

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“



Скелети

ТЕМА №25

Съдържание

Тема 25: Скелети

- Степени на свобода
- Скелети (йерархични системи)
- Реализация с костенуркова графика
- Реализация с локални координатни системи
- Реализация с трансформации

Степени на свобода

Свързани системи

Свързани системи

- Системи от свързани елементи
- Елементите не се деформират

Движения

- Въртене на елемент около точка на закачване
- Много по-рядко – плъзгане на елемент

Степени на свобода

- Минималният брой параметри, за дефиниране на достъпните движения в свързани системи
- Параметрите трябва да са независими
- На английски: *Degree of Freedom (DoF)*

В компютърната графика

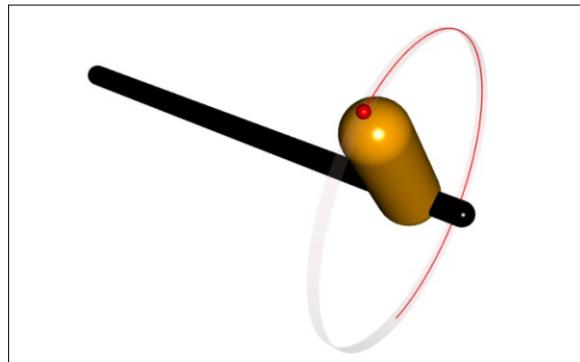
- Най-често от 0 до 6 степени на свобода

0 степени на свобода

- Два елемента са твърдо свързани
- Без възможност за плъзгане и въртене
- Елементите не се обединяват най-вече за удобство
- Не са нужни параметри, понеже няма движение

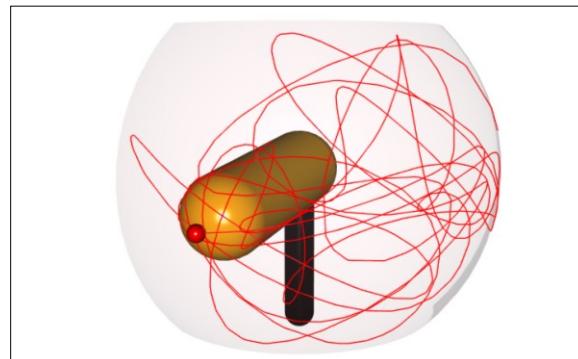
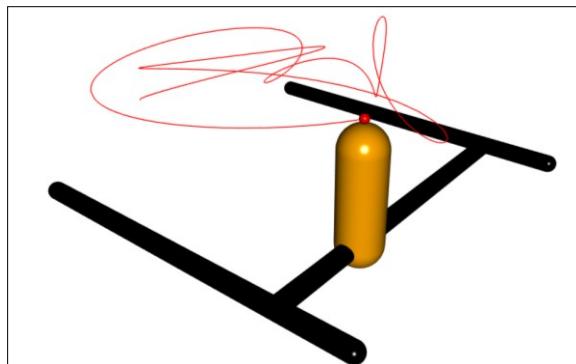
1 степен на свобода

- Плъзгане по ос с параметър, който е разстояние
- Въртене около ос с параметър - ъгъл



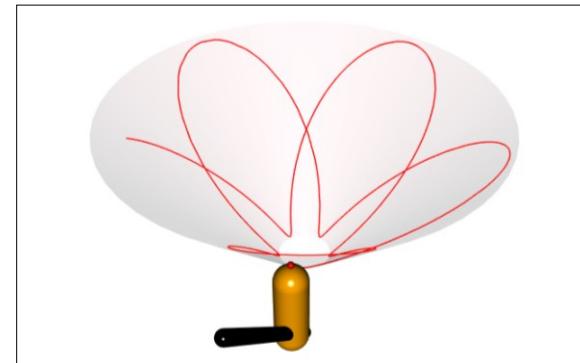
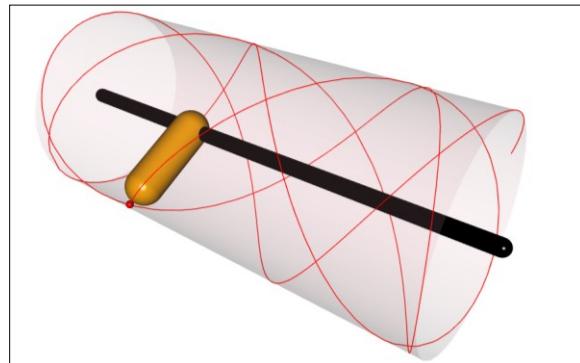
2 степени на свобода

- Плъзгане по две оси
(параметрите са две разстояния)
- Въртене около две оси
(параметрите са два ъгъла)



О, има още варианти на 2 степени

- Едно плъзгане и едно въртене
- Различни варианти според реда на прилагане на двете свободи и доминантните скорости



Трансформации

Съответствие на трансформациите

- Плъзгането е транслация
(максимално три степени на свобода)
- Въртенето е ротация
(още три степени на свобода)
- Надуването и свиването е мащабиране
(рядко се счита за степен на свобода)

Степени и достиженост

- 0 степени – достижима е само една точка
(има 0D достиженост)
- 1 степен – достижима е права или крива
(има 1D достиженост)
- 2 степени – достижима е повърхност като сфера
(2D достиженост)
- 3 степени – достижиш е обем като кълбо
(3D достиженост)

Човешкото тяло

Ротационни степени на свобода

- Степени на свобода при въртене
- Има ги всичките 3

0 степени на свобода

- Зъби-челюст
(изключая бокса и млечните зъби)
- Ребро-прешлен

1 степен на свобода

- Коляно – сгъва се само в една равнина
(в друга би боляло много)
- Фаланги на пръстите

2 степени на свобода

- Челюст – нагоре-надолу и наляво-надясно
(при дъвчене и преживяне, не се брои плъзгането напред-назад)
- Очи
(с изключение на Попай Моряка)

3 степени на свобода

- Китка – нагоре-надолу, наляво-надясно и усукване
- Език
 - (въпреки, че няма кости и стави)
- Врат и кръст
 - (приемаме с условност)

Важност на степените на свобода

- Знае се отлично тяхната важност, особено при преживяване с гипсиран крак
- Или пък прищипан нерв
- Или пък спане накриво

Скелети (Йерархични системи)

Скелети

Неформална дефиниция

- Дърводидни (йерархични) модели от свързани елементи

Следствия

- Има един главен, първичен елемент
- Всеки друг елемент има точно един родител

Използване в компютърната графика

- Представяне на биологични форми чрез скелет (хора, животни, растения)
- Моделиране на роботи и други сложни механизми
- Физическа симулация на вериги от обекти (влакова композиция, синджир)
- Планиране на движение с обратна кинематика

Представяне на скелети

- Костите са недеформируеми
- Ставите са с 0 до 3 степени на свобода на въртене

Свързване

- Всяка кост се свързва с друга чрез става
- Позата на скелета е множеството от ъглите на завъртяност във всички стави

Сложност при анимацията

- Зависи от дълбочината на връзките
- Зависи от степените на свобода във всеки възел

В човешкото тяло

- По-ниските степени на свобода (като в коляно, лакът, пръсти ...) се компенсират с по-дълбока йерархия

Основни проблеми

Проблеми при йерархичните системи

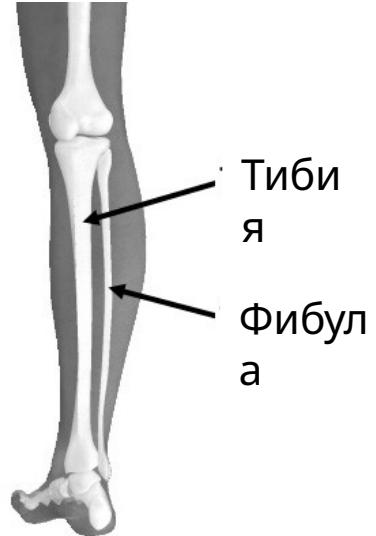
- Да се опише ориентацията на подчинените елементи
- Малка промяна във възел, променя всички навързани към него елементи

Пример с човешкия скелет

- От лумбарен прешлен (при кръста) до върха на показалеца има 20+ възела

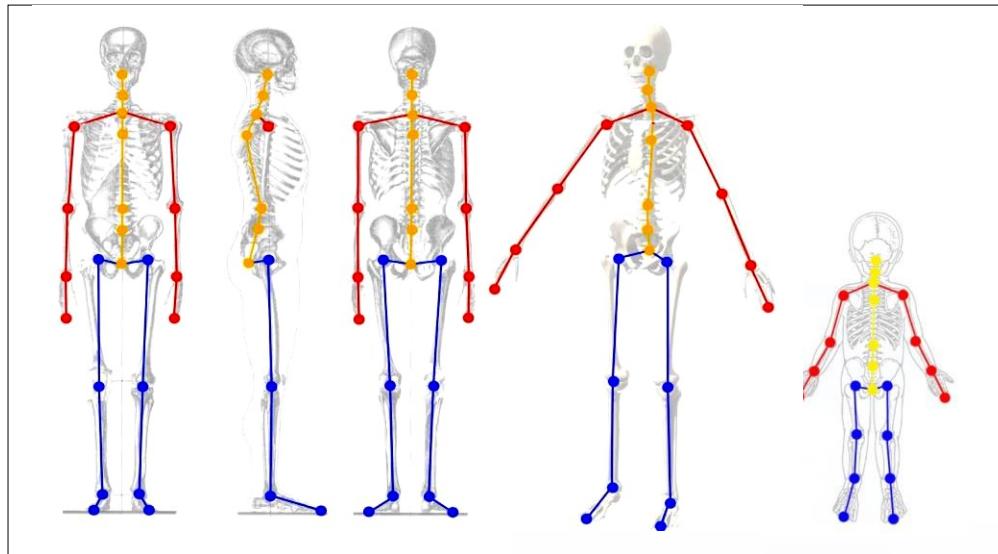
Опростяване на скелет

- В КГ не е нужно точно анатомично представяне
- Някои кости (напр. тibia и фибула) се сливат
- Могат да се добавят несъществуващи кости



Човешки скелет

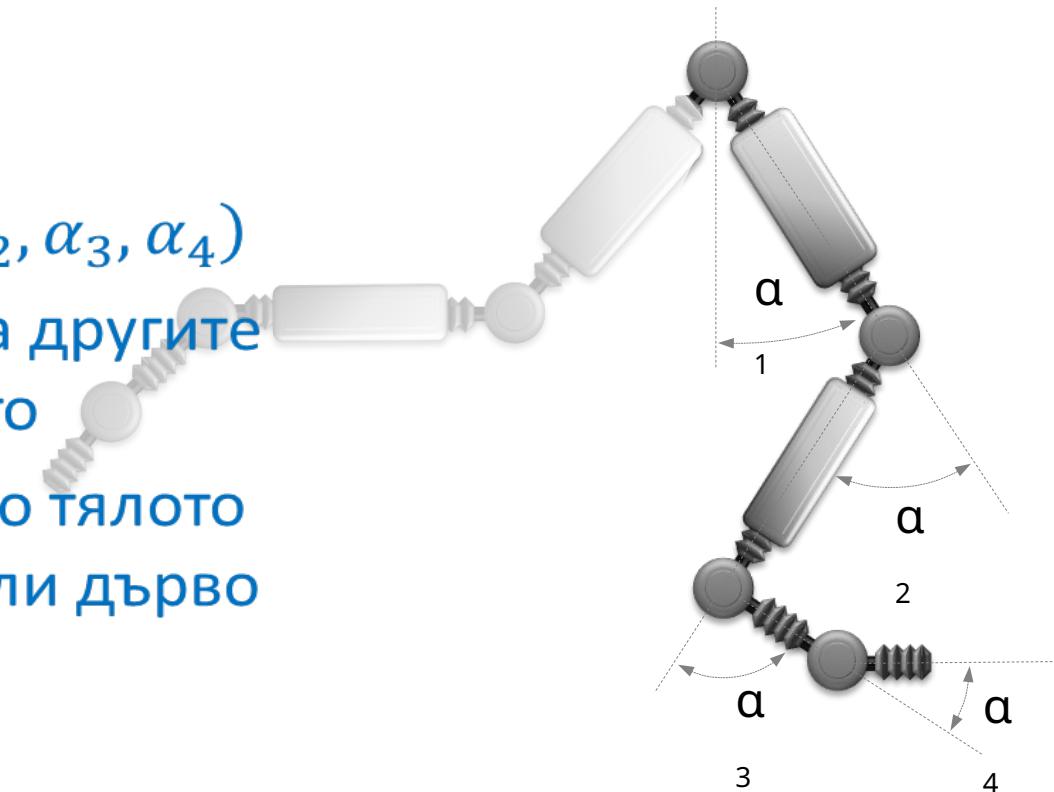
- Топология, независеща от възрастта
- Ако ходилата са обути, не се правят пръсти



Представяне на поза

Набор от ъгли

- За крак ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$)
- Аналогично за другите части на тялото
- Поза на цялото тялото чрез вектор или дърво от ъгли



Движение на скелет

Пряко задаване на движението

- За всеки ъгъл в става има функция спрямо времето

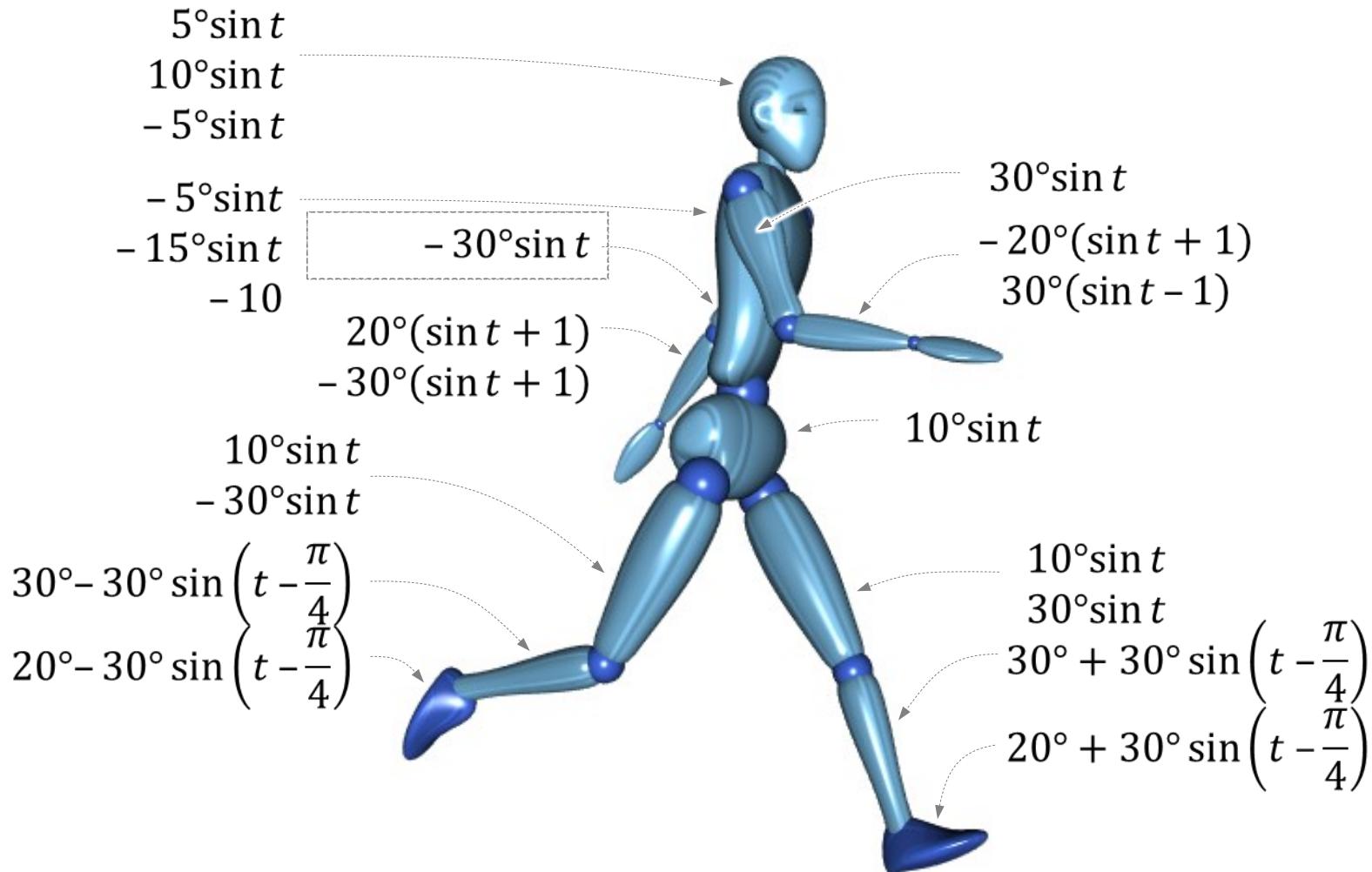
Движение чрез интерполяция

- Задават се само основните пози
(всяка чрез вектор от вектори от ъгли)
- Междинните пози – чрез интерполяция

Движение чрез функции

- Ъглите на завъртане в ставите се контролират от периодични функции





Движение с интерполяция

В компютърната графика

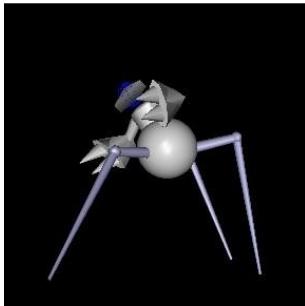
- Спестява ръчното дефиниране на всяко движение
- Лесно се контролира скоростта на движение

Реализация

- Една поза се описва с вектор от вектори от ъгли
(програмистки казано, масив от комплекти от три ъгъла)

Примерни модели

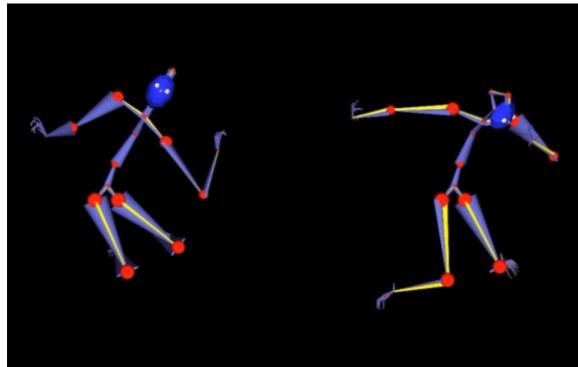
- Полет в безтегловност [NOGRAVITYMAN.ELI](#)
- Модел на мутант [THEMUTANT.ELI](#)
- Трикрак робот [SPIDERWARIOR.ELI](#)
- Интерполяция на пози [MARCHINGMAN.ELI](#)



В помощ на аниматора

Допустими интервали на въртене

- Дефинират се за всяка става
- Гарантират естественост дори и на случайни пози:



“Emotional Postures”

<http://youtu.be/55q-PWGyBnk>

Реализация с костенуркова графика

Реализация на скелети

Три основни метода

- Костенуркова графика
(за подробности вижте тема 14)
- Локални координатни системи (ЛКС)
(детайли ще намерите в тема 25)
- Трансформации
(очаквайте в тема 26)

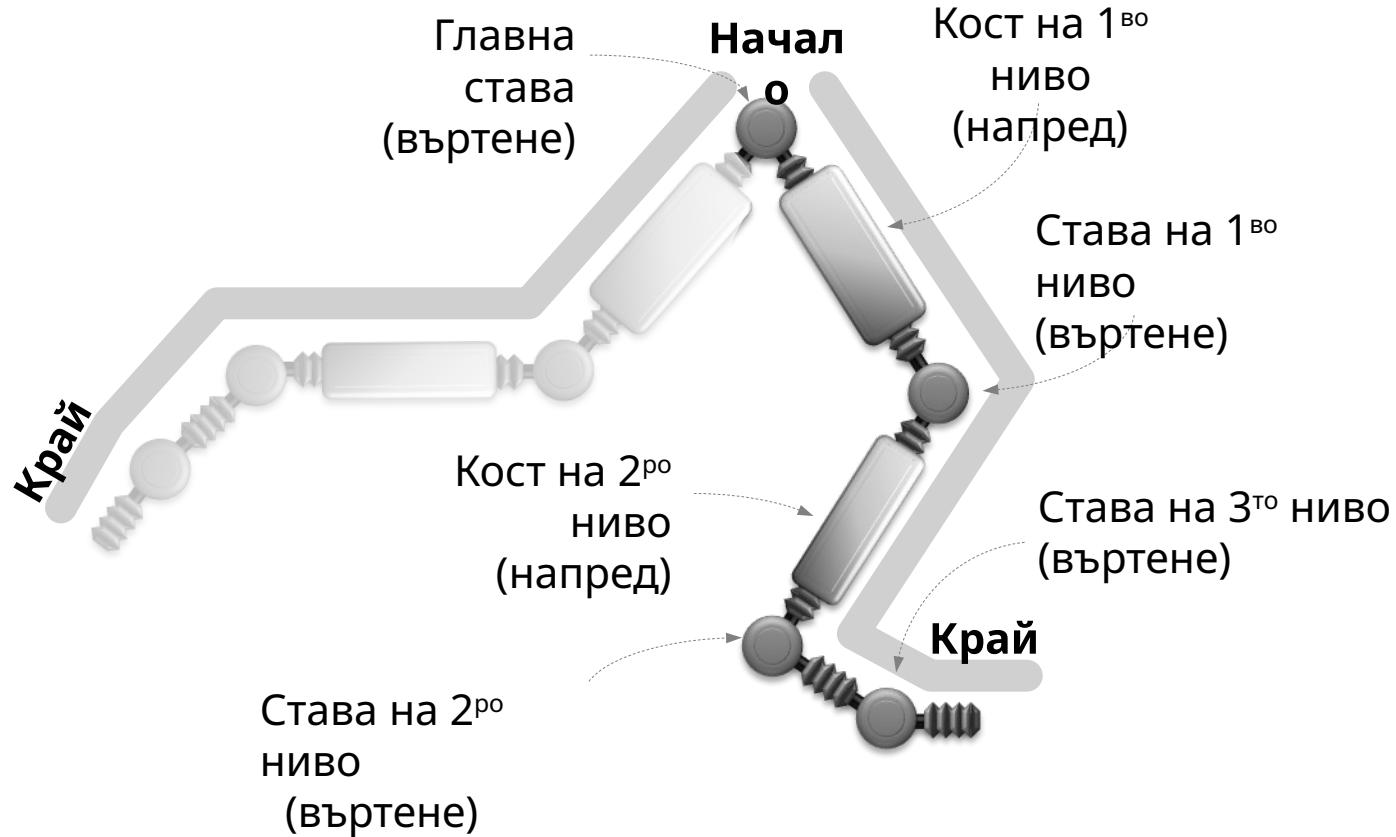
Скелет с костенурка

Обхождане с костенурка

- Започва се от основния елемент на скелета
- На всяка кост има придвижване напред
- На всяка става има въртене около толкова оси, колкото е степента на свобода

Особеност

- При става с няколко изходящи кости ще се налага връщане на костенурката

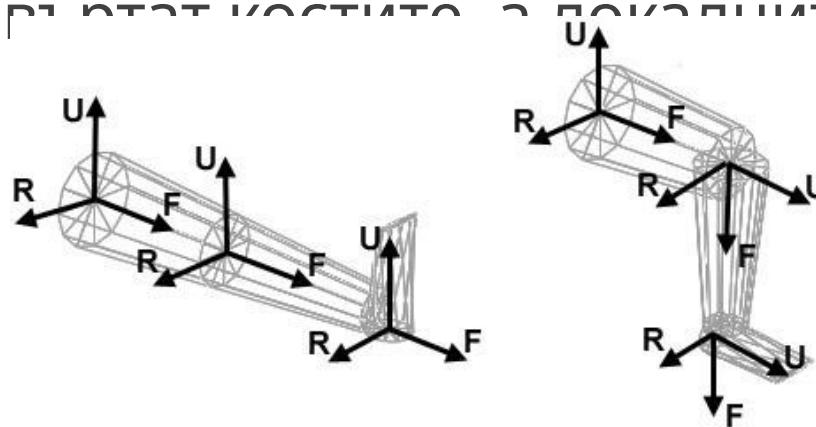


Реализация с локални
координатни системи

Скелет с ЛКС

Представяне на скелет

- Във всяка става се слага локална координатна система
- Не се загънат костита → покриват същите системи

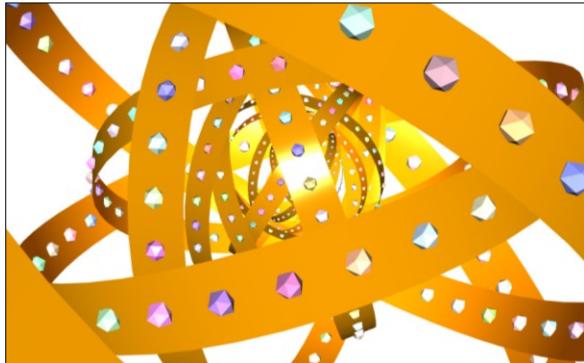


Ползи от ЛКС

- Всеки обект се дефинира спрямо неговата си координатна система
- Обектът не се движи, движи се само ЛКС-то му
- При анимация не се преизчислява мястото и ориентацията на обект

Локални координатни системи

- Всички камъчета са статични



Взаимовръзка

Два еквивалентни подхода

- Скелети с костенурка
- Скелети с ЛКС

Защото

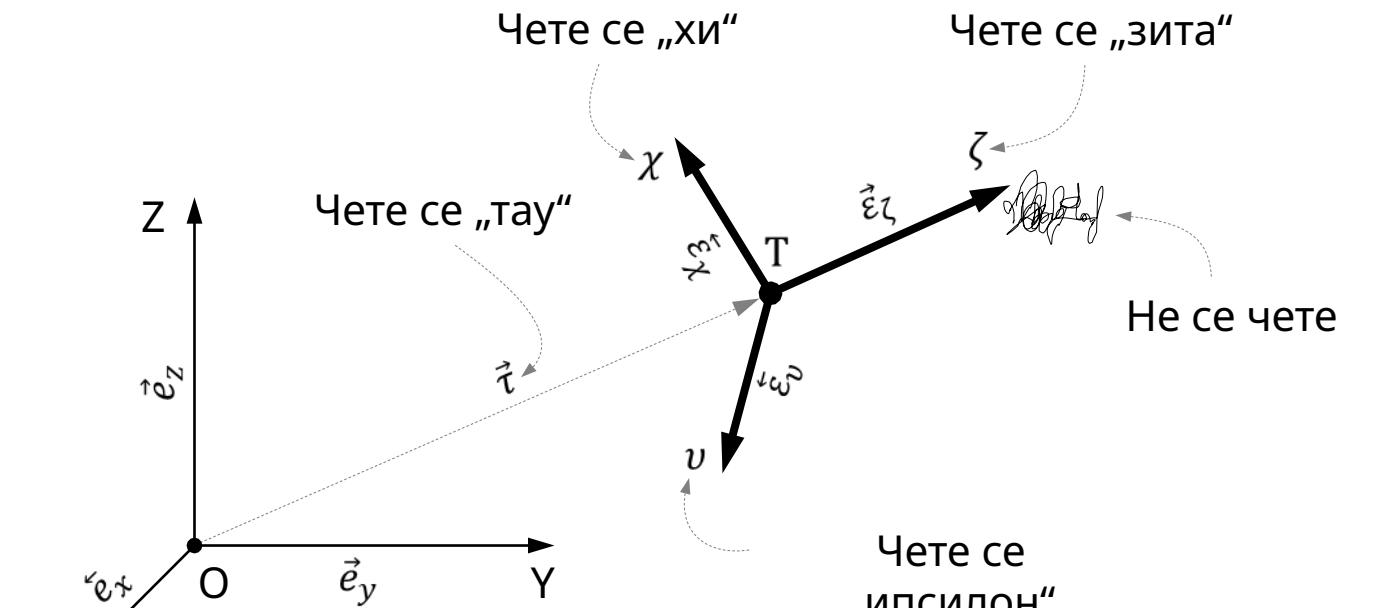
- Всяка костенурка си има ЛКС, която се ползва за въртене и придвижване

Преобразуване на координатни с-ми

- Има обект или движение в една ортонормирана координатна с-ма
- Трябва да се изрази в друга с-ма
- Използва се координатната система като трансформационна матрица

Пример с координатни системи

- Глобална $Oxyz$ и локална $T\chi\nu\zeta$



$$\begin{aligned}
 \vec{\epsilon}_\chi &= x_\chi \vec{e}_x + y_\chi \vec{e}_y + z_\chi \vec{e}_z = (x_\chi, y_\chi, z_\chi) \\
 \vec{\epsilon}_v &= x_v \vec{e}_x + y_v \vec{e}_y + z_v \vec{e}_z = (x_v, y_v, z_v) \\
 \vec{\epsilon}_\zeta &= x_\zeta \vec{e}_x + y_\zeta \vec{e}_y + z_\zeta \vec{e}_z = (x_\zeta, y_\zeta, z_\zeta) \\
 \vec{\tau} &= x_\tau \vec{e}_x + y_\tau \vec{e}_y + z_\tau \vec{e}_z = (x_\tau, y_\tau, z_\tau)
 \end{aligned}$$

За бонус от -2 точки

ЗАЩО

Y

СЕ ЧЕТЕ ИГРЕК?

отговор:

на латински: **i Graeca /и: грек/**

в превод: **гръцко „и“**

Построяване на матрицата

- Разполагат се 3^{me} оси и началото на АКС
- Матрицата има супер сладки свойства

$$M = \begin{pmatrix} x_\chi & x_v & x_\zeta & x_\tau \\ y_\chi & y_v & y_\zeta & y_\tau \\ z_\chi & z_v & z_\zeta & z_\tau \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$
$$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \vec{\varepsilon}_\chi & \vec{\varepsilon}_v & \vec{\varepsilon}_\zeta & \vec{\varepsilon}_\tau \end{matrix}$$

Свойство

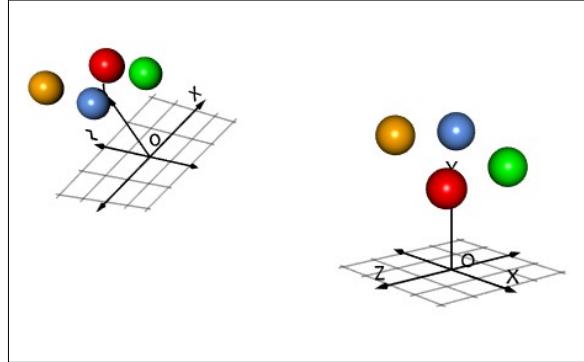
- Връзка на произволен елемент между ГКС и ЛКС:
 $M \times (\text{глобален_елемент}) = \text{локален_елемент}$
 $M \times (\text{локален_елемент_в_ЛКС})$
= $\text{локален_елемент_в_ГКС}$

Примери

- $M\vec{e}_x = \vec{\varepsilon}_\chi$ или $MO = T$
- $M\vec{\varepsilon}_{\zeta, \text{ЛКС}} = M \times (0,0,1) = (x_\zeta, y_\zeta, z_\zeta) = \vec{\varepsilon}_{\zeta, \text{ГКС}}$
(Т.е. обект/движение в ЛКС може да се проектира в ГКС чрез умножение с M)

Експеримент с две координатни системи

- Топат се топки вертикално в едната
- Получава се топането им в другата



Обхождане на скелет

Създаване

- Всяка става си има ЛКС и всяка кост към нея е дефинирана спрямо нея
- Няма интерес към това коя става как е завъртана

Обхождане

- Преминава се от една ЛКС към друга чрез умножение на матрици

Реализация
с трансформации

Скелети с трансформации

Три еквивалентни подхода

- Скелети с костенурка
- Скелети с ЛКС
- Скелети с трансформации

Защото

- Всеки преход от една към друга координатна система
е умножение с матрица

Наблюдателност

- Матрицата от АКС има пълна 3D трансляция и ротация
- Създадена е без тригонометрична борба

$$M = \begin{pmatrix} x_\chi & x_v & x_\zeta & x_\tau \\ y_\chi & y_v & y_\zeta & y_\tau \\ z_\chi & z_v & z_\zeta & z_\tau \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Обхождане на скелет

Създаване

- За всяка става има матрица
- Няма интерес към това коя става как е завъртяна и къде е в пространството

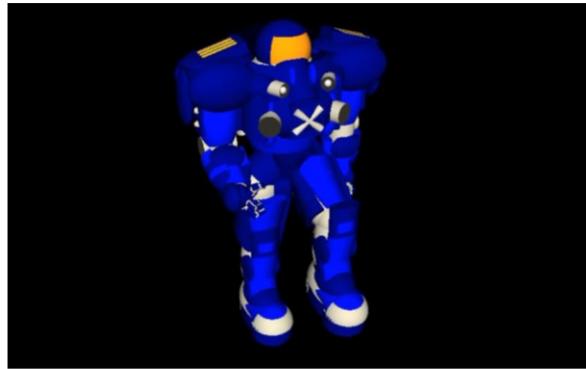
Обхождане

- Координатите на кост спрямо основната става става чрез умножение на всички ставни матрици до нея

съществително
глагол

Модел направен от студент

- Движението е чрез трансформации
- Само основни трансформации, чиито матрици се умножават в реално време



“Blue Marine”

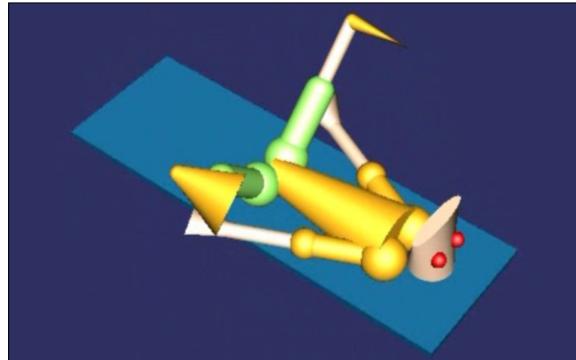
<http://youtu.be/mLIL0ujQqYE>

Други примери с трансформации

- Чаша с генетични деформации
- Упражнения по аеробика



“A mug with a DNA”
<http://youtu.be/Kjb3U576am4>



“Aerobics”
<http://youtu.be/6U-Hg-LiFLY>

Въпроси?

Повече информация

AGO2 стр. 141-146
PARE стр. 175-192

А също и:

- Degrees of Freedom
http://www.robotics.utexas.edu/rrg/learn_more/low_ed/dof/
- Articulated Robots
<http://www.princeton.edu/~stengel/MAE345Lecture2.pdf>
- OpenGL:Tutorials:Basic Bones System
http://content.gpwiki.org/index.php/OpenGL:Tutorials:Basic_Bones_System

Край