

### 1) Vzorkovací frekvence $F_s$ a délka signálu $length$

Vzorkovací frekvence a délka signálu byla získána z hlavičky WAV souboru<sup>[1][2]</sup>.

$$F_s = 16\,000 [Hz]$$

$$length = 1,00 [s]$$

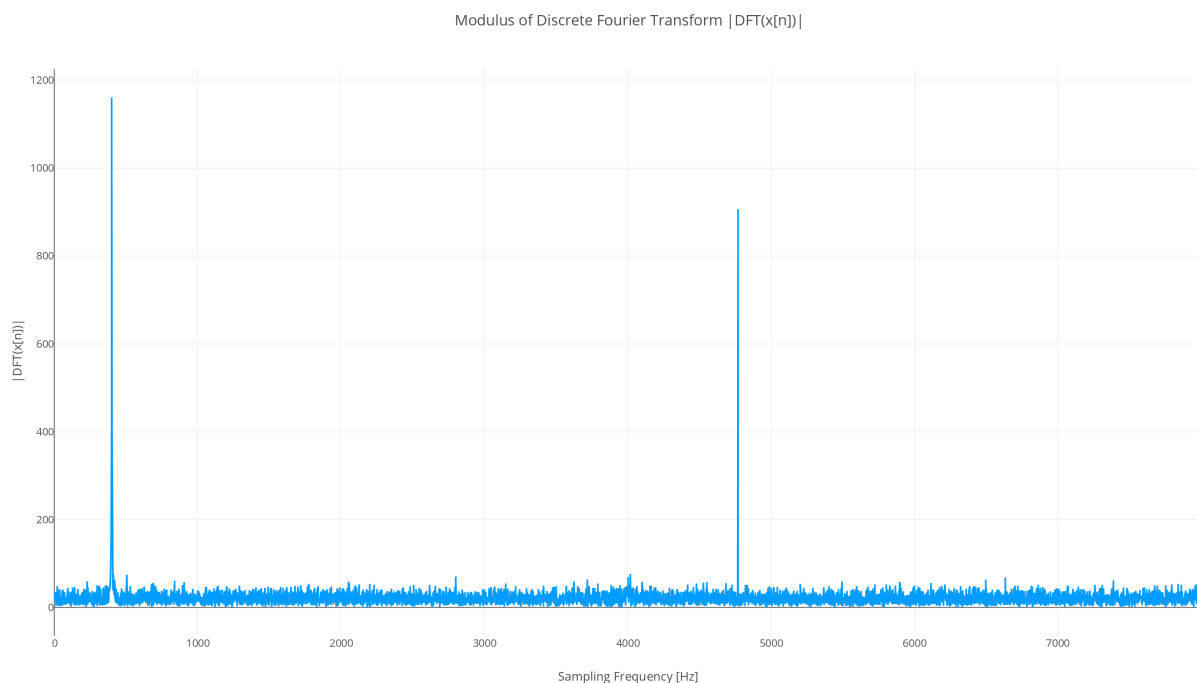
$$length = 16\,000 [samples]$$

### 2) DFT

Diskrétní Fourierova transformace je počítána podle standardního vzorce. Program počítá koeficienty jen od 0 do  $N/2$ . Implementace je k nalezení ve zdrojovém souboru 'DFT.cpp'.

Rovnice pro výpočet DFT je následující:

$$X[k] = \sum_n x[n] \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}$$



### 3) Maximum modulu spektra $F_{peak}$

$$F_{peak} = 400 [Hz]$$

1 <http://soundfile.sapp.org/doc/WaveFormat/>

2 <http://www.tophierlee.com/software/pcm-tut-wavformat.html>

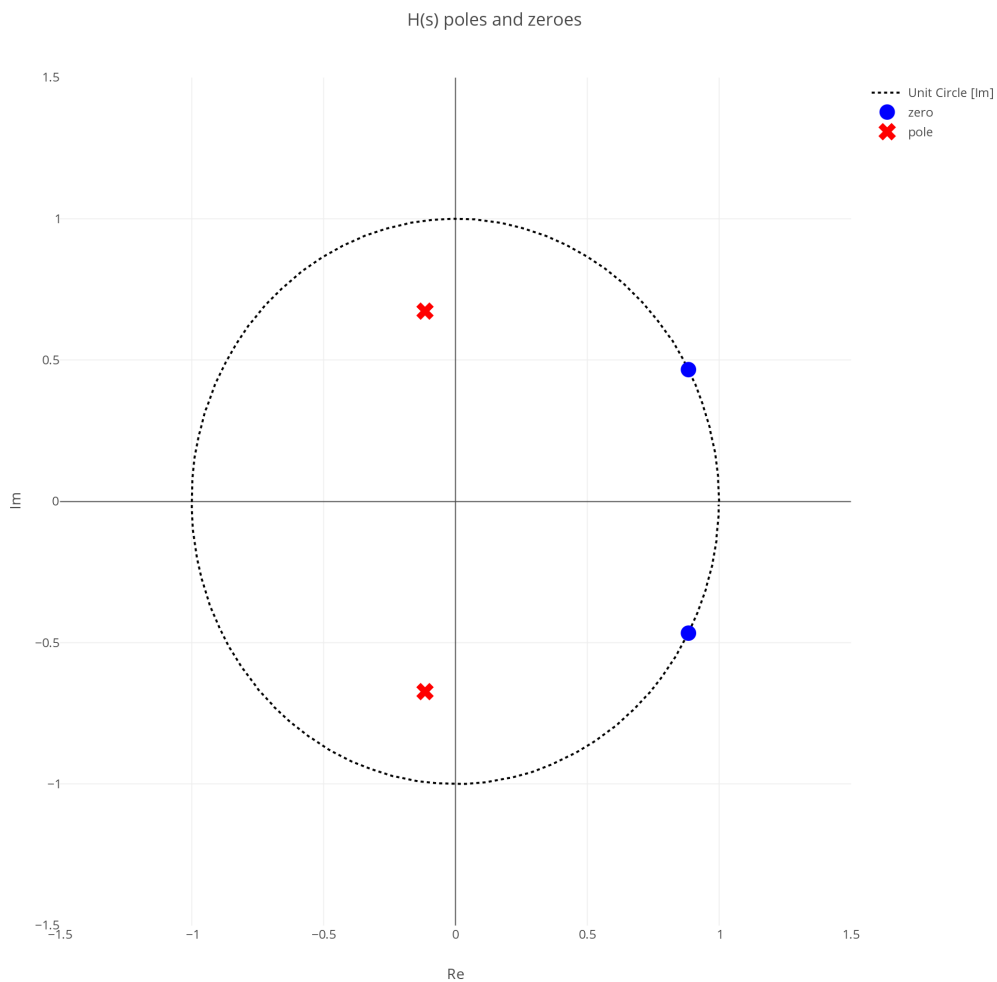
#### 4) IIR filtr, nuly a póly jeho přenosové funkce, stabilita

Nuly a póly pro IIR filtr s koeficienty  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $a_1$  a  $a_2$  jsou vypočítány následovně:

$$n_{1,2} = \frac{-b_1 \mp \sqrt{b_1^2 - 4 \cdot b_0 \cdot b_2}}{2 \cdot b_0} \quad p_{1,2} = \frac{-a_1 \mp \sqrt{a_1^2 - 4 \cdot a_2}}{2}$$

Přenosová funkce je zapsána v tomto tvaru:

$$H(e^{j\omega}) = \frac{b_0 \cdot (e^{j\omega} - n_1) \cdot (e^{j\omega} - n_2)}{(e^{j\omega} - p_1) \cdot (e^{j\omega} - p_2)}$$



$$n_1 = 0.884682 + 0.466196i$$

$$n_2 = 0.884682 - 0.466196i$$

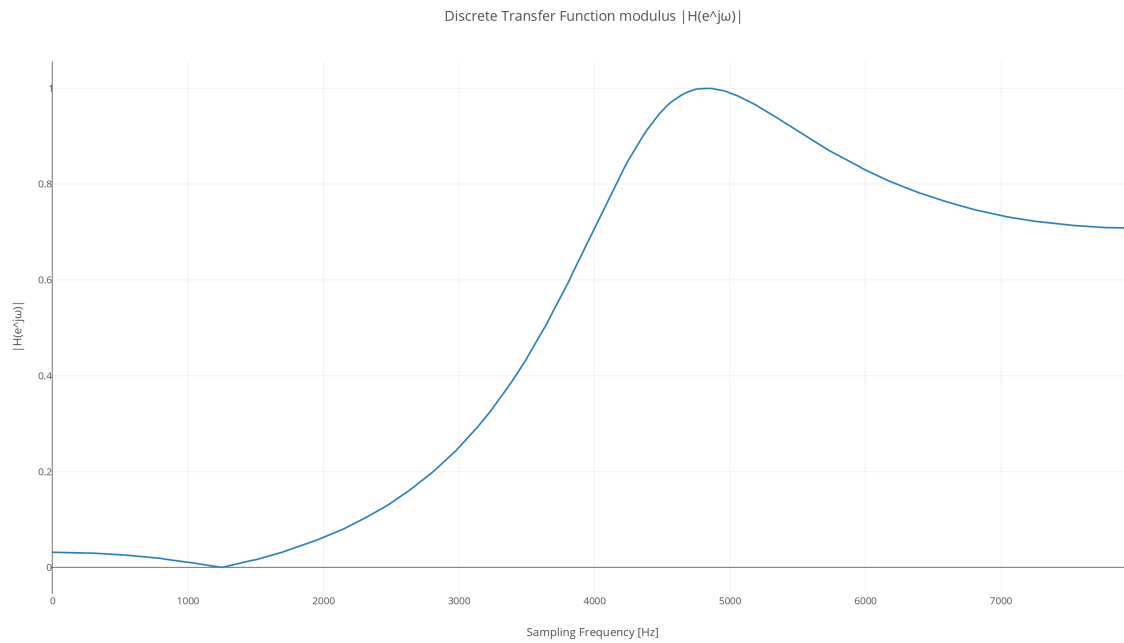
$$p_1 = -0.11445 + 0.673128i \quad |p_1| = 0.682788$$

$$p_2 = -0.11445 - 0.673128i \quad |p_2| = 0.682788$$

Jelikož je modul pólů menší než 1 (jsou uvnitř jednotkové kružnice), je filtr stabilní.

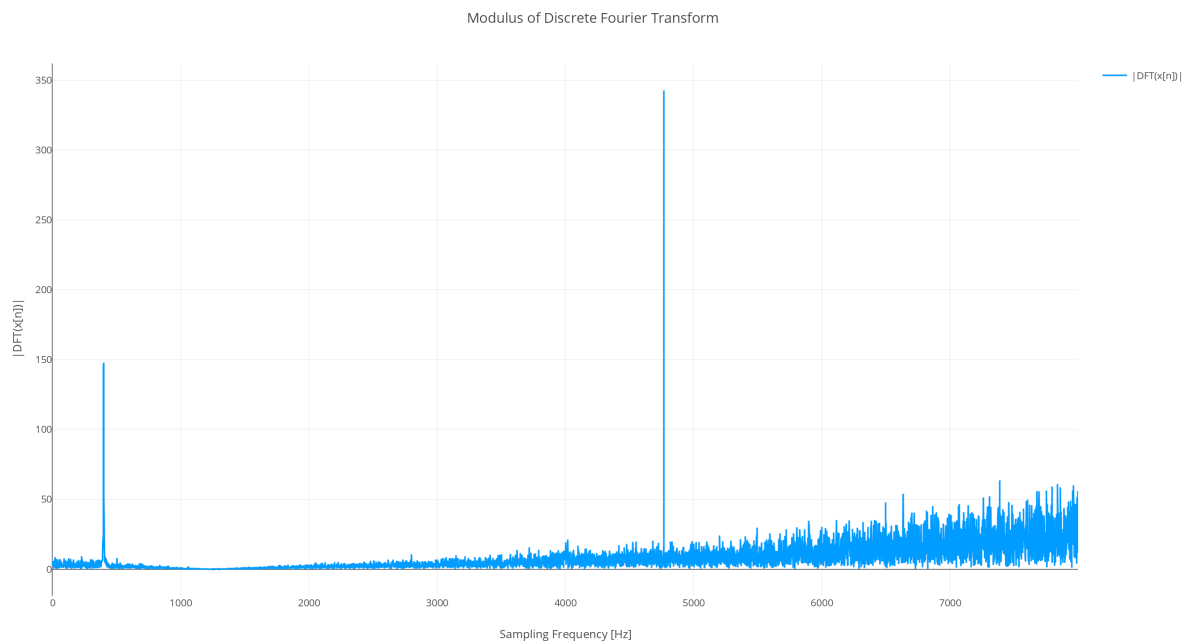
## 5) Modul kmitočtové charakteristiky IIR filtru

Modul kmitočtové charakteristiky IIR filtru je vypočítán jako modul přenosové funkce.



Jedná se o horní propust (*dá se i uvažovat o mixu horní a pásmové propusti*).

## 6) Filtrace IIR filtrem a následná DFT



## 7) Maximum modulu spektra filtrovaného signálu $F_{peak}$

$$F_{peak} = 4769 [Hz]$$

8) Pozice přimíchaného obdélníkového signálu  $t_{signal}$  (20ms, 50% DCL, 4kHz)

$$t_{signal} = 0,529813[s]$$

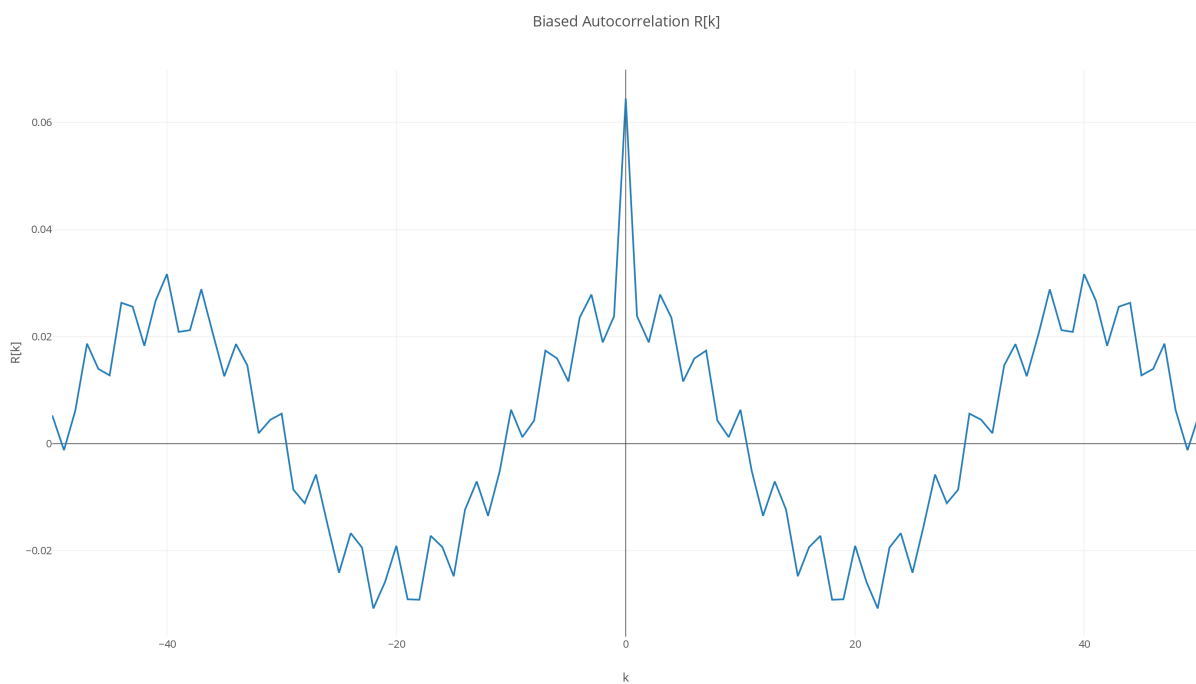
$$t_{signal} = 8477[samples]$$

Pozice byla nalezena pomocí konvoluce s FIR filtrem, jehož koeficienty odpovídaly hledanému signálu, a následného nalezení pozice absolutního maxima tohoto signálu.

9) Autokorelační koeficienty

Autokorelační koeficienty jsou vypočítány podle standardní rovnice:

$$R[k] = \frac{1}{N} \sum_n x[n] \cdot x[n+k]$$

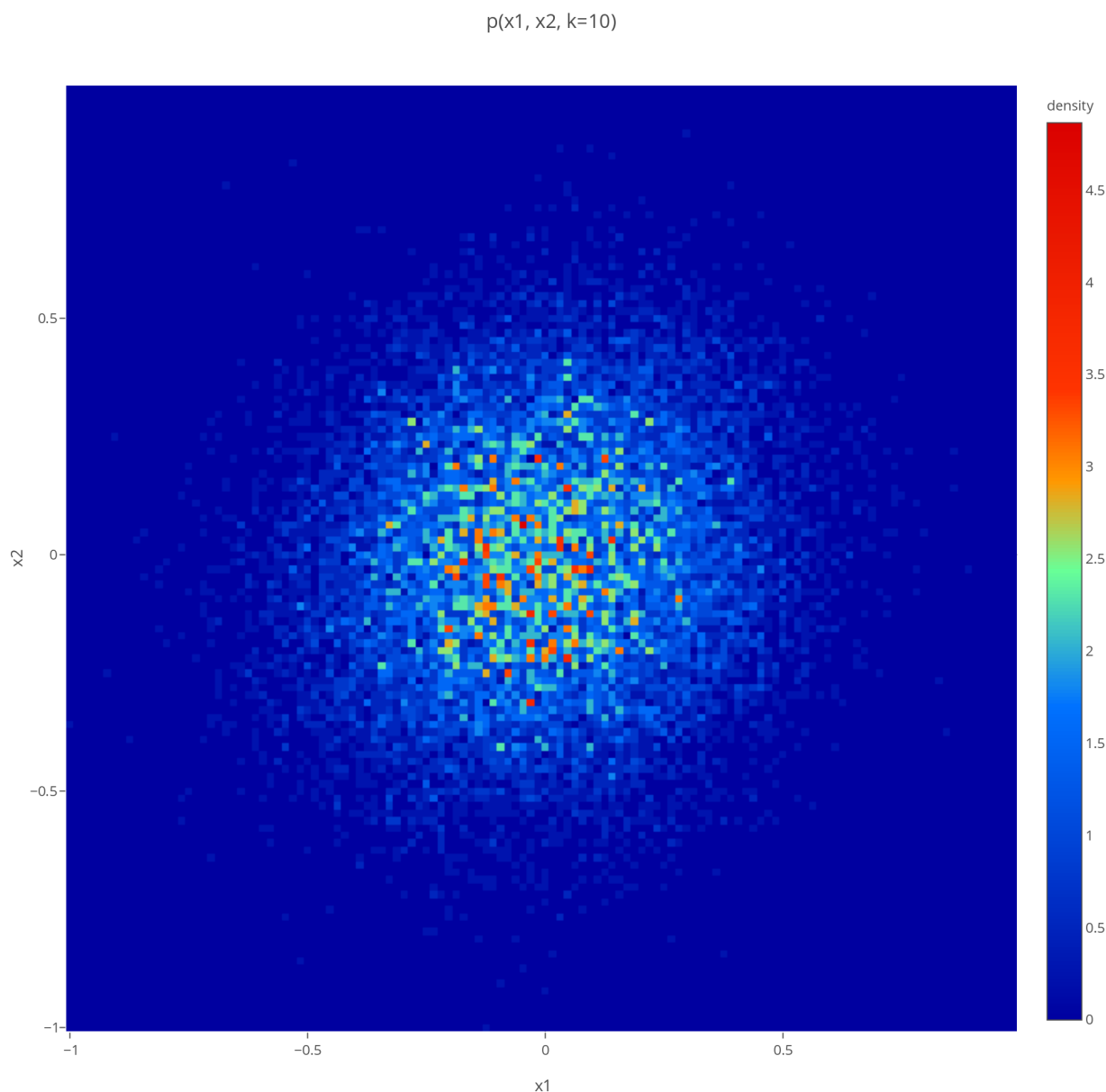


10) Autokorelační koeficient  $R[10]$

$$R[10] = 0.00633644$$

## 11) Časový odhad sdružené funkce hustoty rozdělení pravděpodobnosti

Implementace odhady sdružené funkce hustoty rozdělení pravděpodobnosti je k nalezení ve zdrojovém souboru 'correlation.cpp'.



## 12) Ověření odhadnuté sdružené funkce hustoty rozdělení pravděpodobnosti integrací

```
double integration = 0.0;
for (int x2 = 0; x2 < jpdf.size(); x2++) {
    for (int x1 = 0; x1 < JointProbabilityDensity[x2].size(); x1++) {
        integration += JointProbabilityDensity[x2][x1] * Area;
    }
}
```

Po spuštění programu je hodnota proměnné `integration` rovna jedné. Jedná se tedy o správnou sdruženou funkci hustoty rozdělení pravděpodobnosti.

13) Výpočet autokorelačního koeficientu  $R[10]$  z odhadu funkce hustoty rozdělení pravděpodobnosti

$$R[10] = 0.00642209$$

Vypočtený koeficient  $R[10]$  z odhadu funkce hustoty rozdělení pravděpodobnosti se od autokorelačního koeficientu mírně liší (rozdíl +1.3517%). Důvod mi není známý, může jít například o nepřesnosti při výpočtu a nebo i o chybu v implementaci.

---

Program pro projekt realizující výše uvedené výpočty je psán v C++, bez využití jakýchkoliv 3rd party knihoven. DFT je implementována se složitostí  $O(n^2)$ . Veřejný git repozitář pro projekt je dostupný na adrese: <https://github.com/Aroidzap/VUT-FIT-ISS-Project-2017-2018>.

Použitá literatura:

- [1] Jan Černocký, *ISS - Signály a Systémy*, podklady k přednáškám, 2015, [https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/ISS/public/NEW\\_PRED/](https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/ISS/public/NEW_PRED/)
- [2] Anonymní autor, *WAV (RIFF) audio file*, získáno v prosinci 2017, <http://www.topheree.com/software/pcm-tut-wavformat.html>
- [3] Craig Stuart Sapp, *WAVE PCM soundfile format*, získáno v prosinci 2017, <http://soundfile.sapp.org/doc/WaveFormat/>

Použitý software:

- [A] Microsoft Corporation, *Visual Studio Community 2017*, 15.5.2, December 14, 2017, <https://www.visualstudio.com/cs/vs/community/>
- [B] Dominic Mazzoni and others, *Audacity*, 2.2.1, 6 December, 2017, <https://www.audacityteam.org>

Použité služby:

- [I] Plotly, *Plotly*, online data analytics and visualization tool, 2017, <https://plot.ly/>