18 | 如何生成简单动画让图形动起来？

2020-08-03 月影

跟月影学可视化 进入课程 >

讲述：月影

时长 13:28 大小 12.35M

你好，我是月影。

前面，我们用了 3 个模块的时间，学习了大量的图形学和数学知识，是不是让你的脑袋有一点昏沉？没关系，你只是需要一点时间来消化这些知识而已。我能给你的建议就是多思考、多练习，有了时间的积累，你一定可以掌握这些基础知识和思维方法。

从这一节课开始，我们要学习一个非常有意思的新模块，那就是动画和 3D 绘图。对于可视化展现来说，动画和 3D 都是用来强化数据表达，吸引用户的重要技术手段。它们往往比二维平面图形能够表达更复杂的数据，实现更吸引人的视觉效果。

那今天，我们先来聊聊动画的实现。实际上，我们之前也实现了不少动态效果，但你可能还是不知道怎么去实现动画。接下来，我们就来系统地梳理一下动画实现的标准方法。

动画的三种形式

什么是动画呢？简单来说，动画就是将许多帧静止的画面以固定的速率连续播放出来。一般来说，动画有三种形式，分别是固定帧动画、增量动画和时序动画。

第一种形式是我们预先准备好要播放的静态图像，然后将这些图依次播放，所以它叫做**固定帧动画**。**增量动画**是在动态绘制图像的过程中，我们修改每一帧中某个或某几个属性的值，给它们一定的增量。第三种形式是在动态绘制图像的过程中，我们根据时间和动画函数计算每一帧中的关键属性值，然后更新这些属性，所以它叫做**时序动画**。

这么说还是比较抽象，下面，我就以 HTML/CSS 为例，来带你熟悉这三种动画的基本形式。为什么选 HTML/CSS 呢？因为一般来说，HTML/CSS、SVG 和 Canvas2D 实现动画的方式大同小异，所以我就直接选择你最熟悉的 HTML/CSS 了。而 WebGL 实现动画的方式和其他三种图形系统都有差别，所以我会在下一节课单独来说。

1. 实现固定帧动画

首先，我们来说说如何实现固定帧动画。

结合固定帧动画的定义，我们实现它的第一步，就是为每一帧准备一张静态图像。比如说，我们要实现一个循环播放 3 帧的动画，就要准备 3 个如下的图像。

3个静态图像

第二步，我们要依次播放这些图像。在 CSS 里实现的时候，我们使用图片作为背景，就可以让它们逐帧切换了。代码如下所示：

复制代码

```
.bird {
  position: absolute;
  left: 100px;
  top: 100px;
  width:86px;
  height:60px;
  zoom: 0.5;
```

```
  background-repeat: no-repeat;
  background-image: url(https://p.ssl.qhimg.com/t01f265b6b6479fffc4.png);
  background-position: -178px -2px;
  animation: flappy .5s step-end infinite;
}

@keyframes flappy {
  0% {background-position: -178px -2px;}
  33% {background-position: -90px -2px;}
  66% {background-position: -2px -2px;}
}

```

动态的小鸟

虽然固定帧动画实现起来非常简单，但它不适合生成需要动态绘制的图像，更适合在游戏等应用场景中，生成由美术提供现成图片的动画帧图像。而对于动态绘制的图像，也就是非固定帧动画，我们通常会使用另外两种方式。

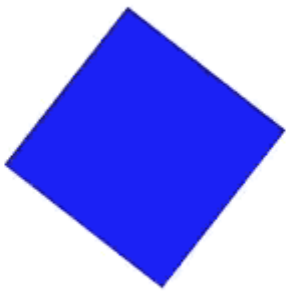
2. 实现增量动画

我们先来说比较简单的增量动画，即每帧给属性一个增量。怎么理解呢？我举个简单的例子，我们可以创建一个蓝色的方块，然后给这个方块的每一帧增加一个 rotate 角度。这样就能实现蓝色方块旋转的动画。具体的代码和效果如下所示。

复制代码

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
    <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Document</title>
  <style>
    .block {
      width: 100px;
      height: 100px;
      top: 100px;
      left: 100px;
```

```
13        transform-origin: 50% 50%;
14        position: absolute;
15        background: blue;
16      }
17    </style>
18  </head>
19  <body>
20    <div class="block"></div>
21    <script>
22    const block = document.querySelector('.block');
23    let rotation = 0;
24    requestAnimationFrame(function update() {
25      block.style.transform = `rotate(${rotation++}deg)`;
26      requestAnimationFrame(update);
27    });
28    </script>
29  </body>
30  </html>
```



旋转的蓝色方块

在上面的例子中，我们重点关注第 22 到 26 这 5 行 JavaScript 代码就行了，关键逻辑在于我们修改 rotatation 值，每次绘制的时候将它加 1。这样我们就实现增量动画，是不是也很简单？

确实，增量动画的优点就是实现简单。但它也有 2 个缺点。首先，因为它使用增量来控制动画，从数学角度来说，也就是我们直接使用了一阶导数来定义的动画。这样的绘图方式不太好控制动画的细节，比如动画周期、变化率、轨迹等等，所以这种方法只能用来实现简单动画。

其次，增量动画定义的是状态变化。如果我们要在 shader 中使用动画，就只能采用后期处理通道来实现。但是后期处理通道要进行多次渲染，实现起来比较繁琐，而且性能开销也比较大。所以，更加复杂的轨迹动画，我们一般采用第三种方式，也就是通过定义时间和动画函数来实现。

3. 实现时序动画

还是以旋转的蓝色方块为例，我们改写一下它的 JavaScript 代码。

复制代码

```
const block = document.querySelector('.block');
const startAngle = 0;
const T = 2000;
let startTime = null;
function update() {
  startTime = startTime == null ? Date.now() : startTime;
  const p = (Date.now() - startTime) / T;
  const angle = startAngle + p * 360;
  block.style.transform = `rotate(${angle}deg)`;
  requestAnimationFrame(update);
}
update();
```

首先，我们定义 2 个变量，startAnglehe 和 T。其中，startAnglehe 是起始旋转角度，T 是旋转周期。在第一次调用 update 的时候，我们设置初始旋转的时间为 startTime，那么在每次调用 update 的时候，当前经过的时间就是 Date.now() - startTime。

接着，我们将它除以周期 T，就能得到旋转进度 p，那么当前角度就等于 startAngle + p * 360。然后我们将当前角度设置为元素的 rotate 值，就实现了同样的旋转动画。

总的来说，时序动画的实现可以总结为三步：首先定义初始时间和周期，然后在 update 中计算当前经过时间和进度 p，最后通过 p 来更新动画元素的属性。虽然时序动画实现起来比增量动画写法更复杂，但我们可以更直观、精确地控制旋转动画的周期（速度）、起始角度等参数。

也正因为如此，这种方式在动画实现中最为常用。那为了更方便使用和拓展，我们可以把实现时序动画的三个步骤抽象成标准的动画模型。具体怎么做呢？我们接着往下看。

定义标准动画模型

首先，我们定义一个类 Timing 用来处理时间，具体代码如下：

复制代码

```
export class Timing {
  constructor({duration, iterations = 1} = {}) {
    this.startTime = Date.now();
    this.duration = duration;
    this.iterations = iterations;
  }

  get time() {
    return Date.now() - this.startTime;
  }

  get p() {
    const progress = Math.min(this.time / this.duration, this.iterations);
    return this.isFinished ? 1 : progress % 1;
  }

  get isFinished() {
    return this.time / this.duration >= this.iterations;
  }
}
```

然后，我们实现一个 Animator 类，用来真正控制动画过程。

复制代码

```
import {Timing} from './timing.js';

export class Animator {
  constructor({duration, iterations}) {
    this.timing = {duration, iterations};
  }

  animate(target, update) {
    let frameIndex = 0;
    const timing = new Timing(this.timing);

    return new Promise((resolve) => {
      function next() {
        if(update({target, frameIndex, timing}) !== false && !timing.isFinishe
          requestAnimationFrame(next);
        } else {
          resolve(timing);
        }
```

```
        frameIndex++;
      }
      next();
    });
  }
}
```

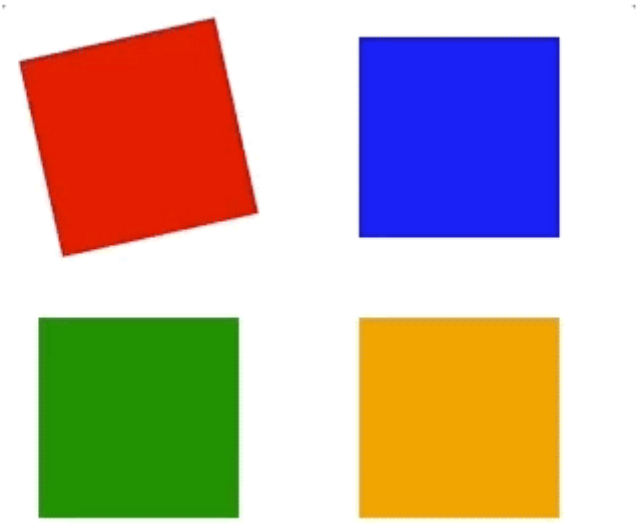
Animator 构造器接受{duration, iterations}作为参数，它有一个 animate 方法，会在执行时创建一个 timing 对象，然后通过执行 update({target, frameIndex, timing}) 更新动画，并且会返回一个 promise 对象。这样，在动画结束时，resolve 这个 promise，我们就能够很方便地实现连续动画了。

接下来，你可以想一个动画效果，来试验一下这个模型的效果。比如说，我们可以用 Animator 实现四个方块的轮换转动，让每个方块转动的周期是 1 秒，一共旋转 1.5 个周期（即 540 度）。代码和效果如下所示。

复制代码

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Document</title>
  <style>
    .container {
      display: flex;
      flex-wrap: wrap;
      justify-content: space-between;
      width: 300px;
    }
    .block {
      width: 100px;
      height: 100px;
      margin: 20px;
      flex-shrink: 0;
      transform-origin: 50% 50%;
    }
    .block:nth-child(1) {background: red;}
    .block:nth-child(2) {background: blue;}
    .block:nth-child(3) {background: green;}
    .block:nth-child(4) {background: orange;}
  </style>
</head>
<body>
  <div class="container">
```

```
    <div class="block"></div>
    <div class="block"></div>
    <div class="block"></div>
    <div class="block"></div>
  </div>
  <script type="module">
    import {Animator} from '../common/lib/animator/index.js';
    const blocks = document.querySelectorAll('.block');
    const animator = new Animator({duration: 1000, iterations: 1.5});
    (async function () {
      let i = 0;
      while(true) { // eslint-disable-next-line no-await-in-loop
        await animator.animate(blocks[i++ % 4], ({target, timing}) => {
          target.style.transform = `rotate(${timing.p * 360}deg)`;
        });
      }
    }());
  </script>
</body>
</html>
```



顺序旋转的四个方块

插值与缓动函数

我们前面说过，时序动画的好处就在于，它能更容易地控制动画的细节。那针对我们总结出的这个标准的动画模型，它又如何控制动画细节呢？

假设，我们已知元素的起始状态、结束状态和运动周期。如果想要让它进行不规则运动，我们可以使用插值的方式来控制每一帧的展现。比如说，我们可以先实现一个匀速运动的方块，再通过插值与缓动函数来实现变速运动。

首先，我们用 Animator 实现一个方块，让它从 100px 处**匀速运动**到 400px 处。注意，在代码实现的时候，我们使用了一个线性插值方法：left = start * (1 - p) + end * p。线性插值可以很方便地实现属性的均匀变化，所以用它来让方块做匀速运动是非常简单的。但如果是让方块非匀速运动，比如匀加速运动，我们要怎么办呢？

复制代码

```
import {Animator} from '../common/lib/animator/index.js';
const block = document.querySelector('.block');
const animator = new Animator({duration: 3000});
document.addEventListener('click', () => {
  animator.animate({el: block, start: 100, end: 400}, ({target: {el, start, en
    const left = start * (1 - p) + end * p;
    el.style.left = `${left}px`;
  });
});
```

实现技巧也很简单，我们仍然可以使用线性插值，只不过要对插值参数 p 做一个函数映射。比如说，如果要让方块做初速度为 0 的匀加速运动，我们可以将 p 映射为 p^2。

复制代码

```
p = p ** 2;
const left = start * (1 - p) + end * p;
```

再比如说，如果要让它做末速度为 0 的匀减速运动，我们可以将 p 映射为 p * (2 - p)。

复制代码

```
p = p * (2 - p);
const left = start * (1 - p) + end * p;
```

那为什么匀加速、匀减速的时候，p 要这样映射呢？要理解这一点，我们就得先来回忆一下，匀加速和匀减速运动的物理计算公式。

假设，某个物体在做初速度为 0 的匀加速运动，运动的总时间为 T，总位移为 S。那么，它在 t 时刻的位移和加速度的计算公式如下：

$$a = \frac{2S}{T^2}$$

$$S_t = \frac{1}{2}at^2 = S\left(\frac{t}{T}\right)^2 = Sp^2$$

匀加速运动的计算公式

所以我们把 p 映射为 p 的平方。

还是同样的情况下，如果物体在做匀减速运动，那么，它在 t 时刻的位移和加速度的计算公式如下：

$$a = -\frac{2S}{T^2}$$

$$S_t = \frac{2S}{T}t - S\left(\frac{t}{T}\right)^2 = Sp(2-p)$$

匀变速运动的计算公式

所以我们把 p 映射为 p(2-p)。

除此以外，我们还可以将 p 映射为三次曲线 p * p * (3.0 - 2.0 * p) ，来实现 smoothstep 的插值效果等等。那为了方便使用以及实现更多的效果，我们可以抽象出一个映射函数专门处理 p 的映射，这个函数叫做**缓动函数**（Easing Function）。

我们可以在前面实现过的 Timing 类中，直接增加一个缓动函数 easing。这样在获取 p 值的时候，我们直接用 this.easing(progress) 取代之前的 progress，就可以让动画变速运

动了。修改后的代码如下：

复制代码

```
export class Timing {
  constructor({duration, iterations = 1, easing = p => p} = {}) {
    this.startTime = Date.now();
    this.duration = duration;
    this.iterations = iterations;
    this.easing = easing;
  }

  get time() {
    return Date.now() - this.startTime;
  }

  get p() {
    const progress = Math.min(this.time / this.duration, this.iterations);
    return this.isFinished ? 1 : this.easing(progress % 1);
  }

  get isFinished() {
    return this.time / this.duration >= this.iterations;
  }
}
```

那带入到具体的例子中，我们只要多给 animator 传一个 easing 参数，就可以让一开始匀速运动的小方块变成匀加速运动了。下面就是我们使用这个缓动函数的具体代码：

复制代码

```
import {Animator} from '../common/lib/animator/index.js';
const block = document.querySelector('.block');
const animator = new Animator({duration: 3000, easing: p => p ** 2});
document.addEventListener('click', () => {
  animator.animate({el: block, start: 100, end: 400}, ({target: {el, start, en
    const left = start * (1 - p) + end * p;
    el.style.left = `${left}px`;
  });
});
```

贝塞尔曲线缓动

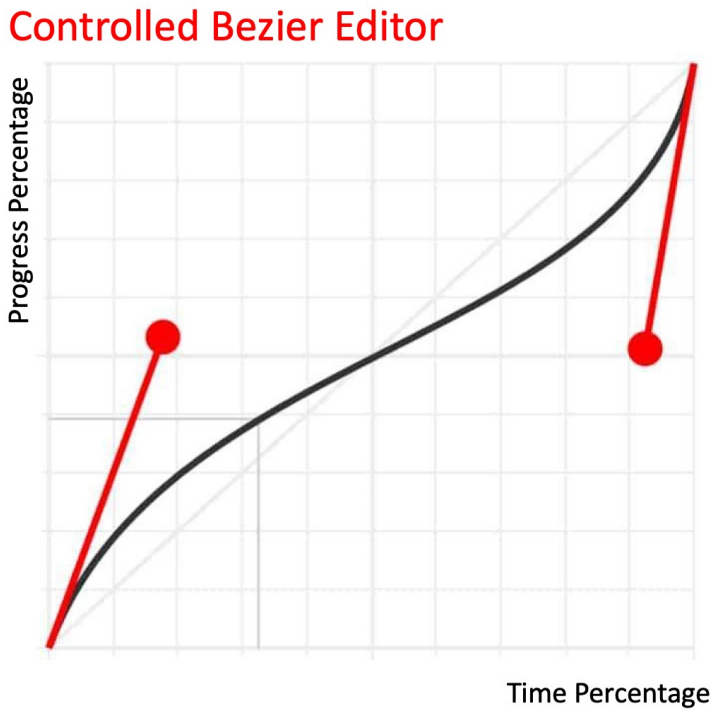
现在，我们已经缓动函数的应用了。缓动函数有很多种，其中比较常用的是贝塞尔曲线缓动（Bezier-easing），准确地说，是三次贝塞尔曲线缓动函数。接下来，我们就来一起来

实现一个简单的贝塞尔曲线缓动。

我们先来复习一下三次贝塞尔曲线的参数方程：

$$B_t = (1-t)^3 P_0 + 3(1-t)^2 t P_1 + 3(1-t)t^2 P_2 + t^3 P_3 (0 \le t \le 1)$$

对于贝塞尔曲线图形来说，t 是参数，P 是坐标。而贝塞尔曲线缓动函数，则是把 Px 作为时间参数 p，把 Py 作为 p 的映射。这样，我们就知道了参数方程和缓动函数之间映射关系了。



贝塞尔缓动函数，图盘来源：React.js

那要想把三次贝塞尔曲线参数方程变换成贝塞尔曲线缓动函数，我们可以使用一种数学方法，叫做**牛顿迭代法**（Newton’ s method）。因为这个方法比较复杂，所以我就不展开细说了。

我们可以使用现成的 JavaScript 库bezier-easing来生成贝塞尔缓动函数，例如：

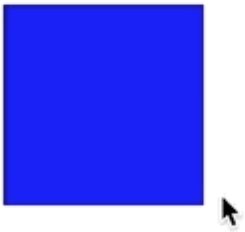
复制代码

```
1 import {Animator} from '../common/lib/animator/index.js';
2 const block = document.querySelector('.block');
3 const animator = new Animator({duration: 3000, easing: BezierEasing(0.5, -1.5,
```

```
document.addEventListener('click', () => {
  animator.animate({el: block, start: 100, end: 400}, ({target: {el, start, en
    const left = start * (1 - p) + end * p;
    el.style.left = `${left}px`;
  });

```

这样，我们能得到如下的效果：



实际上，CSS3 动画原生支持 bezier-easing。所以上面的效果，我们也可以使用 CSS3 动画来实现。

复制代码

```
.container {
  display: flex;
  flex-wrap: wrap;
  justify-content: space-between;
  width: 300px;
}
.block {
  width: 100px;
  height: 100px;
  position: absolute;
  top: 100px;
  left: 100px;
  background: blue;
  flex-shrink: 0;
  transform-origin: 50% 50%;
}
.animate {
  animation: mymove 3s cubic-bezier(0.5, -1.5, 0.5, 2.5) forwards;
```

```
}
@keyframes mymove {
  from {left: 100px}
  to {left: 400px}

```

其实贝塞尔缓动函数还有很多种，你可以去easing.net这个网站里看一看，然后尝试利用里面提供的缓动函数，来修改我们例子代码中的效果，看看动画过程有什么不同。

要点总结

这节课，我们讲了动画的三种形式和实现它们的基本方法，并且我们重点讨论了由时序动画衍生的标准动画模型，以及在此基础上，利用线性插值和缓动函数来控制更多动画细节。

首先，我们来回顾一下这三种形式的实现方法和各自的特点：

> 第一种，固定帧动画。它实现起来最简单，只需要我们为每一帧准备一张图片，然后循环播放就可以了。
>
> 第二种，增量动画。虽然在实现的时候，我们需要在每帧给元素的相关属性增加一定的量，但也很好操作，就是不好精确控制动画细节。
>
> 第三种是使用时间和动画函数来描述的动画，也叫做时序动画。这种方法能够非常精确地控制动画的细节，所以它能实现的动画效果更丰富，应用最广泛。

然后，为了更方便使用，我们根据时序动画定义了标准动画模型，实现了 Animator 类。基于此，我们就可以使用线性插值来实现动画的匀速运动，通过缓动函数来改变动画的运动速度。

在动画的实现中，比较常用贝塞尔曲线缓动函数。它是通过对贝塞尔曲线方程进行牛顿迭代求出，我们可以使用 bezier-easing 库来创建贝塞尔缓动函数。CSS3 动画原生支持 bezier-easing，所以如果使用 HTML/CSS 方式绘制元素，我们可以尽量使用 CSS3 动画。

小试牛刀

最后，我希望你能利用我们今天学到的时序动画，来实现一个简单的动画效果。就是我们假设，有一个半径为 10px 的弹性小球，我们让它以自由落体的方式下落 200px 高度。在这个过程中，小球每次落地后弹起的高度会是之前的一半，然后它会不断重复自由下落的过程，直到静止在地面上。

你能试着用标准动画模型封装好的 Animator 模块，来实现这个效果吗？Animator 模块的代码你可以在 Github 仓库中找到，也可以直接按照我们前面讲解内容自己实现一下。

源码

本节课的完整示例代码见 GitHub 仓库

推荐阅读

[1] 牛顿迭代法

[2] Bezier-easing

[3] Easing.net

提建议

上一篇 17 | 如何使用后期处理通道增强图像效果？

下一篇 19 | 如何用着色器实现像素动画？

精选留言 (1)

写留言

罗乾林
2020-08-04

最直接的想法

```
async function run_animator() {
    let _duration = 400
    const start_pos = 100...
```

展开

作者回复: 挺好的

1