Rekonstrukce MRI obrazu

31. března 2011

1 Úvod

Úkolem cvičení je rekonstruovat ρ, T_1 a T_2 vážený obraz z NMR pomocí fourierovské rekonstrukce.

2 Vstup

Stáhněte si 3 matice (`pd`, `t1`, `t2` odpovídající ρ, T_1, T_2), které budou tvořit náš virtuální fantom. Relaxační doby T_1 a T_2 jsou v ms (proto je třeba zadávat T_r a T_e v ms).

Obrázek 1: Zleva doprava ρ, T_1, T_2

3 Rekonstrukce obrazu

MRI nám dává možnost pomocí nastavení parametrů T_r a T_e vytvářet obrazy vážené podle ρ (hustoty protonů, proton density), nebo podle relaxačních časů T_1 a T_2. Jak se dnes přesvědčíte, nepodaří se nám nikdy získat obraz reprezentující čistě ρ, T_1, nebo T_2. V obraze bude vždy přítomná i jistá složka ostatních parametrů. Vhodnou volbou parametrů T_e a T_r však můžeme vliv těchto nežádoucích složek potlačit.

Nastudujte si přednášky o MRI.

3.1 Úkol 1—implementace

Implementujte funkci rekonstruující obrázek NMR, jejímž vstupem bude virtuální fantom (matice ρ, T_1 a T_2) a výstupem bude matice K (k-prostor) kde řádky budou odpovídat jednotlivým excitacím.

- Pro každý pixel obrázku vypočtěte amplitudu výstupního signálu podle zjednodušeného vzorce:

$$U = \rho(1 - e^{-\frac{T_r}{T_1}})e^{-\frac{T_e}{T_2}} \tag{1}$$

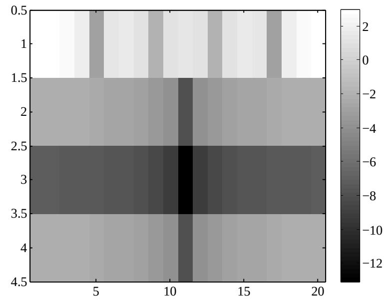
- Zvolte počet excitací (opakování) pro fázové kódování. Počet opakování M je roven počtu řádků vstupního obrazu.
- Vytvořte vektor fází $\varphi \in \langle 0, 2\pi)$, $\varphi_n = (n-1)\frac{2\pi}{M}$, $n = 1 \dots M$. Každá řádka obrazu je kódována jednou fází φ_n, každý element vektoru $\boldsymbol{\varphi}$ bude odpovídat jedné excitaci.
- Vytvořte vektor frekvencí $\boldsymbol{\omega}$ pro frekvenční kódování sloupců $\omega_m = 100m$ [Hz], $m = 1 \dots S$, kde S odpovídá počtu sloupců vstupního obrazu.
- Zvolte počet časových vzorků na řádku, $N = aS$, kde $a \geq 2$, $a \in \mathbb{N}$.
- Vypočítejte vzorkovací frekvenci $\Omega = a \max(\boldsymbol{\omega})$.
- Vypočítejte interval vzorkování $T = \frac{2\pi}{\Omega}$.
- Vygenerujte vektor vzorkovacích časů $t_s = (s-1)T$, $s = 1 \dots N$.
- Spočítejte reálnou část obrazu v k-prostoru. Obraz v k-prostoru je matice o velikosti $M \times N$ s elementy:

$$\mathbf{K}(r,s) = \sum_{i,j=1}^{i=M,j=S} U_{i,j} cos(\omega_j \mathbf{t}(s) + (r-1)\varphi_i), \tag{2}$$

  kde i je index fázového kódování, j index frekvenčního kódování, r pořadové číslo opakování a $\mathbf{t}$ vektor vzorkovacích časů.
- Pomocí Hilbertovy transformace dopočítejte imaginární složku obrazu v k-prostoru. Víme že výsledkem má být reálný obraz, hledáme tedy imaginární část k-prostoru tak, aby zpětná fourierova transformace celého k-prostoru byla reálná. K tomu poslouží Hilbertova transformace, v Matlabu `hilbert(x)`. Pozor, Matlabská funkce funguje po sloupcích, my potřebujeme hilbertovu transformaci po řádcích.

3.2 Úkol 2—vizualizace

- Aplikujte vytvořenou funkci na virtuální fantom, nastavte $T_r = 5$s, $T_e = 1$ms.
- Zobrazte absolutní hodnotu obrazu v k-prostoru, hodnoty jednotlivých prvků matice K mapujte na jasy logaritmicky.



Obrázek 2: Absolutní hodnota k-prostoru pro $T_r = 5$s, $T_e = 1$ms. Jasy mapovány logaritmicky, $a = 4$

3.3 Úkol 3—zpětná transformace

- Proveďte výpočet obrazu v k-prostoru a zpětnou rekonstrukci obrazu pomocí inverzní FFT pro 3 následující kombinace parametrů.

T_r	5s	5ms	5s
T_e	1ms	1ms	1s

- Která z kombinací odpovídá T_1, T_2 a která ρ váženému obrazu a proč? Uveďte rovnici a vysvětlete jednotlivé případy.

- Zobrazte všechny tři rekonstruované obrazy, vyřízněte jen tu část, která odpovídá vstupu. Porovnejte s maticemi parametrů T_1, T_2, ρ.