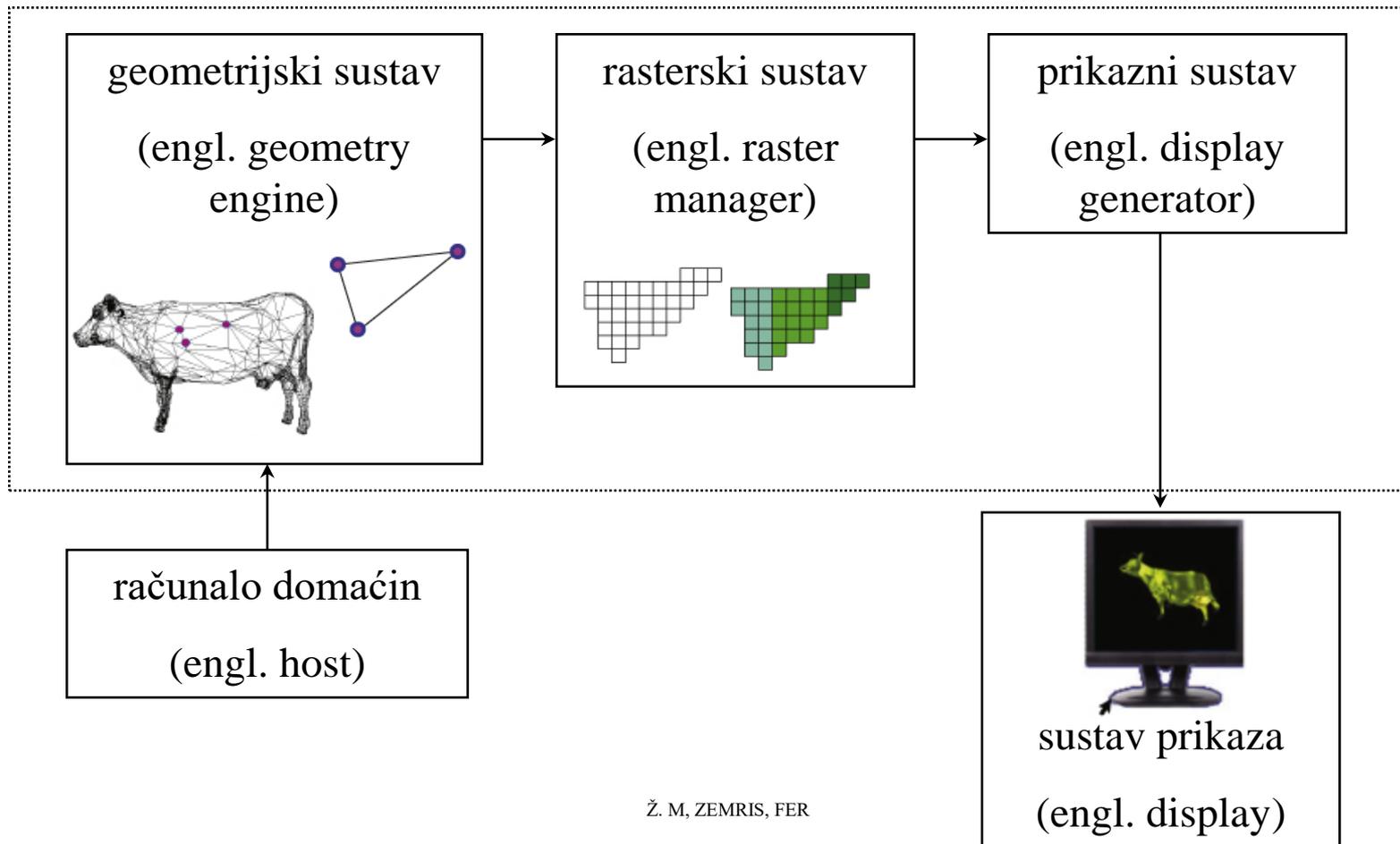


1. Grafički protočni sustav i grafički podaci

1.1. Grafički protočni sustav - funkcijska dekompozicija

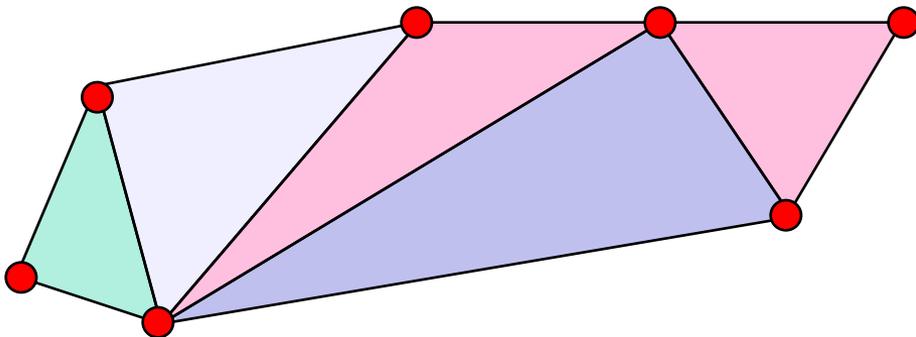
(logička razina koja se preslikava na fizičku razinu)



1.1.1. GEOMETRIJSKI SUSTAV

Operacije na vrhovima (broj vrhova se ne mijenja, operacije per-vertex)

- funkcija (T&L – transformation & lighting, projekcija)
 - geometrijske transformacije pozicija vrhova iz sustava objekta u sustav ekrana
 - translacija, rotacija, promjena mjerila (skaliranje)
 - transformacija u koordinati sustav (svijeta, kamere, projekcije)
 - proslijeđivanje atributa vrha dalje u protočni sustav (boja, normala, koordinate teksture)
 - proračun osvjetljenja u 3D prostoru - pripadna boja vrha
 - projekcija
- možemo koristiti fiksnu funkcionalnost OpenGL-a ili možemo napisati svoj sjenčar vrhova (vertex shader)



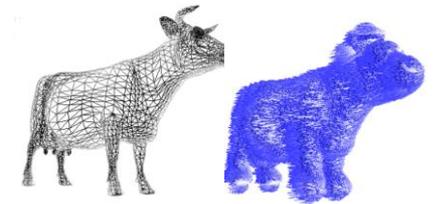
Izdvajanje vrhova $v_1, v_2, v_3 \dots$

pozicija $(x \ y \ z)$

boja, normala, koordinate teksture

– svojstva i funkcionalnost

- vrhovi imaju atribute (x, y, z - koordinatu, boju, karakteristike osvjetljenja ili teksture, vektor normale) koji protočno dolaze u geometrijski sustav u kojem se mijenjaju neke od vrijednosti
- programirljivost
 - osnovna funkcionalnost je sjenčar vrhova (engl. vertex shader)
- kao izlaz sjenčara vrhova minimalno je potreban `gl_Position`
- paralelizam (MIMD, [SIMD](http://www.youtube.com/watch?v=fKK933KK6Gg))
- uklanjanje stražnjih poligona (engl. back face culling) potrebna je informacija o povezanosti vrhova



– opcionalni sjenčari:

- sjenčar geometrije (engl. geometry shader) omogućuje stvaranje novih primitiva unutar protočnog sustava Npr. od dužine napravimo poligon kod volumnih sjena ([primjer](#) p-togl / hair)
- sjenčar teselacije – popločivanja (engl. tessellation shaders) Npr. kod terena trokuti blizu promatrača se podijele na nova četiri trokuta

<http://alexwilton.github.io/TessellationTwist/index.html>

http://www.realtimerendering.com/erich/udacity/exercises/unit3_tessellation_demo.html

1.1.2 RASTERSKI SUSTAV - Funkcija

- pretvorba u diskretne koordinate u prikaznoj memoriji (eng. scan-convert) za primitivu koju iscrtavamo (npr. liniju, trokut, traku trokuta, ...)
- sjenčar fragmenata (programirljivost engl. pixel shader – fragment shader) daje određivanje boje (osvjetljenje po pikslu), preslikavanje teksture
 - kao izlaz sjenčara fragmenata minimalno je potreban `gl_FragColor`
- uklanjanje stražnjih poligona (npr. clockwise CW)
- ispitivanje z-koordinate u Z-spremniku
 - uz 2D koordinatu čuva se i podatak o udaljenosti od očišta

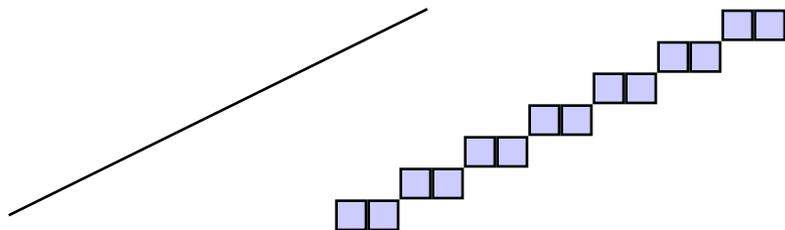
<http://orbides.org/apps/superslow.html>

https://threejs.org/examples/#webgl_camera_logarithmicdepthbuffer

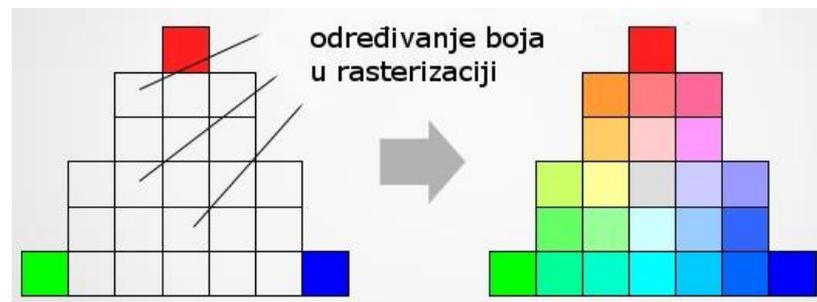
- uklanjanje neželjenih učinaka uslijed diskretizacije (eng. anti aliasing)

<https://www.shadertoy.com/view/lt23Rh> (Moiré Pattern)

https://threejs.org/examples/#webgpu_compute_points



Ž. M. ZEMRIS, FER

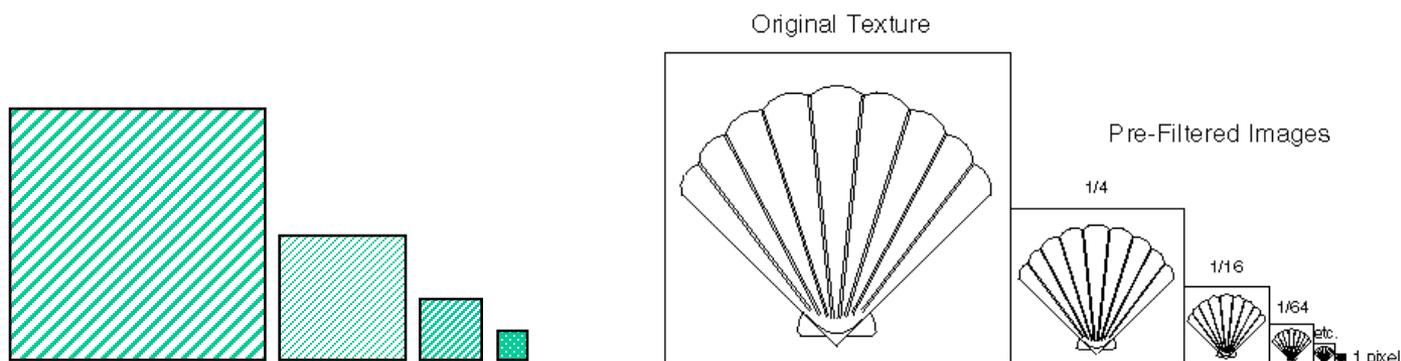


- ostvarivanje anti-aliasa povećanim uzorkovanjem (engl. Multi-sampling) MSAA, prikaz se ostvaruje u većoj efektivnoj razlučivosti npr. 4 puta, od razlučivosti konačnog prikaza (SSAA Super-sampled anti-aliasing=FSAA) adaptivni AA (engl. anti-aliasing), anizotropni filtri, DLAA (Deep Learning Anti-Aliasing)

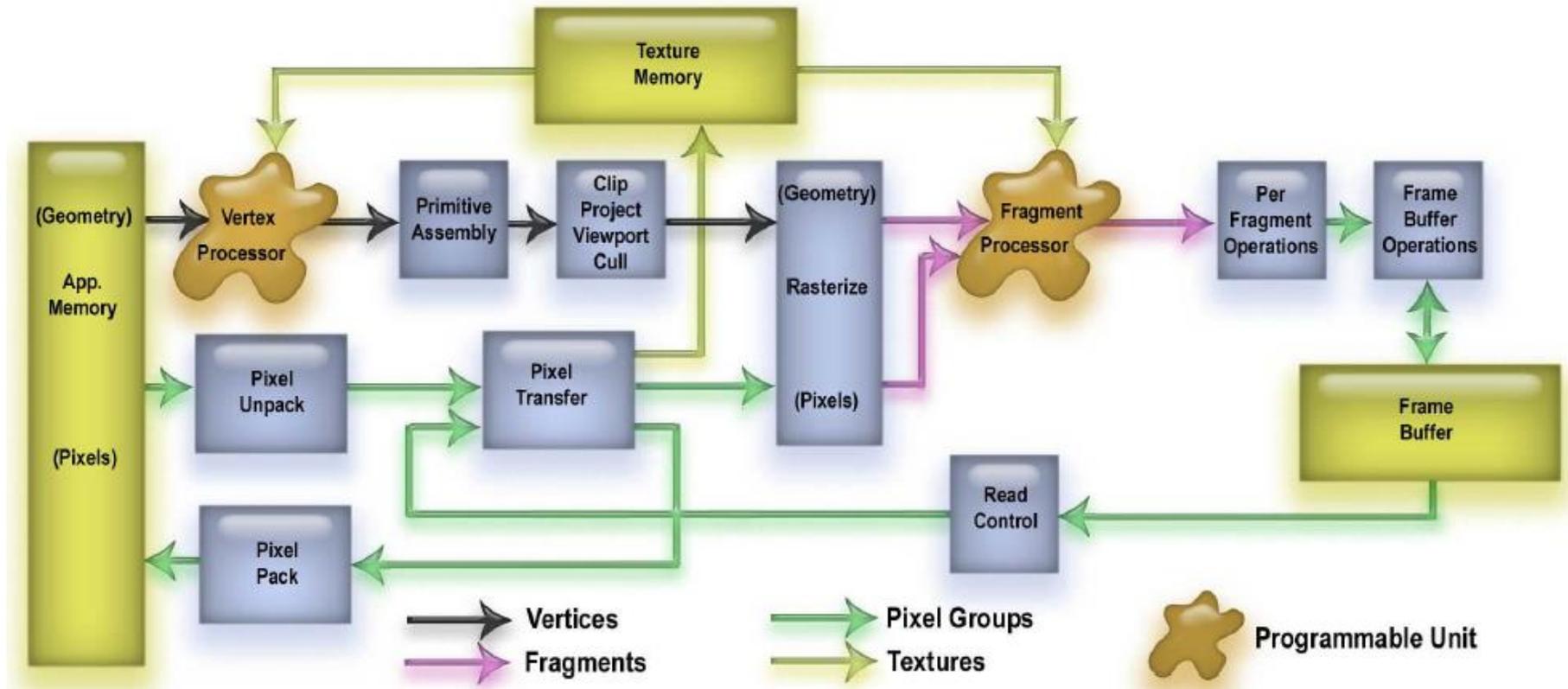
- <http://www.imageprocessingbasics.com/image-sampling-and-aliasing/> https://threejs.org/examples/webgl_multisampled_renderbuffers
- FXAA https://threejs.org/examples/#webgl_postprocessing_fxaa
- https://threejs.org/examples/#webgl_postprocessing_ssaa
- vizualni učinci na teksturi (preslikavanje izbočina)
- miješanje boja s različitim prozirnostima (engl. blending)
npr. omogućavanje prikaza atmosferskih učinaka (magla, dim ...)
- postprocesiranje slike https://threejs.org/examples/webgl_postprocessing_advanced.html



- poželjna je upotreba memorije s preplitanjem među procesorima
Susjedni slikovni elementi se dohvaćaju u različitim procesnim jedinicama, tako da u obrađivanju jednog poligona sudjeluje više procesnih jedinica.
- HDR (engl. High Dynamic Range)
 - 10 - bita RGB, 12-bitu RGBA (68 10^9 boja) (min. 128 bita-pix)
 - 16 - bita fp, 32 - bita fp, za prikaz boje
- posebna jedinica za procesiranje teksture
 - perspektivna korekcija
 - MIP preslikavanje (eng. MIP mapping), određivanje adrese odgovarajuće teksture - (eng. texel) http://threejs.org/examples/webgl_materials_texture_manualmipmap.html



Primjer: Logički dijagram OpenGL 2.0



Grafički standard OpenGL od verzije 2.0. omogućava programiranje dvije ključne faza unutar grafičkog protočnog sustava.

Fiksni protok za procesiranje vrhova (engl. *vertex processing*) i fragmenata (engl. *fragment processing*) se zamjenjuje programirljivim jedinicama.

Program

Naredbe

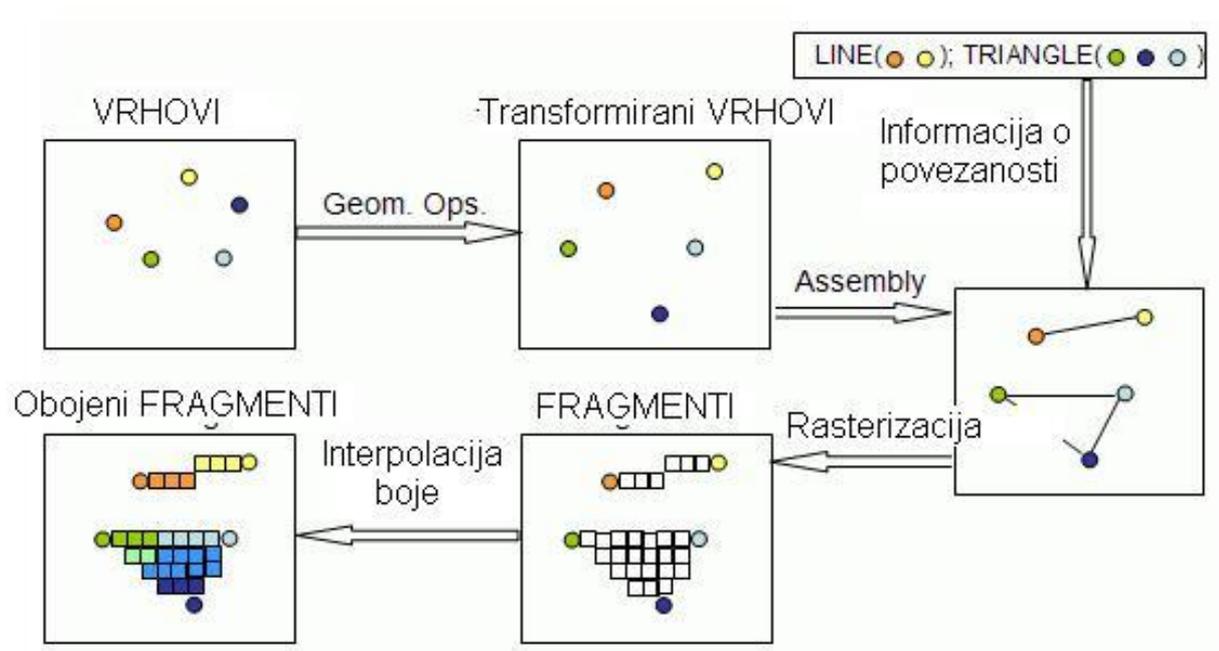
Geometrija

Rasterizacija

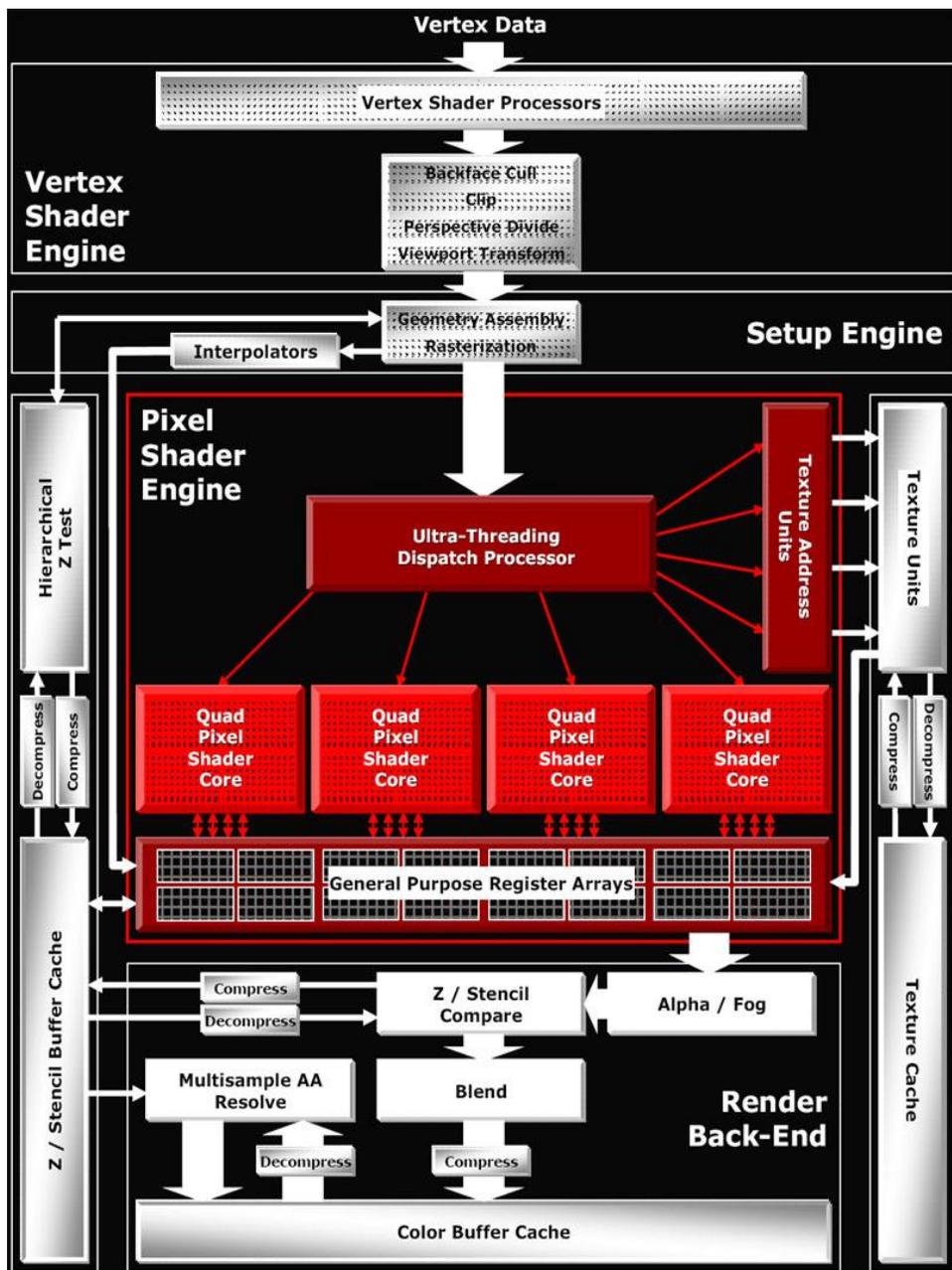
Fragmenti

Kompozicija

Prikaz

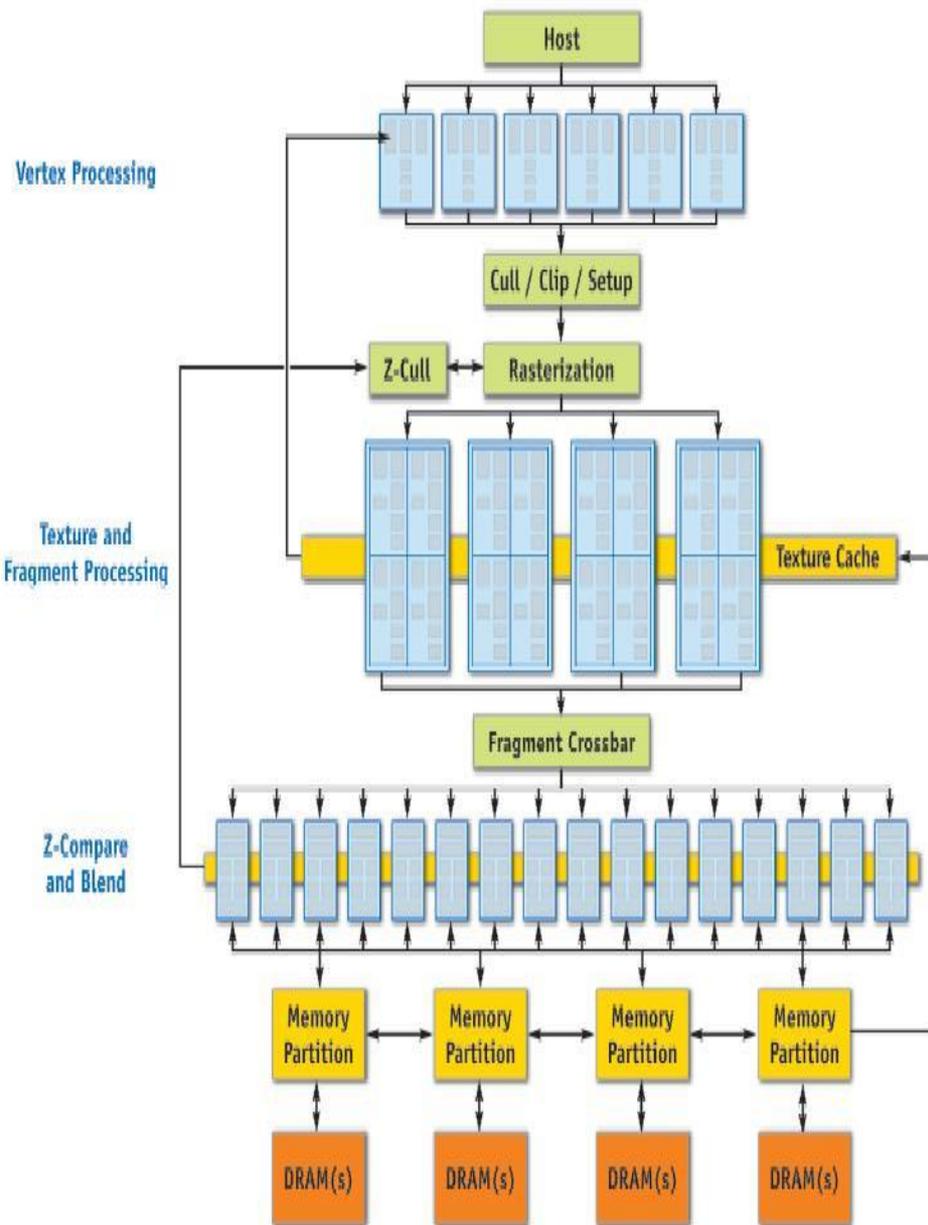


<https://web.cs.upb.de/cgvb/WebGLEditor/>



ATI Radeon

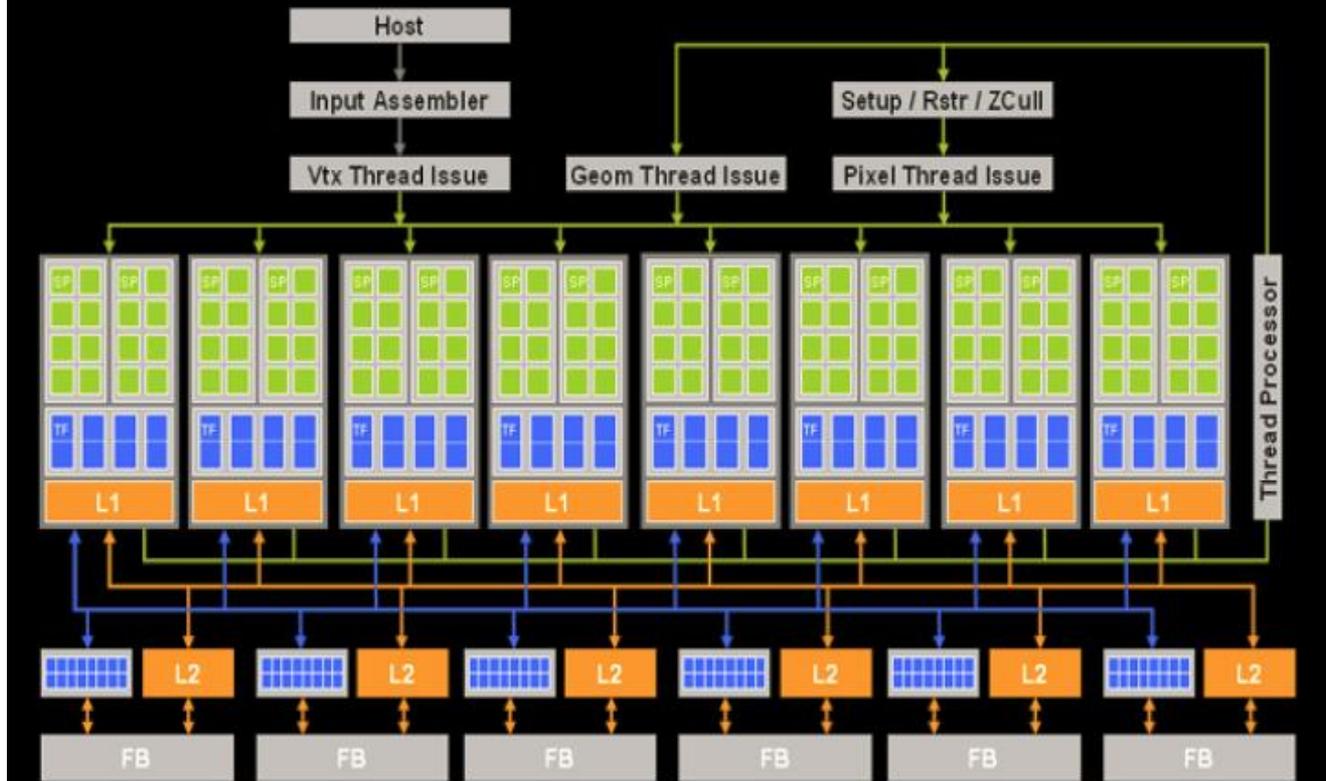
Ž. M. ZEMRIS, FER



NVIDIA GeForce

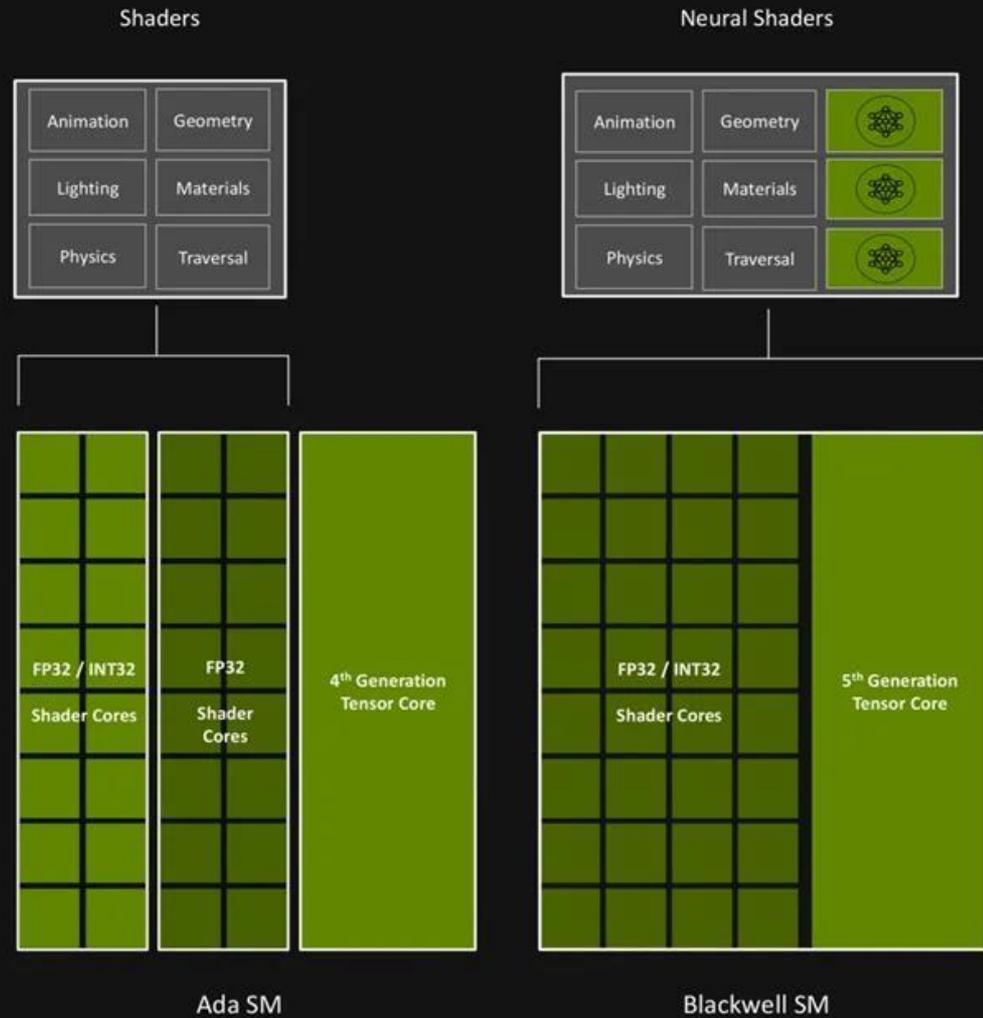
GeForce 8800 replaces the pipeline model

- The future of GPUs is programmable processing
- So – build the architecture around the processor



NVIDIA RTX Blackwell – 4 i 5 generacija:

**Blackwell SM:
Built for Neural Shaders**



1.1.3. SUSTAV PRIKAZA

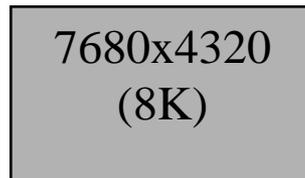
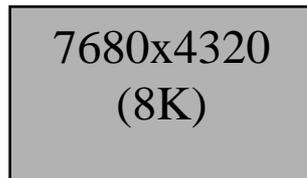
– funkcija

- prijenos prikazane slike iz prikazne memorije (engl. frame buffer FB) na prikaznu jedinicu
 - različite razlučivosti i frekvencije osvježavanja, omjeri slike, +audio osnovni problem je propusnost (engl. video bandwidth)
- pretvorba u signal potreban za prikaznu jedinicu
 - DisplayPort DP (Video Electronics Standards Association [VESA](#)), HDMI, USB-C (USB3, USB4, Thunderbolt ⚡40Gbps), VGA, DVI



– svojstva

- definiran velikim dinamičkim rasponom boja - DisplayHDR (standard definira obradu npr. 10-bitu te razne svjetline *luminance* i kontrasta, gamut)
- kompresija slika (engl. Display Stream Compression (DSC), codecs)
- više kanala prikaza (2, 4, 6 ..) - određivanje kanala prikaza



Primjer:

- različite potrebe korisnika
 - različite rezolucije – VGA, QHD, UHD Ultra High Definition (4K), 8K, 16K, 32K
 - frekvencije osvježavanja 60 Hz - 200 Hz,
 - više slika – CAVE, VR naočale Oculus
 - dubinska slika

