Was ist eine Physik-Simulation?

Manuel Kaufmann, Valentino Rugolo, Fabio Sulser

15. Oktober 2013

Ablauf

- **Grundlagen:** Definition, grundlegende Konzepte, Beispiele mit Processing
- **Box2D und toxiclibs:** Beispiellibraries für Physik-Simulationen in Processing
- **Ammo.js:** Physik-Simulationen im Web

Grundlagen

Physik-Engine: eine Definition

"...Simulation physikalischer Prozesse..."

$\Rightarrow$ *Physikalische Modelle liegen zu Grunde*

"...Vereinfachung der Programmierung..."

$\Rightarrow$ *Ziel ist die Visualisierung*

"...meist ...Effizienz vor Exaktheit..."

$\Rightarrow$ *Oft ist die Physik dahinter zu komplex*

Libraries für Physik-Simulationen

- Je näher an der Realität, desto aufwendiger und komplexer werden Berechnungen und Konzepte dahinter
- Wieso das Rad neu erfinden?

$\Rightarrow$ *Library verwenden*

- Es soll jedoch nachvollziehbar sein, WIE das Rad erfunden wurde

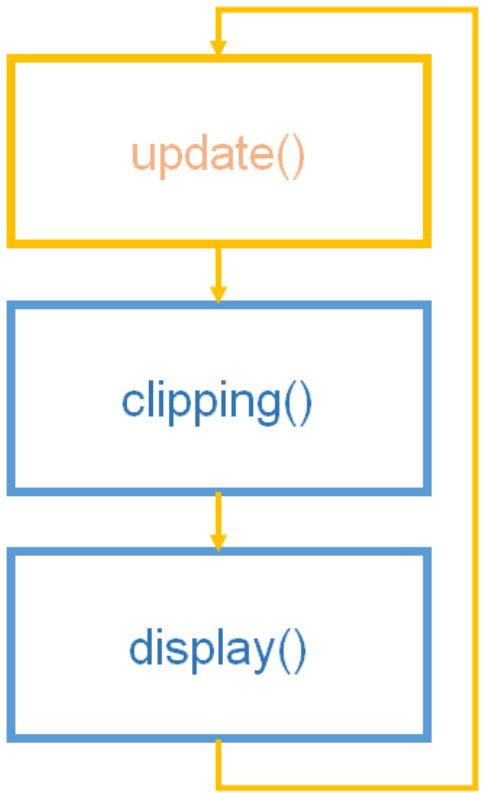
$\Rightarrow$ *Grundlagen sind wichtig, um Funktionen der Library zu verstehen*

- Deshalb trifft man einfache bzw. stark einschränkende Annahmen über physikalische Welt

Grundlagen - Bewegung

- Vektoren zur Repräsentation von Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung
- Hier ist `update()` unsere "Engine":

```
direction.normalize();
acceleration = direction;
velocity.add(acceleration);
location.add(velocity);
```



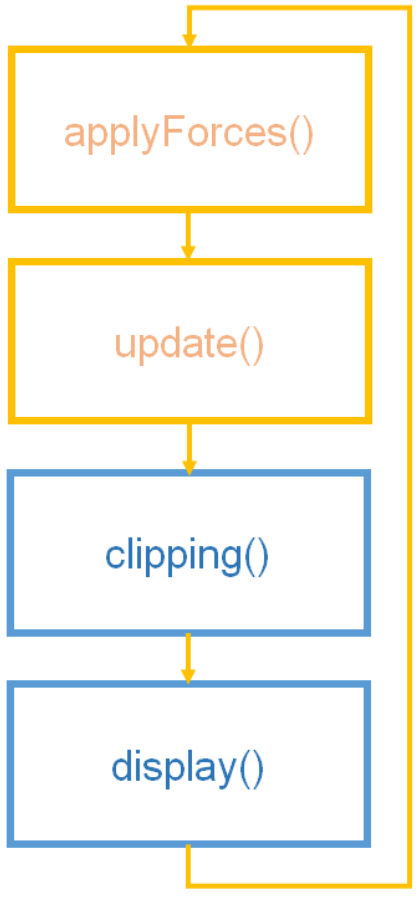
⇒ **acceleration.pde**

Grundlagen - Kräfte

- Ausgangslage ist stets die entsprechende physikalische Formel
- Falls eine Kraft simuliert werden soll, wird sie vor `update()` auf die Beschleunigung gerechnet:

```
PVector f = PVector.div(frc, mss);
acceleration.add(f);
```

⇒ **forces.pde** simuliert Gravitation und Luftwiderstand (Reibung).



Grundlagen - Oszillationen

- Im Prinzip nichts Neues
  - Ort und Winkel
  - Geschwindigkeit wird Winkelgeschwindigkeit
  - Beschleunigung wird Winkelbeschleunigung
- Zusätzliches Wissen über trigonometrische Funktionen nötig
- Pipeline bleibt dieselbe

$\Rightarrow$ **pendulum.pde**

Box2D und toxiclibs

Box2D - 'a true physics engine'

Die Engine weiss nichts über die Welt der Grafik und Pixel

Box2D - Eigenschaften

- Simuliert starre Körper
- Existiert seit 2006
- Geschrieben in C++
- Findet bspw. Anwendung in Angry Birds, Crayon Physics etc.

\+ sehr realistisch

\- aufwändige Translationen der Koordinaten

\- '2D-limitiert' (Physik)

Box2D und Processing

JBox2D

- ist ein Java-Port von Box2D
- voll kompatibel mit Processing

PBox2D

- Helfer-API, kein Processing-Wrapper
- Vereinfacht häufig gebrauchte Funktionen
- wird hier nur als Beispiel gebraucht, ist nicht zwingend notwendig

Box2D und Processing - Erster Ansatz

```
SETUP
    create all objects in the world
DRAW
    1 calculate all forces
    2 apply forces to objects (F=M*A)
    3 calculate new positions
    4 draw objects
```

Box2D und Processing - Zweiter Ansatz

```
SETUP
    create all objects in the world
DRAW
    draw objects
```

Box2D und Processing - Finaler Ansatz

```
SETUP
    1 create all objects in the world
    2 translate pixel world to box2d world
DRAW
    1 ask box2d where the objects are
    2 translate box2d world to pixel world
    3 draw objects
```

Box2D - Wichtige Elemente

World	Verwaltet die Simulation
Body	Ist ein „primary element“ mit einem Ort und einer Geschwindigkeit
Shape	Verwaltet die Kollisionsgeometrie eines Objekts und verleiht einem Objekt Masse
Fixture	Verbindet ein Shape mit einem Body und bestimmt Eigenschaften wie Dichte, Elastitzität etc.
Joint	Agiert als Verbindung zweier Bodys oder einem Body und der World.

Box2D - Typen von Bodys

dynamic	Ein voll simulierter Körper. Kann sich bewegen, kollidieren und auf Kräfte reagieren.
static	Gleich wie ein dynamischer Körper, ist aber nicht fähig sich zu bewegen.
kinematic	Kann manuell verschoben werden, kollidiert aber nur mit dynamischen Körpern.

Grundsätzlich existiert ein Body an sich physisch noch nicht. Um Masse zu erhalten, muss ein Shape mit ihm assoziiert werden.

Box2D und Processing - Beispiel **cubes.pde**

Vorgehen:

1. Definiere einen Body
2. Konfiguriere die Body-Definition
3. Erstelle den Body
4. Definiere ein Shape
5. Erstelle ein Fixture
6. Verbinde das Shape mit dem Body mittels dem Fixture

Box2D und Processing - Weitere Beispiele

- **circles.pde:** Komplexere Formen als im ersten Beispiel
- **attract.pde:** Demonstration von Anziehungskraft

toxiclibs

- Physik-Library, welche speziell für Processing entwickelt wurde
+ Keine Umstände mit dem Import
+ Das Koordinatensystem ist dasselbe

Vorweg - Welche Library verwenden?

In meinem Projekt gibt es Kollisionen zwischen Kugeln, Pyramiden und sonstigen komisch geformten Objekten.

$\Rightarrow$ **Box2D**

In meinem Projekt gibt es viele kleine Partikel, welche sich anziehen und abstossen und manchmal an einer Feder befestigt sind.

$\Rightarrow$ **toxiclibs**

Vergleich 1

	Box2D	toxiclibs
Kollisionen	X	
3D-Physik		X
Anziehung, Abstossung		X
Federverbindungen	X	X
Andere Verbindungen*	X	
Motoren	X	
Reibung	X	

* Scharniere, Drehgelenke, Getriebe, Flaschenzüge etc.

Vergleich 2

Der Struktur von `toxiclibs` ist ähnlich zu demjenigen von Box2D.

- World (== VerletPhysics)
- Body (== VerletParticle)
- ~~Shape~~
- ~~Fixture~~
- Joint (== VerletSpring)

toxiclib - Einfaches Beispiel

- **toxiclib.pde**

toxiclib - ein mächtiges Tool

- **softbody.pde**: Vernetzung mehrerer Partikel zu einem Netz
- **complex.pde**: Komplexe, bewegliche Form
- **additive_waves.pde**: Sich überlagernde Wellen

Ammo.js - Physik-Simulationen im Web

Hintergrund

- Enscripted Physik-Library C++ (Bullet Physics)
- Keine JavaScript-Optimierung
- ca. 23'000 Zeilen, aber schlecht dokumentiert
- 3D-Umgebung
- Findet Anwendung in verschiedenen Bereichen wie Games (GTA, Toy Story), Filmen (Hangover, Sherlock Holmes) oder sonstigen Tools (Blender, Cinema 4D)

Library

- Vordefinierte Formen
- Benutzerdefinierte Formen
- collision detection
- Fahrzeug-System

Eigenschaften

- Ammo speichert keine Objekte, bei jedem Rendern werden die aktuellen Objektkoordinaten neu berechnet.
- Neue Objekte zu erstellen ist sehr aufwändig, dafür sind sehr detaillierte Gebilde möglich.
- Keine Kollisionsevents
- Gespeicherte Kontakte werden ausgelesen. Diese enthalten Objekte und Position.

Three.js

- JavaScript-Bibliothek zum Erstellen und Darstellen von 3D-Objekten
- Veröffentlichung 2010, Anfänge bereits 2000
- Material, Kameraperspektive, Licht, Objekte
- HTML5, WebGL, SVG (skalierbare Vektorgrafiken)

Szene erstellen

HTML

```
<canvas id="viewport" width="800" height="600"></canvas>
```

JavaScript

```
renderer = new THREE.CanvasRenderer({canvas : viewport});
scene = new THREE.Scene;
camera = new THREE.PerspectiveCamera(34, 1, 1, 1000);
camera.position.set(-10, 30, -200);
camera.lookAt(scene.position);
scene.add(camera);

var ambientLight = new THREE.AmbientLight(0x555555);
scene.add(ambientLight);

var directionalLight = new THREE.DirectionalLight(0xffffff);
directionalLight.position.set(-5, 5, -1.5).normalize();
scene.add(diretionalLight);
```

Three.js - Objekte

- sind schwer zu erstellen
- Positionierung an Position oder relativ zu einem Objekt?
- BSP relativ: Scharnier zwischen Objekten

Three.js - Kugelobjekt erstellen

```
ball = new THREE.Mesh( ball_geometry, ball_material );
mass = 5;
shape = new Ammo.btSphereShape( 3 );
shape.calculateLocalInertia( mass, localInertia );

ball.position.y = 50;
ball.position.x = Math.random() * 40 - 20;
ball.useQuaternion = true;
scene.add( ball );
```

Three.js - Quaderobjekt erstellen

```
var ramp_geometry= new THREE.CubeGeometry( 50, 2, 10 ),
material_red = new THREE.MeshLambertMaterial({
    color: 0xdd0000, overdraw: true }),
material_green = new THREE.MeshLambertMaterial({
    color: 0x00bb00, overdraw: true });

var ramp_1 = new THREE.Mesh( ramp_geometry, material_red );
scene.add( ramp_1 );
shape = new Ammo.btBoxShape(new Ammo.btVector3( 25, 1, 5 ));
shape.calculateLocalInertia( 0, localInertia );

ramp_1.position.x = -20;
ramp_1.position.y = 25;
ramp_1.rotation.z = -Math.PI / 28;
```

Ammo.js - Objekte erstellen

```
var collisionConf = new Ammo.btDefaultCollisionConfiguration;
world = new Ammo.btDiscreteDynamicsWorld(
    // Disponent f r Kollisionshandling
    new Ammo.btCollisionDispatcher(collisionConf),
    // Ueberpr fung von   berlagerungen
    new Ammo.btDbvtBroadphase,
    // Constraintl ser
    new Ammo.btSequentialimpuleConstraintSolver,
    // Kollisionskonfiguration
    collisionConf
);
world.setGravity(new Ammo.btVector3(0, -9.81, 0));
```

Ammo.js - Kugelobjekt erstellen

```
shape = new Ammo.btSphereShape( 3 );
shape.calculateLocalInertia( mass, localInertia );

transform = new Ammo.btTransform;
transform.setIdentity();
transform.setOrigin(new Ammo.btVector3(
    ball.position.x, ball.position.y, 0 ));
transform.setRotation(new Ammo.btQuaternion( 0, 0, 0 ));

motionState = new Ammo.btDefaultMotionState( transform );
rbInfo = new Ammo.btRigidBodyConstructionInfo(
    mass, motionState, shape, localInertia );

// Reibung und Abstossung
rbInfo.set_m_friction( .3 );
rbInfo.set_m_restitution( .0 );
```

Ammo.js - Quaderobjekt erstellen

```
shape = new Ammo.btBoxShape(new Ammo.btVector3( 25, 1, 5 ));
shape.calculateLocalInertia( 0, localInertia );

transform = new Ammo.btTransform;
transform.setIdentity();
transform.setOrigin(new Ammo.btVector3( -20, 25, 0 ));
transform.setRotation(new Ammo.btQuaternion(
    0, 0, -Math.PI / 28 ));

motionState = new Ammo.btDefaultMotionState( transform );

// arguments are mass, motion state, shape and inertia
rbInfo = new Ammo.btRigidBodyConstructionInfo(
    0, motionState, shape, localInertia);
```

Ammo.js - Objekte hinzufügen

```
body = new Ammo.btRigidBody(rbInfo);
body.mesh = ball;
world.addRigidBody(body);
balls.push(body);

body.setCollisionFlags(body.getCollisionFlags() | 8);
```

Animation der Objekte

```
world.stepSimulation(
    1 / 30, // speed of simulation
    10,     // max substeps
    1 / 30  // size of each substep
);

for ( i = 0; i < balls.length; i++ ) {
    transform = balls[i].getCenterOfMassTransform();

    origin = transform.getOrigin();
    rotation = transform.getRotation();

    balls[i].mesh.position.set(
        origin.x(), origin.y(), origin.z() );
    balls[i].mesh.quaternion.set(
        rotation.x(), rotation.y(), rotation.z(), rotation.w() );
}

renderer.render(scene, camera);
```

Objekte verknüpfen

```
var hinge1 = new Ammo.btHingeConstraint(
    box2,
    new Ammo.btVector3(0,1,0),
    new Ammo.btVector3(0,0,1),
    false
);

var hinge2 = new Ammo.btHingeConstraint(box1,
    box2,
    new Ammo.btVector3(0,1,0),
    new Ammo.btVector3(0,-1,0),
    new Ammo.btVector3(0,0,1),
    new Ammo.btVector3(0,0,1),
    false
);

world.addConstraint(hinge1, true);
world.addConstraint(hinge2, true);
```

Positionierung der Kamera

```
camera = new THREE.PerspectiveCamera(35, 2.5, 1, 1000);
camera.position.set(60, 40, 100);
camera.lookAt(scene.position);

scene.add(camera);
```

Schatten hinzufügen

```
light = new THREE.DirectionalLight( 0xFFFFFF );
light.position.set( 40, 40, 25 );
light.target.position.copy( scene.position );
light.castShadow = true;
light.shadowCameraLeft = -25;
light.shadowCameraTop = -25;
light.shadowCameraRight = 25;
light.shadowCameraBottom = 25;
light.shadowBias = -.0001

scene.add( light );
```

Links mit Beispielen

- demos by schteppe
- boxes demo
- nuclear wasteland
- car demo