

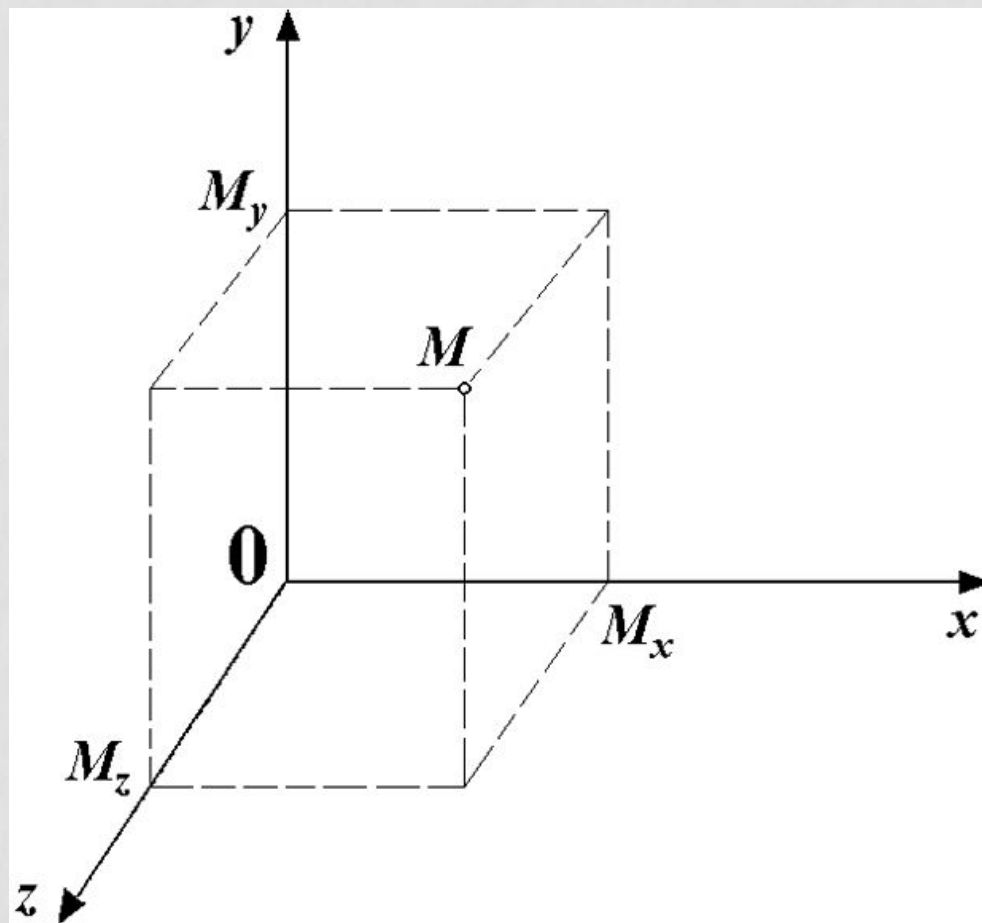
ГЕОМЕТРИЯ В 3D- ПРОСТРАНСТВЕ

ЛЕКЦИЯ 5

КООРДИНАТЫ ТОЧКИ

- В трехмерном пространстве положение каждой точки задается набором из 3 вещественных чисел – координат точки
- Так же, как и в двумерном случае, самыми распространенными являются декартова и полярная системы координат
- Декартовы координаты точки x, y, z – это проекции точки на оси абсцисс (Ox), ординат (Oy) и аппликата (Oz)

ДЕКАРТОВА СК



СФЕРИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ

Сферические координаты являются обобщением полярных координат на случай трехмерного пространства, получаемого путем добавления еще одного координатного угла

Сферические координаты точки r , θ , φ проще всего ввести, используя декартову систему координат

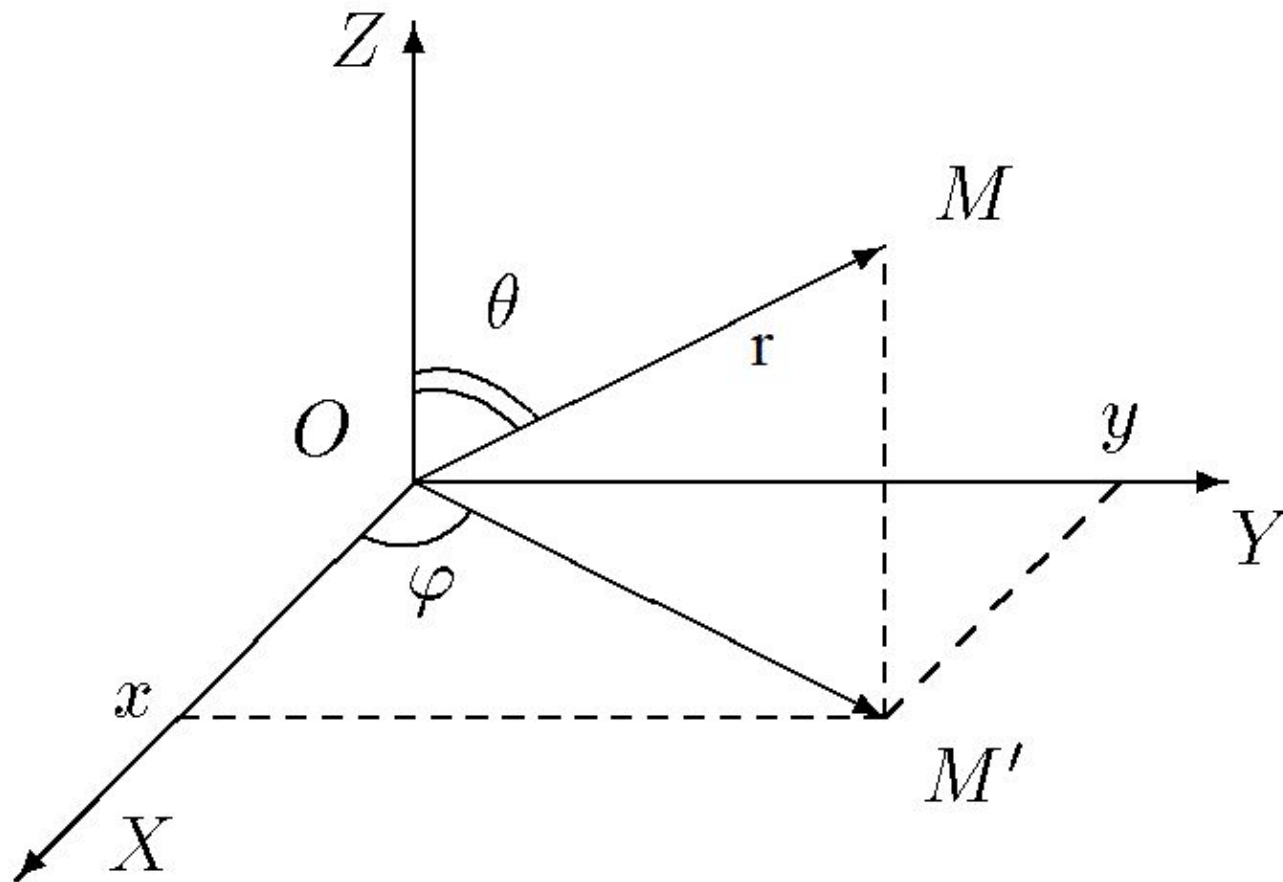
В этом случае они имеют следующий смысл:

r — длина радиус-вектора точки (расстояние до нее от начала координат),

θ — полярный угол (угол, образованный радиус-вектором точки с осью OZ),

φ — азимутальный угол (угол, образованный проекцией радиус-вектора точки на плоскость XOY с осью OX)

СФЕРИЧЕСКАЯ СК



ВЗАИМОСВЯЗЬ ДЕКАРТОВЫХ И СФЕРИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ТОЧКИ

- Декартовы координаты следующим образом выражаются через полярные:

$$x = r \times \sin(\theta) \times \cos(\varphi)$$

$$y = r \times \sin(\theta) \times \sin(\varphi)$$

$$z = r \times \cos(\theta)$$

- Соответственно, полярные координаты можно выразить через декартовы:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\cos \theta = z/r, \quad \tan \varphi = y/x$$

ОБЪЕКТЫ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

- Для описания объектов конечных размеров с объектом, как и в двумерном случае, связывают *объектную систему координат*
- Как правило, объектная система координат выбирается так, чтобы объект в ней описывался наиболее простым образом
- В частности, при наличии у объекта оси симметрии с ней совмещают одну из координатных осей

ОРИЕНТАЦИЯ ОБЪЕКТА В ПРОСТРАНСТВЕ

Ориентация объекта в пространстве определяется ориентацией осей объектной системы координат относительно осей мировой СК

В отличие от случая плоского двумерного пространства в трехмерном пространстве ориентация объектной системы координат относительно мировой системы задается тремя углами, выбор которых может быть сделан по-разному

ПОВОРОТ ОБЪЕКТНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Наиболее часто используется способ, предложенный в 1748 году Леонардом Эйлером, а соответствующий набор углов называют *эйлеровыми углами*

Эйлеровы углы можно рассматривать как углы трех последовательных поворотов, в результате которых оси X', Y', Z' одной декартовой системы координат (объектной) становятся параллельными осям X, Y, Z другой декартовой системы координат (мировой)

ЭЙЛЕРОВЫ УГЛЫ

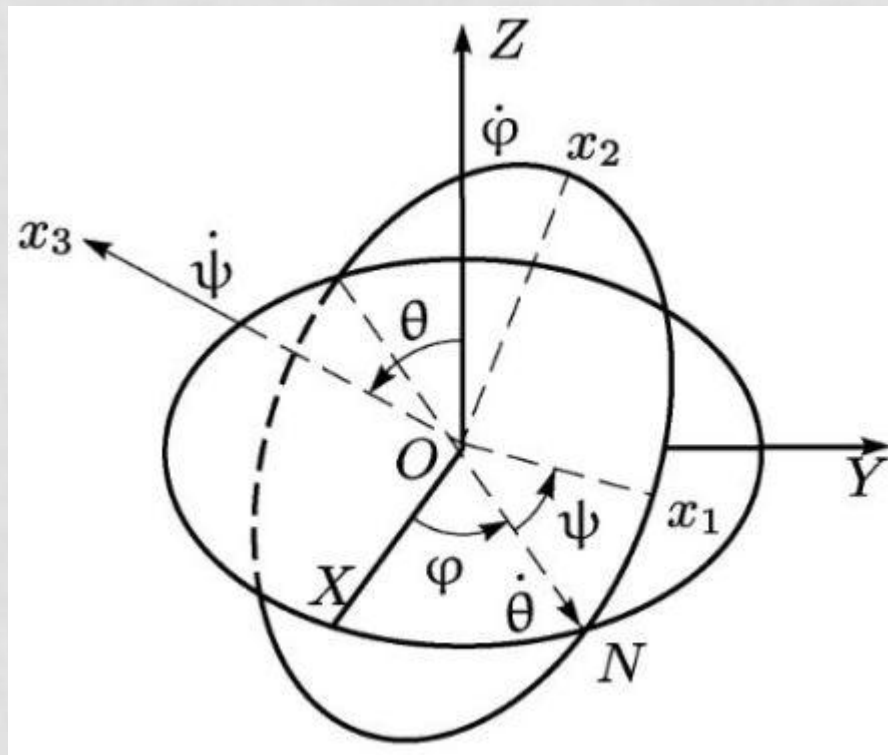
Согласно Эйлеру для этого необходимо выполнить следующую последовательность поворотов

- поворот вокруг оси Z' на угол ψ , называемый *углом прецессии*, такой, чтобы ось абсцисс ОСК совпала с нормалью к плоскости ZZ' ; оси абсцисс и ординат переходят в положения X'' и Y'' , соответственно, причем X'' оказывается в плоскости XOY , перпендикулярной оси Z

ЭЙЛЕРОВЫ УГЛЫ

- поворот вокруг оси X'' на угол θ , называемый *углом нутации*, такой, чтобы ось Z' совпала с осью Z ; при этом ось ординат ОСК также оказывается в плоскости XOY и занимает положение Y'''
- поворот вокруг оси Z на угол ϕ , называемый *углом собственного вращения*, такой, что оси абсцисс и ординат совпали с осями X и Y , соответственно

ПОВОРОТ ОБЪЕКТНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ



ФОРМУЛЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Преобразование координат

➤ Декартовы координаты следующим образом выражаются через полярные:

$$\begin{aligned}x &= r \times \sin(\theta) \times \cos(\varphi) \\y &= r \times \sin(\theta) \times \sin(\varphi) \\z &= r \times \cos(\theta)\end{aligned}$$

➤ Соответственно, полярные координаты можно выразить через декартовы:

$$\begin{aligned}r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \cos \theta &= z/r, \quad \tan \varphi = y/x\end{aligned}$$

➤ Декартовы координаты следующим образом выражаются через полярные:

$$\begin{aligned}x &= r \times \sin(\theta) \times \cos(\varphi) \\y &= r \times \sin(\theta) \times \sin(\varphi) \\z &= r \times \cos(\theta)\end{aligned}$$

➤ Соответственно, полярные координаты можно выразить через декартовы:

$$\begin{aligned}r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \cos \theta &= z/r, \quad \tan \varphi = y/x\end{aligned}$$

➤ Декартовы координаты следующим образом выражаются через полярные:

$$\begin{aligned}x &= r \times \sin(\theta) \times \cos(\varphi) \\y &= r \times \sin(\theta) \times \sin(\varphi) \\z &= r \times \cos(\theta)\end{aligned}$$

➤ Соответственно, полярные координаты можно выразить через декартовы:

$$\begin{aligned}r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \cos \theta &= z/r, \quad \tan \varphi = y/x\end{aligned}$$

Матрица поворота

➤ Декартовы координаты следующим образом выражаются через полярные:

$$\begin{aligned}x &= r \times \sin(\theta) \times \cos(\varphi) \\y &= r \times \sin(\theta) \times \sin(\varphi) \\z &= r \times \cos(\theta)\end{aligned}$$

➤ Соответственно, полярные координаты можно выразить через декартовы:

$$\begin{aligned}r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \cos \theta &= z/r, \quad \tan \varphi = y/x\end{aligned}$$

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЙЛЕРОВЫХ УГЛОВ

- Эйлеровы углы традиционно используются в механике для задания ориентации твердого тела в трехмерном пространстве
- Однако это сопряжено с определенным неудобством, связанным с вращением вокруг промежуточного положения одной из осей
- В компьютерной графике применяют аффинные преобразования координат, избавленные от этого недостатка

АФФИННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

- В трехмерном пространстве (3D) положение точки может быть задано в однородных координатах $p(x, y, z, 1)$
- Любое аффинное преобразование в 3D-пространстве также как и в пространстве двумерном можно представить в виде суперпозиции операций поворота, растяжения, отражения и переноса

МАТРИЦЫ ВРАЩЕНИЯ

■ Вращение на угол φ вокруг оси абсцисс:

$$R_x(\varphi) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \\ 0 & -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

МАТРИЦЫ ВРАЩЕНИЯ

Вращение на угол ψ вокруг оси ординат:

$$R_y(\psi) = \begin{vmatrix} \cos(\psi) & 0 & -\sin(\psi) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\psi) & 0 & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

МАТРИЦЫ ВРАЩЕНИЯ

Вращение на угол χ вокруг оси аппликат :

$$R_z(\chi) = \begin{vmatrix} \cos(\chi) & \sin(\chi) & 0 & 0 \\ -\sin(\chi) & \cos(\chi) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

ПРОЧИЕ МАТРИЦЫ

Матрицы растяжения/сжатия, матрицы отражения относительно координатных плоскостей и матрица перемещения легко могут быть построены по аналогии с 2D-пространством

ПОВОРОТ ОБЪЕКТНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Так же, как и при использовании эйлеровых углов, совмещение осей объектной системы координат с осями мировой системы координат достигается тремя поворотами

Для совмещения оси OZ' с осью OZ необходимо выполнить два поворота

Поворот на некоторый угол φ вокруг оси OX до совмещения оси OZ' с плоскостью XOZ ; при этом оси OZ и OZ' оказываются лежащими в одной плоскости

ПОВОРОТ ОБЪЕКТНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Математически такой поворот описывается следующей матричной операцией:

$$(x'', y'', z'', 1) = (x', y', z', 1) * R_x(\varphi)$$

2. Поворот на некоторый угол ψ вокруг оси OY до совмещения оси OZ' с осью OZ ; при этом плоскость $X''OY''$ совмещается с плоскостью XOY :

$$(x''', y''', z, 1) = (x'', y'', z'', 1) * R_y(\psi)$$

ПОВОРОТ ОБЪЕКТНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

- Последний поворот выполняется на некоторый угол χ вокруг оси OZ до совмещения осей OX''' и OY''' с осями OX и OY , соответственно:

$$(x, y, z, 1) = (x''', y''', z, 1) * R_z(\chi)$$

- Таким образом, имеем:

$$(x, y, z, 1) = (x', y', z', 1) * R(\varphi, \psi, \chi),$$

где $R(\varphi, \psi, \chi) = R_x(\varphi) * R_y(\psi) * R_z(\chi)$

МАТРИЦА ПОВОРОТА

- Полная матрица поворота, полученная перемножением трех матриц имеет вид:

$$R(\varphi, \psi, \chi) = \begin{vmatrix} \cos(\psi) \cdot \cos(\chi) & \cos(\psi) \cdot \sin(\chi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\varphi) \cdot \sin(\psi) \cdot \cos(\chi) - \cos(\varphi) \cdot \sin(\chi) & \sin(\varphi) \cdot \sin(\psi) \cdot \sin(\chi) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\chi) & \sin(\varphi) \cdot \cos(\psi) & 0 \\ \cos(\varphi) \cdot \sin(\psi) \cdot \cos(\chi) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\chi) & \cos(\varphi) \cdot \sin(\psi) \cdot \sin(\chi) - \sin(\varphi) \cdot \cos(\chi) & \cos(\varphi) \cdot \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

АЛГОРИТМЫ ПРОЕКЦИРОВАНИЯ

ЗАДАЧА ПРОЕЦИРОВАНИЯ

- Отображение некоторого множества точек S пространства R^n на другое пространство R^m той же или меньшей размерности называется проецированием S на R^m , а полученный образ - проекцией S
- Частным случаем проецирования является изображение трехмерного объекта на плоскости.

ПОСТРОЕНИЕ ПРОЕКЦИЙ

- Для построения проекции выбирается некоторая точка — центр проецирования — и плоскость проецирования или картинная плоскость
- Из центра проецирования через каждую точку P изображаемого объекта проводится луч, пересечение которого с *картинной плоскостью* является проекцией P' этой точки на плоскость

ВИДЫ ПРОЕКЦИЙ

- Если в качестве центра проецирования выбирается собственная точка пространства R^3 , то проекция называется *центральной* (*перспективной*), а проецирующий пучок лучей является расходящимся.
- Если же центром проецирования является несобственная точка, лучи проецирующего пучка параллельны и проекция называется *параллельной*.

ВИДЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ

- В зависимости от расположения картинной плоскости и координатных осей параллельные проекции делятся на
 - *ортографические,*
 - *аксонометрические,*
 - *косоугольные.*

ОРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

Картинная плоскость совпадает с одной из координатных плоскостей или параллельна ей. Матрица проецирования вдоль оси X на плоскость YOZ имеет вид:

$$P_x = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ОРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

□ В случае, если картинная плоскость параллельна плоскости YOZ , матрица проецирования умножается на матрицу параллельного сдвига вдоль оси X .

$$P_x = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ p & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ОРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

□ Аналогичным образом могут быть получены матрицы проецирования вдоль двух других координатных осей:

$$P_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & q & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad P_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r & 1 \end{pmatrix}$$

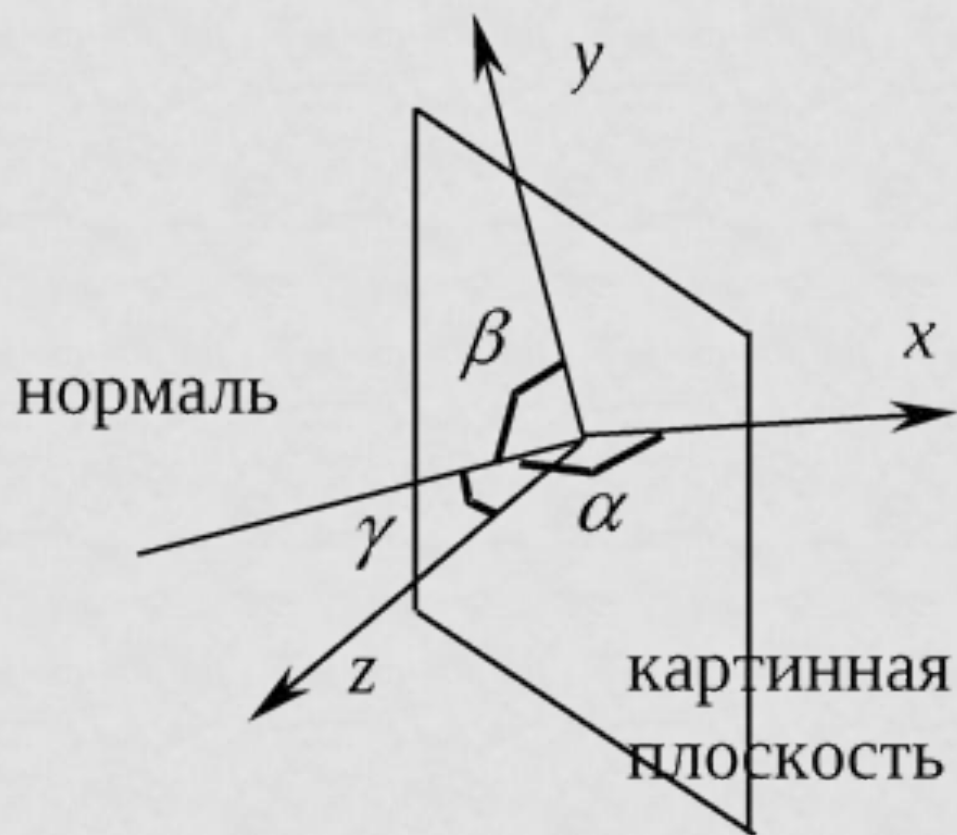
ВЫРОЖДЕННОСТЬ МАТРИЦ

- Матрицы проецирования являются вырожденными, т.е. проецирование является необратимой операцией
- Это отражает тот очевидный факт, что любое проецирование связано с потерей части информации об объекте, так что полное восстановление объекта по его единственной проекции невозможно

АКСОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

- При аксонометрической проекции проектирующие прямые также перпендикулярны картинной плоскости, однако сама картинная плоскость ориентирована в пространстве произвольным образом
- Ориентация картинной плоскости задается вектором нормали к этой плоскости

АКСОНОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКЦИРОВАНИЕ



ВИДЫ АКСОНОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

- В соответствии со взаимным расположением картинной плоскости и координатных осей различают три вида аксонометрических проекций:
 - *триметрическая проекция* – вектор нормали к картинной плоскости образует с осями координат попарно различные углы;
 - *диметрическая проекция* – два из трех указанных углов равны;
 - *изометрическая проекция* – все углы равны.

ПОСТРОЕНИЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

- Любая аксонометрическая проекция может быть получена комбинацией поворота до совмещения нормали к картинной плоскости с одной из координатных осей и последующего ортографического проецирования:

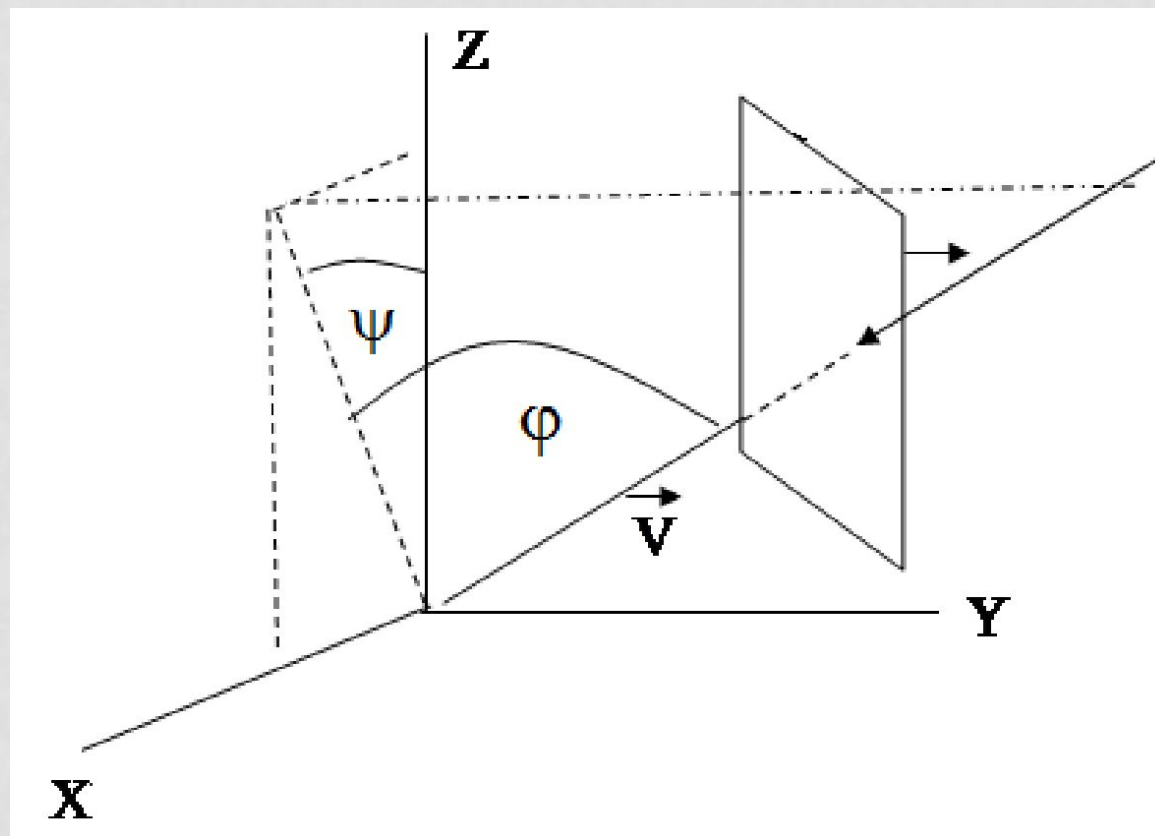
$$M = R * P$$

- Для совмещения произвольного вектора с координатной осью в пространстве требуется выполнить два поворота

ВЫБОР ПЛОСКОСТИ ПРОЕКЦИРОВАНИЯ

- В дальнейшем мы будем рассматривать фронтальные проекции объектов, то есть в качестве картинной плоскости выбирать плоскость XOY мировой системы координат
- Соответственно, перед выполнением фронтального проектирования потребуется совместить вектор нормали к картинной плоскости с осью OZ мировой системы координат

ВЫБОР УГЛОВ ПОВОРОТА



МАТРИЦА ПОВОРОТА

- Совмещение вектора нормали к картинной плоскости с осью OZ мировой системы координат достигается выполнением двух последовательных поворотов:

$$R = R_y(\Psi) * R_x(\varphi)$$

$$R_y = \begin{vmatrix} \cos(\psi) & 0 & -\sin(\psi) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\psi) & 0 & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad R_x = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \\ 0 & -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

ПОСТРОЕНИЕ АКСОНОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОЕКЦИИ

После перемножения матриц $R_y(\Psi)$ и $R_x(\varphi)$, а также последующего проецирования вдоль оси Z матрица преобразования примет вид:

$$M = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \varphi * \sin \psi & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & 0 & 0 \\ \sin \psi & -\sin \varphi * \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ТРИМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

□ При таком проецировании единичные орты координатных осей преобразуются следующим образом:

$$\mathbf{e}_x * \mathbf{M} = (1 \ 0 \ 0 \ 1) * \mathbf{M} = (\cos \psi, \sin \varphi * \sin \psi, 0, 1)$$

$$\mathbf{e}_y * \mathbf{M} = (0 \ 1 \ 0 \ 1) * \mathbf{M} = (0, \cos \varphi, 0, 1)$$

$$\mathbf{e}_z * \mathbf{M} = (0 \ 0 \ 1 \ 1) * \mathbf{M} = (\sin \psi, -\sin \varphi * \sin \psi, 0, 1)$$

ДИМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

- Равенство углов между нормалью к картинной плоскости и двумя координатными осями означает равенство проекций соответствующих ортов
- Например, равенство углов нормали с осями абсцисс и ординат означает, что:

$$\cos^2 \psi + \sin^2 \varphi * \sin^2 \psi = \cos^2 \varphi$$

ДИМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

□ Отсюда следует, что

$$\sin^2 \psi = \operatorname{tg}^2 \varphi$$

□ Теперь углы поворота вокруг осей ординат и абсцисс уже не являются независимыми и задание одного из них определяет возможные значения другого угла

□ Так, для $\psi = \pi/4$ угол φ может иметь значения, равные $\pm \operatorname{arctg} (\sqrt{1/2})$

ДИМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

- Аналогичным образом могут быть рассмотрены две другие диметрические проекции, соответствующие другим возможным выборам пар равных углов
- Вводится понятие стандартной диметрической проекции, при которой длины проекций единичных ортов на картинную плоскость находятся в отношении $2 : 2 : 1$

СТАНДАРТНАЯ ДИМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

□ Тогда из условий

$$\sin^2 \psi = \operatorname{tg}^2 \varphi$$

и

$$\cos^2 \varphi = 4 * (\sin^2 \psi + \sin^2 \varphi * \cos^2 \psi)$$

получим

$$\operatorname{tg}^2 \varphi = 1/8,$$

что приблизительно соответствует углам

$$\varphi = \pm 19,5^\circ \text{ и } \psi = \pm 20,7^\circ$$

СТАНДАРТНАЯ ДИМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

□ В случае, когда единичный вектор нормали к картинной плоскости лежит в 1-м октанте, $\varphi > 0$ и $\psi < 0$ и матрица диметрического проецирования равна:

$$M = \begin{pmatrix} 0,935 & -0,118 & 0 & 0 \\ 0 & 0,943 & 0 & 0 \\ -0,354 & -0,312 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ИЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

□ В этом случае все три проекции единичных ортов равны между собой, что приводит к равенствам:

$$\cos^2 \psi + \sin^2 \varphi * \sin^2 \psi = \cos^2 \varphi$$

$$\sin^2 \psi + \sin^2 \varphi * \cos^2 \psi = \cos^2 \varphi$$

□ Откуда следует, что

$$\sin^2 \varphi = 1/3, \sin^2 \psi = 1/2.$$

СТАНДАРТНАЯ ИЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

- Соответствует выбору $\psi = \pi/4$
- В этом случае матрица проецирования принимает вид:

$$M = \begin{pmatrix} 0,707 & -0,408 & 0 & 0 \\ 0 & 0,816 & 0 & 0 \\ -0,707 & -0,408 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

КОСОУГОЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ

- При косоугольном проецировании пучок проецирующих лучей не перпендикулярен картинной плоскости. Косоугольные проекции сочетают в себе свойства ортографических и аксонометрических проекций.
- При косоугольном проектировании орта $\mathbf{e}_z$ на плоскость XOY имеем:

$$(0, 0, 1, 1) \rightarrow (\alpha, \beta, 0, 1)$$

КОСОУГОЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ

Матрица соответствующего преобразования имеет вид:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \alpha & \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ВИДЫ КОСОУГОЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ

- Выделяют два вида косоугольных проекций:
 - свободную,
 - кабинетную.
- В случае свободной проекции угол наклона проецирующего пучка к картинной плоскости равен $\pi/4$ и, соответственно

$$\alpha = \beta = \cos \pi/4.$$

ВИДЫ КОСОУГОЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ

- Кабинетная проекция является частным случаем свободной проекции – масштаб по оси Z вдвое меньше. Тогда

$$\alpha = \beta = 0,5 * \cos \pi/4.$$

ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ

□ Пусть центр проецирования – точка S с координатами $(0, 0, c)$ на оси Z и картинная плоскость совпадает с координатной плоскостью XOY . Тогда уравнение прямой, проходящей через точку S и произвольную точку $M(x_0, y_0, z_0)$ будет иметь вид:

$$x = x_0 * t; y = y_0 * t; z = c + (z_0 - c) * t.$$

ЦЕНТРАЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ

□ Эта прямая пересекается с картинной плоскостью в точке с координатами

$$x_0' = c * x_0 / (c - z_0); y_0' = c * y_0 / (c - z_0); z_0' = 0.$$

□ Полученный результат соответствует преобразованию координат точки М с помощью матрицы

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ ТОЧКИ

□ В случае, когда центр проецирования имеет координаты (c_x, c_y, c_z) , а картинная плоскость, по-прежнему, совпадает с координатной плоскостью XOY матрица проецирования имеет вид:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -c_x/c_z & -c_y/c_z & 0 & -1/c_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ ТОЧКИ

□ Аналогичным образом можно получить матрицы центрального проецирования на плоскость XOZ

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -c_x/c_y & 0 & -c_z/c_y & -1/c_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ ТОЧКИ

□ и на плоскость YOZ

$$\begin{pmatrix} 0 & -c_y/c_x & -c_z/c_x & -1/c_x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОЕКЦИЯ ПРЯМОЙ

□ Центральной проекцией прямой также является прямая. Пусть

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0 + \mathbf{V}t$$

□ При центральном проецировании точки с координатами $(x, y, z, 1)$ этой прямой на плоскость ХУ получим:

$$\begin{aligned} x' &= (x_0 - s_x z_0 + (V_x - s_x V_z)t) / (1 - s_f z_0 - s_f V_z t), \\ y' &= (y_0 - s_y z_0 + (V_y - s_y V_z)t) / (1 - s_f z_0 - s_f V_z t), \quad z' = 0 \end{aligned}$$

ОСНОВНОЕ СВОЙСТВО ЦП

□ В пределе при $t \rightarrow \infty$ получим

$$\lim p'(t) = (c_x - V_x c_z / V_{z'}, c_y - V_y c_z / V_{z'}, 0, 1)$$

□ Это значит, что предельное положение (точка схода) прямой линии *не зависит* от положения точки p_0 , а определяется только положением центра проецирования S и направляющим вектором V

□ Следовательно, *пучок параллельных прямых проецируется в сходящийся пучок*