

INTERPOLATION METOD PIXEL NEAREST NEIGHBOUR FOR 3D ULTRASOUND RECONSTRUCTION

Bc. Petr LACMAN, Master Degree Programme (4)
Dept. of Biomedical Engineering, FEEC, BUT
E-mail: xlacma00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Ing. Jiří Začal

ABSTRACT

Three-dimensional ultrasound data obtained using a 2D ultrasound probe with positional sensor are not equidistant. Before visualization 3D ultrasound data it is necessary to use some interpolation method. This work presents interpolation method Pixel Nearest Neighbour and summarizes the most important steps of realization this method in program MATLAB.

1 ÚVOD

Trojrozměrná ultrazvuková data můžeme získat snímáním 3D ultrazvukovou sondou, nebo použít klasickou 2D ultrazvukovou sondu a její údaje doplnit pozičními informacemi. Takto získaná ultrazvuková data jsou ovšem neekvidistantní a je nutno přistoupit k jejich rekonstrukci do pravidelného 3D voxelového prostoru. K rekonstrukci lze použít velkého množství metod, které se různí výpočetní náročností i dobou trvání rekonstrukce. Metoda Pixel Nearest Neighbour (PNN) je jednou z nejpoužívanějších metod.

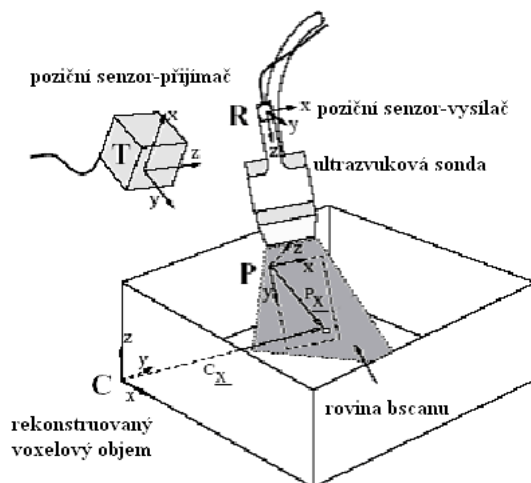
2 PRINCIP REKONSTRUKČNÍ METODY PIXEL NEAREST NEIGHBOUR

Základní algoritmus metody je složen ze dvou kroků: bin-filling a hole filling [3]. V prvním kroku je brán ze souboru B-skenů každý B-sken jednotlivě a v něm je procházen pixel po pixelu, přitom hledáme nejbližší voxel, kterému pak přiřadíme hodnotu aktuálního pixelu. Pokud nastane situace, kdy více pixelů odpovídá jednomu voxelu, určíme hodnotu tohoto voxelu např. jako aritmetický průměr. Po proběhlém prvním kroku však v rekonstruovaném voxelovém poli zůstanou tzv. díry, tj. voxely bez přidělené jasové hodnoty. Proto ve druhém kroku metody PNN postupně procházíme rekonstruovaný voxelový prostor a díry vyplňujeme, nejčastěji použitím průměrování hodnot voxelů v okolí díry [3].

3 PRVNÍ KROK REKONSTRUKČNÍ METODY PNN - BIN FILLING

V tomto kroku procházíme každý B-sken pixel po pixelu, určujeme souřadnice pixelů

v tomto B-skenu v prostoru a dle těchto údajů je umísťujeme do předem připraveného 3D voxelového pole. Jedná se tedy o transformaci mezi souřadnicovými systémy [1], [2], [3]. Tato transformace je znázorněna na obr. 1. Souřadnice každého pixelu v souřadnicovém systému roviny B-skenu P jsou transformovány nejprve do souřadnicového systému vysílače R , poté do souřadnicového systému přijímače T a nakonec do rekonstruovaného objemu C .



Obr. 1: Souřadnicové systémy při transformaci pixel-voxel [2].

Při transformaci mezi dvěma souřadnicovými systémy musíme uvažovat šest stupňů volnosti: tři rotace α , β , γ a tři posuny dx , dy , dz . Vzájemnou celkovou rotaci získáme nejlépe třemi postupnými rotacemi podél os x , y , z souřadnicového systému. Nejprve provedeme otočení s úhlem α kolem osy x (elevace), pak otočení s úhlem β kolem osy y (azimut) a nakonec otočení s úhlem γ kolem osy z (náklon). Pokud uvažujeme, že rotace jsou vztaženy k prvnímu souřadnicovému systému, dostáváme výslednou transformační matici mezi dvěma souřadnicovými systémy [1]:

$${}^J T_I(dx, dy, dz, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) & \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) - \sin(\alpha) \cdot \cos(\gamma) & \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \sin(\alpha) \cdot \sin(\gamma) & x \\ \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) & \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) + \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) & \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\gamma) & y \\ -\sin(\alpha) & \cos(\beta) \cdot \sin(\gamma) & \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, (1)$$

kde symbol ${}^J T_I$ vyjadřuje transformaci ze souřadnicového systému I do souřadnicového systému J . Pro zjednodušení výpočtu můžeme transformaci ${}^C T_T$ vynechat a spojit rekonstruovaný voxelový objem se souřadnicovým systémem pozičního senzoru-přijímače. Po tomto zjednodušení tedy při umísťování pixelu do voxelového prostoru musíme provést transformace ${}^R T_P$ a ${}^T T_R$.

3.1 TRANSFORMACE SOUŘADNIC ${}^R T_P$

Je nutné si uvědomit, že ze získaných 2D dat nelze přímo vyčíst souřadnice x , y , z pro každý pixel. Z údajů pozičního senzoru získáme pouze souřadnice vrcholu každého B-skenu a informace o náklonu sondy. Proto je nutné vypočítat vztah každého pixelu v B-skenu vzhledem k jeho vrcholu. Uvažujme nyní, že máme k dispozici B-skeny ze snímání, kdy

rotace α , β , γ jsou nulové. Potom mezi vrcholem B-skenu a n -tým pixelem B-skenu budou platit následující rovnice pro jednotlivé souřadnice odvozené ze vztahů v pravouhlém trojúhelníku:

$$x = dx, y = r \cdot \sin(\varphi) + dy, z = r \cdot \cos(\varphi) + dz, \quad (2)$$

kde r je vzdálenost mezi pixelem a vrcholem B-skenu a φ je úhel mezi spojnicí příslušného pixelu s vrcholem B-skenu a stranou B-skenu. Pokud není dodržen předpoklad nulových rotací α , β , γ doplníme transformaci popsanou rovnicí (2) ještě o rotační část, podobně jako je to dále popsáno pro transformaci ${}^T T_R$.

3.2 TRANSFORMACE SOUŘADNIC ${}^T T_R$

Nejprve je nutné z údajů pozičního senzoru získat souřadnice sondy dx , dy , dz a údaje o rotaci α , β , γ příslušného B-skenu v němž daný pixel leží. Z těchto údajů vypočítáme transformační matici dle (1). Tuto matici můžeme rozdělit na rotační (tj. prvky matice (1), kde se vyskytují goniometrické funkce) a posuvnou část. Obě části vytvoříme zvlášť. Nejdříve s využitím údajů α , β , γ vypočteme rotační části matice (1). Jak bylo uvedeno výše, celkovou rotaci získáme nejlépe třemi postupnými rotacemi. Posuvnou část matice (1) získáme využitím souřadnic sondy dx , dy , dz a obě části poté složíme dohromady maticovým vynásobením.

4 DRUHÝ KROK REKONSTRUKČNÍ METODY PNN - HOLE FILLING

Po skončení prvního kroku rekonstrukce zůstanou v rekonstruovaném 3D poli voxely bez přidělené jasové hodnoty, tzv. díry. V druhém kroku rekonstrukce tedy pomocí 3D interpolace v určitém okolí přidělíme jasovou hodnotu i těmto dírám. Použít můžeme např. interpolaci v okolí $3*3*3$ nebo $5*5*5$. Hodnoty příspěvků v daném okolí můžeme navíc ještě váhovat rovnoměrnými, exponenciálními či inverzními vahami. Voxel také můžeme naplnit maximální hodnotou z daného okolí.

5 ZÁVĚR

Rekonstrukční metoda PNN je jednou z nejméně výpočtově i časově náročných metod pro rekonstrukci 3D ultrazvukových dat. Při realizaci metody v programu MATLAB byla ověřena její účinnost. Nejlepších výsledků dosahovala metoda PNN při použití interpolace v okolí $5*5*5$ s exponenciálními nebo rovnoměrnými vahami ve druhém kroku rekonstrukce.

LITERATURA

- [1] Fenster, A., Downey, D., Cardinal, N. Three-dimensional ultrasound imaging. University of Western Ontario, London, Canada, 2000
- [2] Prager, R.W., Rohling, R., Gee, A. Automatic calibration for 3D freehand ultrasound. University of Cambridge, 1997
- [3] Rohling, R., 3D Freehand Ultrasound, Reconstruction and spatial Compounding. Churchill College University of Cambridge, 1998