



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

**ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ**

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

**CLUSTERED DEFERRED SHADING VO VULKAN API**

CLUSTERED DEFERRED SHADING IN VULKAN API

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**MATEJ KARAS**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. TOMÁŠ MILET**

**BRNO 2018**

## Abstrakt

Práca sa zaoberá tvorbou aplikácie pre vykresľovanie veľkého počtu svetiel v reálnom čase, za použitia novej generácie grafického API. Ako prvý je popísaný dôvod, prečo potrebujeme novú generáciu grafických API. Potom sú rozobrané metódy vykresľovania svetiel. Výsledkom práce je aplikácia schopná vykresľovať scénu s veľkým počtom svetiel v reálnom čase, zhodnotenie dosiahnutých výsledkov a možné budúce pokračovanie projektu.

## Abstract

This thesis deals with development of application for rendering many lights in real-time using next generation graphic API. First part covers the reasons, why we need next generation graphics API. Next parts covers methods for light rendering. Finally, the application for many light real-time rendering is created, and results and possibilities for further development are discussed.

## Kľúčové slová

Vulkan, deferred shading, C++, vykresľovanie v reálnom čase

## Keywords

Vulkan, deferred shading, C++, Real-time rendering

## Citácia

KARAS, Matej. *Clustered deferred shading vo Vulkan API*. Brno, 2018. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Tomáš Milet

# Clustered deferred shading vo Vulkan API

## Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením pána Ing. Tomáša Mileta. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....

Matej Karas  
15. januára 2019

## Podakovanie

**[[moar]]**

Ďakujem všetkým svojim neurómom, ktoré boli ochotné túto prácu napísať, El Psy Kongroo!

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Nová generácia grafických API</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Metódy vykreslovania veľa svetiel</b>	<b>4</b>
3.1	Deferred shading . . . . .	4
3.2	Tiled deferred shading . . . . .	5
3.3	Clustered deferred shading . . . . .	5
3.4	Hybridný algoritmus . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Návrh aplikácie</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Implementácia a testovanie</b>	<b>9</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>10</b>
	Zoznam príloh . . . . .	10

# Kapitola 1

## Úvod

Počítačové hry sa snažia napodobňovať realitu a vtiahnuť používateľa do virtuálneho sveta. Moderné high-end hry používajú tisíce svetiel aby to, čo videl užívateľ, bolo čo najrealistickejšie. Aby to bolo možné, potrebujeme scénu vykreslovať v reálnom čase (minimálne 60FPS). [[ :( ]]

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

## Kapitola 2

# Nová generácia grafických API

Problém prečo potrebujeme ďalšiu generáciu grafických API je, že dnešne grafické API (ako napr. OpenGL), ktoré vznikali pred 20 rokmi, boli určené pre grafické karty s fixnou funkcionalitou. Programátor musel dodať vertex dáta v štandardnom formáte a bolo na výrobcovi grafickej karty, ako bude prebiehať tieňovanie a osvetľovanie.

Ako sa grafické karty postupom času vyvíjali, poskytovali viac a viac možností na konfigurovanie stavu. Všetka táto funkcionalita ale musela byť nabalená na už existujúce API, kvôli spätnej kompatibilite. Toto viedlo k nie moc ideálnej abstrakcii hardvéru, pretože nie všetko sa dá vyriešiť pridávaním novej funkcionality, ktorá reflektuje možnosti nových grafických kárt. Preto ovládač grafickej karty musí v dnešnej dobe robiť veľa „odhadov“ aby dokázal namapovať programátorov kód na dnešné grafické karty. Ďalším limitujúcim faktom je, že z doby keď vznikali tieto grafické API, sa nepočítalo s viac vláknovým vykresľovaním a preto je takmer nemožné vykresľovať viac vláknovo pomocou knižnice OpenGL.

Z týchto dôvodov vznikli nové grafické API ako Vulkan, DirectX 12, Metal, Mantle. Vulkan je tzv. nástupca OpenGL, a vznikol z Mantle API. Spôsob akým Vulkan odľahčuje záťaž na ovládač grafickej karty je, že je **[[verbose]]** a všetko čo sa má diať v budúcnosti, musí byť jasne povedané (dopredu daný stav grafickej pipeline, skompilované shader programy, **[[ ]]**, ...) a ovládač sa stará najmä len o komunikáciu s grafickou kartou, kdežto pri OpenGL programátor nadeklaruje čo chce robiť a ako to chce robiť, a ovládač grafickej karty sa postára o zbitok, riešením veľa úloh na pozadí (napr. kompilovanie shader programov, alokovanie pamäte, vloženie synchronizačných štruktúr, atď). Taktiež dovoľuje viac vláknové vytváranie a odosielanie príkazov (čo môže byť CPU **[[bottleneck]]**), programátor musí zaručiť synchronizáciu a zvládnuť spravovanie grafickej pamäte, poskytujú efektívne „recyklovanie“ vykresľovacích príkazov, atď.

**[[references]]**

## Kapitola 3

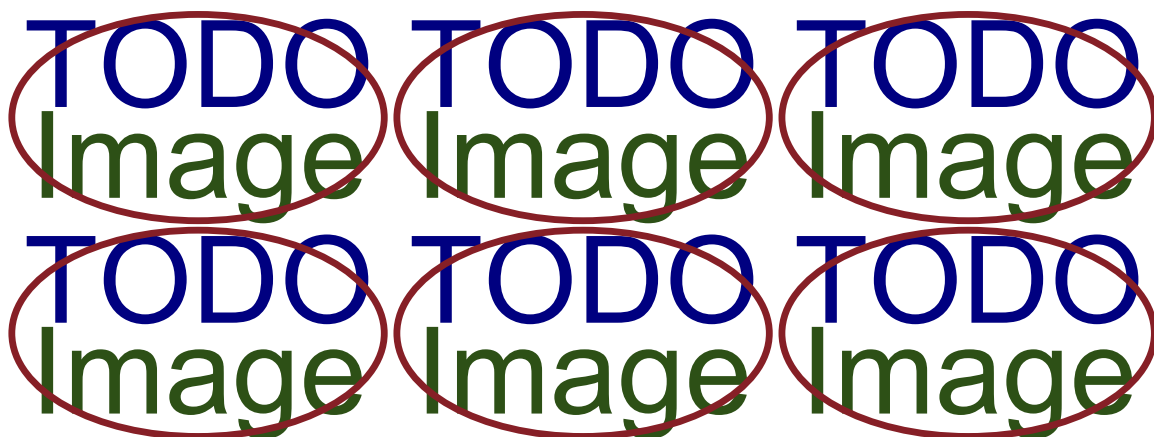
# Metódy vykreslovania veľa svetiel

V tejto kapitole sú popísané metódy pre vykresľovanie mnoho svetiel v reálnom čase. Obyčajná metóda, ako napr. forward shading v ktorej objekt postupne prechádza celou grafickou pipeline, je absolútne nedostačujúca pre potreby vykresľovania scény s mnoho svetlami v reálnom čase. Pre tento účel sa používa deferred shading [2].

### 3.1 Deferred shading

Deferred shading (možný preklad ako odložené tieňovanie) je metóda, ktorá redukuje počet objektov, pre ktoré sa musí počítať osvetľovací model. Všetky objekty prejdú prvým priechodom, v ktorom sa vykreslia za použitia viacnásobných vykresľovacích cieľov do jednotlivých geometrických bufferov, alebo v skratke G-bufferov. Do G-bufferov sa ukladajú jak farby daných fragmentov, tak normály, spekulárna zložka svetla, pozícia fragmentu (v mojom prípade transformovaná do view-space) a hĺbková mapa. Týmto spôsobom sa redukuje počet fragmentov, pre ktorý sa musí počítať osvetlenie na  $O(\text{rozlíšenie} * \text{počet svetiel})$ . Samotný výpočet osvetlenia sa vykonáva ako 2D post proces.

Nevýhodou tejto metódy je náročnosť na veľkosť grafickej pamäte (rastúcou s rozlíšením) a teda aj s priepustnosťou frame bufferu. Ďalšou nevýhodou je nepodporovaný alpha blending, ktorý ale môže byť vyriešený použitím forward shading pre transparentné objekty 3.4.



Obr. 3.1: Obsah G-bufferov postupne z ľava: spojené g-buffere, albedo, normály, spekulárna zložka svetla, pozícia, hĺbková mapa.

## 3.2 Tiled deferred shading

Tiled shading je technika na redukovanie množstva svetelných výpočtov pre fragment. Jej princíp spočíva v nasledujúcich krokoch [1]:

- Vykreslenie geometrie do G-bufferov
- Vytvorenie screenspace dlaždíc
- Výpočítanie frustum a zistenie kolízií
- Výpočítanie osvetlenia

### Vykreslenie geometrie do G-bufferov

Jedná sa o klasický deferred rendering, kedy sa pomocou viacnásobných vykreslovacích cieľov vykreslí geometria do g-bufferov.

### Vytvorenie screenspace dlaždíc

Screen space sa rozsegmentuje na dlaždice s pevnou veľkosťou (typicky  $32 \times 32$ , alebo  $16 \times 16$  pixelov), z ktorej každá obsahuje zoznam svetiel, ktoré do nej patria a bude sa s nimi počítať osvetľovací model, pre fragmenty spadajúce do tejto dlaždice.

### Výpočítanie frustum a zistenie kolízií

Po vypočítaní frustum pre danú dlaždicu zisti svetlá, ktoré s ním kolidujú a pridaj ich do zoznamu kolidujúcich svetiel s danou dlaždicou.

### Vypočítanie osvetlenia

Pre každý fragment vo frame buffery zisti do akej dlaždice patrí a vypočítaj osvetlenie zo svetiel, ktoré boli pridané do zoznamu v minulom kroku.

## 3.3 Clustered deferred shading

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue



a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

### 3.4 Hybridný algoritmus

[[A mozno aj nie]]

## Kapitola 4

# Návrh aplikácie

## Kapitola 5

# Implementácia a testovanie

# Literatúra

- [1] Olsson, O.; Assarsson, U.: Tiled Shading. *Journal of Graphics*, ročník GPU, 11 2011: s. 235–251, doi:10.1080/2151237X.2011.621761.
- [2] Owens, B.: Forward Rendering vs. Deferred Rendering. 2013.  
URL <https://gamedevelopment.tutsplus.com/articles/forward-rendering-vs-deferred-rendering--gamedev-12342>

## Zoznam príloh