Realtime 3D

Inleiding

Korte geschiedenis van 3D engines

Jaren ’80:

- ✓ beperkte hardware
- ✓ geen engines → voor elke game werd alle code zelf geschreven
- ✓ later: snelle evolutie van arcade-hardware + in-house game engines

Jaren ’90 en ‘00

- ✓ Eerste 3D games: Doom en Quake
- ✓ Verkoop licenses
- ✓ Licensing model: Quake III & Unreal
- ✓ Engine ↔ Content

Nu

- ✓ Toegankelijker en goedkoper → aantrekkelijk voor independent devs
- ✓ Higher level programmeertalen
- ✓ Cross-platform
- ✓ o.a. Unity, Unreal Engine, CryEngine, Source Engine, RageEngine, Blender, JMonkey3D

Wat is een 3D engine

- developer focus = highlevel
- een framework (verzameling van componenten/bouwblokken)
  - ✓ **scripting** (game loop; logica van de game/applicatie)
    - → talen: C++, C#, Python, Java, Javascript, Lua, …
    - → IDE’s: MonoDevelop, Visual Studio, Eclipse, Notepad
  - ✓ **level-editor** (het creeren en aanpassen van levels)
  - ✓ **input** (interactiviteit, o.a. keyboard, muis, joystick, gamepad, touch, leapmotion, kinect)
  - ✓ **graphics**
    - → o.a. assets importeren (o.a. 3D models, textures), shaders, materials, lighting & shadows, particles, post processing effects, animation
  - ✓ **physics**
    - → o.a. zwaartekracht en andere krachten, collision detection, fluid dynamics, ragdolls
    - → physics engines: Havok, PhysX, ODE, Box2D
  - ✓ **audio** (3D positional sound (volume, reverb, distortion), sound effects & sound input)
  - ✓ **network**
    - → high-level network programming, geen zorgen maken over zaken als TCP/UDP
    - → cloud-based oplossingen zoals photon, Google Play Game Services, etc.
  - ✓ **AI & pathfinding** (nabootsen van intelligentie)
  - ✓ **GUI** (Graphical User Interface)
    - → o.a. HUD, knoppen, menu’s
    - → vaak niet out of the box → plugin-alternatieven beschikbaar
  - ✓ **build** (creeren van executables)
    - → exporteren naar verschillende platformen
    - → optimalisaties per platform

Unity

een cross-platform game engine die ontwikkeld werd door Unity Technologies.

- lage leercurve
- veel features
- snelle resultaten
- programmeertaal is C# (lijkt op Java)
- meegeleverde IDE is Monodevelop
-
- is **component based**:
  - ✓ een project bestaat uit GameObjects
    - → component: voegt functionaliteit toe aan GameObjects
    - → GameObject: een container voor componenten
      - ↳ elk GameObject heeft ten minste een Transform-component (positie/rotatie/schaal)
  - ✓ voordeel: flexibel!
  - ✓ zelf maken: nieuwe C#-klasse maken en laten overerven van MonoBehaviour
    - → Heeft standaard 2 methodes:
      - Start (wordt eenmalig uitgevoerd bij initialisatie)
      - Update (wordt iedere frame uitgevoerd)

Componenten

- **Transform**: positie, rotatie en schaal van het 3D-object
- **Mesh Filter**: bepaalt de vorm van het 3D-object
  - → kan verwijzen naar een 3D-model uit onze assets of een standaard vorm zoals bv. “Cube”.
- **Box Collider**: definieert een zogenaamde *bounding box* om te bepalen wanneer een 3D-object kruist met een andere object, o.a. nuttig voor physics.
- **Mesh Renderer**: zorgt ervoor dat ons 3D-object ook effectief op het scherm gerenderd wordt
- **Material**: bepaalt de kleur en enkele basiseigenschappen m.b.t. uiterlijk en belichting

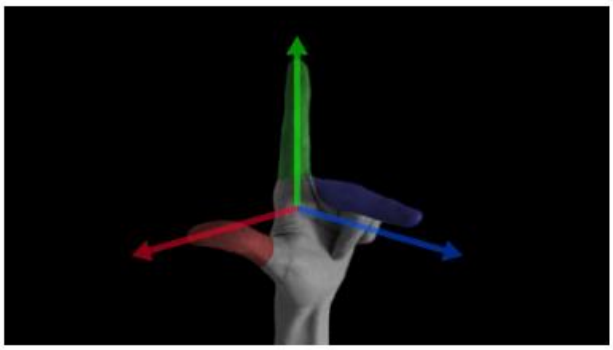
Mesh

Coördinatensysteem

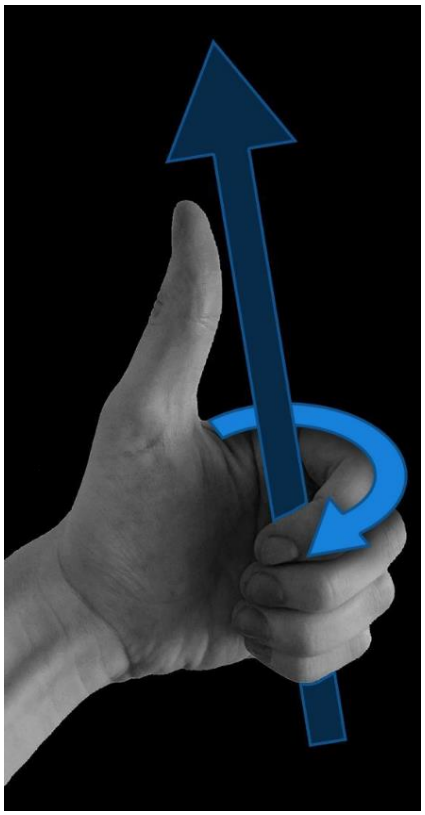
3 richtingen:

- ✓ Links – Rechts (**X = duim**)
- ✓ Boven – Onder (**Y = wijsvinger**)
- ✓ Voor – Achter (**Z = middenvinger**)

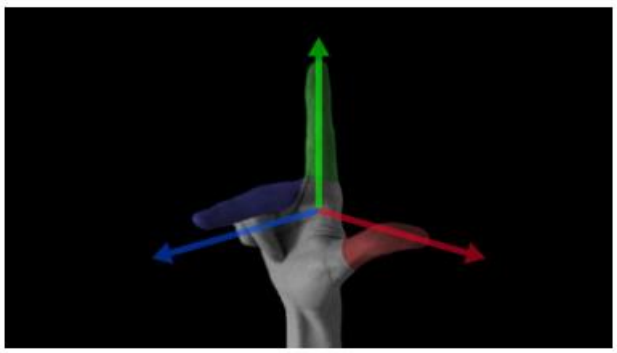
Linkshandig



Rotatie



Rechtshandig



Anatomie van een mesh

mesh (*een maas*):

- → in het echt: een maas (een barrière gemaakt van verbonden strengen van metaal, vezels of andere flexibele/kneedbare materialen)
- → in 3D computer graphics: een verzameling van vertices, edges en faces die de vorm van een veelhoekig object definiëren

vertex: een punt met een bepaalde positie in de 3D-ruimte (X, Y, Z)

- → heeft geen dikte, breedte of hoogte
- → is niet hetzelfde als vector → een vertex kan extra eigenschappen hebben (kleur, normaalvector, raaklijnvector, UV-coördinaten)

wireframe: de weergave van de verbindingen tussen alle vertices

edge: een verbinding tussen 2 vertices

- → vormt de randen van een vlak (*face*)

triangle: een gesloten aaneenschakeling van 3 edges in hetzelfde vlak

- → is coplanair (*alle edges liggen op één vlak*)
- → de meest eenvoudig mogelijke 3D-vorm

quad: een gesloten aaneenschakeling van 4 edges

- → niet noodzakelijk coplanair (*alle edges liggen op één vlak*)

face/polygon/ngon: een gesloten aaneenschakeling van minimum 3 edges

triangulatie: het omvormen van alle polygonen naar triangles

back-face culling: een techniek om niet-zichtbare polygonen niet te tekenen

- → afhankelijk van de richting van de triangulatie en de positie van de camera

Vectoren

vector: een geometrische waarde met een lengte en een richting

- → wordt gevisualiseerd als een pijl van de oorsprong (0,0,0) naar een bepaald punt (x,y,z)
- → de positie is niet van belang
- → lengte berekenen d.m.v. de stelling van Pythagoras → $\sqrt{(x^2+y^2)}$
- → richting berekenen d.m.v. goniometrie (tangens) → $\tan(\alpha) = y / x$

eenheidsvector: genormeerde vector waarvan de norm 1 is

- → bekomen door de posities van 2 obj. van elkaar af te trekken en te delen door de lengte v.d. vector

Normaalvectoren

normaalvector: een vector die loodrecht staat op een vlak

- → belangrijk om lichtinval op vlakken te kunnen berekenen
- → bepaalt de hoek van de lichtbron en van de kijker t.o.v. het vlak

eenheidsnormaalvector: een vector met de een richting van een normaalvector en lengte 1

Hard/soft edges

soft edge: meerdere vlakken delen dezelfde vertices (*shared vertices*)
- → 1 normaalvector per hoek
- → goed voor ronde vormen, niet voor hoekige
- → de vlakken worden belicht alsof er maar 1 vlak zou zijn

hard edge: vertices worden niet gedeeld door meerdere vlakken (*duplicate vertices*)
- → 1 vertex en 1 normaalvector per aangrenzend vlak
- → Er is een duidelijke scheiding van belichting tussen de 2 vlakken

Meshmanipulatie

Posities van de vertices in real-time wijzigen is erg CPU-intensief
- → vaak beter om shaders te gebruiken

procedurele generatie: het genereren van data/content met behulp van een algoritme

random procedurele generatie: volledig willekeurige generatie van data

seeded procedurele generatie: de data wordt gegenereerd op basis van een seed
- → seed: een random gegenereerd getal waarop men zich baseert om de data te genereren
- → elke keer je dezelfde seed gebruikt, krijg je dezelfde data

Transformaties & Physics

Transformaties

Transform-component: het assenstelsel van een GameObject
- → Omvat de positie, rotatie en schaal
- → Elke spelwereld heeft een default assenstelsel met oorsprong (0,0,0), rotatie (0,0,0) en schaal (1,1,1)

Hoeken van Euler: beschrijven de rotatie als een samenstelling van drie rotaties om de coördinaatassen
- → Roteren rond de x, y en/of z-as
- → Rotatie van 0 – 360°
- → Erg goede uitleg van Eulerhoeken en Gimball locks: https://youtu.be/zc8b2Jo7mno

Gimbal lock: een probleem dat optreedt bij hoeken van Euler, waarbij 2 van de 3 rotatieassen op hetzelfde vlak komen te liggen, en daardoor een bepaalde rotatieas *gelockt* wordt (er dus niet meer direct rond die as gedraaid kan worden)

Quaternions: een alternatief voor hoeken van Euler, om rotaties voor te stellen
- → Heeft naast **x**, **y** en **z** een vierde waarde: **w**
- → Voordelen:
  - ✓ geen Gimbal locks
  - ✓ vlotte, directe en consistente interpolatie (tegenover Eulerhoeken)
  - ✓ eenvoudig om berekeningen mee te doen

Colliders

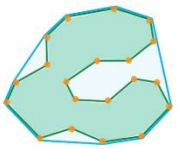
collision detection: berekenen of 2 of meer objecten elkaar raken
- → wiskundige raakpunten bepalen op basis van de vorm van objecten
- → doel: objecten op elkaar te laten reageren (bv. botsen)
- → twee fases:
    1. broad phase: bekijken of er een mogelijke collision is
        - → niet gedetailleerd
        - → om te vermijden dat er uitgebreide berekeningen gebeuren als de twee objecten niet eens in de buurt van mekaar liggen
    2. narrow phase: de effectieve, precieze collisie berekenen

collider: een geometrische vorm die gebruikt wordt om collision detection te berekenen tussen objecten

primitive colliders: colliders op basis van eenvoudige geometrische figuren (o.a. box, sphere, capsule)

compound colliders: een samenstelling van *primitive colliders* om meer complexe vormen te dekken

mesh colliders: de volledige wireframe van de mesh wordt gebruikt om de collision te testen
- → 2 soorten:
    - ↳ bolle mesh colliders (*convex*, vereisen het minste rekenkracht)
    - ↳ holle mesh colliders (*concave*)
- → convex hull: holle objecten sneller berekenen → omhullen in een bolle vorm (vereenvoudigde weergave, dus kan zorgen voor ongewenste effecten)
- → convex decomposition: opdelen in meerdere bolle vormen → nauwkeuriger



simplified mesh colliders: een vereenvoudigde versie van de mesh wordt gebruikt om de collision te testen

Physics

physics: simulatie van de wetten van de fysica
- → vereenvoudiging van de werkelijkheid

rigid body: een hard, niet vervormbaar object
- → er kunnen krachten op uitgeoefend worden
- → kunnen met elkaar botsen
- → gemaakt van een fysisch materiaal

Krachten

friction force (frictie): kracht die ontstaat wanneer 2 objecten langs elkaar schuiven
- → hoeveelheid wrijving hangt af van de ruwheid van de oppervlakken
- → zorgt voor vertraging → brengt bewegende objecten tot stilstand
- → aanpassen in Unity door een Physic Material te creëren en toe te wijzen aan een collider component van een GameObject

static friction force: de wrijvingskracht tussen 2 stilstaande objecten
- → deze kracht moet overwonnen worden om een object in beweging te krijgen

dynamic friction force: de wrijvingskracht tussen 2 objecten, waarvan er minstents 1 beweegt
- → deze kracht moet overwonnen worden om een object in beweging te houden
- → kleiner dan de static friction force

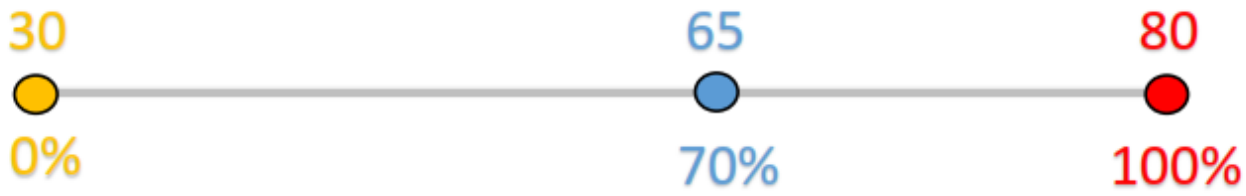
Animation

animatie: de illusie van beweging door het na elkaar afspelen van verschillende stilstaande beelden, zogenaamde frames

Interpolatie

interpolatie: de onbekende waarde bepalen tussen 2 gekende waardes, op basis van een percentage

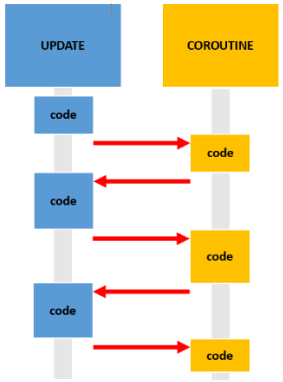
lerp (*linear interpolation*): elke frame verplaatst het object een bepaald percentage van de volledige afstand



Coroutines

coroutine: een IEnumerator die toelaat om code te schrijven buiten de Update-methode, die ook elke frame wordt uitgevoerd

→ laat toe iteratiestructuren te gebruiken die elke frame gepauzeerd worden, zodat de volgende frame berekend kan worden (*cooperative multitasking*)



cooperative multitasking: het uitvoeren van code wordt afgewisseld tussen verschillende processen (routines), om de Update-methode niet te zwaar te belasten en de framerate hoog te houden

Tweening

tweening (*in between*): automatisch animeren tussen twee waarden.

Model animations (Mecanim)

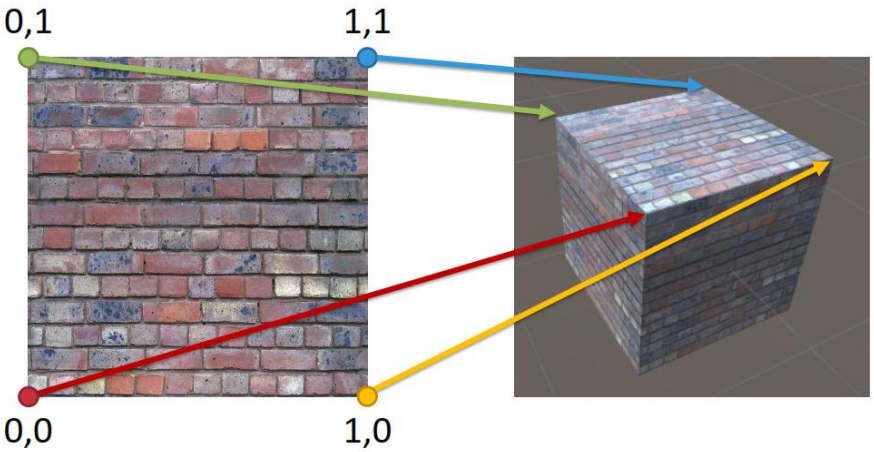
in place motion: de animatie verplaatst het object niet, m.a.w. het object blijft *in place*

root motion: de verplaatsing (*translate*) gebeurt door de animatie zelf

Mecanim: een animatiesysteem meegeleverd met Unity

UV-mapping

UV-mapping: 2D textures mappen op een 3D-object op basis van vertices



Textures

POT-texture: een texture waarvan de resolutie vierkantig en een macht van twee is

→ 2x2, 4x4, 8x8, 16x16, 32x32, 64x64, 128x128, 256x256, 512x512, 1024x1024, 2056x2056, 4096x4096

NPOT-texture: een texture van eender welk formaat

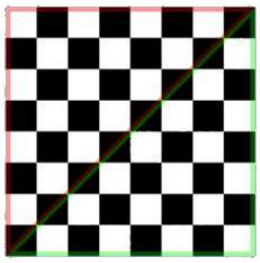
→ minder optimalisatie → minder performant

→ niet ondersteund door oudere hardware

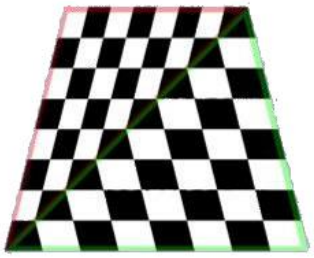
affine texture mapping: coördinaten worden lineair geïnterpoleerd over een vlak, per triangle

perspective correct texture mapping: coördinaten worden berekend t.o.v. de kijkhoek

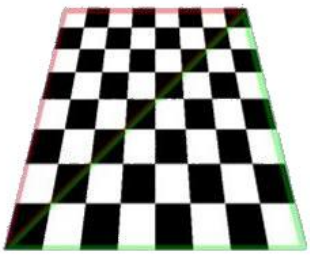
→ trager, maar correcter



flat mapping



affine mapping



correct mapping

Vertex colors

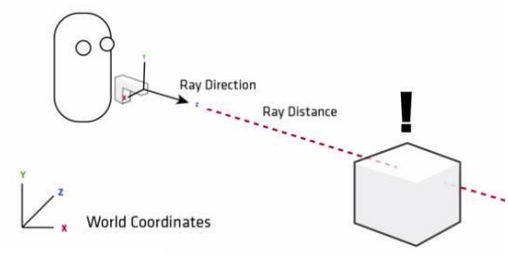
Iedere vertex heeft één kleur, maar kleuren kunnen worden geïnterpoleerd tussen vertices

Raycasting

raycasting: een straal tekenen vanuit een bepaald punt, in een bepaalde richting

→ met als doel een raakpunt tussen en lijn en een vlak/object te bepalen

→ m.b.v. een vector, het bereik is de lengte van de vector



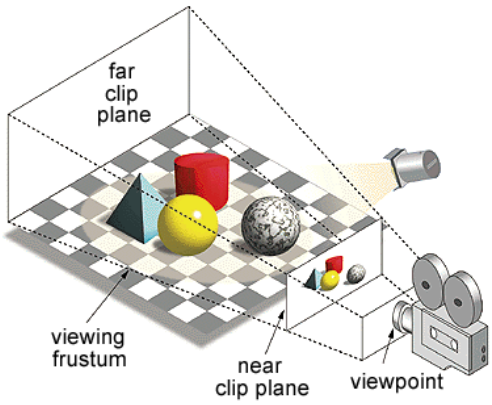
Camera

viewpoint: het standpunt van de camera

viewing frustrum: het deel van de wereld die op beeld zichtbaar is
- → alles tussen de near en far clipping pane
- → zelfde als de *field of view* van de gewone camera

near clipping plane: alles wat dichter is bij de viewpoint dan de near clip plane, wordt niet getoond

far clipping plane: alles wat verder is dan de far clip plane, wordt niet getoond



raytracing: een 3D-scene wordt *gefotografeerd*, met als doel een 2D afbeelding te verkrijgen.
- → het 2D-beeld wordt pixel per pixel opgebouwd
- → minder geschikt voor realtime 3D

Model selection & performance

Eigenschappen van 3D-modellen die de performance beïnvloeden

- aantal vertices
- hard/soft edges
- aantal triangles
  - → mobiel: best tussen 300 – 1.500
  - → low-end: best tussen 500 – 20.000
  - → high-end best tussen 20.000 – 100.000
  - → next-gen: best tussen 100.000 – 500.000
- aantal materials
- grootte/kwaliteit van textures
- LOD (level of detail)
- Shaders

CPU ↔ GPU

CPU: doet complexe, eenvoudige berekeningen relatief traag
- → berekent o.a. game logic, lichtinval, voorbereiding van shaders, communicatie naar GPU
- → aantal objecten is belangrijk, aantal triangles minder

GPU: doet meerdere eenvoudige berekeningen tegelijk en snel
- → ieder object wordt naar de GPU gestuurd
- → meerdere malen per material en per real-time licht

Performantie

draw calls: een vraag van de engine naar de graphics API (bv. OpenGL, Direct3D) om een object te renderen
- → aantal draw calls = aantal objecten die gerenderd worden (zo laag mogelijk houden)

draw call batching: het aantal draw calls verminderen door
- → niet-bewegende objecten samen te voegen tot één grote mesh (static batching)
- → bewegende meshes die klein genoeg zijn transformeren op de CPU, en gelijkaardige resultaten combineren tot één grote mesh (dynamic batching)
- → objecten moeten hetzelfde material hebben

LOD (*level of detail*): efficiënter renderen door het verlagen van de kwaliteit van objecten door vertextransformaties, als het object ver van de camera is, van lagere prioriteit is, etc.
- → verschillende versies van een model worden voorzien, met verschillende *levels of detail*

object pooling: een techniek (of design pattern) waarbij een aantal objecten geïnitialiseerd worden buiten het zicht van de camera om deze daarna te kunnen gebruiken wanneer ze nodig zijn
- → een nieuw object moet zo niet telkens gecreëerd en vernietigd worden
- → heel wat rekenkracht wordt uitgespaard

culling: een techniek die ervoor zorgt dat objecten die buiten het gezichtsveld van de camera liggen niet gerenderd worden
- → zorgt voor een lagere GPU-belasting
- → bv.

frustrum culling: het weglaten van objecten die zich niet in het frustrum van de camera bevinden
- → wordt automatisch gedaan door Unity

occlusion culling: het weglkaten van objecten die niet zichtbaar zijn doordat één of meerdere andere objecten in de weg staan
- → moet manueel geactiveerd worden in Unity door een occlusion map te *baken*

mipmapping: kleinere resolutie textures gebruiken voor kleinere triangles
- → minder data om te versturen naar de GPU

Normal mapping & lighting

Lighting

licht:

- → in het echt: een combinatie van deeltjes (*photons*) en golven (*waves*)
- → in 3D computer graphics: rays; vectoren met een richting en sterkte

ambient lighting: het licht komt gelijkmatig uit alle richtingen (omgevingslicht)

- → er is geen directe lichtbron

diffuse lighting: het object weerkaatst het licht van één of meerdere lichtbronnen in verschillende richtingen

- → bij ruwe oppervlakken

specular lighting: het object weerkaatst het licht van één of meerdere lichtbronnen in één richting

- → bij gladde oppervlakken
- → geeft een glazend effect

Soorten lichtbronnen

directional light: lichtstralen gaan maar in één richting, over de hele scène

- → de positie van de lichtbron is niet belangrijk, enkel de rotatie
- → bv. de zon

point light: lichtbron zendt uit in alle richtingen

- → de intensiteit verlaagt naargelang de afstand van de bron
- → alles buiten de range ontvangt geen licht

spotlight: de lichtbron zendt uit binnen een bepaalde hoek

- → bv. een zaklamp, autolichten

area light: de lichtbron zendt uit in alle richtingen van 1 kant van een voorgedefinieerde rechthoek

- → realistischer dan een spotlight, maar veel minder performant
- → niet at runtime, enkel prerender (baking)

Soorten technieken

cookie: een schaduw in de vorm van een texture → veel performanter dan schaduwen te berekenen

global illumination: meest realistisch mogelijke simulatie van belichting

- → beste techniek = raytracing
- → niet performant genoeg voor realtime toepassingen → allerlei trucs toepassen om het resultaat te benaderen

ambient occlusion: vanuit ieder punt op het model een groot aantal rays casten in alle richtingen

- → Als de ray een ander object of deel van hetzelfde object raakt → minder lichtinval van de omgeving

Screen Space Ambient Occlusion (SSAO): iedere frame de ambient occlusion berekenen op basis van gerenderde objecten

- → ook bewegende objecten!
- → minder accuraat dan AO-map

light probes: bewegende objecten ook ambient light laten ontvangen
- → minder accuraat dan AO-map

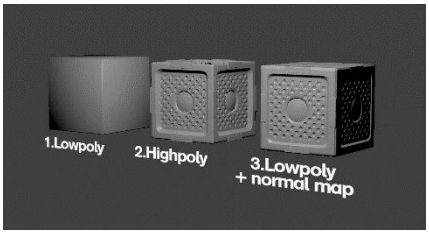
reflection probes: spiegeling tonen op glanzende objecten

Normal mapping

light maps: vooraf berekenen van statische belichting
- → Geen realtime berekeningen nodig → veel performanter
- → Gebeurt automatisch in Unity voor statische objecten

bump maps: reliëf simuleren a.d.h.v. textures i.p.v. geometrie
- → bevat hoogteinformatie: hoe witter, hoe hoger, hoe zwarter, hoe lager
- → het contrast bepaalt de sterkte

normal maps: bevat hoogteinformatie en richting/kanteling
- → zorgt voor realistischere belichting
- → verkregen door een high poly model te *baken* op een low poly model



retopologizing: het omzetten van een model met veel polygonen (vaak gemaakt door sculpting) naar een model met minder polygonen, geschikt voor gebruik in realtime toepassingen