

informatyka+

Wszechnica Poranna: Multimedia, grafika i technologie internetowe

Techniki nagrywania, kształtowania
i odtwarzania dźwięku

Andrzej Majkowski

Człowiek – najlepsza inwestycja



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WARSZAWSKA
WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Rodzaj zajęć: Wszechnica Poranna

Tytuł: Techniki nagrywania, kształtowania i odtwarzania dźwięku

Autor: dr inż. Andrzej Majkowski

Redaktor merytoryczny: prof. dr hab. Maciej M Sysło

Zeszyt dydaktyczny opracowany w ramach projektu edukacyjnego **Informatyka+**
— ponadregionalny program rozwijania kompetencji uczniów szkół ponadgimnazjalnych
w zakresie technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT).

www.informatykaplus.edu.pl

kontakt@informatykaplus.edu.pl

Wydawca: Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki

ul. Lewartowskiego 17, 00-169 Warszawa

www.wysi.edu.pl

rektorat@wysi.edu.pl

Projekt graficzny: FRYCZ I WICHA

Warszawa 2009

Copyright © Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki 2009

Publikacja nie jest przeznaczona do sprzedaży.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WARSZAWSKA
WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Techniki nagrywania, kształtowania i odtwarzania dźwięku

Andrzej Majkowski
Politechnika Warszawska
amajk@ee.pw.edu.pl



Streszczenie

Wykład jest poświęcony różnym metodom przetwarzania sygnałów dźwiękowych. Na wstępie przedstawiamy, w jaki sposób człowiek odbiera dźwięki oraz podstawowe informacje dotyczące sygnałów dźwiękowych, jak również w jaki sposób oceniamy jakość sygnału dźwiękowego. Następnie przedstawiamy początki komputerowego przetwarzania sygnałów dźwiękowych – opisujemy historię rozwoju, budowę i zastosowania komputerowych kart dźwiękowych. W dalszej części wykładu przedstawiamy urządzenia do rejestracji sygnałów dźwiękowych, czyli różnego rodzaju mikrofony, zakres zastosowań poszczególnych typów mikrofonów, jak również ich parametry i charakterystyki. Opisujemy również podstawowe techniki mikrofonowe, czyli w jaki sposób należy nagrywać dźwięk. Następnie przedstawiamy metody cyfrowego przetwarzania sygnału dźwiękowego. Opisujemy także studia nagrań dźwiękowych i sprzęt w nich stosowany: stoły mikserskie, procesory dźwięku, rejestratory dźwięku itp. W dalszej części opisujemy źródła i nośniki sygnałów fonicznych: analogowe – taśma magnetofonowa, płyta winylowa i cyfrowe – taśma magnetofonowa, płyta CD, odtwarzacze plików MP3.

W trakcie trwania warsztatów słuchacze będą mogli zapoznać się z budową mikrofonów: dynamicznego, pojemnościowego elektretowego, obsługą wzmacniacza mikrofonowego i miksera kanałów oraz obsługą kart dźwiękowych. Słuchacze poznają jak powstają proste efekty dźwiękowe, co można uzyskać przez zastosowanie filtrów cyfrowych w obróbce dźwięku i jak przeprowadzić montaż sygnału dźwiękowego. Poznają również, jak w prosty sposób przekonwertować plik dźwiękowy do formatu MP3.

Spis treści

1. Wprowadzenie	3
2. Karty dźwiękowe	3
3. Dźwięk – podstawowe informacje	6
3.1. Zakres słyszalności	7
3.2. Ocena jakości dźwięku	8
4. Rejestracja sygnałów dźwiękowych	9
4.1. Podział akustyczny mikrofonów	9
4.2. Podział mikrofonów ze względu na rodzaj przetwornika	10
4.3. Parametry mikrofonów	11
4.4. Techniki mikrofonowe	12
5. System cyfrowego przetwarzania sygnału fonicznego	13
6. Studio nagrań dźwiękowych	13
7. Źródło i nośniki sygnałów fonicznych	18
7.1. Taśma magnetofonowa, zapis analogowy	18
7.2. Płyta winylowa, zapis analogowy	19
7.3. Taśma magnetofonowa, zapis cyfrowy	19
7.4. Płyta CD, zapis cyfrowy	20
7.5. Odtwarzanie plików mp3	20
Literatura	21



1 WPROWADZENIE

Technika cyfrowa jest od dawna bardzo szeroko stosowana w przetwarzaniu sygnałów dźwiękowych. Za sprawą komputerów PC i kart dźwiękowych do nich dołączanych stała się dostępna dla każdego. Warto poznać podstawowe techniki przetwarzania dźwięku. Na pewno będą one pomocne przy tworzeniu własnych nagrań dźwiękowych, czy też montowaniu własnych filmów.

Zalety cyfrowej techniki przetwarzania dźwięku są nie do przecenienia. Należą do nich:

- większa dynamika przenoszonych sygnałów (90dB i więcej),
- mała wrażliwość sygnału cyfrowego na wpływ takich czynników, jak szum, zakłócenia, temperatura i starzenie się elementów,
- scalone układy cyfrowe są małe, niezawodne, stosunkowo tanie i mogą realizować złożoną obróbkę sygnałów,
- sygnały cyfrowe mogą być zapisywane i przechowywane na różnych nośnikach,
- sygnały cyfrowe mogą być wielokrotnie kopiowane, przesyłane, przechowywane, korygowane lub odczytywane bez pogorszenia ich jakości,
- niektóre operacje realizowane z użyciem techniki cyfrowej są trudne lub niemożliwe do wykonania za pomocą techniki analogowej,
- funkcje lub charakterystyki układów cyfrowych można łatwo zmieniać w sposób programowy,
- operacje na sygnałach cyfrowych mogą być wykonywane w czasie rzeczywistym.

Oczywiście istnieją również pewne ograniczenia cyfrowego przetwarzania sygnałów dźwiękowych. Do podstawowych można zaliczyć:

- dużą wrażliwość na straty lub zaniki danych,
- potrzebne jest znacznie szersze pasmo kanału do przesyłania sygnału cyfrowego niż jego odpowiednika analogowego,
- pasmo systemu cyfrowego jest ograniczone do połowy częstotliwości próbkowania,
- systemy cyfrowego przetwarzania sygnałów fonicznych w czasie rzeczywistym wymagają użycia szybkich układów realizujących operacje obliczeniowe,
- jeśli mają być przetwarzane sygnały analogowe, to muszą być stosowane przetworniki a/c i c/a (dodatkowy koszt, błędy przetwarzania),
- układy cyfrowe zawsze wymagają zasilania, czyli są układami pobierającymi określoną moc.

2 KARTY DŹWIĘKOWE

Karty dźwiękowe są centralnym punktem każdego domowego studia nagrań. Warto więc zapoznać się dokładniej z ich budową i zasadą działania. Umożliwi to w pełni wykorzystanie możliwości współczesnych kart dźwiękowych, a są one niemałe.

Historia komputerów PC i generowanego przez nich dźwięku może nie jest zbyt długa, lecz z pewnością interesująca. Już w pierwszych komputerach PC z początku lat 80. XX wieku montowano głośniczki, które przez długie lata były jedynie namiastką tego, co może dzisiaj dokonać komputer w dziedzinie przetwarzania dźwięków. W 1986 roku pojawił się tzw. **Speech Thing** firmy Covox. Urządzenie to miało postać wtyczki wkładanej do portu drukarki i stanowiło jednokanałowy, ośmiobitowy przetwornik cyfrowo-analogowy. Umożliwiała jednak odtwarzanie cyfrowo zapisanych odgłosów. To dość kosztowne urządzenie składało się jedynie z kilku oporników i kondensatorów upakowanych do wtyczki od drukarki. W Polsce zaczęto masową produkcję tzw. Covoxów, czyli chałupniczych kopii Speech Thing, które szybko stały się bardzo popularne ze względu na niską cenę.

W 1987 roku firma AdLib zaprezentowała swoją kartę muzyczną do komputerów PC. Była to pierwsza karta, która naprawdę zyskała ogromną popularność. Później jej konstrukcję wykorzystano przy projektowaniu słynnego Sound Blaster. AdLib miała postać niewielkiej karty rozszerzenia ISA. Zastosowano w niej procesor Yamaha YM3812, który korzystał z syntezy dźwięku metodą modulacji częstotliwości (FM – *Frequency Modulation*). **Synteza FM** polega na mieszaniu paru fal różnych kształtów, otrzymujemy wówczas charakterystyczny, syntetyczny dźwięk. Syntezator karty AdLib zdolny był do generowania jednocześnie dziewięciu głosów instrumentalnych lub sześciu głosów instrumentalnych plus pięciu perkusyjnych (co dawało łącznie 11 głosów). Niestety, na ogół nie udawało się uzyskać dźwięku wiernie naśladowującego jakikolwiek instrument muzyczny. Sama synteza FM miała swą premierę na długo przed pojawieniem się kart AdLib. Od przeszło dziesięciu lat stosowano ją w branży muzycznej do muzyki elektronicznej (z syntezy FM korzystali m.in. Jean Michel Jarre oraz Mike Oldfield).

W 1989 roku firma Creative Music Systems (dziś znana jako Creative Labs) wyprodukowała kartę **Sound Blaster**. Karta zawierała syntezator FM, odtwarzała dźwięk mono z rozdzielczością 8 bitów. Sound Blaster można określić jako wzbogaconą o ośmiobitowy przetwornik cyfrowo-analogowy (c/a) i analogo-



wo-cyfrowy (a/c) kartę AdLib. Główny element karty stanowił ten sam procesor Yamahy, zatem możliwości muzyczne karty Sound Blaster nie zmieniły się w stosunku do karty AdLib. O jej popularności zdecydowała obecność przetworników c/a i a/c. Wreszcie możliwe było samodzielne zgrywanie cyfrowego dźwięku. Sound Blaster do swej monofonicznej muzyki potrafił też dodawać prawdziwe, cyfrowe efekty dźwiękowe. Karta zdobyła dzięki temu niezwykłą popularność.

Kolejny przełom nastąpił w 1992 roku, kiedy to znana jedynie z joysticków firma Gravis zaprezentowała pierwszą popularną, tanią kartę muzyczną WaveTable o nazwie UltraSound (zwaną GUS – *Gravis UltraSound*), z procesorem Gravis GF1. WaveTable (tablica fal) oznacza nową, rewolucyjną w tej klasie cenowej metodę generowania dźwięku, znaną wcześniej jedynie z bardzo drogiej, profesjonalnych instrumentów elektronicznych.

Z uwagi na sztuczne brzmienie generowanych dźwięków synteza FM nie nadawała się do zastosowań profesjonalnych. Z tego względu producenci sprzętu opracowali technikę **syntezy wavetable** (WT). Zasada działania syntezy WT jest bardzo prosta. W celu uzyskania brzmienia instrumentu, chip muzyczny nie generuje sztucznego dźwięku, lecz odtwarza jego oryginalny dźwięk, nagrany wcześniej w studiu. W praktyce nie ma możliwości zapisania w pamięci wszystkich dźwięków instrumentów. Chip muzyczny musi więc często obliczać wysokość i długość dźwięków na podstawie wzorcowych próbek. Z zadaniem tym poszczególne karty WT radzą sobie bardzo różnie. W niektórych modelach można np. uzyskać lepsze brzmienie instrumentów smyczkowych w innych instrumentów dętych. Naprawdę dobre brzmienie dla wszystkich odmian muzyki oferują kosztowne karty profesjonalne.

Firma Creative Labs, w krótkim czasie po premierze Gravisa, zaprezentowała własną kartę WaveTable – AWE32 z 32-głosowym procesorem EMU8000. AWE32 był pod względem budowy bardzo podobny do karty GUS, aczkolwiek nie był z nią absolutnie zgodny. Karta AWE32 umożliwiała jednak rozszerzenie pamięci na próbki dźwiękowe do bardzo dużej wówczas wielkości 28 MB.

Od 1998 roku standardem na rynku kart muzycznych stał się dźwięk przestrzenny. Wykorzystuje się go zarówno w grach jak i do kina domowego. W 1998 roku powstała karta Sound Blaster Live! – pierwsza wielokanałowa karta dźwiękowa, z własnym procesorem dźwiękowym EMU10K1 i nowym standardem dźwięku EAX.

W późniejszych wersjach kart znaczną poprawę jakości dźwięku uzyskano dzięki 24-bitowym sześciokanałowym przetwornikom cyfrowo-analogowym, generującym dźwięk o częstotliwości 96kHz. Karty z takimi przetwornikami mają stosunek sygnału do szumu (SNR) wynoszący ponad 100dB. To rekord jeżeli chodzi o karty dla użytkowników domowych. W kartach firmy Creative Labs zastosowano unikatowy mechanizm symulacji pogłosu EAX, który umożliwia generowanie czterech rodzajów efektów akustycznych:

- *Environment Morphing* – umożliwia naturalne przechodzenie dźwięku z jednego środowiska do drugiego ze zniekształcaniem brzmienia w czasie rzeczywistym, zgodnie z charakterystyką akustyczną każdego środowiska.
- *Panning* – umożliwia usłyszenie trójwymiarowej przestrzeni i lokalizowanie bliskich i odległych dźwięków.
- *Environment Reflections* – odtwarza naturalne zjawisko odbijania się dźwięku od powierzchni i powracania do słuchacza w pełnej przestrzeni trójwymiarowej.
- *Environment Filtering* – wykorzystuje górnoprzepustowe filtry dźwięku do dokładnej symulacji dźwięku ze środowisk wewnętrznych i zewnętrznych.

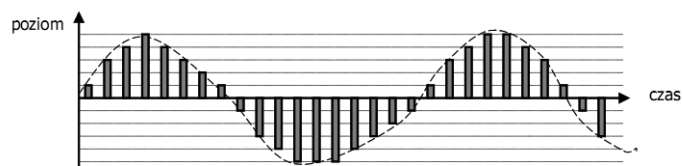
Budowa kart dźwiękowych

Karty dźwiękowe w zależności od stopnia złożoności i zaawansowania mogą zawierać różne elementy. Najważniejsze z nich to:

- **generator dźwięku** – występował w starszych kartach i był to zazwyczaj generator FM oraz generator szumu, służył do sprzętowego generowania dźwięków za pomocą modulacji i łączenia fal oraz szumu;
- **pamięć ROM lub półprzewodnikowa typu flash** – umożliwia przechowywanie danych (np. próbek wykorzystywanych do syntezy dźwięku);
- **przetworniki a/c i c/a** – umożliwiającej rejestrację i odtwarzanie dźwięku;
- **mikser dźwięku** – służy do łączenia sygnałów dźwięku z różnych źródeł, generatorów dźwięku, przetworników c/a, wejść zewnętrznych, itp.;
- **wzmacniacz wyjściowy** – służy do podłączenia słuchawek lub dopasowania linii wyjściowych przetwornika c/a;
- **interfejs do komputera** – służy do komunikacji i wymiany danych z kartą dźwiękową, zazwyczaj ISA, PCI lub USB;
- **procesor DSP** – służy do cyfrowej obróbki dźwięku, np. nakładania efektów;
- **interfejs MIDI** – służy do podłączania do komputera cyfrowych instrumentów muzycznych.



Jednym z najważniejszych elementów karty dźwiękowej jest **przetwornik analogowo-cyfrowy a/c** (ang. A/D – *Analog to Digital* lub ADC – *Analog to Digital Converter*). Układ ten służy do zamiany sygnału analogowego (ciągłego) pochodzącego od obiektów świata realnego na reprezentację cyfrową (sygnał cyfrowy). Przetwarzanie a/c składa się z dwóch etapów: próbkowania i kwantyzacji. Analogowy sygnał jest ciągły w czasie, więc konieczne jest przetworzenie go na ciąg liczb (rys. 1).



Rysunek 1.

Reprezentacja cyfrowa sygnału analogowego

To, jak często sygnał jest sprawdzany i, zależnie od jego poziomu, zamieniany na liczbę, jest określane mianem **częstotliwości próbkowania**. Innymi słowy można powiedzieć, że częstotliwość próbkowania jest odwrotnością różnicy czasu pomiędzy dwoma kolejnymi próbkami. Wiarygodne odwzorowanie sygnału jest możliwe do osiągnięcia, gdy częstotliwość próbkowania jest większa niż podwojona, najwyższa składowa częstotliwość sygnału przetwarzanego (twierdzenie Nyquista-Shannona). **Kwantowanie** polega na zastąpieniu wartości zmieniających się płynnie wartościami zmieniającymi się skokowo w odpowiedniej skali (dokładności) odwzorowania. Różnica pomiędzy wartością sygnału analogowego i skwantowanego to tzw. błąd kwantyzacji. **Rozdzielczość przetwornika** określa liczbę dyskretnych wartości jakie może on wytworzyć. Zwykle wyraża się ją w bitach. Przykładowo, przetwornik a/c, który potrafi przetworzyć próbkę sygnału na jedną z 256 wartości liczbowych ma rozdzielczość 8 bitów, ponieważ $2^8 = 256$. Rozdzielczość może być również wyrażona w woltach. Rozdzielczość napięcia przetwornika a/c jest równa jego całkowitej skali pomiaru podzielonej przez liczbą poziomów kwantyzacji.

Innym istotnym elementem karty dźwiękowej jest **procesor sygnałowy** (ang. *Digital Signal Processor*, procesor DSP). Jest to specjalizowany procesor do cyfrowej obróbki sygnałów. Procesory takie charakteryzują się rozdzielonymi pa-

mięciami programu i danych (architektura harwardzka), możliwością równoczesnego odczytu instrukcji i danych, sprzętowym dostosowaniem do wykonywania operacji najczęściej występujących przy przetwarzaniu sygnałów (filtracji FIR i IIR, transformacji Fouriera, korelacji wzajemnej) i potokowym przetwarzaniem instrukcji.

Wyjaśnienia wymaga też standard MIDI. **Musical Instrument Digital Interface (MIDI)** jest systemem (interfejs, oprogramowanie i zestaw komend) służącym do przekazywania informacji pomiędzy elektronicznymi instrumentami muzycznymi. MIDI umożliwia wymianę informacji między komputerem, syntezatorem, kartami dźwiękowymi i podobnymi urządzeniami. Standard MIDI został utworzony w 1983 roku w celu ujednoczenia cyfrowych syntezatorów. Wraz z rozwojem komputerów osobistych i technologii multimedialnych standard MIDI został zaadaptowany do komunikacji między komputerem a kartą dźwiękową. Umożliwiło to komponowanie muzyki oraz jej odtwarzanie tylko przy użyciu komputera z odpowiednim oprogramowaniem. MIDI definiuje standardy sprzętowe oraz język komend. Informacje przesyłane są za pomocą połączenia szeregowego. Przekazywana jest standardowa informacja składająca się z takich składowych, jak: wysokość dźwięku, natężenie dźwięku, modulacja itp. jednocześnie dla 16 kanałów. W ostatnim czasie szeregowy standard MIDI został zastąpiony przez MIDI USB, gdzie do komunikacji jest wykorzystywana magistrala USB.

Obecnie na rynku PC zewnętrzne karty muzyczne straciły dużo na znaczeniu. Dźwięk 4,5 kanałowy jest już standardem w kartach muzycznych zintegrowanych ze współczesnymi płytami głównymi. Pojawiają się w nich również procesory DSP do efektów 3D. Jakość wbudowanych kart dźwiękowych ciągle rośnie zadowalając swoimi możliwościami większość nabywców tak, że dodatkowy wydatek na naprawdę dobrą kartę muzyczną PCI, czy USB staje się zbędny.

Zadanie 1.

Do wykonania zadania jest potrzebny:

- komputer z zainstalowaną kartą dźwiękową i oprogramowanie do obsługi karty.

Należy zapoznać się z możliwościami karty dźwiękowej zainstalowanej w komputerze. W szczególności należy przyjrzeć się, jakie sygnały mogą



być doprowadzone do karty, a jakie wyprowadzone. Na tym etapie słuchacz powinien wiedzieć, jakiego rodzaju urządzenia można do karty dźwiękowej dołączyć i czy można przez niewłaściwe połączenia coś zepsuć. Ponieważ w dalszej części będziemy używali mikrofonów należy zastanowić się gdzie je przyłączyć i w jaki sposób.

W dalszej części należy zapoznać się z możliwościami karty dźwiękowej w zakresie przetwarzania dźwięków. Większość efektów dźwiękowych jest możliwa do uzyskania i przetestowania przy użyciu standardowego oprogramowania dostarczonego z kartą. Słuchacz powinien wiedzieć jakie efekty dźwiękowe można uzyskać, w szczególności czy karta dźwiękowa umożliwia utworzenie efektów: echa, pogłosu, symulacji akustyki różnych wnętrz. Wszystkie efekty dźwiękowe należy przetestować.

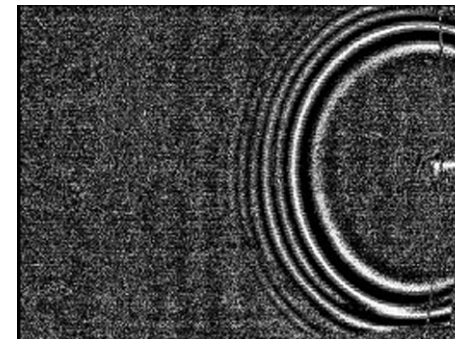
Następnie będzie testowany standard MIDI. Większość programów do obsługi kart dźwiękowych umożliwia uruchomienie klawiatury programowej. Korzystając z syntezy wavetable można zasymulować pianino i inne instrumenty, jak na przykład gitarę, perkusję. Należy użyć syntezy wavetable i, jeśli jest dostępna, syntezy FM i porównać jakość generowanego dźwięku. Do czego można wykorzystać standard MIDI ?

3 DŹWIĘK – PODSTAWOWE INFORMACJE

Przed rozpoczęciem przetwarzania sygnałów dźwiękowych na własnym komputerze warto jest wiedzieć, co to jest dźwięk i poznać podstawowe parametry charakteryzujące dźwięk. Interesujące jest również to, w jaki sposób człowiek odbiera dźwięki.

Fala dźwiękowa rozchodzi się jako podłużna fala akustyczna w danym ośrodku sprężystym: gazie, płynie (rys. 2). W ciałach stałych, takich jak metale, występuje również fala poprzeczna. Najczęściej mówimy o rozchodzeniu się dźwięku w powietrzu. Dźwięk, jako drgania cząsteczek, charakteryzuje się tym, że cząsteczka pobudzona przekazuje energię cząsteczce sąsiedniej, a sama drga wokół własnej osi. Skutkiem tego są lokalne zmiany ciśnienia ośrodka rozchodzące się falowo. Co ciekawe w wodzie dźwięk rozchodzi się znacznie szybciej

niż w powietrzu, a w próżni oczywiście nie rozchodzi się w ogóle. W potocznym znaczeniu **dźwięk** to każde rozpoznawalne przez człowieka pojedyncze wrażenie słuchowe.

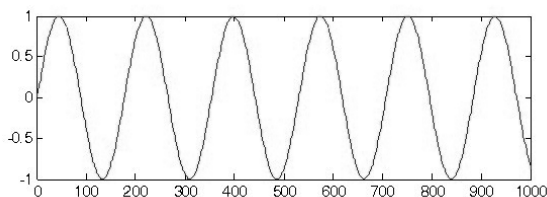


Rysunek 2.
Fala dźwiękowa

Zakres częstotliwości od 20Hz do 20kHz jest zakresem częstotliwości słyszalnych (fonicznych, audio). Dźwięki o częstotliwości mniejszej od 20Hz są nazywane **infradźwiękami**, zaś o częstotliwości większej od 20kHz – **ultradźwiękami**.

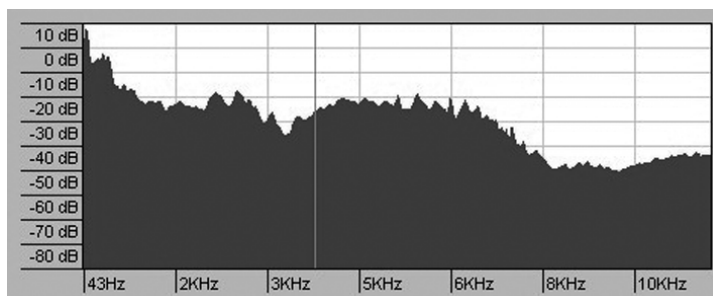
Elementarnym rodzajem dźwięku, dla którego fala dźwiękowa ma postać sinusoidy (rys. 3), jest **ton**. **Wysokość tonu** to atrybut wrażenia słuchowego, umożliwiający uszeregowanie dźwięków na skali niskie-wysokie. Przez **wysokość dźwięku** rozumie się częstotliwość drgań fali akustycznej – im wyższa częstotliwość drgań tym „wyższy” dźwięk. Dźwięki są najczęściej sygnałami złożonymi (występuje w nich wiele składowych sinusoidalnych o różnych amplitudach i częstotliwościach). Wysokość dźwięku, często utożsamiana z częstotliwością, w dużym stopniu zależy od niej, ale nie wyłącznie. Innymi czynnikami wpływającymi na wrażenie wysokości są m.in. natężenie dźwięku i współobecność innych tonów. Występują też różnice w postrzeganiu wysokości dźwięku między lewym i prawym uchem.

Bardzo często w analizie sygnału dźwiękowego korzysta się z jego częstotliwościowej reprezentacji. Mówimy wtedy o tzw. **widmie** sygnału dźwiękowego. Widmo sygnału dźwiękowego umożliwia zobrazowanie, jakie składowe sinusoidalne, będące funkcjami czasu, i o jakich częstotliwościach i amplitudach,



Rysunek 3.
Sygnał sinusoidalny

tworzą dany dźwięk. Na rys. 4 przedstawione jest przykładowe widmo sygnału dźwiękowego. Oś Ox reprezentuje częstotliwość składowych sinusoidalnych, w tym przypadku w zakresie 43 Hz – 12000 Hz. Na osi Oy można odczytać pośrednio informacje o amplitudach składowych sinusoidalnych.



Rysunek 4.
Widmo sygnału dźwiękowego

Układy przetwarzania czy odtwarzania dźwięku często w pewien sposób zniekształcają sygnał i wpływają na zawartość składowych sinusoidalnych w sygnale. Najczęściej nie jest to zjawisko pożądane. Dla układów fonicznych określa się charakterystyki częstotliwościowe – amplitudową i fazową, które są jednocześnie wyznacznikiem wprowadzanych przez układ tzw. **zniekształceń liniowych**. Charakterystyka amplitudowa powinna być maksymalnie płaska w funkcji częstotliwości (w paśmie układu). Natomiast charakterystyka fazowa powinna być maksymalnie liniowa w funkcji częstotliwości (również w paśmie układu). Zniekształcenia liniowe najczęściej można w pewien sposób sko-

rygować metodami analogowymi bądź cyfrowymi. Oprócz tego w układach fonicznych pojawiają się też zniekształcenia nieliniowe (np. po przejściu przez wzmacniacz akustyczny sygnału dźwiękowego mogą pojawić się składowe sinusoidalne, których wcześniej w sygnale w ogóle nie było). Takie zniekształcenia są trudne do skorygowania.

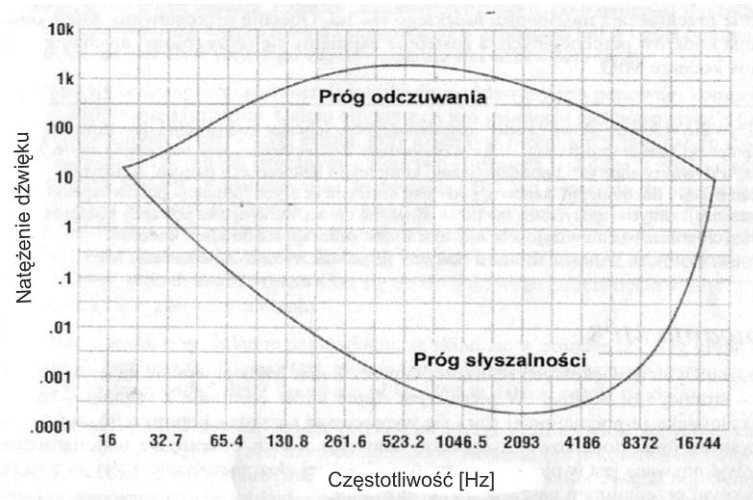
3.1 Zakres słyszalności

Głośność to taka cecha wrażenia słuchowego, która umożliwia uszeregowanie dźwięków na skali głośno-cicho. Teoretycznie ucho ludzkie potrafi odebrać i przetworzyć drgania o częstotliwości od 16 Hz do 20 kHz. Jest to jednak duże uproszczenie nie mające wiele wspólnego z rzeczywistością. Okazuje się, że powyższy zakres jest słyszalny tylko wtedy, gdy energia dźwięku jest duża. Przy cichych dźwiękach czułość ucha drastycznie maleje w obszarze częstotliwości poniżej 200 Hz oraz powyżej 8 kHz. W tych zakresach trudniej jest również rozróżnić wysokość dźwięku. Zakres częstotliwościowy percepcji dźwięków maleje też wraz z wiekiem.

Na wrażenie głośności dźwięku wpływa wiele dodatkowych czynników. Wrażenie głośności zależy od czasu trwania dźwięku. Dla krótkich czasów trwania dźwięków występuje efekt czasowego sumowania głośności. Natomiast dla czasów od ok. 1 sek. do ok. 3 min. dla dźwięków o niskim poziomie lub wysokiej częstotliwości głośność maleje ze wzrostem czasu trwania. Jest to efektem adaptacji głośności. W wyniku efektu sumowania głośności powiększenie szerokości pasma częstotliwościowego szumu białego powoduje wzrost głośności. Głośność szumu (i dźwięków złożonych) jest wyższa niż tonów (sinusoidalnych) o takim samym natężeniu dźwięku.

Próg słyszalności (próg absolutny, próg detekcji sygnału) jest to najmniejszy poziom ciśnienia akustycznego dźwięku, który wywołuje zaledwie spostrzegane wrażenie słuchowe wobec braku innych dźwięków. Najniższa wartość ciśnienia akustycznego (przy częstotliwości 1000 Hz) wykrywanego przez ucho ludzkie wynosi średnio 20 μPa (rys. 5). **Próg bólu** jest to wartość ciśnienia akustycznego, przy której ucho odczuwa wrażenie bólu. Jest ono prawie niezależne od częstotliwości i wynosi 140 dB dla dźwięków sinusoidalnych oraz 120 dB dla szumów. Wrażenie bólu wywołane jest reakcją mięśni bębenka i kosteczki ucha środkowego na impulsy wysokiego ciśnienia akustycznego. Reakcja ta ma na celu ochronę aparatu słuchowego przed ewentualnymi uszkodzeniami.





Rysunek 5.
Zakres słyszalności człowieka

Okazuje się, że człowiek nie wszystkie dźwięki o tym samym poziomie głośności słyszy jednakowo dobrze. Dźwięki bardzo niskie i bardzo wysokie są słyszane słabo, za to tony o częstotliwościach od 1KHz do 5KHz (mniej więcej zakres mowy ludzkiej) są słyszane wyjątkowo dobrze. Np. ton 10dB mający częstotliwość 1000Hz będzie przez większość ludzi świetnie słyszalny, ale ton 10dB o częstotliwości 25Hz chyba wszyscy „odbierzemy” jako ciszę. Uświadomienie sobie faktu, że nie wszystkie dźwięki o tej samej energii są przez ludzkie ucho rozpoznawane jako tak samo głośne, to dopiero początek problemów związanych z pojęciem głośności. Następnym problemem jest to, że ucho działa nieliniowo. Oznacza to, że dwa razy większe natężenie dźwięku wcale nie jest przez nas odbierane jako dwa razy głośniejszy dźwięk. Ucho dokonuje silnego spłaszczenia odczuwania głośności – dźwięk, który odczuwamy jako kilka razy głośniejszy od początkowego, ma w rzeczywistości energię dziesiątki, a nawet setki razy większą.

3.2 Ocena jakości dźwięku

Układ słuchowy, tak jak wzrokowy, jest instrumentem nieliniowym, a odbierane przez niego dźwięki są interpretowane w sposób subiektywny. Wpływ na sklasyfikowanie odbieranego dźwięku mają między innymi wspomnienia, wiedza, doświadcze-

nie i uszkodzenia narządu słuchowego. Subiektywna ocena jakości dźwięku przeprowadzona przez dwie osoby może dać zatem bardzo różny wynik.

Zadanie 2.

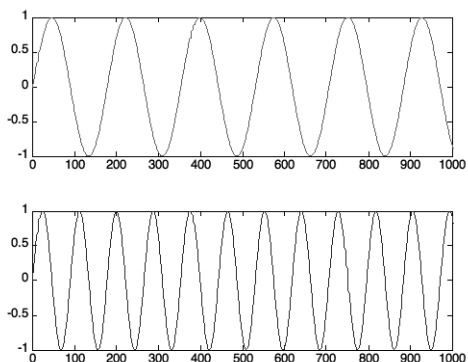
Do wykonania zadania jest potrzebny:

- komputer z zainstalowaną kartą dźwiękową,
- zestaw głośników komputerowych lub słuchawki.

W tym zadaniu będzie przeprowadzona demonstracja pasma przenoszenia głośniczków i jednocześnie krzywej słyszalności (w zakresie pasma przenoszenia głośników). Polega ona na odtworzeniu sygnałów sinusoidalnych o tej samej amplitudzie i różnych częstotliwościach (rys. 6).

Poszczególne prezentowane częstotliwości to: 40Hz, 60Hz, 100Hz, 500Hz, 2000Hz, 3000Hz, 8000Hz, 10000Hz, 16000Hz. Sygnały mają takie same amplitudy, więc wydawałoby się, że będą odbierane z taką samą głośnością. Jednak skrajne częstotliwości są bardzo słabo słyszalne. Sygnał o częstotliwości 3000Hz słychać najlepiej. Słuchając prezentowanych dźwięków można się łatwo zorientować jaki zakres częstotliwościowy sygnałów jest przenoszony przez układ złożony z komputera, karty dźwiękowej i głośników (lub słuchawek).

W drugiej części będziemy słuchać sygnałów sinusoidalnych o różnych amplitudach, np. 1, 2, 10, 100, ale o tej samej częstotliwości. Należy zaobserwować, czy sygnał o amplitudzie dwa razy większej będzie odbierany jako dwa razy głośniejszy. Dlaczego tak nie jest? Jak należy zwiększyć amplitudę sygnału dźwiękowego, żeby odebrać go jako dwa razy głośniejszy? Skale logarymiczne są szeroko stosowane w nauce i technice dla odwzorowania wielkości, które przyjmują wartości z szerokiego zakresu liczb. Wartość wielkości fizycznej mierzona w skali logarymicznej jest przekształcana za pomocą logarytmu. Wartości na skali logarymicznej są zawsze bezwymiarowe, to jest albo podawane w odniesieniu do pewnej jednostki, albo będące logarytmami wielkości niemianowanych. Skala musi również mieć zdefiniowaną używaną podstawę logarytmu. Dlaczego poziom natężenia dźwięku najlepiej przedstawiać na skali logarymicznej?



Rysunek 6.

Dwa sygnały sinusoidalne o tych samych amplitudach przy czym częstotliwość pierwszego sygnału jest dwa razy mniejsza niż drugiego

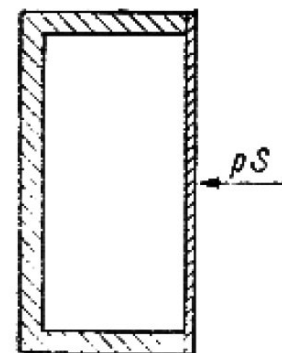
4 REJESTRACJA SYGNAŁÓW DŹWIĘKOWYCH

Aby możliwa była reprodukcja dźwięku, w większości przypadków jest konieczna najpierw rejestracja dźwięku. Do tego celu stosuje się mikrofony różnego typu, połączone z urządzeniami odbierającymi od mikrofonu sygnały elektryczne i rejestrującymi je. Mikrofon jest przetwornikiem elektroakustycznym, przetwarzającym sygnały akustyczne w sygnały elektryczne. Mikrofony można podzielić ze względu na rodzaj przetwornika (podział elektryczny): dynamiczne, pojemnościowe oraz ze względu na oddziaływanie pola akustycznego na membranę (podział akustyczny): ciśnieniowe, gradientowe, ciśnieniowo-gradientowe. Każdy mikrofon składa się z membrany odbierającej falę dźwiękową i przetwornika drgań membrany na zmiany wielkości elektrycznej, np. rezystancji, pojemności, napięcia. Najważniejszymi parametrami mikrofonów są: zakres przetwarzanych częstotliwości, czułość (zwana również skutecznością), charakterystyka kierunkowości.

Najprostsze mikrofony stykowe, czyli węglowe, składają się z puszek wypełnionej proszkiem węglowym przykrytej membraną stykającą się z proszkiem. Membrana drgająca pod wpływem fali akustycznej powoduje zmianę nacisku na proszek, a tym samym zmianę jego rezystancji. Mikrofony węglowe mają stosunkowo duże wymiary i masę, są używane w dawnego typu aparatach telefonicznych.

4.1 Podział akustyczny mikrofonów

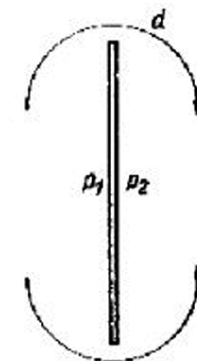
Mikrofony ciśnieniowe są wszechkierunkowe. Membrana w tych mikrofonach jest otwarta tylko z jednej strony (rys. 7). Zasada ich działania jest oparta na pomiarze ciśnienia akustycznego.



Rysunek 7.

Zasada działania mikrofonu ciśnieniowego

Mikrofony gradientowe mają charakterystykę dwukierunkową (ósemkową). W tych mikrofonach mierzony jest gradient (różnica) ciśnień pomiędzy dwiema stronami membrany (rys. 8).



Rysunek 8.

Zasada działania mikrofonu gradientowego; p_1 i p_2 – wartości ciśnienia akustycznego



Mikrofony ciśnieniowo-gradientowe są połączeniem mikrofonu gradientowego i ciśnieniowego. Ich charakterystyka kierunkowa zawiera się pomiędzy ósemką a kotłem. Szczególnie popularną grupą tego typu mikrofonów są mikrofony o charakterystyce kardioidalnej.

4.2 Podział mikrofonów ze względu na rodzaj przetwornika

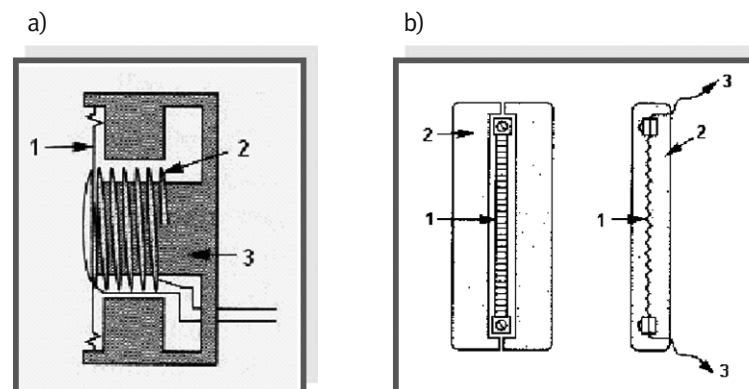
W mikrofonach magnetoelektrycznych (dynamicznych) wykorzystuje się zjawisko indukcji magnetycznej. Do membrany jest przyklejona lekka cewka umieszczona w szczelinie magnesu trwałego. Podczas drgań membrany mikrofonu, w uzwojeniu cewki indukuje się siła elektromotoryczna o częstotliwości równej częstotliwości drgań membrany.

Mikrofony dynamiczne można podzielić na:

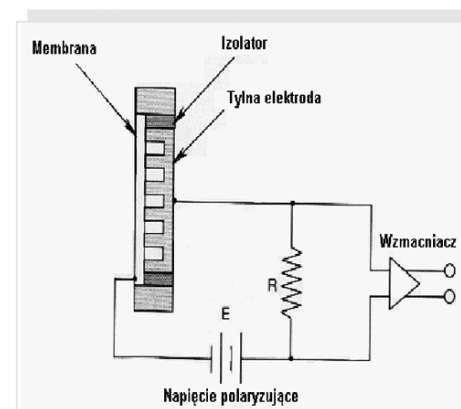
- **cewkowe** – fala akustyczna oddziałuje na membranę połączoną z cewką, umieszczoną w polu magnesu trwałego. Drgania cewki powodują powstanie zmiennego sygnału elektrycznego proporcjonalnego do zmian padającej fali (rys. 9a);
- **wstęgowo** – padająca fala akustyczna pobudza do drgań wstęgę umieszczoną w polu magnetycznym, co powoduje powstanie proporcjonalnego do niej sygnału elektrycznego (rys. 9b).

W przypadku **mikrofonu pojemnościowego** membrana oraz tylna elektroda są naładowane elektrostatycznie. Drgania membrany powodują zmiany napięcia pomiędzy nią i drugą elektrodą, proporcjonalnie do padającej fali. W zależności od sposobu polaryzacji elektrod wyróżniamy mikrofony: z polaryzacją zewnętrzną oraz z polaryzacją wewnętrzną (elektretowe).

Mikrofony pojemnościowe (rys. 10) mają małe wymiary i masę, prostą budowę i małą wrażliwość na wstrząsy. Wychylenia membrany tych mikrofonów są bardzo małe – dochodzą najwyżej do kilku tysięcznych części mikrometra. Mikrofon pojemnościowy, jako przetwornik dźwięku na napięcie, wymaga spolaryzowania napięciem wstępnym. Bardzo wygodne w stosowaniu są mikrofony pojemnościowe z polaryzacją wewnętrzną – tzw. **mikrofony elektretowe**. Membrana w mikrofonach elektretowych jest wykonana z folii elektretowej pokrytej od strony zewnętrznej warstwą metalu (jest to jedna okładzina naładowanego kondensatora). Drugą okładziną kondensatora jest sztywna płytka (rys. 11). Mikrofony pojemnościowe są powszechnie stosowane w przenośnych urządzeniach do nagrywania dźwięków, np. w magnetofonach, wideokamerach itp.

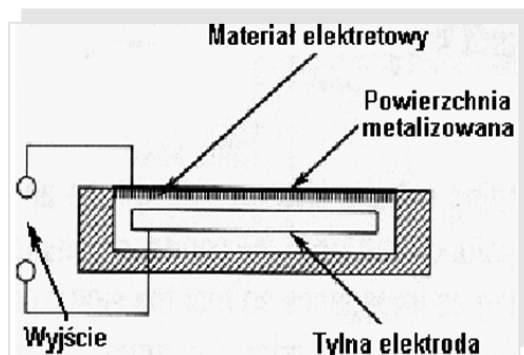


Rysunek 9. Mikrofony dynamiczne: a) cewkowe 1- membrana 2 – cewka 3 – magnes b) wstęgowo 1 – wstęga 2 – magnes 3 – transformator



Rysunek 10. Zasada działania mikrofonu pojemnościowego

Wiele typów mikrofonów wymaga zasilania. Mikrofony pojemnościowe są tu wymieniane na pierwszym miejscu. Zasilanie jest używane do polaryzacji jednej z okładek kondensatora mikrofonu pojemnościowego, ale również w układach wewnętrznych przedwzmacniaczy. Mikrofony elektretowe teoretycznie nie wymagają zasilania. Są jednocześnie tanie i wygodne w użytku. Jednak niektórzy producenci zasto-



Rysunek 11.

Zasada działania mikrofonu elektretowego

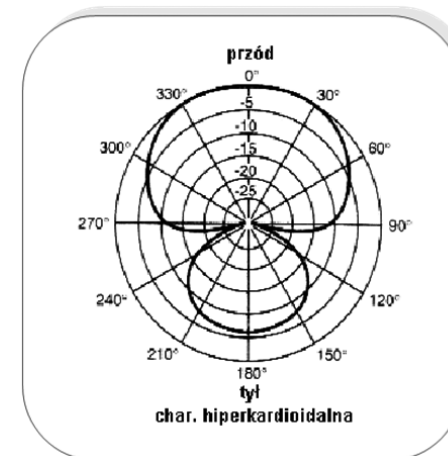
sowali w nich wewnętrzne przedwzmacniacze, które mogą wymagać zasilania. Takie mikrofony mają znacznie wyższą czułość

4.3 Parametry mikrofonów

Parametry mikrofonów zmieniają się wraz z częstotliwością. Dlatego większość z nich jest podawana w postaci charakterystyk częstotliwościowych. Najważniejsze z nich to: charakterystyka kierunkowa, charakterystyka widmowa, czułość, impedancja.

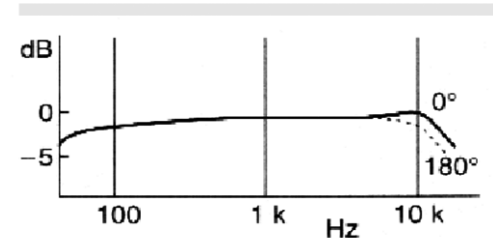
Charakterystyka kierunkowa określa obszar, z jakiego zbierany jest sygnał o jednakowym poziomie (rys. 12). Wyróżnia się pięć podstawowych charakterystyk: dookólną (wszechkierunkową), ósemkową (dwukierunkową), kardioidalną, superkardioidalną oraz hiperkardioidalną. Charakterystyka kierunkowości mikrofonu zależy głównie od konstrukcji jego obudowy. Mikrofony o silnej kierunkowości są wykorzystywane np. przy nagrywaniu wywiadów w miejscach publicznych, nagrywaniu śpiewu ptaków itp.

Z kolei **charakterystyka widmowa** określa poziom sygnału na wyjściu mikrofonu w funkcji częstotliwości (rys.13). Najbardziej wierne przetwarzanie sygnału uzyskuje się w przypadku płaskiej charakterystyki widmowej. Często jednak mikrofony są dedykowane do przetwarzania konkretnych dźwięków, np. mowy, instrumentów perkusyjnych, itd. Mikrofony mają wtedy specjalnie dobrane charakterystyki widmowe, tak aby najlepiej wydobyć w sygnału pożądane częstotliwości.



Rysunek 12.

Przykładowa hiperkardioidalna charakterystyka kierunkowa mikrofonu



Rysunek 13.

Przykładowa charakterystyka widmowa mikrofonu

Czułość mikrofonu jest wyznacznikiem napięcia generowanego przez mikrofon przy danym ciśnieniu akustycznym. Mikrofony pojemnościowe mają czułość ok. 5mV/Pa, dynamiczne wstęgowe – 1mV/Pa, a dynamiczne cewkowe – 2mV/Pa.

Impedancja mikrofonu oznacza efektywną rezystancję wyjściową przy częstotliwości 1kHz. Przeważnie zawiera się w granicach 150-600Ω, w zależności od mikrofonu.



4.4 Techniki mikrofonowe

Technikami mikrofonowymi nazywa się dobór rodzaju i sposobu ustawienia mikrofonów przy nagrywaniu, które umożliwiają uzyskanie pożądanego efektu. Obok zastosowania mikrofonu do każdego instrumentu z osobna, najczęściej stosuje się stereofoniczne techniki mikrofonowe, mające na celu odwzorowanie lokalizacji źródeł dźwięku.

Technika WM polega na zastosowaniu oddzielnego mikrofonu dla każdego źródła dźwięku. Dzięki ustawieniu mikrofonu blisko źródła, minimalizuje się wpływ pomieszczenia na sygnał. Ponadto, gdy sygnał pochodzi z wielu różnorodnych źródeł (np. orkiestra symfoniczna), takie ustawienie umożliwia ograniczenie wpływu poszczególnych rodzajów źródeł na siebie. Liczba oraz sposób ustawienia mikrofonów w tej technice zależy od instrumentu, który ma być rejestrowany.

Technika XY polega na ustawieniu na jednym statywie dwóch mikrofonów o charakterystyce kardoidalnej lub ósemkowej pod kątem +/- 45 stopni do osi frontalnej. Lokalizacja źródła jest zdeterminowana różnicą napięć w poszczególnych kanałach. Mikrofony powinny być tego samego typu i producenta. Kąt rozstawu osi mikrofonów powinien zawierać się w granicach 60-135° (najczęściej 90°). Użycie mikrofonów o charakterystyce ósemkowej umożliwia pełniejsze odtworzenie klimatu akustycznego panującego w danym pomieszczeniu.

Technika MS (ang. *Middle and Side*) – w tym przypadku używa się dwóch mikrofonów: jednego o charakterystyce kardoidalnej, drugiego o ósemkowej lub dwóch mikrofonów o charakterystyce ósemkowej. Mikrofon M (*middle*, kardioida lub ósemka) zbiera dźwięk bezpośredni, zaś S (*side*, ósemka) – dźwięk odbity oraz otaczający. Zmieniając proporcje między poziomami sygnałów z mikrofonów M i S można uzyskiwać różne efekty brzmieniowe, polegające na zmianie panoramy nagrania.

W technice **AB** ustawia się dwa mikrofony w odległości od 17 cm do 1,5 m między nimi. Mikrofony powinny mieć taką samą charakterystykę i być tego samego typu. W systemie tym wykorzystuje się różnice czasowe i amplitudowe sygnałów dochodzących do poszczególnych mikrofonów, aby wytworzyć obraz stereofoniczny. Wadą tej techniki jest wrażliwość na różnice faz w poszczególnych kanałach.

Zadanie 3.

Do wykonania zadania jest potrzebny:

- komputer z zainstalowaną kartą dźwiękową i zestawem głośników komputerowych,
- mikrofon elektretowy, dynamiczny, pojemnościowy,
- wzmacniacz mikrofonowy i/lub prosty mikser kanałów.

Należy zapoznać się z wyglądem i budową mikrofonów: elektretowego, dynamicznego, pojemnościowego. Czy można poznać po wyglądzie rodzaj mikrofonu? Należy wiedzieć, który mikrofon można podłączyć bezpośrednio do karty dźwiękowej, a który wymaga zastosowania wzmacniacza mikrofonowego. Który typ mikrofonu wymaga dodatkowego zasilania?

Następnie należy zapoznać się z obsługą wzmacniacza mikrofonowego i miksera kanałów. W jaki sposób przyłączyć do nich mikrofony i jak dołączyć urządzenia do komputera? Na koniec należy wykonać wszystkie połączenia.

W następnym kroku spróbujemy zarejestrować sygnały dźwiękowe przy użyciu różnych mikrofonów i konfiguracji sprzętu. Przechwytywanie dźwięku z mikrofonów umożliwia program obsługi karty dźwiękowej. Można zrealizować dowolne nagrania. Jednym z nagrań będzie odliczanie do pięciu (liczymy 0, 1, 2, 3, 4, 5 wolno i wyraźnie). Wykorzystamy to nagranie później w przetwarzaniu cyfrowym dźwięku. Przy okazji realizacji nagrań należy ustawić różne parametry nagrywania: rozdzielczość bitową i częstotliwość próbkowania. Jak te parametry wpływają na jakość nagranego dźwięku?

Na koniec należy porównać jakość nagrań dźwiękowych uzyskanych przy użyciu różnych typów mikrofonów. Które z tych nagrań jest najlepszej jakości i dlaczego?

Jeśli wzmacniacz mikrofonowy lub mikser kanałów umożliwia podłączenie dwóch mikrofonów monofonicznych jednocześnie, to należy zmiksować (połączyć) dwa kanały monofoniczne w jeden kanał. Czy w ten sposób możemy uzyskać dźwięk stereofoniczny i czy umiejscowienie mikrofonów ma w tym wypadku duże znaczenie?

5 SYSTEM CYFROWEGO PRZETWARZANIA SYGNAŁU FONICZNEGO

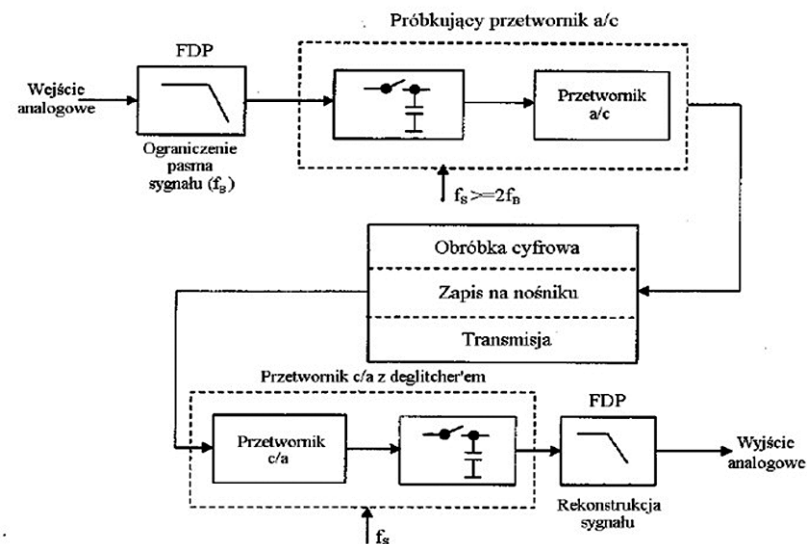
Sygnał uzyskiwany z mikrofonu i sygnał dostarczany do głośnika jest ciągłym w czasie sygnałem fonicznym, który może przyjmować dowolne wartości w określonym zakresie zmian, czyli jest sygnałem analogowym. Analogowe systemy foniczne operują bezpośrednio na sygnałach analogowych. Natomiast cyfrowe systemy foniczne, które operują na sygnałach cyfrowych (zera-jedynkowych) muszą zawierać przetworniki analogowo-cyfrowe (a/c) i cyfrowo-analogowe (c/a), a także często związane z nimi filtry cyfrowe. **Filtrem cyfrowym** nazywamy algorytm realizowany przez program komputerowy lub układ cyfrowy, który w reakcji na ciąg próbek sygnału podanego na swoje wejście odpowiada ciągiem próbek wyjściowych, zgodnie z określoną wcześniej funkcją przejścia.

Analogowe sygnały foniczne (mikrofonowe po wzmocnieniu) są najpierw zamieniane na sygnały cyfrowe, które są zapisywane, poddawane obróbce, przechowywane lub transmitowane przy użyciu metod cyfrowych, a następnie są z powrotem zamieniane na sygnały analogowe (wzmacniane i odtwarzane za pomocą głośników). Obecnie w cyfrowej technice fonicznej są stosowane dwa podstawowe rodzaje wielobitowych (16 – 24 bitowych) przetworników a/c i c/a:

- konwencjonalne przetworniki a/c i c/a z kwantyzatorami wielobitowymi, które mogą pracować z nadpróbkowaniem i wówczas jest wymagana filtracja cyfrowa,
- przetworniki a/c i c/a z kilkubitowymi modulatorami sigma-delta (zwanymi też deltasigma), które muszą pracować z nadpróbkowaniem połączonym z kształtowaniem szumu kwantyzacji i filtracją cyfrową.

Uzyskiwany sygnał cyfrowy ma postać ciągu zakodowanych słów cyfrowych o określonej liczbie bitów (rozdzielczości), powtarzanych z częstotliwością próbkowania. Zamianę analogowego sygnału fonicznego na cyfrowy wykonuje przetwornik analogowo-cyfrowy (a/c), natomiast przekształcenie odwrotne, czyli zamianę cyfrowego sygnału fonicznego na ciągły w czasie sygnał analogowy wykonuje przetwornik cyfrowo-analogowy (c/a).

Na rys. 14 przedstawiono typowy system cyfrowego przetwarzania sygnału fonicznego i podstawowe operacje wykonywane na tym sygnale. FDP oznacza blok dolnoprzepustowych filtrów analogowych. Układ próbkująco-pamiętający



Rysunek 14.

System cyfrowego przetwarzania sygnału fonicznego

zwany deglitcher'em na wyjściu przetwornika c/a służy do usuwania zakłóceń szpilkowych (krótkie i gwałtowne wzrosty napięcia).

Przetworniki a/c i c/a stosowane w cyfrowych systemach zapisu i odtwarzania dźwięku oprócz typowych wymagań dotyczących dynamiki (zależnej od rozdzielczości kwantyzatora) i pasma (zależnego od częstotliwości próbkowania) muszą spełniać ponadto specyficzne wymagania dotyczące takich parametrów, jak współczynnik zawartości harmoniczných plus szum (THD+N) i stosunek sygnału do szumu (SNR), które dają ogólny opis właściwości dynamicznych przetworników i mają istotny wpływ na jakość dźwięku. Z tych względów tworzą odrębną klasę układów scalonych, tj. fonicznych przetworników a/c i c/a (najczęściej monolitycznych, rzadziej hybrydowych).

6 STUDIA NAGRAŃ DŹWIĘKOWYCH

W początkowej historii zapisu dźwięku w grę wchodził wyłącznie dźwięk bezpośredni (wynalazek Edisona). W późniejszym okresie wymagania słuchaczy



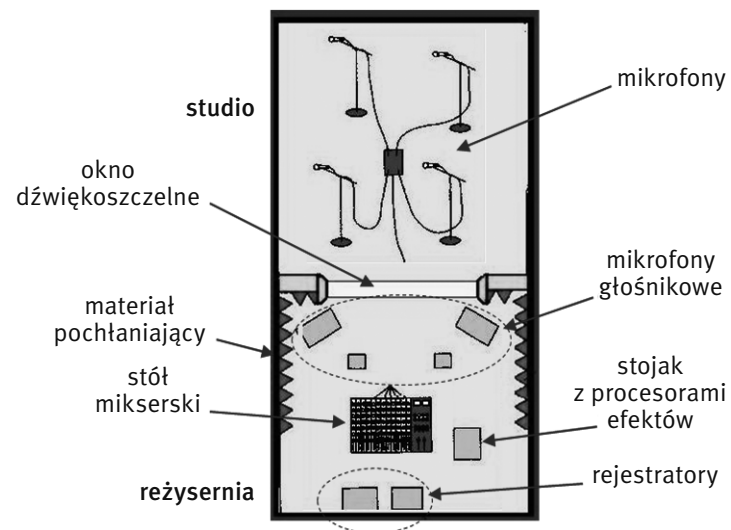
wyraźnie wzrosły, zaczęto odczuwać potrzebę słuchania muzyki odtwarzającej wrażenia z sali koncertowej. Uzyskanie możliwości rejestracji atmosfery akustycznej wnętrza miało poważne konsekwencje dla estetyki nagrań. Do 1925 roku w nagraniach nie wykorzystywano akustyki studia, ani sal koncertowych. Również potem robiono nagrania w bardzo bliskich planach, ustawiając mikrofony, jak wcześniej tubę, bezpośrednio przed muzykami, chcąc uniknąć „roz-mazującego” działania atmosfery akustycznej. Jednak szybko dostrzeżono urok dźwięku rozproszonego.

Za jedno z pierwszych nagrań, w którym akustyka wnętrza odgrywa ważną rolę, uważa się I symfonię Beethovena w wykonaniu berlińskiej Staatsoper pod dyrekcją Otto Klemperera z roku 1927. Kilka lat później Klemperer zrealizował, również z udziałem Staatsoper z Berlina, podobne akustycznie nagranie opery Salome Richarda Straussa. Od tej pory na płytach było coraz więcej dźwięku filharmonicznego. Pojawiła się w ten sposób druga „szkoła”. Edison chciał przenieść muzyków do domu słuchacza, teraz próbowano przenieść słuchacza do sali koncertowej. I w jednym, i w drugim przypadku decydującą rolę dla postawy estetycznej odgrywała technika. Ale po wprowadzeniu elektrycznej metody dawała ona możliwość wyboru. Budowane w latach 30. XX wieku studia, przybierały często postać sal koncertowych o charakterystyce akustycznej tradycyjnych wnętrz filharmonicznych. Ustawienie mikrofonów w pewnej odległości od źródeł dźwięku sprzyjało docieraniu do nich również dźwięku rozproszonego. Obecnie uzyskanie zapisu dźwięku z uwzględnieniem efektów przestrzennych nie musi się wiązać z tak wielkimi nakładami finansowymi, jak niegdyś. Zastosowanie cyfrowej techniki obróbki dźwięku za pomocą komputerów i specjalizowanych układów DSP do przetwarzania dźwięku umożliwia zaprojektowanie dobrych efektów w normalnym studiu.

Budowa studia nagrań jest przedstawiona na rys. 15. Ogólnie takie studio składa się z dwóch części: studia, w którym jest realizowane nagranie oraz reżyserni. Studia, w którym realizowane są nagrania można podzielić na:

- studia ogólnego przeznaczenia – składają się zwykle z dwóch części: wytłumionej, tzw. *dead-end*, gdzie średni czas pogłosu wynosi ok. 0,1s oraz tzw. *live-end*, gdzie czas pogłosu jest większy;
- studia do nagrań mowy – małe rozmiary (rzędu 20-30 m²); średni czas pogłosu w tego typu pomieszczeniach waha się w granicach 0,35-0,45s;
- studia do nagrań muzyki rozrywkowej – charakteryzują się małym czasem pogłosu (do 0,4s);

- studia do nagrań muzyki orkiestrowej – powinny mieć duże rozmiary i charakteryzować się dużym czasem pogłosu (1-3s); akustyczne właściwości takiego pomieszczenia powinny naśladować właściwości akustyczne sal koncertowych;
- studia telewizyjne i filmowe – studia takie powinny charakteryzować się małym czasem pogłosu ze względu na znaczne (kilka metrów) oddalenie od źródeł dźwięku oraz potrzebę redukcji wpływu niepożądanych dźwięków (np. wentylacja, dźwięk związany z ruchem kamer itp.).



Rysunek 15.
Studio nagrań dźwiękowych

Drugą bardzo istotną częścią studia nagrań jest reżysernia. Powinna ona mieć rozmiary umożliwiające właściwą obróbkę i odsłuchiwanie realizowanego materiału dźwiękowego.

Do typowego sprzętowego wyposażenia reżyserni należą:

- stół mikserski (używa się również nazw konsola lub konsoleta reżyserska),
- monitory głośnikowe (ewentualnie słuchawki),
- zewnętrzne procesory dźwięku oraz wzmacniacze,

- urządzenia do zapisu sygnałów fonicznych (magnetofony dwuśladowe oraz wielośladowe, nagrywarki płyt CD-R/RW, twarde dyski).

Stół mikserski jest kluczowym elementem reżyserni. Jego zadaniem jest dopasowanie poziomów sygnałów fonicznych pochodzących z różnych źródeł. Do podstawowych operacji, jakie można na sygnale wykonać należą: regulacja poziomu, miksowanie oraz przełączanie. Z tych wymienionych tylko regulacja poziomu jest ściśle przyporządkowana pojedynczemu torowi obróbki. Dwie pozostałe operacje dokonują przemieszania pomiędzy torami. Każdy stół zawiera także część operacyjną z elementami służącymi do wykonywania bardziej złożonych czynności.

Tor foniczny stołu mikserskiego jest przedstawiony na rys. 16. Składają się nań następujące elementy:

- **sekcja wejściowa** – służy do optymalizacji poziomu sygnału wejściowego (wyrównywanie poziomu sygnałów z wejść mikrofonowych i liniowych);
- **sekcja dodatkowa** – służy do wysyłania sygnałów bezpośrednio z sekcji wejściowej do urządzeń zewnętrznych;
- **equalizer (EQ)** – sekcja korektorów charakterystyki częstotliwościowej, przynajmniej w trzech podpasmach pasma częstotliwości akustycznych, regulacja za pomocą potencjometrów;
- **sekcja monitorów głośnikowych** – umożliwia odpowiednie wysterowanie i optymalne ustawienie panoramy sygnału wysyłanego do monitorów głośnikowych;
- **główny tłumik wyjściowy** – umożliwia zmianę poziomu sygnału ze wszystkich kanałów z zachowaniem proporcji pomiędzy nimi;
- **sekcja wskaźników wysterowania** – pokazuje poziom sygnału wyjściowego.



Rysunek 16.
Tor foniczny stołu mikserskiego

Wśród procesorów dźwięku można wyróżnić następujące urządzenia:

- **procesory dynamiki** – urządzenia do kształtowania zakresu dynamiki sygnału w celu dostosowania go do możliwości toru fonicznego lub poprawienia akustycznych parametrów sygnału. Należą do nich:
 - **kompresor** – umożliwia zmniejszenie dynamiki sygnału poprzez zmniejszenie wzmocnienia głośniejszych sygnałów przy pozostawieniu oryginalnego wzmocnienia sygnałów cichych,
 - **limiter** – działa podobnie jak kompresor z tym, że nie przepuszcza praktycznie sygnałów o poziomie większym niż pewien próg,
 - **ekspander** – działa odwrotnie do kompresora (w zasadzie nie jest wykorzystywany oddzielnie, tylko w powiązaniu z kompresorem tworzą układ zwany kompandem);
- **bramka szumowa** – służy do usuwania niepożądanego szumu. Jeżeli sygnał spada poniżej określonego poziomu, nie pojawia się na wyjściu;
- **układ automatycznej regulacji wzmocnienia** – zmienia poziom sygnału do pożądanej wartości (tzn. wzmacnia sygnały o poziomie niższym od pożądanej wartości, a osłabia te o poziomie wyższym);
- **procesory efektowe** – służą do zmiany właściwości czasowych i przestrzennych sygnału, a także zmiany wysokości dźwięku np.:
 - **pogłos (reverb)** i **opóźnienie (delay)** – kształtują właściwości czasowe sygnału. Pierwszy z nich polega na dodaniu do sygnału wygenerowanych losowych ech, które następują po sobie na tyle szybko i jest ich na tyle dużo, że ucho ludzkie traktuje całość jako stopniowo zanikający sygnał. Opóźnienie polega na dodaniu sygnału wejściowego opóźnionego o wybraną wartość czasową oraz z wybranym poziomem do nieopóźnionego sygnału wejściowego,
 - **zmiana wysokości dźwięku (pitch-shift)** – polega na przepróbkowaniu sygnału wejściowego (zwiększenie lub zmniejszenie częstotliwości próbkowania), a następnie transmisji tak przetworzonego sygnału z ustaloną częstotliwością próbkowania,;
- **wzmacniacze zewnętrzne** – oprócz przedwzmacniacza w stole mikserskim, stosuje się również: przedwzmacniacze do mikrofonów – wyrównują poziom sygnału z mikrofonu do poziomu sygnałów liniowych, wzmacniacze mocy



– umożliwiają odpowiednie wzmocnienie sygnału podawanego do monitorów głośnikowych.

Sygnaty po ewentualnej wstępnej korekcji są następnie rejestrowane za pomocą jednego z urządzeń zapisujących. Przy zapisie na żywo miksowanie może odbywać się podczas gry muzyków. Wystąpienie błędu w miksowaniu, np. wskutek nieprawidłowej nastawy poziomu jednego z sygnałów, wymaga jedno- lub nawet kilkukrotnego powtórzenia wykonania utworu przez muzyków, aż do uzyskania właściwego zrównoważenia. Lepszym, aczkolwiek kosztowniejszym rozwiązaniem jest użycie rejestratora wielościeżkowego, mogącego zapisywać na taśmie zwykle w grupach po osiem, tj. od 8 do 48 ścieżek. Sygnaty z mikrofonów zapisane na indywidualnych ścieżkach mogą być zmiksowane w trybie *off-line*, czyli po zakończeniu nagrania. Na odseparowanych ścieżkach zapisuje się wówczas poszczególne instrumenty, różne grupy instrumentów lub głosy. Zapis sygnałów może się także odbywać w stole mikserskim, jeśli ma on wbudowany rejestrator wielościeżkowy. Zapis wielościeżkowy umożliwia również dodatkowe, późniejsze dogrywanie instrumentów lub głosów na wolnych ścieżkach. Muzycy wykonujący dogrywane partie również mogą odsłuchiwać wcześniej zapisane ścieżki. W razie potrzeby (np. błędu) proces dogrywania może być powtórzony. W ten sposób realizator tworzy ostateczną wersję nagrania.

Po zakończeniu faz rejestracji i dogrywania rozpoczyna się faza miksowania. Podczas miksowania uprzednio zapisane ścieżki w rejestratorze wielościeżkowym są wybierane i łączone przy użyciu stołu mikserskiego. Operacje te wykonuje realizator dźwięku, który odsłuchując kilkukrotnie zapisaną taśmę może dokonywać regulacji poziomu, zrównoważenia tonalnego, panoramowania, a także dodawać efekty dźwiękowe wytwarzane elektronicznie za pomocą procesora efektów (przyłączonego do stołu mikserskiego) w celu uzyskania odpowiedniej wartości artystycznej nagrania. Dźwięk zmiksowany w dół (mixdown) do dwóch (stereo) lub kilku kanałów dookólnych, może być zapisany jako ostateczny „master” za pomocą rejestratora 2-ścieżkowego lub wielościeżkowego. Rejestratorem może być magnetofon kasetowy lub szpulowy, magnetofon DAT lub dysk twardy komputera. Po zmiksowaniu w dół wszystkich utworów projektowanego nagrania, materiał muzyczny jest poddawany dalszej obróbce, czyli edycji, masteringowi i powielaniu (np. w postaci tłoczonych płyt CD), aby uzyskać gotowy produkt rynkowy.

Zadanie 4.

Do wykonania zadania jest potrzebny:

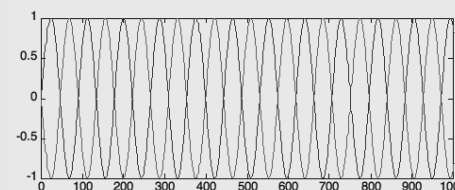
- komputer z zainstalowaną kartą dźwiękową i zestawem głośników komputerowych,
- program do przetwarzania dźwięku Audacity.

W tym ćwiczeniu poznamy, jak powstają proste efekty dźwiękowe, co można uzyskać przez zastosowanie filtrów cyfrowych w obróbce dźwięku i jak przeprowadzić prosty montaż sygnału dźwiękowego.

Program Audacity, rozpowszechniany na licencji freeware (za darmo), to zaawansowany i wielościeżkowy edytor plików dźwiękowych. Jest wyposażony w rozbudowane menu efektów – dostępny jest między innymi kompresor, echo, podbicie basów, equalizer, filtry, odszumiacz, wyciszenie i wiele innych. Na początku zapoznamy się z możliwościami tego programu.

W następnym kroku zapoznamy się w techniką tworzenia prostych efektów dźwiękowych. Efekty te wykorzystują łączenie dwóch lub więcej kanałów sygnału dźwiękowego.

Najprostszym efektem dźwiękowym, który będzie zademonstrowany przez prowadzącego, jest dodanie do siebie dwóch sygnałów sinusoidalnych będących w przeciwfazie (rys. 17). W momencie kiedy dodamy do siebie sygnały elektryczne otrzymamy sygnał wynikowy zero. Co uzyskamy jeśli dodamy do siebie sygnały akustyczne? Jeśli kanał lewy odtwarza jedną sinusoidę, a kanał prawy drugą (przesuniętą o 180°) to po zbliżeniu głośniczków do siebie można usłyszeć, że głośność dźwięku wyraźnie spada. Sygnały akustyczne również podlegają sumowaniu. Nie użyjemy jednak w ten sposób ciszy.

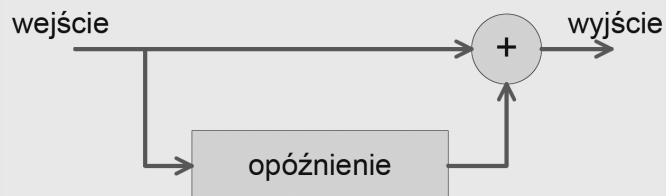


Rysunek 17.

Dwa sygnały sinusoidalne będące w przeciwfazie

W następnym kroku słuchacze samodzielnie stworzą efekt echa i pogłosu.

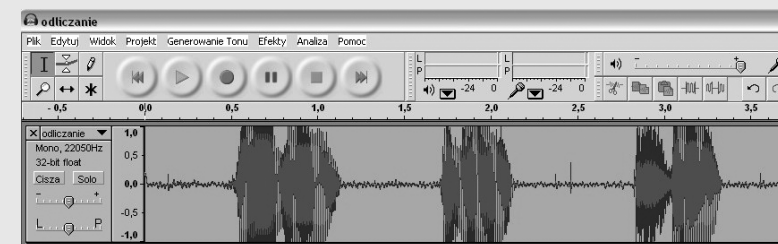
W momencie kiedy chcemy stworzyć efekt echa do sygnału oryginalnego, należy dodać sygnał opóźniony o mniejszej amplitudzie (sygnał dodawany jest jeden raz). Ilustracja sposobu postępowania podana na rys. 18.



Rysunek 18.

Ilustracja graficzna tworzenia efektu echa

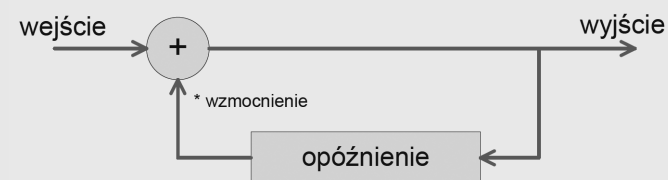
Aby utworzyć efekt echa w programie Audacity należy wgrać do programu (Plik → Otwórz) nagrany wcześniej sygnał odcliczania do pięciu Na ekranie zostanie wyświetlony przebieg czasowy tego sygnału (rys. 19). Po lewej stronie są wyświetlone parametry, z jakimi nagrany był dźwięk. Używając myszki można zaznaczać dowolne fragmenty nagrania. Z lewej strony z góry widoczna jest paleta z narzędziami. Wykorzystując narzędzia z palety można zaznaczać, przesuwać, wycinać fragmenty sygnałów. Narzędzie obwiednia służy do zmiany głośności sygnału. Żeby uzyskać efekt echa należy zaznaczyć cały, wgrany wcześniej, sygnał i skopiować go do nowej ścieżki audio (Projekt → Nowa ścieżka audio). Następnie korzystając z narzędzia przesuwania w czasie, należy przesunąć cały sygnał w nowej ścieżce w stosunku do sygnału pierwotnego. Narzędzie obwiednia pozwoli dostosować głośność sygnału. Po odtworzeniu obu ścieżek na raz uzyskujemy efekt echa. Efekt echa będzie brzmiał bardzo różnie w zależności od stopnia przesunięcia i głośności sygnału w stworzonym nowym kanale. Gotowy efekt należy zapisać w pliku na dysku.



Rysunek 19.

Okno programu Audacity z wgranym sygnałem dźwiękowym

Pogłos uzyskuje się w podobny sposób. W tym przypadku sygnał opóźniony jest dodawany w pętli wiele razy, za każdym razem sumuje się on z poprzednim sygnałem wyjściowym i ma coraz mniejszą amplitudę (rys. 20). W programie Audacity możemy uzyskać efekt pogłosu dodając wiele kanałów dźwiękowych, w których sygnały dźwiękowe będą miały różne, losowe, przesunięcia (np. na początku można dodać pięć nowych kanałów). Amplitudy sygnałów dodawanych powinny być mniejsze od amplitudy sygnału wejściowego. Odpowiednio dobierając przesunięcia i amplitudy sygnałów dodawanych można na przykład uzyskać akustykę sali koncertowej lub małego pokoju. Oczywiście bez skomplikowanych obliczeń jest to praktycznie niemożliwe do osiągnięcia. Słuchacze mogą spróbować zmieniając przesunięcia i głośności sygnałów dodawanych uzyskać jakiś określony efekt (w tym przypadku, najprawdopodobniej będzie to jakiś efekt losowy).



Rysunek 20.

Ilustracja graficzna tworzenia efektu pogłosu



Następnie zapoznamy się z działaniem różnych filtrów i efektów dźwiękowych wbudowanych w program Audacity. Uruchamia się je poleceniem Efekty. Dostępny jest między innymi filtr do tworzenia echa. Można sprawdzić, czy echo będące wynikiem działania tego filtra brzmi podobnie jak utworzone wcześniej echo. Słuchacze powinni wypróbować dostępne filtry i efekty. Należy zaobserwować, co się zmienia w brzmieniu dźwięku po zastosowaniu filtru i do czego ewentualnie uzyskany efekt brzmieniowy można użyć. Dalej będziemy wykorzystywać niektóre efekty podczas montażu dźwięku.

W ostatnim etapie ćwiczenia spróbujemy zmontować nagranie dźwiękowe. Może to być własna, bardzo krótka (kilkuminutowa) audycja. Do nagrania wykorzystamy wcześniej zarejestrowane z użyciem mikrofonów pliki dźwiękowe (można je też nagrać teraz) oraz pliki dostarczone przez prowadzącego. Pliki te należy wcześniej odsłuchać. Zawierają one różne odgłosy i tła dźwiękowe. Na tym etapie słuchacze powinni stworzyć sobie jakąś koncepcję nagrania.

W celu przećwiczenia niektórych operacji pomocnych przy montażu dźwięku najpierw wykonamy kilka prostych ćwiczeń. Pierwsze z nich dotyczy przestawiania fragmentów sygnału dźwiękowego. Przystawianie wykonamy na pliku dźwiękowym z nagraniem odliczaniem. Należy tak przestawiać fragmenty sygnału dźwiękowego, żeby odliczanie odbywało się wstecz (5 4 3 2 1 0). Przystawianie realizujemy przez zwykłą operację wytnij/wstaw. Następne ćwiczenie dotyczy dostosowania poziomów głośności sygnałów dźwiękowych. W nagraniu finalnym poziomy głośności poszczególnych elementów nagrania muszą ze sobą współgrać (czyli przede wszystkim być na podobnym poziomie), należy je więc odpowiednio dostosować. Dostosowanie poziomu głośności sygnałów można np. uzyskać przez wybranie polecenia Efekty → Wzmacniaj. Nakładanie na siebie różnych ścieżek dźwiękowych wykonywaliśmy już to przy okazji tworzenia efektu echa i pogłosu. Mogą być pomocne również różne efekty wyciszania.

Po wykonaniu powyższych ćwiczeń można przejść do wykonania własnego nagrania. Efekt finalny należy zapisać w pliku .wav. Przykład krótkiego, zmontowanego nagrania będzie zaprezentowany przez prowadzącego.

7 ŹRÓDŁA I NOŚNIKI SYGNAŁÓW FONICZNYCH

Istnieje bardzo wiele urządzeń służących do odtwarzania dźwięków. Podobnie jak metody przetwarzania dźwięku, ewoluowały one w czasie.

7.1 Taśma magnetofonowa, zapis analogowy

Taśmy magnetofonowe są wykonane z dwóch warstw: podłoża niemagnetycznego, wykonanego z materiałów plastycznych (najczęściej poliestry) oraz naniesionej nań cienkiej warstwy magnetycznej (tlenki żelaza lub dwutlenek chromu). Taśmy mają znormalizowane szerokości (do magnetofonów szpulowych, profesjonalnego użytku stosuje się zwykle taśmy o szerokości $\frac{1}{4}$ cala, co odpowiada ok. 6,3 mm, natomiast do magnetofonów kasetowych, amatorskich taśmy o szerokości 3,81 mm). Oferowane taśmy charakteryzują się różnym czasem zapisu. Związane jest to z różną grubością taśm, która może wynosić w zależności od ich długości od 9 do 55 μm . Taśmy cienkie nie powinny być używane w profesjonalnych magnetofonach studyjnych ze względu na duże siły naciągu taśmy, które powodują jej rozciągnięcie. Ważnym parametrem taśmy magnetofonowej (jak również innych nośników) jest dynamika sygnału, jaka jest możliwa do uzyskania na danym nośniku. Taśma zapewnia dynamikę około 60dB.

Magnetofon jest urządzeniem stosowanym zarówno do zapisu, jak i do odtwarzania nagrań z taśm magnetofonowych. W zależności od konstrukcji taśmy, wyróżnia się magnetofony szpulowe i kasetowe, których zasada działania jest taka sama. Odczyt za pomocą magnetofonu odbywa się następująco: namagnesowana odpowiednio taśma (zmiany odpowiadają sygnałowi fonicznemu) przesuwa się przed głowicą i powoduje namagnesowanie jej rdzenia. Wokół rdzenia nawinięta jest cewka i zmiany namagnesowania rdzenia powodują indukowanie prądu w cewce. Prąd ten odpowiada sygnałowi fonicznemu i po wzmacnieniu jest podawany do głośników. Przy odtwarzaniu sygnału zapisanego na taśmie ważne jest, aby prędkość przesuwu taśmy była stała i identyczna z prędkością przesuwu podczas zapisywania. Oprócz stałości i odpowiedniej wartości prędkości przesuwu taśmy istotne jest odpowiednie ustawienie taśmy względem głowicy. Dotyczy to zarówno ścisłego przylegania taśmy do głowicy (w przeciwnym razie grozi to tzw. stratami odsunięcia, objawiającymi się zmniejszeniem poziomu sygnałów o dużej częstotliwości), jak również prostopadłego ustawienia szczeliny głowicy względem krawędzi taśmy (przy niewłaściwym ustawieniu występują tzw. straty skosu powodujące zmniejszenie

siły elektromotorycznej indukowanej w głowicy, a co za tym idzie, zmniejszenie poziomu sygnałów o dużej częstotliwości, a także zmniejszaniem się górnej częstotliwości przenoszenia głowicy). Pasma przenoszenia głowicy zależą od szerokości szczeliny głowicy. Wynika to z faktu, że dla wysokich tonów długość fali dźwiękowej jest porównywalna z szerokością szczeliny, co powoduje, że rdzeń głowicy nie magnesuje się i tym samym nie jest indukowana siła elektromotoryczna. Pasma przenoszenia głowic ograniczone jest w praktyce do 14-17kHz.

7.2 Płyta winylowa, zapis analogowy

Płyty gramofonowe są wykonane z tworzyw sztucznych (celuloide). Rozmiary średnic płyt oraz rowków są znormalizowane. Stosuje się średnice: 300, 250 i 175 mm. Natomiast rowki obecnie stosowane mają średnice 51 μm (tzw. mikrorowek dla płyt mono) oraz 40 μm (rowki w płytach stereo). Informacje na płycie są zapisywane spiralnie od zewnątrz w kierunku środka płyty. Maksymalna dynamika, jaką zapewnia płyta winylowa wynosi około 80 dB.

Istnieje wciąż duża grupa miłośników czarnej płyty. Stanowią ją głównie audiofile lub melomani, którzy uważają, że żaden, nawet najdoskonalszy zapis cyfrowy nie jest w stanie dorównać ciepłemu, analogowemu brzmieniu płyty winylowej.

Gramofon jest urządzeniem służącym do odtwarzania dźwięku zapisanego metodą mechaniczną na płycie gramofonowej. Jest to jednocześnie pierwsze urządzenie do odtwarzania dźwięku, które zyskało wielką popularność i „trafiło pod strzechy”. Pierwszy gramofon zbudował i opatentował niemiecki konstruktor Emil Berliner w 1887r. (10 lat po zaprezentowaniu przez T.A. Edisona fonografu, pierwowzoru gramofonu).

Pierwsze płyty (normalnrowkowe), odtwarzane akustycznie przy pomocy ciężkich przetworników, miały rowek szerokości 120 mikrometrów, i odtwarzane były przy pomocy igły o promieniu wierzchołka równym 60 mikrometrów. Zastąpienie ciężkiego przetwornika akustycznego lekką wkładką umożliwiło zmniejszenie szerokości rowka (a co za tym idzie zwiększenia czasu trwania nagrania) do 55 mikrometrów (promień wierzchołka igły – 25 mikrometrów). Wprowadzenie płyt stereofonicznych zaowocowało dalszym zmniejszeniem wymiarów rowka – do 40 mikrometrów, i promienia wierzchołka igły – do 15 mikrometrów. Rowek na tradycyjnej płycie monofonicznej zawiera tzw. zapis wbooczny – w przeciwieństwie do fonografu z zapisem wgłębny. Wprowadze-

nie stereofonii i związana z tym konieczność zapisu dwóch sygnałów spowodowały zastosowanie zapisu kombinowanego – wbooczego i wgłębego – dwie ściany rowka zawierają dwa różne sygnały. Ze względu na ten fakt, jak i na mniejsze wymiary stereorowka w porównaniu z rowkiem na płytach normalnrowkowych, niewskazane jest odtwarzanie płyt stereofonicznych na gramofonie z wkładką monofoniczną – powoduje ono starcie delikatnego rowka stereofonicznego.

Odtwarzanie płyt odbywa się następująco: w rowku płyty znajduje się igła gramofonowa (przeważnie szafirowa). Gdy płyta się obraca, igła drga odpowiednio do sygnału zapisanego na płycie a jej drgania powodują indukowanie siły elektromotorycznej we wkładce, której częścią jest igła. Sygnały te są wzmacniane i korygowane częstotliwościowo (według krzywej korekcji RIAA) oraz ostatecznie emitowane poprzez głośniki jako sygnał akustyczny. Wkładka gramofonowa (zwana również adapterem) jest przetwornikiem zamieniającym mechaniczne drgania igły w sygnał elektryczny. Najczęściej spotyka się wkładki elektromagnetyczne z ruchomym magnesem (MM). Są także wkładki magnetoelektryczne – z ruchomą cewką (MC, dają sygnał o mniejszym napięciu) oraz piezoelektryczne (praktycznie nie stosowane). Wkładka elektromagnetyczna działa w ten sposób, że drgająca igła wprawia w ruch magnesy, które poruszają się wewnątrz nieruchomych cewek. Zmiany pola elektromagnetycznego powodują indukowanie napięcia w cewkach, proporcjonalnego do zapisanego sygnału fonicznego.

7.3 Taśma magnetofonowa, zapis cyfrowy

Wśród taśm stosowanych w technice cyfrowej wyróżnia się taśmy proszkowe i metaliczne naparowane. W taśmach proszkowych warstwę czynną stanowią cząstki ferromagnetyczne rozproszone w niemagnetycznym lepiszczu. Materiałem są tlenki żelazowe (niekiedy domieszkowane kobaltem) i tlenki chromowe. Cząstki ferromagnetyczne stanowią ok. 30% objętości warstwy magnetycznej. Wzdłużna gęstość zapisu, jaka jest możliwa do uzyskania w przypadku tego rodzaju taśm wynosi 2 bity/ μm . Taśmy metaliczne mają warstwę magnetyczną zawierającą prawie wyłącznie materiał magnetyczny. Jest to zwykle stop kobaltu i niklu. Wykazuje on dużo lepsze właściwości magnetyczne niż materiały stosowane w taśmach proszkowych. Taśmy metaliczne umożliwiają uzyskanie wzdłużnej gęstości zapisu 4 bity/ μm . Szerokość taśmy zależy od formatu zapisu i rodzaju magnetofonu. Taśmy DAT zapewniają dynamikę ok. 96dB



Choć idea zapisu magnetycznego sygnałów cyfrowych jest taka sama jak sygnałów analogowych, to ze względu na specyfikę tego typu sygnałów konstrukcja magnetofonów cyfrowych jest bardziej złożona. Oprócz mechanizmu przesuwającego taśmę, głowicy oraz wzmacniaczy (czyli elementów wspólnych dla obydwu rodzajów magnetofonów), w magnetofonach cyfrowych niezbędne są jeszcze: przetwornik c/a (a w przypadku rejestratorów również a/c) oraz koder/dekoder sygnału cyfrowego. Sygnał zapisany na taśmie zostaje najpierw zregenerowany (tzn. wyeliminowane zostają ewentualne błędy) i zdekodowany przez dekoder kanałowy. Następnie odbywa się rozdzielenie sygnału na poszczególne kanały i przetworzenie na postać analogową. Głowice magnetofonów cyfrowych różnią się od głowic stosowanych w magnetofonach analogowych ze względu na to, że sygnał cyfrowy jest zawarty w zupełnie innym paśmie częstotliwości niż sygnał analogowy. Są to częstotliwości dużo większe, co wymaga mniejszych głowic o lepszych parametrach magnetycznych. Głowice w magnetofonach cyfrowych mogą być nieruchome (magnetofony S-DAT, stosowane w studiach) lub wirujące (magnetofony R-DAT studyjne, reporterskie i do użytku domowego). Taśmy stosowane w technice cyfrowej zapewniają dynamikę ok. 96dB.

7.4 Płyta CD, zapis cyfrowy

Compact Disc (CD) to cyfrowy, optyczny format zapisu powszechnie wykorzystywany do audio, jak również do danych komputerowych. Płyty CD mają 12 cm średnicy i 1,2mm grubości. Cyfrowe dane są zapisane w postaci zagłębień (ang. *pit*) i płaskich fragmentów (ang. *land*) na płycie. Zagłębienia tworzą na płycie spiralę zaczynającą się w pobliżu środka płyty i rozwijającą ku jej brzegowi. Skok spirali wynosi 1,6 mikrona. Płyta CD mieści 650 MB danych (to oznacza nieco ponad 680 milionów bajtów) lub około 74 minut muzyki (częstotliwość próbkowania 44,1 kHz, rozdzielczość 16 bitów). Format został opracowany przez firmy Philips i Sony, wprowadzono go na rynek w latach 1982/83. Pierwotnie płyty CD były wykorzystywane tylko do zapisu audio. Teoretyczna dynamika sygnału zapisanego na płycie CD to około 96dB.

Powszechnie uważa się, że przeciętny nawet odtwarzacz i płyta CD dają lepszy dźwięk niż niezły nawet gramofon analogowy (choć zwolennicy analogu twierdzą, że jest przeciwnie). Ale po zachłyśnięciu się „dźwiękiem cyfrowym” okazało się że dźwięk taki ma też wady. Zauważono, że dźwięk

z płyty kompaktowej, owszem jest dokładny, precyzyjny, ale brakuje mu ciepła i naturalności. Czasem jest zbyt ostry, suchy, po prostu „cyfrowy”. Stara płyta analogowa miała tę odrobinę „czaru” którego nie mają płyty kompaktowe. Stało się to impulsem do poszukiwania doskonalszego dźwięku, poprzez poprawę konstrukcji odtwarzaczy, wzmacniaczy, głośników, a także samego procesu nagrywania muzyki w studiach nagraniowych. Dzisiaj, mamy doskonałe odtwarzacze, wzmacniacze i głośniki i okazuje się że płyta kompaktowa osiągnęła kres swoich możliwości. Poszukuje się nowych rozwiązań i obecnie stoimy na progu wprowadzenia nowych formatów: DVD-Audio i SACD.

Zasada działania odtwarzacza CD jest nieco podobna do zasady działania gramofonu. Różnice leżą przede wszystkim w sposobie zapisu (optyczny, a nie mechaniczny), co oczywiście warunkuje sposób odczytu, oraz w charakterze sygnału (cyfrowy, a nie analogowy). Odczyt płyt CD wygląda następująco: światło lasera umieszczonego w głowicy przesuwającej się wzdłuż promienia płyty, pada na powierzchnię płyty i w zależności od tego, czy padnie na zagłębienie (*pit*), czy *land*, zostaje rozproszone lub wraca do głowicy, gdzie pada na fotodiodę. Zmiany napięcia na wyjściu fotodiody zależne od padającego na nią światła, odpowiadają sygnałowi zapisanemu na płycie. Sygnał z fotodiody jest odpowiednio formowany, aby przybrał postać sygnału cyfrowego, następnie dekodowany i wreszcie po przetworzeniu na postać analogową podawany przez wzmacniacz do głośników.

7.5 Odtwarzacze plików mp3

W urządzeniach tych wykorzystuje się karty pamięci typu flash. Jest to pamięć stała, zapisywana, kasowana i odczytywana metodami elektrycznymi, ale w odróżnieniu np. od pamięci RAM informacje nie są tracone po odłączeniu zasilania. Dodatkowymi zaletami kart pamięci flash są ich małe rozmiary (co umożliwia miniaturyzację urządzeń wykorzystujących ten nośnik), zredukowany pobór energii, niewrażliwość na oddziaływanie pól magnetycznych, bezszmerowe działanie (uzyskiwane dzięki temu, że nie ma w czytnikach tych kart żadnego napędu mechanicznego), a także duże pojemności. Pamięć flash ma jednak wady: nadal wysoka cena (zwłaszcza koszt w przeliczeniu na 1 bit informacji w porównaniu z innymi nośnikami) oraz możliwość kasowania jedynie bloków pamięci, a nie pojedynczych bajtów. Odtwarzacze plików mp3 zapewniają dynamikę ok. 90dB.



Zadanie 5.

Do wykonania zadania jest potrzebny:

- komputer z zainstalowaną kartą dźwiękową i zestawem głośników komputerowych,
- program do przetwarzania dźwięku Audacity, Lame.

W tym ćwiczeniu poznamy, jak w prosty sposób przekonwertować plik wav do mp3 i w jaki sposób ocenić jakość nagrania.

W pierwszej części prowadzący zademonstruje różne nagrania – pliki mp3 skompresowane z różną przepływnością bitową, a co za tym idzie z różną jakością. Zadaniem słuchaczy jest ocena jakości dźwięku na podstawie odsłuchu. Co wpływa na jakość zarejestrowanego dźwięku?

Na podstawie odsłuchu łatwo jest ocenić jakość dźwięku. Czy jednak można bez słuchania muzyki coś powiedzieć o dźwięku. Patrząc na przebieg sygnału dźwiękowego w czasie – niewiele. Okazuje się jednak, że analiza częstotliwościowa sygnału dźwiękowego daje dużo większe możliwości. Korzystając z narzędzia Analiza → Rysuj_Widmo z programu Audacity możemy uzyskać reprezentację częstotliwościową sygnału dźwiękowego, czyli tzw. widmo. Na osi poziomej oznaczone są częstotliwości występujące w sygnale dźwiękowym, a na pionowej udział danej częstotliwości w całym sygnale dźwiękowym. Analizując widmo od razu widać w jakim paśmie częstotliwości zawiera się dźwięk i jakie częstotliwości dominują w dźwięku.

Program Audacity umożliwia również tworzenie własnych plików mp3. Potrzebny jest jednak do tego zewnętrzny program Lame. Program Lame jest uważany za jeden z najlepszych, darmowych programów do konwertowania plików dźwiękowych do mp3. Przed wykorzystaniem Lame w Audacity należy go skonfigurować w zakładce Edytuj → Ustawienia → FormatyPlików → Ustawienia_Exportu_dla_MP3. Zakładka ta umożliwia również określenie jakości tworzonych plików mp3.

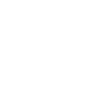
Słuchacze powinni przekonwertować nagrań wcześniej audycję z formatu wav do formatu mp3 z różną jakością. Należy obejrzeć widma fragmentów tak utworzonych plików. Co można powiedzieć o jakości nagrań oglądając widma sygnałów?

LITERATURA

1. Beach A., *Kompresja dźwięku i obrazu wideo*, Helion, Gliwice 2009
2. Butryn W., *Dźwięk cyfrowy*, WKiŁ, Warszawa 2002
3. Butryn W., *Dźwięk cyfrowy. Systemy wielokanałowe*, WKiŁ, Warszawa 2004
4. Czyżewski A., *Dźwięk cyfrowy. Wybrane zagadnienia teoretyczne, technologia, zastosowania*, Exit, Warszawa 2001
5. Kołodziej P., *Komputerowe studio muzyczne i nie tylko. Przewodnik*, Helion, Gliwice 2007
6. Nasiłowski D., *Jakościowe aspekty kompresji obrazu i dźwięku. Poglądowo o DivX*, Mikom, Warszawa 2004
7. Rak R., Skarbek W. (red.), *Wstęp do inżynierii multimedialnych*, Politechnika Warszawska, Warszawa 2004



--	--



--	--



--	--



W projekcie **Informatyka +**, poza wykładami i warsztatami,
przewidziano następujące działania:

- 24-godzinne kursy dla uczniów w ramach modułów tematycznych
- 24-godzinne kursy metodyczne dla nauczycieli, przygotowujące do pracy z uczniem zdolnym
 - nagrania 60 wykładów informatycznych, prowadzonych przez wybitnych specjalistów i nauczycieli akademickich
 - konkursy dla uczniów, trzy w ciągu roku
 - udział uczniów w pracach kół naukowych
 - udział uczniów w konferencjach naukowych
 - obozy wypoczynkowo-naukowe.

Szczegółowe informacje znajdują się na stronie projektu **www.informatykaplus.edu.pl**

informatyka+

Algorytmika i programowanie

Bazy danych

Multimedia, grafika i technologie internetowe

Sieci komputerowe

Tendencje w rozwoju informatyki i jej zastosowań

Człowiek – najlepsza inwestycja



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WARSZAWSKA
WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.