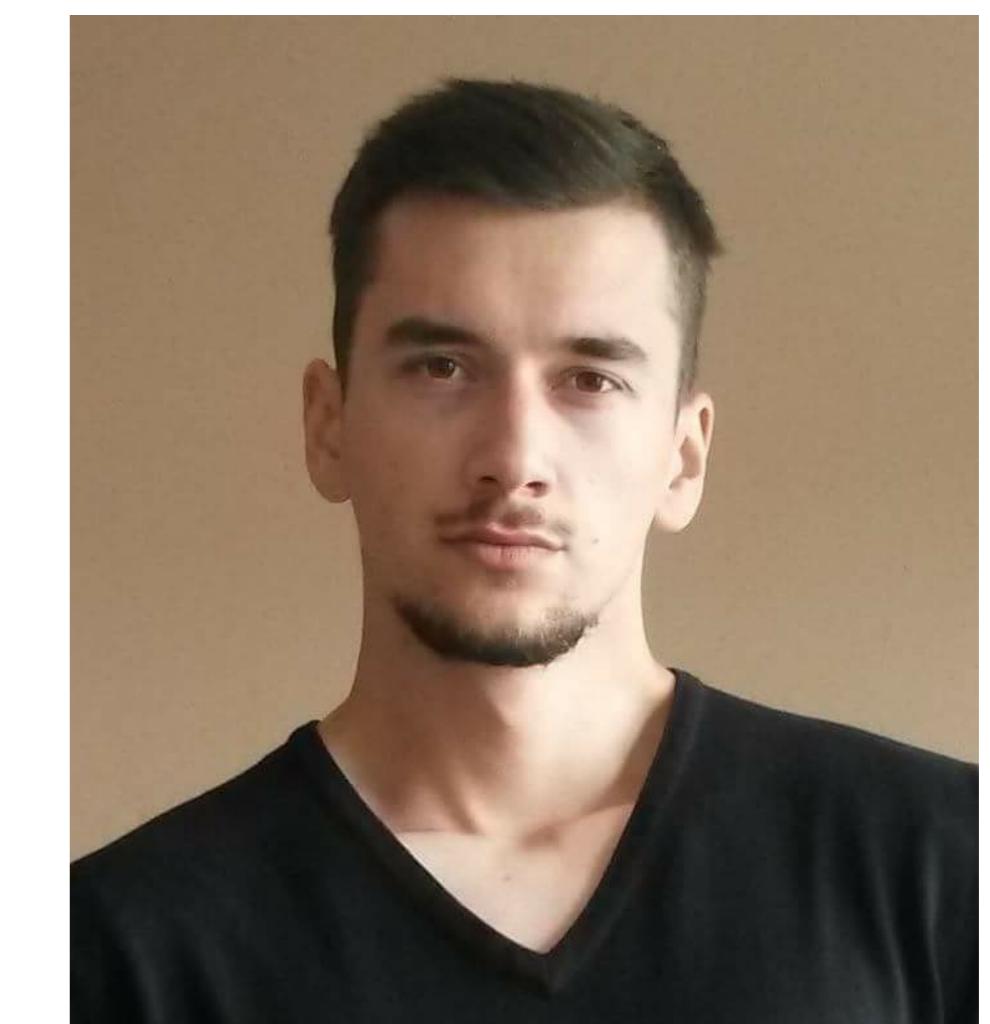


Interaktivní software pro vizualizaci Fourierovy transformace obrazu a aplikaci filtrů založených na modifikaci frekvenčního spektra

Řešitel: Ing. Zdeněk Hrazdíra¹, Školitel: prof. RNDr. Miloslav Druckmüller, CSc.¹

¹Ústav matematiky, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, CZE



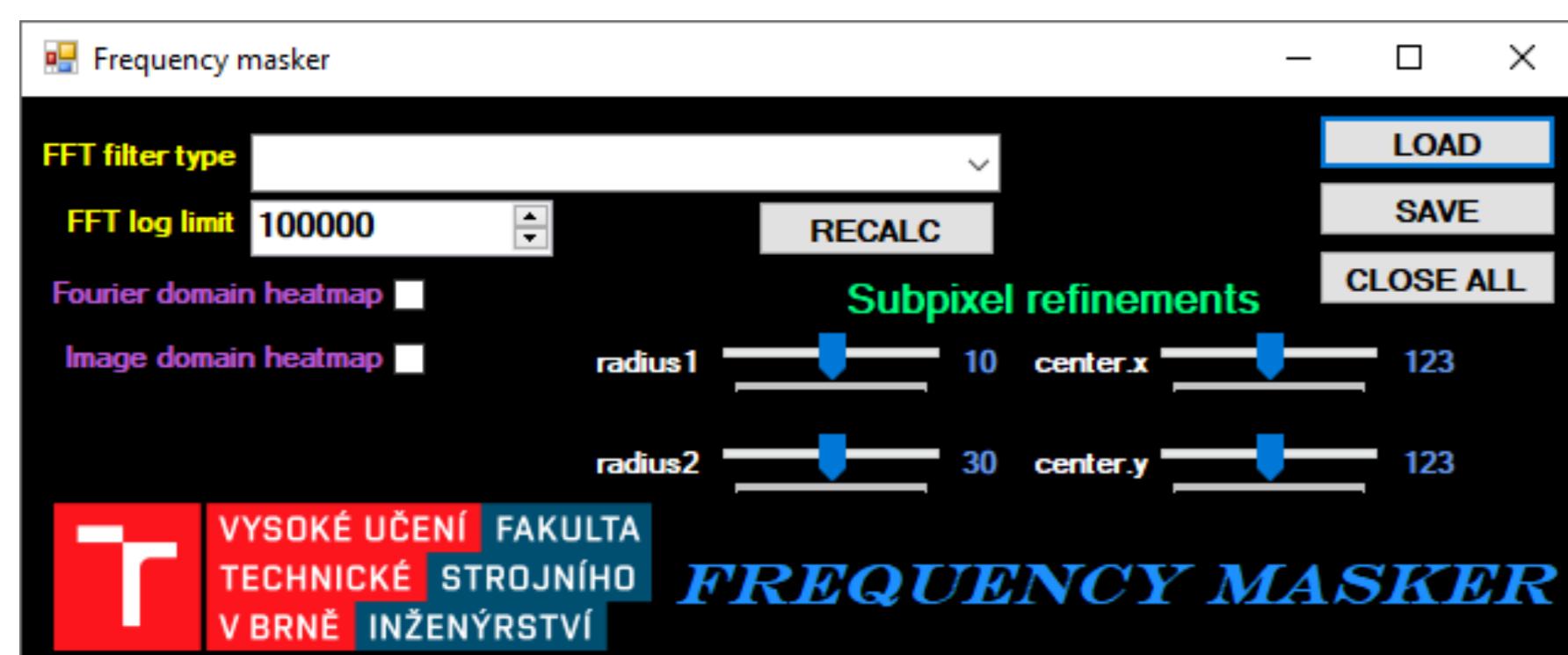
Projekt FV 19 - 20

✉ hrazdira.zdenek@gmail.com — 🐣 github.com/zdenyhraz — 📡 Zdeněk Hrazdíra

Mnoho metod zpracování obrazu je založeno na analýze a modifikaci frekvenčního spektra obrazů [2]. V tomto spektru je totíž řešení spousty hlavních cílů zpracování obrazu mnohem jednodušší a rychlejší, díky moderním algoritmům pro jeho výpočet [3, 4]. Ústředním tématem projektu je tzv. diskrétní Fourierova transformace (dále jen DFT), která převádí diskrétní signál (např. obraz) z klasického (bežně časového či prostorového) spektra do spektra frekvenčního. Analýzou zastoupení jednotlivých frekvencí v daném signálu (nejčastěji hlavně jejich amplitud) je možné získat mnoho důležitých informací o jeho charakteristice [1], např. (při analýze prostorových frekvencí obrazu) ostrost obrazu, míru šumu, astigmatismus, polohu / natočení předmětů v obraze a mnoho dalších. Díky témtu vlastnostem je vizualizace a porozumění obrazové DFT důležitým krokem pro vyřešení značné části úkolů zpracování digitálních signálů a problémů vznikajících při práci s nimi.

Vyvinutý software

Jelikož se celý projekt týká zpracování obrazu ve frekvenčním spektru, je důležité obrazy a spektra vhodně vizualizovat. K tomuto účelu bylo řešitelem vyvinuto kromě samotného softwaru pro výpočet v efektivním komplikovaném jazyce C++ také interaktivní grafické uživatelské rozhraní v prostředí .NET, pomocí kterého může uživatel nahrát do softwaru libovolný obraz (formáty JPEG, PNG, TIFF, aj.) libovolné velikosti, vizualizovat ho ve frekvenčním spektru pomocí několika různých metod a aplikovat frekvenční filtry podle volby. Software následně vypočítá a vhodně vizualizuje filtrovaný obraz, spolu s množstvím dalších potenciálně užitečných informací. Uživateli je také umožněno specifikovat přesné parametry jednotlivých frekvenčních filtrů, a to v subpixelové přesnosti.



Obr. 1: Hlavní grafické uživatelské rozhraní.

Grafické uživatelské rozhraní

Uživateli softwaru je po jeho spuštění představeno minimalistické grafické rozhraní, pomocí kterého software ovládá. Toto rozhraní je složeno z nekolika tlačítek, interaktivních / výběrových textových polí, štítků, zaškrťávacích políček a posuvníků. Tyto jednoduché grafické elementy mají přímočaré funkce:

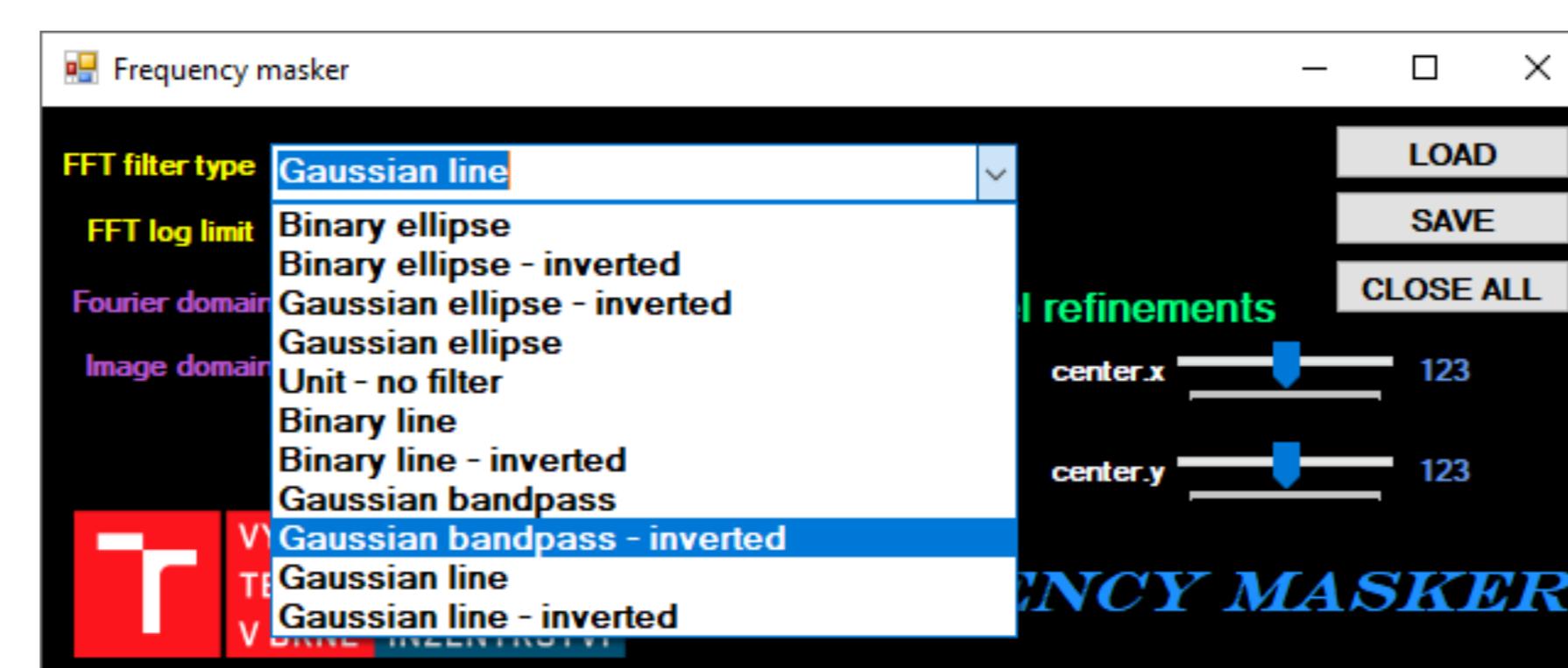
- Tlačítko **LOAD** otevře nový dialog umožňující výběr a načtení obrazového souboru z disku.
- Tlačítko **SAVE** otevře nový dialog umožňující uložení aktuálního stavu filtrovaného obrazu na disk.
- Tlačítko **CLOSE ALL** zavře všechna okna náležející aplikaci.
- Tlačítko **RECALC** přepočte a zobrazí filtrovaný obraz.
- Výběrové textové pole **FFT filter type** umožní uživateli výběr typu frekvenčního filtru.
- Interaktivní textové pole **FFT log limit** umožní uživateli zadat parametr pro lepší vizualizaci amplitudového spektra DFT - surové spektrum je před vizualizací normalizováno do oblasti od 1 do aktuální hodnoty parametru FFT log limit a poté logaritmováno. Parametr FFT log limit může výrazně měnit názornost vizualizace DFT obrazu.
- Přepínače **Image / Fourier domain heatmap** přepínají mezi černobílým obrazem a tepelnou barevnou mapou v obrazové / frekvenční doméně.
- Posuvníky **radius 1, radius 2, center.x, center.y** umožňují subpixelové změny parametrů frekvenčních filtrů.

Volba typu frekvenčního filtru

V softwaru je zahrnuta řada nejznámějších a nejpoužívanějších frekvenčních filtrů, ze kterých si uživatel může vybrat pomocí výběrového textového pole **FFT filter type**. Tyto filtry můžeme hrubě rozdělit na dvě základní kategorie - binární a Gaussovské. Binární frekvenční filtry budou frekvenci plně propustí, nebo plně odfiltrují. Maska binárního filtru tedy nabývá pouze hodnot 0

či 1. Na druhou stranu, Gaussovské frekvenční filtry odstíní jednotlivé frekvence hladce, a tak jejich masky nabývají všech hodnot v intervalu od 0 do 1 (avšak ne nutně rovnoměrně).

Software dále zahrnuje dvojí podobu všech filtrů, a to normální a invertovanou. Invertovaná verze filtru $\bar{M}(x, y)$ je spočtena z normálního filtru $M(x, y)$ jednoduše jako $\bar{M}(x, y) = 1 - M(x, y)$. Díky normalizaci hodnot filtrů do oblasti od 0 do 1 je zaručeno, že jejich invertované verze nabývají hodnot ve stejném intervalu. Implementované filtry můžeme dále rozdělit podle jejich geometrie na filtry typu elipsa, pás a čára.



Obr. 2: Hlavní grafické uživatelské rozhraní s expandovanou nabídkou typů frekvenčních filtrů.

Filtry typu elipsa

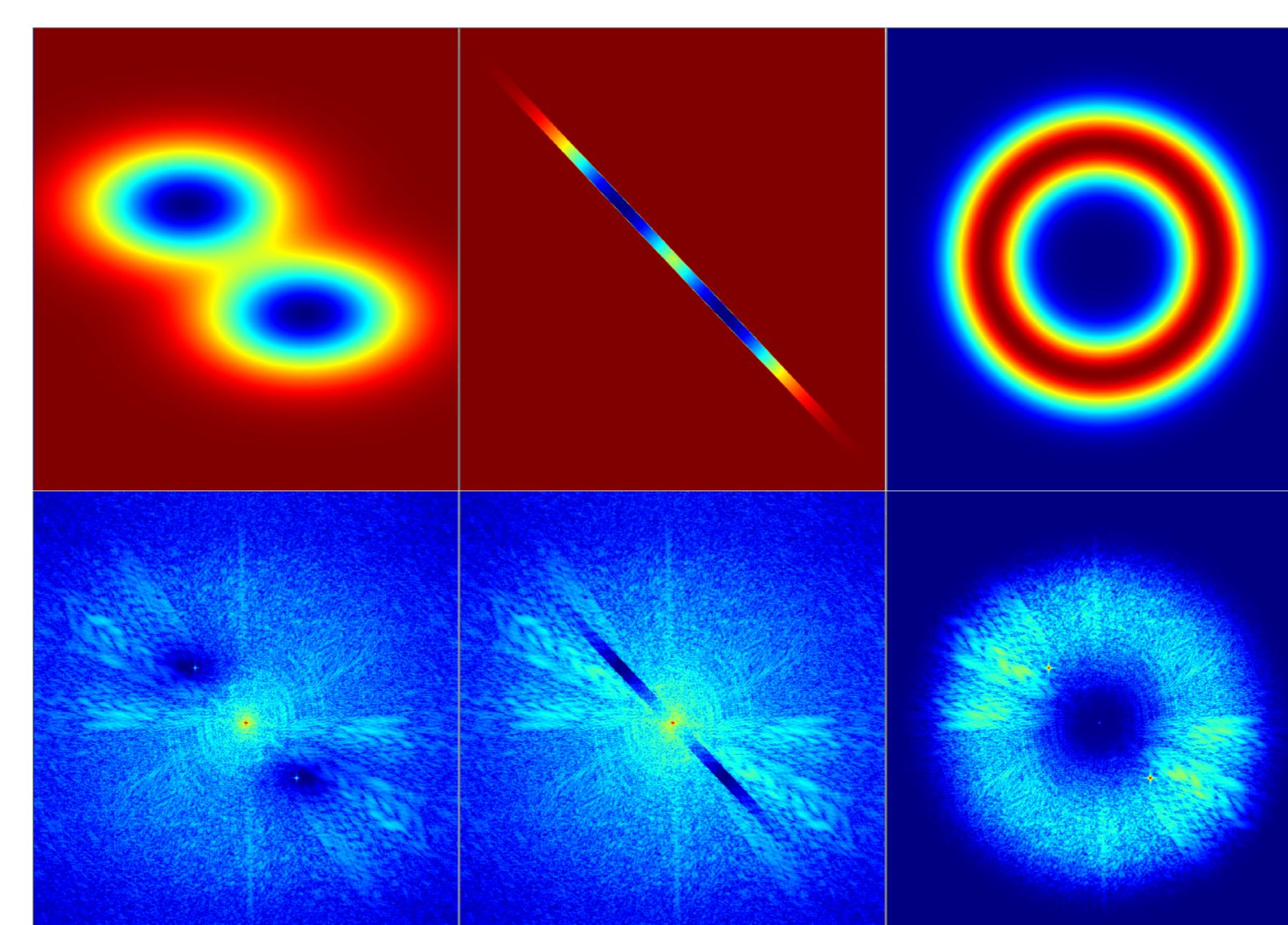
Filtře typu elipsa odstíní / propustí frekvence v středově symetrických elliptických oblastech, jejichž středy jsou určeny subpixelově nastavitelnými parametry **center.x** / **center.y** a jejichž hlavní / vedlejší poloměry jsou určeny parametry **radius 1** / **radius 2**. Tímto způsobem je například možno realizovat známé frekvenční filtry typu horní / dolní propusť (pokud položíme střed elipsy do počátku).

Filtře typu pás

Filtře typu pás odstíní / propustí pouze frekvence ve volitelně širokém pásu volitelně daleko od počátku. Filtry tohoto typu jsou vlastně kombinací základních filtrů horní a dolní propusť. Vzdálenost středu pásu od počátku je určena vzdáleností nastavitelného středu (parametry **center.x** / **center.y**) od počátku a šířka pásu je určena parametrem **radius 1**.

Filtře typu čára

Filtře typu čára odstíní / propustí pouze frekvence ležící na dvou středově symetrických volitelně nakloněných úsečkách o volitelné tloušťce se začátkem a koncem ve volitelné vzdálenosti od středu. Sklon úseček je určen sklonem spojnice středu a bodu o souřadnicích danými parametry **center.x** / **center.y**, vzdálenost začátku / konce úseček od středu jsou určeny parametry **radius 1** / **radius 2** a tloušťka úseček je modifikovatelná pomocí parametru **thickness**.



Obr. 3: Základní geometrické typy implementovaných frekvenčních filtrů a příklady filtrovaných amplitudových spekter. Zleva doprava: Gaussovský filtr typu elipsa, Gaussovský filtr typu čára, Gaussovský filtr typu pás.

Přepínač černobílé a tepelné barevné mapy v obrazové / frekvenční doméně

Pro některé typy obrazů či jejich amplitudových spekter DFT může být černobílá reprezentace jejich hodnot poněkud nevýrazná. Pokud je uživatel náročný a zajímájí ho i velmi malé změny a rozdíly, je možno černobílé zobrazení přepnout na zobrazení pomocí lineární či logaritmické tepelné barevné mapy. Toto zobrazení lépe zvýrazní drobné niance, jak v obraze, tak v jeho amplitudovém spektru. Přehlednost a srozumitelnost tohoto zobrazení je ovšem subjektivní.



Obr. 4: Příklad rozdílu černobílé a lineární tepelné barevné mapy v obrazové doméně.

Zobrazená okna

Okno MASTER / MASTER FILTERED

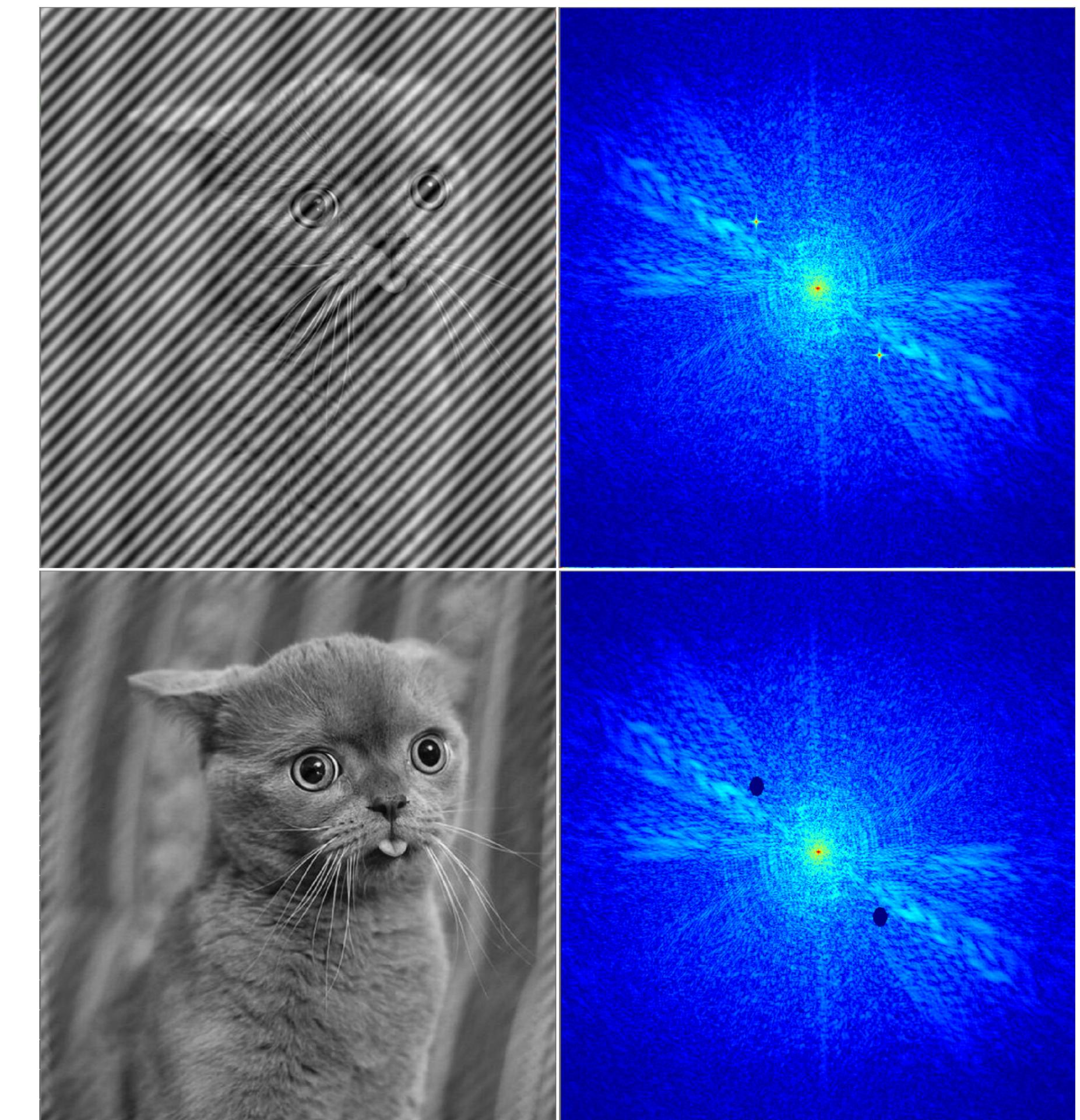
Toto okno zobrazuje hlavní výsledek procesu frekvenční filtrace obrazu - originální a filtrovaný obraz.

Okno DFT MAGNITUDE / DFT PHASE

Toto okno zobrazuje logaritmicky upravené amplitudové a fázové spektrum DFT filtrovaného obrazu.

Okno FILTER MASK / DIFF

Toto okno zobrazuje masku aplikovaného filtru a rozdíl mezi originálním a filtrovaným obrazem.



Obr. 5: Výsledek aplikace filtru modifikující frekvenční spektrum obrazu. Nahore: vstupní obraz a jeho amplitudové spektrum; dole: filtrovaný obraz a jeho filtrované amplitudové spektrum (frekvenční filtr typu binární elipsa, amplitudová spektra vizualizována pomocí logaritmické tepelné barevné mapy).

Využití výsledků

Předložený projekt může najít využití v předmětu Počítačové metody zpracování obrazů (TNM), kde jsou obrazová Fourierova transformace a filtry frekvenčního spektra důležitým vyučovaným tématem. Při cvičeních s počítačovou podporou běžně není díky komplexnosti vícerozměrné DFT čas na její naprogramování, a tak může software z předloženého projektu nově studentům umožňovat rychlé a snadné vyzkoušení, ověření funkčnosti a lepší pochopení značné části vyučované látky TNM. Software se také může díky své flexibilitě hodit jakýmkoliv případným studentům či zaměstnancům VUT, kteří ve své vědecké práci zpracovávají digitální obrazy pomocí Fourierovských metod.

Literatura

- [1] Peter F. Bernath. Fourier transform techniques. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier, 2018.
- [2] Stéphane Mallat. A wavelet tour of signal processing. Elsevier, 1999.
- [3] Steven W. Smith. Continuous signal processing. In *Digital Signal Processing*, pages 243–260. Elsevier, 2003.
- [4] Yicong Zhou, Weijia Cao, Licheng Liu, Sos Agaian, and C.L. Philip Chen. Fast fourier transform using matrix decomposition. *Information Sciences*, 291:172–183, jan 2015.