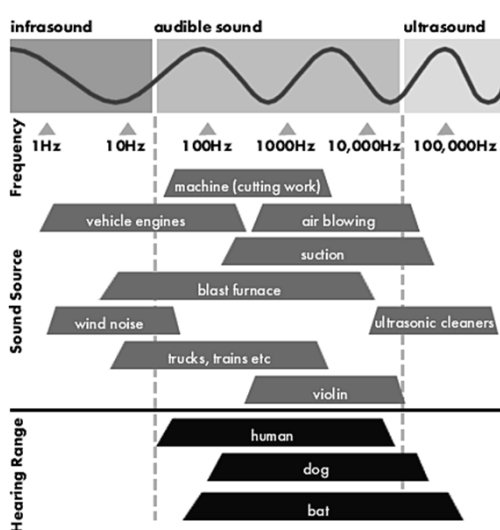


dr inż. Piotr Ody

FORMATY DŹWIĘKU

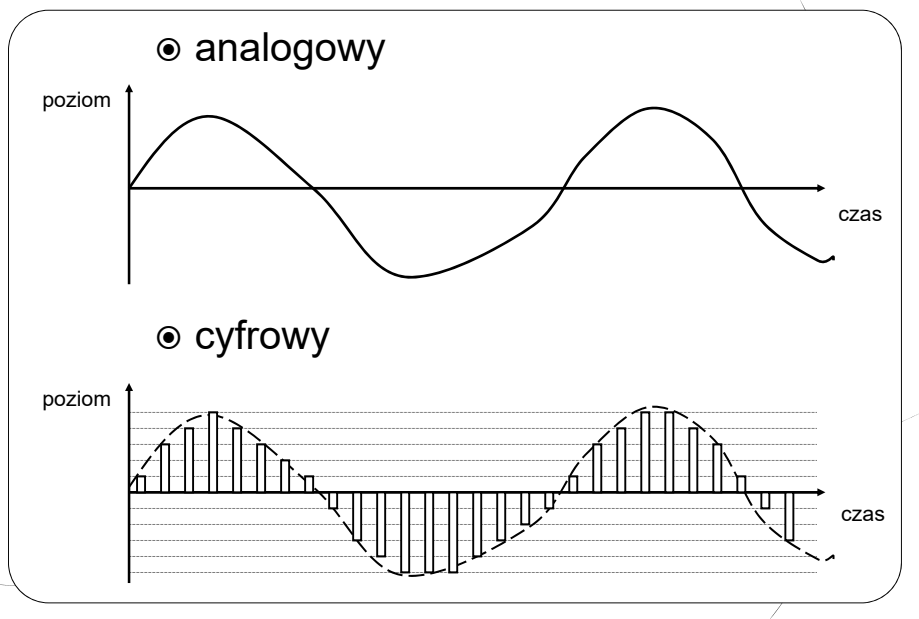
Parametry słuchu



☉ zakres słyszanych przez człowieka częstotliwości: 20 Hz - 20 kHz;
• 10 oktav

☉ zakres dynamiki słuchu: 130 dB

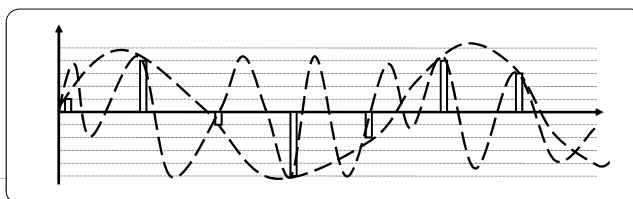
Sygnal foniczny



Cyfrowy sygnał foniczny

☉ składa się z tzw. próbek pobieranych z określoną częstotliwością (szybkością) próbkowania

- im większa częstotliwość próbkowania, tym sygnał cyfrowy lepiej opisuje sygnał analogowy;
- częstotliwość próbkowania nie może być zbyt mała – bo nie będzie wiadomo jak naprawdę wygląda sygnał – częstotliwość próbkowania musi być dwa razy większa od maksymalnej częstotliwości sygnału.



Parametry dźwięku

⦿ częstotliwości próbkowania (w Hz)

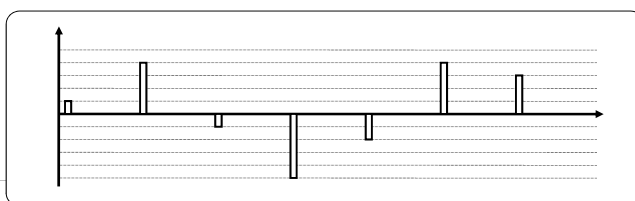
- 8000 – jakość telefoniczna
- 11025 – $\frac{1}{4}$ częstotliwości 44100
- 16000 – stosowana w standardzie G.722
- 22050 – $\frac{1}{2}$ częstotliwości 44100
- 32000 – produkcja radiowa, magnetofon DAT, NICAM
- **44100 – CD-Audio**
- **48000 – częstotliwość studyjna, DVD, Blu-ray**
- 88200 – brak typowych zastosowań
- 96000 – 2x48000, produkcje wysokiej jakości, DVD, Blu-ray
- 192000 – 2x96000, j.w.

Cyfrowy sygnał foniczny

⦿ rozdzielczość bitowa – liczba bitów służąca do opisanie pojedynczej wartości pojedynczej próbki (słupka)

- im więcej bitów służy do opisu danego dźwięku, tym bardziej dokładnie można opisać dany dźwięk
- zakres dynamiki konwertera PCM wyraża się wzorem

$$S/N \cong 6n + 1,8 \text{ [dB]}$$



Parametry dźwięku

- ◎ rozdzielczości bitowe:
 - 8 bitów - czyli 2^8 możliwych wartości – 256
 - dźwięk zaszumiony, marnej jakości
 - 16 bitów - czyli 2^{16} możliwych wartości – 65.536
 - najbardziej typowa rozdzielczość
 - odstęp sygnał szum rzędu 96dB
 - 24 bity - czyli 2^{24} możliwych wartości – 16.777.216
 - zyskuje na popularności, używana w studiach
 - odstęp sygnał szum rzędu 144dB
 - 32 bity - czyli 2^{32} możliwych wartości – 4.294.967.296
 - używana podczas wewnętrznego przetwarzania i miksowania plików (zapobieganie obcinaniu próbek)

Parametry a wielkość pliku

- ◎ 1 minuta nagrania w jakości telefonicznej
 - $60 \text{ [s]} \times 8 \text{ [bit]} \times 8000 \text{ [Sa/s]} \times 1 \text{ [kanał]} =$
 $= 3,66 \text{ [Mbit]} = 468,75 \text{ [kB]}$
- ◎ 1 minuta nagrania w jakości CD
 - $60 \text{ [s]} \times 16 \text{ [bit]} \times 44100 \text{ [Sa/s]} \times 2 \text{ [kanały]} =$
 $= 80,75 \text{ [Mbit]} = 10,09 \text{ [MB]}$
- ◎ 1 minuta nagrania w MP3 z jakością zbliżoną do CD
 - $60 \text{ [s]} \times 160 \text{ [kbit/s]} = 9600 \text{ [kbit]} = 1,17 \text{ [MB]}$
- ◎ 1 minuta nagrania 5.1 dla Blu-ray
 - $60 \text{ [s]} \times 24 \text{ [bit]} \times 192000 \text{ [Sa/s]} \times 6 \text{ [kanałów]} =$
 $= 1582 \text{ [Mbit]} = 197,75 \text{ [MB]}$

Kompresja

⦿ Metody bezstratne

- Zakodowany strumień danych po dekompresji jest identyczny z oryginalnymi danymi przed kompresją,

⦿ Metody stratne

- W wyniku kompresji część danych (mniej istotnych) jest bezpowrotnie tracona, dane po dekompresji nieznacznie różnią się od oryginalnych danych przed kompresją.

Kompresja

⦿ Metody bezstratne są mało efektywne

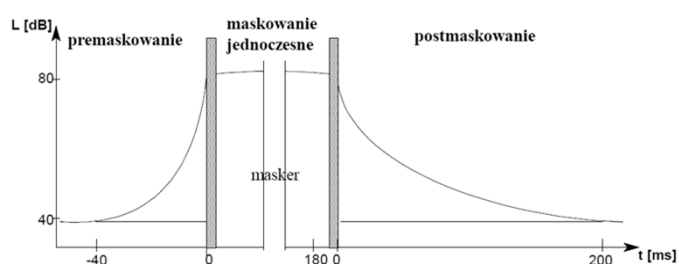
- typowy stopień kompresji – 10-20%
- maksymalny stopień kompresji – ok. 40-60%

⦿ Metody stratne charakteryzują się dużą efektywnością

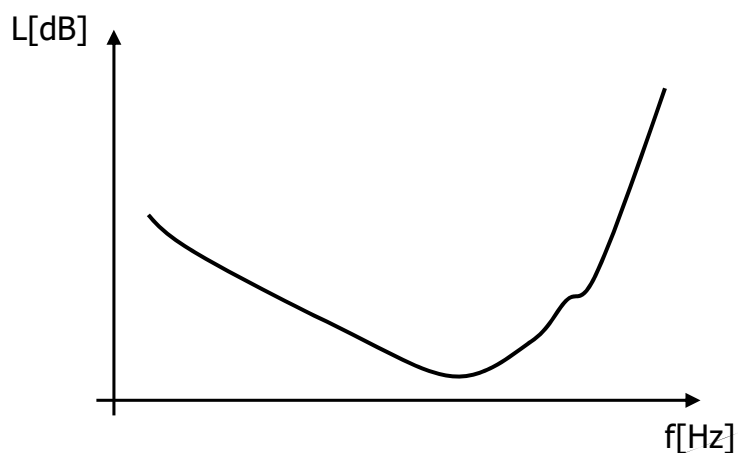
- stopień kompresji 90% przy akceptowalnej jakości dźwięku
- wykorzystują niedoskonałości ludzkiego słuchu (kodowanie perceptualne)

Kodowanie perceptualne

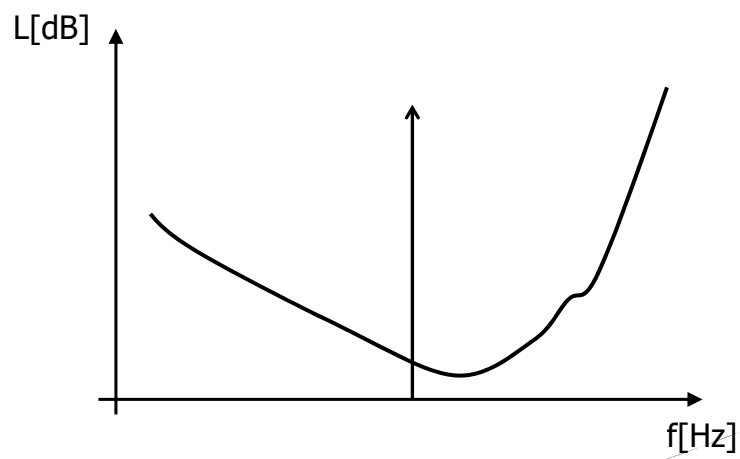
- ◉ wykorzystuje przede wszystkim zjawisko maskowania (jednoczesnego i niejednoczesnego)
 - dźwięki o niższej amplitudzie i zbliżonej częstotliwości są „zagłuszane” przez dźwięki o wyższej amplitudzie



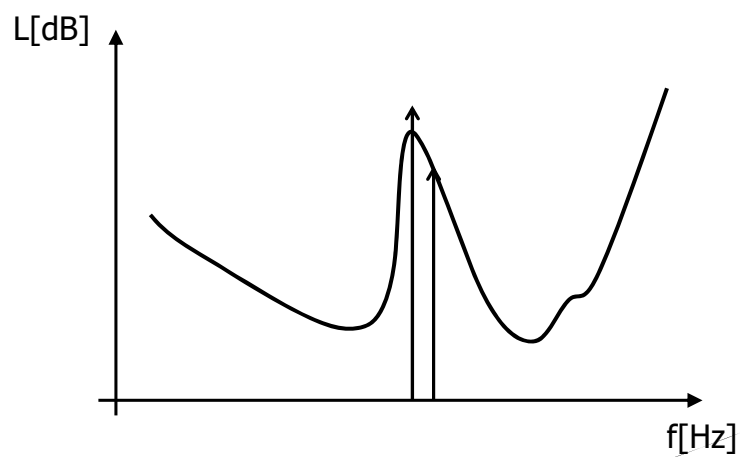
Ilustracja kompresji



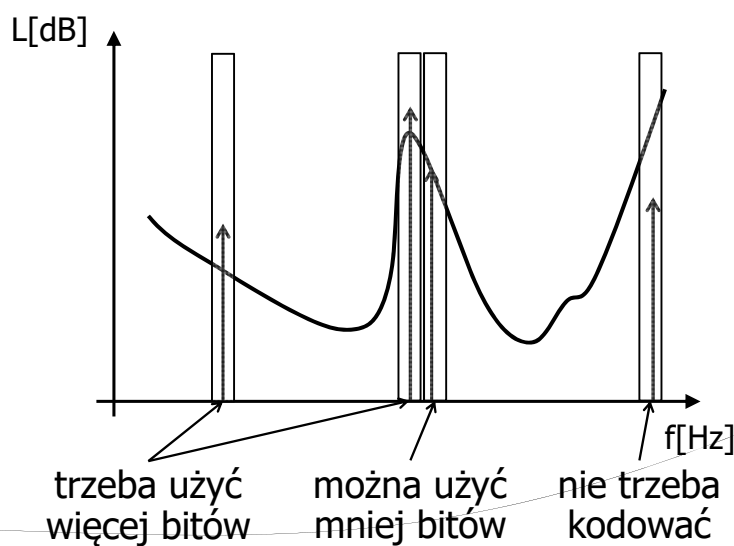
Ilustracja maskowania



Ilustracja maskowania

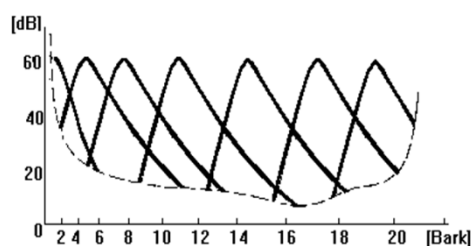
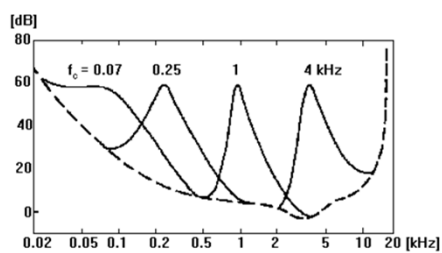


Ilustracja maskowania



Maskowanie

- ☉ maskowanie u każdego człowieka zachodzi nieco inaczej, dlatego kodeki używają uśrednionego modelu psychoakustycznego.
- ☉ znając składowe dźwięku maskowane w poszczególnych podpasmach, kodek usuwa je z sygnału



Przykłady formatów

Formaty dźwięku – WAVE (*.wav)

- ⊙ jeden z najpopularniejszych formatów w systemie Windows
- ⊙ **typowo** dane zapisane są w formacie PCM
 - możliwe inne formaty danych: ADPCM, u-Law, A-Law, LPC, GSM, CELP, G.721, G.723 a nawet MP3
- ⊙ obsługiwana liczba kanałów: 1, 2, 5.1
- ⊙ problem z plikami większymi od 4GB
 - rozwiązanie: format RF64
- ⊙ zastępowany przez format BWF (Broadcast Wave Format)

Formaty dźwięku – WAVE (*.wav)

endian	File offset (bytes)	field name	Field Size (bytes)	
big	0	ChunkID	4	The "RIFF" chunk descriptor
little	4	ChunkSize	4	
big	8	Format	4	
big	12	Subchunk1 ID	4	
little	16	Subchunk1 Size	4	The "fmt" sub-chunk describes the format of the sound information in the data sub-chunk
little	20	AudioFormat	2	
little	22	NumChannels	2	
little	24	SampleRate	4	
little	28	ByteRate	4	
little	32	BlockAlign	2	
little	34	BitsPerSample	2	
big	36	Subchunk2 ID	4	
little	40	Subchunk2 Size	4	The "data" sub-chunk Indicates the size of the sound information and contains the raw sound data
little	44	data	Subchunk2Size	

```

00000000: 52 49 46 46 54 20 E8 12 | 57 41 56 45 66 6D 74 20 | RIFFT Ć WAVEfmt
00000010: 10 00 00 00 01 00 02 00 | 44 AC 00 00 10 B1 02 00 | + . 7 D~ +±7
00000020: 04 00 10 00 64 61 74 61 | 30 20 E8 12 00 00 00 00 | J + data0 Ć :t/

```

Formaty dźwięku – AIFF (*.aif)

- ⦿ typowy dla komputerów Apple-a
- ⦿ w zasadzie identyczne możliwości jak WAVE
- ⦿ wersja z kompresją: AIFF-C lub AIFC
- ⦿ dopuszczalna częstotliwość próbkowania 22254,54Hz

Formaty dźwięku – NeXT/Sun (*.au)

- ⦿ opracowany przez Sun Microsystems
- ⦿ wykorzystywany w komputerach NeXT
- ⦿ obecnie stosowany m.in. wewnątrz apletów Java
- ⦿ typowo kodowanie z rozdzielczością 8 bitów w u-Law przy częstotliwości próbkowania 8kHz



Formaty dźwięku – MPEG Layer 2 (*.mp2)

- ⦿ formaty natywne dla konkretnej metody kompresji dźwięku
 - maksymalna jakość dla przepływności 296kbit/s
 - poprawiona rozdzielczość w porównaniu z Layer 1 (1024 próbki FFT zamiast 512)
 - stosowany do dziś – np. DVB, DVD

Formaty dźwięku – MPEG Layer 3 (*.mp3)

- ◎ najpopularniejszy (?) format perceptualnej kompresji stratnej - a zarazem format pliku
- ◎ MPEG-1 Layer 3
 - używa bardziej skomplikowanych modeli psychoakustycznych niż poprzednie warstwy (Layer 2, Layer 1)
 - w efekcie przyjmuje się, że ucho nie dostrzeże różnicy, gdy przepływność na jeden kanał wynosić będzie 96kbit/s
 - obsługiwane przepływności: 32, 40, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 144, 160, 192, 224, 256, 320 kbit/s
 - częstotliwości próbkowania: 32, 44.1 i 48 kHz

Formaty dźwięku – MPEG Layer 3 (*.mp3)

- ◎ MPEG-2 (2,5) Layer 3 (MPEG-2 Backward Compatible)
 - 8, 16, 24, 144 kbit/s
 - częstotliwości próbkowania 8, 11.025, 12, 16, 22.05 i 24 kHz
 - **obsługa dźwięku także w formacie 5.1**

Formaty dźwięku – MPEG Layer 3 (*.mp3)

- ⊙ wykorzystywanie podobieństwa kanału lewego i prawego (np. tryb „joint stereo”) w celu poprawy wydajności kompresji
- ⊙ jakość kompresji zależy od implementacji algorytmu
 - dużo formatów pochodnych np. MP3 Pro, MP3 Surround
- ⊙ możliwość zapisu dodatkowych informacji tekstowych (ID3 tags)

Formaty dźwięku – Windows Media Audio (*.wma)

- ⊙ format opracowany przez Microsoft
 - dostępne kodeki pozwalające na zapis dźwięku 5.1, kodowanie bezstratne a także kodek dostosowany do mowy
- ⊙ wykorzystanie kontenera ASF (Advanced Systems Format)
 - łatwość tworzenia streamingu
 - możliwość użycia Digital Right Management (DRM)
 - teoretycznie możliwość zawarcia dowolnego kodeka
- ⊙ przepływności od 48kbit/s do 768kbit/s (dla kompresji stratnej)
- ⊙ darmowe narzędzia do tworzenia (Windows Media Encoder, Microsoft Expression)

Formaty dźwięku – Advanced Audio Coding (*.aac)

- ⊙ następca MP3
- ⊙ standard opisany w MPEG-2 Part 7 i MPEG-4 Part 3
- ⊙ nie jest zachowana kompatybilność w dół z wcześniejszymi wersjami kodeków opartych na standardach MPEG
 - pozwoliło to na osiągnięcie wyższej kompresji
 - wysoka jakość dźwięku 5.1 przy przepływnościach rzędu 320-430kbit/s
- ⊙ teoretycznie pozwala na obsługę do 48 kanałów
 - w tym mono, stereo, 5.1
- ⊙ częstotliwość próbkowania do 96kHz

Formaty dźwięku – Advanced Audio Coding (*.aac)

- ⊙ mnóstwo wersji opracowanych pod konkretne zastosowania
 - LC- AAC – Low Complexity AAC
 - HE-AAC – High Efficiency AAC (także jako AAC+)
 - także wersje bezstratne i dopasowane do mowy
- ⊙ format typowo wykorzystywany w urządzeniach mobilnych
 - ale także w DVB i DAB+ (HE-AAC)

Formaty dźwięku – formaty 5.1 / 7.1

- ◎ Dolby Digital (*.ac3) i DTS – Digital Theatre System (*.dts)
 - dwa konkurujące ze sobą formaty kompresji
 - typowo formaty stratne
 - na potrzeby Blu-ray powstały wersje z kodowaniem bezstratnym
 - standardowe używane na DVD-Video i Blu-ray
 - typowe przepływności:
 - 448 kbit/s dla DD
 - 768 kbit/s dla DTS
 - należy pamiętać, że oba formaty mogą być również użyte dla dźwięku monofonicznego bądź stereofonicznego



Formaty dźwięku – kompresja bezstratna

- ◎ wysoka jakość, ale często konieczne doinstalowanie dodatkowego oprogramowania
- ◎ Free Lossless Audio Codec (*.flac)
 - kompresja rzędu 40-50%
 - liczba kanałów: 1 do 8
 - możliwość grupowania kanałów w celu poprawy wydajności kompresji
- ◎ Monkey's Audio (*.ape)
 - Open Source
 - przyjmuje się, że stopień kompresji jest wyższy niż dla FLAC-a

Formaty dźwięku – MIDI (*.mid)

- ⦿ w zasadzie zapis nutowy utworu
- ⦿ MIDI odtwarza nuty zakodowane w pliku korzystając z dowolnego dostępnego urządzenia dźwiękowego
- ⦿ brzmienie pliku będzie zależało od układu dźwiękowego zainstalowanego u użytkownika
 - synteza FM
 - synteza WaveTable (tablicowa)
 - synteza WaveGuide (falowodowa)

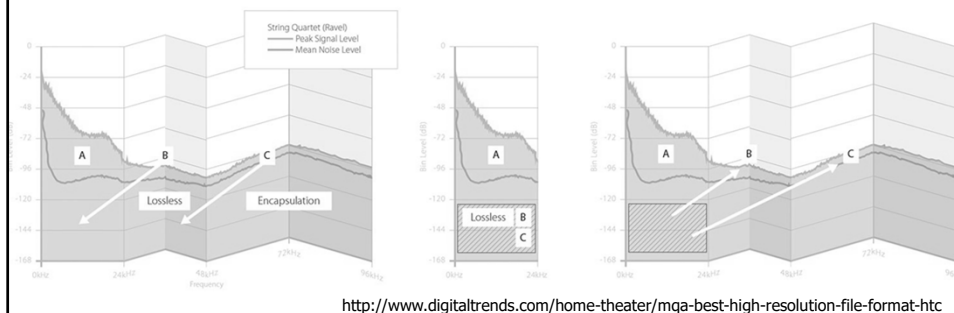
Przyszłość?

- ⦿ MPEG-H -> 3D Audio
 - kodowanie nie kanałów, a obiektów, np. dźwięk z trybu, głos komentatora itp.
 - miksowanie dźwięku po stronie odbiorcy
 - zwiększenie efektywności kompresji powinno umożliwić transmisję 14-18 kanałów przy przepływności rzędu 400 kbit/s
 - algorytmy bazują na AAC, ale nie będzie kompatybilności wstecz

Przyszłość?

◎ MQA (Master Quality Authenticated)

- format kompresji bezstratnej (?)
- polega na upakowaniu składowych wysokoczęstotliwościowych w paśmie do 20kHz
- przeznaczony do streamingu sygnału
- kompatybilny z dotychczasowym sprzętem



Dla zainteresowanych

- ◎ John Watkinson, „The MPEG Handbook”, Focal Press, 2004.
- ◎ <http://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/amm.html>