Displayalgoritmer: rastrering, klippning, HSE, LOD, …
Grip, DGI, DOA vt2008

Lars Kjelldahl, en del bilder lånade av Gustav Taxén

Implementation aspects for display of computer graphics

Steps in the rendering process:

- **Modeling (definition of objects, e.g. a structure with polygons)**
- **Geometric processing (coordinate transformations, clipping, hidden surface elimination)**
- **Rasterization (transformation of object descriptions to pixels)**
- **Display (display of frame buffer on screen, includes e.g. aliasing)**

We will focus on some common algorithms in this process

Objektrum och bildrum

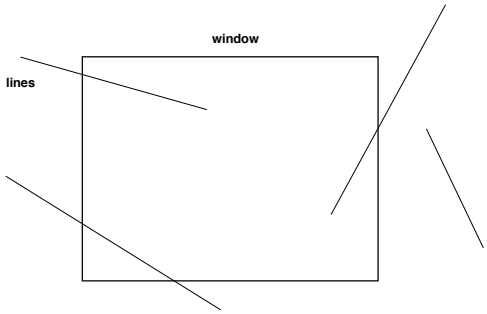
Objektrum
Man arbetar den matematiska beskrivningsnoggrannheten

Det blir antalet objekt som avgör komplexiteten

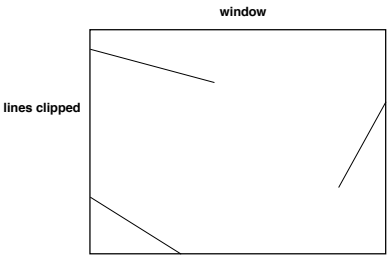
Bildrum
Man arbetar med den noggrannhet som ges bildpunkterna (pixlarna)

Det blir upplösningen som avgör komplexiteten

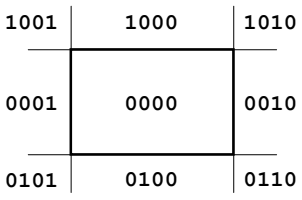
The clipping problem



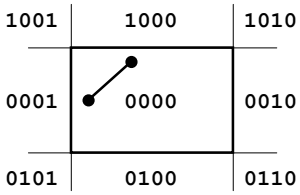
The clipping problem



Klippning i 2D: Cohen-Sutherland

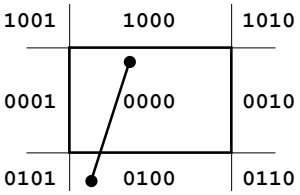


Klippning i 2D: Cohen-Sutherland



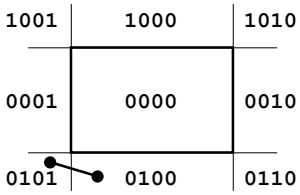
Båda har kod **0000**:
Linjen ligger i fönstret.

Klippning i 2D: Cohen-Sutherland



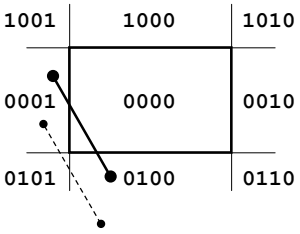
En har kod **0000**,
den andra inte.
Linjen måste klippas
mot fönstret.

Klippning i 2D: Cohen-Sutherland



0101 AND 0100 ≠ 0000
Linjen syns inte i fönstret.

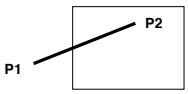
Klippning i 2D: Cohen-Sutherland



0001 AND 0100 = 0000
Linjen kanske behöver
klippas mot fönstret.

Parameter clipping

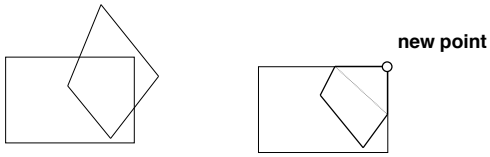
(Cyrus-Beck, Liang-Barsky)
Use p(α) = (1- α)*p1 + α *p2
Clipping is done by first calculating α for lines that you might clip (less work than to calculate both x and y)
To clip with the egde x=xmin we get: α =(xmin-x1)/(x2-x1)



α1=0; α2=1;
for (all four edges of window) {
α =calculate(edgenr);
if entering(edgenr) α1 =max(α1,α) else α2 =min(α2, α)};
if α2 > α1 then drawline(α1, α2);

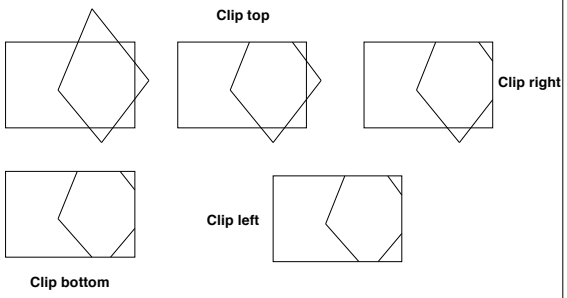
Polygon clipping

Can we use the line clipping algorithm to clip a polygon?



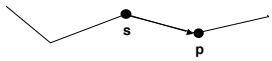
With line clipping the new point could not be included

Sutherland-Hodgeman's algorithm



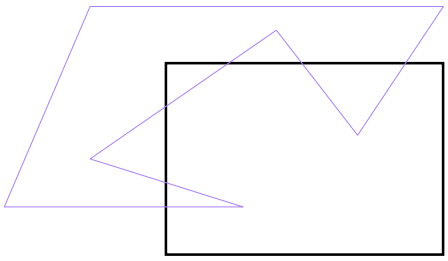
Note that in each clipping phase of the polygon you have to keep the order of the vertices

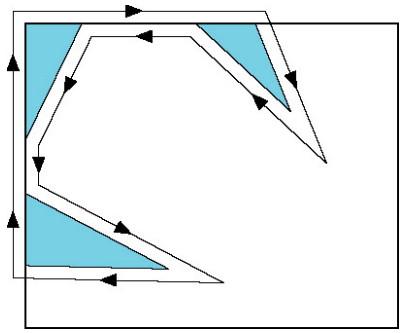
Sutherland-Hodgeman's algorithm



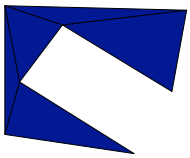

```
for all_window_edges {
  p=polypoint(1);
  for n=2 to n+1 {
    s=p; p=polypoint(n);
    if inside(s) and inside(p) then save(p);
    if inside(s) and outside(p) then save(intersect(s,p));
    if outside(s) and inside(p) then {save(intersect(s,p));
    save(p) }
    }
  update(polypoint);
}
```

What happens if the clipping give more than one polygon?

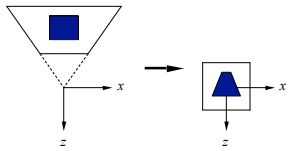




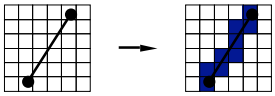
Uppdelening i konvexa polygoner (tesselation)



Klippning i 3D

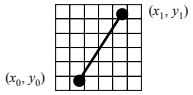


Rastrering



Diskretisering av en matematisk linje eller polygon.

Rastrering av linjer: Digital Differential Analyzer (DDA)

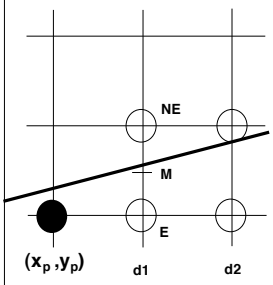


Låt linjens lutning vara $m = (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)$ och antag att $0 < m < 1$.

Sätt $x = x_0$ och $y = y_0$.
För varje $x = x + 1$, låt $y = y + m$.
Avrunda och rita ut pixel.

Fungerar för m < 1 Vad gör vi om m > 1 ?

Rastrering av linjer med heltalsaritmetik: Bresenham



Line equation can be written as
$F(x,y)=dy*x-dx*y+B*dx=0$

The sign of $F(x_M,y_M)$ decides if we should choose E or NE

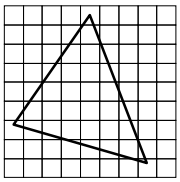
We denote $d1=F(x_M,y_M)=$ $dy*(x_p+1)-dx*(y_p+0.5)+B*dx$

Suppose we get d1<0, choose E $d2=F(x_M+1,y_M)=$ $dy*(x_p+2)-dx*(y_p+0.5)+B*dx=$ $d1+dy$

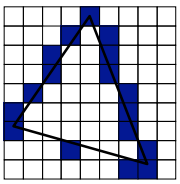
Similar result if d1>=0

http://en.wikipedia.org/wiki/Bresenham's_line_algorithm

Rastrering av polygoner



Rastrering av polygoner

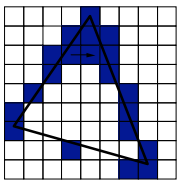


Bresenham för att hitta x-värdena.

Lagra interpolerade värden längs med kanterna.

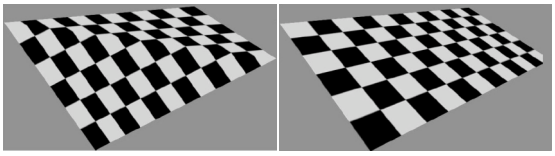
Sortera m.a.p. x-värden.

Rastrering av polygoner



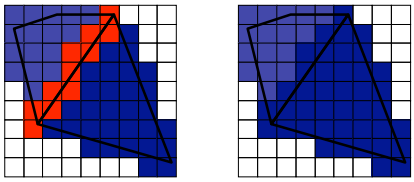
Fyll och interpolera värden från vänster till höger.

Rastrering av polygoner

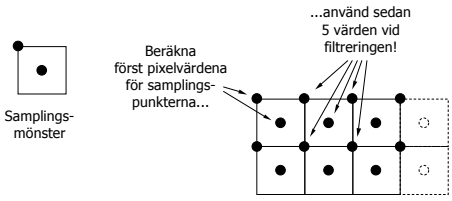


Linjär interpolation | Perspective-correct

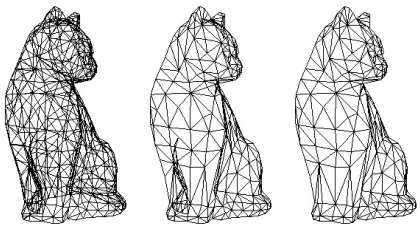
Rastrering av polygoner, särskild hantering av kanterna kan ibland behövas



Multi-Sample Anti-Aliasing (MSAA)



Borttagning av skymda ytor



Hidden surface removal | Backface culling | Hdden surface removal

http://medialab.di.unipi.it/web/IUM/Waterloo/node70.html#SECTION00116000000000000000

Hidden surface removal

Two main approaches:

- investigate visibility for every pixel, i.e. resolution dependent (image space)
- investigate visibility for every object, i.e. calculate intersections etc for all objects, lines etc with the precision of the computer (object space)

Main ideas

Try to use the properties the objects, such as:

- **convex objects?**
- **few objects, perhaps only one object?**
- **objects non intersecting?**
- **static view?**
- **advanced rendering wanted?**

Back-face removal

The back-facing polygons can be removed through a simple test
abs (θ) < 90 or n ° v > 0

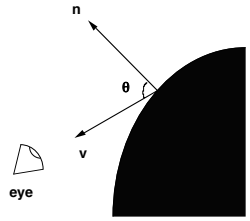
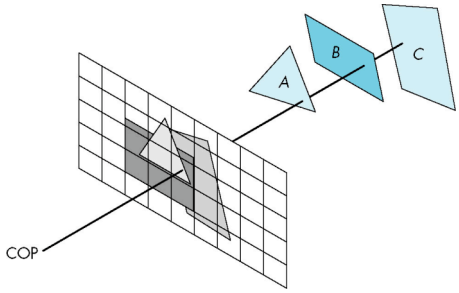
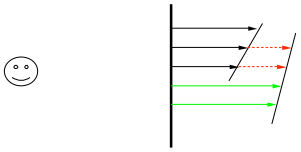


Image space hidden surface removal



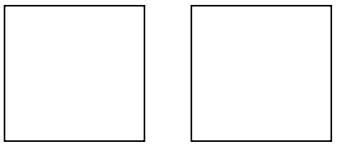
Z-buffer algorithm



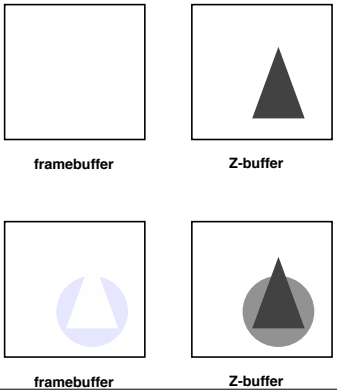
Z-buffer algorithm

Use an extra buffer with depth values for each pixel

```
for every polygon {
for each pixel in polygom {
if newpolygondepth(x,y) < depthval_in_Zbuffer(x,y)
then {depthval_in_Zbuffer(x,y) <-
newpolygondepth(x,y);
        framebuffervalue <- newpolygonvalue }
}}
```



framebuffer Z-buffer



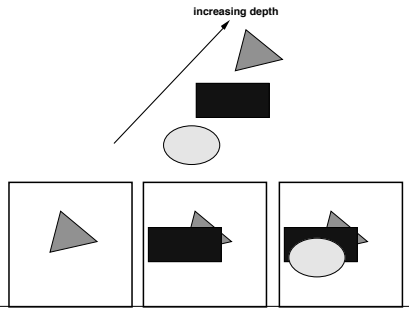
framebuffer Z-buffer

Z-buffring

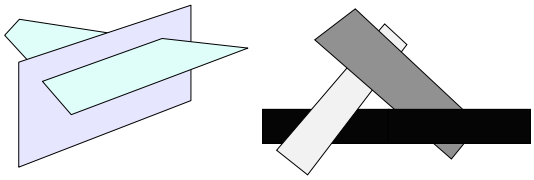
- Fördelar:
  - Effektiv.
  - Funkar oberoende av komplexiteten i det som ritas.
  - Enkel att implementera i hårdvara.
- Nackdelar:
  - Aliasing! 8 bitar ⇔ 256 distinkta djupvärden.
  - Krävs extra minne på grafikkortet.

Depth sort algorithm

1. Sort all object according to depth
2. Paint (rasterize) them into frame buffer in the sorted order (start with object far away)

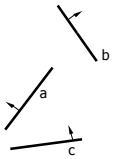


Problem med painter's algorithm

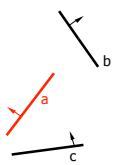


Vi måste dela åtminstone någon polygon

Binary Space Partitioning Trees (BSP-träd)

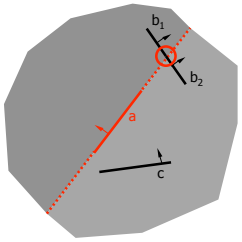


Löser sorteringsproblemet för
statiska, plana, konvexa polygoner
(som dock kan ha hur många hörn som helst).

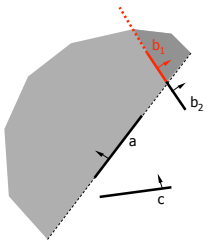


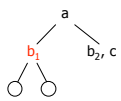
a

1) Välj en polygon.

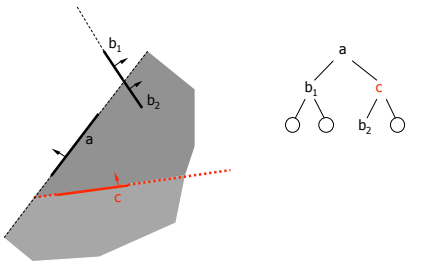


2) Dela rummet i två delar och partitionera.

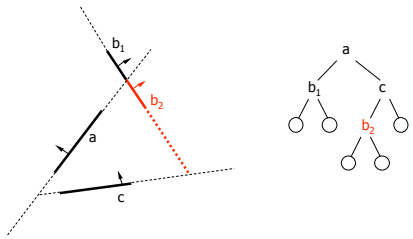




3) För varje delmängd, gör om rekursivt.

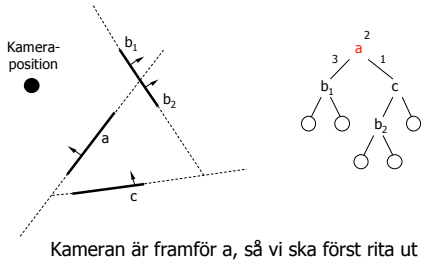


3) För varje delmängd, gör om rekursivt.



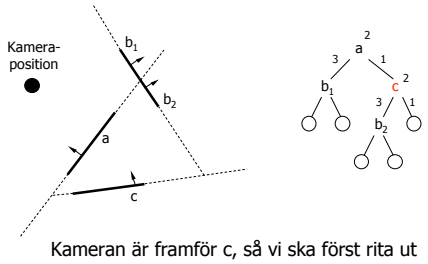
Klart!

Painter's algorithm och BSP-träd



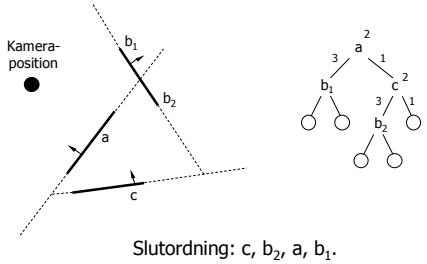
Kameran är framför a, så vi ska först rita ut allt bakom a, sedan a och sist allt framför a.

Painter's algorithm och BSP-träd



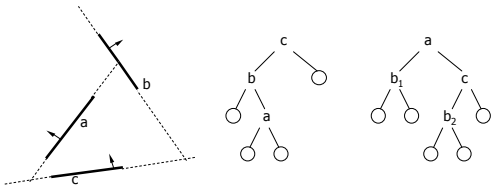
Kameran är framför c, så vi ska först rita ut allt bakom c, sedan c och sist allt framför c.

Painter's algorithm och BSP-träd



Slutordning: c, b_2, a, b_1.

Val av partitionsplan

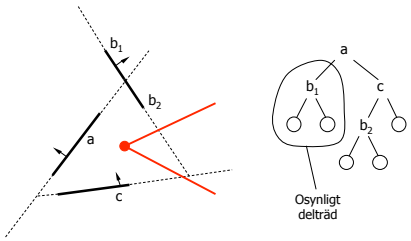


Val av partitionsplan kan ha stor betydelse för slutresultatet.
Tumregel: Välj det partitionsplan som skapar minst antal polygondelningar.

Overdraw

- Med painter's algorithm kommer polygoner långt bak att ritas över av polygoner längre fram.
- Betyder att ljussättning, texturering, m.m. appliceras i onödan för de flesta polygoner!
- Detta problem kallas för ”overdraw”.
- Så varför används BSP-träd om man lika gärna kunde använda z-buffring för att undvika overdraw?

Kombination av BSP-träd och Z-buffring



Eftersom kamerans frustum inte korsar a:s plan, kan vi strunta i allt som ligger framför a!
Använd sedan z-buffring för att undvika overdraw.

Detail culling, Level of Detail

Rita inte saker som är långt bort eller förenkla dem!
Kombineras ofta med någon form av dimma-effekt.

Ultima IX – Ascension, Origin Systems

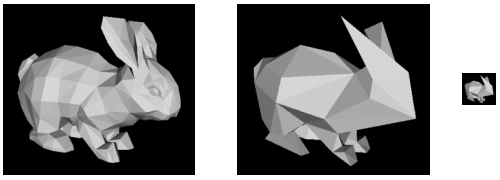
Morrowind, Bethesda Softworks

Level-of-detail

Just Cause - Avalanche Studios

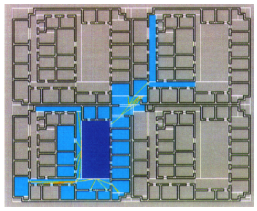
Även om man måste rita många objekt kan man ofta spara resurser genom att använda grövre detaljnivåer långt bort från kameran.

Level-of-detail



Potentially Visible Sets / Portaler

- Närliggande variant:
- Dela världen i celler (kanske m.h.a. BSP-träd).
- För varje cell C, ta reda på vilka andra celler som kan synas från C. Lagra i en lista.
- Vid körning, ta reda på vilken cell kameran är i. Rita den cellen. Rita alla celler i PVS:en.

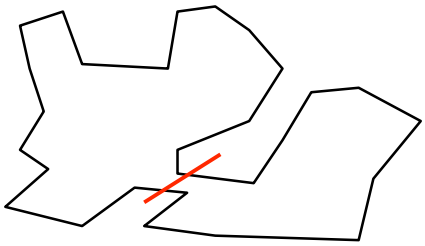


http://graphics.lcs.mit.edu/~seth/pubs/pubs.html

Exempel

http://www.cs.virginia.edu/%7Eluebke/publications/portals.html

Portaler



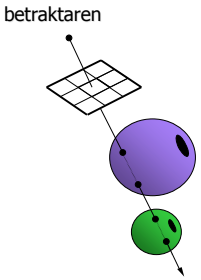
Portaler kan specificeras automatiskt med hjälp av algoritmer eller placeras ut för hand i en 3D-editor.

Portaler

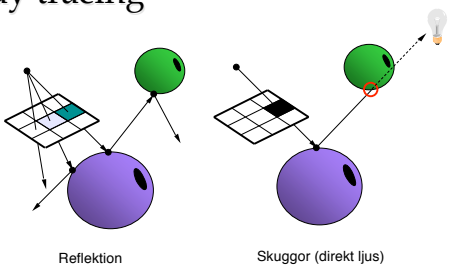
Quake II, Id Software

Ray casting

- Skicka en riktad linje (ray) från kameran (betraktaren) genom varje pixel och ta reda på om/var den korsar alla föremål.
- Välj den korsning som ligger närmast kameran.
- Sätt pixelfärgen till färgen på motsvarande föremål.



Ray tracing

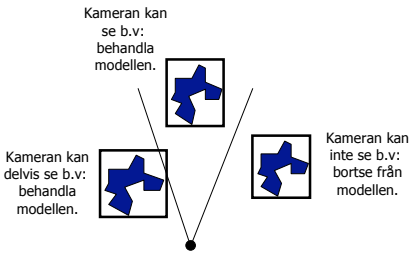


Reflektion

Skuggor (direkt ljus)

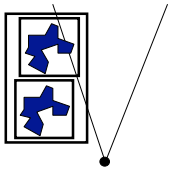
Ray tracing är en s.k. **global belysningsmodell** och kan ses som en slags utbyggd ray casting

Bounding volumes



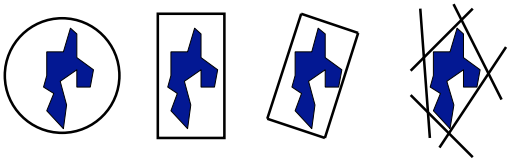
Användbart för modeller med begränsad utsträckning i rummet och för saker som flyttas omkring.

Hierarkiska bounding volumes



Hierarkier kan också skapas dynamiskt under körning för föremål som flyttas omkring.

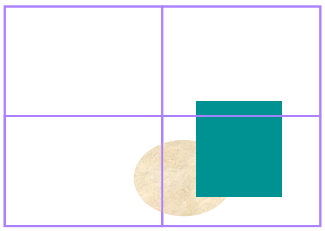
Exempel på olika sorters bounding volumes

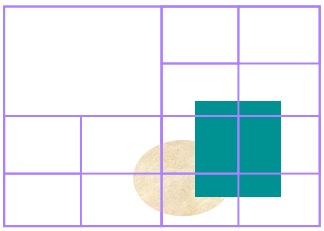


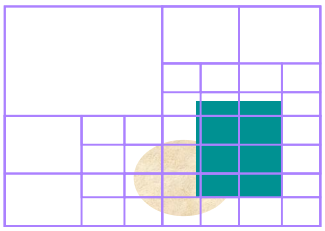
Sfär | Axis-aligned box | Oriented box | Oriented planes

Warnock algorithm

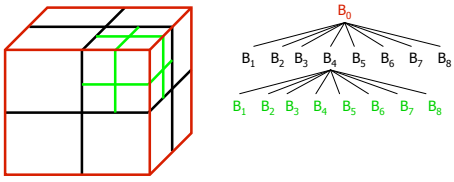
Divide the plane into four squares







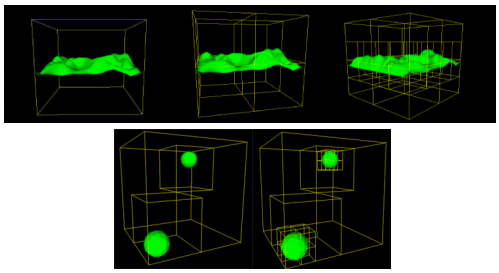
Quadtrees / Octrees



Variant av BSP-träd som kan vara enklare att hantera.
Smidiga för stora, statiska modeller med stor detaljrikedom.

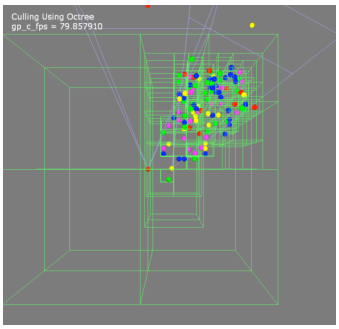
Kombineras med Z-buffring på ungefär samma sätt som i BSP-fallet.

Octrees

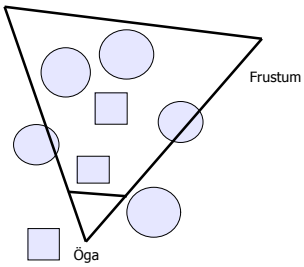


http://www.gametutorials.com/Tutorials/OpenGL/Octree.htm

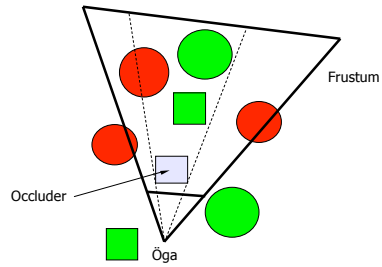
Octrees



Occlusion culling

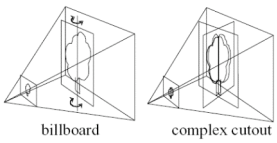


Occlusion culling

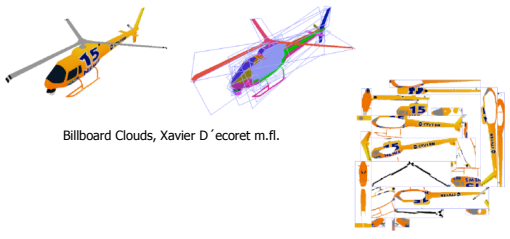


http://www.gamasutra.com/features/19991109/moller_haines_01.htm

Impostors



Impostors



Billboard Clouds, Xavier D´ecoret m.fl.

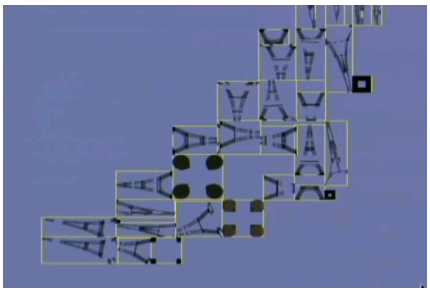
Placerar man texturerna smart kan man approximera föremål på ett sådant sätt att man kan rotera dem också!

Impostors

Original

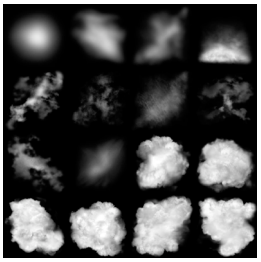
Billboard cloud

Impostors



Billboard Clouds, Xavier D´ecoret m.fl.

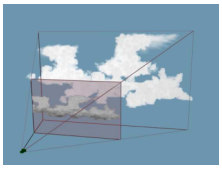
Impostors

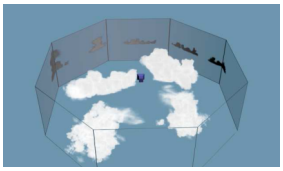


Microsoft Flight Simulator 2004

Moln är ett exempel på objekt som ofta kan ersättas av impostors.

Impostors





Microsoft Flight Simulator 2004

I flygsimulatorfallet lönar det sig att arbeta med impostors i två steg: dels som ersättning för 3D-moln, dels för att approximera moln långt från kameran.