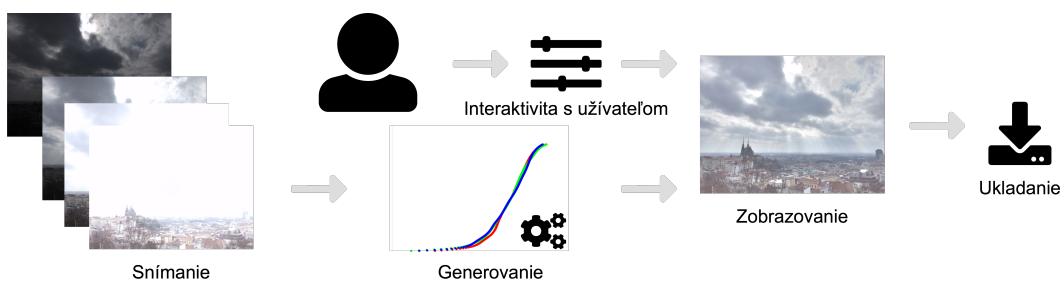


# Mobilná aplikácia pre akvizíciu a úpravu HDR fotografií

Patrik Michalák\*



## Abstrakt

Cieľom tejto práce je návrh a implementácia mobilnej aplikácie pre akvizíciu, spracovanie, zobrazenie a úpravu HDR fotografií. V riešení bola použitá metóda generovania HDR obsahu kombinovaním LDR snímok s rôznou hodnotou času expozície. Vytvorené riešenie poskytuje užívateľovi mobilnú aplikáciu pre prácu s HDR fotografiou, štyri metódy mapovania tónov a rôzne nástroje, ktoré užívateľ pri práci potrebuje.

**Kľúčové slová:** HDR — Spracovanie Obrazu — Mapovanie Tónov — Mobilná Aplikácia

**Priložené materiály:** Demonštračné Video

\*xmicha65@stud.fit.vutbr.cz, Fakulta informačných technologií Vysokého učení technického v Brne

## 1. Úvod

Okolie, ktoré vnímame, má vysoký dynamický rozsah svetla a farieb. Tmavé miesta bez osvetlenia neobsahujú takmer žiadnen jas a naopak scéna zameraná na zdroj svetla obsahuje príbežne veľa jasu. Ľudské oko je schopné prispôsobiť sa takýmto zmenám a pozorovať detaily aj na scéne s rozmanitým rozsahom jasu. Fotoaparát však nemá taký cit ako človek a dokáže zachytiť snímky len s určitou hodnotou expozície. Preto sa digitálne fotoaparáty pokúšajú odhadnúť osvetlenie a automaticky nastaviť čas expozície tak, aby mal najdôležitejší aspekt scény čo najlepší dynamický rozsah a jas miest, ktoré sú príliš tmavé alebo naopak príliš svetlé, je orezaný na hodnoty 0 a 255. Tento problém rieši HDR fotografia, avšak nie veľa bežných užívateľov si je vedomých, čo to vlastne HDR fotografia znamená a ako sa s ňou pracuje.

HDR umožňuje zachytiť veľkú časť rozsahu jasu reálneho sveta a následnú prácu s týmito dátami. Ex-

istuje viacero mobilných aplikácií, ktoré ponúkajú vytvorenie a spracovanie HDR fotografií. Veľa verejne dostupných aplikácií však používa iba filter aplikovaný na jednu fotografiu, ktorý zvýši kontrast farieb a detaily a tým sa snaží opticky vytvoriť efekt HDR. Na druhej strane sú aplikácie, ktoré vytvárajú HDR fotografiu skladaním série snímok s rôznymi nastaveniami expozície. Tieto aplikácie však poväčšine užívateľovi neposkytujú dostatočne záživné užívateľské rozhranie, majú pre užívateľa veľmi obmedzené možnosti, alebo sa s nimi ľahko neintuitívne pracuje.

Zameraním tejto práce je vytvoriť aplikáciu, ktorá by riešila nielen problémy generovania a spracovania HDR obsahu, ale zamerala sa aj na interakciu s užívateľom a poskytla mu viac možností ako bežná aplikácia. Každá scéna je niečim výnimočná a jednoduché východzie nastavenia hodnôt parametrov nedosiahnu vždy uspokojivé výsledky.

## 2. Generovanie a spracovanie HDR

Je veľmi obtiažne zachytiť scénu, kde sú svetlé miesta mnohonásobne jasnejšie ako tmavé miesta. Inak povedané, takáto scéna má vysoký dynamický rozsah. V súčasnosti existujú 3 metódy vytvárania HDR obsahu [1]:

- kombinovaním LDR snímok s rôznou hodnotou času expozície,
- záchytenie scény špecializovaným hardvérom,
- vytváranie virtuálnych prostredí.

Kombinovanie viacerých snímok scény s rôznou hodnotou expozície je pre svoju dostupnosť a nenáročnosť najviac využívanou metódou. Takto záchytíme detaility od najtmavšej, až po najsvetlejšiu oblasť.

### 2.1 Generovanie HDR

Digitálne fotoaparáty majú všeobecnú funkciu nazývanú krivka odozvy fotoaparátu (CRF<sup>1</sup>). Predtým, ako budeme generovať HDR obsah, je potrebné vyjadriť túto krivku odozvy snímača zariadenia. Krivku získame minimalizovaním kvadratickej objektívnej funkcie [2]:

$$\mathcal{O} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P [g(Z_{ij}) - \ln E_i - \ln \Delta t_j]^2 + \lambda \sum_{z=Z_{\min}+1}^{Z_{\max}-1} g''(z)^2 \quad (1)$$

kde  $P$  je počet obrázkov s rozličnou expozíciou,  $N$  je počet pixelov v jednom obrázku,  $Z_{ij}$  je hodnota pixelu na indexe  $i$  v obrázku  $j$ ,  $Z_{\min}$  a  $Z_{\max}$  sú hodnoty minima a maxima, ktoré môže pixel nadobudnúť a  $\Delta t_j$  je expozičný čas pre  $Z_{ij}$ . Druhý term zabezpečuje plynulosť funkcie  $g$ . Hodnota  $\lambda$  je váha plynulosť relatívna k prvému termu a je zvolená podľa množstva šumu očakávaného v  $Z_{ij}$ .  $w(Z_{ij})$  je váhová funkcia odstraňujúca presahujúce hodnoty [2]:

$$w(z) = \begin{cases} z - Z_{\min}, & \text{pre } z \leq \frac{1}{2}(Z_{\min} + Z_{\max}) \\ Z_{\max} - z, & \text{pre } z > \frac{1}{2}(Z_{\min} + Z_{\max}) \end{cases} \quad (2)$$

pomocou ktorej dosiahneme, že hodnoty v okolí  $Z_{mid}$  budú mať väčšiu váhu ako hodnoty v okolí  $Z_{\min}$  a  $Z_{\max}$ .  $Z_{mid}$  je prostredná hodnota rozsahu hodnôt pixelu, vyzadrená ako  $Z_{mid} = \frac{1}{2}(Z_{\min} + Z_{\max})$ .

Ak už máme vyjadrenú krivku odozvy  $g$ , vieme ju spolu s váhovou funkciou použiť na prepočet hodnoty pixelu na relatívnu hodnotu žiarenia  $E_i$  [2]:

$$\ln E_i = \frac{\sum_{j=1}^P w(Z_{ij})(g(Z_{ij}) - \ln \Delta t_j)}{\sum_{j=1}^P w(Z_{ij})} \quad (3)$$

<sup>1</sup>Camera Response Function

### 2.2 Zobrazovanie HDR obsahu

Vzhľad scény závisí od úrovne osvetlenia a rozsahu kontrastu [3]. Za jasného dňa vyzerá scéna viac farebne a kontrastnejšie. Pre reprodukovanie presného vizuálneho vzhľadu takejto scény nestačí iba jednoduchá kompresia, aby sa úroveň intenzity a rozsah kontrastu prispôsobil limitom zobrazovacieho média.

Reprodukcia vizuálneho vzhľadu je primárny cieľom pre mapovanie tónov. Mapovanie tónov je proces prevodu obrazu s vysokým dynamickým rozsahom na 8-bitový obraz pre farebný kanál, s cieľom zachovať čo najväčšie množstvo detailov.

Metódy mapovania tónov môžeme rozdeliť na dva základné typy:

**Globálne operátory** (priestorovo jednotné) sú nelineárne funkcie založené na svetelných a iných globálnych premenných obrazu. [4]

**Lokálne operátory** (priestorovo sa meniaci) sú ne-lineárnej funkcie, ktorých parametre sa menia v každom pixeli podľa vlastností získaných z okolitých oblastí. [4]

Aplikáciou implementované metódy mapovania tónov sú:

**Bilaterálny filter** - metóda sa pokúša zobraziť obrazy HDR rozložením obrazu na základnú vrstvu a vrstvu detailov. V základnej vrstve je kontrast skomprimovaný bilaterálnym filtrom, ktorý chráni hrany. [5]

**Fotografická reprodukcia** - tento operátor simuluje techniku "dodging and burning", ktorá bola používaná v počiatkoch fotografie a dovoľuje vytvárať rozličné expozície naprieč fotografiou. Operátor obsahuje aj jednoduchšiu globálnu verziu. [6]

**Logaritmické mapovanie** - metóda redukuje pomer kontrastu logaritmickou kompresiou hodnôt jasu, napodobňujúc ľudské vnímanie svetla. [7]

**Perceptuálny rámc pre kontrastné spracovanie** - metóda vytvára rámc pre spracovanie obrazu v priestore vizuálnej odozvy, v ktorej kontrastné hodnoty priamo korelujú so svojou viditeľnosťou v obrazu. [8]

## 3. Návrh a Implementácia Aplikácie

Výber technológií pre implementáciu časovo a priestorovo náročných algoritmov je dôležitá a často náročná časť práce. Táto práca bude zameraná na vytváranie HDR fotografie na platforme Android. Pre riešenie náročných matematických a grafických operácií je použitá knižnica OpenCV.



Obrázok 1. Návrh užívateľského rozhrania

### 3.1 Užívateľské rozhranie

Aplikácia sa zameriava na širokú škálu užívateľov - od náročného fotografa až po technicky neskúsenú osobu, snažiacu sa vytvoriť čo najdôverihodnejší záber scény. Preto by mala aplikácia minimalistickým a intuitívnym spôsobom ponúkať všetky potrebné nástroje a možnosti, ktoré môže užívateľ použiť.

Domovská obrazovka je príkladom toho, že užívateľ môže mať všetko čo potrebuje, bez zbytočného zdĺhavého hľadania. Na vytvorenie HDR fotografie potrebujeme buď zachytiť aktuálnu scénu fotoaparátom, alebo načítať súbor s HDR obsahom. Po zachytení scény na fotografiu, alebo načítaní HDR obsahu a po spracovaní tohto obsahu, má užívateľ na výber z rôznych techník mapovania tónov. Po výbere jednej z nich je užívateľovi poskytnutá možnosť upravovania fotografie do výslednej podoby pomocou prehľadnej ponuky nástrojov. Jednotlivé parametre sú spočiatku nastavené na vhodné východzie hodnoty, ktoré je možné po úpravach zresetovať. Na záver je možné výsledok uložiť do galérie.

### 3.2 Snímanie

Aplikácia generuje HDR obsah kombinovaním LDR fotografií s rôznou hodnotou času expozície. Snímanie fotografií je implementované nad aplikačným rozhraním Camera2<sup>2</sup> operačného systému Android.

Pre zobrazovanie scény v reálnom čase zobrazujeme na výstup stream záberov scény, ktorý dosiahneme nastavením opakovaného požiadavku o snímanie. Pri zobrazovaní náhľadu využijeme automatické nastavenia parametrov. Do vytvoreného požiadavku o snímanie scény vložíme callback, kde odchytíme objekt s meta informáciami. Tento objekt obsahuje hodnoty konfigurácie snímača zariadenia, po vytvorení posledného snímku. Z tejto konfigurácie následne získavame hodnoty expozície, ISO, clony a korekcie farieb, ktoré sú automaticky zvolené snímačom. Hod-

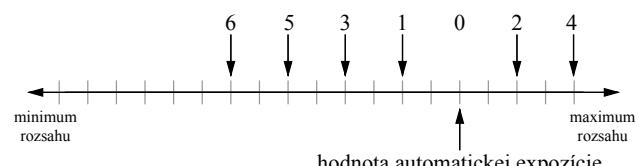
noty ukladáme do premenných, ktoré neskôr použijeme v manuálnom režime snímania.

V okamihu, keď užívateľ stlačí tlačítko pre snímanie scény, je potrebné vytvoriť sériu záberov s manuálne nastavenými hodnotami parametrov. Najdôležitejším parametrom je dĺžka expozičného času, počas ktorého je snímač vystavený svetlu z prostredia scény.

### Nastavenie času expozície

Každý snímač zariadenia obsahuje súbor vlastností a nastavení, ku ktorým pristupujeme pomocou objektu CameraCharacteristics [9]. Odtiaľ získame aj rozsah povoleného expozičného času snímača. V okamihu, keď nastane stav manuálneho snímania scény, potrebujeme vytvoriť zoznam vybraných expozičných časov, ktorých strednou hodnotou bude hodnota automatickej expozície. Povolený rozsah expozičného času však nemusí umožňovať, aby prostrednou hodnotou bola práve táto hodnota. Pre riešenie týchto problémov bol vytvorený algoritmus, ktorý hľadá vhodné hodnoty expozičných časov v povolenom rozsahu (obr. 2).

Algoritmus vytvára zoznam hodnôt geometrického radu v tvare  $2^n ns$  v povolenom rozsahu. V tomto zozname sa zvolí hodnota najbližia hodnote automatickej expozície ako prostredná hodnota a vo zvolenom kroku sa striedavo hľadajú hodnoty nižšie od strednej hodnoty a hodnoty vyššie. Algoritmus končí, ak konečný zoznam obsahuje zvolený počet expozičných časov, alebo ak nie je možné nájsť ďalšiu hodnotu.



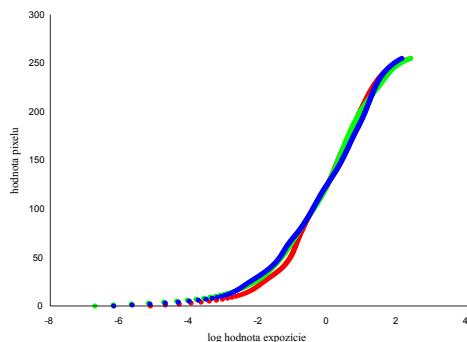
Obrázok 2. Vyhľadávanie vhodných hodnôt expozície s krokom 2 (čísla zobrazujú poradie nájdených hodnôt)

### Zarovnanie

Nezarovnanie snímok použitých pri vytváraní HDR obrazu môže mať za následok artefakty nazývané ghosting (duchovia), ktoré majú vplyv na výsledný obrázok. Ghosting nastáva aj v prípade, že sa na statickej scéne nachádza objekt, ktorý je voči scéne v pohybe.

Pre zarovnanie vytvorených snímok je použitá metóda Median Threshold Bitmap [10]. Vstupom metódy je zoznam vytvorených snímok. Podľa histogramu jasu obrázkov sa určí 8-bitová hodnota mediánu a vytvorí sa MTB obrázy, kde každý pixel, ktorý je jasnejší než medián, má hodnotu 1 a v opačnom prípade hodnotu 0. Rýchlosť tejto metódy spočíva

<sup>2</sup><https://developer.android.com/reference/android/hardware/camera2/package-summary.html>



**Obrázok 3.** Graf CRF kriviek farebných kanálov

vo využívaní bitových operácií nad MTB obrazmi. Výstupom metódy je zoznam zarovnaných snímok.

### 3.3 Generovanie HDR obsahu

Pred generovaním samotného HDR obsahu si musíme vyjadriť krivku odozvy fotoaparátu a to riešením kvadratickej objektívnej funkcie z podkapitoly 2.1. Teoreticky by sa na riešene tejto rovnice mohol vziať každý pixel, každej expozícii, ale to by bolo na výpočet veľmi časovo a priestorovo náročné. My však nepotrebuje všetky dostupné pixely. Ak máme  $P$  fotografií po  $N$  pixelov, výsledná intenzita žiarenia  $E_i$  bude mať  $N$  hodnôt a krivka odozvy  $g$  ( $Z_{max} - Z_{min}$ )<sup>[2]</sup> hodnôt. Tieto hodnoty však musíme vhodne vybrať zo sekvencie expozičii. Medzi dostupné metódy výberu pixelov pre získanie krivky odozvy môžeme zaradiť:

- výber pixelov pomocou histogramu,
- pravidelne usporiadane pixely,
- náhodný výber pixelov (implementované v aplikácii).

Ked'že aplikácia pracuje s farebnými obrázkami, musíme vyjadriť krivku odozvy  $g$  pre každý farebný kanál (obr. 3). Aplikácia implementuje riešenie rovnice na základe ukážky MATLAB kódu [2]. Kód bol debugovaný pomocou voľne šíriteľného softvéru GNU Octave<sup>3</sup> a následne implementovaný v Java. V závere algoritmu je potrebné vykonať dekompozíciu vytvorených matíc. Dekompozícia je realizovaná pomocou metódy SVD<sup>4</sup>, z knižnice OpenCV.

Na získanie HDR obsahu potrebujeme vyjadriť  $\ln E_i$  (podkapitola 2.1) pre každý pixel a každý farebný kanál.

### 3.4 Prevod HDR obsahu na LDR

Dostali sme sa do stavu, kedy máme vytvorený HDR obsah z  $n$  nasnímaných fotografií. Tento obsah je nutné vhodne užívateľovi prezentovať. Po vytvorení HDR

obsahu sa preto zobrazí obrazovka, na ktorej je zoznam implementovaných operátorov mapovania tónov s ich náhľadom. Jednotlivé operátory mapovania tónov sú implementované pomocou knižnice OpenCV, ktorá poskytuje globálne operátory Reinhard, Drago a lokálne operátory Durand a Mantiuk.

Ak si užívateľ vyberie jeden zo zoznamu ponúkanych operátorov mapovania tónov, zobrazí sa obrazovka pre editovanie parametrov operátora pomocou posuvníkov. Okrem posuvníkov obsahuje obrazovka náhľadový obrázok a tlačítka pre uloženie HDR obsahu a výslednej LDR fotografie, tlačítko pre resetovanie nastavení na východzie hodnoty a tlačítko pre otočenie náhľadového obrázku.

### Zmenšenie náhľadového obrázka

Operátory mapovania tónov sa pre náhľadové obrázky aplikujú na zmenšený HDR obsah. To zaručí menšiu časovú náročnosť zobrazenia obrazovky s operátormi mapovania tónov. Zmenšenie náhľadového obrázku je implementované pomocou metódy knižnice OpenCV, využitím bilineárnej interpolácie. Na obrazovke vybraného operátora mapovania tónov, kde je možné modifikovať vstupné parametre algoritmu, môže byť vďaka zmenšeniu zobrazovaný náhľad v reálnom čase bez väčších oneskorení.

### 3.5 Ukladanie

V závere celého procesu vytvárania HDR fotografie musí byť užívateľ schopný uložiť si výsledok. Aplikácia ponúka uloženie nielen výslednej fotografie v štandardnom obrazovom formáte JPEG, ale aj uloženie HDR obsahu pre neskoršiu editáciu. V tomto prípade je HDR obsah komprimovaný kódovaním RGBE<sup>5</sup>. Uloženie HDR formátu je veľkou výhodou, ktorú neponúka žiadna z aplikácií prieskumu. Užívateľ sa totiž nemusí práve nachádzať v situácii, kedy si nájde čas na vhodné prispôsobenie výsledných parametrov LDR obrazu.

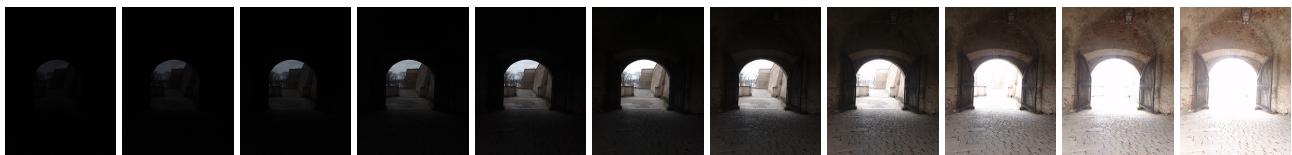
Užívateľ môže k uloženým HDR súborom pristupovať kedykoľvek v obrazovke, ktorá obsahuje výpis uložených .hdr súborov v zariadení užívateľa. Výberom jedného z ponúkaných súborov sa súbor načíta a zobrazí sa obrazovka pre editáciu HDR obsahu.

Pri ukladaní HDR obsahu alebo LDR výslednej fotografie je užívateľ pomocou dialógového okna vyzvaný, aby do textového pola vložil názov svojho nového súboru.

<sup>3</sup>[www.gnu.org/software/octave/](http://www.gnu.org/software/octave/)

<sup>4</sup>Singular-value Decomposition

<sup>5</sup>[https://en.wikipedia.org/wiki/RGBE\\_image\\_format](https://en.wikipedia.org/wiki/RGBE_image_format)



**Obrázok 4.** Sériu 11 snímok scény *brana* zahytených s rôznym expozičným časom



**Obrázok 5.** Výsledky mapovania tónov globálnymi operátormi Reinhard (*vľavo*) a Drago (*vpravo*)

#### 4. Merania a Výsledky Práce

Na testovanie mobilnej aplikácie bolo zachytených 6 scén. Každú scénu tvorí 11 snímok od najtmavšej po najsvetlejšiu expozíciu. Každá scéna je význačná rôznymi, pre prácu prínosnými vlastnosťami. Pri mera- ní a porovnávaní výsledkov sa používala primárne scéna *brana* (obr. 4).

##### 4.1 Výsledky operátorov mapovania tónov

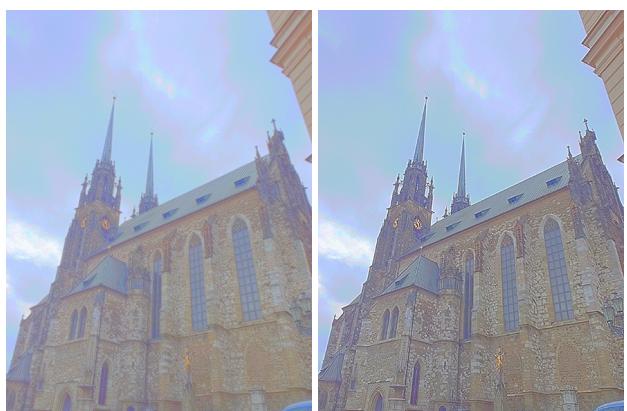
Testované scény boli hodnotené a porovnávané pri použití rôznych nastavení pre štyri operátory mapova- nia tónov. Globálne operátory Reinhard a Drago (obr. 5) neumožňujú na scéne s vysokým dynamickým získať uspokojivý výsledok, kde by boli jasne viditeľné zároveň príliš tmavé a svetlé oblasti.

Jedinou užívateľom definovateľnou hodnotou ope- rátora Drago je hodnota skresenia (bias). Menšie hodnoty vytvárajú výrazne svetlejšie snímky. Pri hod- notách, ktoré sa blížia minimu rozsahu nastáva na svetlých častiach nežiadúci stav - inverzia tónov.

Najlepšie výsledky ponúka užívateľovi lokálny operátor Durand (obr. 6). Zo všetkých operátorov ponúka užívateľovi najviac možností editovania vs- tupných parametrov. Pomocou nastavenia kontrastu môže užívateľ dobre definovať pomer výsledných hod- nôt jasu a tak vytvárať obrazy verne zobrazujúce scénu alebo obrazy s umeleckým efektom. Zmenou hodnôt bilaterálneho filtra sigma\_color a sigma\_space užívateľ zdôrazňuje detaily scény (obr. 7). Pri maximál- nych hodnotach bilaterálneho filtra si môžeme všimnúť halo efekt (obr. 8), spôsobený ostrým prechodom medzi zreteľne svetlou a tmavou oblasťou.



**Obrázok 6.** Výsledky mapovania tónov lokálnymi operátormi Mantiuk (*vľavo*) a Durand (*vpravo*)



**Obrázok 7.** Vplyv bilaterálneho filtra na detaily scény



**Obrázok 8.** Halo efekt



**Obrázok 9.** Scéna brány zachytená voľne dostupnými HDR aplikáciami (z ľava: *HDR Camera*, *HDR HQ*, *HDR Max*, *Ultimate HDR Camera*)

#### 4.2 Porovnania s existujúcimi aplikáciami

Z prieskumu aplikácií boli vybrané užívateľmi najlepšie hodnotené riešenia, ktorými bola zachytená scéna *brana*.

Začneme najzaujímavejším výsledkom, ktorý vytvora aplikácia *Ultimate HDR Camera*. Na tomto obrázku môžeme vidieť jasného zástupcu fotografií, ktoré si užívateľ predstavuje pod pojmom "HDR fotografia". Okrem umeleckého zážitku, ktorý výsledná fotografia ponúka zvýraznením detailov a farieb, môžeme vidieť, že fotografia kvalitne zobrazuje svetlé aj tmavé oblasti scény. To znamená, že vytvára viacero snímok s dostatočným rozsahom expozičného času. Z výsledku je rozpoznejateľné, že sa jedná o lokálny operátor, ktorý okrem mapovania tónov pracuje aj s farbami a kontrastom fotografie. Podobný výsledok by sa nám pravdepodobne nepodarilo dosiahnuť v našej aplikácii, avšak treba poznámať, že ani jedna z fotografií 9 nemá dostatočný dynamický rozsah na to, aby nepreexponovala oblohu v pozadí. Vo výsledkoch našej aplikácie sú vo všetkých operátoroch zachované farby oblohy.

Aplikácia *HDR Camera* ponúka taktiež uspokojujivý výsledok, z ktorého možno usúdiť, že zahŕňa dostatočný dynamický rozsah scény a je použitý lokálny operátor. Pri bližšom pohľade však vidíme, že na obrázku sa nachádzajú škvurny - miesta, na ktorých sa stráca farebnosť. Príčina tohto javu však nie je objasnená. Podobný výsledok sme schopní v našej aplikácii dosiahnuť Durandovým operátorom.

Aplikácie *HDR HQ* a *HDR Max* sú príkladom riešení, ktoré nezachytávajú väčší dynamický rozsah scény, ale snažia sa vytvoriť HDR efekt pomocou filtra.

#### 4.3 Časová a priestorová zložitosť aplikácie

V rámci analýzy časovej a priestorovej zložitosti sa porovnávala rýchlosť a pamäťová náročnosť jednotlivých krokov procesu vytvárania HDR fotografia z rôzneho počtu snímok. Hodnoty zložitosti pri vytváraní 5 snímok sú stručne uvedené v tabuľke 1.

Merali sa časy a alokovaná pamäť nielen celkov, ale aj ich podproblémov. Pri generovaní HDR obsahu sme sa zamerali na výber vzoriek pixelov, získavanie krivky odozvy a vytváranie funkcie žiarenia. Vo vlast-

**Tabuľka 1.** Výsledky meraní

	5 vytvorených snímok
Snímanie	1 050 ms / 100 MB
Generovanie HDR	38 285 ms / 312 MB
Generovanie HDR (OpenCV)	8 349 ms / 218 MB
Operátor Mantiuk	1 299 ms
Operátor Reinhard	1 524 ms
Operátor Durand	1 423 ms
Operátor Drago	1 234 ms
Zmenšenie náhľadového obr.	<15 ms
Operátor Durand (náhľad)	72 ms
Načítanie HDR	400 ms
Ukladanie HDR	1200 ms

nej implementácií algoritmu na generovanie HDR obsahu najviac času spotrebovalo vytvorenie výslednej matice (okolo 15 sekúnd), použiteľnej pre ďalšie kroky vykonávané knižnicou OpenCV. Vidíme, že knižnica OpenCV má dostatočne optimalizovaný algoritmus so skoro polovičnou spotrebou pamäte. Ďalej si môžeme všimnúť, že aplikovanie operátora mapovania tónov na zmenšený obrázok nám ušetrilo dostačok času na to, aby užívateľ videl výsledok v reálnom čase pri zmene vstupných parametrov.

#### 4.4 Spätná väzba užívateľov

Testovania intuitívnosti a estetickosti užívateľského rozhrania sa účastnilo 81 osôb rôznej vekovej kategórie. Užívateľom bolo poskytnuté zariadenie s aplikáciou a následne boli požiadani o vyplnenie krátkeho dotazníka. Odpovede na povinné otázky s možnosťami výberu z *áno* alebo *nie* sú uvedené v tabuľke 2.

Dizajn aplikácie má pozitívne hodnotenia, ale užívatelia by privítali primerane záživnejšie a farebnejšie rozhranie.

Najviac pripomienok mali užívatelia k tlačítkam v dolnom menu vybraného operátora. Aj napriek snahe vytvoriť ikony, najlepšie zobrazujúce svoju funkciu, je potrebné mať v aplikácii dialógové okno vysvetľujúce význam jednotlivých prvkov užívateľského rozhrania.

Dalšie ohlasy boli venované tlačítku pre zmenu orientácie obrázkov. Východzia orientácia náhľadového obrázku sa bude získavať z metadát súboru a tlačítko bude použiteľné v prípadoch, ak by užívateľovi aktuálne otocenie náhľadového obrázku nevyhovovalo.

V rámci porovnania aplikácie s existujúcimi riešeniami, citujem odpoveď jedného respondenta:

*Aj napriek tomu, že aplikácia nesleduje najnovšie trendy mobilného dizajnu alebo pravidlá material designu, myslím, že je spracovaná lepšie ako veľký počet aplikácií v obchode Google Play.*

**Tabuľka 2.** Hodnotenie užívateľského rozhrania

Otázka	Ano	Nie
Stretli ste sa už s pojmom HDR?	51.9%	48.1%
Využívate HDR funkcie iných zariadení?	38.3%	61.7%
Zdá sa Vám aplikácia prehľadná?	96.3%	3.7%
Viete intuitívne, ako pracovať s aplikáciou?	75.3%	24.7%
Reaguje aplikácia plynulo na vaše podnety?	86.4%	13.6%
Má aplikácia estetický a minimalistický dizajn?	88.9%	11.1%

## 5. Záver

Primárnym cieľom práce je oboznámenie sa s problematikou spracovania HDR obrazu a následný návrh a implementácia mobilnej aplikácie pre akvizíciu, spracovanie, zobrazenie a úpravu HDR fotografií. V teoretickej časti sú zhrnuté znalosti nadobudnuté štúdiom odporúčanej literatúry a internetových zdrojov o aktuálnych problémoch spracovania HDR a metódach ich riešenia. V zdrojovom kóde mobilnej aplikácie je rozpracovaný a zdokumentovaný postup tvorby HDR fotografia.

Výsledná analýza preukázala, že aj napriek množstvu mobilných aplikácií s rozmanitou funkcionálitou existuje priestor pre aplikácie, ktoré by ponúkali lepšie riešenie alebo užívateľsky prívetivejšie prostredie. Účelom je užívateľovi ponúknuť rozhranie s funkciami, ktoré potrebuje a dokáže sa v aplikácii ľahko a intuitívne pohybovať.

Táto práca položila základ pre vývoj prepracovanejších metód, ktoré možno v budúcnosti vytvoria komplexnú mobilnú aplikáciu s využiteľnosťou pre širokú škálu užívateľov.

## Poděkování

Rád by som poděkoval pánu docentovi Ing. Martíni Čadíkovi, Ph.D. za odbornú pomoc, připomienky a rady poskytnuté počas tvorby této práce.

## Literatúra

- [1] Michael Freeman. *Fotografie a vysoký dynamický rozsah - základy HDR*. Zoner Press, 2008.
- [2] Paul Debevec and Jitendra Malik. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs, 1997.
- [3] Erik Reinhard, Greg Ward, Sumanta Pattanaik, and Paul Debevec. *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based*

*Lighting*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2nd edition, 2010.

- [4] Francesco Banterle, Alessandro Artusi, Kurt De battista, and Alan Chalmers. *Advanced High Dynamic Range Imaging: Theory and Practice*. A. K. Peters, Ltd., Natick, MA, USA, 1st edition, 2011.
- [5] Frédo Durand and Julie Dorsey. Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images. July 2002.
- [6] Erik Reinhard, Michael Stark, Peter Shirley, and James Ferwerda. Photographic tone reproduction for digital images. July 2002.
- [7] F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen, and N. Chiba. Adaptive logarithmic mapping for displaying high contrast scenes.
- [8] Rafal Mantiuk, Karol Myszkowski, and Hans-Peter Seidel. A perceptual framework for contrast processing of high dynamic range images. July 2006.
- [9] Google and Open Handset Alliance n.d. Android api guide. Accessed May 19, 2015.
- [10] Greg Ward. Fast, robust image registration for compositing high dynamic range photographs from handheld exposures, 2003.