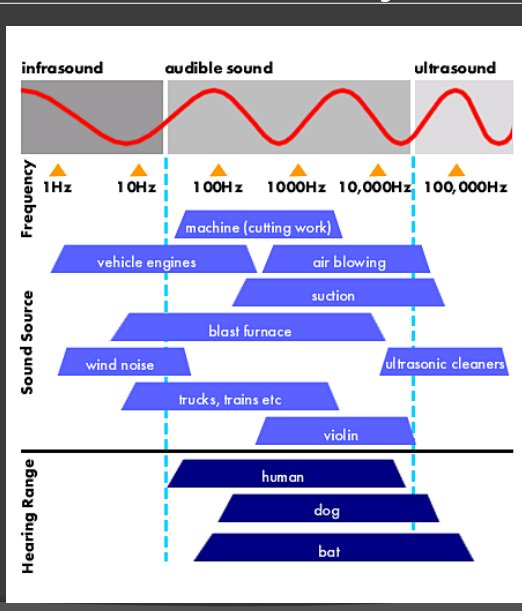
dr inż. Piotr Odya

FORMATY DŹWIĘKU

1

Parametry słuchu

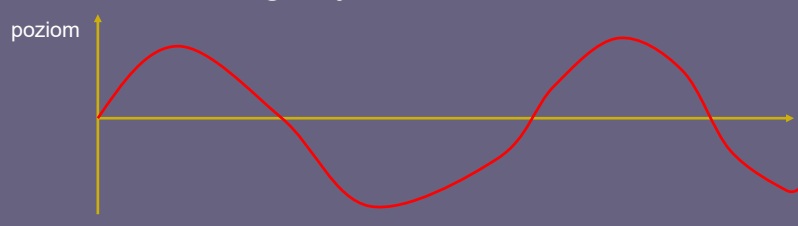


- zakres słyszanych przez człowieka częstotliwości: 20 Hz - 20 kHz;
  - 10 oktaw
  - 20-40-80-160-320-640-1280-2560-5120-10240-20480
- zakres dynamiki słuchu: 130 dB

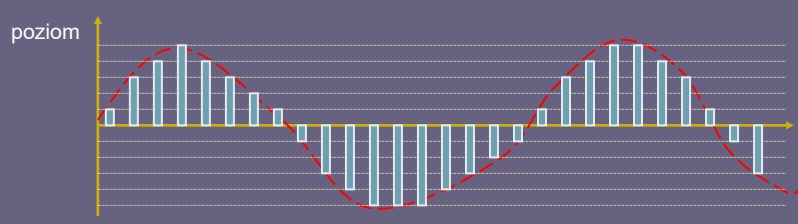
3

Sygnał foniczny

- analogowy



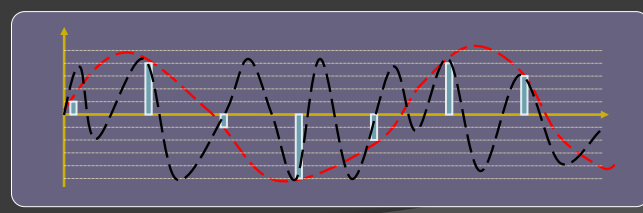
- cyfrowy



4

Cyfrowy sygnał foniczny

- składa się z tzw. próbek pobieranych z określoną częstotliwością (szybkością) próbkowania
  - 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
  - im większa częstotliwość próbkowania, tym sygnał cyfrowy lepiej opisuje sygnał analogowy.



5

Parametry dźwięku

- częstotliwości próbkowania (w Hz)
  - 8000 – jakość telefoniczna
  - 11025 – ¼ częstotliwości 44100
  - 16000 – stosowana w standardzie G.722
  - 22050 – ½ częstotliwości 44100
  - 32000 – produkcja radiowa
  - **44100 – CD-Audio**
  - **48000 – częstotliwość studyjna, DVD, DVB, Blu-ray**
  - 88200 – brak typowych zastosowań
  - 96000 – 2x48000, produkcje wysokiej jakości, DVD, Blu-ray
  - 192000 – 2x96000, j.w.

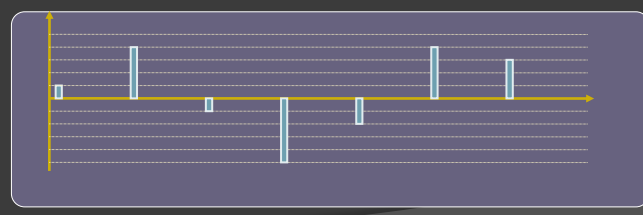
6

Cyfrowy sygnał foniczny

- rozdzielczość bitowa – liczba bitów służąca do opisania pojedynczej wartości pojedynczej próbki (słupka)
  - im więcej bitów służy do opisu danego dźwięku, tym dokładniej można opisać dany dźwięk
  - zakres dynamiki konwertera PCM wyraża się wzorem

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

gdzie n - rozdzielczość bitowa konwertera



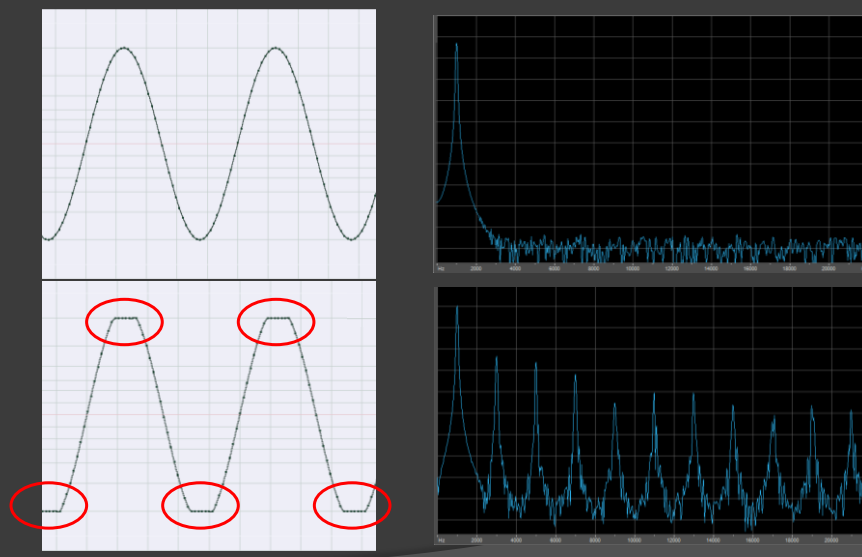
7

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)
  - 32 bity float - 1 bit znaku, 8 bitów eksponenty, 23 bity mantysy
    - odstęp sygnał szum rzędu 1528dB!
    - wykorzystanie wielu stałoprzecinkowych przetworników A/C

8

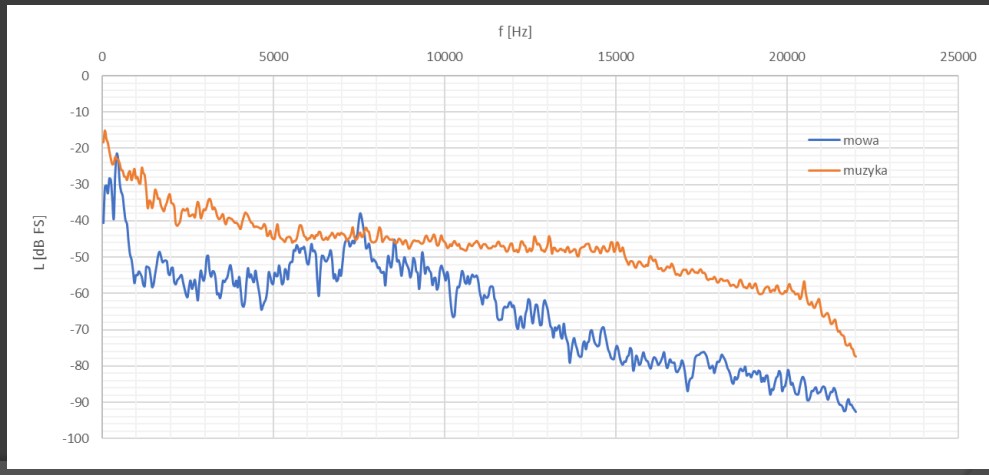
Przesterowanie dźwięku



9

Widmo dźwięku

- wizualizacja natężenia składowych dźwięku o różnych częstotliwościach



10

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.

11

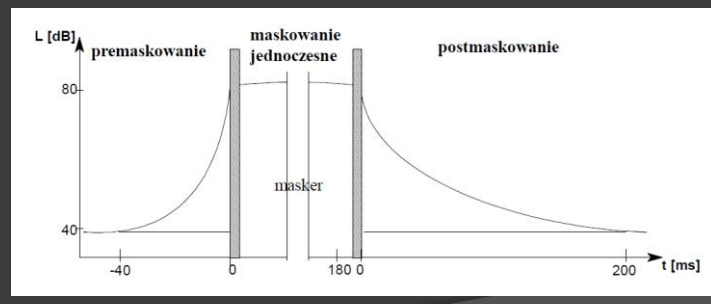
Kompresja

- 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)

12

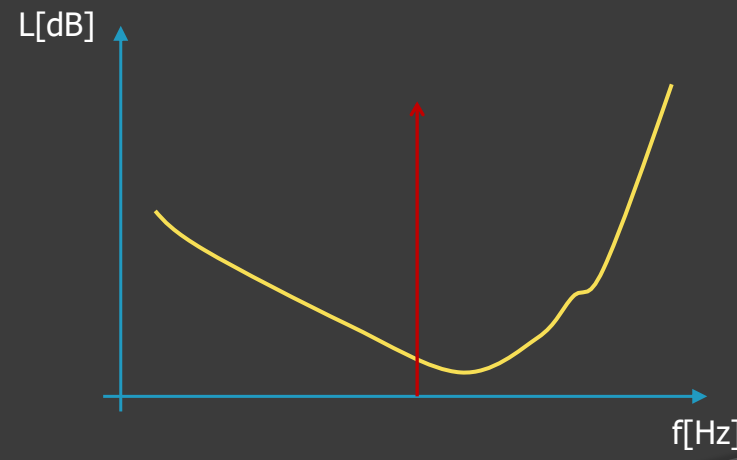
Kodowanie perceptualne

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



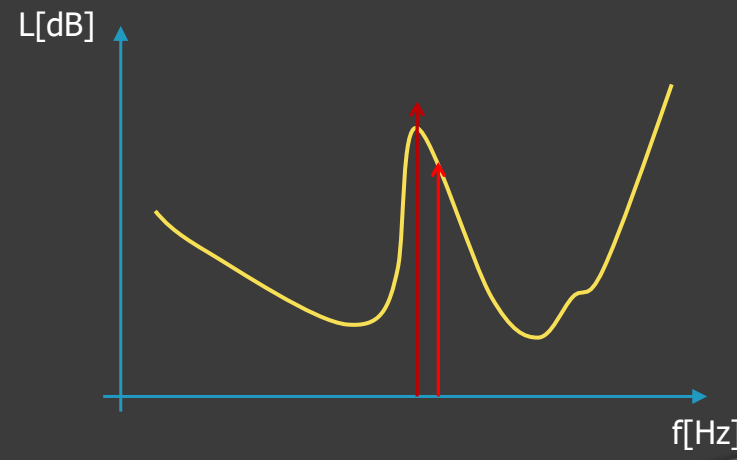
13

Ilustracja maskowania



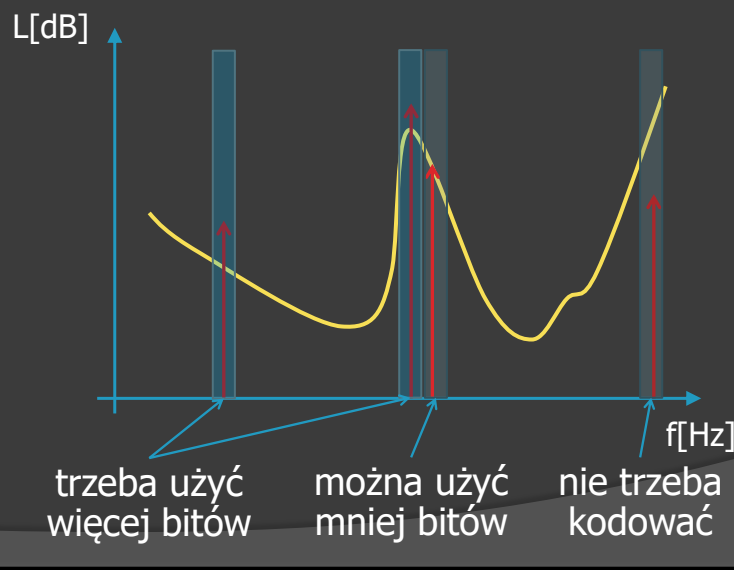
15

Ilustracja maskowania



16

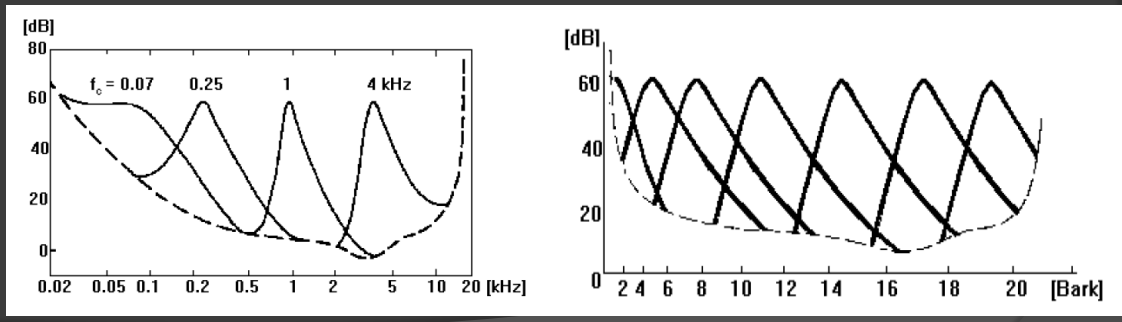
Ilustracja maskowania



17

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



18

Parametry a wielkość pliku

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

19

Przykłady formatów

20

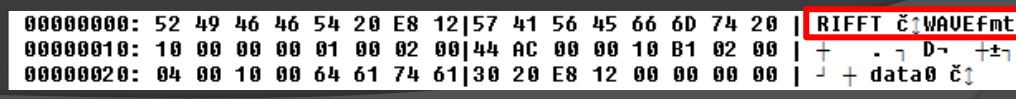
Formaty dźwięku – **kompresja bezstratna**

- FLAC (Free Lossless Audio Codec) - *.flac
  - kompresja rzędu 40-50%
  - liczba kanałów: 1 do 8
    - możliwość grupowania kanałów w celu poprawy wydajności kompresji
- ALAC (Apple Lossless Audio Codec)
  - opracowany przez Apple
  - używany w Apple Music
  - stopień kompresji maks. 50%

21

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 (i inne)
- problem z plikami większymi od 4GB
  - rozwiązanie: format RF64
- zastępowany przez format BWF (Broadcast Wave Format)



22

Formaty dźwięku – MPEG Layer 3 (*.mp3)

- najpopularniejszy (?) format perceptualnej kompresji stratnej - a zarazem format pliku
  - opracowany na początku lat 90. ub. wieku
  - używa bardziej skomplikowanych modeli psychoakustycznych niż poprzednie wersje - warstwy (Layer 2, Layer 1)
  - wykorzystuje MDCT (*Modified Discrete Cosine Transform*)
- przyjmuje się, że ucho nie dostrzeże różnicy, gdy przepływność na jeden kanał wynosić będzie 96kbit/s
- obsługiwane przepływności: 32-320 kbit/s
- obsługiwany także dźwięk 5.1

27

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
  - kiedyś funkcjonowało dużo formatów pochodnych np. MP3 Pro, MP3 Surround
- możliwość zapisu dodatkowych informacji tekstowych i graficznych (ID3 tags)

29

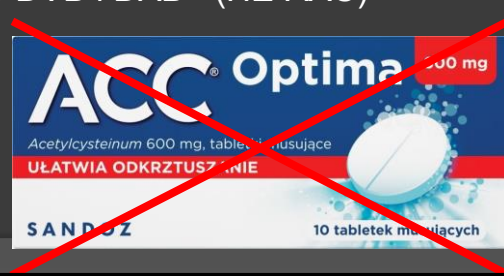
Formaty dźwięku – Advanced Audio Coding (*.aac)

- następca MP3
  - rozwijany od 1997 roku
- 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
- częstotliwości próbkowania do 96kHz

31

Formaty dźwięku – Advanced Audio Coding (*.aac)

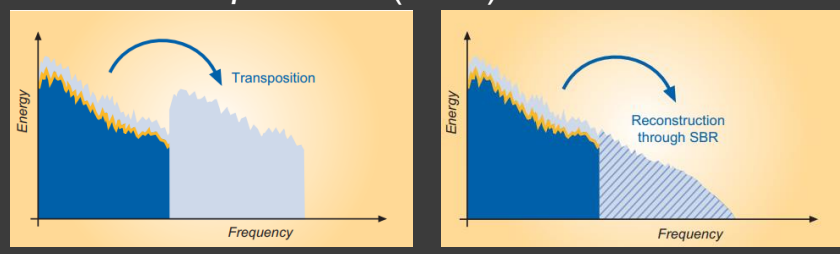
- mnóstwo wersji opracowanych pod konkretne zastosowania
  - LC- AAC – Low Complexity AAC
  - HE-AAC – High Efficiency AAC (także jako AAC+)
    - użycie *Spectral Band Replication* i *Parametric Stereo*
  - także wersje bezstratne i dopasowane do mowy
- format typowo wykorzystywany w urządzeniach mobilnych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



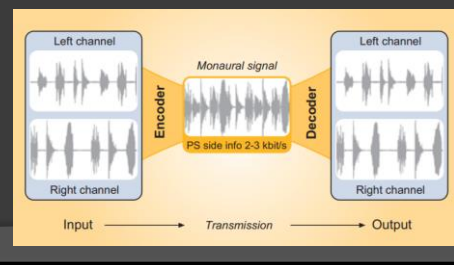
32

Formaty dźwięku – Advanced Audio Coding (*.aac)

- *Spectral Band Replication* (SBR)



- *Parametric Stereo* (PS)

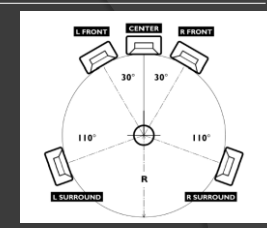


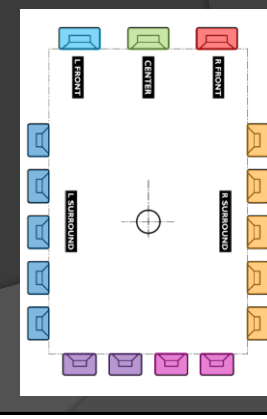
źródło: Metzer Stefan, Moser Gerald (2006) MPEG-4 HE-AAC v2 - audio coding for today's digital media world

33

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
  - standardowo używane na DVD-Video, Blu-ray oraz w DVB i streamingu
  - należy pamiętać, że oba formaty mogą być również użyte dla dźwięku monofonicznego bądź stereofonicznego





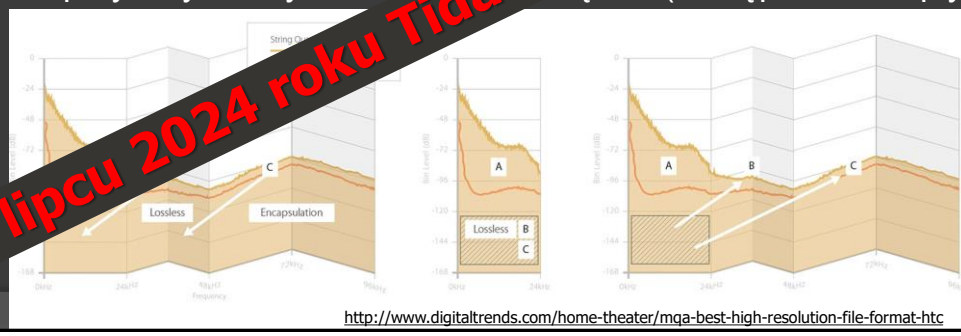
DOLBY DIGITAL

dts Digital Entertainment

34

Przyszłość?

- MQA (Master Quality Authenticated)
  - format kompresji bezstratnej (?)
  - polega na upakowaniu składowych wysokoczes[illegible]owych w paśmie do 20kHz
  - przeznaczony do streamingu sygn[illegible]dal)
  - kompatybilny z dotychczas[illegible]ętem (dostępne także płyty CD)



http://www.digitaltrends.com/home-theater/mqa-best-high-resolution-file-format-htc

W lipcu 2024 roku Tidal przeszedł na FLAC-a

35

Przyszłość?

- 3D Audio (np. MPEG-H, Dolby Atmos, SONY 360 Reality Audio)
  - kodowanie nie kanałów, a obiektów, np. dźwięk z trybun, głos komentatora itp.
  - miksowanie dźwięku po stronie odbiorcy
  - zwiększenie efektywności kompresji powinno umożliwić transmisję 14-18 kanałów przy przepływności rzędu 400 kbit/s (dla MPEG-H)
    - algorytmy bazują na AAC, ale nie będzie kompatybilności wstecz

36

Dla zainteresowanych

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