GÁBOR DÉNES FŐISKOLA

Valós idejű Sugárkövetés

103/2019

Erdős Zoltán

Budapest

2019.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés:

Régóta létezik 3D-s megjelenítés. A számítógépek teljesítménye nem képes valós időben fénykép minőségű kép előállítására, ezért közelítő megoldásokat találtak ki. A közelítő megoldások sokkal gyorsabbak, elfutnak kisebb teljesítményű számítógépeken, viszont nem élethű képet adnak eredményül.

Az 1995-ös években az akkori játékok a háromszög csúcsainak adataiból számolták ki egy pixel színét a barycentrikus koordináták segítségével (VertexShader), ez gyors. Majd a 2002-es években lehetett a pixelek színét (PixelShader) egyedileg programozni, ez lassabb, de jelenleg ez is elég gyors már. Itt is még csak korlátozott adatok álltak rendelkezésre egy pixel színének kiszámításához. Nem volt információ (egy pixel színének számításakor) arról, hogy a legközelebbi háromszög, ami a képernyőn megjelenik, az mögött mi van.

Mostanság a 2016-os években annyira megnőtt a számítógépek teljesítménye, hogy lehet alkalmazni a „sugárkövetést”. Így nem csak a legközelebb álló háromszög adatait ismerjük, hanem a mögötte lévőket is el tudjuk érni. A „sugárkövetés”, amit be szeretnék mutatni, ez a megoldás a mai számítógépeken elfogadható sebességgel fut, élethűbb képet lehet elő állítani vele. Van tükröződés és törés, amivel, ha egy pixel színét számolom, akkor a szomszédos testekről visszaverődő fény színét is számításba tudom venni. De még ez a megoldás sem fénykép minőségű, hiszen sugárkövetésnél pontosan egy sugarat indítok tükröződés és törés irányba. Míg a valóságban van egy kis fény szóródás, mivel a felületek, amin pattan vagy törik a fény, nem tükörsima.

A „Globális illumináció” az a megoldás, ami túlmutat a jelenlegi sugárkövetésen, és mégg élethűbb képet állít elő, de az gépigényesebb mint a sugárkövetés.

2. Klasszikus DirectX9 és OpenGL2:

Ide vehető a 2002-ben megjelent VertexShader és PixelShader. Nem látni a háromszögek mögé, csak a legközelebbi háromszöget látjuk.

3. **Újítás: Valós idejű DirectX RayTracing és RadeonRays:**

   2016-ban, jelentek meg az első valós idejű sugárkövetés megoldások. AMD oldalon, ami platformfüggetlen, a „RadeonRays SDK" jelent meg, ami CPU, OpenCL vagy Vulkan segítségével számol. A Microsoft a „DirectX12 RayTracing SDK", ami naprakész, viszont (úgy tudom) csak Windows 10-en fut. Az Intelnek és az NVidia-nak is vannak sugárkövetés SDK-juk.

4. **Saját Sugárkövetés program:**

   Ha vannak nagy cégektől sugárkövetés SDK-k, akkor miért írok sajátot (ami butább)? Kíváncsiságból. Azért is írom, hogy megértsem ennek a működését.

   A forráskód amit írtam/írok, letölthető a https://github.com/ezszoftver/OpenCLRenderer weboldalról. OpenCL-t használok a párhuzamos számításokhoz. Szabadon felhasználható, módosítható a forráskód, nincs licensz védelem alatt.

   4.1. Elmélet röviden:

   A sugárkövetés „futószalagja" elméletben így működik:

   1. sugarakat indítok a kamerából, amik elmetszhetnek háromszögeket.
   2. ha egy sugár-háromszög metszés van, akkor abból az ütközéspontból kiszámolom, hogy mennyi fény éri azt a pontot, majd újabb sugarakat indíthatok tükröződési és törési irányba. Ez a sugár újra elmetszhet egy háromszöget, és kezdődik ez a lépés újra.
   3. Kb. 3 ütközés után abba hagyom az ütközés keresést, meg vannak a szín információk, amiből a képernyőn megjelenő pixel színét ki tudom számolni. Azért hagyom abba a további ütközéskeresést, mert, ha valós idejű képet szeretnék előállítani, akkor tovább folytatni gépigényes. Így is jobban megközelítem a valóságot, mint a 2002-es DirectX9/OpenGL2 -vel.

   Elméletben ennyi. Vajon mik azok a megoldások, amivel rövid idő alatt el lehet a „futószalagot" végezni? Most ezt mutatom be.

   Fontos! Amit leírok megoldásokat, nem a leggyorsabb megoldások, én ezeket ismerem, ezeket tudom bemutatni.

4.2. Gyorsítási lehetőségek:

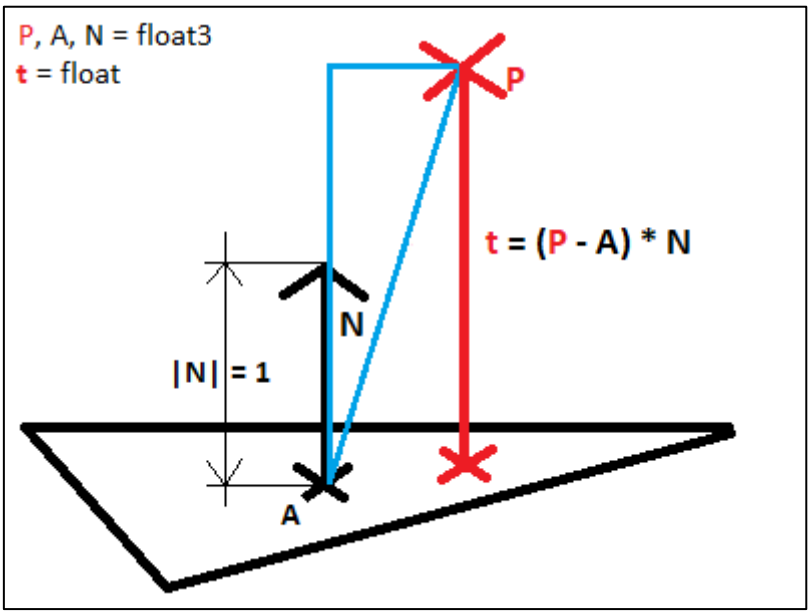
4.2.1. Sugarak-háromszögek ütközésvizsgálata, párhuzamosan:

Először be szeretném mutatni, hogyan lehet egy „sugár-háromszög” metszéspont vizsgálatot elvégezni. Majd bemutatom, hogyan lehet, ha sok sugarunk van, ezt gyorsítani (elöljáróban annyi, hogy ahány sugarunk van, annyi szálat kell indítani OpenCL segítségével, és úgy elvégezni a „sugár-háromszögek” metszéspont vizsgálatot). Az „OpenCL” script kód nem a CPU-n, hanem a videokártyán fut.

A „sugár-háromszög” metszéspont vizsgálat lépései:

- „pont-sík” távolsága
- „sugár-sík” távolsága
- metszéspont kiszámítása
- metszéspont a háromszögen belül van? vizsgálat

pont-sík távolsága:



1. ábra: pont-sík távolsága [saját termék]

Először „float t” -t kell kiszámolni. Tekintsük úgy most a háromszöget, mintha az egy sík lenne. Egy síkot meghatároz egy „**float3 A**” pont, amit a sík elmetsz, és egy „**float3 N**” irány, hogy merre néz a sík.

Ha a „**float3 (P - A)**” vektort skalárisan össze szorozzuk az 1.0 egységnyi hosszú „**float3 N**” vektorral, akkor megkapjuk „float t” -t.

Két „**float3 a,b**” **egységnyi** hosszú vektorok **skaláris szorzat**ára, igaz ez a képlet:

a * b = cos(alpha)

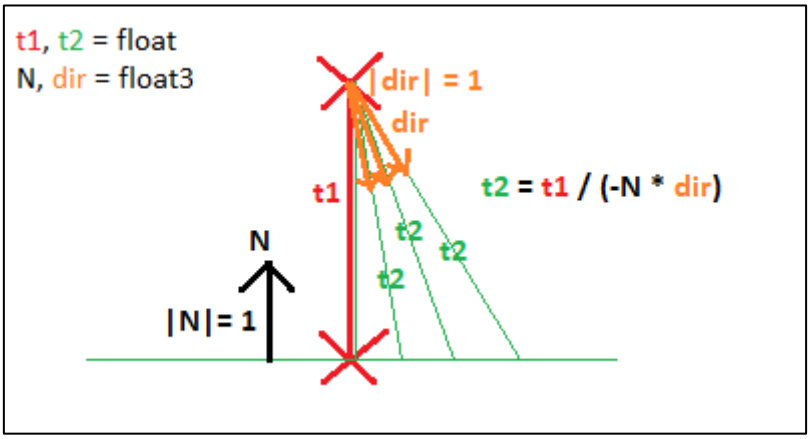
„(P - A)” és „**N**” vektorok skaláris szorzatának képlete:

(P - A) * N = cos(alpha) * |P - A|

cos(alpha) eredménye, **[-1.0 .. +1.0]** intervallum béli számot ad eredményűl.

Tehát **|P - A|** hosszt összeszorozzuk egy +1.0 -nál kisebb számmal, így eredményül egy **|P - A|** -nál rövidebb, „t” hosszt ad eredményül, ami a sík és a „P” pont távolsága.

sugár-sík távolsága:



2. ábra: sugár-sík távolsága [saját termék]

Ha meg van a t távolság, akkor, ha figyelembe vesszük azt, hogy a „P” pontnak van iránya is, akkor egy félegyenest kapunk. Ha az irány megegyezik a -N -el, akkor az a legrövidebb távolság. Ahogyan a „t2” -k mutatják a 2. ábrán úgy, ha minél nagyobb a „-N, dir” közötti szög, annál hosszabb „t2” -ket kapunk eredményűl.

metszéspont kiszámítása:

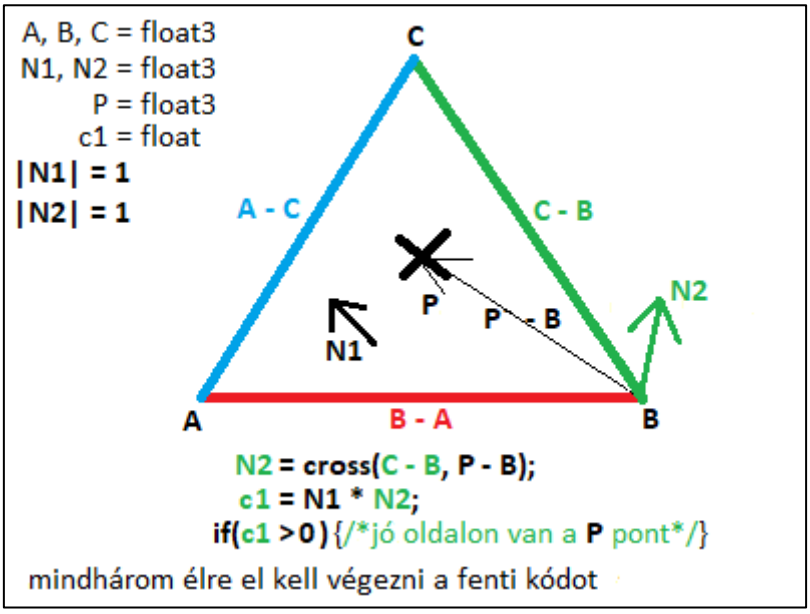
Azt a pontot, hogy a félegyenes hol metszi el a síkot ezzel a képlettel kapjuk meg:

P2 = P + (dir * t2);

„float3 P2” az a pont, amit a sík elmetsz. A „float3 P” és „float3 dir” a félegyenes (sugár) kezdőpontja és iránya.

A „float3 dir” hossza, 1 egység.

metszéspont a háromszögen belül van?:



3. ábra: a metszéspont a háromszögen belül van? [saját termék]

A harmadik lépés, hogy a síkot metsző pont a háromszögen belül van-e? Én azt a megoldást választottam, hogy vektoriális szorzattal ellenőrzöm ezt. A háromszög mindhárom élére el kell végezni, a „jó oldalon van a pont?” ellenőrzést. Én egy élre mutatom be az ellenőrzést:

Vegyünk B-C szakaszt. Ha vektoriálisan össze szorzom (C - B) és (P - B) vektorokat, akkor a képen látható N2 vektort kapom eredményűl. Fontos, hogy a vektoriális szorzat nem kommutatív, vagyis, ha nem ebben a sorrendben, hanem fordítva végzem el a vektoriális szorzatot (cross(P - B, C - B)), akkor -N2 -t kapok. Majd szög ellenőrzéssel (skaláris szorzat) ellenőrzöm, hogy jó oldalon van-e a P pont. Összeszorzom skalárisan a háromszög normal vektorját(N1), az N2-vel. Ha a két normalvektor közötti szög kissebb mint 90fok, akkor a „P” pont, a „C - B” él jó oldalán áll. Mind a három élre igaznak kell lennie, hogy a szög kisebb-e mint 90fok. h Ekkor a „háromszögen belül vagyok-e?” kérdésre a válasz, igaz. A vektoriális szorzatnál figyelembe kell venni azt is, hogy nem mindegy, hogy (C - B) vagy (B - C), mert, ha felcserélem a pontokat, akkor ellenkező irányba fog mutatni a vektor. Én az óramutató járásával ellentétes irányt választottam.

Tehát el tudok mostantól végezni a félegyenes-háromszög ütközésvizsgálatot. Félegyenes alatt sugarat, vagy ray -t is mondhatok, mindhárom szó most ugyanazt jelenti. Amikor egy képet akarok előállítani sugárkövetéssel, akkor minden egyes pixelből sugarat indítok a világba. Tehát nagyon sok sugarat kell indítanom. Két pixelnek a textúrából, nincs köze egymáshoz, tehát két sugárnak sincs köze egymáshoz. Nincs függőség, vagyis pl. a (0,0) pixelből indított sugár, nem várakozik a (0,1) pixelből indított sugárra, tehát párhuzamosan, külön-külön szálakon lehet elindítani a sugár-háromszög metszésvizsgálatot.
Egy videokártyában kb. 100-2000 darab kis órajelű (500Mhz – 1GHz) processzor van. Ezeket a processzorokat el lehet érni C nyelven, „OpenCL" segítségével. Tehát tudok párhuzamosítani „hardveresen". A CPU abban más a GPU-k tól, hogy magasabb órajelen működnek, kevesebb van belőlük (1 – 16 mag), viszont összetettebb, az egész számítógépet vezérlik. CPU-n lassabban fut egy kép számítás, mint egy videokártyán. Pont azért találták ki a videokártyát, vagyis egy külön hardvert képszámításra, mert az a képszámításra van optimalizálva, gyorsabban kiszámolja a képet.

OpenCL-ben, „Buffer" -ekben vannak tárolva az adatok. Egy „Buffer" osztály, más néven tömb. Meg lehet adni a „Buffer" -nek, hogy milyen típusú adatokat akarok benne tárolni: Buffer<int> egesz_szamok;. Ez a buffer a videokártya memóriájában jön létre. Általában van egy bemeneti Buffer, amivel számol, és van egy kimeneti Buffer, ahova az eredmények kerülnek. Majd a Buffer-t ha kell, vissza lehet másolni az operációs rendszer memóriába, és lehet az eredményekkel tovább számolni.

Tehát van sok sugaram, ez egy „Buffer" (Buffer<Ray> rays). Illetve van a háromszögeket tartalmazó „Buffer" (Buffer<Triangle> triangles). Ezek a bemenő bufferek. Kell egy kimeneti buffer is, ami megmondja, hogy egy sugár elmetszette-e a „triangles" bufferben lévő háromszögek valamelyikét. Ezek az adatok az eredmény (Buffer<hit> hits). „hits" Buffer annyi elemet tartalmaz, ahány sugarunk van.
Két párhuzamosan, külön-külön szálon futó Ray, ugyanazt a „triangles" buffert használja, baj ez? Nem, mert csak olvasnak belőle, nem módosítják.
Egy videokártya, kb. 10x gyorsabban kiszámol egy képet a párhuzamosítás miatt, mint egy vele egyenértékű CPU.

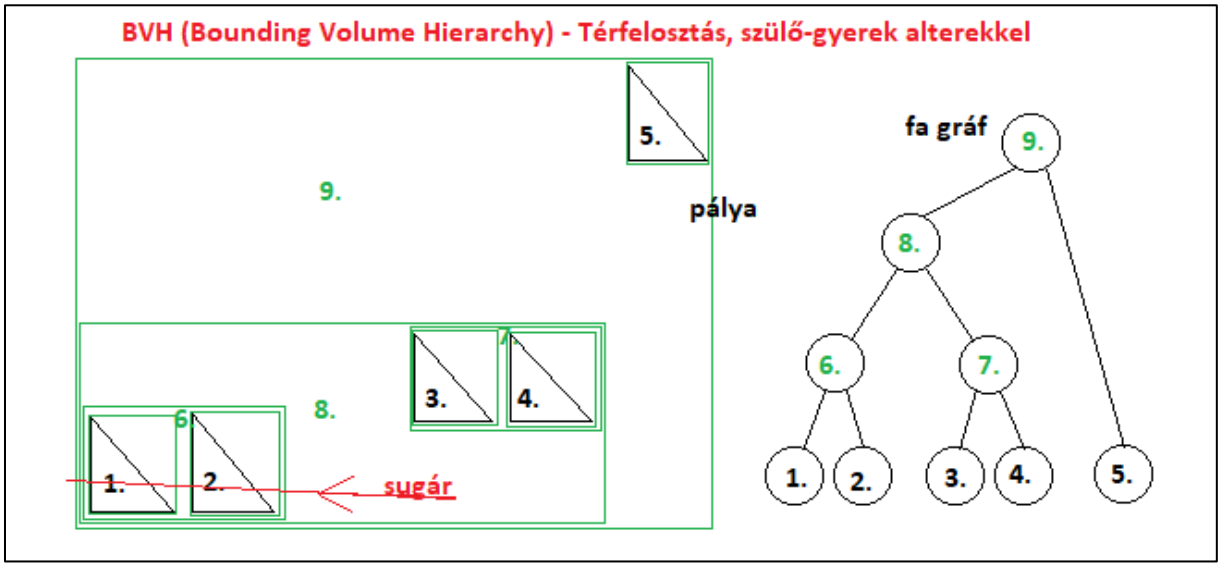
A sugarakat párhuzamosítottuk. Most nézzük meg, hogy mit lehet tenni a háromszögekkel, ott is gyorsítani kéne.

4.2.2. Ütközésdetektálás gyorsítás, tér felosztással (BVH):

Eddig egy sugár végig járta, az összes háromszöget, és úgy kereste a hozzá legközelebbi, elmetsző háromszöget. Nem lehet ezen gyorsítani? De lehet, tér felosztással.

Képzeljük el, hogy van a világ. Az legyen mondjuk 1km hosszú, 1km magas, 1km széles). Itt vannak a háromszögek elszórva. Van egy sugarunk, pl. (10,10,10) pontban. Felesleges azokkal a háromszögekkel ütközéstdetektálást végezni, amik nagyon messze, pl. (1km, 1km, 1km) távolságra vannak a Ray-től. Jobb lenne, csak a Ray-hoz közeli háromszögeket vizsgálni. Megoldás, daraboljuk fel a teret, minden altérbe másoljuk bele, a teret elmetsző háromszögeket. Majd, ha jön egy sugár, akkor számoljuk ki hogy a sugár megy tér részeket metsz el, és csak az azokban a tér részekben lévő háromszögekkel végezzünk ütközés keresést.

Én itt, a BVH (Bounding Volume Hierarchy) megoldást választottam. Jelentése: alterek, szülő-gyerek kapcsolatban, vagyis hierarchiában.



4. ábra: BVH (alterek a gyors kereséshez) [saját termék]

A kép bal oldali része az altereket, világot mutatja jól, míg a kép jobb oldali része, a gráfot, a szülő gyerek kapcsolatokat mutatja jól.

Az 1,2,3,4,5 csomópontok, háromszögek, míg a 6,7,8,9 csomópontok, tér részek (bounding box). A 9. csomópont, a gráf szerint, az a gyökér, az az egész világot magába foglalja.

Vizsgáljunk a sugár szemszögéből, ami a 4. ábrán van: amit elmetsz az a 9, 8, 6 -os alterek, és az 1, 2 -es háromszögek. Felesleges vizsgálni a 3, 4, 5-ös háromszögekkel a metszésvizsgálatot.

Hogyan kapjuk meg az 1 és 2-es háromszögeket? Kezdjük a metsző háromszögek keresést a fa gráf bejárásával.

- A sugár elmetszi a gyökeret? (9) => igen, tehát vizsgáljuk meg a 9. csomópont gyerekeit.
- A sugár elmetszi a 5 alteret? nem, tehát erre nem folytatjuk a keresést.
- A sugár elmetszi a 8-as alteret? igen, vizsgáljuk meg ennek az altérnek/csomópontnak a gyerekeit.
- a sugár elmetszi a 7-es alteret? nem, erre nem keresünk tovább.
- a sugár elmetszi a 6-os alteret? igen, akkor vizsgáljuk ennek az altérnek/csomópontnak a gyerekeit.
- a sugár elmetszi az 1 háromszöget? igen
- a sugár elmetszi a 2-es háromszöget? igen

Levél: Az a csomópont, akinek nincsen gyereke (a fa gráf alja), vagyis egy háromszög van benne.

Ha eljutottunk egy levélig, akkor háromszög-sugár metszést kell vizsgálni.

Ha nem levélben vagyunk, akkor „sugár-altér” (bounding box) metszésvizsgálatot kell csinálni.

Mindkét háromszögre megkapjuk a „t” távolságokat. Nekünk a kisebb értékű „t” (háromszög) kell, számoljuk ki milyen textúra szín és fény éri azt a pontot, és tároljuk el azt a színt.

Ez a térfelosztás azért jó, mert, ha pl. 1millió háromszögből áll egy pálya, akkor az 1millióhoz képest kevés altér vizsgálattal eljutok a „nagy valószínűségű, hogy metsző” háromszögekig.

- Tegyük fel, hogy van 1millió háromszögem. Ha nem lenne térfelosztás, akkor egyesével, minden háromszöget vizsgálni kéne, ez 1 millió vizsgálat.
- De ha BVH segítségével keresünk, akkor kb. 100 vizsgálattal megkapom a metsző háromszögeket. Kevesebb így a háromszög metszéspont keresés vizsgálat.

Hogyan lehet egy háromszögek listából, BVH fát felépíteni?:
Adottak a háromszögek. Első lépésben veszek egy háromszöget, és megkeresem a hozzá legközelebbi másik háromszöget. „Csúcs-csúcs" vizsgálat elég, mert általában a felületek folytonosak, zártak mindig van egy háromszögnek egy olyan csúcsa, ami egy másik háromszöghöz is tartozik. Ebből a két szomszédos háromszögből, egy csomópontot lehet csinálni. A csomópontot egy „List<Node> nodes" listába teszem és a két háromszöget törlöm a „háromszögek listájából". Majd veszem a következő háromszöget a háromszögek listájából, és ugyan ezt a „szomszéd keresés" algoritmust futtatom, majd a megszületett csomópontot hozzá fűzöm a „nodes" listához. Addíg keresem egy háromszög szomszédos háromszögeit, amíg vannak háromszögek a „triangles" listában. Előfordulhat, hogy csak egy háromszög maradt a listában, annak nem tudok szomszédot találni, így belőle egy olyan csomópontot hozok létre, aminek csak egy gyereke van.
a „nodes" listában, most sok kicsi altér van. Ezekkel az alterekkel ugyanúgy elvégezzük a szomszéd keresést, ugyan úgy, mint a háromszögeknél. Mindig, az újjonan keletkező csomópontokat bele tesszük egy új „List<Node> out" listába, majd ha az „List<Node> in" listából, ha elfogytak a csomópontok, akkor az „in = out; out = new List<Node>();" (az out lista az in listába kerül, és egy új, üres out Lista jön létre), és kezdődik elölről a szomszédok keresése.
Egyszer eljutunk egy olyan állapothoz, amikor az in Listában egy elem lesz. Az lesz a gyökér elem.
(Amikor létre hozunk egy csomópontot, akkor mindig kiszámoljuk a gyerekei altérből, az aktuális alteret, amiben mindkét gyerek altér benne van).
Így létre jön egy BVH fa.

Ez a gráf addig „jó", amíg a háromszögek mozdulatlanok. De a számítógépes grafikában a háromszögek mozognak. Pl. animáció. Hogyan lehet egy már felépített fát, amiben, ha elmozdul egy háromszög (valamelyik csúcsa), akkor újra „jóvá" tenni? Lehet ezt párhuzamosan számolni? Igen. Az altereket (bounding boksz-okat) kell újra számolni.
A következő rész egy fa „újra jóvá tételét" mutatja be.

4.2.3. BVH gyors újra építése, ha a csúcsok megváltoztak:

Mi van akkor, ha egy BVH fa háromszögeinek csúcsai transzformálódott? Újra kell építeni az egész fát? Nem.

Két eset lehet:

- Animációkor, a háromszögek szomszédsága megmarad, pl. felemeljük a kezünket. Hagyományos animációkor ez az állítás érvényes.
- Animációkor a háromszögek szomszédsága nem marad meg, pl. levágják egy ember kezét, és messzire eldobják.

Én azt a megoldást választottam itt, hogy mindkét esetben a háromszögek szomszédságán nem változtatok a BVH-n belül.

Első esetben ez nem gond, a háromszögek szomszédsága ugyanúgy megmarad, csak az altereket kell a gyerekektől a szülők felé újra számolni.

Második esetben, „amikor messzire repül a kéz”, akkor is csak az altereket számoljuk újra, igaz ilyenkor nem lesz optimális a BVH bejárás, mert több 10 méter is lehet a távolsága a kéz és ember között, pedig biztosan lenne közelebbi háromszög.

Sajnos nem tudok megoldást, amivel gyorsan a háromszögek szomszédságát újra lehetne számolni. De ha a csomópont altereket újra számoljuk, függetlenül attól, hogy nem tökéletes a szomszédság, így is gyorsabb a fa bejárással, a metsző háromszögek keresése, mintha egyesével járnánk végig az összes háromszöget, metszéspontot keresve.

Megoldás: „ne szakadjon le a kéz”. Maradjon meg a szomszédsági viszony. De ez nem lehetséges (mindig).

Az altereket hogyan lehet párhuzamosan számolni?:

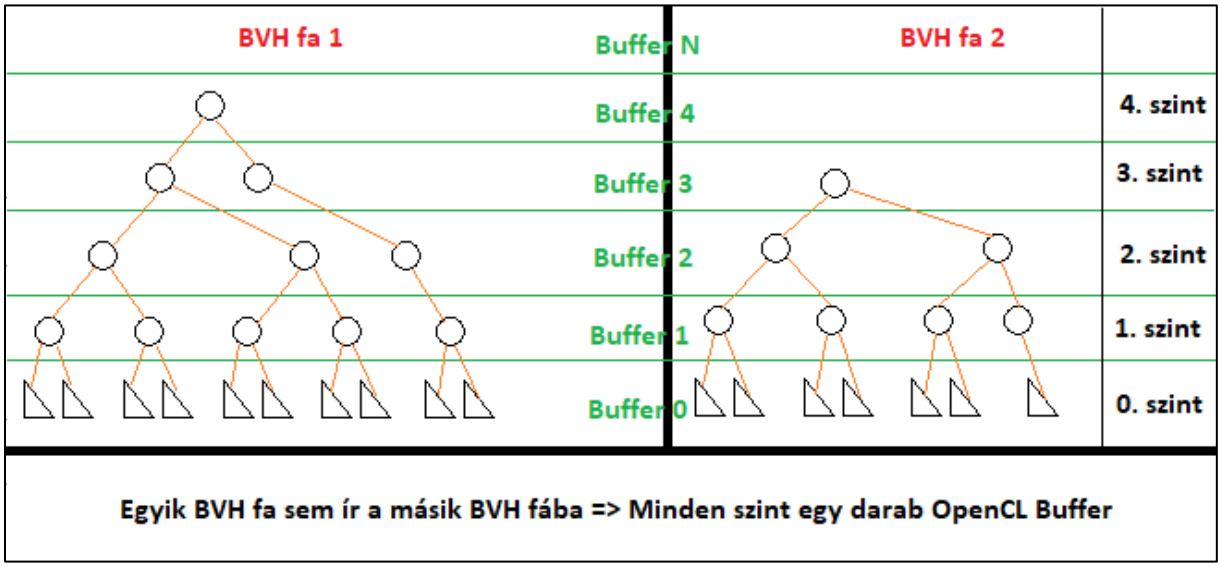
- tudjuk azt egy fa gráfról, hogy vannak szintjei. Én most megfordítom a szintek sorszámozását. Legyen a 0. szint a levelek, vagyis a háromszögek szintje. az 1. szint, a háromszögek szülői, … az N. szint pedig a gyökér.
- Tudjuk azt is, hogy egy pl. 5. szintet csak akkor tudom párhuzamosan számolni, ha a 4. szint alterei már kiszámításra kerültek.

Tehát a 0. szintű háromszögekből inicializáláskor készítek egy OpenCL „Buffer<Node> level0” buffert, ő egyben in/out buffer és kiszámolom a

háromszögek altereit OpenCL-el. Így a 0. szint altereit kiszámolta az OpenCL, párhuzamosan, el lehet kezdeni az 1. szintű Node -k altereinek számolását. Fontos: Egy Node egyszerre altér és háromszög. Onnan tudom hogy egy Node levél (vagyis hogy háromszög), hogy nincs egy gyereke sem.

Minden szint egy „Buffer<Node>”. Ezt előfeldolgozási lépésben ki lehet számolni, hiszen egy BVH fa szintjei mindig ugyan azok maradnak, csak a levelek változnak.

Sorra kiszámolom a 2,3,4,5 … N -edik szintig párhuzamosan a szintek csomópontjainak altereit OpenCL-el, a gyerekek altereiből. Így frissítettem egy BVH fát.



5. ábra: BVH fák szintjei. Egy szint elemei párhuzamosíthatók OpenCL-el [saját termék]

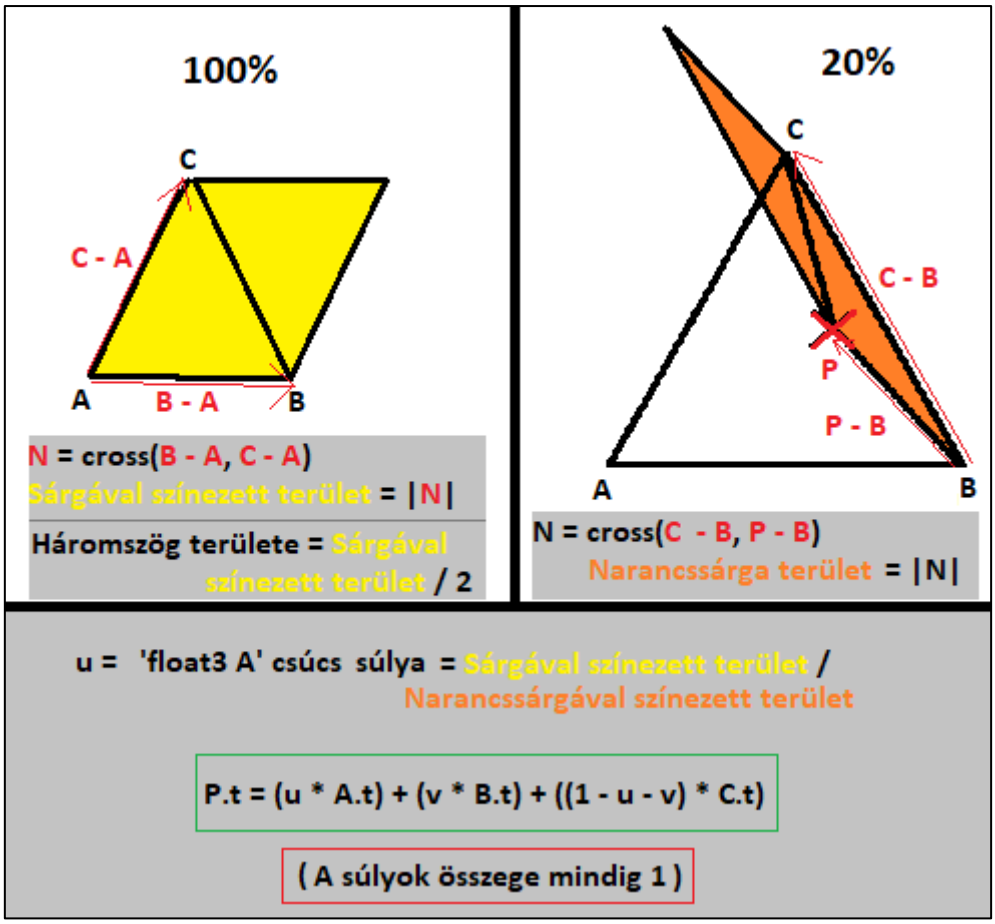
Sőt ahogy a kép is mutatja, ha sok BVH fa van, legyen mondjuk 2 darab (vagy több), vagyis több objektum van a világban. Amikor készítem pl. 0. szintet, akkor össze lehet fűzni mind a 2 darab 0.ás szintű level-eket, és egy nagy level0 Buffer keletkezik. Ugyanígy level N-ig. Mivel egyik BVH fa sem ír/olvas a másik BVH fa Node -jéből/-jébe, függetlenek egymástól, ezért összefűzhetők, párhuzamosíthatók.

Egy fa szintje, kb. 15-25 lehet. Ha kiszámoljuk, ha 25 szintű a fa, akkor elfér benne (2^25) 33 millió háromszög a levelekben, BVH-nként. És csak 25 darab

OpenCL függvényhívást kellett a megfelelő sorrendben meghívni, akkor is, ha több BVH fa van, és újra „jóvá” tettük a fát.

Külömbséget kell tenni animált és nem animált BVH fa között. Az animált BVH fa „Dynamic” típusú, a nem animált BVH fa „Static” típusú. Elég csak a „Dynamic” típusú BVH-knak a altereit frissíteni. Azt hogy egy BVH fa Static vagy Dynamic lesz-e, azt a programozó dönti el. Egy Static típusú BVH-nak sohasem változnak meg a háromszög csúcsainak pozíciói, így azt elég egyszer, inicializáláskor az altekreket frissíteni.
Statikus BVH-nak számít a mozdulatlan pálya, míg Dynamic BVH-nak számít az animált-, vagy a térben máshová kerülő tárgyak.
Az OpenCL level1,2, .. 25 Bufferekbe csak a Dynamic típusú BVH fákat kell bele tenni.

5. Textúrázás Barycentrikus koordinátákkal:



6. ábra: textúrakoordináta számítása, a P pontban [saját termék]

Ha ismerem az A-, B, és C csúcshoz tartozó textúra koordinátákat, és ki szeretném számolni a P metszéspont textúra koordinátáját, azt hogyan kell? Súlyokkal.

Képzeljük el, hogy ha egy P metszéspont közel van az A csúcshoz, akkor az A csúcs textúra koordinátához közeli értékű lesz a P csúcs textúra koordinátája. Minél messzebb kerül a P pont az A csúcstól, és minél közelebb kerül a B csúcs felé, annál inkább a B csúcs textúra koordinájához közeli értéket fog a P csúcs textúra koordinátája fel venni. Ugyan ez a C csúccsal.

Súlyokat kéne létre hoznom, amik megmondják [0.0 .. 1.0] intervallumban, hogy milyen közel vagyok egy csúcshoz. Ha nagyon közel vagyok pl. az A csúcshoz, akkor az A csúcs súlya 1.0-hoz közeli szám, és a B és C csúcsok súlya 0.0-hoz közeli szám. Az A csúcs textúra koordinátája fog jobban részt venni a P csúcs textúrakoordinátájának számítása közben, a B és C csúcsok, közel 0%-al fognak részt venni. A súlyok összege 1.0-et kell hogy kiadjon.

Hogyan tudom az A csúcs „float u” súlyát kiszámolni? Ahogyan a kép is mutatja, ha kiszámolom a teljes háromszög területét (A, B, C csúcsok), ez legyen „t1”. Majd, ha kiszámolom az A csúccsal szemközti (P, B, C csúcsok) háromszög területét, legyen ez „t2”. Majd „float u = t2 / t1”. Így egy kisebb számot osztok egy nagyobb számmal, pont az A csúcs súlyát fogom megkapni. A mellékelt ábra az A csúcs súlyának kiszámítását mutatja be.

Számoljuk ki a B csúcsal szemközti kis háromszög területét, ez legyen „t3”. Majs a súly: „float v = t3 / t1”. A C csúcs súlyát ugyan ezen elven lehet kiszámolni, de felesleges, mivel tudjuk hogy „u + v + w = 1”, ebből következik, hogy a C scsúcs súlya: „1 – u - v”.

Ismerjük a három súlyt, alkalmazzuk, ezt képletet: „P.t = (u * A.t) + (v * B.t) + ((1 – u - v) * C.t)”. Így megkapjuk a P pontban lévő textúra koordinátát. Ugyan ezzel a módszerrel, nem csak textúra koordinátát, hanem normálvektort, vagy pozíciót is lehet számolni. Hogyan kell kiszámolni egy háromszög területét? Ahogyan a kép is mutatja, egy A, B, C csúcsú háromszög területe egyenlő

„length(cross(B - A, C - A)) / 2.0”. „cross()” a vektoriális szorzat, „length()” a vektor hossza. És osztani kell kettővel.

6. **TriangleShader,VertexShader,RefitTreeShader,GenerateCameraRays,RayShader:**

Az én alkalmazásomban, a címben szereplő 5 lépésre osztottam a futószalagot. Ezek OpenCL függvények.

TriangleShader:

A „TriangleShader” OpenCL függvény feladata, hogy a paraméterül kapott „Buffer<Node> inNodes” buffer háromszögeit frissítse. Ha az aktuális Node egy altér, (tehát nem háromszög), vagy ha a Node háromszög és „Static” típusú, akkor nincs szükség frissítésre, elég csak ezt a node-t átmásolni a ” Buffer<Node> outNodes” listába.

Különben, ha egy Node háromszög (levél), és „Dynamic” típusú (módosulnak a csúcspontjai a háromszögnek), akkor a háromszög A, B, C csúcsára meg kell hívni egyesével a „VertexShader” opencl fuggvényt, ami transzformálja (a térbe máshova helyezi) az A, B, C csúcsokat. Oda helyezi a csúcsokat a VertexShader, ahova a programozó szeretné. A VertexShader megvalósítása a programozó feladata. Ha ez megtörtént, akkor a TriangleShader újraszámolja az új háromszög területét.

VertexShader:

A „Vertex Shader”, ahogy fennt írtam, paraméterként egy darab csúcsot kap. Egy csúcs több változót tartalmaz: Csúcs pozíciója, a csúcshoz tartozó textúra koordináta, a csúcshoz tartozó normal vektor. Általában elég csak a csúcs pozícióját és normal vektor-ját transzformálni a „Vertex Shader” -ben, a textúra koordináta változatlan szokott lenni.

RefitTreeShader:

A „TriangleShader” OpenCL függvényhívás egy olyan „Buffer<Node> outNodes” fát ad eredményűl, amiben a levelek (háromszögek) kiszámításra kerültek (0. szint, valid). De a gráf felsőbb szintjei, vagyis az alterek nem valid-ak, azokat újra kell számolni. A „RefitTreeShader()” opencl függvény hívással lehet az altereket újra számolni. Fontos, hogy a „RefitTreeShader” függvényhívást előzze meg a „TriangleShader()” függvényhívás. Elég csak akkor meghívni a RefitTreeShader() függvényt, ha a világ rendelkezik „Dynamic” típusú objektummal (háromszöggel).

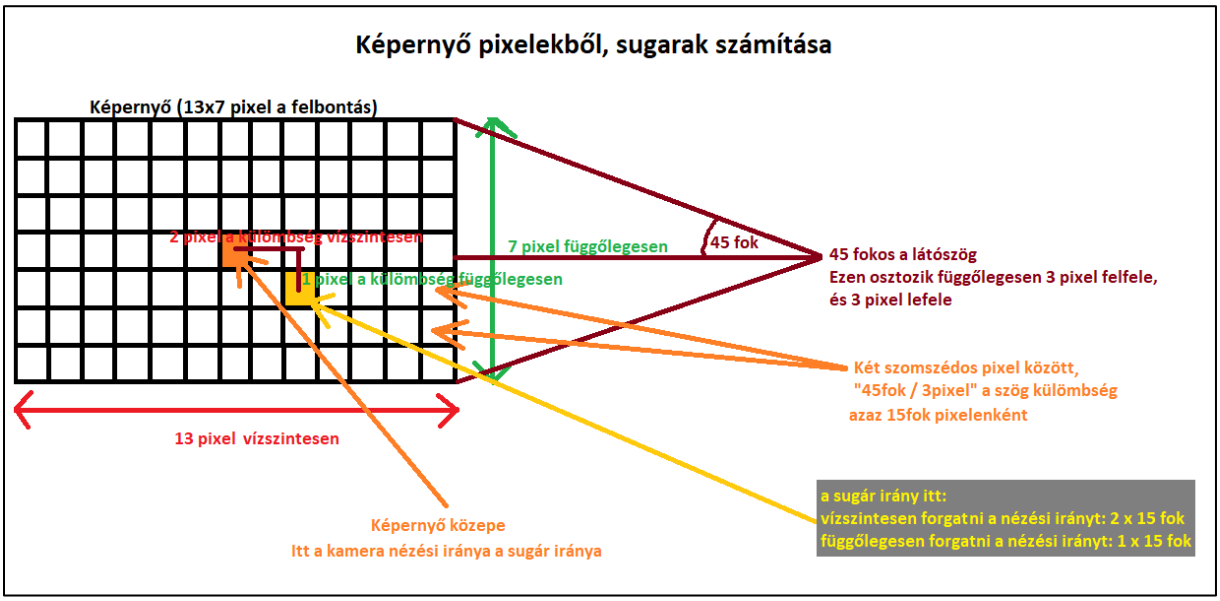
Ahogy feljebb írtam, a gráfokból, szintenként egy-egy „Buffer<Node> inoutLevelN” buffer létrehozható. Tehát „level0”, „level1” „level2” … kb „level25” buffer elég a gráfok tárolásához. A buffereket a megfelelő sorrendben kell meghívni. Először csak a háromszögeket tartalmazó „level0” buffer-t kell paraméterül átadni a „RefitTreeShader()” OpenCL függvénynek. A háromszöget tartalmazó buffer, a fák leveleit tartalmazza, nincsen egy Node csomópontnak egy gyereke sem, nem függ a Node-ben található altér, gyerekeitől, mert nincs gyereke a levélnek. Mivel nincs függőség, ezt a buffert lehet számolni. A „RefitTreeShader(level0)”-nek ezt a buffert átadva, frissíti az altereket (bounding box). Ha a „Buffer<Node> level0” alterei frissítve lettek, akkor a gráfban, az egyel felette lévő szintet (level1) lehet számolni, mert a „level1” alterek, csak az egy szinttel alatta lévő, (level0) alterektől függ. Hívjuk meg a „RefitTreeShader(level1)” függvényt, aminek paraméterül az 1. es szintet adjuk. Majd így folytatva, hívjuk meg a függvényt, paraméterként megfelelő sorrendben a 2., 3., … N. bufferekkel. Így a gráf Node-jeinek, alterei helyes értékeket tartalmaznak. Fontos, hogy ez a megoldás gyorsabb, mint ha CPU-val végeznénk egyesével a csomópontok altereinek újra számolását. A „RefitTreeShader()” OpenCL függvény párhuzamosan számolja a paraméterül kapott Node-ket, max. kb. 25 függvényhívással, míg CPU-n elvégezve, ez akár több ezer egymás utáni számítás is lehet.

Most világban lévő háromszög adatok validak.

GenerateCameraRays Shader:

Kamera pozícióból és látószögből sugarakat hoz létre ez az OpenCL függvény.

Ahhoz hogy a monitoron egy pixel színét megkapjuk, szükség van egy kiinduló sugárra, ami úgymond a monitor pixeléből indul, megkeresi a háromszögek között a legközelebbit, kiszámolja a színt, majd tükör-, és törési- irányba újabb sugarat indít, amivel szintén a legközelebbi háromszöget keresi, abból kiszámolja megint a metszéspontot érő fényt, majd újabb sugarakat indít tükröződési- törési- irányba, és így tovább. Úgy gondolom, elég 2x-3x egy képernyő pixeléből kiinduló sugárral új sugarakat generárni, és új színt keresni, mert ez gépigényes feladat még a videokártyának is.



7. ábra: Képernyő pixelekből, sugarak előállítása [saját termék]

Tehát először is szükség van a monitor pixeleiből, kiinduló sugarakat létre hozni. Erre van a „GenerateCameraRays()” OpenCL függvényhívás.

Paraméterül megkapja a függvény egy felbontást (pl. 640x480), így tudni lehet, hogy mennyi sugarat kell létre hozni. Paraméterül kap még egy kamera pozíció és nézeti irányt. Ezekből az értékekből tudja a függvény, hogy a felbontás közepén lévő pixel-nek mi a kiinduló pontja és iránya. Ha 640x480 a felbontás, akkor a képernyő közepén (320x240. pixel) található sugár kiinduló pontja a kamera pozíciója, a sugár iránya pedig a kamera nézeti iránya. Tehát a képernyő közepén leévő sugár mindig meghatározható, minden egyes sugár létrehozáskor. Minden egyes pixelből ki lehet számolni, hogy hány pixel távolságra

van a képernyő középpontjától (középpont: 320x240). Ha tudjuk a távolságot, akkor ha a képernyő közepén lévő sugár nézőpontját ennyivel eltoljuk, akkor lehet generálni bármelyik pixel-ből, sugarat.

Kérdés, hogy két szomszédos pixel között, mennyi a sugár nézeti pont eltolása? A programozó azt megadja, hogy a világot hány fokos látószögű kamerával szeretné nézni. (Az emberi 45fok-os szögben lát, ezt az értéket szokták használni általában a programozók). Ha a felbontás függőlegesen 480 pixelből áll, és tudjuk azt, hogy a képernyő közepe, vagyis a 240. pixelnél 0fok az különbség és és függőlegesen a 0. pixel -hez a 45fok tartozik, és függőlegesen a 480. pixelhez szintén a -45fok tartozik, akkor a függőlegesen a köztes pixelekhez [1 .. 239, 241 .. 479] lehet tudni hogy milyen fok tartozik hozzá.

A képernyő közepén lévő 0fokhoz tartozó kamera nézeti irányt most már tudjuk minden pixelre, hogy mennyivel kell elforgatni függőlegesen.

Ha tudjuk hogy 45fokon osztozik 240 pixel (640x480-as felbontáson), akkor két szomszédos pixel között, 45/240 elforgatás tartozik.

Ebből kiindulva ki lehet számolni a vízszintes [0 .. 640] pixelekhez tartozó elforgatást is.

Ha tudjuk hogy egy pixelhez mekkora szögelfordulások tartoznak, akkor a képernyő közepén lévő sugár irányát elforgatjuk ezekkel a fokokkal, így magkapjuk bármelyik pixel sugarának irányát. Minden képernyőből induló sugár kiindulópontja a kamera pozíciója.

A képernyő sugarakat egy „Buffer<ray> rays” bufferbe el kell tárolni, mert szüksége lesz a „RayShader”-nek ezekre.

A sugarak létrehozása egymástól nem függ, tehát ezeket is lehet párhuzamosan létre hozni. 640x480-as felbontás, 307200 pixelt tartalmaz, ekkora méretűre kell létre hozni a „Buffer<ray> rays” buffert.

Egy 2D-s pixelből, 1D-s tömbbéli indexet, ezzel a képlettel kaphatunk:

int id = (width * y) + x; // (width, height) a képernyő felbontása, (x, y) egy tetszőleges pixel.

Így az 1D-s tömbbe tudjuk írni a 2D-s pixelből létrehozott sugarat.

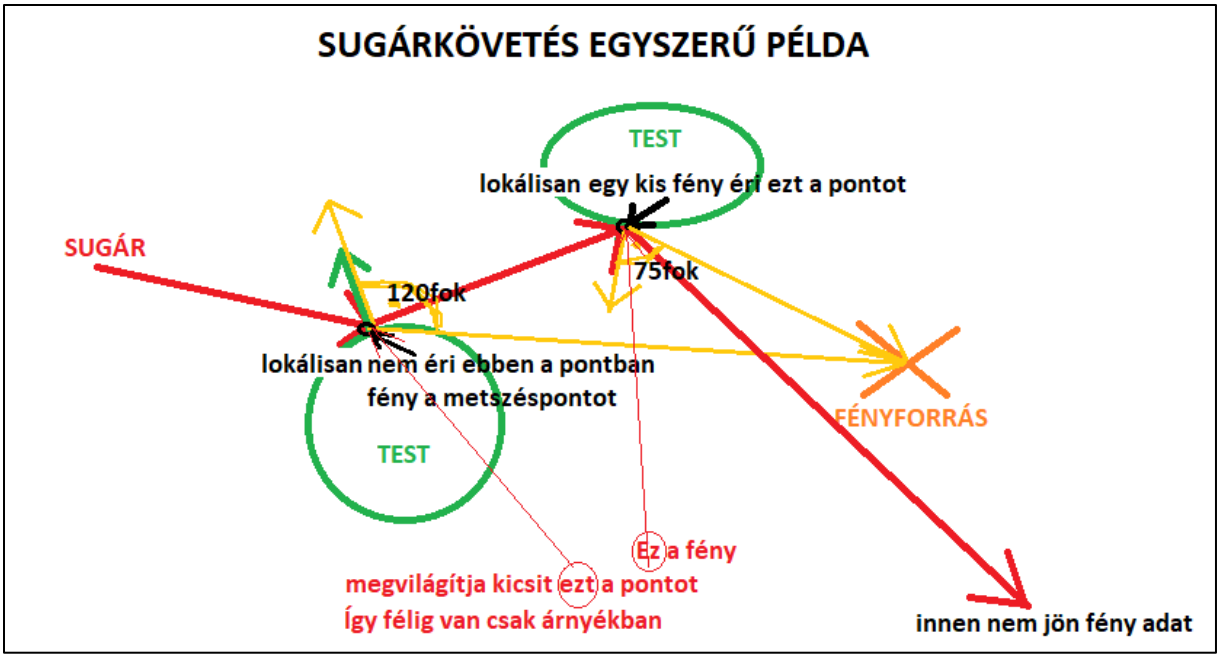
RayShader:

A ray shader eredménye egy szín. A klasszikus opengl2.0/direct3d9-nél a pixel színének kiszámítását a „pixel/fragment shader” nevű függvény végezte. Most ezt helyettesíti a „RayShader()”.

Régen csak a legközelebbi pixel pozícióját, és a fényforrásokat ismertük. Csak a fényforrásból érkező színnel lehetett egy pixel színét kiszámolni.

Sugárkövetésnél igaz, hogy a képernyőből induló sugarak és háromszögek metszéspontja ugyanúgy a képernyőhöz legközelebbi pontot adja eredményül. Szín számításkor ugyanúgy csak a fényforrások helyzetét vesszük csak számításba.

DE: sugárkövetésnél lehet folytatni a színszámítást.



8. ábra: sugárkövetés példa (csak tükröződés van benne, törés nincs) [saját termék]

A sugár-háromszög metszéspontban, tükör irányba és/vagy törési irányba újabb sugarakat lehet indítani, ami, ha elmetsz egy másik háromszöget, akkor azzal a metszésponttal szintén ki lehet a számítani a fényforrások helyzetéből a metszéspontot érő színt. Ezt a színinformációt ismerve, az eredeti képernyő pixel színét lehet módosítani. Így lehet például olyat csinálni, hogy:

Első sugár indításkor, és fényforrás pozíció szerint árnyékban van a pont, tehát fény nem éri ezt a pontot. De ha tükröződeési- törési- irányba újabb metszéspontot keresünk, lehet, hogy az újabb metszéspontot éri a fény, ami megvilágítja az eredeti, fényt nem érő pontot.

Tehát a fény most már tud pattogni, és olyan helyre is eljutni több pattogás közben, ami a kalsszikus opengl2.0/direct3d9 pixel shader-rel nem kiszámítható.

Az én megvalósításomban, a „RayShader()”-t is a programozó programozza. A RayShader függvény kap paraméterül egy „Hit *hits” ütközéspontokat tartalmazó listát, és egy sugarakat tartalmazó „Ray *rays” listát. Ezek a listák 2D-sak. Az első dimenzió a sugár hosszát mondja meg. Hányadjára tükröződik/törik egy pixelből indított sugár. A második dimenzióba több sugarat is tehetünk, több irányba folytathatjuk a sugárkövetést. A 2D-s tömb mérete [6][64]. tehát egy képernyőből induló sugár 6 hosszú lehet (első dimenzió), és lépésenként maximum 64 sugarat kezelhetek egyszerre (második dimenzió).

Ez a 2D-s tömb nem a legjobb megoldás, mert az 1. lépésben is lefoglalok a memóriában 64 sugárnak helyet, ami szinte biztos, hogy nincs kihasználva.
Azt az elméletet próbáltam követni, hogy: Ha minden lépésben 2 sugarat indítok (egyet tükröződési, egyet törési irányba), és minden sugár mindig ütközik háromszöggel, akkor a 6. lépésben, 2^6 = 64 különböző sugarat kell kezelnem. Tehát a 2D-s tömb (5. indexű) utolsó rekeszében kihasználom a maximum használható 64 sugarat. De az első vagy második lépésben valószínű, hogy nem kezelek 64 sugarat egyszerre.

A „8. ábra” azt mutatja, hogy egy pixel színének kiszámításához, 3 lépést használtam fel, és lépésenként 1 sugarat indítottam. Hogyis néz ez ki RayShader-ben? Paraméterként megkapom mindig a „hits”- és „rays” 2D-s tömböket. Ezeket így kell használni:

Első lépés: hits[0][0]-ba kerül a képernyő pixeléből kiinduló sugár, ezzel számolok. Ha ütközés van, akkor a „rays[1][0]”-ba helyezem a következő sugarat.

Második lépés: „hits[1][0]”-ban megkapom az előző lépésben, a „rays[1][0]”-ba elhelyezett sugár eredményét. Ha a „hits[1][0]” azt mondja hogy ütközés van, akkor a „rays[2][0]”-ba bele helyezem a következő sugarat.

Harmadik lépés: „hits[2][0]”-ban megkapom az előző lépésben, a „rays[2][0]”-ba elhelyezett sugár eredményét. Most a „hits[2][0]”, a kép alapján azt mondja, hogy nincs ütközés. Itt befejezem a sugár indításokat. Kiszámolom a „hits” 2D-s tömbben lévő ütközési pontokból és normal vektorokból, illetve a fényforrásból érkező színeket, összeadom őket, így kiszámoltam a pixel színét.

Ha a „RayShader”-ben **false** értékkel térek vissza, az azt jelenti, hogy nincs vége a pixel színének számításnak.

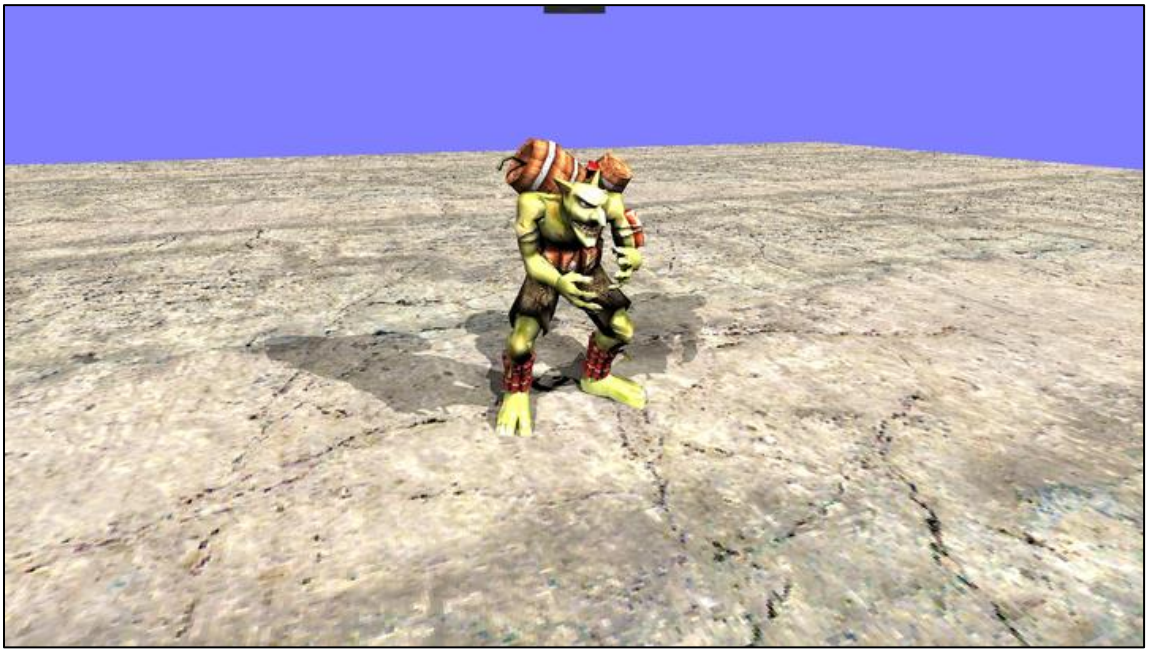
Így is fogalmazhatjuk: „új sugarat helyeztem a „Ray *rays” tömbbe, ha elmetsz háromszöget ez a sugár, akkor kérem a „Hit *hits” tömbben a metszéspontot. Majd hívódjon meg újra a RayShader() függvény”. Tehát a sugárkövetést folytatom.

Ha a „RayShader”-ben **true** értékkel térek vissza, az azt jelenti, hogy vége van a sugárkövetésnek.

Így is fogalmazhatjuk: „nem helyeztem új sugarat a „Ray *rays” tömbbe, kiszámoltam a „Hit *hits” adatokból az eredeti pixel színét, amit beírtam a paraméterként megkapott képernyő-textúrába”. A sugárkövetést befejezem ebben a pixelben.

7. Fények és árnyék számítása RayShader-ben:

Az alábbi képernyőkép (9. ábra) mutatja, hogy hogyan néz ki a RayShader eredménye, aminek a megírása a programozó feladata. Amit lejjebb bemutatok algoritmust, annak eredménye (9. ábra) ez a kép:



9. ábra: diffúz színek és árnyékok, RayShader-ben [saját termék]

Nulladik lépés: A képernyőképet törlöm. Jelen esetben ez a kék szín.

Első lépés: Megkapom RayShader-ben, a „hits[0][0]”-ban, hogy egy pixelben lévő sugár elmetsz-e egy háromszöget. Ha nem metsz el egy háromszöget sem, akkor befejezem a pixel színének számítását „return true” visszatérési értékkel. Ha van háromszög metszés, akkor az aktuális pixelt feketére színezem, mert ezt a pixelt még nem éri fény. A valóságban is így van ez. Illetve én három fényforrást hozok létre, amik messze vannak, a megvilágítandó objektumtól, így „irány fényforrás” hatást lehet elérni. Kiszámolom a három fényforrás pozícióból és az aktuális pixel metszéspontból, a három sugarat, amit bele helyezek a „rays[1][0]”, „rays[1][1]”, és „rays[1][2]”-be. Majd azt mondom a RayShader-nek, hogy „return false” (nincs vége a szín számításnak, kérem az 1.es rekeszbe tett sugarak metszéspontjait).

Második lépés: a „hits[1][0]”, „hits[1][1]” és „hits[1][2]” megmondja, hogy a három fényforrásból induló sugár metsz-e el háromszöget. Mi a fényforrás szemszögéből, a legközelebbi háromszög metszéspont. (Fontos: most egy pixel színét számolom) Ha nincs metszéspont, akkor „return true”-val befejezem a pixel színének számítását. Nem írok a képernyő textúrába semmit, tehát az a pixel, változatlan marad, ez a fényforrás, ezt a pixelt nem világítja meg (de lehet, hogy pl. a 2. vagy 3. fényforrás megvilágítja?).
Onnan lehet tudni hogy egy pixel metszéspontját éri-e fény, vagyis hogy nincs árnyékban, hogy a fényforrásból indított sugár, ugyan azt a metszéspontot adja eredményül, mint amit a képernyőből indított sugár talált metszéspontot.
Onnan tudom hogy a két pont különbözik-e egymástól, hogy a két pont távolsága túl nagy egymáshoz képest (a nagy távolság árnyékot jelent). Azokat a pixeleket, amiket fény ér, kiszámolom a diffúz színüket, mindhárom fényforrásra, összeadom őket, bele írom az új színt a képernyő textúra pixelébe. Majd (én) „return true”-t mondok, tehát befejezem az aktuális pixel színének számítását.
A fent leírt eljárás, a (9. ábra) képet adja eredményül.

„Hello World” példakód a VertexShader-re:

```
Vertex VertexShader(Vertex in, __global Matrix4x4 *in_Matrices)
{
    Vertex out;

    out = in;

    if (1 == in.numMatrices)
    {
       float3 v1 = Mult_Matrix4x4Float4(in_Matrices[in.matrixId1], ToFloat4(in.vx, in.vy, in.vz, 1.0f);
       out.vx = v1.x;
       out.vy = v1.y;
       out.vz = v1.z;

       float3 n1 = Mult_Matrix4x4Float4(in_Matrices[in.matrixId1], ToFloat4(in.nx, in.ny, in.nz, 0.0f);
       float3 n = normalize(n1);
       out.nx = n.x;
       out.ny = n.y;
       out.nz = n.z;
    }
    else if (2 == in.numMatrices)
    {
        ;
    }
    else if (3 == in.numMatrices)
    {
        ;
    }

    return out;
}
```

Ez a kód új pozícióba helyezi az „out.v” -t, és elforgatja az új irányba az „out.n” -t, egy mátrix segítségével.

„Hello World” példakód RayShader-re:

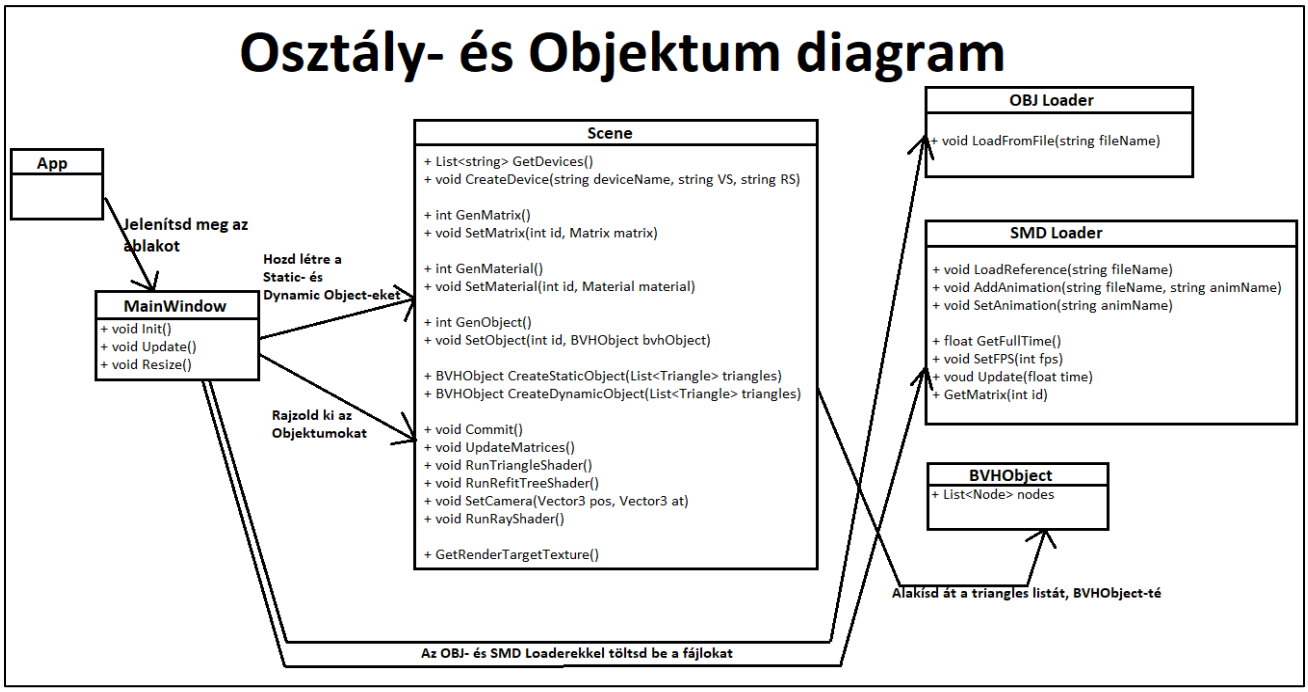
```
bool RayShader(Hits *hits, Rays *rays, __global Material *materials, __global unsigned char
*textureDatas, __global unsigned char *out, int in_Width, int in_Height, int pixelx, int pixely)
{
    if (hits->id == 0)
    {
        Hit hit = hits->hit[hits->id][0];
        if (hit.isCollision == 0) { return true; }

        Color textureColor = Tex2DDiffuse(materials, textureDatas, hit1.materialId, hit1.st);

        Color diffuseColor;
        diffuseColor.red   = float)textureColor.red;
        diffuseColor.green = float)textureColor.green;
        diffuseColor.blue  = float)textureColor.blue;
        diffuseColor.alpha = 255;

        WriteTexture(out, in_Width, in_Height, ToFloat2(pixelx, pixely), diffuseColor);

        return true;
    }

    return true;
}
```

Ez a kód, ha „id == 0”, akkor fut le.

Ha nincs ütközés háromszöggel, akkor „return true”, vége a sugárkövetésnek, nem módosítunk az aktuális pixel színén.

Ha van ütközés háromszöggel, akkor lekérdezzük a a textúra színét, amit elmetsz a sugár, majd ezt a színt bele írjuk a textúrába, és „return true” -val vége a sugárkövetésnek.

8. Osztály-, Objektum-, és Használati eset diagram:



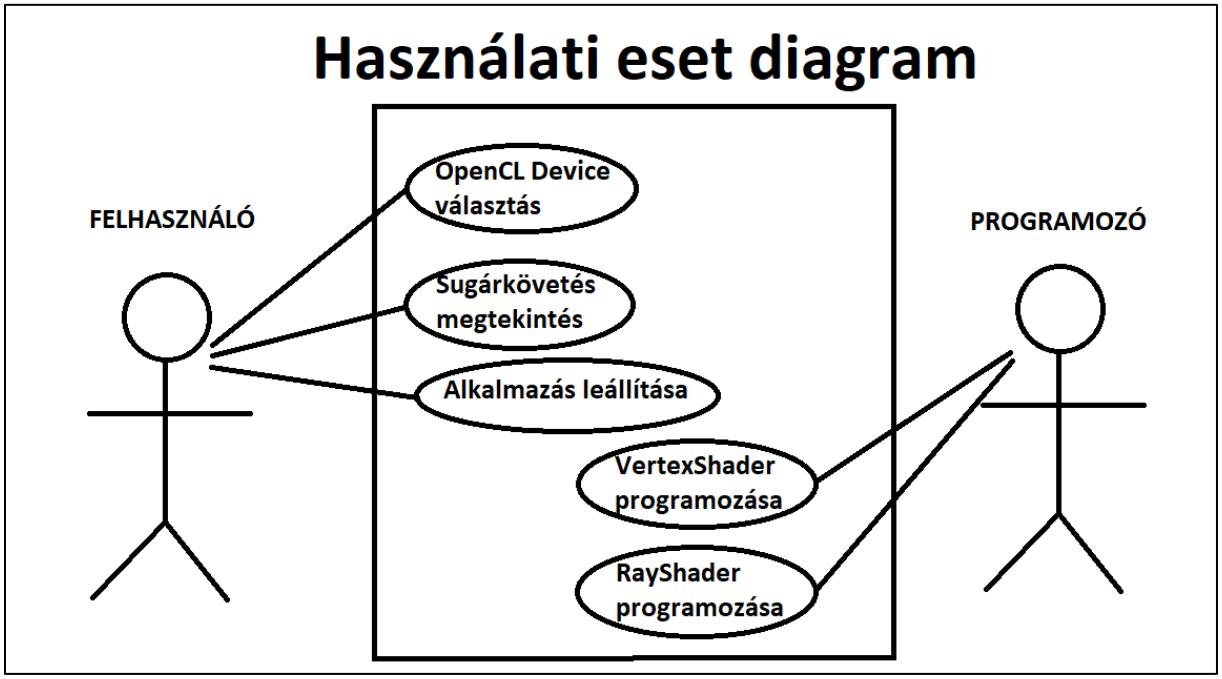
10. ábra: Oszály diagram és Objektum diagram[saját termék]

Ahogy az objektum diagram mutatja, a „MainWindow” „void Init()” függvénye:

- Létre hozza a „Scene” objektum segítségével az „OpenCL Device” -t.
- Betölti az „OBJLoader” és „SMDLoader” segítségével a „*.obj” és „*.smd” fájlokat.
- A betöltött objektumokat átadja a „Scene” -nek, ami betölti az objektumokat.

A „MainWindow” „void Update()” függvénye:

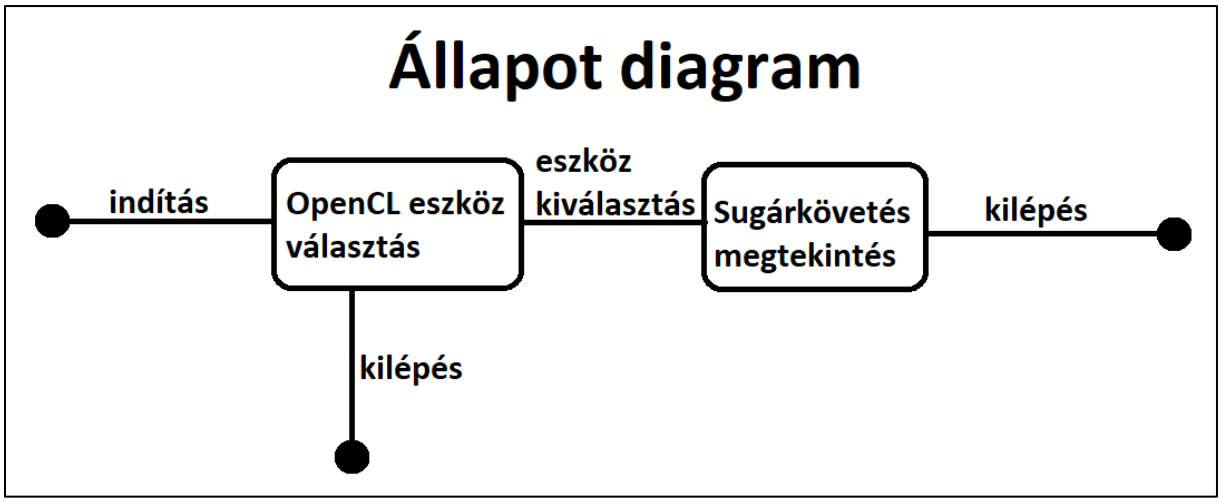
- Frissíti a mátrixokat a „Scene” objektum segítségével
- Meghívja a TriangleShader-t, RefitTreeShader-t.
- A „void SetCamera(…)” -val beállítja a néző pontot, ami a kezdő sugarakat létre hozza.
- Majd meghívja a RayShader-t, ami kiszámolja a végső színt, amit a sugarak elmetszenek.



11. ábra: Használati eset diagram[saját termék]

Két ember használhatja a programot:

- **Programozó:** Ő írja meg a TriangleShader-t és a RayShader-t.
- **Felhasználó:** Ő választ „OpenCL device” -t, megtekinti a képet, majd bezárja az alkalmazást.



12. ábra: Állapot diagram[saját termék]

Az alkalmazás állapotai:

- Az alkalmazás indítása után bezárhatjuk, vagy „OpenCL device”-t választahunk.
- Ha device-t választottunk, akkor megtekinthetjük a képet.
- Majd bezárhatjuk az alkalmazást.

9. Továbbfejlesztési lehetőségek:

Több továbbfejlesztési lehetőség is van:

Első: Az alkalmazás, amikor háromszög-sugár metszéspontot keres, igaz hogy egy objektum egy BVH fa, abban gyors a keresés. De ha sok objektumom van, pl. 100 darab, jelen esetben a program egy „for” ciklussal bejárja mind a pl. 100 objektumot, legközelebbi metszéspontot keresve. Ez nem optimális. Az objektumokat is rendezni kéne a térben. Igaz, ezek az objektumok elmozdulhatnak, ilyenkor „frissíteni” kéne az elrendezést. Ezzel nem foglalkoztam.

Második: A képernyőből induló első metszéspont kiszámítását, nem csak sugárkövetéssel lehet megkapni (ami gépigényes), hanem „OpenGL2.0” vagy „Direct3D9”-el is kiszámíthatók a metszéspontok. Az OpenCL nem rendelkezik „raszterizáló parancsal”, míg az opengl vagy direct3d rendelkezik ilyennel. A raszterizálás azt jelenti, hogy ha van egy háromszögem, aminek ismerem a három csúcs adatait, akkor a videokártya képes kiszámolni a háromszögen belüli pixelek adatait a három csúcsot figyelembe véve. Erre egy külön áramkör áll rendelkezésre a videokártyában. Úgy tudom, ez az áramkör OpenCL-ben, nem elérhető. Ha opengl-t vagy direct3d-t használnék a pixelekből indított sugarak helyett, az akár 100x gyorsabban eredményül adná az első lépésben, a kamerához legközelebbi metszéspontokat. Igaz ilyenkor shader-ben (GLSL, HLSL), kell ügyeskedni.

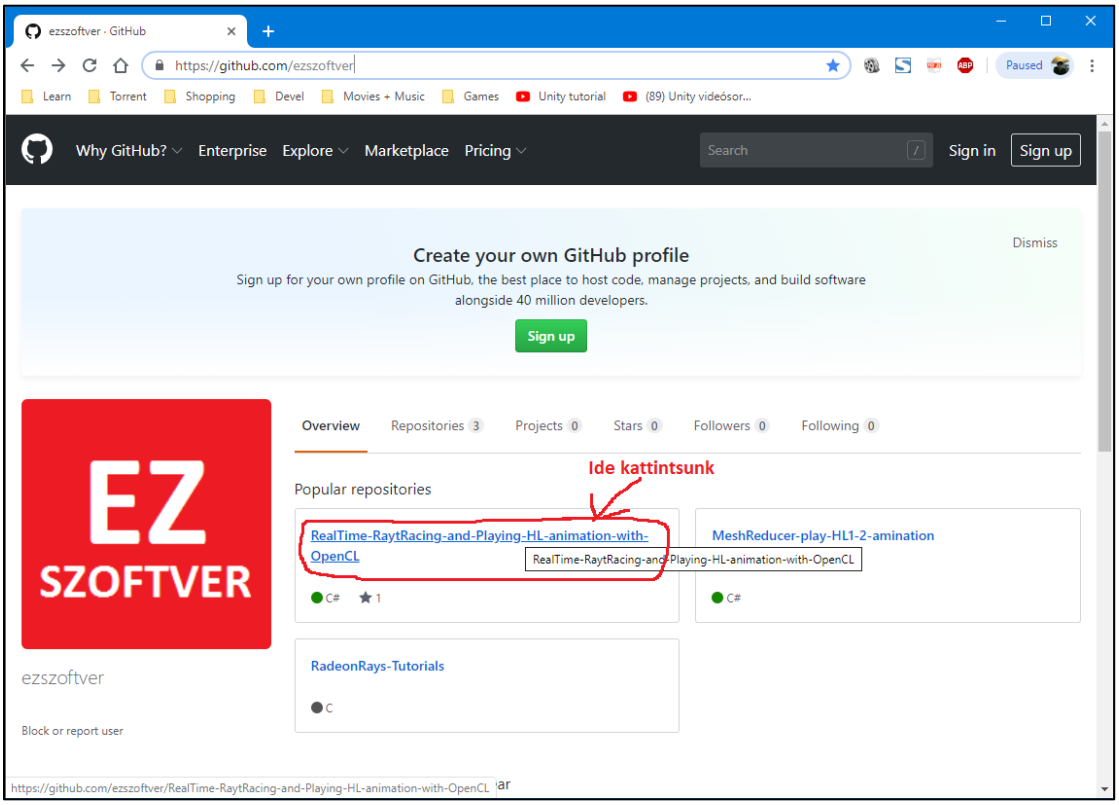
Harmadik: Ez az OpenCL-es megoldás, amit bemutattam, elavult. Manapság olyan videokártyákat lehet kapni (pl. Nvidia RTX), amik a háromszög-félegyenes metszéspontszámítást elektronikával (chip-el) oldja meg, azaz 1 utasítást kell csak kiadni. Az én megoldásom, a háromszög-sugár metszéspont számításához, kb. 20-30 utasítást használ (sík-pont távolság, sík-sugár távolság, háromszögen belül van-e a metszéspont), ez lassú.

Negyedik: Ha már sugárkövetés, kihasználhatnám az előnyeit. Indíthatnék sugarakat tükröződési- törési irányba, a diffúz szín kiszámításához. Most csak a fényforrásokból indítottam sugarat egy pixel színének kiszámításához.

10. Felhasználói kézikönyv:

10.1. Letöltés:

Az alkalmazás és forráskód letöltését mutatom be. Először töltsük be ezt a weboldalt: https://github.com/ezszoftver

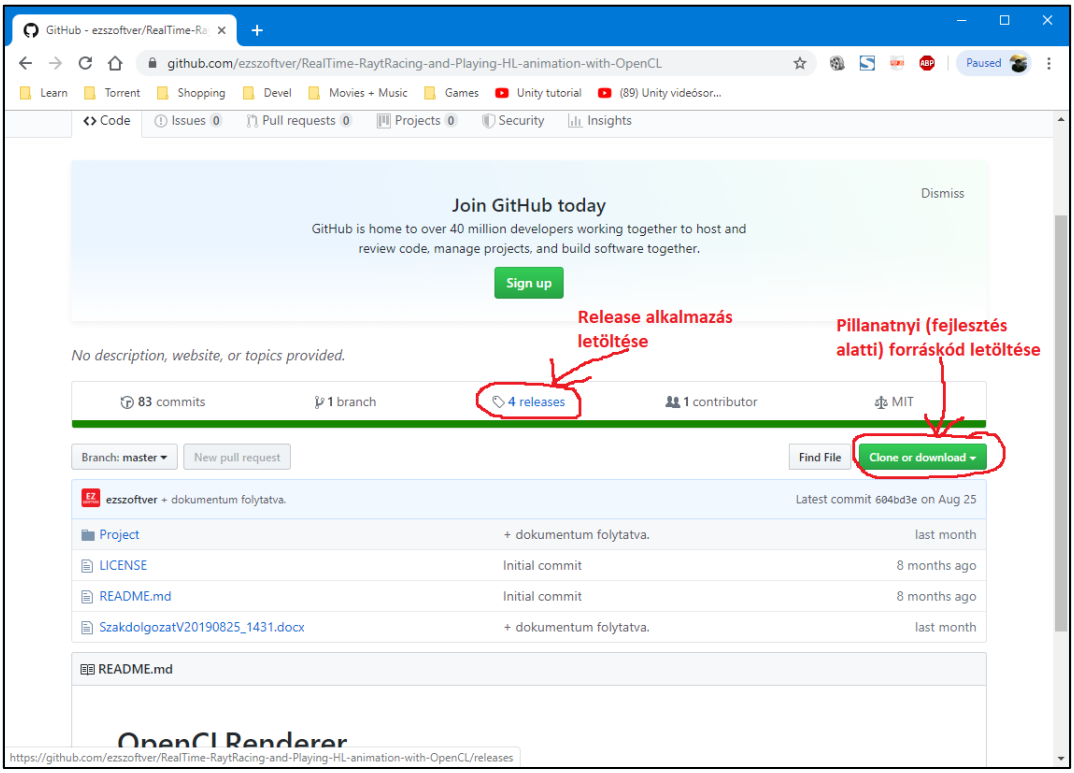


ábra 13 github.com/ezszoftver [saját termék]

Majd kattintsunk a „RealTime-RayTracing” linkre.

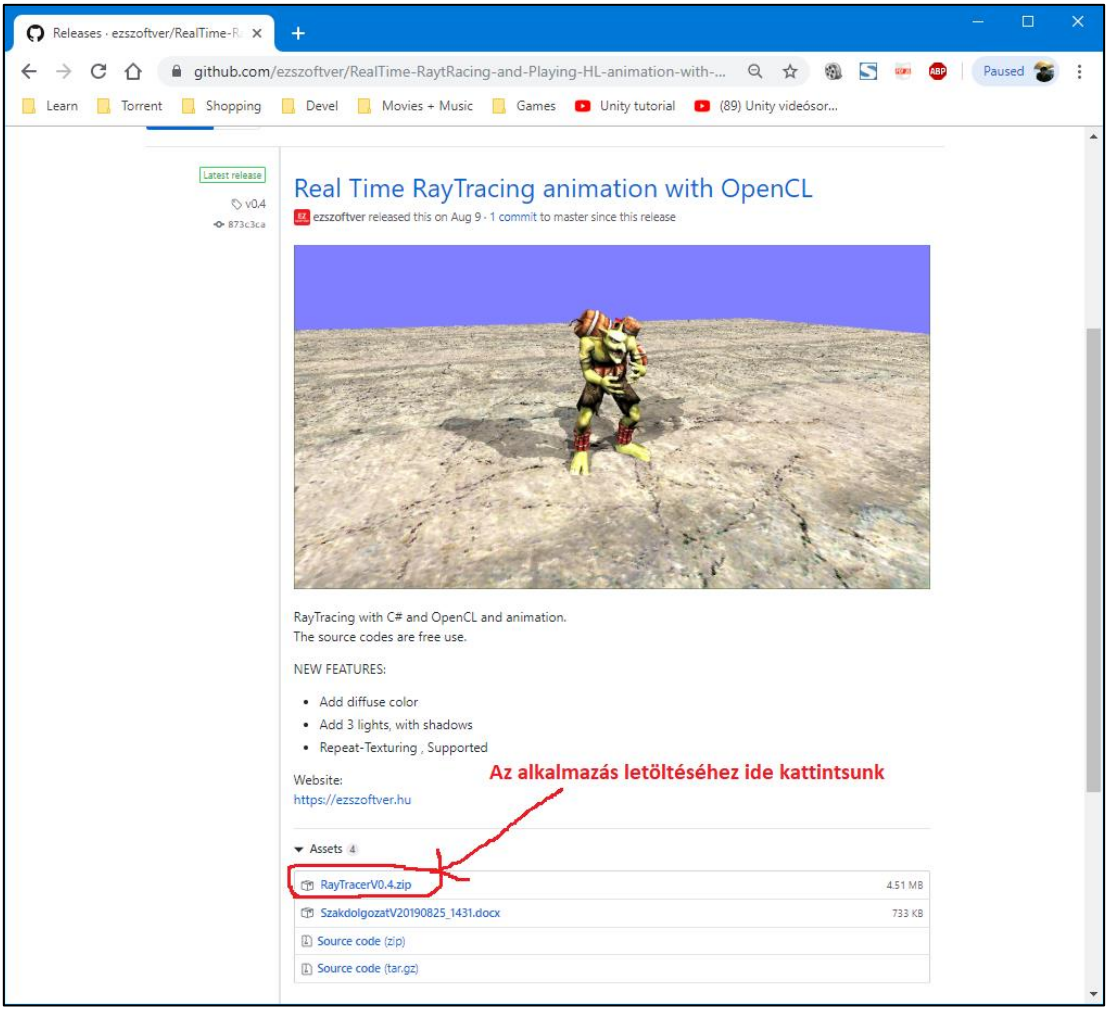
Ha a forráskódot akarjuk letölteni, akkor kattintsunk a „download” gombra. Ez a forráskód a pillanatnyi, nem kiadásra szánt forráskód.

Ha a Kiadásra szánt forráskódot és alkalmazást szeretnénk letölteni, akkor kattintsunk a „Releases” linkre.



ábra 14: forráskód vagy Release letöltése [saját termék]

Kattintsunk most a „Releases” linkre.



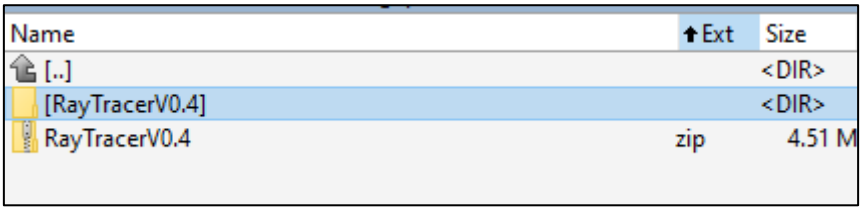
ábra 15: Itt lehet letölteni az alkalmazást [saját termék]

Majd az alkalmazás letöltéséhez kattintsunk a „RayTracerV0.4.zip” fájlra.

Ezzel letöltöttük az alkalmazást. Itt megtalálható az alkalmazás forráskódja is. Ez nem ugyan az, mint a pillanatnyi fejlesztés alatti forráskód.

10.2. Telepítés:

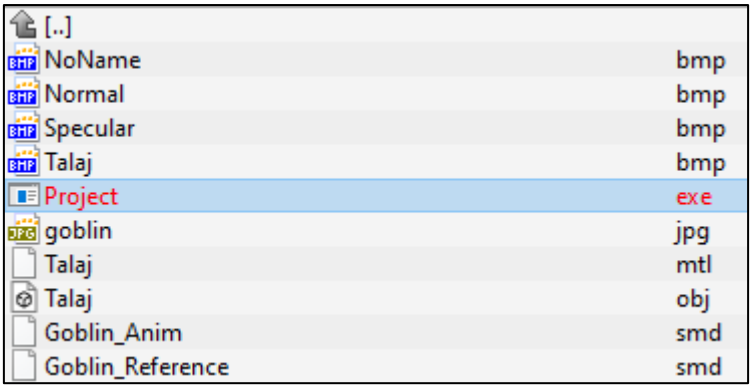
Csomagoljuk ki a letöltött .zip fájlt.



ábra 16: .zip fájl, kicsomagolva [saját termék]

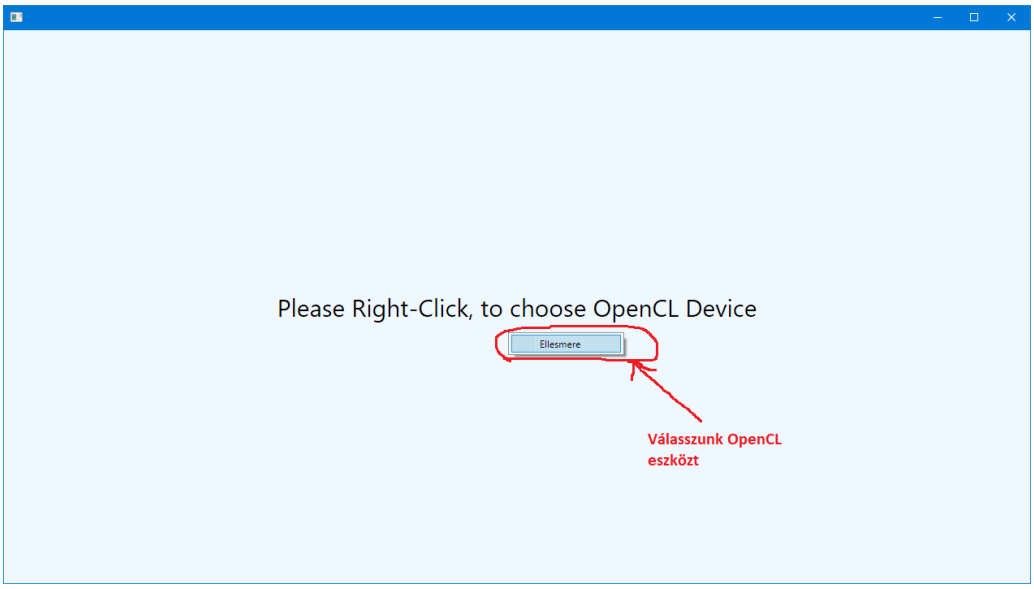
10.3. A program használata:

Indítsuk el a kitömörített mappában lévő „Project.exe” fájlt.



ábra 17: Alkalmazás elindítása [saját termék]

Az alábbi ablak fogad minket:

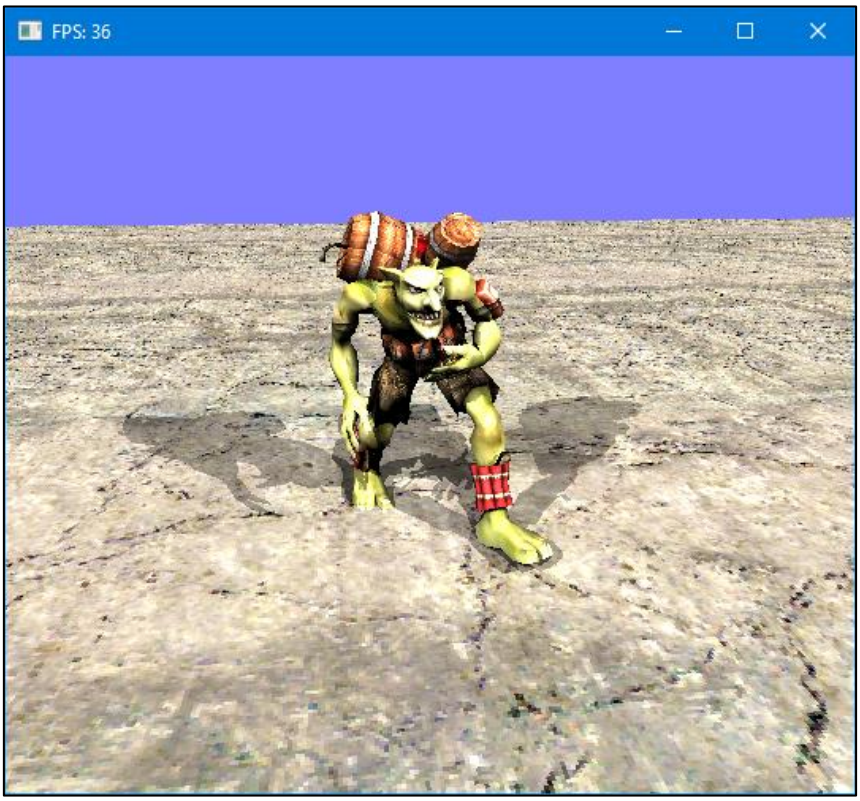


Az angol szöveg jelentése, „kattints jobb egérgombbal, az OpenCL eszköz kiválasztásához”.

Tegyünk így, válasszunk egy eszközt.

Fontos: Jelenleg OpenCL eszköz, csak GPU (vagyis videokártya) lehet. „CPU”, vagy „Accelerator” OpenCL eszköz nem kerül felsorolásra a helyi menüben.

Ha kiválasztottuk az eszközt, akkor elindul a RealTime Sugárkövetés példaprogram. Átméretezhető az ablak. Látható a fejlécben, hogy hány új kép készül egy másodperc alatt (FPS). Az alkalmazás bezárásához kattintsunk a jobb felső sarokban található „X” -re.



ábra 18: futó alkalmazás [saját termék]

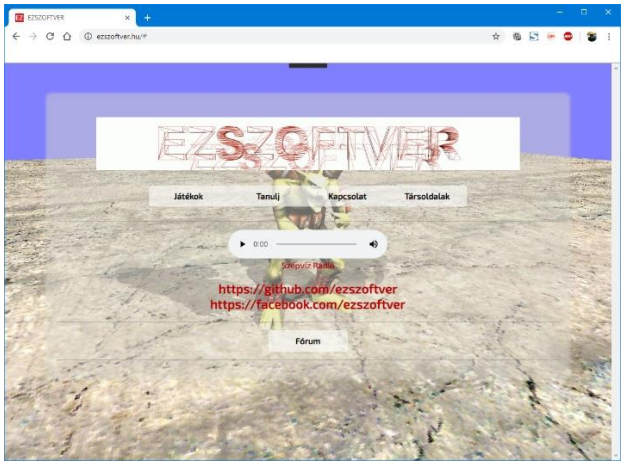
11. Irodalomjegyzék:

1. Szirmai-Kalos László, Csonka György, Csonka Ferenc: *Háromdimenzós grafika animáció és játékfejlesztés*, Computerbooks, 2005. pp. 486, ISBN: 9636183031.
2. DirectX12 RayTracing tutorials: https://developer.nvidia.com/rtx/raytracing, látogatva: 2019.09.27
3. RadeonRays SDK: https://gpuopen.com/gaming-product/radeon-rays/, GitHub: https://github.com/GPUOpen-LibrariesAndSDKs/RadeonRays_SDK, látogatva: 2019.09.27
4. Erdős Zoltán honlapja, utolsó módosítás: 2019.09.27., https://ezszoftver.hu/, látogatva: 2019.09.27.
5. Erdős Zoltán: EZSzoftver lapja a GitHubon: http://github.com/ezszoftver, látogatva: 2019.09.27
6. Erdős Zoltán: RealTime RayTracing, with Animation alkalmazás forráskódja, https://github.com/ezszoftver/RealTime-RaytRacing-and-Playing-HL-animation-with-OpenCL/releases, látogatva: 2019.09.27
7. Erdős Zoltán: 3D-s animációt lejátszó és objektum-poligonszámot csökkentő alkalmazás forráskódja, https://github.com/ezszoftver/MeshReducer-play-HL1-2-amination/releases, látogatva: 2019.09.27

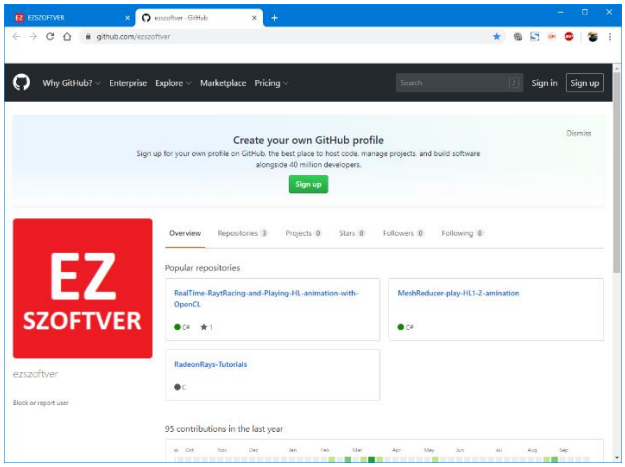
12. Ábrajegyzék:

13. Mellékletek:

Saját készítésű ingyenes játékaimat és azok forráskódját saját weboldalamon, a https://ezszoftver.hu/-n osztom meg.



Saját készítésű forráskódok: csontanimáció, sugárkövetés + dokumentumok a https://github.com/ezszoftver/ -n osztom meg



Facebook fórum: https://facebook.com/ezszoftver/ -n érhető el.