

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ  
„СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“



# Деформации

## ТЕМА №26

# Съдържание

## Тема 26: Деформации

- Деформации
- Деформация чрез слоеве
- Деформация чрез обхващащ куб
- Деформации чрез кожа върху скелет

# Деформации

# **Деформация**

## **Вместо дефиниция**

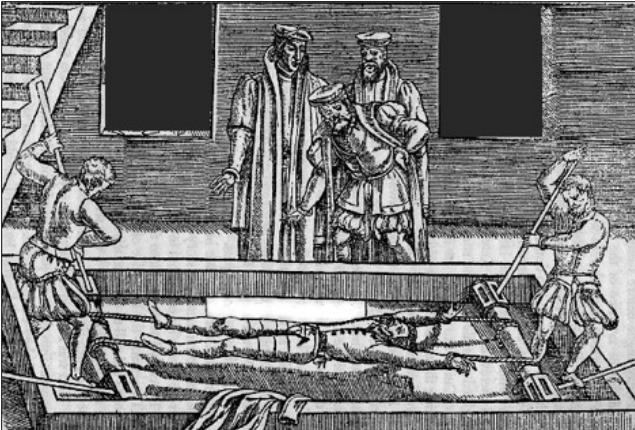
- Нелинейна промяна на формата на обект
- Като резултат най-често прави и отсечки се деформират до криви прави (въх!) и криви отсечки

## **Примери**

- Разпъване, извиване и усукване
- Надуване и смачкване

# Разпъване, извиване, усукване, ...

- Познати са от векове
- Няма да се използват тук в този им вид



# Реализация в КГ

## Методи на реализация

- Чрез разслояване на обекта на много слоеве и тяхната линейна трансформация
- Чрез деформация на обхващащ куб
- Чрез кожа върху скелет

Деформация  
чрез слоеве

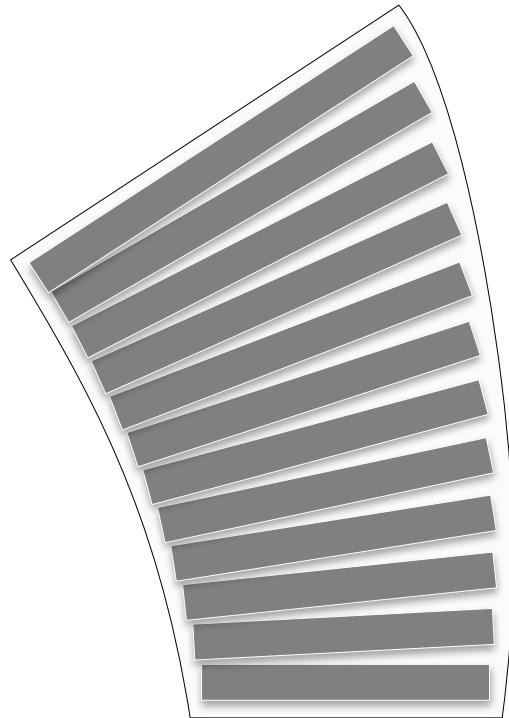
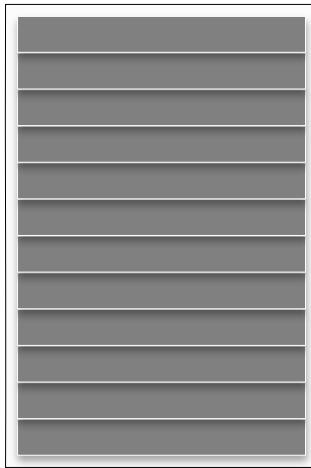
# Итеративни обекти

## Дефиниция

- Съставни обекти от множество по-малки обекти
- Съставният обект се деформира нелинейно, чрез линейна трансформация на по-малките обекти

## Допълнение

- Често по-малките обекти са еднотипни



## **Свойства**

- Лесно се дефинират с трансформации
- Лесно се анимират

## **Подобно на скелетите**

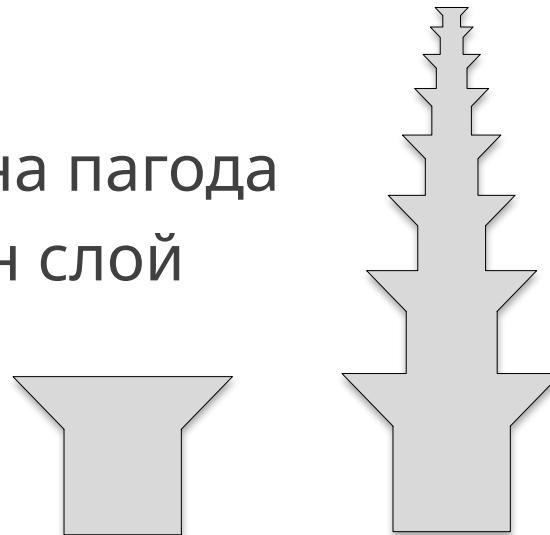
- Слоевете са система от свързани елементи
- Промяна на елемент променя закачените към него
- Гръбначният стълб е на този принцип

# Конструиране

- Създаване на базов слой
- Итерация чрез размножаване на базовия слой
- Деформация чрез плавна трансформация на слоевете

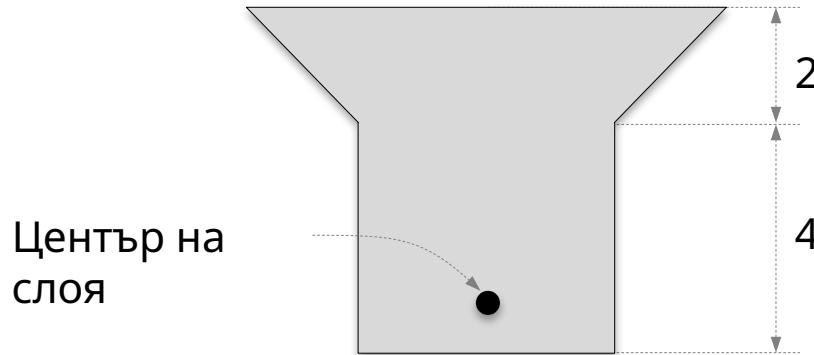
## Пример

- Създаване на далекоизточна пагода
- Всеки етаж е самостоятелен слой



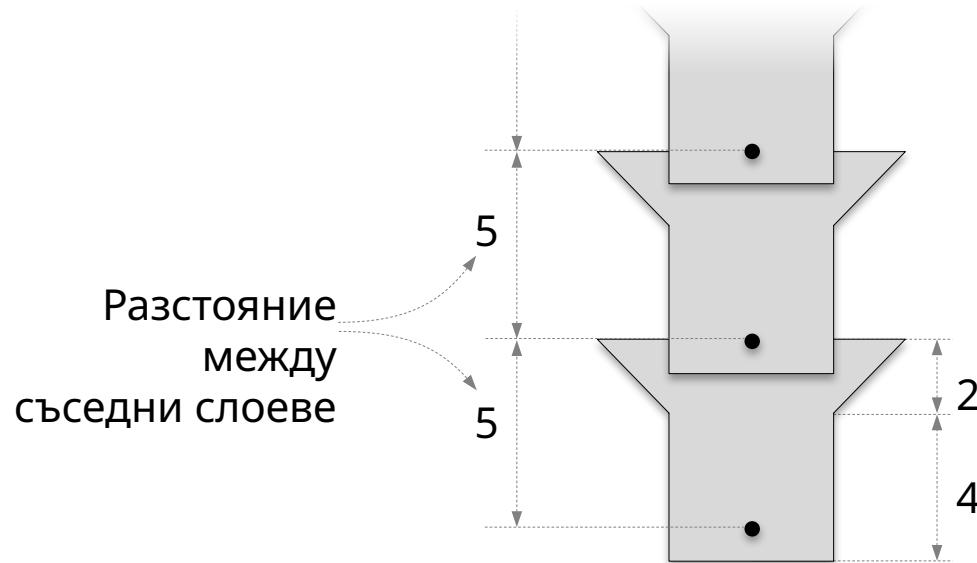
# Конструиране на първи етаж

- Всеки слой ще е един етаж
- Базовият слой е с два графични обекта



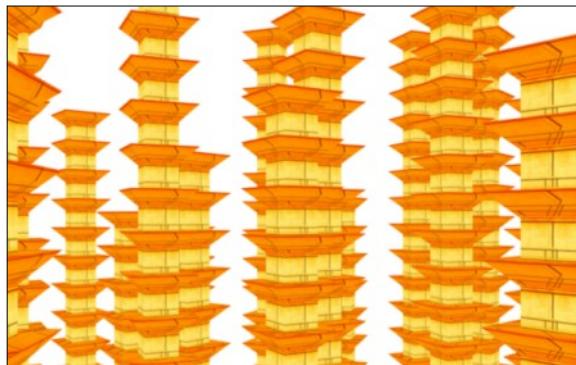
# Конструиране на другите етажи

- Чрез клониране на първия етаж
- Трансформацията е транслация по Y
- Всички трансформации са спрямо центъра на слоя



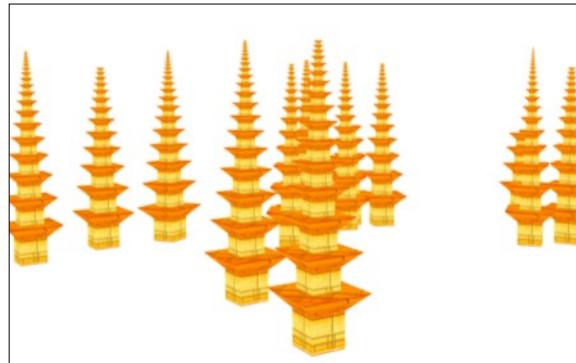
# Примерен модел

- Параметър за брой етажи
- Възможност за конструиране на различно високи пагоди



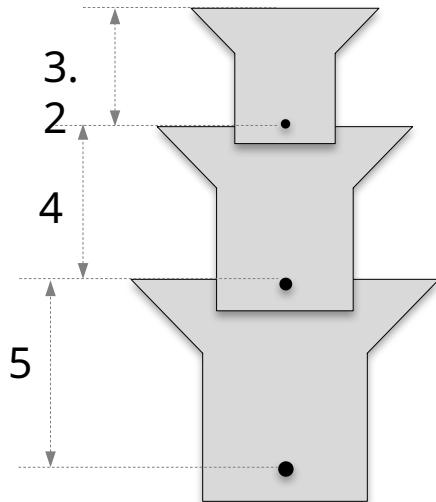
# Трансформиране с мащабиране

- Всеки слой е по-малък от предходния слой
- Вероятно може да се опише като *пагодизиране*



# Разстояния между етажите

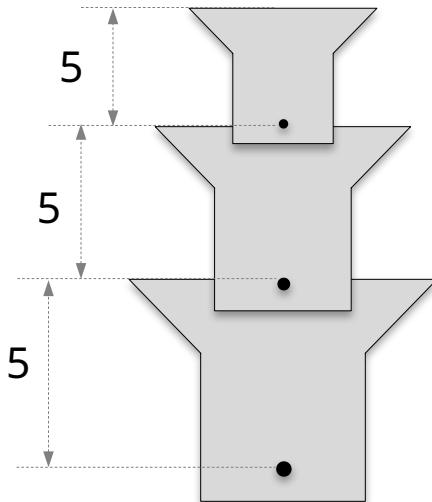
- Ако коефициентът на смялване е 0.8, то разстоянията между етажите намаляват  $5 \rightarrow 4 \rightarrow 3.2 \rightarrow 2.56 \rightarrow 2.05 \rightarrow \dots$
- Получават се без да се пресмятат!



# Ето как

- Всеки етаж си има собствена координатна система
- Мащабират се не размерите, а самите координатни системи, а от там и всичко в тях

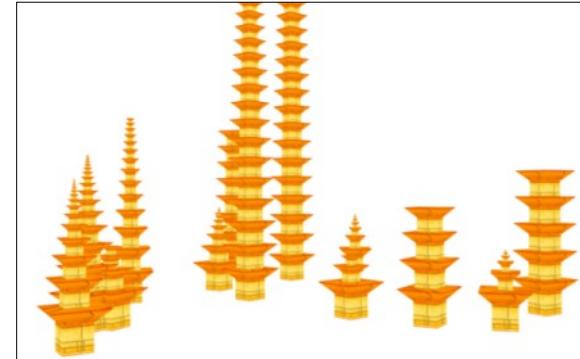
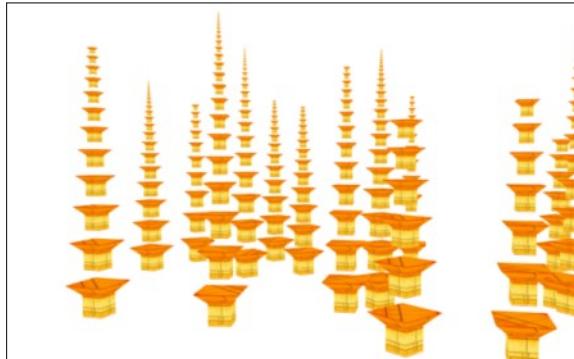
Етажите се смаляват,  
но те не го разбират



# Анимация

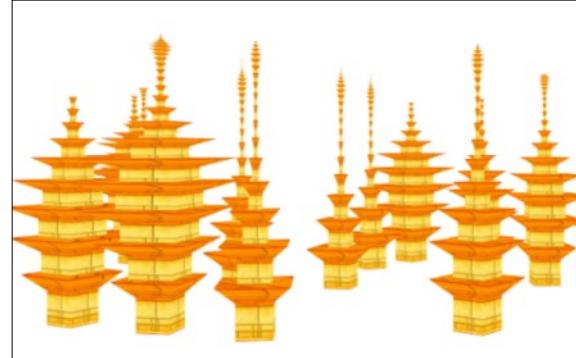
## Анимация с трансформации

- Анимация на транслацията
- Анимация на мащабирането



## Още за машабирането

- Машабиране с вектор  $\vec{M} = (m_x, m_y, m_z)$
- Променлив машаб за слой  $n$  и момент  $t$ :  
 $m(t, n) = a + b \sin(k_1 t + k_2 n + k_3)$   
 $\vec{M}(t, n) = (m(t, n), c, m(t, n))$



# Ротация по една ос

- Ротацията също е вектор  $\vec{R} = (r_x, r_y, r_z)$
- Усукване  $\vec{R}(t) = (0, a \sin kt, 0)$
- Навиване  $\vec{R}(t) = (a \sin kt, 0, 0)$



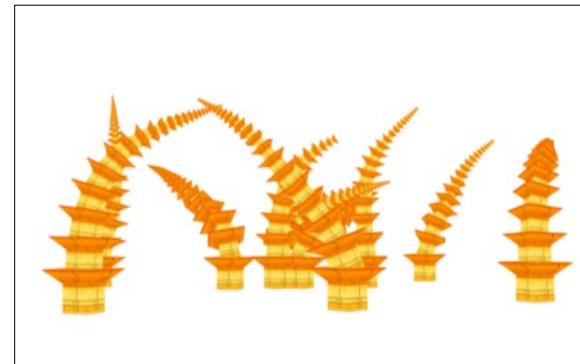
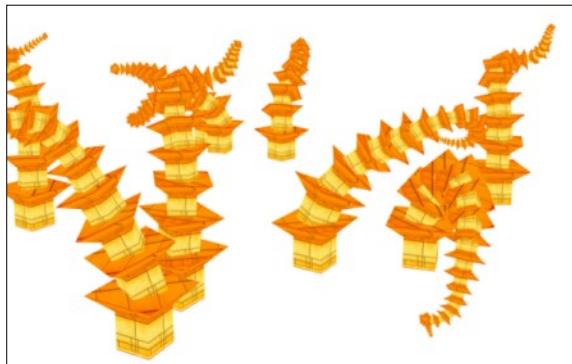
# Комбиниране на Въртения

- Пипало с въртене около всички оси

$$\vec{R}(t) = (a_1 \sin k_1 t, a_2 \sin k_2 t, a_3 \sin k_3 t)$$

- Камшик с във върдяване към върха

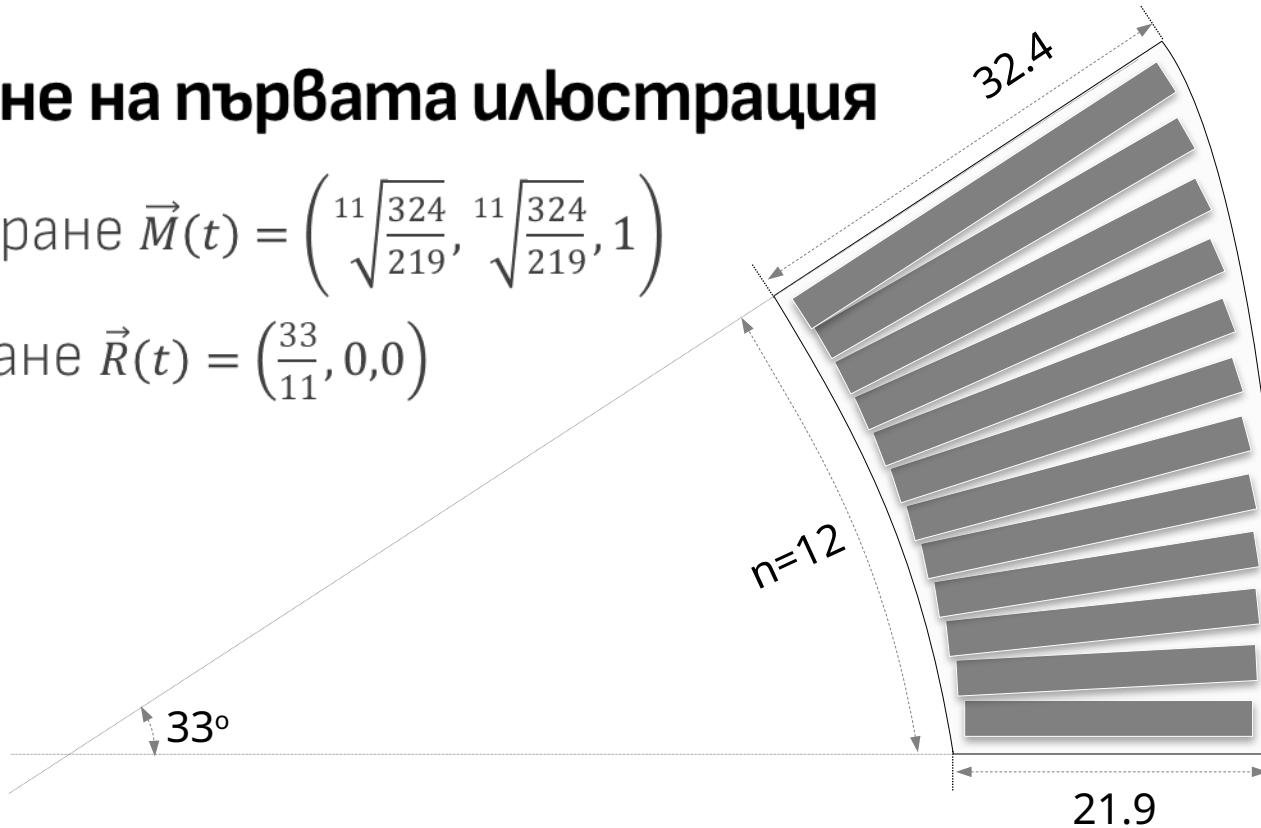
$$\vec{R}(t, n) = 0.9^n (a_1 \sin k_1 t, a_2 \sin k_2 t, a_3 \sin k_3 t)$$



# Задача

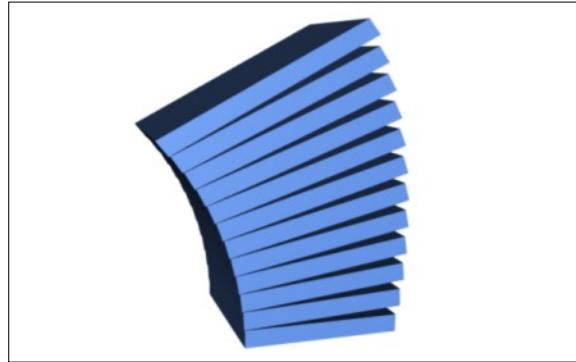
## Пресъздаване на първата илюстрация

- Машабиране  $\vec{M}(t) = \left( \sqrt[11]{\frac{324}{219}}, \sqrt[11]{\frac{324}{219}}, 1 \right)$
- Завъртане  $\vec{R}(t) = \left( \frac{33}{11}, 0, 0 \right)$



# Резултат

- Статичен деформиран обект
- Анимация на деформацията



# Вложени обекти

## Деформиране по слоеве

- Приложимо над част от обектите: влияе на обекти, които не са част от самата деформация



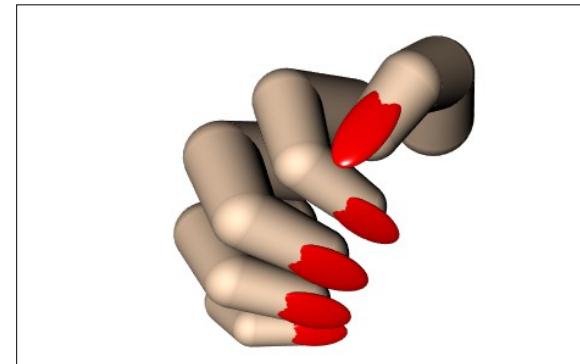
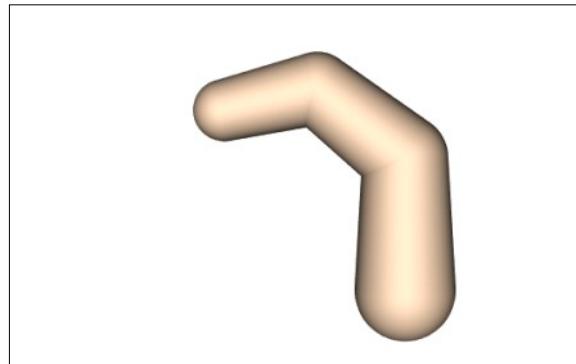
# Рекурсия

- Обекти с една деформация на слоевете са закачени към други слоеве с друга деформация



# Скелети

- Вложени обекти като начин за реализиране на скелети: единичен пръст и на ръка с пет пръста

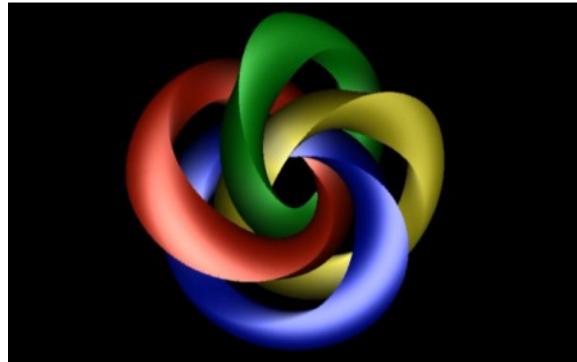


# Примери с деформации

- Ларнийски декапод (със скелет)
- Разрязване на тор (без скелет)



“Larnaean Decapus”  
[http://youtu.be/j\\_Iz26zEX1o](http://youtu.be/j_Iz26zEX1o)



“Cutting a torus”  
<http://youtu.be/drFBhFbRL5E>

Деформация  
чрез обхващащ куб

# **Обхващащ куб**

## **Това е куб**

- Съдържа в себе си 3D обект
- Кубът е обхващащ за този обект
- Не се изисква да е минималният куб

## **Действия**

- Деформира се кубът
- Деформира се всичко в него

## **Най-близка представа**

- Изкривяване на пространството при съвсем гравитационно поле
- Кубът е в ролята на изкривеното пространство

## **На английски**

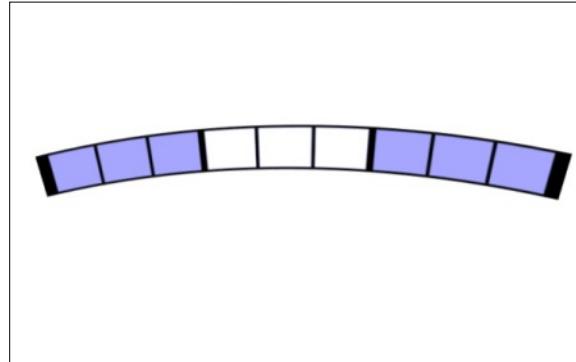
- FFD – Free form deformation

## **Генериране на криво пространство**

- Различни методи, подобни на генерирането на криви и повърхнини, но вече в 3D

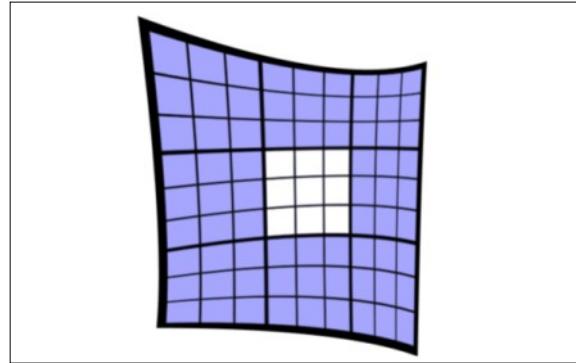
# Интерполяция при криви

- Реализира се като 1D интерполяция на редица от контролни точки
- Равносилно на интерполяция между две точки



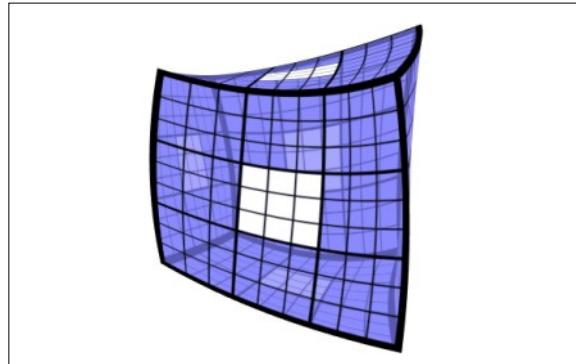
# Интерполяция при повърхни

- Реализира се като 2D интерполяция на квадрат от контролни точки
- Равносилно на интерполяция между две криви



# Интерполяция при обеми

- Реализира се като 3D интерполяция на куб пак от контролни точки
- Равносилно на интерполяция между две повърхнини



# Пример

## Ротационно тяло – синусова бутилка

- Нарисувана в евклидов куб
- И в силно деформиран куб



# Направа чрез пространство на Безие

- Крива на Безие:

$$p(u) = \sum_{i=0}^n B_i^n(u) P_i$$

- Повърхнина на Безие

$$p(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n B_i^n(u) B_j^n(v) P_{ij}$$

- Пространство на Безие

$$p(u, v, w) = \sum_i^n \sum_{j=0}^n \sum_k^n B_i^n(u) B_j^n(v) B_k^n(w) P_{ijk}$$

Деформации чрез  
ко<sup>жа</sup> върху скелет

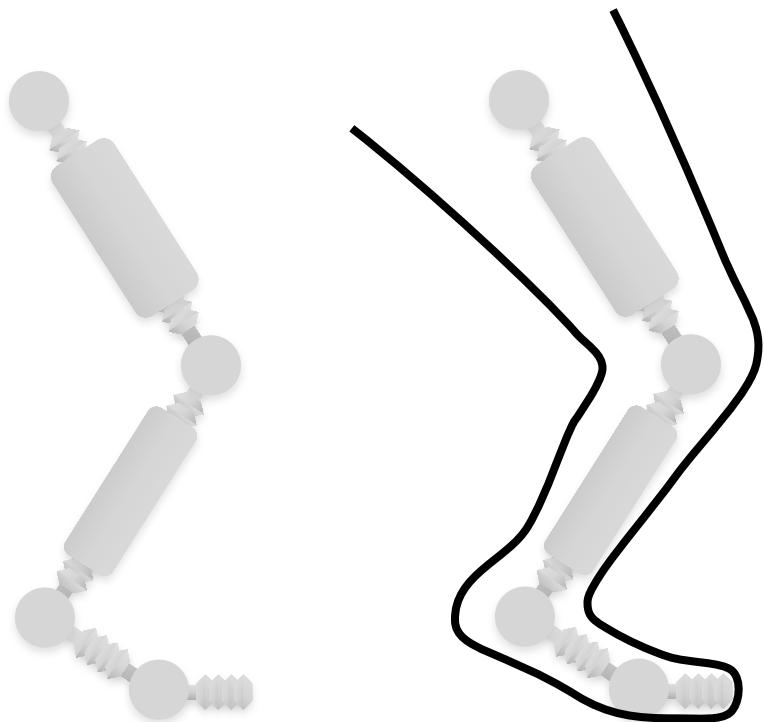
# Кожа

## Основна идея

- Скелетът придава основната форма на обекта  
(примерно позата на тяло)
- Кожата придава гладкостта на обекта  
(плавно преливане на форми)

## Свойства на кожата

- Гъвкава
- Боли при щипане



При промяна  
на позата  
кожата се огъва

## **Изисквания**

- Да не е плътно по скелета
- Да се огъва плавно
- Без нежелани ефекти при гранични пози  
(например, издуване, сплескване, самопресичане)

## **Реализация**

- Чрез множество от контролни точки

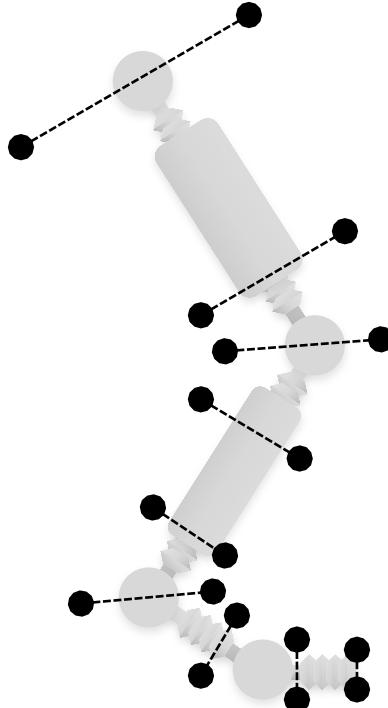
## **Контролните точки**

- Закачени на разстояние от скелета  
(най-често са твърдо закачени)
- Използват се като контролни точки на сплайн или подразделени повърхнини

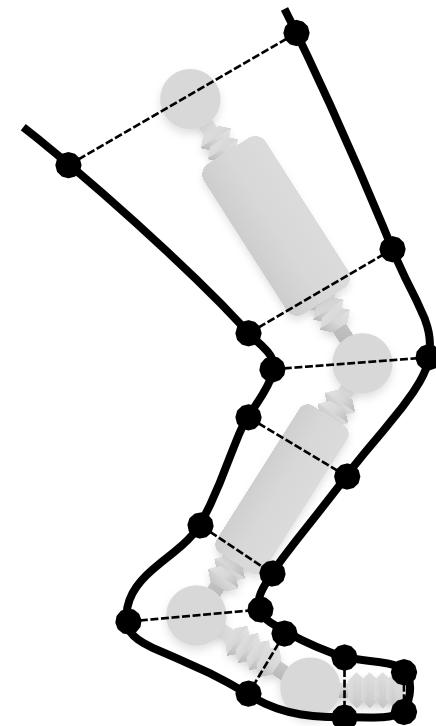
## **Промяна на позата**

- Променя положението на костите и закачените към тях контролни точки
- Променените контролни точки генерираят нова повърхнини

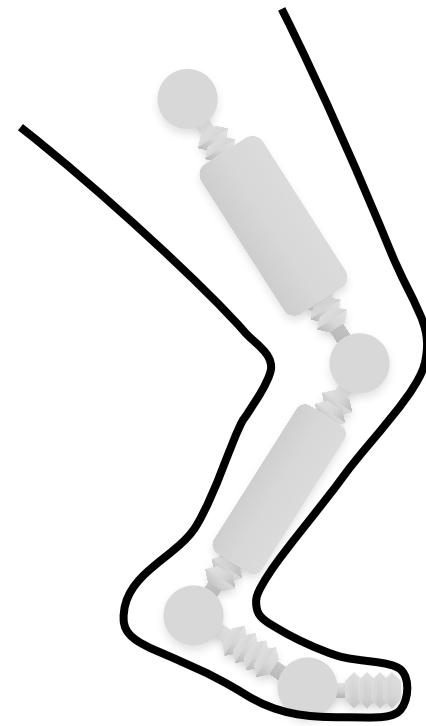
# Закачане на кожа



Контролни точки,  
фиксирани към костите



Повърхнини, опънати през  
контролните точки



Контролните точки  
са невидими обекти

# Още информация

## На английски

- Терминът за слагане на кожа е **skinning**
- Извън КГ **skinning** е точно обратното: одирам

## Структура на кожата

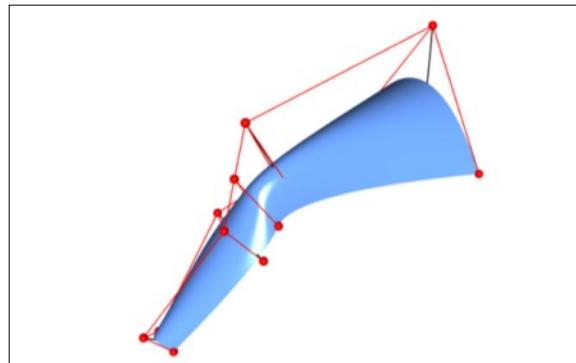
- Не е задължително да е сплайн или подрезделени повърхнини, може да е друга мрежа от полигони

- Не е задължително контролна точка да е закачена към точно една кост – може да е към няколко със съответни тегла
- Почти винаги координатите на контролните точки са дадени в локалната координатна система на ставата, към която е закачена костта – така те са константни

# Примери

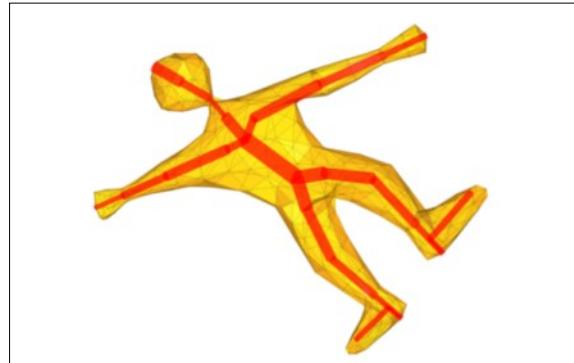
## Пример с кожа

- Невидими кости с контролни точки и кожа през тях



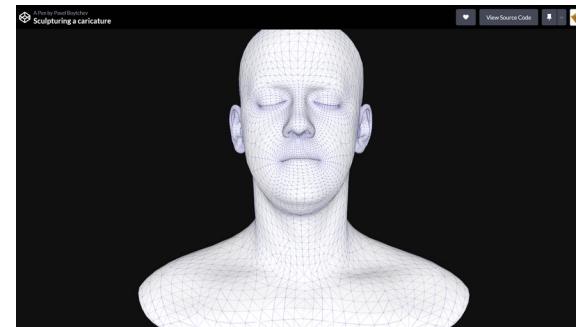
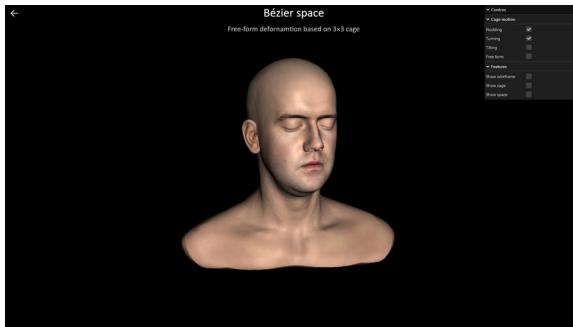
# Одиране на човечето от миналия път

- Човече по кожа
- Човече по кожа и кокали



# Още примери

- Използване на кафези (cage)
- Използване на силови полета



PPTX не дава,  
да се пуска  
ръчно  
през FireFox

<https://boytchev.github.io/etudes/threejs/bezier-space.html> <https://codepen.io/boytchev/full/eYxGyPG>

Въпроси?

# Повече информация

**BAGL**    стр. 22-26

**AGO2**    стр. 630-631

**KLAW**    стр. 218-221

**PARE**    стр. 124-143, 358-361

**ZHDA**    стр. 361-366

## А също и:

- Free-Form Deformation of Solid Geometric Models  
<http://tom.cs.byu.edu/~557/text/3dffd.pdf>
- CSE 169: Computer Animation: Chapter 3: Skin  
[http://graphics.ucsd.edu/courses/cse169\\_w05/3-Skin.htm](http://graphics.ucsd.edu/courses/cse169_w05/3-Skin.htm)

Край