

# Cresterea Realismului Imaginilor

## 3.6.4 Stereografia

În ultimii ani au apărut în librării albume cu imagini în relief, numite *stereograme*. Privite normal (natural ca orice imagine) acestea nu prezintă nici un interes pentru că de cele mai multe ori imaginea pare fără sens ca și un model aleator. Uneori se poate observa o anumită repetare pe orizontală a unor modele (dacă acestea sunt ușor de recunoscut). În albumele comercializate se explică modul în care trebuie să privim aceste imagini ciudate pentru a obține imaginea stereo spațială dorită. Imaginea formată în spatele planului paginii va fi rezultatul celor două imagini percepute de fiecare ochi și compuse în creier. Ușurința vizualizării unei astfel de imagini depinde de calitatea fiecărui individ de a percepe imagini stereo. În aceste albume nu sunt însă precizate tehnicile de realizare a imaginilor prezentate ci doar modul de utilizare a acestora.

În acest paragraf va fi prezentată o modelare a acestor stereograme precum și tehnica realizării lor direct pe ecranul unui calculator. Cu ajutorul unui astfel de program putem ușor să construim astfel de imagini ce reprezintă diverse corpuri sau suprafețe. Pentru matematicieni de exemplu, o suprafață dată sub forma  $z=f(x,y)$ , se poate vizualiza și studia ca și cum ar fi reală, în spațiul natural tridimensional.

În grafica pe calculator, principalul obiectiv este creșterea realismului imaginii. Atât pe hârtie cât și pe ecran, imaginea reală tridimensională se reprezintă prin proiecție în planul de desenare, ceea ce face să se piardă calitatea spațială a imaginii. Percepția naturală umană de adâncime pentru majoritatea oamenilor se bazează pe combinarea a două imagini diferite văzute de fiecare ochi. Într-o fotografie este reprezentată o singură imagine "văzută" de obiectiv, ceea ce înseamnă că efectul stereografic se pierde.

Se cunoaște că în domeniul militar (de exemplu) se utilizează echipamente de luptă care suprapun imagini diferite (același obiect văzut din două puncte diferite) și care oferă o imagine stereo tridimensională așa cum este văzută ea în realitate sau chiar mărește capacitatea umană de percepție în

adâncime prin mărirea ecartului pupilar (pentru aprecierea mai bună a distanțelor).

Cea mai spectaculoasă realizare în acest domeniu este holografia care a pătruns deja și în informatică. Din păcate însă este o tehnică costisitoare pe care nu ne-o putem permite la nivelul fiecărui utilizator. Această direcție de cercetare prin care să putem vedea imagini spațiale (cu adâncimea reală) a avut rezultate (bazate pe diferite tehnici) în geometrie (prin anagliffe), geografie, cinematografie, etc.

### 3.6.4.1 Stereograme

Existe numeroase metode de a vedea un corp în spațiu, așa cum îl vedem în realitate. Stereogramele permit acest lucru fără a fi nevoie de alte instrumente speciale, doar de o anumită îndemânare în a vedea aceste obiecte.

O metodă asemănătoare cu cea pe care o vom prezenta, și la care ne vom referi în cele ce urmează poate fi ușor aplicată, deoarece necesită pentru vizualizare doar o pereche de ochelari simpli care au lentilele colorate diferit. Vederea spațială se bazează pe faptul că fiecare ochi vede același corp, dar din alt unghi, adică rotit. Evident că pe ecran va trebui să desenăm simultan două imagini (pentru fiecare ochi) iar apoi să le distingem (fiecăre ochi să vadă imaginea dedicată lui). În unele cărți de geometrie în spațiu (care conțin și ochelarii aceștia simplii) este aplicată această tehnică, efectul fiind spectaculos. Păcat că aceste corpuri nu se mișcă! Dar pe ecran acest lucru este posibil, mai mult mișcarea este cea dorită de către utilizator.

Stereogramele au (cu totul) alt principiu de “funcționare” (vom vedea diferența de construcție a lor) și în plus nu mai necesită nici acești ochelari, doar ochii umani și o instruire a celui care dorește să vadă o stereogramă (descrisă în [[19,22,25]]). Există cărți cu astfel de imagini (realizate prin puncte aleatoare sau un anumit model care se repetă), unde este explicată metoda de a putea vedea obiectul în relief, ca și în realitate, având și a treia dimensiune (adâncimea).

## Cresterea Realismului Imaginilor

Atât pe hârtie cât și pe ecran sunt desenate obiectele tridimensionale după ce acestea au suferit o (transformare de) proiecție într-un plan real (bidimensional), apoi o nouă transformare prin care imaginea plană este încadrată într-o fereastră a ecranului sau hârtiei. Imaginea realizată pe ecran nu o mai vedem în spațiu (ea fiind plană) ci doar ne închipuim cum arăta obiectul tridimensional inițial (vezi [[63]). De multe ori aceeași imagine plană ne conduce la interpretări greșite (iluzii optice) datorită faptului că transformarea inversă nu este unică. În continuare ne vom referi la reprezentările pe ecran, deoarece aceste obiecte pot fi rotite în jurul axelor de coordonate cu ajutorul tastaturii, ceea ce sporește și mai mult realitatea imaginii obținute (vezi [[3,31,33,39]). Vom vedea în cele ce urmează de ce am preferat proiecția perspectivă (și nu cea paralelă), nu numai pentru faptul că este cea reală și ajută la creșterea realismului imaginilor. Desigur că dacă renunțăm la animație, imaginile construite (stereogramele) pot fi tipărite și vizualizate spațial, dar static.

### 3.6.4.2 Vizualizarea unei stereograme

Existe numeroase metode de a vedea un corp în spațiu, așa cum îl vedem în realitate. Stereogramele permit acest lucru fără a fi nevoie de alte instrumente speciale, doar de o anumită îndemânare în a vedea aceste obiecte. Practic, trebuie privit în spatele ecranului (la o anumită distanță), fiecare ochi văzând câte două piramide (vezi Figura 34).

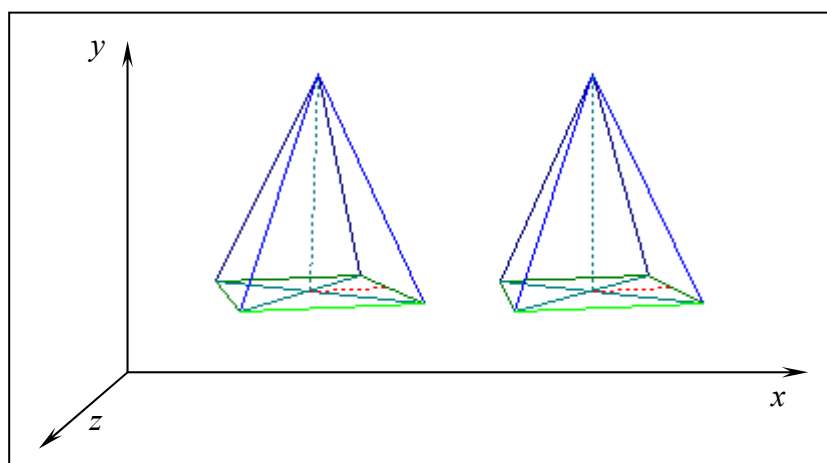


Figura 34 – Exemplu de stereogramă

## Grafica 3D+

În momentul în care două dintre cele patru piramide se suprapun (se vor observa doar trei) cea din mijloc va fi văzută în spațiu.

Cele două obiecte reprezentate nu vor fi identice! Dacă ar fi, atunci se va vedea mai bine (mai clar, mai curat) obiectul din mijloc (piramida din exemplul nostru) dar nu în spațiu. Această imagine va fi tot plană, ca o fotografie, în care ne închipuim doar adâncimea dar nu o vedem în spațiu, ca în realitate. Pentru a o vedea în relief, trebuie ca cele două imagini să fie diferite, așa cum se întâmplă în mod natural fiecare ochi vede aceeași imagine dar din alt unghi, ceea ce ne permite să simțim adâncimea (a treia dimensiune). Dacă al doilea obiect (piramida din dreapta) ar fi obținut prin rotirea cu un unghi a primului obiect în jurul axei Oy (presupunem că observatorul se află pe axa Oz, axă care va exprima adâncimea) atunci nu se va obține o stereogramă (deci nu poate fi văzută prin metoda prezentată mai sus). Dacă am putea să vedem fiecare imagine (obiect) cu ochiul corespunzător, atunci am vedea obiectul reprezentat în spațiu. O metodă simplă care poate realiza acest lucru, utilizează ochelari colorați diferit pentru fiecare ochi, ceea ce permite filtrarea imaginii dorite. Pentru aceasta cele două obiecte vor fi colorate diferit în cele două culori alese pentru lentile (de exemplu o piramidă va fi colorată în roșu, iar cealaltă cu albastru, în acest fel cu *ochiul roșu* se va vedea piramida roșie, iar cu *ochiul albastru* piramida albastră). Desigur că această metodă are cel puțin două inconveniente și anume că trebuie să ne confecționăm acești ochelari iar imaginile nu pot fi color (ca cele din figura 1 reprezentate pe ecran). Chiar și pentru această metodă este necesară o anumită dexteritate a celui care privește obiectul, această calitate fiind diferită de la un individ la altul. Oricum merită încercat pentru că efectul este impresionant.

Metoda pe care o vom prezenta în continuare înlătură cele două inconveniente (minore) prezentate anterior, deci imaginile pot fi color și nu mai trebuie decât puțină perseverență pentru a căpăta o îndemânare pentru a putea privi aceste stereograme. Există persoane care au această calitate bine dezvoltată, reușind să vadă în spațiu foarte ușor și repede, dar din păcate și

## Cresterea Realismului Imaginilor

persoane care nu reușesc acest lucru sau foarte greu (cu efort mare, fiind obositor mai ales pentru ochi).

Principiul de vizualizare a unei stereograme este următorul: cu cât distanța  $p$  dintre doi pixeli pereche este mai mică (vezi figura 2) cu atât punctul văzut în spațiu (în adâncime) este mai apropiat de ecran (distanța  $d$ ). Dacă dorim ca acest punct să fie mai îndepărtat de observator (deci și de ecran, va trebui să îndepărtăm punctele care îl formează (să mărim distanța  $p$  dintre cele două puncte), vezi [[3,19,22].

Se poate deduce ușor (vezi Figura 35) că :

$$d(p) = e * p / (g - p)$$

Practic, în construirea unei stereograme ne interesează funcția inversă, deci unde să punem pe ecran un pixel pereche (la ce distanță, adică distanța  $p$ ) pentru a realiza o adâncime dorită  $d$ . Formula inversă este :

$$p(d) = g * d / (d + e)$$

Dacă am considera figura pereche identică, la o distanță  $p_0$  atunci figura compusă va fi într-un plan situat la distanța  $d_0 = d(p_0) = e * p_0 / (g - p_0)$  față de ecran. Noi dorim însă ca unele puncte să le apropiem, iar altele să le îndepărtăm. Dacă un punct dorim să îl obținem într-un plan mai îndepărtat, să spunem la distanța  $d = d_0 + \Delta d$ , ne interesează cu cât mărim distanța  $p_0$ . Aceasta înseamnă că ne interesează  $\Delta p = p(d) - p(d_0) = p(d_0 + \Delta d) - p_0 = g * (d_0 + \Delta d) / (d_0 + \Delta d + e) - p_0 = g * (e * p_0 / (g - p_0) + \Delta d) / (e * p_0 / (g - p_0) + \Delta d + e) - p_0$ .

Desigur că ne interesează ca această distanță să fie exprimată în pixeli, ceea ce nu este dificil:

$$\Delta p_P = [\Delta p * Nph / Dsh],$$

unde

$$Nph = \text{numărul de pixeli pe orizontală},$$

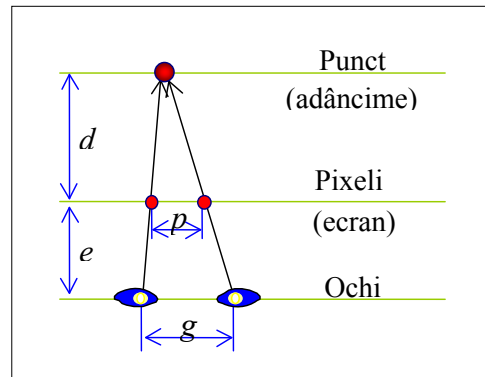


Figura 35 - Vizualizarea unei stereograme

## Grafica 3D+

$Dsh = \text{dimensiunea ecranului pe orizontală.}$

$[x] = \text{partea înteagă din } x + 0.5.$

Se observă în formulele de mai sus că mai intervin și distanțele  $e$  și  $g$ :

- distanța  $e$  putem spune că este în intervalul 50-70cm ( $\approx 20''$ - $25''$ ),
- distanța  $g$  care dă *puterea stereografică* a unui individ (*pupil gauge*) este în jur de 6.5cm ( $2.56''$ ).

Mai trebuie subliniat faptul că distanța dintre doi pixeli pereche este strict pozitivă și evident, nu poate să depășească ecartul pupilar ( $0 < p = p_0 + \Delta p < g$ ). Pentru o distanță de aproximativ 5cm ( $\approx 2''$ ), considerând distanța dintre doi pixeli de 0.042cm ( $0.0166''$ ) rezultă o valoare inițială a distanței  $p_0$  de 120 de pixeli. Dacă puterea stereografică a utilizatorului este bună, atunci această distanță se poate mări, evident fără să depășească  $g$ , iar dacă această calitate stereografică este scăzută se recomandă micșorarea distanței inițiale  $p_0$ , însă nu prea mult pentru a se evita suprapunerea celor două imagini (situație în care observarea stereogramei este îngreunată).

### 3.6.4.3 Construcția unei stereograme

Vom alege două ferestre ecran respentând condițiile prezentate anterior. În prima fereastră vom reprezenta primul obiect în proiecție perspectivă, iar în a doua fereastră același obiect va fi proiectat dar cu modificările pentru coordonatele  $x$  corespunzătoare adâncimilor așa cum am văzut mai înainte (pentru a putea obține efectul de adâncime).

În exemplul dat în Figura 36 am mărit distanța  $AA'$  și am micșorat distanța  $BB'$ , ceea ce are ca efect deplasarea punctului  $A$  într-un plan mai îndepărtat, iar a punctului  $B$  într-un plan mai apropiat ( $AA' > VV' > BB'$ ). Efectul obținut este un triunghi care se vede în spațiu și care nu mai este paralel cu ecranul.

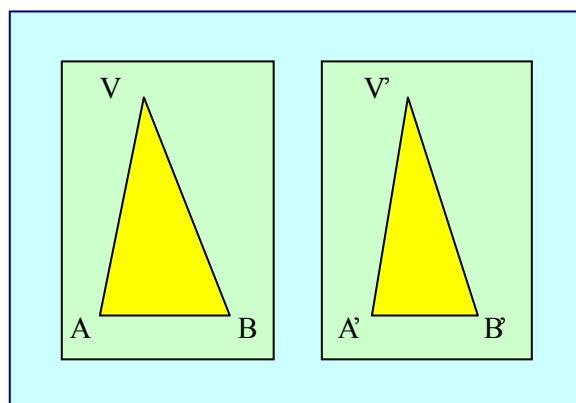


Figura 36 - Construirea unei fețe

## Cresterea Realismului Imaginilor

Se observă că prin micșorarea bazei AB se obține o rotație a triunghiului într-un sens, iar prin mărirea bazei obținem rotația în sens contrar (vezi Figura 37). Se mai poate observa că cu cât extremitatea unui segment se îndepărtează de ecran, cu atât lungimea lui pe ecran (în proiecție) crește (segmentul VB din imaginea stângă).

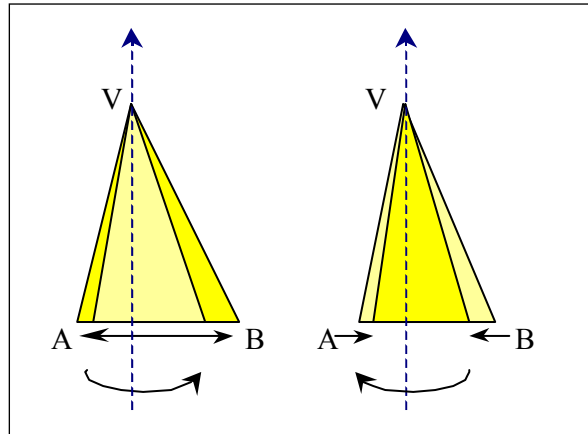


Figura 37 - Rotirea unei fețe

Aceasta pare o anomalie, deoarece se știe că în realitate cu cât un obiect este mai depărtat cu atât este mai mic.

Pentru a putea contracara acest efect se recomandă proiecția perspectivă, prin care laturile mai depărtate vor fi desenate mai mici, iar prin mărirea dimensiunilor lor nu ajung să depășească dimensiunile celor mai apropiate. Oricum, este evident că proiecția perspectivă este preferată la o vizualizare spațială.

Practic pentru prima figură din stereogramă se parcurg etapele standard de reprezentare a unui poliedru (vezi [[3,33,39]]):

- se precizează fereastra ecran  $\mathbf{V}_1(u_1, v_1, u_2, v_2)$ , de exemplu *Viewport* (200,100,300,200);
- se determină fereastra reală (a figurii proiectate), adică dreptunghiul minim care conține toate proiecțiile punctelor (vârfurilor corpurilor),
- se reprezintă fiecare segment (muchie) având anumite caracteristici (tip linie, culoare, ...).

Pentru cea de a doua figură se procedează asemănător cu următoarele diferențe:

- se precizează fereastra ecran  $\mathbf{V}_2(u_1+p_0, v_1, u_2+p_0, v_2)$ , astfel încât:
  - $u_2 < u_1+p_0$  pentru a nu se intersecta ferestrele (deci nici figurile),

## Grafica 3D+

- $p_0 < g$  pentru ca distanțele dintre doi pixeli pereche să fie mai mici decât ecartul pupilar;

de exemplu *Viewport* (340,100,440,200), deci  $p_0 = 140$ ;

- b) se menține fereastra reală (calculată anterior), deoarece atât corpul cât și caracteristicile proiecțiilor rămân nemodificate,
- c) se reprezintă fiecare muchie a corpului făcând corecțiile necesare pentru coordonatele  $x$  ale fiecărui pixel în funcție de cota  $z$  (aceasta presupunând că observatorul se află pe semiaxa pozitivă  $Oz$ ) a punctului corespunzător. Aceste corecții se pot face fie măbind distanțele pe orizontală dintre pixelii care reprezintă capetele muchiilor (corpului), dar fără a depăși distanța  $g$ , fie micșorând aceste distanțe, dar este preferabil să nu se intersecteze cu primul desen (figura din stânga) pentru a nu îngreuna citirea stereogramei.

Presupunem că punctul pe care dorim să-l reprezentăm este  $P(x,y,z) \in \mathbf{R}^3$ , prin proiecție obținem  $P'(x',y') \in \mathbf{R}^2$  astfel:

$$x' = x * (\delta - q) / (\delta - z), \text{ iar}$$

$$y' = y * (\delta - q) / (\delta - z);$$

unde  $\delta$  reprezintă distanța la care se află observatorul față de origine ( $Obs(0,0,\delta)$ , deci se află pe semiaxa pozitivă  $Oz$ ), iar  $q$  reprezintă distanța la care se află planul de proiecție față de origine, acesta fiind paralel cu planul  $xOy$  (aceste condiții ne scutesc de alte transformări geometrice necesare [[33,39] pentru a ajunge ca aceste condiții să fie îndeplinite, mai ales că putem mai târziu să rotim corpul astfel încât să îl aducem în poziția dorită). Se cunoaște faptul că observatorul trebuie să fie la o distanță apreciabilă față de corp (să depășească cea mai mare cotă a corpului) pentru ca acesta să nu fie reprezentat prea deformat (vezi formulele de mai sus), dar nici foarte mare, situație în care proiecția seamănă tot mai mult cu o proiecție paralelă.

Prin transformările de fereastră se obține punctul din ecran (pixelul)  $P''(u,v) \in \mathbf{V}_2$  (fereastra ecran declarată), astfel:

$$u = (x' - x_1) / (x_2 - x_1) * (u_2 - u_1) + u_1 + p_0,$$

$$v = (y' - y_1) / (y_2 - y_1) * (v_2 - v_1) + v_1,$$



## Cresterea Realismului Imaginilor

pentru fereastra ecran  $\mathbf{V}_2 (u_1+p_0, v_1, u_2+p_0, v_2)$ , și fereastra reală  $\mathbf{W}(x_1, y_1, x_2, y_2)$  determinată deja pentru prima figură.

Prin corecția de adâncime (pentru a se putea vedea în spațiu) se va obține  $P_S(u - \Delta p_P, v)$ .

Cu toate că formulele de calcul (și pentru  $\Delta p_P$ ) au fost expuse în paragraful 2 și se pot utiliza, considerăm că este mult mai simplu să facem această corecție direct, în funcție de cota  $z$  a punctului  $P$  aplicând următoarea formulă:

$$\Delta p_P = (z - \min \{ z_i \} ) / \Delta z * k, \quad \text{unde:}$$

–  $\Delta z$  este înălțimea corpului:

$$(\Delta z = \max \{ z_i / P_i(x_i, y_i, z_i) \in V \text{ (vertexurile corpului)} \} - \min \{ z_i / P_i(x_i, y_i, z_i) \in V \} )$$

–  $k$  este *constantă de amplificare a adâncimii*, de exemplu 15. Această constantă poate fi determinată atât de factori obiectivi (raportul  $\Delta z / \Delta x$ ) cât și subiectivi (distanțele  $g$  și  $e$ , reprezentate în Figura 35).

Se observă vă această corecție se face doar într-un sens pentru că  $\Delta p_P \in [0, k]$ , deci nu permite decât apropierea de ecran a unor puncte. Pentru a putea permite și îndepărtarea lor (având grijă să nu depășim distanța  $e$ ), atunci formula poate fi următoarea:

$$\Delta p_P = ( (z - \min \{ z_i \} ) / \Delta z * 2 - 1 ) * k, \quad \text{deci } \Delta p_P \in [-k, k].$$

Dacă observarea se va efectua în fața ecranului (posibilitate care va fi descrisă imediat, vezi figura 7), atunci ferestrele pot fi cele două jumătăți ale ecranului (evident stânga și dreapta) iar  $k$  poate fi mai mare, de exemplu 50. Dacă această constantă este prea mare, de exemplu 100, atunci anumite puncte se formează prea aproape de observator și figura se vede mult mai greu. Mai atragem atenția că dacă optăm pentru acest mod de observare trebuie să schimbăm semnul acestei constante, deci a corecției.

Pentru a putea da o libertate aplicației în ceea ce privește puterea de observare a utilizatorului putem face o corecție astfel încât distanța dintre obiecte să poată fi modificată. Coordonata finală pe orizontală a unui pixel va fi:

$$u' = u - \Delta p_P - Np_0$$

## Grafica 3D+

$Npo$  fiind distanța de apropiere în vederea ușurării observării, exprimată în pixeli.

Evident, corecția de adâncime se poate face și înainte de transformările de fereastră, deci în planul de proiecție astfel:

$$x' = x - \Delta p_R, \text{ unde}$$

$$\Delta p_R = u^{-1} ( ( ( z - \min \{ z_i \} ) / \Delta z * 2 - 1 ) * k )$$

( $u^{-1}$  fiind transformarea inversă, din fereastra ecran  $\mathbf{V}_2 (u_1+p_0, v_1, u_2+p_0, v_2)$ , în fereastra reală  $\mathbf{W}(x_1, y_1, x_2, y_2)$ ):

$$x' = (u - u_1 - p_0) / (u_2 - u_1) * (x_2 - x_1) + u_1.$$

Desigur că în această situație, corecția de adâncime nu se mai aplică și în fereastra ecran, deci

$$u' = u - Npo$$

Este și mai semnificativ dacă sunt desenate trei piramide: cea inițială, una în dreapta și cealaltă în stânga și la distanțe diferite. Văzute cu fiecare ochi, înseamnă că vor fi șase imagini, dintre care două suprapuse, care se vor vedea în spațiu (în mijloc) și încă două simple (văzute lateral, plane). Rezultă deci patru piramide, cele din mijloc în spațiu și nu la aceeași distanță, una se învâрте invers (cea stânga) și este greșit desenată fiind invers proiectată (latura mai depărtată se vede mai mare, deci greșit)!

Pentru o reprezentare corectă, trebuie modificată formula pentru piramida stângă cu  $+$  ( $P_S (u + \Delta p_P, v)$ ) pentru a obține același sens (vezi Figura 37) și o proiecție corectă (laturile mai depărtate sunt mai mici). Ceea ce este interesant, este faptul că dacă aplicăm valori diferite pentru  $Npo$ , atunci

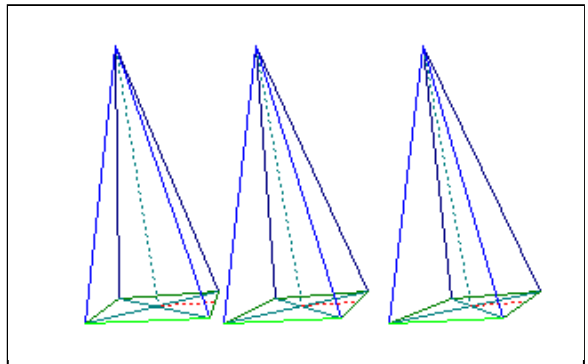


Figura 38 – Corpuri la distanțe diferite

## Cresterea Realismului Imaginilor

cele două piramide (care se învârt acum simultan, în același sens și sunt vizualizate corect din punct de vedere al proiecției perspective) nu vor fi în același plan (una va fi mai apropiată de observator, iar cealaltă mai depărtată), și mai mult de dimensiuni diferite (spre surprinderea noastră, cea mai îndepărtată va fi mai mare, iar cea mai apropiată mai mică, probabil exact invers decât ne așteptăm), așa cum se poate (sper) vedea în Figura 38.

Există și posibilitatea, poate chiar mai spectaculoasă, de a vizualiza o stereogramă în fața ecranului ca în Figura 39 (nu în spatele lui, așa cum am văzut anterior). Această posibilitate prezintă marele avantaj de a putea vedea o stereogramă repre-

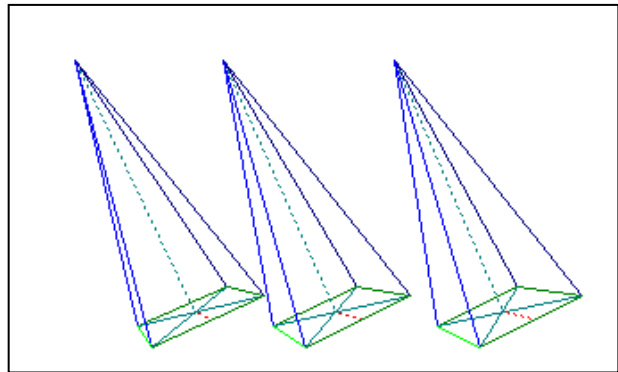


Figura 39 - Piramide în fața ecranului

zentată pe o suprafață mare (de exemplu proiectată pe perete), unde evident că distanța  $p$  este mai mare decât ecartul pupilar ( $g$ ).

Dacă dorim ca figura să fie vizualizată în fața ecranului (vezi Figura 40) atunci corecțiile de proiecție se vor face invers față de reprezentarea în spatele ecranului, și anume cu + pentru figura din dreapta (adică  $P_S(u + \Delta p_P, v)$ ) și eventual cu - pentru figura din stânga (dacă dorim să vedem în spațiu două piramide așa cum am văzut mai sus) deci  $P_S(u - \Delta p_P, v)$ . Efectul este parcă mai mare, obiectele fiind mai clare și mai apropiate.

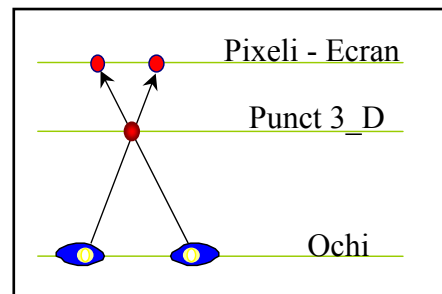


Figura 40 -  
Vizualizarea în fața ecranului

### 3.6.4.4 Realizarea animației

Este bine știut că mișcarea ajută la înțelegerea unei imagini spațiale, proiecția dinamică fiind un factor important de creștere a realismului imaginii. Faptul că imaginea se rotește, de exemplu piramida în jurul înălțimii ne ajută să ne închipuim această piramidă în spațiu chiar și fără a fi reprezentată în spațiu, prin faptul că un punct aflat mai aproape se rotește într-o direcție, iar unul mai îndepărtat în direcția opusă. Cu atât mai mult la o stereogramă, acest efect se mărește conducând la o mult mai bună înțelegere (vizualizare) a imaginii.

În anumite situații este mai bine să lăsăm utilizatorului posibilitatea de a manevra (prin rotații) obiectul reprezentat. De exemplu, utilizând tastatura astfel:

- ( $\square_Q$ ,  $\square_P$ ) sau ( $\leftarrow$ ,  $\rightarrow$ ) pentru a roti obiectul în jurul axei  $Oy$  cu un anumit unghi  $\alpha$  (nu prea mare) într-un sens sau (respectiv) în celălalt,
- ( $\square_Q$ ,  $\square_A$ ) sau ( $\uparrow$ ,  $\downarrow$ ) pentru a roti obiectul în jurul axei  $Ox$  cu un unghi  $\beta$  într-un sens sau în sens invers,
- ( $\square_S$ ,  $\square_D$ ) sau ( $/$ ,  $\backslash$ ) pentru a roti obiectul în jurul axei  $Oz$  cu un unghi  $\gamma$  într-un sens altul.

Pentru a simula creșterea vitezei de rotație, care poate fi făcută în jurul centrului de greutate, unghiurile  $\alpha$ ,  $\beta$  și  $\gamma$  pot fi mărite automat după fiecare rotație. În felul acesta, ținând o anumită tastă apăsată, după ce am reușit să vedem corpul în spațiu, acesta se va roti conform comenzilor dorite din ce în ce mai repede. Coordonatele punctului  $G$  în jurul căruia se execută rotația se pot determina ca medie aritmetică a coordonatelor vârfurilor corpului. Rotația se va efectua în jurul unor drepte paralele cu axele ce trec prin punctul  $G$ . Această rotație ne poate ajuta și pentru a reuși să vedem stereograma, deci putem să rotim corpul pentru a înțelege mai bine figura și apoi pentru a vizualiza în spațiu obiectul reprezentat.

## Cresterea Realismului Imaginilor

Se mai poate spune că la observarea unei stereograme, la început se vede mai neclar, apoi totul devine curat, limpede și clar, acestea par a fi niște obiecte în realitate, în relief. Această observare se poate face ușor pentru un utilizator antrenat și mult mai ușor pentru unul cu această calitate mai dezvoltată.

### 3.6.4.5 Stereograme realizate prin puncte aleatoare

Tehnica pe care o vom prezenta a fost descrisă încă din 1983 de C.W.Tyler și are marele avantaj că nu necesită nici un aparat sau obiect special pentru observarea spațială. Stereogramele se bazează pe un principiu simplu care va fi descris în continuare. Tot ceea ce este necesar pentru a putea observa o astfel de imagine "corect" este puțină răbdare și perseverență pentru a putea câștiga o deprindere de observare ușoară și rapidă (**Error! Reference source not found.**Figura 41).

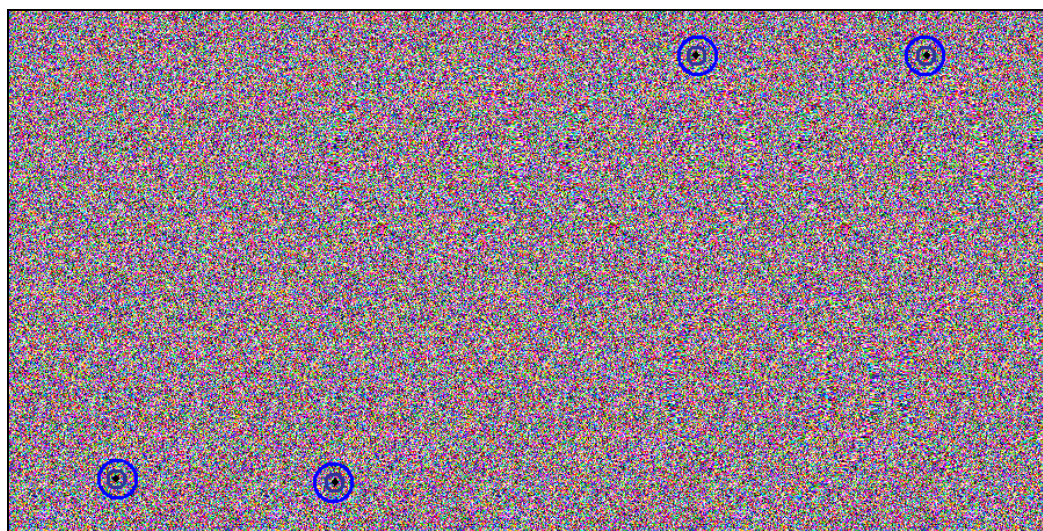


Figura 41 – “Random Dot Stereogram”

Dacă într-o imagine este reprezentată o figură repetată pe orizontală, atunci putem considera că fiecare figură este imaginea văzută de fiecare ochi. Aceasta înseamnă că dacă focalizăm privirea în spatele imaginii (la intersecția

## Grafica 3D+

dreptelor determinate de ochi cu figurile) vom vedea figura respectivă în relief, în punctul de intersecție (vezi Figura 43).

Dacă aceeași figură este repetată de mai multe ori pe orizontală la distanțe diferite (mai mici decât ecartul pupilar) atunci intersecțiile (determinate de fiecare ochi) se vor forma la adâncimi diferite (Figura 42).

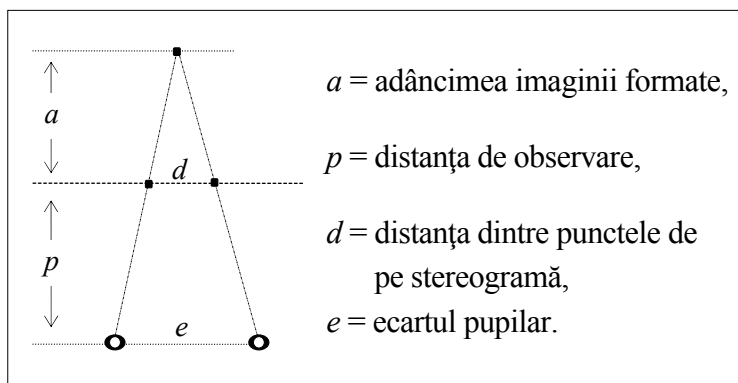


Figura 43 - Suprapunerea punctelor

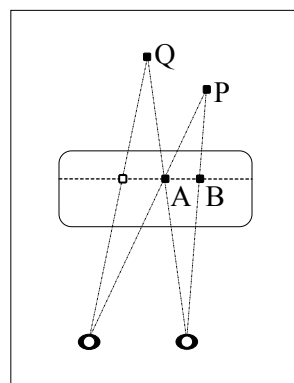


Figura 42 - Adâncimi

Se poate observa în Figura 43, că adâncimea  $a$  la care se formează imaginea este direct proporțională cu distanța  $d$  dintre două figuri desenate.

Un punct P din spațiu dacă are o anumită culoare ar trebui ca pe ecran punctele A și B de intersecție a segmentelor (determinate de ochi cu acest punct) cu ecranul să aibă aceeași culoare. Dar punctul A de exemplu, poate fi rezultatul altui punct de intersecție (Q din Figura 42) care poate avea altă culoare, ceea ce ridică probleme pe lângă faptul că determinarea coordonatelor punctului de intersecție nu este întotdeauna simplă. Din această cauză, soluția propusă este următoarea :

- Se desenează un dreptunghi (având inițial o lățime  $d_0$ ) care conține o anumită imagine (poate fi chiar formată din puncte aleatoare de culori diferite) așa cum se poate vedea în Figura 44, iar acesta se copiază de mai multe ori, pe tot ecranul. Ceea ce se poate vedea în acest moment prin tehnica suprapunerii imaginilor este un model situat la distanța  $a_0 = d_0 \cdot p / (e - d_0) + p$  față de observator (în spatele ecranului).

- Pentru a crea efectul de adâncime, pentru fiecare punct vom corecta distanța  $d$  între două puncte în funcție de distanța  $a+p$  la care dorim să fie

## Cresterea Realismului Imaginilor

văzut punctul din stereogramă ( $d=a \cdot e / (a+p)$ ). Acest lucru va fi efectuat pentru fiecare linie, iar în cadrul unei linii pentru fiecare punct începând de la stânga la dreapta. Pentru fiecare linie vom face să dispară puncte pentru a obține o subimagine mai apropiată. Presupunem că avem de reprezentat o suprafață dată sub forma  $z(x,y) : [x_1, x_2] \times [y_1, y_2] \rightarrow [z_{\min}, z_{\max}]$ . În acest caz, vom putea reprezenta această suprafață în  $n+1$  plane  $z_{\min}=z_0, z_1, \dots, z_i, \dots, z_n=z_{\max}$ , unde  $z_i = z_{\min} + i / n \cdot (z_{\max} - z_{\min})$ , pentru  $0 \leq i \leq n$ . Numărul de puncte omise va determina planul în care vom vedea perechile de puncte corespunzătoare (vezi Figura 45).

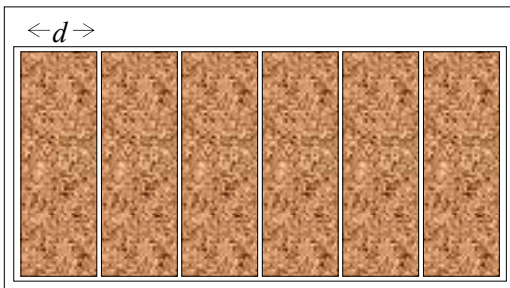


Figura 44 – Stereogramă plată

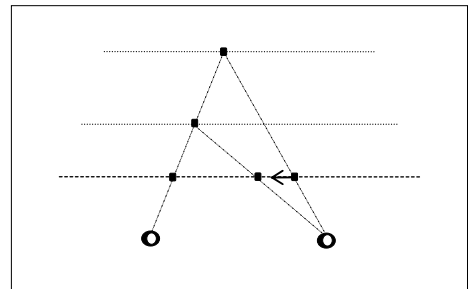


Figura 45 – Micșorarea adâncimii

Corecția de distanță este :

$$\Delta d = d - d_0 = e \cdot p \cdot \frac{\Delta a}{q \cdot q_0}, \quad \text{unde } \begin{aligned} \Delta a &= a - a_0, \\ q &= a + p, \\ q_0 &= a_0 + p. \end{aligned}$$

Se deduce din formula de mai sus că:

$$\Delta a = \frac{q_0^2 \cdot \Delta d}{e \cdot p - q_0 \cdot \Delta d}$$

Se poate observa de aici că pentru o corecție de un pixel  $\Delta d = \delta$  (distanța dintre pixeli pe orizontală, de exemplu  $\delta = 250 \text{ mm} / 640 = 0.39 \text{ mm}$ ), diferența de adâncime este :

$$\Delta a_1 = q_0^2 \cdot \delta / e \cdot p - q_0 \cdot \delta.$$

Figura 46 conține o stereogramă în care sunt reprezentate suprafețele

$$z = \cos(x^2 + y^2) \quad \text{și} \quad z = \sin(x^2 + y^2).$$

## Grafica 3D+

Aplicația practică realizează pe ecran stereograme color atât pentru o suprafață dată cât și diverse imagini 3-D concepute de către utilizator și desenate cu ajutorul mouse-ului. În varianta a doua utilizatorul poate desena imagini în diverse culori care vor fi interpretate ca fiind distanțele planelor față de ecran (aflate la distanța  $\Delta a_1$  între ele).



Figura 46 – Stereogramă cu suprafețe

În continuare se poate urmări un model de generare a stereogramelor utilizând gramaticile matriciale.

1. În prima etapă se generează prima coloană:

$S_1$	
...	
$S_i$	
...	
$S_m$	

2. Se copiază prima coloană obținând:

$A_1$		$A_1$
...		...
$A_i$	...	$A_i$
...		...
$A_m$		$A_m$

3. Se generează dreptunghiuri:

$B_{11}...B_{1d}$		$B_{11}...B_{1d}$
...		...
$B_{i1}...B_{id}$	...	$B_{i1}...B_{id}$
...		...
$B_{m1}...B_{md}$		$B_{m1}...B_{md}$



## Cresterea Realismului Imaginilor

4. În ultima etapă se generează stereograme prin eliminarea de puncte:

1	$j$	$m-d$
$c_{11} \dots c_{1d}$	$\dots c_{1k} \dots$	$c_{11} \dots c_{1d}$
$\dots$	$\dots$	$\dots$
$c_{i1} \dots c_{id}$	$\dots c_{ik} \dots$	$c_{i1} \dots c_{id}$
$\dots$	$\dots$	$\dots$
$c_{m1} \dots c_{md}$	$\dots c_{mk} \dots$	$c_{m1} \dots c_{md}$

Dacă notăm cu  $M_x$  și  $M_y$  limitele rezoluției, atunci transformările din domeniul real în domeniul ecranului  $(x,y) \rightarrow (u,v)$ , se pot realiza prin funcțiile  $u: [x_1, x_2] \rightarrow [0, M_x]$  și  $v: [y_1, y_2] \rightarrow [0, M_y]$  unde :

$$u(x) = (x - x_1) \cdot M_x / (x_2 - x_1), \text{ iar}$$

$$v(y) = (y - y_2) \cdot M_y / (y_1 - y_2).$$

Presupunem că vom vedea (prin stereogramă) suprafața împărțită în  $l+1$  plane paralele cu ecranul. În aceste condiții, o distanță reală  $z$  va fi aproximată astfel încât să fie situată în unul din cele  $l+1$  plane prin funcția

$Sc : [z_{\min}, z_{\max}] \rightarrow \{0, 1, \dots, l\}$  definită astfel :

$$Sc(z) = [ l \cdot (z_{\max} - z) / (z_{\max} - z_{\min}) ]$$

( Am notat cu  $[x]$  partea întreagă a lui  $x$ .)

Dacă reprezentăm o suprafață  $z(x,y) : [x_1, x_2] \times [y_1, y_2] \rightarrow [z_{\min}, z_{\max}]$ , atunci  $a_{ij} = Sc(z(u^{-1}(j), v^{-1}(i)))$  reprezintă planul în care va trebui să vedem (prin stereogramă) punctul de coordonate  $(i,j)$  ( $1 \leq i \leq m$ ,  $1 \leq j \leq n$ , iar  $u^{-1}(j)$  și  $v^{-1}(i)$  sunt funcțiile inverse corespunzătoare funcțiilor de transformare definite anterior.

Dacă  $a_{ij} > 0$  atunci vor fi șterse  $a_{ij}$  puncte (cazul a), altfel (dacă  $a_{ij} = 0$ ) se colorează elementul  $B_{ij}$  în culoarea  $c_{ik}$  (cazul b).

Corespunzător celor două cazuri a) și b) vom efectua următoarele :

a) punctul  $(i,j)$  (corespunzător lui  $B_{ij}$ ) este adus într-un plan mai apropiat, urmând să fie adus mai aproape (cu încă un plan dacă este necesar) când se ajunge la coloana următoare  $(j+1)$  modificând distanța următorului punct astfel :

$$a_{i,j+1} := a_{i,j+1} + a_{ij} - 1 ;$$

## Grafica 3D+

b)  $B_{ij}$  se colorează cu culoarea  $c_{ik} \in M_c$ , unde :

- $M_c$  este mulțimea culorilor utilizate,
- $d$  reprezintă numărul de coloane ale submatricelor (vezi Figura 44) iar
- $k \in \{1, \dots, d\}$  se calculează în funcție de coloana  $j$  a punctului care se colorează astfel :

$$k = (j-1) \text{ Mod } d + 1 .$$

Algoritmul de construcție al unei stereograme este următorul :

Generează matricea B ;

Generează matricea C (care reprezintă stereograma) astfel:

Pentru {fiecare linie}  $i=1, m$  execută

Pentru {fiecare coloană}  $j:=1, m*d$  execută

$a_{ij} = \text{Sc}(z(u^{-1}(j), v^{-1}(i)))$  { calculează planul căruia îi aparține punctul  $c_{ij}$ }

Pentru {fiecare linie}  $i=1, m$  execută { construiește stereograma }

Pentru {fiecare coloană}  $j:=1, m*d$  execută

Dacă  $a_{ij} > 0$  atunci șterge punctul  $c_{i,j}$ ;  $a_{i,j+1} = a_{i,j+1} + a_{i,j} - 1$  {  $B_{ij} \rightarrow \lambda$  }

altfel punctul  $c_{i,j}$  are culoarea  $(j-1) \text{ Mod } d + 1$  {  $B_{ij} \rightarrow c_{i,k}$  }

În general  $d > |M_c|$  și de aceea este de preferat să utilizăm cât mai multe culori pentru a obține o stereograma mai bună (cel puțin 16), calitatea acesteia depinzând în mare măsură de numărul de culori utilizate.

Distanțele  $a_{ij}$  pot fi calculate înaintea generării stereogramelor și pot fi reprezentate codificat pe ecran utilizând culori. Culoarea unui pixel  $p_{ij}$  reprezintă planul unde va fi văzut acest punct (adică  $a_{ij}$ ). În această situație se poate utiliza formula descrisă în cazurile a) și b) cu  $a_{i+1,*}$  în loc de  $a_{i,*}$ . Aceasta înseamnă că putem afla distanța direct de pe ecran de pe linia următoare. În acest mod vom construi linia  $i$  a stereogramei utilizând linia  $i+1$  de pe ecran (pentru fiecare linie  $i=1, M_y-1$ ). Stereogramele din Figura 41 și din Figura 46 pot fi realizate utilizând adâncimea direct, codificat dintr-o imagine ca cea din Figura 47.

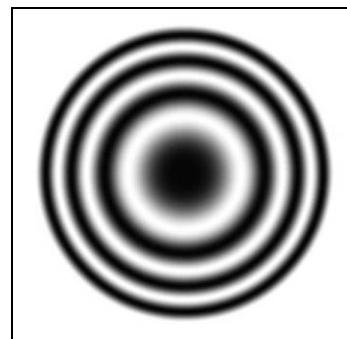


Figura 47 –  
Adâncimea suprafeței

## Cresterea Realismului Imaginilor

Pentru a realiza o stereogramă ca cea din Figura 49, vom defini un model și adâncimile codificate în culori (vezi Figura 48).

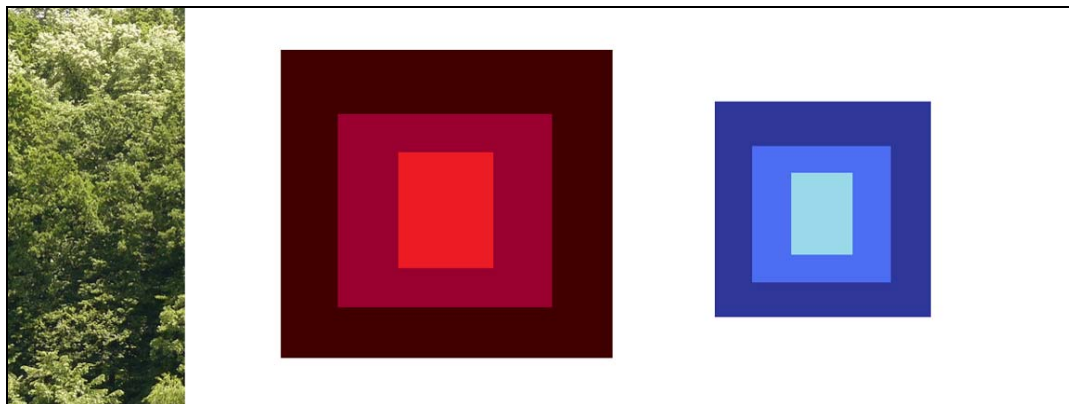


Figura 48 – Modelul și adâncimile codificate

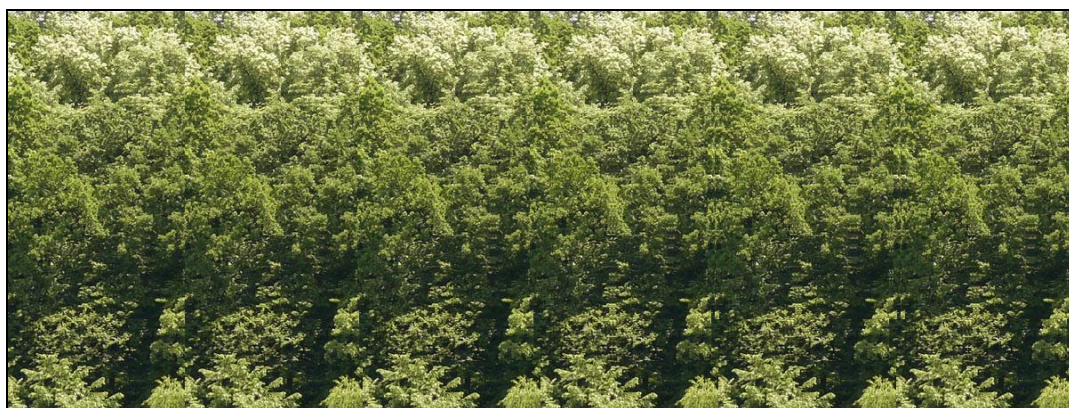


Figura 49 – Stereogramă construită pe baza unei imagini codificate

Asemănător, se poate construi o stereogramă plecând de la o imagine care conține un text sau un obiect tridimensional descris (codificat, utilizând culori) prin adâncimile fețelor.

### 3.6.4.6 Anaglife

O altă posibilitate utilizată în redarea (percepția) adâncimii este descrisă în cele ce urmează. Această tehnică necesită utilizarea ochelarilor cu lentile de culori diferite (de exemplu roșu și albastru, ca în Figura 50).

## Grafica 3D+



Figura 50 – Ochelari *Rosu~Albastru*

Aceștia permit selectarea diferită a celor două imagini suprapuse (vezi Figura 51): cu ochiul stâng (lentila roșie) nu se mai vede piramida roșie – ci doar cea albastră, iar cu cel drept (lentila albastră) nu se vede (sau se vede mult mai slab) desenul albastru deci se va vedea doar piramida roșie.

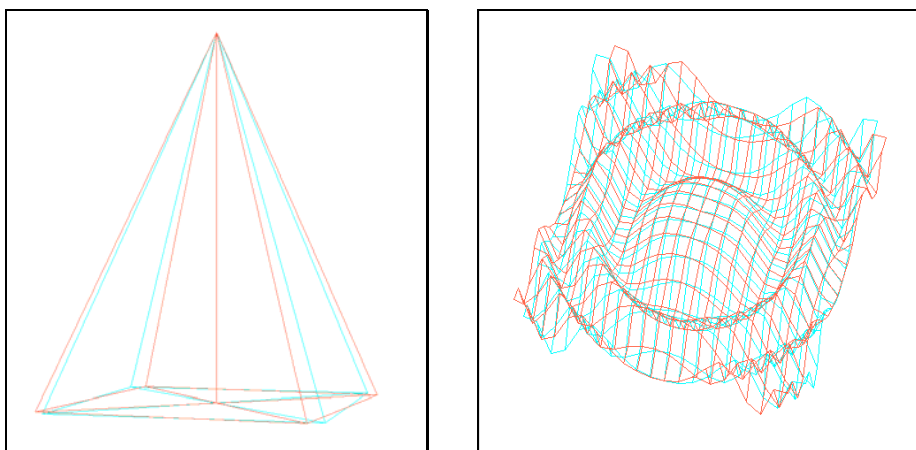


Figura 51 – Anaglife geometrice

Mai trebuie precizat că este importantă alegerea nuanțelor pentru culorile anaglifei, care trebuie să fie în concordanță cu nuanțele lentilelor (în Figura 51 am utilizat culorile *Aqua* și *Tomato*).

Același procedeu se utilizează și în cazul imaginilor prin selectarea diferită a celor două imagini suprapuse, realizate din două puncte diferite (vezi Figura 52 și Figura 53). Aceste imagini sunt prelucrate prin modificarea culorilor astfel: imaginea din stânga va fi albastră, iar cea din dreapta roșie, urmând ca acestea două să fie mixate. Utilizatorul, cu ajutorul ochelarilor va filtra cele două imagini diferit, astfel încât la fiecare ochi va ajunge imaginea corespunzătoare.

## Cresterea Realismului Imaginilor

Se pot aplica două metode de construcție, corespunzător celor două variante de filtrare a imaginilor prezentate în cele ce urmează.

Prima variantă utilizează culori deschise de la Roșu (255,0,0) la Alb (255,255,255) respectiv de al Albastru (0,255,0) la Alb și se bazează pe ideea eliminării culorii lentilei - taie culoarea activă (vezi Figura 52).



Figura 52 - Anaglifă cu nuanțe deschise

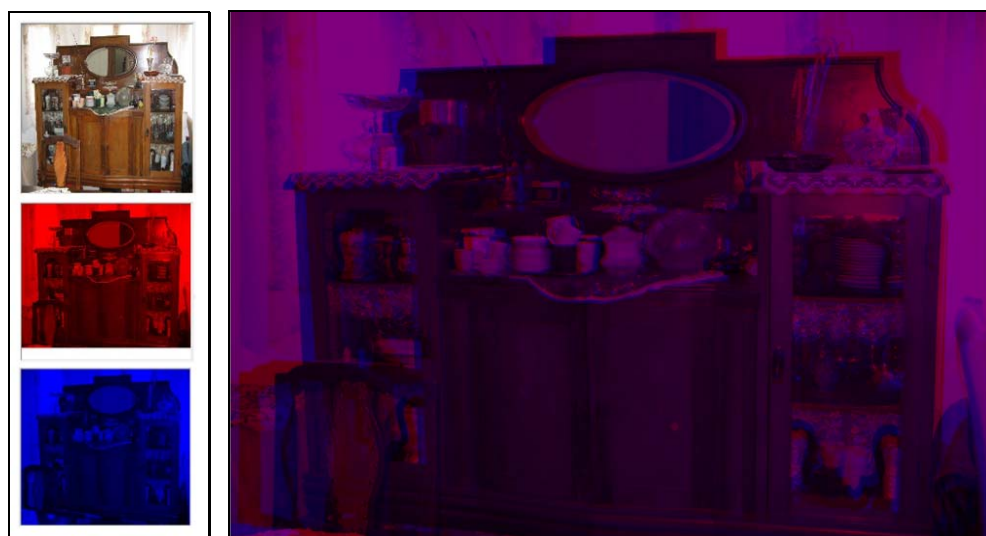


Figura 53 - Anaglifă cu nuanțe închise