

10. ATRIBUTELE GRAFICE ALE REPEZENTARII OBIECTELOR (culoare, nuanță, luminozitate, stralucire, material, textură)

10.1 Afișarea imaginilor pe ecran

Grafica pe calculator este un domeniu ce ține de ingineria programării, dar care se bazează în mare măsură pe resursele hardware ale calculatorului. Unul din subsistemele de bază ale calculatorului este cel de afișare. Acesta a evoluat în timp de la **simpla afișare a caracterelor (simboluri) monocrome**, până la **afișarea complexă de aplicații multimedia**. Astăzi majoritatea sistemelor computerizate și cvasitotalitatea aplicațiilor software profesionale se bazează pe **interfețe grafice complexe**. Capacitatea și performanțele monitorului și ale adaptorului video au devenit aproape la fel de importante ca și viteza și performanțele procesorului.

Elementele principale ale subsistemului de afișare sunt:

- adaptorul video,
- echipamentul de afișare (tehnologii CRT-Cathodic Ray Tube, LCD- Liquid Crystal Display, afișaje cu plasmă),
- software-ul subsistemului de afișare.

Mesajele (grafica) generate de aplicația grafică sunt sub formă numerică (date binare) și nu pot fi adresate direct echipamentului de afișare dacă acesta este un **dispozitiv analogic**. Astfel, mesajul de tip grafic este compus într-un *ecran virtual* din memoria calculatorului (memoria video) și transferat apoi sistemului de operare ca un bloc de memorie. Sistemul de operare (cu ajutorul unor funcții dedicate sau drivere speciale) transpune mesajul *într-un anumit format* și îl transferă *memoriei adaptorului video* sub forma unui model de pixeli (elemente de imagine). Adaptorul video realizează coversia digital analogică și transferă mesajul grafic în formatul (modelul) specificat, către echipamentul de afișare. Acesta potrivit tehnologiei de afișare specifică tipului de echipament afișează informația cu o anumită rezoluție.

Pixelul – cel mai mic element de imagine care poate fi generat de către adaptorul video. În echipamentele CRT pixelul este *o triadă de puncte luminoase de culoare roșie, verde, respectiv albastră* (red-R, green-G, blue-B), care sunt **culori de bază**, din combinația cărora rezultă culoarea aparentă a acestuia.

10.1.1 Definirea rezoluției echipamentului de afișare

Pixelul este un element variabil al imaginii. Constructiv, ecranul de afișare este caracterizat de doi parametri constanți:

- dimensiunea diagonalei (în inch),
- distanța dintre punctele de afișare (în milimetri).

Rezoluția teoretică a ecranului se calculează pe baza distanței dintre punctele de afișare și a dimensiunilor ecranului. Cunoscând aceste mărimi caracteristice se poate calcula rezoluția maximă ce poate fi afișată, care se exprimă în pixeli.

Rezoluția reală a unui echipament de afișare mai depinde și de calitatea suprafeței de afișare și de caracteristicile semnalelor analogice de comandă a fascicolului de electroni.

În tabelul 10.1 sunt prezentate valori ale rezoluției în funcție de distanța dintre puncte și dimensiunile suprafeței de afișare.

Tab. 10.1. Rezoluția (în pixeli)

Dimensiuni (inch)			Distanța între puncte (în mm)		
Diag.	Oriz.	Vert	0,39	0,28	0,22
14	11,20	8,40	800×600	1024×768	1280×1024
15	12,00	9,00	800×600	1024×768	1280×1024
17	13,60	10,20	800×600	1280×1024	1600×1200
19	15,20	11,40	1024×768	1280×1024	1920×1440
21	16,80	12,60	1024×768	1600×1200	1920×1440

10.1.2 Reprezentarea culorilor

Monitoarele color cu tub catodic pot afișa imagini utilizând peste 16 milioane de culori (ceea ce conferă profunzimea culorii). Ceea ce limitează însă numărul de culori afișabile la un număr de nuanțe inferior este adaptorul video. Acest fapt se explică din considerente de memorie alocată, respectiv de numărul de biți pe care se codifică informația unui pixel al imaginii. Practic, sunt consacrate următoarele reprezentări (vezi tabelul 10.2).

Tab.10.2. Profunzimea culorii pentru diferite reprezentări binare

Reprezentare	Nr. culori	Denumirea consacrată a paletii cromatice (mulțimea finită de culori)
1 bit	2	Alb-negru
4 biți	16	Paleta de bază
8 biți	256	Pseudo-color
16 biți	65536	High color
24 biți	16,8... milioane	True-color

Atributul de culoare sau culoarea unui pixel se poate codifica în două moduri:

- modul RGB (codul componentelor de culoare este explicit pentru fiecare pixel);
- modul *index de culoare* (indexul reprezintă poziția culorii în paleta utilizată, iar codificarea culorii unui pixel se face precizând poziția culorii în matricea de culoare specifică paletii).

În sistemele de calcul specializate pe grafică (**stații grafice**) există biblioteci grafice puternice cu ajutorul cărora pot fi elaborate aplicații avansate, cu viteză de execuție mare (datorită procesoarelor (RISC)).

De exemplu, cu **interfața OpenGL** (bibliotecă de la Silicon Graphics Inc.), construcția modelelor grafice pe calculator pornește de la un set redus de *primitive geometrice* (puncte, linii, poligoane, hărți de biți sau poligoane). Această interfață software furnizează circa 150 de comenzi distincte pentru specificarea obiectelor și operațiilor necesare în aplicațiile tridimensionale interactive. În general se pornește de la punctele din spațiul tridimensional numite *vertices* (*vertex*) ce alcătuiesc obiectele grafice, apoi se reprezintă acestea cu ajutorul primitivelor geometrice. Operația următoare este cea de redare/reproducere a culorilor (*rendering*) pentru elementele grafice constituite cu ajutorul primitivelor.

Renderizarea imaginii (rendering) constă în redarea acesteia sub forma de pixeli, astfel încât să poată fi afișată pe ecran. Există mai multe tehnici de realizare a acestui lucru, unele foarte rapide care produc însă imagini cu “aspect sintetic”, iar **altele mult mai lente dar care produc imagini realiste.**

Algoritmii de renderizare caută să rezolve problema formării unei imagini **în memoria-ecran** astfel încât obiectele să se mascheze în mod corect unul pe altul.

Toate informațiile pentru reprezentarea unei imagini (într-o fereastră grafică) sunt reținute în memoria grafică în așa numitul **cadru tampon (frame buffer)**. Cadrul tampon este o stivă de *bitplane*. Un *bitplane* reprezintă un tablou rectangular de biți având o corespondență de unu la unu cu pixelii ce compun imaginea. Cadrul tampon asociat unei imagini reprezintă de fapt un ansamblu de buffere aferente ferestrei grafice date sau contextului. Uneori, cadrul tampon poate să includă toată memoria pentru pixeli a acceleratorului grafic hardware.

În figura 10.1 este reprezentată zona ocupată de un pixel în cadrul unei ferestre grafice definite. În diferite buffere ale cadrului tampon sunt memorate diverse valori corespunzătoare datelor pixelilor. Organizarea generală a cadrului tampon este dată în figura 10.2.

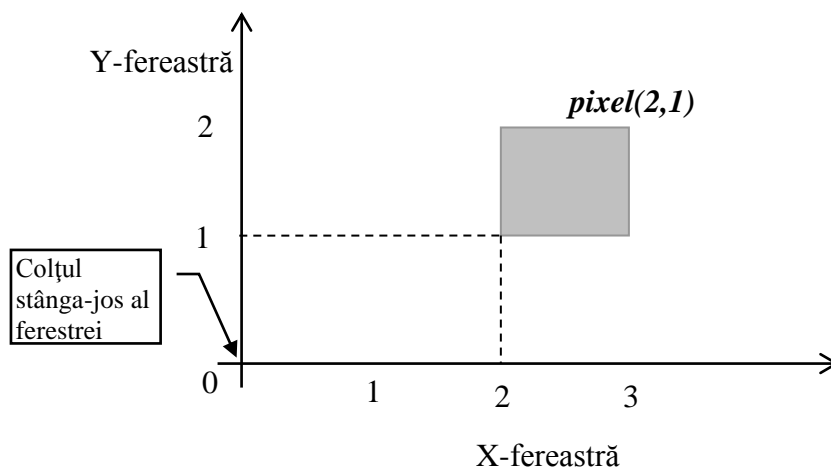


Figura 10.1. Zona ocupată de un pixel.

Cadrul tampon (Frame Buffer)	Buffer de culoare	- indexul de culoare, - datele de culoare RGB și eventual valorile alfa.
	Buffer de adâncime (profundime) sau z-buffer	Stocază valoarea profundimii pentru fiecare pixel.
	Bufferul matriță	Restricționează desenul la porțiunea concretă de ecran
	Bufferul acumulator	- tipic utilizat pentru reținerea unor serii de imagini finale, imagini compuse; - acumularea se realizează întotdeauna în blocuri rectangulare.
	Bufferul de eliberare	Permite eliberarea ecranului de grafica existentă. Aceasta este în general o operație cronofagă, de regulă manipulându-se 1280×1024 pixeli.
	Buffere de mascare	Permite aplicarea operațiilor de mascare pe datele din bufferele de culoare, profundime sau matriță.

Figura 10.2. Organizarea de principiu a cadrului tampon

10.3. Atribute grafice

10.3.1 Culoarea

Cel mai important atribut grafic al imaginilor este culoarea. Culoarea este o noțiune care se definește din mai multe puncte de vedere.

- *din punct de vedere fizic*, culoarea reprezintă radiații electromagnetice cuprinse în spectrul optic (vizibil) între **375nm și 760nm**, care în mod normal constituie stimuli selectivi pentru conurile retiniene; culoarea unui obiect este dată de componentele de radiație ale spectrului vizibil care sunt reflectate de suprafețele respective (celelalte fiind absorbite);
- *din punct de vedere psihofizic*, culoarea este acea caracteristică a luminii care permite distingerea a două câmpuri de aceeași formă, mărime și structură și în spectrul vizibil;
- *din punct de vedere psihosenzorial*, indiferent de stimulul utilizat, orice senzație luminoasă se caracterizează prin anumite proprietăți sau *factori cromatici*:
 - o luminozitate sau strălucire,
 - o tonalitate (cromatică),
 - o saturație.

Obiectele care compun o imagine pot fi **acromatice** sau **cromatice (colorate)**. Acromatic înseamnă fără culoare și nu ceva care nu se vede. De exemplu: **lumina albă este acromatică**, alb, negru și gri sunt culori neutre considerate **acromatice**. Culorile acromatice sunt cele care reflectă **lumina solară sau artificială neselectiv**, adică reflectă în mod egal toate lungimile de unde electromagnetice vizibile pentru ochiul uman. În această categorie intră culorile alb, negru și toate nuanțele dintre acestea (nuanțele de gri sau cenușiul). Aceste culori se deosebesc între ele printr-o singură trăsătură caracteristică: **luminozitatea (strălucirea)**.

A) Proprietăți ale culorilor

- a) **Luminozitatea sau strălucirea** unei culori, reprezintă *gradul de intensitate* sau *cantitatea de energie a radiației* reflectate de o anumită culoare. Din punct de vedere fizic această proprietate este determinată de **amplitudinea undei luminoase**.

Culorile deschise (luminoase) sau strălucitoare, reflectă mai multă lumină decât cele închise. Culoarea cea mai luminoasă este cea albă, iar cea mai puțin luminoasă este cea neagră. În general, culorile de la marginea spectrului vizual (albastru, violet) au o strălucire mai mică decât cele de la centru (galben). O culoare cromatică este cu atât mai luminoasă cu cât este mai îndepărtată de negru.

- b) **Tonalitatea** cromatică este însușirea care se referă la *scara perceptivă calitativă* a unei culori. În sens fizic ea este dată de **lungimea de undă predominantă** din lumina ce stimulează analizorul vizual. Astfel, tonalitatea cromatică se raportează la culorile: roșu, galben, verde, albastru, conducând la atribute de forma: albastrui-verzui, verde-albastrui, alb-gălbui, etc., care se mai numesc și *tente sau nuanțe cromatice*.

Din punct de vedere fiziologic, ochiul uman **discriminează diferențe de 2-5nm ale lungimii de undă** a radiației luminoase, astfel fiind capabil să perceapă numeroase tonuri cromatice sau nuanțe de culoare. Pe gama de lungimi de undă cuprinsă între **760nm (roșu închis) și 390nm (violet)** se pot distinge **130-200 de nuanțe cromatice**. Aceste nuanțe formează familii de culori dispuse în jurul celor care constituie spectrul cromatic, astfel: **roșul are 57 de nuanțe** distincte, **portocaliul 12, galbenul 24, verdele 12, albastrul 29, violetul 16**.

- c) **Saturația** reprezintă puritatea sau gradul de amestec al unei culori cu albul (amestecul lungimilor de undă), ceea ce conferă însușirea unei culori de a fi mai **concentrată** sau mai **pală** (saturată). Saturația culorilor se evaluează pe o scară convențională a distanțelor la care se situează o anumită culoare cromatică dată față de culoarea acromatică alb.

Din punct de vedere fizic, saturația culorilor depinde de **uniformitatea lungimilor de undă percepute concomitent**. *O culoare teoretic pură este cea determinată de o singură lungime de undă*, cu cât percepem mai multe lungimi de undă concomitent cu atât senzația de culoare este mai pală, mai puțin pură. Dacă percepem concomitent toate lungimile de undă, vedem culoarea albă.

Datorită proprietății de saturație, culorile se clasifică în “tari” sau “slabe”, “grele” sau “ușoare”, “vii” sau “moarte”, “vesele” sau “triste”. Se apreciază că, prin combinarea diferitelor grade de saturație și a celor **200 de tonuri cromatice**, se pot obține în jur de **1700 nuanțe cromatice**.

O altă categorie de proprietăți ale culorilor se referă la modul de obținere a acestora:

- **Culori de bază** (*primare sau fundamentale*) sunt cele din care se pot obține prin amestec toate celelalte culori. Culorile de bază sunt: **roșu, verde, albastru**.
- **Culori complementare** sunt cele care amestecate în proporții corespunzătoare (proporții care se găsesc în spectru) dau culoare neutră (alb sau cenușiu).
- **Culori compuse** sunt acelea care rezultă din amestecul (două câte două) a culorilor de bază. Există culori compuse de gradul I, culori compuse de gradul II (rezultate din amestecul celor de gradul I), ș. a.m.d..

În grafica pe calculator **standardul de reprezentare a culorii este RGBA**. În acest context, mediul de programare grafică stochează în bufferele de culoare componentele cromatice *roșu, verde, albastru* și componenta *alfa*. Există două moduri de lucru cu informația de culoare:

- *modul RGBA*, în care mediul grafic stochează în bufferele de culoare componentele de culoare roșu, verde, albastru și componenta alfa;
- *modul index (indice) de culoare*, în care se stochează în bufferele de culoare **un indice unic** reprezentând o culoare dată prin nume și nu prin valoare. În general, indicii de culoare sunt tratați ca valori continue (de exemplu ca numere în virgulă mobilă), deoarece acestea suportă operații de interpolare și suprapunere. În particular, indicii de culoare sunt stocați în cadrul tampon ca numere întregi (cei în virgulă mobilă fiind convertiți prin rotunjire la cea mai apropiată valoare întreagă).

B) Variabila *alfa*

Alături de cele trei componentele de bază pentru culoare RGB, intervine a patra componentă de culoare, care controlează *îmbinarea (amestecul) culorilor*. De exemplu în OpenGL, variabila alfa corespunde noțiunii de **opacitate**, în sensul următor:

- *alfa=1* produce opacitate completă,
- *alfa=0* produce transparență completă.

Reprezentarea culorilor sub forma tripletului RGB este conventională, așa cum se arată în figura 10.3, iar combinațiile de 0 și 1 atribuite componentelor RGB generează paleta de culori din tabelul 10.3.

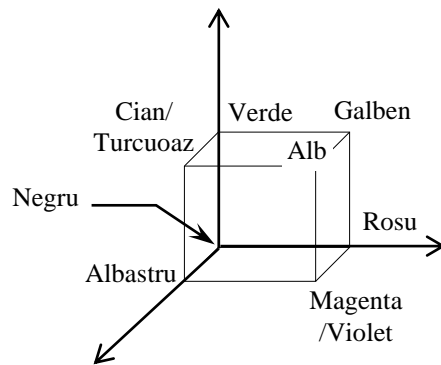


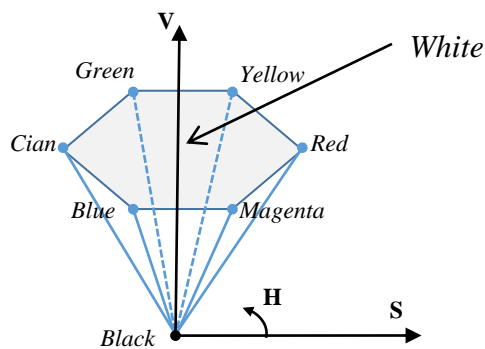
Figura 10.3. Reprezentarea *convențională* a tripletului RGB și a derivatelor sale cromatice

Tabelul 10.3 Valorile componentelor primare

Rosu	Verde	Albastru	Culoarea
0	0	0	Negru
0	0	1	Albastru
0	1	0	Verde
1	0	0	Rosu
0	1	1	Albastru cian
1	0	1	Magenta
1	1	0	Galben
1	1	1	Alb

Alte spații de culoare

Spațiul de culoare perceptual: sistemul HSV (Hue – Saturation -Value), cu variantele: HVC (Hue, Value, Chroma), HSI (Hue, Saturation, Intensity) or HSL (Hue, Saturation, Luminance)



Sistemul Kodak – PhotoYCC: Y-Luminance, C- Chroma, C- Chroma.

Sistemele NTSC și PAL.

C) Rasterizarea

Rasterizarea este operația prin care se realizează conversia unei primitive geometrice (punct, linie sau poligon) ori a pixelilor unei hărți de biți sau imagini, în fragmente corespunzătoare **unui pixel în cadrul tampon (buffer)**.

10.3.2 Textura

Textura este o imagine uni- sau bi-dimensională utilizată la **modificarea culorii** fragmentelor (pixelilor) produse prin rasterizare. Textura este specifică anumitor materiale.

10.4. **Matematica iluminării în modul RGBA**

Din cele descrise mai rezultă că un rol important asupra vizibilității culorilor îl joacă **luminozitatea**. În grafica pe calculator se lucrează cu *modele de iluminare*, care țin seama de complexitatea fenomenelor legate de mai mulți factori, cum sunt:

- luminozitatea ambientală globală,
- poziția de vizare a scenei (locală sau la distanță infinită),
- efectul cumulat al mai multor factori ce țin de natura materialului, textură, etc.

În continuare se prezintă ecuațiile matematice utilizate de OpenGL pentru realizarea calculului iluminării pentru determinarea culorilor în modul RGBA. În acest scop se modelează **efectul cumulat** al următorilor factori:

- emisia materialului,
- lumina ambientală globală, scalată prin proprietățile ambientale ale materialului,
- contribuția diferitelor surse de lumină (modul de umbră),

Operațiile asupra componentelor RGBA.

Pentru obținerea modelelor de iluminare, efectele de culoare se obțin prin mecanisme **aditive** și **multiplicative** asupra componentelor de bază. Astfel:

- Dacă există n termeni care se compun la nivelul culorilor de bază, efectul aditiv este:

$$(R_1 + R_2 + \dots + R_n, G_1 + G_2 + \dots + G_n, B_1 + B_2 + \dots + B_n).$$

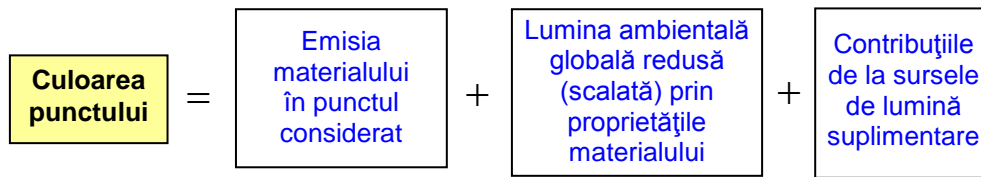
- Când efectul este multiplicativ, termenul rezultat este:

$$(R_1 R_2 \cdot \dots \cdot R_n, G_1 G_2 \cdot \dots \cdot G_n, B_1 B_2 \cdot \dots \cdot B_n).$$

Componenta alfa corespunzătoare unui punct din imagine este egală cu valoarea alfa a *difuziei materialului* în punctul respectiv.

Calculul culorii într-un punct

Culoarea produsă ca efect al iluminării unui punct se obține ca efect aditiv a trei mari contribuții astfel:



Termenii relației de mai sus sunt date în componente RGBA prin intermediul unor variabile (parametri) care se găsesc în **biblioteca OpenGL**. Valoarea calculată astfel în modul RGBA se încadrează în intervalul $[0,1]$.

(1). Emisia materialului

Acest termen se obține asociind din **biblioteca grafică OpenGL** un parametru caracteristic fiecărui material (GL_EMISSION) reprezentat de o valoare RGB care dă culoarea tipică (standard) a materialului respectiv.

(2). Lumina ambientală

Lumina ambientală globală sau *iluminarea globală* este definită printr-un model ce controlează **luminozitatea culorilor** reprezentat de regulă printr-un parametru din biblioteca grafică exprimat prin variabila GL_LIGHT_MODEL_AMBIENT. Culoarea efectivă a materialului se obține prin *multiplicarea (scalarea)* modelului iluminării ambientale dată de modelul global, cu proprietățile materialului (GL_AMBIENT), adică:

$$ambient_{lightmodel} \times ambient_{material}$$

Multiplicarea se face la nivelul valorilor RGB pentru cei doi parametrii, termenul rezultat având valorile:

$$(R_1 R_2, G_1 G_2, B_1 B_2)$$

(3). Contribuțiile de la sursele de lumină

Fiecare sursă de lumină care se distinge în **iluminarea globală**, poate contribui la culoarea unui anumit punct, iar această contribuție are un **efect cumulat**. Expresia de calcul care se aplică pentru fiecare contribuție provenind de la o sursă de lumină este următoarea:

$$\begin{aligned} \text{contributia} &= \\ &= \text{factor de atenuare} \times \text{efectul spotului} \times (\text{termen ambiental} + \text{termen de difuzie} + \text{termen reflexii}) \end{aligned}$$

a) Factorul de atenuare

Efectul distanței față de sursa de lumină considerată la contribuția acesteia supra iluminării este dată de următoarea relație:

$$\text{factor de atenuare} = \frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2}$$

unde:

- d este distanța dintre poziția sursei de lumină și punctul considerat
- k_c coeficient de atenuare constantă (parametrul GL_CONSTANT_ATTENUATION)
- k_l coeficient de atenuare liniară (parametrul GL_LINEAR_ATTENUATION)
- k_q coeficient de atenuare pătratică (parametrul GL_QUADRATIC_ATTENUATION)

b) Efectul spotului luminos

Acest efect este legat de *lumina direcțională*. Termenul acestui efect se poate seta la una din cele trei valori, în funcție de poziția punctului considerat față de conul luminos al spotului, astfel:

- 1, dacă sursa de lumină *nu este un spot* (unghiul de divergență setat în parametrul GL_SPOT_CUTOFF este 180°),
- 0, dacă lumina *este un spot*, dar punctul se află în afara conului de iluminare produs,
- $(\max\{\bar{V} \cdot \bar{d}, 0\})^{GL_SPOT_EXPONENT}$, dacă lumina *este un spot*, iar punctul se află în interiorul conului de iluminare, unde: $\bar{V} = (V_x, V_y, V_z)$ este vectorul unitar orientat de la spotul luminos (definit prin variabila GL_POSITION) la punctul respectiv; $\bar{d} = (d_x, d_y, d_z)$ este direcția spotului luminos (dată de variabila GL_SPOT_DIRECTION).

Așa cum se observă în figura 10.5, produsul scalar al celor doi vectori V și d variază cu cosinusul unghiului dintre ei, astfel că, obiectele de pe linia directă primesc iluminarea maximă, în timp ce obiectele din jurul axei au iluminarea **redușă cu cosinusul unghiului**.

Pentru a determina dacă un punct particular se află în interiorul conului de iluminare se evaluează expresia $(\max\{\bar{V} \cdot \bar{d}, 0\})$, unde vectorii V și d sunt definiți ca mai sus. Dacă această valoare este mai mică decât cosinusul unghiului limită definit al spotului (GL_SPOT_CUTOFF), atunci punctul se află în afara conului, altfel se află situat în interiorul acestuia.

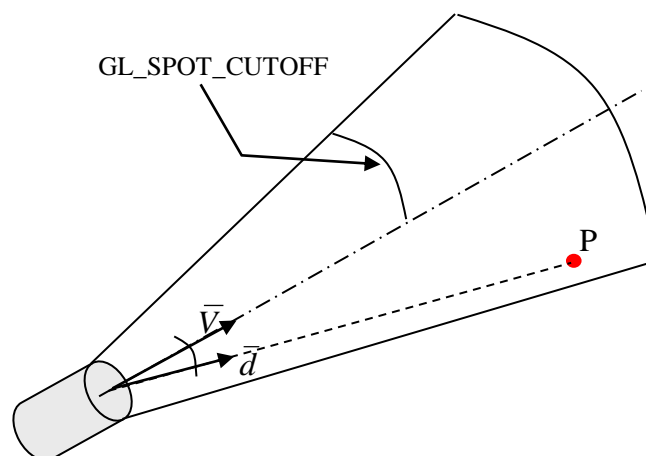


Figura 10.5. Reprezentarea spotului luminos

a) Termenul ambiental

Acest termen modelează interacțiunea luminii cu mediul ambiental, mai exact cu materialul acestuia. Valoarea acestui termen se obține simplu prin ponderarea culorii luminii ambientale cu proprietățile materialului ambiental:

$$ambient_{light} \times ambient_{material}$$

c) Termenul de difuzie

Acest termen ține seama de **împrăștierea** (difuzia, dispersia) luminii în punctul pe care cade. El se calculează ținând cont de culoarea luminii difuzate și proprietățile materialului de împrăștiere a luminii. Ecuația de calcul a valorii termenului de difuzie este următoarea:

$$(\max\{\bar{L} \cdot \bar{n}, 0\}) \times diffuse_{light} \times diffuse_{material},$$

unde:

- $\bar{L} = (L_x, L_y, L_z)$ este vectorul unitar care este îndreptat de la punct la poziția sursei de lumină (GL_POSSITION),
- $\bar{n} = (n_x, n_y, n_z)$ este vectorul unitar normal la suprafața căreia aparține punctul, așa cum se arată în figura 10.6.

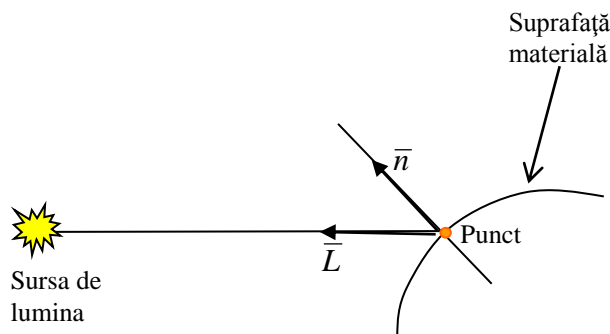


Figura 10.6. Schema de difuzie

d) Termenul reflexiei

Acest termen ține seama de modul cum cade lumina pe punctul considerat. Astfel:

- dacă $\bar{L} \cdot \bar{n} \leq 0$ nu există nici o componentă reflectată în punctul dat,
- dacă există reflexie, aceasta depinde de următoarele elemente pe baza cărora se constituie modelul reflexiei:
 - vectorul unitar normal la suprafață în punctul dat $\bar{n} = (n_x, n_y, n_z)$,
 - suma a doi vectori unitari îndreptați astfel (1)-între punct și poziția sursei de lumină, respectiv (2)-între punct și punctul de vizare. Acest vector sumă se normalizează (prin divizarea fiecărei componente la magnitudinea vectorului), rezultând vectorul sumă $\bar{S} = (S_x, S_y, S_z)$,
 - exponentul reflexiei (GL_SHININESS),
 - culoarea reflectată din lumină ($GL_SPECULAR_{light}$),
 - proprietățile de reflexie ale materialului ($GL_SPECULAR_{material}$).

Expresia pentru calculul efectului reflexiei este următoarea:

$$(\max\{\bar{S} \cdot \bar{n}, 0\})^{shininess} \times specular_{light} \times specular_{material}$$

Se definește *radiozitatea* unei reprezentări grafice pe calculator ca fiind modul de iluminare globală rezultat prin calcularea intensităților luminoase rezultate din reflexii difuze multiple.

Cumularea efectelor

Determinarea culorii punctului ca efect al cumularii tuturor factorilor de iluminare discutați mai sus se face pe baza *iluminării totale* calculată în modul RGBA cu expresia următoare:

$$\begin{aligned}
 \text{culoarea punctului} &= \\
 &= \text{emission}_{material} + \text{ambient}_{light\ model} \times \text{ambient}_{material} + \\
 &+ \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2} \right)_i \times (\text{spot light effect})_i \times [\text{ambient}_{light} \times \text{ambient}_{material} + \\
 &+ (\max\{\bar{L}\bar{n}, 0\}) \times \text{diffuse}_{light} \times \text{diffuse}_{material} + (\max\{\bar{S}\bar{n}, 0\})^{\text{shininess}} \times \text{specular}_{light} \times \text{specular}_{material}]_i
 \end{aligned}$$