

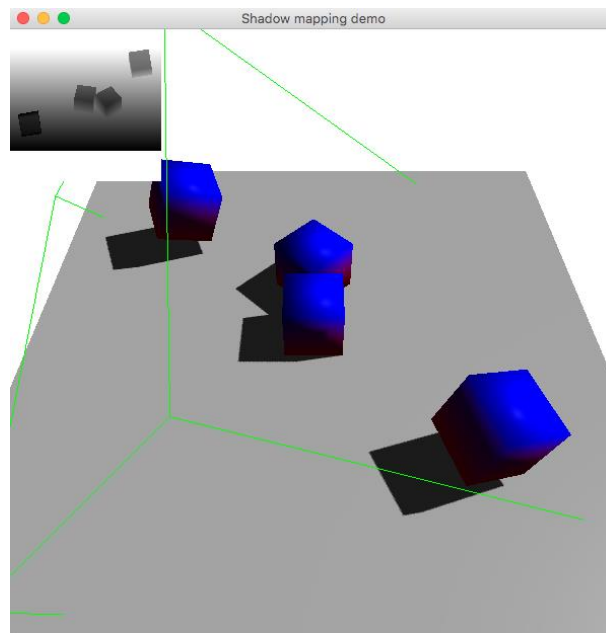
# Prvi domaći zadatak

Zadatak se radi upotrebom grafičke biblioteke OpenGL verzija 4 ili veća, i odgovarajuće verzije jezika za senčenje. Preporučuje se upotreba jezika Java i okruženja koje je korišćeno u toku nastave, ali studenti imaju slobodu da realizuju rešenje zadatka u programskom jeziku i razvojnom okruženju po izboru. Prvi domaći zadatak studenti rade samostalno. Za sve elemente postavke zadatka koji nisu dovoljno precizno definisani, studenti treba da usvoje razumne pretpostavke i primene ih prilikom rešavanja zadatka.

**Napomena:** Prvi i drugi domaći zadatak se brane u ispitnom roku, u terminu koji će naknadno biti objavljen.

## Postavka zadatka

Realizovati program koji iscrtava senke objekata tehnikom mapiranja senki (eng. *shadow mapping*) [1]. Scena treba da sadrži podlogu sa nekoliko "razbacanih" kocki. Osvetljenje dolazi od belog direkcionog svetla koje može da rotira oko centralnog dela scene. Virtuelna kamera ima mogućnost da rotira oko centra scene, da približava/odljava od centra scene (eng. *zoom*), kao i da menja svoju visinu. U gornjem levom uglu treba da se prikazuje tekuća mapa dubine iz perspektive direkcionog svetla. Primetiti da pozicija direkcionog svetla nije bitna za njen intenzitet i pravac. Kompletno iscrtavanje i računanje realizovati u programu za senčenje.



Slika 1. Iscrtavanje senki u realnom vremenu primenom *shadow mapping* tehnike

## Ukratko objašnjenje *shadow mapping* tehnike

Tehnika *shadow mapping* podrazumeva senčenje u dva prolaza. U nastavku je dato ukratko objašnjenje svakog od njih. Detaljno objašnjenje po koracima potražiti na internetu (preporučuje se [2]).

Tokom prvog prolaza cela scena se posmatra iz ortogonalne projekcije svetlosnog izvora (ortogonalne, jer je direkciono svetlo u pitanju, pa su zraci paralelni). U ovom prolazu se popunjava samo bafer dubine (eng. *depth buffer*), odnosno 2D tekstura koja je vezana za njega. Najbolje je koristiti novi *framebuffer* objekat u ovom prolazu [3]. Rezultat prvog prolaza je dakle 2D tekstura dubine, ili tzv. *depth* mapa.

Tokom drugog prolaza se cela scena posmatra iz perspektivne projekcije kamere i primenjuje se tehnika *Blinn-Phongovog* senčenja [4], po formuli

$$\vec{K} = \vec{D} \cdot A + C_0 \cdot \left( \vec{D} \cdot \max((\vec{N} \cdot \vec{L}_0), 0) + \vec{S} \cdot (\vec{N} \cdot \vec{H}_0)^m \right) \cdot (1.0 - shadow)$$

gde promenljive imaju sledeća značenja:

- ***K*** - konačna boja fragmenta
- ***D*** - difuzna boja fragmenta (interpolirana vrednost)
- ***A*** - ambijentalni intenzitet
- ***C<sub>0</sub>*** - intenzitet direkcionog svetla
- ***N*** - vektor normale površi u tački fragmenta
- ***L<sub>0</sub>*** - vektor direkcionog svetla (isti za svaku tačku na sceni)
- ***S*** - spekularni intenzitet
- ***H<sub>0</sub>*** - srednji vektor vektora pogleda i svetlosnog izvora
- ***shadow*** - realna vrednost iz opsega [0.0, 1.0]

Promenljiva ***shadow*** se dobija proverom da li je dubina tekućeg fragmenta kada se posmatra iz ortogonalne projekcije direkcionog svetla veća od vrednosti dubine koja se nalazi u *depth* mapi. Ukoliko jeste, ***shadow*** dobija vrednost 1.0, ukoliko nije, dobija 0.0.

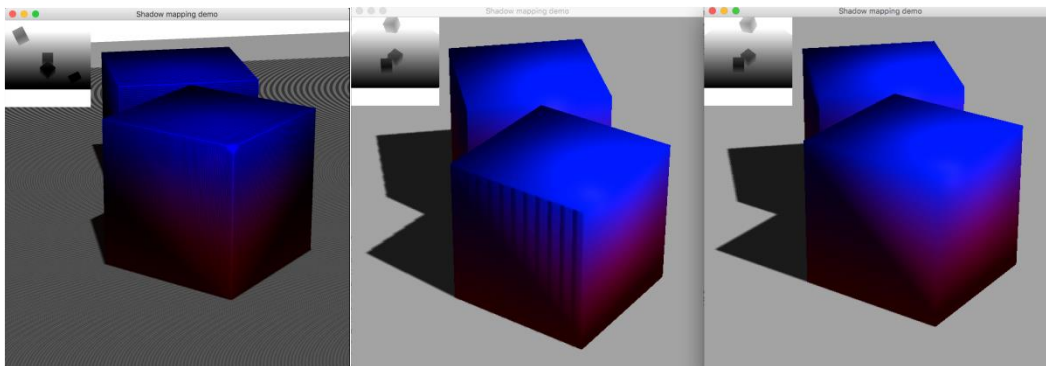
Tokom primene *shadow mapping* tehnike dolazi do dve vrste neželjenih efekata:

- akne zbog senki (eng. *shadow acne*)
- nazupčenje senki (eng. *aliasing*)

U nastavku je dato kratko objašnjenje ovih problema i na koji način ih je moguće rešiti.

### *Shadow acne*

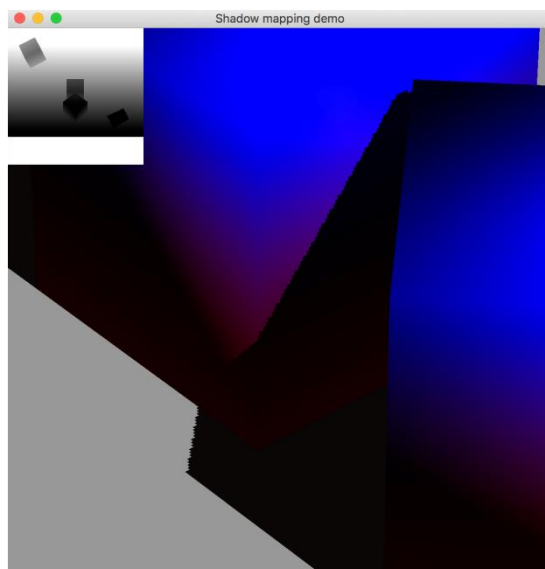
Prvi problem je ilustrovan na slici 2. Na prvom segmentu slike mogu se videti tamno osenčeni fragmenti, jer su oni u senci iako ne bi trebalo da budu. Do toga dolazi zbog ograničene rezolucije *depth* mape, pa se više fragmenata preslikava u isti tekstel. U sredini je prikazan delimično uklonjen problem kada se primeni *shadow bias*, što predstavlja jednu konstantu (oko 0.005; podesiti tako da nema *Peter Panning* artefakta [2]) koja se dodaje dubini očitanoj iz *depth* mape. Problem je samo delimično uklonjen, jer stranice koje su vertikalno postavljene u odnosu na vektor svetla i dalje imaju isti problem. Desno je prikazan isti objekat nakon što se pored *shadow bias* primeni i *normal shadow bias*.



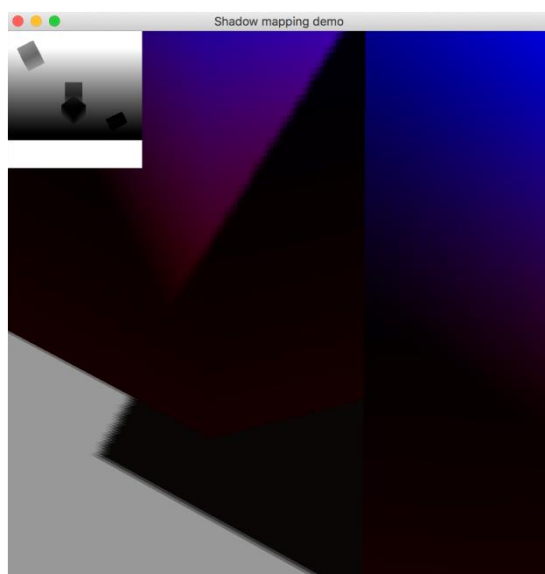
Slika 2. Levo - *shadow acne*, u sredini - nakon primene konstantne *shadow bias* vrednosti, desno - nakon primene i *shadow bias* i *normal shadow bias* vrednosti

### Shadow aliasing

Da ne bi bilo naglog prelaza između senke i osvetljenog dela scene, kao na slici 3, može da se primeni *PCF* (eng. *Percentage-Closer Filtering*) tehnika [5]. Ideja je da se prilikom određivanja **shadow** promenljive *depth* mapa više puta uzorkuje za bliske koordinate teksture. Za svaku novu koordinatu se određuje da li se odgovarajući fragment nalazi u senci ili ne. Rezultat je srednja vrednost **shadow** promenljive u intervalu [0.0, 1.0], čim se dobijaju blaže (eng. *soft*) senke.



Slika 3. nazupčenost senke



Slika 4. uklonjena nazupčenost senke primenom *PCF* metode

## Literatura

- [1] "Shadow Mapping," [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Shadow\\_mapping](https://en.wikipedia.org/wiki/Shadow_mapping). [Accessed 4 10 2022].
- [2] "Shadow Mapping Tutorial," [Online]. Available: <https://learnopengl.com/Advanced-Lighting/Shadows/Shadow-Mapping>. [Accessed 4 10 2022].
- [3] D. Shreiner, "OpenGL Programming Guide 8th Edition," vol. v4.3, 2013, pp. 351-353.

- [4] E. Lengyel, in *Mathematics for 3D Programming and Computer Graphics*, vol. 3, 2011, pp. 177-178, 284-286.
- [5] "Chapter 11. Shadow Map Antialiasing," [Online]. Available: <https://developer.nvidia.com/gpugems/gpugems/part-ii-lighting-and-shadows/chapter-11-shadow-map-antialiasing>. [Accessed 5 10 2022].