



中国科学院大学

University of Chinese Academy of Sciences

《机器人系统设计》 V-REP机器人仿真系统

第二节 机器人建模与传感器



中国科学院自动化研究所

Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences



V-REP 机器人建模



V-REP 机器人建模

■ V-REP 仿真中的模型有两种来源：

- 模型库
- 手动建立模型

■ 模型库：根据真实机器人建模，能够仿真机器人的运动学特征，大多使用逆运动学进行控制。内含机器人模型和场景模型。模型多为复杂多关节机器人。

- 优点：即拉即用，无需设计机器人机械结构。
- 缺点：模型复杂，不能按需设计机械结构。

■ 手动建立模型

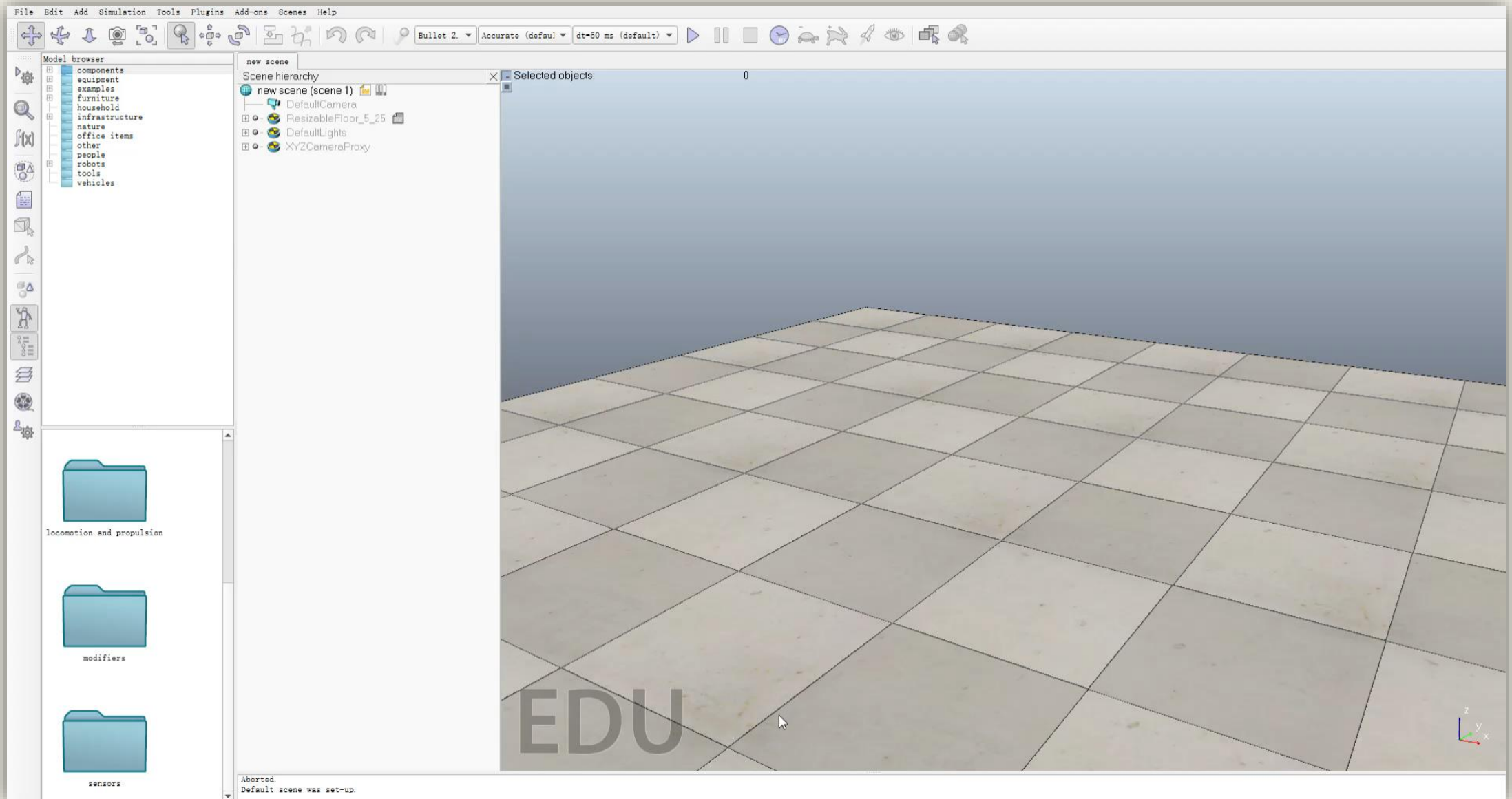
- 优点：结构灵活，可以按需设计
- 缺点：设计过程复杂



Models in the library

模型库

- 模型库提供了大量可供直接拖入场景的模型，在模型浏览器中选择自己所要使用的模型，拖入场景，调节模型的位置和角度，设置模型的参数。
- 例：使用模型浏览器建立简单场景
 - 新建场景，在层次结构浏览器中选择ResizableFloor_5_25(dummy)，在弹出的菜单中调整整个场景的大小。默认的场景大小为5x5，将其扩展为20x20。
 - 在模型浏览器窗口，选择robots->mobile->KUKA Omnirob.ttm，将小车模型拖入场景。
 - 在模型浏览器窗口，选择people->Bill on path.ttm，让Bill在场景中散步以当作障碍物。
 - 运行仿真，观察Bill的活动轨迹，以及小车激光雷达对Bill的扫描。





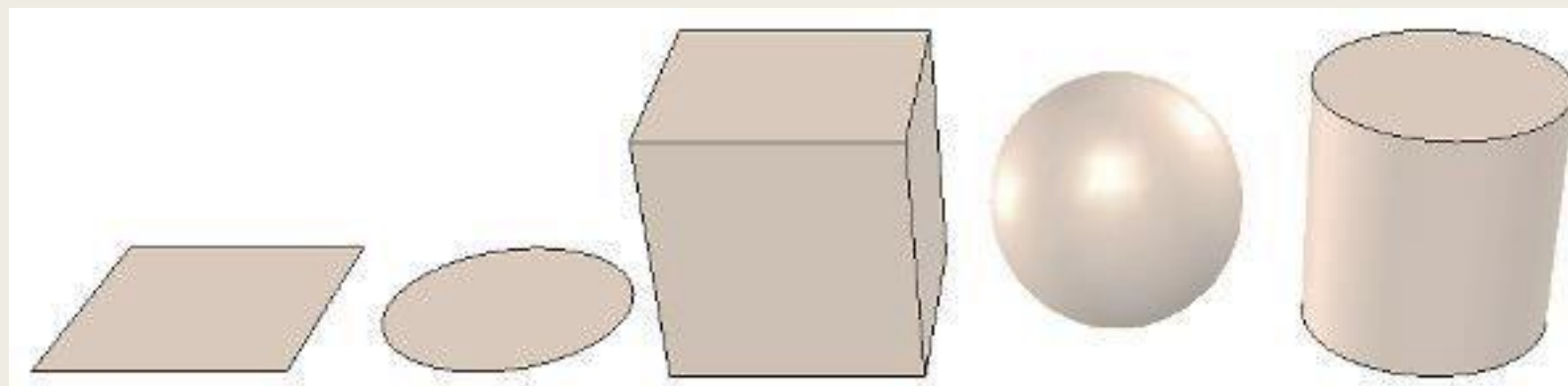
Building a clean model

manual design 手动建模

- 在V-REP机器人仿真中的最重要的一步，就是建立一个外观逼真(similar appearance)，能够快速显示(fast displaying)，能够快速进行仿真(fast simulation)的模型。
- 手动建模包括
 - *Visible shape*: 建立机器人的可视外观
 - *Dynamic shape*: 机器人的物理模型

手动建模: building visible shape

- 建立模型的第一步, 就是在视觉方面(visual aspect)对机器人进行建模。
 - 通过使用 *primitive shape*(原始形状) 进行建模: 只使用简单的几何体组合进行建模。
 - Trade-off: primitive shape 可以快速仿真, 然而不能精确表示模型外观。
Fast but not accurate!
- Primitive shape: V-REP中提供了几种常见的形状, 使用这些形状可以快速优化求解动态仿真。



正方形

圆形

立方体

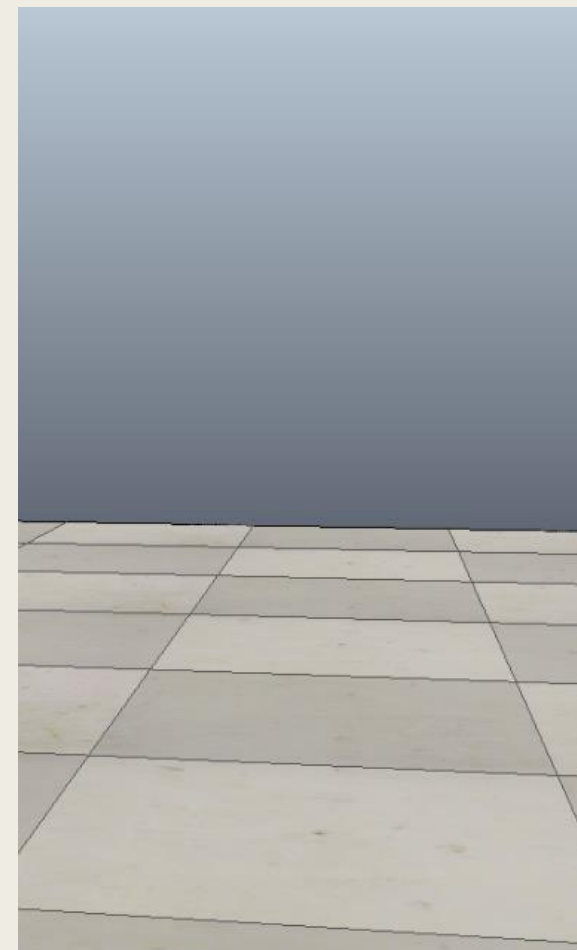
球体

圆柱体



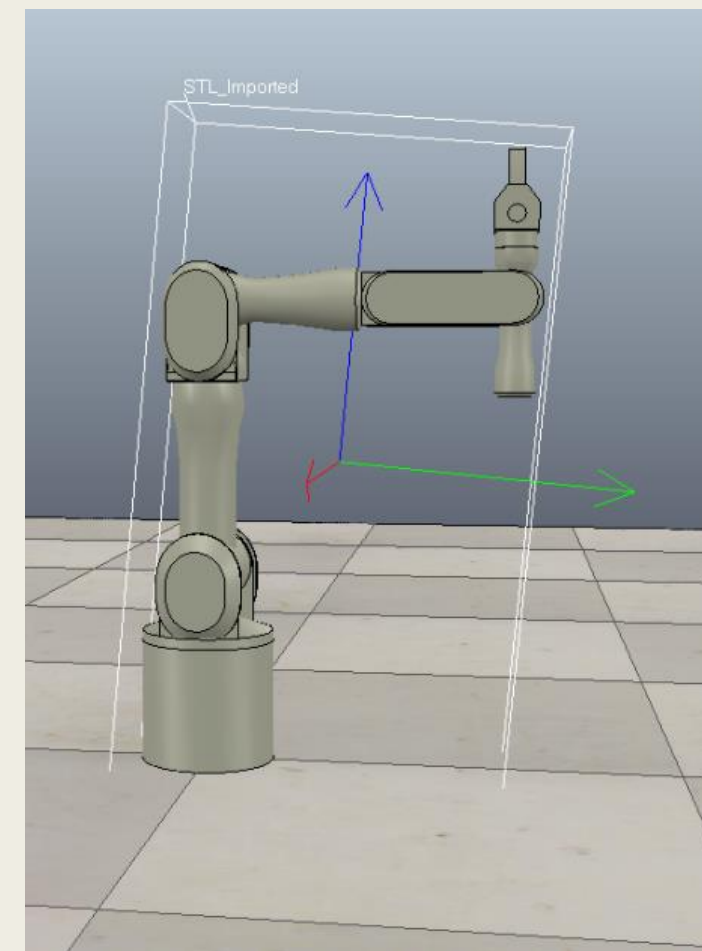
手动建模： Import Mesh 导入模型

- 当然，V-REP 同时支持导入专业的CAD设计模型，支持多种格式， OBJ, STL, DXF, 3DS (Windows only), and Collada. URDF. 最常使用的是 .stl 格式的文件。
- 导入的三维模型使用了三角面构成，三角面数量过大，也会减慢仿真的速度。建议总数不超过20,000个三角面。否则模型会显得太heavy!
 - 建立场景，菜单 *File->Import->Mesh..*，在弹出的菜单中选择 安装文件夹 */cadFiles/redundantManipulator.stl*，导入机械臂模型
 - 将导入的机械臂模型坐标轴方向与世界坐标系对齐：菜单 *Edit->Reorient bounding box->with reference frame of world*



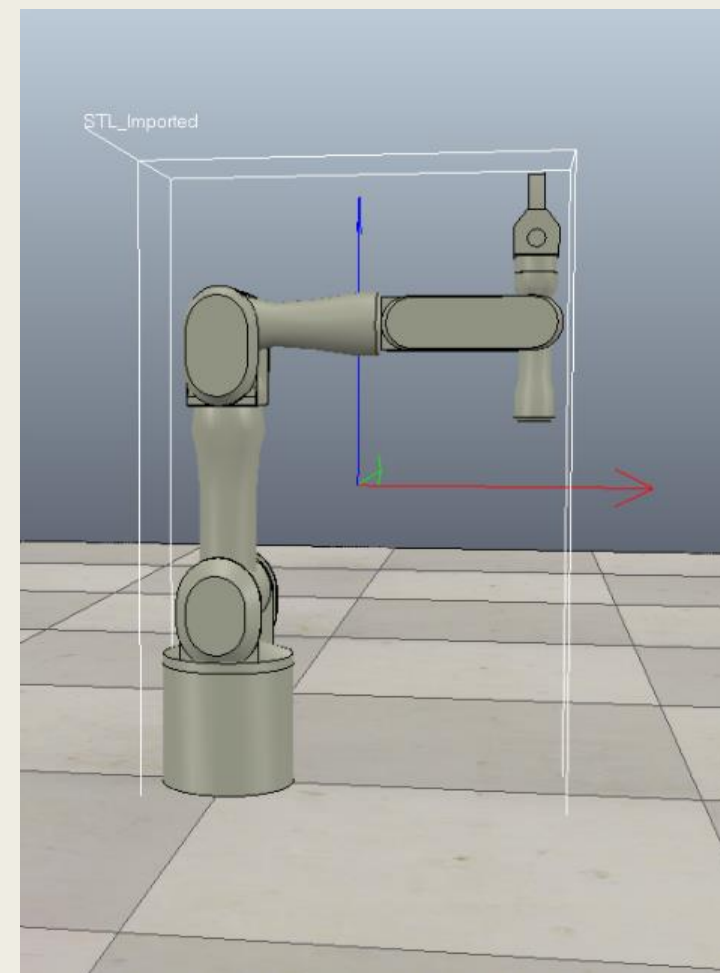
手动建模： Import Mesh 导入模型

- 当然，V-REP 同时支持导入专业的CAD设计模型，支持多种格式， OBJ, STL, DXF, 3DS (Windows only), and Collada. URDF. 最常使用的是 .stl 格式的文件。
- 导入的三维模型使用了三角面构成，三角面数量过大，也会减慢仿真的速度。建议总数不超过20,000个三角面。否则模型会显得太heavy!
 - 建立场景，菜单 *File->Import->Mesh..*，在弹出的菜单中选择 安装文件夹 */cadFiles/redundantManipulator.stl*，导入机械臂模型
 - 将导入的机械臂模型坐标轴方向与世界坐标系对齐：菜单 *Edit-> Reorient bounding box->with reference frame of world*



手动建模： Import Mesh 导入模型

- 当然，V-REP 同时支持导入专业的CAD设计模型，支持多种格式， OBJ, STL, DXF, 3DS (Windows only), and Collada. URDF. 最常使用的是 .stl 格式的文件。
- 导入的三维模型使用了三角面构成，三角面数量过大，也会减慢仿真的速度。建议总数不超过20,000个三角面。否则模型会显得太heavy!
 - 建立场景，菜单 *File->Import->Mesh..*，在弹出的菜单中选择 安装文件夹 */cadFiles/redundantManipulator.stl*，导入机械臂模型
 - 将导入的机械臂模型坐标轴方向与世界坐标系对齐：菜单 *Edit-> Reorient bounding box->with reference frame of world*





手动建模：简化模型

- 导入的CAD模型在场景中会被作为单独的网格，我们需要对其进行合适的简化。
 - 使用 *Automatic mesh division* 自动网格拆分功能：将不存在公共边的元素拆分为新的shape
 - 操作：Menu bar --> Edit --> Grouping/Merging --> Divide selected shapes
 - 或者 *Extract the convex hull* 对网格提取凸包：
 - 凸包：几何学中，可以不严谨地理解为集合体最外侧点之间建立平面，将整个集合体包裹在内的外壳
 - 操作：Menu bar --> Edit --> Morph selection into convex shapes
 - *Decimate the mesh*：简化网格，减少网格中的三角形的数量
 - 操作：Menu bar --> Edit --> Decimate selected shape...
 - 导入的网格内部还包括了模型内表面的信息，也可以通过 *Remove the inside of the mesh*，进一步简化模型
 - 操作：Menu bar --> Edit --> Extract inside of selected shape

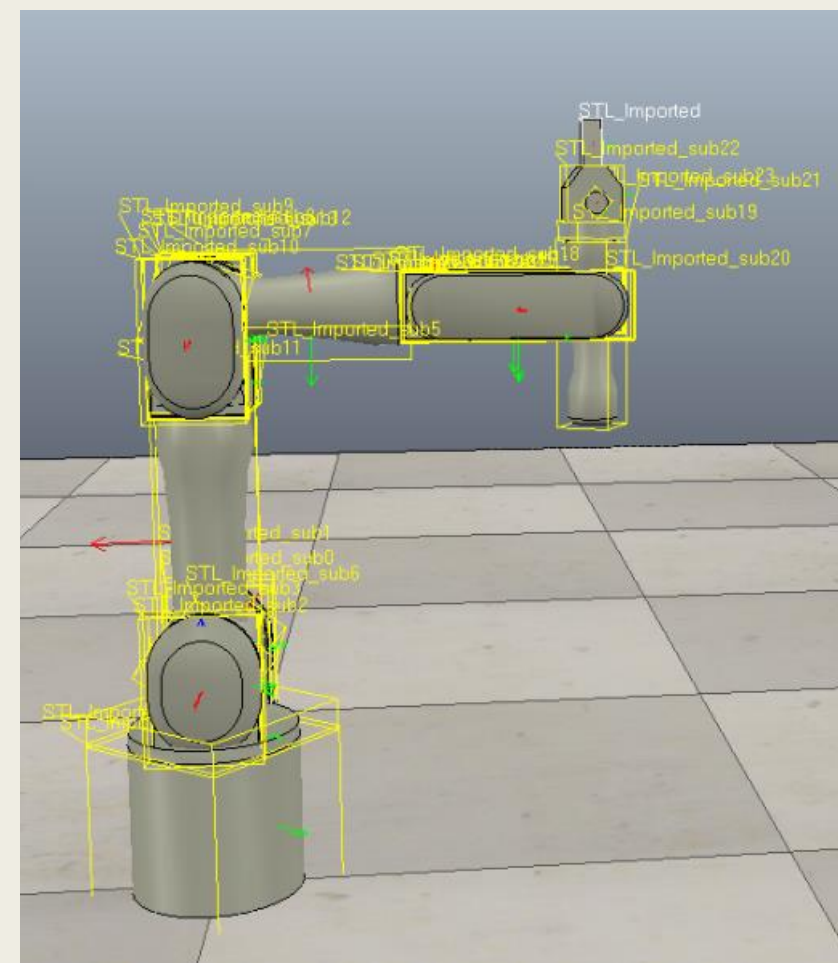
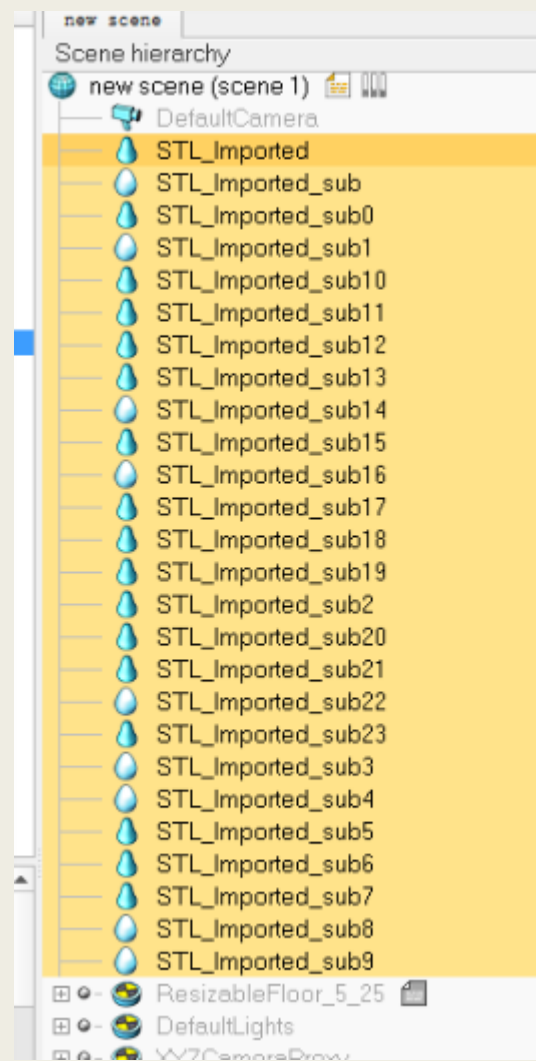


组合/拆分，融合/分解

- 简单实体可以通过组合(Group)和拆分(Ungroup)形成复杂形状，元素之间可以通过组合操作屏蔽相互的碰撞。已经组合的形状，也可以通过拆分，进行二次编辑。
- V-REP也提供了融合(Merge)以及分解(Divide)操作。融合与组合的区别在于：
 - 融合将实体以三角面组合形成新的实体，在分解后不能够完全还原原始实体。组合不影响物体本身的形状，拆分后可以还原原始形状。

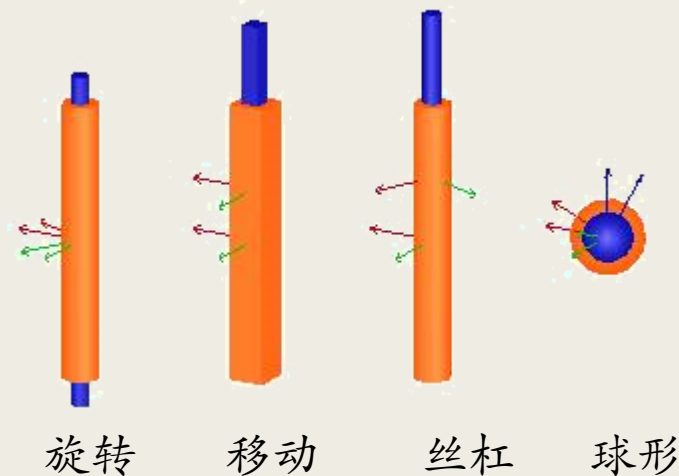
手动建模：拆分模型

- 我们需要对简化后的模型进行拆分，得到各个关节所需的link（链接）。拆分可以使用手动拆分，调用**triangle edit mode**。我们在这里只演示自动拆分功能。
- **Automatic mesh division:** 自动网格拆分既可以作为网格简化的手段，也可以作为结构拆分的工具。
 - 操作: *Menu bar --> Edit --> Grouping/merging --> Divide selected shapes*
 - 前面导入的模型会被拆分为多个部分



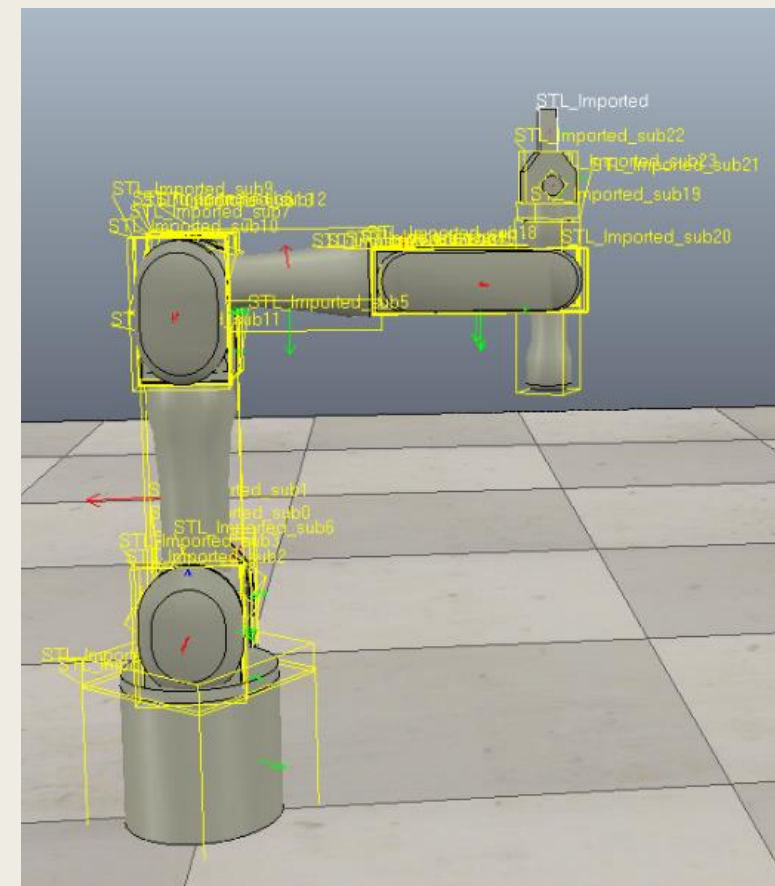
手动建模：添加关节 Adding Joints

- 在组合拆分模型的零件之前，我们需要添加机器人所需的相应关节。首先对准各个零件的坐标系，然后添加关节。
- Joint 关节：V-REP可以模拟四种关节
 - *Prismatic joint* 移动关节, 1 DoF(Degree of Freedom, 自由度)
 - *Revolute joint* 旋转关节, 1 DoF
 - *Screw joint* 丝杠关节, 1 DoF
 - *Spherical joint* 球形关节, 3 DoF



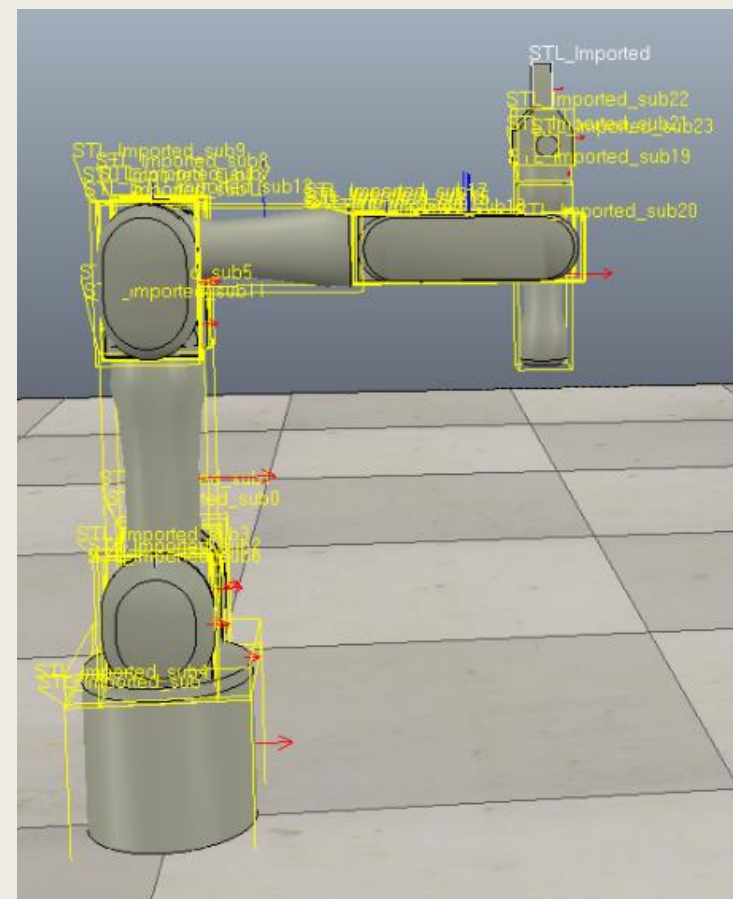
手动建模：添加关节 Adding Joints

- 操作1：对准零件的坐标系，Menu bar --> Edit--> Reorient bounding box-->with reference frame of world
 - 操作2：添加7个旋转关节，Menu bar --> Add --> Joint --> Revolute.
- 添加的关节需要安装在合适的位置和角度
- Ctrl 多选关节与对应的零件，选择工具栏object/item shift --> position --> apply to selection, 对齐关节位置
 - 选择工具栏object/item rotate --> orientation --> apply to selection, 对齐关节角度
- 调节关节的视觉效果



手动建模：添加关节 Adding Joints

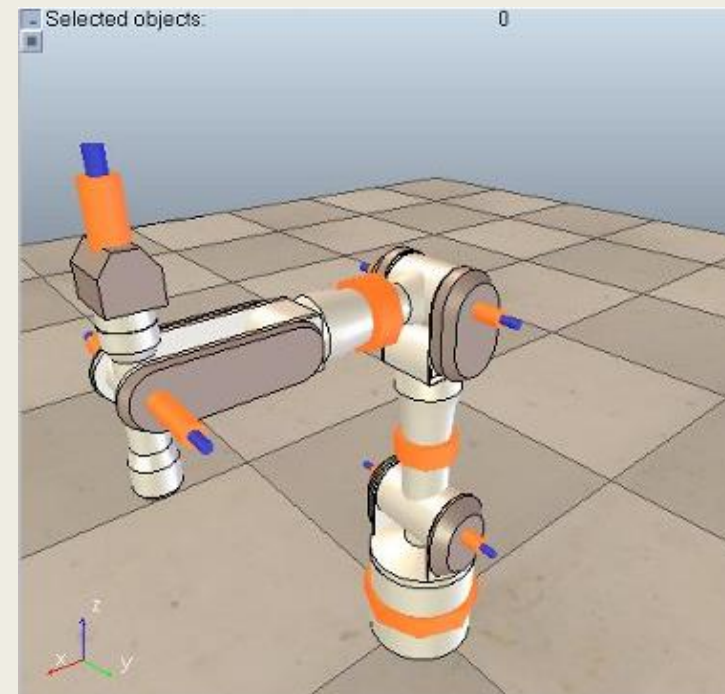
- 操作1：对准零件的坐标系，Menu bar --> Edit--> Reorient bounding box-->with reference frame of world
 - 操作2：添加7个旋转关节，Menu bar --> Add --> Joint --> Revolute.
- 添加的关节需要安装在合适的位置和角度
 - Ctrl 多选关节与对应的零件，选择工具栏object/item shift --> position --> apply to selection, 对齐关节位置
 - 选择工具栏object/item rotate --> orientation --> apply to selection, 对齐关节角度
 - 调节关节的视觉效果





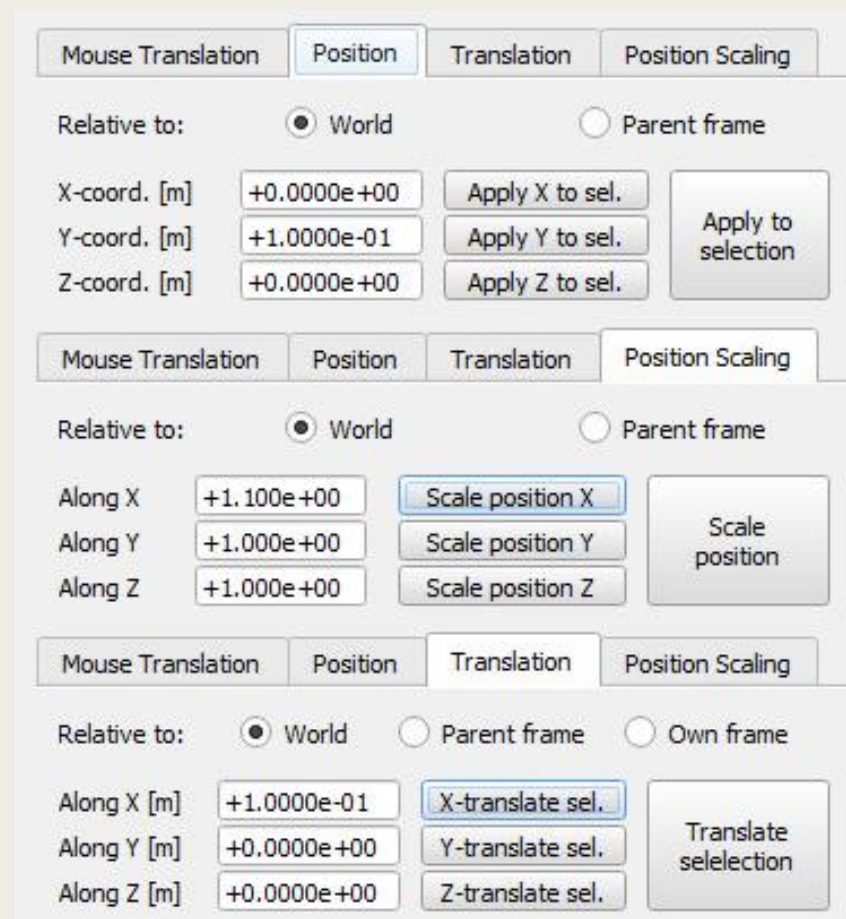
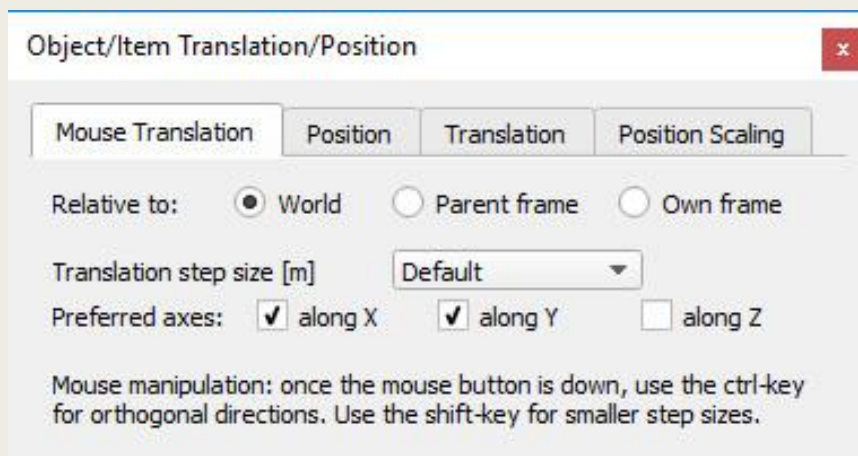
手动建模：添加关节 Adding Joints

- 操作1：对准零件的坐标系，Menu bar --> Edit--> Reorient bounding box-->with reference frame of world
 - 操作2：添加7个旋转关节，Menu bar --> Add --> Joint --> Revolute.
- 添加的关节需要安装在合适的位置和角度
- Ctrl 多选关节与对应的零件，选择工具栏object/item shift --> position --> apply to selection, 对齐关节位置
 - 选择工具栏object/item rotate --> orientation --> apply to selection, 对齐关节角度
- 调节关节的视觉效果



位姿调整

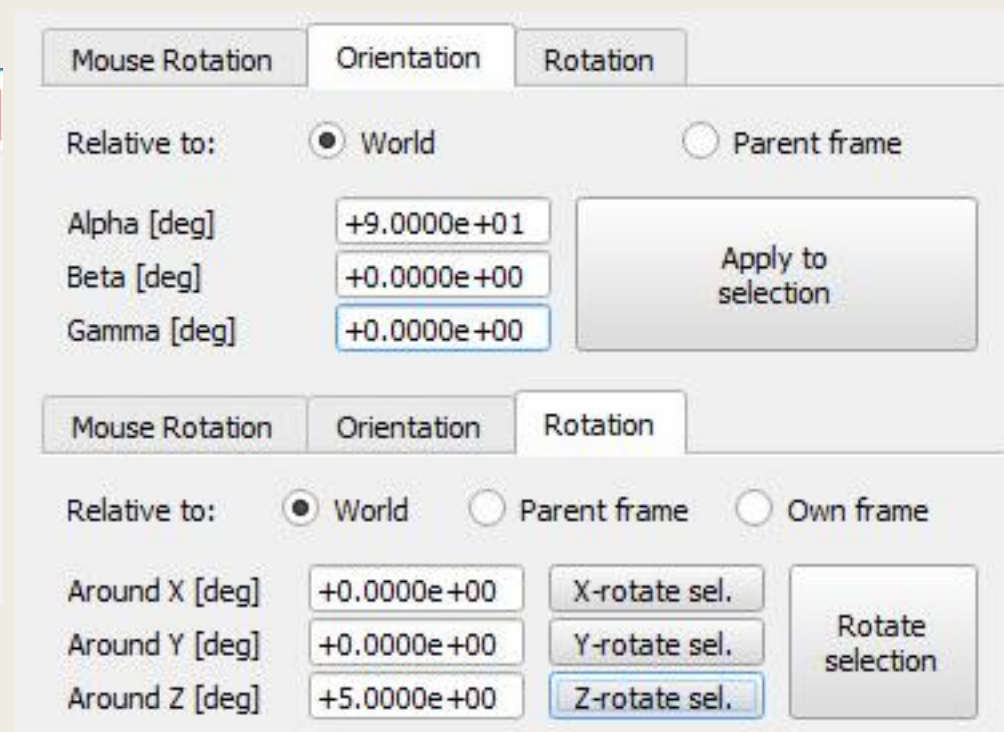
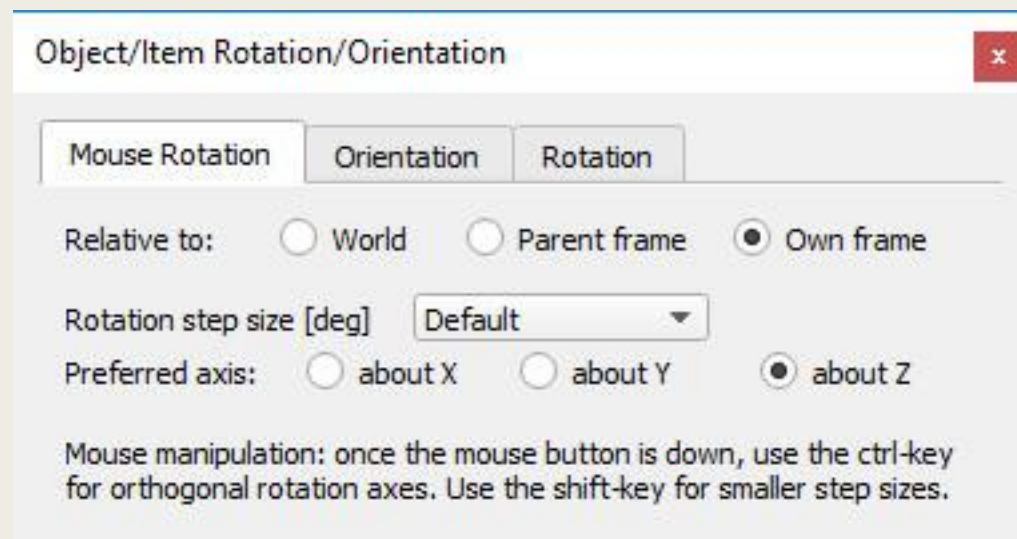
- 位置调整可以通过鼠标、绝对位置坐标和平移几种调整方法





位姿调整

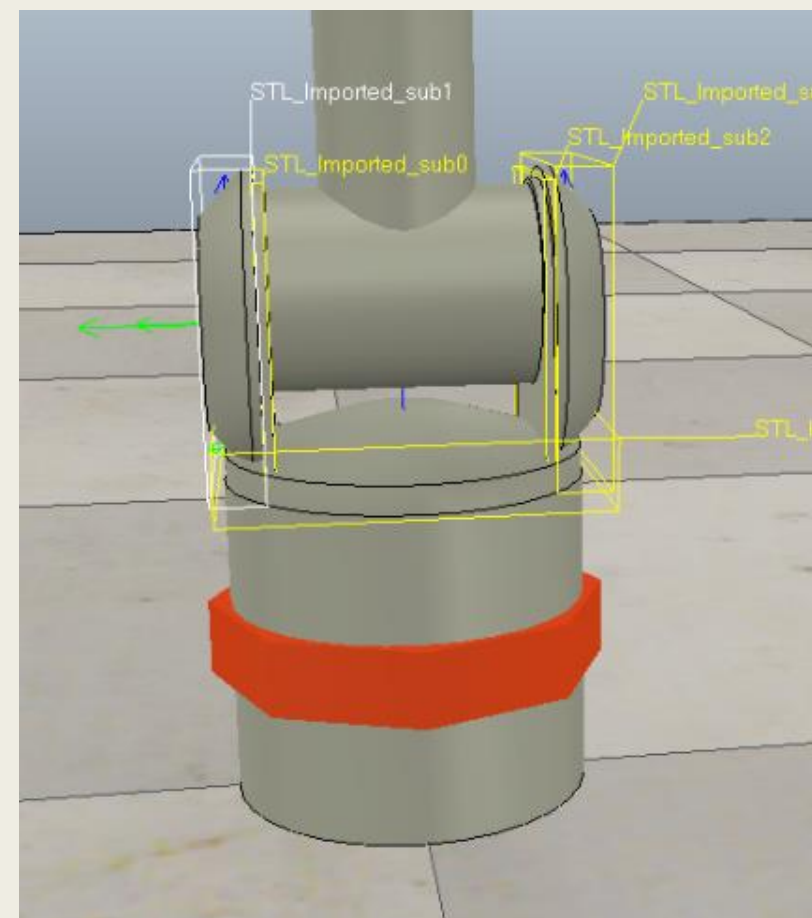
- 方向调整可以通过鼠标、欧拉角姿态调整和欧拉角旋转几种方法





手动建模：组合模型

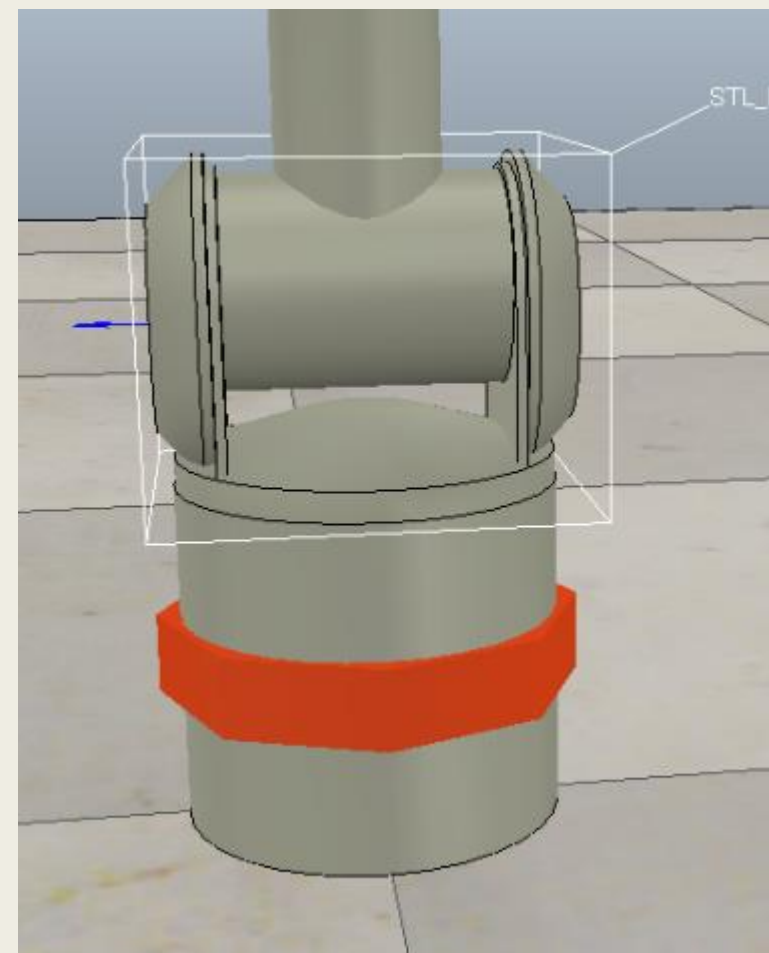
- 拆分后的模型还需要根据实际的模型连接关系进行重新的组合。
 - 分别在视图中ctrl选择需要连接的零件
 - 操作: *Menu bar --> Edit --> Grouping/merging -> Group selected shapes*
 - 重命名零件为redundantRob_link, 重命名关节为redundantRob_joint





手动建模：组合模型

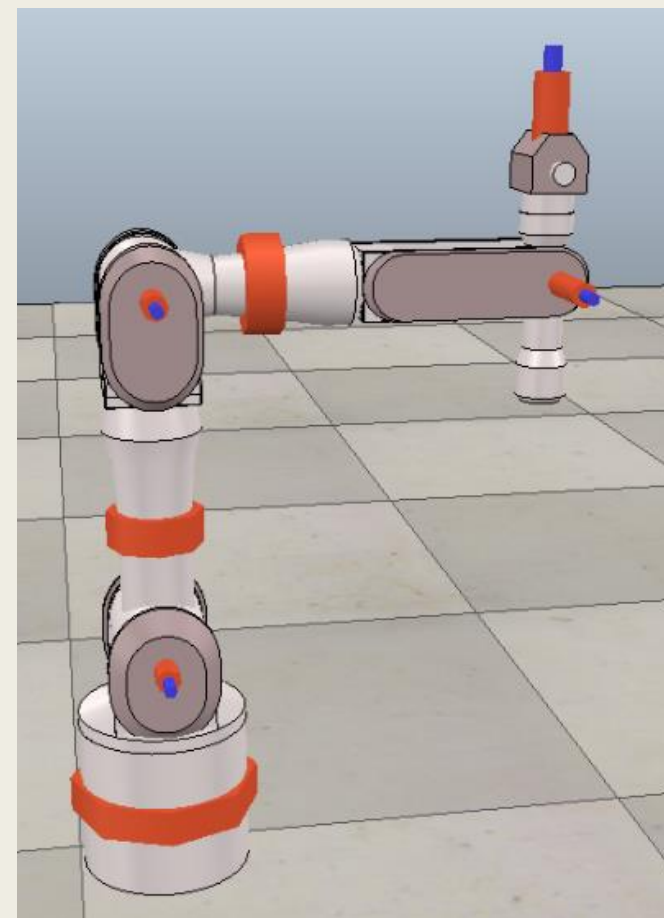
- 拆分后的模型还需要根据实际的模型连接关系进行重新组合。
 - 分别在视图中ctrl选择需要连接的零件
 - 操作: *Menu bar --> Edit --> Grouping/merging -> Group selected shapes*
 - 重命名零件为redundantRob_link, 重命名关节为redundantRob_joint





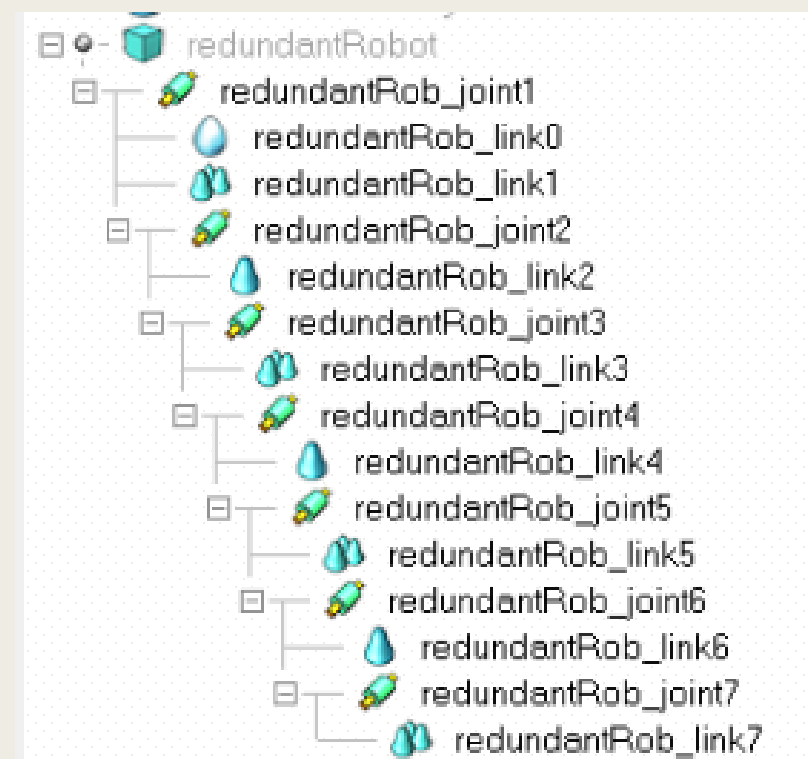
手动建模：组合模型

- 拆分后的模型还需要根据实际的模型连接关系进行重新组合。
 - 分别在视图中ctrl选择需要连接的零件
 - 操作: *Menu bar --> Edit --> Grouping/merging -> Group selected shapes*
 - 重命名零件为redundantRob_link, 重命名关节为redundantRob_joint



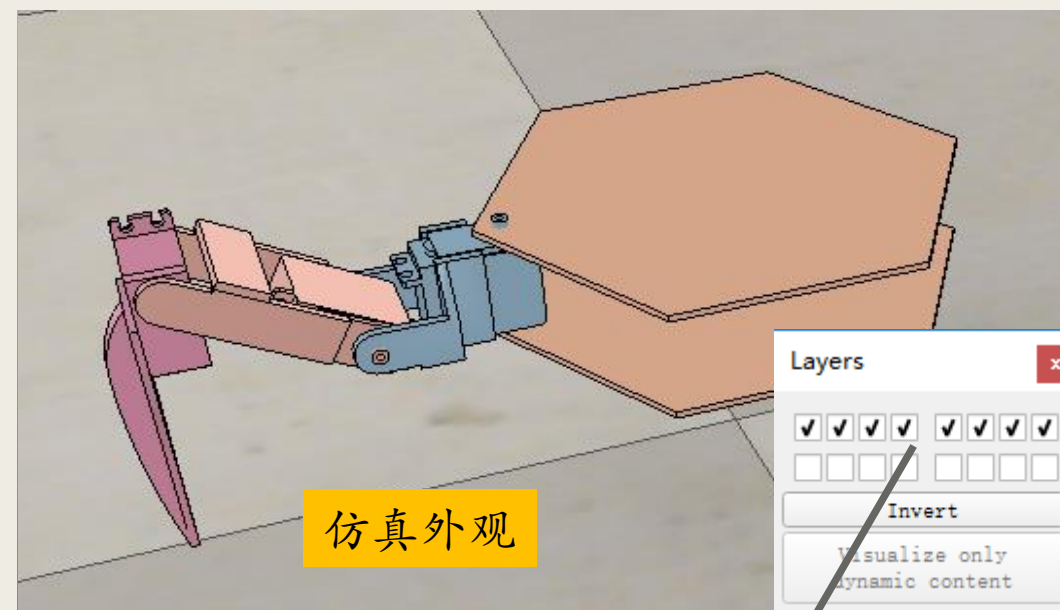
手动建模：调整层次结构与显示

- 在添加完关节，组合好形状后，我们需要根据真实的拖动关系组织自己的场景层次结构。
 - 通过拖动场景层次结构窗口(scene hierarchy)内的元素，形成完整的动态链(dynamic chain)
 - 一般情况下，都是通过关节拖动零件
- 为了区分外观层与物理层，需要通过配合相机与显示的mask，将物理层的关节隐藏
 - 使用左侧工具栏的Scene object properties按钮，打开关节的object common properties，设置关节的mask



外观层与物理层

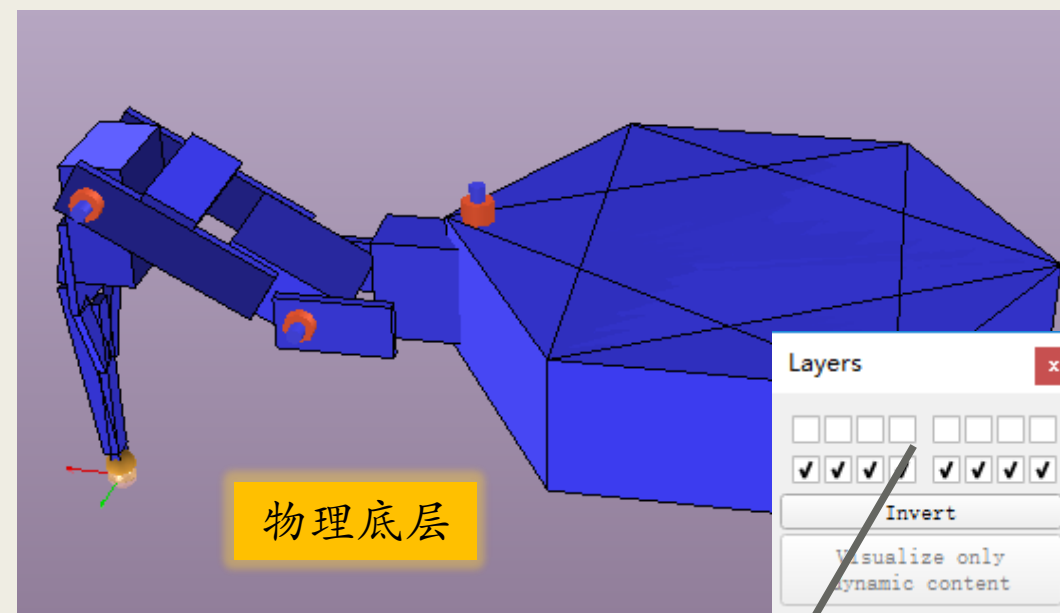
- V-REP仿真中，对复杂的网格构成的物理模型的仿真，由于计算量巨大，在速度上不能够达到要求。因此，为了能够在仿真中既能够保持机器人的外观，使环境中的传感器能够获取相同的视觉、距离数据，也使动力学模型能够快速计算，我们需要将视觉仿真和动力学仿真分开进行。
- 外观层：负责为视觉传感器提供测量数据，使用复杂的三维网格
- 物理层：使用简单的primitive shape，快速进行动力学仿真



注意所选的
的不同layer

外观层与物理层

- V-REP仿真中，对复杂的网格构成的物理模型的仿真，由于计算量巨大，在速度上不能够达到要求。因此，为了能够在仿真中既能够保持机器人的外观，使环境中的传感器能够获取相同的视觉、距离数据，也使动力学模型能够快速计算，我们需要将视觉仿真和动力学仿真分开进行。
- 外观层：负责为视觉传感器提供测量数据，使用复杂的三维网格
- 物理层：使用简单的primitive shape，快速进行动力学仿真

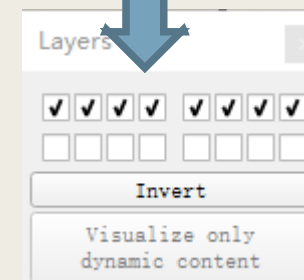
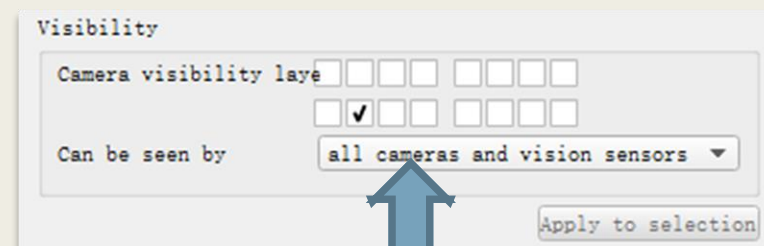
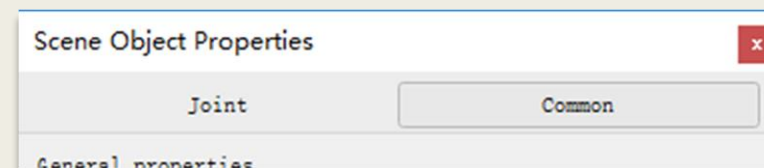


注意所选的
的不同layer

Object common property 物体共同属性

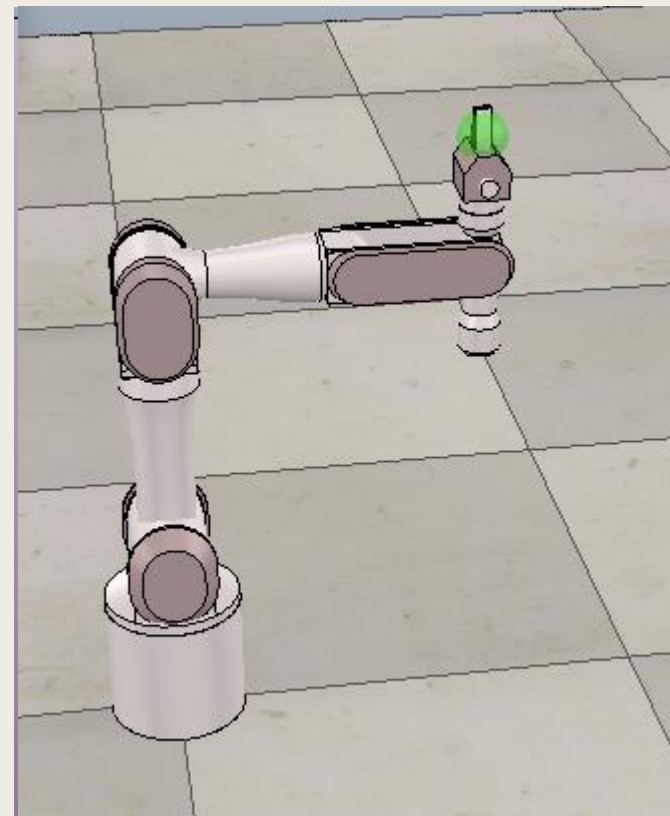


- 通过设置物体的common property, 可以实现对仿真层和物理层的区分, 也可以实现许多其他功能。
 - **Visibility** 菜单可以控制物体显示的mask, 通过与**Layer**菜单的选择配合, 可以实现对物体显示的区分



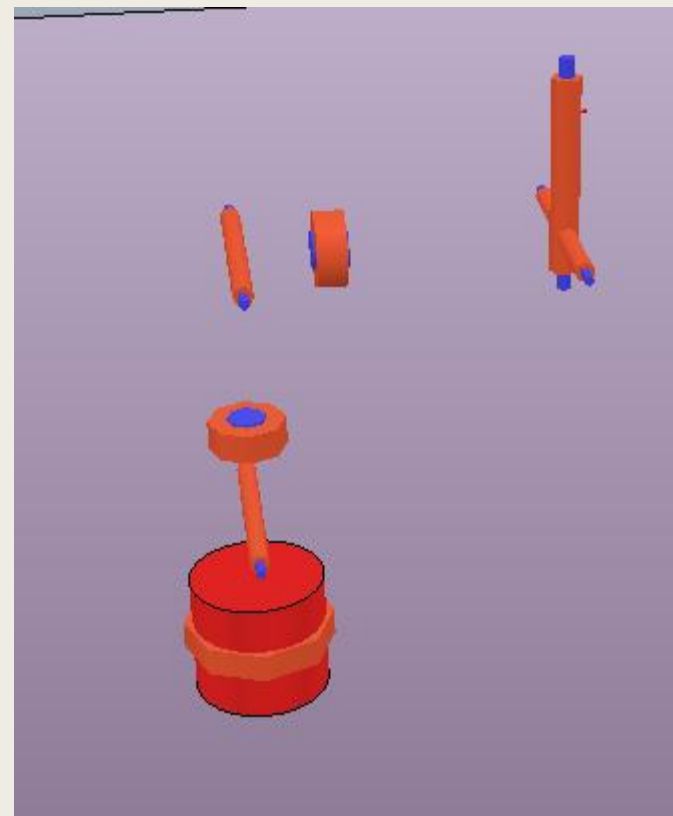
手动建模：添加动力学仿真模型

- 针对上面已经建立的外观模型，我们可以进一步抽象，产生合适的动力学仿真模型，使用primitive shape构建简单机器人，并将其和机器人外观重合。
 - 主要是使用圆柱和立方体建模
 - 不必考虑精确的装配关系，只需要能够完成相同的动力学要求即可。
- 例如为刚刚的机械臂底座添加动力学仿真模型
 - 操作：Menu Bar → Add → Primitive shape → Cylinder, (X-size, Z-size)=(0.14172, 0.12945)
 - 使用object/item shift 菜单，在position菜单中，点击apply to selection. 完成物理层的对齐。



手动建模：添加动力学仿真模型

- 针对上面已经建立的外观模型，我们可以进一步抽象，产生合适的动力学仿真模型，使用primitive shape构建简单机器人，并将其和机器人外观重合。
 - 主要是使用圆柱和立方体建模
 - 不必考虑精确的装配关系，只需要能够完成相同的动力学要求即可。
- 例如为刚刚的机械臂底座添加动力学仿真模型
 - 操作：Menu Bar → Add → Primitive shape → Cylinder, (X-size, Z-size)=(0.14172, 0.12945)
 - 使用object/item shift 菜单，在position菜单中，点击apply to selection. 完成物理层的对齐。



手动建模：object dynamic property

物体动态属性

- 当对外观层和物理层的建模都完成后，我们还需要通过object common property 设置外观层和物理层的仿真特性：respondable/non-respondable, dynamic/static.
 - *respondable/non-respondable*: 物体响应属性，可响应的物体可支持仿真时的碰撞检测。同时，也可以通过设置mask，避免个别零件之间的碰撞。
 - *Dynamic/static*: 动态的零件在场景中会根据碰撞，关节受力，改变自身的位姿。静态的零件会保持自身的位姿不变。
 - 打开菜单操作：scene object property → Show dynamic properties dialog
- 同时动态属性菜单还支持对shape的材料和各种动力学特征进行设置

Rigid Body Dynamic Properties

☒ Body is respondable

Local respondable mask ☒ ☒ ☒ ☒ ☐ ☐ ☐ ☐

Global respondable mas ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒

Edit material

Apply to selection

☐ Body is dynamic

☐ Start in sleep mode ☒ Set to dynamic if gets parent

Compute mass & inertia properties for selected convex shape

Mass

Mass [kg] 1.000e+1

M-M*2 (for selection)

M-M/2 (for selection)

Principal moments of inertia / mass

X [m²] 2.000e-3

Y [m²] 2.000e-3

Z [m²] 2.000e-3

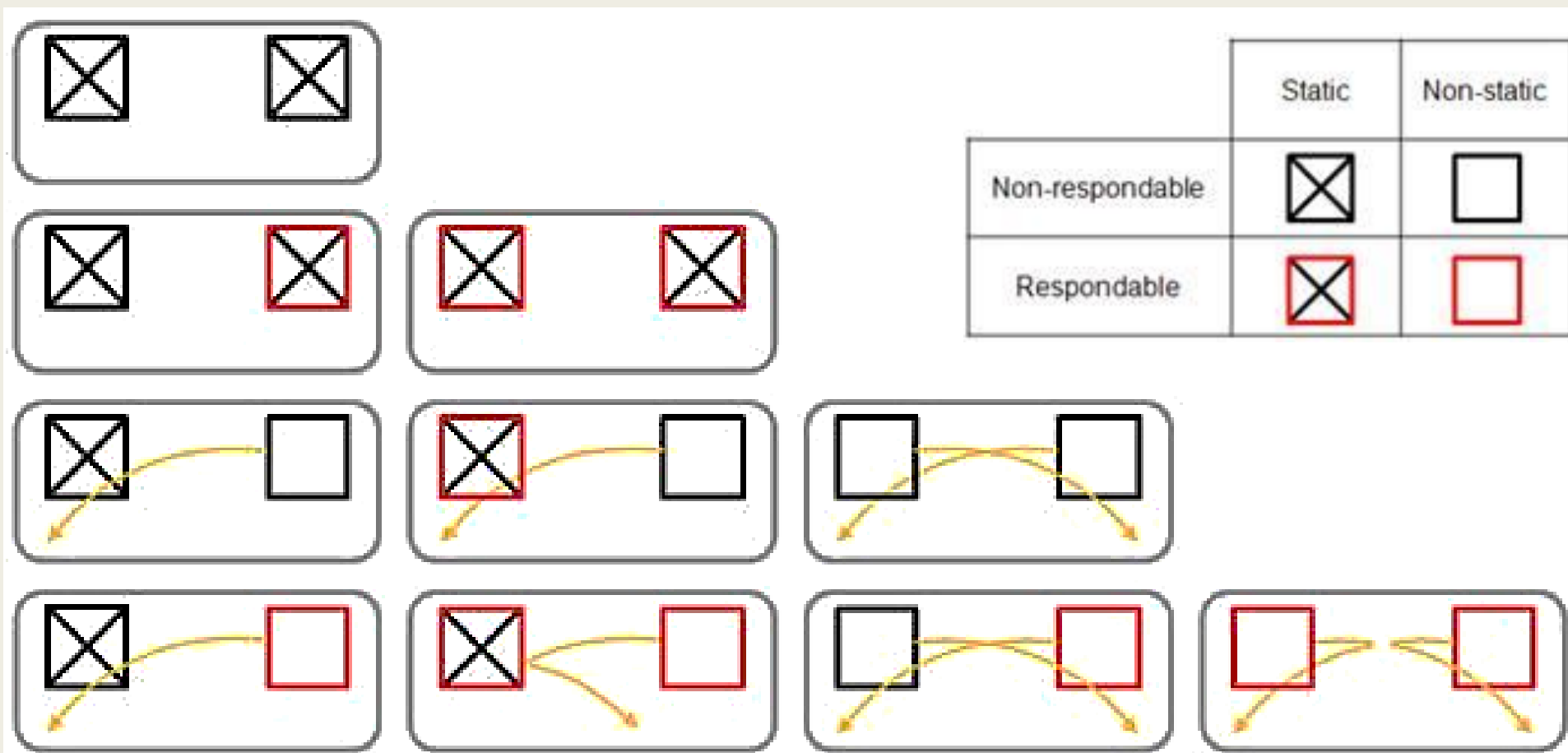
I-I*2 (for selection)

I-I/2 (for selection)

手动建模：object dynamic property

物体动态属性

- 根据不同的动态与静态，响应与不响应的组合，物体可以在仿真中展现多种属性。





手动建模：object dynamic property 物体动态属性

- 通常情况下，外观物体设置为non-respondable+static，物理模型设置为respondable+dynamic，以提供更好的仿真效果。
 - 对前面的模型进行上面的设置



V-REP 传感器



内部传感器

- V-REP作为仿真环境，可以随时观测机器人的位姿信息，场景左上角的显示，可以方便读出所选物体的角度和位置。因此，软件无需仿真加速度计以及陀螺仪。
 - 当然，如果需要V-REP模型库也有内置的加速度计、陀螺仪和GPS。
- 关节电机的转速，可以通过仿真环境的数据进行计算。
- 但是相比于真实的传感器，机器人内部的数据由于无法仿真，不能够添加噪声，不能够仿真信号的动静态模型，因此无法真实反映传感器的真实情况。

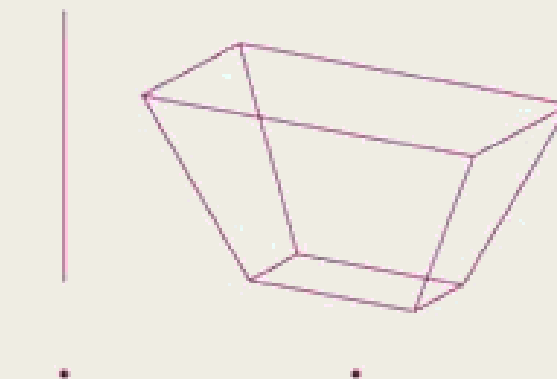
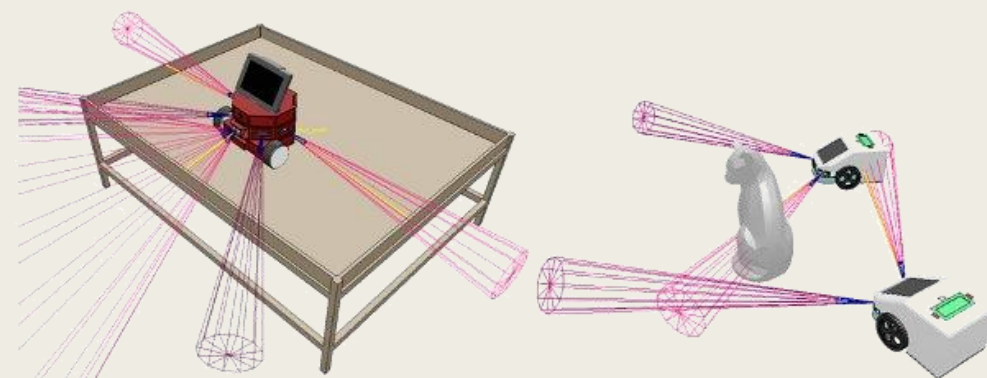


外部传感器

- V-REP使用数学计算模型计算物体之间的碰撞，以仿真碰撞传感器。
 - 操作：左侧工具栏 → *calculation module* → *collision detection*，可以设置相应的需要进行碰撞检测的物体。
- V-REP中提供了多种用来进行距离测量的方法，在数学计算模型中，也可以设置响应的距离计算模型，在仿真过程中计算指定的物体之间的距离。
- 当然，软件也提供了接近传感器的模型，用于仿真机器人上用于进行距离测量的各种传感器。

外部传感器： proximity sensor 接近传感器

- V-REP内置的接近传感器可以仿真从超声波，红外对管到激光雷达等等各种传感器。被探测的物体需要在 **object common property** 中勾选 **detectable**。仿真传回测到的最小距离。
 - 操作： *menu bar --> Add --> Proximity sensor*
- V-REP一共提供了6种不同的proximity sensor：
 - *Ray*：可以用来模拟激光测距仪，配合一个旋转的关节可以模拟单线激光雷达
 - *Pyramid*：模拟矩形测量范围的测距传感器



单线

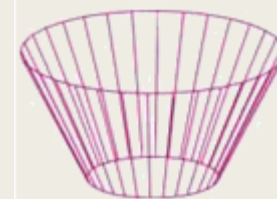
金字塔型 距离传感器

外部传感器： proximity sensor

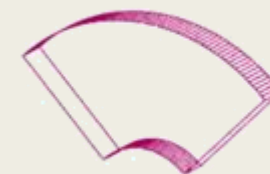
接近传感器



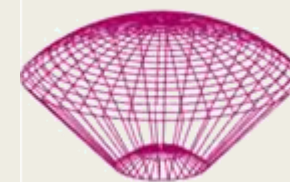
- **Cylinder**: 模拟圆柱形测量范围的测距传感器
- **Disk**: 精确模拟旋转扫描形式的测距传感器，计算量可能会根据参数的变化增大
- **Cone**: 常见的测距传感器的测量范围大都是圆锥形，可以使用cone type proximity sensor来模拟，根据参数的不同设置，计算量也会因此改变。
- **Randomized ray**: 测量范围于cone type类似，但是是使用单线传感器进行随机扫描。



圆柱形



碟形

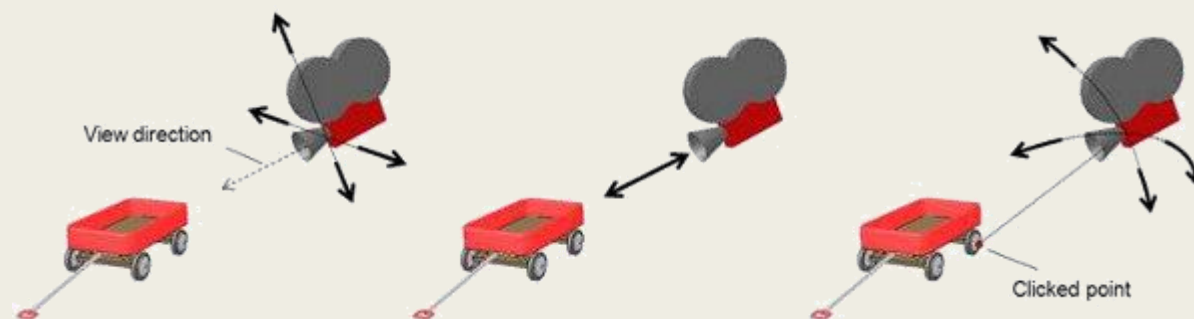


圆锥形

外部传感器： vision sensor

视觉传感器

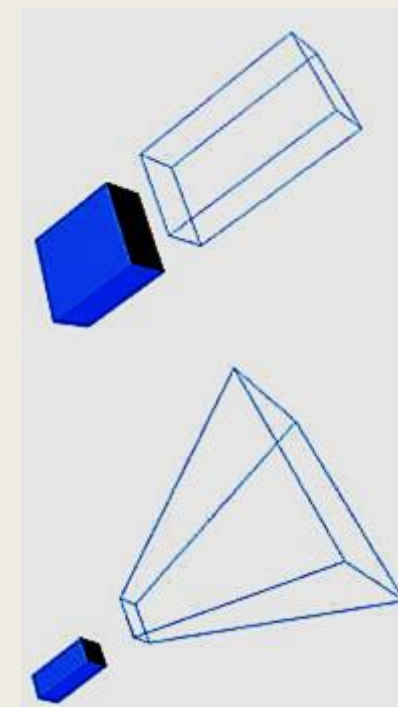
- 视觉传感器：不同于camera，vision sensor只能检测场景中的renderable物体，这一属性可以在物体的common property 中开启。
- Vision sensor支持添加filter用于检测，camera的图像处理只能够通过通过callback函数后期处理。
- Vision sensor的分辨率固定，camera分辨率取决于设定窗口的大小
- Vision sensor的处理速度相对较慢
- Camera 可以显示场景中的所有物体，而vision sensor只能够显示renderable物体。
- Proximity sensor不能够检测物体的颜色和结构信息，vision sensor可以



外部传感器： vision sensor

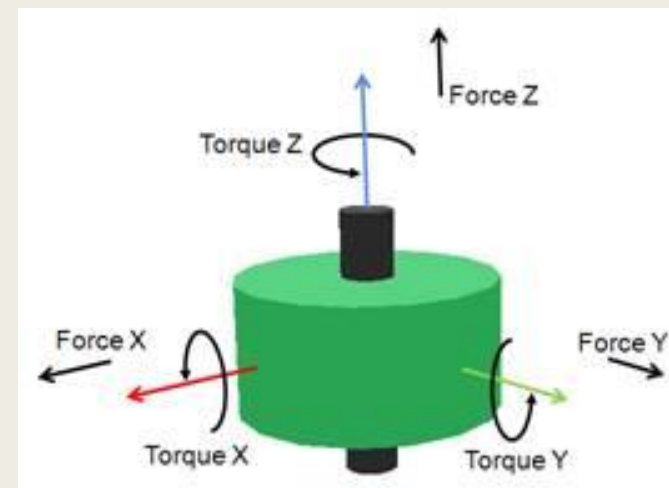
视觉传感器

- 视觉传感器有两种不同的类型
 - *Orthogonal projection*: 正交投影型，视野为长方形，适合近景测量仿真，例如红外线传感器和激光测距仪。
 - *Perspective projection*: 这个类型的视觉传感器视野为梯形，适合用来模仿相机类型的传感器。
- 视觉传感器是viewable物体，与相机类似，可以使用view窗口观看传感器数据
 - 操作: *Popup menu --> View --> Associate view with selected vision sensor*



外部传感器：force sensor 力传感器

- Force sensor 力传感器：力传感器可以测量沿x, y, z轴的力以及绕轴的力矩。
- 力传感器也可以作为物体之间可以使用的刚性连接，这也意味着它可以被过大的力破坏。
 - 操作：Menu bar --> Add --> Force sensor



课后作业

- 1. 为本节课制作的模型，添加剩余的物理仿真模型，设置电机，使其能够运动
- 2. 将抓手更换为模型库中的抓手，设置一个动作
- 3. 为Baxter机器人的机械臂进行建模，组装机械臂，并在合适的位置添加电机，添加机器人的物理层模型，使机械臂能够运动。机械臂各个关节的运动方式如下图所示。

