



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی کامپیوتر

گزارش کار پروژه نهایی درس سیگنال و سیستم ها

نیم سال دوم 03-04

عنوان پروژه:

طیف نگار

نگارش: عرفان سلمان طاهری

طیف نگار (Spectrogram)

طیف نگار یا اسپکتروگرام ابزاری برای نمایش تغییرات فرکانسی یک سیگنال در طول زمان است. این موضوع به‌ویژه در بررسی سیگنال‌های غیرایستا مانند گفتار، موسیقی یا سیگنال‌های زیستی اهمیت دارد، به طوری که:

- محور افقی زمان را نشان می‌دهد.
- محور عمودی فرکانس را نشان می‌دهد.
- شدت رنگ، نشان‌دهنده قدرت هر مؤلفه فرکانسی در زمانی مشخص است.

چرا طیف نگار؟

برخلاف تبدیل فوری که فقط اطلاعات فرکانسی کلی یک سیگنال را ارائه می‌دهد، طیف‌نگار این امکان را فراهم می‌کند که بتوان تحلیل فرکانسی را به‌صورت وابسته به زمان انجام داد.

تبدیل فوری پنجره ای (Short-Time Fourier Transform)

از این تبدیل برای رسم طیف نگار استفاده شده و به این صورت کار می‌کند که سیگنال به قطعه‌های زمانی کوچکی تقسیم شده و از هر قطعه تبدیل فوری گرفته می‌شود و فرمول آن طبق رابطه زیر است:

$$\text{STFT}\{x(t)\}(\tau, \omega) \equiv X(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t - \tau)e^{-i\omega t} dt$$

توابع پنجره ای (Window function)

وقتی که داریم از بخشی از سیگنال تبدیل فوری می‌گیریم، ممکن است نشت طیفی رخ دهد و برای همین از توابع پنجره ای استفاده می‌کنیم.

که انواع مختلفی دارد:

۱- پنجره مستطیلی (Rectangular Window)

این پنجره در واقع هیچ گونه تغییر وزنی اعمال نمی‌کند و فقط یک برش ساده از سیگنال است.

$$w(t) = 1 \text{ for } 0 \leq t < T$$

استفاده از این پنجره باعث نشت فرکانسی (Spectral Leakage) زیاد می‌شود، چرا که لبه‌های تیز آن باعث ایجاد هارمونیک‌های اضافی در حوزه فرکانس می‌شود.

۲- پنجره هنینگ (Hanning Window)

پنجره هنینگ یک پنجره هموار است که لبه‌های آن به تدریج به صفر می‌رسند. این ویژگی باعث کاهش نشت فرکانسی می‌شود.

$$w(t) = 0.5 \left(\cos\left(\frac{2\pi t}{T-1}\right) - 1 \right)$$

۳- پنجره همینگ (Hamming Window)

شباهت زیادی به پنجره هنینگ دارد، با این تفاوت که مقدار لبه‌های آن دقیقاً به صفر نمی‌رسد.

$$w(t) = 0.46 \cos\left(\frac{2\pi t}{T-1}\right) - 0.54$$

هر چه پنجره‌ای پهن تر و هموارتر باشد، نشت فرکانسی کمتر ولی دقت زمانی پایین‌تر خواهد بود. بنابراین، انتخاب نوع و طول پنجره بستگی به نوع سیگنال و هدف تحلیل دارد.

در اینجا پروژه را به ۳ فاز مختلف تقسیم کرده و آن‌ها را شرح می‌دهیم:

۱- تولید سیگنال‌های دارای محتوای فرکانسی متغیر

۲- پیاده سازی طیف نگار

۳- تحلیل فایل صوتی

فاز اول – تولید سیگنال های دارای محتوای فرکانسی متغیر

برخی از سیگنال های دارای محتوای فرکانسی مختلف متغیر در بخش زیر آمده است:

۱. Linear Chirp

$$x(t) = \sin \left(2\pi \left(f_0 t + \frac{k}{2} t^2 \right) \right)$$

که در آن f_0 فرکانس اولیه و $k = \frac{f_1 - f_0}{T}$ نرخ تغییر فرکانس است.

۲. Exponential Chirp

$$x(t) = \sin \left(2\pi f_0 \frac{r^t - 1}{\ln(r)} \right)$$
$$r = \left(\frac{f_1}{f_0} \right)^{1/T}$$

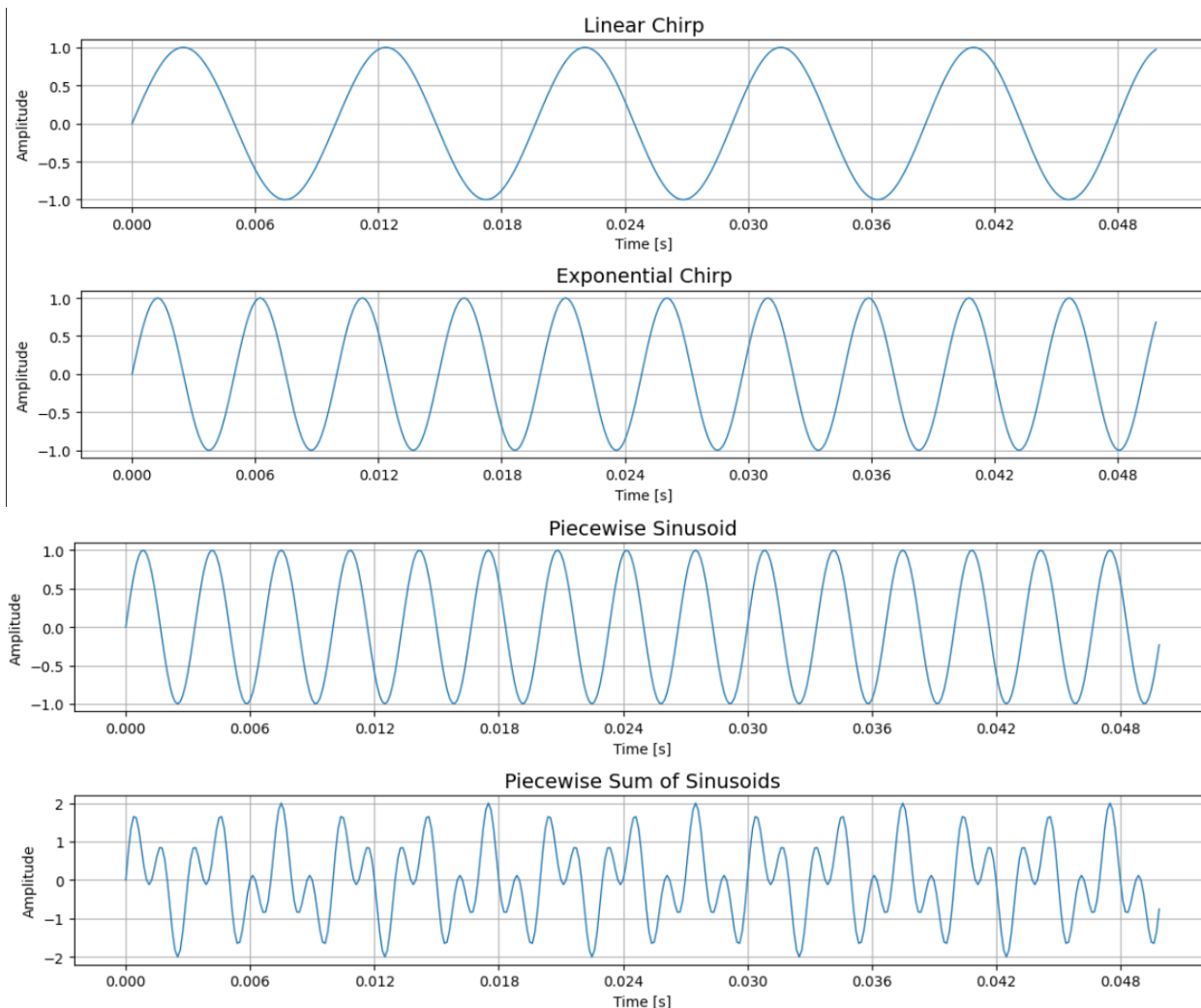
۳. سیگنال سینوسی قطعه ای با فرکانس های مختلف

$$x(t) = \begin{cases} \sin(2\pi \cdot 300t), & 0 \leq t < 2 \\ \sin(2\pi \cdot 500t), & 2 \leq t < 4 \\ \sin(2\pi \cdot 400t), & 4 \leq t < 6 \end{cases}$$

۴. ترکیب سینوسی با فرکانس های مختلف در زمان های مختلف

$$x(t) = \begin{cases} \sin(2\pi \cdot 300t) + \sin(2\pi \cdot 700t), & 0 \leq t < 2 \\ \sin(2\pi \cdot 500t) + \sin(2\pi \cdot 900t), & 2 \leq t < 4 \\ \sin(2\pi \cdot 400t) + \sin(2\pi \cdot 1200t), & 4 \leq t < 6 \end{cases}$$

در ادامه این سیگنال ها را در حوزه زمان رسم میکنیم:

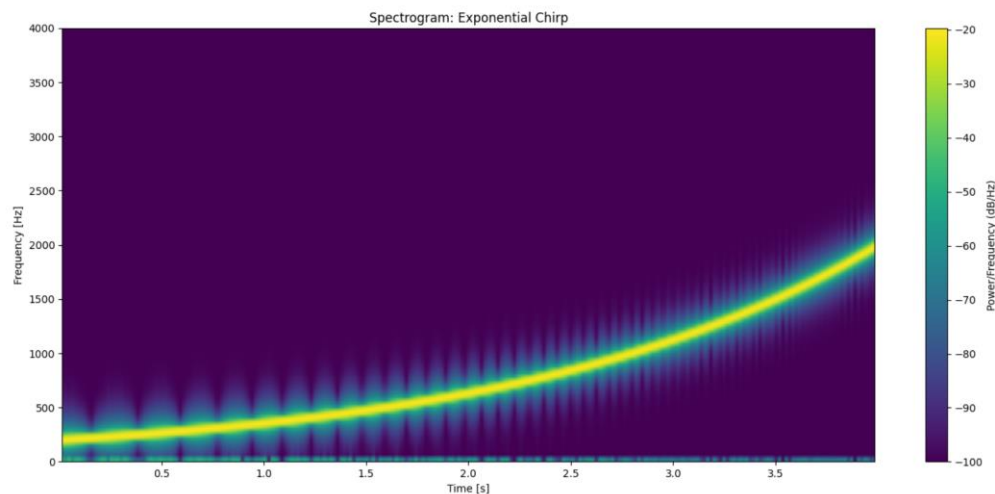


فاز دوم – پیاده سازی طیف نگار

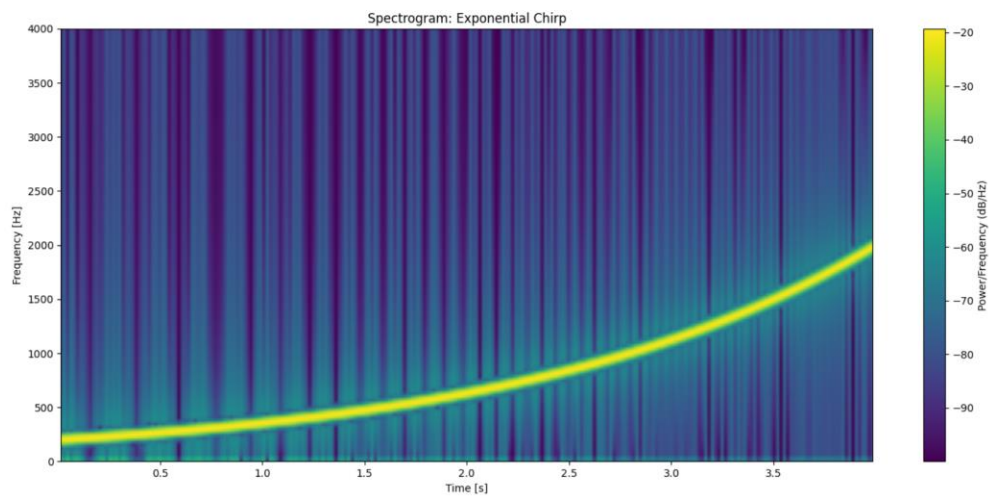
در این بخش طیف نگار سیگنال های مختلف را نمایش میدهیم برای این کار از `spectrogram` و `get_window` کتابخانه `scipy.signal` استفاده میکنیم.

در ادامه طیف نگار برخی از این سیگنال ها را با استفاده از پنجره های مختلف مشاهده میکنیم:

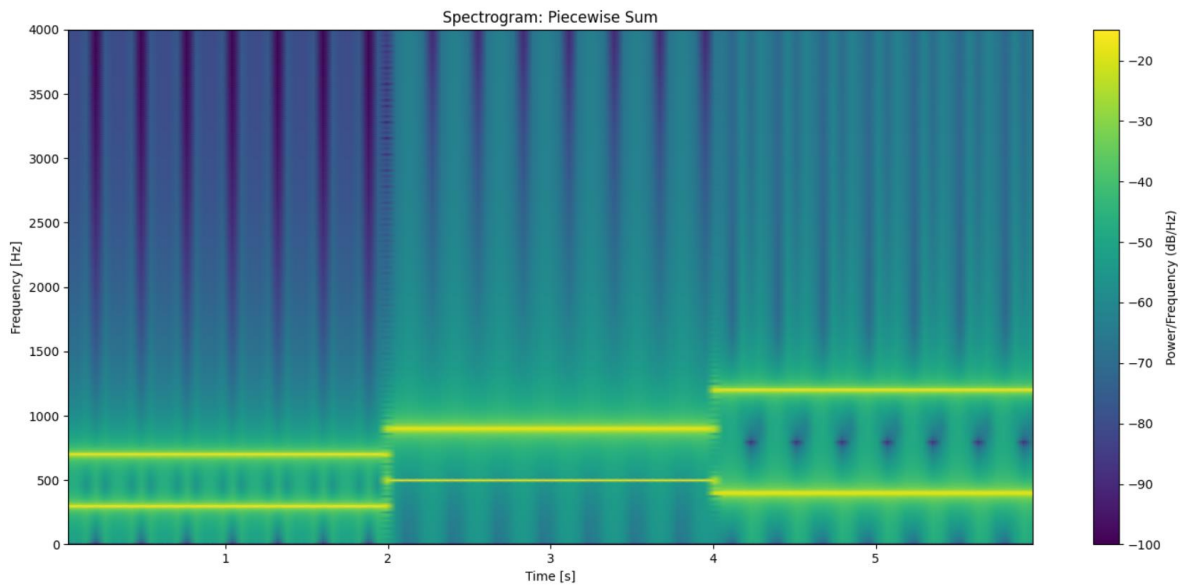
Window type : Hann, Window Length = 256, Overlap = 128



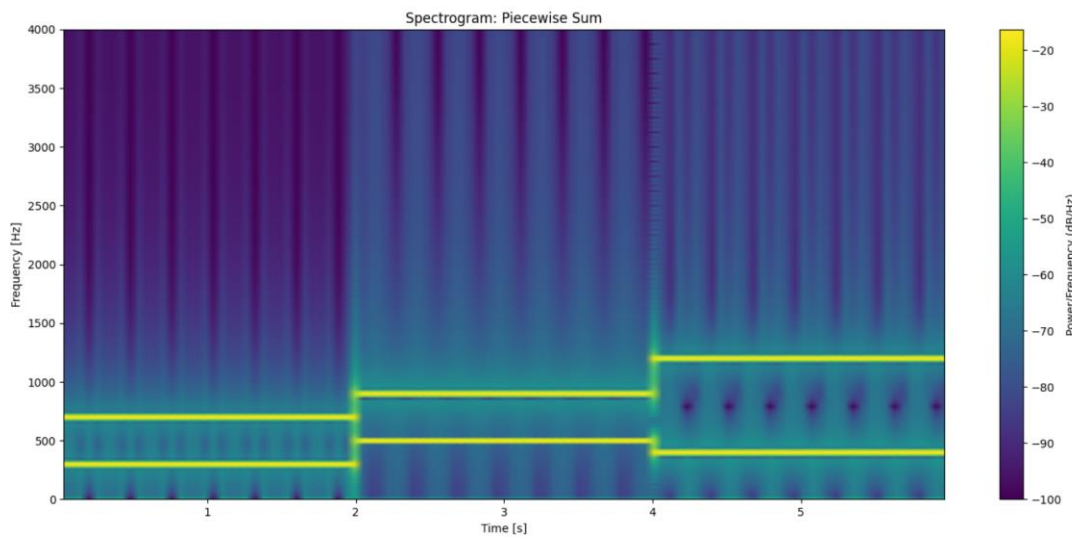
Window type : Hamming, Window Length = 256, Overlap = 128



Window type : Rectangular, Window Length = 512, Overlap = 64



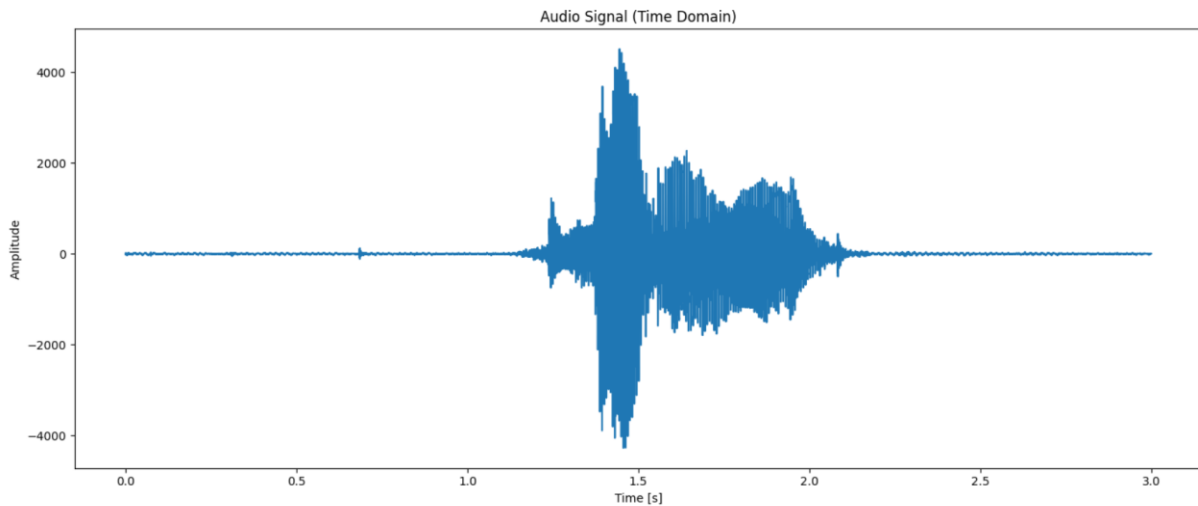
Window type : Hamming, Window Length = 512, Overlap = 64



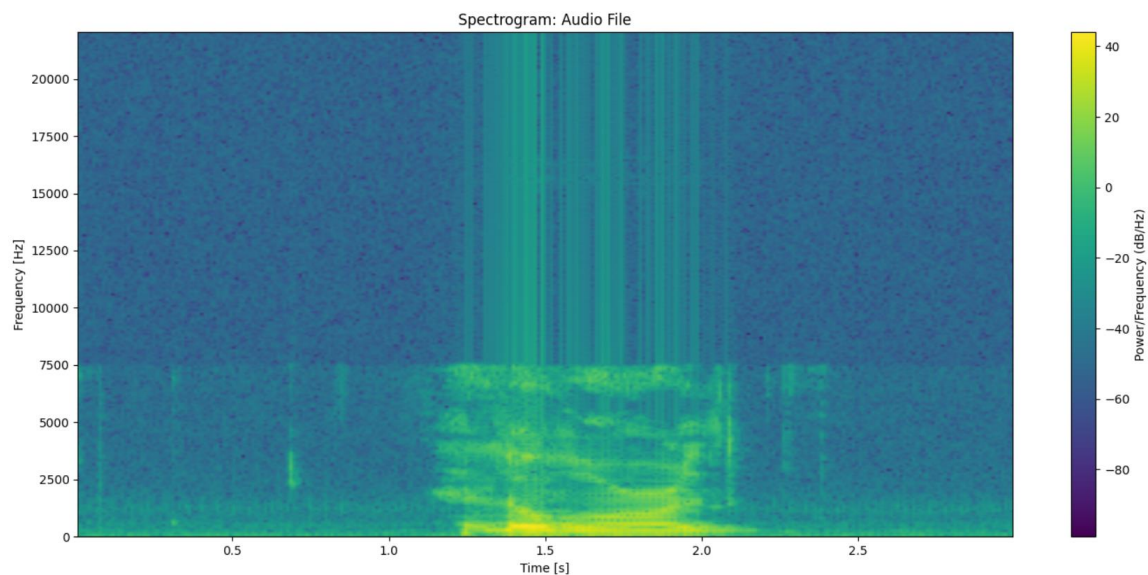
فاز سوم – تحلیل فایل صوتی واقعی

در این بخش استفاده طیف نگار را برای یک فایل صوتی واقعی مشاهده میکنیم:

Audio signal in time domain



Spectrogram of Audio signal



High energy region: 1.3931972789115645 s to 1.486077097505669 s

تصویری از Spectrogram App

