

38-CSS动画与交互：为什么动画要用贝塞尔曲线这么奇怪的东西？

你好，我是winter，今天我们来学习一下CSS的动画和交互。

在CSS属性中，有这么一类属性，它负责的不是静态的展现，而是根据用户行为产生交互。这就是今天我们要讲的属性。

首先我们先从属性来讲起。CSS中跟动画相关的属性有两个：animation和transition。

animation属性和transition属性

我们先来看下animation的示例，通过示例来了解一下animation属性的基本用法：

```
@keyframes mykf
{
  from {background: red;}
  to {background: yellow;}
}

div
{
  animation:mykf 5s infinite;
}
```

这里展示了animation的基本用法，实际上animation分成六个部分：

- animation-name 动画的名称，这是一个keyframes类型的值（我们在第9讲“CSS语法：除了属性和选择器，你还需要知道这些带@的规则”讲到过，keyframes产生一种数据，用于定义动画关键帧）；
- animation-duration 动画的时长；
- animation-timing-function 动画的时间曲线；
- animation-delay 动画开始前的延迟；
- animation-iteration-count 动画的播放次数；
- animation-direction 动画的方向。

我们先来看 animation-name，这个是一个keyframes类型，需要配合@规则来使用。

比如，我们前面的示例中，就必须配合定义 mymove 这个 keyframes。keyframes的主体结构是一个名称和花括号中的定义，它按照百分比来规定数值，例如：

```
@keyframes mykf {
  0% { top: 0; }
  50% { top: 30px; }
  75% { top: 10px; }
  100% { top: 0; }
}
```

这里我们可以规定在开始时把top值设为0，在50%是设为30px，在75%时设为10px，到100%时重新设为0，这样，动画执行时就会按照我们指定的关键帧来变换数值。

这里，0%和100%可以写成from和to，不过一般不会混用，画风会变得很奇怪，比如：

```
@keyframes mykf {  
  from { top: 0; }  
  50% { top: 30px; }  
  75% { top: 10px; }  
  to { top: 0; }  
}
```

这里关键帧之间，是使用 animation-timing-function 作为时间曲线的，稍后我会详细介绍时间曲线。

接下来我们来介绍一下transition。transition与animation相比来说，是简单得多的一个属性。

它有四个部分：

- transition-property 要变换的属性；
- transition-duration 变换的时长；
- transition-timing-function 时间曲线；
- transition-delay 延迟。

这里的四个部分，可以重复多次，指定多个属性的变换规则。

实际上，有时候我们会把transition和animation组合，抛弃animation的timing-function，以编排不同段用不同的曲线。

```
@keyframes mykf {  
  from { top: 0; transition:top ease}  
  50% { top: 30px;transition:top ease-in }  
  75% { top: 10px;transition:top ease-out }  
  to { top: 0; transition:top linear}  
}
```

在这个例子中，在keyframes中定义了transition属性，以达到各段曲线都不同的效果。

接下来，我们就来详细讲讲刚才提到的timing-function，动画的时间曲线。

三次贝塞尔曲线

我想，你能从很多CSS的资料中都找到了贝塞尔曲线，但是为什么CSS的时间曲线要选用（三次）贝塞尔曲

线呢？

我们在这里首先要了解一下贝塞尔曲线，贝塞尔曲线是一种插值曲线，它描述了两个点之间差值来形成连续的曲线形状的规则。

一个量（可以是任何矢量或者标量）从一个值到变化到另一个值，如果我们希望它按照一定时间平滑地过渡，就必须要对它进行插值。

最基本的情况，我们认为这个变化是按照时间均匀进行的，这个时候，我们称其为线性插值。而实际上，线性插值不大能满足我们的需要，因此数学上出现了很多其它的插值算法，其中贝塞尔插值法是非常典型的一种。它根据一些变换中的控制点来决定值与时间的关系。

贝塞尔曲线是一种被工业生产验证了很多年的曲线，它最大的特点就是“平滑”。时间曲线平滑，意味着较少突兀的变化，这是一般动画设计所追求的。

贝塞尔曲线用于建筑设计和工业设计都有很多年历史了，它最初的应用是汽车工业用贝塞尔曲线来设计车型。

K次贝塞尔插值算法需要k+1个控制点，最简单的一次贝塞尔插值就是线性插值，将时间表示为0到1的区间，一次贝塞尔插值公式是：

$$B(t) = P_0 + (P_1 - P_0)t = (1 - t)P_0 + tP_1, t \in [0, 1]$$

“二次贝塞尔插值”有3个控制点，相当于对P0和P1，P1和P2分别做贝塞尔插值，再对结果做一次贝塞尔插值计算

$$B(t) = (1 - t)^2P_0 + 2t(1 - t)P_1 + t^2P_2, t \in [0, 1]$$

“三次贝塞尔插值”则是“两次‘二次贝塞尔插值’的结果，再做一次贝塞尔插值”：

$$B(t) = P_0(1 - t)^3 + 3P_1t(1 - t)^2 + 3P_2t^2(1 - t) + P_3t^3, t \in [0, 1]$$

贝塞尔曲线的定义中带有参数t，但是这个t并非真正的时间，实际上贝塞尔曲线的一个点(x, y)，这里的x轴才代表时间。

这就造成了一个问题，如果我们使用贝塞尔曲线的直接定义，是没办法直接根据时间来计算出数值的，因此，浏览器中一般都采用了数值算法，其中公认做有效的是牛顿积分，我们可以看下JavaScript版本的代码：

```
function generate(p1x, p1y, p2x, p2y) {
  const ZERO_LIMIT = 1e-6;
  // Calculate the polynomial coefficients,
  // implicit first and last control points are (0,0) and (1,1).
  const ax = 3 * p1x - 3 * p2x + 1;
  const bx = 3 * p2x - 6 * p1x;
  const cx = 3 * p1x;

  const ay = 3 * p1y - 3 * p2y + 1;
  const by = 3 * p2y - 6 * p1y;
```

```

const cy = 3 * p1y;

function sampleCurveDerivativeX(t) {
    // 'ax t^3 + bx t^2 + cx t' expanded using Horner 's rule.
    return (3 * ax * t + 2 * bx) * t + cx;
}

function sampleCurveX(t) {
    return ((ax * t + bx) * t + cx) * t;
}

function sampleCurveY(t) {
    return ((ay * t + by) * t + cy) * t;
}

// Given an x value, find a parametric value it came from.
function solveCurveX(x) {
    var t2 = x;
    var derivative;
    var x2;

    // https://trac.webkit.org/browser/trunk/Source/WebCore/platform/animation
    // First try a few iterations of Newton's method -- normally very fast.
    // http://en.wikipedia.org/wiki/Newton's_method
    for (let i = 0; i < 8; i++) {
        // f(t)-x=0
        x2 = sampleCurveX(t2) - x;
        if (Math.abs(x2) < ZERO_LIMIT) {
            return t2;
        }
        derivative = sampleCurveDerivativeX(t2);
        // == 0, failure
        /* istanbul ignore if */
        if (Math.abs(derivative) < ZERO_LIMIT) {
            break;
        }
        t2 -= x2 / derivative;
    }

    // Fall back to the bisection method for reliability.
    // bisection
    // http://en.wikipedia.org/wiki/Bisection_method
    var t1 = 1;
    /* istanbul ignore next */
    var t0 = 0;

    /* istanbul ignore next */
    t2 = x;
    /* istanbul ignore next */
    while (t1 > t0) {
        x2 = sampleCurveX(t2) - x;
        if (Math.abs(x2) < ZERO_LIMIT) {
            return t2;
        }
        if (x2 > 0) {
            t1 = t2;
        } else {
            t0 = t2;
        }
        t2 = (t1 + t0) / 2;
    }

    // Failure
    return t2;
}

```

```
function solve(x) {
    return sampleCurveY(solveCurveX(x));
}

return solve;
}
```

这段代码其实完全翻译自WebKit的C++代码，牛顿积分的具体原理请参考相关数学著作，注释中也有相关的链接。

这个JavaScript版本的三次贝塞尔曲线可以用于实现跟CSS一模一样的动画。

贝塞尔曲线拟合

理论上，贝塞尔曲线可以通过分段的方式拟合任意曲线，但是有一些特殊的曲线，是可以用贝塞尔曲线完美拟合的，比如抛物线。

这里我做了一个示例，用于模拟抛物线：

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
  <meta charset="utf-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width">
  <title>Simulation</title>
  <style>
    .ball {
      width:10px;
      height:10px;
      background-color:black;
      border-radius:5px;
      position:absolute;
      left:0;
      top:0;
      transform:translateY(180px);
    }
  </style>
</head>
<body>
  <label>运动时间: <input value="3.6" type="number" id="t" />s</label><br/>
  <label>初速度: <input value="-21" type="number" id="vy" /> px/s</label><br/>
  <label>水平速度: <input value="21" type="number" id="vx" /> px/s</label><br/>
  <label>重力: <input value="10" type="number" id="g" /> px/s²</label><br/>
  <button onclick="createBall()">来一个球</button>
</body>
</html>
```

```
function generateCubicBezier (v, g, t){
  var a = v / g;
  var b = t + v / g;
```

```

    return [[(a / 3 + (a + b) / 3 - a) / (b - a), (a * a / 3 + a * b * 2 / 3 - a * a) / (b * b - a * a)],
            [(b / 3 + (a + b) / 3 - a) / (b - a), (b * b / 3 + a * b * 2 / 3 - a * a) / (b * b - a * a)]];
}

function createBall() {
    var ball = document.createElement("div");
    var t = Number(document.getElementById("t").value);
    var vx = Number(document.getElementById("vx").value);
    var vy = Number(document.getElementById("vy").value);
    var g = Number(document.getElementById("g").value);
    ball.className = "ball";
    document.body.appendChild(ball)
    ball.style.transition = `left linear ${t}s, top cubic-bezier(${generateCubicBezier(vy, g, t)}) ${t}s`;
    setTimeout(function(){
        ball.style.left = `${vx * t}px`;
        ball.style.top = `${vy * t + 0.5 * g * t * t}px`;
    }, 100);
    setTimeout(function(){ document.body.removeChild(ball); }, t * 1000);
}

```

这段代码中，我实现了抛物线运动的小球，其中核心代码就是 generateCubicBezier 函数。

这个公式完全来自于一篇论文，推理过程我也不清楚，但是不论如何，它确实能够用于模拟抛物线。

实际上，我们日常工作中，如果需要用贝塞尔曲线拟合任何曲线，都可以找到相应的论文，我们只要取它的结论即可。

总结

我们今天的课程，重点介绍了动画和它背后的一些机制。

CSS用transition和animation两个属性来实现动画，这两个属性的基本用法很简单，我们今天还介绍了它们背后的原理：贝塞尔曲线。

我们中介绍了贝塞尔曲线的实现原理和贝塞尔曲线的拟合技巧。

最后，留给你一个小程序，请纯粹用JavaScript来实现一个transition函数，用它来跟CSS的transition来做一下对比，看看有哪些区别。

重学前端

每天 10 分钟，重构你的前端知识体系

winter 程劭非

前手机淘宝前端负责人



新版升级：点击「👤请朋友读」，10位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

精选留言：

● 阿成 2019-04-20 12:28:46

跟CSS的transition比，JS更加偏向指令式，而CSS更加偏向声明式，当然，这本身也是两门语言自身的特点，CSS用法简单直观，JS则在控制方面有更大的灵活性。

上面我只实现了 linear timing function（其他的函数实现网上大把大把的...），具体用法如下：

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
<meta charset="UTF-8">
<title>Document</title>
<style>
#ball {
width: 100px;
height: 100px;
background: blue;
}
</style>
</head>
<body>
<div id="ball"></div>

<script src="transition.js"></script>
<script>
transitionTo(document.getElementById('ball'), [
{name: 'transform', duration: 1000, value: 'translate(400px, 200px) rotate(40deg)'},
{name: 'backgroundColor', duration: 1000, value: 'red'},
{name: 'width', duration: 1000, value: '200px'},
{name: 'height', duration: 1000, value: '200px'}
])
</script>
```

```
</body>
</html> [1赞]
```

- 许童童 2019-04-20 11:00:51
这个课后练习有点难啊。希望老师可以带着大家过一遍。 [1赞]

- 阿成 2019-04-20 12:24:06
const tweenFns = {
 linear: (from, to, t, d) => from + (to - from) * (t / d)
}

/**
 * only support "linear" timing-function
 * duration unit is "ms"
 * @param {HTMLElement} el
 * @param {{{prop: String, value: String, duration: Number}}} list
 */
function transitionTo(el, list) {
 let startTime
 let oldStyle = new Map()
 let newStyle = new Map()
 for (let prop of list) {
 oldStyle.set(prop.name, window.getComputedStyle(el)[prop.name])
 }
 for (let prop of list) {
 el.style[prop.name] = prop.value
 }
 for (let prop of list) {
 newStyle.set(prop.name, window.getComputedStyle(el)[prop.name])
 }
 for (let prop of list) {
 el.style[prop.name] = oldStyle.get(prop.name)
 }

 requestAnimationFrame(run)

 function run(time) {
 if (startTime == null) startTime = time
 let t = time - startTime
 let done = true
 for (let prop of list) {
 if (t >= prop.duration) {
 el.style[prop.name] = newStyle.get(prop.name)
 continue
 }
 }
 done = false
 let oldPropValue = oldStyle.get(prop.name)
 let newPropValue = newStyle.get(prop.name)
 if (prop.name === 'transform') {


```
if (oldPropValue === 'none') oldPropValue = 'matrix(1, 0, 0, 1, 0, 0)'
if (newPropValue === 'none') newPropValue = 'matrix(1, 0, 0, 1, 0, 0)'
}
el.style[prop.name] = generateNewStyle(oldPropValue, newPropValue, t, prop.duration, tweenFns.linear)
}
if (!done) requestAnimationFrame(run)
}
}

function generateNewStyle(from, to, t, duration, tweenFn) {
  let fromExp = /\[d.-\]/g
  let toExp = /\[d.-\]/g
  let fromMatch
  let toMatch
  let result = ""
  let lastIndex = 0
  while (fromMatch = fromExp.exec(from)) {
    result += from.slice(lastIndex, fromMatch.index)
    toMatch = toExp.exec(to)
    result += tweenFn(+fromMatch[0], +toMatch[0], t, duration)
    lastIndex = fromExp.lastIndex
  }
  result += from.slice(lastIndex)
  return result
}
```