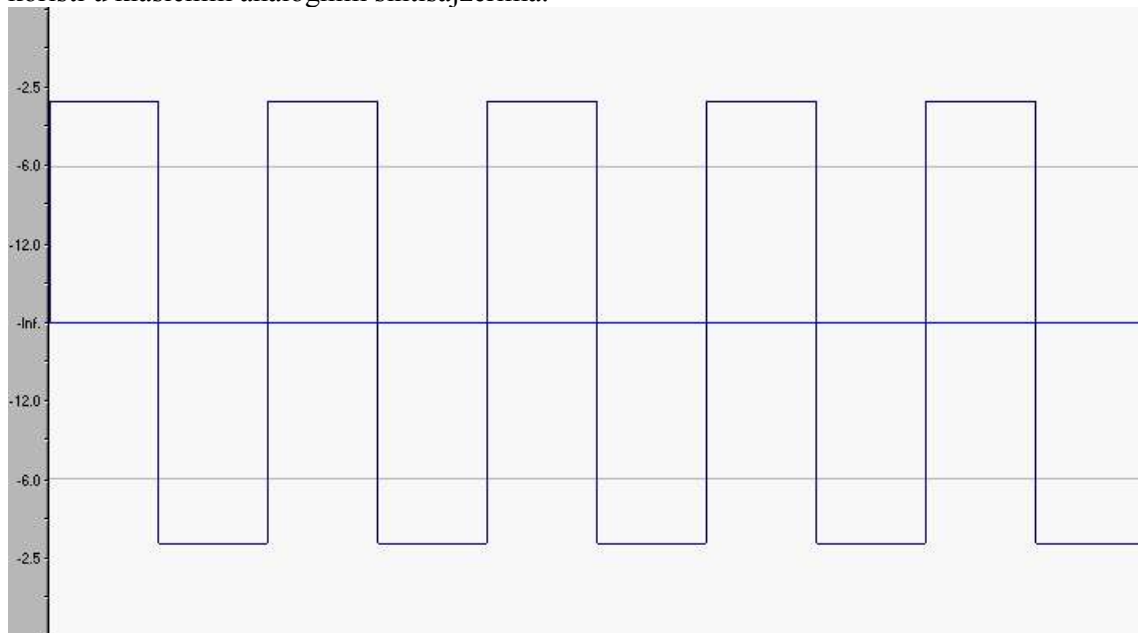
"Sine" talasni oblik

Pored sinusoide (sine wave), koja je najprostiji oblik periodičnih oscilacija, postoji još nekoliko karakterističnih koji se smatraju prostim (basic waveform) i dosta koriste, ali zapravo nisu. Prvo, to je sawtooth – testerasti oblik, gde napon raste linearno od minimuma do maksimuma, a zatim naglo opada na minimum. Ovakav talas sadrži harmonike koji su na sukcesivno višim frekvencijama na sukcesivno nižim amplitudama. Ima jasan, zujav zvuk.

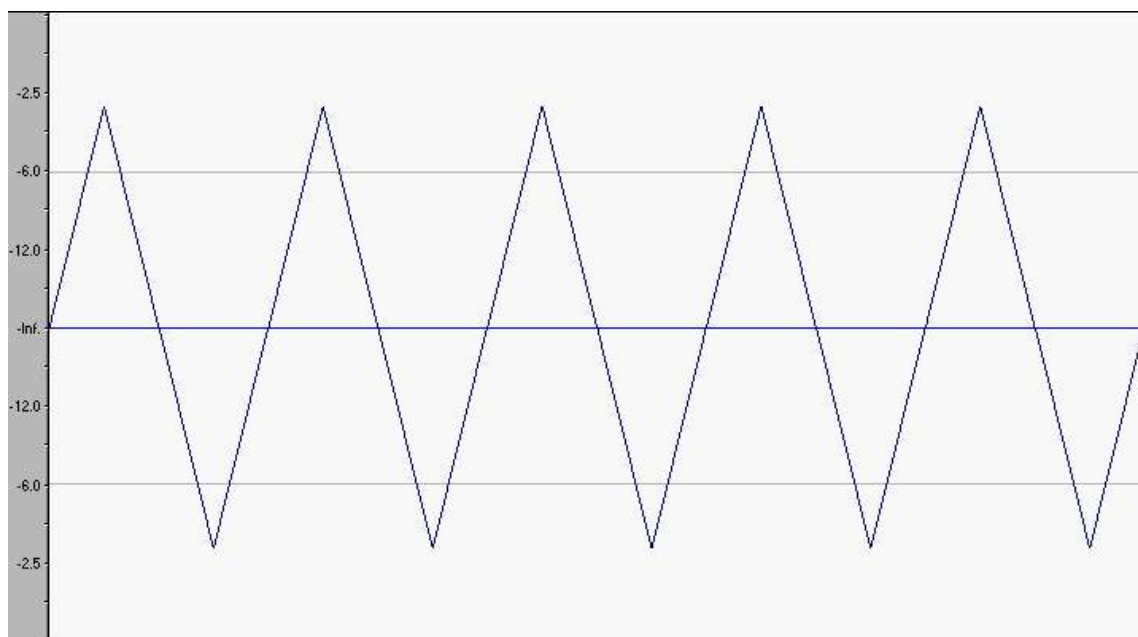


"Sawtooth" talasni oblik

Sledeći je square wave – četvrtasti talas. Kod njega napon u istim vremenskim razmacima ima konstantnu vrednost na maksimumu i minimumu naizmenično. Iz ovog razloga samo square može imati RMS nivo od 0 dB. Sadrži samo neparne harmonike i ima metalan zvuk. Postoji i triangle talas. Tu napon linearno raste od minimuma do maksimuma, a zatim na isti način opada do minimuma. Zvuk je sličan sinusoidi, ali se nekoliko blago jačih harmonika. Važno je poznavati sine, sawtooth, square i triangle talasne oblike jer se oni koriste kao LFO (low-frequency-oscillator) pri modulisanju mnogobrojnih parametara, a takođe, i pre svega, kao polazne komponente pri kreiranju boja subtractive sintezom koja se koristi u klasičnim analognim sintisajzerima.

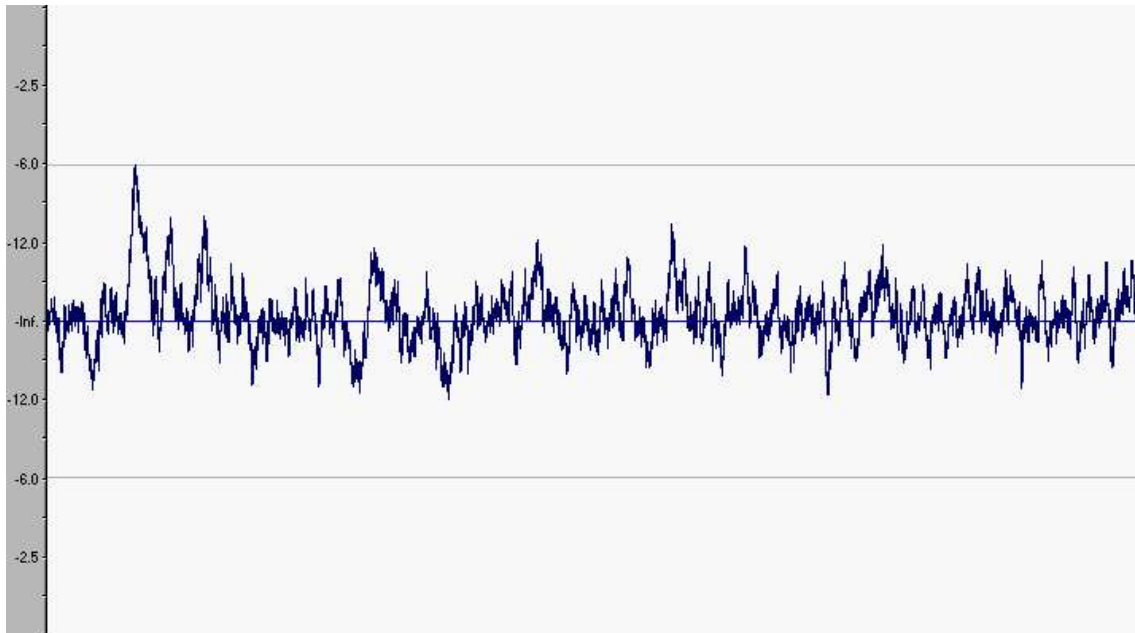


"Square" talasni oblik



"Triangle" talasni oblik

Zvuci koji nisu tonovi nazivaju se šumovi, i oni nemaju određenu harmonijsku strukturu, već mogu sadržati bilo koji broj komponenti na bilo kojim frekvencijama. Ipak, postoji nekoliko tipova šumova kao, na primer, white noise (beli šum). Tu imamo sve frekvencije audibilnog spektra na jednakim amplitudama, što zvuči kao šištanje. Pink noise (ružičasti šum) sadrži frekvencije balansirane tako da svaka oktava nosi istu energiju i on zvuči nešto mutnije od belog. I ovakvi tipovi šumova korišćeni su u analognim sintisajzerima. Bitni su kao pojava pri konverziji analognog u digitalni signal, a naravno svaki elektronski sklop poseduje određenu količinu šuma, i količina tog šuma je bitna specifikacija svakog uređaja koji se bavi zvučnim signalom.



Šum

1.3 PERCEPCIJA ZVUKA

Glavna prednost posedovanja dva uha je mogućnost određivanja pravca iz kojeg dolazi zvuk. Ljudi mogu uočiti razliku u položaju od samo tri stepena, što je otprilike širina sobe na 10 metara udaljenosti. Tu je nekoliko stvari bitno. Frekvencije više od 1 kHz su prosto zaklonjene glavom, pa uho bliže zvučnom izvoru prima jači signal. Uho dalje od izvora čuje signal nešto kasnije. Kako je širina glave oko 22 cm, a brzina zvuka oko 340 m/s, kašnjenje je oko 30 mikrosekundi. Ovo zahteva princip impulsa pri slušanju, a koji se koristi pre svega za frekvencije ispod 1 kHz – to objašnjava ovu pojavu. Srećom, ljudi imaju mogućnost da jednostavno okrenu glavu, pa je problem lako izbegnut. Interesantno je šta se dešava kada identičan zvuk dopire do oba uha, što se može desiti pri korišćenju slušalica. Slušalac tada ima utisak da zvuk dolazi iz centra glave.

Efekat prioriteta (precedence effect) je bitna pojava, a za njega su vezane sledeće odlike. Prvo, uho ima sposobnost da kombinuje set zvukova i čuje ih kao da su jedna celina pod uslovom da ne kasne više od 30 ms jedan za drugim. Za kratke zvukove razlika može biti i samo 4 ms, a za duge čak i do 80 ms. Drugo, finalni produkt koji čujemo je kao da su svi zvuci nagomilani na prvi bez kašnjenja. Zatim, direkcionalna informacija je emitovana do nas od prvog zvuka, koji lokalizujemo i onda pretpostavljamo da svi ostali zvuci dolaze iz tog pravca. Četvrtto, efekat prioriteta postoji i kada su zvuci koji kasnije dolaze glasniji od prvog zvuka. Oni će i dalje biti ignorisani od strane našeg uha, ukoliko razlika u nivoima nije

prevelika (približno 3 do 12 dB). Efekat prioriteta se naziva i Haas-ov efekat ili zakon prvog talasa. Na oko 40 ms uho prepoznaje postojanje reflektovanih zvukova, ili kasnije dolazećih zvukova. Ipak, još uvek koristi prvi zvuk kao referencu. Kritično vreme je oko 50 ms kada se kasnije prispeli zvuci shvataju kao informacija prostorije ili eho, i dodaju originalnom zvuku. Efekat prioriteta je upotrebljiv pri pozicioniranju instrumenata u stereo miks. Takođe, važan je pri reverberaciji. Pri ozvučavanju velikih prostorija gde dolazi do eha treba voditi računa o efektu prioriteta. Treba reći i da je amplituda zvučnog talasa obrnuto srazmerna kvadratu razdaljine između zvučnog izvora i slušaoca. Tako je amplituda na 4 m jednaka četvrtini amplitude na 2 m.

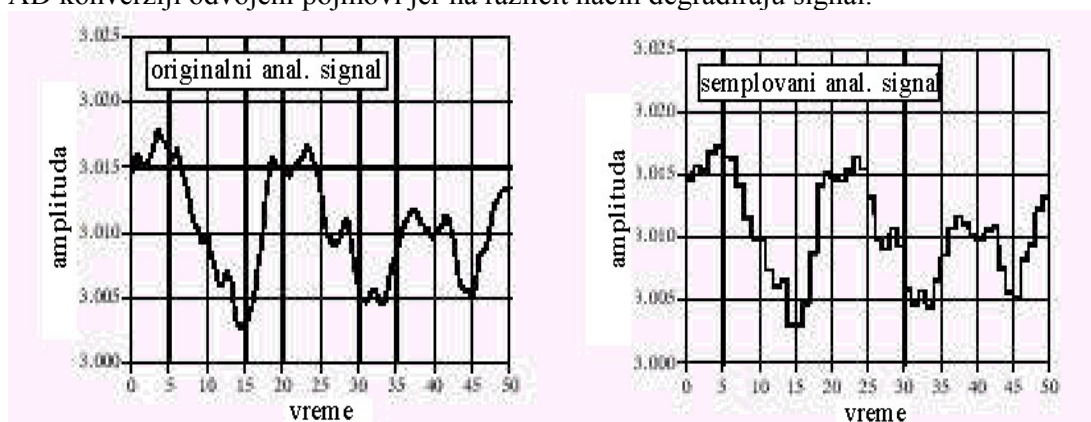
Ovo su osnovne karakteristike zvuka i pojmovi vezani za njegovu strukturu i percepciju. Neophodno ih je razumeti da bi se pristupilo snimanju i obradi, i svakako su daleko kompleksniji nego što se čini iz ovog teksta. To nije razlog da se ne okrenemo sledećem problemu.

II A/D I D/A KONVERZIJA

Prelazak analognog, električnog signala, u digitalni, najvažniji je i najsloženiji proces. Često je presudan za kvalitet signala i svako ko se ozbiljno bavi digitalnim zvukom veliku pažnju posvećuje ovom problemu, jer ako se konverzija ne obavi kako treba, može se desiti da sve sledeće intervencije nemaju mnogo smisla. Međutim, ako je sve u redu, kasniji rad je samo poboljšanje celokupnog kvaliteta ukoliko alate koristimo kako treba. Naravno, ovo važi u slučaju da zahtevamo profesionalni nivo. Kada je u pitanju kućna zabava ili nešto slično, možemo biti mnogo opušteniji.

2.1 KVANTIZACIJA

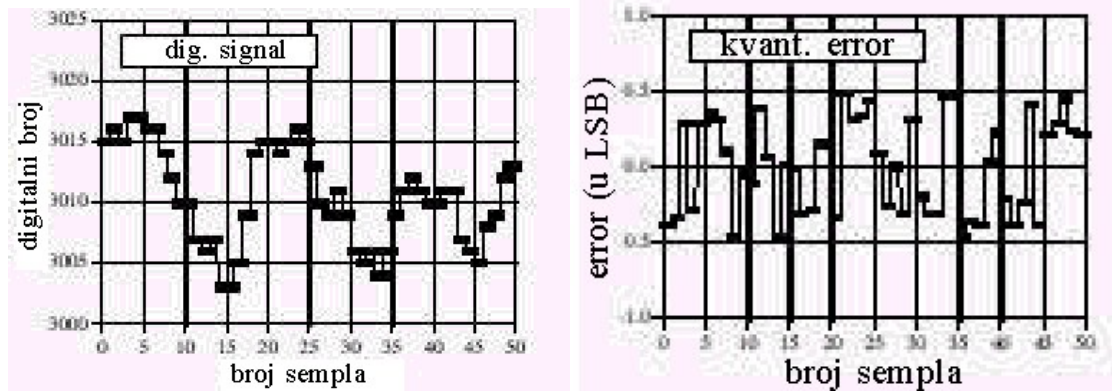
Originalni analogni signal prvo nailazi na S/H (sample-and-hold) kolo koje je zaduženo da drži napon na konstantnom nivou dok ulazi u ADC (analog-to-digital-converter) i vrši se konverzija. Izlaz S/H menja se u periodičnim intervalima određenog trajanja, a vrednost napona se ne menja tokom ovih intervala i jednaka je početnoj vrednosti, pa su sve promene do sledećeg trenutka kada S/H zamrzava vrednost ignorisane. Već uočavamo prvu manu digitalizovanog zvuka. Dakle, semplovanje prevodi nezavisnu promenljivu (vreme) iz kontinualne u diskretnu. Zatim, ADC dodeljuje celobrojnu vrednost naponu, uvodeći još jednu grešku, pored one da su sve promene tokom intervala ignorisane, jer napon može imati bilo koju vrednost u određenom rasponu. U pitanju je kvantizacija koja konvertuje zavisnu promenljivu (amplitudu signala) iz kontinualne u diskretnu. Semplovanje i kvantizacija su pri AD konverziji odvojeni pojmovi jer na različit način degradiraju signal.



Originalni analogni signal nailazi na S/H komponentu

Bilo koji sempl može imati maksimalnu grešku od $\pm 1/2$ LSB (least-significant-bit). LSB je rastojanje između 2 kvantizaciona nivoa. Prema tome, digitalni izlaz odgovara zbiru analognog ulaza i kvantizacione greške. Kvantizaciona greška vodi do jedne važne pojave – kvantizacionog šuma, jer dolazi do dodavanja slučajnog šuma u odgovarajućem nivou. Šum je najčešće između $\pm 1/2$ LSB i ima standardnu devijaciju od $\approx 0,29$ LSB. Tako propuštanje analognog signala kroz osmobarbitni ADC dodaje šum čija je RMS $0,29/256$ ili $1/900$ ukupne

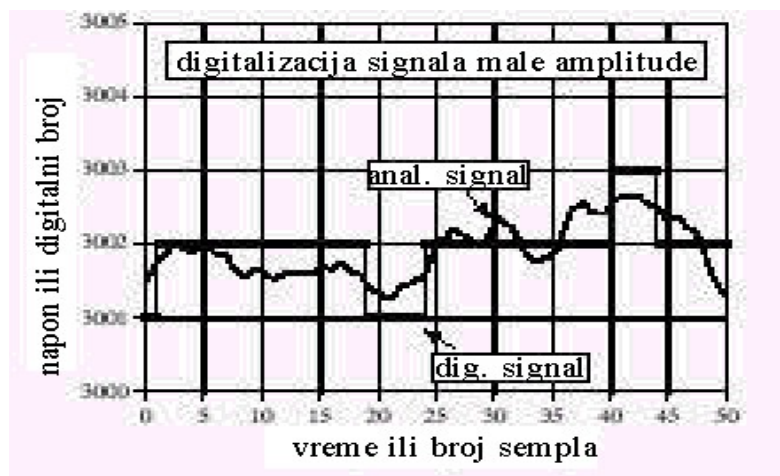
skale. Šum je dosta oučljiv pri osmobarbitnoj kvantizaciji. Za šesnaestobarbitni ADC nivo šuma je 1/227000 skale i to je mnogo bolji zvuk – zapravo, CD kvalitet.



Digitalizovan signal i kvantizaciona greška

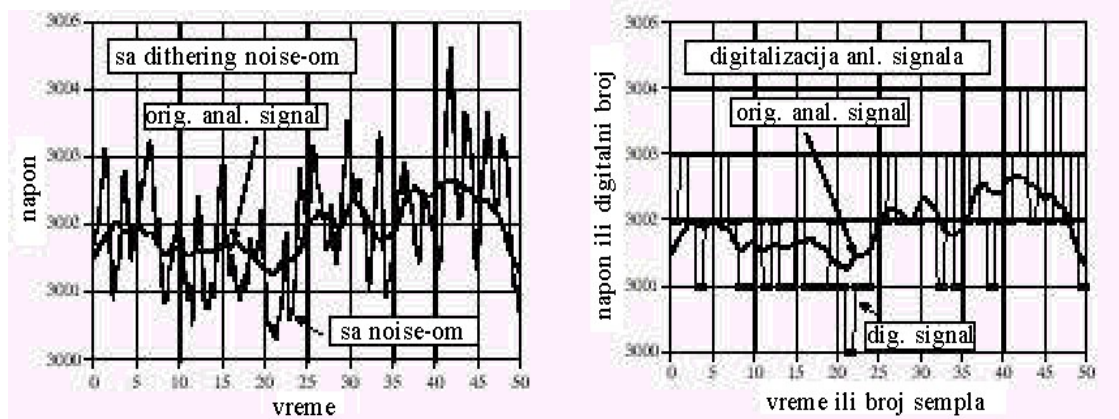
Šta je bit? Bit je zapravo cifra koja može imati vrednost 1 ili 0. Ako kažemo da sempl ima 16 bita, to znači da je amplituda opisana šesnaestobarbitnom reči, što dozvoljava $2^{16} = 65536$ kombinacija – kvantizacionih nivoa, odnosno celobrojnih vrednosti kojima se dodeljuje zaokružena vrednost napona u određenom trenutku. U praksi, broj bita ima značajan uticaj na S/N ratio – odnos signala i šuma u ukupnom signalu, t.j. dinamički opseg. Teorijski, svaki bit donosi poboljšanje od oko 6 dB, pa je za 16 bita S/N ratio oko 96 dB, za 8 bita samo 48 dB, za 24 bita čak 144 dB. Ipak, realno su ove vrednosti lošije, u zavisnosti od elektronskih komponenti koje grade ADC, šuma samog inputa (audio ulaza), i drugih faktora. Tako je za 16 bita S/N ratio veći od 80 dB odličan, a na 24 bita se može postići i do 120 dB veoma kvalitetnom opremom.

Kada odlučujemo koliko nam je bita potrebno za neku konverziju, pitamo se koliko je šuma već prisutno u analognom signalu i koliko šuma može biti dozvoljeno u digitalnom signalu. Ali kada ovaj princip važi? Samo kada je kvantizaciona greška tretirana kao slučajna (random). Postoji slučaj pri kome kvantizaciona greška nije random, odnosno signal (izlaz) S/H ima približno isti nivo tokom niza uzastopnih semplova. Tada digitalni izlaz ostaje na potpuno istom broju, iako se analogni signal može menjati do $\pm 1/2$ LSB. Umesto šuma, sada imamo nešto što liči na thresholding efekat ili čudnu distorziju.



Signal čija se amplituda relativno malo menja

Dithering je tehnika koja poboljšava ovakav signal i čini ga prirodnijim. Jednostavno, dodaje se malo random šuma kontrolisano na analogni signal, tako da dobijeni signal sada ima peak-to-peak amplitudu veću od $\pm 1/2$ LSB. Ovo omogućuje da digitalni signal slučajno menja nivo između 2 kvantizaciona nivoa, iako originalni signal varira manje od $\pm 1/2$ LSB. To je neobičajena situacija, jer dodavanje šuma obezbeđuje više informacija. Dithering je važna operacija, čak i trik, da se digitalni signal učini prirodnijim i može biti neophodan i u DD (digital-to-digital) konvertorima, npr. pri redukciji broja bita, kao kod pripreme 24-bitnog mastera za rezanje na CD koji je šesnaestobitan. Proizvođači se trude da naprave što bolje dithering algoritme i najpoznatiji bi bili Apogee čije se tehnike koriste u vrhunskim uređajima i softveru, a koji inače pravi i najbolje AD konvertore. Zatim, tu je i Waves-ov IDR algoritam upotrebljen u softverskoj verziji L2 Ultramaximizer hardverskog procesora.



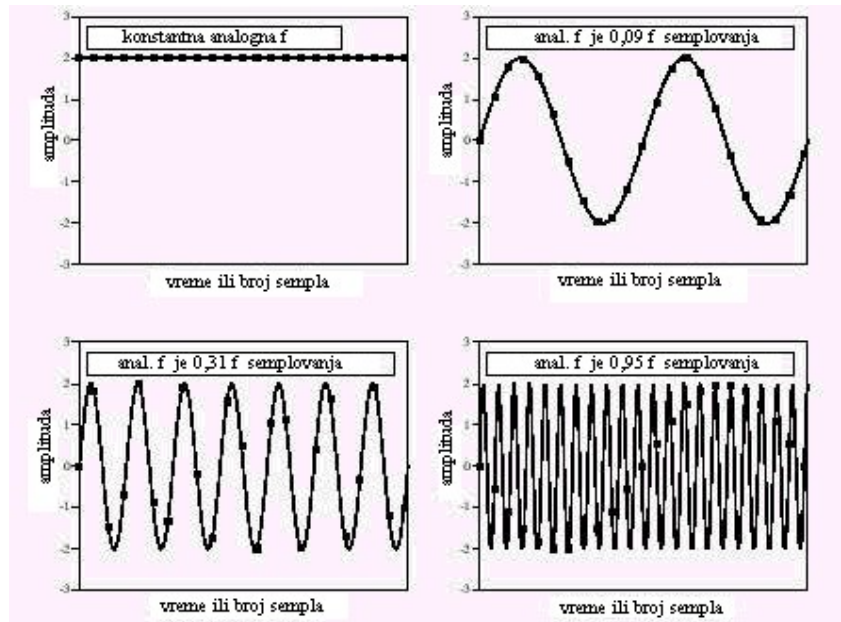
Posle dithering-a

Treba pomenuti i noise shaping – samo ime govori da se ova procedura bavi šumom. Zapravo, šum se potiskuje u više delove audibilnog spektra i van njega, gde je subjektivno dosta tiši ili nečujan. Ovo je takođe korisna operacija.

2.2 NAJKVISTOVA TEOREMA

Definicija pravilnog smplovanja je veoma jednostavna. Ako smplojete kontinualan signal i posle možete tačno da ga rekonstruišete od dobijenih smplova, smplovanje je sigurno pravilno izvršeno. Čak iako smplovani podaci deluju neobično ili nekompletno, ako je proces reverzibilan, cilj je postignut. To nas vodi do jedne DSP mudrosti: teoreme smplovanja, poznatije kao Najkvistova teorema, ili Šenonova teorema, posle članaka ovih autora objavljenih 1940-ih godina na tu temu.

Najkvistova teorema kaže da kontinualan signal može biti pravilno smplovan, samo ako ne sadrži frekventne komponente iznad polovine frekvencije smplovanja. Samo onda. Ukoliko signal ipak sadrži komponente više od polovine frekvencije smplovanja, dolazi do pojave poznate kao aliasing. To je fenomen pri kome sinusoide umesto svoje originalne frekvencije, koja je iznad polovine frekvencije smplovanja, dobijaju neku frekvenciju iz opsega ispod te polovine. Tada je nemoguće rekonstruisati originalni signal, jer digitalni sadrži i prave komponente, i lažne, za koje nikako ne možemo znati originalnu frekvenciju. Trivijalno, potrebne su bar tri tačke (smplova) po periodu oscilacije, da bi mogla da se rekonstruiše originalna slika. Recimo, za analognu frekvenciju (f_a) jednaku 0,09 frekvencije smplovanja (f_s) ima 11,1 smplova po periodu, i oni prate tok sinusoide. Za $f_a = 0,31 f_s$ ima samo 3,2 smplova po periodu i smplovi više ne prate sinusoidu, ali je moguće naći originalni signal, očigledno složenijom metodom od povlačenja pravih linija između smplova. Već za



Neki primeri analognih frekvencija

$f_a = 0,51 f_s$, kada imamo manje od 2 sempla po periodu, doći će do aliasinga. Treba uočiti nekoliko bitnih frekvencija kod teoreme smplovanja. Prvo, to je najviša frekvencija nekog analognog signala koji smplojujemo, npr. 3 kHz. Drugo, to znači da f_s mora biti bar 6 kHz. Treće, možemo koristiti npr. 8 kHz, pa je četvrta bitna frekvencija polovina treće – 4 kHz, što dozvoljava frekvencijama do 4 kHz da budu pravilno smplovane. Pri aliasing-u može doći i do promene faze frekventnih komponenti, i to za 180 stepeni – to je, dakle, inverzija. Ona se javlja za f_a koje je 0,5 do 1, 1,5 do 2, 2,5 do 3, itd. f_s . Za ostale nema fazne promene. Da bi se sprečio aliasing koristi se antialias, t.j. brickwall filter. To je običan low-pass filter, koji teži da eliminiše sve frekvencije iznad polovine f_s , i on se postavlja pre sample-and-hold kola.

Kad je reč o snimanju muzike, najčešća f_s je 44,1 kHz, koja se koristi i na kompakt disku. Ova f_s dozvoljava da sve f_a do 22,050 Hz budu sigurno zabaležene, što je sasvim dovoljno. Rezolucija amplitude je 16 bita. Ipak, profesionalni sistemi koriste f_s od 96 kHz, što je mnogo finiji i precizniji zapis. Uz rezoluciju od 24 bita postiže se sjajan kvalitet.

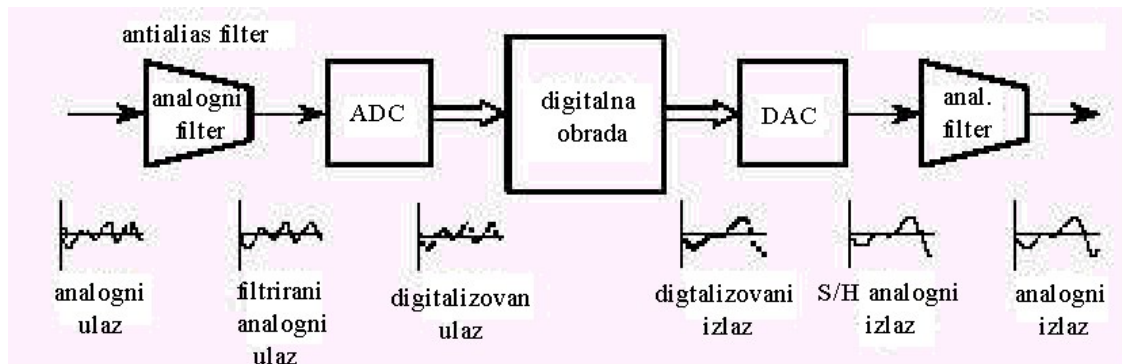
2.3 D/A KONVERZIJA

D/A konvertori nam omogućuju da čujemo smplovani signal, tako što ga pretvaraju u električni i vode do zvučnika ili slušalica. Gotovo svi DAC koriste zeroth-order-hold, pandan S/H. Dakle, drži se određen nivo, dok sledeći smppl ne dođe. Zatim, signal prolazi kroz analogni filter, tzv. reconstruction filter. To je low-pass filter podešen na Najkvistovu frekvenciju. Ima dve uloge: da eliminiše sve frekvencije iznad polovine f_s , da pojača frekvencije (povećanje amplitude je oko 36% na polovini f_s).

Postoji jedno opšte mišljenje o digitalnim i analognim signalima. Digitalni signal je ograničen na više načina, on ograničava rezoluciju zavisne i nezavisne promenljive. Mišljenje je da pošto analogni signal koristi kontinualne parametre, on ima beskonačno dobru rezoluciju i u domenu zavisne i u domenu nezavisne promenljive. To je pogrešno. Analogni signali su ograničeni šumom (S/N odnosom) i opsegom (najvišom dozvoljenom frekvencijom). Sve to, na neki način, čini analogni signal sličnim digitalnom.

Dakle, put signala može biti ovakav: prvo nailazi na anti-alias filter, zatim na S/H, pa se vrši kvantizacija i A/D konverzija i dobija digitalni signal. Sledeće bi bilo digitalno

procesiranje, ukoliko je potrebno (najverovatnije da jeste, zbog čega se i sempluje analogni signal). Obradeni digitalni signal nailazi na D/A konvertor, zeroth-order-hold stvara zapravo S/H analogni izlaz, a zatim se koristi reconstruction filter.



Tok A/D i D/A konverzije

Postoji više tipova reconstruction filtera. Uobičajeno, koriste se tri tipa: Chebyshev, Butterworth i Bessel filteri. Naravno, oni mogu biti i anti-alias filteri. Svaki od navedenih ima različite karakteristike. Bitna karakteristika filtera je broj polova (pojava), koji najčešće iznosi od 2 do 6, pa i 8, a što utiče na oštrinu filtera. 8-polni je veoma oštar, što znači da je odsecanje iznad ili ispod, pre svega iznad u našim primerima, određene frekvencije (tzv. cutoff frekvencije) veoma efikasno. Nijedan analogni filter nije savršen i koliko problema teži da spreči, toliko može i da stvori. Generalno, frekventni opseg između 0,4 i 0,5 fs je neupotrebljiv, jer ukoliko želimo da sve frekvencije iznad 0,5 fs budu na manje od 1% prvobitne amplitude, cutoff frekvencija mora biti niža od 0,5 fs. To je jedan od glavnih problema. Zato treba izabrati filter koji najbolje odgovara određenoj situaciji.

Ovo su osnove A/D i D/A konverzije. Pošto smo se detaljnije upoznali sa zvukom, koji je glavni predmet naše pažnje, i razumeli principe digitalnog signala, možemo preći na praktičnu primenu ovog znanja.

III OBRADA ZVUKA

U ovom poglavlju ćemo se upoznati sa formatima digitalnog zapisa i njegovim osobinama, kao i sa osnovnim funkcijama obrade zvuka. One manipulišu jačinom, sample rate-om, rezolucijom, i ne teže da menjaju karakteristike samog zvuka kao što su boja i visina, do čega, ipak, neizbežno dolazi. Sa druge strane efekti upravo menjaju karakteristike zvuka, najčešće čujno, ali nekad baš diskretno. Kako su efekti široka, interesantna i važna oblast, jer daju završni sjaj nekom audio materijalu, o njima će biti reči u sledećem, posebnom, poglavlju, iako i oni jesu obrada zvuka. Za sada ćemo se zadržati na odlikama semplova i osnovnim funkcijama. Pojmovi su objašnjeni u Sound Forge programu i pomoću raznih Direct X i VST plugin-ova.

3.1 DIGITALNI ZAPIS

Postoji veliki broj formata digitalnog zapisa, što predstavlja problem. Ipak, najčešće su u upotrebi .wav (Microsoft) i .aiff (Macintosh, Amiga) formati. Ovo su uvek standardni digitalni snimci. Treba razlikovati ovakve obične semplove i programe za semplove i sintisajzere koji mogu sadržati i jedan i mnogo više semplova uz dodatne informacije i podešavanja načina na koji se ti semplovi reprodukuju (pre svega koristeći klavijaturu, svirajući), što je karakteristično za svaki format. Kada se radi o .wav formatu koji se upotrebljava na PC računarima, uobičajeno je da to bude RIFF wave, PCM (pulse-code-modulation) formata. U suprotnom, može doći do problema pri korišćenju sempla. Editori i stempl konverteri mogu dovesti stempl u ovaj oblik veoma jednostavno. Tu treba pomenuti Sound Forge, Wave Lab, Awave i mnoge druge. Translator i CD Extract su programi koji se ne bave rezolucijom i oblikom sempla, već vrše konverziju između programa za Akai, E-mu i ostale semplove, pa su iz tog razloga veoma korisni alati. Evo liste mnogih formata, ali ni to zapravo nisu svi koji postoje.

669	669 tracker module.
AIFC	Compressed Audio Interchange File Format.
AIFF	Audio Interchange File Format.
AIS	Velvet Studio Instruments.
ALAW	European telephony format audio.
AMS	Extreme's Tracker module format.
AMS	Velvet Studio Module.
APEX	AVM Sample Studio bank file.
ASE	Velvet Studio Sample.
AU	Sun/NeXT/DEC Audio file.
AVI	MS Audio Video Interleave file.
AVR	Audio Visual Research sound file.
C01	Typhoon wave files.
CDR	Raw Audio-CD data.
DCM	DCM module format.
DEWF	Macintosh SoundCap/SoundEdit recorded instrument format

DIG	Digilink format.
DIG	Sound Designer I audio file.
DLS	DownLoadable Sounds.
DMF	Delusion/XTracker Digital Music Fileformat.
DSF	Delusion/XTracker Digital Sample Fileformat.
DSM	Digital Sound Module tracker format.
DTM	DigiTrekker module.
DWD	DiamondWare Digitized file.
EDA	Ensoniq ASR disk image.
EDE	Ensoniq EPS disk image.
EDK	Ensoniq KT disk image.
EDQ	Ensoniq SQ1/SQ2/KS32 disk image.
EDS	Ensoniq SQ80 disk image.
EDV	Ensoniq VFX-SD disk image.
EFA	Ensoniq ASR file.
EFE	Ensoniq EPS file.
EFK	Ensoniq KT file.
EFQ	Ensoniq SQ1/SQ2/KS32 file.
EFS	Ensoniq SQ80 file.
EFV	Ensoniq VFX-SD file.
EMB	Everest EMBedded bank file.
EMD	ABT Extended MoDule.
ESPS	ESPS audio files.
EUI	Ensoniq EPS family compacted disk image.
F2R	Farandoye linear module format.
F3R	Farandoye blocked linear module format.
F32	Raw IEEE 32bit floating point values.
F64	Raw IEEE 32bit floating point values.
FAR	Farandoye tracker module.
FFF	GUS PnP bank file format.
FNK	FunkTracker module format.
FSM	Farandoye Sample format.
FZB	Casio FZ-1 Bank dump.
FZF	Casio FZ-1 Full dump.
FZV	Casio FZ-1 Voice dump.
G721	Raw CCITT G.721 4bit ADPCM format data.
G723	Raw CCITT G.723 3 or 5bit ADPCM format data.
GDM	Bells, Whistles, and Sound Boards module format.
GKH	Ensoniq EPS family disk image file.
GSM	Raw GSM 6.10 audio stream.
GSM	Raw 'byte aligned' GSM 6.10 audio stream.
GSM	US Robotics voice modems GSM w.o. header / VoiceGuide / RapidComm.
GSM	US Robotics voice modems GSM w. header / QuickLink.
HCOM	Sound Tools HCOM format.
IFF	Interchange file format.
INI	MWave DSP synth's mwsynth.ini GM-setup.
INI	Gravis UltraSound bank setup.
INRS	INRS-Telecommunications audio.
INS	Ensoniq EPS family instrument.
INS	Sample Cell / II Mac instrument.

INS	Sample Cell / II PC instrument.
IST	Digitrakker Instrument File.
IT	Impulse Tracker module.
ITI	Impulse Tracker instrument.
ITS	Impulse Tracker sample.
K25	Kurzweil 2500 sample.
KMP	Korg Trinity KeyMaP file.
KR1	Kurzweil 2000 sample (multi-floppy).
KRZ	Kurzweil 2000 sample.
KSC	Korg Trinity SScript file.
KSF	Korg Trinity Sample File.
MAT	Matlab variables binary file.
MAUD	MAUD sample format.
MDL	Digitrakker Module.
MED	OctaMED tracker module.
MLS	Miles Sound System compressed DLS file.
MOD	Amiga and PC tracker module.
MOV	Apple QuickTime audio.
MP1	MPEG audio stream, layer I.
MP2	MPEG audio stream, layer II.
MP3	MPEG audio stream, layer III.
MPA	MPEG audio stream, layer I, II, 'II½' or III.
MPEG	MPEG system stream, audio+video.
MPG	MPEG system stream, audio+video.
MSS	Miles Sound System embedded XMIDI+DLS/MLS file.
MTM	MultiTracker Module.
MUS10	Mus10 audio.
NIST	NIST Sphere audio.
O01	Typhoon vOice file.
OKT	Oktalyzer tracker module.
PAC	SB Studio II package.
PAT	Advanced Gravis Ultrasound / Forte tech. Patch.
PBF	Turtle Beach Pinnacle Bank File.
PCM	OKI MSM6376 synth chip PCM format.
PLM	DisorderTracker2 module.
PLS	DisorderTracker2 sample.
PPF	Turtle Beach Pinnacle Program File.
PRG	WAVmaker program.
PSB	Pinnacle Sound Bank.
PSION	PSION a-law audio.
PSM	Protracker Studio Module Format.
PTM	Poly Tracker module.
RAW	Raw signed PCM data.
SAM	Signed 8bit Sample data.
SB	Raw Signed Byte (8bit) data.
SBK	Emu SoundFont v1.x Bank files / Creative Labs SB AWE 32.
SC2	Sample Cell / II PC instrument.
SD	Sound Designer I audio.
SD2	Sound Designer II flattened file.
SD2	Sound Designer II data fork.

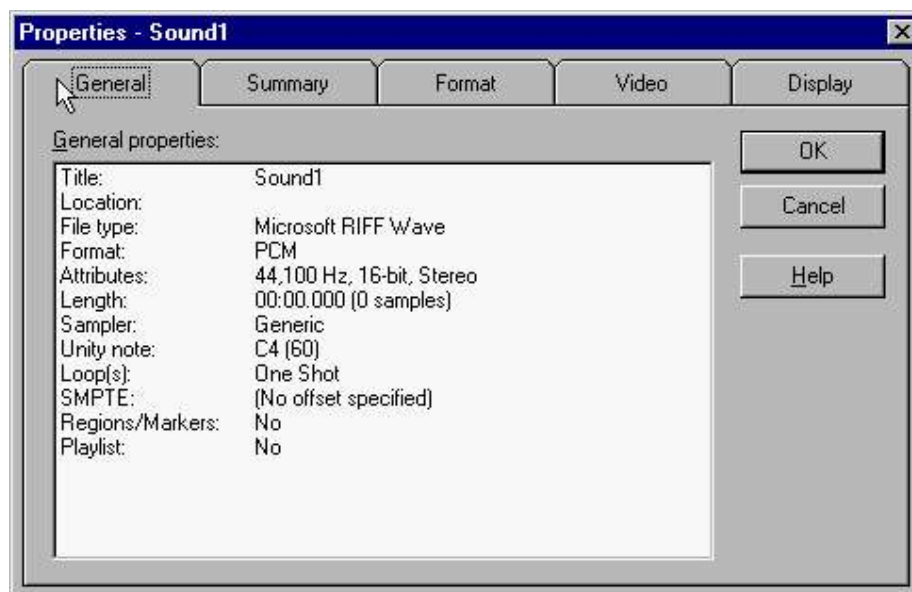
SDK	Roland S-series floppy disk image.
SDS	Raw Midi Sample Dump Standard file.
SDW	Raw Signed DWord (32bit) data.
SDX	Midi Sample Dump Standard files as compacted by SDX.
SF	IRCAM SoundFile format.
SF2	Emu SoundFont v2.0 file.
SFD	SoundStage Sound File Data.
SFI	SoundStage Sound File Info.
SFR	Sonic Foundry Sample Resource.
SMP	Samplevision format.
SMP	Ad Lib Gold Sample.
SMP	Avalon sample format.
SND	Raw unsigned PCM data.
SND	AKAI MPC-series sample.
SNDR	Sounder sound file.
SNDT	Sndtool sound file.
SOU	SB Studio II sound.
SPD	Speech Data file.
SPL	Digitrakker Sample.
SPPACK	SPPack sound sample.
STM	Scream tracker v2 module.
S3I	Scream tracker v3 instrument.
S3M	Scream tracker v3 module.
SVX	Interchange file format, 8SVX/16SV.
SW	Raw Signed Word (16bit) data.
SYW	Yamaha SY-series wave files (really named .W??).
TXT	Ascii Text formatted audio data.
TXW	Yamaha TX16W wave files (really named .W??).
UB	Raw Unsigned Byte (8bit) data.
UDW	Raw Unsigned DWord (32bit) data.
ULAW	US telephony format (CCITT G.711) audio.
ULT	UltraTracker modules.
UNI	MikMod 'UniMod' format.
UW	Raw Unsigned Word (16bit) data.
UWF	UltraTracker Wave File.
V8	Covox 8bit audio.
VAP	Annotated speech.
VOC	Creative labs sound.
VOX	Dialogic adpcm.
VOX	Talking Technology Incorporated file.
W??	Yamaha waveforms (see TXW, SYW).
WAV	Ms Windows PCM wave.
WFB	Turtle Beach WaveFront Bank (Maui/Rio/Monterey).
WFD	Turtle Beach WaveFront Drum set (Maui/Rio/Monterey).
WFP	Turtle Beach WaveFront Program (Maui/Rio/Monterey).
XM	Fast Tracker 2 extended module.
XI	Fast Tracker 2 instrument.

Naravno, jedan od najbitnijih problema je i veličina sempla, odnosno prostor koji on zauzima na, recimo, hard-disku ili nekom drugom medijumu. Jedan sekund materijala pri CD

kvalitetu, dakle na 16 bita, 44,1 kHz i 2 kanala (stereo) zauzima oko 176 K. Sve ove veličine srazmerno utiču na veličinu fajla, pa će mono sempl iste rezolucije zauzeti duplo manje prostora, oko 88 K. Mono sempl rezolucije 16 bita, 22,050 Hz zauzima oko 44 K – ovo je u nekim aplikacijama još uvek upotrebljiv kvalitet. Međutim, ako zahtevamo vrhunski kvalitet – 24 bita, 96 kHz, stereo – 1 sekund zapisa oduzima nam približno 576 K memorije, što je dosta. Minut je već oko 33 M. Nekad se za snimanje ozbiljne muzike koristi i rezolucija od 192 kHz. To zahteva velike troškove za memoriju.

	16/44.1/S (CD)	24/96/S	16/22.050/M	8/11.025/M
1 sekund	176 K	576 K	44 K	11 K
1 minut	10.3 M	33.8 M	2.6 M	660 K
1 sat	618.8 M	2025 M	154.7 M	38.7 M

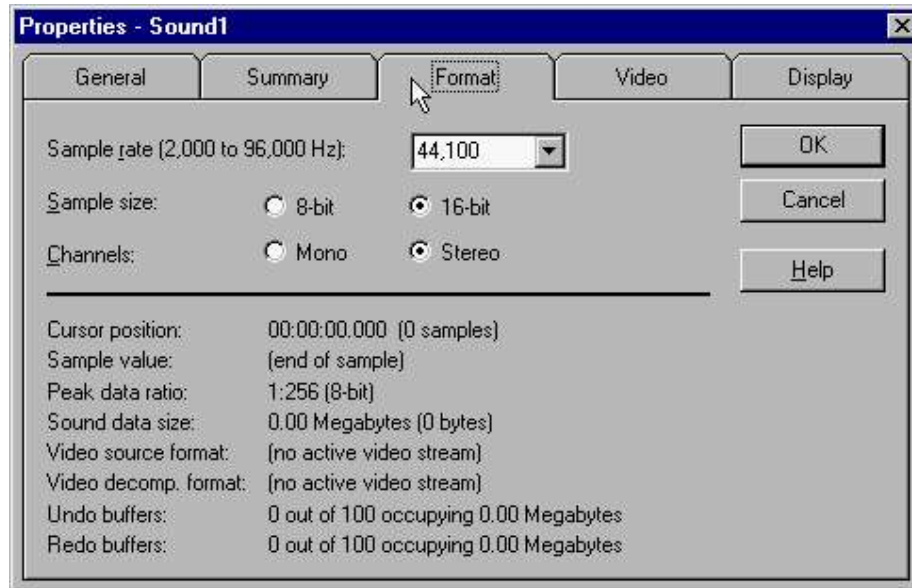
Približne veličine za sekund, minut i sat pri određenoj rezoluciji



General Properties prozor u Sound Forge-u

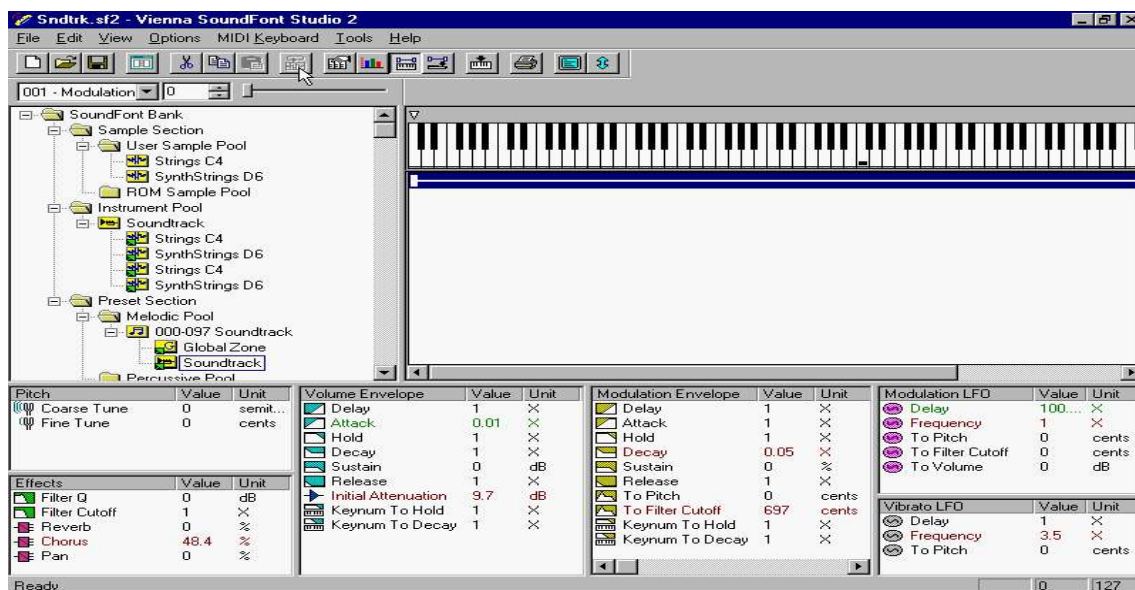
Koje su još bitne karakteristike sempla, pored rezolucije i veličine? Semplu se dodeljuje i osnovna nota, od C-1 do C9. Ukoliko sempl predstavlja određeni ton, ovo je važno. Takođe, sempl može biti one shot ili sustaining. One shot sempl se reprodukuje jednom od početka do kraja. Sustaining sadži loop koji obuhvata ili ceo sempl ili neki deo. Loop je deo koji se ponavlja beskonačno ili neki broj puta. Pri izradi semplova koji imitiraju prave instrumente, a zvuk traje, kao kod gudala, duvača i drugih, loop nam omogućuje da iskoristimo kratak snimak tako što određenu sekciju ponavljamo beskonačno (ona traje dok, recimo, držimo dirku na klavijaturi). Naravno, sve mora da zvuči prirodno, a to je često teško postići. Potrebno je imati dobar sluh i dosta iskustva. Loop-om se naziva i ritmička fraza od 1 ili više taktova. Kada ponavljamo takvu frazu, čini nam se da ritam ide neprekidno – ovo je prilično česta upotreba loop-a.

Kada se radi o programima za simplere, tu se semplovi raspoređuju na određen način, a zatim modifikuju i procesiraju (npr. filtriraju) u real-time operacijama. Semplovi mogu biti raspoređeni po klavijaturi tako da svaki sempl ima svoju zonu. Oni zajedno čine jedan



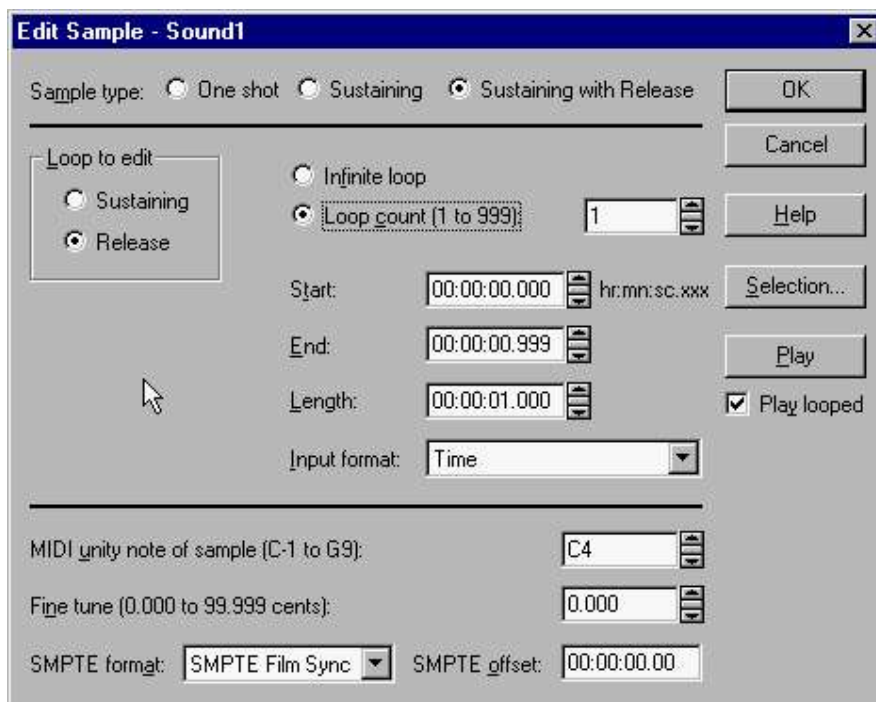
Format Properties prozor u Sound Forge-u

instrument. Instrument može imati obično do 4 tzv. layer-a, odnosno setova zona koje pokrivaju celu klavijaturu. Envelope, filteri i modulacije karakteristični su za svaki tip semplera. Instrumenti su organizovani u banke, gde svaka banka može imati do 128 ovakvih instrumenata. Možda su najpopularniji programi na PC računarima E-mu-ovi soundfont-ovi. Ovaj format čitaju Creative SB Live! zvučne karte, a semplovi se smeštaju u RAM računara. Može se koristiti do 32 M memorije. Pored uobičajenog raspoređivanja semplova i envelopea, ovaj format daje i rezonantni low-pass filter, kao i LFO. Pored soundfont-ova, koristi se i Gigasampler (.gig). On omogućava čitanje semplova sa hard-diska, ali koristi centralni procesor računara, što ograničava njegove mogućnosti. Kada su u pitanju hardverski sempleri, svakako su najpopularniji Akai-jevi proizvodi. Mogućnosti su sjajne, ali je cena srazmerna.



Vienna Sound Font Studio – editor sound font-ova

A evo i kako u Sound Forge-u izgleda prozor u kojem se podešava loop zona sempla. Besmisleno je ukucavati neke cifre napamet. Kada se pravi loop, uvek se oslanjamo na sopstveni sluh i eksperimentišemo selektujući odgovarajući deo sempla.



Edit Sample prozor

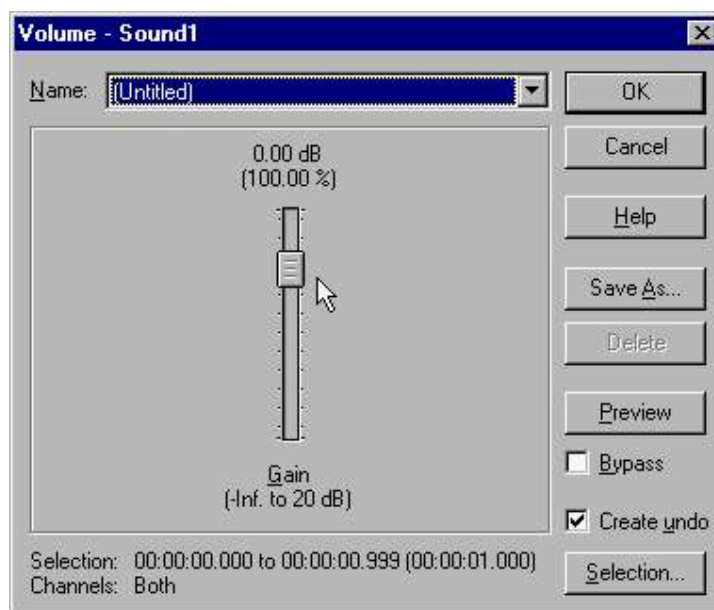
3.2 OSNOVNE FUNKCIJE

Osnovne funkcije (basic editing functions) se bave, kao što je već rečeno, jačinom i rezolucijom sempla. Pre svega to je obična promena jačine, zatim progresija jačine, konverzija sample rate-a i broja bita – ne tako jednostavne operacije kao što se na prvi pogled čini. Objasnićemo ih na konkretnom primeru, onako kako su prikazane i izvedene u Sound Forge-u. Dakle to su: jačina (volume), normalizacija (normalization), mute, reverse, mono/stereo, fade in/out, envelope, pan, 8/16 bit, resample, invert, time compress/expand – najčešće se sreću ove funkcije u ozbiljnijim audio editorima. Neke mogu izostati, što svakako nije poželjno, postoje i neke posebne.

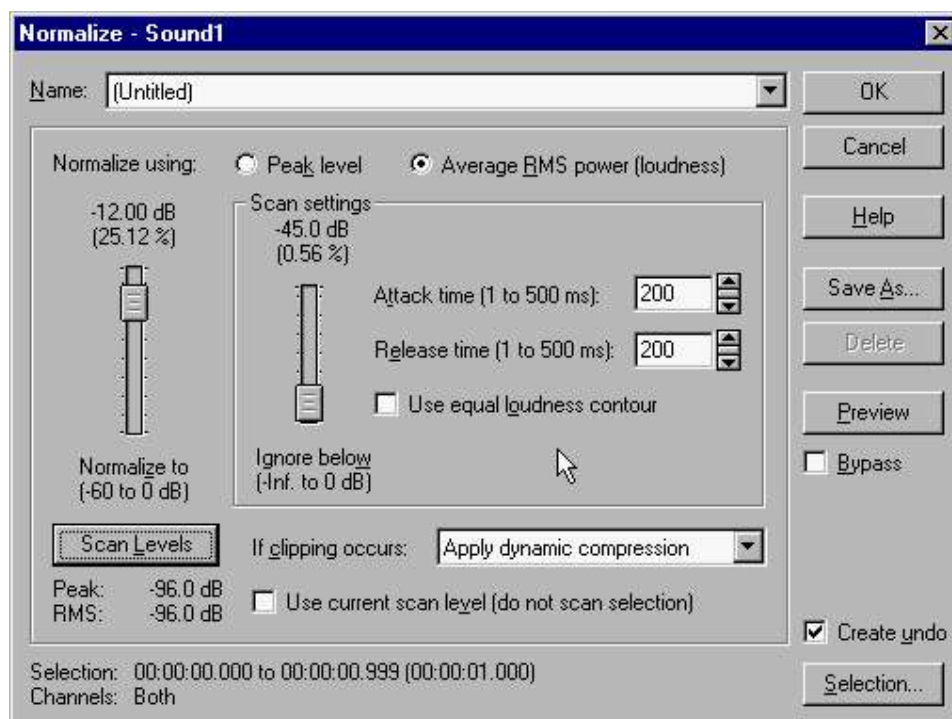
Volume – ovo je promena jačine, gotovo uvek u decibelima (može se desiti u procentima). Moguće je potpuno utišati zvuk, ili ga pojačati za, recimo 20 dB. Pojačanje od 6 dB predstavlja duplo jači signal, dok smanjenje od 6 dB daje duplo tiši signal. Smanjenje od 6 dB korisno je pri sabiranju dva kanala (stereo) u jedan (mono) signal, da bi se izbegla moguća izobličenja, jer bi amplituda dobijenog signala trebala da bude duplo veća. Utišavanjem od 6 dB pre sabiranja signal ostaje na istom nivou.

Normalize – važna operacija. To je dovođenje peak amplitude na određeni nivo. Potrebno je selektovati jedan deo, ili ceo sempl. Tada se traži najviši nivo u tom delu, a zatim se ceo pojačava ili utišava tačno onoliko koliko je potrebno da bi peak nivo došao na željeni nivo. Logično, normalizacija se ne može vršiti na preko 0 dB, ali može na beskonačno tiho, što je, dakle, potpuna tišina (mute). Postoji i normalizacija RMS snage, ali se veoma retko koristi i nema bitnu primenu.

Mute – ova funkcija utišava nivo na $-\infty$, ekvivalentni rezultati mogu se postići i volume funkcijom. Nema ni šuma – to je potpuna tišina.



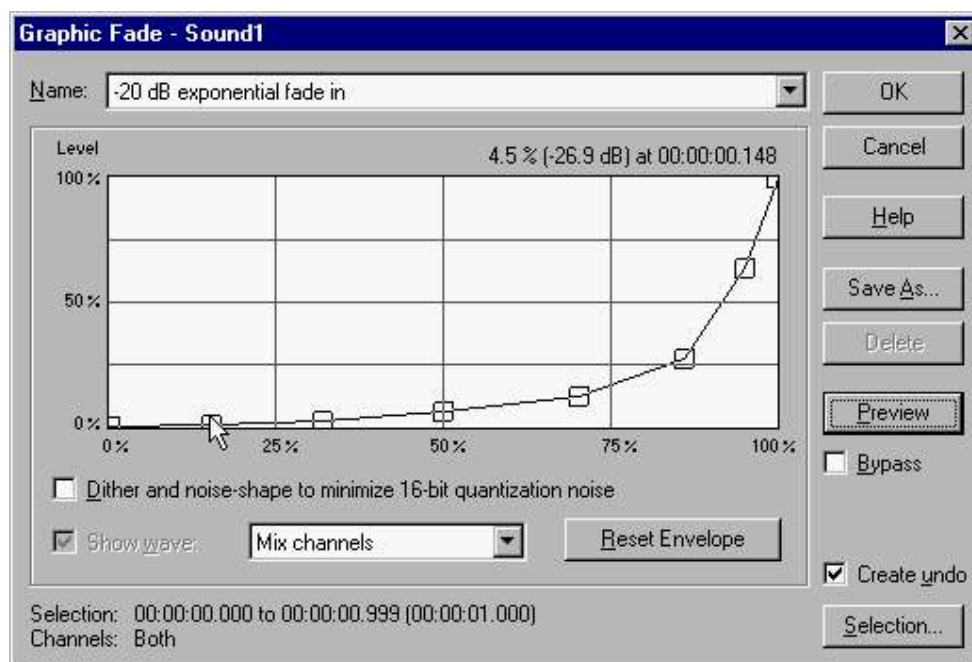
Volume prozor u Sound Forge-u



Normalize prozor u Sound Forge-u

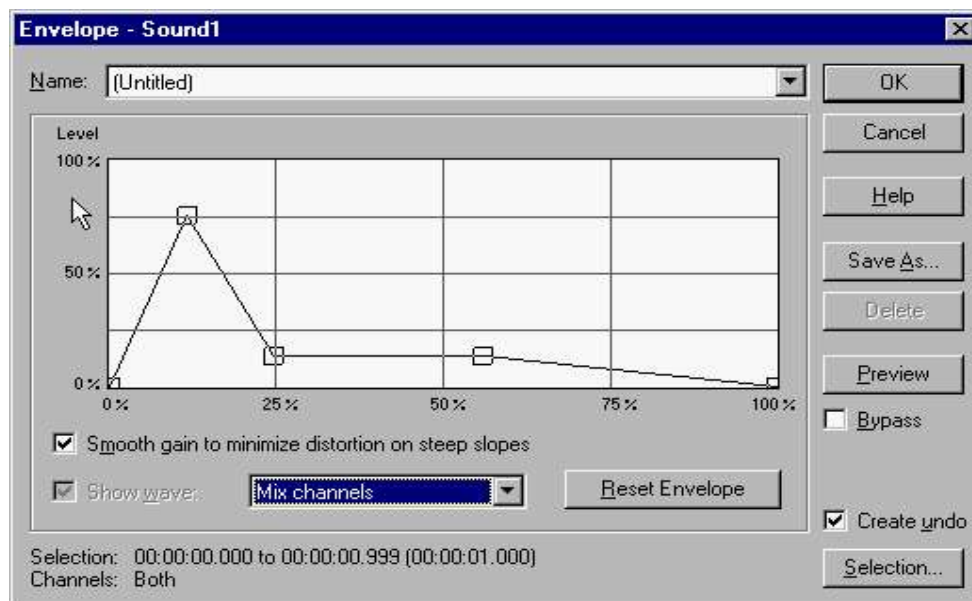
Fade In / Out – to je linearna promena jačine od $-\infty$ do određenog nivoa i obrnuto. Često se koristi na celom snimku neke kompozicije tako što se početak ili kraj fade-uju. Dakle, potrebno je selektovati deo pri početku ili kraju snimka. Takođe, može se koristiti i na

malim semplovima za eliminisanje tzv. klikova na ivicama, kada amplituda nije na $-\infty$, na isti način i na ritmičkim loop-ovima. Postoji i grafički fade gde se progresija amplitude iscrtava, pa se na ovaj način može imitirati i eksponencijalni fade.



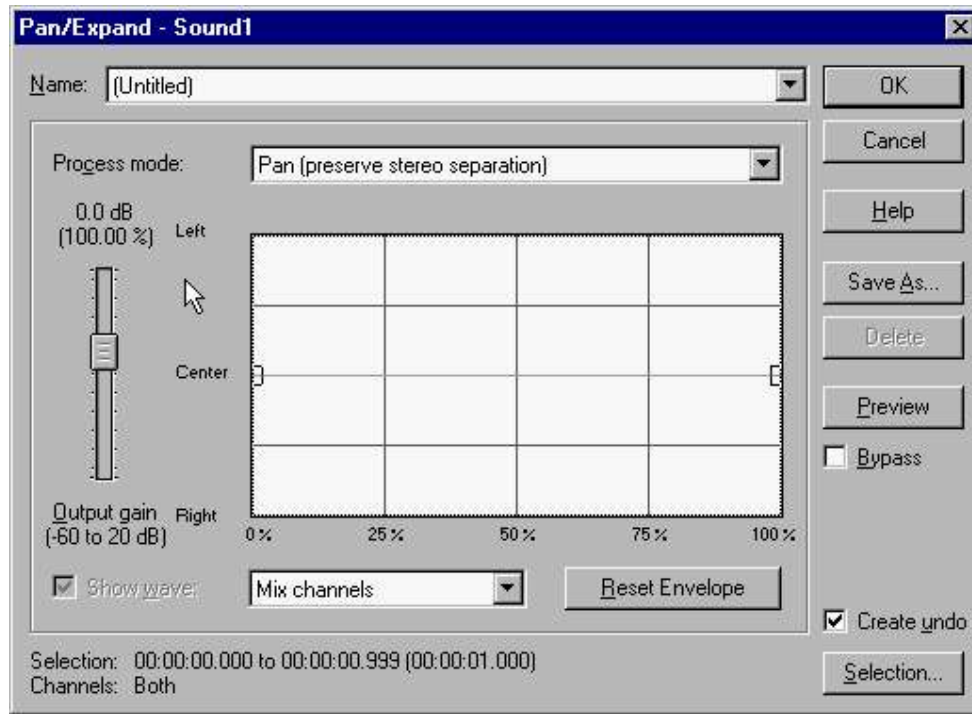
Graphic fade prozor u Sound Forge-u

Envelope – u pitanju je jednostavno crtanje progresije amplitude zvuka. Ovako može i da se izjednači amplituda tokom celog zapisa i dobije neprirodno zvučanje, što nije cilj. Moguća je bilo kakva kombinacija. Obično se primenjuje ADSR envelope, o kojoj je već bilo reči.



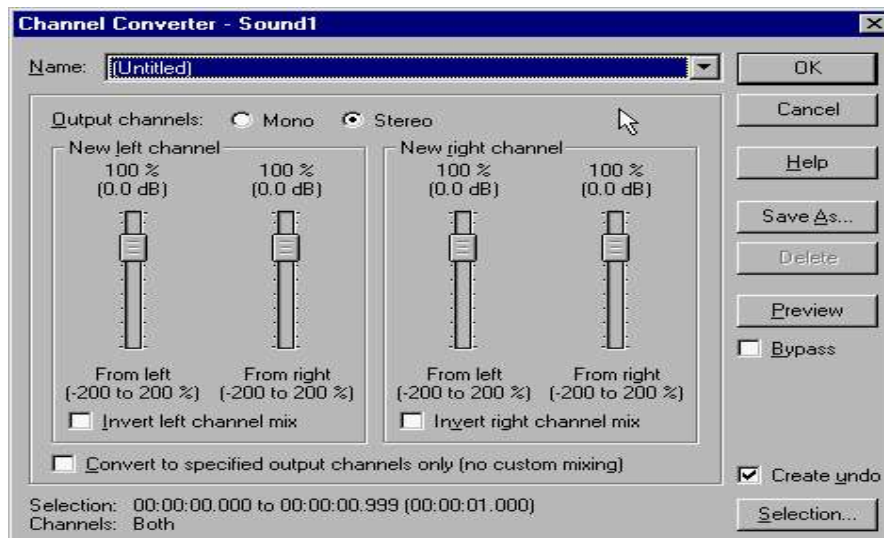
Envelope prozor u Sound Forge-u

Pan – bavi se pozicijom u stereo slici. Razlikujemo levu (L), centralnu (C) i desnu (R) poziciju kao karakteristične tačke, a zvuk možemo postaviti bilo gde. Interesantno je da u Sound Forge-u možemo crtati progresiju pozicije, baš kao i amplitude.



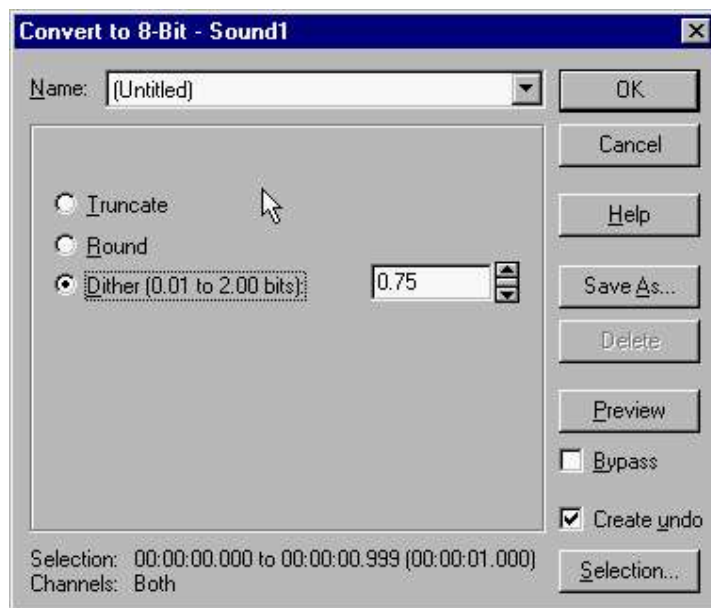
Pan prozor u Sound Forge-u

Mono/Stereo – opcija koja određuje broj kanala različito se zove, na različitim mestima nalazi, ali čini istu stvar – na sličan način. Pri konverziji iz stereo u mono signal možemo izabrati levi ili desni kanal, ili sabrati oba, što je najbolje rešenje. Možemo i odrediti kojom jačinom učestvuje koji kanal, ali to ne treba koristiti, ako želimo što bolji rezultat. Dobro bi bilo pre konverzije smanjiti nivo za 6 dB. Mono u stereo konverzija je zapravo dupliranje postojećeg kanala. Ovo je Channel Converter u Sound Forge-u.



Reverse – ovo je prosto obrtanje sempla, ekvivalentno puštanju unazad. Ponekad zvuči interesantno u zavisnosti od načina primene, ali to nije funkcija koja se uobičajeno koristi. Definitivno nije standardna procedura, već eksperiment.

Invert – vrši faznu inverziju, odnosno promenu faze za 180 stepeni. Još jedna funkcija koja nema klasičnu primenu. Ako bismo stereo sinusoidu konvertovali u mono, a prethodno uradili inverziju jednog od kanala, dobili bismo tišinu. Nažalost, Sound Forge nema opciju phase shifting-a, gde bismo mogli da biramo koliko stepeni iznosi fazna razlika.



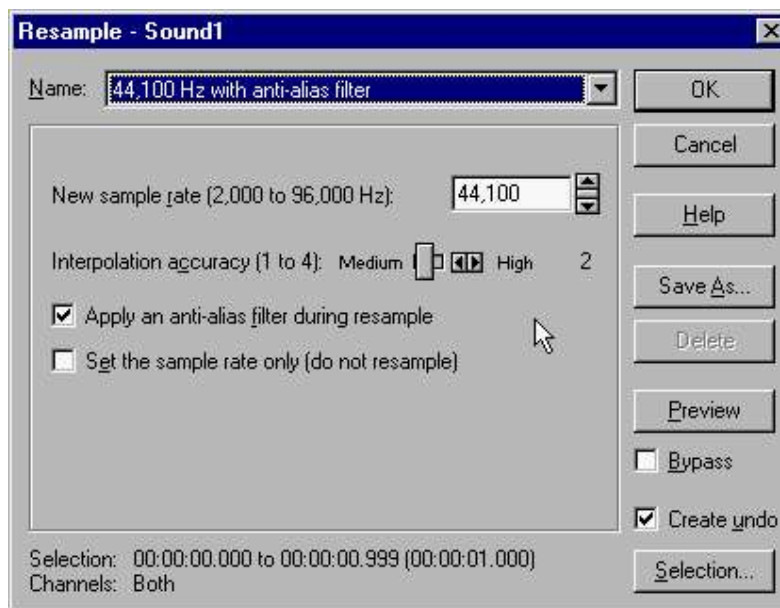
Sound Forge-ov konvertor

8/16 Bit – moguće je menjati rezoluciju sempla između osmobitne i šesnaestobitne reči. Ova konverzija je dosta složen proces i zahteva veoma kvalitetne algoritme da bi se postigla što manja degradacija zvuka. To je zaista problematičan proces, pa je često bolje trpeti analogni šum i uživati u toplom i punom zvuku. Sound Forge ne poseduje tako kvalitetne algoritme, ali su oni dovoljno dobri za neke jednostavne intervencije, a rade i dithering, o čemu je već govoreno ranije.

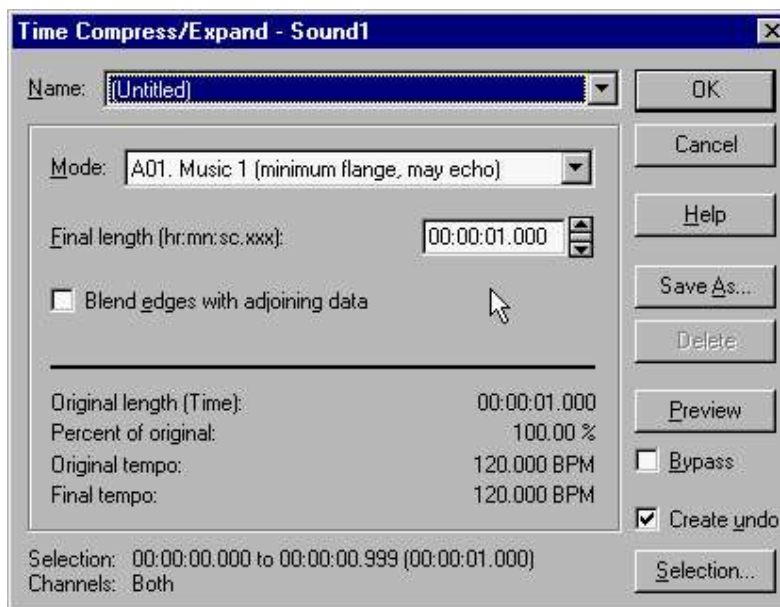
Resample – uobičajena frekvencija semplovanja je 44100 Hz. Da bismo, recimo, neki sempl koji nije na 44100 Hz doveli na tu vrednost, koristimo resample funkciju. Moguće je koristiti frekvencije od 2 kHz. Takođe, tu je i anti-alias filter, što je izuzetno koristan dodatak. Bez ovog filtera nastali bi veliki problemi pri spuštanju sample rate-a. Ova funkcija može se koristiti i kao efekat, kada želimo neke tzv. lo-fi boje. Kao i kod rezolucije, i ovde je bitan kvalitet algoritma koji softver poseduje ili mašina koristi. Zato postoje veoma skupe sprave koje kovnerziju sample rate-a obavljaju u real-time-u. Nekad se dešava da je ceo digitalni snimak na nekoj neodgovarajućoj frekvenciji, na primer 48 kHz ili 96 kHz. Na računaru sa karticom koja podržava samo reprodukciju na 44100 Hz mi moramo uraditi resample.

Time Compress/Expand – ova funkcija menja dužinu sempla bez promene visine (pitch-a). Cilj je da karakteristike zvuka ostanu identične, ali je to ipak nemoguće. Dakle, algoritam koji unosi manje promena, bolji je. Sound Forge ima niz algoritama za različite aplikacije, t.j. zvukove. Za bubanj, vokal i druge. Svaki algoritam dozvoljava određenu promenu, npr. ne više od 150% dužine, ili ne manje od 50%. Svaki program ima svoje algoritme i postoje programi koji su zaduženi samo za ovu operaciju. Kod njih i treba očekivati najbolje rezultate, a možda je najbolji Pitch-n-Time.

Ovako u Sound Forge-u izgledaju resample i time compress/expand funkcije. To nije vrhunski kvalitet, ali nije ni loš. Moguće je uraditi mnogo toga.



Resample prozor u Sound Forge-u



Time Compress/Expand prozor u Sound Forge-u

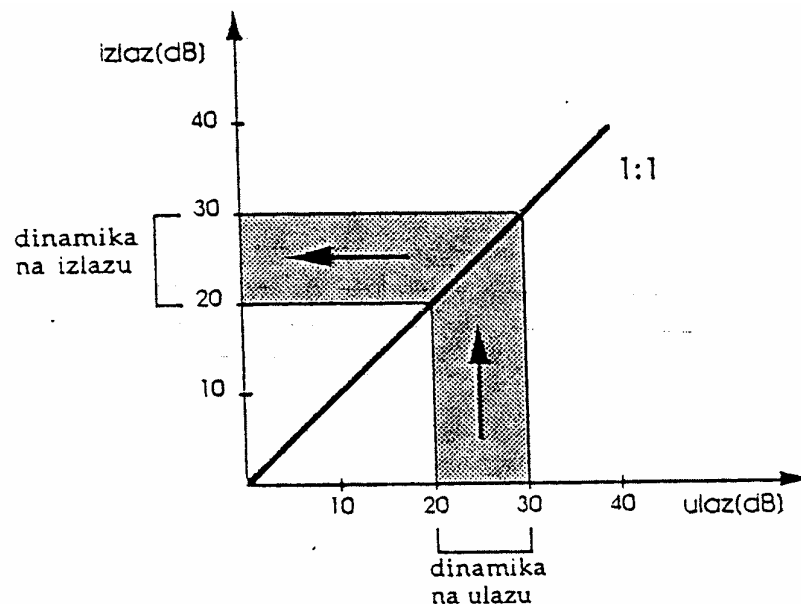
Sada pošto smo se upoznali sa ovim osnovnim funkcijama, poželimo preći na ono što je po mnogima najinteresantija oblast obrade zvuka – to su svakako efekti. Oni ponajviše dozvoljavaju snimatelju ili producentu da bude kreativan i ako se pravilno upotrebe mogu učiniti čuda sa nekim snimkom. Ipak, potrebno je mnogo iskustva.

IV EFEKTI

Generalno, efekti se mogu podeliti na one koji vrše obradu dinamike, filtriranje i na tzv. delay efekte. Za efekte koji se bave dinamikom signala može se reći da ih je najteže upotrebiti jer zahtevaju dobro razumevanje muzičkog materijala i veliko iskustvo. Često ih je dobro i izbeći. Filtriranje se uglavnom svodi na ekvalizaciju (EQ), ali ima i maštovitijih primena. Delay efekti – efekti odlaganja, su pre svega reverb (jeka), echo (klasičan delay), a postoji i niz varijacija koje čine neprirodne efekte, pa ih ponekad nazivaju i specijalnim efektima. Ipak, njihova upotreba je danas više nego uobičajena. Pored ove tri grupe, ima i nekih drugih načina da se izmeni neki signal – tu je distorzija, vokoder i drugo. Zapravo, danas postoji mnoštvo raznih efekata koje treba inteligentno upotrebiti. A to nije uvek lako.

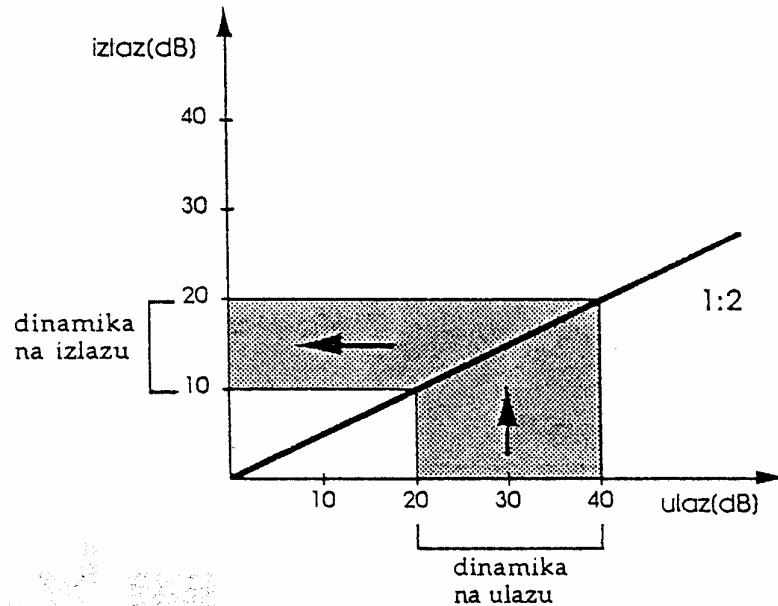
4.1 DINAMIČKA OBRADA SIGNALA

Prirodna dinamika signala je često ograničavajući faktor u snimanju i reprodukovaju muzike. To ograničenje se javlja iz nekoliko razloga: najčešće je dinamika prevelika i uređaji za snimanje nisu u stanju da je verno prenesu, ili je snimak namenjen reprodukciji u uslovima koji zahtevaju određeno prilagođavanje dinamičkog opsega da bi on izgledao kao da je prirodan. S druge strane, promenom dinamike pojedinih instrumenata pri snimanju možemo da nadoknadimo neke nedostatke instrumenata ili greške u dinamici prilikom interpretacije. I najzad, subjektivni utisak dinamike nije isti ako se muzika sluša uživo pred publikom, kao kad slušalac sluša snimak sa zvučnika. Ovo poslednje mnogi muzičari sa studijskim iskustvom znaju, pa u studiju uvek drugačije izvode kompozicije nego na koncertima.



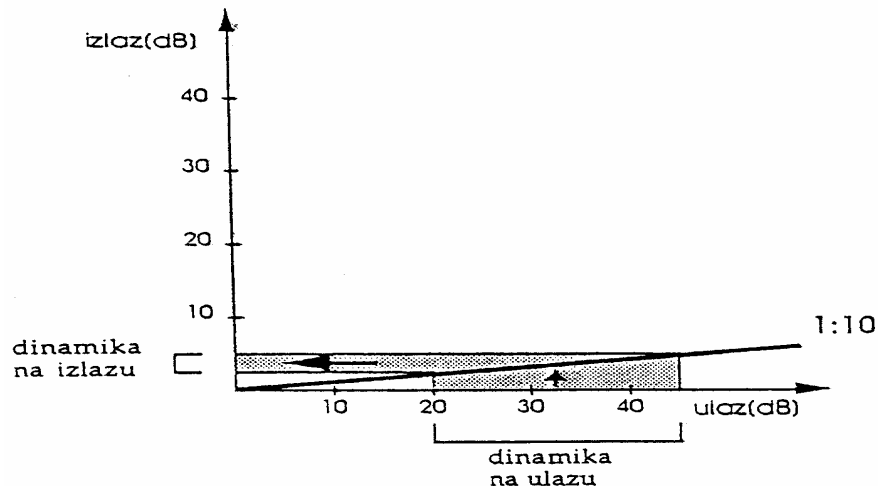
Dijagram prenosne karakteristike

Dva su osnovna postupka kod dinamičke obrade signala: kompresija dinamike i ekspanzija dinamike. Kod kompresije dinamički opseg snimka se sužava (sabija, komprimuje), i to najčešće na oba kraja, tako da tihi delovi postaju jači, a najjači manje jaki. Poseban slučaj komprimovanja je limitovanje ili ograničavanje signala, gde se zadržava dinamika originalnog signala do neke granice (limit), preko koje ne postoje nikakve dinamičke promene. Kod ekspanzije dinamički opseg originalnog signala se proširuje tako da tihi delovi postaju još tiši, a jaki delovi jači. Granični slučaj ekspanzije je gejtovanje gde se tihi delovi signala potpuno utišavaju, ne prolaze kroz kapiju (gate), a preko neke jačine signal prolazi neizmenjen.



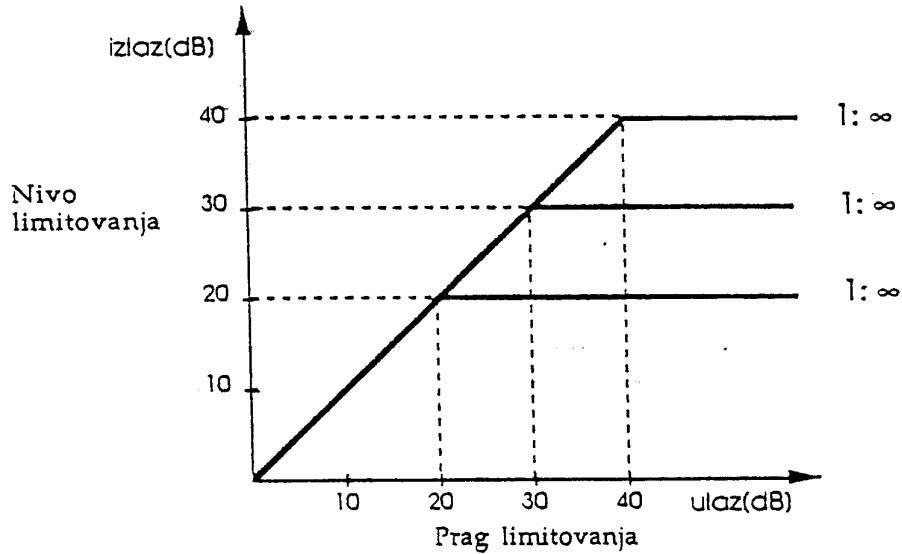
Odnos kompresije od 1:2

Svi uređaji za dinamičku obradu signala rade na principu promenljivog pojačanja: uređaj stalno meri nivo signala na ulazu i određuje koliko taj nivo treba pojačati ili utišati, zavisno od toga da li radi kao kompresor, limiter, ekspander ili gejt. Prenosna karakteristika pokazuje na koji način je dinamika izlaznog signala promenjena u odnosu na dinamiku signala na ulazu. To je prava linija (ili izlomljena prava linija) koja svojim nagibom pokazuje način rada uređaja. Na horizontalnoj osi je jačina signala na ulazu. Njegov dinamički opseg se



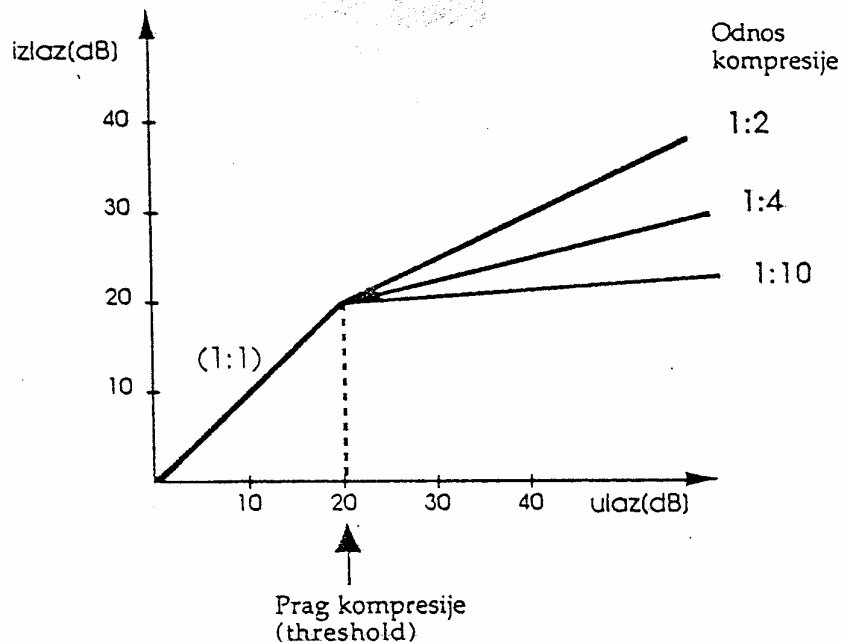
Odnos kompresije od 1:10

preslikava preko prenosne karakteristike na vertikalnu osu, gde se očitava dobijena dinamika na izlazu. Kada je nagib 45 stepeni, odnos dinamike na izlazu prema dinamici na ulazu je 1:1, dakle nema nikakve promene dinamičkog opsega. Kada je nagib prenosne karakteristike manji od 45 stepeni dolazi do kompresije dinamike, a kada je veći od 45 stepeni uređaj vrši ekspanziju dinamike.



Horizontalna karakteristika - limiter

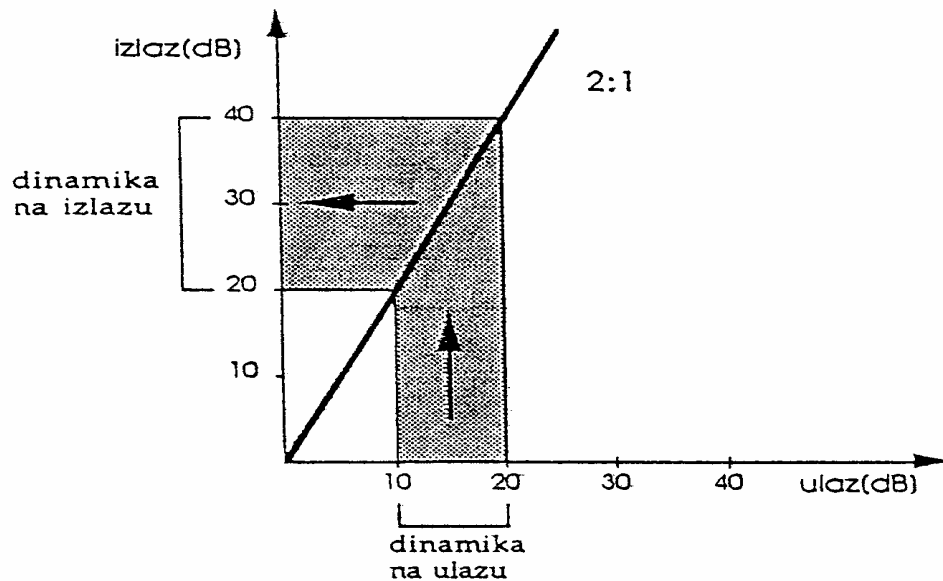
Kod kompresora, dinamika na izlazu je uvek manja od dinamike na ulazu. Odnos kompresije (ratio) pokazuje koliko puta je dinamika na izlazu manja od dinamike na ulazu. Pri odnosu kompresije od 1:2, ukoliko se jačina ulaznog signala menja od, recimo, 20 do 40 dB, na izlazu će varirati od 10 do 20dB. Pri velikim odnosima, kao npr. 1:10, kompresor počinje da radi kao limiter. Dakle, u krajnjem slučaju, kada bi prenosna karakteristika bila horizontalna, na izlazu ne bi bilo promene dinamike – to bi bio signal konstatne jačine.



Realan kompresor sa pragom kompresije

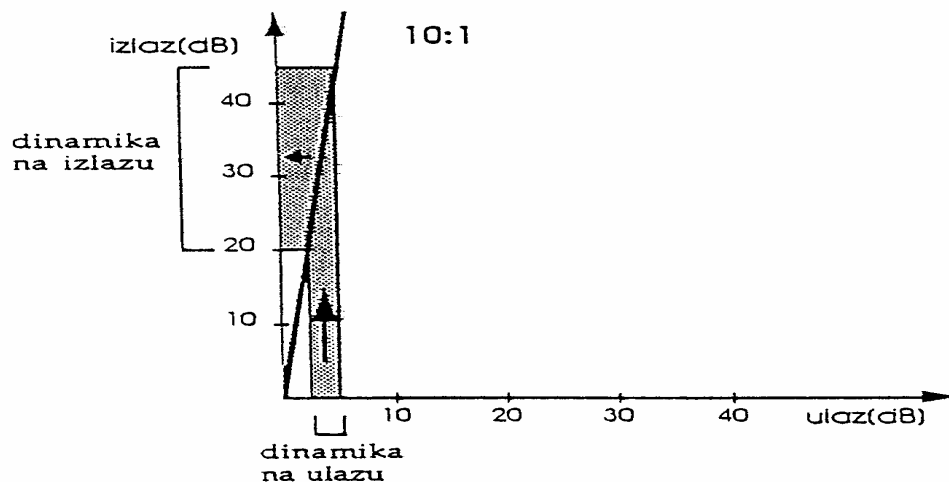
Realni kompresori nikad ne komprimuju ceo dinamički opseg, već uvek postoji neki prag kompresije (threshold) iznad kojeg počinje kompresija. Znači, kada bi threshold bio postavljen na, npr. 20dB, sve dok je nivo signala ispod ove granice uređaj ne radi. Kada signal pređe threshold kompresor se aktivira.

Tu je bitna i brzina kojom kompresor reaguje na promene jačine signala – kojom brzinom se uključuje (attack) i isključuje (release). Ova vremena se najčešće mogu podešavati, t.j. poželjno je da mogu. Attack time treba da bude malo, od 0,1 ms do 1 ms, ali u nekim situacijama može biti i 200 do 500 ms. Release time ne zahteva veliku brzinu, čak je korisno da bude duže, od 100 ms do 1 s, pa i više. Attack i release vremena važe, razumljivo, i kod ostalih uređaja za obradu dinamike.



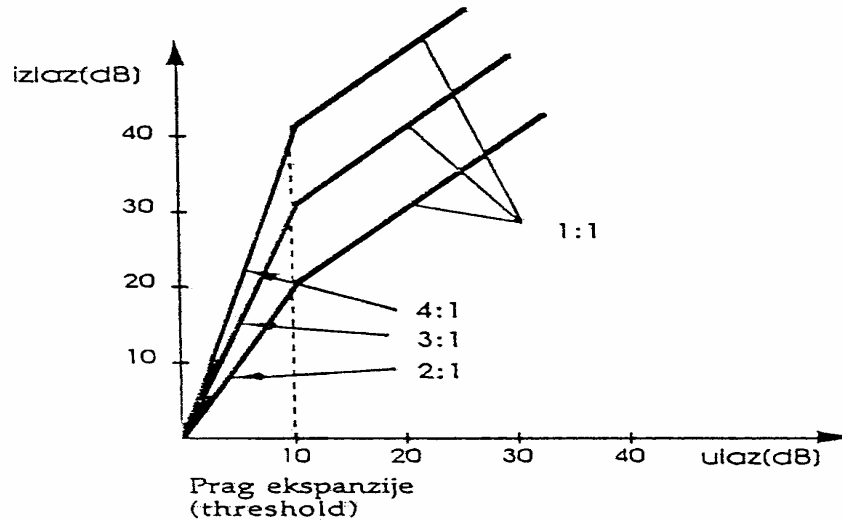
Ekspander dinamike

Prenosna karakteristika ekspandera ima nagib prema horizontalnoj osi veći od 45 stepeni. Dinamički opseg na izlazu je uvek veći od onog na ulazu. Tako pri odnosu ekspanzije od 2:1 za promenu na ulazu od 20 dB dobijamo promenu na izlazu od 10 dB. I ovde postoji prag ekspanzije, threshold. Ekspanderi se retko koriste u praksi zato što veoma nepredvidivo obrađuju signal.

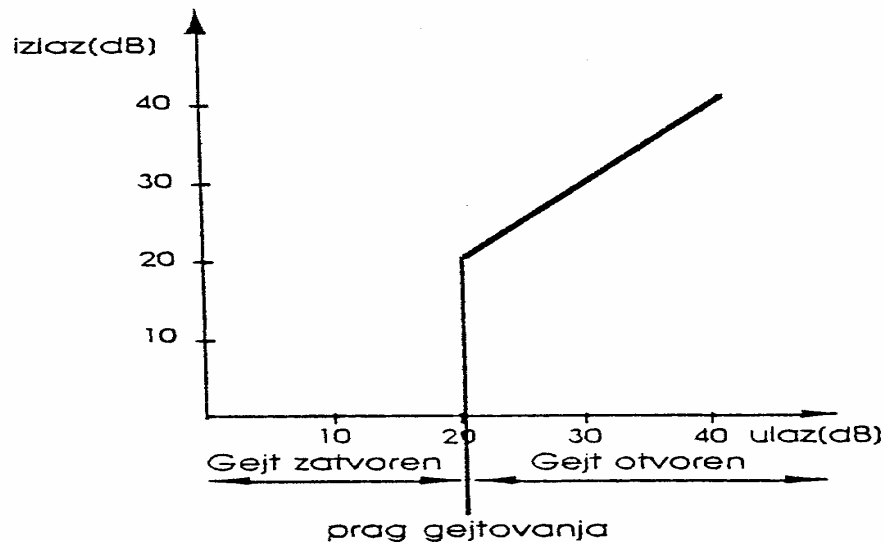


Odnos ekspanzije od 10:1

Kada je nagib prenosne karakteristike tako veliki da je odnos ekspanzije veći od 10:1, uređaj radi kao gejt (gate, kapija). Sve dok je ulazni signal ispod praga, na izlazu je signal toliko oslabljen da ga praktično i nema. Kada pređe iznad praga, signal ostaje isti. Gate se koristi, između ostalog, za totalno uklanjanje šuma pri veoma tihim delovima nekog snimka. Zato se takav ekpander uglavnom naziva i noise gate.



Realni ekpander



Ekspander koji radi kao gejt

4.2 DINAMIČKI PROCESORI ZA WINDOWS SISTEME

U pitanju su virtuelni uređaji za obradu dinamike. Generalno, postoje dva standarda koji se koriste na PC računarima: DX i VST. DX označava DirectX pluginove (plugins) i razvio ga je Microsoft. VST (Virtual Studio Technology) je rešenje firme Steinberg. Smisao oba sistema je da su potpuno otvoreni – razni proizvođači razvijaju svoje pluginove u vidu .dll ili .ax fajlova, koje zatim odgovarajući softver, kao što je Sound Forge, ili Cubase, odnosno Nuendo, prepoznaje. Tako, teoretski, možete imati neograničen broj virtualnih efekata. Sjajno. Nažalost, ovi procesori koriste CPU računara, pa je upotreba ograničena.

*Waves Audio Track**Waves C4*

Vratimo se obradi dinamike. Danas postoji niz pluginova koji se bave ovim problemom, ali možda bi prvo trebalo pomenuti proizvode firme Waves. Najbolji njihov proizvod je Gold Bundle. To je set od oko 15 procesora vrhunskog kvaliteta. U okviru njega postoji nekoliko procesora za obradu dinamike, kao npr. Audio Track (sa ekvilajzerom), C1 i fenomenalni C4, tzv. multi-band kompresor – tu se signal razdvaja u 4 frekventna opsega, pa se tek onda svaki od tih opsega posebno obrađuje. Takođe, veoma se koristi i L1 limiter. Malo je pluginova koji su zaista kvalitetni. Tu je i Timeworks-ov CompressorX, Dave Brown-ov Mastering Limiter. Svi mogu dobro poslužiti u određenoj situaciji.

Uopšte, komprimovanje može imati za cilj isticanje čitave deonice jednog instrumenta ili grupe instrumenata, pri čemu, usled smanjenog raspona dinamike, cela deonica zapravo zvuči glasnije. To je jedan od glavnih efekata kompresora. Dobija se glasniji miks, ukoliko se zakompresuje ceo miks. U modernim muzičkim pravcima ovo se često radi, ali iskusni snimatelji teže da to izbegnu, jer snimak počinje da zvuči neprirodno. Ipak, ako je to snimak za TV ili radio, korisno je smanjiti dinamički opseg.



Još jedan Waves-ov plugin – poznati L1 limiter

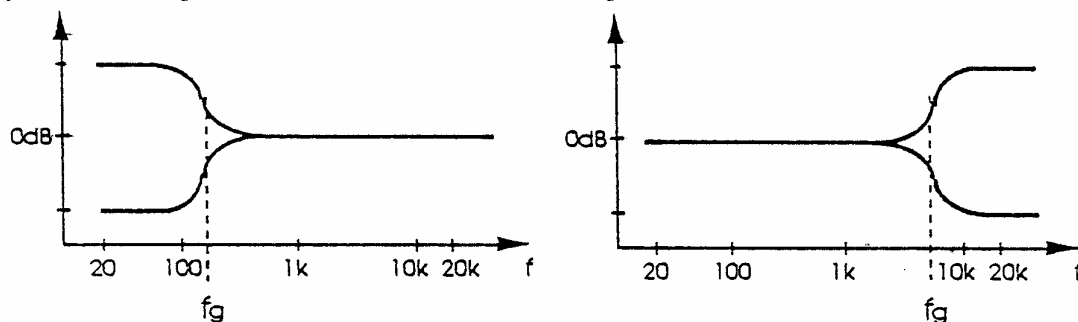


Timeworks Compressor X

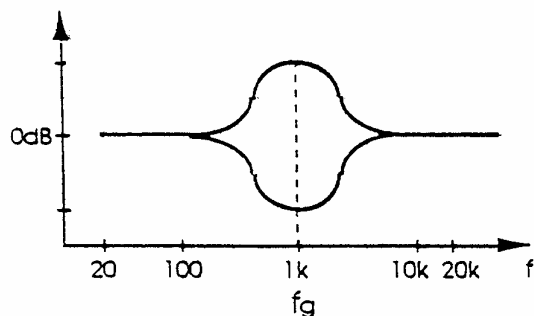
4.3 FILTRI I EKVILAJZERI

Najčešća operacija u toku snimanja i, naročito, remiksa je podešavanje boje zvuka pojedinih instrumenata ili čitavog snimka. Bilo da se nadoknađuju nedostaci frekventne karakteristike mikrofona ili naglašavaju pojedini delovi frekventnog opsega da bi se dobio bogatiji, izražajniiji zvuk instrumenta, filteri su gotovo uvek uključeni na nekom mestu u toku snimanja.

Ceo čujni opseg frekvencija možemo uslovno da podelimo na basove (od 20 do oko 250 Hz), donje srednje (od 250 do oko 1 kHz), gornje srednje (od 1 do oko 4 kHz) i visoke frekvencije (od 4 do 20 kHz). Ovde se ne misli na frekvenciju kao visinu tona, već na boju instrumenta. Filteri rade ili na jednoj fiksnoj frekvenciji ili u okviru jednog opsega frekvencija, pa tako razlikujemo filtere za basove, visoke, srednje, itd.

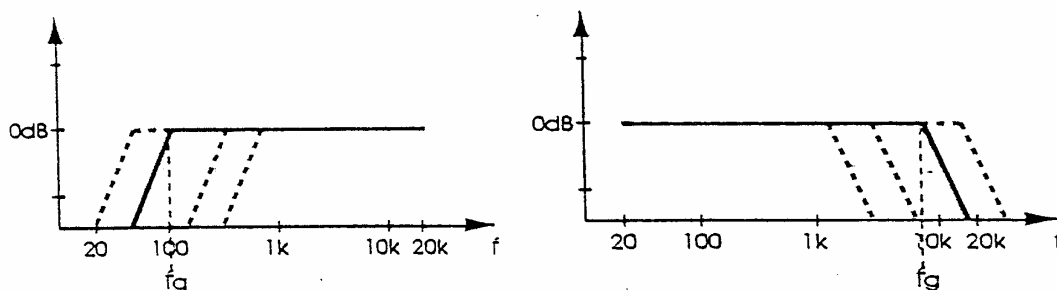


Shelf filteri za basove (levo) i visoke (desno)

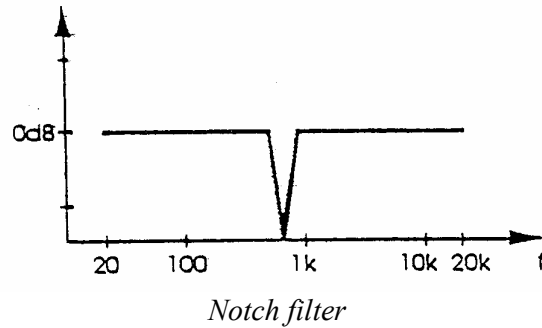


Peak filter

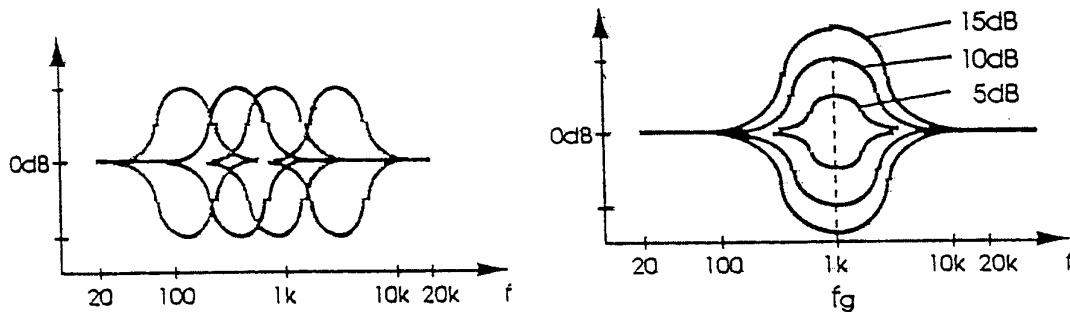
Po načinu na koji utiču na frekventnu sliku zvuka filtere delimo na tzv. pik (peak – vrh) i šelf (shelf – polica, ravan). Pik filteri na jednoj frekvenciji najjače utiču na zvuk, dok oko te frekvencije njihov uticaj proporcionalno opada. Šelf filteri utiču ravnomerno na sve frekvencije iznad ili ispod neke frekvencije, dakle pomoću njih se npr. izdižu basovi u celom opsegu od neke prelomne frekvencije do najdubljeg basa, ili potiskuju visoke frekvencije od prelomne frekvencije do najviših frekvencija.



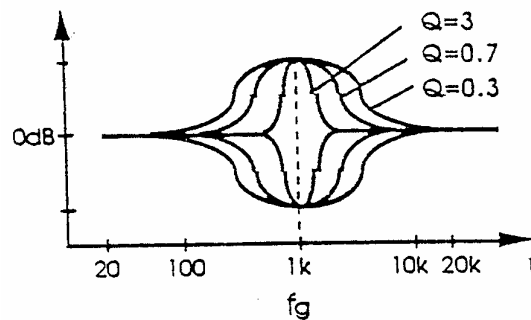
Hi-pass filter (levo) i low-pass filter (desno)



Poseban tip šelf filtera su filter nepropusnik niskih frekvencija (hi-pass, low-cut), i filter nepropusnik visokih (low-pass, hi-cut). Hi-pass filter skida sve frekvencije ispod neke prelomne frekvencije (obično može da se podešava prelomna frekvencija), dakle ne propušta niske frekvencije, dok na ostali deo opsega ne utiče. Low-pass skida sve iznad odabrane prelomne frekvencije (obično između 3 kHz i 15 kHz), dok se na gornji deo opsega ne utiče. Najzad, poseban slučaj pik filtera je tzv. notch filter koji potpuno skida samo uzan pojas oko jedne frekvencije, dok ostatak frekventnog opsega ne dira.



Uticaj promene centralne f (levo) i promene nivoa (desno)



Uticaj promene Q -faktora

Kod šelf filtera razlikujemo dva parametra koja određuju uticaj filtera na boju zvuka: prelomnu frekvenciju na kojoj počinje uticaj filtera i nivo izdizanja ili potiskivanja dela opsega na koji filter utiče. Kod pik filtera postoje tri bitna parametra: centralna frekvencija na koju filter najviše utiče, širina opsega koji filter obuhvata oko te frekvencije, i takođe, nivo izdizanja ili potiskivanja te frekvencije. Nivo se izražava u dB u odnosu na nivo opsega na koji filter utiče. Npr. +5 dB znači izdizanje centralne frekvencije za 5 dB u odnosu na ostali deo spektra. Širina opsega izražava se Q -faktorem filtera. To je broj koji pokazuje odnos centralne frekvencije i širine propusnog opsega. Njegova vrednost je najčešće između 0,7 i 1. Veće vrednosti Q -faktora znače oštriji filter, uži opseg, a manje vrednosti predstavljaju blaži filter, t.j. širi opseg.



TC Native Essentials Filter

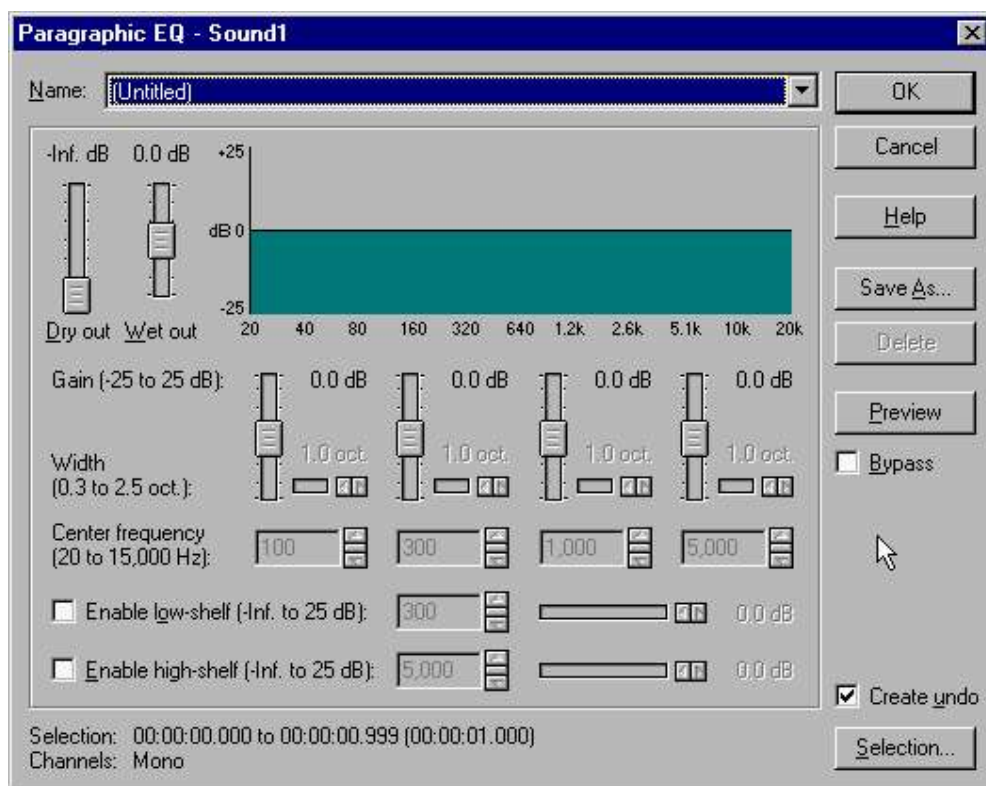


Waldorf D-Pole

Postoji još jedna pojava vezana za low-pass i hi-pass filtere. To je rezonanca. Radi se o feedback-u, o petlji kojom se signal sa izlaza ponovo vraća na ulaz filtera. Količina signala koji se vraća kontroliše se. Rezonanca se zapravo koristi pri kreiranju boja, a nikako pri

snimanju. To je, dakle, jedan specijalni efekat, ukoliko se rezonantnim filterom obrađuje neki snimljeni materijal, odnosno bitna komponenta pri sintezi zvuka. Danas se ne koristi samo pri sintezi, već je standardna pojava u modernim muzičkim pravcima. Rezonantni filteri uvek daju taj posebni zvuk i karakter nekom materijalu. Mogli bismo da pomenemo dva sjajna filtera u vidu pluginova za PC. To su TC Works-ov Filter (DX) i Waldorf-ov D-Pole (VST).

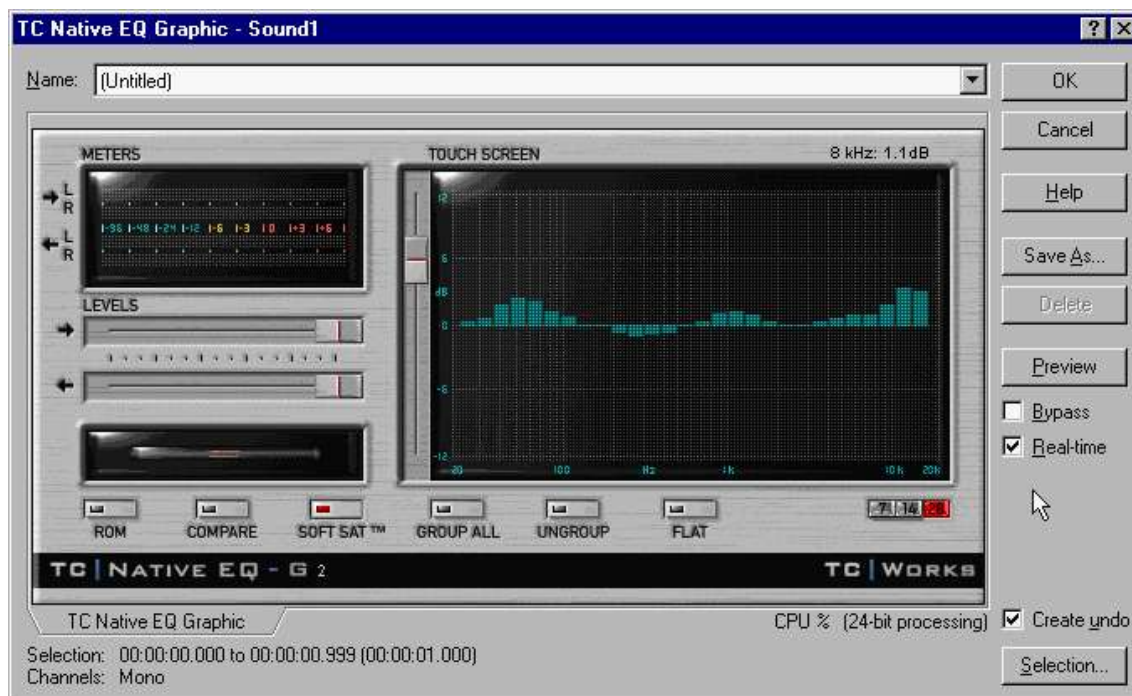
Da bi se boja nekog zvuka potpuno prilagodila zahtevima snimanja najčešće nije dovoljan samo jedan filter. Zato se za snimanje i obradu zvuka koriste grupe filtera tako da svi filteri u grupi mogu istovremeno da se koriste. Ovakva grupa filtera naziva se ekvilajzerom. Na engleskom equalizer (EQ). U ekvilajzeru su filteri raspoređeni po delovima opsega na koji utiču, pa su tu filter za basove, filter za visoke, i jedan ili više filtera za srednje frekvencije. Filtri za srednje su tipa pik, dok su najčešće za bas i visoke tipa šelf. Svaki filter u ekvilajzeru deluje na određeni pojas frekvencija, pa zavisno od broja filtera razlikujemo dvopojasne, troopojasne ili višepojasne ekvilajzere.



Sound Forge Parametric EQ

Kod ekvilajzera najčešće ne možemo da menjamo sve parametre pojedinih filtera. Na osnovu broja parametara i načina na koji možemo da ih menjamo, postoje: grafički ekvilajzer, sweep ekvilajzer (sa kliznom frekvencijom), parametrički ekvilajzer. Postoje i neke kombinacije ovih tipova. Kod grafičkog ekvilajzera možemo da menjamo samo nivo izdizanja ili potiskivanja svakog pojedinog filtera, dok su frekvencija i Q-faktor fiksni. Da bismo mogli da utičemo na ceo frekventni opseg, jasno je da je potreban veći broj filtera. Grafički ekvilajzeri imaju najmanje 5 filtera, a za ozbljnu upotrebu se koristi po 15, 27 i 31 filter. Frekvencije na kojima deluju pojedini filteri su obično ravnomerno (u logaritamskom smislu, odnosno po oktavama) raspoređene po celom frekventnom opsegu. Tako se 10-pojasni grafički ekvilajzer naziva i oktavni jer ima filtere raspoređene po oktavama (ceo frekventni opseg obuhvata 10 oktava) i to obično na sledećim frekvencijama: 31, 62, 125, 250, 500 Hz, 1, 2, 4, 8 i 16 kHz. Najfinija ekvalizacija postiže se ternim filterima pri čemu EQ ima 27 ili

31 filter. Radi bolje preglednosti kontrola nivoa se kod grafičkog ekvilajzera vrši kliznim potencimetrima tako da se jasno vidi koja frekvencija je izdignuta, a koja potisnuta i za koliko. Položaji klizača grafički predstavljaju frekventnu karakteristiku ekvilajzera, otuda i naziv grafički EQ.



TC Works-ov grafički EQ



Waves Q4

Praksa je pokazala da je najčešće dovoljno korigovati 3 do 4 frekvencije iz celog opsega, ali je važna mogućnost biranja tih frekvencija, t.j. štimovanja filtera. Da bi se izbegao veliki broj filtera kod grafičkog ekvilajzera, koriste se sweep ekvilajzeri. Ovde imamo mogućnosti podešavanja dva parametra: nivoa i frekvencije. Time se potreban broj filtera sveo na 3 do 4. Svaki od filtera ima dve kontrole: jednu za frekvenciju i drugu za nivo. I ovde su, kao i kod grafičkog ekvilajzera, rasponi filtera raspoređeni po frekventnom opsegu, s tim što se ti rasponi delimično preklapaju radi većih mogućnosti u radu. Obično filter za basove ide od 30 do 500 Hz, za donje srednje od 150 Hz do 2 kHz, za gornje srednje od 1 kHz do 8 kHz i za visoke od 4 kHz do 16 kHz. Ovo je najbolji kompromis između složenosti uređaja i mogućnosti koje pruža.



Simulacija starog procesora TL Audio EQ-1

Jedini parametar koji nismo mogli da menjamo kod sweep ekvilajzera je Q-faktor, t.j. širina frekventnog opsega na koju utiče filter. Ovo je luksuz koji nam omogućavaju parametrički ekvilajzeri. Jedino kod ovog tipa ekvilajzera možemo da postavljamo vrednosti sva tri parametra: nivoa, frekvencije, Q-faktora. Na taj način možemo najpreciznije da odredimo korekcije u boji zvuka. Jasno je da ovde za svaki filter postoje tri dugmeta za kontrolu, dakle rukovanje ovim ekvilajzerom je najsloženije, ali je zato sloboda u kreiranju boje zvuka najveća. Parametrički ekvilajzeri se takođe sastoje od manjeg broja filtera, najčešće 3, ređe 4 ili 5.

Brojne firme izbacuju softverske ekvilajzere. Opet su tu Waves-ovi Q4 i Q10. Q4 je parametrički EQ sa 4 filtera, a Q10 ima čak 10 filtera. Dalje, imamo Sound Fogre-ov Paragraphic EQ (parametrički sa grafičkim izgledom), pa TC Works-ov Native Graphic EQ. Postoji još jedan ekvilajzer koji odlično zvuči: TL Audio-v EQ-1, koji je zapravo simulacija klasičnog hardverskog ekvilajzera istog imena. To je tzv. cevni, lampaški (tube) EQ. U svakom slučaju, danas gotovo sve, baš sve, aplikacije koje se bave obradom zvuka, imaju neki svoj ekvilajzer, manje ili više dobar. Ipak, kao što je slučaj sa svim drugim, samo nekoliko je najboljih. Takvi su, recimo, gore pomenuti.

4.4 DELAY EFEKTI

Ostalo je još da se upoznamo sa delay efektima, odnosno efektima kašnjenja. Ovo su takođe efekti koji se uobičajeno koriste u obradi zvuka. Najvažniji je svakako reverb (jeka), koji se najčešće upotrebljava. Postoje i eho (delay), flange (flendž), korus (chorus), phaser (fejzer), kao i razne varijacije i kombinacije ovih efekata. Pomenuti se često nazivaju i specijalnim efektima, jer nisu prirodna pojava kao reverberacija, osim eha u nekim slučajevima.

Reverberacija je odbijanje zvučnih talasa, refleksija. Zvuk se odbija od raznih materijala, pa se prema tome oni dele na reflektore, gde se u velikoj meri zvuk odbija (nikad ne može odbijanje da bude apsolutno, ne postoji savršeni reflektor), zatim na apsorbere, gde se u najmanjoj meri zvuk odbija (takođe ne postoje savršeni apsorberi), i na difuzore kao tip reflektora, gde se energija zvuka rasipa na niz manjih i ne važi klasičan zakon odbijanja talasa po kome je upadni ugao jednak odbojnom. Tu se može uočiti koeficijent apsorpcije čija je vrednost od 0 do 1 (to je bezdimenzionalna veličina). Mali koeficijent apsorpcije je od 0 do 0,3 i to je onda refleksija. Interesantno je da ovaj koeficijent nije isti za sve frekvencije. Niske frekvencije se, recimo, teško apsorbuju. To je prirodna karakteristika, pa reverberacija bez niskih frekvencija zvuči hladno i neprirodno. Nasuprot tome, visoke frekvencije se lako apsorbuju. Obično, sve preko 5 ili 6 kHz je apsorbovano.

Dalje, prostore delimo na žive i gluve. Podela je izvršena prema bitnom parametru reverberacije – vremenu reverberacije. Kod gluvih prostora ovo vreme je kratko i kreće se od 0 do 0,5 sekundi. Gluv prostor može biti otvoren prostor, jer se tu zvuk ne može odbiti ni od čega, kao i spikerska kabina. Velika koncertna sala može imati vreme reverberacije od 2,4 do 2,6 sekundi, a crkva i do 8 sekundi. Sledeći bitan parametar su tzv. rane refleksije. Te rane refleksije su one prve koje nastaju po pojavi zvuka. One nam služe da odredimo položaj izvora zvuka (npr. instrumenta) u prostoru. Njihova amplituda brzo opada, a postaju sve gušće s vremenom. Brzina opadanja nije ista za sve frekvencije.



Ultrafunk Reverb – DX plugin

Ono što nas posebno zanima je veštačka reverberacija. Nekada se ona postizala glomaznim spravama, eho pločom recimo, ili eho sobom. Danas ovu funkciju obavljaju uspešno DSP čipovi i procesori računara. Koji su parametri veštačkog reverba? Oni se u raznim uređajima različito zovu, ali to su obično nivo prvih refleksija, vreme reverberacije. Zatim, kašnjenje prvih refleksija u milisekundama. Dalje, to može biti podešavanje boje reverba putem filtera za niske i filtera za visoke frekvencije, pa damping – prigušenje visokih frekvencija, crossover frekvencija – frekvencija od koje važi damping.

Na slici je prikazan Ultrafunk-ov Reverb koji ne zvuči loše, mada ima i boljih. On očigledno ima filter za visoke i niske frekvencije, a možemo podešavati i veličinu prostorije i difuziju. Velika difuzija stvara homogeniji reverb. Ovaj plugin zaista ima sve što treba. Veoma kvalitetni su i TC Works-ov i Waves-ov reverb.



TC Native Reverb



Waves RVerb

Eho je jednostavan efekat i ne treba o njemu puno pričati. Radi se, dakle, o izolovanim odjecima koje naše uho razlikuje kao posebne. Parametri delay-a su vreme, feedback (jačina odjeka). To može biti i panning (stereo pozicija, ako je u pitanju stereo delay). Često postoji tzv. dry-wet odnos. Tu određujemo koliko čujemo čistog signala, a koliko efekta. Koliko kod bio jednostavan, delay se dosta koristi i vrlo interesantno zvuči.



Timeworks Delay procesor

Flange je efekat otkriven kada je isti snimak puštan sa dva magnetofona od kojih je jedan kasnio nekoliko ms. To kašnjenje može biti od 0 do 5 ms. Flange se može uporediti sa zvukom aviona koji proleće visoko. Zapravo, kašnjenje jednog signala za drugim, identičnim, moduliše se LFO-om (oscilatorom niske frekvencije). Tako dobijamo da vreme kašnjenja sporo varira između neke dve vrednosti i zvuk se stalno menja.

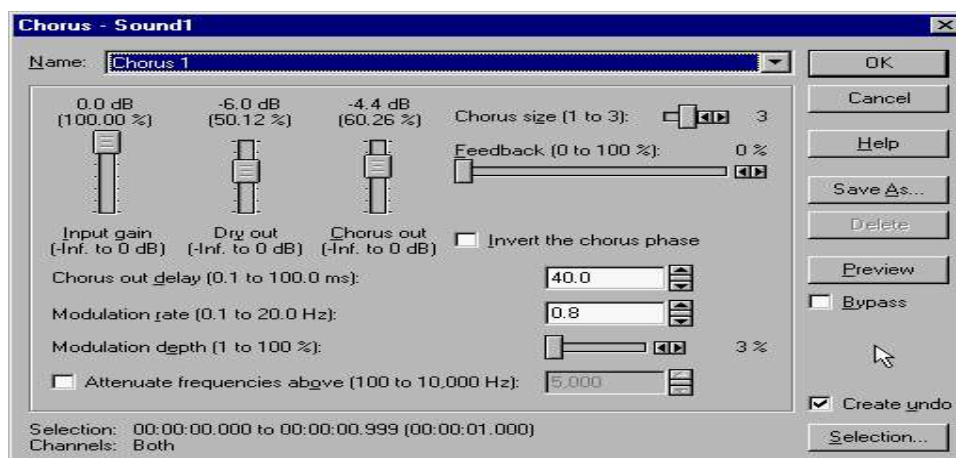
Korus se češće koristi. Ovde takođe signal kasni nekoliko milisekundi, za razliku što se vreme ovog kašnjenja ne menja. Ovaj efekat se koristi na, recimo, solo instrumentima, da bi se postigao utisak da više instrumenata svira istovremeno. Obično zvuči kao više zvukova koji se sasvim blago razlikuju po visini, što daje punoću zvuku.

Phaser je kombinacija filtera i kašnjenja. Konkretno, filterom se izdvaja jedan deo frekventnog opsega, a zatim odlaže za neko kratko vreme, što neke frekvencije dovodi u kontra-fazu, usled čega se one ne čuju. Znači, umesto da smo jednostavno utišali taj deo opsega, mi smo dobili neobično i slučajno gubljenje, utišavanje, većine frekvencija. Ovo ne bi tako zanimljivo zvučalo da se centralna frekvencija filtera ne moduliše LFO-om. Moguće je

podešavati i širinu opsega filtera, kao i broj sklopova koje phaser ima, gde veći broj sklopova dovodi do većeg feedbacka (rezonance), oštrijeg zvuka.



Waves Flanger



Sound Forge Chorus



Blue Phaser

ZAKLJUČAK

DSP čipovi mogu zameniti analogne hardverske uređaje, ali će profesionalci imati niz primedbi na korišćenje računarskog mikroprocesora kao ovakvog čipa, jer on obavlja istovremeno i niz zadataka koje mu postavlja operativni sistem. Dakle, potrebno je da to budu posebni DSP čipovi sa određenom dodeljenom funkcijom, kao što je slučaj u svakom hardverskom digitalnom procesoru. Ipak, PC računari su za desetak godina gotovo neverovatno napredovali. Sada je moguće uraditi nešto što je tada bilo nezamislivo. U tom smislu, lični računar može poslužiti za kreiranje određene skice, a možda je najbolja njegova funkcija – edukativnog i informativnog karaktera. Konkretno, da biste naučili da koristite reverb procesor, vi ne morate kupovati skup hardver ili posećivati muzički studio, već sve možete isprobati i proučiti kod kuće. To je veoma dobro.

Danas postoji na stotine DX i VST pluginova koji pokrivaju sve moguće vrste efekata. Ovo može da stvori pogrešan utisak o neograničenosti rada na računaru. Glavni i jedini limit je brzina centralnog procesora. Na Pentium I procesoru malo toga može da se završi u realnom vremenu, Pentium II je već primetno bolji, a Pentium III na 800 MHz je pravi virtuelni studio, ukoliko ga koristite na pravi način. Prednost je u tome što se proizvođači trude da optimizuju softver za određeni procesor i tako još bolje iskoriste njegovu moć i brzinu. Ovako velike brzine dovele su i do poplave virtuelnih instrumenata. Prvo je firma Steinberg lansirala VST instrumente, a zatim su se pojavili i drugi. Na slabijim procesorima ne treba razmišljati o ovim instrumentima, međutim, kada se radi o gore pomenutom Pentium III procesoru, a da ne govorimo o dolazećem Pentium IV procesoru na 1,5 GHz – vaš računar zaista postaje virtuelni studio.

Sve ukazuje da će se stvari i dalje razvijati u pravcu povećanja brzine mikroprocesora. Ne treba zaboraviti i moćan Macintosh G4 računar, koji je daleko od igračke i amaterskog alata. Zapravo, G4 je izbor svakog ko želi da se ozbiljno bavi digitalnom obradom zvuka, a u stanju je da priušti ovu mašinu. Tu je i niz sistema sa DSP čipovima specijalizovanih za zvuk. Najpopularniji je definitivno Pro Tools sistem koji proizvodi Digidesign. I tu imamo efekte u vidu pluginova, s tim što ne moramo misliti da li imamo dovoljno brz procesor. Specijalni čipovi će savršeno uraditi ono što mogu, a ono što ne mogu jednostavno neće. Prednost je, dakle, jedan otvoren sistem, a mana ograničenost moći procesiranja i – cena pluginova za Pro Tools. Svaki, i najjednostavniji plugin, veoma je skup. Ali, radi svoj posao.

U svakom slučaju, računar je budućnost. Nema sumnje da će doći dan kada ni najveći profesionalci neće imati nijednu zamerku na digitalni zvuk, jer će on biti dobar i topao koliko i analogni, i kada će baš lični računari i odgovarajući softver biti tako napravljeni da savršeno u realnom vremenu i sintetišu i obrađuju zvuk. Ja čekam taj dan.

KORISNE ADRESE

Ovo je mali, ali kako sam naziv kaže, koristan dodatak. Naime, kada je Internet postao tako moćan medij, šteta je ne pomenuti neke resurse informacija vezanih za oblast sinteze i obrade zvuka. Evo nekoliko odabranih.

<http://www.harmony-central.com/> - dnevne novosti, opisi proizvoda i mnogo drugih stvari
<http://www.hitsquad.com/smm/> - Shareware Music Machine, mnogo softvera za sve OS
<http://www.sonicspot.com/> - još jedan sajt koji poseduje dosta softvera
<http://www.sonicstate.com/> - izuzetno velik sajt sa opisima proizvoda, forumima, itd.
<http://www.vintagesynth.com/> - posvećen najboljim elektronskim instrumentima
<http://www.analoguesamples.com/> - dosta smplova analognih sintisajzera
<http://samples.pagina.nl/> - ova strana poseduje velik broj linkova za sajtove sa smplovima
<http://audioengineering.pagina.nl/> - izuzetan broj veoma korisnih linkova
<http://www.kvr-vst.com/> - najbolji sajt posvećen virtuelnim instrumentima, obilje podataka
<http://www.steinberg.net/> - zvanični Steinberg-ov sajt (Cubase VST32, Nuendo)
<http://www.emagic.de/> - zvaničan sajt firme Emagic koja proizvodi Logic Audio
<http://www.waves.com/> - sajt kompanije Waves

LITERATURA

- [1] Alek Nisbet, *Snimanje i obrada zvuka*, Univerzitet umetnosti u Beogradu, 1990.
- [2] Miomir Filipović, *Audiotehnika*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, 1994.
- [3] Steven W. Smith, *Digital Signal Processing*, Analog Devices, 1998.