**Nazwa przedmiotu:**

Cyfrowe przetwarzanie sygnałów fonicznych

**Koordynator przedmiotu:**

Zbigniew Kulka

**Status przedmiotu:**

Obowiązkowy

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Telekomunikacja

**Grupa przedmiotów:**

Przedmioty techniczne - zaawansowane

**Kod przedmiotu:**

CPSF

**Semestr nominalny:**

2 / rok ak. 2018/2019

**Liczba punktów ECTS:**

4

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów uczenia się:**

<ol>
<li>Udział w wykładach: 30h</li>
<li>Przygotowanie do wykładów: 13h </li>
<li>Przygotowanie do laboratorium: 10h</li>
<li>Realizacja zadań laboratoryjnych: 18h</li>
<li>Opracowanie sprawozdań z laboratorium: 10h</li>
<li>Przygotowanie do egzaminu: 16h</li>
<li>Obecność na egzaminie: 3h</li>
</ol>
<b>SUMA:</b> 100h
<br>
<b>ECTS:</b> 4

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich:**

<ol>
<li>Udział w wykładach: 30h</li>
<li>Realizacja zadań laboratoryjnych: 18h</li>
<li>Obecność na egzaminie: 3h</li>
</ol>
<b>SUMA:</b> 51h
<br>
<b>ECTS:</b> 2

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym:**

<ol>
<li>Realizacja zadań laboratoryjnych: 18h</li>
<li>Opracowanie sprawozdań z laboratorium: 10h</li>
</ol>
<b>SUMA:</b> 28h
<br>
<b>ECTS:</b> 1

**Formy zajęć i ich wymiar w semestrze:**

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład: | 30h |
| Ćwiczenia: | 0h |
| Laboratorium: | 15h |
| Projekt: | 0h |
| Lekcje komputerowe: | 0h |

**Wymagania wstępne:**

Wymagana wiedza z zakresu przedmiotu Podstawy Techniki Dźwiękowej (PTD). <br>
Zalecana wiedza z przedmiotów: Laboratorium Cyfrowego Przetwarzania Sygnałów (LCPS) oraz Procesory Sygnałowe w Technice Audio (PSTA).

**Limit liczby studentów:**

TODO

**Cel przedmiotu:**

<ol>
<li>Ukierunkowanie wiedzy studentów z zakresu cyfrowego przetwarzania sygnałów na zastosowanie przy przetwarzaniu sygnałów fonicznych.</li>
<li>Zapoznanie studentów z teoretycznym i praktycznym zastosowaniem cyfrowego przetwarzania sygnałów fonicznych, głównie sygnałów muzyki, z uwzględnieniem akustycznych zjawisk fizycznych i ograniczeń percepcji słuchowej oraz efektów psychoakustycznych </li>
</ol>

**Treści kształcenia:**

<b>WYKŁAD:</b>
<ol>
<b><li>Sygnały i systemy foniczne (2 g.): </b>analogowe i cyfrowe sygnały foniczne oraz ich reprezentacje w dziedzinach czasu i częstotliwości. Cyfrowe systemy foniczne konsumenckie i studyjne. Media pamięciowe. Tor foniczny i typowe operacje na sygnale. Wpływ ograniczeń percepcji słuchowej na projektowanie cyfrowych systemów fonicznych. Porównanie analogowych i cyfrowych systemów fonicznych.</li>
<b><li>Modulacja kodowo-impulsowa (PCM –pulse-code modulation) (4 g.) </b>Próbkowanie idealne i rzeczywiste sygnałów fonicznych ograniczonych pasmowo. <i>Jitter</i> próbkowania. Kwantowanie równomierne (liniowe) i błąd kwantowania. Szum kwantowania i szum granulacyjny. Stosunek sygnału do szumu i dynamika. <i>Dithering</i></b>. Nadpróbkowanie. Kształtowanie widma szumu kwantowania bez nadpróbkowania.</li>
<b><li>Modulacja sigma-delta (SDM – sigma-delta modulation) (4 g.) </b>Modulacja delta (Δ) i modulacja sigma-delta (ΣΔ). Kształtowanie widma szumu kwantowania z nadpróbkowaniem . Kilkubitowe, nalogowe i cyfrowe modulatory ΣΔ. Wpływ rzędu modulatora na skuteczność kształtowania widma szumu kwantowania , struktury modulatorów różnych rzędów, problem stabilności. <i>Jitter</i> zegarowy. Zniekształcenia tonalne w modulatorach ΣΔ i zastosowanie sygnału <i>dithera</i>.</li>
<b><li>Foniczne filtry cyfrowe (2 g.) </b>Filtry bierne i czynne, analogowe i cyfrowe. Filtry cyfrowe NOI i SOI oraz ich właściwości. Zarys metod projektowania filtrów cyfrowych. Cyfrowe filtry decymacyjne i interpolacyjne.
Konwertery szybkości próbkowania, synchroniczne i niesynchroniczne. Filtry NOI i SOI spaczone (<i>audio warped digital filters</i>) i ich zastosowanie.</li>
<b><li>Foniczne przetworniki analogowo-cyfrowe (a/c) i cyfrowo-analogowe (c/a) (4 g.)</b> Parametry statyczne i dynamiczne przetworników a/c i c/a. Struktury, działanie i właściwości przetworników a/c i c/a konwencjonalnych (PCM) oraz sigma-delta (SDM). Zalety i wady stało- oraz zmiennoprzecinkowej reprezentacji danych cyfrowych.</li>
<b><li>Kodowanie protekcyjne i kanałowe (2 g.)</b> Źródła błędów, błędy przypadkowe i seryjne. Kodowanie i dekodowanie protekcyjne. Detekcja i korekcja błędów. Kody protekcyjne. Kody proste i złożone. Kodowanie i dekodowanie kanałowe (modulacja i demodulacja cyfrowa). Kody dwufazowe.</li>
<b><li>Transmisja cyfrowych sygnałów fonicznych (1 g.)</b> Podstawowe standardy transmisyjne S/PDIF oraz AES/EBU (AES 3). Sposoby dystrybucji cyfrowych sygnałów fonicznych. Formaty wielokanałowe (MADI, ADAT, TDIF i inne).</li>
<b><li>Kompresja danych fonicznych (2 g.)</b> Bezstratna kompresja danych (predykcja liniowa, kodowanie entropii). Stratna kompresja danych (kodowanie percepcyjne, modele psychoakustyczne, kodowanie w dziedzinach czasu i częstotliwości). Algorytmy bezstratnej i stratnej kompresji danych fonicznych. Algorytmy silnej kompresji stratnej.</li>
<b><li>Jitter w systemach audio (1 g.)</b> Rodzaje błędów czasowych. <i>Jitter</i> w dziedzinach czasu i częstotliwości. <i>Jitter</i> próbkowania i <i>jitter</i> interfejsowy. <i>Jitter</i> zegarowy (szum fazowy generatora zegarowego). Metody pomiaru i redukcji <i>jittera</i>.</li>
<b><li>Korekcja charakterystyk częstotliwościowych (2 g.)</b> Cyfrowe filtry dolno- i górnoprzepustowe, półkowe, tarasowe oraz parametryczne. Korektory graficzne i parametryczne. Efekty lkwantyzacyjne. Banki filtrów. Skalowanie.</li>
<b><li>Symulacja warunków akustycznych pomieszczeń (2 g.)</b> Pomiar odpowiedzi impulsowej pomieszczenia. Struktura czasowa odbić w pomieszczeniu. Mody własne pomieszczenia. Symulacja wczesnych odbić. Symulacja późnych odbić (pogłosu). Systemy sieci opóźnieniowych.</li>
<b><li>Dynamiczna regulacja wzmocnienie (2 g.)</b> Typowy system dynamicznej regulacji wzmocnienia (DRC - <i>dynamic range control</i>). Charakterystyka statyczna. Charakterystyka dynamiczna. Regulacja głośności, miksowanie, panoramowanie. Kompresor i ogranicznik. Ekspander i bramka szumowa.</li>
<b><li>Przykłady praktycznych implementacji algorytmów CPSF (2 g.)</b> Zastosowanie procesorów sygnałowych o architekturze harwardzkiej. Użyteczne bloki konstrukcyjne sprzętowo/programowe. Realizacje cyfrowych efektów dźwiękowych. oraz dynamicznej obróbki sygnałów. Wybrane cyfrowe urządzenia i systemy foniczne (zapis i odtwarzanie danych z mediów pamięciowych, przedwzmacniacze i wzmacniacze cyfrowe, cyfrowe zwrotnice głośnikowe, itp.)</li><br>
</ol>
<b>LABORATORIUM:</b>
<ol>
<b><li>Prezentacja nagrań muzycznych zapisanych cyfrowo w różnych formatach</b> Omówienie wybranych aspektów cyfrowego przetwarzania sygnałów w torze fonicznym od mikrofonu do głośnika. Dźwiękowa prezentacja nagrań muzycznych zarejestrowanych w różnych formatach cyfrowych. Prezentacja nagrań muzycznych zarejestrowanych na nośnikach analogowych. Dyskusja na temat jakości zaprezentowanych nagrań muzycznych na nośnikach cyfrowych i analogowych.</li>
<b><li>Projektowanie filtrów cyfrowych o stałej częstotliwości próbkowania</b> Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z procedurą projektowania fonicznych filtrów cyfrowych o stałej częstotliwości próbkowania za pomocą specjalizowanego programu komputerowego <i>QEDesign</i> firmy MDS. Zadanie ćwiczących polega na zaprojektowaniu filtrów dolno- i górnoprzepustowego o liniowych fazach za pomocą algorytmu Parksa-McClellana o zadanych parametrach i ocenie uzyskanych charakterystyk (amplitudowej, odpowiedzi impulsowej i jednostkowej). Dalsza część zadania obejmuje obliczenie opóźnień grupowych filtrów, zmianę kwantyzacji współczynników filtru i ponowną ocenę charakterystyk amplitudowych ze szczególnym zwróceniem uwagi na tłumienie w pasmach zaporowych i falistość w pasmach przepustowych. Ćwiczący mają obowiązek przygotowania wniosków ze zrealizowanego zadania.</li>
<b><li>Projektowanie filtrów cyfrowych o zmiennej częstotliwości próbkowania</b> Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z procedurą projektowania fonicznych filtrów cyfrowych decymacyjnych i interpolacyjnych, służących m. in. do synchronicznej konwersji szybkości próbkowania fonicznych sygnałów cyfrowych. W ćwiczeniu będzie wykorzystywany program <i>Sample Rate Conversion System v2.2</i> firmy MDS. Zadanie ćwiczących polega na wykonaniu projektów filtrów decymacyjnego i interpolacyjnego o zadanych parametrach. Projekty będą porównywane pod kątem uzyskanych charakterystyk i długości filtrów. Ćwiczący mają obowiązek przygotowania wniosków ze zrealizowanego zadania.</li>
<b><li>Przetwarzanie i generacja cyfrowych sygnałów fonicznych</b> Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z procesami przetwarzania i generacji cyfrowych sygnałów fonicznych z zastosowaniem programu komputerowego <i>Adobe Audition 3.0</i> firmy ADOBE. Ćwiczenie polega m. in. na badaniu wpływu sygnału dithera o wybranej wartości międzyszczytowej i funkcji PDF na widmo amplitudowe generowanych sygnałów, pomiarze <i>jittera</i> w sygnale cyfrowym na podstawie analizy prążków modulacyjnych widma amplitudowego, zapoznaniu się z metodą usuwania szumu i zakłóceń ze starych nagrań oraz różnymi przekształceniami sygnału w dziedzinach amplitudy i czasu. Ćwiczący mają obowiązek przygotować sprawozdanie ze zrealizowanych zadań.</li>
</ol>

**Metody oceny:**

<ol>
<b><li>WL1, WL2, WL3 - </b>krótkie kolokwia sprawdzające przed rozpoczęciem laboratorium nr 2, 3 oraz 4.</li>
<b><li>L1, L2, L3 - </b>raporty z wykonania zadań laboratoryjnych w postaci sprawozdań sporządzonych zgodnie z instrukcjami laboratoryjnymi do ćwiczeń 2, 3 oraz 4</li>
<b><li>E - </b>Egzamin pisemny.</li>
</ol>

**Egzamin:**

tak

**Literatura:**

<ol>
<li>K. Benson, <i>Audio engineering handbook</i>, McGraw Hill, 1988</li>
<li>K. C. Pohlman, <i>Principles of digital audio</i>, McGraw Hill, 2005</li>
<li>U. Zolzer, <i>Digital audio signal processing</i>, John Wiley & Sons, 1998</li>
<li>Z. Kulka, A. Libura, M. Nadachowski, <i>Przetworniki a/c i c/a</i>, WKŁ, Warszawa, 1987</li>
<li>A. Czyżewski, <i>Dźwięk cyfrowy</i>, AOW EXIT, Warszawa, 1998</li>
<li>W. Skarbek, <i>Multimedia, algorytmy i standardy kompresji</i>, AOW PLJ, Warszawa, 1998</li>
<li>J. M. Wojciechowski, <i>Sygnały i systemy</i>, WKŁ, Warszawa, 2008</li>
<li>R. G. Lyons, <i>Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów</i>, WKŁ,
Warszawa, 2010</li>
<li>J. Szabatin, <i>Podstawy teorii sygnałów</i>, WKł, Warszawa, 2000</li>
<li>S. W. Smith, <i>Cyfrowe przetwarzanie sygnałów</i>, Wydawnictwo BTC, Warszawa, 2007</li>
</ol>

**Witryna www przedmiotu:**

www.ire.pw.edu.pl/zea

**Uwagi:**

Przedmiot prowadzony jest co semestr

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka W1:**

Posiada uporządkowaną wiedzę o właściwościach cyfrowych sygnałów i systemów fonicznych, kodowaniu protekcyjnym i kanałowym danych fonicznych, standardach transmisyjnych cyfrowych sygnałów fonicznych, a także ma uporządkowaną wiedzę o algorytmach bezstratnej i stratnej kompresji danych fonicznych.

Weryfikacja:

Egzamin pisemny

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W01, K\_W03, K\_W06, K\_W07, K\_W08, K\_W10, K\_W13

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P7S\_WG, III.P7S\_WG.o

**Charakterystyka W2:**

Posiada szczegółową wiedzę na temat struktur, działania, właściwości oraz parametrów statycznych i dynamicznych konwencjonalnych, fonicznych przetworników analogowo-cyfrowych (a/c) i cyfrowo-analogowych (c/a) działających z wykorzystaniem modulacji impulsowo-kodowej (PCM) oraz fonicznych przetworników a/c i c/a sigma-delta działających z wykorzystaniem modulacji sigma-delta (SDM), a także ma uporządkowaną wiedzę na temat rodzajów błędów czasowych w cyfrowych systemach fonicznych (np. jittera).

Weryfikacja:

Egzamin pisemny

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W01, K\_W03, K\_W04, K\_W05, K\_W06, K\_W07, K\_W10, K\_W14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P7S\_WG

**Charakterystyka W3:**

Posiada szczegółową wiedzę na temat fonicznych filtrów cyfrowych o stałej i zmiennej częstotliwości próbkowania oraz wiedzę o ich zastosowaniu m.in. w strukturach korektorów charakterystyk częstotliwościowych (graficznych i parametrycznych).

Weryfikacja:

Egzamin pisemny

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W10, K\_W14, K\_W01, K\_W03, K\_W04, K\_W06, K\_W07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P7S\_WG

**Charakterystyka W4:**

Posiada ugruntowaną wiedzę na temat symulacji warunków akustycznych pomieszczeń, systemów dynamicznej regulacji wzmocnienia (DRC) oraz wiedzę dotyczącą stosowania procesorów sygnałowych do realizacji algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów fonicznych.

Weryfikacja:

Egzamin pisemny

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W01, K\_W02, K\_W03, K\_W04, K\_W05, K\_W06, K\_W07, K\_W10, K\_W14

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P7S\_WG

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka U1:**

Potrafi zaprojektować foniczne filtry cyfrowe o stałej częstotliwości próbkowania za pomocą specjalizowanego programu komputerowego, ocenić uzyskane charakterystyki: częstotliwościowe (amplitudowe i fazowe), odpowiedzi impulsowej i jednostkowej, a także zaproponować realizację filtrów w arytmetyce stałoprzecinkowej, która spełnia wymagania projektowe.

Weryfikacja:

Sprawozdanie z wykonania zadań laboratoryjnych ćwiczenia nr 2

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U01, K\_U02, K\_U06, K\_U07, K\_U08, K\_U09, K\_U10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P7S\_UK, I.P7S\_UW, III.P7S\_UW.1.o, III.P7S\_UW.3.o, III.P7S\_UW.2.o

**Charakterystyka U2:**

Potrafi zaprojektować foniczne filtry cyfrowe o zmiennej częstotliwości próbkowania (filtry interpolacyjne i decymacyjne) za pomocą specjalizowanego programu komputerowego, ocenić uzyskane charakterystyki częstotliwościowe oraz zaproponować układ synchronicznego konwertera szybkości próbkowania fonicznych sygnałów cyfrowych.

Weryfikacja:

Sprawozdanie z wykonania zadań laboratoryjnych ćwiczenia nr 3

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U06, K\_U07, K\_U08, K\_U09, K\_U10, K\_U01, K\_U02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** III.P7S\_UW.3.o, I.P7S\_UW, III.P7S\_UW.1.o, III.P7S\_UW.2.o, I.P7S\_UK

**Charakterystyka U3:**

Potrafi zbadać wpływ sygnału dithera na widmo amplitudowe generowanych sygnałów fonicznych, zmierzyć jitter w sygnale cyfrowym na podstawie analizy prążków modulacyjnych widma amplitudowego, wykorzystać algorytmy redukcji poziomu szumu do „oczyszczania” starych nagrań dźwiękowych z szumu i zakłóceń oraz wykorzystać różne metody przekształcania sygnału fonicznego w dziedzinach amplitudy i czasu stosowane w technice studyjnej.

Weryfikacja:

Sprawozdanie z wykonania zadań laboratoryjnych ćwiczenia nr 4

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U01, K\_U02, K\_U06, K\_U07, K\_U08, K\_U09, K\_U10

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P7S\_UK, I.P7S\_UW, III.P7S\_UW.1.o, III.P7S\_UW.3.o, III.P7S\_UW.2.o

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Charakterystyka K1:**

Potrafi zaplanować oraz zrealizować harmonogram prac laboratoryjnych poprzez odpowiedni podział obowiązków w grupie.

Weryfikacja:

Sprawozdania z wykonania zadań laboratoryjnych nr 2, 3 i 4

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_K02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P7S\_KK, I.P7S\_KR