

# Paralelné filtrovanie štruktúrovaných mračien bodov vedenej intenzitnou textúrou v CUDA

Martin Melicherčík

*Vedúci práce*

RNDr. Martin Madaras, PhD.

Katedra aplikovanej informatiky

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky  
UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE

23.6.2021

# 3D skenovanie

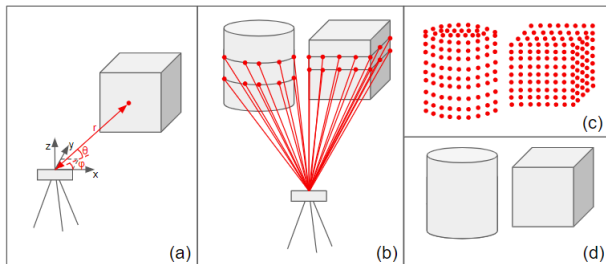
- ▶ Virtuálna reprezentácia reálnych 3D objektov
- ▶ Využitie: validácia súčiastok, analýza archeologických nálezov...



Obr. 1: Skenovanie 3D objektu.

# Reprezentácia skenovanej scény

- ▶ Mračno bodov je množina bodov v 3D priestore
- ▶ Štruktúrované mračno bodov je 2D matica bodov, kde každá vzorka nesie informáciu o pozícii v 3D priestore



Obr. 2: Štruktúrované mračná bodov

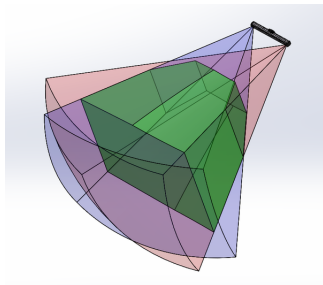
# PhoXi 3D skener

Dáta zo skenera:

- ▶ Hĺbková mapa
- ▶ Intenzitná textúra - šedotónová fotka scény

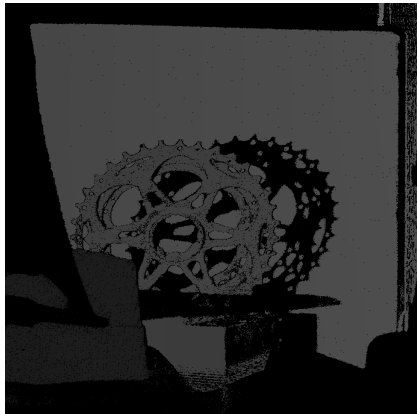


Obr. 3: PhoXi 3D skener.



Obr. 4: Získanie hĺbkovej mapy.

## Ukážka obrazov z skenera



Obr. 5: Hĺbková mapa.



Obr. 6: Intenzitná textúra.

# Filtrovanie hĺbkových máp

Hĺbkové mapy obsahujú šum.

- ▶ Vyhladenie povrchu objektov
- ▶ Zachovanie hrán objektov
- ▶ Dodefinovanie pixelov

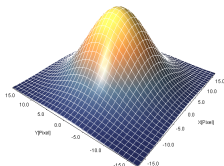
Známe filtrovacie techniky:

- ▶ Bilaterálny filter
- ▶ Trilaterálny filter
- ▶ Guided filter

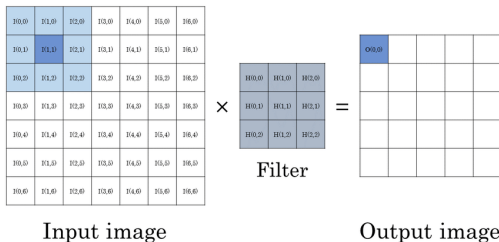
# Filtrovanie hĺbkových máp

## Vyhľadanie povrchu

- ▶ Pre každý pixel vážený priemer pixelov z lokálneho okolia
- ▶ Gaussova funkcia určuje váhu pixela z okolia

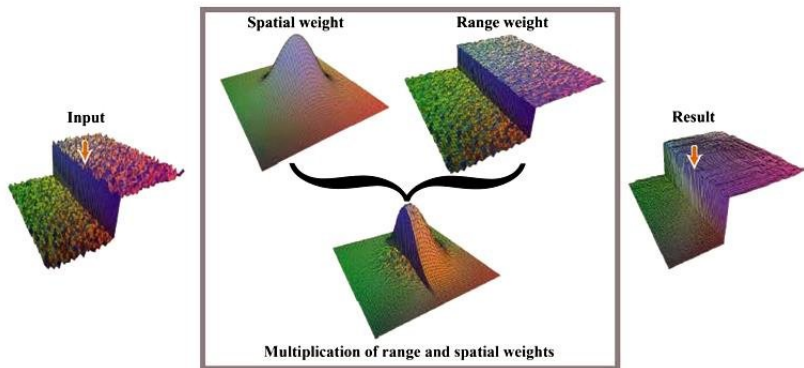


Obr. 7: Gaussova funkcia



Obr. 8: Filtrovanie obrazu

# Bilaterálny filter

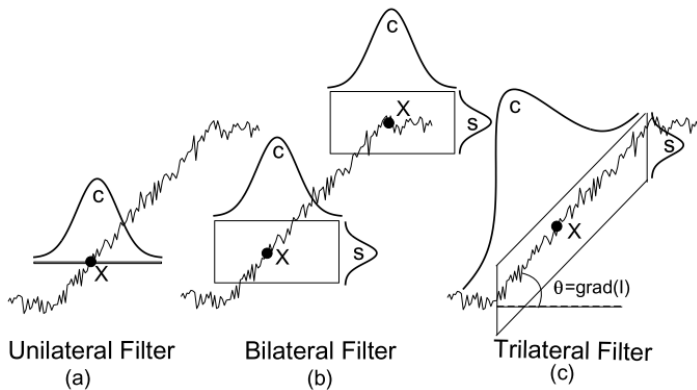


Bilateral filter weights at the central pixel

Obr. 9: Bilaterálny filter

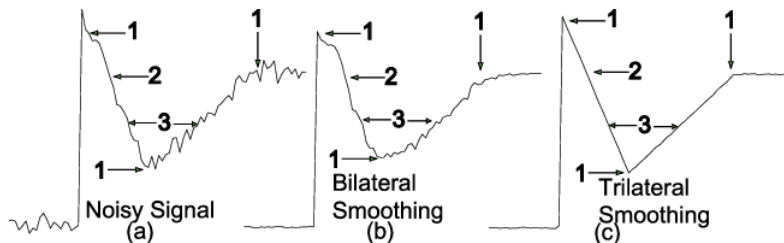


# Trilaterálny filter



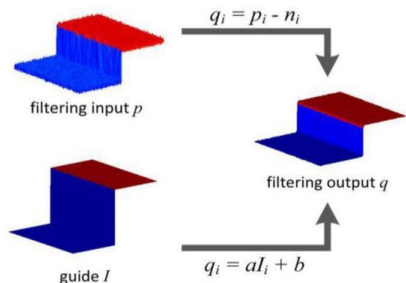
Obr. 10: Trilaterálny filter

## Bilaterálny filter vs. Trilaterálny filter



Obr. 11: Porovnanie filtrov

# Guided filter



Obr. 12: Guided filter

Pre lokálne okolie  $\omega_k$  pixela  $k$ :

$$\min_{(a,b)} \sum_{i \in \omega_k} ((a I_i + b - p_i)^2 + \epsilon a^2)$$

↓  
Lineárna regresia

↓

$$a = \frac{\text{Cov}(I, p)}{\text{Var}(I) + \epsilon}$$

$$b = \bar{p} - a \bar{I}$$

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in \omega_k$$

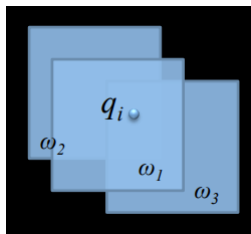
## Guided filter - rozšírenie na celý obraz

- ▶ Všetky lokálne okolia  $\omega_k$  majú vypočítané koeficienty  $(a_k, b_k)$ .
- ▶ Vypočítame priemer hodnôt  $a_k l_i + b_k$  zo všetkých  $\omega_k$ , do ktorých patrí pixel  $q_i$ .

$$b_k = \bar{p}_k - a_k \bar{l}_k$$

$$a_k = \frac{\text{Cov}(l_k, p_k)}{\text{Var}(l_k) + \epsilon}$$

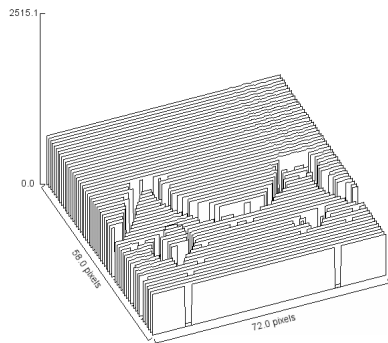
$$q_i = \frac{1}{|\omega|} \sum_{k|i \in \omega_k} (a_k l_i + b_k) = \bar{a}_i l_i + \bar{b}_i$$



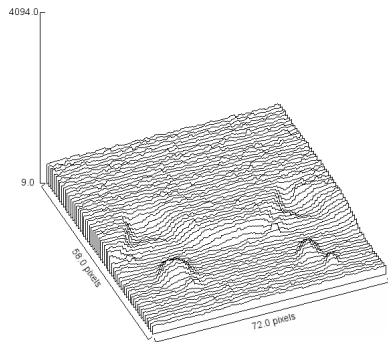
## Guided filter a naše vstupné dáta

- ▶ Vstupý obraz je hĺbková mapa
- ▶ Pomocný obraz je intenzitná textúra
- ▶ Pomocný obraz musí mať ostré hrany
- ▶ Medzi šumami na povrchoch obrazov nesmie byť vzťah

# Analýza intenzitnej textúry



Obr. 13: Hĺbková mapa.



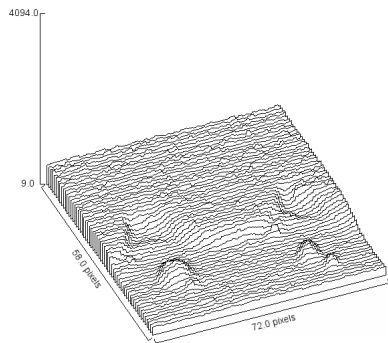
Obr. 14: Intenzitná textúra.

# Úprava intenzitnej textúry

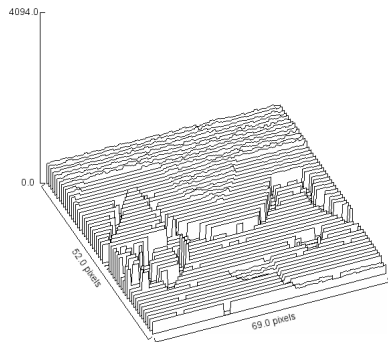
- ▶ Body rovnako vzdialené od kamery by mohli mať aj v intenzitnej textúre približne rovnakú hodnotu
- ▶ Pomocou hĺbkovej mapy rozdeliť pixely na skupiny podľa vzdialenosti od kamery
- ▶ Priemer hodnôt pixelov pre každú skupinu
- ▶ V okolí hrán upraviť hodnoty pixelov na spriemerované hodnoty

# Úprava intenzitnej textúry

- ▶ Zachovanie šumu.
- ▶ Zaostrenie hrán.



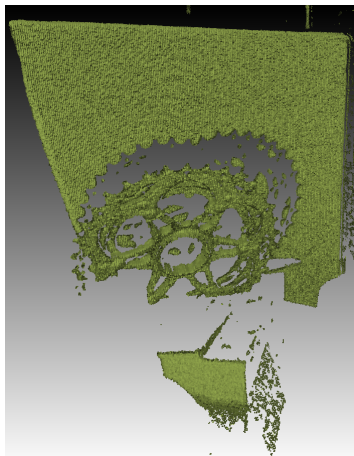
Obr. 15: Intenzitná textúra.



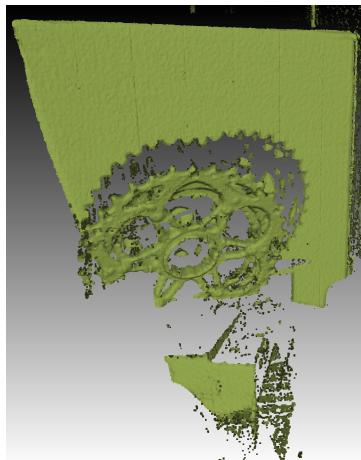
Obr. 16: Upravená intenzitná textúra.



## Výsledky aplikácie Guided filtra - vyhladenie povrchu

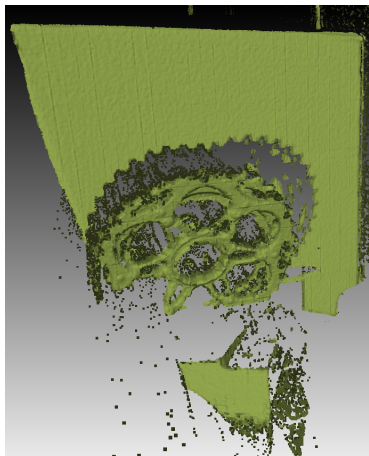


Obr. 17: Vstupná hĺbková mapa.

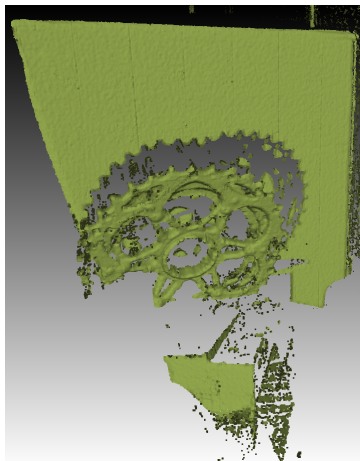


Obr. 18: Výstupná hĺbková mapa.

## Výsledky aplikácie Guided filtra



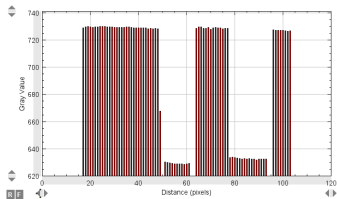
Obr. 19: Výstupná hĺbková mapa pri neupravenej intenzitnej textúre



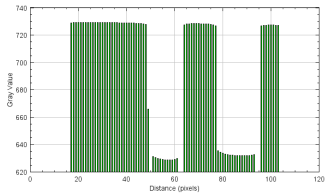
Obr. 20: Výstupná hĺbková mapa pri upravenej intenzitnej textúre

# Výsledky aplikácie Guided filtra

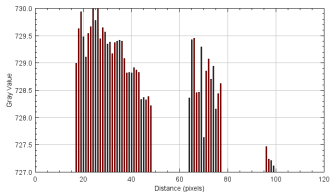
## Analýza úseku riadku pixelov hĺbkovej mapy



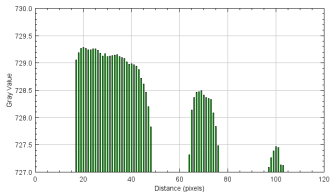
Obr. 21: Vstupná hĺbková mapa



Obr. 23: Výstupná hĺbková mapa



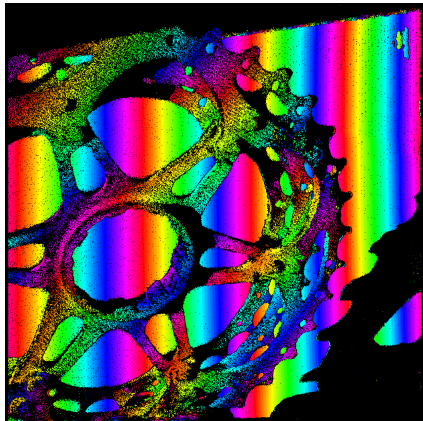
Obr. 22: Priblíženie Obr. 21



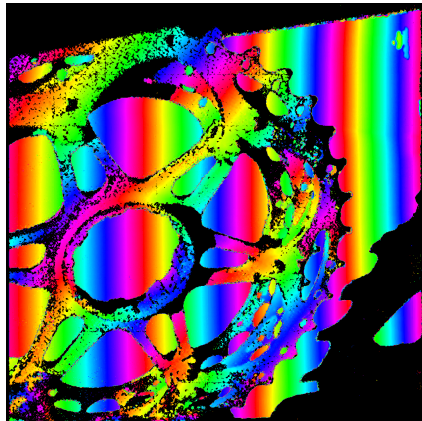
Obr. 24: Priblíženie Obr. 23

## Dodefinovanie pixelov

Pre vizualizáciu namapujeme hĺbkovú mapu na farebné spektrum



Obr. 25: Vstupná hĺbková mapa.



Obr. 26: Výstupná hĺbková mapa.

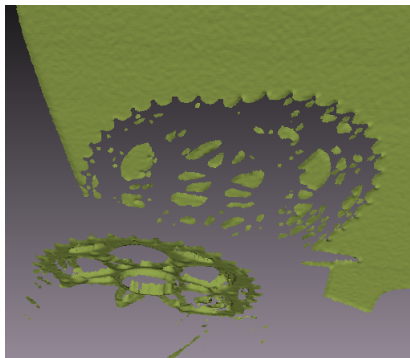
# Implementácia

- ▶ Jazyk C++ a platforma CUDA.
- ▶ Knižnica OpenCV.
- ▶ CPU a GPU implementácia.
- ▶ Zariadenie NVIDIA Jetson TX2.

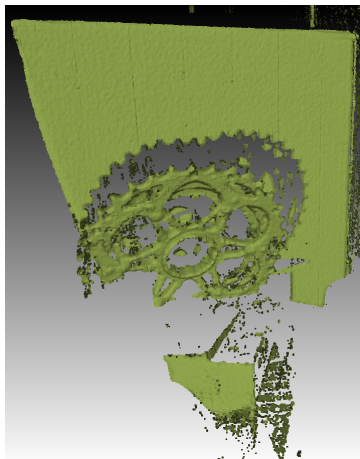
Číslo behu	CPU čas v <i>ms</i>	GPU čas v <i>ms</i>
1	9194.350	7.057
2	9238.384	9.093
3	9154.863	8.819
4	9205.231	6.869
<b>Priemer</b>	9198.207	7.960

**Tabuľka 1:** Časy behu CPU a GPU implementácii guided filtra na zariadení NVIDIA Jetson TX2 pri rozlíšení vstupnej hĺbkovej mapy  $2064 \times 1544$  pixelov.

## Porovnanie s Bilaterálnym filtrom



Obr. 27: Bilaterálny filter.



Obr. 28: Guided filter.

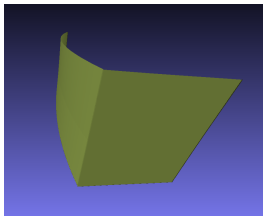
# Porovnanie s Bilaterálnym filtrom

Bilaterálny filter vyvinutý spoločnosťou Photoneo.

Filter	Priemerný čas v <i>ms</i>	Počet behov
Guided	11.859	4
Bilateral	12.937	4

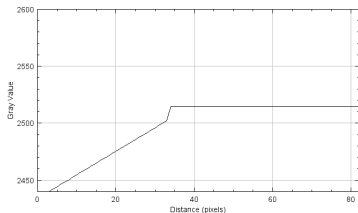
**Tabuľka 2:** Časy behu našej GPU implementácie guided filtra a Photoneo GPU implementácie bilateral filtra na zariadení NVIDIA Jetson TX2 pri rozlíšení vstupnej hĺbkovej mapy  $2064 \times 1544$  pixelov.

# Porovnanie s Bilaterálnym filtrom

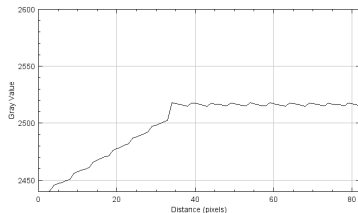


Obr. 29: Syntetická scéna.

## Analýza riadku pixelov hĺbkovej mapy scény



Obr. 30: Ideálna hĺbková mapa.

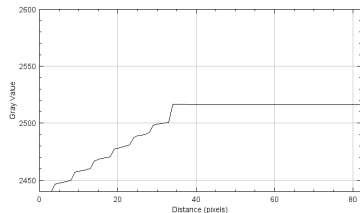


Obr. 31: Zašumená hĺbková mapa. ↻ 🔍 🔗

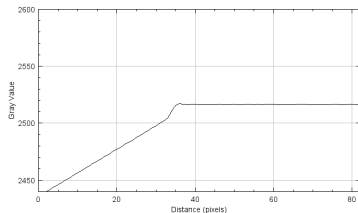


# Porovnanie s Bilaterálnym filtrom

## Analýza riadku pixelov hĺbkovej mapy scény



Obr. 32: Bilaterálny filter.



Obr. 33: Guided filter.

## Zhrnutie výsledkov a prínos

- ▶ Aplikácia guided filtra na 3D dáta
- ▶ Použitie intenzitnej textúry ako pomocnej informácie
- ▶ Kvantitatívna aj kvalitatívna analýza výsledkov
- ▶ Na niektorých vstupoch lepšie výsledky ako bilaterálny filter
- ▶ Paralelná GPU implementácia
- ▶ Čas behu porovnateľný s bilaterálnym filtrom

Ďakujem za pozornosť

## Intenzitná textúra

Ukázalo sa, že pomocná intenzitná textúra nemala ideálne vlastnosti pre vedenie filtra a preto trebalo intenzitnú textúru upraviť pred aplikovaním filtra. Aké boli hlavné problémy intenzitnej textúry?

- ▶ Nestále hodnoty pixelov v okolí hrán
- ▶ Lesk a tieň
- ▶ Neostré hrany

Ako by bolo možné ešte vylepšiť/získať lepšiu intenzitnú textúru za účelom vedenia filtrácie?

- ▶ Dobré zaostrenie na objekt v scéne

Dali by sa do procesu vedenia filtrácie zakomponovať aj ďalšie informácie okrem intenzitnej textúry, získateľné 2D/3D kamerou?

- ▶ Hĺbková mapa s inou kalibráciou skenera - iný šum, zachované ostré hrany

# Alokácia pamäte

Pri porovnávaní CPU a GPU implementácie ste nebrali do úvahy čas potrebný pre alokáciu a naplnenie pamäte na grafickom procesore. Motivácii za tým úplne rozumiem, avšak v praxi sa môže stať, že tento údaj bude rozhodujúci pri zvažovaní benefítu použitia vášho riešenia v kombinácii s inými CPU metódami pre spracovanie skenov. Vedeli by ste tieto časy doplniť?

	Alokácia v <i>ms</i>	Naplnenie
GPU	202.25	61.75

**Tabuľka 3:** Časy alokácie a naplnenia pamäte GPU na zariadení NVIDIA Jetson TX2 pri rozlíšení vstupnej hĺbkovej mapy  $2064 \times 1544$  pixelov (priemer zo 4 behov programu).

# Syntetická scéna

Pre evaluáciu vašej metódy ste použili syntetickú scénu, na ktorú bol aplikovaný šum. Aký šum ste pri evaluácii použili? Experimentovali ste aj s inými profilmi šumu? Vedeli by ste odhadnúť, aký vplyv má profil šumu na výsledky filtrov?

- ▶ Na syntetickú scénu bol použitý Gaussian noise
- ▶ Neexperimentovali sme s inými profilmi šumov lebo pri virtuálnom skenovaní vznikol prirodzene šum, na ktorom vieme overiť funkčnosť filtrovania
- ▶ Pri guided filtri nesmie byť vzťah medzi šumom vstupného obrazu a intenzitnej textúry

# Zdroje

- ▶ <https://www.photoneo.com/products/phoxi-scan-m/>
- ▶ <http://kaiminghe.com/publications/pami12guidedfilter.pdf>
- ▶ <https://blog.bricsys.com/point-clouds-whats-the-point/>
- ▶ <https://www.photoneo.com/3d-model-creation/>
- ▶ [https://wiki.photoneo.com/index.php/PhoXi\\_3D\\_scanners\\_family](https://wiki.photoneo.com/index.php/PhoXi_3D_scanners_family)
- ▶ <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/6/702/htm>
- ▶ <http://kaiminghe.com/eccv10/eccv10ppt.pdf>
- ▶ [http://www.imagemet.com/WebHelp6/Default.htm#ImFilter/Smoothing\\_Gaussian.htm](http://www.imagemet.com/WebHelp6/Default.htm#ImFilter/Smoothing_Gaussian.htm)
- ▶ [https://www.researchgate.net/figure/Image-convolution-with-an-input-image-of-size-7-7-and-a-filter-kernel-of-size-3-3\\_fig1\\_318849314](https://www.researchgate.net/figure/Image-convolution-with-an-input-image-of-size-7-7-and-a-filter-kernel-of-size-3-3_fig1_318849314)