INF 2063 – Visualização de Modelos Massivos

Descarte por Oclusão
Algoritmo CHC++

Vitor Barata R. B. Barroso
vbarata@tecgraf.puc-rio.br

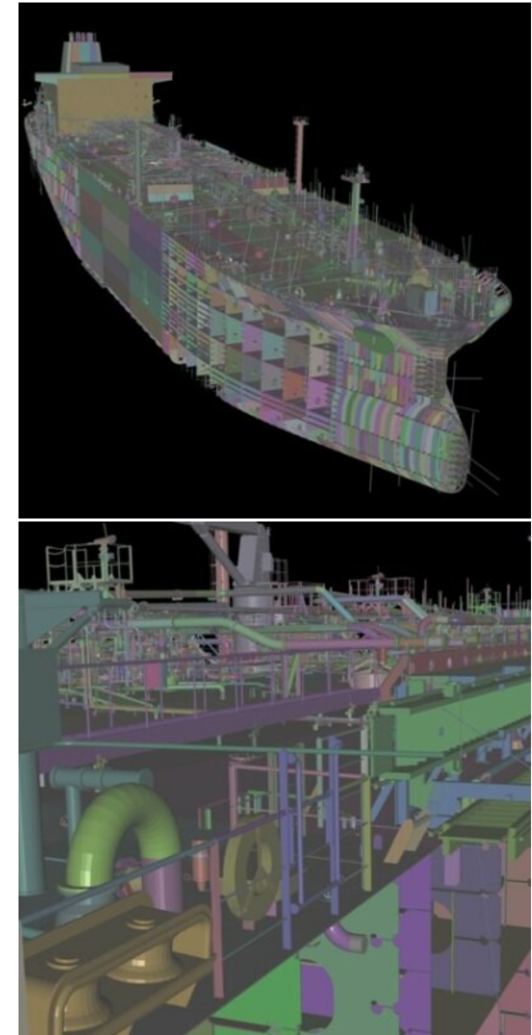
Motivação – Descarte por Visibilidade

- Renderização de cenas complexas em tempo real
  - Modelos CAD detalhados
  - Formas escaneadas
  - Resultados de simulações físicas, como de fluidos
  - Cenas complexas em geral

- Objetivo
  - Processar e enviar à placa gráfica apenas o conjunto de primitivas necessário para formar a imagem final (PVS – *Potentially Visible Set*)
  - Descartar, com testes rápidos, toda ou a maior parte da geometria que não contribui para o resultado final

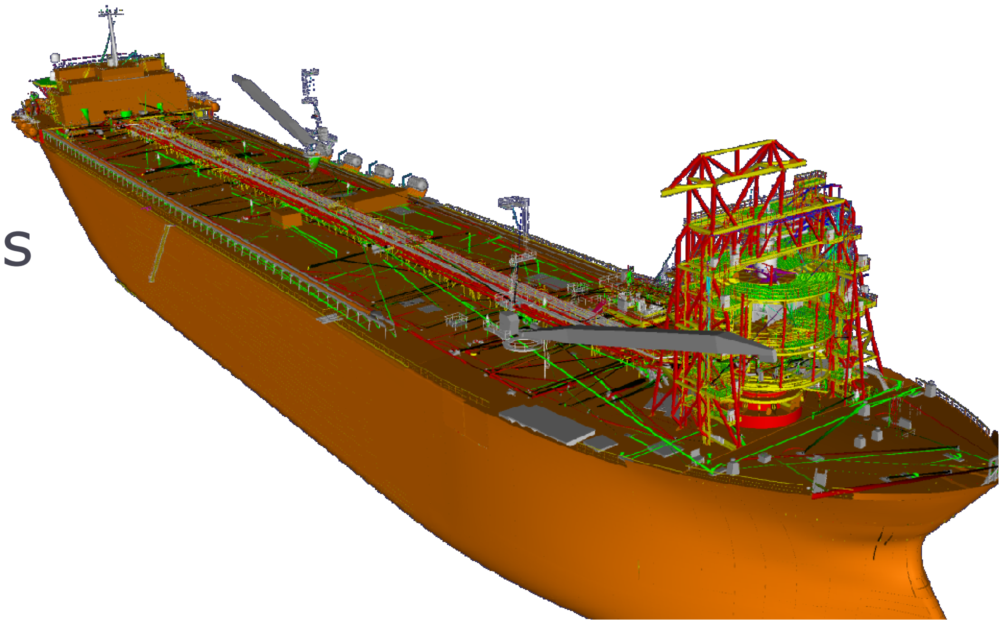
Exemplo de Modelo CAD Complexo

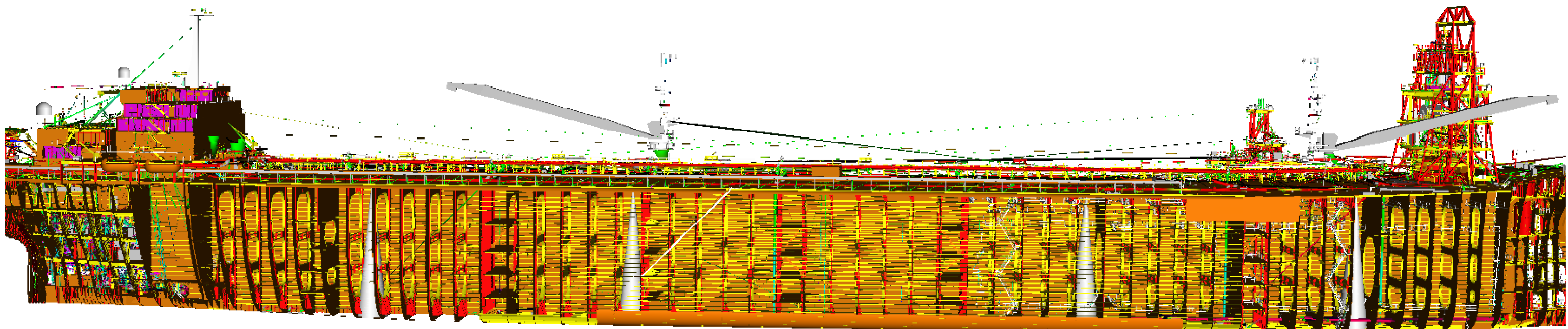
Double Eagle Tanker
(fonte: NVNews - NVIDIA GeForce3 Preview)



Exemplo de Modelo CAD Complexo

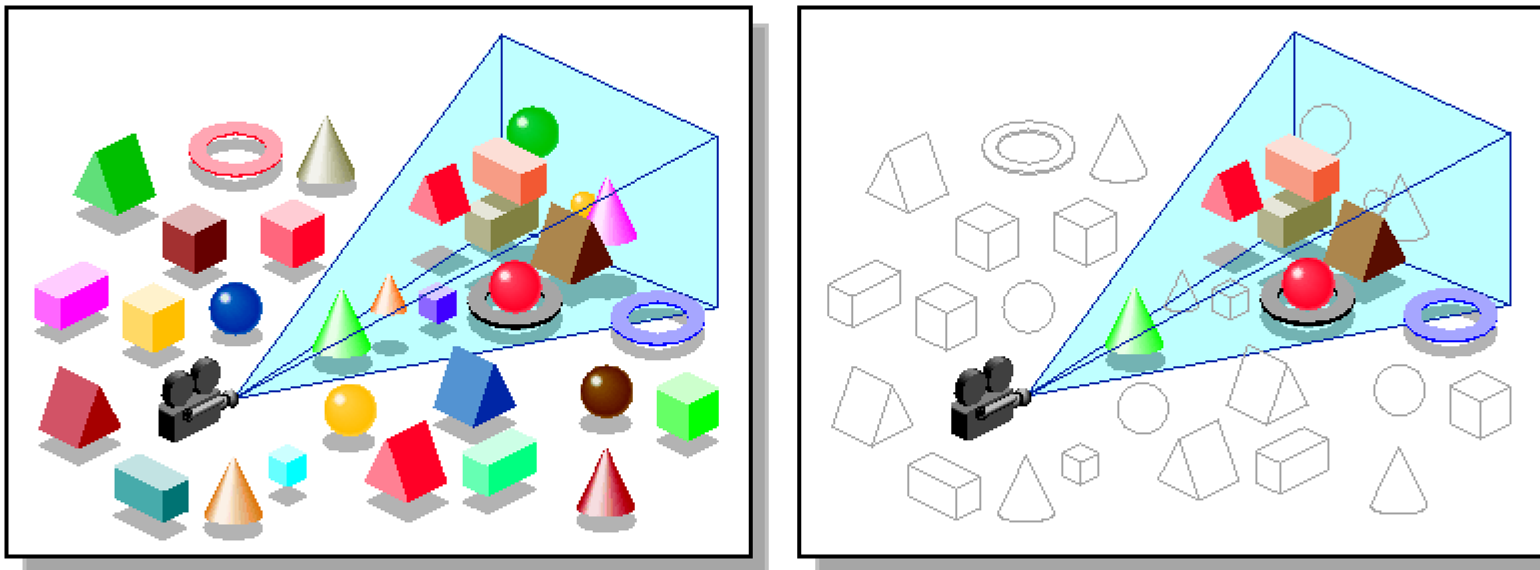
- P-38
  - 90.871 objetos
  - 4.717.749 vértices





Descarte por Visibilidade

- Principais tipos de descarte
  - Contra o volume de visão: primitivas fora do campo visual
  - Por oclusão: primitivas escondidas atrás de outras primitivas

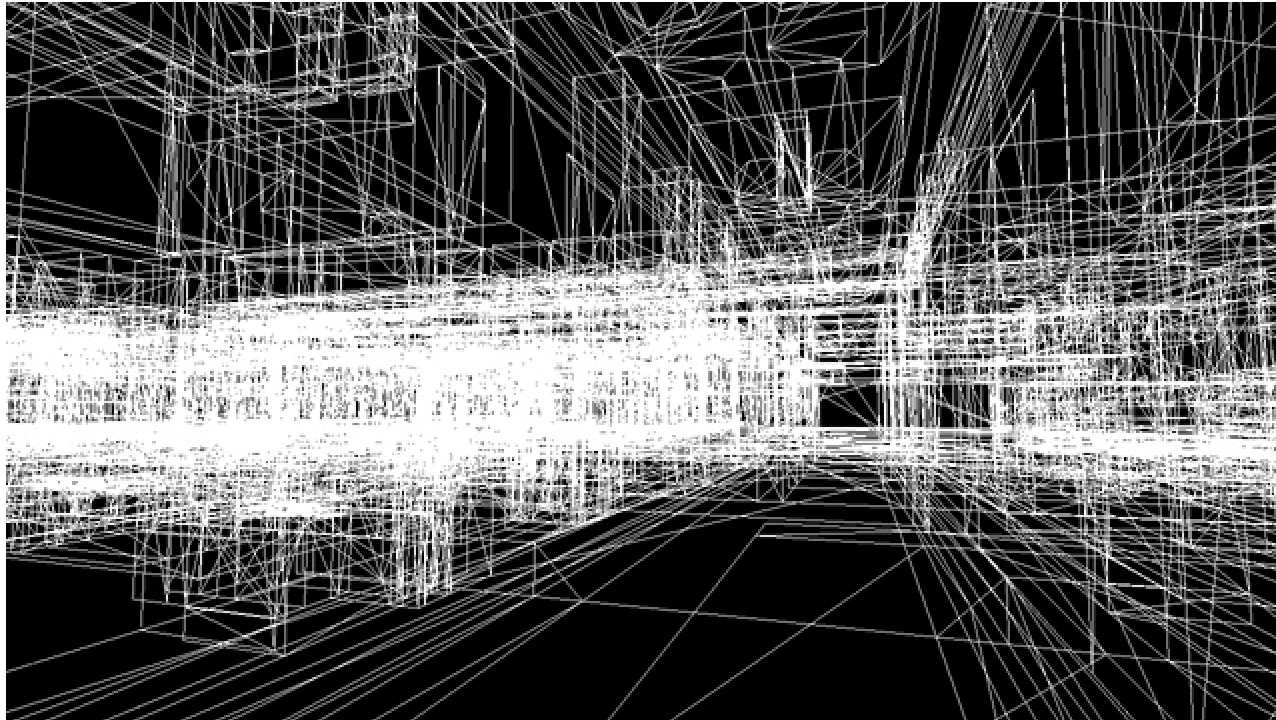


Descarte por visibilidade contra volume de visão e por oclusão
(fonte: OpenGL optimizer programmer's guide: an open API for large-model visualization)

Exemplo de Motor de Jogo (CHC++)

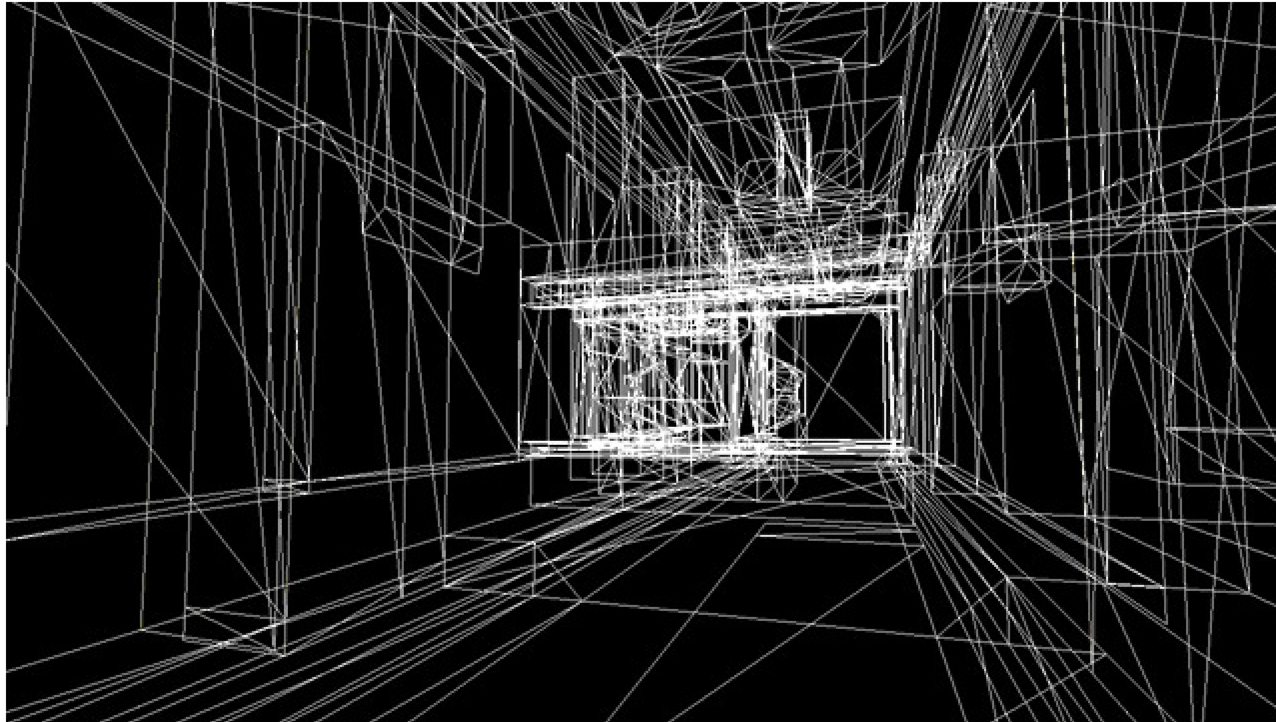
Unknown Worlds - Natural Selection 2
(http://www.unknownworlds.com/ns2)

Exemplo de Motor de Jogo (CHC++)



Unknown Worlds - Natural Selection 2
(http://www.unknownworlds.com/ns2)

Exemplo de Motor de Jogo (CHC++)



Unknown Worlds - Natural Selection 2
(http://www.unknownworlds.com/ns2)

Descarte por Oclusão

- Processamento
  - *Online* (por ponto): O PVS é determinado dinamicamente, em tempo de execução, para o ponto onde se encontra o observador no momento.
  - *Offline* (por região): Em pré-processamento, determina-se o PVS para vários pontos-de-vista espalhados pela cena. Em tempo de execução, escolhe-se e utiliza-se o PVS do ponto mais próximo.
- Abordagem
  - Exata: Determinam-se exatamente as primitivas visíveis ao observador.
  - Conservativa: Primitivas oclusas podem ser incluídas no PVS para economizar cálculos.
  - Agressiva: Primitivas visíveis podem ser excluídas do PVS.
- Espaço
  - Do objeto: o PVS é determinado a partir de testes envolvendo a geometria dos objetos da cena em seu espaço original. (Fast-V)
  - Da imagem: consideram-se os objetos após a rasterização, ou seja, uma amostragem de suas distâncias até o observador, como a fornecida pelo próprio z-buffer. (CHC++)

Teste de Oclusão em Hardware

- Permite perguntar à placa gráfica quantos pixels seriam rasterizados numa operação de desenho
  - Considera teste de z com z-buffer atual
- Operação assíncrona
  - Chamada retorna imediatamente
  - Resultado demora algum tempo para ficar disponível
  - Pode-se consultar rapidamente se o resultado já está pronto
- Problema: ociosidade da CPU e da GPU
  - Se o resultado for requisitado cedo demais, CPU espera até que esteja disponível
  - Falta de novos dados para a GPU deixa-a subutilizada

Teste de Oclusão em Hardware

- Idéia básica
  - Desenhar os objetos da cena do mais próximo para o mais distante
  - Fazer um *occlusion query* enviando o volume envolvente do objeto
  - Se o resultado não indicar a rasterização de nenhum fragmento, a geometria correspondente está oclusa e não precisa ser desenhada

- Pontos positivos
  - Qualquer objetos que marque o *z-buffer* pode ser oclusor e ocluso, independente de sua complexidade ou do uso de *shaders*
  - Fusão de oclusores: um objeto pode ser escondido por mais de um oclusor em locais diferentes, uma característica que é capturada automaticamente
  - Utilização do poder de processamento paralelo da GPU
  - Facilidade de implementação e integração a algoritmos de rendering

Teste de Oclusão em Hardware

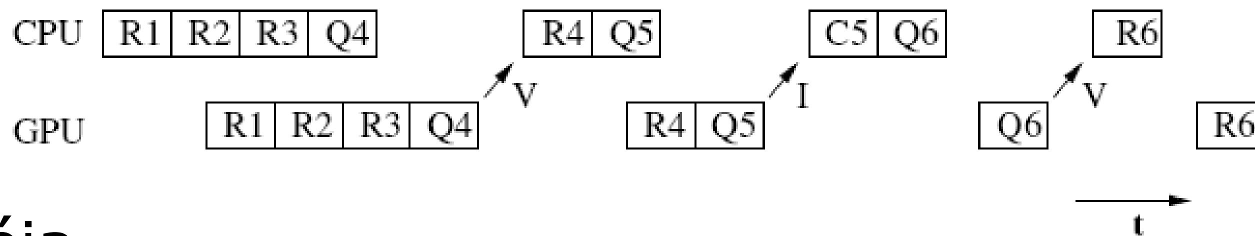
- Cuidados básicos
  - Volume envolvente deve ser rápido de se desenhar
    - preferir uma caixa a uma esfera
  - Volume envolvente deve se ajustar bem à geometria
    - Volumes grandes demais tornam o teste ultra-conservativo
    - Minimizar tamanho do PVS
  - Desenho do mais próximo para o mais distante
    - Calcular a distância de cada objeto ao observador
    - Organizar uma fila de prioridades

Algoritmo Hierárquico

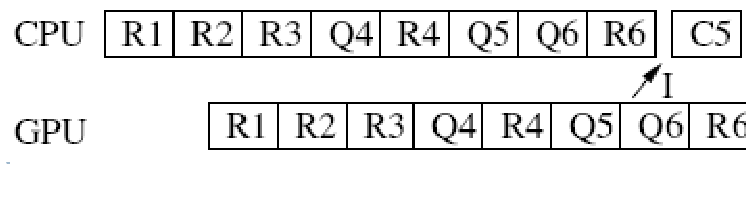
- Explorar a coerência espacial da cena
  - Organizar a cena numa hierarquia
    - Subdivisão espacial (grid regular, octree, kd-tree)
    - Hierarquia de volumes envolventes (AABB, OBB)
  - Percorrer os nós da hierarquia
    - Testar contra o volume de visão
    - Testar por oclusão e esperar o resultado
    - Se o nó estiver visível
      - Percorrer os filhos do mais próximo ao mais distante
      - Desenhar a geometria das folhas
    - Se o nó estiver invisível
      - Interromper o percorrimento deste ramo da hierarquia

Descarte Coerente Hierárquico (CHC)

- Ociosidade do CPU e da GPU



- Idéia
  - Explorar a coerência temporal da classificação de visibilidade
    - Visível tende a continuar visível e vice-versa
  - Reorganizar as chamadas
    - Intercalar testes de oclusão com outras operações
    - Enquanto espera, CPU continua processando e enviando dados à GPU



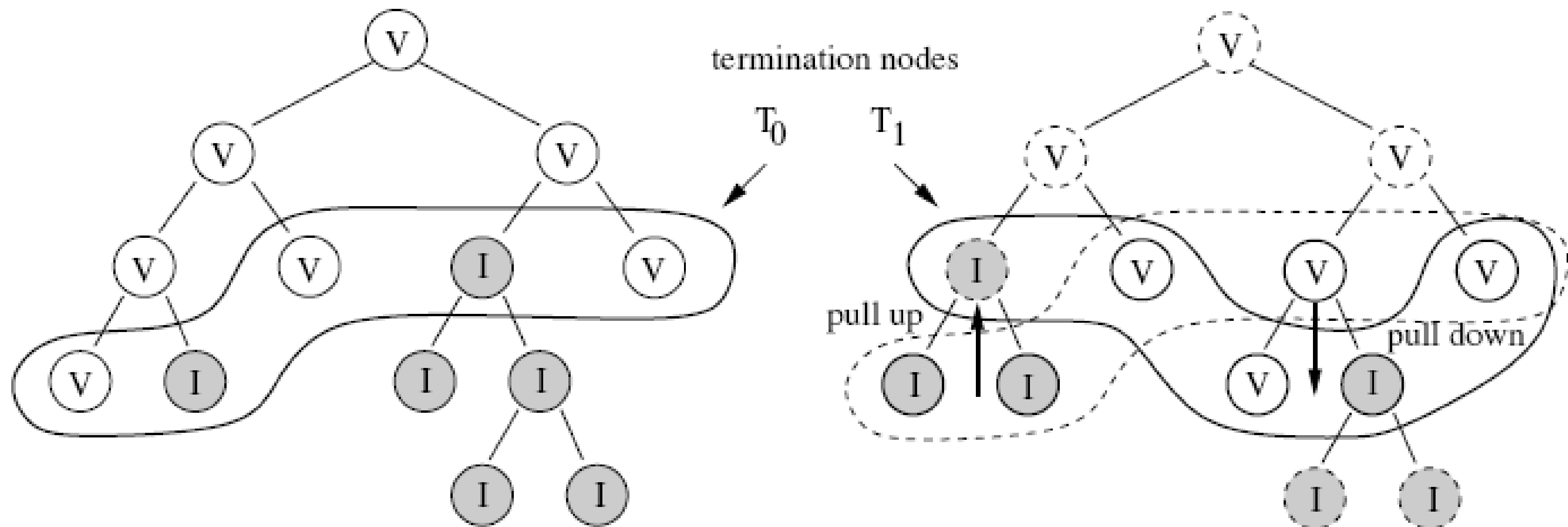
Descarte Coerente Hierárquico (CHC)

- Nós de término de um percorrimento
  - Nós internos invisíveis
  - Folhas, visíveis ou não, com pai visível

- Algoritmo
  - Fila de testes
    - Testes requisitados são armazenados numa fila até que seus resultados estejam disponíveis
  - Percorrimento começa nos nós de término do quadro anterior
    - Nós internos anteriormente visíveis são pulados
    - Nós previamente invisíveis: requisitar o teste e armazenar na fila
    - Folhas previamente visíveis
      - requisitar e armazenar o teste
      - desenhar imediatamente assumindo que a visibilidade é mantida
      - o resultado do teste será usado no quadro seguinte

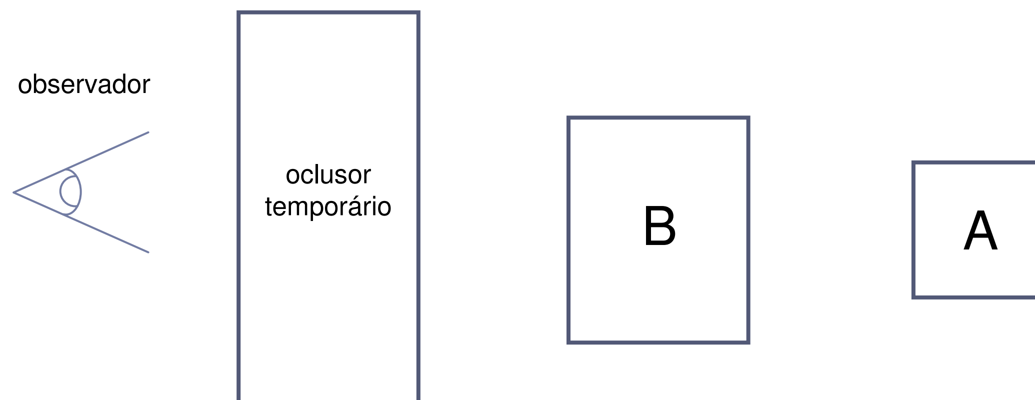
Descarte Coerente Hierárquico (CHC)

- Sempre que houver um resultado de teste disponível
  - Se visível, processam-se os filhos ou desenha-se a geometria
  - Se invisível, descarta-se toda a sub-árvore com raiz no nó ocluso
- Propagação de visibilidade
  - No percorrimento, marcamos todo nó visitado como invisível
  - Quando um nó visível é detectado, propagamos a mudança para os ancestrais
  - Permanecem invisíveis apenas nós cujos filhos sejam todos invisíveis



Descarte Coerente Hierárquico (CHC)

- Inconsistência
  - Imagine dois objetos A e B, ambos invisíveis em certo quadro
  - No quadro seguinte, o teste de oclusão de A pode ser iniciado antes que se termine o de B
  - Se B ficou visível, somos incapazes de detectar uma possível oclusão de A por B
  - Isso apenas torna o algoritmo mais conservativo!



Descarte Coerente Hierárquico (CHC)

- Otimizações
  - Objetos visíveis tendem a continuar visíveis
    - Podemos refazer seus testes de oclusão apenas a cada n_{av} quadros
  - Tolerância em pixels para visibilidade
    - Consideramos visíveis apenas objetos que rasterizem pelo menos
      n_{vp} fragmentos
  - Espera nula da CPU
    - Sempre que formos forçados a esperar o resultado de um teste de oclusão, podemos aproveitar e já desenhar algum objeto da fila
      - Escolher sempre os objetos mais leves para não desperdiçar trabalho demais caso ele esteja oculto afinal de contas

Algoritmo CHC++

- Problemas da abordagem anterior
  - Desempenho
    - Grande número de testes de oclusão
    - Grande número de mudanças de estado da renderização
    - Existência ainda de algum tempo de CPU em espera
    - Desenho muito conservador, de mais geometria do que o necessário
  - Aplicabilidade
    - Impossibilidade de integração com algoritmos de renderização otimizados, com coleta de objetos separados por materiais e *shaders*

Algoritmo CHC++

- Testes de visibilidade em lote
  - Minimizar mudanças de estado da renderização
  - Grupos (lotes) de testes são requisitados conjuntamente

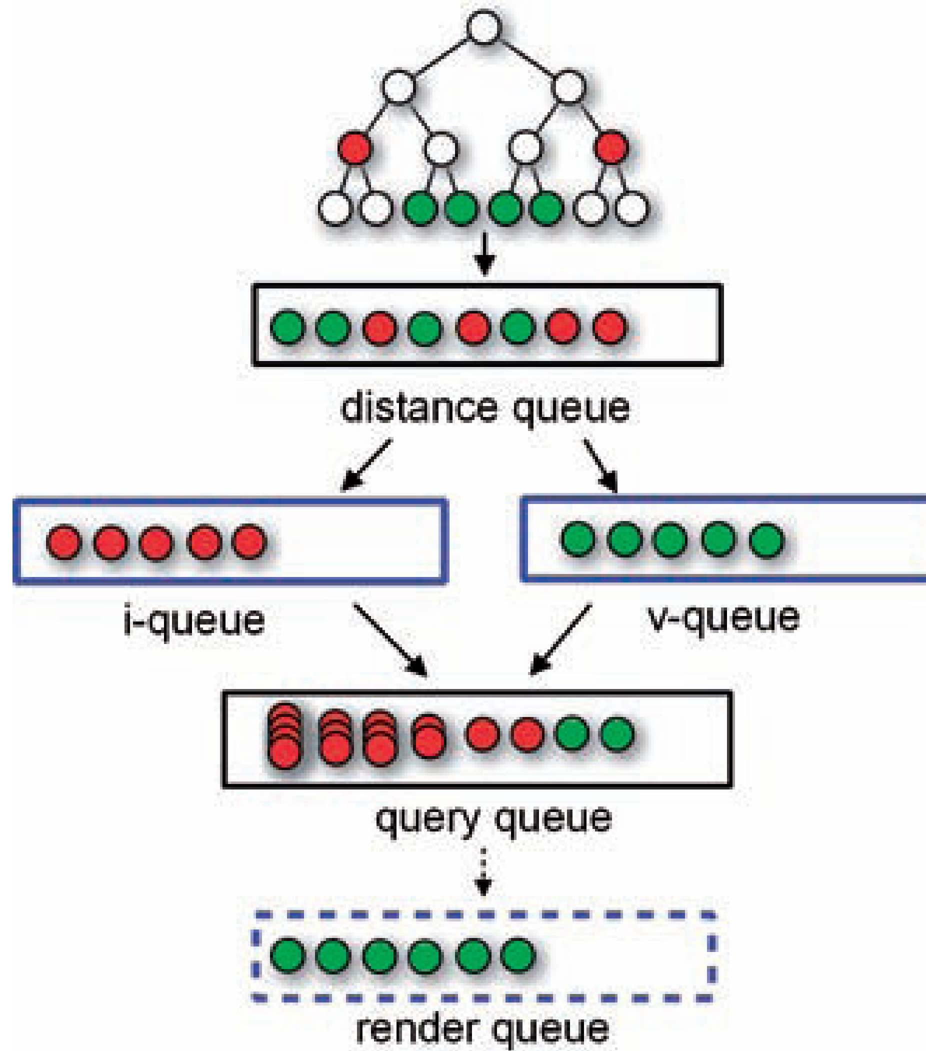
- Lotes de nós previamente invisíveis
  - Em vez de requisitar imediatamente, colocar na "fila-i"
  - Quando o número de nós na fila chegar a um valor *b*, fazem-se todas as requisições de uma vez
  - *Tradeoff*
    - Menos mudanças de estado x Atraso nos resultados dos testes
    - Algoritmo não é muito sensível, bons resultados para $20 < b < 80$

Algoritmo CHC++

- Lotes de folhas previamente visíveis
  - Geometria desenhada imediatamente, independente do teste
  - Em vez de requisitar imediatamente, colocar o teste na fila-v
  - Resultados só serão úteis no próximo quadro!
    - Requisitar testes da fila-v apenas quando não houver mais nós da hierarquia a percorrer ou testes já prontos para processar
    - Ao final do quadro, requisitar os testes restantes na fila-v

- Integração a algoritmos de renderização
  - Em vez de desenhar imediatamente, colocar numa fila de renderização
  - Renderizar toda a fila logo antes de qualquer teste de oclusão
  - Fila pode ser ordenada por materiais, *shaders*, ou como desejado

Algoritmo CHC++



Algoritmo CHC++

- Multitestes
  - Minimizar número de testes de oclusão
  - Se toda uma parte da cena está invisível, basta um único teste para saber se ela continua invisível
    - Ex.: cena e observador estáticos
  - Idéia:
    - Agrupar nós previamente invisíveis que têm a mesma probabilidade de permanecerem assim no quadro atual
    - Fazer apenas um teste desenhando todos os nós
      - Se invisível, mantém todos invisíveis e economiza vários testes
      - Se visível, testa um por um (faz apenas o primeiro teste a mais)
    - Probabilidade:
      - Quanto mais tempo um nó se mantiver sem alterar sua classificação, mais provável é que ele continue se mantendo assim

Algoritmo CHC++

- Custo-benefício de multitestes
  - Número de quadros que um nó N mantém sua classificação inalterada:

    i_N (persistência de visibilidade)
  - Probabilidade de o nó continuar mantendo sua classificação como invisível:

    $p_{keep}(i) \approx 0{,}99 - 0{,}7 \cdot e^{-i}$ (ajustado a medidas empíricas)
  - Probabilidade de o multiteste M falhar (algum nó $N \in M$ se tornar visível):

    $$p_{fail}(M) = 1 - \Pi_{\forall N \in M} [p_{keep}(i_N)]$$
  - Custo de um multiteste: número de testes esperado

    $$C(M) = 1 + p_{fail}(M) \cdot |M|$$
  - Benefício de um multiteste: número de nós

    $$B(M) = |M|$$
  - Custo-benefício:

    $$V(M) = B(M) / C(M)$$

- Estratégia gulosa de agrupamento:
  - Agrupar os nós seguindo a ordem de $p_{keep}(i_N)$, até achar V(M) máximo
  - Produz grupos maiores para p_{keep} mais alto!

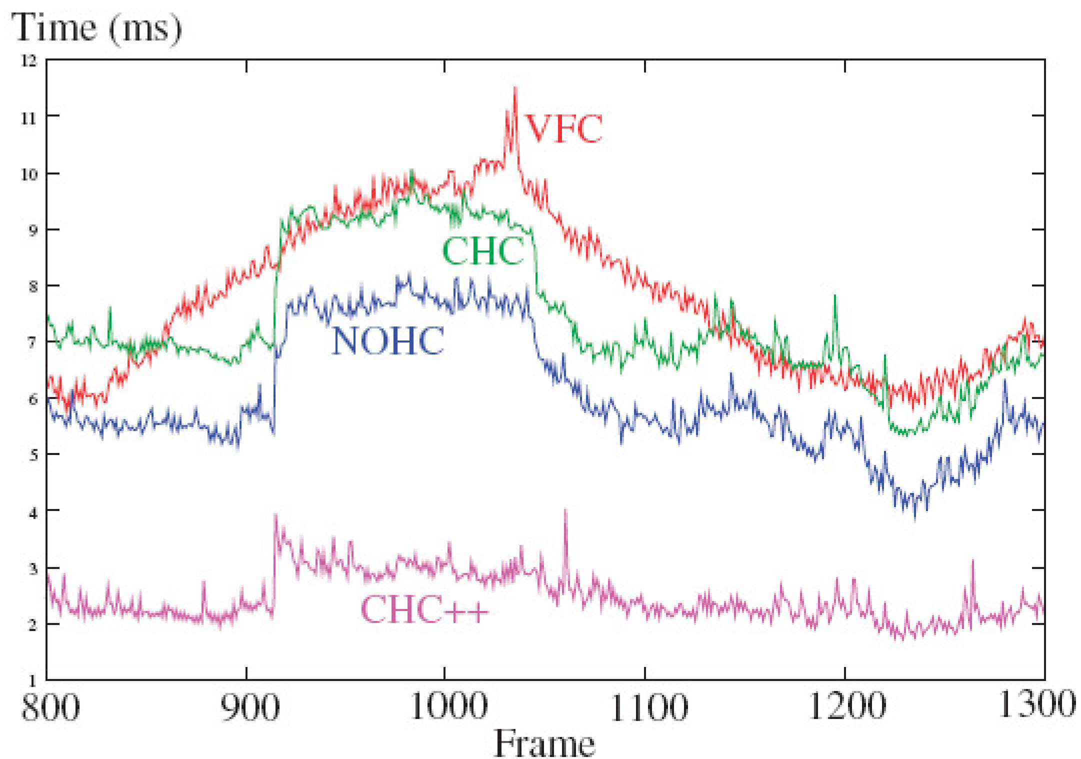
Algoritmo CHC++

- CHC: objetos visíveis tendem a continuar visíveis
  - Refazer seus testes de oclusão apenas a cada n_{av} quadros
  - Alinhamento de testes de oclusão quando objetos se tornam visíveis simultaneamente!
    - Quando um objeto se torna visível, a espera até o primeiro teste de oclusão será de r quadros, com r aleatório entre 0 e n_{av}

- Volumes envolventes mais justos
  - Uso de AABBs simples
  - Para nós internos, volume é a únião dos volumes dos filhos!
    - Refinamos o volume até um nível d_{max} abaixo do pai
    - Paramos de refinar se os volumes filhos tiverem muita sobreposição

Algoritmo CHC++

- Resultado:
  - Estado-da-Arte atual em descarte por oclusão por ponto!



Implementação

- Organização da cena:
  - Hierarquia de AABBs
  - Percorrimento guiado por fila de prioridades de acordo com a distância até o observador
- Gerência de objetos *query* do OpenGL
  - *Pool* de objetos
- Multitestes
  - Uso de duas filas
  - Armazenar em cada consulta
    - 1 – ID OpenGL e número de nós do teste
    - 2 – Todos os nós (de todos os testes)
- Problemas não explicados nos artigos
  - Volumes e objetos que atravessam o plano *near*
  - Brigas de *pull-up* e *pull-down* de visibilidade

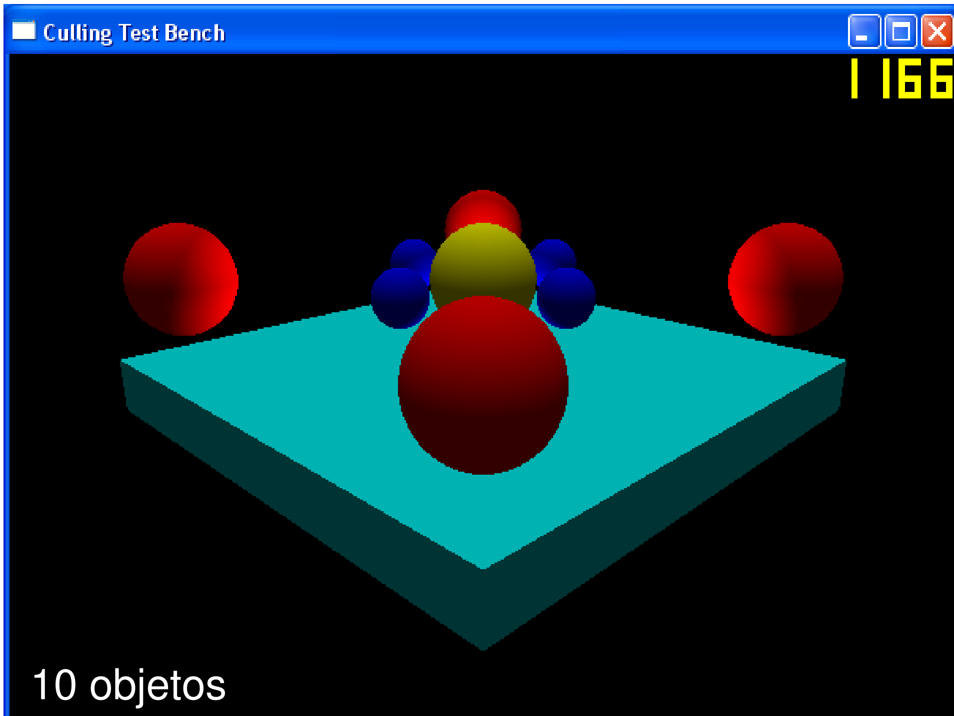
Implementação

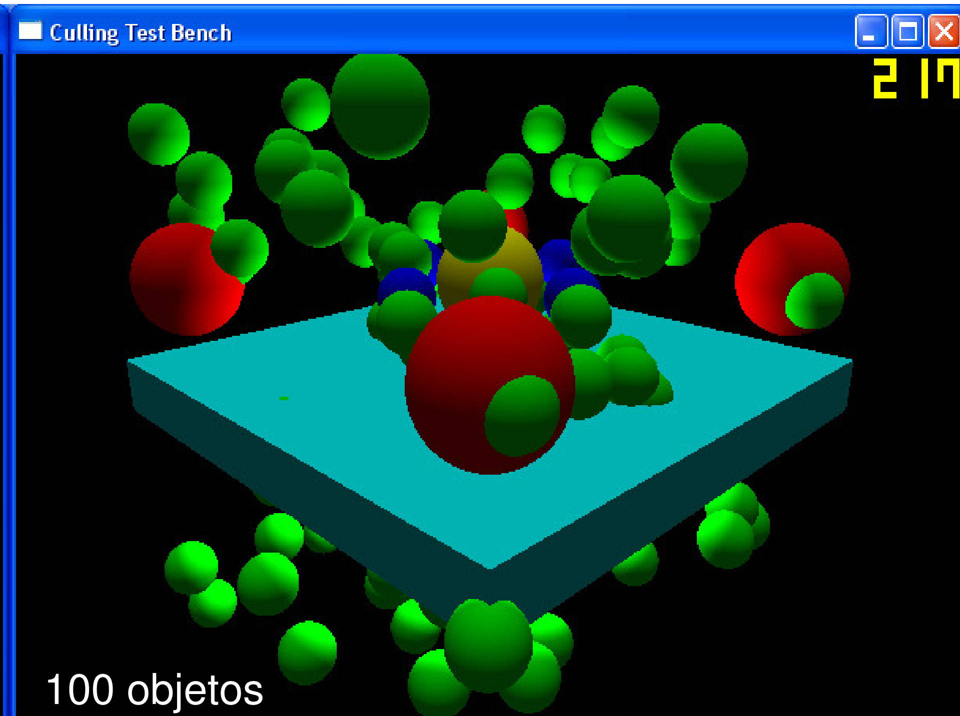
- Ciclo do algoritmo:
  - Resultados já disponíveis
    - Pode acrescentar à fila de prioridades ou ao lote-R
  - Nós já visitados e com vez na fila de prioridades
    - Descartar por *frustum*
    - Pode acrescentar aos lotes I, V ou R
  - Processamento do lote-I (inteiro)
    - Quando atingir tamanho determinado
    - Também por necessidade (fila de prioridades ou lote-V vazio)
    - Gera *queries* e acrescenta nós ao percorrimento
  - Processamento do lote-V (nó a nó)
    - Gastar o tempo necessário para evitar esperar
    - Gera *queries*
  - Espera por novos resultados

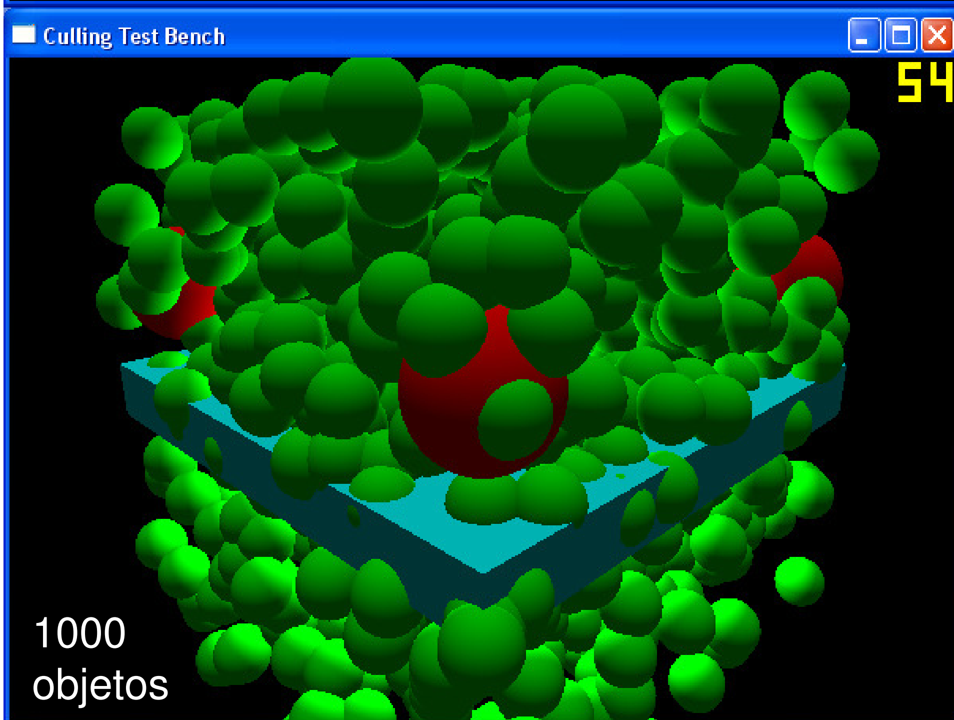
Resultados

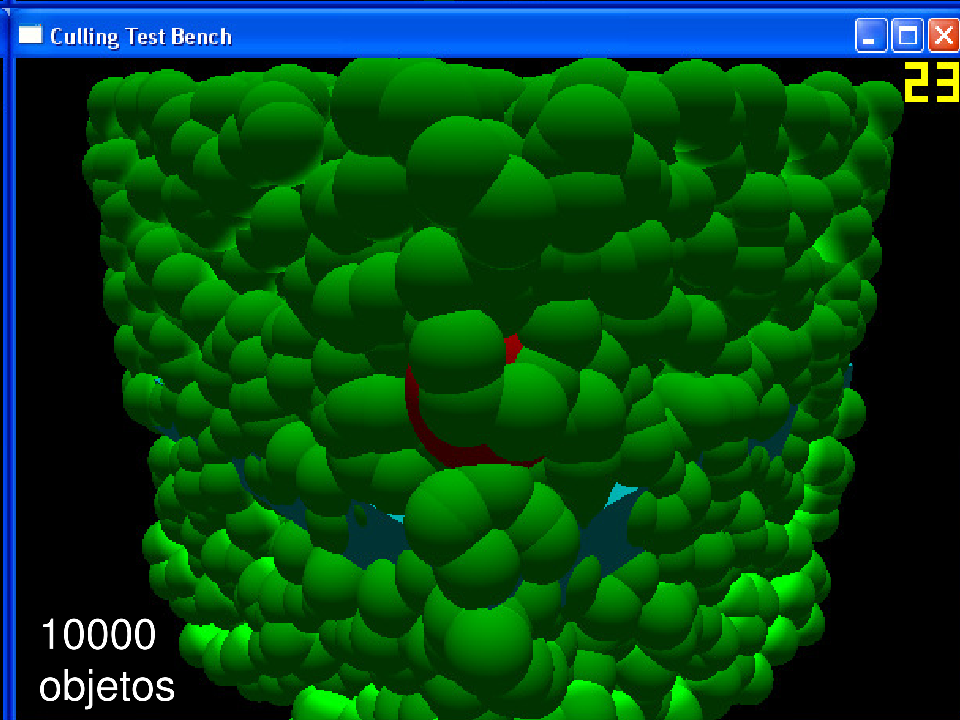
Cena de Teste	VFC	CHC	CHC++
100 objetos médios	1140 Fps	1390 Fps	1750 Fps
1000 objetos médios	162 Fps	395 Fps	510 Fps
1000 objetos pequenos	185 Fps	123 Fps	220 Fps
10000 objetos pequenos	19 Fps	79 Fps	151 Fps

Grafo de Cena	VFC	CHC++
10 objetos	1290 Fps	1175 Fps
100 objetos	209 Fps	239 Fps
1000 objetos	22 Fps	54 Fps
10000 objetos	4 Fps	23 Fps

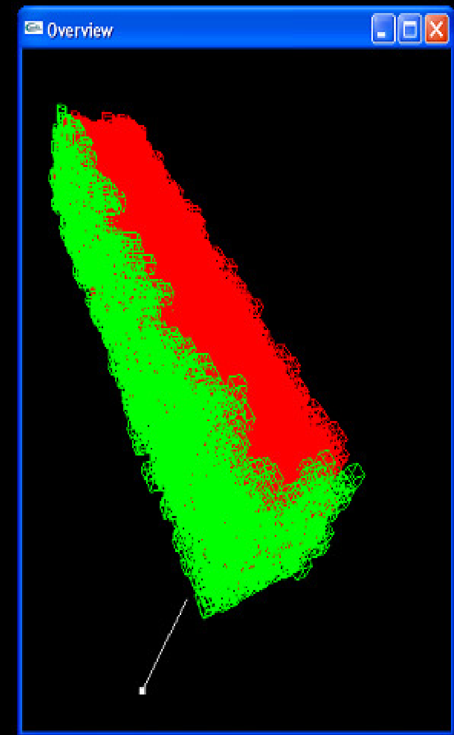

Culling Test Bench
1166
10 objetos


Culling Test Bench
217
100 objetos


Culling Test Bench
54
1000
objetos


Culling Test Bench
23
10000
objetos

VdViewer



10000 objetos

Conclusão

- Descarte por visibilidade é uma técnica fundamental para a visualização de modelos, desde de médio porte até massivos
- Descarte por oclusão complementa, mas **não** descarta, descartes por volume de visão e portais
- CHC é eficaz em cenas com alto nível de oclusão
- CHC++ é sempre mais eficiente
  - Dificilmente mais lento do que desligado
  - Mais de 100% de ganho de FPS em cenas muita oclusão
  - Melhor integrável a renderizadores eficientes

Referências

[1] P. Santos, **Técnicas de Otimização para Visualização de Modelos Massivos** – Relatório Final de Projeto, PUC-Rio, 2006

[2] J Bittner,M Wimmer, H. Piringer, W. Purgathofer, **Cooherent Hierarchical Culling: Hardware Occlusion Made Useful** – Proceedings of Eurographics 2004

[3] O. Mattausch, J. Bittner, M. Wimmer, **CHC++: Coherent Hierarchical Culling Revisited** – Proceedings of Eurographics 2008

INF 2063 – Visualização de Modelos Massivos

Descarte por Oclusão
Algoritmo FastV

Vitor Barata R. B. Barroso
vbarata@tecgraf.puc-rio.br

Algoritmo Fast-V

- Idéia básica
  - Subdividir o volume de visão em um grande número de pequenos *frusta*
    - Subdivisão uniforme ou adaptativa
  - Encontrar um oclusor, composto por triângulos conectados, que bloqueie cada *frustum*
  - Ajustar o plano *far* e calcular o PVS de cada *frustum*
  - O PVS final é dado pela união dos PVS individuais

- Espaço do objeto
  - Calcula o subconjunto de primitivas que são atingidas por qualquer raio traçado pelo interior do volume de visão
    - Pode calcular PVS muito conservativo, com objetos através de frestas menores que um pixel!
  - Oclusores devem ser homeomorfos a discos

Algoritmo Fast-V

V
Near Plane
Blockers
O1
O2
O3
Outside
View Frustum
Visible
Primitives
V1
V2
H1
H2
H3
Hidden
Primitives
F1
F2
F3
F4
F5
F6

Algoritmo Fast-V

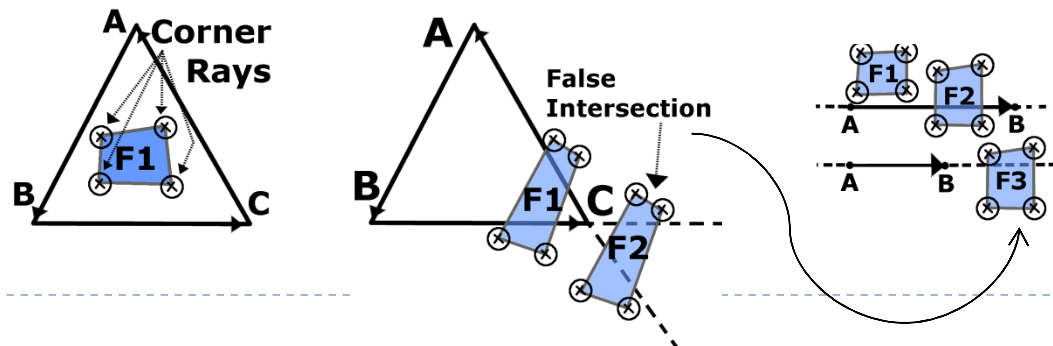
- Pontos positivos
  - Aplicável a quaisquer objetos triangulados, independente de seu tamanho ou disposição
  - Primeiro algoritmo no espaço do objeto a ter desempenho suficiente para ser aplicável em tempo real
  - PVS conservativo, que converge para o exato conforme aumenta a subdivisão de *frusta*, com precisão a nível de primitivas
  - Escalável em multiprocessadores, cada *frustum* é independente
- Pontos negativos
  - Não faz fusão de oclusores (PVS maior que o necessário)
  - Otimizado apenas para modelos com informações topológicas
  - Não tem extensão para modelos massivos *out-of-core*
  - Desempenho inferior a CHC
  - Mais difícil que CHC de implementar e integrar a renderizadores
  - Semelhante a espaço da imagem com um *frustum* por pixel

Algoritmo Fast-V

- Representação de um *frustum*
  - 4 raios, partindo do observador, por cada aresta da pirâmide
  - Planos *near* (fixo) e *far* (ajustável) paralelos
- Hierarquia de volumes envolventes (AABB)
  - Interseção: o *frustum* está sendo totalmente/parcialmente bloqueado pela AABB?
- Triângulos nas folhas
  - Representados por suas 3 arestas orientadas
  - Interseção: O *frustum* está sendo totalmente/parcialmente bloqueado por dado triângulo?

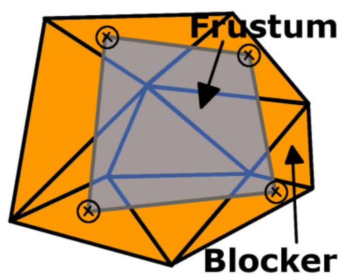
Algoritmo Fast-V

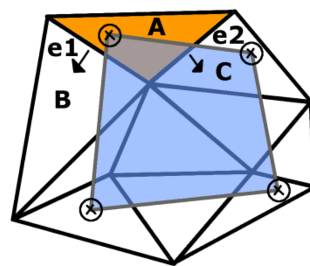
- Coordenadas de *Plücker*
  - Uma linha orientada no espaço 3D pode ser caracterizada por 6 coordenadas homogêneas usando-se dois vetores:
    - **d** – Vetor entre dois pontos **x** e **y** da linha, dados em relação à origem
    - **m** – Produto vetorial ($\mathbf{x} \times \mathbf{y}$)
  - Dadas duas linhas orientadas (d_1:m_1) e (d_2:m_2), o sinal de ($d_1 \cdot m_2 + m_1 \cdot d_2$) indica em qual sentido – ou orientação – uma linha precisa girar para se tornar coplanar à outra
  - Testes rápidos (e conservativos) de interseção
    - Um *frustum* está dentro de um triângulo se suas 4 arestas têm a mesma orientação em relação às 3 arestas do triângulo
    - Um *frustum* intercepta uma aresta se suas 4 arestas têm orientações diferentes em relação a ela

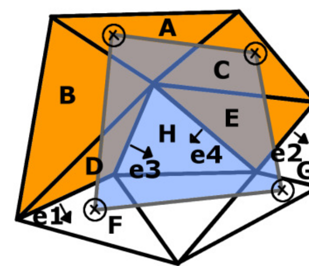


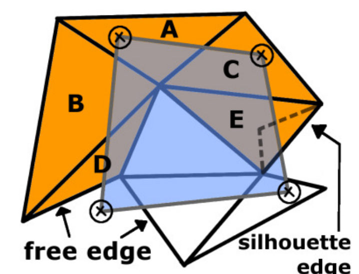
Algoritmo Fast-V

- Bloqueador de um *frustum*
  - Conjunto de triângulos conectados que bloqueia todos os raios internos ao *frustum*
  - Se um triângulo bloqueia parcialmente um *frustum*:
    - Encontramos as arestas interceptadas
    - Caminhamos pelos triângulos vizinhos adjacentes a essas arestas
    - Achamos um bloqueador se o caminhamento fechar um ciclo
    - Desistimos conservativamente se encontrarmos:
      - uma aresta livre (apenas um triângulo incidente)
      - uma aresta de silhueta (triângulos incidentes com normais opostas)



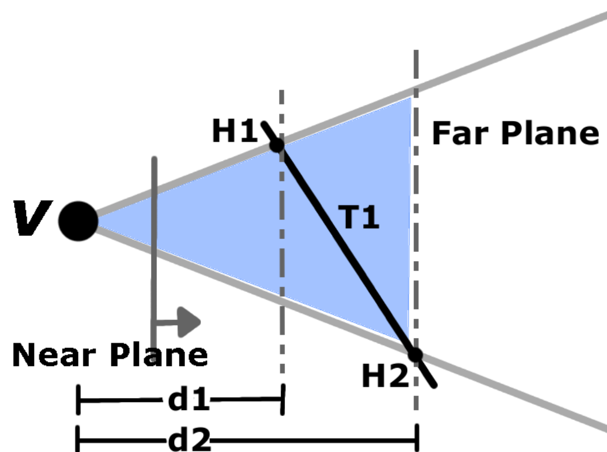


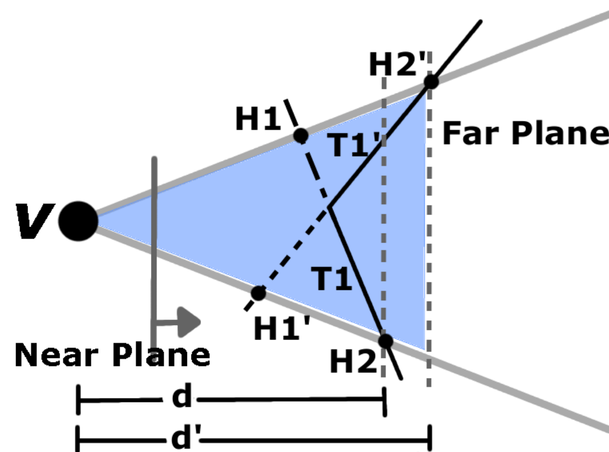




Algoritmo Fast-V

- Atualização do plano *far*
  - Para cada triângulo do bloqueador
    - Tomamos a distância, até o plano *near*, de cada ponto de interseção dos raios do *frustum* com o plano do triângulo
  - Escolhemos para o plano *far* a maior distância encontrada





Algoritmo Fast-V

- Subdivisão do volume de visão a partir do plano *near*
  - Caso mais simples: grid uniforme
  - Distribuição desigual de geometria pela cena: grid adaptativo
    - Estrutura de quadtree
    - *Frusta* com PVS muito grandes são subdivididos
      - os filhos são computados com base na área de oclusores parciais, numa tentativa de torná-los oclusores totais dos *sub-frusta*
  - Modelo sem topologia
    - Subdividir repetidamente os *frusta* até que cada um seja bloqueado por apenas um triângulo

- Implementação multi-core
  - Simples e escalável, já que o processamento de cada *frustum* é independente dos demais

Referências

[1] A Chandak, L. Antani, M. Taylor, D. Manocha, **Fast-V: From-point Visibility Culling on Complex Models** – Proceedings of Eurographics 2009