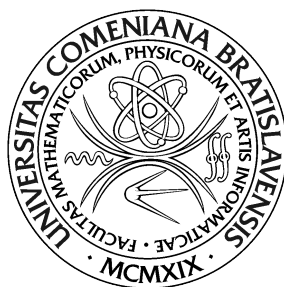


UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



SNÍMANIE BRDF FUNKCIE
POMOCOU MOBILNÝCH ZARIADENÍ.

Diplomová práca

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY



SNÍMANIE BRDF FUNKCIE POMOCOUB MOBILNÝCH ZARIADENÍ.

Diplomová práca

Študijný program: Aplikovaná informatika
Študijný odbor: 2511 Aplikovaná informatika
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky
Školiteľ: Mgr. Andrej Mihálik, PhD.

Bratislava, 2021

Bc. Arsen Driashkaba



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Arsen Driashkaba
Študijný program: aplikovaná informatika (konverzný program)
(Jednoodborové štúdium, magisterský II. st., denná forma)
Študijný odbor: informatika
Typ záverečnej práce: diplomová
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Snímanie BRDF funkcie pomocou mobilných zariadení.
Capturing the BRDF function using mobile devices.

Anotácia: Je navrhnutá a naprogramovaná metodológia merania zrkadlového a difúzneho odrazu svetla od povrchu vzorky pomocou kamery v prostredí Android. Úlohou je vylepšiť aplikáciu umožňujúcu spracovať snímky povrchu materiálu získané kombináciou rôznych smerov snímania a dopadu svetla. Momentálne aplikácia sníma RGB farby. RGB dáta treba transformovať na výstup vo forme tabuľky BRDF hodnôt.

Cieľ: Je navrhnutá a naprogramovaná metodológia merania zrkadlového a difúzneho odrazu svetla od povrchu vzorky pomocou kamery v prostredí Android. Úlohou je vylepšiť aplikáciu umožňujúcu spracovať snímky povrchu materiálu získané kombináciou rôznych smerov snímania a dopadu svetla. Momentálne aplikácia sníma RGB farby. RGB dáta treba transformovať na výstup vo forme tabuľky BRDF hodnôt.


Vedúci: Mgr. Andrej Mihálik, PhD.
Katedra: FMFI.KAI - Katedra aplikovanej informatiky
Vedúci katedry: prof. Ing. Igor Farkaš, Dr.


Spôsob prístupnosti elektronickej verzie práce:
bez obmedzenia

Dátum zadania: 09.10.2016

Dátum schválenia: 10.12.2020

prof. RNDr. Roman Ďurikovič, PhD.
garant študijného programu


študent


vedúci práce

Čestne prehlasujem, že túto diplomovú prácu som
vypracoval samostatne len s použitím uvedenej literatúry
a za pomoci konzultácií u môjho školiteľa.

Bratislava, 2021

.....

Bc. Arsen Driashkaba

Pod'akovanie

V prvom rade chcel by som veľmi pekne poďakovať svojmu školiteľovi Mgr. Andrejovi Mihálikovi za jeho úprimnú snahu pomôcť mi, za jeho trpezlivosť, porozumenie a za dôležité rady a usmernenia počas konzultácií, ktoré mi veľmi pomohli.

Chcem tiež poďakovať všetkým svojim priateľom, rodine a blízkym, ktorí ma podporovali počas písania tejto práce.

Abstrakt

Je navrhnutá a naprogramovaná metodológia merania zrkadlového a difúzneho odrazu svetla od povrchu vzorky pomocou kamery v prostredí Android. Úlohou je vylepšiť aplikáciu umožňujúcu spracovať snímky povrchu materiálu získané kombináciou rôznych smerov snímania a dopadu svetla. Momentálne aplikácia sníma RGB farby. RGB dáta treba transformovať na výstup vo forme tabuľky BRDF hodnôt.

Kľúčové slová: BRDF, snímky povrchu materiálu, snímanie svetla, zrkadlový odraz

Abstract

It is implemented a methodology for measuring mirror and diffuse reflection of light from the sample surface using a camera in Android. The task is to improve an application that allows you to process the surface image of a material obtained by combining different view and light directions. The application is currently scanning RGB colors. RGB data should be transformed to output in the form of a BRDF table.

Keywords: BRDF, surface image of a material, light recording, mirror reflection

Obsah

1	Úvod	1
2	Motivácia	2
3	Bidirectional Reflectance Distribution Function	4
4	Existujúce riešenia získavania BRDF hodnôt	7
4.1	Hardware Measuring	7
4.2	CNN v meraniach BRDF	9
4.3	Single-Image SVBRDF Capture with a Rendering-Aware Deep Network	11
4.4	Generative Modelling of BRDF Textures from Flash Images .	13
5	Návrh vlastného riešenia	18
6	Popis implementácie	19
7	Výsledky snímania BRDF	20
8	Záver	21

Kapitola 1

Úvod

Moj Uvod...

Kapitola 2

Motivácia

Textúry, zvýraznenia a tieňovanie sú niektoré z mnohých vizuálnych podnetov, ktoré umožňujú ľuďom vnímať vzhľad materiálu na jednotlivých obrázkoch. [1] Renderovanie realistických obrázkov pre filmy alebo počítačové hry si vyžaduje primeranú simuláciu prenosu svetla. Okrem geometrie a osvetlenia je dôležitým faktorom vzhľad materiálu. Vzhľad materiálu má tri variácie: Po prvé, keď sa zmení pohľad alebo smer svetla - odrazené svetlo sa zmení. Fyzika tohto procesu je dobre pochopená a dá sa simulovať za predpokladu, že sú k dispozícii vstupné parametre. Po druhé, správanie sa mení naprieč materiálmi. Napríklad koža reaguje inak na svetlo alebo zmeny pohľadu ako papier, no rôzne formy kože majú jasne spoločné vizuálne vlastnosti, t. j. tvoria materiálový priestor. Po tretie, detaily vzhľadu závisia od priestorovej polohy. Rôzne miesta v rovnakom vzore kože sa správajú odlišne, ale zdieľajú rovnaké vizuálne štatistiky, t. j. tvoria textúru. [2]

Ak chceme spoľahlivo a jednoducho vykresliť presné obrázky, odrazivosť povrchov sa musí presne simulovať.[3] Vzhľad objektov v reálnom svete je výsledkom zložitých interakcií medzi svetlom, odrazivosťou a geometriou.[1] Najpriamejším spôsobom, ako zabezpečiť správnu simuláciu, je použiť mera-

nie fyzickej odrazivosti. Takéto merania môžu viesť k výberu parametrov pre existujúce modely odrazivosti a ak sú dostatočne úplné, môžu sa použiť ako vstup pre renderery alebo poskytnúť základ pre úplne nové modely. Na úplné zachytenie odrazivosti nepriehľadného povrchu je potrebné zmerať funkciu obojsmerného rozloženia odrazu (BRDF). Merania BRDF sa tradične robili pomocou účelových zariadení známych ako gonioreflexometre, ktoré sú zriedkavé a drahé. [3] Preto sa vždy hľadali jednoduchšie a lacnejšie riešenia tohto problému.

Obnovenie priestorovo sa meniacich funkcií obojsmernej distribúcie odrazu (SVBRDF) z jedného obrázka však už dlhodobé vyzýva výskumníkov v oblasti počítačovej grafiky. Zachytenie ľahkého vzhľadu dokážeme vyriešiť tréновaním hlbokkej neurónovej siete, ktorá automaticky extrahuje základné vlastnosti povrchu a dáva zmysel týmto vizuálnym podnetom. Po tréновaní sieť môže byť schopná vygenerovať normálovú zložku, difúzne albedo, zrkadlové albedo a zrkadlovú drsnosť z jedného obrázka plochého povrchu osvetleného ručným bleskom. Tento cieľ však potrebuje zavedenia niekoľkých inovácií v oblasti získavania tréningových dát a návrhu siete. Pre tréning môžeme použiť veľký súbor dát a procedurálne súbory SVBRDF, ktoré budeme musieť vzorkovať a vykresľovať vo viacerých smeroch osvetlenia. Bude to nevyhnutné miešanie materiálov, aby sme pokryli širokú škálu efektov tieňovania, čo našej sieti umožňuje pracovať v mnohých triedach a typoch povrchov. V kombinácii chceme dosiahnuť jasné zlepšenie oproti najmodernejším metódam na jednorazové zachytenie priestorovo premenných BRDF pomocou bežného mobilného zariadenia.

Kapitola 3

Bidirectional Reflectance Distribution Function

BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) - je funkcia distribúcie svetla s dvoma lúčmi, najvšeobecnejší spôsob vyjadrenia odrazových vlastností povrchu materiálu (okrem vnútorného rozptylu). BRDF pre každý bod na povrchu objektu určuje koeficient prenosu energie medzi ľubovoľným párom smerov (smer dopadu a smer odrazu) v tomto bode. Vo všeobecnosti to závisí od vlastností materiálu, vlnovej dĺžky (t.j. farby) dopadajúceho svetla, jeho polarizácie atď.

BRDF vo všeobecnosti umožňuje celkom presné modelovanie materiálov s komplexnými optickými vlastnosťami. Patria sem napríklad látky, autolaky a pod. Pri porovnaní so známymi objektmi môžeme BRDF porovnať s textúrou. Iba textúra definuje zmenu farby so zmenou polohy na povrchu materiálu, zatiaľ čo BRDF definuje zmenu farby so zmenou smeru osvetlenia alebo pohľadu.

Chápanie BRDF presne v zmysle funkcie dvoch smerov v jednom bode, môže byť špecifikované rôznymi spôsobmi. Najjednoduchším a najdlhším zná-

mým spôsobom je definovať BRDF ako matematicky jednoduchú funkciu s niektorými parametrami, ktoré určujú vlastnosti materiálu. Ide napríklad o Phongove či Blinnove modely BRDF. Pri jednoduchých parametrizovaných modeloch však nie je možné definovať komplexné optické vlastnosti povrchov. Niekedy, keď sa vyžaduje realizmus, sa používajú zložitejšie funkcie. Môžu modelovať zložitejšie vlastnosti, ale nie sú vhodné pre prípady, keď sa vyžadujú skutočne namerané BRDF. [4]

$$f_r(\omega_i, \omega_r) = \frac{dL_r(\omega_r)}{dE_i(\omega_i)} = \frac{dL_r(\omega_r)}{L_i(\omega_i) \cos\theta_i d\omega_i}$$

kde L je jas alebo výkon na jednotku priestorového uhla v smere lúča na jednotku plochy projekcie kolmo na lúč, E je ožiarenosť alebo výkon na jednotku plochy povrchu a θ_i je uhol medzi ω_i a normálou povrchu n . Index i označuje dopadajúce svetlo, zatiaľ čo index r označuje odrazené svetlo. Dôvodom, prečo je funkcia definovaná ako podiel dvoch diferenciálov, a nie priamo ako podiel medzi nediferencovanými veličinami, je to, že svetlo vyžarujúce iné ako $E_i(\omega_i)$, ktoré nezaujímajú $f_r(\omega_i, \omega_r)$, môžu osvetliť povrch, čo neúmyselne ovplyvní $L_r(\omega_r)$, zatiaľ čo $dL_r(\omega_r)$ závisí iba od $dE_i(\omega_i)$. [5]

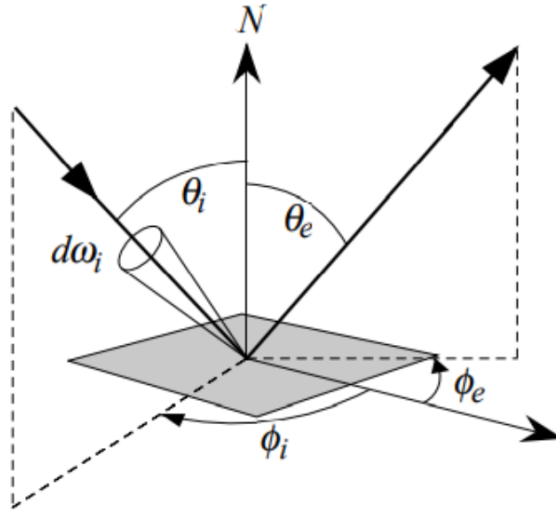
BRDF je teda funkciou piatich premenných, ale jeho doména je trochu redukovaná symetriou nazývanou reciprocita, ktorá hovorí, že obrátenie dráhy svetla nemení odrazivosť:

$$f_r(\theta_1, \phi_1, \theta_2, \phi_2, \lambda) = f_r(\theta_2, \phi_2, \theta_1, \phi_1, \lambda)$$

V tomto článku sa zameriame na dôležitú triedu izotropných materiálov, pre ktoré je odrazivosť nezávislá od rotácie dopadajúceho a výstupného smeru okolo normály povrchu. Pre tieto povrchy závisí BRDF iba na $\Delta\phi = \phi_e - \phi_i$ skôr ako na ϕ_i a ϕ_e samostatne, čím sa doména zmenší z piatich na štyri

premenné:

$$f_r(\theta_i, \phi_i, \theta_e, \phi_e, \lambda) = f_r(\theta_i, \theta_e, \Delta\phi, \lambda).$$



Obr. 3.1: An image of a BRDF

Kapitola 4

Existujúce riešenia získavania

BRDF hodnôt

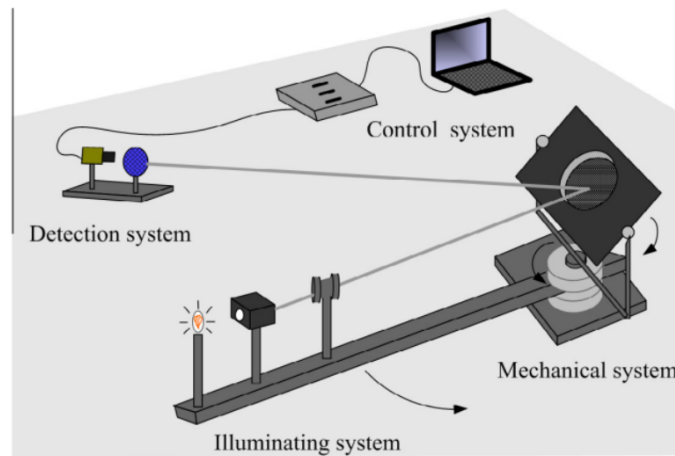
Celkovo, meranie a simulácia BRDF je účinným doplnkovým nástrojom v reálnom čase na generovanie grafických počítačových obrázkov a na výpočet ich cieľových charakteristík.

4.1 Hardware Measuring

Podľa definície, BRDF je absolútnym meraním dopadajúceho spektrálneho žiarenia a odrazeného spektrálneho žiarenia pomocou merača osvetlenia a merača jasů. Vstupná ožiarenosť E_e na povrchu vzorky môže byť dosiahnutá z hľadiska dopadajúceho výkonu svetelného zdroja P_i a osvetlenej oblasti A vzorky. Prijaté žiarenie L_e na detektore možno vypočítať pomocou prijatého výkonu P_s , detegujúceho priestorový uhol ω a prijímanú plochu $A \cos \theta_s$. Potom je možné získať BRDF povrchu testovanej vzorky podľa pomeru L_e a E_e , a to

$$BRDF = \frac{L_e}{E_e} = \frac{P_s / \omega A \cos\theta_s}{P_i/A} = \frac{P_s}{P_i \omega \cos\theta_s} sr^{-1}$$

Svetelný zdroj je upevnený na nosnom ramene, ktoré je osadené v konzole pomocou klznej koľajnice a skúšobná vzorka je umiestnená na vzorkovnici. Detektor je umiestnený na meracej platforme. Rôzny uhol osvetlenia a pozorovací uhol možno dosiahnuť naklonením a horizontálnym otáčaním stojana na vzorky a horizontálnym otáčaním konzoly. Celý proces merania prebieha automaticky pod kontrolou počítača, aby sa zvýšila presnosť merania a rýchlosť odberu vzoriek. Meracie zariadenie pozostáva z osvetľovacieho systému, detekčného systému, mechanického systému a riadiaceho systému podľa meracej schémy BRDF. Celé meracie zariadenie je popísané ďalej na obrázku:



Obr. 4.1: An image of a BRDF

Chybu merania BRDF renderingu ovplyvňuje viacero faktorov. Loss môže byť vyjadrená ako:

$$\varepsilon_{BRDF}^2 = \varepsilon_{ME}^2 + \varepsilon_{IE}^2 + \varepsilon_{DE}^2 + \varepsilon_{PE}^2$$

kde ε_{ME}^2 je mechanická systémová chyba (mechanical error), ε_{IE}^2 je chyba

systému osvetlenia (illuminating error), ε_{DE}^2 je chyba systému detekcie (detection error) a ε_{PE}^2 je osobná chyba (personal error).

$$\varepsilon_{ME}^2 = \varepsilon_{re}^2 + \varepsilon_{he}^2 + \varepsilon_{de}^2$$

kde ε_{re}^2 je chyba otáčania motorizovaných presných rotačných stupňov (rotation error), ε_{he}^2 je výšková chyba držiaka (height error), ε_{de}^2 je chyba posunu detektora (displacement error).

$$\varepsilon_{IE}^2 = \varepsilon_{il}^2 + \varepsilon_{rl}^2 + \varepsilon_{sl}^2$$

kde ε_{il}^2 je chyba zo stability osvetľujúceho svetelného zdroja (illuminating stability error), ε_{rl}^2 je chyba z časovej zmeny odrazeného jasú (reflected luminance error), ε_{sl}^2 je chyba spôsobená rozptýleným svetlom (stray light error).

$$\varepsilon_{DE}^2 = \varepsilon_{snr}^2 + \varepsilon_{nl}^2 + \varepsilon_{sld}^2$$

kde ε_{snr}^2 je chyba spôsobená pomerom signálu k šumu (noise ratio error), ε_{nl}^2 je nelineárna chyba detektora (non-linear error), ε_{sld}^2 je chyba priestorového uhla prijímača a chyba pochádza z nesprávneho nastavenia smeru z a otvoru prijímača (receiver solid angle error).

Osobná chyba ε_{PE}^2 je spôsobená rôznymi čítačkami.

4.2 CNN v meraniach BRDF

V posledných rokoch príchod konvolučných neurónových sietí (CNN) viedol k významnému pokroku v obnove tvaru objektu pomocou jediného obrázka. Jedným z problémov, ktorému sa nevenovala veľká pozornosť, je mate-

riálový odhad, ktorý nezaznamenal taký pokrok, čo možno pripísať viacerým príčinám. Výskumníci zo spoločnosti Adobe vyvinuli najmodernejšiu techniku na obnovenie SVBRDF z jedného obrazu takmer hobl'ovacieho povrchu získaného pomocou fotoaparátu mobilného telefónu.

Princíp architektúry spočíva v tom, že vstupný obraz sa kóduje do latentnej reprezentácie, ktorá je dekódovaná do komponentov zodpovedajúcich normále povrchu, difúznej textúre a zrkadlovej drsnosti. Experimenty demonštrujú výhody oproti niekoľkým základným predchádzajúcim prácam v kvantitatívnych porovnaniach a zároveň dosahujú vynikajúce kvalitatívne výsledky. Schopnosť zovšeobecňovania tejto siete trénovanej na syntetickom súbore údajov BRDF demonštruje silný výkon na skutočných obrázkoch získaných vo voľnej prírode, vo vnútornom aj vonkajšom prostredí, pomocou viacerých rôznych telefónnych kamier.

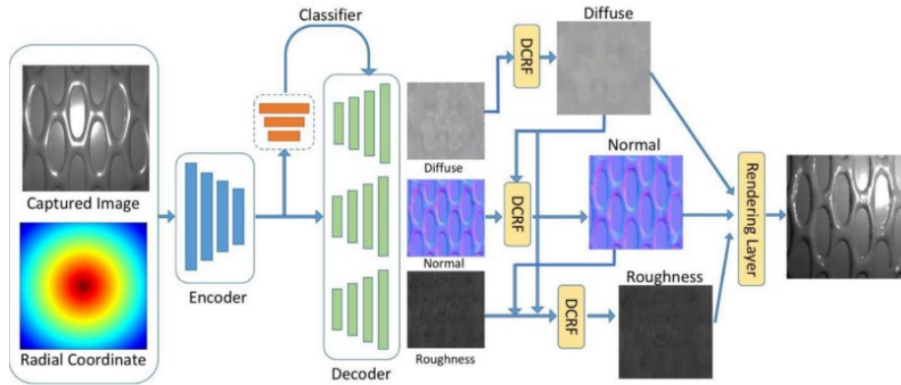
Pre väčšinu mobilných zariadení je poloha blesku zvyčajne veľmi blízka polohe fotoaparátu, čo nám poskytuje jednorozmerné vzorkovanie izotropného BRDF. Náš povrchový vzhľad je reprezentovaný mikrofazetovým parametrickým modelom BRDF. Nech d_i je difúzna farba, n_i je normála, a r_i je drsnosť v pixeli i . Model BRDF je definovaný ako:

$$\rho(d_i, n_i, r_i) = d_i + \frac{D(h_i, r_i) F(v_i, h_i) G(l_i, v_i, h_i, r_i)}{4 n_i^2 l_i v_i}$$

kde v_i a l_i sú smery pohľadu a svetla a h_i je vektor polovičného uhla. Vzhľadom na pozorovaný obraz I d_i, n_i, r_i, L , zachytený pri neznámom osvetlení L , chceme nájsť parametre d_i, n_i a r_i pre každý pixel i na obrázku.

Základná sieťová architektúra pozostáva z jedného kodéra a troch dekodérov, ktoré rekonštruujú tri priestorovo sa meniace parametre BRDF: difúzna farba d_i , normálová n_i a drsnosť r_i , ako je spomenuté vyššie. Vstupom do siete je RGB obrazok, rozšírený o súradnice pixelov, ako štvrtý kanál. Prí-

klad nožnej architektúry:



Obr. 4.2: CNN 1

Pre každý parameter BRDF autori vypočítajú stratu $L2$ priameho pozorovania. Pre každú dávku výskumníci vytvárajú nové svetelné zdroje náhodným výberom bodového osvetlenia v hornej hemisfére. To zaisťuje, že sieť sa neprispôsobuje susednému osvetleniu a je schopná reprodukovat' vzhľad za iných svetelných podmienok. Konečná strata pre časť kódovač-dekodér siete je:

$$\zeta = \lambda_d \zeta_d + \lambda_n \zeta_n + \lambda_r \zeta_r + \lambda_{rec} \zeta_{rec}$$

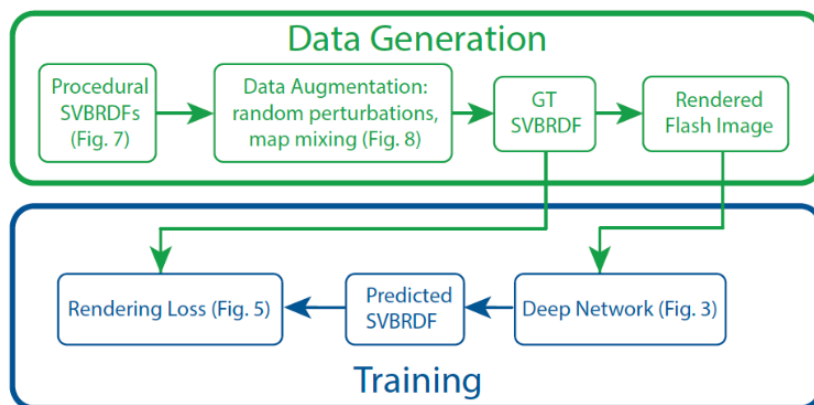
kde ζ_d je $L2$ strata pre difúznú zložku, ζ_n je $L2$ normály, ζ_r $L2$ pre zložku drsnosti a ζ_{rec} je $L2$ strata renderovaného obrazu.

4.3 Single-Image SVBRDF Capture with a Rendering-Aware Deep Network

Vo svojom článku Deschaintre a Aittala tiež navrhujú prístup hlbokého učenia, kde používajú dopredné simulácie na tréovanie neurónovej siete na vyriešenie odhadu priestorovo premenlivej obojsmernej funkcie distribúcie

odrazu (SVBRDF) z jedného obrazu plochého povrchu osvetleného ručným bleskom. Pre tréning siete použili veľký súbor syntetických procedurálnych SVBRDF dat, vytvorených umelcom, ktoré boli vzorkované a vykreslené v rôznych smeroch osvetlenia na generovanie tréningových obrázkov. Údaje boli navyše rozšírené náhodným zmiešaním týchto SVBRDF dohromady a vizualizáciou viacerých náhodne škálovaných, otočených a osvetlených verzií každého materiálu, čím sa vytvorila tréningová sada až 200 000 realistických vzoriek materiálu. Úlohou hlbokaj siete je generovať štyri mapy vrátane per-pixel normály, difúzneho albedo, zrkadlového albedo a zrkadlovej drsnosti vzorky rovinného materiálu. Ako vstup do siete je použitá fotografia z mobilného telefónu osvetlená bleskom, ktorý je umiestnený vedľa kamery kolmo k povrchu materiálu.

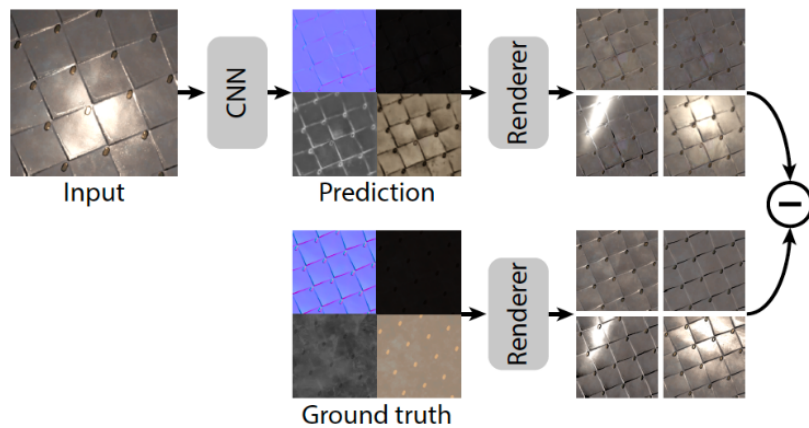
Experimenty autorov ukazujú, že existujúce architektúry využívajúce princíp enkodéra a dekodéra majú problém agregovať takzvané vzdialené informácie a distribuovať ich do malých detailov. Na prekonanie tohto obmedzenia bol opísaný spôsob rozšírenia existujúcej architektúry o sekundárnu sieť, ktorá extrahuje globálne charakteristiky v každej fáze siete a kombinuje ich s lokálnymi, ako je znázornené na obrázku.



Obr. 4.3: CNN 2

Ako už bolo popísané, sieť berie ako vstup 3-kanálovú fotografiu a vydáva 9-kanálový obraz parametrov SVBRDF – 3 kanály pre difúzne albedo RGB, 3 kanály pre zrkadlové albedo RGB, 2 kanály pre zložky x a y normálového vektora v parametrizácii tangenciálnej roviny a 1 kanál pre zrkadlovú drsnosť.

Na výpočet straty a vyhodnotenie presnosti výkonu vykresľovania neurónovej siete sa kanály SVBRDF a ground truth hodnoty porovnávajú renderovaním oboch pri rovnakých náhodných konfiguráciách osvetlenia a zobrazenia pre každú tréningovú vzorku. Strata sa formuluje ako priemerná chyba vo všetkých uhloch a riadi sa bežnou stratégiou jej stochastického vyhodnocovania náhodným výberom uhlov pre každú tréningovú vzorku v duchu stochastického zostupu gradientu.[1]



Obr. 4.4: CNN 22

4.4 Generative Modelling of BRDF Textures from Flash Images

Klasická počítačová grafika zachytáva vzhľad pomocou modelov odrazu, ktoré predpovedajú množstvo odrazeného svetla pre danú i) konfiguráciu

svetla, ii) materiál a iii) priestorovú polohu. Typicky je smer svetla a pohľad zachytený modelmi BRDF, ktoré mapujú tento vektor na skalárnu odrazivosť. Materiál je pokrytý výberom parametrov BRDF modelu, napríklad zrkadlovosť alebo drsnosť. V praxi je často ťažké zvoliť tieto parametre vzhľadom na požadovaný vzhľad. [2] Ako už bolo opísané vyššie, tieto parametre možno merať pomocou systému zariadení, ale získanie presných výsledkov si tradične vyžaduje sofistikované snímacie zariadenie. Takzvaná priestorová variácia sa zvažuje uložením niekoľkých parametrov modelu BRDF do obrázkov konečnej veľkosti, často nazývaných mapy priestorovej obojsmernej distribúcie odrazu (svBRDF), alebo napísaním funkčných výrazov na reprodukciu ich správania, čo je to ešte ťažšie.[2] Preto vo svojej práci Henzler a Deschaintre poskytujú model odrazu, ktorý možno spoločne zovšeobecniť vo všetkých týchto troch osiach. Namiesto použitia analytických parametrov ponúkajú parametrizovať vzhľad latentným kódom z natrénovaného priestoru a váhami dekodérov. Inými slovami, mapy svBRDF sa budú generovať zo šumu za behu v závislosti od skrytého kódu materiálu a natrénovaných váh. Namiesto používania akéhokoľvek pokročilého snímacieho zariadenia na tréning budú jediným dohľadom použité flash-obrázky.[2]

Po prvé, používateľ poskytne „flash-obrázky“, fotografiu vzorky plochého materiálu pri osvetlení bleskom. Táto vzorka je vložená ako kód do latentného priestoru pomocou CNN a používa sa na jemné doladenie váh dekodérov. Na základe tohto kódu dekodér dokáže generovať nekonečné pole BRDF, ktoré sa priamo použije pri vykresľovaní. Kľúčový poznatok, je že tieto obrázky odhaľujú rovnaký materiál na rôznych miestach obrazu a sú stacionárne, ale pod rôznymi uhlami pohľadu a svetla. V práci sa používa state-of-the-art micro-facet BRDF model [Cook and Torrance 1982] a U-Net architektúra aby preložil RGB pixely na materiálové atribúty. Na rozdiel od predchádzajúcej

metódy nepotrebujeme ground-truth mápy, pretože sa spolieha výlučne na skutočné fotografie s bleskom.

Fotografia s bleskom - je RGB snímka objektu nasnímaná v podmienkach, keď blesk mobilného telefónu je dominantným zdrojom svetla. Píšeme $L(x)$ na označenie hodnoty jasu RGB na každom mieste obrázka x . Očakáva sa, že osvetlenie bude izotropné bodové svetlo umiestnené spolu s kamerou. Ďalej sa predpokladá, že geometria je rovinná a upevnená v čelno-parallelnej polohe, takže je známy smer od svetla do každého bodu v 3D obraze. Samooklúzia a paralaxa sa považujú za zanedbateľné.

Odrazivosť je parametrizovaná materiálom, reprezentovaným ako funkcia $f(x)$ mapujúca umiestnenie obrazu x na parametre tieňovacieho modelu, vrátane normály tieňovania. Za týchto podmienok je odrazené žiarenie $L = Rf$, kde R je diferencovateľný operátor vykresľovania, ktorý mapuje parametre tieňovacieho modelu na žiarenie.

Hovoríme, že materiál je stacionárny, ak sa lokálna štatistika parametrov modelu tienenia f nemení sa naprieč obrazkami.

$$\zeta'(\theta) := \tau(L, Rf_\theta) + \lambda S(f_\theta)$$

kde $\tau(L, Rf_\theta)$ je metrika vizuálnej podobnosti medzi flashovým obrázkom L a diferencovateľným vykreslením Rf_θ a $S(f)$ je miera stacionárnosti materiálovej mapy f .

Na základe vzoru kódovač zakóduje obraz do kompaktnej premennej latentného priestoru x . Okrem toho je náhodné nekonečné pole orezané s rovnakými priestorovými rozmermi ako vstupný obraz blesku. Rámovanie šumu sa potom transformuje na základe konvolučnej architektúry U-Net. Po každej konvolúcii v sieti nasleduje vrstva adaptívnej normalizácie inštancií (AdaIN), ktorá pretvára štatistiku (priemer μ a štandardnú odchýlku σ) funkcií. Na-

učená afinná transformácia T na vrstvy máp z na požadované μ a σ). Výstupom siete sú difúzne, zrkadlové, drsné, normálové parametre svBRDF, ktoré pri vyrenderovaní s bleskom umiestneným vedľa kamery, vyzerajú rovnako ako vstupný obrazok.

Encoder. Encoder g mapuje flashový obrázok L na latentný kód z . Telefón s bleskom umiestneným vedľa kamery sa používa na snímanie povrchu fronto-paralelným spôsobom. Encoder je implementovaný pomocou ResNet-50. ResNet začína s rozlíšením 512×384 a mapuje sa do kompaktného latentného kódu. Empiricky nájdeme $n_z = 64$ -rozmerný latentný priestor.

Decoder. Vzorujeme najmä obdĺžnikové záplaty s dĺžkou hrany $n \times m$ pixelov z nekonečného náhodného poľa a konvertujeme ich na materiálové mapy pomocou architektúry U-net. U-net začína pri požadovanom výstupnom rozlíšení $n \times m$ a štyrikrát zníži rozlíšenie pomocou max-poolingu pred prevzorkovaním späť na $n \times m$ prostredníctvom série bilineárnych prevzorkovaní a konvolúcií. Nech F je súborom vstupných vlastností. Pre $i = 0$, prvú úroveň, v plnom rozlíšení, sú tieto prvky vzorkované z náhodného poľa na x . Potom sú výstupné vlastnosti kde $AdaIN$ je adaptívna normalizácia inštancie (AdaIN), konvolúcia (vrátane vzorkovania nahor alebo nadol a nelinearity ReLU), je kód latentného materiálu a T je afinná transformácia. Komponenty s naučenými parametrami sú označené dolným indexom θ .

$$F' := adaIN(conv_{\theta}(F), T_{\theta}z)$$

kde adaptívna normalizácia je:

$$adaIN(\xi, \{\mu, \sigma^2\}) := \frac{\sigma}{\sigma_F}(\xi - \mu_F) + \mu$$

a a jej funkciou je premapovať vstupné vlastnosti so strednou hodnotou

μ_F a rozptylom σ_F^2 na rozdelenie so strednou hodnotou μ a rozptylom σ^2 .

Kvalitu dekodovania je možné ďalej zlepšiť prispôbením váh dekodérov konkrétnemu vzoru L^* krátkym jednorazovým tréningom. Na tento účel sú všetky vahy θ držané pevne, s výnimkou vah dekodérov $\theta^* \subset \theta$, ktoré sú ďalej trénované na reprodukciu jedného zábleskového obrazu L^* s kódom materiálu $z^* = g(L^*)$. Je to možné vďaka úplne nekontrolovanému prístupu, ktorý umožňuje jemné doladenie pre akýkoľvek bleskový obrázok bez toho, aby sme potrebovali ground-truth mapy. Na jemné doladenie sa používa strata štýlu namiesto straty po pixeloch, čím sa zachovávajú vlastnosti rozmanitosti výsledkov.

Ak chceme zhodnotiť vizuálnu podobnosť a stacionárnosť musíme porovnať obrázky na základe straty, ktorá zodpovedá štatistike aktivácií a ich spektru na viacerých mierkach v nekonečnom priestorovom poli. Spektrum. Matice VGG zachytávajú frekvenciu výskytu prvků, pokiaľ ten netvorí pravidelný vzor Scale. Keďže materiál by mal byť vizuálne prijateľný bez ohľadu na jeho mierku, zahrňame viacero mierok s , v rozsahu od $s_{min} = 0.1$ do $s_{max} = 8$ vo výpočte straty. Infinity. Očakávanie v nekonečnej rovine sa realizuje jednoduchým tréningom s rôznymi náhodnými zárodkami pre šumové pole. Výsledkom je generovanie štatisticky podobných, ale lokálne odlišných variácií materiálov.

Kapitola 5

Návrh vlastného riešenia

V tejto kapitole sa budem venovať návrhu samotného modelu a pokúsim sa takisto objasniť dôvody, ktoré ma viedli ku konkrétnym rozhodnutiam.

Kapitola 6

Popis implementácie

Náš model sme sa rozhodli implementovať ako aplikáciu pre Android napísanú v jazyku Java.

Kapitola 7

Výsledky snímania BRDF

Vysledky....

Kapitola 8

Záver

Záver...

Literatúra

- [DAD⁺18] Valentin Deschaintre, Miika Aittala, Fredo Durand, George Drettakis, and Adrien Bousseau. Single-image svbrdf capture with a rendering-aware deep network., 2018.
- [HDMR21] Phillip Henzler, Valentin Deschaintre, Niloy J. Mitra, and Tobias Ritschel. Generative modelling of brdf textures from flash images., 2021.
- [MB16] Andrej Mihálik and Branislav Ballon. Snímanie odrazivosti svetla od povrchov pomocou mobilného zariadenia. Master’s thesis, Univerzita Komenského v Bratislave, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, 2016.
- [MPW⁺99] Stephen R. Marschner, Eric P.F.Lafortune, Stephen H. Westin, Kenneth E. Torrance, and Donald P. Greenberg. Image-based brdf measurement., 1999.
- [MWL⁺21] Stephen R. Marschner, Stephen H. Westin, Eric P. F. Lafortune, Kenneth E. Torrance, and Donald P. Greenberg. Image-based brdf measurement including human skin., 2021.
- [RWS⁺11] Peiran Ren, Jiaping Wang, John Snyder, Xin Tong, and Baining Guo. Pocket reflectometry., 2011.

- [WZD13] Hongyuan Wang, Wei Zhang, and Aotuo Dong. Measurement and modeling of bidirectional reflectance distribution function (brdf) on material surface., 2013.

Zoznam obrázkov

3.1	An image of a BRDF	6
4.1	An image of a BRDF	8
4.2	CNN 1	11
4.3	CNN 2	12
4.4	CNN 22	13