Introdução à Computação Gráfica
Visibilidade

Claudio Esperança
Paulo Roma Cavalcanti

O Problema de Visibilidade

- Numa cena tri-dimensional, normalmente, não é possível ver todas as superfícies de todos os objetos
- Não queremos que objetos ou partes de objetos não visíveis apareçam na imagem
- Problema importante que tem diversas ramificações
  - Descartar objetos que não podem ser vistos (*culling*)
  - Recortar objetos de forma a manter apenas as partes que podem ser vistas (*clipping*)
  - Desenhar apenas partes visíveis dos objetos
    - Em aramado (*hidden-line algorithms*)
    - Superfícies (*hidden surface algorithms*)
  - Sombras (visibilidade a partir de fontes luminosas)

Motivação

- Dispositivos matriciais sobre-escrevem os objetos (aparecem os desenhados por último, quando há sobreposição).
  - Em 3D, gera uma imagem incorreta, se nada for feito para corrigir a ordem de desenho.
- Os algoritmos de visibilidade estruturam os objetos da cena, de modo a que sejam exibidos corretamente.

Espaço do Objeto x Espaço da Imagem

- Métodos que trabalham no espaço do objeto
  - Entrada e saída são dados geométricos
  - Independente da resolução da imagem
  - Menos vulnerabilidade a *aliasing*
  - Rasterização ocorre *depois*
  - Exemplos:
    - Maioria dos algoritmos de recorte e *culling*
      - Recorte de segmentos de retas
      - Recorte de polígonos
    - Algoritmos de visibilidade que utilizam recorte
      - Algoritmo do pintor
      - BSP-trees
      - Algoritmo de recorte sucessivo
      - Volumes de sombra

Espaço do Objeto x Espaço da Imagem

- Métodos que trabalham no espaço da imagem
  - Entrada é vetorial e saída é matricial
  - Dependente da resolução da imagem
  - Visibilidade determinada apenas em pontos (pixels)
  - Podem aproveitar aceleração por hardware
  - Exemplos:
    - Z-buffer
    - Algoritmo de Warnock
    - Mapas de sombra

Algoritmos de Visibilidade

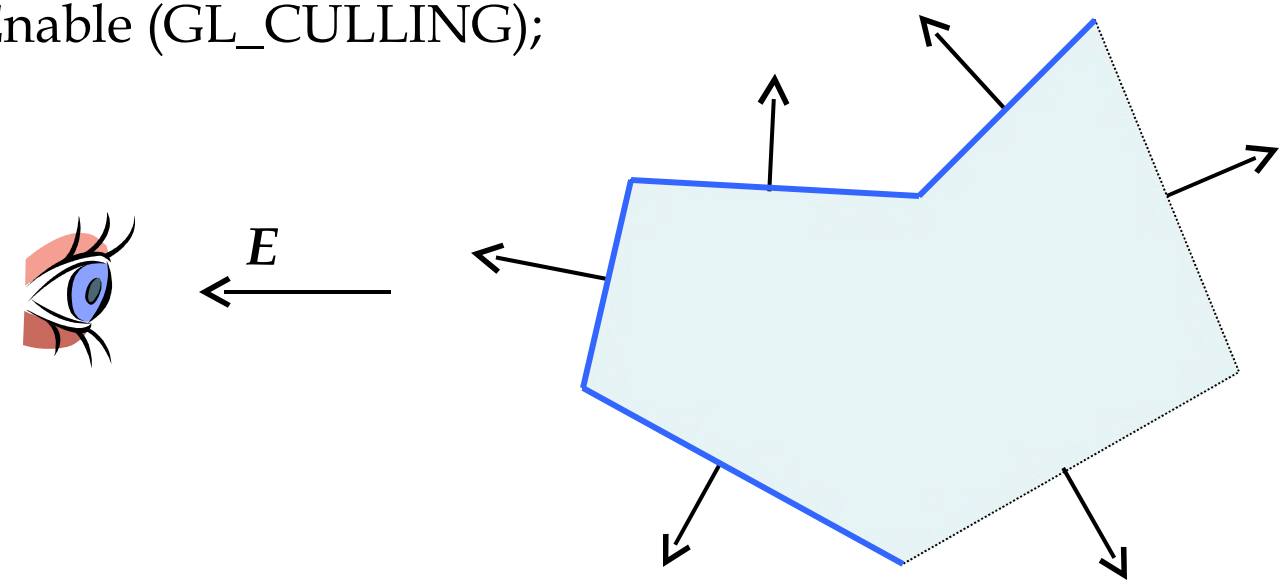
- Visibilidade é um problema complexo que não tem *uma* solução "ótima"
  - O que é ótima?
    - Pintar apenas as superfícies visíveis?
    - Pintar a cena em tempo mínimo?
  - Coerência no tempo?
    - Cena muda?
    - Objetos se movem?
  - Qualidade é importante?
    - Antialiasing
  - Aceleração por Hardware?

Complexidade do Problema

- Fatores que influenciam o problema
  - Número de pixels
    - Em geral procura-se minimizar o número total de pixels pintados
    - Resolução da imagem / *depth* buffer
    - Menos importante se rasterização é feita por hardware
  - Número de objetos
    - Técnicas de "*culling*"
    - Células e portais
    - Recorte pode aumentar o número de objetos

Backface Culling

- Hipótese: cena é composta de objetos poliédricos fechados
- Podemos reduzir o número de faces aproximadamente à metade
  - Faces de trás não precisam ser pintadas
- Como determinar se a face é de trás?
  - $N \cdot E > O \rightarrow$ Face da frente
  - $N \cdot E < O \rightarrow$ Face de trás
- OpenGL
  - glEnable (GL_CULLING);



Z-Buffer

- Método que opera no espaço da imagem
- Manter para cada pixel um valor de profundidade (*z-buffer* ou *depth buffer*)
- Início da renderização
  - *Buffer* de cor = cor de fundo
  - *z-buffer* = profundidade máxima
- Durante a rasterização de cada polígono, cada pixel passa por um *teste de profundidade*
  - Se a profundidade do pixel for menor que a registrada no *z-buffer*
    - Pintar o pixel (atualizar o buffer de cor)
    - Atualizar o buffer de profundidade
  - Caso contrário, ignorar

Z-Buffer

- OpenGL:
  - Habilitar o z-buffer:

    glEnable (GL_DEPTH_TEST);
  - Não esquecer de alocar o z-buffer
    - Ex: glutInitDisplayMode (GLUT_RGB|GLUT_DEPTH);
    - Número de bits por pixel depende de implementação / disponibilidade de memória
  - Ao gerar um novo quadro, limpar também o z-buffer:

    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT|GL_DEPTH_BUFFER_BIT)
  - Ordem imposta pelo teste de profundidade pode ser alterada
    - Ex: glDepthFunc (GL_GREATER);

Z-Buffer

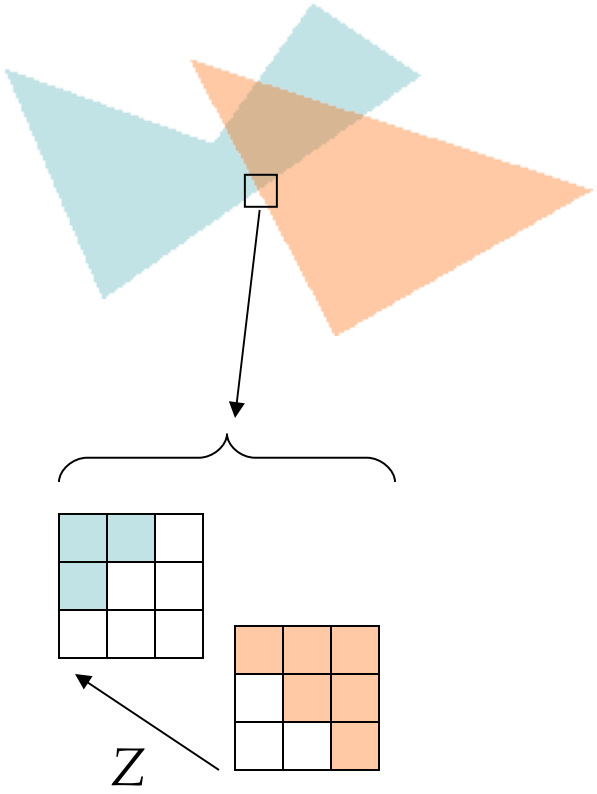
- Vantagens:
  - Simples e comumente implementado em Hardware
  - Objetos podem ser desenhados em qualquer ordem
- Desvantagens:
  - Rasterização independe de visibilidade
    - Lento se o número de polígonos é grande
  - Erros na quantização de valores de profundidade podem resultar em imagens inaceitáveis
  - Dificulta o uso de transparência ou técnicas de anti-serrilhado
    - É preciso ter informações sobre os vários polígonos que cobrem cada pixel

Z-Buffer e Transparência

- Se há objetos semi-transparentes, a ordem de renderização é importante
- Após a renderização de um objeto transparente, atualiza-se o z-buffer?
  - Sim → novo objeto por trás não pode mais ser renderizado
  - Não → z-buffer fica incorreto
- Soluções
  - Estender o z-buffer → A-buffer
  - Pintar de trás para frente → Algoritmo do pintor
    - Necessário de qualquer maneira, para realizar transparência com *blending* (canal alfa)

A-Buffer

- Melhoramento da idéia do z-buffer
- Permite implementação de transparência e de filtragem (*anti-aliasing*)
- Para cada pixel manter lista ordenada por z onde cada nó contém
  - Máscara de subpixels ocupados
  - Cor ou ponteiro para o polígono
  - Valor de z (profundidade)



A-Buffer

- Fase 1: Polígonos são rasterizados
  - Se pixel completamente coberto por polígono e polígono é opaco
    - Inserir na lista removendo polígonos mais profundos
  - Se o polígono é transparente ou não cobre totalmente o pixel
    - Inserir na lista
- Fase 2: Geração da imagem
  - Máscaras de subpixels são misturadas para obter cor final do pixel

A-Buffer

- Vantagens
  - Faz mais do que o z-buffer
  - Idéia da máscara de subpixels pode ser usada com outros algoritmos de visibilidade
- Desvantagens
  - Implementação (lenta) por software
  - Problemas do z-buffer permanecem
    - Erros de quantização em z
    - Todos os polígonos são rasterizados

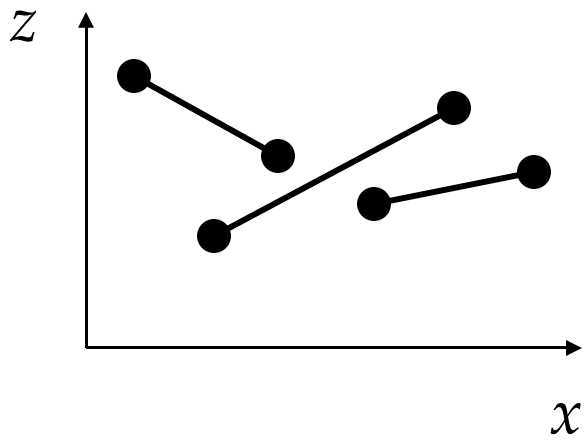
Algoritmo “Scan-Line”

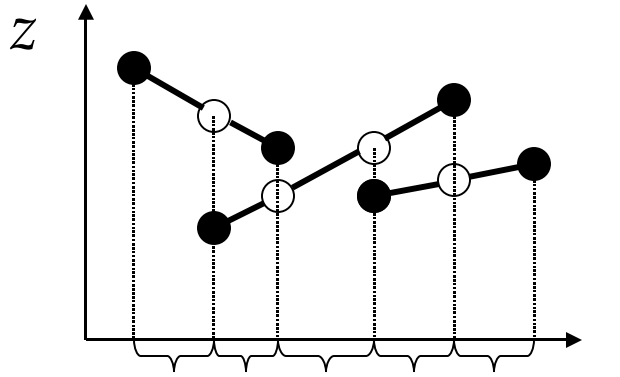
- Idéia é aplicar o algoritmo de rasterização de polígonos a todos os polígonos da cena simultaneamente
- Explora coerência de visibilidade
- Em sua concepção original requer que polígonos se interceptem apenas em vértices ou arestas
  - Pode ser adaptado para lidar com faces que se interceptam
  - Pode mesmo ser estendido para rasterizar sólidos CSG

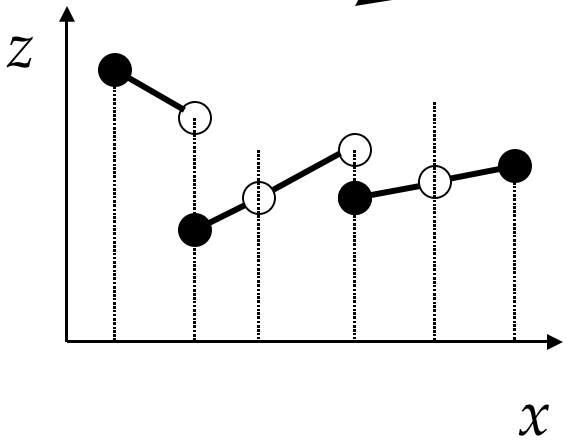
Algoritmo “Scan-Line”

- Ordena-se todas as arestas de todos os polígonos por *ymin*
- Para cada plano de varredura *y*
  - Para cada polígono
    - Determinar intervalos x_i de interseção com plano de varredura
  - Ordenar intervalos de interseção por *zmin*
  - Para cada linha de varredura *z*
    - Inserir arestas na linha de varredura respeitando inclinação z/x
  - Renderizar resultado da linha de varredura

Algoritmo “Scan-Line”

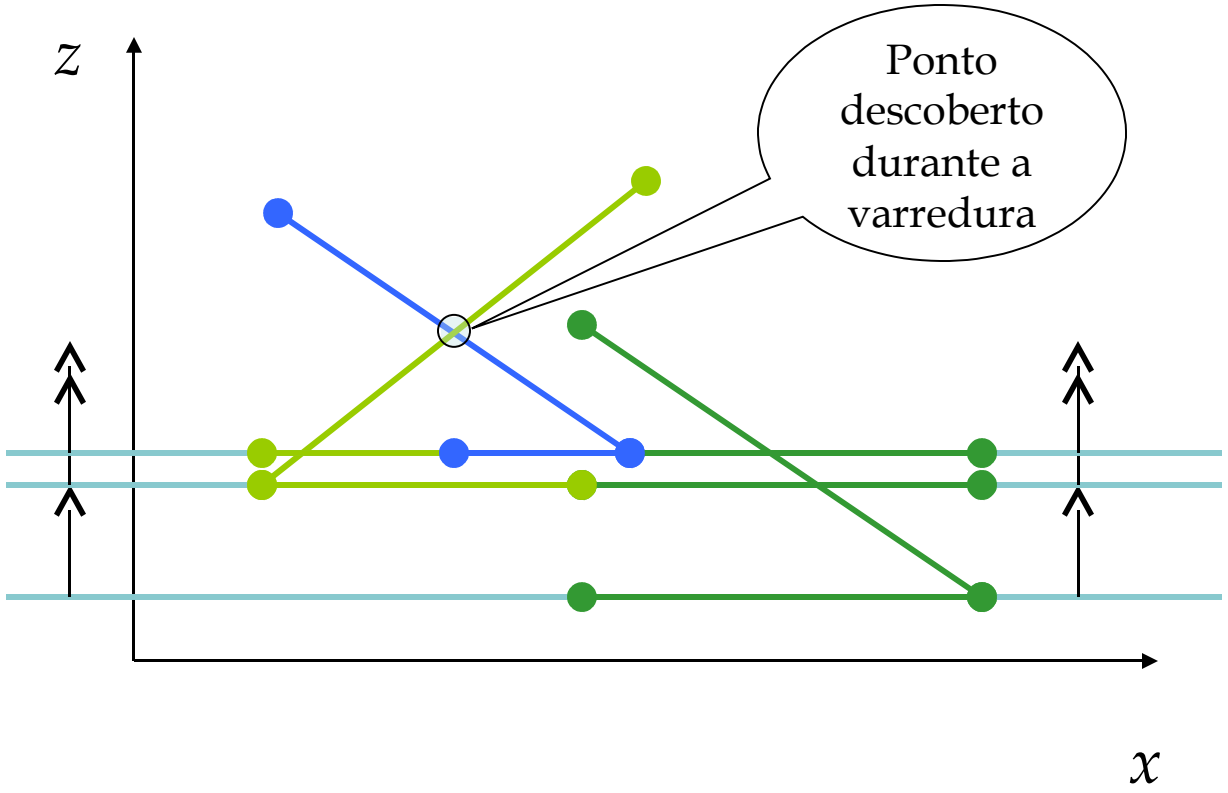






Onde projeções dos polígonos se interceptam, desenhar o da frente

Algoritmo “Scan-Line”



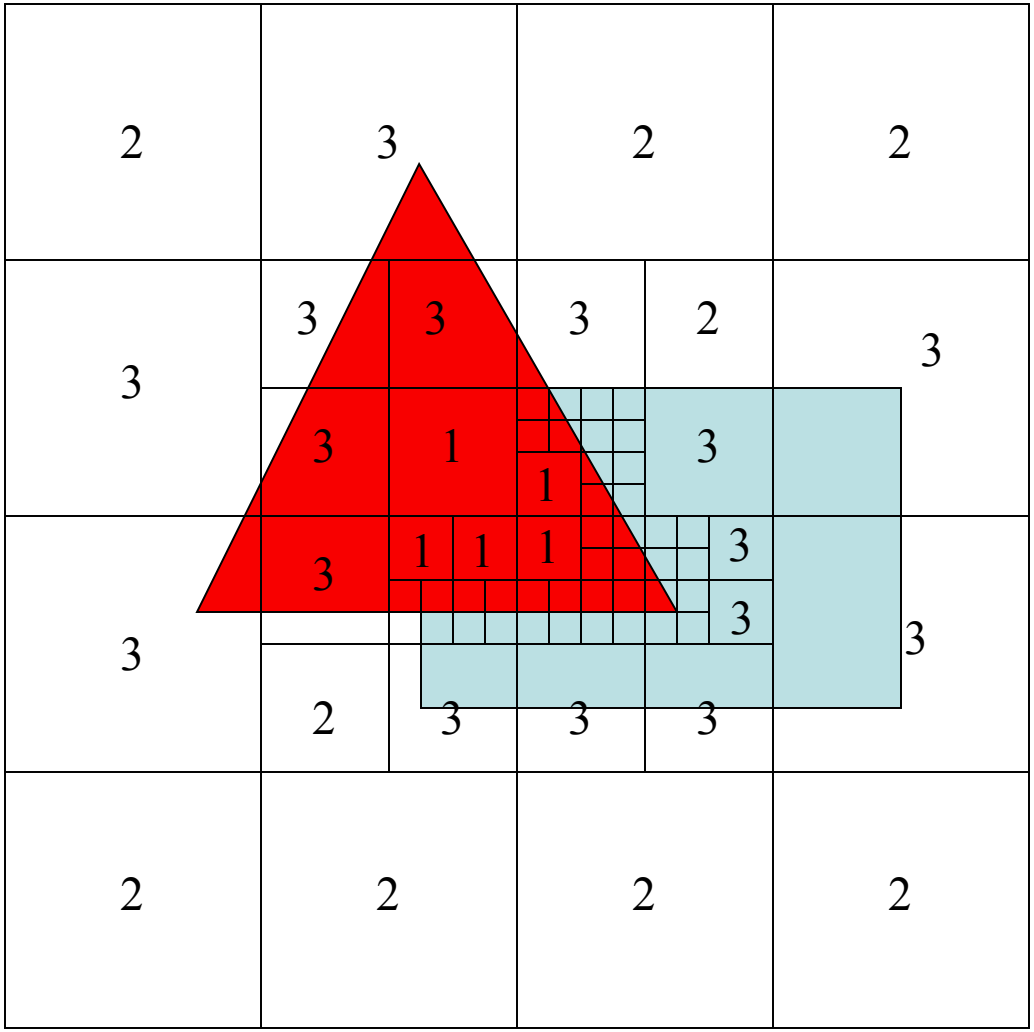
Algoritmo “Scan-Line”

- Vantagens
  - Algoritmo flexível que explora a coerência entre pixels de uma mesma linha de varredura
  - Razoável independência da resolução da imagem
  - Filtragem e anti-aliasing podem ser incorporados com um pouco de trabalho
  - Pinta cada pixel apenas uma vez
  - Razoavelmente imune a erros de quantização em z
- Desvantagens
  - Coerência entre linhas de varredura não é explorada
    - Polígonos invisíveis são descartados múltiplas vezes
  - Relativa complexidade
  - Não muito próprio para implementação em HW

Algoritmo de Warnock

- Usa subdivisão do espaço da imagem para explorar coerência de área
- Sabemos como pintar uma determinada sub-região da imagem se:
  1. Um polígono cobre a região totalmente e em toda região é mais próximo que os demais
  2. Nenhum polígono a intercepta
  3. Apenas um polígono a intercepta
- Se a sub-região não satisfaz nenhum desses critérios, é subdividida recursivamente à maneira de uma quadtree
  - Se sub-região se reduz a um pixel, pintar o polígono com menor profundidade

Algoritmo de Warnock

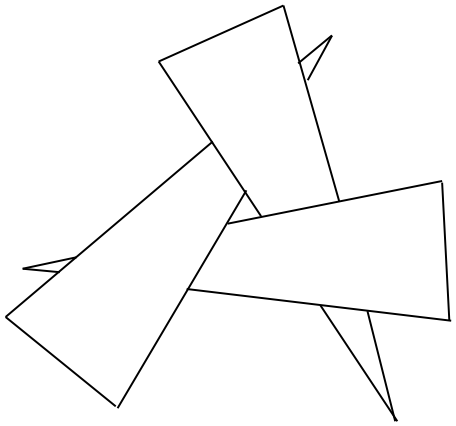


Algoritmo de Warnock

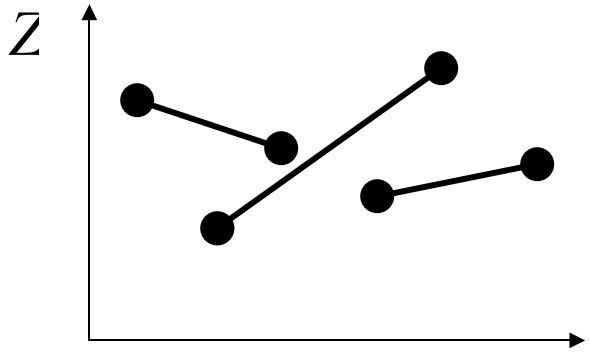
- Vantagens
  - Explora coerência de área
    - Apenas áreas que contêm arestas precisam ser subdivididas até o nível de pixel
  - Pode ser adaptado para suportar transparência
  - Levando a recursão até tamanho de subpixel, pode-se fazer filtragem de forma elegante
  - Pinta cada pixel apenas uma vez
- Desvantagens
  - Testes são lentos
  - Aceleração por hardware improvável

Algoritmo do Pintor

- Também conhecido como algoritmo de prioridade em *Z* (*depth priority*)
- Idéia é pintar objetos mais distantes (*background*) antes de pintar objetos próximos (*foreground*)
- Requer que objetos sejam ordenados em *Z*
  - Complexidade O (*N* log *N*)
  - Pode ser complicado em alguns casos
  - Na verdade, a ordem não precisa ser total se projeções dos objetos não se interceptam



Não há ordem possível



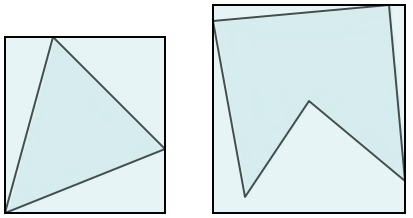
Que ponto usar para determinar ordem?

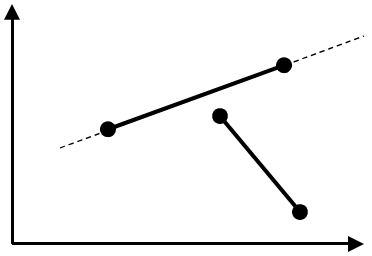
Algoritmo do Pintor

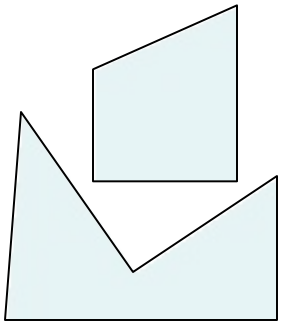
- Ordenação requer que se determine, para cada par de polígonos *A* e *B:*
  - *A* precisa ser pintado antes de *B*
  - *B* precisa ser pintado antes de *A*
  - A ordem de pintura é irrelevante
- Pode-se usar um algoritmo simples baseado em troca. Ex.: *Bubble Sort*
- Como a ordem a ser determinada não é total, pode-se usar um algoritmo de ordenação parcial. Ex.: *Union-Find* (Tarjan)

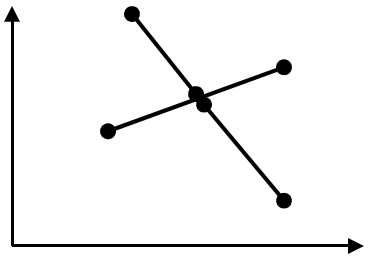
Algoritmo do Pintor

- Ordem de pintura entre *A* e *B* determinada por testes com níveis crescentes de complexidade
  - Caixas limitantes de *A* e *B* não se interceptam
  - *A* atrás ou na frente do plano de *B*
  - *B* atrás ou na frente do plano de *A*
  - Projeções de *A* e *B* não se interceptam
- Se nenhum teste for conclusivo, A é substituído pelas partes obtidas recortando A pelo plano de B (ou vice-versa)









Algoritmo de Recorte Sucessivo

- Pode ser pensado como um algoritmo do pintor ao contrário
- Polígonos são pintados de frente para trás
- É mantida uma máscara que delimita quais porções do plano já foram pintadas
  - Máscara é um polígono genérico (pode ter diversas componentes conexas e vários "buracos")
- Ao considerar cada um novo polígono P
  - Recortar contra a máscara M e pintar apenas $P - M$
  - Máscara agora é $M + P$

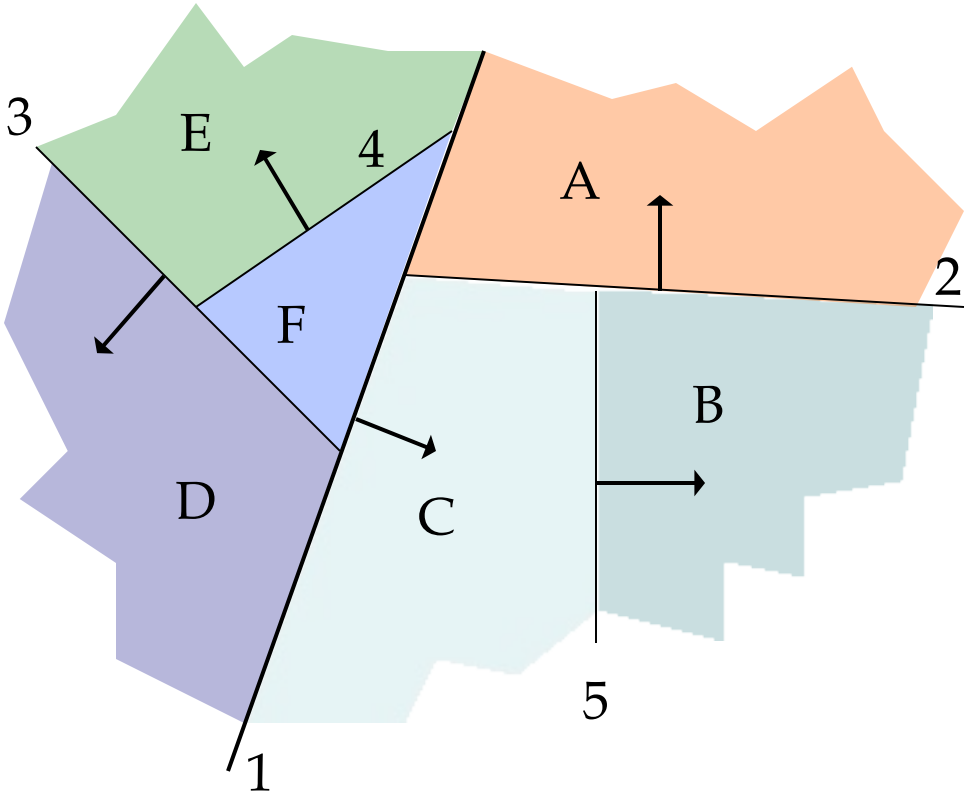
Algoritmo de Recorte Sucessivo

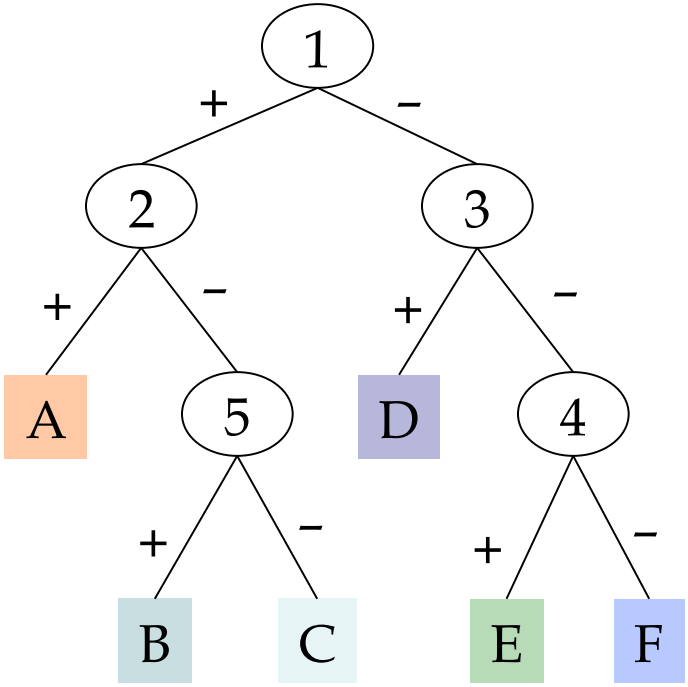
- Vantagens
  - Trabalha no espaço do objeto
    - Independe da resolução da imagem
    - Não tem problemas de quantização em z
  - Pinta cada pixel uma vez apenas
- Desvantagem
  - Máscara pode se tornar arbitrariamente complexa
  - Excessivamente lento

BSP-Trees

- São estruturas de dados que representam uma partição recursiva do espaço
- Muitas aplicações em computação gráfica
- Estrutura multi-dimensional
- Cada célula (começando com o espaço inteiro) é dividida em duas por um plano
  - *Binary Space Partition Tree*
- Partição resultante é composta de células convexas (politopos)

BSP-Tree





BSP-Trees

- A orientação dos planos de partição depende da aplicação e é um dos pontos mais delicados do algoritmo de construção
  - Ao partir coleções de objetos busca-se uma divisão aproximadamente eqüânime
  - Se estamos partindo polígonos
    - (2D), normalmente usa-se a direção de alguma aresta como suporte para o plano
    - (3D), normalmente usa-se a orientação do plano de suporte do de algum polígono
  - Se os objetos têm extensão, é importante escolher planos que interceptem o menor número possível de objetos

BSP-trees e Visibilidade

- BSP-trees permitem obter uma ordem de desenho baseada em profundidade
  - Vantagem: se o observador se move, não é preciso reordenar os polígonos
  - Bastante usada em aplicações de caminhada em ambientes virtuais (arquitetura, museus, jogos)
- Diversas variantes
  - Desenhar de trás para frente (algoritmo do pintor)
  - Desenhar de frente para trás (algoritmo de recorte recursivo)
  - Outras ...

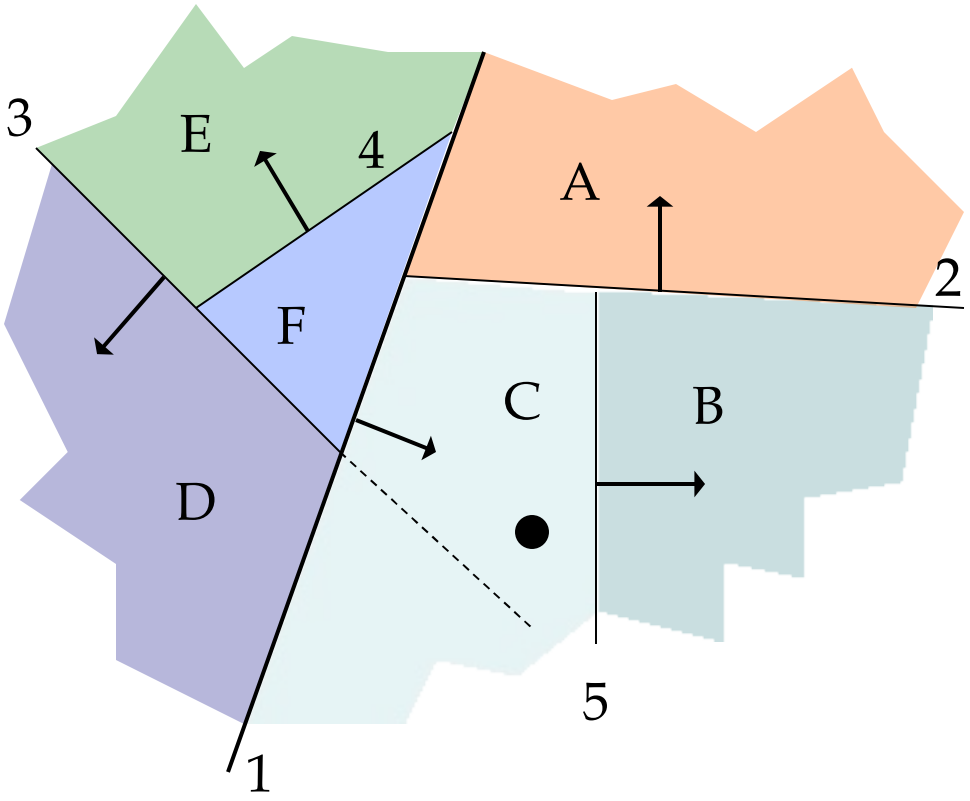
BSP-trees - Construção

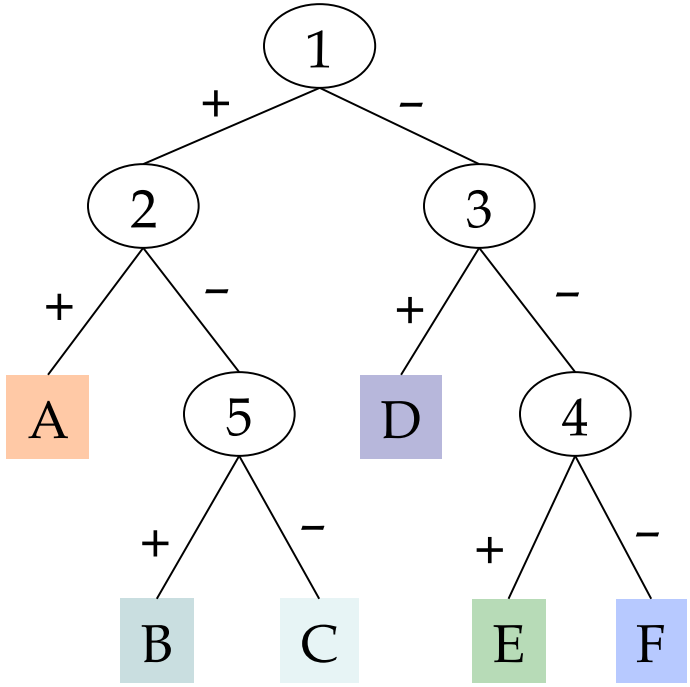
- Escolhe-se um dos polígonos da coleção presente na célula (ao acaso?)
  - Não existe algoritmo ótimo
  - Algumas heurísticas (ex.: minimum stabbing number)
- Divide-se a coleção em duas sub-coleções (além do próprio polígono usado como suporte)
  - Polígonos na frente do plano
  - Polígonos atrás do plano
- Divisão pode requerer o uso de recorte
- Partição prossegue recursivamente até termos apenas um polígono por célula

BSP-trees - Desenho

- Se observador está de um lado do plano de partição, desenha-se (recursivamente)
  - Os polígonos do lado oposto
  - O próprio polígono de partição
  - Os polígonos do mesmo lado
- Pode-se ainda fazer culling das células fora do frustum de visão

BSP-Tree





Ordem de desenho: D E F A B C

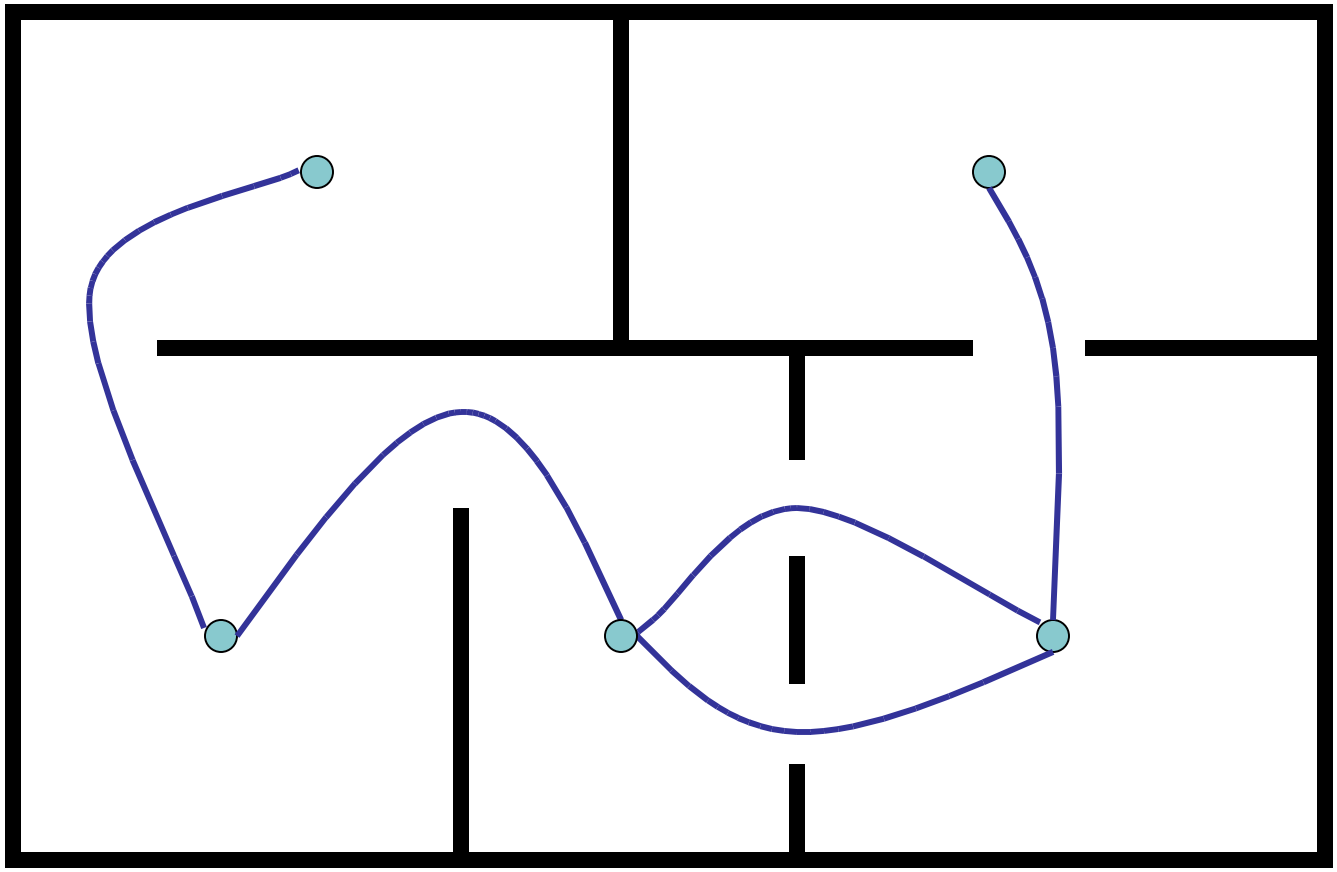
BSP-trees

- Vantagens
  - Pode ser usado para caminhadas
  - Filtragem e anti-aliasing suportados com facilidade (desenho de trás para a frente)
  - Algoritmo de frente para trás usado em jogos
- Desvantagens
  - Desenha mesmo pixel várias vezes
  - Número de polígonos pode crescer muito

Células e Portais

- Idéia usada em aplicações de caminhada (*walkthrough*) por ambientes virtuais do tipo arquitetônico
  - Cena composta de diversos compartimentos (quartos, salas, etc)
- Visibilidade é determinada convencionalmente dentro de cada compartimento (célula)
- Visibilidade entre células requer que luz atravesse partes vasadas das paredes tais como janelas, portas, etc (portais)
- Modelo de células e portais pode ser entendido como um grafo
  - Células = vértices
  - Portais = arestas

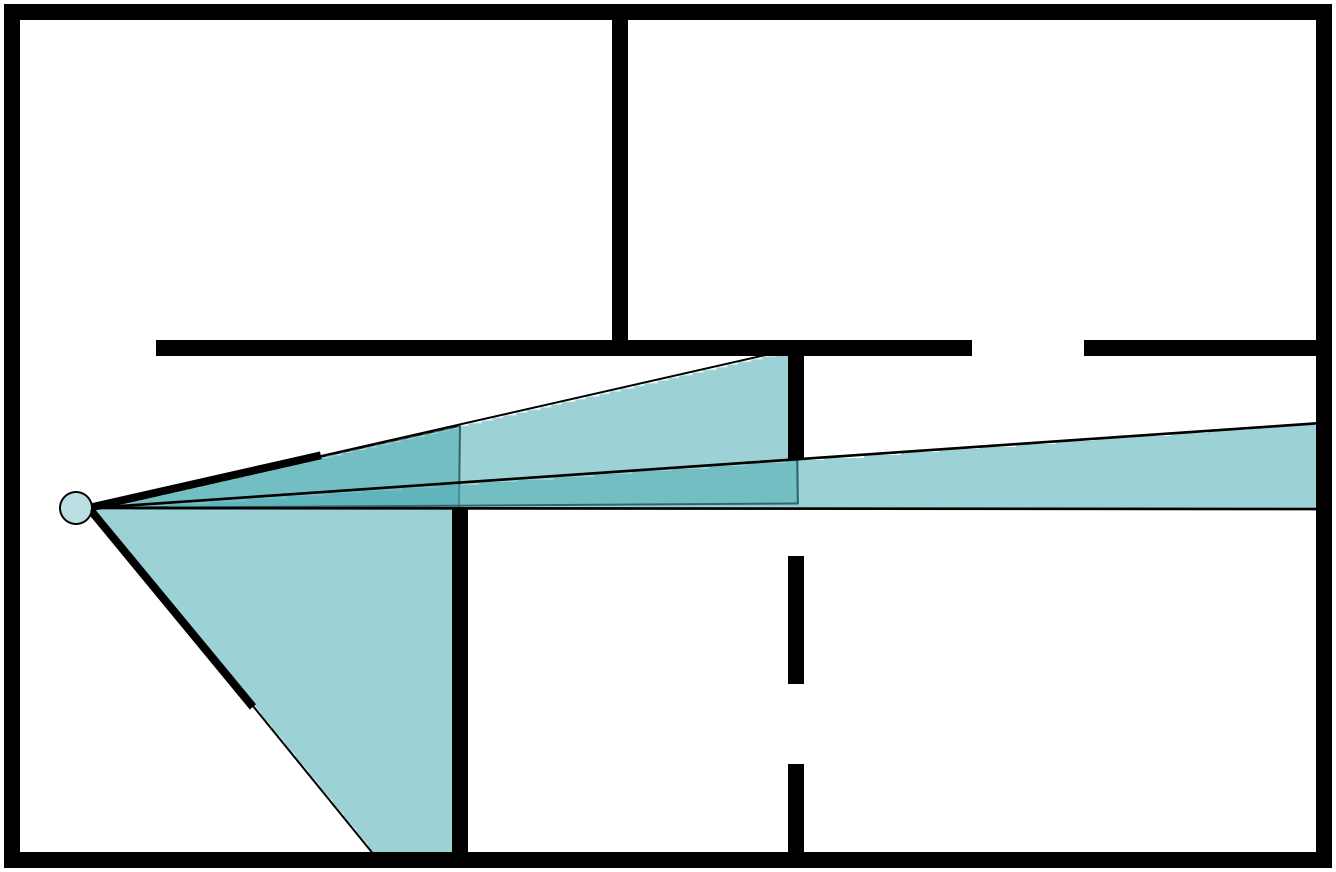
Células e Portais



Células e Portais - Algoritmo

- Desenhar célula C (paredes, objetos) onde o observador está
- Para cada célula V_i vizinha à célula do observador por um portal, recortar o volume de visão pelo portal
- Se volume recortado não for nulo,
  - Desenhar célula vizinha restrita à região não recortada do volume de visão
  - Repetir o procedimento recursivamente para as células vizinhas de V_i

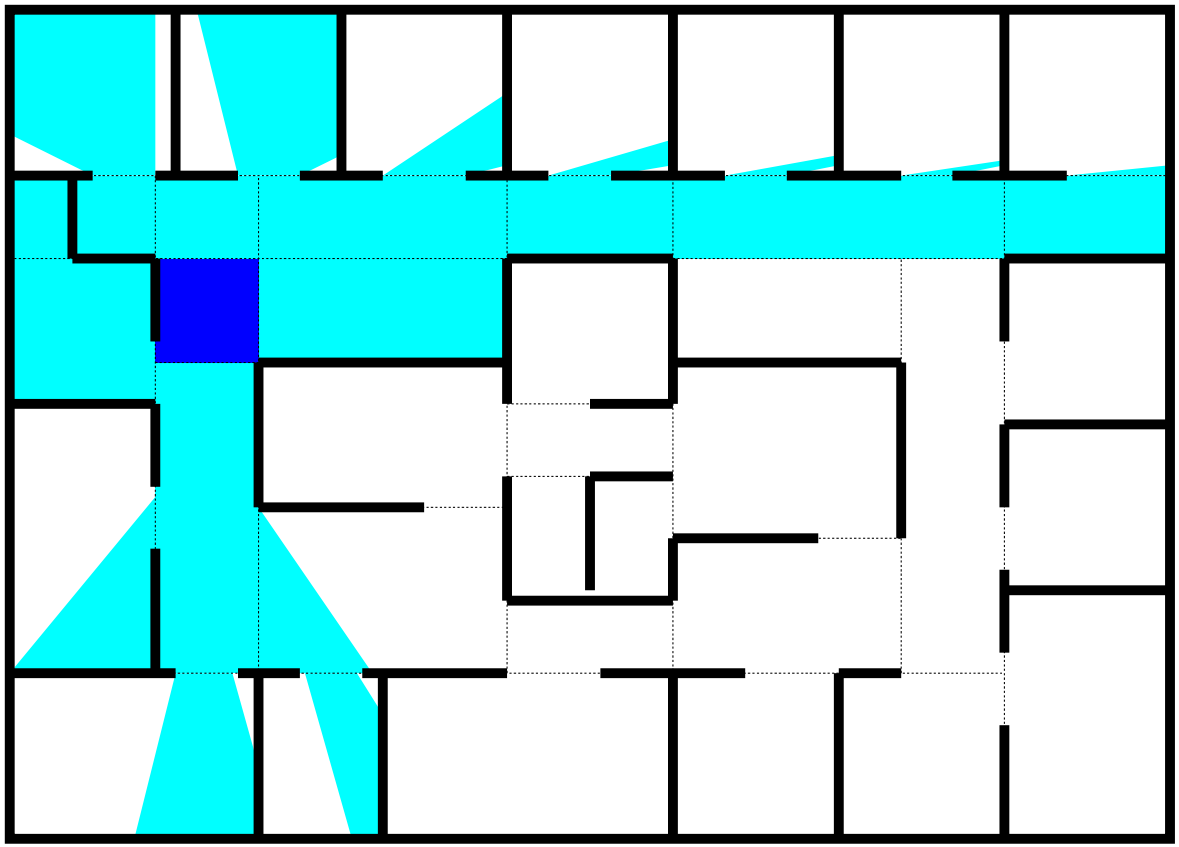
Células e Portais - Exemplo



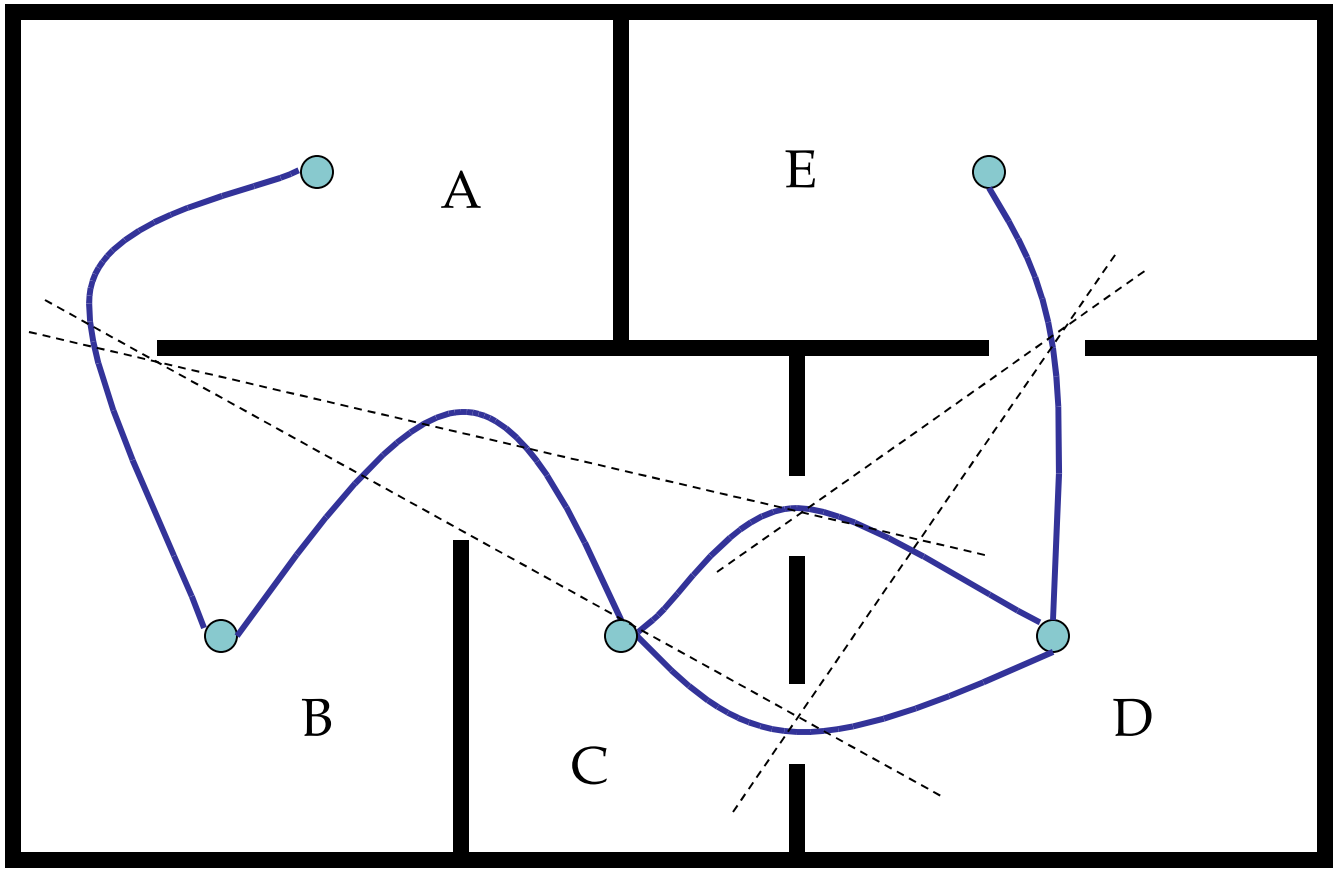
Células e Portais – Visibilidade Pré-Computada

- Operações de recorte são complexas
  - Volume recortado pode ter um grande número de faces
- Idéia: Pré-computar dados de visibilidade
- Conceito de observador genérico
  - Observador que tem liberdade para se deslocar para qualquer ponto da célula e olhar em qualquer direção
- Informação de visibilidade
  - Célula a Região (estimativa exata)
  - Célula a Célula (estimativa grosseira)
  - Célula a Objeto (estimativa fina)

Visibilidade Célula a Região



Visibilidade Célula a Célula



1 Portal

AB,BC,CD,DE

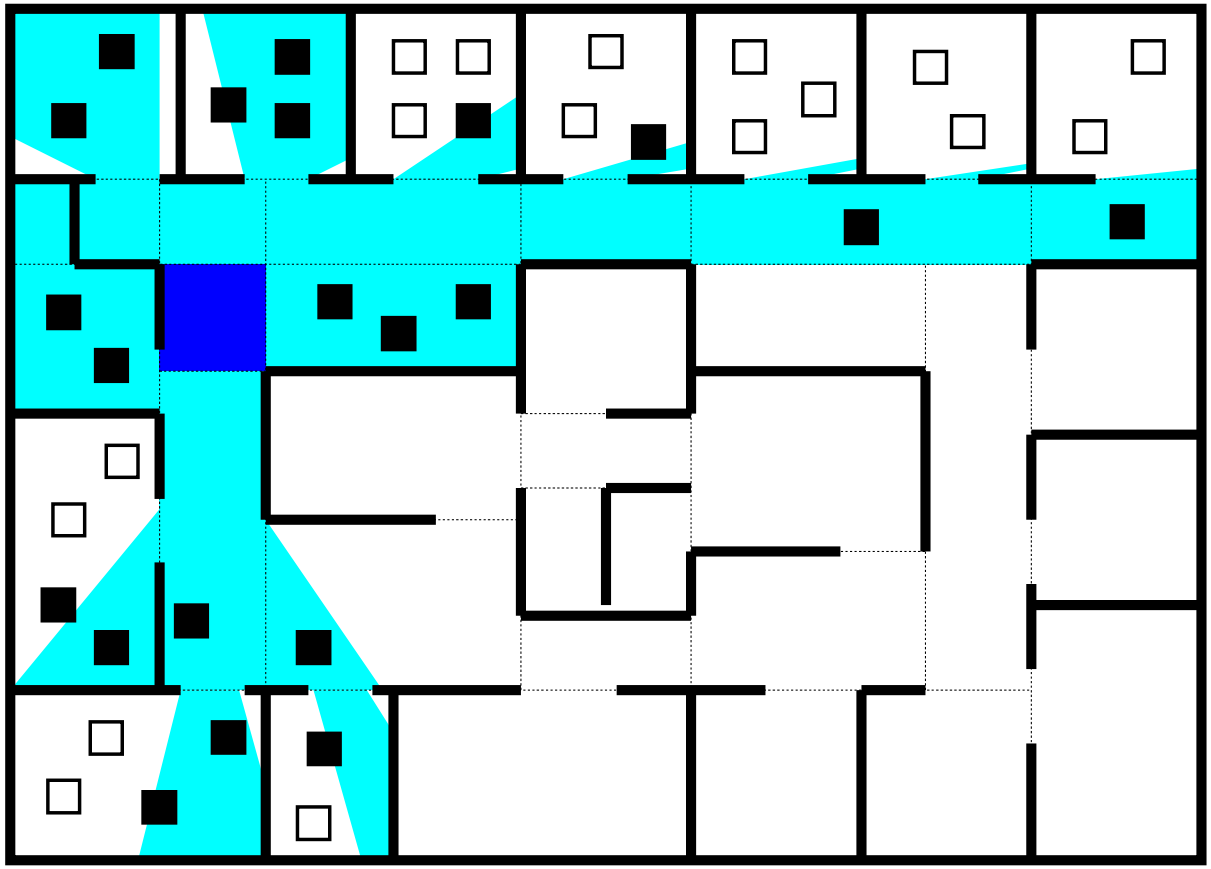
2 Portais

AC,BD,CE

3 Portais

AD

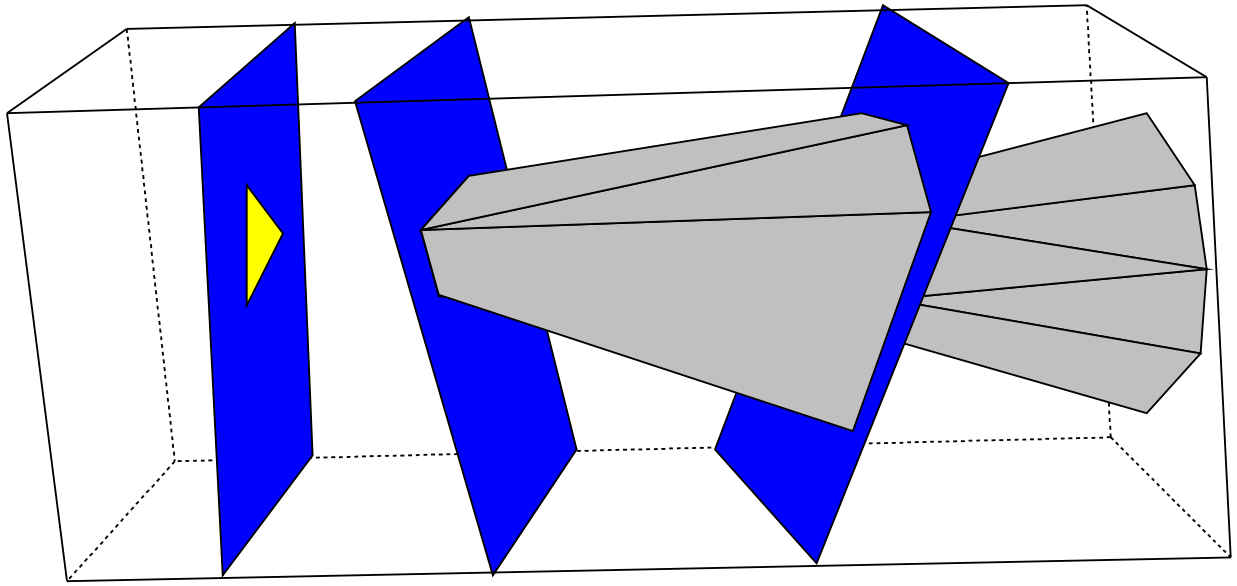
Visibilidade Célula a Objeto



Células e Portais

- Uma vez computada a visibilidade célula-a-região, os demais dados de visibilidade são obtidos trivialmente
- Em 3D, o cálculo exato dos volumes de visão pode ser bastante complexo (faces quádricas)
  - Na prática, usa-se aproximações conservadoras desses volumes (faces planas)
  - Paper Eurographics 2000: “Efficient Algorithms for Computing Conservative Portal Visibility Information” Jiménez, Esperança, Oliveira

Estimativa Conservadora de Volumes de Visão



Células e Portais – Algoritmo com Visibilidade Pré-Computada

- Desenhar célula *C* do observador
- Desenhar todas as células no Conjunto de Visibilidade de *C*
  - Células com visibilidade não nula através de uma seqüência de portais
  - Usar z-buffer
  - Se dados de visibilidade célula-a-objeto estiver disponível, desenhar apenas os objetos visíveis

Células e Portais - Resumo

- Versão mais utilizada requer que se pré-compute dados de visibilidade
  - Antecede a fase de caminhada
  - Visibilidade é aproximada
  - Requer método auxiliar para determinação de visibilidade
- Vantagens
  - Bastante eficiente em ambientes complexos com alta probabilidade de oclusão
  - Reduz o número de objetos a serem desenhados em algumas ordens de grandeza
- Desvantagens
  - Pré-processamento
  - Não tem grande utilidade em alguns tipos de cena
    - Ex. ambientes ao ar livre