3D графика и трасиране на лъчи v.2.0

http://raytracing-bg.net/

Тема 14

Рейтрейсинг в реално време
Оптимизации
Vista буфери, адаптивен рейтрейсинг

Съдържание

- Анонси
- Рейтрейсинг в реално време

Анонси

- Дата за тестове: 10.02, от 17:30ч, 200/ФМИ
  - Само за хора, които не са правили някои от тестовете
  - Тест 2 ще включва въпроси и от тази лекция (#14)
- Изберете си дата за защита на проекти (3 или 12 Февруари) и гласувайте във форума

Рейтрейсинг в реално време

- Както споменахме в миналата лекция, един от начините за ускоряване на рейтрейсинга до Realtime скорости е като ползваме хитри алгоритми, които работят добре в повечето случаи (или при налагане на някои ограничения какво може да се рендерира)
  - В тази лекция ще обсъждаме основно този тип алгоритми
  - Повечето от тях също са тривиални за паралелизация, така че не изпускаме възможността да се възползваме от грубата сила, когато можем

LDR рендериране

- LDR = low dynamic range, т.е., обратното на HDR
- Например, да ползваме 32-битов целочислен цвят, вместо сегашния клас Color
  - **typedef** unsigned Color;
    - Само че трябва да реализираме и всички operator-и!
- Така представянето на цвета е много компактно и се вписва добре в архитектурата на 32-битовият x86
  - Например, една функция, която връща Color (а това са голяма част от функциите в retrace!) ще я връща в регистър, вместо в структура в паметта

LDR рендериране

- Предимства
  - Скорост (по-малко операции, по-малко копиране)
  - По-малко памет (особено за текстури!)
  - По-малко трансфер между процесорите и паметта
    - Особено важно в много-процесорните системи
  - В някои случаи може да измислим как да реализираме някои от примитивните операции със SIMD-подобен код
  - Имаме „безплатен“ четвърти канал, който можем да ползваме за разнообразни трикове (алфа, маскиране, ...)

LDR SIMD пример

- Следният пример смесва цветовете от два буфера (например, текстури) в съотношение 50:50

```
// Mix two buffers using a 1:1 ratio. Result is stored in bufferA.
void mixArraysUint32(unsigned bufferA[], unsigned bufferB[], int numPixels)
{
	for (int i = 0; i < numPixels; i++)
		bufferA[i] = ((bufferA[i] >> 1) & 0x7f7f7f) + ((bufferB[i] >> 1) & 0x7f7f7f);
}
```

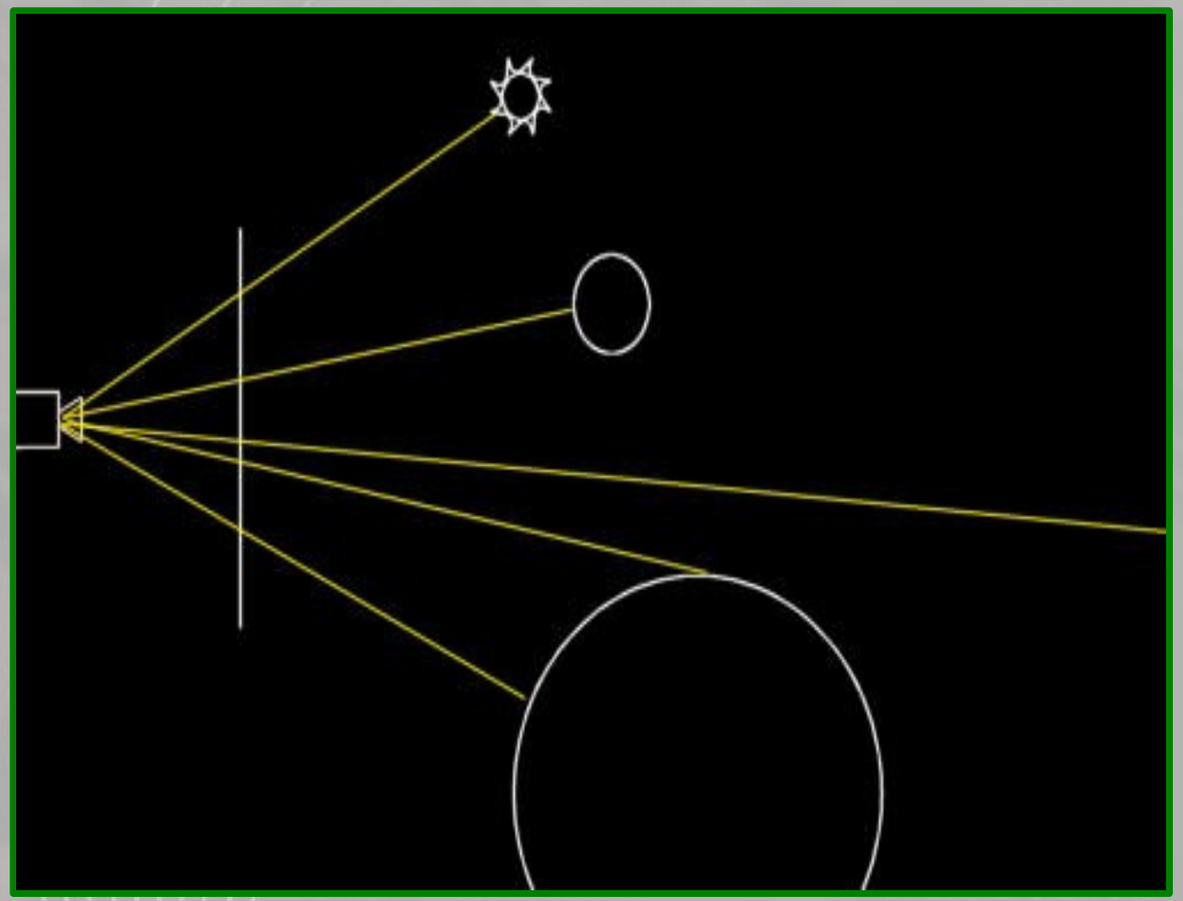
LDR рендериране

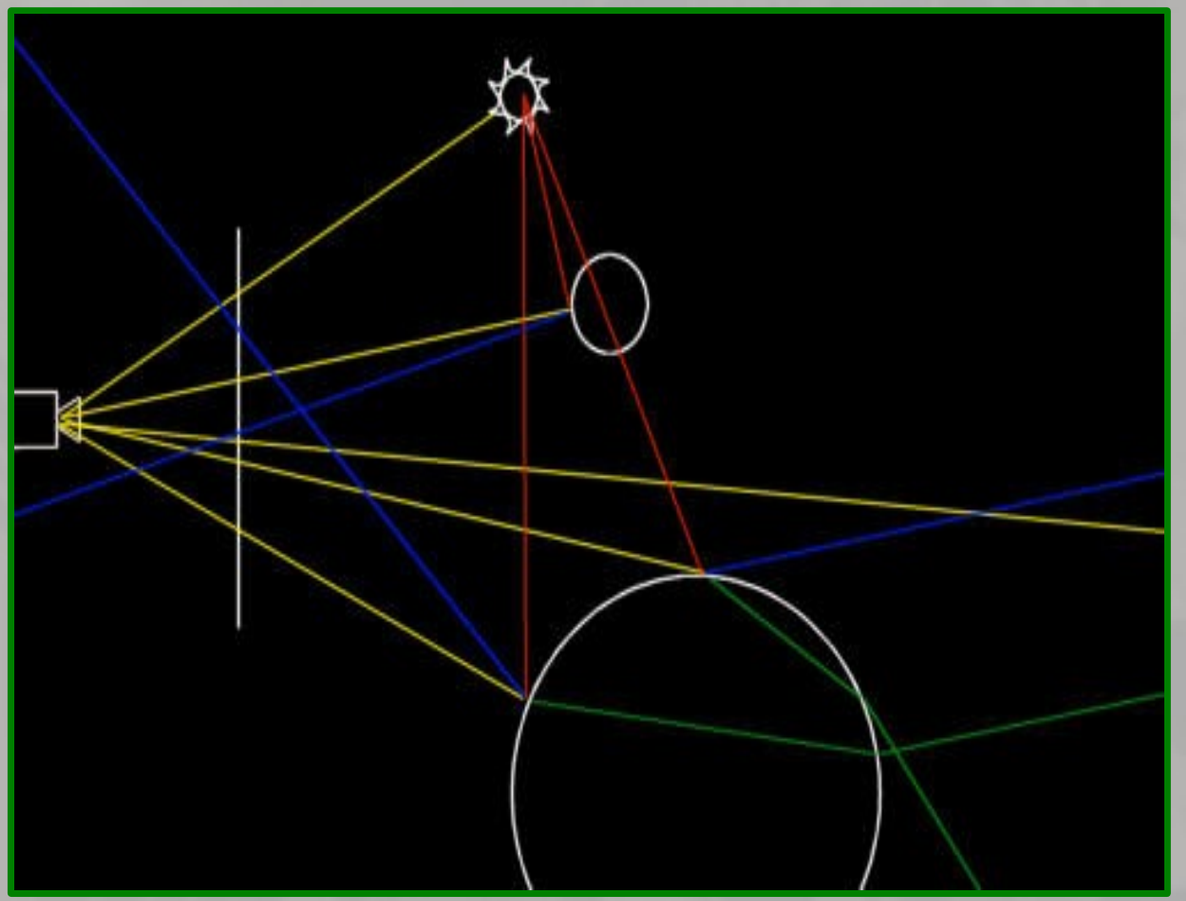
- Недостатъци
  - Очевидно, не е HDR
  - Усложняват се доста операциите с ярки цветове, например, както са лампите при нас
  - Всяко натрупване (например, за Glossy отражения, за DOF и прочее) трябва да се извършва временно в по-широк обхват и изисква специален код за всеки случаи
  - Недостатъчна точност – ако цвета на един пиксел зависи от много различни приноси (различни светлинни източници, различни слоеве на шейдъра и пр.), 8 бита точност не стигат (получава се квантизация)

Първични и вторични лъчи

- Първични лъчи: лъчите, които излизат от камерата
- Вторични лъчи: всички останали лъчи (след първото пресичане от камерата с геометрията):
  - Лъчи за проверка за сенки (shadow rays)
  - Отразени и пречупени лъчи
  - Glossy лъчи
  - GI лъчи
  - ...
- Отношението първични:вторични при GI е нищожно

Първични и вторични лъчи





- Първичните лъчи са в жълто, вторичните са в другите цветове

Първични и вторични лъчи

- Причината да се третират отделно е, че има съществена разлика между тях
  - Първичните лъчи са по-„важни“, не можем да минем без тях
  - Първичните лъчи са *кохерентни*, т.е., те се движат в приблизително подобна посока, тръгват от една точка и са „равномерно“ разпределени
    - За разлика от вторичните, които тръгват от произволни точки в произволни посоки – т.е., с доста по-хаотично поведение
  - Една немалка част от оптимизациите целят ускоряване на трасирането на първичните лъчи; за вторичните не може да направим нищо, освен да се стремим да ги намалим

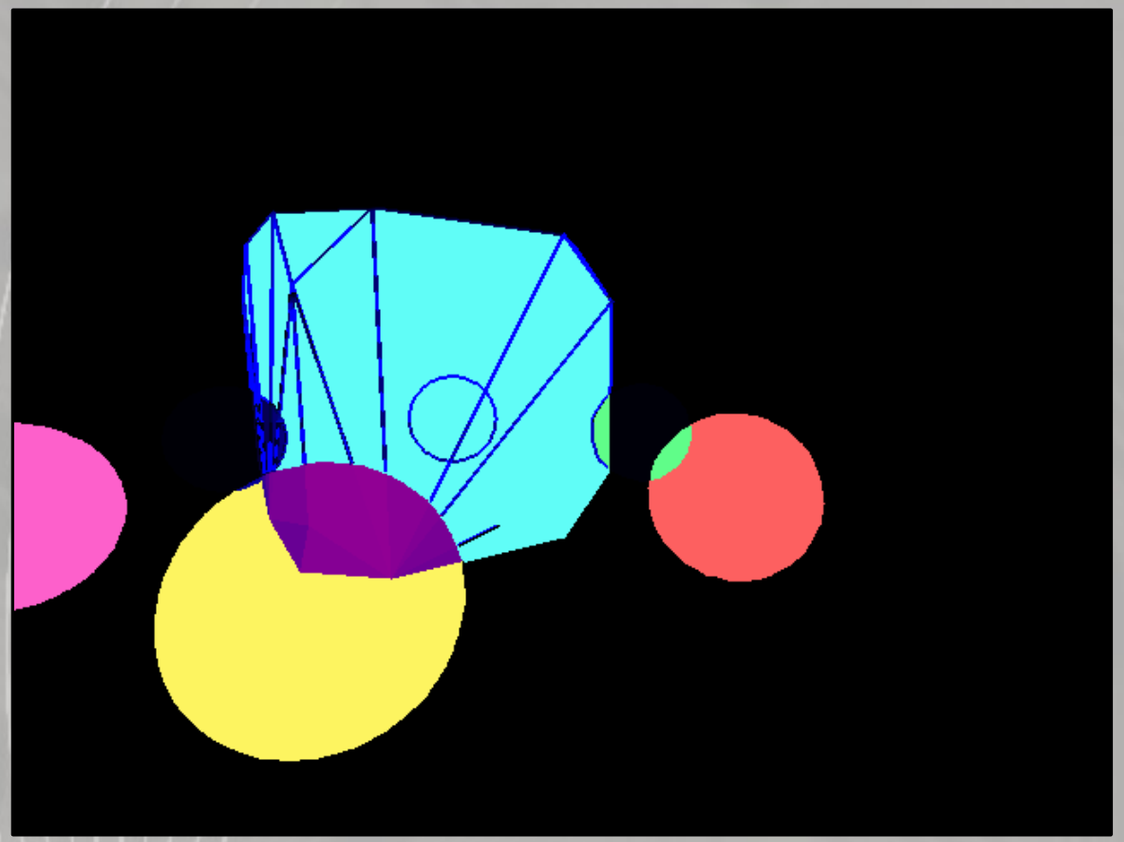
Vista буфери

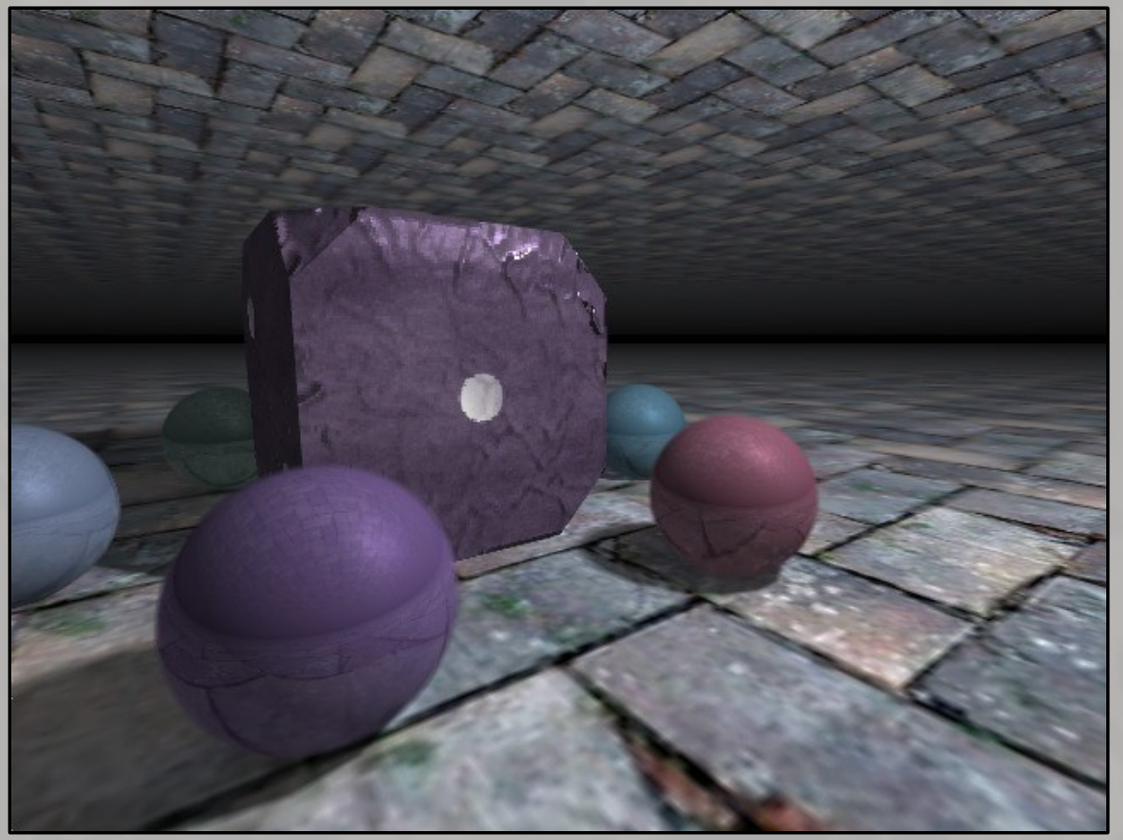
- Идеята е да ползваме Z-buffer алгоритъм за да ускорим трасирането на първичните лъчи
- За целта, рендерираме триъгълниците от геометрията, ползвайки растеризация, в специален буфер (vista буфер). В буфера записваме id-тата на обектите-собственици на триъгълниците. Така накрая имаме образ, наподобяващ крайната картинка, само че, вместо цветове, в пикселите ще имаме id-та на обектите, които лъчите ще уцелят като ги трасираме
- Така си спестяваме трасирането на първичните лъчи

Vista буфери

- Т.е., след построяването на виста буфера, за всеки пиксел ще знаем кой ще е обекта, който лъча ще уцели, ако пуснем истинско трасиране
  - Затова може директно да пресечем лъча със самия обект и след което си викаме Shader-а на обекта, както и досега.
  - Ако все пак лъчът не пресече предсказания обект?
    - Можем да пуснем пълен рейтрейсинг; очакваме тези пиксели да са много малка част от картината

Vista буфер – пример





- Отляво е Vista буферът, отдясно е крайната картинка

Рейтрейсинг с Vista буфери

```
def computePixelWithVistaBuffer(x, y):
    ray = getScreenRay(x, y)
    objectId = vistaBuffer[x, y]
    if objectId == None:
        return getEnvironment(ray) // уцелваме задния фон
    obj = getObjectById(objectId)
    if obj.intersect(ray, info):
        return obj.shader.computeColor(ray, info)
    else:
        return oldRaytrace(ray)
```

- (разчитаме oldRaytrace() да се вика доста рядко)

Рейтрейсинг с Vista буфери

- Как се построява самият Vista буфер?
  - Всяка геометрия трябва да може да генерира списък от триъгълници, които да я представляват
    - За Mesh е тривиално; но, например, сферата ще трябва да се превърне в кълбовиден многостен
    - Допуска се Level-of-Detail оптимизация; ако дадена сфера е надалеч, то нейният многостен може да е по-груб, с по-малко триъгълници
  - Всеки триъгълник носи някакво id, което еднозначно определя на коя геометрия принадлежи

Рейтрейсинг с Vista буфери

- След което триъгълниците се изчертават във Vista буфера чрез растеризация
  - Use the GeForce, Luke...
  - ... но може и софтуерно
- Недостатъци на Vista буферите
  - Ползват както raytracing, така и Z-buffer, носят недостатъците и на двата свята
  - Не работят с не-правоъгълни камери (напр., fisheye)
  - Ускоряват само първичните лъчи
    - В затворена сцена, за всеки първичен лъч, ще има поне по един вторичен (shadow ray към лампата), така че ползата е max. 50%

Построяване на Vista буфера (софтуерно)

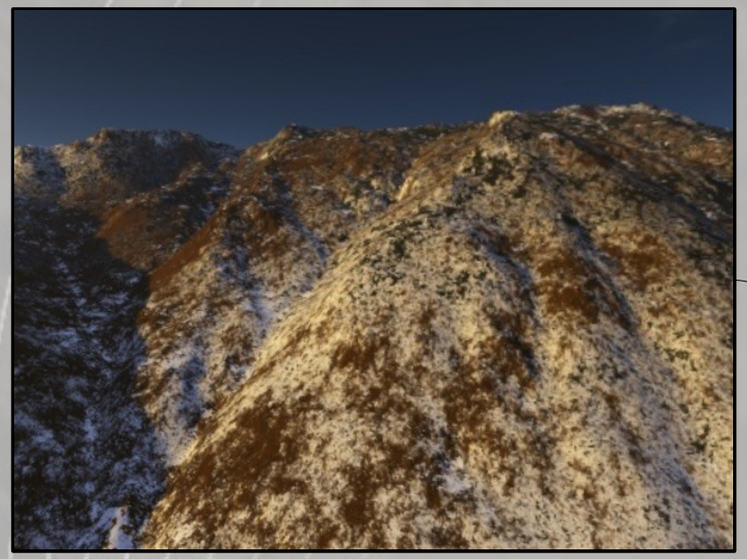
1) Обхождат се всички Node-ове и се взимат списъци с представящи триъгълници

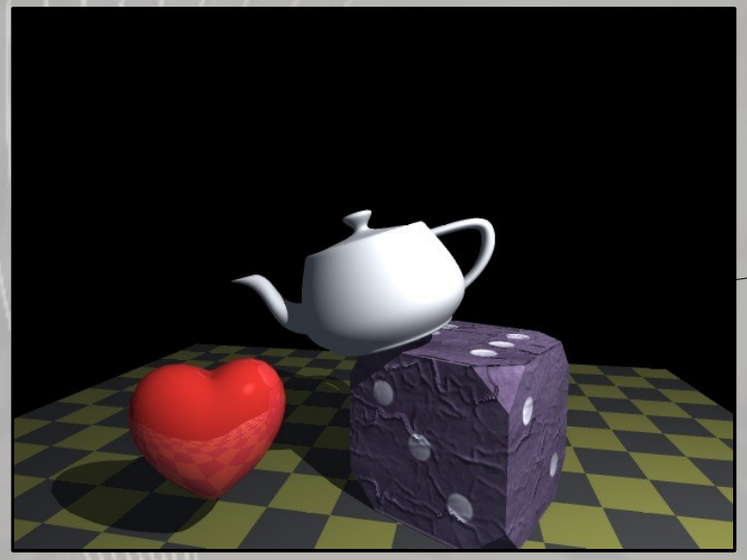
2) Триъгълниците се изрязват спрямо зрителното поле (изхвърляме триъгълниците извън полезрението; от частично участващите изрязваме невидимата част)

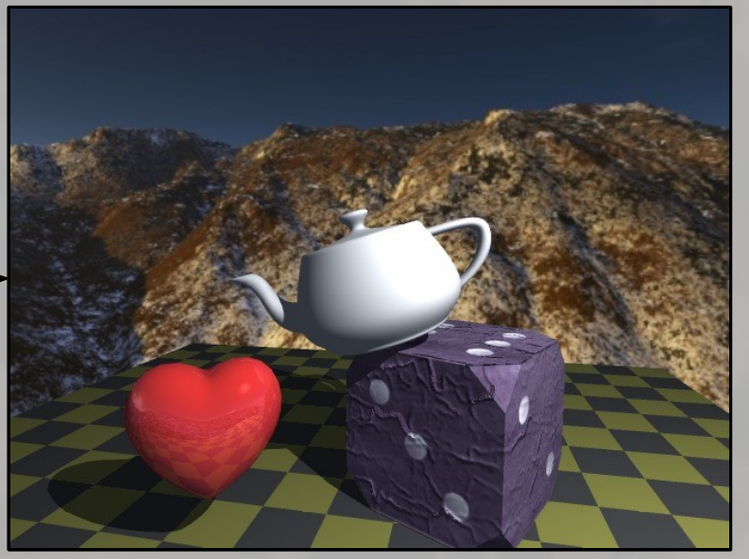
3) Сортираме триъгълниците по разстояние до камерата

4) За всеки триъгълник, трансформираме 3-те му върха в 2D (чрез обратна на getScreenRay() функция) и го растеризираме ред по ред във Vista буфера, чертаейки с id-то, което е дадено на този триъгълник.

Многослойно рендериране







Многослойно рендериране

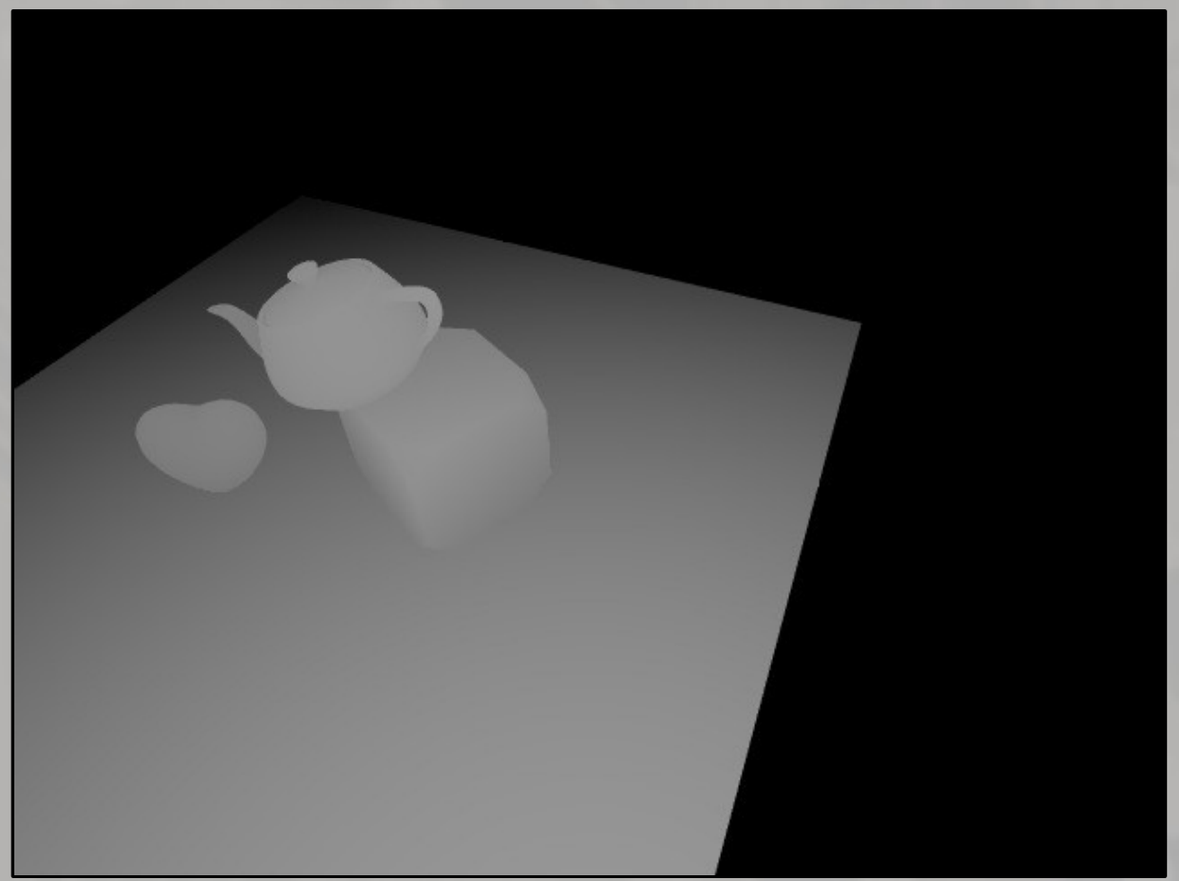
- В някои случаи се оказва удачно, различните елементи от сцената да се рендерират отделно, и след което да се композират по подходящ начин
  - Например, задния фон може да се рендерира чрез растеризация
  - Демонстрация [fract]
  - Може да симулираме DOF, като рендерираме само част от сцената (задната част), след което й приложим замазване (gaussian blur), и впоследствие композираме с предната част от сцената, която е рязка

Shadow map

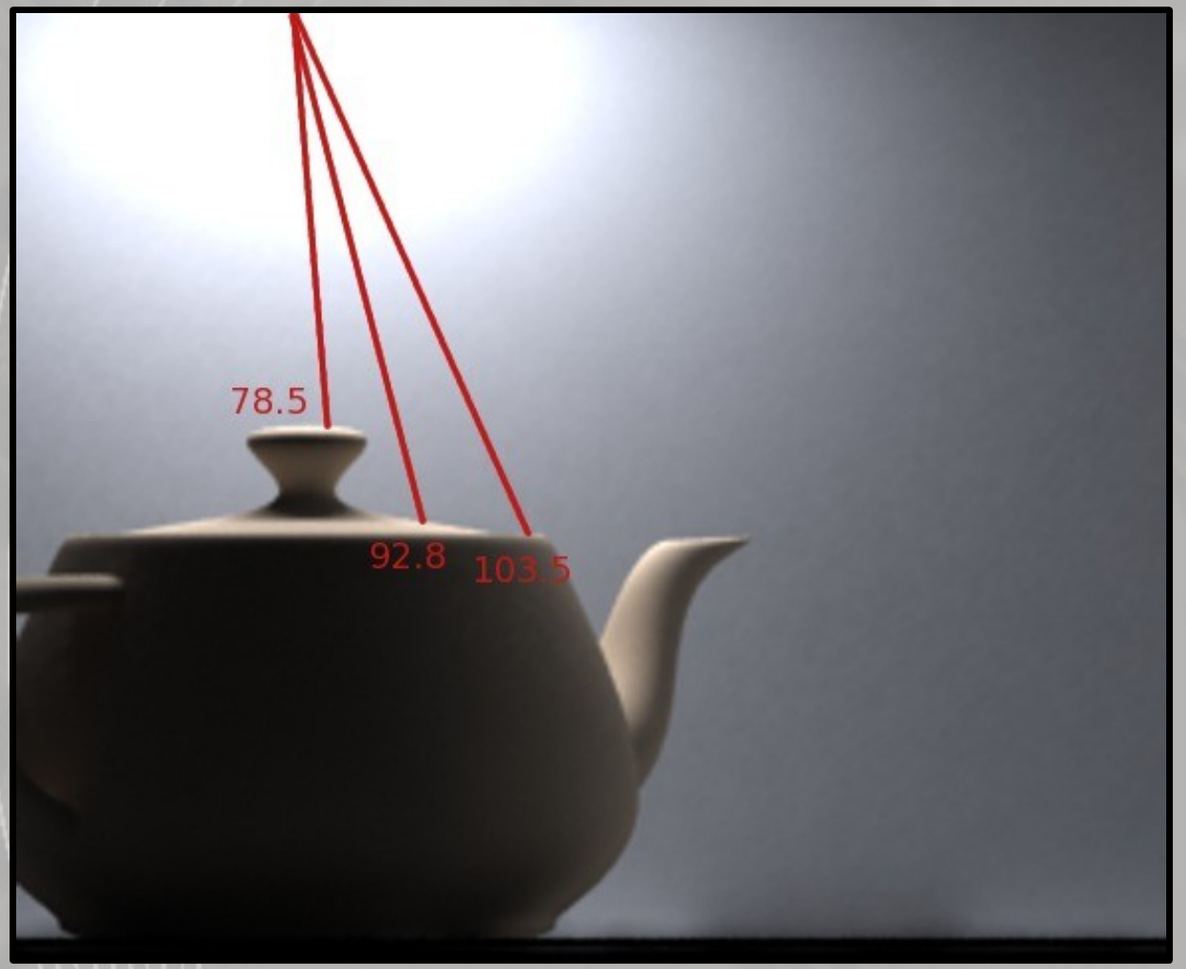
- Shadow map е една техника, позволяваща проверките за сенки да се правят без пускане на shadow лъчи; оригинално предложена от Lance Williams (1978г)
- Преди рендерирането на основното изображение се пуска един рендер от гледна точка на лампата. Обикновено се рендерира в 360° диапазон (напр., сферична камера). За всеки пиксел, търсеният резултат е разстоянието от лампата до най-близкия обект. Тези разстояния се записват в специална текстура, наречена shadow map (по една текстура за всяка лампа)

Shadow map

- Ето пример за shadow map
  - (заб: истинския shadow-map ще е 360-градусов, със сферична (или Cubemap) камера)
- Всеки пиксел показва дълбочината до най-близкият обект (т.е., depth map)

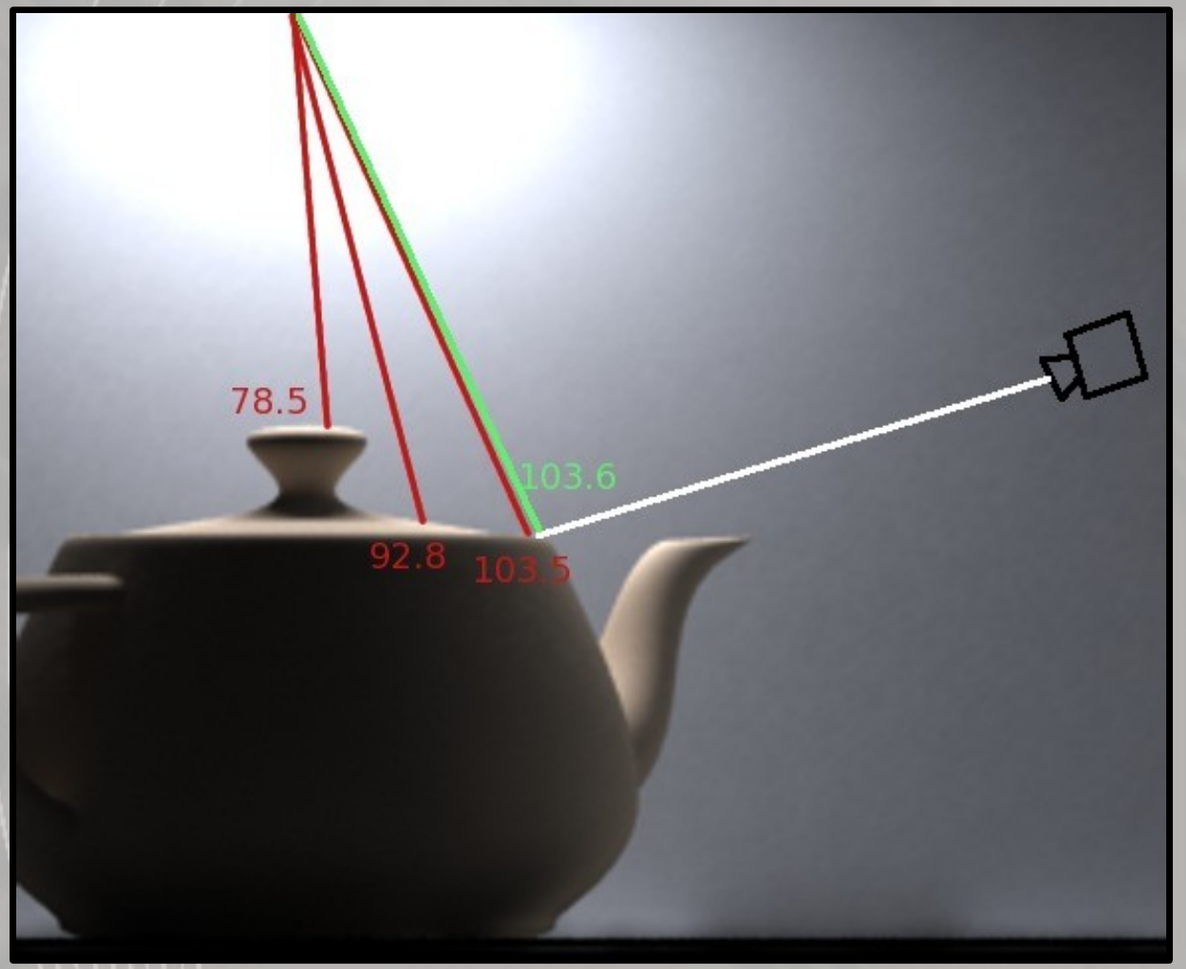


Shadow map



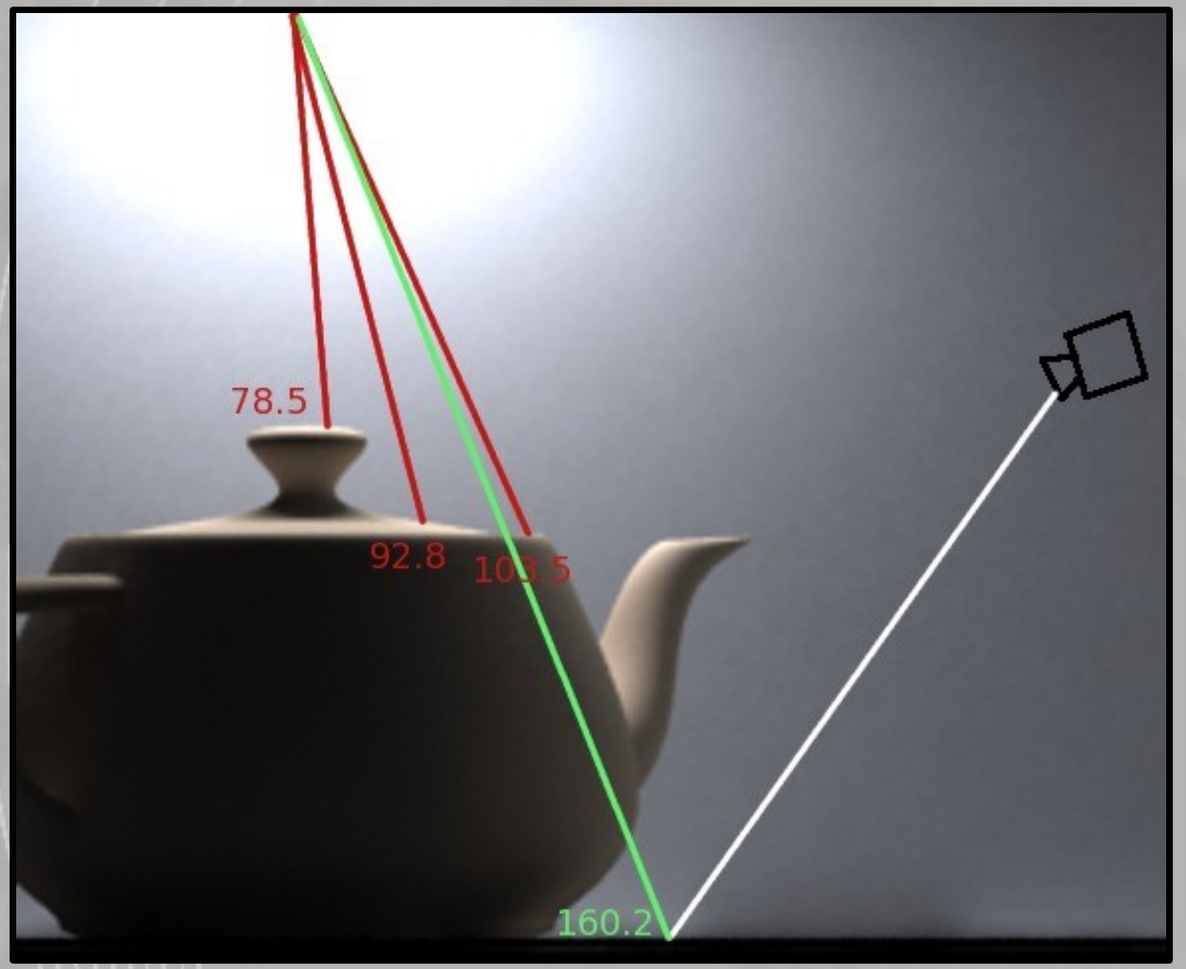
- Все едно, в shadow map-а имаме разстоянията от лампата до най-близките обекти във всяка посока
  - С ограничена резолюция; по-висока резолюция ще даде по-точно представяне, но ще консумира повече памет

Shadow map



- Когато искаме да проверим дали дадена точка е в сянка, намираме разстоянието от нея до лампата и сравняваме с най-близката стойност в Shadow map-а. Ако са (приблизително) еднакви – няма сянка.

Shadow map

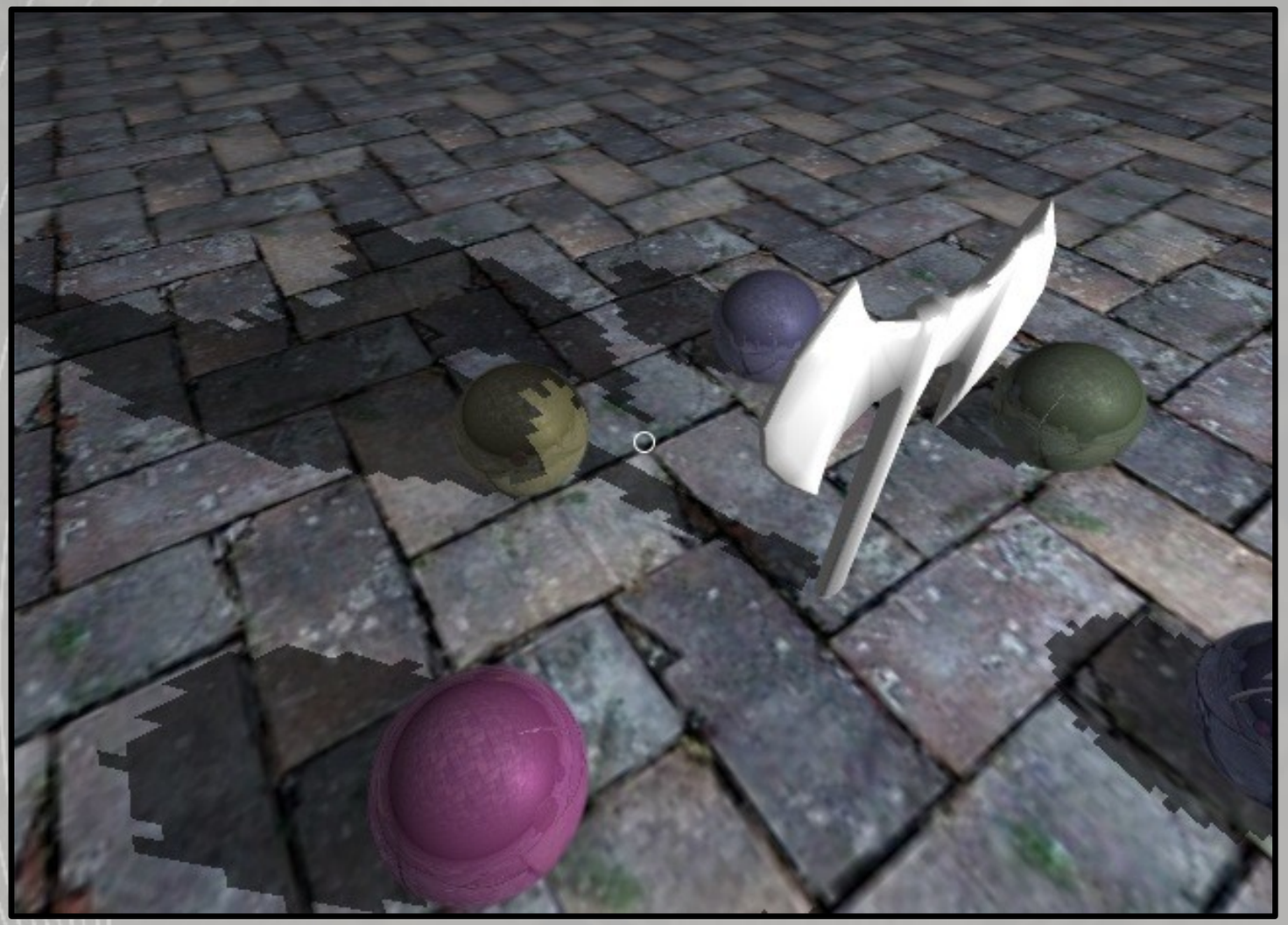


- Ако разстоянието от точката до лампата е значително по-голямо, значи сме в сянка
  - Необходимо е да оставим малко аванс за да компенсираме неточностите заради дискретизацията в текстурата (shadow map bias)

Shadow map

- Предимства
  - Позволява значително намаляване на вторичните лъчи
  - Работи за всякакви геометрии и се вписва тривиално в един рейтрейсър
- Недостатъци
  - Разчита, че светлината и обектите са статични. При промяна на сцената, ще се наложи ново преизчисление на shadow map-а, което е потенциално тежко
  - Изисква се висока разделителна способност на shadow map текстурата, за да се избегнат назъбени сенки

Shadow map



- Кубичен shadow map, 128x128 текстури за всяка страна на куба

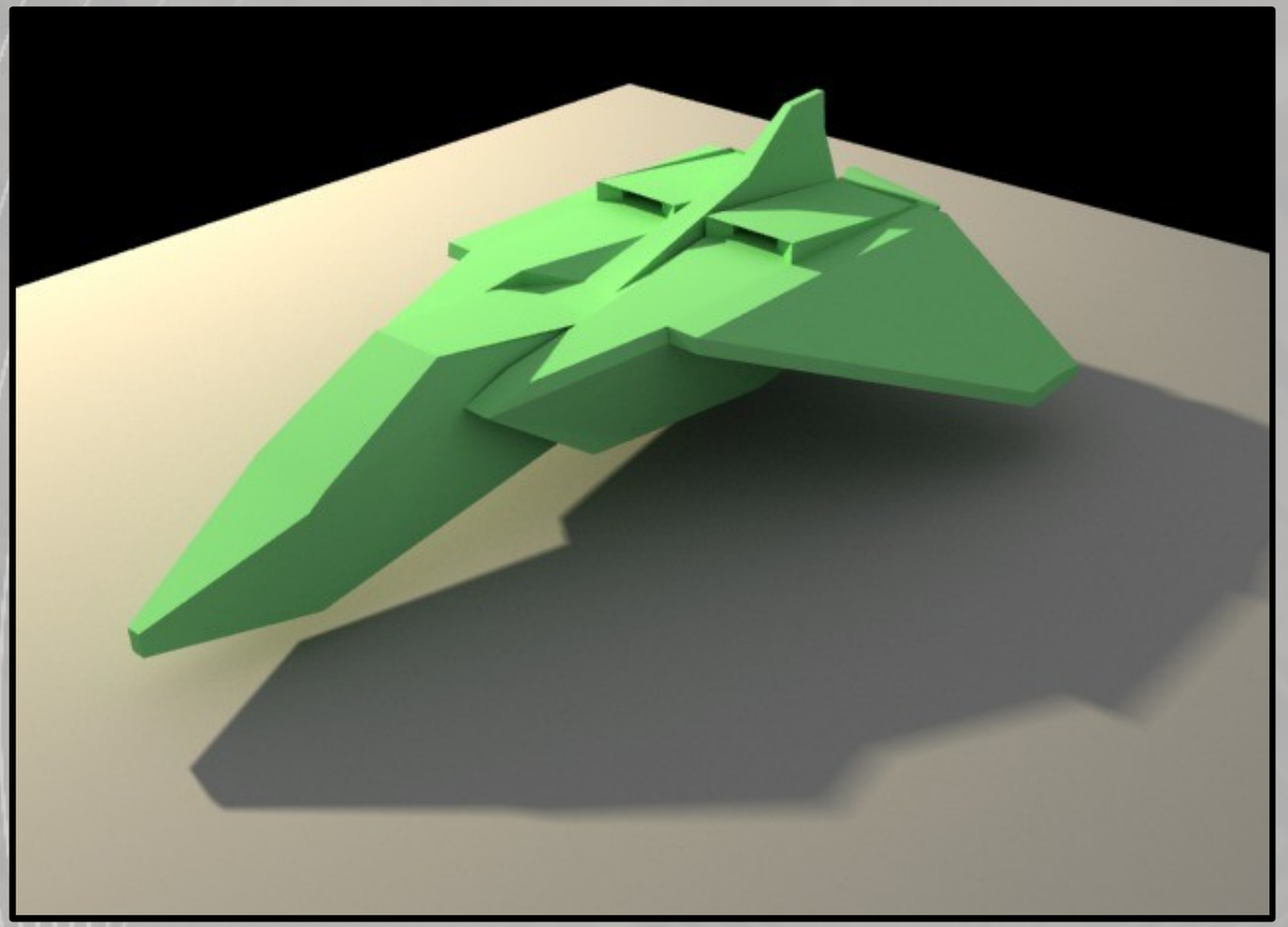
Shadow map

- Още недостатъци
  - Симулира само точкови светлинни източници; за да се симулира правоъгълна лампа, може да се приеме за съставена от множество малки точкови лампи, но това ще доведе до banding (слоеве) в полусенките (по подобие на феномена, който се получава, когато избираме фиксирани, а не случайни, точки от RectLight-a)
  - Демонстрация

Texture baking

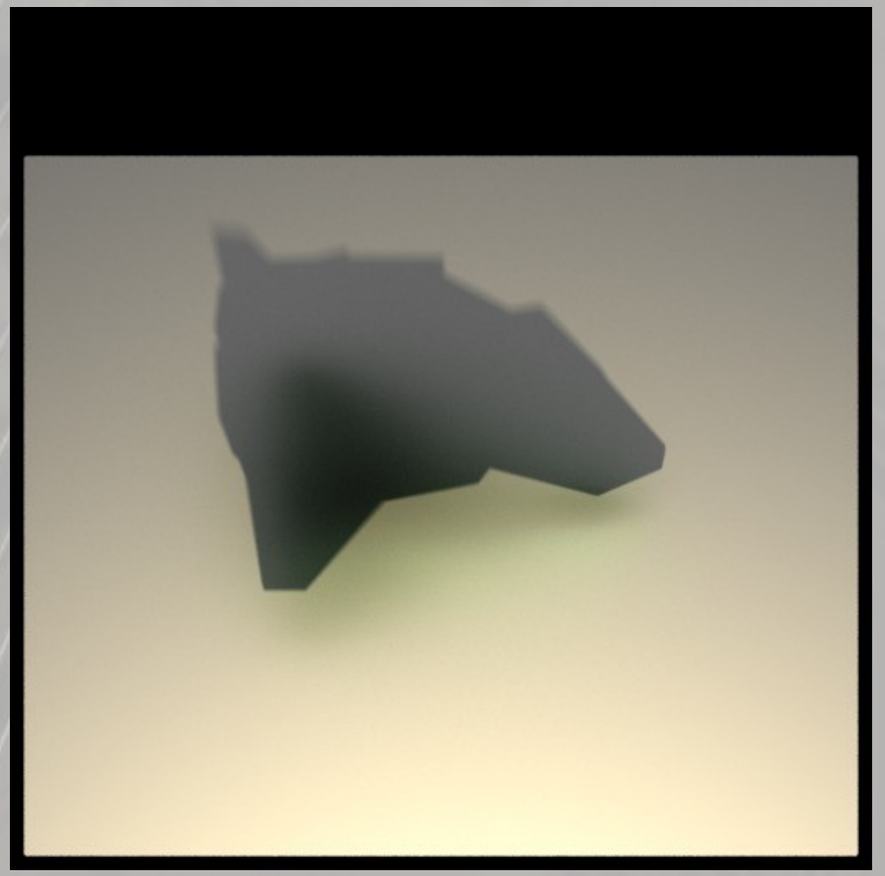
- Ако част от лампите и обектите няма да се местят, то (по подобие на Shadow map, но в по-радикална посока), всички текстури в сцената могат да се „изпекат“, като им се сметнат крайните цветове, които биха излязли от тях при рендериране
  - Т.е., при рендериране с „изпечените“ текстури, вместо да смятаме осветление, сенки и прочее, просто взимаме цвета от текстурата и го връщаме
  - Например, ако имаме сцена с някаква равнина, и чайник отгоре й, то, след изпичането, сянката на чайника ще се отпечата върху текстурата на равнината

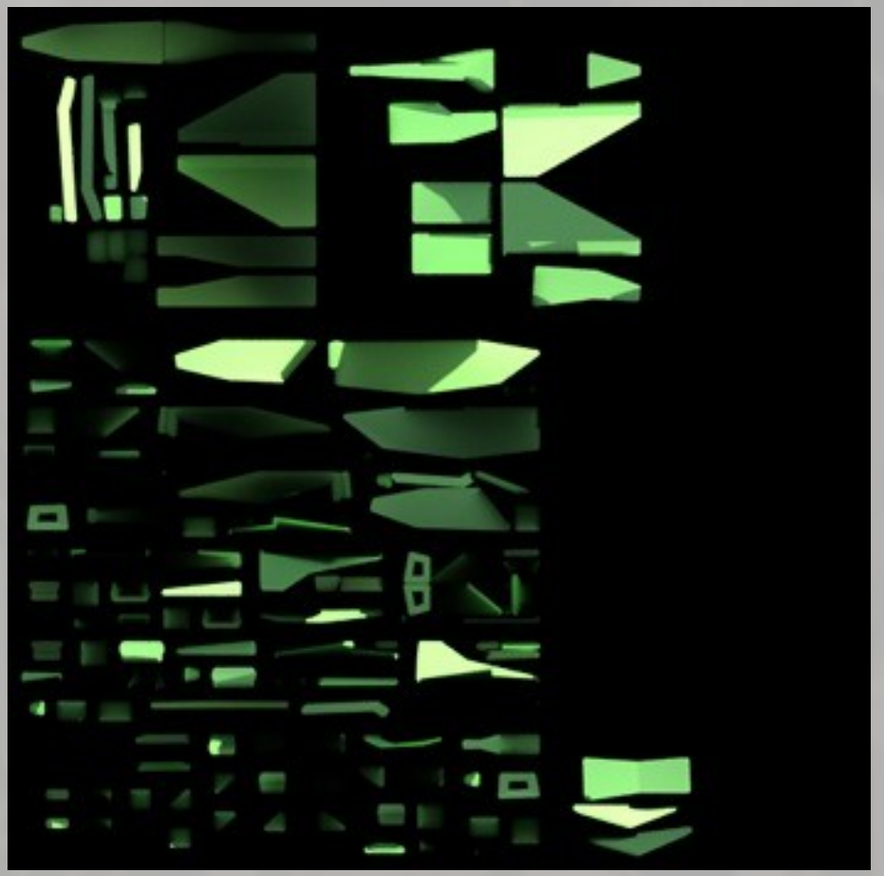
Texture baking - пример



- Обикновен рендер с включен GI (отнема е 4.5 минути)

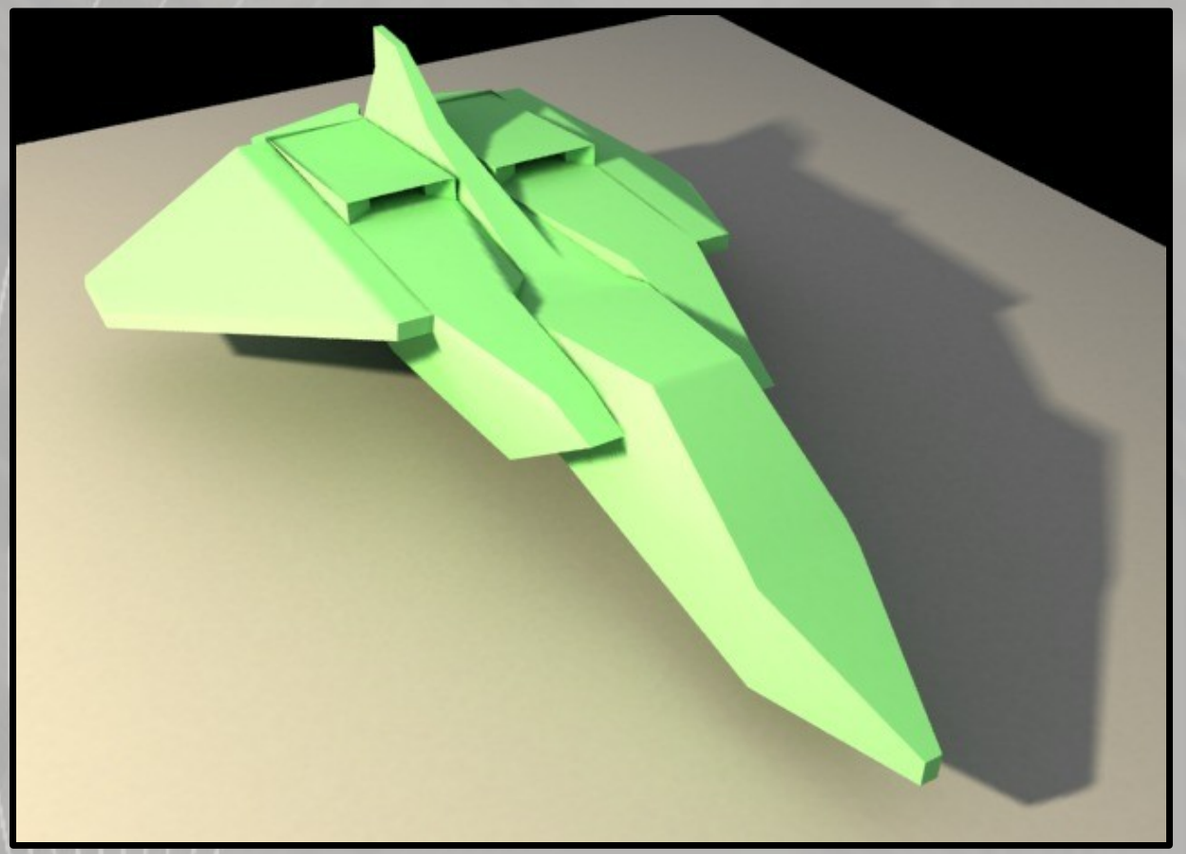
Texture baking - пример





- Изпечени текстури, съответно, на равнината под кораба, и на частите на кораба

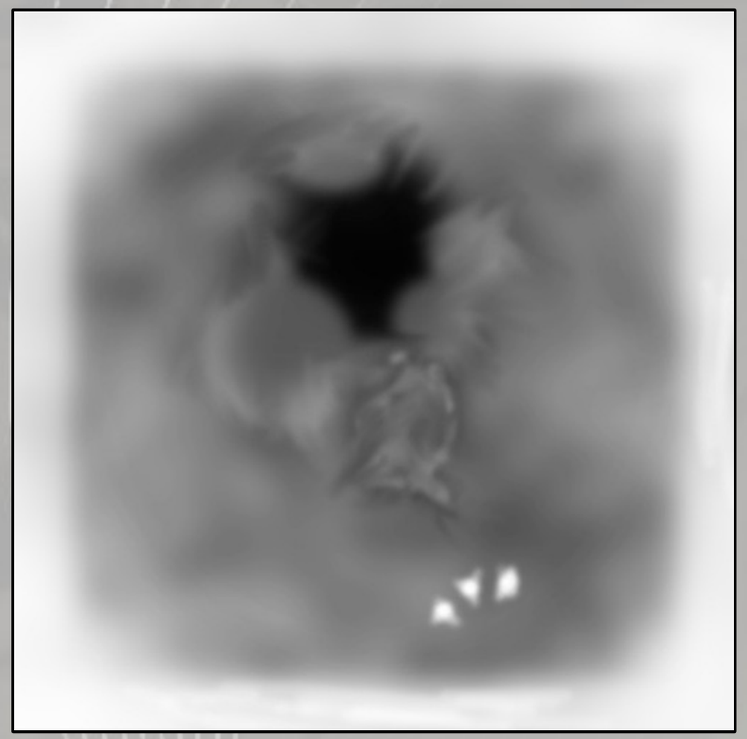
Texture baking - пример



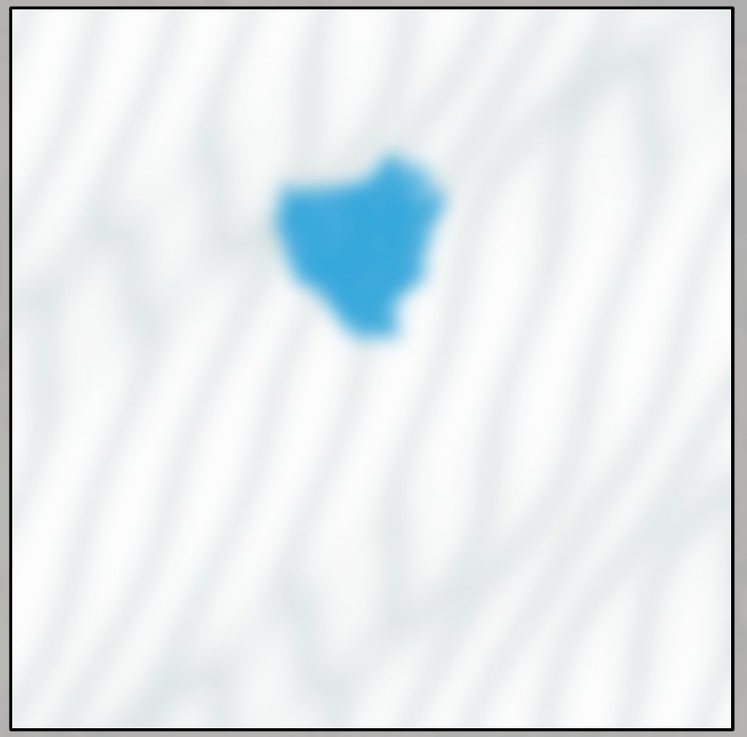
- Рендер без почти никакви ефекти – директно взимане на цветовете от текстурите (8 секунди)

Texture baking – пример

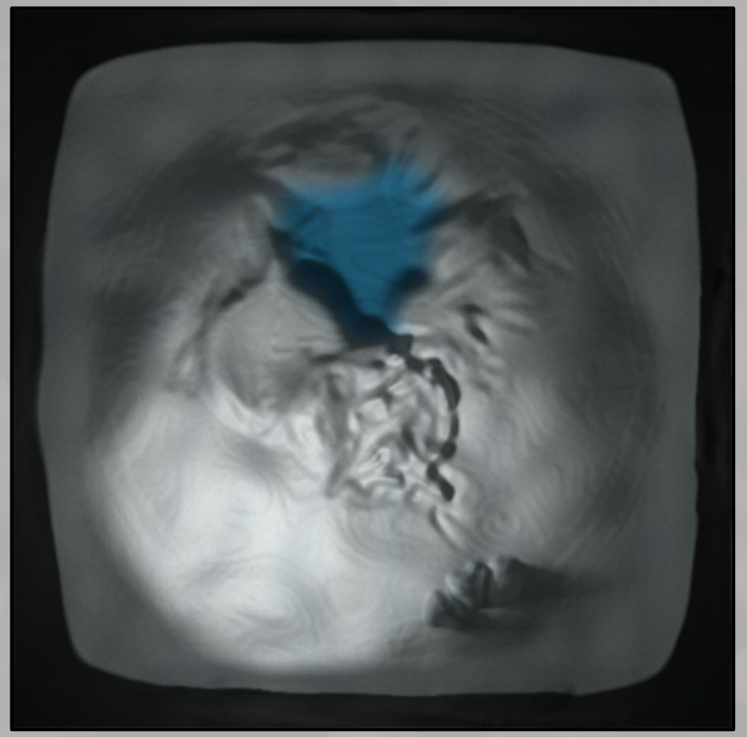
- Още един пример, със сцена, основно съставена от две релефни карти (и с много индиректно осветление):



- Релефна карта



Неопечена текстура



Опечена текстура

Texture baking – пример

- Аналогично за „тавана“:

- Релеф

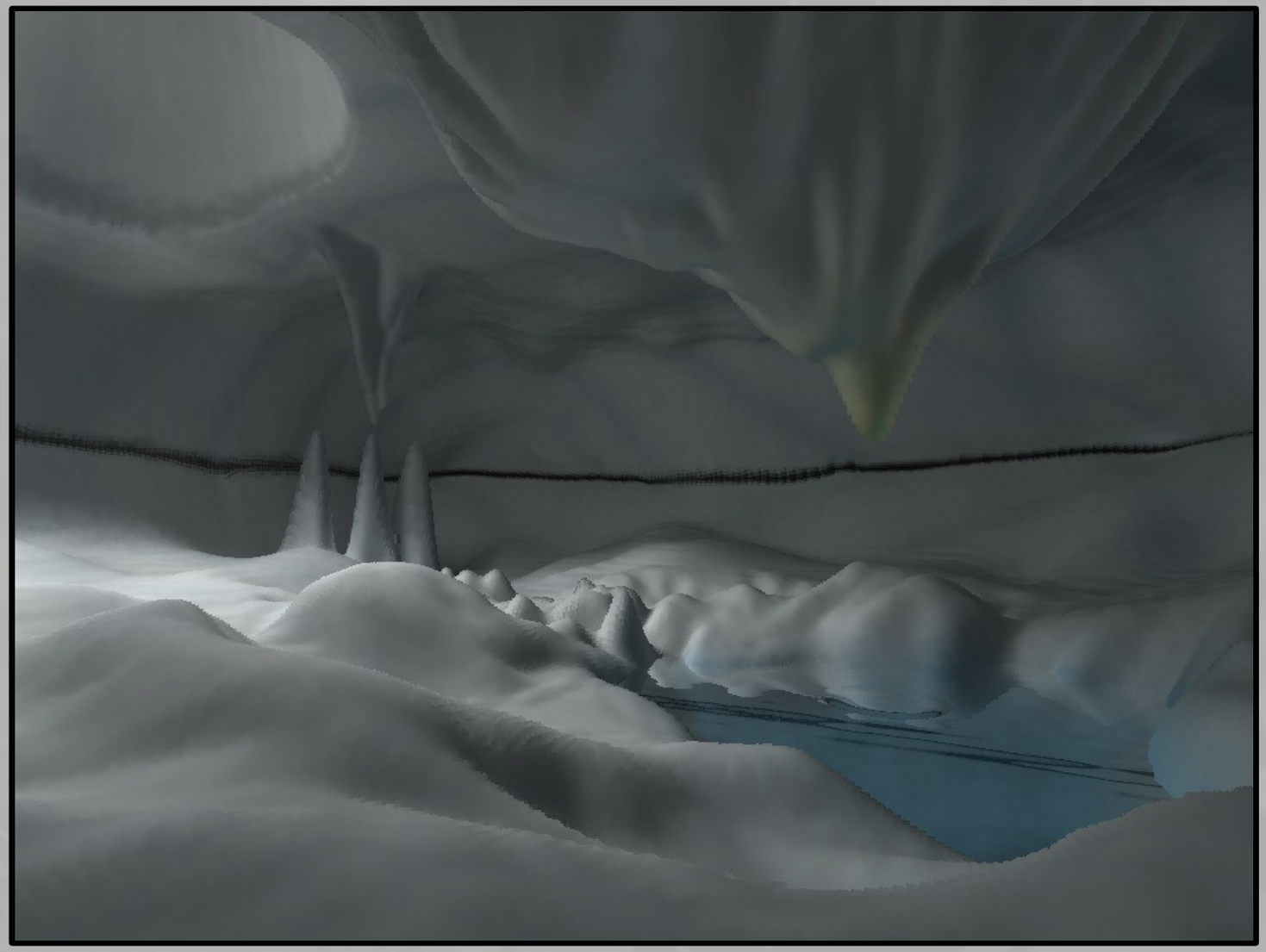
Неопечена текстура

Опечена текстура

Texture baking – пример

Резултат:

(при трасирането, цвета, който трябва да се върне, се взима директно от текстурата, без никакви изчисления на осветление; това позволява рендериране с realtime скорости)



Адаптивен рейтрейсинг

- Основната идея на адаптивния рейтрейсинг е да намалим броя на първичните лъчи (евентуално да ги направим по-малко от броя на пикселите), като засечем „безинтересните“ области в изображението и там пускаме лъчите по-нарядко. За пикселите, за които няма лъчи, интерполираме между най-близките стойности, за които сме пуснали лъчи

Адаптивен рейтрейсинг

- Разделяме кадъра на квадратчета с някаква големина, например 8x8 (не е добре да са прекалено големи, че може да изпуснем някои фини детайли от сцената така)
- За всяко квадратче:
  - Пускаме лъчи в краищата на квадратчето и взимаме пълна информация за този пиксел: цвят, id на ударения обект, текстурни координати, дълбочина (съвкупността от тази информация обикновено се нарича *фрагмент*)
  - По някакъв евристичен критерии решаваме дали квадратчето е „интересно“

Адаптивен рейтрейсинг

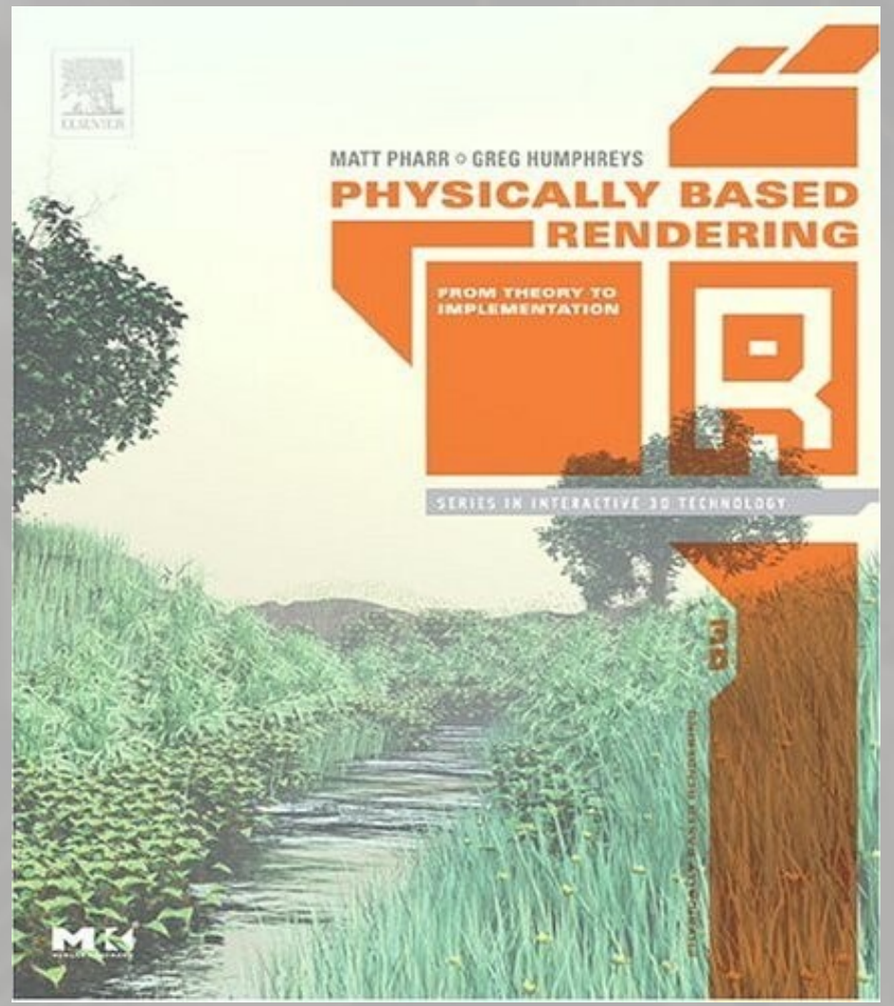
- Ако е квадратчето „интересно“, то го разделяме на 4 квадратчета (в случая 4x4). Пускаме необходимите лъчи за тях (още 5 фрагмента). С ново-получените данни решаваме за всяко 4x4 квадратче дали също е интересно, и ако е, разделяме отново и т.н.
- Ако квадратчето не е интересно, то може да интерполираме по някакъв начин информацията между фрагментите, за да сметнем цветовете на пикселите, за които нямаме фрагменти
  - Най-просто, може да интерполираме 4-те цвята (bilinear filtering), но това обикновено изглежда много грозно
  - Доста по-добър вариант е да интерполираме текстурните координати и да взимаме цветовете от текстурата

Критерии за „интересност“ - примери

- Какво критерии за „интересност“ на квадратчетата може да ползваме:
  - Depth – ако някой от фрагментите е доста по-далече, значи квадратчето е на някакъв ръб на обект, значи е интересно
  - Цвят – ако цветовете са прекалено различни
  - Id – ако 4-те Id-та не принадлежат на един и същ обект
  - ...и други, специфични за случая

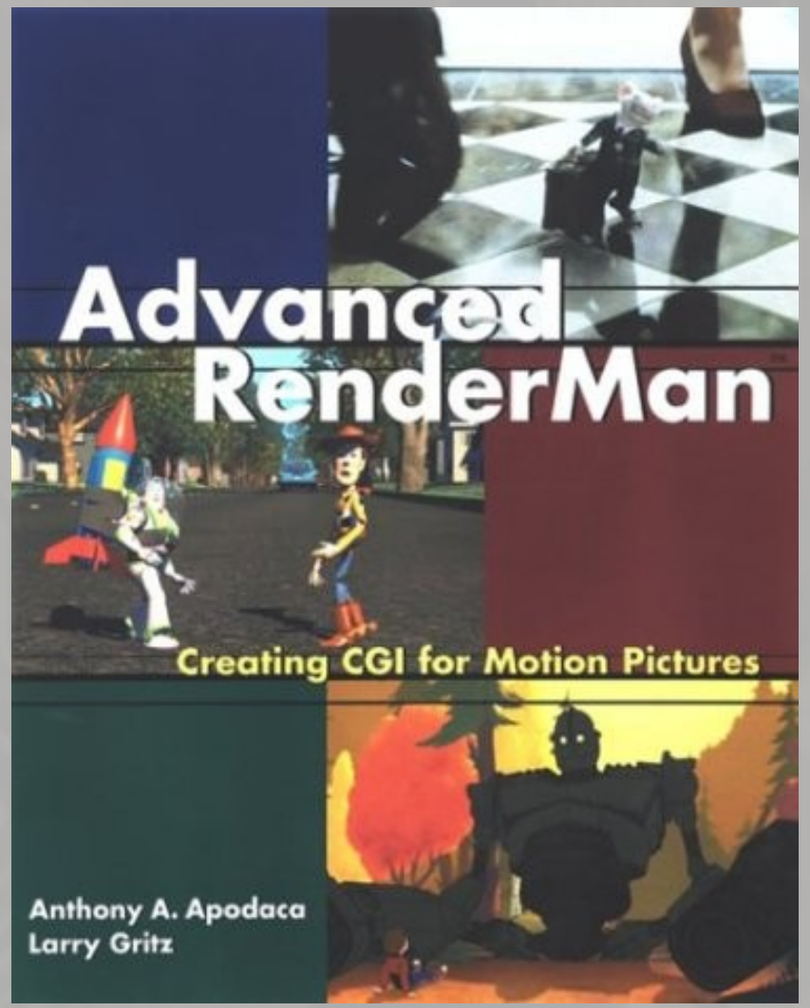
Books

- Physically Based Rendering
  - **Must-read** =-)
- Source at
  - github.com/mmp/pbrt-v1/
  - github.com/mmp/pbrt-v2/



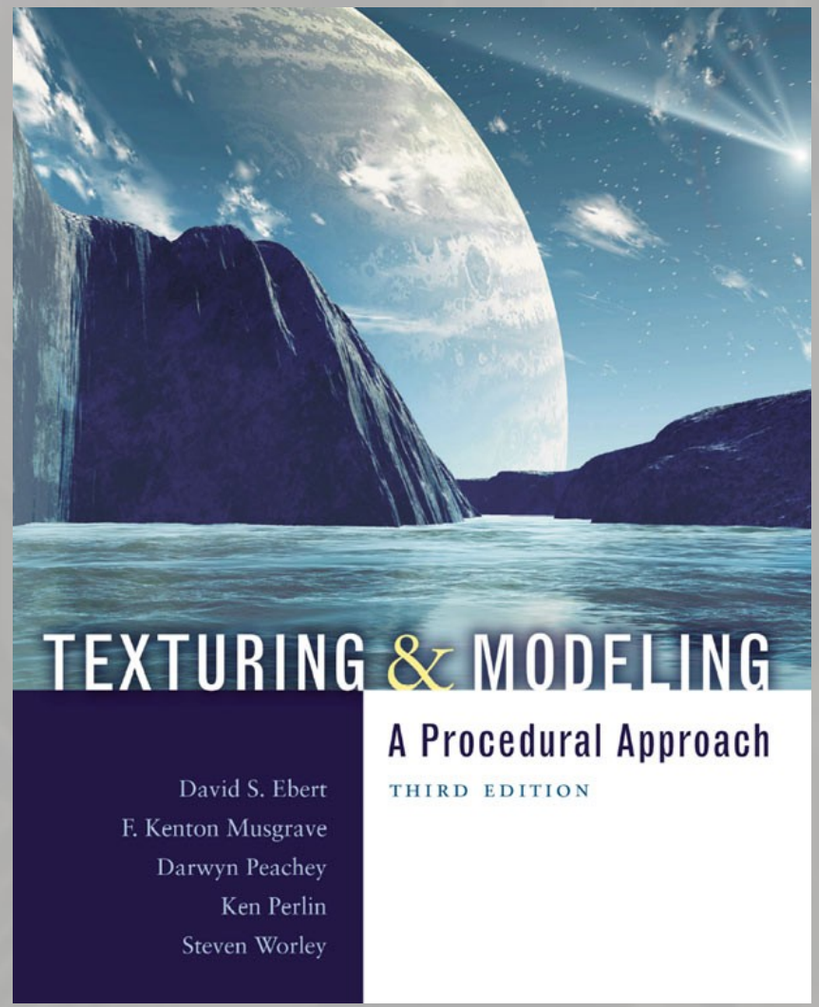
Books / RenderMan

- Also RiSpec
- A bunch of SIGGRAPH courses at renderman.org



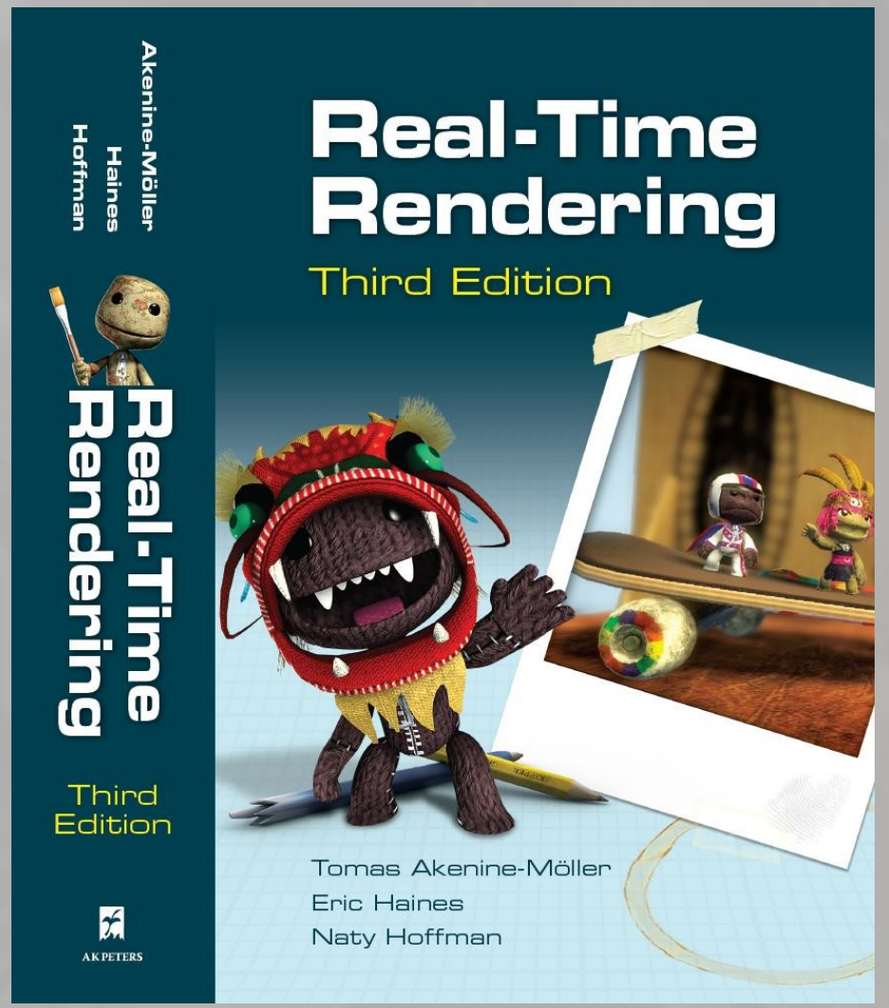
Books / Procedural

- Nice stuff



Books / Real time

- Also
  - OpenGL Distilled
  - OpenGL Shading Language



Papers

- SIGGRAPH papers index
  - http://kesen.huang.googlepages.com/
- Various
  - http://graphics.pixar.com/research/
  - http://www.crytek.com/technology/presentations/
  - www.graphics.stanford.edu/papers/
  - ……

Communities

- Ray tracing forum
  - ompf.org/forum/
- Bulgarian game devs
  - gamedev-bg.net
- 3d artists' forums&lists
  - ...

Work in BG

- Chaos Group
- Haemimont Games, Black Sea – Crytek, Ubisoft Bulgaria, Masthead, etc.
- World-wide FX, etc.
- Work for yourself!

Work world wide

- Game industry - huge
  - Crytek, Blizzard, id, EA, Naughty Dog, etc...
- Movie industry
  - Pixar, Blue Sky, Sony Imageworks, Industrial Light & Magic, Weta Digital, etc...
- Various developing and consulting companies

To infinity & beyond!