

PLĂCI DE SUNET

1. Scopul lucrării

Lucrarea prezintă conceptele de bază ale sunetului digital, principalele metode de compresie audio, metodele de sinteză audio, interfața MIDI, caracteristicile de bază ale plăcilor de sunet și structura unei plăci de sunet de tip *Sound Blaster*.

2. Considerații teoretice

2.1. Elemente de bază ale sunetului digital

Sunetul analogic este reprezentat sub forma unui semnal de tensiune sau curent, care variază în amplitudine și frecvență. Amplitudinea semnalului poate fi asociată cu nivelul de volum, iar frecvența poate fi asociată cu tonul. Semnalul audio analogic este amplificat și aplicat unui electromagnet, care determină vibrația diafragmei difuzorului, producând undele sonore.

Pentru utilizarea semnalului audio de un calculator, acest semnal trebuie transformat în informație digitală cu ajutorul unui convertor analog-digital (ADC - *Analogue-Digital Convertor*). Procesul invers, de conversie a unei reprezentări digitale într-un semnal analogic, se execută cu ajutorul unui convertor digital-analogic (DAC - *Digital-Analogue Convertor*). Atunci când se combină funcțiile circuitelor ADC și DAC, circuitele respective se numesc de obicei CODEC (codificatoare-decodificatoare). Aceste circuite pot realiza și comprimarea sau decompimarea datelor audio digitale.

Conversia semnalului analogic în forma digitală este realizată prin eșantionarea amplitudinii semnalului cu o anumită frecvență. Datele audio eșantionate pot fi caracterizate prin parametrii convertorului ADC utilizat la înregistrarea sunetului; aceleași setări trebuie utilizate pentru configurarea convertorului DAC pentru redarea sunetului. Aceste caracteristici de bază cuprind frecvența (rata) de eșantionare, dimensiunea eșantioanelor utilizate, metoda de compresie a eșantioanelor și numărul canalelor de sunet. Toate acestea sunt elemente care determină acuratețea cu care datele digitale reprezintă semnalul analogic.

2.1.1. Frecvența de eșantionare

Conform unei teoreme (*Nyquist*), pentru a reproduce în mod corect un semnal, frecvența de eșantionare trebuie să fie cel puțin dublul frecvenței maxime a semnalului. Pentru a se reproduce un semnal audio situat la limita audibilității umane (20.000 Hz), frecvența de eșantionare trebuie să fie deci de cel puțin 40.000 Hz.

Cele mai uzuale frecvențe de eșantionare sunt prezentate în Tabelul 10.1, împreună cu domeniile sau echipamentele pentru care se utilizează.

Tabelul 10.1. Frecvențe de eșantionare uzuale.

Rata de eșantionare (Hz)	Echipamente la care se utilizează
8.000	Telefonie, utilizând codificarea μ -Law sau A-Law
8.012,82	Stațiile de lucru NeXT (circuiturile CODEC Telco ale acestora)
11.025	Jumătate din frecvența de eșantionare utilizată de calculatoarele Macintosh (22.050 Hz)
16.000	Telefonie G.722
16.726,8	Televiziune NTSC
18.900	Discuri CD-ROM XA
22.050	Jumătate din frecvența de eșantionare a discurilor CD audio (44.100 Hz), sau frecvența de eșantionare utilizată de calculatoarele Macintosh
32.000	Radio digital, televiziuni NICAM (Nearly-Instantaneous Companded Audio Multiplex) și HDTV (High Definition TV)
37.800	Discuri CD-ROM XA, pentru calitate mai ridicată
44.100	Discuri CD audio
48.000	Casete DAT

2.1.2. Dimensiunea eșantioanelor

Un alt element care determină calitatea reprezentării digitale este dimensiunea eșantioanelor utilizate. În cazul unei dimensiuni mici ale eșantionelor, de exemplu 8 biți, diferențele mari între valorile eșantioanelor succesive nu pot reproduce corect semnalul analogic original. Aceste diferențe mari de valoare introduc zgomote de frecvență ridicată la ieșirile circuitului DAC.

Ca o regulă, fiecare bit al dimensiunii eșantioanelor contribuie cu o valoare de 6 dB la raportul semnal-zgomot. Formatul cel mai utilizat al eșantioanelor este cel al numerelor întregi cu semn pe 16 biți, asigurând un raport maxim semnal-zgomot de 96 dB. Există sisteme care utilizează dimensiuni mai mari ale eșantioanelor, de exemplu de 24 biți, și eșantioane reprezentate în virgulă mobilă.

Există și alte caracteristici ale interfețelor analogice audio care sunt independente de frecvența de eșantionare și de dimensiunea eșantioanelor. Cele mai importante dintre acestea sunt monotonicitatea convertorului (se referă la posibilitatea convertorului de a ține cont de biții c.m.p.s. ai eșantioanelor) și calitatea părții analogice la care se conectează (filtrele și preamplificatoarele).

2.2. Metode de comprimare a sunetului

Cerințele principale pentru o metodă de comprimare eficientă sunt următoarele:

- Menținerea calității sunetului original;
- Posibilitatea de execuție în timp real, utilizând o unitate centrală standard;
- Obținerea unui factor de comprimare ridicat.

De obicei, aceste cerințe nu se pot satisface simultan, motiv pentru care comprimarea eficientă a datelor audio este dificilă. Pentru comprimarea datelor audio se utilizează trei tehnici principale: utilizarea unei reprezentări numerice compacte pentru valorile eșantioanelor (ca reprezentarea în virgulă mobilă pe 8 biți), comprimarea blocurilor de eșantioane utilizând tehnici standard de comprimare a datelor (de exemplu, codificarea *Huffman*), sau executarea unei analize spectrale asupra datelor audio pentru a obține o reprezentare mai compactă a acestora. Fiecare din aceste tehnici are avantaje și dezavantaje în ceea ce privește criteriile enunțate. Utilizarea algoritmilor standard de compresie a eșantioanelor nu reduce calitatea sunetului original, dar ratele de compresie sunt mici și

viteza decompresării este prea redusă pentru a permite decompresarea în timp real pe majoritatea sistemelor.

2.2.1. Compandarea

Este o metodă utilizată în telefonie, sunetul digital fiind comprimat cu un factor cuprins între 1,5 și 2. Eșantioanele sunt codificate logaritmice pe 8 biți, astfel că se creează efectul unei dimensiuni a eșantioanelor de 12 biți. Deoarece compandarea utilizează o funcție matematică simplă pentru fiecare valoare, implementarea este simplă din punct de vedere hardware și software, și este posibilă decompresarea în timp real. Utilizarea acestei metode pentru comprimarea eșantioanelor de 16 biți are ca efect o scădere cu aproximativ 24 dB a domeniului dinamic al semnalului.

În telefonie se utilizează două variante de compandare: μ -Law (pentru S.U.A.) și A-Law (pentru Europa). Există implementări ale acestor metode care extind compresia cu detectarea pauzelor.

2.2.2. Comprimarea ADPCM

ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) este metoda de comprimare cea mai utilizată la calculatoarele PC. Se poate utiliza pentru orice dimensiune a eșantioanelor și orice frecvență de eșantionare, reducând dimensiunea fișierelor cu date audio de aproape 4 ori. ADPCM este o metodă cu pierderi, astfel încât comprimarea mai redusă conduce la o calitate mai bună a sunetului.

Această metodă nu utilizează valoarea unui eșantion, ci valoarea diferenței dintre două eșantioane succesive. Rezultate mai bune se obțin în cazul semnalelor audio a căror amplitudine variază lent. În cazul semnalelor audio al căror volum variază rapid, aceasta conduce la valori mari ale diferenței (valorilor delta) între eșantioane. Pentru comprimarea semnalelor vocale, se pot obține rezultate satisfăcătoare, dar calitatea muzicii poate fi compromisă dacă se utilizează această metodă.

Majoritatea plăcilor de sunet, inclusiv cele compatibile *Sound Blaster*, acceptă decompresarea fișierelor ADPCM. Comprimarea ADPCM este utilizată de diferite standarde publice pentru comprimarea în domeniul vocal. Dintre acestea se menționează standardele CCITT G.721 (ADPCM la 32 Kbiți/s) și G.723 (ADPCM la 24 și 40 Kbiți/s).

2.2.3. Metode bazate pe analiza spectrală

Metoda LPC (*Linear Predictive Coding*) constă din analiza sunetului utilizând un model simplu “sursă/filtru”. Reprezintă o tehnică substractivă care analizează sunetul dintr-un semnal sursă variabil în timp care este trecut printr-un filtru dinamic. Codificatorul LPC elimină apoi sunetul original și memorează parametrii modelului sursă/filtru cel mai adecvat. Un decodor LPC utilizează acești parametri pentru a genera un sunet care este similar cu cel original. Prin codificarea LPC se pot obține rate de compresie semnificative (și rate de biți foarte mici), sunetul re-sintetizat fiind inteligibil (pentru semnale vocale), dar metoda nu este adecvată pentru sunete complexe, multi-timbrale.

Metoda CELP (*Code Excited Linear Prediction*) se bazează pe metoda LPC, însă după executarea operațiilor acestei metode se calculează eroarea între semnalul original și modelul sintetizat, memorându-se atât parametrii modelului LPC, cât și o reprezentare comprimată a erorilor. Reprezentarea comprimată este un index într-un tablou de funcții partajat între codor și decodor. Un codor CELP execută un număr mult mai mare de operații decât un codor LPC (de obicei mai mare cu un ordin de mărime), dar rezultatul este un sunet re-sintetizat de calitate mult mai ridicată. Decodificarea CELP poate fi realizată în timp real. Există implementări ale acestei metode care oferă în esență aceeași calitate ca și un codor ADPCM de 32 Kbiți/s, dar necesită o rată a datelor de numai 4,8 Kbiți/s.

2.2.4. MPEG-1

Este un standard de comprimare pentru audio și video, elaborat de ISO (*International Standards Organisation*) și IEC (*International Electrotechnical Commission*) în 1992 (ISO/IEC 11172).

Comprimarea MPEG-1 audio se bazează pe proprietățile aparatului auditiv uman: neliniaritatea și pragul adaptiv de audibilitate. Pragul de audibilitate este nivelul sub care sunetele nu sunt auzite. Acest prag este variabil în funcție de frecvență și variază de la o persoană la alta. În majoritatea cazurilor, auzul este cel mai sensibil între 2 și 5 KHz. Un sunet va fi auzit de o anumită persoană dacă frecvența sunetului este în limitele audibilității și dacă amplitudinea acestuia este deasupra pragului de audibilitate al persoanei la frecvența respectivă.

Pragul de audibilitate este adaptiv, modificându-se continuu în funcție de sunetele auzite. De exemplu, o conversație obișnuită într-o cameră este perfect audibilă în condiții normale. În apropierea unei surse de zgomot intens, aceeași conversație nu va fi auzită însă datorită distorsiunilor pragurilor de audibilitate ale persoanelor implicate. După dispariția zgomotului, pragurile de audibilitate revin la normal. Sunetele care nu sunt auzite datorită adaptării dinamice a pragului de audibilitate sunt considerate “mascate”.

Acest efect este general, dar are o importanță particulară în cazul muzicii. Un instrument dintr-o orchestră care interpretează “fortissimo” o secvență va determina, într-o măsură mai mică sau mai mare, ca sunetul unor alte instrumente să nu poată fi auzit. La înregistrarea muzicii însă, toate frecvențele vor fi reținute, deoarece răspunsul în frecvență al aparatului de înregistrare nu este adaptiv în mod dinamic. La redarea înregistrării, instrumentele mascate nu vor fi auzite de ascultător, astfel că ele ar putea lipsi. O înregistrare liniară, ca cea utilizată la discurile CD audio, este inefficientă din acest punct de vedere. Suportul de înregistrare va fi utilizat mai eficient dacă se înregistrează numai datele care vor fi audibile, și aceasta nu va reduce calitatea înregistrării audio.

În domeniul audio, MPEG-1 definește trei moduri operaționale numite *Layer-1*, *Layer-2* și *Layer-3*, cu performanțe crescute din punct de vedere al calității sunetului și al ratei de biți. Circuitele CODEC sunt compatibile în mod ierarhic, de exemplu decodorul pentru *Layer-3* poate accepta și modulele *Layer-1* și *Layer-2*. Pentru fiecare mod, standardul specifică formatul șirului de biți și decodorul. Pentru a se permite îmbunătățiri ulterioare, nu se specifică circuitul de codificare, dar este descris câte un exemplu de asemenea circuit pentru fiecare mod.

Toate modulele pot utiliza frecvențe de eșantionare de 32, 44,1 sau 48 KHz. Utilizarea unui anumit mod depinde de cerințele aplicației. Se poate ține cont de rata de biți disponibilă pentru aplicația respectivă, deoarece fiecare mod a fost elaborat astfel încât să asigure o eficiență maximă pentru anumite limite de valori ale ratei de biți.

- *Layer-1* este o versiune simplificată care este adecvată pentru aplicații de larg consum, ca înregistrarea pe benzi, discuri magnetice sau discuri optice, deci aplicații pentru care nu sunt necesare rate de biți foarte mici. Acest mod este destinat unor rate de biți în jur de 192 Kbiți/s pe fiecare canal audio.
- *Layer-2* oferă o rată de compresie mai mare față de *Layer-1*. Acest mod are numeroase aplicații atât în domeniul audio de larg consum, cât și profesional, ca radiodifuziune, televiziune, telecomunicații și multimedia. Eficiența cea mai mare se obține pentru rate de biți de 128 Kbiți/s sau 96 Kbiți/s pe fiecare canal audio. *Layer-2* va fi utilizat în rețeaua de radiodifuziune DAB (*Digital Audio Broadcasting*).
- *Layer-3* oferă o rată de compresie superioară față de *Layer-2*, extinzând aplicațiile MPEG-1 în domeniul telecomunicațiilor ISDN cu bandă îngustă și anumite aplicații specializate în domeniul audio profesional. Acest mod definește un set de caracteristici în scopul menținerii calității sunetului și la rate de biți reduse, de exemplu 64 Kbiți/s sau chiar mai mici. *Layer-3* este utilizat în diferite rețele de telecomunicații (ISDN, legături prin satelit), asigurând o calitate apropiată de calitatea CD la rate de 64 Kbiți/s.

Philips a elaborat o metodă de codificare bazată pe modul *Layer-1* al standardului MPEG-1, numită PASC (*Precision Sub-band Adaptive Coding*). Această metodă utilizează un model software al pragului de audibilitate mediu. Spectrul audio este împărțit în 32 de diviziuni numite sub-benzi. Pentru fiecare din acestea, partea relevantă a modelului este adaptată în funcție de datele audio pe care le conține. Datele audio aflate deasupra pragului de audibilitate adaptat sunt codificate, iar cele aflate sub acest prag sunt ignorate. Prin această metodă, volumul de date este redus de aproximativ 6 ori.

În timpul elaborării standardului MPEG-1, s-au efectuat mai multe teste internaționale de audiție pentru evaluarea calității sunetului comprimat. Testele au fost supervizate de Radiodifuziunea Suedeză și CCIR (actualmente ITU-R). La aceste teste, efectuate în 1990, 1991 și 1992, au participat loturi de ascultători avizați. Secvențele de audiție utilizate erau de forma “ABC”, unde A este semnalul original, iar BC este o pereche de semnale originale și codificate, într-o ordine aleatoare. Semnalele B și C au fost evaluate cu numere cuprinse între 1,0 și 5,0, unde 5,0 indică un sunet cu o calitate identică cu cea a sunetului original, iar 1,0 indică o calitate foarte redusă. La rate de biți reduse, de 60 sau 64 Kbiți/s, rezultatele obținute pentru *Layer-2* sunt cuprinse între 2,1 și 2,6, iar pentru *Layer-3* ele sunt cuprinse între 3,6 și 3,8, ceea ce indică o creștere semnificativă a calității sunetului.

2.2.5. MPEG-2

Standardul MPEG-2 (ISO/IEC 13818) a fost publicat în 1994. Diferențele principale față de MPEG-1 sunt:

- Posibilitatea utilizării unor frecvențe de eșantionare mai reduse (16, 22,05 sau 24 KHz);
- Codificare multicanal de tip psiho-acustic.

MPEG-2 audio este o extensie compatibilă a comprimării MPEG-1 audio, care permite transmiterea datelor audio mono, stereo sau multicanal într-un singur șir de date. Rata de biți poate avea valori într-un domeniu larg, de la 8 Kbiți/s până peste 1 Mbit/s. Pentru un sunet stereo, o aplicație tipică necesită o rată de biți medie între 128 și 256 Kbiți/s. Sunetul multicanal al unui film poate necesita o rată medie între 320 și 640 Kbiți/s, în funcție de numărul de canale și complexitatea datelor audio care trebuie codificate.

Șirul de biți MPEG-2 se bazează pe cel de la MPEG-1, ceea ce permite utilizarea unui decodor audio MPEG-1. În plus, este evitată necesitatea de a transmite două șiruri separate de biți (unul pentru sunetul stereo și altul pentru sunetul multicanal). Astfel, în cazul unui sunet multicanal, decodoarele existente MPEG-1 vor furniza un sunet stereo. Utilizatorii și industria pot decide momentul în care vor investi în echipamente pentru redarea sunetului multicanal. MPEG-2 permite opțiunea de a include până la 7 canale pentru limbi diferite în șirul de biți multicanal.

Ca și pentru standardul MPEG-1, și pentru elaborarea standardului MPEG-2 au fost efectuate diferite teste de audiție. Cele mai recente teste au fost efectuate în ianuarie 1996 pentru proiectul european RACE dTTb (*digital Terrestrial Television broadcasting*), în laboratoarele BBC și German Telekom FTZ. Acestea au indicat o calitate audio foarte ridicată pentru modul *Layer-2*, chiar și pentru cele mai critice secvențe de test. Testele au fost atât de critice încât într-unul din teste 23 din cei 36 de ascultători experimentați nu au luat parte la evaluarea finală a rezultatelor, deoarece nu mai puteau identifica semnalele codificate.

2.3. Sinteza audio

Există diferite tehnici utilizate pentru generarea sunetelor. Tehnicile cele mai utilizate sunt sinteza prin modulație în frecvență (FM) și sinteza bazată pe eșantioane digitale (*Wavetable*).

2.3.1. Sinteza FM (Frequency Modulation)

Generarea electronică a unor note muzicale se poate realiza prin utilizarea unor circuite care permit modificarea frecvenței și a amplitudinii unui simplu semnal sinusoidal. Frecvența corespunde înălțimii sunetului, iar amplitudinea corespunde volumului. Sunetele generate nu vor fi însă foarte apropiate de cele ale unui instrument real. Generarea electronică a unei forme de undă sinusoidale este simplă, și acestei forme îi corespunde un sunet pur. Instrumentele reale produc însă sunete impure. Aceste impurități sunt numite armonici, și ele au frecvențe care sunt multipli întregi ai frecvenței fundamentale generate. Ca rezultat, forma de undă generată va fi diferită de cea a unei sinusoide pure. Fiecare instrument generează un număr diferit de armonici, ceea ce determină sunetul caracteristic al instrumentului respectiv.

De exemplu, presupunem că sunetul generat de un anumit instrument este compus, pe lângă frecvența fundamentală, din diferite procente ale armonicii a doua, a treia și a patra. O posibilitate pentru sinteza sunetului acestui instrument este de a utiliza patru generatoare de semnale sinusoidale, una pentru frecvența fundamentală și câte una pentru fiecare armonică. Dacă frecvența fundamentală este de 1 KHz, trebuie generate și mixate semnale sinusoidale cu frecvențele de 1 KHz, 2 KHz, 3 KHz și 4 KHz. Aceasta reprezintă doar o simplificare a sunetului real, deoarece instrumentele produc un număr infinit de armonici. Totuși, armonicile semnificative sunt în număr relativ redus, astfel că prin generarea frecvenței fundamentale și a principalelor armonici, se poate simula în mod realist sunetul unui instrument.

Deci, un semnal cu amplitudinea și perioada variabilă se poate transfera din domeniul timpului în cel al frecvenței, și se poate reprezenta ca o sumă de sinusoide cu frecvențe armonice. Un asemenea semnal poate fi divizat într-un set de sinusoide cu amplitudine variabilă. Invers, orice semnal poate fi sintetizat prin însumarea unui set de sinusoide armonice. Această teorie stă la baza sintezei sunetului prin modulație în frecvență (FM).

Sinteza se realizează prin generarea unui număr de sinusoide cu frecvențe și amplitudini diferite și însumarea lor (modularea unei sinusoide cu alta). Însumarea unui număr redus de sinusoide poate crea o familie largă de sunete, care conține frecvențele originale însumate și alte frecvențe noi, create prin procesul de însumare. Rezultatele însumării parțiale pot fi colectate și utilizate ca intrări suplimentare, generând astfel forme de undă mai complexe. Această metodă a fost dezvoltată în 1971 de către John Chowning de la *Universitatea Stanford*, drepturile asupra acestei tehnologii fiind cumpărate de firma *Yamaha*, care le-a păstrat până la începutul anilor '90, când patentul a expirat.

Prima generație de sinteză FM era realizată prin modularea unei forme de undă sinusoidale cu alte sinusoide pentru a crea forme de undă mai complexe. Următoarea generație permitea selectarea unei forme de undă complexe din opt posibile și modularea acesteia cu o altă formă de undă complexă. Această metodă se numește *sinteză cu formă de undă selectabilă*. A treia generație de sinteză FM se numește AFM (*Advanced Frequency Modulation*). Aceasta permite preluarea unor eșantioane intermediare (obținute în urma însumării parțiale) pentru a crea noi sunete. Se permite de asemenea utilizarea formelor de undă sinusoidale și a celor selectabile.

Circuitele de sinteză FM conțin generatoare de semnal care combină două surse de frecvență și adaugă alte efecte speciale. Aceste generatoare sunt numite *operatori* sau *funcții operator*, și diferitele implementări ale sintezei FM au grade diferite de control asupra parametrilor acestor operatori. Plăcile originale *Sound Blaster* utilizau circuitul de sunet *Yamaha YM3812 (OPL2)*, cu două funcții operator. Acest circuit putea crea simultan 11 sunete (instrumente sau alte efecte sonore). Unele plăci de sunet utilizau două circuite OPL2 pentru a crea sunete stereo. Multe plăci actuale utilizează circuitul mai nou *Yamaha YMF262 (OPL3)* sau circuite compatibile cu acesta, cu patru operatori care pot fi combinați în patru moduri pentru a crea 15 sunete FM și 5 efecte de percuție.

Sinteza FM necesită o putere mică de prelucrare și o capacitate redusă de memorare a datelor. Dezavantajul principal al sintezei FM este că este dificilă reproducerea fidelă a sunetelor instrumentelor, mai ales pentru sunetele înalte. Deoarece armonicile superioare nu sunt reproduse, calitatea muzicii sintetizate nu este satisfăcătoare.

2.3.2. Sinteza bazată pe eşantioane digitale (*Wavetable*)

Dacă sinteza este necesară pentru a reproduce sunetele unor instrumente, aceasta se poate realiza cu o acurateţe mai mare prin tehnici bazate pe eşantioane digitale. Se utilizează eşantioane de calitate ridicată ale sunetelor diferitelor instrumente, care sunt înregistrate digital şi sunt redade atunci când este necesar. Eşantioanele vor conţine toate armonicile caracteristice ale instrumentelor (dacă rata de eşantionare este suficientă), astfel că prin redarea eşantioanelor se vor obţine sunete foarte apropiate de cele originale. Această tehnică se numeşte sinteză *wavetable*, deoarece memoria în care se păstrează segmentele de sunete eşantionate poate fi considerată ca o tabelă cu forme de undă ale sunetelor. Segmentele eşantionate sunt prelucrate şi redade de un sintetizator *wavetable*, care este de obicei un procesor de semnal (DSP). Sintetizatoarele bazate pe această tehnică pot interpreta simultan mai multe instrumente, rezultatele fiind mixate pentru a obţine un efect de orchestră.

Eşantioanele digitale sunt păstrate de obicei într-o memorie ROM. Unele plăci de sunet care utilizează această tehnică de sinteză dispun şi de o memorie RAM, în care se pot încărca o parte a eşantioanelor din memoria ROM pentru a fi modificate, sau se pot defini eşantioane pentru noi instrumente. Memoria ROM utilizată are dimensiuni cuprinse de obicei între 512 KB şi 6 MB, în funcţie de numărul de instrumente şi de calitatea eşantioanelor digitale.

Prima generaţie a sintezei bazate pe eşantioane utiliza unul sau mai multe oscilatoare analogice controlate digital, parametrii de control ai formelor de undă fiind păstraţi în memorie. A doua generaţie utilizează oscilatoare digitale, forma de undă fiind păstrată în memorie (de obicei pe durata unei perioade). Parametrii de control ai oscilatoarelor sunt păstraţi de asemenea în memorie. Un exemplu este circuitul *Ensoniq* utilizat la calculatoarele *Macintosh Plus* (8 biţi, 4 oscilatoare, memorie de 4 KB). A treia generaţie a sintezei *wavetable* se bazează pe generaţia a doua, dar se utilizează tabele de dimensiuni mai mari pentru păstrarea formelor de undă, pe durata unei perioade sau a mai multor perioade. Un exemplu din această categorie este placa *Gravis UltraSound*, care conţine 32 de oscilatoare, cu posibilitatea programării lor separate sau simultane.

Problemele principale ale sintezei instrumentelor muzicale pe baza sunetelor eşantionate sunt legate de alegerea eşantioanelor care vor fi memorate şi modularea acestora pentru a genera sunete care să reproducă pe cele reale într-un mod cât mai fidel. Este necesară de asemenea reproducerea diferitelor efecte create cu ajutorul instrumentelor acustice. Asemenea efecte sunt de exemplu *vibrato* şi *tremolo*. *Vibrato* este în principiu modularea în joasă frecvenţă a înălţimii unei note, iar *tremolo* este modularea amplitudinii sunetului. Aceste efecte sunt simulate de către plăcile de sunet prin oscilatoare de frecvenţă joasă, care sunt utilizate pentru modularea înălţimii sau amplitudinii sunetului sintetizat.

O altă problemă este dimensiunea memoriei ROM care păstrează eşantioanele digitale. Multe plăci de sunet au un repertoriu de cel puţin 128 de instrumente, şi fiecare poate genera 128 de note. Rezultă un număr de 16.384 de eşantioane. Dimensiunea fiecărui eşantion influenţează calitatea sunetului. Chiar cu un număr relativ redus de octeţi pentru fiecare eşantion, va fi necesară o memorie ROM de dimensiune ridicată.

Sinteza *wavetable* descrisă este realizată prin hardware, preţul plăcilor de sunet care utilizează această sinteză fiind mai ridicat decât al celor care utilizează sinteza FM, din cauza memoriei ROM care păstrează eşantioanele şi a procesorului de semnal utilizat pentru prelucrarea acestora. Odată cu creşterea puterii de prelucrare a procesorului principal al calculatoarelor PC, această sinteză poate fi realizată şi prin software. Această soluţie are avantajul că nu necesită un hardware costisitor, utilizându-se resursele existente ale calculatorului. Eşantioanele digitale sunt păstrate pe disc şi în memoria RAM, iar dintre resursele plăcii de sunet nu se utilizează decât convertorul digital-analogic (DAC) şi amplificatorul audio. Dacă se utilizează difuzoare active, placa de sunet nu trebuie să dispună nici de un amplificator audio, deoarece difuzoarele dispun de un asemenea amplificator. Un alt avantaj al sintezei software este flexibilitatea, ceea ce permite ca îmbunătăţirile algoritmului de sinteză să fie realizate mult mai simplu decât în cazul sintezei hardware.

Deoarece toate plăcile de sunet conţin un circuit DAC, sinteza *wavetable* realizată prin software poate fi utilizată pentru îmbunătăţirea sunetului generat de plăcile care dispun numai de

sinteza FM. Se estimează că producătorii plăcilor de bază vor include un circuit DAC pe aceste plăci, costul unui asemenea circuit fiind mult mai redus decât cel al unei plăci de sunet.

Sinteza software are însă dezavantajul că necesită o putere de calcul mult mai mare decât sinteza realizată prin hardware. *Yamaha* recomandă pentru programul său de sinteză cel puțin un calculator cu procesor *Pentium* de 166 MHz și 16 MB de memorie RAM. Aceste cerințe vor crește pe măsură ce sinteza va deveni mai sofisticată.

Pentru a reduce spațiul necesar memorării eșantioanelor, nu se eșantionează fiecare notă, ci notele sunt eșantionate periodic. Se utilizează tehnici speciale pentru generarea celorlalte note, ca: buclarea eșantioanelor, translatarea înălțimii sunetelor, interpolarea matematică, filtrarea digitală polifonică.

2.3.3. Sinteza prin modelare fizică (*Waveguide*)

Pentru sinteza *wavetable* trebuie realizat un compromis între realismul sunetelor generate și dimensiunea memoriei ROM. Această metodă de sinteză nu poate ține cont în totalitate de factori ca presiunea aplicată asupra arcușului unei viori, poziția arcușului pe coarde sau viteza de deplasare a acestuia pe coardele instrumentului. Aceste variabile și altele asemănătoare influențează nu numai intensitatea notelor generate, dar, în cazul instrumentelor acustice reale, multe din aceste variabile determină de asemenea trăsăturile caracteristice ale notelor, pe care plăcile bazate pe sinteza *wavetable* nu le pot reproduce.

Modelarea fizică a fost utilizată inițial pentru a investiga și a simula comportarea instrumentelor muzicale. În cazul acestei metode, este creat un model matematic al fiecărui instrument muzical, reprezentându-se fiecare piesă esențială a instrumentului printr-o serie de ecuații matematice. Dacă ecuațiile reprezintă cu precizie caracteristicile instrumentului, se poate realiza o simulare exactă a instrumentului. Acest model matematic este numit *instrument virtual* de către *Yamaha*, unul din inițiatorii acestei metode.

Sinteza unei note implică aplicarea acestui model, căruia i se furnizează toate variabilele necesare. Ceea ce se realizează este deci simularea instrumentului, în care forma de undă rezultată este determinată pe baza legilor fizicii. De exemplu, atunci când se apasă o clapă a unui sintetizator, viteza de apăsare a clapei va fi convertită de sintetizatorul care utilizează această metodă în valoarea corespunzătoare a energiei cu care trebuie suflat într-un flaut. Se vor calcula apoi oscilațiile tubului și ale aerului înconjurător, aceasta fiind însă doar o interpretare simplificată față de modelele sofisticate utilizate.

Cu excepția plăcilor de sunet din familia AWE64, care dispun și de un sintetizator bazat pe modelarea fizică, această metodă nu este încă utilizată pe scară largă de producătorii plăcilor de sunet. *Yamaha* produce însă sintetizatoare independente (VL1) care utilizează această tehnologie, și pregătește o placă de sunet bazată pe aceleași principii. VL1 utilizează un model general prin care poate sintetiza orice instrument de suflat. VL1 nu poate sintetiza toate instrumentele muzicale, astfel că o placă de sunet bazată pe această tehnologie ar trebui utilizată împreună cu o placă *wavetable*, pentru a genera sunetele celorlalte instrumente. Pentru instrumentele pe care le poate sintetiza, *Yamaha* susține că rezultatele sunt mult superioare față de sinteza *wavetable*.

Alte firme, ca de exemplu *Roland*, se concentrează asupra elaborării unor modele specifice diferitelor instrumente. Astfel se va putea realiza sinteza foarte realistă a unui singur instrument, dar nu și o placă de sunet de uz general. Pe termen lung, se va putea realiza o placă de sunet cu modele specifice pentru fiecare instrument, ceea ce ar constitui soluția optimă.

Un model foarte precis al unui instrument ar necesita o putere de calcul cu câteva ordine de mărime mai mare decât posibilitățile generației actuale a calculatoarelor personale. Pentru plăcile de sunet AWE64 s-au utilizat două simplificări în scopul reducerii gradului de dificultate al modelării. Prima simplificare este selecția acelor caracteristici fizice ale unui instrument muzical care contribuie în cea mai mare măsură la sunetul caracteristic al instrumentului respectiv. Această selecție reprezintă un proces experimental, și este rezultatul mai multor ani de cercetare în domeniul modelării fizice.

A doua simplificare o constituie modelarea elementelor acustice ale instrumentului cu ajutorul ghidurilor de undă (*waveguide*). Un ghid de undă este format dintr-o pereche de construcții computaționale numite linii de întârziere, fiecare reprezentând o undă de presiune a sunetului care se deplasează într-o anumită direcție. Aceste linii de întârziere acționează pentru a transmite sunetul simulat în direcții opuse în cadrul elementului acustic, iar unda de presiune totală din cadrul elementului este modelată prin suma semnalelor din cele două linii de întârziere. Deoarece liniile de întârziere reprezintă o analogie simplă și precisă cu fizica propagării sunetului în elementul acustic, și datorită faptului că interconectarea diferitelor elemente prin liniile de întârziere corespunzătoare poate fi descrisă prin relații matematice relativ simple, metoda ghidurilor de undă are ca rezultat un model fizic simplu și eficient.

Modelarea fizică a instrumentelor are atât avantaje cât și dezavantaje față de metoda de sinteză *wavetable*. Din cauza numeroaselor simplificări care trebuie efectuate în cadrul modelului pentru a permite calculul acestuia în timp real, instrumentele modelate fizic nu pot atinge aceeași acuratețe a reproducerii care este disponibilă cu tehnologia *wavetable*. Un eșantion pe 16 biți al unei singure note a pianului, de exemplu, va genera un sunet virtual identic cu nota originală, dar un model fizic al pianului ar necesita o modelare extensivă a unor elemente constructive complexe ale acestuia, și ar trebui să țină cont de interacțiunea fiecărei coarde cu toate celelalte, pentru a se obține aceeași acuratețe.

Totuși, modelele fizice pot reproduce mai corect comportarea dinamică globală a instrumentelor muzicale comparativ cu metoda *wavetable*. Deși sinteza *wavetable* poate genera sunetele cele mai realiste, ea nu este suficient de expresivă în cazul instrumentelor care pot produce o mare varietate de sunete în funcție de modul de interpretare a muzicii la instrumentele respective. O mare parte din măiestria interpretării unei piese la un instrument muzical provine din controlul articulării individuale a fiecărei note, ca și din legarea notelor între ele (*glissando*), aspecte de care nu se ține cont de către un sintetizator *wavetable*. Pe de altă parte, un model fizic relativ simplu al unui instrument poate răspunde în mod corespunzător la anumiți parametri de intrare și poate reproduce unele nuanțe care pot fi sesizate de ascultătorul unei piese interpretate la acel instrument. Deși notele individuale pot fi reproduse cu acuratețe mai redusă decât în cazul sintezei *wavetable*, efectul global poate fi mult mai convingător.

Unele plăci de sunet utilizează o soluție combinată a sintezei *wavetable* cu sinteza prin modelare fizică. De exemplu, plăcile de sunet din familia AWE64 ale firmei *Creative Labs*, care pot reda simultan 64 de voci, conțin un sintetizator *wavetable* cu 32 de voci (implementat prin hardware) combinat cu un sintetizator software de tip *waveguide* pentru alte 32 de voci. Se beneficiază astfel de avantajele ambelor metode, rezultatul fiind o reproducere a muzicii care se caracterizează atât prin acuratețe, cât și prin fluentă.

Anumite instrumente, ca de exemplu saxofonul, sunt caracterizate printr-o expresivitate ridicată bazată pe interpretarea instrumentistului. Aceste instrumente beneficiază în cea mai mare măsură de tehnicile modelării fizice. De multe ori, aceste instrumente sunt, ca și saxofonul, monofonice, producând o singură notă la un moment dat. Ele sunt de asemenea instrumente solo. Sunetul altor instrumente, ca de exemplu pianul, poate fi reprodus cu o acuratețe mai mare utilizând metoda *wavetable*. Aceste instrumente se caracterizează prin faptul că sunt în general polifonice, și astfel crează în cadrul compoziției muzicale armoniile piesei și nu melodia solo.

Prin utilizarea tehnologiei de sinteză celei mai adecvate pentru fiecare notă, se asigură atât reproducerea cu acuratețe a sunetelor, caracteristică sintezei *wavetable*, cât și expresivitatea caracteristică tehnicilor de modelare fizică. În cazul plăcilor de sunet AWE64, se utilizează o asignare implicită a uneia din cele două tehnici la fiecare instrument. Această asignare poate fi modificată în mod explicit, dacă într-o compoziție se dorește asignarea unei anumite tehnologii la un anumit instrument.

2.4. Interfața MIDI

Dezvoltat inițial pentru a permite conectarea sintetizatoarelor, protocolul MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) este utilizat pe scară largă pentru generarea sunetelor în aplicațiile multimedia. Specificațiile MIDI au fost publicate de *Asociația Internațională MIDI (International MIDI Association)*.

2.4.1. Avantaje ale interfeței MIDI

Există mai multe avantaje ale generării sunetelor cu ajutorul unui sintetizator MIDI față de utilizarea eșantioanelor audio memorate pe discul fix sau pe un CD-ROM. Primul avantaj este economia de spațiu. Fișierele utilizate pentru memorarea eșantioanelor digitale în format PCM (*Pulse Code Modulation*), ca de exemplu fișierele .WAV, au dimensiuni mari, mai ales în cazul pieselor muzicale lungi înregistrate stereo cu rate de eșantionare ridicate. Comparativ cu acestea, fișierele MIDI au dimensiuni foarte mici. De exemplu, dacă pentru eșantioanele stereo de calitate ridicată este necesar un spațiu de aproximativ 10 MB pentru fiecare minut de sunet, o secvență tipică MIDI poate necesita mai puțin de 10 KB pentru un minut de sunet. Aceasta este rezultatul faptului că fișierele MIDI nu conțin date audio eșantionate, ci numai instrucțiunile necesare pentru generarea sunetelor de către un sintetizator. Aceste instrucțiuni sunt sub forma unor mesaje MIDI, care indică sintetizatorului instrumentele care vor fi utilizate, notele care trebuie generate și intensitatea fiecărei note. Sunetele vor fi generate apoi printr-una din metodele de sinteză disponibile (FM, *wavetable* etc.).

Dimensiunea redusă a fișierelor MIDI are și avantajul unei rate mici de transfer care este necesară pentru transmiterea datelor la placa de sunet. Alte avantaje ale utilizării interfeței MIDI sunt posibilitatea editării cu ușurință a muzicii, posibilitatea de a modifica independent viteza de redare, înălțimea sau cheia sunetelor. Această posibilitate este importantă mai ales pentru aplicații de sinteză ca echipamentele *karaoke*, unde cheia muzicală și tempoul unei melodii pot fi selectate de utilizator.

2.4.2. Sisteme MIDI

Protocolul MIDI reprezintă un mijloc eficient de a transmite informații despre interpretarea muzicii într-un mod standard. Aceste informații sunt transmise ca *mesaje* MIDI, într-un flux de date unidirecțional, asincron, cu o rată de 31,25 Kbiți/s. Pentru fiecare octet se transmit 10 biți (un bit de start, 8 biți de date, 1 bit de stop). Interfața MIDI a unui instrument conține în general trei conectori MIDI: IN, OUT și THRU. Șirul de date MIDI poate fi citit dintr-un fișier, sau poate fi generat de un controler MIDI sau un secvențiator MIDI. Un controler MIDI se poate afla în cadrul unui instrument muzical, și în acest caz translatează în timp real interpretarea unei piese într-un șir de date MIDI. Un secvențiator MIDI este un dispozitiv care permite capturarea, memorarea, editarea, combinarea și redarea secvențelor de date MIDI. Datele MIDI sunt transmise la ieșirea controlerului sau secvențiatorului MIDI prin conectorul OUT.

Receptorul acestui șir de date MIDI este în mod obișnuit un modul de sunet MIDI sau o placă de sunet, care va recepționa mesajele MIDI prin conectorul IN, și va răspunde la aceste mesaje prin generarea sunetelor corespunzătoare. Multe instrumente MIDI (mai ales claviaturi) integrează atât controlerul MIDI cât și modulul de sunet în aceeași unitate. În cadrul acestor unități există o legătură internă între claviatură și modulul de sunet, care poate fi validată sau invalidată prin setarea funcției de control local a instrumentului la *On* sau *Off*.

Un canal fizic MIDI este divizat în 16 canale logice, iar mesajele MIDI cuprind în general un număr de canal pe 4 biți. Claviatura unui instrument muzical poate fi setată de obicei pentru a transmite pe oricare din cele 16 canale MIDI. Generatorul de sunet MIDI sau modulul de sunet pot fi setate pentru a recepționa date pe anumite canale MIDI.

Informațiile recepționate la conectorul IN al unui dispozitiv MIDI sunt transmise mai departe (repetate) la conectorul THRU al dispozitivului. Pot fi înlanțuite mai multe module de sunet MIDI prin conectarea ieșirii THRU a unui dispozitiv la conectorul IN a următorului dispozitiv din lanț.

În cazul sistemelor MIDI bazate pe un calculator PC, aplicațiile multimedia transmit informații la interfața MIDI de pe placa de sunet prin intermediul magistralei sistem. Interfața MIDI convertește aceste informații în mesaje MIDI care sunt transmise la generatorul de sunet. Dacă se dispune de un software adecvat, se poate conecta o claviatură MIDI la interfața MIDI de pe placa de sunet, având la dispoziție facilități de compoziție și editare a muzicii.

Generatorul de sunet este integrat de obicei pe placa de sunet. Specificațiile *Microsoft* pentru calculatoarele multimedia (*Microsoft Multimedia PC - MPC*) indică faptul că o placă de sunet trebuie să dispună de un sintetizator integrat pentru a respecta aceste specificații. În cazul în care sintetizatorul este de tip FM, cu posibilități limitate și o calitate necorespunzătoare a sunetului, se poate adăuga un sintetizator extern de tip *wavetable* pentru a se obține o calitate mai bună a sunetului.

2.4.3. Mesaje MIDI

Un mesaj MIDI este compus dintr-un octet de stare urmat în general de unul sau doi octeți de date. Există diferite tipuri de mesaje MIDI. La nivelul cel mai înalt, mesajele pot fi clasificate în *mesaje de canal* și *mesaje de sistem*. Mesajele de canal sunt cele care se referă la un anumit canal, pentru aceste mesaje numărul canalului fiind inclus în octetul de stare. Mesajele de sistem nu sunt specifice unui anumit canal, și octetul de stare al acestora nu conține un număr de canal.

Mesajele de canal pot fi clasificate în mesaje pentru voci și mesaje de mod. Mesajele pentru voci se utilizează pentru a transmite informații despre interpretarea muzicii, aceste mesaje fiind cele mai frecvente în cadrul șirurilor de date MIDI. Asemenea mesaje sunt de exemplu *Note On*, *Note Off*, *Polyphonic Key Pressure*, *Program Change* și *Control Change*. Într-un sistem MIDI, activarea unei note și eliberarea aceleiași note sunt considerate ca două evenimente separate. De exemplu, la apăsarea unei clape a unui instrument MIDI sau a unui controler MIDI, claviatura transmite un mesaj *Note On* pe unul din canalele logice. După octetul de stare, se transmit doi octeți de date, care specifică numărul clapei și rapiditatea cu care a fost apăsată clapa. Numărul clapei se utilizează de sintetizator pentru a selecta nota care trebuie generată, iar rapiditatea apăsării este utilizată în mod normal pentru a controla amplitudinea notei. La eliberarea clapei, instrumentul sau controlerul MIDI va transmite un mesaj *Note Off*.

Mesajul *Program Change* este utilizat pentru a specifica tipul instrumentului care trebuie utilizat pentru un canal dat. Acest mesaj necesită un octet de date care indică noul număr de program. Mesajul *Control Change* este utilizat pentru a controla diferite funcții ale sintetizatorului. Octetul de stare este urmat de un octet care indică numărul controlerului, și un al doilea octet (valoarea de control) care specifică funcția sintetizatorului controlată de mesaj.

Mesajele de mod indică felul în care un instrument receptor va răspunde la mesajele pentru voci. Aceste mesaje se pot utiliza pentru a valida sau a invalida controlul local, pentru a valida sau a invalida modul *Omni*, sau pentru a selecta între modul *Mono* sau modul *Poly*. În cazul unui sintetizator MIDI cu o claviatură proprie, funcțiile controlerului de tastatură și ale sintetizatorului pot fi izolate prin invalidarea controlului local. Dacă modul *Omni* este validat, sintetizatorul va răspunde la mesajele MIDI recepționate pe toate canalele. Dacă acest mod este invalidat, sintetizatorul va răspunde numai la mesajele recepționate pe un singur canal. Această setare este utilă în cazul în care sunt conectate în lanț mai multe sintetizatoare. Atunci când este selectat modul *Poly*, se va utiliza polifonia. La recepționarea mai multor mesaje *Note On*, fiecărei note i se asignează câte o voce (în funcție de numărul de voci disponibile). Rezultatul este că vor fi generate simultan mai multe note. Atunci când este selectat modul *Mono*, fiecărui canal i se asignează o singură voce, deci la un moment dat se va genera o singură notă pe un anumit canal.

Mesajele de sistem se clasifică în mesaje comune, mesaje în timp real și mesaje exclusive. Mesajele comune sunt destinate tuturor receptorilor dintr-un sistem. Mesajele în timp real sunt utilizate pentru sincronizarea între componentele MIDI bazate pe un ceas. Mesajele exclusive cuprind un cod de identificare al producătorului, și sunt utilizate pentru a transfera un număr arbitrar de octeți de date într-un format specificat de producătorul respectiv.

2.4.4. Sistemul General MIDI (GM)

La începutul unei secvențe MIDI, se transmite de obicei un mesaj *Program Change* pe fiecare canal utilizat în cadrul secvenței pentru a asigura canalului respectiv instrumentul corespunzător. Dacă sintetizatorul care recepționează secvența MIDI utilizează aceeași asignare a numerelor instrumentelor la diferitele sunete care a fost utilizată la compoziție, sunetele vor fi asignate în mod corespunzător. Până la definirea sistemului *General MIDI* nu exista un standard care să indice relația între numerele de instrumente și sunetele efective. De aceea, o secvență MIDI putea produce sunete diferite pe diferite sintetizatoare, chiar dacă acestea dispuneau de tipuri comparabile de sunete.

Specificațiile *General MIDI* definesc un set de cerințe generale pentru instrumentele *General MIDI*. Specificațiile cuprind definiția unui set de sunete *General MIDI* (maparea programelor la instrumente), maparea sunetelor de percuție, și un set de caracteristici de performanță (număr de voci, tipuri de mesaje MIDI recunoscute etc.). O secvență MIDI care a fost creată pentru un instrument *General MIDI* va fi generată corect de orice sintetizator sau modul de sunet *General MIDI*.

Sistemul *General MIDI* utilizează canalele 1-9 și 11-16 pentru sunetele instrumentelor cromatice, canalul 10 fiind utilizat pentru sunete de percuție. Sunetele instrumentelor sunt grupate în seturi de sunete înrudite. De exemplu, numerele de program 1-8 reprezintă sunetele diferitelor pian (pian acustic de concert, pian acustic, pian electric de concert, pian electric, clavecin), numerele 9-16 reprezintă instrumente cromatice de percuție (celestă, glockenspiel, vibrafon, balafon, xilofon, țambal), 17-24 reprezintă orgi (orgă cu tijă, orgă cu percuție, orgă rock, orgă de biserică, orgă Reed), 25-32 reprezintă chitare etc.

Pentru sunetele instrumentelor pe canalele 1-9 și 11-16, numărul notei dintr-un mesaj *Note On* este utilizat pentru a selecta înălțimea (frecvența) sunetului care va fi generat. De exemplu, dacă pentru canalul 3 a fost selectat un vibrafon (cărui îi corespunde numărul de program 12), specificarea notei cu numărul 60 pe canalul 3 va genera nota C mijlocie, iar specificarea notei cu numărul 59 va genera nota B. Ambele note vor fi generate utilizând sunetul vibrafonului.

Pentru sunetele de percuție generate pe canalul 10, numărul notei din cadrul mesajului *Note On* este utilizat în mod diferit. Numerele notelor pentru acest canal au rolul de a selecta toba a cărei sunet va fi generată. De exemplu, un mesaj *Note On* pe canalul 10 cu numărul notei 60 va genera sunetul tobei Bongo.

Sistemul *General MIDI* specifică instrumentul sau sunetul care corespunde fiecărui număr de program, dar nu specifică modul în care sunt produse aceste sunete. Astfel, programul cu numărul 1 specifică pianul acustic de concert pentru fiecare instrument *General MIDI*. Sunetul acestui pian pe două sintetizatoare *General MIDI* care utilizează tehnici diferite de sinteză poate diferi în mod semnificativ.

2.4.5. Interfețe MIDI

Pentru utilizarea unui echipament MIDI cu un calculator IBM PC, în general este necesară o interfață MIDI (există un număr redus de calculatoare echipate cu interfețe MIDI încorporate). Cele mai răspândite interfețe MIDI sunt sub forma unor plăci de extensie, dar există de asemenea interfețe MIDI seriale (care se conectează la un port serial al calculatorului) și interfețe MIDI paralele (care se conectează la un port paralel). Funcția principală a unei interfețe MIDI este de a converti datele paralele de pe magistrala PC în formatul serial al datelor MIDI și invers (o funcție UART). Interfețele MIDI inteligente pot realiza funcții mai complexe, ca generarea informațiilor de sincronizare MIDI, bufferarea datelor MIDI, filtrarea mesajelor MIDI, sincronizarea cu echipamente externe și altele.

Standardul de facto pentru interfețele MIDI realizate sub forma plăcilor de extensie ale calculatoarelor PC este interfața *Roland MPU-401*. Aceasta este o interfață MIDI inteligentă, care poate funcționa și în modul UART. Există diferite interfețe MIDI compatibile MPU-401. În plus, numeroase plăci de sunet cuprind interfețe MIDI care implementează funcțiile modului UART ale interfeței MPU-401.

2.5. Caracteristici ale plăcilor de sunet

Principalele caracteristici care sunt descrise în specificațiile plăcilor de sunet sunt prezentate în continuare.

- **Rezoluția.** Specifică dimensiunea în biți a eșantioanelor, reprezentând un indicator al calității sunetului care este generat de placa de sunet. Se recomandă o rezoluție de cel puțin 16 biți.
- **Frecvența de eșantionare.** Este specificată în KHz, fiind de asemenea un indicator de calitate a sunetului. Plăcile actuale au de obicei frecvențe maxime de eșantionare de 44,1 KHz sau mai mari.
- **Metoda de sinteză a sunetului.** Cele mai uzuale metode sunt sinteza FM și sinteza *Wavetable*. Pentru o calitate mai ridicată a muzicii, se recomandă plăcile de sunet care utilizează sinteza *Wavetable*. Odată cu producția de masă a circuitelor de sinteză audio, prețul acestor plăci a scăzut.
- **Dimensiunea memoriei ROM.** Această specificație se referă la plăcile care utilizează sinteza *Wavetable*. Cele mai multe plăci au o memorie între 1 MB și 4 MB. Cu cât dimensiunea memoriei este mai mare, cu atât calitatea eșantioanelor este mai ridicată.
- **Polifonia.** Reprezintă numărul de voci, sau note, pe care le poate reproduce placa de sunet. Specificația trebuie luată în considerare mai ales dacă placa va fi utilizată pentru generarea muzicii MIDI. Standardul curent este de 32 de voci, dar rezultate bune se pot obține și cu un număr de peste 20 de voci, iar un număr de 16 este adecvat pentru compozițiile uzuale.
- **Multi-timbralitatea.** Nu trebuie confundată cu polifonia. Această specificație se referă la numărul maxim de instrumente care pot fi redade simultan. La cele mai multe plăci, standardul curent este de 16 instrumente.
- **Porturile.** Se referă la conectorii de intrare și de ieșire ai plăcii. Cele mai multe plăci au conectori audio pentru un microfon, o linie de intrare (pentru casetă sau CD), o linie de ieșire (pentru un amplificator extern), și porturi MIDI de intrare și de ieșire. Multe plăci au un amplificator audio încorporat, și acestea au de asemenea un conector pentru difuzoare.

2.6. Structura unei plăci de sunet

Cele mai multe plăci de sunet utilizate în calculatoarele personale sunt compatibile cu plăcile de sunet *Sound Blaster* ale firmei *Creative Labs*. Aceste plăci și funcțiile realizate de ele au devenit un standard în industria echipamentelor audio multimedia pentru calculatoarele PC. Schema bloc a unei plăci de sunet obișnuite, de tip *Sound Blaster*, este prezentată în Figura 10.1.

Placa este proiectată pentru conectarea la magistrala ISA. Pe lângă circuitele CODEC și sintetizatorul FM, placa dispune de două elemente de bază. Primul este procesorul audio, care admite comenzi pe 8 biți pentru controlul funcțiilor elementare ale plăcii de sunet. Acest procesor dirijează datele digitale audio în cadrul sistemului, decompimă datele audio pentru redare și controlează mixerul audio. Al doilea element este mixerul audio, care poate accepta intrări audio analogice de la mai multe surse, poate controla volumul fiecărei intrări, și le poate mixa astfel încât să genereze o singură ieșire stereo. Există un control global al volumului pentru această ieșire, pe lângă controlul individual al fiecărui canal.

Placa poate fi extinsă printr-un procesor de semnal ASP (*Advanced Signal Processor*), numit uneori și circuit CSP (*Creative Sound Processor*). A doua posibilitate de extensie este reprezentată de un sintetizator audio de tip *Wavetable*, utilizat pentru redarea muzicii din fișiere MIDI.

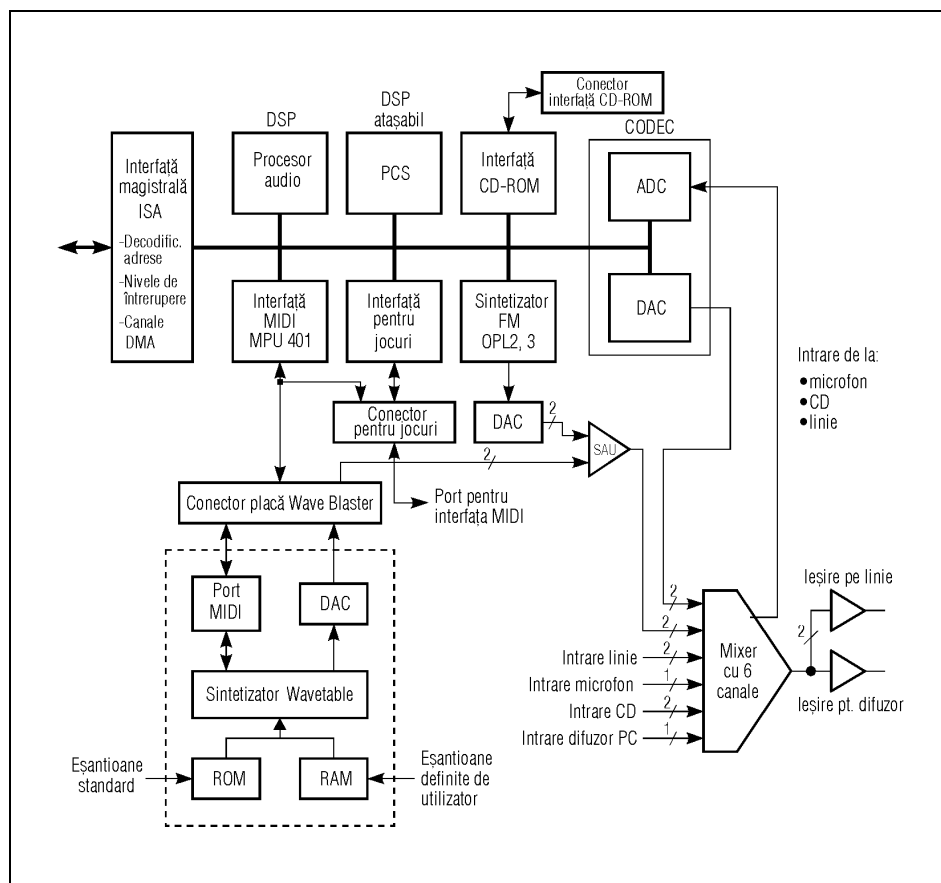


Figura 10.1. Schema bloc a unei plăci de sunet de tip *Sound Blaster*.

Funcțiile audio principale realizate de placa de sunet sunt următoarele:

1. Înregistrarea semnalelor audio, care sunt preluate de la o linie de intrare (*Line In*) sau de la un microfon, și sunt transformate în date digitale. În majoritatea sistemelor, pot fi realizate înregistrări stereo, cu frecvențe de până la 44 KHz și cu o dimensiune a eșantioanelor de 16 biți pentru fiecare canal. Aceste caracteristici sunt echivalente cu o calitate audio de tip CD.
2. Redarea semnalelor audio înregistrate sub forma datelor digitale, în formate comprimate sau necomprimate, cum sunt fișierele de tip .WAV. Redarea audio poate fi controlată din punct de vedere al volumului, iar sunetul poate fi mixat cu alte surse audio dirijate la intrările mixerului audio. Redarea înregistrărilor digitale se poate realiza la nivelul calitativ asigurat de discurile CD audio.
3. Generarea unor tonuri muzicale și realizarea unor efecte audio speciale cu ajutorul unui generator de semnal audio, care utilizează tehnica de sinteză FM. Ieșirile acestui generator pot fi de asemenea controlate din punct de vedere al volumului și pot fi mixate cu alte intrări ale mixerului audio. Deoarece calitatea notelor muzicale generate prin efecte de sinteză FM nu este satisfăcătoare, acest tip de sinteză se folosește mai ales la jocurile video.
4. Redarea muzicii cu ajutorul unui sintetizator *Wavetable*, sau posibilitatea conectării unei alte plăci care utilizează acest tip de sinteză audio, prin intermediul unui conector. Sintetizatorul este controlat de către comenzile transmise printr-un port MIDI.

Majoritatea plăcilor de sunet permit conectarea unor periferice cum sunt echipamente pentru jocuri video, unități de discuri CD-ROM (prin intermediul unor interfețe IDE sau SCSI aflate pe placă), și sintetizatoare MIDI (printr-un port serial MIDI).

3. Desfășurarea lucrării

3.1. Se va explica modul de funcționare al compresiei MPEG-2 audio și variantele acestei metode de compresie.

3.2. Utilizând ghidul de programare al plăcilor de sunet *Sound Blaster* (fișierul *Sblaster.txt*), se va scrie un program pentru determinarea adresei de bază utilizate de placa de sunet conectată la sistem și a tipului plăcii de sunet.

3.3. Se va scrie un program pentru citirea și afișarea nivelului volumului global (*Master Volume*), ca și a nivelului diferitelor canale de sunet (linie, FM, MIDI, CD).