3、关节（Joint）

在PhysX中，关节(Joints)限制了两个角色Actor的位置关系以及相对于彼此移动的方式。关节在 PhysX extensions library中实现，涵盖了许多常见场景。

PhysX 支持六种不同的关节类型：

（1）固定关节（fixed joint）：被约束的角色Actor不能发生相对运动；

（2）距离关节（distance joint）：被约束的角色Actor的质心只能保持在一定的距离范围内；

（3）球面关节（spherical joint）：被约束的角色Actor无法移动，但允许绕三个轴的旋转运动；

（4）铰链关节（revolute joint）：只允许被约束的角色Actor围绕设定的公共轴进行旋转；

（5）滑动关节（prismatic joint）：限制所有旋转的运动，只允许被约束的角色Actor沿着设定的轴进行平移运动；

（6）六自由度关节（D6 joint）：是一种高度可配置的关节，具有沿X、Y、Z三个轴的移动以及绕这三个轴的旋转共六个自由度，也允许指定单独的自由度，可用于实现各种机械和解剖关节。

（7）自定义关节。PhysX提供接口支持自定义关节类型，满足更加复杂的需求。

要创建关节，需要调用PhysX提供的关节的创建函数:

|  |
| --- |
|  |

上面为铰链关节（revolute joint）创建的接口。对于所有关节，其相应的构造函数大致都具有相同的参数：两个角色Actor以及每个角色Actor所对应的变换矩阵localFrame。其中一个Actor必须是可移动的，其类型可以是 PxRigidDynamic或者PxArticulationLink 。另一个Actor可能是这些类型之一或PxRigidStatic 。

localFrame参数表示Actor的变换矩阵，包括位置（position）和姿态（orientation）。每个 localFrame 参数指定一个相对于Actor的全局位置矩阵。在上述示例中，通过调节localFrame，可以设置铰链关节的旋转轴。

注意：PhysX中的角度是以弧度为单位。

**3.1 各个关节的创建**

（1）固定关节（fixed joint）

Fixed Joint约束两个对象，以便其约束帧的位置和方向相同。

所有关节都由动力学求解器(dynamics solver)强制执行，因此，尽管在理想条件下，对象将保持其空间关系，但可能会存在一些漂移。一种常见的替代方法是构建具有多个shapes的单个Actor，模拟成本更低且不会受到漂移的影响。然而，Fixed Joint是有用的，例如，当joint必须可断裂(breakable)或报告其约束力时。

（2）（distance joint）

距离关节将两个角色约束在一定的距离范围内。该范围可以同时具有上限和下限，这些上限和下限分别由标志启用:

|  |
| --- |
|  |

（3）球面关节（spherical joint）

球面关节支持锥形限制，该limit约束两个角色Actor的 X 轴之间的角度。允许的limit值是围绕Y轴和Z 轴的最大旋转。可以为 Y 轴和 Z轴指定不同的值。

|  |
| --- |
|  |

（4）铰链关节（revolute joint）

revolute joint可从两个对象上移除除单个旋转自由度之外的所有自由度。两个实体可沿其旋转的轴由joint frames的共同原点及其公共 x 轴指定。从理论上讲，沿旋转轴的所有原点都是等效的，但当点靠近物体最近的位置时，模拟稳定性在实践中是最好的。

关节支持具有上限和下限范围的旋转极限。当joint frames的 y 轴和 z 轴重合时，角度为零，并且从 y 轴向 z 轴移动时增加:

|  |
| --- |
|  |

该joint还支持一个motor，该motor驱动两个Actor的相对角速度朝向用户指定的目标速度。motor施加的力的大小可以限制在指定的最大值:

|  |
| --- |
|  |

默认情况下，当关节处的角速度超过目标速度时，motor充当制动器;自由旋转标志(freespin flag)禁用此制动行为。

revolute joint的force limit可以解释为力或脉冲，具体取决于PxConstraintFlag::eDRIVE\_LIMITS\_ARE\_FORCES

（5）滑动关节（prismatic joint）

滑动关节限制了所有旋转运动，只允许被约束的角色Actor沿设置的轴进行平移运动。滑动关节可以设置平移运动距离的上限和下限。

|  |
| --- |
|  |

5 Revolute Joint

image:: ../images/revoluteJoint.png

A revolute joint removes all but a single rotational degree of freedom from two objects. The axis along which the two bodies may rotate is specified by the common origin of the joint frames and their common x-axis. In theory, all origin points along the axis of rotation are equivalent, but simulation stability is best in practice when the point is near where the bodies are closest.

The joint supports a rotational limit with upper and lower extents. The angle is zero where the y- and z- axes of the joint frames are coincident, and increases moving from the y-axis towards the z-axis:

joint->setLimit(PxJointLimitPair(-PxPi/4, PxPi/4, 0.01f);

joint->setRevoluteJointFlag(PxRevoluteJointFlag::eLIMIT\_ENABLED, true);

The joint also supports a motor which drives the relative angular velocity of the two actors towards a user-specified target velocity. The magnitude of the force applied by the motor may be limited to a specified maximum:

joint->setDriveVelocity(10.0f);

joint->setRevoluteJointFlag(PxRevoluteJointFlag::eDRIVE\_ENABLED, true);

By default, when the angular velocity at the joint exceeds the target velocity the motor acts as a brake; a freespin flag disables this braking behavior

（6）六自由度关节（D6 joint）

D6 joint默认表现的像固定关节（fixed Joint），两个物体固定在一起运动。使用setMotion方法，可以设置允许旋转和平移。

如果设置了平移自由，两个角色Actor沿着设定的轴移动。旋转自由分为两种：扭twist (绕着X轴旋转)和摆 swing (绕着Y轴和Z轴旋转) 通过控制twist和swing参数的开关，可以得到很多效果。

（7） 其他关节

球面关节（cylindrical joint）、点在平面关节（point on plane joint）以及点在直线关节（point on line joint）PhysX 4.1不提供，可以通过六自由度关节（D6 Joint）得到：

|  |
| --- |
|  |

|  |
| --- |
|  |

|  |
| --- |
|  |

**3.2 关节的限制limit和驱动driver**

（1）关节限制limit

关节限制相关的Actor如何旋转或只能沿某方向平移，同时可进一步设置这种旋转和移动的范围。例如铰链关节（revolute joint），默认是绕轴的任意角度的旋转。如果需要，可以开启limit，定义旋转的最大角度和最小角度。

|  |
| --- |
|  |

PhysX把关节限制分为软限制和硬限制。硬限制就是让运动立刻停下来，如果limit被设置为non-zero restitution，会被弹回。软的就是有阻尼效果。默认的limit是不会回弹的硬约束。

除了可以定义关节运动范围，还可以定义轴是自由还是锁定的状态。

|  |
| --- |
|  |

（2）关节驱动driver。

在PhysX中，可以为关节设置驱动，提供一个线性驱动模型和两种可能的角度驱动模型。驱动施加的力如下所示:

1）线性驱动模型具有以下参数:

目标位置：角色Actor的运动范围；

目标速度：角色Actor的最大速度；

弹性：弹性系数，调节距离对驱动力的影响；

阻尼：阻尼系数，调节速度对驱动力的影响；

能提供的最大力：所能提供的最大的力；

加速标志：驱动模型是产生力还是产生加速度。

|  |
| --- |
|  |

2）角度驱动

PhysX提供了两种角度驱动模型：twist and swing和 SLERP (球面线性插值)。这两个模型在估计当前方向和目标方向之间的四元数空间中路径的方式不同。在 SLERP 驱动器中，直接使用四元数。在twist and swing驱动中，它被分解成单独的twist和swing两个部分，每个部分分别插值。

 1）角度驱动模型具有以下参数:

目标姿态：角色Actor的旋转范围；

目标角速度：角色Actor的最大聚角速度；

弹性：弹性系数，调节距离对驱动力的影响；

阻尼：阻尼系数，调节速度对驱动力的影响；

能提供的最大力矩：所能提供的最大的力矩；

加速标志：驱动模型是产生力还是产生加速度。

**3.4 关节的破坏和可视化**

（1）破坏。PhysX提供的所有标准的 Joints 都可以设置为能够被破坏的。可以为关节指定最大断裂力和扭矩，如果维持Joints约束所需的力或扭矩超过阈值，则Joints将断裂。默认情况下，阈值力和扭矩设置为 FLT\_MAX ，使关节不可被破坏。要使Joints能被破坏，需要设置临界force或torgue，并设置breakable constraint flag为true：

|  |
| --- |
|  |

Joint被破坏时，会通过 PxSimulationEventCallback::onConstraintBreak 进行回调。 在此回调中，指向关节及其类型的指针在 PxConstraintInfo 结构的 externalReference 和类型字段中指定。如果已实现自己的关节类型，请使用 PxConstraintInfo::type 字段来确定已断开约束的动态类型。否则，只需将 externalReference 转换为 PxJoint。

（2）可视化。PhysX中所有标准的Joints（即提供的六种基础的关节类型）都支持debug visualization。Joint本身是不可见的，默认情况下，Joint本身是不可见的。要可视化关节以及关节存在的相关限制，需要设置其可视化约束标志和相应的场景级可视化参数：

|  |
| --- |
|  |

（3） 获取关节上的力和力矩

Jonit连接的Actor在每次仿真过后都会保存连接它俩的force和torque的信息。通过设置reporting constraint flag启用该功能，然后就可以用Joint对象的getForce方法获得相应的信息。

|  |
| --- |
|  |