

1. Reprezentace barev, míchání barev

Vlastnosti světla

- jas – intenzita světla
- sytost – čistota barvy světla
- světlost – velikost achromatické složky hlavní barvy
- odstín – dominantní vlnová délka

Aditivní míchání – míchání barevných světél, RGB, používá se u monitorů, složením základních barev vzniká bílá

Subtraktivní míchání – míchání barevných pigmentů, CMY, používá se u tiskáren, složením vzniká černá

RGB, CMY, HSV, HLS

2. Redukce barevného prostoru

Intenzita – $I = 0.299R + 0.587G + 0.114B$

Dithering

- nahrazení původních hodnot šedé vhodnou distribucí černých a bílých bodů
- snaha o maximální vizuální podobnost
- zachovává rozměry obrazu
- výstup na obrazovku

Halftoning

- pixel nahrazen vzorem černých a bílých bodů
- zvětšuje rozměry obrazu
- výstup na tiskárnu

Metody ditheringu:

Prahování

- rozdělení pixelů podle prahové hodnoty
- menší než práh – bílá, větší než práh – černá
- pro obrazy s vysokým kontrastem, vysoká degradace obrazu

Náhodné rozptýlení

- hodnota prahu je pro každý bod zvolena náhodně
- zachovává jasové poměry, vhodné pro velké obrazy s konstantními plochami

Maticové rozptýlení

- porovnání pixelů obrazu s odpovídajícími hodnotami distribuční matice
- dithering – plochu obrazu pokryjeme maticemi
- halftoning – každý pixel nahradíme maticí

Distribuce chyby – spočítá se odchylka nové barvy od původní a předá se okolním pixelům jako chyba

332 – redukce RGB na 256-barevný obraz, R a G 3 bity, B 2 bity

3. Rasterizace objektů ve 2D

3.1 Úsečka

DDA algoritmus

- používá FP
- náročná HW implementace, nízká efektivita
- přírůstek na Y dán směnicí úsečky

Bresenhamův algoritmus

- nejčastěji používaný algoritmus
- celočíselná aritmetika, sčítání, porovnání
- snadná HW implementace
- přírůstek na Y dán znaménkem prediktoru

3.2 Kružnice

Vykreslení po bodech

- používá FP
- nízká efektivita, náročná HW implementace
- přírůstek na Y dán matematickým vztahem

Vykreslení jako N-úhelník

- varianta DDA pro kružnici
- používá FP
- nízká efektivita, náročná HW implementace
- přírůstek je dán konstantním posuvem o určitý úhel

Midpoint algoritmus

- variace na Bresenhamův algoritmus
- celočíselná aritmetika, sčítání, porovnání
- velmi efektivní, snadná HW implementace
- přírůstek na Y dán znaménkem prediktoru

3.3 Elipsa

Midpoint algoritmus

- ekvivalent Midpoint pro kružnici
- celočíselná aritmetika
- efektivní, snadná implementace v HW
- přírůstek X/Y dán znaménkem prediktoru

4. Vyplňování 2D oblastí

Řádkové vyplňování

- vstupem je seznam hran dané oblasti
- prochází se po řádcích, hledají se průsečíky řádků s nevodorovnými hranami
- pixely se vykreslí mezi lichými a sudými průsečíky
- problémem je lichý počet průsečíků – v lokálních extrémech generovat průsečíky obou hran

Inverzní řádkové vyplňování

- vstupem je seznam hran dané oblasti
- pro každou hranu se invertují hodnoty pixelů vpravo od hrany až po maximální okraj oblasti
- nutné překreslit obrys oblasti, použití pomocného bufferu

Pinedův algoritmus

- vstupem je seznam hran dané oblasti
- pouze konvexní mnohoúhelníky
- rozdělení na poloroviny podle jednotlivých hran, vyplňuje se vnitřní strana všech hran

Semínkové vyplňování

- vyplňování rastrových oblastí
- vstupem je startovací bod uvnitř dané oblasti
- šíření semínka, rekurzivní obarvování oblasti
- 4-okolí, 8-okolí (vyžaduje silnější hranice)
- rekurzivní implementace (hrozí přetečení zásobníku), implementace s využitím fronty

5. Ořezávání objektů ve 2D

Test polohy rasterizovaných bodů

- souřadnice pixelů se porovnávají se zobrazovacím oknem, jsou vykresleny pouze vnitřní pixely
- primitivní a neefektivní způsob
- použití při HW implementaci

Ořezávání úsečky

- testuje se poloha koncových bodů, v případě protínání okna je úsečka rozdělena a znovu testována
- Cohen-Sutherland – jednotlivé oblasti označeny binárními kódy, porovnání pomocí = a AND
- Liang-Barsky – průsečíky jsou řešeny v parametrické oblasti

Ořezávání oblastí

- musí se zachovat uzavřené oblasti (mezi hranami nesmí zůstat díra)
- Sutherland-Hodgman
 - o ořezává se vždy pouze jedna strana, okno se postupně otáčí
 - o komplikovaná realizace polygon s vnitřními otvory
 - o generování hran podél hranic a rohů okna
- Weiler-Atherton
 - o výpočítají se průsečíky s oknem a pak se použijí pomocné seznamy vrcholů a průsečíků

6. Geometrické transformace ve 2D a 3D

Lineární transformace – zobrazení z jednoho vektorového prostoru do druhého se zachováním lineární kombinace

Homogenní souřadnice – umožňují pracovat s transformacemi pomocí maticového zápisu, $[X, Y, Z, w]$

Posunutí, otočení, změna měřítka, zkosení

Skládání transformací – provádí se násobením matic, záleží na pořadí transformací

Projekce

- transformace ze 3D prostoru do 2D prostoru
- paralelní – zachovává rovnoběžnost hran, použití pro technické aplikace, výkresové dokumentace
- perspektivní – nezachovává rovnoběžnost hran, použití pro virtuální realitu, hry

7. Křivky v počítačové grafice

Interpolační křivka – přímo prochází body

Aproximační křivka – neprochází body

Racionální křivka – řídicí body mají váhové koeficienty, invariantní vůči perspektivní projekci

Neracionální křivka – tvar křivky ovlivňuje pouze poloha řídicích bodů, není invariantní vůči perspektivní projekci

Spline křivky

- po částech polynomiální křivka
- minimalizuje křivost křivky
- efektivní řízení tvaru křivky

Fergusonova kubika

- nejčastější interpolační křivka
- určena dvěma koncovými body a dvěma tečnými vektory
- neinteraktivní a neintuitivní řízení tvaru

Kochanek-Bartels spline

- interpolační spline křivka
- využívá Fergusonových kubik

Catmull-Rom spline

- Kochanek-Bartels s nulovými koeficienty
- výsledný spline neleží v konvexní obálce

Beziérovky křivky

- aproximační křivky
- prochází koncovými body
- křivka stupně N určena $N+1$ body

Algoritmus de Casteljau – rekurzivní algoritmus vykreslování Beziérových křivek

Beziérovky kubiky

- 4 řídicí body
- invariantní k lineárním transformacím

Racionální Beziérovky křivky – pro vykreslení nelze použít algoritmus de Casteljau

Coonsovy křivky (kubiky)

- neprochází koncovými body
- aproximační křivky

B-spline křivky

- zobecnění Coonsových křivek
- vykreslení algoritmem de Boor

Uzlový vektor – představuje hodnoty parametru t v uzlech

NURBS

- aproximační křivka
- zobecnění B-spline křivek
- přesné vyjádření kuželoseček apod.
- invariantní vůči lineárním transformacím

8. Reprezentace 3D objektů

Manifold objekt

- vyrobitelný objekt
- každá hrana sdílí pouze dvě stěny

Nonmanifold objekt

- nevyrobitelný objekt
- hrana/vrchol spojuje dvě části tělesa

Eulerovy rovnice

- kontrola topologie objektu
- manifold tělesa kde hrana spojuje dva vrcholy, ve vrcholu min tři hrany, stěny se neprotínají

CSG

- CSG = konstruktivní geometrie
- objekt popsán stromem
 - o listy – 3D primitivy
 - o uzly – transformace, booleovské operace
- po každé nové operaci probíhá regenerace stromu
- možnost parametrického modelování
- neobsahuje informace o povrchu objektu, nelze použít grafický HW -> převody, ray-casting atd.

Šablonování

- pohyb křivky, plochy nebo tělesa po zvolené trajektorii
- může být součást CSG operací
- využívá se invariance spline křivek a ploch vůči lineárním transformacím
- translační šablonování, rotační šablonování

Dekompoziční modely

- diskrétní popis objektu dekompozicí na elementární jednotky (krychle, hranoly)
- Voxel – volumetric pixel
- nejčastěji pravidelná kartézská mřížka

Hraniční reprezentace (B-rep)

- objekt popsán prostřednictvím svého povrchu – hranice
- informace o vnitřní struktuře objektu není uložena
- objekty definovány pomocí vrcholů, hran, stěn

Drátový model

- objekty definovány pomocí vrcholů a hran
- nejednoznačnost modelu
- vhodné pro rychlé orientační zobrazení objektu

Polygonální model

- objekt definován pomocí vrcholů, hran, stěn
- jednoznačný popis objektu
- lineární aproximace povrchu
- HW podpora zobrazení, vhodné pro interaktivní zobrazení

Hraniční spline model

- objekt definován pomocí vrcholů, hran, stěn
- přesnost modelu dána přesností aproximace spline ploch
- pro zobrazení většinou převáděn na polygonální model
- vhodné pro přesné geometrické modelování

Level of detail (LOD)

- zobrazení detailů podle vzdálenosti
- několik úrovní detailů
- eliminace vrcholů a hran

3D plochy

- rozšíření parametrických polynomiálních křivek
- plocha definována bázovou maticí (polynomy), sítí řídících bodů (matice)
- spojování ploch ze segmentů, záplat
- Pro zobrazení se užívá převod na polygony nebo ray-casting.

Bikubické plochy

- interpolační plocha
- analogie Fergusonových křivek

Beziérové plochy

- aproximační plocha
- aproximace Beziérových křivek

NURBS plochy

- aproximační plocha
- analogie NURBS křivek
- invariance k lineárním transformacím

9. Viditelnost objektů ve 3D

Viditelnost ploch – přivrácené plochy mají normálu směrem k pozorovateli

Viditelnost hran

- hrana mezi viditelnými plochami je potenciálně viditelná
- hrana mezi neviditelnými plochami je neviditelná
- hrana mezi viditelnou a neviditelnou plochou je obrysová

Obrazové algoritmy – pro každý pixel hledají viditelné objekty

Objektové algoritmy – pro každý objekt scény se hledají viditelné části

Robertsův algoritmus

- získat viditelné a obrysové hrany
- rozdělit na úseky konstantní viditelnosti
- testovat viditelnost úseků

Plovoucí horizont

- prostor se rozřeže na rovinné řezy
- vykreslení úseků řezů, které jsou mimo oblast dolního a horního horizontu

Malířův algoritmus

- rastrový algoritmus
- objekty se vykreslují odzadu dopředu podle vzdálenosti
- problémy se vzájemně se překrývajícími objekty – dělení na části

Dělení obrazu – dělení okna na čtvrtiny (až na 1px) dokud není vyplněno jedním objektem

Z-buffer

- rastrový algoritmus
- porovnává hloubky objektů
- rychlý algoritmus
- snadná realizace v HW

Ray-casting

- rastrový algoritmus
- vrhání paprsků z místa pozorovatele, vykreslí se první objekt na který se narazí
- pomalý algoritmus, kvalitní výsledky

10. Osvětlení a stínování 3D objektů

Lambertův osvětlovací model

- empirický model
- počítá pouze s difuzí

- intenzita difúze závisí na úhlu dopadů paprsků na povrch

Phongův osvětlovací model

- empirický model
- k difúzi přidává reflexi (ideální, odraz symetrický podle normály)
- intenzita reflexe závisí na směru odrazu a úhlu k pozorovateli

BRDF

- fyzikálně založený model
- realistické zobrazení (ray-tracing)
- specializace na jednotlivé efekty nebo materiály
- výpočetně náročnější

Shading

- určení barvy všech pixelů obrazu 3D scény
- nejde o řešení stínů
- určení barvy pomocí osvětlovacího modelu jen pro několik bodů na povrchu objektu

Flat shading (konstantní stínování)

- pro každý polygon se osvětlovacím modelem vyhodnotí středový pixel
- celý polygon má jinak konstantní barvu
- nezohledňuje se zakřivení povrchu
- snadná implementace v HW

Goraudovo stínování

- osvětlovacím modelem se vyhodnotí pixely ve vrcholech
- potřeba znát průměrné normály ve vrcholech
- zohledňuje se zakřivení povrchu
- snadná implementace v HW
- dostatečně realistické pro běžné aplikace

Phongovo stínování

- při rasterizaci probíhá interpolace normál z vrcholů
- osvětlovací model se počítá pro každý pixel
- potřeba znát průměrné normály ve vrcholech
- zohledňuje se zakřivení povrchu
- náročná implementace v HW

11. Ray-tracing

Vizualizační metody

- objektové
 - o malá realističnost
 - o velmi rychlé
 - o žádné stíny
 - o CAD, 3D modelování, hry
- obrazové
 - o velká realističnost
 - o pomalé
 - o ostré stíny
 - o architektura, design, filmy, medicínství
- komplexní
 - o největší realističnost
 - o velmi pomalé
 - o měkké stíny
 - o příprava scén pro real-time zobrazení

Ray-tracing

- sledování paprsků
- paprsky se šíří od světelných zdrojů do scény
- některé paprsky se lámou o objekty
- obraz scény tvoří paprsky dopadlé na projekční plochu

- pouze ostré stíny, při změně pozorovatele se musí přepočítat celá scéna

Back ray-tracing

- zpětné sledování paprsků
- hledáme, co je vidět v daném pixelu, jakou světelnou energii paprsek přináší
- primární paprsek – vyslaný od pozorovatele do scény
- sekundární paprsek – vzniká odrazem nebo lomem
- stínový paprsek

Ray-casting

- vrhání paprsku
- vyhodnocují se pouze primární paprsky a jejich dopad na první objekt
- při použití stínových paprsků jsou vyhodnoceny stíny
- přímé zobrazování CSG modelů, vizualizace voxel modelů
- nevýhody
 - o ostré stíny
 - o zrcadla nejsou sekundárními zdroji světla
 - o při změně scény nutnost vyhodnocení znova celé scény

Urychlovací metody ray-tracingu

- urychlení výpočtů průsečíků
- snížení počtu paprsků
- svazky paprsků
- distribuce výpočtů na více částí

12. Radiozita

Radiozita

- vychází se z výpočtů tepelného záření
- řešení rovnováhy světelné energie ve scéně
- globální osvětlení scény, sekundární zdroje světla
- předpoklady
 - o zákon zachování energie
 - o uzavřená scéna ve vakuu
 - o neprůhledné objekty
 - o pouze difúzní odrazy

Zobrazení scény

- vypočtené hodnoty radiozity jsou bezrozměrné
- musíme interpolovat na vrcholy nebo do textury

13. Texturování 3D objektů

Textura – popis detailní struktury povrchu a materiálu objektu, nezávislý na jeho geometrii

Texturování – proces nanášení textur na geometricky definovaný povrch objektu

Datové textury

- diskrétně navzorkované a uložené v paměti
- rychlé vykreslení
- datově náročné
- dochází k aliasu

Procedurální textury

- matematicky spojitě definované funkcí
- parametrické, dynamické
- datově nenáročné
- pomalejší
- méně náchylné k aliasu

Dimenze dat textury

- 2D – popisují pouze povrch objektu
- 3D – spojitě popisují prostorové rozložení vlastností v celém objemu objektu
- 4D – 3D textury s časovou změnou (oheň, mlha)

Interpolace dat textury

- bez interpolace – zaokrouhlíme souřadnice v prostoru textury na nejbližší celočíselné hodnoty
- bilinéární interpolace – linární interpolace z nejbližších 4 hodnot
- polynomická interpolace – interpolace polynomem vyššího stupně z širšího okolí

Inverzní mapovací funkce

- povrch objektu popsán jednou analytickou funkcí
- inverzní funkci k ní je možno použít jako mapovací funkci pro nanesení textury
- koule, válec, kvadriky,...

Promítání textur - promítnutí textury nebo texturovacích souřadnic z povrchu topologicky podobného, ale jednoduššího obalového tělesa

Texturovací souřadnice

- většinou nelze nalézt jedinou popisující funkci
- mapování po částech
- souřadnice zajišťují spojitost

UV mapování – povrch objektu rozvineme do roviny, na kterou nanese texturu

Mapování 3D textur

- pomocí transformací
- není problém s navazováním textur
- větší datová náročnost nebo procedurální postup

Texturou nanášené informace

- barva povrchu
- průhlednost
- optické vlastnosti povrchu
- osvětlení

Bump mapping

- efekt plastického, hrbolatého povrchu
- nemění se geometrie objektu
- vhodné pro simulaci relativně drobných nerovností povrchu
- modifikují se pouze normály povrchu při výpočtu osvětlovacího modelu

Displacement mapping

- efekt plastického, hrbolatého povrchu
- skutečně se mění geometrie objektu
- vhodné pro simulaci větších nerovností povrchu
- posouvají se pozice bodů povrchu ve směru normály

Normal mapping

- zjednodušením povrchu ztrácíme normály
- lze doplnit normálovou texturou

Light mapping

- komplexní řešení osvětlení scény je náročné a pomalé
- pro real-time zobrazení statické scény lze osvětlení předpočítat
- osvětlení je do scény doplněno světelnou texturou

Enviromental mapping - mapování odrazu okolí na povrch objektu

MIP mapping

- řeší vznik artefaktů při zobrazování texturovaných objektů
- řešením např. použití jedné textury s různým rozlišením v závislosti na vzdálenosti od kamery

Perspektivní korekce textur

- dochází ke zkreslení textury, prohnutí textury
- řešením rozdělení polygonů na menší části
- druhým řešením je hyperbolická perspektivní korekce texturovacích souřadnic vrcholů polygonu

14. Aliasing

Alias – jev, který vzniká nízkofrekvenčním vzorkováním signálu, který má relativně vysokou frekvenci, vzniká při:

- vzorkování s příliš malou vzorkovací frekvencí

- příliš pravidelné vzorkování
- příliš přesné vzorkování

Zvýšení vzorkovací frekvence

- zvětšení rozlišení výstupních dat
- velmi dobré výsledky
- velká datová náročnost výstupních dat

Přefiltrování výstupních dat

- vyhlazení, rozmazání výstupních dat
- provádí se až na konci celého procesu – postprocessing
- ztráta detailů výstupních dat

Předfiltrování vstupních dat

- zachovává rozlišení výstupních dat
- zvýšení vzorkovací frekvence
- probíhá během vlastního zpracování vstupních dat
- ztráta rychlosti zpracování

Nepravidelné vzorkování vstupních dat

- zachovává rozlišení výstupních dat
- zachovává vzorkovací frekvenci
- náhodně drobně posouváme pozice vstupních vzorků
- probíhá během vlastního zpracování vstupních dat

Supersampling

- každý pixel rozdělen na několik vzorků
- výsledná hodnota pixelů je složena z hodnot vzorků
- vyhlazuje celý výsledný obraz, hrany i textury
- výrazný pokles výkonu zobrazení

Multisampling

- adaptivní supersampling
- hustější vzorkování pouze v oblasti hran objektů
- při gradientech vzorků se zahustí vzorkování
- výrazně vyhlazuje hrany objektů, méně textury
- méně výrazný pokles výkonu

Integrační antialiasing

- analytické řešení konvoluce obrazu
- oříznutí polygonů o hranice pixelů
- intenzita a barva pixelů je vypočtena jako vážený součet