

Odboj svetlobe in zrcala



ANDREJ LIKAR

→ Ko iščemo slike, ki jih tvorijo zrcala, ne moremo mimo večkratnih odbojev. Skiciranje, ki smo se ga naučili pri geometrijski optiki, postane precej zapleteno in nepregledno. Zato je smiselno skiciranje prepustiti računalniku, ki sledi poti posameznim ozkim curkom svetlobe. Seveda pa potrebujemo ustrezen program, ki to omogoča. V prispevku bomo pokazali, kako lahko sorazmerno preprosto tak program napišemo in si s tem močno razširimo razumevanje zrcalnih sestavov, z majhno prilagoditvijo pa tudi lečjem.

Pri sledenju svetlobe skozi prostor si pomagamo z ozkimi curki svetlobe, ki izhajajo iz svetil. Bistvena lastnost curkov je njihova smer, zato vpeljemo »žarke«, to je črte, ki kažejo smer širjenja svetlobe. Pojem žarkov je bil znan že v Starem Egiptu, kjer so Sonce slikali, kot ga slikajo danes otroci, torej z žarki, ki se radialno širijo od Sonca.

Na zgledni površini se svetlobni curek odbije tako, da je vpadni kot α , merjen med curkom in pravokotnico p na površino, enak odbojnemu kotu α' , ki ga merimo med smerjo odbitega curka in to pravokotnico, pri čemer pravokotnica ter vpadni in odbiti curek ležijo v isti ravnini. Smer pravokotnice p curek otipa sam; ko pa curke v skicah nadomestimo z žarki, moramo smer pravokotnice navesti. Pri odboju na zakrivljenih zrcalih je smer pravokotnice odvisna od točke T , ki jo žarek zadene. Pravokotnica sovpada s pravokotnico tangentne ravnine v tej točki. Pri sledenju žarkov moramo torej navesti vpadni žarek, točko T in pripadajočo smer pravokotnice p (glej sliko 1).

Sedaj je določitev smeri odbitega žarka prav preprosta. Če pripišemo smeri vpadnega žarka enot-

ski vektor $\vec{k}_v$, smeri odbitega pa enotski vektor $\vec{k}_o$ in smeri pravokotnice enotski vektor $\vec{p}$ (glej sliko 2), sledi s kvadiranjem zveze

$$\vec{k}_v + x\vec{p} = \vec{k}_o$$

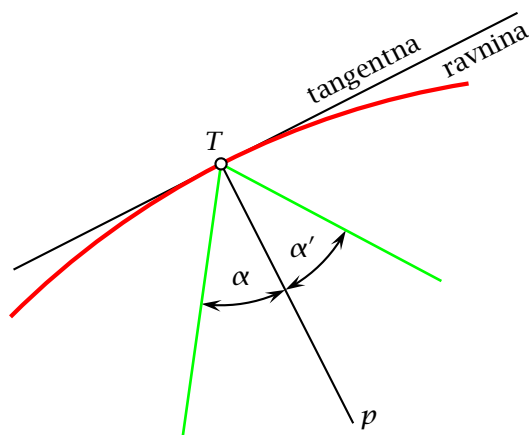
najprej za velikost razlike vektorjev $\vec{k}_v$ in $\vec{k}_o$:

$$x = -2\vec{k}_v \cdot \vec{p}.$$

Za vektor odbitega žarka potem dobimo

$$\vec{k}_o = \vec{k}_v - (2\vec{k}_v \cdot \vec{p}) \vec{p}.$$

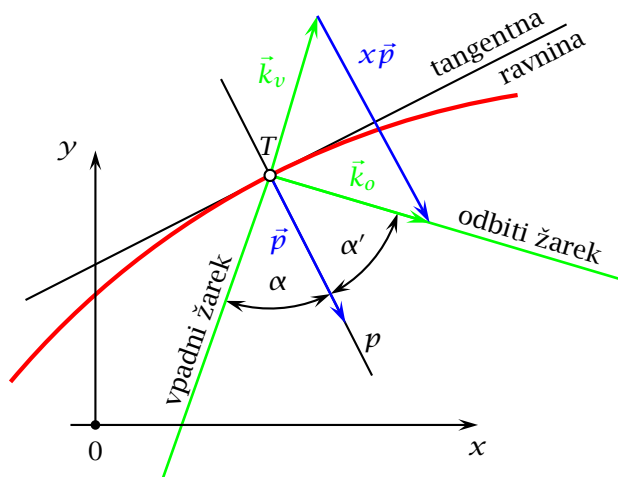
Na desni strani te enačbe je vse znano. Žarku potem sledimo takole: žarek od svetlobnega vira korakoma razširjamo in po vsakem koraku preverimo, če je žarek trčil ob ploskev, kjer naj se odbije. Ko ploskev doseže, obrnemo smer žarka skladno z odbojnim zakonom, saj imamo v točki trka vpisan enotski vektor



SLIKA 1.

Odboj žarka na zakrivljenem zrcalu v točki T . Z zeleno barvo sta označena vpadni in odbiti žarek, ki tvorita s pravokotnico p na tangentno ravnino enaka kota, torej $\alpha = \alpha'$.





SLIKA 2.

Vpadni in odbojni žarek opremimo z enotskima vektorjema $\vec{k}_v$ in $\vec{k}_o$, prav tako pravokotnico p z enotskim vektorjem $\vec{p}$. Pot do enačbe, ki povezuje vektorja $\vec{k}_v$ in $\vec{k}_o$, je tako preprosta.

$\vec{p}$. V večini primerov zadošča sledenje žarkov v ravnini tako, da so razmere pregledne.

Odločiti se moramo še o gostoti mrežnih točk, kjer žarkom sledimo. Pri nas je to mreža s 1000×1000 točkami, kamor postavljamo odbojne krivulje.

Sedaj je čas, da predstavimo nekaj primerov.

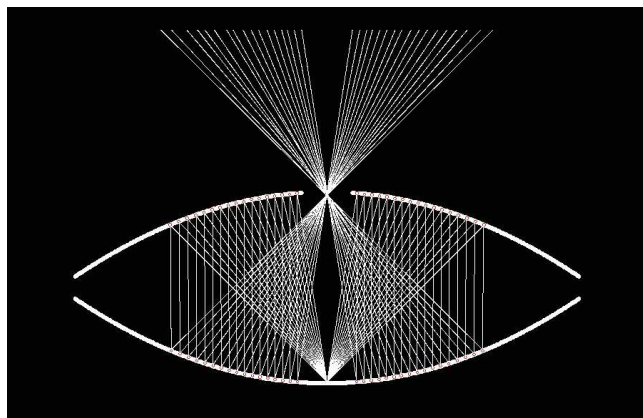
Najprej bomo sledili žarkom v znani fizikalni igračici imenovani 3D Mirage, ki na res učinkovit način predstavi realno sliko predmeta. Sliko vidimo hkrati z obema očesoma, vsako oko vidi nekoliko drugačno sliko, celoten vtis pa je, kot da gledamo predmet, ki plava v prostoru (glej sliko 3). Realno sliko tvorita dve parabolični konkavni zrcali, ki sta postavljeni eno proti drugemu, optična os zrcal pa je navpična. Gorišče enega zrcala je v temenu nasprotnega zrcala. Točkasto svetilo, ki ga postavimo v teme spodnjega zrcala, se preslika v gorišče spodnjega zrcala, torej v teme zgornjega. V zgornjem zrcalu je središčna luknja, skozi katero opazujemo realno sliko svetila. Tak sestav zrcal je bil odkrit povsem po naključju pred ne več kot štiridesetimi leti, ko je tehnik fizikalnega oddelka kalifornijske univerze čistil parabolična zrcala protiletalskih reflektorjev iz 2. svetovne vojne. Opazil je prepričljivo realno sliko prašnih delcev na enem od zrcal, ki so bila skladiščena paroma eno proti drugemu. Luknja v zrcalih



SLIKA 3.

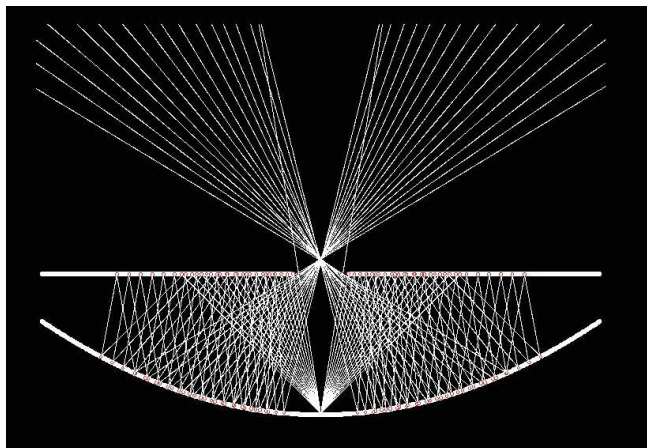
Realno sliko predmeta, ki leži na temenu spodnjega zrcala, vidimo, kot da predmet plava v prostoru. Jasno vidimo sliko kovanca pa tudi kovanec sam na spodnjem delu odprtine.

je bila že izvrtana za obločno luč, s katero so osvetljevali nočno nebo in iskali sovražna letala. Na sliki 4 vidimo žarke, ki se od točkastega svetila na dnu dvakrat odbijejo, preden se zberejo v točki na vrhu, kjer tvorijo realno sliko. Lahko si predstavljamo, da



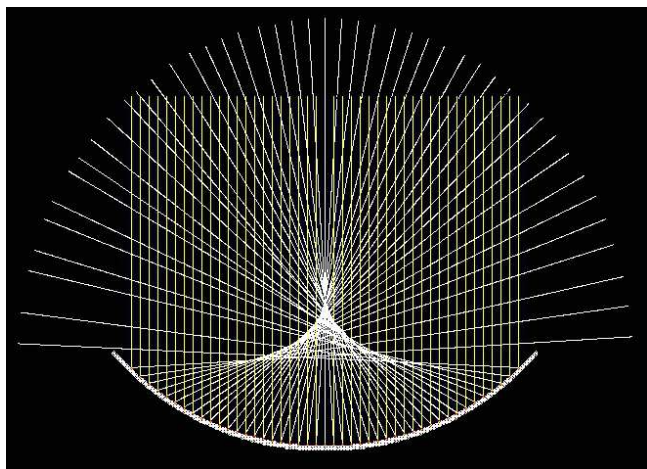
SLIKA 4.

Žarki, ki izhajajo iz točke na temenu spodnjega paraboličnega zrcala v igračici Mirage 3D, se zberejo na zgornji strani. Predmet, ki leži na temenu spodnjega zrcala, se preslika na zgornji strani, kjer je v zgornje zrcalo izvrtana luknja.

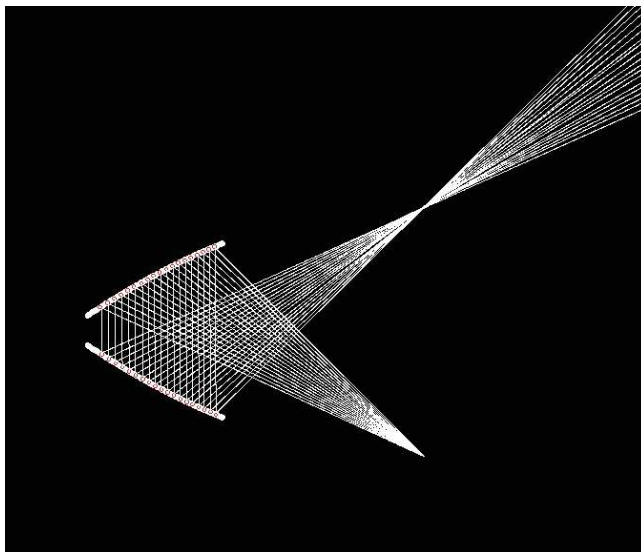
**SLIKA 5.**

Modificirana igrača Mirage 3D, kjer namesto zgornjega paraboličnega zrcala postavimo ravno zrcalo z luknjo.

lahko sliko udobno opazujemo hkrati z obema očesoma, kar pričara trodimenzionalnost. Seveda bomo videli tudi realno sliko razsežnega predmeta, ki ga postavimo blizu dna sestava. Realna slika je tako prepričljiva, da so gledalci osupli, ko slike ne morejo prijeto.

**SLIKA 6.**

Odbiti žarki iz oddaljenega svetila tvorijo na valjastem zrcalu kavstiko. Vzporedni curek vpadne svetlobe smo ponazorili z rumenimi žarki.

**SLIKA 7.**

»Školjčna« postavitev dveh sferičnih zrcal, ki dajo sliko podobno kot igrača Mirage 3D.

Igračo lahko tudi poenostavimo, če imamo na voljo le eno parabolično zrcalo. Namesto zgornjega zrcala lahko uporabimo ravno zrcalo z luknjo (glej sliko 5). Ker je igrača patentirana, bi se morda lahko patentni zaščitili na ta način izognili.

Naslednji zgled predstavi kavstiko, to je krivuljo, ki jo valjasto zrcalo naslika pri odboju žarkov, ki izhajajo iz oddaljenega svetila. Kavstike ni težko videti, le pozorni moramo biti nanjo. Najpogosteje jo vidimo na dnu skodelic, na katero posije Sonce. Na sliki 6 smo vzporedne žarke s Sonca obarvali rumeno.

Za konec si pogledjmo še »školjčno« postavitev dveh zrcal, ki tvorita realno sliko predmeta drugače, kot smo vajeni pri enem konkavnem zrcalu (glej sliko 7). Poskus lahko izvedemo s kozmetičnimi zrcali, ki jih prodajajo v tehničnih trgovinah s kopalniško opremo.

× × ×

www.presek.si
www.dmfa-zaloznistvo.si