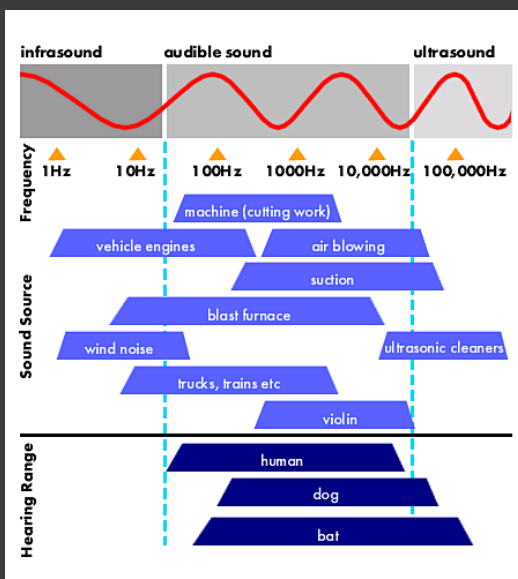


dr inż. Piotr Ody

FORMATY DŹWIĘKU

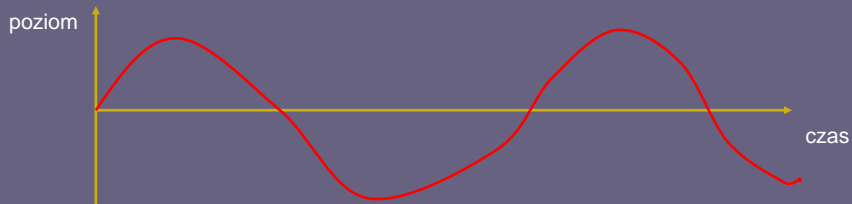
Parametry słuchu



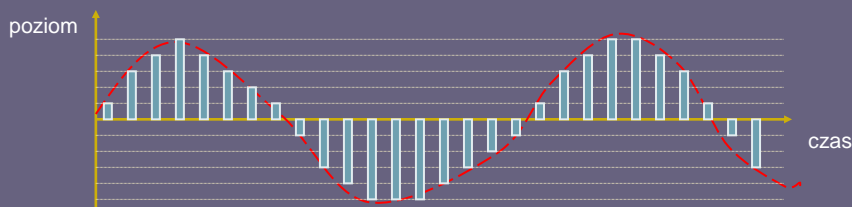
- zakres słyszanych przez człowieka częstotliwości: 20 Hz - 20 kHz;
 - 10 oktav
- zakres dynamiki słuchu: 130 dB

Sygnal foniczny

analogowy



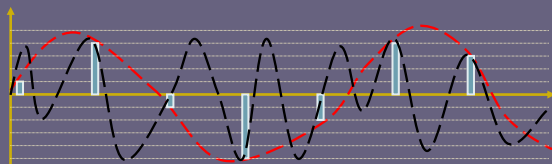
cyfrowy



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.



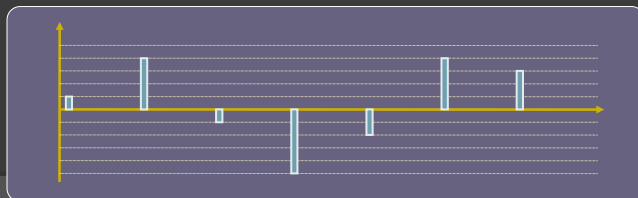
Parametry dźwięku

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

Kompresja

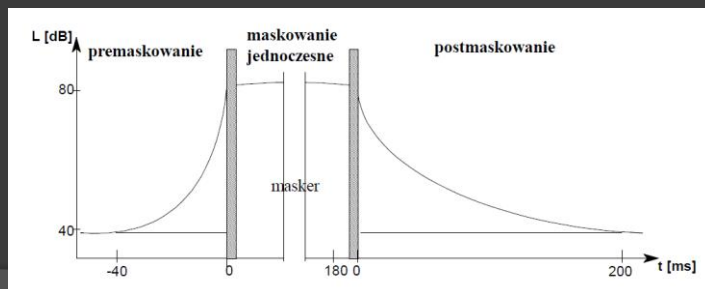
- ⦿ Metody bezstratne
 - Zakodowany strumień danych po dekompresji jest identyczny z oryginalnymi danymi przed kompresją,
- ⦿ Metody stratne
 - W wyniku kompresji część danych (mniej istotnych) jest bezpowrotnie tracona, dane po dekompresji nieznacznie różnią się od oryginalnych danych przed kompresją.

Kompresja

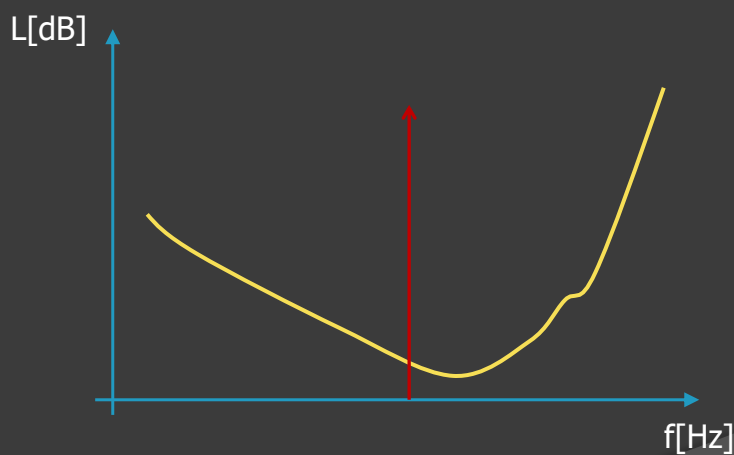
- ⦿ Metody bezstratne są mało efektywne
 - typowy stopień kompresji – 10-20%
 - maksymalny stopień kompresji – ok. 40-60%
- ⦿ Metody stratne charakteryzują się dużą efektywnością
 - stopień kompresji 90% przy akceptowalnej jakości dźwięku
 - wykorzystują niedoskonałości ludzkiego słuchu (kodowanie perceptualne)

Kodowanie perceptualne

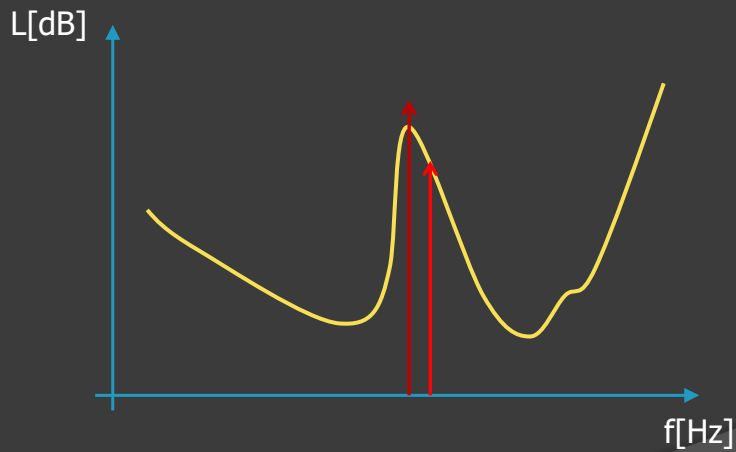
- wykorzystuje przede wszystkim zjawisko maskowania (jednoczesnego i niejednoczesnego)
 - dźwięki o niższej amplitudzie i zbliżonej częstotliwości są „zagłuszane” przez dźwięki o wyższej amplitudzie



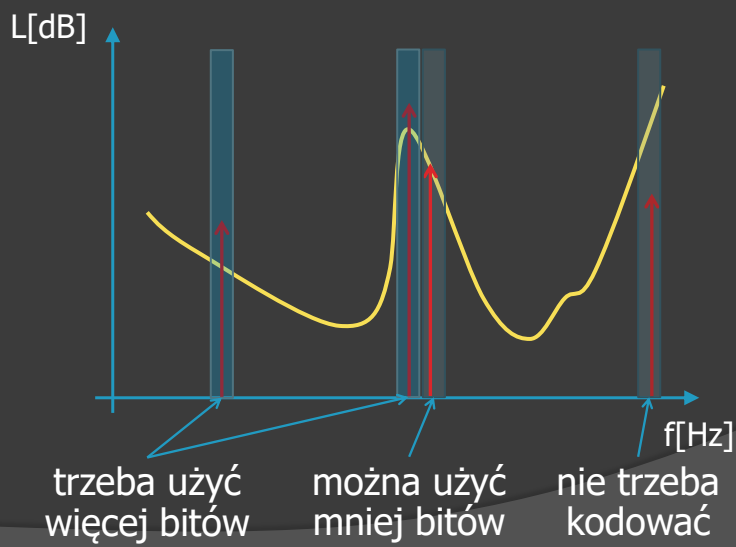
Ilustracja maskowania



Ilustracja maskowania

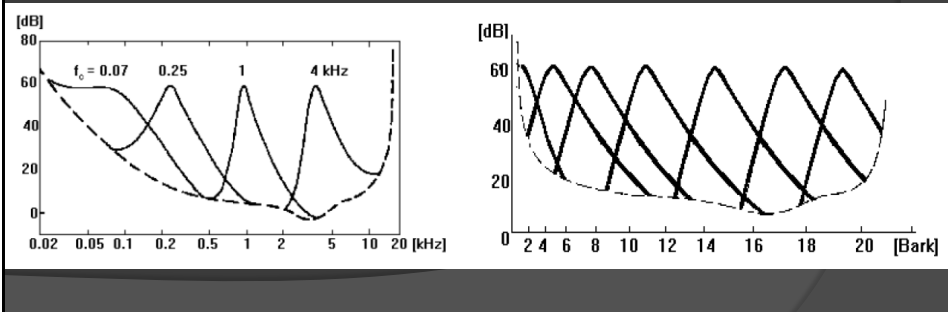


Ilustracja maskowania



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	The "fmt" sub-chunk
little	16	Subchunk1 Size	4	
little	20	AudioFormat	2	describes the format of the sound information in the data sub-chunk
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	
little	44	data	Subchunk2Size	

```

00000000: 52 49 46 46 54 20 E8 12 | 57 41 56 45 66 6D 74 20 | RIFFT 03 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 | 2 + data0 03
    
```

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)

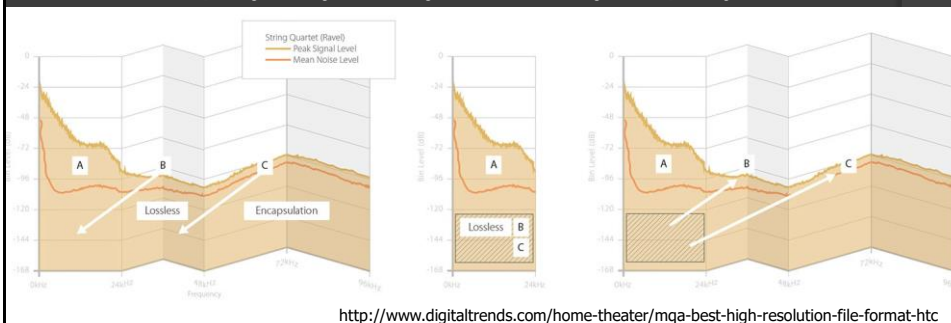
- ⦿ w zasadzie zapis nutowy utworu
- ⦿ MIDI odtwarza nuty zakodowane w pliku korzystając z dowolnego dostępnego urządzenia dźwiękowego
- ⦿ brzmienie pliku będzie zależało od układu dźwiękowego zainstalowanego u użytkownika
 - synteza FM
 - synteza WaveTable (tablicowa)
 - synteza WaveGuide (falowodowa)

Przyszłość?

- ⦿ MPEG-H -> 3D Audio
 - kodowanie nie kanałów, a obiektów, np. dźwięk z trybu, głos komentatora itp.
 - mikśowanie 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>