

## ZOBRAZOVACÍ KANÁL

Pri modelovaní scény a generovaní výsledného obrázku používame postupne viacero súradnicových sústav. V každej fáze práce si volíme systém tak, aby sa v ňom čo najpohodlnejšie pracovalo. Teraz si zhrnieme, s akými rôznymi sústavami sa v počítačovej grafike stretávame.

### 1. 3D ZOBRAZOVACÍ KANÁL

**1.1. Modelovanie.** Uvažujme prípad, že modelovaná scéna je trojrozmerná a na záver chceme vytvoriť dvojrozmerný obrázok. Začínáme modelovať jednotlivé objekty a pre každý objekt prípadne každú jeho časť používame *modelovacie* alebo *lokálne súradnice*. Napríklad kváder môže mať jeden z vrcholov v bode  $(0, 0, 0)$  a ležať v kladnom oktante priestoru, sféra či elipsoid budú mať stred v bode  $(0, 0, 0)$  atď.

Keď máme jednotlivé časti vymodelované, začneme ich kombinovať do scény. To znamená, že musíme prejsť k súradnicovému systému, ktorý už bude spoločný pre všetky objekty. Tieto súradnice nazývame *svetové* alebo tiež *globálne súradnice*. Od lokálnych súradníc k svetovým prechádzame takzvanou *modelovacou transformáciou*. Ide o afinnú transformáciu a prirodzene pre každý objekt definujeme túto transformáciu zvlášť.

V svetových súradniciach okrem nakombinovania jednotlivých objektov do spoločnej scény riešime aj osvetlenie, čiže volíme polohu svetla (viacerých svetiel) a vypočítame tieň (bude v ďalšom semestri).

**1.2. Snímanie.** Po úplnom namodelovaní scény ju chceme premietnuť do dvojrozmerného obrázku. Musíme sa rozhodnúť, aký typ premietania budeme používať: rovnobežné alebo stredové. V každom prípade je vhodné zmeniť súradnicový systém tak, aby projekcia bola čo najpohodlnejšia, teda aby matica premietania bola čo najjednoduchšia. Napríklad pri kolmom rovnobežnom premietaní by bolo vhodné, keby išlo o projekciu do  $xy$ -roviny. Stredové premietanie je zase veľmi jednoduché, ak sa stred premietania nachádza v začiatku súradnicovej sústavy a priemetňa je kolmá na tretiu súradnicovú os.

Transformácia, ktorou prechádzame od svetových súradníc k týmto novým súradniciam, sa nazýva *snímacia transformácia* a nové súradnice nazývame *snímacie súradnice*. Popíšeme si teraz podrobnejšie určenie snímacej transformácie. Ide o ortogonálnu transformáciu (zhodné zobrazenie), keď všetky vzdialenosti ostávajú zachované. Potrebujeme len zmeniť počiatok sústavy a vhodne ju natočiť.

Predstavme si pre názornosť, že budeme používať stredové premietanie. Potrebujeme zvoliť polohu kamery a priemetne. Kamera bude reprezentovaná bodom (vo svetových súradniciach), a tento bod našou snímacou transformáciou posunieme do začiatku sústavy.

Poloha priemetne bude určená svojím normálovým vektorom  $\mathbf{n}$ , nech je tento vektor jednotkový:  $|\mathbf{n}| = 1$ , a prípadne aj vzdialenosťou od pozorovateľa. (Všimnime si, že zadať vzdialenosť priemetne nie je nevyhnutné. Priemety v rovnobežných priemetniach sa líšia navzájom len škálovaním, čo sa dá vyriešiť na záver pri zobrazovaní priemetu na výstupné zariadenie.) Vektor  $\mathbf{n}$  bude tretím súradnicovým vektorom snímacích súradníc. Potrebujeme teda ešte prvé dva súradnicové vektory  $\mathbf{u}$  a  $\mathbf{v}$ . Keďže snímacia transformácia má byť ortogonálna, mali by byť všetky tri vektory jednotkové a navzájom kolmé.

Druhý súradnicový vektor  $\mathbf{v}$  bude popisovať smer nahor. Podobne ako polohu pozorovateľa a normálu priemetne ju bude zadávať užívateľ. Je dosť očakávateľné, že sa nepodarí zadať vektor kolmý na  $\mathbf{n}$ . Často bude napríklad užívateľ zadávať zvislý vektor v svetových súradniciach, hoci priemetňa bude napríklad trochu sklonená (pozeráme šikmo nadol). Užívateľom zadaný vektor  $\mathbf{v}'$  preto upravíme tak, aby bol kolmý na  $\mathbf{n}$  a ležal v rovine určenej vektormi  $\mathbf{n}$  a  $\mathbf{v}'$ , teda urobíme

ortogonalizáciu daných dvoch vektorov:

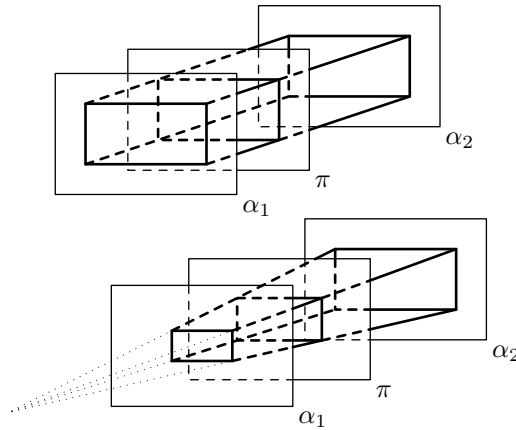
$$\begin{aligned} \mathbf{v}'' &= \mathbf{v}' + c \mathbf{n} \quad / \cdot \mathbf{n} \\ 0 &= \mathbf{v}'' \cdot \mathbf{n} = \mathbf{v}' \cdot \mathbf{n} + c(\mathbf{n} \cdot \mathbf{n}) = \mathbf{v}' \cdot \mathbf{n} + c, \quad \text{takže máme} \\ \mathbf{v}'' &= \mathbf{v}' - (\mathbf{v}' \cdot \mathbf{n}) \mathbf{n} \\ \mathbf{v} &= \frac{\mathbf{v}''}{|\mathbf{v}''|} \end{aligned}$$

Na záver súradnicový vektor  $\mathbf{u}$  je už jednoznačne určený. Získame ho pomocou vektorového súčinu

$$\mathbf{u} = \mathbf{v} \times \mathbf{n}.$$

Akonáhle máme zvolenú polohu kamery a priemetňu, dá sa už riešiť viditeľnosť v scéne pomocou algoritmov v priestore obrazov, napríklad odstránenie odvrátených mnohoholníkov pri mnohoholníkovej reprezentácii.

**1.3. Viditeľný objem, normalizované súradnice.** V snímacích súradniciach ešte pred samotným premietnutím scény zvolíme najprv zobrazovaný priestor, ktorý nám určí, ktoré objekty a ich časti budú premietnuté a ktoré orežeme. Tento priestor sa spravidla ohraničuje rovinami: Najprv sú to predná a zadná orezávací rovina, ktoré sú rovnobežné s priemetňou, takže všetky objekty pred prednou a za zadnou orezávacou rovinou zahodíme, a tiež štyrmi bočnými rovinami. Ďalej bočné roviny sú v prípade rovnobežného premietania určené stranami obdĺžnikového výrezu v priemetni a smerom premietania, a pri stredovom premietaní stranami obdĺžnikového výrezu v priemetni a polohou kamery. Výsledným priestorom je teda rovnobežnosten, resp. zrezaný ihlan.



OBR. 1. Viditeľný objem pri rovnobežnom a stredovom premietaní:  $\pi$  – priemetňa,  $\alpha_1$  – predná orezávací rovina,  $\alpha_2$  – zadná orezávací rovina

Všetky objekty v scéne treba orezať do tohto viditeľného objemu. Pre orezávanie používame ďalšie, takzvané *normalizované súradnice*. Od snímacích k normalizovaným súradniciam prechádzame *normalizujúcou transformáciou*. Týmto zobrazením sa viditeľný objem transformuje na jednotkovú kocku, t.j. takú, že jej vrcholy majú v súradniciach len 0 a 1. V prípade rovnobežného premietania bude táto transformácia pozostávať zo škálovania, skosení a posunutia, pri stredovom premietaní najprv posunieme pozorovateľa do nekonečna (pozdĺž  $\mathbf{n}$ -osi) a následne vhodne naškáľujeme.

Výhodou normalizovaných súradníc je, že budeme scénu orezávať do axiálneho kvádra, čo je problém, ktorý sa dá riešiť omnoho jednoduchšie a rýchlejšie ako keby sme mali orezávať všeobecnými rovinami. Taktiež zavedením normalizovaných súradníc striktne oddelíme modelovanie scény a výber pohľadu od zobrazenia na výstupné zariadenie.

Normalizujúca transformácia nemá vplyv na usporiadanie objektov podľa vzdialenosti od pozorovateľa. To znamená, že viditeľnosť môžeme riešiť aj v normalizovaných súradniciach, najmä ak používame algoritmy pracujúce v priestore obrazu (z-buffer a pod.).

**1.4. Premietnutie a zobrazenie na zariadenie.** Na záver ostáva už len premietnuť do roviny a zobraziť na zariadenie. Viditeľný objem sme si normalizujúcou transformáciou zobrazili tak, že premietanie sa stalo rovnobežným kolmým premietaním pozdĺž súradnicovej osi, ide teda len o „zabudnutie“ jednej súradnice. Výsledný obrázok sa po premietnutí nachádza v jednotkovom štvorci. Posledné zobrazenie (*zobrazenie na zariadenie*), naškáluje obrázok do súradníc zariadenia (obrazovka, okno na obrazovke,...).

## 2. 2D ZOBRAZOVACÍ KANÁL

Pozrime sa ešte, ako bude celý proces tvorby obrázka vyzeráť pri dvojrozmerných scénach. Odpadávajú nám komplikované problémy s premietaním, no napriek tomu používame tiež viacero súradnicových systémov.

Rovnako ako pri trojrozmerných scénach pracujeme najprv v lokálnych súradniciach jednotlivých objektov. Každú časť najprv zvlášť namodelujeme a následne modelujúcou transformáciou vložíme do scény, čiže vyjadríme objekt v svetových súradniciach.

Napriek tomu, že netreba scénu premietáť, stále je potrebné zvoliť si časť obrázka, ktorú chceme zobraziť. Tento výrez nazývame *okno (window)* a spravidla má tvar obdĺžnika, nie nutne axiálneho. Snímacie súradnice zvolíme tak, aby sa strany tohto okna stali rovnobežnými so súradnicovými osami. Podobne ako pri snímaní trojrozmernej scény, snímacia transformácia bude zhodné zobrazenie, pôjde teda len o otočenie okna a prípadné posunutie.

Snímacie súradnice určíme polohou nového začiatku súradníc a tiež zadávame smer nahor, čiže druhý súradnicový vektor  $\mathbf{v}$ . Prvý súradnicový vektor  $\mathbf{u}$  dopočítame ako vektor kolmý na  $\mathbf{v}$ .

Následne prevedieme scénu do normalizovaných súradníc, čiže transformujeme obrázok tak, aby sa okno zobrazilo do jednotkového štvorca. Normalizujúca transformácia je teda len škálovanie s prípadným posunutím nového začiatku do súradníc  $(0, 0)$ .

Poslednou transformáciou je zobrazenie na zariadenie. Miesto na zariadení, kam zobrazujeme, za nazýva *záber (viewport)* a má obdĺžnikový tvar. Čiže znovu ide len o škálovanie do súradníc výstupného zariadenia.

Počas tvorby obrázku potrebujeme scénu orezať. Orezanie sa vykonáva buď v svetových alebo v normalizovaných súradniciach. Výhodou orezávania už v svetových súradniciach je, že rýchlo zredukujeme množstvo dát, s ktorými budeme ďalej pracovať. Na druhej strane je toto orezávanie nepohodlné, lebo neorezávame na axiálny obdĺžnik. Ak orezávame až v normalizovaných súradniciach, situácia je presne opačná: orezávame na axiálny obdĺžnik, a preto môžeme použiť rýchle algoritmy, avšak snímali sme veľké množstvo dát.

Pokiaľ počas tvorby obrázka neprebíha v niektorých súradniciach žiaden algoritmus (typicky orezávanie), často sa transformácia na tieto súradnice a transformácia zo súradníc zložia do jednej. Keďže všetky použité transformácie sú afinné, skladanie je len násobenie matíc. Normalizované súradnice sa však snažíme zachovať kvôli dôslednému oddeleniu tvorby obrázka a jeho zobrazenia na zariadenie.

KAGDM FMFI UK BRATISLAVA

Email address: [jana.pilnikova@fmph.uniba.sk](mailto:jana.pilnikova@fmph.uniba.sk)