

Iluminarea scenelor

Mihai-Sorin Stupariu

Sem. al II-lea, 2022 - 2023

Elemente relevante

Modelul de iluminare utilizat este legat de:

Elemente relevante

Modelul de iluminare utilizat este legat de:

1. Proprietăți de material ale obiectelor.

Elemente relevante

Modelul de iluminare utilizat este legat de:

1. Proprietăți de material ale obiectelor.
2. Sursele de lumină.

Elemente relevante

Modelul de iluminare utilizat este legat de:

1. Proprietăți de material ale obiectelor.
2. Sursele de lumină.
3. Formula de calcul - Interacțiunea dintre elementele caracteristice, inclusiv dintre proprietățile de material ale obiectelor și sursele de lumină (geometria scenei poate avea un rol, în funcție de modelul utilizat).

Scop: explicarea Modelului Phong de iluminare

Modelul Phong de iluminare:

vertex color =

\downarrow

RGB(A)

$$\begin{aligned}
 & \text{emission}_{\text{material}} + \\
 & \text{ambient}_{\text{light model}} * \text{ambient}_{\text{material}} + \\
 & \sum_{i=0}^{N-1} \text{attenuation factor}_i \cdot \text{spotlight effect}_i \cdot \\
 & (\text{ambient term} + \text{diffuse term} + \text{specular term})_i
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

termen de emisie

termen ambiantal general

legate de sursele de lumina

unde N este numărul surselor de lumină.

1. Proprietăți de material - definire

- ▶ Pentru fiecare obiect desenat trebuie precizată culoarea "materialului" din care este confecționat, prin comanda
`glMaterial* (fatasupr, proprietate, valoare)`

1. Proprietăți de material - definire

- ▶ Pentru fiecare obiect desenat trebuie precizată culoarea "materialului" din care este confecționat, prin comanda
`glMaterial* (fatasupr, proprietate, valoare)`
- ▶ fatasupr poate avea valorile
`GL_FRONT, GL_BACK, GL_FRONT_AND_BACK;`

1. Proprietăți de material - definire

- ▶ Pentru fiecare obiect desenat trebuie precizată culoarea "materialului" din care este confecționat, prin comanda
`glMaterial* (fatasupr, proprietate, valoare)`
 - ▶ fatasupr poate avea valorile
`GL_FRONT, GL_BACK, GL_FRONT_AND_BACK;`
 - ▶ proprietate: vezi Tabelul 1

1. Proprietăți de material - definire

- ▶ Pentru fiecare obiect desenat trebuie precizată culoarea "materialului" din care este confecționat, prin comanda
`glMaterial* (fatasupr, proprietate, valoare)`
 - ▶ fatasupr poate avea valorile
`GL_FRONT, GL_BACK, GL_FRONT_AND_BACK;`
 - ▶ proprietate: vezi Tabelul 1
 - ▶ valoare: adecvată, în funcție de proprietate; dacă nu este indicată nicio valoare, se consideră valoarea implicită, indicată în Tabelul 1

1. Proprietăți de material - parametri, valori implicite

Tabel 1. Proprietăți ale materialelor și valori implicite.

Proprietatea materialului	Valoarea implicită
GL_EMISSION	(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)
GL_AMBIENT	(0.2, 0.2, 0.2, 1.0)
GL_DIFFUSE	(0.8, 0.8, 0.8, 1.0)
GL_SPECULAR	(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)
GL_SHININESS	0.0
GL_COLOR_INDEXES	(0,1,1)

2. Surse de lumină

- ▶ O sursă de lumină trebuie activată explicit
`glEnable(GL_LIGHT*)` (*=ID-ul sursei)

2. Surse de lumină

- ▶ O sursă de lumină trebuie activată explicit `glEnable(GL_LIGHT*)` (*=ID-ul sursei)
- ▶ Caracteristicile unei surse de lumină:

2. Surse de lumină

- ▶ O sursă de lumină trebuie activată explicit
`glEnable(GL_LIGHT*)` (*=ID-ul sursei)
- ▶ Caracteristicile unei surse de lumină:
 - (i) tipul și amplasarea/poziția;
 - (ii) intensitatea și culoarea - diverse aspecte (ambiental, difuz, etc.);
 - (iii) atenuarea;
 - (iv) efecte de tip spot;

2. Surse de lumină

- ▶ O sursă de lumină trebuie activată explicit
`glEnable(GL_LIGHT*)` (*=ID-ul sursei)
- ▶ Caracteristicile unei surse de lumină:
 - (i) tipul și amplasarea/poziția;
 - (ii) intensitatea și culoarea - diverse aspecte (ambiental, difuz, etc.);
 - (iii) atenuarea;
 - (iv) efecte de tip spot;
- ▶ Funcția prin care sunt indicate caracteristici este
`glLight*(nume, proprietate, valoare);`

2. Surse de lumină

- ▶ O sursă de lumină trebuie activată explicit
`glEnable(GL_LIGHT*)` (*=ID-ul sursei)
- ▶ Caracteristicile unei surse de lumină:
 - (i) tipul și amplasarea/poziția;
 - (ii) intensitatea și culoarea - diverse aspecte (ambiental, difuz, etc.);
 - (iii) atenuarea;
 - (iv) efecte de tip spot;
- ▶ Funcția prin care sunt indicate caracteristici este
`glLight*(nume, proprietate, valoare);`
 - ▶ *: sufix;

2. Surse de lumină

- ▶ O sursă de lumină trebuie activată explicit
`glEnable(GL_LIGHT*)` (*=ID-ul sursei)
- ▶ Caracteristicile unei surse de lumină:
 - (i) tipul și amplasarea/poziția;
 - (ii) intensitatea și culoarea - diverse aspecte (ambiental, difuz, etc.);
 - (iii) atenuarea;
 - (iv) efecte de tip spot;
- ▶ Funcția prin care sunt indicate caracteristici este
`glLight*(nume, proprietate, valoare);`
 - ▶ *: sufix;
 - ▶ nume: identificator al sursei de lumină;

2. Surse de lumină

- ▶ O sursă de lumină trebuie activată explicit
`glEnable(GL_LIGHT*)` (*=ID-ul sursei)
- ▶ Caracteristicile unei surse de lumină:
 - (i) tipul și amplasarea/poziția;
 - (ii) intensitatea și culoarea - diverse aspecte (ambiental, difuz, etc.);
 - (iii) atenuarea;
 - (iv) efecte de tip spot;
- ▶ Funcția prin care sunt indicate caracteristici este
`glLight*(nume, proprietate, valoare);`
 - ▶ *: sufix;
 - ▶ nume: identificator al sursei de lumină;
 - ▶ proprietate: vezi Tabelul 2

2. Surse de lumină

- ▶ O sursă de lumină trebuie activată explicit
`glEnable(GL_LIGHT*)` (*=ID-ul sursei)
- ▶ Caracteristicile unei surse de lumină:
 - (i) tipul și amplasarea/poziția;
 - (ii) intensitatea și culoarea - diverse aspecte (ambiental, difuz, etc.);
 - (iii) atenuarea;
 - (iv) efecte de tip spot;
- ▶ Funcția prin care sunt indicate caracteristici este
`glLight*(nume, proprietate, valoare);`
 - ▶ *: sufix;
 - ▶ nume: identificator al sursei de lumină;
 - ▶ proprietate: vezi Tabelul 2
 - ▶ valoare: adecvată, în funcție de proprietate; dacă nu este indicată nicio valoare, se consideră valoarea implicită, indicată în Tabelul 2

2. Surse de lumină - parametri, valori implicite

Tabel 2. Parametrii care pot fi luați în considerare pentru o sursă de lumină și care sunt utilizați în formula modelului de iluminare, precum și valorile lor implicite

Numele parametrului	Valoarea implicită
GL_POSITION	(0.0, 0.0, 1.0, 0.0)
GL_AMBIENT	(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)
GL_DIFFUSE	(1.0, 1.0, 1.0, 1.0)
	sau (0.0, 0.0, 0.0, 1.0)
GL_SPECULAR	(1.0, 1.0, 1.0, 1.0)
	sau (0.0, 0.0, 0.0, 1.0)
GL_CONSTANT_ATTENUATION (a_0)	1.0
GL_LINEAR_ATTENUATION (a_1)	0.0
GL_QUADRATIC_ATTENUATION (a_2)	0.0
GL_SPOT_DIRECTION (θ_l)	(0.0, 0.0, -1.0)
GL_SPOT_EXPONENT (a_l)	0.0
GL_SPOT_CUTOFF	180.0

2. (i) Surse de lumină - tipul și amplasarea

► Tip:

2. (i) Surse de lumină - tipul și amplasarea

- ▶ Tip:
 - ▶ punctuale (bec, lanternă, etc.)

2. (i) Surse de lumină - tipul și amplasarea

▶ Tip:

- ▶ punctuale (bec, lanternă, etc.)
- ▶ direcționale (Soare, etc.)

2. (i) Surse de lumină - tipul și amplasarea

- ▶ Tip:
 - ▶ punctuale (bec, lanternă, etc.)
 - ▶ direcționale (Soare, etc.)
- ▶ În ambele cazuri, poziția **GL_POSITION** este dată de un vector cu 4 componente

2. (i) Surse de lumină - tipul și amplasarea

- ▶ Tip:
 - ▶ punctuale (bec, lanternă, etc.)
 - ▶ direcționale (Soare, etc.)
- ▶ În ambele cazuri, poziția **GL_POSITION** este dată de un vector cu 4 componente
 - ▶ la surse punctuale ultima componentă este **1.0**

2. (i) Surse de lumină - tipul și amplasarea

- ▶ Tip:
 - ▶ punctuale (bec, lanternă, etc.)
 - ▶ direcționale (Soare, etc.)
- ▶ În ambele cazuri, poziția **GL_POSITION** este dată de un vector cu 4 componente
 - ▶ la surse punctuale ultima componentă este **1.0**
 - ▶ la surse direcționale ultima componentă este **0.0**

2. (i) Surse de lumină - tipul și amplasarea

- ▶ Tip:
 - ▶ punctuale (bec, lanternă, etc.)
 - ▶ direcționale (Soare, etc.)
- ▶ În ambele cazuri, poziția **GL_POSITION** este dată de un vector cu 4 componente
 - ▶ la surse punctuale ultima componentă este **1.0**
 - ▶ la surse direcționale ultima componentă este **0.0**
 - ▶ ... cf. discuției despre utilizarea celor 4 coordonate în grafică

2. (i) Surse de lumină - tipul și amplasarea

- ▶ Tip:
 - ▶ punctuale (bec, lanternă, etc.)
 - ▶ direcționale (Soare, etc.)
- ▶ În ambele cazuri, poziția **GL_POSITION** este dată de un vector cu 4 componente
 - ▶ la surse punctuale ultima componentă este **1.0**
 - ▶ la surse direcționale ultima componentă este **0.0**
 - ▶ ... cf. discuției despre utilizarea celor 4 coordonate în grafică
- ▶ Poziția unei surse este element constitutiv al scenei - pentru a fi păstrate fixe, trebuie indicate în afara transformărilor de modelare

2. (ii) Surse de lumină - intensitatea și culoarea

Caracteristici: `GL_AMBIENT`, `GL_DIFFUSE`, `GL_SPECULAR` legate de “interacțiunea” cu obiectele din scenă (de fapt, materialele din care sunt confecționate)

2. (iii) Surse de lumină - atenuare

- ▶ Se consideră că atenuarea este caracterizată de o simetrie sferică.

2. (iii) Surse de lumină - atenuare

- ▶ Se consideră că atenuarea este caracterizată de o simetrie sferică.
- ▶ Pentru o sursă (punctuală) fixată factorul de atenuare (attenuation factor) se calculează cu formula

$$\text{attenuation factor} = \frac{1}{a_0 + a_1 d + a_2 d^2},$$

unde d este distanța de la sursa de lumină la vârful considerat.

2. (iii) Surse de lumină - atenuare

- ▶ Se consideră că atenuarea este caracterizată de o simetrie sferică.
- ▶ Pentru o sursă (punctuală) fixată factorul de atenuare (attenuation factor) se calculează cu formula

$$\text{attenuation factor} = \frac{1}{a_0 + a_1 d + a_2 d^2},$$

unde d este distanța de la sursa de lumină la vârful considerat.

- ▶ Coeficienții a_0, a_1, a_2 sunt, respectiv, `GL_CONSTANT_ATTENUATION`, `GL_LINEAR_ATTENUATION`, `GL_QUADRATIC_ATTENUATION`

2. (iii) Surse de lumină - atenuare

- ▶ Se consideră că atenuarea este caracterizată de o simetrie sferică.
- ▶ Pentru o sursă (punctuală) fixată factorul de atenuare (attenuation factor) se calculează cu formula

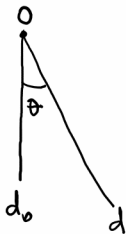
$$\text{attenuation factor} = \frac{1}{a_0 + a_1 d + a_2 d^2},$$

unde d este distanța de la sursa de lumină la vârful considerat.

- ▶ Coeficienții a_0, a_1, a_2 sunt, respectiv, `GL_CONSTANT_ATTENUATION`, `GL_LINEAR_ATTENUATION`, `GL_QUADRATIC_ATTENUATION`
- ▶ Testați în codurile sursă `09_C_1_iluminare.cpp` și `09_C_2_iluminare.cpp` diverse valori pentru acești coeficienți!

2. (iv) Surse de lumină - efecte de tip spot

Observație fundamentală: Fie O un punct și d_0 o semidreaptă cu originea în acel punct. Considerăm o semidreaptă variabilă d cu originea în O ; fie θ unghiul dintre semidreptele d_0 și d . Căutăm o funcție depinzând de θ care să fie descrescătoare pe $[0^\circ, 90^\circ]$.



- (i) Funcția \cos este descrescătoare pe $[0^\circ, 90^\circ]$
 (ii) Funcția \cos poate fi calculată folosind produsul scalar ("dot product").

Fie v_0 și v vectori directori ptr d_0 , resp. d .

$$\cos \theta = \frac{\langle v_0, v \rangle}{\|v_0\| \|v\|} \left(= \frac{v_0 \cdot v}{\|v_0\| \|v\|} \right)$$

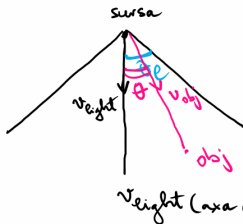
- (iii) Funcția \cos ia valori în $[0, 1]$, ^{pe $[0^\circ, 90^\circ]$} deci prin ridicare la putere se poate controla modul în care decrescă.

2. (iv) Surse de lumină - efecte de tip spot

- Efectul de tip spot este cuantificat de factorul

$$\text{spotlight effect} = \begin{cases} 1, & \text{dacă } \theta_l = 180^\circ \\ 0, & \text{dacă } \underbrace{v_{\text{obj}} \cdot v_{\text{light}}}_{\cos \theta} < \cos \theta_l, \\ (\underbrace{v_{\text{obj}} \cdot v_{\text{light}}}_{\cos \theta})^{\underline{a}}, & \text{în celelalte cazuri.} \end{cases}$$

- Cu v_{obj} este notat vectorul unitar orientat de la sursa de lumină la obiectul iluminat. Cu v_{light} este notat versorul direcției spotului de lumină `GL_SPOT_DIRECTION`; exponentul \underline{a} este `GL_SPOT_EXPONENT`, iar unghiul θ_l care definește conul este `GL_SPOT_CUTOFF`.



$$\cos \theta < \cos \theta_l$$

$\theta > \theta_l$
 deci obj. în afara conului de lumină

↓ controlează atenuarea

• θ_l = unghiul de iluminare al conului

θ = unghiul dintre axa conului și direcția către obiect

• v_{obj} , v_{light} = versuri (au normă 1)

$$v_{\text{obj}} \cdot v_{\text{light}} = \cos \theta$$

• dacă obj este în conul de lumină: atenuarea este $(\cos \theta)^a$

3. Modele de iluminare - generalități

Un model de iluminare combină o serie de elemente:

- ▶ formula de calcul pentru culoare (modul de integrare a diverselor elemente);
- ▶ factori care definesc modelul
 - ▶ intensitatea luminii ambientale globale;
 - ▶ poziția punctului de vizualizare față de scenă;
 - ▶ diferențierea fețelor obiectelor;
 - ▶ modul în care este calculată culoarea speculară (separat de componenta ambientală și cea difuză și după texturare).

Selectarea proprietăților modelului de iluminare se face folosind comanda `glLightModel*` (proprietate, valoare)

Tabel 3. Valorile parametrului proprietate.

Proprietatea modelului de iluminare	Valoarea implicită
<code>GL_LIGHT_MODEL_AMBIENT</code>	<code>(0.2, 0.2, 0.2, 1.0)</code>
<code>GL_LIGHT_MODEL_LOCAL_VIEWER</code>	<code>GL_FALSE</code>
<code>GL_LIGHT_MODEL_TWO_SIDE</code>	<code>GL_FALSE</code>
<code>GL_LIGHT_MODEL_COLOR_CONTROL</code>	<code>GL_SINGLE_COLOR</code>

3. Formula de calcul

Modelul Phong de iluminare:

$$\begin{aligned} \text{vertex color} = & \text{emission}_{\text{material}} + \\ & \text{ambient}_{\text{light model}} * \text{ambient}_{\text{material}} + \\ & \sum_{i=0}^{N-1} \text{attenuation factor}_i \cdot \text{spotlight effect}_i \cdot \\ & (\text{ambient term} + \text{diffuse term} + \text{specular term})_i, \end{aligned} \quad (1)$$

unde N este numărul surselor de lumină.

În această formulă $\text{ambient}_{\text{light model}} * \text{ambient}_{\text{material}}$ nu este asociat niciunei surse de lumină, iar ambient term este asociat unei surse de lumină.

3. Formula de calcul - Termenii *emission* și *ambiental*

- ▶ *Emission*: este ceea ce “emite” vârful respectiv (util pentru surse de lumină).

3. Formula de calcul - Termenii *emission* și *ambiental*

- ▶ *Emission*: este ceea ce “emite” vârful respectiv (util pentru surse de lumină).
- ▶ *Ambiental*: nu există surse de lumină, este doar efectul unei luminozități de fond.

3. Formula de calcul - Termenii *emission* și *ambiental*

- ▶ *Emission*: este ceea ce “emite” vârful respectiv (util pentru surse de lumină).
- ▶ *Ambiental*: nu există surse de lumină, este doar efectul unei luminozități de fond.
- ▶ $\text{ambient}_{\text{light model}} * \text{ambient}_{\text{material}}$. **Operația * este dată de înmulțirea pe componente.**
- ▶ Exemplu:

$$\begin{array}{lcl}
 \text{amb.}_{\text{light model}} & = & (0.4, 0.6, 0.3) \\
 \text{amb.}_{\text{material}} & = & (0.1, 0.3, 0.2)
 \end{array} \quad \Bigg| \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{amb.}_{\text{light model}} * \text{amb.}_{\text{material}} = (0.04, 0.18, 0.06)$$

3. Formula de calcul - Termenii *emission* și *ambiental*

- ▶ *Emission*: este ceea ce “emite” vârful respectiv (util pentru surse de lumină).
- ▶ *Ambiental*: nu există surse de lumină, este doar efectul unei luminozități de fond.
- ▶ $\text{ambient}_{\text{light model}} * \text{ambient}_{\text{material}}$. **Operația * este dată de înmulțirea pe componente.**
- ▶ Exemplu:

$$\begin{array}{l} \text{amb.}_{\text{light model}} = (0.4, 0.6, 0.3) \\ \text{amb.}_{\text{material}} = (0.1, 0.3, 0.2) \end{array} \quad \Bigg| \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{amb.}_{\text{light model}} * \text{amb.}_{\text{material}} = (0.04, 0.18, 0.06)$$

- ▶ Care este valoarea implicită a culorii unui vârf dacă nu există nicio sursă de lumină și nu este precizată nicio proprietate de material în mod explicit?

3. Formula de calcul - Termenul ambiental (ambient term) asociat unei surse de lumină

- ▶ Termenul ambiental (componenta ambientală, ambient term) corespunzător unei surse de lumină este

$$\text{ambient term} = \text{ambient}_{\text{light}} * \text{ambient}_{\text{material}}.$$

Sunt utilizate **GL_AMBIENT** al sursei de lumină și **GL_AMBIENT** al materialului din care este confecționat obiectul.

3. Formula de calcul - Termenul ambiental (ambient term) asociat unei surse de lumină

- ▶ Termenul ambiental (componenta ambientală, ambient term) corespunzător unei surse de lumină este

$$\text{ambient term} = \text{ambient}_{\text{light}} * \text{ambient}_{\text{material}}.$$

Sunt utilizate **GL_AMBIENT** al sursei de lumină și **GL_AMBIENT** al materialului din care este confecționat obiectul.

- ▶ **Operația $*$ este dată de înmulțirea pe componente.**

3. Formula de calcul - Termenul ambiental (ambient term) asociat unei surse de lumină

- ▶ Termenul ambiental (componenta ambientală, ambient term) corespunzător unei surse de lumină este

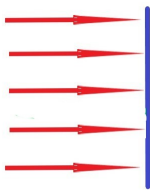
$$\text{ambient term} = \text{ambient}_{\text{light}} * \text{ambient}_{\text{material}}.$$

Sunt utilizate **GL_AMBIENT** al sursei de lumină și **GL_AMBIENT** al materialului din care este confecționat obiectul.

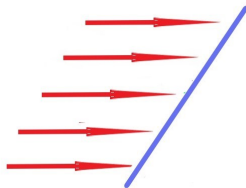
- ▶ **Operația $*$ este dată de înmulțirea pe componente.**
- ▶ De exemplu
 $\text{ambient}_{\text{light}} = (0.2, 1.0, 0.9)$
 $\text{ambient}_{\text{material}} = (0.8, 0.2, 0.0)$
 $\text{ambient term} = (0.2, 1.0, 0.9) * (0.8, 0.2, 0.0) = (0.16, 0.2, 0.0)$

3. Formula de calcul - Reflexia difuză (diffuse term) asociată unei surse de lumină

Are legătură cu geometria scenei, lumina reflectată depinde și de incidența luminii asupra obiectelor.



Ob.1

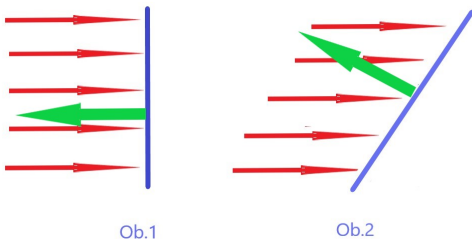


Ob.2

Relevant: unghiul dintre direcția incidentă a luminii și suprafață, de fapt dintre direcția incidentă a luminii și **normala** (în fiecare punct) la suprafață.

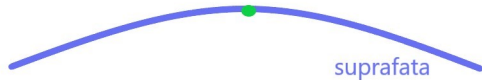
3. Formula de calcul - Reflexia difuză (diffuse term) asociată unei surse de lumină

Are legătură cu geometria scenei, lumina reflectată depinde și de incidența luminii asupra obiectelor.



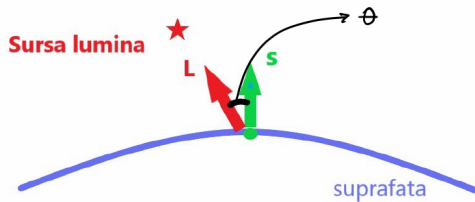
Relevant: unghiul dintre direcția incidentă a luminii și suprafață, de fapt dintre direcția incidentă a luminii și **normala** (în fiecare punct) la suprafață.

3. Formula de calcul - Reflexia difuză (diffuse term) asociată unei surse de lumină

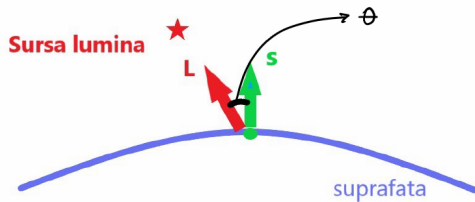


3. Formula de calcul - Reflexia difuză (diffuse term)

asociată unei surse de lumină



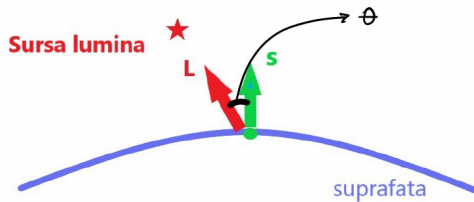
3. Formula de calcul - Reflexia difuză (diffuse term) asociată unei surse de lumină



s = normala (exterioară) la suprafață în vârful V

L = pentru surse punctuale: vector al dreptei care unește vârful V cu sursa de lumină; pentru surse direcționale: $-d/\|d\|$, unde d este vectorul care direcționează lumina

3. Formula de calcul - Reflexia difuză (diffuse term) asociată unei surse de lumină



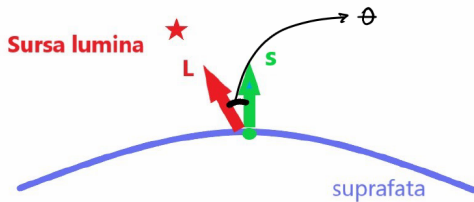
s = normala (exterioară) la suprafață în vârful V

L = pentru surse punctuale: vector al dreptei care unește vârful V cu sursa de lumină; pentru surse direcționale: $-d/\|d\|$, unde d este vectorul care direcționează lumina

Lumina reflectată difuz este legată de

$$\cos \theta = \frac{\langle L, s \rangle}{\|L\| \cdot \|s\|} = \langle L, s \rangle = L \cdot s \text{ (produs scalar)}$$

3. Formula de calcul - Reflexia difuză (diffuse term) asociată unei surse de lumină



s = normala (exterioară) la suprafață în vârful V

L = pentru surse punctuale: vector al dreptei care unește vârful V cu sursa de lumină; pentru surse direcționale: $-d/\|d\|$, unde d este vectorul care direcționează lumina

Lumina reflectată difuz este legată de

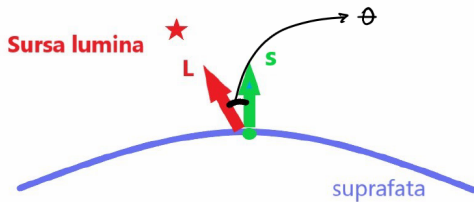
$$\cos \theta = \frac{\langle L, s \rangle}{\|L\| \cdot \|s\|} = \langle L, s \rangle = L \cdot s \text{ (produs scalar)}$$

Reflexia difuză pentru o sursă de lumină este descrisă de factorul

$$\text{diffuse term} = \begin{cases} (L \cdot s) \cdot \text{diffuse}_{\text{light}} * \text{diffuse}_{\text{material}}, & \text{dacă } L \cdot s > 0 \\ 0, & \text{dacă } L \cdot s \leq 0 \end{cases}$$

Sunt utilizate **GL_DIFFUSE** al sursei de lumină și **GL_DIFFUSE** al materialului din care este confecționat obiectul.

3. Formula de calcul - Reflexia difuză (diffuse term) asociată unei surse de lumină



s = normala (exterioară) la suprafață în vârful V

L = pentru surse punctuale: versor al dreptei care unește vârful V cu sursa de lumină; pentru surse direcționale: $-d/\|d\|$, unde d este vectorul care direcționează lumina

Lumina reflectată difuz este legată de

$$\cos \theta = \frac{\langle L, s \rangle}{\|L\| \cdot \|s\|} = \langle L, s \rangle = L \cdot s \text{ (produs scalar)}$$

Reflexia difuză pentru o sursă de lumină este descrisă de factorul

$$\text{diffuse term} = \begin{cases} (L \cdot s) \cdot \text{diffuse}_{\text{light}} * \text{diffuse}_{\text{material}}, & \text{dacă } L \cdot s > 0 \\ 0, & \text{dacă } L \cdot s \leq 0 \end{cases}$$

Sunt utilizate **GL_DIFFUSE** al sursei de lumină și **GL_DIFFUSE** al materialului din care este confecționat obiectul.

Obs. Pentru obiectele din **glut/glu** normalele sunt precalculate. Pentru cele desenate folosind primitive (triunghiuri, etc.) ele trebuie calculate și indicate explicit!

3. Formula de calcul - Reflexia difuză (diffuse term) asociată unei surse de lumină. Exemplu

Determinați valoarea termenului difuz (*diffuse term*) pentru un vârf V de coordonate $(2, 4, 3)$ cu proprietatea de material neprecizată explicit știind că normala la suprafață în vârful respectiv este $s = (0, 0, 1)$ și sursa de lumină, cu GL_DIFFUSE dat de $(0.9, 0.4, 0.2)$, este situată în punctul $S_L = (2, 4, 7)$.

- L (vector către sursa de lumină).

Calculăm vectorul de la V la sursa de lumină

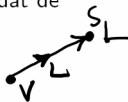
$$\vec{VS}_L = S_L - V = (2, 4, 7) - (2, 4, 3) = (0, 0, 4)$$

$$L = \frac{\vec{VS}_L}{\|\vec{VS}_L\|} = (0, 0, 1)$$

- $s = (0, 0, 1)$ (în acest exemplu $L = s$)

$$L \cdot s = \langle L, s \rangle = 1$$

$$\text{avem } (L \cdot s) \cdot \text{diffuse light} * \text{diffuse material} = 1 \cdot (0.9, 0.4, 0.2) * (0.8, 0.8, 0.8) = (0.72, 0.32, 0.16)$$

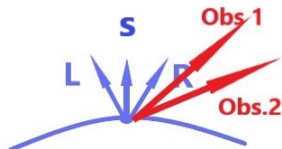


implicit
(de ce?)

3. Formula de calcul - Reflexia speculară (I) asociată unei surse de lumină

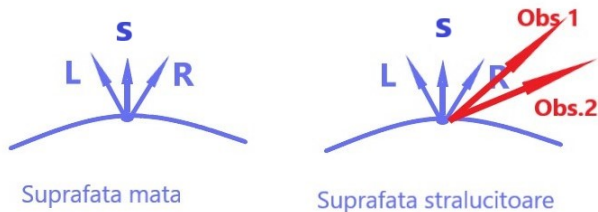


Suprafata mata



Suprafata stralucitoare

3. Formula de calcul - Reflexia speculară (I) asociată unei surse de lumină



R = versor pentru direcția de reflexie a luminii (“direcție ideală”)

φ = unghiul format de R cu direcția observatorului

În desen $\varphi_1 < \varphi_2$, adică Obs1 vede “mai bine” lumina reflectată decât Obs2.

Factorul care descrie atenuarea este $(\cos \varphi)^{\text{shininess}}$, unde shininess este o proprietate de material

Unghiul φ are caracter teoretic. În practică, el este înlocuit cu unghiul dintre vectorul H (*halfway*) și normala s la suprafață.

3. Formula de calcul - Reflexia speculară asociată unei surse de lumină

Reflexia speculară este dată de

$$\text{specular term} = \begin{cases} (H \cdot s)^{\text{shininess}} \cdot \text{specular}_{\text{light}} * \text{specular}_{\text{material}}, & \text{dacă } L \cdot s > 0 \\ 0, & \text{dacă } L \cdot s \leq 0, \end{cases}$$

unde $H = \frac{L + \text{Obs}}{\|L + \text{Obs}\|}$, iar Obs este versorul determinat de vârful considerat și poziția observatorului (se presupune că este activat modelul de iluminare cu observator local, i.e. `GL_LIGHT_MODEL_LOCAL_VIEWER` are valoarea `GL_TRUE`).

Sunt utilizate **GL_SPECULAR** al sursei de lumină și **GL_SPECULAR** și **GL_SHININESS** specifice materialului din care este confecționat obiectul.

Umbre - cadru și notații

Elementele considerate:

Umbre - cadru și notații

Elementele considerate:

- ▶ **sursa de lumină** (în continuare punctuală) $L(x_L, y_L, z_L)$ (date x_L, y_L, z_L)

Umbre - cadru și notații

Elementele considerate:

- ▶ **sursa de lumină** (în continuare punctuală) $L(x_L, y_L, z_L)$ (date x_L, y_L, z_L)
- ▶ **plan** π pe care se realizează umbra (proiecția) având ecuația $Ax + By + Cz + D = 0$ (date A, B, C)

Umbre - cadru și notații

Elementele considerate:

- ▶ **sursa de lumină** (în continuare punctuală) $L(x_L, y_L, z_L)$ (date x_L, y_L, z_L)
- ▶ **plan** π pe care se realizează umbra (proiecția) având ecuația $Ax + By + Cz + D = 0$ (date A, B, C)

L

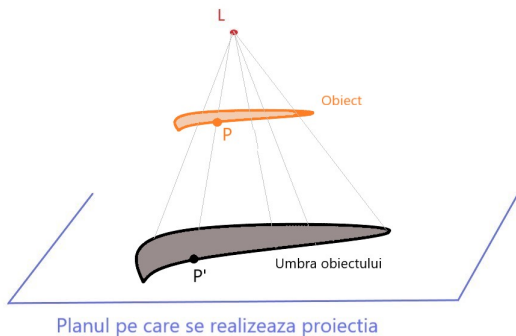


Planul pe care se realizează proiecția

Cadru și notații

Elementele considerate:

- ▶ **sursa de lumină** (în continuare punctuală) $L(x_L, y_L, z_L)$ (date x_L, y_L, z_L)
- ▶ **plan** π pe care se realizează umbra (proiecția) având ecuația $Ax + By + Cz + D = 0$ (date A, B, C)



Ce este umbra? Etape pentru calcul

- **Umbra unui obiect \mathcal{O} :** imaginea lui \mathcal{O} printr-o aplicație (transformare) v . **Scop:** determinarea aplicației v , de fapt a matricei 4×4 asociate, M_v (de explicat modul în care sunt transformate punctele).

Ce este umbra? Etape pentru calcul

- ▶ **Umbra unui obiect \mathcal{O} :** imaginea lui \mathcal{O} printr-o aplicație (transformare) v . **Scop:** determinarea aplicației v , de fapt a matricei 4×4 asociate, M_v (de explicat modul în care sunt transformate punctele).
- ▶ Fie $P = (x_P, y_P, z_P)$ un vârf (punct) al obiectului. Sunt determinate coordonatele lui P' (proiecția perspectivă / centrală a lui P pe plan), în funcție de coordonatele lui P . Acest punct este dat de intersecția dintre dreapta PL și planul π (se presupune că există, dacă LP este paralelă cu planul, nu există umbra...). **Etape:**

Ce este umbra? Etape pentru calcul

- ▶ **Umbra unui obiect \mathcal{O} :** imaginea lui \mathcal{O} printr-o aplicație (transformare) v . **Scop:** determinarea aplicației v , de fapt a matricei 4×4 asociate, M_v (de explicat modul în care sunt transformate punctele).
- ▶ Fie $P = (x_P, y_P, z_P)$ un vârf (punct) al obiectului. Sunt determinate coordonatele lui P' (proiecția perspectivă / centrală a lui P pe plan), în funcție de coordonatele lui P . Acest punct este dat de intersecția dintre dreapta PL și planul π (se presupune că există, dacă LP este paralelă cu planul, nu există umbra...). **Etape:**
 - ▶ Reprezentarea dreptei PL

Ce este umbra? Etape pentru calcul

- ▶ **Umbra unui obiect \mathcal{O} :** imaginea lui \mathcal{O} printr-o aplicație (transformare) v . **Scop:** determinarea aplicației v , de fapt a matricei 4×4 asociate, M_v (de explicat modul în care sunt transformate punctele).
- ▶ Fie $P = (x_P, y_P, z_P)$ un vârf (punct) al obiectului. Sunt determinate coordonatele lui P' (proiecția perspectivă / centrală a lui P pe plan), în funcție de coordonatele lui P . Acest punct este dat de intersecția dintre dreapta PL și planul π (se presupune că există, dacă LP este paralelă cu planul, nu există umbra...). **Etape:**
 - ▶ Reprezentarea dreptei PL
 - ▶ Determinarea coordonatelor punctului de intersecție

Ce este umbra? Etape pentru calcul

- ▶ **Umbra unui obiect \mathcal{O} :** imaginea lui \mathcal{O} printr-o aplicație (transformare) v . **Scop:** determinarea aplicației v , de fapt a matricei 4×4 asociate, M_v (de explicat modul în care sunt transformate punctele).
- ▶ Fie $P = (x_P, y_P, z_P)$ un vârf (punct) al obiectului. Sunt determinate coordonatele lui P' (proiecția perspectivă / centrală a lui P pe plan), în funcție de coordonatele lui P . Acest punct este dat de intersecția dintre dreapta PL și planul π (se presupune că există, dacă LP este paralelă cu planul, nu există umbra...). **Etape:**
 - ▶ Reprezentarea dreptei PL
 - ▶ Determinarea coordonatelor punctului de intersecție
 - ▶ Trecerea la coordonate omogene și scrierea în coordonate omogene

Ce este umbra? Etape pentru calcul

- ▶ **Umbra unui obiect \mathcal{O} :** imaginea lui \mathcal{O} printr-o aplicație (transformare) v . **Scop:** determinarea aplicației v , de fapt a matricei 4×4 asociate, M_v (de explicat modul în care sunt transformate punctele).
- ▶ Fie $P = (x_P, y_P, z_P)$ un vârf (punct) al obiectului. Sunt determinate coordonatele lui P' (proiecția perspectivă / centrală a lui P pe plan), în funcție de coordonatele lui P . Acest punct este dat de intersecția dintre dreapta PL și planul π (se presupune că există, dacă LP este paralelă cu planul, nu există umbra...). **Etape:**
 - ▶ Reprezentarea dreptei PL
 - ▶ Determinarea coordonatelor punctului de intersecție
 - ▶ Trecerea la coordonate omogene și scrierea în coordonate omogene
 - ▶ Determinarea matricei 4×4

Reprezentarea dreptei PL

Ecuațiile dreptei PL

$$\frac{x - x_L}{x_P - x_L} = \frac{y - y_L}{y_P - y_L} = \frac{z - z_L}{z_P - z_L} \stackrel{NOT}{=} \theta \quad \Leftrightarrow$$

Reprezentarea dreptei PL

Ecuatiile dreptei PL

$$\frac{x - x_L}{x_P - x_L} = \frac{y - y_L}{y_P - y_L} = \frac{z - z_L}{z_P - z_L} \stackrel{NOT}{=} \theta \quad \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} x = x_L + \theta(x_P - x_L) \\ y = y_L + \theta(y_P - y_L) \\ z = z_L + \theta(z_P - z_L) \end{cases}, \quad \theta \in \mathbb{R}$$

Reprezentarea dreptei PL

Ecuatiile dreptei PL

$$\frac{x - x_L}{x_P - x_L} = \frac{y - y_L}{y_P - y_L} = \frac{z - z_L}{z_P - z_L} \stackrel{NOT}{=} \theta \quad \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} x = x_L + \theta(x_P - x_L) \\ y = y_L + \theta(y_P - y_L) \\ z = z_L + \theta(z_P - z_L) \end{cases}, \quad \theta \in \mathbb{R}$$

Semnificație: a da un punct de pe dreapta PL este echivalent cu a da o valoare θ

Determinarea coordonatelor punctului de intersecție

Ecuția planului este $Ax + By + Cz + D = 0$. Pentru a determina intersecția dintre dreaptă și plan (presupunem că există!) determinăm valoarea θ_0 pentru care este verificată ecuația planului, altfel spus pentru care avem

$$0 = A[x_L + \theta_0(x_P - x_L)] + B[y_L + \theta_0(y_P - y_L)] + C[z_L + \theta_0(z_P - z_L)] + D$$

Determinarea coordonatelor punctului de intersecție

Ecuția planului este $Ax + By + Cz + D = 0$. Pentru a determina intersecția dintre dreaptă și plan (presupunem că există!) determinăm valoarea θ_0 pentru care este verificată ecuația planului, altfel spus pentru care avem

$$0 = A[x_L + \theta_0(x_P - x_L)] + B[y_L + \theta_0(y_P - y_L)] + C[z_L + \theta_0(z_P - z_L)] + D$$

Prin calcul direct se obține

$$\theta_0 = \frac{Ax_L + By_L + Cz_L + D}{A(x_L - x_P) + B(y_L - y_P) + C(z_L - z_P)}$$

Determinarea coordonatelor punctului de intersecție

Ecuția planului este $Ax + By + Cz + D = 0$. Pentru a determina intersecția dintre dreaptă și plan (presupunem că există!) determinăm valoarea θ_0 pentru care este verificată ecuația planului, altfel spus pentru care avem

$$0 = A[x_L + \theta_0(x_P - x_L)] + B[y_L + \theta_0(y_P - y_L)] + C[z_L + \theta_0(z_P - z_L)] + D$$

Prin calcul direct se obține

$$\theta_0 = \frac{Ax_L + By_L + Cz_L + D}{A(x_L - x_P) + B(y_L - y_P) + C(z_L - z_P)}$$

Am presupus tacit că $A(x_L - x_P) + B(y_L - y_P) + C(z_L - z_P) \neq 0$.
Care este interpretarea geometrică a condiției de egalitate?

Determinarea coordonatelor punctului de intersecție

Ecuția planului este $Ax + By + Cz + D = 0$. Pentru a determina intersecția dintre dreaptă și plan (presupunem că există!) determinăm valoarea θ_0 pentru care este verificată ecuația planului, altfel spus pentru care avem

$$0 = A[x_L + \theta_0(x_P - x_L)] + B[y_L + \theta_0(y_P - y_L)] + C[z_L + \theta_0(z_P - z_L)] + D$$

Prin calcul direct se obține

$$\theta_0 = \frac{Ax_L + By_L + Cz_L + D}{A(x_L - x_P) + B(y_L - y_P) + C(z_L - z_P)}$$

Am presupus tacit că $A(x_L - x_P) + B(y_L - y_P) + C(z_L - z_P) \neq 0$. Care este interpretarea geometrică a condiției de egalitate?

Cunoscând θ_0 , prin înlocuire, se găsesc coordonatele lui P'

Coordonatele punctului de intersecție

$$\begin{aligned}
 x_{P'} &= x_L + \theta_0(x_P - x_L) = \\
 &= x_L + \frac{Ax_L + By_L + Cz_L + D}{A(x_L - x_P) + B(y_L - y_P) + C(z_L - z_P)} \cdot (x_P - x_L) =
 \end{aligned}$$

Coordonatele punctului de intersecție

$$\begin{aligned}
 x_{P'} &= x_L + \theta_0(x_P - x_L) = \\
 &= x_L + \frac{Ax_L + By_L + Cz_L + D}{A(x_L - x_P) + B(y_L - y_P) + C(z_L - z_P)} \cdot (x_P - x_L) = \\
 &\quad \dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

Coordonatele punctului de intersecție

$$\begin{aligned}
 x_{P'} &= x_L + \theta_0(x_P - x_L) = \\
 &= x_L + \frac{Ax_L + By_L + Cz_L + D}{A(x_L - x_P) + B(y_L - y_P) + C(z_L - z_P)} \cdot (x_P - x_L) = \\
 &\quad \dots\dots\dots \\
 &= \frac{x_P(By_L + Cz_L + D) - y_P Bx_L - z_P Cx_L - Dx_L}{(Ax_L + By_L + Cz_L) - (Ax_P + By_P + Cz_P)}
 \end{aligned}$$

Analog

$$\begin{aligned}
 y_{P'} &= \frac{-x_P Ay_L + y_P (Ax_L + Cz_L + D) - z_P Cy_L - Dy_L}{(Ax_L + By_L + Cz_L) - (Ax_P + By_P + Cz_P)} \\
 z_{P'} &= \frac{-x_P Az_L - y_P Bz_L + z_P (Ax_L + By_L + D) - Dz_L}{(Ax_L + By_L + Cz_L) - (Ax_P + By_P + Cz_P)}
 \end{aligned}$$

Coordonatele punctului de intersecție

$$\begin{aligned}
 x_{P'} &= x_L + \theta_0(x_P - x_L) = \\
 &= x_L + \frac{Ax_L + By_L + Cz_L + D}{A(x_L - x_P) + B(y_L - y_P) + C(z_L - z_P)} \cdot (x_P - x_L) = \\
 &\quad \dots\dots\dots \\
 &= \frac{x_P(By_L + Cz_L + D) - y_P Bx_L - z_P Cx_L - Dx_L}{(Ax_L + By_L + Cz_L) - (Ax_P + By_P + Cz_P)}
 \end{aligned}$$

Analog

$$\begin{aligned}
 y_{P'} &= \frac{-x_P Ay_L + y_P (Ax_L + Cz_L + D) - z_P Cy_L - Dy_L}{(Ax_L + By_L + Cz_L) - (Ax_P + By_P + Cz_P)} \\
 z_{P'} &= \frac{-x_P Az_L - y_P Bz_L + z_P (Ax_L + By_L + D) - Dz_L}{(Ax_L + By_L + Cz_L) - (Ax_P + By_P + Cz_P)}
 \end{aligned}$$

Observați că x_P, y_P, z_P apar la numitor, deci aplicația $P \mapsto P'$ nu este una liniară/afină. Pe de altă parte, numitorul este același. Atât numitorul, cât și numărătorii sunt liniari în x_P, y_P, z_P .

Trecerea la coordonate omogene

Putem scrie, folosind toate cele 4 coordonate:

$$\begin{bmatrix} x_{P'} \\ y_{P'} \\ z_{P'} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\text{numarator}(x_{P'})}{\text{numitorul comun}} \\ \frac{\text{numarator}(y_{P'})}{\text{numitorul comun}} \\ \frac{\text{numarator}(z_{P'})}{\text{numitorul comun}} \\ 1 \end{bmatrix} \stackrel{\text{coord. omog.}}{=} \begin{bmatrix} \text{numarator}(x_{P'}) \\ \text{numarator}(y_{P'}) \\ \text{numarator}(z_{P'}) \\ \text{numitorul comun} \end{bmatrix}$$

Trecerea la coordonate omogene

Putem scrie, folosind toate cele 4 coordonate:

$$\begin{bmatrix} x_{P'} \\ y_{P'} \\ z_{P'} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\text{numarator}(x_{P'})}{\text{numitorul comun}} \\ \frac{\text{numarator}(y_{P'})}{\text{numitorul comun}} \\ \frac{\text{numarator}(z_{P'})}{\text{numitorul comun}} \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{coord. omog.} = \begin{bmatrix} \text{numarator}(x_{P'}) \\ \text{numarator}(y_{P'}) \\ \text{numarator}(z_{P'}) \\ \text{numitorul comun} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} x_P(B_{y_L} + C_{z_L} + D) & -y_P B_{x_L} & -z_P C_{x_L} & -D x_L \\ -x_P A_{y_L} & +y_P(A_{x_L} + C_{z_L} + D) & -z_P C_{y_L} & -D y_L \\ -x_P A_{z_L} & -y_P B_{z_L} & +z_P(A_{x_L} + B_{y_L} + D) & -D z_L \\ -x_P A & -y_P B & -z_P C & +(A_{x_L} + B_{y_L} + C_{z_L}) \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} x_P \\ y_P \\ z_P \\ 1 \end{bmatrix},$$

Determinarea matricei 4×4

$$M = \begin{pmatrix} By_L + Cz_L + D & -Bx_L & -Cx_L & -Dx_L \\ -Ay_L & Ax_L + Cz_L + D & -Cy_L & -Dy_L \\ -Az_L & -Bz_L & Ax_L + By_L + D & -Dz_L \\ -A & -B & -C & Ax_L + By_L + Cz_L \end{pmatrix}.$$

Determinarea matricei 4×4

$$M = \begin{pmatrix} By_L + Cz_L + D & -Bx_L & -Cx_L & -Dx_L \\ -Ay_L & Ax_L + Cz_L + D & -Cy_L & -Dy_L \\ -Az_L & -Bz_L & Ax_L + By_L + D & -Dz_L \\ -A & -B & -C & Ax_L + By_L + Cz_L \end{pmatrix}.$$

Legătura cu codul sursă `11_C_1_umbra.cpp`

Determinarea matricei 4×4

$$M = \begin{pmatrix} By_L + Cz_L + D & -Bx_L & -Cx_L & -Dx_L \\ -Ay_L & Ax_L + Cz_L + D & -Cy_L & -Dy_L \\ -Az_L & -Bz_L & Ax_L + By_L + D & -Dz_L \\ -A & -B & -C & Ax_L + By_L + Cz_L \end{pmatrix}.$$

Legătura cu codul sursă `11_C_1_umbra.cpp`

Matricea M este asociată

Determinarea matricei 4×4

$$M = \begin{pmatrix} By_L + Cz_L + D & -Bx_L & -Cx_L & -Dx_L \\ -Ay_L & Ax_L + Cz_L + D & -Cy_L & -Dy_L \\ -Az_L & -Bz_L & Ax_L + By_L + D & -Dz_L \\ -A & -B & -C & Ax_L + By_L + Cz_L \end{pmatrix}.$$

Legătura cu codul sursă `11_C_1_umbra.cpp`

Matricea M este asociată

- sursei punctuale

$$L = [x_L : y_L : z_L : 1] \equiv \text{lightPos}$$

Determinarea matricei 4×4

$$M = \begin{pmatrix} By_L + Cz_L + D & -Bx_L & -Cx_L & -Dx_L \\ -Ay_L & Ax_L + Cz_L + D & -Cy_L & -Dy_L \\ -Az_L & -Bz_L & Ax_L + By_L + D & -Dz_L \\ -A & -B & -C & Ax_L + By_L + Cz_L \end{pmatrix}.$$

Legătura cu codul sursă `11_C_1_umbra.cpp`

Matricea M este asociată

- ▶ sursei punctuale

$$L = [x_L : y_L : z_L : 1] \equiv \text{lightPos}$$

- ▶ planului de proiecție $Ax + By + Cz + D = 0$, dat de

$$[A : B : C : D] \equiv \text{groundPlane}$$

Determinarea matricei 4×4

$$M = \begin{pmatrix} By_L + Cz_L + D & -Bx_L & -Cx_L & -Dx_L \\ -Ay_L & Ax_L + Cz_L + D & -Cy_L & -Dy_L \\ -Az_L & -Bz_L & Ax_L + By_L + D & -Dz_L \\ -A & -B & -C & Ax_L + By_L + Cz_L \end{pmatrix}.$$

Legătura cu codul sursă `11_C_1_umbra.cpp`

Matricea M este asociată

- ▶ sursei punctuale

$$L = [x_L : y_L : z_L : 1] \equiv \text{lightPos}$$

- ▶ planului de proiecție $Ax + By + Cz + D = 0$, dat de

$$[A : B : C : D] \equiv \text{groundPlane}$$

Cu notațiile din cod,

$$\text{dot} \equiv Ax_L + By_L + Cz_L + D.$$

Exemplu

$$M = \begin{pmatrix} By_L + Cz_L + D & -Bx_L & -Cx_L & -Dx_L \\ -Ay_L & Ax_L + Cz_L + D & -Cy_L & -Dy_L \\ -Az_L & -Bz_L & Ax_L + By_L + D & -Dz_L \\ -A & -B & -C & Ax_L + By_L + Cz_L \end{pmatrix}.$$

Exemplu

$$M = \begin{pmatrix} By_L + Cz_L + D & -Bx_L & -Cx_L & -Dx_L \\ -Ay_L & Ax_L + Cz_L + D & -Cy_L & -Dy_L \\ -Az_L & -Bz_L & Ax_L + By_L + D & -Dz_L \\ -A & -B & -C & Ax_L + By_L + Cz_L \end{pmatrix}.$$

- Planul $z + D = 0$. În acest caz $A = 0, B = 0, C = 1$. Matricea asociată este egală cu

$$M = \begin{pmatrix} z_L + D & 0 & -x_L & -Dx_L \\ 0 & z_L + D & -y_L & -Dy_L \\ 0 & 0 & D & -Dz_L \\ 0 & 0 & -1 & z_L \end{pmatrix}.$$