

IL SUONO DIGITALE

GUIDO MONTALCINI

Corso di elaborazione del suono – video design – Istituto Europeo di Design

1.IL SUONO

Parametri fisici, concetti base.

Il suono è una variazione, rispetto ad un valore costante, nella pressione dell'aria. Quando questa variazione viene ripetuta ciclicamente un certo numero di volte in un intervallo di tempo percepiamo un suono. Un suono, affinché si possa propagare ha bisogno di un mezzo che lo trasporti, l'aria è uno di questi in quanto le sue particelle, si trasmettono la vibrazione generata dalla sorgente sonora e la propagano nello spazio. Questo significa che qualsiasi mezzo, solido, liquido o gassoso che sia, è in grado di trasportare il suono, influenzando sulla sua velocità a seconda della sua densità. Come mezzo di riferimento per i nostri esempi consideriamo l'aria essendo quello con cui avremo a che fare nei casi pratici.

Il suono è quindi caratterizzato da una serie di compressioni e rarefazioni dell'aria in cui si propaga dopo la sua emissione, e queste variazioni di pressione atmosferica costituiranno quindi una ben precisa forma d'onda che presenta delle caratteristiche tipiche che ne identificano la composizione e la struttura.

- 1.Frequenza (f)
- 2.Periodo (T)
- 3.Lunghezza d'onda (λ)
- 4.Ampiezza (A)
- 5.Fase (φ)
- 6.Timbro

FREQUENZA

Letteralmente il numero di cicli che vengono compiuti dall'onda in un secondo, dove per ciclo si intende un andamento composto da una semionda positiva e una semionda negativa. Viene misurata in Hz[1/sec], un'onda di frequenza pari a 1Hz compie un ciclo ogni secondo.

PERIODO

È il tempo impiegato per compiere un ciclo completo. Ed equivale all'inverso della frequenza.

LUNGHEZZA D'ONDA

Definita come la distanza tra due punti corrispondenti (per esempio due massimi successivi) lungo la forma d'onda.

AMPIEZZA

E' la misura dello spostamento massimo dalla posizione di equilibrio. Ampiezze maggiori corrispondono a volumi più alti.

Esistono due tipi misura delle ampiezze. La prima è una misura di tipo assoluto ed è detta ampiezza di picco. Questa misura effettivamente il punto in cui l'onda ha ampiezza massima. La seconda è una misura sull'ampiezza percepita dall'orecchio. Si parla in questo caso di ampiezza efficace o RMS.

FASE

Questa grandezza è sempre una relazione tra due forme d'onda. Per capire questo concetto occorre spiegare come viene costruita una forma d'onda sinusoidale.

Un onda sinusoidale ha un andamento ciclico nel tempo, dato dalla sua caratteristica di proiezione del periodo ondulatorio di una circonferenza goniometrica.

La fase di un segnale sinusoidale identifica l'inizio della oscillazione che può avvenire in quattro punti distinti, i punti $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$.

La fase di un onda è praticamente impercettibile all'orecchio umano, opposizioni di fase tra la somma di due onde possono generare effetti sonori particolari.

TIMBRO

Il timbro, è la qualità che, a parità di frequenza, distingue un suono da un altro. Il timbro dipende dalla forma dell'onda sonora, determinata dalla sovrapposizione delle onde sinusoidali caratterizzate dai suoni fondamentali e dai loro armonici. Dal punto di vista della produzione del suono, il timbro è determinato dalla natura (forma e composizione) della sorgente del suono e dalla maniera in cui questa viene posta in oscillazione. La differenza fondamentale, tra uno strumento musicale ed un altro, dal punto di vista timbrico, si percepisce appunto a causa della combinazione di alcuni dei fenomeni sopra descritti, affiancati al materiale di costruzione e all'involuppo di ampiezza che caratterizza l'andamento del suono nel tempo.

Vedremo più avanti per quale motivo il suono di un pianoforte viene percepito in maniera differente da quello di una chitarra.

A questo punto siamo in grado di capire come un evento fisico di oscillazione di un corpo, possa dar vita a quello che percepiamo come un suono ben definito che, emesso da una sorgente giunge alle nostre orecchie, o meglio mette in vibrazione la membrana timpanica, viaggiando nell'aria per darci poi lo stimolo elettrico che si trasforma in sensazione. Questo evento sonoro per essere elaborato da un calcolatore e quindi trasformato in pure sequenze numeriche necessita di una discretizzazione nel tempo, che avviene tramite un apparecchio chiamato campionatore.

2.CAMPIONAMENTO DI SEGNALI ANALOGICI

Digitalizzare il suono.

Il teorema, sviluppato per la prima volta nel 1949 in un articolo di C. E. Shannon, dovrebbe chiamarsi Whittaker-Nyquist-Kotelnikov-Shannon, secondo l'ordine cronologico di chi ne dimostrò versioni via via più generalizzate.

Il teorema del campionamento afferma che, sotto le opportune ipotesi, la minima frequenza di campionamento necessaria per evitare ambiguità nella ricostruzione del segnale è pari al doppio della banda del segnale in ingresso, ovvero pari ad almeno il doppio della frequenza della componente armonica a frequenza più alta.

Questo significa che se si necessita di digitalizzare un segnale, dove la banda frequenziale raggiunge, nella sua massima estensione, gli 8000 Hz, sarà opportuno utilizzare una frequenza di campionamento pari o superiore ad almeno al doppio della banda del segnale in questione, ovvero 16000 Hz.

Il campionamento è un passo del processo di conversione analogico-digitale di un segnale. Consiste nel prelievo di campioni da un segnale analogico e continuo nel tempo ad intervalli di tempo regolari, intervalli appunto che devono essere almeno il doppio dello spettro del segnale da digitalizzare.

Lo spettro di un segnale campionato infatti è uguale allo spettro del segnale originale ripetuto periodicamente in frequenza. Il periodo di questa ripetizione è uguale alla metà della frequenza di campionamento, quindi se la frequenza massima del segnale originale supera la metà della frequenza di campionamento, le ripetizioni nello spettro del segnale campionato si sovrappongono.

Questa sovrapposizione rende impossibile l'esatta ricostruzione del segnale originale e tale ricostruzione risulterà distorta, creando l'effetto "aliasing".

L'aliasing o distorsione da campionamento lento, in elettronica è il fenomeno per il quale due segnali analogici diversi possono diventare indistinguibili una volta campionati: questo costituisce un serio problema, perchè le frequenze che vengono alterate diventano indistinguibili all'interno

dello spettro sonoro.

Questo tipo di effetto nasce appunto dal sotto campionamento e sta a significare la creazione di frequenze “alias” nello spettro del segnale digitalizzato, dovute al ribaltamento in negativo delle frequenze non rappresentabili tramite il campionamento.

Trattando segnali analogici e quindi continui nel tempo, ovvero analoghi a segnali reali, il campionatore si comporta come un interruttore che preleva i valori numerici di ampiezza del segnale a intervalli di tempo predefiniti e ricostruisce le forme d'onda in ingresso al convertitore come una serie di punti, o scalini di discretizzazione temporale degli andamenti di pressione ricevuti in ingresso. Associando dei valori numerici a questi scalini, tramite codifiche particolari, chiamate quantizzazioni, è possibile realizzare un segnale digitale fittizio che emula in maniera ottimale il segnale analogico registrato.

QUANTIZZAZIONE

Quando si misura una grandezza, l'insieme di valori che essa può assumere in un sistema analogico, e quindi analogo a quello naturale, è un insieme continuo e composto da infiniti punti.

Ciò significa che tra due di questi punti è sempre possibile trovarne un terzo, qualunque sia il sistema di misura utilizzato.

Perché una grandezza sia trasmissibile e codificabile con un numero finito di bit, è necessario far sì che possa assumere solo un numero finito di valori discreti; ciò avviene tramite la quantizzazione del segnale.

La quantizzazione di un segnale è quindi un metodo di codifica che permette di associare valori numerici ai campioni che abbiamo precedentemente digitalizzato tramite il nostro sistema di campionamento.

Esistono due tipologie fondamentali di quantizzazione che distribuiscono i valori da associare ai campioni in maniera differente.

Queste tipologie si dividono in uniforme e non uniforme¹:

QUANTIZZAZIONE UNIFORME

La dimensione degli intervalli in cui si suddivide l'insieme dei possibili valori è sempre uguale.

Ovunque cada il valore quantizzato, l'accuratezza dell'operazione sarà sempre la stessa.

¹ La quantizzazione uniforme viene chiamata Fixed point per la sua natura statica di rappresentazione numerica, mentre quella non uniforme Floating point in quanto assegna valori numerici differenti in base alla distribuzione dei campioni da codificare.

Questo metodo è molto utilizzato per quanto riguarda i segnali musicali.

Infatti se si assegna un numero di intervalli adeguato, tipicamente costituito da 16 bit, che è poi la codifica presente nel CD audio tradizionale, il rapporto segnale/rumore introdotto dal quantizzatore, rimane ampiamente al di sotto della soglia di udibilità.

Il rapporto segnale/rumore aumenta infatti di 6 decibel ad ogni bit aggiunto al quantizzatore, questo significa che con una codifica a 16 bit, il nostro rumore si troverà 96 decibel al di sotto del segnale audio, praticamente impercettibile al nostro sistema uditivo.

QUANTIZZAZIONE NON UNIFORME

Nella quantizzazione non uniforme si creano intervalli di dimensioni variabili a partire dall'analisi della distribuzione dei campioni; in questo modo si presta quindi più attenzione nella quantizzazione di valori che si presentano con maggiore probabilità.

Questo significa che si adatta il numero di bit di codifica in base all'andamento del segnale.

Questa metodologia che può apparire migliore per quanto riguarda l'accuratezza della codifica, è però sconsigliabile in musica dove la bassa dinamica presente in un brano potrebbe erroneamente essere valutata dal quantizzatore come presenza di silenzio.

Questo porterebbe ad un assegnamento di valori minimo, aumentando il rumore di quantizzazione introdotto nella codifica del segnale.

Con la quantizzazione si introducono, come precedentemente detto, degli errori chiamati errori di quantizzazione, dovuti alla differenza tra il valore quantizzato e il suo valore "reale" nel campo continuo. L'errore massimo che verrà introdotto volta per volta sarà pari alla metà del più piccolo intervallo discreto discriminabile, nel caso limite in cui il valore di ingresso si ponga esattamente a metà tra due valori discreti di uscita. L'insieme di questi errori porta al rumore di quantizzazione.

3. TRASFORMATA VELOCE DI FOURIER (FFT)

Rappresentare in frequenza un suono Digitale.

La trasformata veloce di Fourier (FFT) è un algoritmo matematico che trasforma un segnale dal dominio del tempo a quello delle frequenze, utilizzando il principio del Teorema di Fourier².

² Jean Baptiste Joseph Fourier (Auxerre, 21 marzo 1768 – Parigi, 16 maggio 1830) è stato un matematico e fisico francese, conosciuto specialmente per la sua famosa trasformata.

Fourier partecipò alla campagna d'Egitto di Napoleone nel 1798, dove ricoprì un importante ruolo di diplomatico. Al suo ritorno in Francia nel 1801, fu nominato da Napoleone prefetto dell'Isère. Fu quindi a Grenoble che condusse i

Questo teorema identifica un segnale complesso come costituito da una somma di segnali semplici, sinusoidali, ognuno di ampiezza e fase specifica.

La trasformata di Fourier sfrutta questo principio per analizzare e ricostruire lo spettro frequenziale di un segnale complesso.

Vediamone brevemente il funzionamento:

La FFT è un algoritmo sviluppato negli anni sessanta per il calcolo veloce della DFT (Trasformata di Fourier discreta), grazie al quale si ha una riduzione rilevante del numero di operazioni da compiere nel calcolo della DFT.

Matematicamente la DFT ha la seguente espressione:

$$X_q = \mathcal{F}_d(x_n) = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j\frac{2\pi}{N}kq}$$

Per il calcolo di ciascun termine bisognerà eseguire N moltiplicazioni complesse e N somme, dato che le moltiplicazioni richiedono un tempo di calcolo molto maggiore rispetto alle somme è possibile trascurare il tempo impiegato per il calcolo di queste ultime.

Il calcolo degli N valori della DFT richiederà un numero di operazioni pari a N² (moltiplicazioni complesse).

La FFT ci permette infatti di ridurre il numero di operazioni da compiere (in particolare il numero di moltiplicazioni).

Questo è un aspetto molto importante, soprattutto quando l'implementazione avviene su un sistema che deve garantire un processamento in tempo reale. Per capire come il numero di operazioni diminuisce si può considerare il seguente esempio:

Supponiamo di avere a disposizione 16 campioni (x(0),x(1).....x(15)); allora per il calcolo di un singolo valore della X(n/N) si devono eseguire 16 moltiplicazioni complesse. Per calcolare tutti gli N (=16 nel nostro esempio) campioni ne dovremmo eseguire 256 = 16² (N²).

Tuttavia, se si opera una suddivisione dell'insieme dei campioni in due sottoinsiemi contenenti ciascuno N/2 campioni, la DFT applicata a ciascun sottoinsieme, in questo caso per il calcolo di tutti gli N/2, richiederà un numero di operazioni pari a (N/2)². Per il calcolo di tutti i campioni

suoi esperimenti sulla propagazione del calore che gli consentirono di modellizzare l'evoluzione della temperatura per mezzo di serie trigonometriche.

Fu così che cercando l'equazione "perfetta" del calore descrisse uno dei teoremi fondamentali per l'analisi dei segnali complessi.

saranno necessarie $2 \cdot (N/2)^2$ operazioni che nel nostro caso saranno 128 moltiplicazioni. Questo processo di suddivisione può essere iterato fino ad arrivare a lavorare su due campioni per volta, fatta l'ipotesi che il numero di campioni sia una potenza di due ($N=2^k$).

L'algoritmo di calcolo della FFT prevede i seguenti passi:

1. Partizionamento dell'insieme dei campioni in pari e dispari.
2. Riordinamento dei campioni presenti nelle due partizioni.

Per eseguire un ordinamento di questo tipo si può utilizzare una struttura ad albero. Si tratta di invertire la posizione dei bit, della parola binaria che rappresenta l'indice del campione (il bit più significativo diventa quello meno significativo).

Le suddivisioni sugli insiemi vanno fatte sempre distinguendo tra valori con indice pari e con indice dispari, nella prima suddivisione questo si fa semplicemente osservando il bit meno significativo della parola binaria che rappresenta l'indice del campione (quelle in cui il bit meno significativo è 1 corrisponde ad un numero dispari, per quelle parole in cui vale 0 si tratta di un numero pari). Per le suddivisioni successive si osserva il valore del penultimo bit, iterando tale procedimento. Esso continua fino a quando si arriva a considerare due soli punti.

FINESTRATURA

Il calcolo della FFT opera su sequenze di lunghezza N finita, mentre i campioni in uscita dal convertitore analogico digitale arrivano in continuazione. Per questo motivo bisogna selezionare e considerare una porzione (N campioni) alla volta.

Questa operazione è chiamata finestrata. Nella forma più semplice, consiste nel moltiplicare la sequenza in uscita dal convertitore per una finestra rettangolare di lunghezza N , cioè per una sequenza $R_N(n)$.

Questo tipo di finestra può essere utilizzata solo nei casi in cui abbiamo:

1. Segnali di tipo transitorio che hanno durata finita (rientrano completamente nella finestra di osservazione).
2. Segnali periodici, nel solo caso in cui si prende con la finestra un numero esatto di periodi.

La finestra di tipo rettangolare può essere applicata soltanto a queste due classi di segnali. Ciò dipende da come va a lavorare la FFT. Infatti, la FFT lavora su porzioni del segnale di ingresso ed è basata sull'assunto che tale segnale sia ripetuto nel tempo.

Pertanto essa non opera sul segnale originario, bensì su di un segnale periodico “fittizio” ricavato a partire dal segnale originario.

Nel caso di segnale di tipo periodico se non viene preso un numero intero di periodi del segnale, la FFT lavora su un segnale distorto, con conseguente dispersione spettrale.

Per eliminare questo tipo di problemi si ricorre all'uso di finestre diverse da quella di tipo rettangolare. In particolare si usano finestre che pesano i campioni del segnale in maniera particolare. Poiché i problemi sono localizzati agli estremi della finestra di osservazione, laddove il segnale subisce delle brusche discontinuità, è necessario intervenire ad attenuare i campioni che ricadono in queste zone.

La finestra che si infatti usa più comunemente è quella di Hanning.

La finestra di Hanning è adatta per segnali periodici ma non lo è per quelli di tipo transitorio. Infatti se moltiplichiamo un segnale di questo tipo per una finestra di Hanning, otteniamo un segnale molto distorto. Per i segnali di tipo transitorio si deve usare una finestra uniforme, la quale, pesando allo stesso modo tutti i valori del segnale, non produce su di esso alcuna alterazione.

Poiché il calcolo della FFT comunque richiede un determinato tempo, per un processamento real-time è necessario ricorrere ad una bufferizzazione. Se il tempo necessario al calcolo della FFT è minore del tempo necessario per preparare un nuovo blocco, allora si dice che il calcolo avviene in tempo reale.

3.EFFETTI PRINCIPALI PER LA MANIPOLAZIONE DEL SEGNALE DIGITALE

Elaborazione numerica del segnale.

Vediamo adesso alcuni concetti fondamentali sulla creazione del riverbero e sugli effetti che vengono utilizzati all'interno degli ambienti di elaborazione del suono maggiormente utilizzati e sulla loro simulazione digitale, in modo da essere più consapevoli durante il loro utilizzo.

Bisogna infatti pensare che la maggior parte degli effetti che si trovano nei software di editing ed elaborazione del segnale sono tutti riconducibili ad alcuni principi basati sul ritardo ed il filtraggio e che, una volta compresi i parametri teorici del loro utilizzo, la loro diversificazione grafica non sarà più un problema per l'utente.

RIVERBERO

Il riverbero è un fenomeno acustico legato alla riflessione del suono da parte di un ostacolo posto

davanti ad una fonte sonora: per esempio, se in una stanza una sorgente sonora cessa di irradiare, il livello acustico diminuisce tanto più lentamente quanto minore è l'assorbimento acustico delle pareti.

Questo strumento è stato infatti estremamente utilizzato in musica, per la creazione di sonorità particolari o semplicemente per il rinforzamento del segnale.

Nel corso degli anni sono stati infatti sviluppati molteplici metodi per l'emulazione del riverbero ambientale. Il metodo digitale ha semplificato le strutture analogiche sfruttando un algoritmo che trae spunto proprio da queste ultime.

Il segnale analogico viene digitalizzato ed immagazzinato in banchi di memoria RAM che viene utilizzata come la spirale metallica del riverbero a molla.

Nel riverbero a molla infatti, il segnale di ingresso, veniva fatto passare attraverso una spirale metallica e veniva reinserito tramite un trasduttore all'interno del circuito, miscelandolo al segnale originale leggermente ritardato, in modo da simulare le riflessioni udibili all'interno di un ambiente.

Nel digitale, e quindi nel nostro caso, i bytes vengono fatti "scorrere" da un banco di memoria al successivo fino al raggiungimento dell'ultimo. Il segnale digitale prelevato dall'ultima memoria viene poi riconvertito in analogico e miscelato al segnale originale ottenendo l'effetto riverbero. Il tempo di ritardo ottenibile varia agendo sia sul numero di memorie coinvolte nel processo, sia sulla temporizzazione del trasferimento dei dati da un banco all'altro. La grande capacità delle memorie RAM permette di raggiungere anche ritardi di parecchi secondi e quindi passare agevolmente da riverbero a eco. La digitalizzazione del segnale e la sua successiva riconversione in forma analogica causano tuttavia una certa perdita di qualità del suono che dipende principalmente dalla qualità del campionamento. Molto diffusi anche i circuiti integrati detti "bucket brigade", detti a catena di secchi, che non operano al loro interno una conversione da analogico a digitale e viceversa, ma sono formati da tantissime celle a condensatore che si caricano in sequenza con il valore di tensione campionato ad istanti regolari, analogicamente. Il valore della carica viene passato da un condensatore all'altro, fino a raggiungere l'uscita, impiegando un determinato tempo che sarà il ritardo desiderato.

DELAY

Vediamo il funzionamento di un tipico Delay digitale sempre per una necessaria consapevolezza teorica sugli strumenti che si utilizzano:

Il Delay è uno strumento che registra, nel nostro caso caso salva, all'interno di una memoria RAM, i dati in ingresso provenienti dal segnale da processare e li riproduce in uscita con un effetto

ritardato.

Solitamente il suono ritardato viene aggiunto al segnale originale, anziché sostituirlo; in tal caso l'effetto complessivo è simile a quello dell'eco.

Il suo funzionamento è simile a quello del riverbero, sopra descritto, a differenziarli è essenzialmente la quantità temporale legata ai ritardi e alle ripetizioni.

Molti Delay sono dotati di una sezione dedicata al feedback del segnale che gestisce la lunghezza delle ripetizioni in modo da far estinguere le sonorità nel tempo desiderato.

La retroazione (in inglese feedback) è infatti la capacità dei sistemi dinamici di tenere conto dei risultati del sistema per modificare le caratteristiche del sistema stesso.

FILTRI- SISTEMI LINEARI TEMPO INVARIANTI

I filtri sono degli strumenti che si occupano di garantire il passaggio di determinate frequenze dello spettro udibile. Il suono proveniente da una qualsiasi fonte viene infatti privato di alcune frequenze e la forma d'onda iniziale può essere completamente stravolta o semplicemente ritoccata.

I filtri si distinguono poi per le frequenze di cui permettono il passaggio e per il livello di filtraggio.

I principali sono caratterizzati da caratteristiche differenti:

1. Filtri PASSA-BASSO che permettono il passaggio del suono al di sotto di una certa frequenza.
2. Filtri PASSA-ALTO che permettono il passaggio del suono al di sopra di una certa frequenza.
3. Filtri PASSA-BANDA che permettono il passaggio del suono compreso tra due frequenze e che sono quindi una combinazione dei primi due.
4. Filtri NOTCH che eliminano o esaltano il suono compreso tra due frequenze
5. Filtri RISONANTI che enfatizzano una certa frequenza.

Le possibilità date dai vari tipi di filtri sono immaginabili cercando di prevedere quale effetto potrà dare su un suono l'eliminazione di alcune frequenze. Se per esempio si pensa di emulare un basso elettrico o si vuole creare un nuovo suono che possa essere utilizzato come basso in un arrangiamento si cercherà di attenuare le frequenze alte usando un passa basso, se si vorrà simulare una voce si ricorrerà a un filtro passa banda cercando di riprodurre le frequenze medie tipiche della

voce umana.

Controlli riguardanti il tipo di filtraggio:

I primo controllo fondamentale di un filtro è il “CUT OFF”, o frequenza di taglio, chiamato così nella quasi totalità dei sintetizzatori.

Questo controllo serve a determinare la frequenza su cui il filtro interviene. Se per esempio si utilizza un passa basso e si sceglie la frequenza di 2000 Hz tutte le frequenze superiori a 2000 Hz saranno attenuate fino a -48 dB a seconda dello strumento e delle impostazioni.

Nel nostro caso, dotato di più filtri, si può trovare un solo controllo di “CUT OFF” affiancato da un selettore, che determina in che modalità il filtro debba agire. Le possibilità più comunemente utilizzate sono: LPF - BPF - HPF - NOTCH (low-pass filter, band-pass filter, high-pass filter, NOTCH).

Se si utilizza un filtro passa-banda si dovrebbe avere un controllo per determinare quale sia la larghezza della banda passante, spesso però questo controllo non esiste e i costruttori stabiliscono una larghezza di banda non modificabile. Ma nel nostro caso, dove verranno utilizzati solamente equalizzatori, che sono strumenti di filtraggio composti da una serie di filtri in cascata, i grafici associati alle frequenze saranno completamente modificabili.

Il secondo controllo fondamentale di un filtro è la risonanza “RESONANCE”.

Questo controllo permette di aumentare il volume della frequenza sulla quale il filtro agisce facendone crescere la curva, se per esempio si utilizza un filtro passa basso a 2000 Hz e si alza il controllo Resonance si avrà che: le frequenze sotto i 2000 Hz rimarranno invariate, le frequenze intorno ai 2000 Hz subiranno un incremento, le frequenze superiori ai 2000 Hz subiranno un decremento. Se si tiene a 0 il controllo di Resonance questo non avrà alcuna influenza, se al contrario lo si porta su valori alti si avrà il fenomeno della auto oscillazione del filtro (anche senza far passare nessun suono attraverso il filtro questo suonerà autonomamente un'onda sinusoidale la cui frequenza sarà determinata dal controllo “CUT OFF”).

4.GENERAZIONE SINTETICA DI UN TIMBRO

Sintetizzatori e tecniche base di sintesi del suono.

Per generare un suono attraverso modalità di creazione timbrica si usano degli strumenti digitali o analogici chiamati sintetizzatori. I sintetizzatori utilizzano strutture matematiche semplici o complesse per generare sonorità e si differenziano dai campionatori che, come precedentemente detto digitalizzano il suono in ingresso e lo riproducono.

Vediamo allora le caratteristiche e i moduli che costituiscono un sintetizzatore analogico e digitale in modo da comprenderne lo scopo e l'utilizzo ottimale.

OSCILLATORE

Gli oscillatori si trovano alla base dell'architettura progettuale di un sintetizzatore, sono infatti generatori di forme d'onda acustiche.

Compito dell'oscillatore è di generare una variazione di tensione, nel caso di un circuito analogico, ripetuta nel tempo, definita forma d'onda.

Nel caso di uno strumento digitale si parla invece di Look-up-Table, ovvero una tabella di numeri salvati in memoria, che descrivono la forma d'onda da generare, e che tramite la lettura ciclica di questi valori, a velocità determinate, generano le frequenze desiderate.

Nel caso in cui, la tensione o la lettura, variasse in modo casuale e non ripetitivo si otterrebbe un generatore di rumore.

L'oscillatore ripete quindi ciclicamente una certa forma onda. La ripetizione dell'onda nel tempo è definita ciclo, se il ciclo si ripete da 20 a 20.000 volte al secondo potrà essere percepita dal nostro sistema uditivo, si troverà quindi all'interno della banda di frequenza udibile. La misurazione di quante volte un ciclo si ripete in un secondo avviene tramite il sistema di misura detto Hertz. L'unità dimensionale dell'Hertz è in termini frazionari, 1/tempo.

Questa tensione, una volta amplificata sarà in grado di essere percepita acusticamente.

I sintetizzatori analogici normalizzati sono generalmente dotati di un basso numero di oscillatori per ogni voce, ed ogni oscillatore può emettere una determinata forma d'onda. Questo tipo di architettura facilita al massimo la creazione di timbri semplici, ma rende più impegnativa la creazione di timbri complessi che emulano sonorità reali, simili a quelle degli strumenti tradizionali. Il programmatore deve infatti cercare di utilizzare i pochi generatori a disposizione per creare una forma d'onda complessa tramite i moduli ad esso connessi.

La forma d'onda è ovviamente la base di creazione di un particolare timbro e per semplicità i costruttori di sintetizzatori analogici del passato avevano dotato l'oscillatore di una serie limitata di forme d'onda, che potessero dare una definizione grossolana di partenza del timbro, lasciando ai filtri il compito di ritoccare la composizione armonica del suono.

Ognuna di queste forme d'onda ha un suo spettro armonico che la caratterizza, per alcune facilmente immaginabile, (sinusoide o noise) per altre più complesso.

1. La forma d'onda sinusoidale genera un suono puro senza armonici.
2. La forma d'onda quadra genera un suono che ha uno spettro caratterizzato da una frequenza fondamentale e da una serie componenti armoniche multiple dispari che

decregono proporzionalmente in ampiezza.

3. Variando la fase di queste componenti si può creare la forma d'onda triangolare.

4. La forma d'onda a dente di sega genera invece un suono che ha uno spettro caratterizzato

da una frequenza fondamentale e da una serie di componenti armoniche multiple pari e dispari che decrescono proporzionalmente in ampiezza.

5. Il generatore di rumore è invece un altro circuito, nel caso dei sintetizzatori analogici, capace di creare un suono che, a differenza degli oscillatori veri e propri, genera un segnale in cui casualmente si alternano tutte le frequenze udibili.

Questa sonorità casuale viene chiamata “rumore bianco”, in analogia con la luce, dove lo spettro composto da tutte le componenti in forma additiva genera appunto il colore bianco. Questo timbro viene spesso utilizzato per creare emulazione di rumori ambientali e per realizzare la sintesi sottrattiva tramite l'utilizzo di filtri.

INVILUPPO

L'inviluppo, nei sistemi analogici, emette una variazione di tensione nel tempo dal momento in cui viene attivato. La sua attivazione deriva principalmente dalla pressione di un tasto o, nei sistemi digitali, dalla ricezione di un impulso. Nell'inviluppi di ampiezza classici dei sintetizzatori, sono spesso presenti quattro parametri legati all'andamento temporale dei suoni naturali, chiamati “ADSR”, che significano: attacco, decadimento, sostegno e rilascio.

Infatti l'andamento legato alla ampiezza di un suono naturale, si comporta temporalmente con un'evoluzione che può essere sintetizzata da questi quattro parametri.

Dal momento in cui premiamo un tasto, presente nel modulo tastiera, il volume crescerà in un tempo determinato dalla posizione del controllo di attacco (più è alto il valore più tempo impiegherà) e, sempre tenendo il tasto premuto, il volume decrescerà in un tempo determinato dal controllo decadimento fino a un livello definito dal controllo sostegno, quando si rilascerà il tasto il volume si abbasserà con una velocità determinata dal controllo rilascio.

Questo modulo serve quindi a dare un andamento non stazionario al nostro segnale che si evolverà così in maniera dinamica nel tempo, emulando gli strumenti musicali tradizionali.

Le applicazioni dell'inviluppo sono infinite, permettono di generare suoni più naturali simulando per esempio il crescendo degli archi, il pizzicato di uno strumento a corde o il suono di una campana.

LFO

Gli LFO (Low Frequency Oscillator), oscillatori a bassa frequenza, sono degli oscillatori che generano una frequenza compresa fra i 5 Hz e i 30 Hz, non emettono quindi suoni udibili ma generano delle tensioni che permettono di controllare i vari moduli del sintetizzatore.

Se un segnale triangolare viene applicato ad un oscillatori controllati in voltaggio, si avrà quindi un effetto di vibrato; se il segnale di modulazione è un onda quadra, lo stesso segnale applicato ad un amplificatore controllato in tensione causerà un effetto tremolo.

Gli LFO generano quindi frequenze subsoniche al solo scopo di modulare i segnali acustici udibili.

Gli LFO pur essendo degli oscillatori veri e propri non vengono normalmente usati come generatori sonori ma come circuiti di controllo, in quanto le frequenze raggiunte arrivano raramente ai 20 Hz e perché generalmente non hanno la possibilità di essere controllati da altri moduli.

Per quanto riguarda il funzionamento di un oscillatore si può fare riferimento a ciò che è stato detto in precedenza.

Le differenze tra VCO (oscillatore controllato in tensione) e LFO (oscillatore a bassa frequenza) stanno nella diversa velocità di frequenza e nella possibilità di essere controllati o meno da una tensione.

Nei sintetizzatori normalizzati gli LFO hanno quasi sempre la sola funzione di controllo e non hanno la possibilità di essere pilotati da una tensione esterna. La tensione che emette un LFO viene di solito assegnata alla frequenza degli oscillatori (creando l'effetto vibrato), al volume degli amplificatori (creando l'effetto tremolo) o alla frequenza del filtro.

In IEDLAB, l'LFO genera una modulazione di fase sulla frequenza portante degli oscillatori, generatori di forme d'onda acustiche, creando così una modulazione che genera un effetto vibrato controllabile tramite un "Rate", ovvero la frequenza a cui deve avvenire la modulazione.

Questa tecnica è stata realizzata semplicemente moltiplicando una serie di forme d'onda identiche a quelle descritte nel modulo oscillatori, ma inserendo la loro uscita audio all'interno dell'ingresso di destra degli oggetti che generano le forme d'onda acustiche. Questo ingresso è infatti dedicato alla fase dell'onda, che se viene modulata con un oscillatore a frequenza inferiore ai 20 Hz, genera degli effetti di pulsazione tipici degli LFO.

SINTESI ADDITIVA

La sintesi additiva è una delle più antiche e studiate tecniche per la generazione di timbriche complesse.

Questa tecnica si basa sull'idea di generare un suono mediante somma di parziali sinusoidali, dove ognuna viene fatta variare nel tempo sia in ampiezza sia in frequenza.

Questa tecnica, dalla semplice realizzazione, veniva infatti sfruttata enormemente nei sintetizzatori e in strumenti musicali come l'organo, dove fondamentalmente si attua una sintesi additiva nella sua rappresentazione naturale.

Infatti le canne rappresentano gli oscillatori di un sintetizzatore, che emettono sinusoidi ognuna con frequenza doppia dell'altra.

Questa tecnica di sintesi permette la creazione di timbriche molto ricche di componenti se generate da banchi di oscillatori multi-forma d'onda e accoppiate a moduli generatori di involuppo.

MODULAZIONE AD ANELLO

La modulazione ad anello è una tecnica di sintesi che consiste nella moltiplicazione di due segnali bipolari, uno portante e uno modulante.

Il segnale portante è tipicamente il segnale principale, che presenta uno spettro armonico ricco, mentre quello modulante è tradizionalmente una senoide.

Quando la frequenza del segnale modulante è sotto i 20 Herz, quindi al di sotto di frequenza minima udibile, l'effetto che si ottiene è il classico tremolo. Quando la modulante ha una frequenza udibile invece, il timbro della portante si modifica. Per ogni componente sinusoidale della portante, il segnale modulante infatti produce due nuovi segnali laterali uno uguale alla somma delle due frequenze, l'altro uguale alla loro differenza.

Questa tecnica è quindi utile per generare timbriche ricche di armoniche dalle sonorità distorte.

MODULAZIONE DI AMPIEZZA

Il sistema di modulazione di ampiezza è un sistema di modulazione impiegato nel campo delle telecomunicazioni, in particolare per la trasmissione di segnali audio. La modulazione di ampiezza produce onde la cui ampiezza è massima nei punti in cui la modulante presenta i picchi positivi, minima in corrispondenza di picchi negativi.

Questa tecnica consiste nel modulare l'ampiezza del segnale che si intende utilizzare, detto portante, in maniera proporzionale all'ampiezza del segnale che si intende emettere, chiamato modulante. Il segnale modulato ha la stessa frequenza della portante, ma presenta variazioni di ampiezza regolare secondo la frequenza della modulante.

Con questa tecnica è possibile, a scopi musicali, generare sonorità dove una frequenza fissa presenta effetti di pulsazione, molto utilizzati nella creazione di bassi sintetici.