

Vylepšení obrazu pomocí hloubkových map

Jakub Krbec*



Abstrakt

Tato práce se zabývá metodami určenými k vylepšení fotografií pořízených v přírodě pomocí syntetické hloubkové mapy. Hloubková mapa je získána z digitálního modelu terénu a má přesnost v řádech metrů. Pomocí hloubkové mapy lze eliminovat nežádoucí vlivy počasí, jako je mlha, nebo lze simulovat hloubku ostrosti na základě parametrů fotoaparátu a objektivu, případně simulovat nedosažitelné parametry objektivů. Metoda pro odstranění negativního vlivu atmosféry (dehaze) je realizována kombinací dostupné hloubkové mapy a hloubkové mapy odhadnuté přímo ze vstupní fotografie. Této kombinace se využívá především pokud dostupná hloubková mapa není dostatečně přesná. Metoda simulující různou hloubku ostrosti je implementována konvolucí kruhovým jádrem, které lépe approximuje tvar clony fotoaparátu než Gaussovske jádro. Experimentální výsledky ukazují, že pomocí syntetické hloubkové mapy lze úspěšně simulovat malou hloubku ostrosti ve fotografii venkovních prostředí a odstranit nežádoucí vlivy atmosféry. Vizuální kvalita výsledků je u obou navržených metod závislá na přesnosti hloubkové mapy. Metoda pro odstranění mlhy je na této přesnosti závislá více než metoda pro simulaci hloubky ostrosti.

Klíčová slova: Vylepšení obrazu — Hloubková mapa — Hloubka ostrosti

Přiložené materiály: N/A

*xkrbec02@stud.fit.vutbr.cz, Faculty of Information Technology, Brno University of Technology

1. Úvod

V současné době lze k fotografií čím dál častěji opatřit její hloubkovou mapu. Pro fotografie interiérů například z range scannerů typu lidar nebo technologií strukturovaného světla (structured light [1]), pro venkovní fotografie pomocí metod vizuální geo-kalizace [2]. Díky tomu, že je k dispozici informace o hloubce a že má hloubková mapa přesnost v řádech metrů, lze efektivně provádět různá vylepšení obrazu. Například přidávat do fotografie nové objekty, vylepšit obraz degradovaný vlivem počasí, simulovat hloubku ostrosti nebo můžeme vizualizovat informace například pro účely turismu.

Venkovní fotografie mohou být degradovány vlivem atmosféry jako je mlha, kouř nebo smog. Takto

degradované fotografie ztrácejí svůj kontrast a barvy neodpovídají skutečnosti. Je žádoucí tyto negativní vlivy eliminovat. Odstranění těchto vlivů výrazně zlepší viditelnost celé scény a její barevnou interpretaci zkreslenou vlivem rozptýleného okolního světla. Určitá míra této degradace může být v některých případech žádoucí, neboť pomáhá pozorovateli lépe vnímat hloubku dané scény [3]. Cílem této práce je proto umožnit uživateli odstranění těchto vlivů a její intenzitu plynule modifikovat.

Metoda pro simulaci hloubky ostrosti umožňuje uživateli u pořízené fotografie změnit parametry fotoaparátu. V praxi tak může uživatel zaostřit na jiný objekt. Hloubka ostrosti je přeponočítána a na jejím základě se rozmažou oblasti, které nejsou zaostřeny.

Pro každý bod ve fotografii je vypočítána intenzita rozmazání a poté je fotografie rozmazána kruhovým jádrem.

2. Související práce

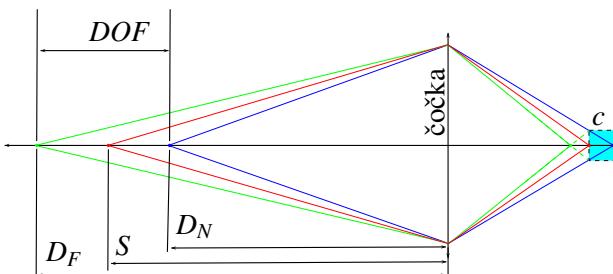
Simulace hloubky ostrosti je tradičním tématem počítačové grafiky, kde umožňuje zvýšit realističnost synteticky generovaných obrazů [4]. V počítačovém vidění se neostrost obrazu naopak využívá k 3D rekonstrukci scény [5]. V následujících podkapitolách budou popsány techniky, které úzce souvisí se simulací hloubky ostrosti a odstraněním nežádoucích vlivů atmosféry.

2.1 Simulování hloubky ostrosti

Hloubka ostrosti je velmi žádoucí efekt, který dokáže zvýraznit zaostřený objekt. Se simulováním hloubky ostrosti se nejčastěji setkáváme v počítačové grafice – například ve hrách, kde se pomocí tohoto efektu scény přibližují realitě.

Naším cílem je simulovat hloubku ostrosti fotografie, k čemuž lze využít informace o hloubce, které jsou k dispozici z 3D modelu terénu [6].

Hloubka ostrosti je definována jako nejbližší hloubka (D_N) a nejvzdálenější hloubka (D_F), která se bude ve výsledné fotografii jevit jako ostrá [7]. Hloubku ostrosti ovlivňuje několik základních faktorů: ohnisková vzdálenost, clonové číslo, vzdálenost zaostřeného bodu (S), kružnice splývání (circle of confusion – c) a velikost snímače, viz schéma na Obrázku 1.



Obrázek 1. Hloubka ostrosti pro symetrickou čočku

Se zvětšující se ohniskovou vzdáleností objektivu klesá hloubka ostrosti. Čím větší je clonové číslo, tím je clonový otvor menší a tím méně světla propouští a hloubka ostrosti roste. S rostoucí vzdáleností fotoaparátu od objektu hloubka ostrosti roste. Kružnice splývání určuje maximální možné rozostření, které budeme považovat za ostré. Tato kružnice je závislá na velikosti snímače fotoaparátu.

2.2 Dehaze

Počasí a další atmosférické jevy jako je mlha hrají velkou roli na snížení viditelnosti vzdálených obla-

stí ve venkovních fotografiích. Odstranění mlhy (dehazing) je složitý problém, protože vliv atmosféry je závislý zejména na vzdálenosti dané části scény od kamery.

Některé metody dehazingu pracují pouze s jedním vstupním obrazem [8][9][10]. Fattalova metoda [9] odhaduje albedo scény a poté odvozuje hloubku, za předpokladu, že hloubka a povrchové stínování nejsou mezi sebou propojeny. Tanova metoda [8] odstraňuje mlhu (haze) na základě maximalizování lokálního kontrastu obrazu. He et al. [10] představují velmi elegantní metodou založenou na tmavém kanálu (dark channel). Předpokládá, že venkovní fotografie obsahují body s velmi nízkou intenzitou alespoň v jednom barevném kanálu. Díky tomuto je získána hloubková mapa obrazu, která je poté použita k odstranění mlhy (více informací viz Sekce 4.1).

Dále existují, které využívají více vstupních dat [11][12], které obsahují informace o hloubce buď jako uživatelský vstup [11] nebo ze známého 3D modelu, který může navíc obsahovat textury [12].

3. Simulování hloubky ostrosti

Navržená metoda pro simulaci hloubky ostrosti se skládá ze tří částí. Nejprve je odhadnuta vzdálenost ostřící roviny z EXIF dat (Sekce 3.1), následně je volitelně zaostřen vstupní obraz (Sekce 3.2) a na závěr je simulována hloubka ostrosti pomocí konvoluce s kruhovým jádrem (Sekce 3.3).

3.1 Získání metadat a odhad vzdálenosti

V této fázi jsou filtrována metadata obrázku, která poskytuje údaje o rozlišení obrázku, ohniskovou vzdálenost objektivu, clonové číslo a rozměry snímače fotoaparátu. Údaje o ohniskové vzdálenosti a clonovém čísle slouží pro počáteční nastavení hodnot.

Následuje proces odhadu vzdálenosti na kterou je v obrázku zaostřeno. Toto je realizováno metodou LoG, což je aplikace Laplaceova operátoru na šedotónový obraz vyhlazený pomocí Gaussova filtru. Laplaceův operátor ve dvourozměrném obrazu x a y je dán:

$$\Delta f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}, \quad (1)$$

kde f je intenzita pixelu.

Laplaceův operátor je náchylný na šum v obraze. Z tohoto důvodu je použit v kombinaci s Gaussovým vyhlazením. Poté je aplikováno prahování, kdy jsou filtrovány body s vysokou odezvou LoG. Tyto body interpretují místa v obraze, která jsou s velkou pravděpodobností zaostřena.

Pro každý z těchto bodů je získána dotazem do syntetické hloubkové mapy vzdálenost od kamery. Nad těmito vzdálenostmi je vypočten medián, který je považován za vzdálenost na kterou je zaostřeno. Výsledky tohoto procesu jsou vidět na obrázku 2. U prvního obrázku je ostřeno na popředí, u druhého potom na pozadí.



Obrázek 2. Vlevo: vstupní obrázky, vpravo: výsledky filtrování zaostřených pixelů metodou LoG

3.2 Ostření vstupního obrazu

Na základě odhadnuté vzdálenosti ostření a parametrech fotoaparátu získaných z metadat obrázku jsme schopni zrekonstruovat mapu poloměru rozmazání jednotlivých bodů v obraze (kernel map).

Pomocí této informace můžeme nad obrazem provést ostření – Weinerovu dekonvoluci, která zná velikosti jader (non-blind deconvolution).

3.3 Výpočet a aplikace hloubky ostrosti

Pro výpočet a aplikování hloubky ostrosti na obraz je potřeba vypočítat všechny její délčí parametry na základě rovnic z [7][13][14].

Kružnice splývání (c) je vypočítána na základě Zeissovy formule s konstantou referovanou jako moderní standard (rovnice 2) [15][16]. Pro převod některých parametrů z jednotek v milimetrech [mm] do jednotek v pixelech [px] je třeba vypočítat počet bodů (pixelů) na milimetr ($ppmm$):

$$c = \frac{d_s}{1500}, \quad ppmm = \frac{d_l}{d_s}, \quad (2)$$

kde d_s je velikost uhlopříčky senzoru fotoaparátu a d_l je velikost uhlopříčky fotografie.

Ze základních parametrů lze odvodit důležitý parametr *hyperfokální vzdálenost* (H). Jedná se o nejbližší vzdálenost, na kterou, když budeme ostřít zůstanou i objekty v nekonečnu zaostřené. Zaostření na hyperfokální vzdálenost dává nekonečnou hloubku ostrosti:

$$H = \frac{f^2}{N * c}, \quad (3)$$

kde f je ohnisková vzdálenost a N je clonové číslo objektivu, c je kružnice splývání.

Výpočet hloubky ostrosti (DOF) je dán rovnicí 4:

$$DOF = D_F - D_N, \quad (4)$$

kde D_F je nejvzdálenější bod a D_N je nejbližší bod, které jsou v hloubce ostrosti.

$$D_N = \frac{H * S}{H - S}, \quad D_F = \frac{H * S}{H + S}, \quad (5)$$

kde H je hyperfokální vzdálenost a S je vzdálenost na kterou je ostřeno.

Po výpočtu těchto parametrů následuje aplikace kruhového rozmazání, které je podobné cloně fotoapáru. Pro každý bod je před samotným rozmazáním vypočten poloměr tohoto rozmazání (b),

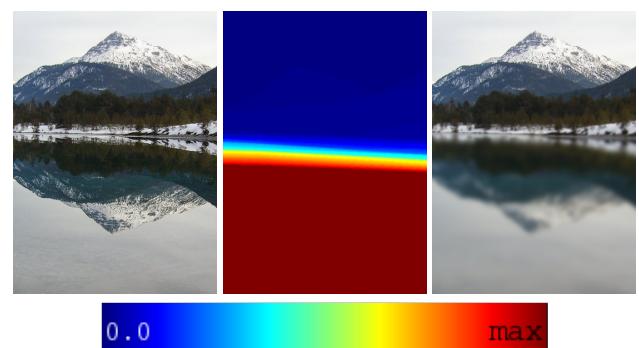
$$b = \frac{f * m_s}{N} \frac{x_d}{s \pm x_d}, \quad (6)$$

kde m_s je zvětšení (magnification) zaostřeného subjektu a x_d je vzdálenost aktuálního bodu od subjektu na který je ostřeno. Tyto proměnné jsou vypočítány jako:

$$m_s = \frac{f}{s - f}, \quad x_d = |x - s| \quad (7)$$

Poté je výsledek převeden do jednotek bodů [px] a zaokrouhlen na nejbližší liché číslo. Výsledek je poloměr jádra pro rozmazání. Následně je aplikován kruhový filtr. Na obrázku 3 lze vidět rozložení velikosti rozmazání.

Na obrázku 4 lze vidět porovnání separovaného Gaussova rozmazání [17] s rozmazáním kruhovým, které by mělo více odpovídat tvaru clony fotoaparátu.



Obrázek 3. Vlevo: vstupní obrázek, uprostřed: mapa velikosti rozmazání, získaná na základě hloubkové mapy, vpravo: výsledek simulace hloubky ostrosti

4. Dehaze

Atmosférický jev jako je mlha nebo opar významně redukuje viditelnost vzdálených oblastí v obraze venkovní scény. Kvůli atmosférické absorpcii a rozptylu jen



Obrázek 4. Vlevo: příklad rozmazání Gaussovským jádrem, vpravo: příklad rozmazání kruhovým jádrem

část světla odraženého od vzdálených objektů dosáhne do fotoaparátu. Toto světlo je dále smícháno s *airlight* (roztroušené nebo rozptýlené světlo ve vzduchu prachem, oparem nebo mlhou)[12].

Pokud známe hloubku pro každý pixel v obraze, je odstranění negativního vlivu počasí teoreticky jednoduché pomocí následujícího modelu [9][12][10][11][8]:

$$I_h = I_o f(z) + A(1 - f(z)), \quad (8)$$

kde I_h je pozorovaná intenzita mlhy nebo oparu, I_o je původní intenzita bodu, A je *airlight* a $f(z)$ je část světla, které není rozptýleno a dopadne na snímač fotoaparátu. Funkce $f(z)$ se dá vypočítat na základě rovnice 9:

$$f(z) = \exp(-\beta z), \quad (9)$$

kde β je koeficient rozptylu atmosféry a z je hloubka bodu.

Po odhadnutí *airlightu* A a koeficientu β lze intenzitu výsledného obrazu získat převrácením rovnice 8 jako:

$$I_o = \frac{I_h - A}{f(z)} + A. \quad (10)$$

V některých případech není hloubková mapa příliš přesná vlivem nepřesnosti 3D modelu terénu. Vlivem toho dochází k vizuálním artefaktům ve výsledných obrazech. Tento problém částečně řešíme rozmazáním hloubkové mapy, kdy nejsou nepřesné přechody ostré a vizuálně rušivé. Dalším implementovaným řešením je promíchání hloubkové mapy s mapou získanou metodou dark channel [10], viz obrázek 6.

4.1 Metoda dark channel

V některých případech je využíváno míchání hloubkové mapy s touto metodou.

Metoda temného kanálu neboli dark channel je založena na pozorování, že u většiny venkovních fotek, u kterých se nevyskytuje mlha nebo opar existují body

s velmi malou intenzitou v alespoň jednom barevném kanálu, kromě oblasti kde se vyskytuje obloha.

$$I^d(x) = \min \left(\min(I_B(x), I_G(x)), I_R(x) \right), \quad (11)$$

kde I^d je tmavý kanál (dark channel), $I_B(x)$ je modrý kanál bodu x , $I_G(x)$ je zelený kanál bodu x a $I_R(x)$ je červený kanál bodu x .

Obraz s mlhou nebo oparem je díky míchání s *airlightem* světlejší, než jeho čistá verze bez mlhy. To znamená, že tmavý kanál obrazu s mlhou má větší intenzity v oblastech, kde je hustejší mlha. Jedná se o hrubý odhad hustoty mlhy.

Výsledná mapa pro využití k odstranění mlhy metodou dark channel je vypočítána na základě vzorce:

$$t(x) = 1 - w * \frac{I^d(x)}{A}, \quad (12)$$

kde $t(x)$ je výsledná mapa znázorňující intenzitu oparu, $I^d(x)$ je tmavý kanál obrazu, A je *airlight*. Proměnná w je konstanta v rozmezí $(0 < w \leq 1)$, kterou může uživatel změnit, standardně je stanovena na $w = 0.95$.

Na obrázku 5 je zobrazen dark channel a mapa t získaná z tohoto tmavého kanálu.



Obrázek 5. Vlevo: vstupní obrázek, uprostřed: tmavý kanál (dark channel) obrazu, vpravo: výsledná mapa t získaná metodou dark channel

4.2 Stanovení parametru *airlight*

Hodnota *airlightu* A je ve většině případů stanovena z bodu nejvíce postihnutým oparem nebo mlhou. Tento bod je nalezen například jako bod s největší intenzitou v obraze [8], dále je tento výsledek zpřesněn v [9].

Problém ale nastává tehdy, je-li v obraze odlesk ze zrcátka, bílé prostředí nebo umělý zdroj světla. Nelze tedy spoléhat na tuto metodu.

K určení parametru A je tedy využit dark channel, ve kterém je zaznamenána intenzita mlhy smíchaná s parametrem A . Vybereme 0.1% nejsvětlejších bodů na obloze z dark channelu. Na základě souřadnic těchto bodů vybereme hodnoty ze vstupního obrázku a tyto hodnoty udávají parametr A .

4.3 Stanovení parametru β

Tento parametr je nutno nastavit tak, aby nedošlo k přetečení barev ve výsledném obraze. Tato proměnná může být modifikována uživatelem, standardně je však nastavena tak, aby nejvzdálenější bod v obraze vycházel $f(z) = 0.3$ z rovnice 9. Hodnota 0.3 ve většině případů zaručí, že barvy ve výsledném obraze nepřetečou.

5. Výsledky

Zmiňované metody byly implementovány v jazyce c++ v prostředí opencv na 8 GB operační paměti a procesoru Intel Core i7 2.30 Ghz. Testovací obrazy včetně jejich hloubkových map jsou poskytnuty ze systému LOCATE [2].

5.1 Simulace hloubky ostrosti

Porovnání Gaussova a kruhového rozmazání u simulace hloubky ostrosti s rozlišením 1214x910 pixelů a parametry ohniskové vzdálenosti $f = 1200\text{mm}$, clonového čísla $N = 1.0$ a hloubky zaostření $s = 500\text{m}$ na Obrázku 7 a s parametry ohniskové vzdálenosti $f = 440\text{mm}$, clonového čísla $N = 1.4$ a hloubky zaostření $s = 233\text{m}$ při rozlišením 1238x823 na Obrázku 8. V Tabulce 1 se nacházejí časové údaje obou technik pro zmíněné obrazy.

Tabulka 1. Tabulka časové náročnosti

	Gaussovo jádro	kruhové jádro
Obrázek 7	1.16s	12.19s
Obrázek 8	4.09s	360s

5.2 Dehaze

Výsledky metody pro odstranění mlhy a oparu jsou znázorněny na obrázcích 9 a 10. Parametr β je pro každý z obrazu nastaven individuálně, na obrázku 11 jsou zobrazeny různé hodnoty tohoto parametru. Air-light je stanoven na základě techniky popsanej v sekci 4.2. Průměrný čas vykonávání této metody u obrazu s rozlišením 839x559 je 0.13s, u obrazu s rozlišením 1230x923 pak 0.27s.

6. Závěr

V tomto článku byly prezentovány dvě metody pro vylepšení obrazu venkovních fotografií pomocí dostupné syntetické hloubkové mapy. Obě metody pracují poloautomaticky, uživatel může dle vlastních požadavků změnit některé parametry. Pro metodu simulování hloubky ostrosti je využita konvoluce kruhovým jádrem, která je v porovnání s Gaussovským jádrem

výrazně pomalejší a oba typy jader mají porovnatelné výsledky. Proto je uživateli umožněna volba mezi oběma typy. U výsledků pro odstranění negativního vlivu atmosféry jsme zjistili, že vizuálně uspokojivé výsledky korespondují s přesností hloubkové mapy získanou ze 3D modelu. V některých případech jako je vliv slunečních paprsků na oblohu 13 metoda není validní.

Metody pro vylepšení obrazu na základě hloubkové mapy se stávají čím dál více přesnější, neboť jsou k dispozici stále kvalitnější data ze 3D modelu.

6.1 Budoucí rozvoj

U obou metod nastává problém, pokud je v obraze objekt, který není zaznamenán v hloubkové mapě a je dostatečně velký nato, aby způsobil vizuálně nepřesné výsledky (obrázek 12). Pro budoucí vylepšení metody by bylo vhodné tyto objekty zachytit a vymaskovat je z obrazu, nebo pro ně odhadnout určitou hloubku.

Dále u metody pro simulování hloubky ostrosti je v plánu libovolně měnit parametry D_N a D_F , tedy změnit spodní nebo horní hranici hloubky ostrosti a následně dopočítat parametry ohniskové vzdálenosti f a clonového čísla N .

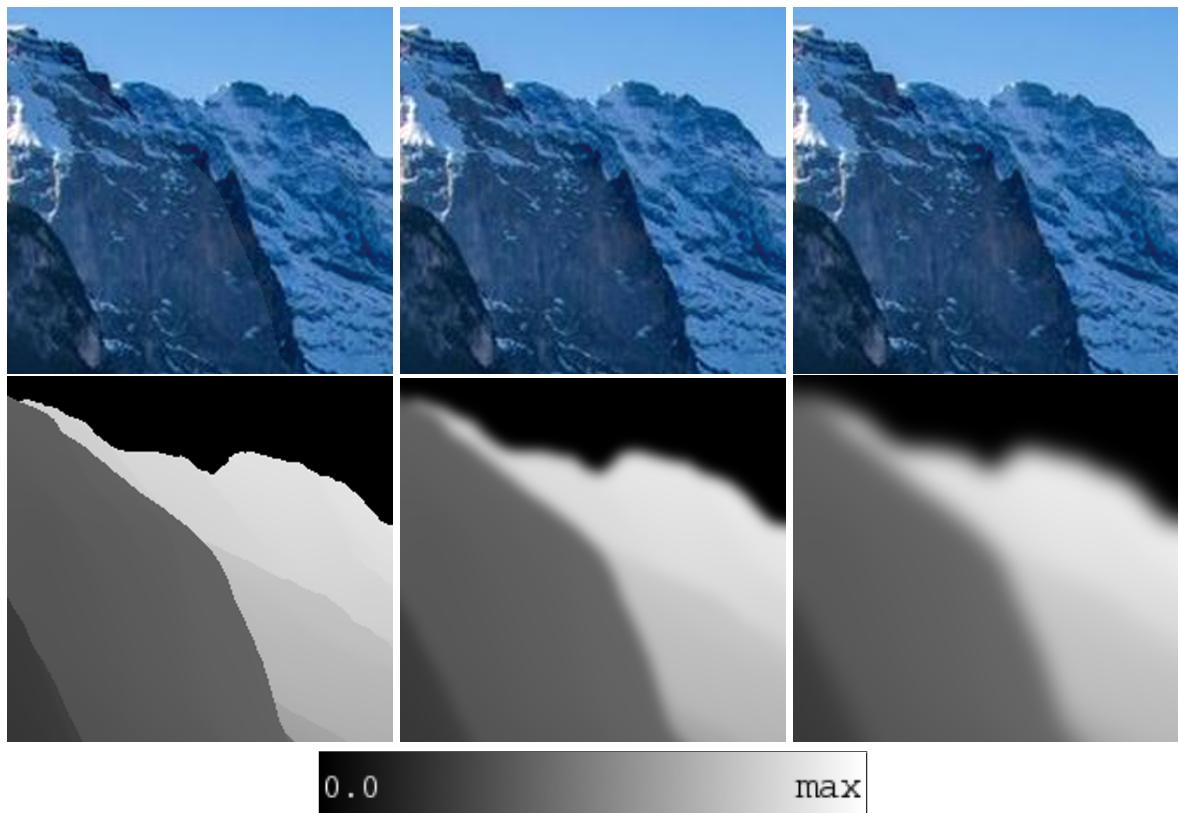
Poděkování

Toto dílo je součástí bakalářské práce pod vedením Doc. Ing. Martina Čadíka, Ph.D, tímto bych mu chtěl poděkovat za všechnu pomoc. Výzkum vedoucí k těmto výsledkům získal finanční příspěvek z Programu Lidé (Akce Marie Curie) Sedmého rámcového programu Evropské unie (FP/2007-2013) dle Grantové dohody REA č. 291782. Výzkum je dále spolufinancován Jihomoravským krajem.

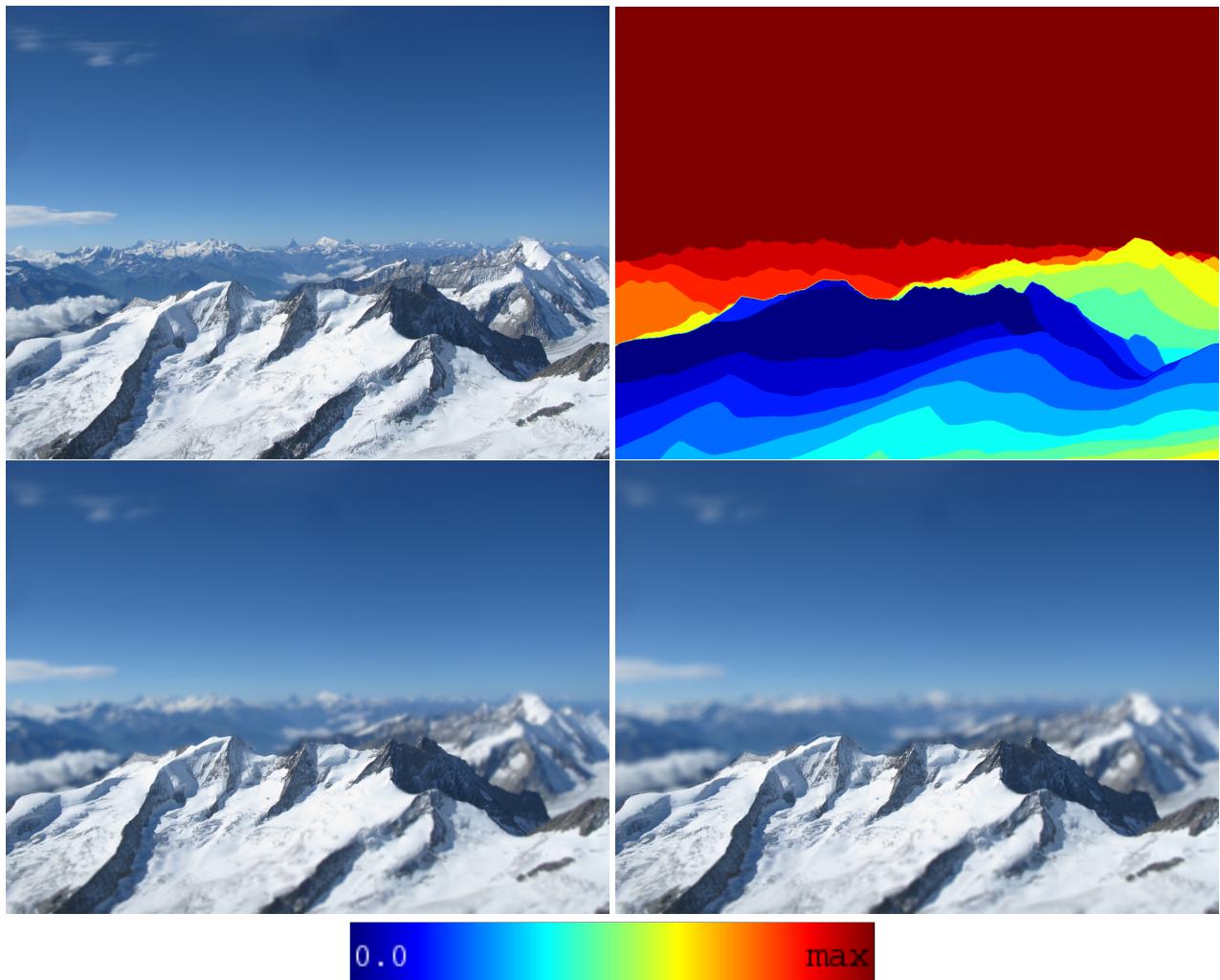
Literatura

- [1] Microsoft. Depth stream. blogpost (english), July 2014. <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131028.aspx>.
- [2] L. Baboud, M. Cadik, E. Eisemann, and H.-P. Seidel. Automatic photo-to-terrain alignment for the annotation of mountain pictures. *Proceedings of the 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 41–48, 2011. <http://resources.mpi-inf.mpg.de/photo-to-terrain/photo-to-terrain.pdf>.
- [3] Wikipedia. Depth perception. Online (english), March 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Depth_perception.

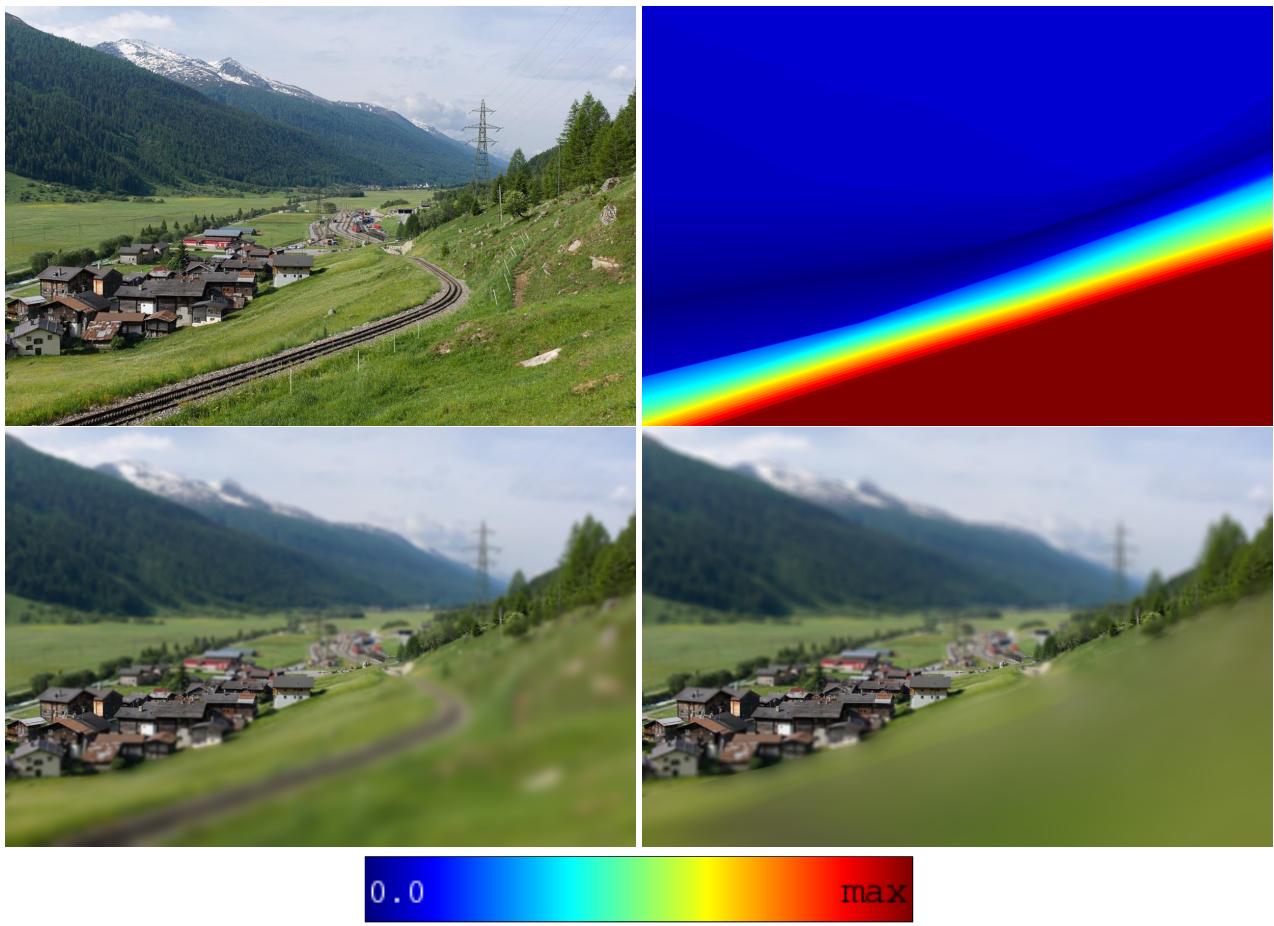
- [4] J. Krivanek, J. Zara, and K. Bouatouch. Fast depth of field rendering with surface splatting. In *Computer Graphics International, 2003. Proceedings*, pages 196–201, July 2003.
- [5] Paolo Favaro, Andrea Mennucci, and Stefano Soatto. Observing shape from defocused images. *International Journal of Computer Vision*, 52(1):25–43.
- [6] Michael Potmesil and Indranil Chakravarty. A lens and aperture camera model for synthetic image generation. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 15(3):297–305, August 1981.
- [7] Wikipedia. Depth of field. Online (english), March 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_field.
- [8] Robby T Tan. Visibility in bad weather from a single image. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on*, pages 1–8. IEEE, 2008.
- [9] Raanan Fattal. Single image dehazing. *ACM Trans. Graph.*, 27(3):72:1–72:9, August 2008. <http://www.cs.huji.ac.il/~raananf/papers/defog.pdf>.
- [10] Kaiming He, Jian Sun, and Xiaou Tang. Single image haze removal using dark channel prior. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 33(12):2341–2353, 2011. http://research.microsoft.com/en-us/um/people/jiansun/papers/Dehaze_CVPR2009.pdf.
- [11] Srinivasa G Narasimhan and Shree K Nayar. Interactive (de) weathering of an image using physical models. In *IEEE Workshop on Color and Photometric Methods in Computer Vision*, volume 6, page 1. France, 2003.
- [12] Johannes Kopf, Boris Neubert, Billy Chen, Michael F. Cohen, Daniel Cohen-Or, Oliver Deussen, Matt Uyttendaele, and Dani Lischinski. Deep photo: Model-based photograph enhancement and viewing. *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH Asia 2008)*, 27(5):116:1–116:10, 2008. http://johanneskopf.de/publications/deep_photo/deep_photo.pdf.
- [13] Jeff Conrad. Depth of field in depth. Online (english), 2006. <http://www.largeformatphotography.info/articles/DoFinDepth.pdf>.
- [14] Paul van Walree. Derivation of the dof equations. Online (english), 2015. <http://toothwalker.org/optics/dofderivation.html>.
- [15] Wikipedia. Zeiss formula. Online (english), March 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Zeiss_formula.
- [16] Carl Zeiss. Camera lens news #1. Online (english), 1997. [https://web.archive.org/web/20120307192104/http://www.zeiss.com/C12567A8003B8B6F/EmbedTitelIntern/CLN01e/\\$File/CLN1.pdf](https://web.archive.org/web/20120307192104/http://www.zeiss.com/C12567A8003B8B6F/EmbedTitelIntern/CLN01e/$File/CLN1.pdf).
- [17] Filip S. An investigation of fast real-time gpu-based image blur algorithms. blogpost (english), July 2014. <https://software.intel.com/en-us/blogs/2014/07/15/an-investigation-of-fast-real-time-gpu-b>



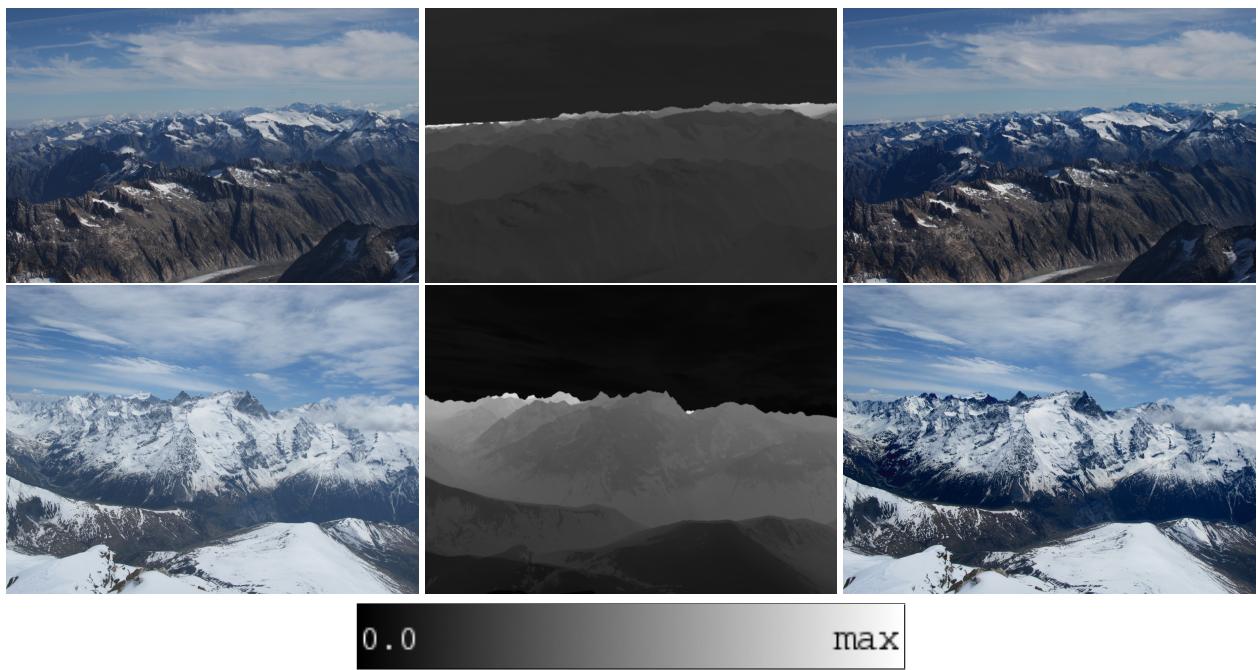
Obrázek 6. První řádek: výsledný obraz algoritmu dehaze se 400 % zvětšením, druhý řádek: odpovídající hloubkové mapy pro aplikaci algoritmu. První sloupec: původní hloubková mapa, druhý sloupec: rozmazaná hloubková mapa s průměrem jádra 11, třetí sloupec: rozmazaná hloubková mapa s průměrem jádra 20.



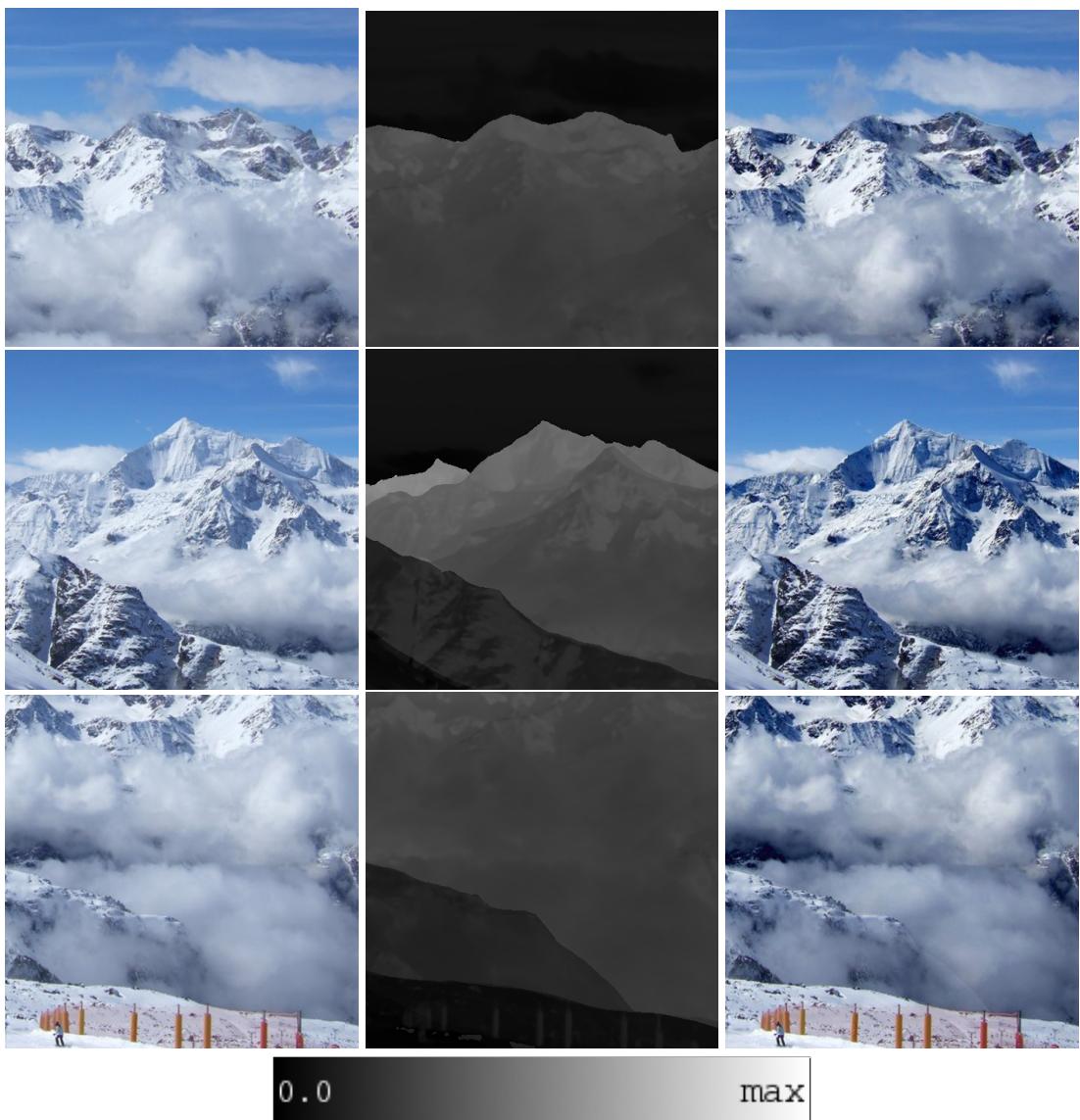
Obrázek 7. První řádek: vlevo vstupní obraz, vpravo: mapa rozložení jader kernelu vypočtena na základě syntetické hloubkové mapy, druhý řádek: výsledek metody simulace hloubky ostrosti s Gaussovským jádrem, vpravo: výsledek konvoluce kruhového jádra se stejnými parametry



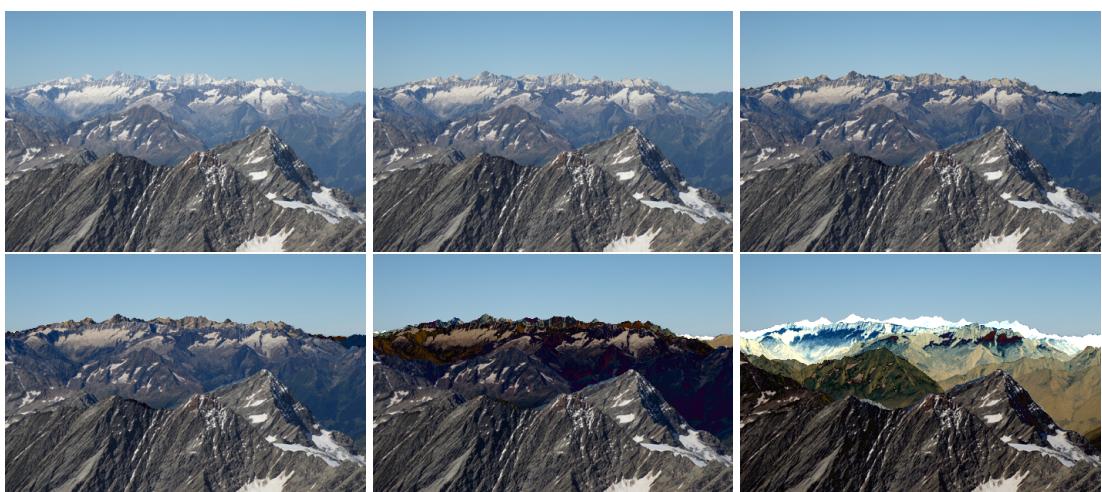
Obrázek 8. První řádek: vlevo vstupní obraz, vpravo: mapa rozložení jader kernelu vypočtena na základě syntetické hloubkové mapy, druhý řádek: výsledek metody simulace hloubky ostrosti s Gaussovským jádrem, vpravo: výsledek konvoluce kruhového jádra se stejnými parametry



Obrázek 9. První sloupec: vstupní obrazy, druhý sloupec: použitá hloubková mapa k výpočtu, třetí sloupec: výsledné obrazy metody odstraňující negativní vliv atmosféry



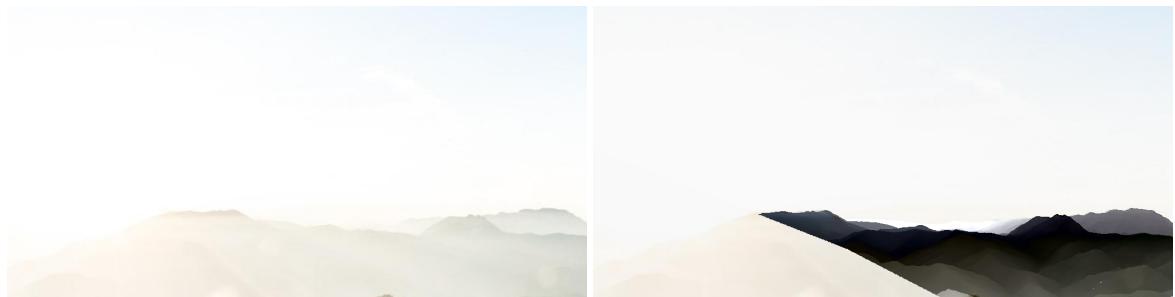
Obrázek 10. První sloupec: vstupní obrazy, druhý sloupec: použitá hloubková mapa k výpočtu, třetí sloupec: výsledné obrazy metody odstraňující negativní vliv atmosféry



Obrázek 11. Příklady hodnot parametru β . Hodnoty od levého horního obrazu: $0, 1.5 \cdot 10^{-6}, 3.5 \cdot 10^{-6}, 5.0 \cdot 10^{-6}, 10.0 \cdot 10^{-6}$ a $20.0 \cdot 10^{-6}$



Obrázek 12. Příklad objektu, který není zaznamenán v hloubkové mapě, vlevo vstupní obraz, vpravo: nepřesný výsledek dehaze metody.



Obrázek 13. Příklad, kdy má slunce na oblohu velký vliv. Vlevo vstupní obraz, vpravo: nevalidní výsledek dehaze metody.