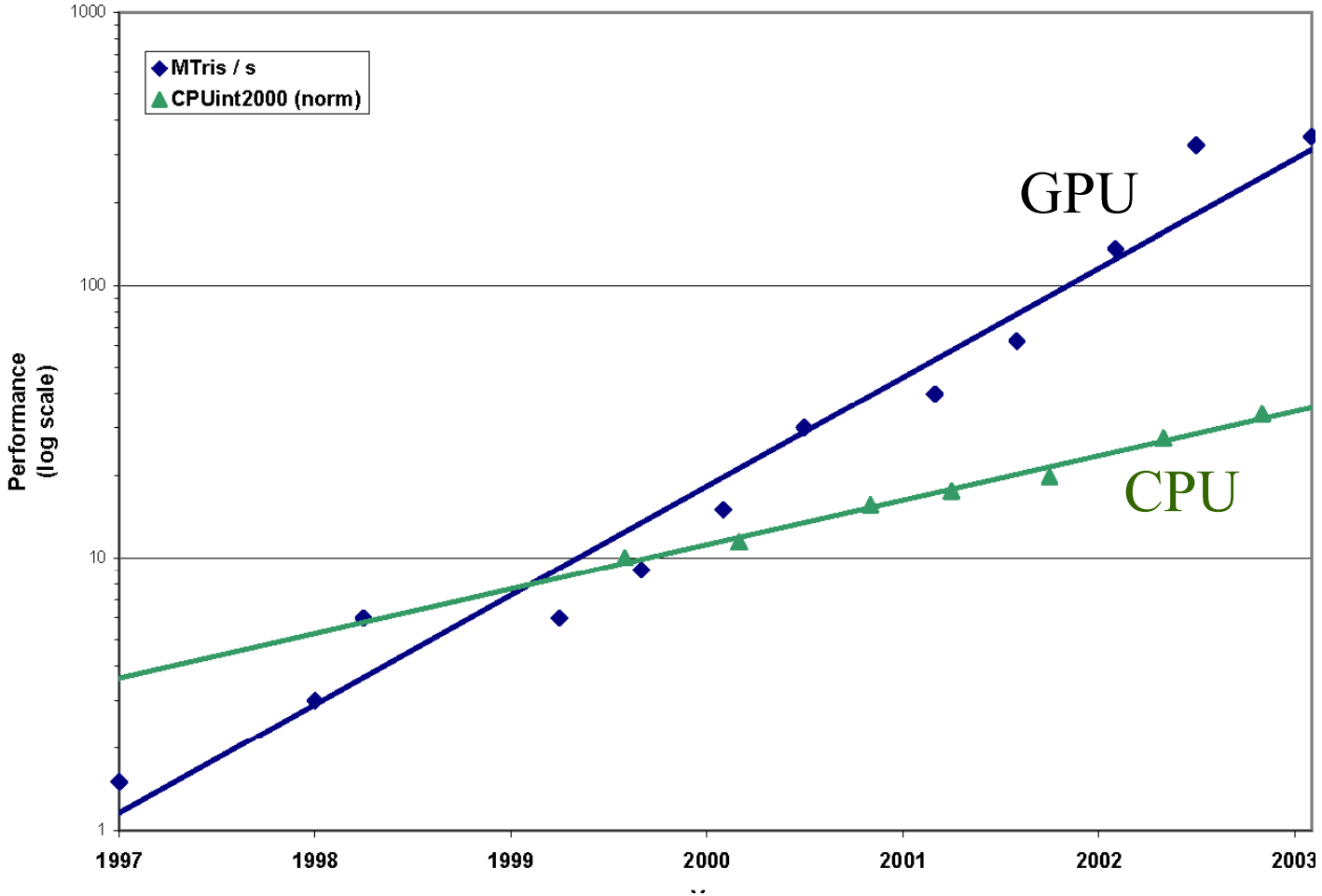
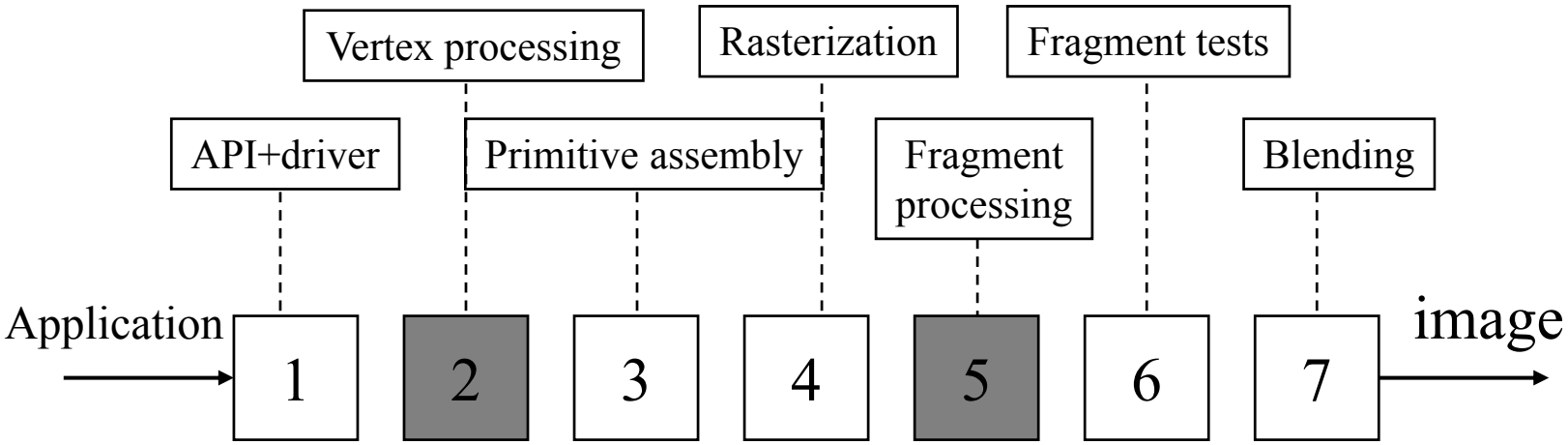
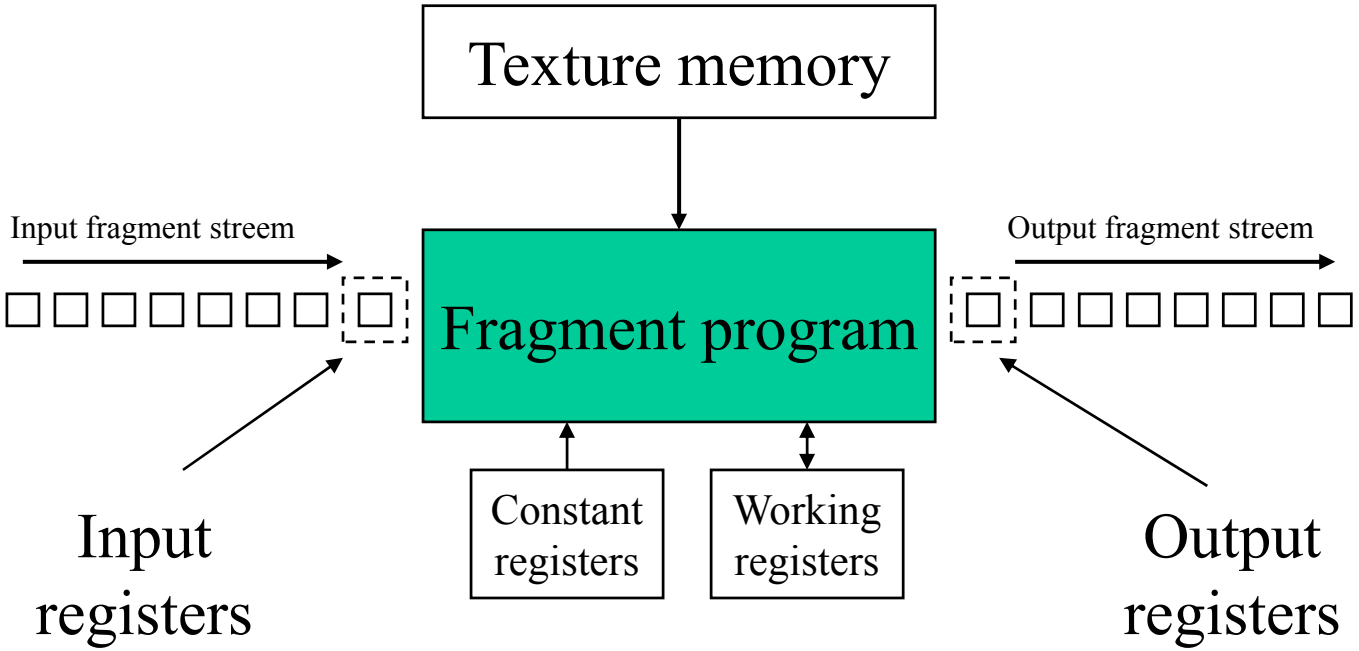
OpenGL Shading Language

- Vývoj CPU a GPU:

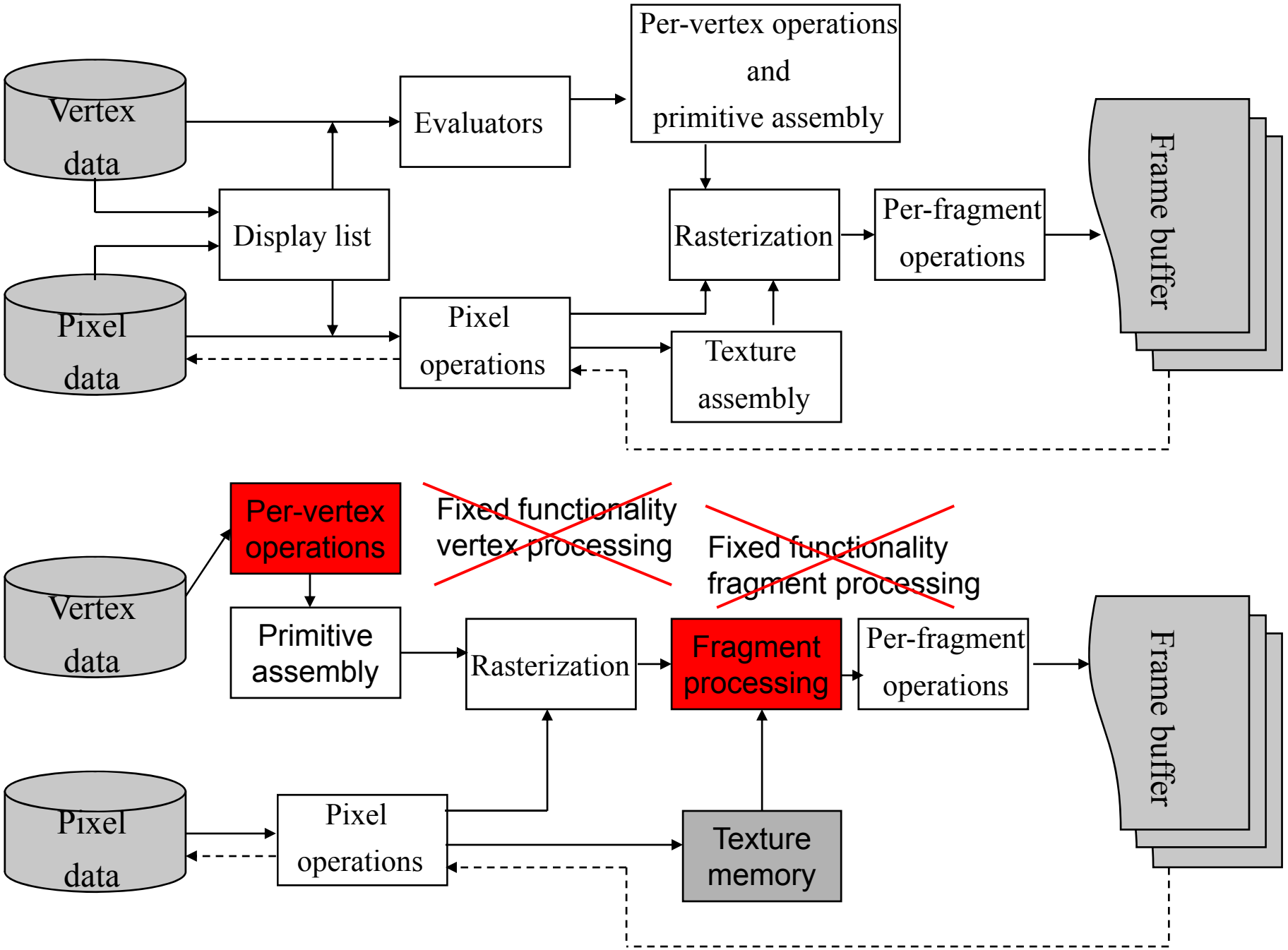



Vertex processing
Rasterization
Fragment tests
API+driver
Primitive assembly
Fragment processing
Blending
Application
1
2
3
4
5
6
7
image


Texture memory
Input fragment streem
Output fragment streem
Fragment program
Input registers
Constant registers
Working registers
Output registers

Instrukční sada

- Obecné instrukce : MOV, …
- Aritmetické instrukce : ADD, SUB, …
- Matematické instrukce : SIN, …
- Řídící instrukce: KIL, …
- Spec. grafické instr. : DST, …
- Texturovací instrukce: TEX, …


Vertex data
Evaluators
Per-vertex operations and primitive assembly
Display list
Rasterization
Per-fragment operations
Frame buffer
Pixel data
Pixel operations
Texture assembly
Per-vertex operations
Fixed functionality vertex processing
Fixed functionality fragment processing
Vertex data
Primitive assembly
Rasterization
Fragment processing
Per-fragment operations
Frame buffer
Pixel data
Pixel operations
Texture memory

Vertex Processor

- Transformace vrcholů
- Transformace normál a normalizace
- Generování texturových souřadnic
- Transformace texturových souřadnic
- Osvětlení
- Nastavení barev materiálu

-*Vertex shaders* mohou být použity ke specifikaci zcela obecných sekvencí operací, které se aplikují na každý vrchol a s ním asociovaná data.

- *Vertex shaders* které provádí některé z výpočtů uvedených v předchozím seznamu, musí provést všechny požadované funkce z tohoto seznamu..

Fragment Processor

- Operace na interpolovaných hodnotách
- Přístup k texturám
- Aplikace textur
- Fog
- Součty barev

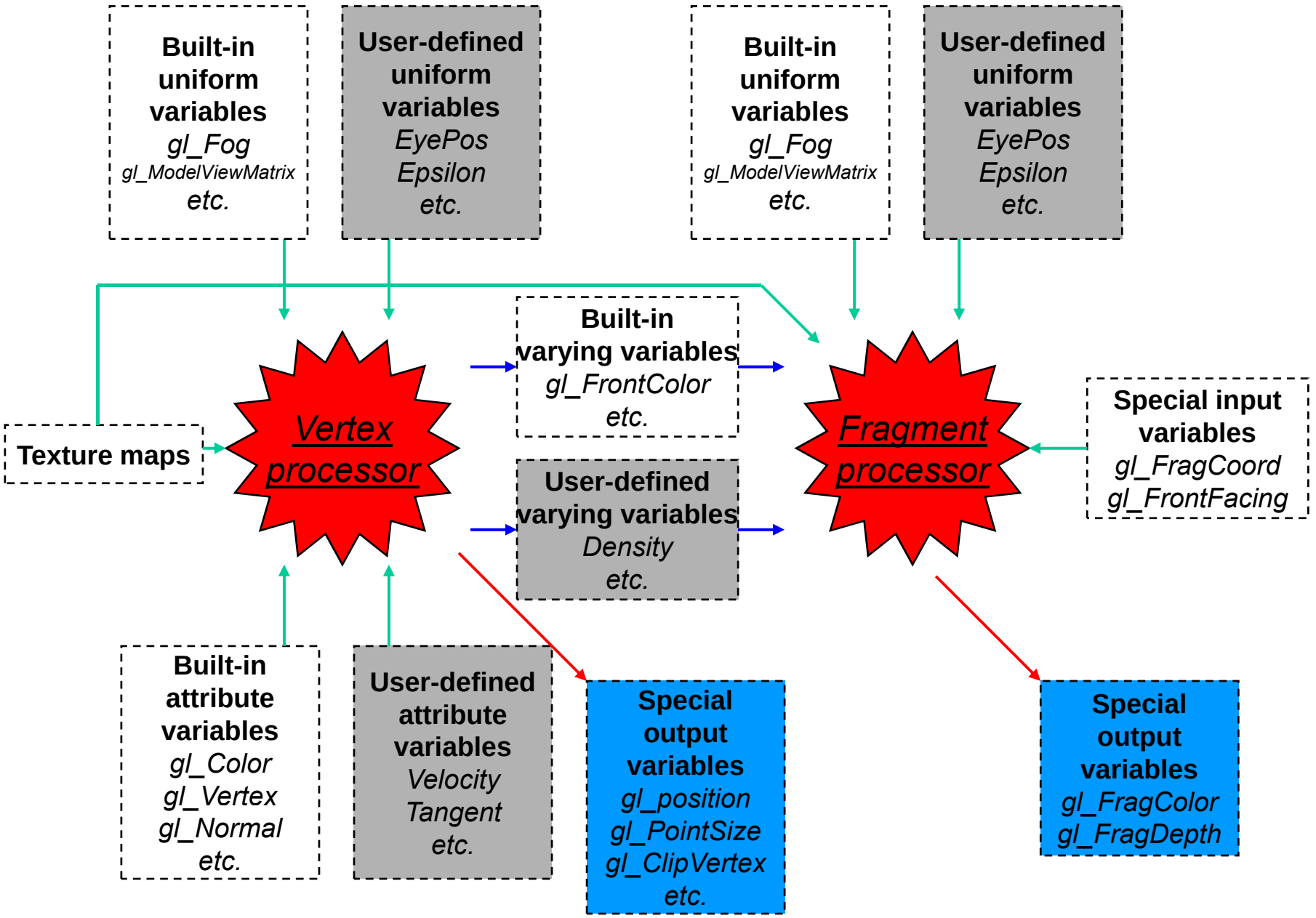
- *Fragment shaders* jsou použity pro algoritmy prováděné na fragmentových procesorech, které produkují výstupní hodnoty založené na poskytovaných vstupních hodnotách.
- *Fragment shader* nemůže měnit *x/y* pozici fragmentu.
- *Fragment shaders,* které provádí některé z výpočtů uvedených v předchozím seznamu, musí provést všechny požadované funkce z tohoto seznamu.

Fragment Processor

- Primárním vstupem fragmentového shaderu jsou interpolované *varying* proměnné, které jsou výsledkem rasterizace.

- Fragmentový procesor nenahradí grafické operace, které požadují informace o několika fragmentech v jedné chvíli.

- Z důvodu podpory paralelizmu na úrovni zpracování fragmentu jsou fragmentové shadery psány způsobem který vyjadřuje požadovaný výpočet pro jeden fragment a přístup k sousedním fragmentům není povolen.


Built-in uniform variables
gl_Fog
gl_ModelViewMatrix
etc.
User-defined uniform variables
EyePos
Epsilon
etc.
Built-in uniform variables
gl_Fog
gl_ModelViewMatrix
etc.
User-defined uniform variables
EyePos
Epsilon
etc.
Built-in varying variables
gl_FrontColor
etc.
Texture maps
Vertex processor
Fragment processor
Special input variables
gl_FragCoord
gl_FrontFacing
User-defined varying variables
Density
etc.
Built-in attribute variables
gl_Color
gl_Vertex
gl_Normal
etc.
User-defined attribute variables
Velocity
Tangent
etc.
Special output variables
gl_position
gl_PointSize
gl_ClipVertex
etc.
Special output variables
gl_FragColor
gl_FragDepth

První příklad

```
// Vertex shader
uniform float CoolestTemp;
uniform float TempRange;
attribute float VertexTemp;
varying float Temperature;

void main()
{
  Temperature= (VertexTemp – CoolestTemp)/TempRange;
  gl_Position= gl_ModelViewProjectionMatrix * gl_Vertex;
}

---------------------------

// Fragment shader
uniform vec3 CoolestColor;
uniform vec3 HottestColor;
varying float Temperature;

void main()
{
  vec3 color= mix(CoolestColor, HottestColor, Temperature);
  gl_FragColor= vec4(color, 1.0);
}
```

Definice jazyka

- OpenGL Shading language je založen na systému programovacího jazyka ANSI C.

Doplňky k C

- vektorové typy jsou podporovány pro hodnoty float, int a bool
- vec{2,3,4}, ivec{2,3,4}, bvec{2,3,4},

```
vec4 v=vec4(1.0, 0.5, 0.0, 1.0);
vec4 u=vec4(5.0, 3.0, 2.0, 4.0);
vec4 w;
vec2 w2;
float a,b;

w= v+u;
a= v.x; b= v.z;
w2= u.zw; (swizzling)

// x,y,z,w – Treats a vector as a position or direction
// r,g,b,a – Treats a vector as a color
// s,t,p,q – Treats a texture coordinate
```

Definice jazyka

- Matice

mat2, mat3, mat4 -matice 2x2, 3x3, 4x4

K matici můžete přistupovat jako k vektoru po sloupcích.

```
vec4 u;
mat4 m;

m= …
u= m[3];
```

- Samplers

sampler{1,2,3}D

samplerCube — textura mapovaná na kostku.

sampler{1,2}Dshadow — hloubková textura s porovnáním.

Definice jazyka

Shadery nemohou samy inicializovat samplery. Mohou je pouze obdržet od aplikace přes kvalifikátor, nebo je předat k dalšímu zpracování vestavěné funkci.

Sampler nemůže být modifikován.

```
Uniform sampler2D Grass;

// texture2D  use the texture coordinate vec2 coord to do a texture
// lookup in the 2D texture currently specified by sampler
vec4 color= texture2D(Grass, coord);
```

- Kvalifikátory

attribute	Pro často měněné informace (jednou za vrchol)
uniform	Pro zřídka měněné informace (polygony)
varying	Pro interpolované informace
const	Deklaruje neměnnoé, časově konstantní proměnné

Definice jazyka

- Inicializátory a konstruktory
  - Proměnná shaderu může být inicializována v okamžiku deklarace.
  - Attribute, uniform a varying nemohou být inicializovány v okamžiku deklarace.
  - Existují konstruktory pro všechny vestavěné typy (s výjimkou samplerů) a pro struktury.

```
vec4 v=vec4(1.0, 0.5, 0.0, 1.0);
---

vec4 v;
v= vec4(1.0, 0.5, 0.0, 1.0);
mat2 m=(1.0, 2.0, 3.0, 4.0);
---
```

Definice jazyka

```
vec3 color= vec3(0.2, 0.5, 0.6);
struct light
{
  vec4 position;
  struct lightColor
  {
    vec3 color;
    float intensity;
  }
}light1 = light(v, lightColor(color, 0.9));
```

- Typová konverze

Explicitní typová konverze se taktéž provádí pomocí konstruktorů.

OpenGL Shading language neposkytuje syntaxi jazyka pro převod typů. Namísto toho jsou pro konverzi použity konstruktory.

```
float f= 2.3;
bool b= bool(f);
float f= float(3); // convert integer 3 to 3.0
float g= float(b); // convert Boolean b to floating point
vec4 v= vec4(2)    // all components of v are set to 2.0
```

Definice jazyka

Flow Control

for, while, do-while, break, continue
if, if-else
:?
goto, switch – není povoleno

discard – zabrání fragmentu provést update frame-bufferu. V okamžiku průchodu přes toto klíčové slovo se zpracovávaný fragment označí jakožto skartovaný.

Swizzling

```
vec4 v4;
v4.rgba;
v4.rgb;
v4.b;
v4.xy;
v4.xgba; //!! Illegal – the component names do not come from the same set.
```

Definice jazyka

Operace po komponentách

- S několika málo výjimkami, kdy se operátor aplikuje na vektor, se operátor chová, jako by byl aplikován na každou komponentu vektoru zvlášť.

```
vec3 u,v, w;
float f;

v= u+f; ~ v.x= u.x+f; v.y= u.y+f; v.y= u.y+f;

w= u+v; ~ w.x= u.x+v.x; u.y+v.y; u.z+v.z;
```

- Logické operátory !, &&, ||, ^^ fungují pouze na výrazech, které jsou označeny jakožto scalar Booleans, a jejich výsledkem je scalar Boolean

- Relační operátory (<, >, <=, >=) fungují pouze na floating-point a integer skalárech a výsledkem je scalar Boolean.

- Operátory rovnosti (==, !=) fungují na všech typech s výjimkou polí. Výsledkem je scalar Boolean.

Vestavěné funkce – Trigonometrické funkce

float **radians**(float *degrees*)
vec{1,2,3} **radians**(vec{1,2,3} *degrees*)

Konvertuje *stupně* na radiány a vrátí výsledek

float **degrees**(float *radians*)
vec{1,2,3} **degrees**(vec{1,2,3} *radians*)

Konvertuje *radiány* na stupně a vrátí výsledek

float **sin**(float *radians*)
vec{1,2,3} **sin**(vec{1,2,3} *radians*)

Standardní trigonometrická funkce sinus

cos, tan, asin, acos, atan

Vestavěné funkce

float **pow**(float *x*, float *y*)
vec{1,2,3} **pow**(vec{1,2,3} *x*, vec{1,2,3} *y*)

Vrátí *x* umocněno na *y*

float **exp2**(float *x*)
vec{1,2,3} **exp2**(vec{1,2,3} *x*)

vrátí *2* umocněno na *x*

log2, sqrt, inversesqrt

Vestavěné funkce

float **abs**(float *x,* float *y*)
vec{1,2,3,4} **abs**(vec{1,2,3,4})

Vrátí *x* jestliže *x>=0;* jinak vrátí *-x*

sign …
floor Vrátí hodnotu rovnou nejbližšímu celému číslu které je menší než nebo rovno *x*
ceil Vrátí hodnotu rovnou nejbližšímu celému číslu které je větší než nebo rovno *x*
fract Vrátí *x*- **floor**(x)

Vestavěné funkce

float **mod**(float *x,* float *y*)
vec{2,3,4} **mod**(vec{2,3,4} *x,* vec{2,3,4} *y*)

Vrátí *x*-*y****floor**(*x*/*y*) pro každou komponentu z *x* za použití hodnoty (odpovídající komponenty) *y*.

min, max…

float **clamp**(float *x,* float *minVal,* float *maxVal*)
vec{2,3,4} **clamp**(vec{2,3,4} *x,* float *minVal,* float *maxVal*)

Vrátí **min**(**max** (*x, minVal*), maxVal)

float **mix**(float *x,* float *y,* float *a*)
vec{2,3,4} **mix**(vec{2,3,4} *x,* vec{2,3,4} *y,* float *a*)

Vrátí *x**(1.0-*a*)+*y***a*

Vestavěné funkce

float **step**(float *edge,* float *x*)
vec{2,3,4} **step**(vec{2,3,4} *x,* vec{2,3,4} *y*)

Vrátí 0 jestliže *x* <= *edge;* jinak vrátí 1.0.

float **smoothstep**(float *edge0,* float *edge1,* float *x*)
vec{2,3,4} **smoothstep**(vec{2,3,4} *edge0,* vec{2,3,4} *edge1,* float *x*)

Vrátí 0 jestliže *x* <= *edge0* a 1.0 jestliže *x* >= *edge1* a provede hladkou Hermitovskou interpolaci mezi 0 a 1.0 kde *edge0* < *x* < *edge1*.

Vestavěné funkce – Geometrické funkce

float **length**(float *x*)
vec{2,3,4} **length**(vec{2,3,4} *x*)

Vrátí délku vektoru *x.*

float **distance**(float *p0,* float *p1*), …

Vrátí vzdálenost mezi *p0* a *p1.*

float **dot**(float *p0,* float *p1*), …

Vrátí skalární součin *p0* a *p1.*

float **cross**(float *p0,* float *p1*), …

Vrátí vektorový součin *p0* a *p1.*

float **normalize**(float *x*), …

Vrátí normalizovaný vektor *x.*

Vestavěné funkce

vec4 **transform**()

Pouze pro vertexové shadery. Tato funkce zajistí, že pozice vstupního vrcholu bude transformována způsobem, který poskytne přesně stejné výsledky jako vestavěné transformace OpenGL's. Tato funkce je určena k výpočtu hodnoty pro gl_Position.

```
gl_Position= transform();
```

float **faceforward**(float *N,* float *I,* float *Nref*)…

Jestliže **dot**(*Nref, I*) < 0.0, vrátí *N.* jinak vrátí *-N.*

float **reflect**(float *I,* float *N*)…

Pro kolizní vektor *I* a orientaci povrchu *N* vrátí směr odrazu:

I-2.0***dot**(*N*, *I*)**N.* *N* by mělo být normalizováno.

Vestavěné funkce – Funkce s maticemi

- Operátor "*" provádí lineární algebraické násobení matic.

mat2 **matrixcompmult**(mat{2,3,4} *x*, mat{2,3,4} *y*)

Násobí matici *x* maticí *y* po komponentách. tj. result[i][j] je skalárním součinem x[i][j] a y[i][j].

Vestavěné funkce – Funkce na vektorech

bvec{2,3,4} **lessThen**([i]vec{2,3,4} *x,* [i]vec{2,3,4} *x)*

Vrátí srovnání po komponentách *x<y.*

bvec{2,3,4} **lessThenEqual**([i]vec{2,3,4} *x,* [i]vec{2,3,4} *x)*

Vrátí srovnání po komponentách *x<=y.*

bvec{2,3,4} **greatherThen**([i]vec{2,3,4} *x,* [i]vec{2,3,4} *x)*

Vrátí srovnání po komponentách *x>y.*

bvec{2,3,4} **greatherThenEqual**([i]vec{2,3,4} *x,* [i]vec{2,3,4} *x)*

Vrátí srovnání po komponentách *x>=y.*

bvec{2,3,4} **Equal**([i,b]vec{2,3,4} *x,* [i,b]vec{2,3,4} *x)*

Vrátí srovnání po komponentách *x==y.*

Vestavěné funkce

bvec{2,3,4} **notEqual**([i,b]vec{2,3,4} *x*, [i,b]vec{2,3,4} *x)*

Vrátí srovnání po komponentách *x*!=*y.*

bool **any**(bvec{2,3,4} *x)*

Vrátí *true* jestliže nějaká komponenta *x* je *true.*

bool **all**(bvec{2,3,4} *x)*

Vrátí *true* pouze pokud každá komponenta *x* je *true.*

bool **not**(bvec{2,3,4} *x)*

Vrátí logický komplement vektoru *x* po složkách.

Vestavěné funkce – Funkce pro přístup k texturám

- Vestavěné funkce se suffixem “Lod” jsou povoleny pouze ve vertex shaderu. Pro funkce “Lod”, *lod* je přímo použito jako level of detail.
- Vestavěné funkce se suffixem“Proj” mohou být použity pro projektivní texturování. Umožňují textuře projektovat se na objekt obdobně jako jsou promítány slajdy. Může být použito k výpočtu stínových map.

```
vec4  texture1D(sampler1D sampler, float coord [,float bias])
vec4  texture1DProj(sampler1D sampler, vec2 coord [,float bias])
vec4  texture1DProj(sampler1D sampler, vec4 coord [,float bias])
vec4  texture1DLod(sampler1D sampler, float coord [,float bias])
vec4  texture1DProjLod(sampler1D sampler, vec2 coord [,float bias])
vec4  texture1DProjLod(sampler1D sampler, vec4 coord [,float bias])
```

- Texturové souřadnice *coord* se používají k vyzvednutí informací z 1D textury aktuálně specifikované *samplerem*. Pro projektivní (Proj) verze, texturová souřadnice *coord.s* je dělena poslední komponentou *coord.* Druhá a třetí komponenta *coord* je pro variantu vec4 *coord* ignorována.

Vestavěné funkce

- Obdobně **texture2D**

- Další položky: **texture3D, textureCube, shadow1D, shadow2D**.

Funkce zpracovávající fragmenty

- Pouze na fragment processoru
- Funkce derivací, **dFdx** a **dFdy** jsou použity k určení rychlosti změn výrazu.

float **dFdx**(float *rho*), …
Vrátí derivaci v *x* pro vstupní argument *rho*.

float **dFdy**(float *rho*), …
Vrátí derivaci v *y* pro vstupní argument *rho*.

Šumové funkce …

Důležité vestavěné proměnné

Vertex Attributes

```
attribute vec4 gl_Color;
attribute vec4 gl_SecondaryColor;
attribute vec4 gl_Normal;
attribute vec4 gl_MultiTexCoord0;
attribute vec4 gl_MultiTexCoord1;
attribute vec4 gl_MultiTexCoord2;
//… up to gl_MultiTexCoordN-1, where N = gl_MxTextureCoords
attribute float gl_FogCoord;
```

Uniform Variables

Shadery mohou přistupovat k aktuálnímu stavu OpenGL přes vestavěné proměnné obsahující rezervovaný prefix “gl_”

```
gl_ModelViewMatrix
…
```

Důležité vestavěné proměnné

Speciální výstupní proměnné

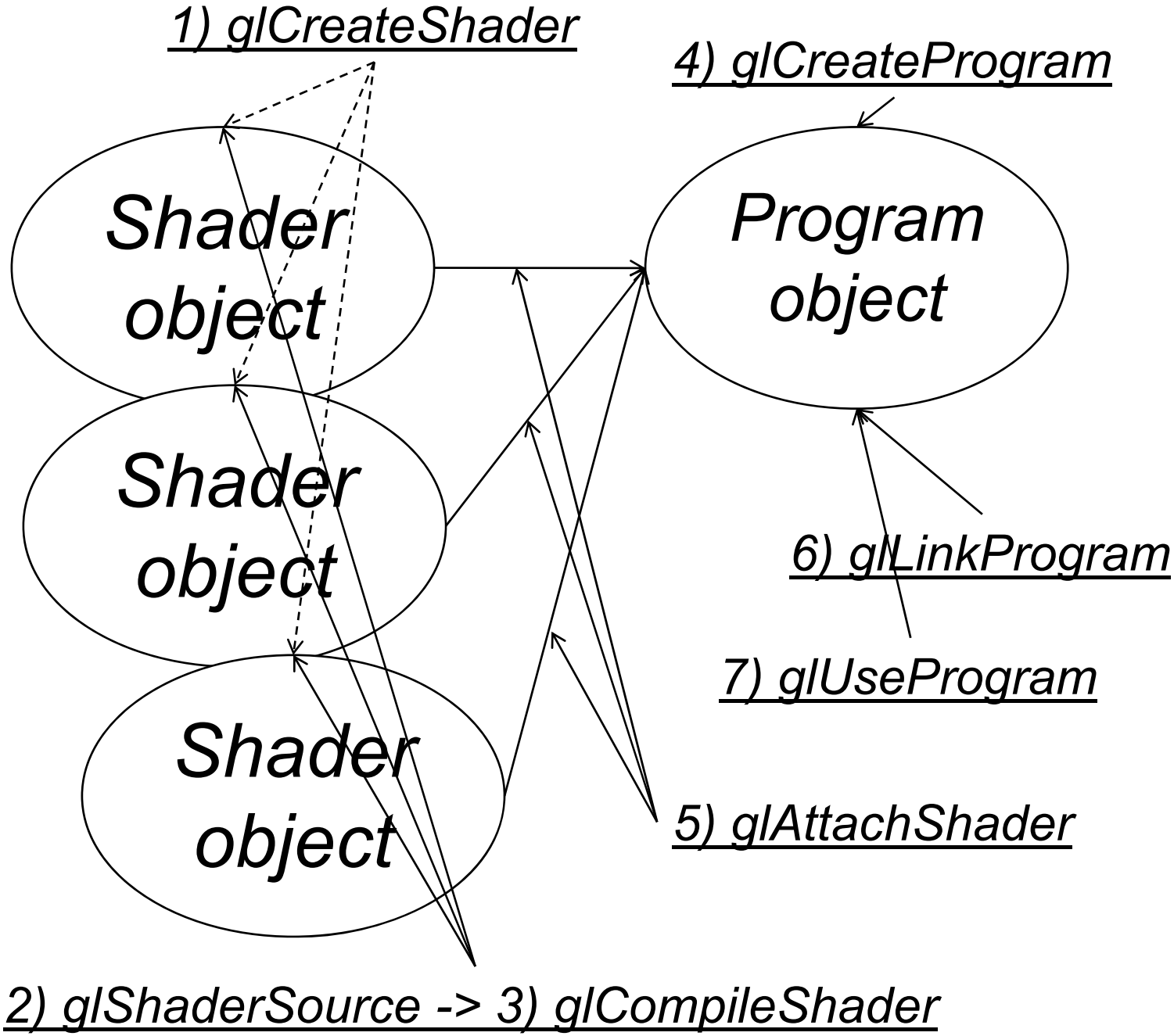
```
vec4 gl_position; // must be written to
```

Proměnná `gl_position` je určena pro zápis pozice vrcholu v clipping coordinates, poté co byly vypočteny ve vertex shaderu.

```
float gl_PointSize; // may be written to
vec4 gl_ClipVertex; // may be written to
```

Varying Variables

```
varying vec4 gl_FrontColor;
varying vec4 gl_BackColor;
varying vec4 gl_FrontSecondaryColor;
varying vec4 gl_BackSecondaryColor;
varying vec4 gl_TexCoord[gl_MaxTExtureCoords];
varying float gl_FogFragCoord;
```


1) glCreateShader
4) glCreateProgram
Shader object
Shader object
Shader object
Program object
6) glLinkProgram
7) glUseProgram
5) glAttachShader
2) glShaderSource -> 3) glCompileShader

Program a kompilace

GLSL musí obsahovat podporu pro uložení zdrojového kódu, překompilovaného kódu a výsledného spustitelného kódu.

Vytvoření objektu shaderu.

GLuint **glCreateShader**(GLenum *shaderType*)

shaderType: GL_VERTEX_SHADER, GL_FRAGMENT_SHADER

Vytvoří prázdný objekt shaderu a vrátí nenulovou referenční hodnotu. V okamžiku vytvoření je parametr GL_SHADER_TYPE vážící se k tomuto objektu nastaven na hodnotu *shaderType*

Program a kompilace

Uložení zdrojového kódu.

```
void glShaderSource(GLuint shader,
                    GLsizei count,
                    const GLchar **string,
                    const GLint *length)
```

shader : Odkaz na objekt shaderu
string : Pole řetězců obsahující program
count : Počet řetězců v poli *string*
length :Délky řetězců. Jeli *length* NULL, předpokládá se ukončení řetězců nulou.

Program a kompilace

Kompilace objektů shaderu.

void **glCompileShader**(GLuint *shader*)

shader : Odkaz na objekt shaderu

Provede kompilaci zdrojového kódu. Kontrola může být provedena pomocí **glGetShader**(shader, GL_COMPILE_STATUS, parameters).

Informace o kompilaci mohou být získány pomocí **glGetShaderInfoLog**

Program a kompilace

Linkování.

GLuint **glCreateProgram**(*void*)

Vytvoří prázdný objekt programu

void **glAttachShader**(GLuint *program*,
GLuint *shader*)

Připojí objekt shaderu k programu objektu. Není žádné omezení na množství připojených objektů shaderů. Je možné připojit objekt před nahráním zdrojového kódu, nebo před kompilací. Je také možné připojit jeden objekt shaderu k více objektům programu. Tímto je pouze specifikována množina objektů pro slinkování.

Program a kompilace

Linkování.

void **glLinkProgram**(GLuint *program*)

Provede slinkování.

Kontrola může být provedena pomocí
glGetProgram(GL_LINK_STATUS) a **glGetProgramInfoLog**

- Výsledkem úspěšného slinkování je nastavení všech aktivních uživatelem definovaných uniformních proměnných patřících k *program* na 0.
- Všem aktivním *uniformním* proměnných je přiřazena pozice, na kterou je možné se ptát pomocí **glGetUniformLocation**
- Všechny aktivní uživatelsky definované *atributové* proměnné jsou navázány

Program a kompilace

Použití.

void **glUseProgram**(GLuint *program*)

Instaluje objekt programu specifikovaného pomocí *program*, jakožto součást vykreslovací pipeline.

Smazání.

void **glDeleteShader**(GLuint *shader*).
void **glDeleteProgram**(GLuint *program*).

Uvolní paměť a zneplatní jméno asociované s objektem. Jestliže smazání není možné (je připojen k objektu, nebo součásti vykreslovacího stavu), je pouze označen pro smazání.

Program a kompilace

Dotazy.

```
void glGetShaderiv(GLuint shader,
                   GLenum, pname,
                   GLint, *params)
```

V *params* vrátí hodnotu parametru pro specifikovaný objekt shaderu.

pname: GL_SHADER_TYPE,
GL_DELETE_STATUS,
GL_COMPILE_STATUS,
GL_INFO_LOG_LENGTH,
GL_SHADER_SOURCE_LENGTH

Program a kompilace

Dotazy.

```
void glGetProgramiv(GLuint program,
                    GLenum, pname,
                    GLint, *params)
```

V *params* vrátí hodnotu parametru pro specifikovaný objekt programu.

pname: GL_DELETE_STATUS,
GL_LINK_STATUS,
GL_VALIDATE_STATUS,
GL_INFO_LOG_LENGTH,
GL_ATTACHED_SHADERS,
GL_ACTIVE_ATTRIBUTES,
GL_ACTIVE_ATTRIBUTE_MAX_LENGTH,
GL_ACTIVE_UNIFORMS
GL_ACTIVE_UNIFORM_MAX_LENGTH

Program a kompilace

Dotazy.

```
void glGetShaderInfoLog(GLuint shader,
                        GLsizei maxLength,
                        GLsizei *length,
                        GLchar *infoLog)
```

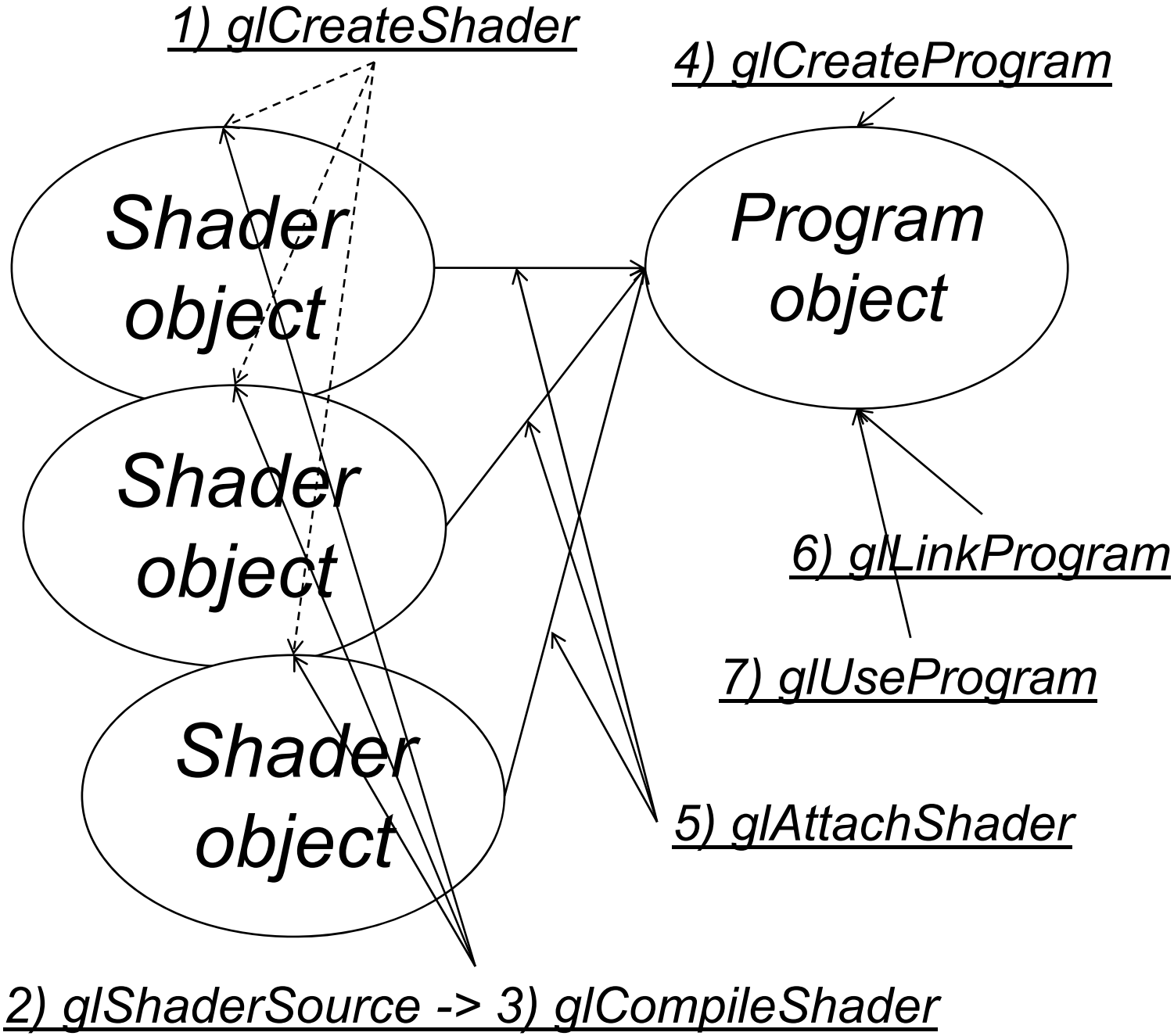
Vrátí informační log pro specifikovaný objekt shaderu.

infoLog - vrácená hodnota

maxLength – maximální délka vrácené zprávy

length – skutečná délka vrácené zprávy

```
void glGetProgramInfoLog(GLuint program,
                         GLsizei maxLength,
                         GLsizei *length,
                         GLchar *infoLog)
```


1) glCreateShader
4) glCreateProgram
Shader object
Shader object
Shader object
Program object
6) glLinkProgram
7) glUseProgram
5) glAttachShader
2) glShaderSource -> 3) glCompileShader