



Audio tömörítő egység megvalósítása FPGA-val

Nyiri Levente

2025 Október

1. Szabvány

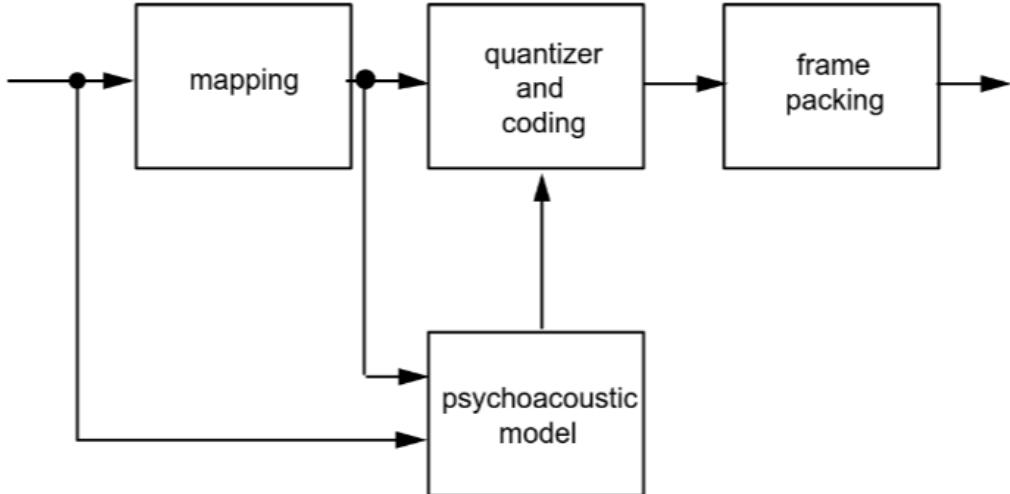
Tanulmányoztam az MPEG-1 Audio és az MPEG-2 Advanced Audio Coding (AAC) szabványokat, úgy döntöttem, hogy az MPEG-1 Audio-t fogom implementálni.

2. LAME

Kiindulásnak a LAME (Lame Aint an MP3 Encoder) nyílt forráskódú MP3 tömörítő szoftver forráskódját tanulmányoztam. A weboldalukról töltöttem le, fordítottam és egy példa .wav file-on kipróbáltam.

3. Encoder

Az encoder blokkvázlata[1] az 1. árbán látható. Nem szabványosított az algoritmus, én a LAME source code-jából fogok kiindulni a tervezésnél. A kimeneti bitsream-nek meg kell felelnie az International Standard-nak.



1. ábra. Encoder blokkvázlat

3.1. Mapping

3.2. Frame

Egy MP3 file kisebb részegységekre van osztva, ezeket frame-eknek hívjuk. minden frame 1152 audio mintát tartalmaz. Egy frame továbbá szét van választva 2 granule-ra, mindenkor 576 minta jut.

Egy frame méretét byteban a(z) 1. egyenlet írja le.

$$\text{frame size} = \frac{144 \cdot \text{bitrate}}{f_s} + \text{Padding} \quad (1)$$

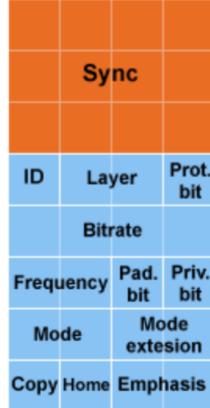
Egy frame felépítése a(z) 1. táblázatban [2] látható.

Header	CRC	Side_Information	Main_Data	Ancillary_Data
--------	-----	------------------	-----------	----------------

1. táblázat. Az MPEG frame fő mezői

3.2.1. Header

A header tartalmazza a szinkronizációs biteket és egyéb információkat a frame-ról, felépítését mutatja a(z) 2. ábra [2].



2. ábra. Frame header

Sync (12 bit) Szerepe a szinkronizálás, minden a 12 bitnek 1-esnek kell lennie: `sync = 12'b1111_1111_1111`

ID (1 bit) Az MPEG verziót határozza meg (MPEG-1 vagy MPEG-2)

Layer (2 bit) Layer I, II vagy III

Protection bit (1 bit) Meghatározza, használunk-e CRC-t

Bitrate (4 bit) A bitrate beállítása

Frequency (2 bit) A mintavételi frekvencia meghatározása

Padding bit (1 bit) Néhány frame-nek szüksége van rá, hogy a bitrate pontos legyen

Private bit (1 bit) Applikáció-specifikus trigger

Mode (2 bit) Csatornamód

Mode extension (2 bit) Csak joint stereo esetén használatos, további specifikáció

Copyright bit (1 bit) Jelzi, ha a tartalom szerzői jogi védelem alatt áll

Home bit (1 bit) A frame az eredeti adathordozón található-e

Emphasis (2 bit) A dekódernek szükséges-e de-emphasist alkalmaznia zajcsökkentés után

3.2.2. Side information

A side information további információt tartalmaz arra vonatkozóan, hogy hogyan kell dekódolni a frame-et. A felépítését a(z) 2. táblázat mutatja.

main_data_begin	private_bits	scfsi	Side_info gr. 0	Side_info gr. 1
-----------------	--------------	-------	-----------------	-----------------

2. táblázat. A side information mezői

main_data_begin (9 bit) Layer III-nál bit reservoir használatával egy adott frame main data helyén szabadon maradt helyet másik frame-ek is használhatják. Ez a mező azt a negatív offsetet adja meg, amennyivel korábban kezdődik egy frame-nek a main data-ja a sync word-höz képest.

private_bits (5 bit) Szabad felhasználás

scfsi (4-4 bit) ScaleFactor Selection Information, azt határozza meg, hogy az egyes scalefactor-ok minden két granule-ra használhatóak-e vagy külön kell minden kettőre küldeni. Ha elég csak egyet küldeni, azzal biteket nyerünk, amit Huffman kódoláshoz lehet használni. Layer III-nál a scalefactorok 4 csoportba vannak osztva a(z) 3. táblázat szerint.

Minden csatornára vonatkozóan, ha egy bit 1-esbe van, akkor az adott csoporthoz tartozó scalefactorokat a frameben lévő második granule újra fogja használni.

Ha short window-t használunk (block_type == 2) bármely granuleban, akkor a scalefactorokat minden külön küldjük minden két csatornára.

group	scalefactor bands
0	0,1,2,3,4,5
1	6,7,8,9,10
2	11,12,13,14,15
3	16,17,18,19,20

3. táblázat. Scalefactor csoportok

A granule-okhoz tartozó **side_info** még további mezőkből áll, ezt mutatja a(z) 4. táblázat.

part2_3_length	big_values	global_gain	scalefac_compress
windows_switching_flag	block_type	mixed_block_flag	table_select
subblock_gain	region0_count	region1_count	preflag
scalefac_scale	count1table_select		

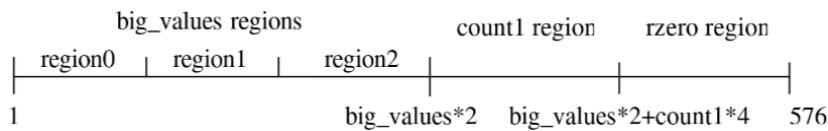
4. táblázat. Granule side information mezői

par2_3_length (12-12 bit) Megmondja, hogy a main data részében a frame-nek hány bit van allokálva scalefactor-oknak (part2) és Huffman kódolt adatnak (part3).

big_values (9-9 bit) Az egyes granule-ok spektrális komponensei más Huffman kód táblázatokkal vannak kódolva. A teljes spektrum 0-tól a Nyquist frekvenciáig több részre van bontva, és ezek a részek máshogyan vannak kódolva. A partícionálás a maximális kvantált értékek alapján

történik. A magasabb frekvenciájú komponenseknek várhatóan alacsonyabb amplitúdójuk van, vagy nem is kell őket kódolni. Megszámoljuk, hogy minden frekvencián összesen hány 0 érték van, ezeknek a számát az **rzero**-ban tároljuk. A **count1** mezőben 4-esével vannak értékek, és az abszolútértéke nem haladja meg az 1-et (az egyes értékek -1, 0 vagy 1 lehetnek). A többi érték a **big_values** mezőben van, ezen belül is 3 részre osztva. Az abszolút maximum értéke ennek a régiónak 8191.

A **big_values** mező felosztása a(z) 3. ábrán látható.



3. ábra. **big_values** felosztása

global_gain (8-8 bit) Kvantálás lépésköz.

scalefac_compress (4-4 bit) Hány bitet használjon a scalefactorok átviteléhez. Hogy az értéke alapján az első és második scalefactor group hány bitet kap az a(z) 5. táblázatban látható.

windows_switching_flag (1-1 bit) Megmutatja, ha a normálon kívül másmilyen ablaktípus van használatban.

block_type (2-2 bit) Ha nem normál ablakot használunk, mutatja, hogy milyet. A lehetőségek a 6. táblázatban vannak.

mixed_blockflag (1-1 bit) Akkor használható, ha a windows_switching_flag be van állítva. Azt jelzi, hogy más ablaktípushat használunk alacsonyabb és magasabb frekvenciákon. Az alsó 2 sávban normál, a maradék 30-ban pedig a block_type-ban megadottal.

table_select (10-10 bit) Megadja milyen Huffman kódolást használunk.

subblock_gain (9-9 bit) Ha windows_switching_flag set és block_type == 10, akkor a gain offsetet mutatja a global gain-tól.

region_address1 (4-4 bit) region_address2 (3-3 bit) A spektrumot további részekre osztjuk a Huffman kódoláshoz, ezek a változók ezeknek a régióknak a kezdőcímét tartalmazzák.

scalefac_compress	slen1	slen2
0	0	0
1	0	1
2	0	2
3	0	3
4	3	0
5	1	1
6	1	2
7	1	3
8	2	1
9	2	2
10	2	3
11	3	1
12	3	2
13	3	3
14	4	2
15	4	3

5. táblázat. Scalefac compress értékek

block_type	window type
00	forbidden
01	start
10	3 short windows
11	end

6. táblázat. Block type értékek

preflag (1-1 bit) További nagyfrekvenciás erősítése a kvantált mintáknak.

Ha set, akkor értékeket ad hozzá a scalefactorokhoz.

scalefac_scale (1-1 bit) A scalefactorok logaritmikusan kvantáltak a(z)

7. táblázat szerint.

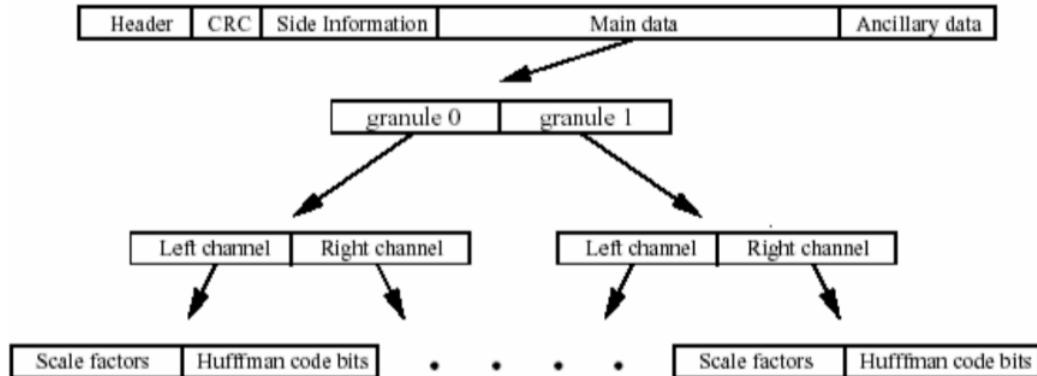
scalfac_scale	step size
0	$\sqrt{2}$
1	2

7. táblázat. Scalefac scale értékek

count1table_select (1-1 bit) Huffman kódolást választ a count1 mezőben lévő értékekhez.

3.2.3. Main Data

Scalefactorokból, Huffman kódolt bitekből és ancillary data-ból áll. Az elrendezés a(z) 4. ábrán látható.



4. ábra. Main data, granule-ok és channelek elrendezése

Scale factors A céljuk, hogy redukálják a kvantálási zajt. Ha a minták egy adott scalefactor band-ben megfelelően vannak scale-elve, akkor a kvantálási zaj teljesen ki lesz maszkolva.

Huffman code bits Itt találhatóak a Huffman kódolt bitek.

Ancillary data Opcionális, felhasználó definiálhatja.

3.3. Megkötések

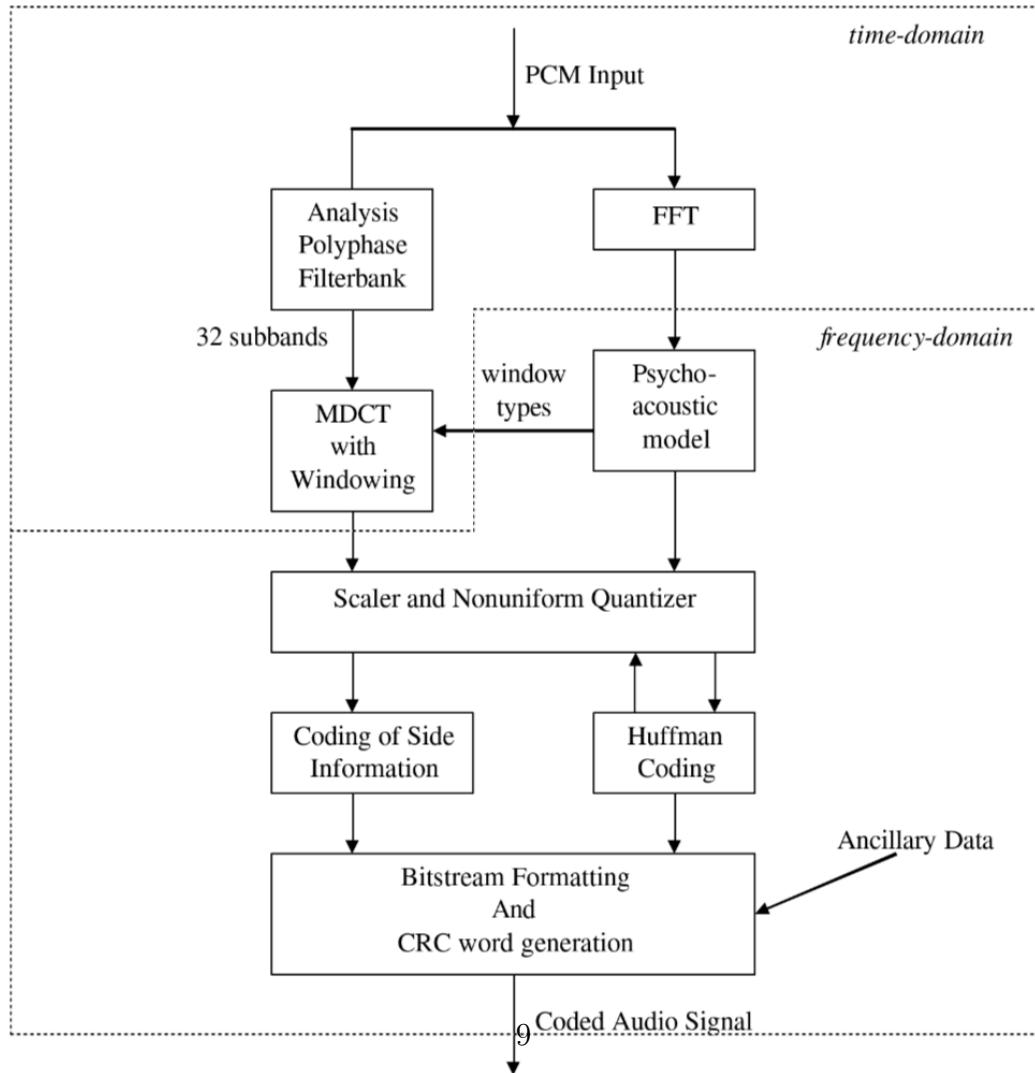
Mivel egy áltanáatos, a header-ben megadható minden opciót kiszolgáló megvalósítás túl sok időbe telne, ezért bizonyos megkötésekkel élni fogunk.

A megkötéseket a(z) 8. táblázat mutatja.

Mező Neve	Bit Érték	Jelentés
ID	1	MPEG-1
Layer	01	Layer III
Protection bit	1	Használunk CRC-t
Bitrate	1110	320 Kbps
Frequency	00	44.1 kHz mintavételi frekvencia
Mode	00	Stereo
Emphasis	00	Nem kell de-emphasis dekódolásnál, nem használunk noise suppression-t

8. táblázat. Megkötések a bitekre

3.4. Analysis Polyphase Filterbank



5. ábra. Encoder blokkvázlat részletesebben

A(z) 5. ábrán látható egy részletesebb blokkvázlat az encoderről.

Az Analysis Polyphase Filterbankba megy a PCM input, itt az 1152 PCM minták mindegyike 32 egyenletesen eloszló frekvencia sávba lesz szétosztva. Mivel $f_s = 44.1\text{kHz}$ ezért a Nyquist frekvencia $f_{Nyquist} = 22.05\text{kHz}$. minden sáv

$$\frac{22050}{32} = 689.0625\text{Hz}$$

széles lesz. minden minta tartalmazhat 0-22.05 kHz-s komponenseket, ami a 32 sáv közül a megfelelőbe lesz szűrve. Mivel minden mintát 32 subband-re osztunk, ezért az eredeti 1152-ből $1152 \times 32 = 36864$ mintánk lesz. A folyamat végén viszont 32-vel decimálunk minden subband-et, így ismét 1152 mintánk lesz.

3.5. FFT

Először is ki kell találni, hogy egy órajel alatt hány FFT-t kell megcsinálni, hány műveletvégző egység kell.

Layer III-nál két FFT-t kell párhuzamosan. Block length == window lenght.

Short blocks shift length = 192 samples, window length = 256 samples

Long blocks shift lenght = 576 samples, window lenght = 1024 samples

Mivel $f_s = 44.1\text{kHz}$, ezért

$$window_size_1 = \frac{256}{44100} = 5.8ms$$

$$window_size_2 = \frac{1024}{44100} = 23.2ms$$

$$frequency_resolution_1 = \frac{44100}{256} = 172.3\text{Hz}$$

$$frequency_resolution_2 = \frac{44100}{1024} = 43.1\text{Hz}$$

Látszik, hogy a kisebb ablakok jobb felbontást biztosítanak időtartományban, a hosszabb ablakok pedig frekvencia tartományban.

A cél megtalálni az AMD által biztosított FFT core-nak azt a felparaméterezését, amely a lehető legkisebb erőforrás felhasználás nélkül teljesíteni tudja a követelményeket.

Long blocks:

- Shift length: 576 samples
- FFT méret: 1024 points
- Overlap: $1024 - 576 = 448$ samples (43.75%)

Frame N : samples [0 ... 1023]

Frame $N + 1$: samples [576 ... 1599]

Frame $N + 2$: samples [1152 ... 2175]

Short blocks:

- Shift length: 192 samples
- FFT méret: 256 points
- Overlap: $256 - 192 = 64$ samples (25%)

Frame N : samples [0 ... 255]

Frame $N + 1$: samples [192 ... 447]

Frame $N + 2$: samples [384 ... 639]

Hosszú ablakoknál $\frac{576}{44100} = 13.6ms$ idő van FFT-re, rövidnél $\frac{192}{44100} = 4.35ms$

Hivatkozások

- [1] ISO/IEC, „Information technology — Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s — Part 3: Audio”, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, International Standard ISO/IEC 11172-3:1993, 1993, (MPEG-1 Audio).
- [2] R. Raissi, „The Theory Behind Mp3”, 2002. cím: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:12806533>.