



**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

**WEBOVÝ PROHLÍŽEČ PANORAMATICKÝCH SNÍMKŮ**

WEB-BASED PANORAMA IMAGE VIEWER

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**TOMÁŠ SLUNSKÝ**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**Doc. Ing. MARTIN ČADÍK, Ph.D.**

**BRNO 2017**

**Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií**

Ústav počítačové grafiky a multimédií

Akademický rok 2016/2017

**Zadání bakalářské práce**

Řešitel: **Slunský Tomáš**

Obor: Informační technologie

Téma: **Webový prohlížeč panoramatických snímků  
Web-Based Panorama Image Viewer**

Kategorie: Web

**Pokyny:**

1. Proveďte rešerši existujících projektů pro prezentaci sférických panoramat a videí ve webovém prohlížeči.
2. Seznamte se s technologiemi, které budete potřebovat pro vývoj, zejména s HTML5.
3. Navrhněte architekturu a uživatelské rozhraní prohlížeče sférických panoramat a videí. Prohlížeč bude zobrazovat informace o orientaci a zorném poli kamery a další metadata.
4. Implementujte prohlížeč s využitím technologie HTML5. Soustředte se na efektivní zobrazení sférických videí jak v ekvirektangulárním módu, tak v módu rybího oka.
5. Proveďte uživatelské testování.
6. Dosažené výsledky prezentujte formou videa, plakátu, článku, apod.

**Literatura:**

- <http://cadik.posvete.cz/>

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese  
<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Čadík Martin, doc. Ing., Ph.D., UPGM FIT VUT**

Datum zadání: 1. listopadu 2016

Datum odevzdání: 17. května 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta informačních technologií  
Ústav počítačové grafiky a multimédií  
602 00 Brno, Božetěchova 2  
L.S.



doc. Dr. Ing. Jan Černocký  
vedoucí ústavu

## Abstrakt

Do tohoto odstavce bude zapsán výtah (abstrakt) práce v českém (slovenském) jazyce.

## Abstract

Do tohoto odstavce bude zapsán výtah (abstrakt) práce v anglickém jazyce.

## Klíčová slova

WebGL, HTML5, javascript, panoráma, sférické video, prohlížeč

## Keywords

WebGL, HTML5, javascript, panorama, spherical video, viewer

## Citace

SLUNSKÝ, Tomáš. *Webový prohlížeč panoramatických snímků*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Čadík Martin.

# Webový prohlížeč panoramatických snímků

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana X... Další informace mi poskytli... Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....  
Tomáš Slunský  
14. dubna 2017

## Poděkování

Rád bych poděkoval Martinu Čadíkovi za jeho cenné rady, vedení při tvorbě bakalářské práce a jeho celkový přístup. Dále bych rád poděkoval své rodině a blízkým za jejich trpělivost, toleranci a pochopení.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Webové technologie prohlížeče</b>	<b>4</b>
2.1	HTML5 . . . . .	4
2.1.1	Video . . . . .	4
2.1.2	Plátno . . . . .	8
2.2	GLSL . . . . .	9
2.2.1	Vertex shader . . . . .	9
2.2.2	Fragment shader . . . . .	9
2.2.3	Typy proměnných . . . . .	10
2.3	WebGL . . . . .	11
2.3.1	Vykreslování primitiv . . . . .	11
2.3.2	Vyrovnávací paměť . . . . .	11
2.3.3	Projekce . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Návrh klíčových částí</b>	<b>13</b>
3.1	Geometrie . . . . .	13
3.1.1	Vertex . . . . .	14
3.1.2	Normály . . . . .	14
3.1.3	Textura . . . . .	14
3.1.4	Indices . . . . .	14
3.2	Korekce textur . . . . .	14
3.3	Projekce . . . . .	14
3.3.1	Modelová matice . . . . .	14
3.3.2	Zobrazovací matice . . . . .	14
3.3.3	Perspektivní matice . . . . .	14
3.4	Metadata . . . . .	14
3.5	Kompas . . . . .	14
3.6	Blending . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Implementace panoramatického prohlížeče</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Testování</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>17</b>
	<b>Literatura</b>	<b>18</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>19</b>



# Kapitola 1

## Úvod

V současné době se technologie ve všech odvětvích stále posouvá a není tomu jinak ani u prohlížení fotek a videí. V současné době i takto nahrané informace pomocí digitálních zařízení je trend dále posouvat a zvyšovat tak zážitek ze zaznamenané události. Díky tomuto trendu si už nevystačíme s “klasickými” přehrávači, popř. prohlížeči videí, nebo fotografií. Díky sférickým 360 stupňovým kamerám, je dnes možné zaznamenat video o srovnatelné velikosti jako u dnes běžného telefonu, ale s mnohem větším objemem informací, které se ale nedají srozumitelně přehrát v klasických přehrávačích. Ruku v ruce se sdílením takových dat, je velice výhodné takový prohlížeč nabídnout jako webovou verzi, aby i jiní uživatelé mohli svá takto natočená videa přehrávat popř. sdílet. Důkazem toho je rozmach multimedialního obsahu na internetu, kdy samotný jazyk HTML pro prezentaci webových stránek dříve nenabízel přímou podporu videí, což se změnilo příchodem nové verze HTML5. Některé portály jako např. Youtube již dnes začíná nasazovat do svého prohlížení videí jeho rozšířené sférické verze, což tedy potvrzuje tento trend. Tato práce má za cíl takové prohlížení posunout ještě dál.

Následující práce se věnuje implementaci webového prohlížeče panoramatických snímků a videí v různých módech, ve kterých je video interpretováno. Cílem je tedy navrhnout a zrealizovat řešení, aby uživatel po natočení videa dále nepotřeboval k přehrání např. sférického videa v režimu rybího oka specifický program, který by video musel nejprve překonvertovat. To stejné se týká i panoramatických snímků a videí v equirectangulárním zobrazení.

Další inovací v prohlížení videí je přidání některých dat, které v běžném prohlížení nejsou k dispozici. Např. informace o světových stranách ve vztahu k obrázku, či videu popřípadě údaje o velikosti zorného pole v daném kontextu prohlížení až po dodatečná metadata v panoramatických obrázcích, které jsou vhodné např. k tomu, aby autor obrázku mohl popsat jeho zajímavé části popřípadě blíže popsat zachycenou scénu.

Samotná práce je členěna do šesti částí. V kapitole **Webové technologie prohlížeče** se budu věnovat nastínění všech použitých technologií nutných pro pochopení problematiky, se kterými se bude pracovat v následujících kapitolách. O návrhu řešení pojednává kapitola **Návrh klíčových částí**, na kterou navazuje implementační část **Implementace panoramatického prohlížeče**. Otestování správného návrhu a implementace se zabývá kapitola s názvem **Testování**. V poslední části práce **Závěr** jsou prezentovány dosažené výsledky a možnosti dalšího rozšíření.

## Kapitola 2

# Webové technologie prohlížeče

Následující kapitola pojednává o technologiích, které samotný prohlížeč používá a jsou tedy nezbytné v následujících kapitolách, zejména v části **Implementace panoramatického prohlížeče**, kde se s nimi přímo pracuje.

### 2.1 HTML5

Jazyk HTML (HyperText Markup Language) je značkovací jazyk určený pro popis webových stránek. Vychází z univerzálního značkovacího jazyka SGML (Standard Generalized Markup Language). V současné době aktuální verzi jazyka HTML je jeho již pátá verze - HTML5. Nová verze HTML přináší zásadní vylepšení, nové funkce a možnosti, které jsou nezbytné pro návrh a implementaci webového prohlížeče.

Pro návrh samotného programu je nezbytná podpora multimédií – tedy audio a video, v neposlední řadě také plátno canvas sloužící pro práci s grafikou.

#### 2.1.1 Video

Dříve nebylo možné do webových stránek vložit video tak jako dnes. K tomuto účelu bylo využíváno různých zásuvných modulů třetích stran a do webových stránek se video vkládalo např. jako objekt. Nejvíce rozšířeným přehrávačem videí a tedy jakási náhrada za podporu videí, kterou tehdy HTML nemělo, se v širším spektru stal Adobe Flash, který funkci přehrávače plní v menší míře až doposud, avšak je již zastíněn efektivnějším řešením, a to právě HTML5.

Nový prvek v HTML5 vytvořený k tomuto účelu je `<video>`. Byl navržen tak, aby mohl být použit bez detekčních skriptů na stránce. V elementu videa je možné nastavit více souborů s videem a dle podpory si daný prohlížeč vybere jim podporované video. V případě, že by prohlížeč prvek videa nepodporoval, bude jej ignorovat. Nastavení více zdrojů videa s odlišnými kodeky lze pomocí elementu `<source>` uvnitř páru elementů `<video>...</video>`. Jakmile prohlížeč narazí na `<video>`, podívá se, zdali je přítomen atribut `src`, v opačném případě začne procházet jeden element `<source>` po druhém a bude hledat právě takový, který umí přehrát.

Aby bylo možné ovládat video dynamicky pomocí kláves nebo myši, bude nutné využít DOM (Document Object Model). Jedná se o stromovou strukturu dokumentu, kterou si prohlížeč sestavuje po načtení webové stránky. Všechny elementy webové stránky jsou interpretovány v DOM jako objekt. Některé značky se v DOM vytvoří, aniž by byly ve



zdrojovém kódu zapsány. Obecně platí, že pomocí objektového modelu je díky javascriptu možné tuto stromovou strukturu dále upravovat a rozšiřovat.

#### 2.1.1.1 Stavy načítání a přehrávání videa

Další velice důležitou částí je načítání videa a jeho ověření, zdali je již video připraveno k přehrávání. K ověření dostupnosti videa lze použít jeden ze síťových stavů elementu pomocí stavového atributu `networkState`, popřípadě přímo zjišťovat připravenost videa pomocí atributu `readyState`, vracející jeden z následujících stavů, podle kterých se můžeme dále při přehrávání řídit a přizpůsobit tomu běh programu. Jednotlivé konstanty nabývají hodnot od 0 do 4 a dle hodnot rozlišujeme:

- **HAVE\_NOTHING** (ekvivalentní hodnotě 0)
  - nastane v situaci, kdy zdrojové video není dostupné, nebo žádná data pro aktuální přehrávanou pozici
  - koresponduje také s návratovou hodnotou síťové metody `networkState()`, když její návratová hodnota je rovna 0, což odpovídá konstantě `NETWORK_EMPTY`
- **HAVE\_METADATA**
  - základní data o zdroji se podařilo získat a zdroj je tedy považován jako dostupný. Zatím ale ještě není dostatek dat, aby bylo možné začít s přehráváním. V tomto stavu jsou k dispozici jen data popisující přehrávaný subjekt, jako délka, šířka, dekódování apod. Dochází k vyvolání události `loadedmetadata`
- **HAVE\_CURRENT\_DATA**
  - data pro bezprostřední začátek přehrávání jsou připravena, ale video ještě není načteno dál za tuto pozici. Přehrávání může dostat do stavu `HAVE_METADATA`, nebo následující data videa již nejsou k dispozici.
- **HAVE\_FUTURE\_DATA**
  - data pro přehrávání jsou připravena pro současnou i nadcházející pozici. V případě, že by bylo video dosáhlo takového stavu poprvé, bude vyvolána událost `canplay`.
- **HAVE\_ENOUGH\_DATA**
  - data připravena pro aktuální a nadcházející pozice pro plynulé přehrávání. Dochází k vyvolání události `canplaythrough`

Mimo stavy načtení videa jsou tu i stavy indikující, co přesně se právě děje s videem po jeho načtení. Tyto stavy se hodí k dotazování elementu `<video>` pomocí DOMu např. pro tvorbu vlastního specifického ovládání videa, nebo pro zahrnutí interakce s myší.

- **playing** - video se aktuálně přehrává, atribut `paused` je nastaven na `false`
- **waiting** - přehrávání videa je pozastaveno
- **ended** - přehrávání videa došlo nakonec
- **canplaythrough** - tato událost říká, že je možné video přehrát až do konce bez nutnosti video zastavit k dalšímu načítání. Tohoto stavu může dosáhnout jen v případě, že stavový atribut `readyState` je roven `HAVE_ENOUGH_DATA`.

### 2.1.1.2 Atributy videa

Důležité atributy pro manipulaci s videem a nastavením.

**src** - jedná se o atribut, do kterého se definuje zdrojové adresa videa jako URL, které se má zobrazit. Používá se zejména v situaci, kdy je k dispozici právě jedna verze videa.

**autoplay** - jedná se atribut typu `bool`. V případě, že je `true`, spustí se přehrávání média automaticky jakmile je vše připraveno. Uvedení názvu atributu do elementu samotného je již dostačující informace o tom, co se bude dít s videem. Tedy bude tato hodnota typu `bool` považována jako `true`, jinak `false`.

**poster** - Slouží k vystihnutí obsahu daného videa. Ještě než začne samotné přehrávání, je možné jako první snímek videa zvolit obrázek zadaný cestou. V případě, že tento atribut nebude vyplněn, HTML automaticky zvolí jeden z prvních neprázdných rámců.

**loop** - jedná se atribut typu `bool`, který začne po dosažení konce videa s přehráváním videa opět od začátku. Tato operace se provádí v nekonečné smyčce.

**width** - šířka přehrávače v pixelech.

**height** - výška přehrávače v pixelech.

**paused** - atribut videa typu `bool`. Indikuje, zdali se video přehrává či nikoliv.

**controls** - jedná se opět o atribut typu `bool`, který říká, aby prohlížeč použil vlastní ovládací prvky pro video. Ovládací prvky se dají také vytvořit a přizpůsobit velice snadno díky DOMu.

**preload** - tímto říkáme, jakou část videa by měl webový prohlížeč načíst ihned po načtení stránky. Tento atribut nabývá jednou ze tří hodnot:

- **none** - nebude načítat nic, výhodné v případě, kdy je potřeba minimalizovat vytížení pásma
- **metadata** - načte pouze metadata daného videa - základní údaje o jeho délce apod.
- **auto** - sám zvolí, co přesně udělá

### 2.1.1.3 Metody videa

Jelikož pomocí DOM je možné upravovat vlastnosti elementu `<video>`, tak jsou tedy nutné metody k ovlivnění jeho atributů, aby bylo možné s přehráváním videa manipulovat.

**play()** - metoda sloužící k nastavení atributu **paused** na **false**, pokud video již skončilo, začne je přehrávat od začátku.

**pause()** - metoda sloužící k nastavení atributu **paused** na **true**, tím dojde k pozastavení videa

**canplaytype()** - metoda sloužící k ověření, zdali webový prohlížeč dokáže video daného typu přehrát. Metoda vrací jednu z následujících hodnot:

- "" - pokud by metoda vrátila prázdný řetězec, video prohlížeč nedokáže přehrát.
- **maybe** - prohlížeč si není zcela jist, zdali dokáže formát přehrát.
- **probably** - daný formát videa dokáže prohlížeč přehrát s vysokou pravděpodobností.

**load()** - všechny data videa se načtou znovu, čímž dojde ke zrušení všech akcí a současných dat, které byly doposud staženy a načteny. Poté se vše zavolá a načte znovu následujícím způsobem:

1. Nejprve dojde k inicializaci, kdy **readyState** je nastaven na **HAVE\_NOTHING** a nastaví i příslušný síťový atribut **networkState** na 0, **seeking** je nastaven na **false**, **paused** je nastaven na **true**, vše ostatní je prázdné, nebo nula
2. vybere se zdroj z atributu **src** nebo **<source>**, dále je vyvolána událost **loadstart** a dochází ke stažení metadat videa
3. jakmile jsou metadata stažena, nastaví se základní vlastnosti videa - šířka, výška, délka a **readyState** je nastaven na **HAVE\_METADATA** a spolu s tím je vyvolána událost **loadedmetadata**
4. Jakmile je **readyState** větší nebo roven **HAVE\_FUTURE\_DATA** je vyvolána událost **canplay** a **loadeddata**
5. dojde ke spuštění přehrávání. Je vyvolána událost **play** a **playing**, atribut **paused** nastaven na **false**

## 2.1.2 Plátno

Jak již bylo avizováno výše, plátno, neboli element `<canvas>` slouží v HTML5 pro vykreslení grafů, herní grafiky, obrazů bitmap apod. Díky elementu `<canvas>` lze vykreslovat i náročnější grafické objekty za pomoci WebGL. V HTML5 slouží tedy především k vykreslení 2D prvků pomocí Javascriptu. Plátno je párový element, přesto se mezi párové tagy zdánlivě nic nevykresluje, celý obsah je skryt. Takový obsah se nazývá tzv. *fallback content* a je zobrazen v případě chyby, nebo prohlížečům, které tento element HTML5 nepodporují.

Plátno je bezpochyby nejdůležitější částí pro realizaci celé práce. Bude pro vyobrazení používat především `<video>`, z kterého bude číst data a využije tedy element video jak zdroj. Díky DOM pak dokážeme s objektem snadno manipulovat. Díky elementu `<canvas>` jsme tedy schopni získat kontext Javascriptového API - WebGL a díky němu schopni pracovat na úrovni grafické karty.

### 2.1.2.1 Atributy plátna

Canvas má pouze dva atributy a těmi jsou `width` a `height` pro nastavení šířky a výšky plátna. Je možné nastavit výšku a šířku pomocí kaskádových stylů, avšak tato možnost není doporučována, protože by mohlo dojít k nežádoucí deformaci obsahu. Při změně velikosti bitmapy pomocí atributů dojde pouze ke změně velikosti dané bitmapy, změna kaskádovými styly ale změní velikost obsahu celé bitmapy a tím tedy dojde ke zkreslení.

### 2.1.2.2 Použití a práce s plátnem

Použití plátna lze pomocí rozhraní `HTMLCanvasElement`, které slouží pro přístup k jeho vlastnostem a metodám. Přístup k objektu `HTMLCanvasElement` lze pomocí standardní javascriptové metody `getElementById()` v případě, že je v tagu `<canvas>` nastaven atribut `id`, nebo lze objekt získat pomocí metody `querySelector("canvas")`.

Po získání objektu plátna lze dále s elementem manipulovat pomocí dvou metod (počet volání dané metody vrátí pokaždé ten stejný objekt):

- `toDataURL([type[,quality]])`
  - vrací URL adresu aktuálního obrázku v elementu `<canvas>`. Metoda může a nemusí mít nějaké argumenty. První argument, v případě že je zadán, rozhoduje jaký bude navrácen výsledný typ obrázku. Pokud nezadáme žádný argument, tak jako výchozí formát obrázku bude automaticky zvolen *image/png*. Výsledná adresa URL bude vrácena jako řetězec.
- `getContext(contextId[, ... ])`
  - metoda vrací referenci na daný objekt aplikačního rozhraní, díky kterému bude možné kreslit na plátno. Pokud by kontext pro daný argument nebyl podporován prohlížečem, návratová hodnota bude `null`. Typ aplikačního rozhraní je vybrán na základě argumentu metody:
    - **"2d"** - vrací objektové rozhraní `CanvasRenderingContext2D`, který slouží pro kreslení grafických primitiv.
    - **"webgl"** - pokud tuto funkci prohlížeč podporuje, bude navrácen objekt `WebGLRenderingContext`.

## 2.2 GLSL

**GLSL** (OpenGL Shading Language) - jedná se o jazyk pro psaní shaderů <sup>1</sup>. Jazyk vychází z jazyka C a také proto je mu svojí syntaxí velice podobný. Základní konstrukce každého programu je v zásadě úplně stejná jako v jazyku C, každý program musí obsahovat hlavní funkci `main()` bez jakýkoliv parametrů a návratových hodnot. V hlavní funkci programu jsou vyhrazeny proměnné se speciálním významem, jako např. `gl_Position`, kterou nastavujeme pozici vrcholu ve vertex shaderu, nebo `gl_FragColor` pro nastavení barvy ve fragment shaderu.

### 2.2.1 Vertex shader

Jedná se o program v jazyce GLSL, který je pro prováděn pro každý vstupní vrchol zadané geometrie.

Každá souřadnice vrcholu je dále přepočítána do tzv. *clipspace*, což je souřadný systém pro vykreslování do plátna. V případě, že by některé souřadnice byly mimo hranice souřadného systému, budou oříznuty a vykreslovat se nebudou. Hranice *clipspace* jsou definovány pro každou ze souřadnic *x*, *y*, *z* intervalem  $\langle -1, 1 \rangle$ . Vertex shader může sám ovlivnit souřadnice vrcholů, textur popř. normálových vektorů a barev. Při zpracování vrcholů není známa topologie zpracovávaného objektu, protože nejsou dostupné informace o sousedících vrcholech.

Poslední operací vertex shaderu před samotným vykreslením je převod do NDC<sup>2</sup>. Rozdílné operační systémy mají rozdílné způsoby reprezentace grafických objektů. Zabránit těmto rozdílným interpretacím v praxi znamená, že se souřadnice *x*, *y* a *z* vydělí homogenní souřadnici.

### 2.2.2 Fragment shader

Je program - označovaný taktéž jako *pixel shader*, který je volán pro každý pixel vykreslované scény. Jeho úkolem je výpočet barvy každého pixelu a díky tomu lze s takto získanou barvou dále pracovat. Barva je získána jako čtyřsložkový vektor, první tři složky tvoří paletu RGB, poslední čtvrtá složka tvoří  $\alpha$  kanál <sup>3</sup>. V případě vykreslování složitějších objektů umožňuje GLSL automaticky body geometrie interpolovat, tedy automaticky získat pixel dané geometrie, aniž by musel být každý samostatně definován. Ukázka interpolace je demonstrována na obrázku 2.1.

---

<sup>1</sup>Jedná se o programy řídící vykreslování na grafické kartě

<sup>2</sup>Normalized Device Coordinates

<sup>3</sup>Složka pixelu udávající jeho průhlednost

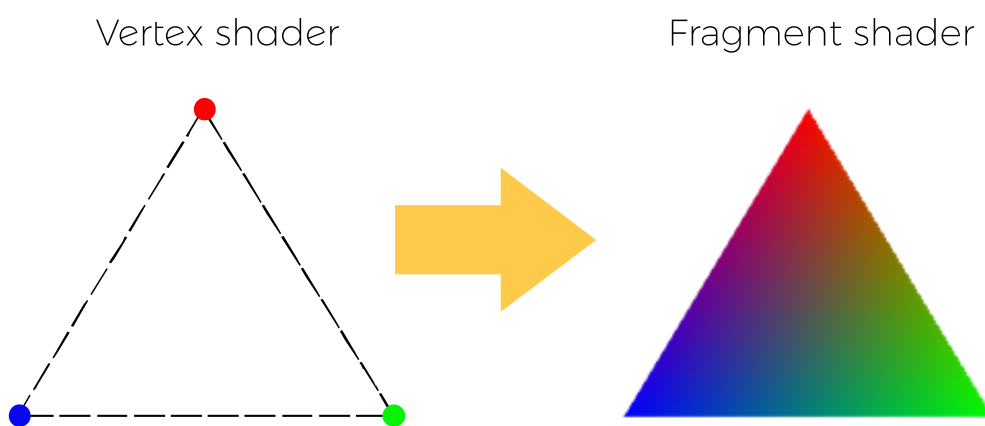
### 2.2.3 Typy proměnných

Předávání hodnot v globálních proměnných může probíhat za pomoci třech datových typu, těmi jsou:

**uniform** - uchovává hodnoty, které jsou konstantní po celou dobu běhu programu. Využívá se např. pro data transformačních matic apod.

**attribute** - jedná se o vstupní data vertex shaderu, která mění svoje hodnoty pro každý vrchol.

**varying** - tento datový typ slouží k předávání hodnot z vertex shaderu do fragment shaderu. Pomocí něj se provádí výše avizovaná interpolace, viz. obr. 2.1



Obrázek 2.1: Ukázka interpolace hodnot mezi vertex a fragment shaderem.

## 2.3 WebGL

WebGL (**Web Graphics Library**) je javascriptové aplikační rozhraní, které slouží pro nativní vykreslování 2D a 3D interaktivní grafiky přímo z webového prohlížeče. K samotnému běhu WebGL není potřeba žádných dodatečných knihoven, nebo zásuvných modulů, protože je v tomto ohledu využívána přímo grafická karta. Program WebGL se v zásadě skládá z více jazyků, přičemž každý má svůj vlastní účel a je nutné je používat dohromady. Jedním z nich je javascript, druhý je jazyk GLSL. V jazyce GLSL jsou napsány dva programy - vertex shader a fragment shader. Oba programy kompiluje ovladač grafické karty do kódu, který je poté vykonáván přímo na grafické kartě. Vertex shader i fragment shader mohou být předávány jako řetězce, takže manipulace s nimi je díky tomu značně zjednodušena. Velkou výhodou WebGL je integrace s DOM tudíž od automatické správy paměti přes zpracování událostí až po jednoduché načítání bitmapy přímo v prostředí prohlížeče apod..

K samotnému vykreslení je použit již výše zmíněný element HTML5 `<canvas>`.

V současné době je oficiálně vydána verze WebGL 1.0, která je založena na OpenGL ES 2.0. Doposud se jedná o jedinou stabilní verzi. OpenGL ES<sup>4</sup> je zjednodušená verze OpenGL, která eliminuje většinu vykreslovacích pipeline. Tato verze je především určena pro menší vestavěné systémy. Dalším rozšířením WebGL bude verze 2.0, která se stále nachází ve vývoji. Bude založena na OpenGL ES 3.0 přinášející velká vylepšení v zobrazování 3D grafiky - zejména textur, akceleraci vizuálních efektů, novou verzí jazyka GLSL s plnou podporu desetinných a celočíselných operací apod.

### 2.3.1 Vykreslování primitiv

K vykreslení nějakého grafického prvku jsou potřeba v zásadě jen dvě věci - vrcholy přepočítané do tzv. *clipspace* a jemu přiřazené odpovídající barvy. Jak pro vrcholy tak pro barvy slouží jiný GLSL shader. K vyobrazení objektu používá WebGL tři základní primitiva - vykreslení samotných bodů, čar nebo trojúhelníku. Vše funguje tak, že zadaný bod, kterému budeme chtít přiřadit barvu, se načte do odpovídající speciální globální proměnné ve vertex shaderu, tam se daná hodnota přepočítá do intervalu  $\langle -1, 1 \rangle$  pro všechny jeho osy a vzniklá hodnota se uloží na grafické kartě. Počet bodu záleží na primitivu, které vykreslujeme. Pokud se tedy jedná o bod, stačí pouze jeden bod ve vertex shaderu, pokud se jedná o čáru tak dvě popř. trojúhelník, tak trojice bodů. GPU<sup>5</sup> poté zjistí, které pixely korespondují s vykreslovaným primitivem a pro každý takový pixel zavolá fragment shader.

### 2.3.2 Vyrovnávací paměť

Buffery resp. vyrovnávací paměti jsou rychle přístupné paměti na grafické kartě. V bufferech jsou uloženy potřebné data k vykreslování grafických objektů jako např. body geometrie, normály, mapování textur apod. Data jsou poté snadno dále předávány GLSL shaderům, které s nimi pracují.

---

<sup>4</sup>OpenGL for Embedded Systems

<sup>5</sup>Graphic Processing Unit - grafický procesor

### 2.3.3 Projekce

Některé frameworky<sup>6</sup> založené na WebGL zaměňují projekci za kameru, ta bohužel jako taková ve WebGL neexistuje. Jedná se pouze o způsob vykreslení grafické informace, ke které jsou využívány právě projekční zobrazení. WebGL podporuje dva základní typy projekce - ortografickou a perspektivní.

Ortografická projekce využívá skutečné velikosti objektu. Scéna je reprezentována jako pravoúhlý hranol.

Perspektivní projekce zkresluje velikost objektů způsobem, jak je tomu v reálném světě. Čím je objekt dál od pozorovatele, tím se bude jevit jako menší, protože jeho pozice je středem této projekce.

Pokud bychom chtěli vykreslit nějaký 3D objekt, bude potřeba mít v bufferech informace o vrcholech, normálách, textuře apod. Tyto data bychom zároveň museli neustále aktualizovat a nahrávat zpět do paměti, aby bylo možné s daným 3D objektem jakkoli manipulovat, posouvat apod. Aby nedocházelo k neustálému přepisování hodnot v paměti na GPU, veškeré změny zrealizujeme transformačními maticemi, kterými se bude geometrie objektu v paměti násobit, aniž by data v paměti byla jakkoli změněna.

#### 2.3.3.1 Homogenní souřadnice

Homogenní souřadnice je tvořena čtyřmi prvky -  $x$ ,  $y$ ,  $z$  a  $w$ . První tři složky tvoří souřadnice euklidovského prostoru, poslední prvek  $w$  je perspektivní složka a spolu se souřadnicemi  $x$ ,  $y$ ,  $z$  tvoří projekční prostor.

#### 2.3.3.2 Model matrix

Jedná se o matici, kterou držíme pro každý vykreslovaný objekt. Stará se o úpravu tvaru, natočení a posuvu objektu.

#### 2.3.3.3 View matrix

Díky této transformační matici realizujeme již avizovanou “roli kamery”, kdy simulujeme vzájemná vztah scény a pozorovatele.

#### 2.3.3.4 Perspective matrix

Stará se o perspektivní zkreslení scény. Tato transformace rozhoduje o tom, jak velké zorné pole bude vykresleno a mapováno na obrazovku monitoru.

---

<sup>6</sup>Rámcová softwarová struktura usnadňující řešení dané problematiky



## Kapitola 3

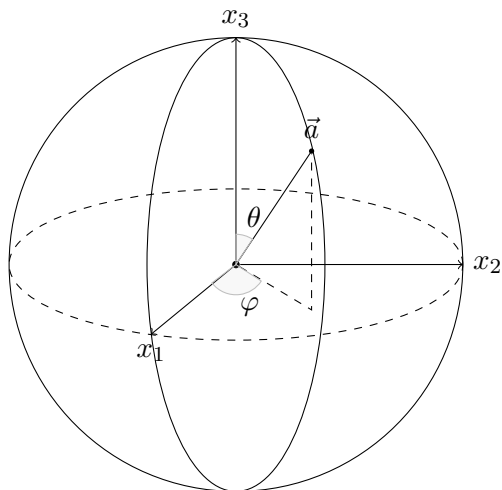
# Návrh klíčových částí

Kapitola nastiňuje, jakým způsobem jsou řešeny nejzásadnější problémy implementace prohlížeče. Snaží se navrhnout ty nejefektivnější způsoby řešení daných problémů a v případě, že tomu tak v konkrétním případě není, snaží se tyto kroky návrhu jasně odůvodnit, proč jsou daným způsobem takto řešeny.

### 3.1 Geometrie

Aby panoramatický prohlížeč jednotlivých fotek či videí dokázal vyobrazit naše data, je nejprve potřeba vytvořit geometrii. Jedná se o pole souřadnic formátu  $[x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \dots]$ , které utváří jednotlivé body v prostoru, body pak mezi sebou tvoří prostor, na který budou data mapovány. Ve WebGL umíme vykreslit jednotlivé body, čáry – tedy spojnice jednotlivých bodů, nebo trojúhelníky. V našem případě bude potřeba vykreslit texturu jako plochu, na kterou se bude vše mapovat. Pro ten to případ se ve WebGL používá vykreslení pomocí trojúhelníku, jako základní jednotkou plochy. Způsob vykreslení našich bodů určíme tedy řádkem: `gl.drawElements(gl.TRIANGLES, 6, gl.UNSIGNED_BYTE, 0)`, kde tedy říkáme že chceme vykreslovat plochu pomocí trojúhelníků, viz výše. (`gl.TRIANGLES`), druhým parametrem říkáme, kolik hodnot z index bufferu budeme potřebovat vykreslit, třetím parametrem oznamujeme velikost jednoho indexu a posledním parametrem říkáme, odkud začíná program číst naše body. Mohli bychom naše body vykreslovat ve WebGL i pomocí příkazu: `gl.drawArrays()`, ale došlo by pak k situaci, že by se nám již vykreslené body zbytečně vykreslovali znovu. Abychom předešli duplikaci při vykreslování, bude nutné si vytvořit pole indexů, které nám budou ukazovat na jednotlivé vrcholy geometrie. Zde se již mohou indexy opakovat.

Geometrie prohlížeče je nastavena na 60 vertikálních spojnic severního polu s a jižním pól. Horizontálních čar (rovnoběžek) budeme potřebovat o něco méně, takže je nastavíme na hodnotu 50. Čím více rovnoběžek a poledníků vytvoříme, tím by byla hustota bodů v polích hustší, a mapování textury tedy jemnější. Tato vlastnost se nám bude hodit např. v situaci, kdy bychom měli velký geometrický objekt se spoustou miniaturních sekvencí v geometrii. Větší mezery jsou nadruhou stranu rychlejší na vykreslování a to se stejným výsledkem (v našem konkrétním případě). Geometrii nastavíme výpočtem souřadnic X, Y, Z. Jelikož poledník je rozdělen rovnoběžkami, můžeme tedy 180 úhel rozdělit mezi jednotlivé rovnoběžky, tedy  $\text{Pí} / \text{Počet rovnoběžek} = \text{theta}$ , který bude svírat vertikální čára geometrie s osou Z, tudíž můžeme souřadnici X vyjádřit vztahem  $X = \sin(\text{theta}) * \cos(\text{phi})$ .



#### 3.1.1 Vertex

#### 3.1.2 Normály

#### 3.1.3 Textura

#### 3.1.4 Indices

### 3.2 Korekce textur

### 3.3 Projekce

#### 3.3.1 Modelová matice

#### 3.3.2 Zobrazovací matice

#### 3.3.3 Perspektivní matice

### 3.4 Metadata

### 3.5 Kompas

### 3.6 Blending

## Kapitola 4

# Implementace panoramatického prohlížeče

Pravidla [\[1\]](#).

## Kapitola 5

## Testování

## Kapitola 6

### Závěr

Závěrečná kapitola obsahuje zhodnocení dosažených výsledků se zvlášť vyznačeným vlastním přínosem studenta. Povinně se zde objeví i zhodnocení z pohledu dalšího vývoje projektu, student uvede náměty vycházející ze zkušeností s řešeným projektem a uvede rovněž návaznosti na právě dokončené projekty.

# Literatura

- [1] Hlavsa, Z.; aj.: *Pravidla českého pravopisu*. Academia, 2005, ISBN 80-200-1327-X.
- [2] Rábová, Z.; Hanáček, P.; Peringer, P.; aj.: *Užitečné rady pro psaní odborného textu*. FIT VUT v Brně, Listopad 2008, [Online; navštíveno 12.05.2015].  
URL [http://www.fit.vutbr.cz/info/statnice/psani\\_textu.html](http://www.fit.vutbr.cz/info/statnice/psani_textu.html)
- [3] Rybička, J.: *L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X pro začátečníky*. Konvoj, 1999, ISBN 80-85615-77-0.

# Přílohy

# Příloha A

## Jak pracovat s touto šablonou

V této kapitole je uveden popis jednotlivých částí šablony, po kterém následuje stručný návod, jak s touto šablonou pracovat.

Jedná se o přechodnou verzi šablony. Nová verze bude zveřejněna do konce roku 2016 a bude navíc obsahovat nové pokyny ke správnému využití šablony, závazné pokyny k vypracování bakalářských a diplomových prací (rekapitulace pokynů, které jsou dostupné na webu) a nezávazná doporučení od vybraných vedoucích. Jediné soubory, které se v nové verzi změní, budou `projekt-01-kapitoly-chapters.tex` a `projekt-30-prilohy-appendices.tex`, jejichž obsah každý student vymaže a nahradí vlastním. Šablonu lze tedy bez problémů využít i v současné verzi.

### Popis částí šablony

Po rozbalení šablony naleznete následující soubory a adresáře:

**bib-styles** Styly literatury (viz níže).

**obrazky-figures** Adresář pro Vaše obrázky. Nyní obsahuje `placeholder.pdf` (tzv. TODO obrázek, který lze použít jako pomůcku při tvorbě technické zprávy), který se s prací neodevzdává. Název adresáře je vhodné zkrátit, aby byl jen ve zvoleném jazyce.

**template-fig** Obrázky šablony (znak VUT).

**fitthesis.cls** Šablona (definice vzhledu).

**Makefile** Makefile pro překlad, počítání normostran, sbalení apod. (viz níže).

**projekt-01-kapitoly-chapters.tex** Soubor pro Váš text (obsah nahradte).

**projekt-20-literatura-bibliography.bib** Seznam literatury (viz níže).

**projekt-30-prilohy-appendices.tex** Soubor pro přílohy (obsah nahradte).

**projekt.tex** Hlavní soubor práce – definice formálních částí.

Výchozí styl literatury (`czechiso`) je od Ing. Martínka, přičemž anglická verze (`englishiso`) je jeho překladem s drobnými modifikacemi. Oproti normě jsou v něm určité odlišnosti, ale na FIT je dlouhodobě akceptován. Alternativně můžete využít styl od Ing. Radima Loskota



nebo od Ing. Radka Pyšného<sup>1</sup>. Alternativní styly obsahují určitá vylepšení, ale zatím nebyly řádně otestovány větším množstvím uživatelů. Lze je považovat za beta verze pro zájemce, kteří svoji práci chtějí mít dokonalou do detailů a neváhají si nastudovat detaily správného formátování citací, aby si mohli ověřit, že je vysázený výsledek v pořádku.

Makefile kromě překladu do PDF nabízí i další funkce:

- přejmenování souborů (viz níže),
- počítání normostran,
- spuštění vlny pro doplnění nezlomitelných mezer,
- sbalení výsledku pro odeslání vedoucímu ke kontrole (zkontrolujte, zda sbalí všechny Vámi přidané soubory, a případně doplňte).

Nezapomeňte, že vlna neřeší všechny nezlomitelné mezery. Vždy je třeba manuální kontrola, zda na konci řádku nezůstalo něco nevhodného – viz Internetová jazyková příručka<sup>2</sup>.

**A.0.0.0.1 Pozor na číslování stránek!** Pokud má obsah 2 strany a na 2. jsou jen „Přílohy“ a „Seznam příloh“ (ale žádná příloha tam není), z nějakého důvodu se posune číslování stránek o 1 (obsah „nesedí“). Stejný efekt má, když je na 2. či 3. stránce obsahu jen „Literatura“ a je možné, že tohoto problému lze dosáhnout i jinak. Řešení je několik (od úpravy obsahu, přes nastavení počítadla až po sofistikovanější metody). **Před odevzdáním proto vždy přezkontrolujte číslování stran!**

## Doporučený postup práce se šablonou

1. **Zkontrolujte, zda máte aktuální verzi šablony.** Máte-li šablonu z předchozího roku, na stránkách fakulty již může být novější verze šablony s aktualizovanými informacemi, opravenými chybami apod.
2. **Zvolte si jazyk,** ve kterém budete psát svoji technickou zprávu (česky, slovensky nebo anglicky) a svoji volbu konzultujte s vedoucím práce (nebyla-li dohodnuta předem). Pokud Vámi zvoleným jazykem technické zprávy není čeština, nastavte příslušný parametr šablony v souboru projekt.tex (např.: `documentclass[english]{fitthesis}`) a přeložte prohlášení a poděkování do angličtiny či slovenštiny.
3. **Přejmenujte soubory.** Po rozbalení je v šabloně soubor projekt.tex. Pokud jej přeložíte, vznikne PDF s technickou zprávou pojmenované projekt.pdf. Když vedoucímu více studentů pošle projekt.pdf ke kontrole, musí je pracně přejmenovávat. Proto je vždy vhodné tento soubor přejmenovat tak, aby obsahoval Váš login a (případně zkrácené) téma práce. Vyhněte se však použití mezer, diakritiky a speciálních znaků. Vhodný název tedy může být např.: „xlogin00-Cisteni-a-extrakce-textu.tex“. K přejmenování můžete využít i přiložený Makefile:

```
make rename NAME=xlogin00-Cisteni-a-extrakce-textu
```

---

<sup>1</sup>BP Ing. Radka Pyšného <http://www.fit.vutbr.cz/study/DP/BP.php?id=7848>

<sup>2</sup>Internetová jazyková příručka <http://prirucka.ujc.cas.cz/?id=880>

4. Vyplňte požadované položky v souboru, který byl původně pojmenován `projekt.tex`, tedy typ, rok (odevzdání), název práce, svoje jméno, ústav (dle zadání), tituly a jméno vedoucího, abstrakt, klíčová slova a další formální náležitosti.
5. Nahraďte obsah souborů s kapitolami práce, literaturou a přílohami obsahem svojí technické zprávy. Jednotlivé přílohy či kapitoly práce může být výhodné uložit do samostatných souborů – rozhodnete-li se pro toto řešení, je doporučeno zachovat konvenci pro názvy souborů, přičemž za číslem bude následovat název kapitoly.
6. Nepotřebujete-li přílohy, zakomentujte příslušnou část v `projekt.tex` a příslušný soubor vyprázdníte či smažete. Nesnažte se prosím vymyslet nějakou neúčelnou přílohu jen proto, aby daný soubor bylo čím naplnit. Vhodnou přílohou může být obsah přiloženého paměťového média.
7. Nascanované zadání uložte do souboru `zadani.pdf` a povolte jeho vložení do práce parametrem šablony v `projekt.tex` (`\documentclass[zadani]{fitthesis}`).
8. Nechcete-li odkazy tisknout barevně (tedy červený obsah – bez konzultace s vedoucím nedoporučuji), budete pro tisk vytvářet druhé PDF s tím, že nastavíte parametr šablony pro tisk: (`\documentclass[zadani,print]{fitthesis}`). Barevné logo se nesmí tisknout černobíle!
9. Vzor desek, do kterých bude práce vyvázána, si vygenerujte v informačním systému fakulty u zadání. Pro disertační práci lze zapnout parametrem v šabloně (více naleznete v souboru `fitthesis.cls`).
10. Nezapomeňte, že zdrojové soubory i (obě verze) PDF musíte odevzdat na CD či jiném médiu přiloženém k technické zprávě.

## Pokyny pro oboustranný tisk

- Zapíná se parametrem šablony: `\documentclass[twoside]{fitthesis}`
- Po vytištění oboustranného listu zkontrolujte, zda je při prosvícení sazební obrazec na obou stranách na stejné pozici. Méně kvalitní tiskárny s duplexní jednotkou mají často posun o 1–3 mm. Toto může být u některých tiskáren řešitelné tak, že vytisknete nejprve liché stránky, pak je dáte do stejného zásobníku a vytisknete sudé.
- Za titulním listem, obsahem, literaturou, úvodním listem příloh, seznamem příloh a případnými dalšími seznamy je třeba nechat volnou stránku, aby následující část začínala na liché stránce (`\cleardoublepage`).
- Konečný výsledek je nutné pečlivě přezkontrolovat.

## Užitečné nástroje

Následující seznam není výčtem všech využitelných nástrojů. Máte-li vyzkoušený osvědčený nástroj, neváhejte jej využít. Pokud však nevíte, který nástroj si zvolit, můžete zvážit některý z následujících:

**MikTeX** L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X pro Windows – distribuce s jednoduchou instalací a vynikající automatizací stahování balíčků.

**TeXstudio** Přenositelné opensource GUI pro  $\text{\LaTeX}$ . Ctrl+klik umožňuje přepínat mezi zdrojovým textem a PDF. Má integrovanou kontrolu pravopisu, zvýraznění syntaxe apod. Pro jeho využití je nejprve potřeba nainstalovat MikTeX.

**JabRef** Pěkný a jednoduchý program v Javě pro správu souborů s bibliografií (literaturou). Není potřeba se nic učit – poskytuje jednoduché okno a formulář pro editaci položek.

**InkScape** Přenositelný opensource editor vektorové grafiky (SVG i PDF). Vynikající nástroj pro tvorbu obrázků do odborného textu. Jeho ovládnutí je obtížnější, ale výsledky stojí za to.

**GIT** Vynikající pro týmovou spolupráci na projektech, ale může výrazně pomoci i jednomu autorovi. Umožňuje jednoduché verzování, zálohování a přenášení mezi více počítači.

**Overleaf** Online nástroj pro  $\text{\LaTeX}$ . Přímě zobrazuje náhled a umožňuje jednoduchou spolupráci (vedoucí může průběžně sledovat psaní práce), vyhledávání ve zdrojovém textu kliknutím do PDF, kontrolu pravopisu apod. Zdarma jej však lze využít pouze s určitými omezeními (někomu stačí na disertaci, jiný na ně může narazit i při psaní bakalářské práce) a pro dlouhé texty je pomalejší.

## Užitečné balíčky pro $\text{\LaTeX}$

Studenti při sazbě textu často řeší stejné problémy. Některé z nich lze vyřešit následujícími balíčky pro  $\text{\LaTeX}$ :

- `amsmath` – rozšířené možnosti sazby rovnic,
- `float`, `afterpage`, `placeins` – úprava umístění obrázků,
- `fancyvrb`, `alltt` – úpravy vlastností prostředí Verbatim,
- `makecell` – rozšíření možností tabulek,
- `pdflscape`, `rotating` – natočení stránky o 90 stupňů (pro obrázek či tabulku),
- `hyphenat` – úpravy dělení slov,
- `picture`, `epic`, `eepic` – přímé kreslení obrázků.

Některé balíčky jsou využity přímo v šabloně (v dolní části souboru `fitthesis.cls`). Nahlédnutí do jejich dokumentace může být rovněž užitečné.

Sloupec tabulky zarovnaný vlevo s pevnou šířkou je v šabloně definovaný „L“ (používá se jako „p“).