

数值的扩展

1. 二进制和八进制表示法
2. `Number.isFinite()`, `Number.isNaN()`
3. `Number.parseInt()`, `Number.parseFloat()`
4. `Number.isInteger()`
5. `Number.EPSILON`
6. 安全整数和 `Number.isSafeInteger()`
7. `Math` 对象的扩展
8. 指数运算符

1. 二进制和八进制表示法

ES6 提供了二进制和八进制数值的新的写法，分别用前缀 `0b`（或 `0B`）和 `0o`（或 `0O`）表示。

```
0b111110111 === 503 // true
0o767 === 503 // true
```

从 ES5 开始，在严格模式之中，八进制就不再允许使用前缀 `0` 表示，ES6 进一步明确，要使用前缀 `0o` 表示。

```
// 非严格模式
(function(){
  console.log(0o11 === 011);
})(); // true

// 严格模式
(function(){
  'use strict';
  console.log(0o11 === 011);
})(); // Uncaught SyntaxError: Octal literals are not allowed in strict mode.
```

如果要将 `0b` 和 `0o` 前缀的字符串数值转为十进制，要使用 `Number` 方法。

```
Number('0b111') // 7
Number('0o10') // 8
```

2. `Number.isFinite()`, `Number.isNaN()`

ES6 在 `Number` 对象上，新提供了 `Number.isFinite()` 和 `Number.isNaN()` 两个方法。

`Number.isFinite()` 用来检查一个数值是否为有限的（finite），即不是 `Infinity`。

```
Number.isFinite(15); // true
Number.isFinite(0.8); // true
Number.isFinite(NaN); // false
Number.isFinite(Infinity); // false
Number.isFinite(-Infinity); // false
Number.isFinite('foo'); // false
Number.isFinite('15'); // false
Number.isFinite(true); // false
```

注意，如果参数类型不是数值，`Number.isFinite` 一律返回 `false`。

`Number.isNaN()` 用来检查一个值是否为 `NaN`。

```
Number.isNaN(NaN) // true
Number.isNaN(15) // false
Number.isNaN('15') // false
Number.isNaN(true) // false
Number.isNaN(9/NaN) // true
Number.isNaN('true' / 0) // true
Number.isNaN('true' / 'true') // true
```

如果参数类型不是 `NaN`，`Number.isNaN` 一律返回 `false`。

它们与传统的全局方法 `isFinite()` 和 `isNaN()` 的区别在于，传统方法先调用 `Number()` 将非数值的值转为数值，再进行判断，而这两个新方法只对数值有效，`Number.isFinite()` 对于非数值一律返回 `false`，`Number.isNaN()` 只有对于 `NaN` 才返回 `true`，非 `NaN` 一律返回 `false`。

```
isFinite(25) // true
isFinite("25") // true
Number.isFinite(25) // true
Number.isFinite("25") // false

isNaN(NaN) // true
isNaN("NaN") // true
Number.isNaN(NaN) // true
Number.isNaN("NaN") // false
Number.isNaN(1) // false
```

3. Number.parseInt(), Number.parseFloat()

ES6 将全局方法 `parseInt()` 和 `parseFloat()`，移植到 `Number` 对象上面，行为完全保持不变。

```
// ES5的写法
parseInt('12.34') // 12
parseFloat('123.45#') // 123.45

// ES6的写法
Number.parseInt('12.34') // 12
Number.parseFloat('123.45#') // 123.45
```

这样做的目的，是逐步减少全局性方法，使得语言逐步模块化。

```
Number.parseInt === parseInt // true
Number.parseFloat === parseFloat // true
```

4. Number.isInteger()

`Number.isInteger()` 用来判断一个数值是否为整数。

```
Number.isInteger(25) // true
Number.isInteger(25.1) // false
```

JavaScript 内部，整数和浮点数采用的是同样的储存方法，所以 25 和 25.0 被视为同一个值。

```
Number.isInteger(25) // true
Number.isInteger(25.0) // true
```

如果参数不是数值，`Number.isInteger` 返回 `false`。

```
Number.isInteger() // false
Number.isInteger(null) // false
Number.isInteger('15') // false
Number.isInteger(true) // false
```

注意，由于 JavaScript 采用 IEEE 754 标准，数值存储为64位双精度格式，数值精度最多可以达到 53 个二进制位（1 个隐藏位与 52 个有效位）。如果数值的精度超过这个限度，第54位及后面的位就会被丢弃，这种情况下，`Number.isInteger` 可能会误判。

```
Number.isInteger(3.0000000000000002) // true
```

上面代码中，`Number.isInteger` 的参数明明不是整数，但是会返回 `true`。原因就是这个小数的精度达到了小数点后16个十进制位，转成二进制位超过了53个二进制位，导致最后的那个 `2` 被丢弃了。

类似的情况还有，如果一个数值的绝对值小于 `Number.MIN_VALUE`（5E-324），即小于 JavaScript 能够分辨的最小值，会被自动转为 0。这时，`Number.isInteger` 也会误判。

```
Number.isInteger(5E-324) // false
Number.isInteger(5E-325) // true
```

上面代码中，`5E-325` 由于值太小，会被自动转为0，因此返回 `true`。

总之，如果对数据精度的要求较高，不建议使用 `Number.isInteger()` 判断一个数值是否为整数。

5. Number.EPSILON

ES6 在 `Number` 对象上面，新增一个极小的常量 `Number.EPSILON`。根据规格，它表示 1 与大于 1 的最小浮点数之间的差。

对于 64 位浮点数来说，大于 1 的最小浮点数相当于二进制的 `1.00...001`，小数点后面有连续 51 个零。这个值减去 1 之后，就等于 2 的 -52 次方。

```
Number.EPSILON === Math.pow(2, -52)
// true
Number.EPSILON
// 2.220446049250313e-16
Number.EPSILON.toFixed(20)
// "0.00000000000000022204"
```

`Number.EPSILON` 实际上是 JavaScript 能够表示的最小精度。误差如果小于这个值，就可以认为已经没有意义了，即不存在误差了。

引入一个这么小的量的目的，在于为浮点数计算，设置一个误差范围。我们知道浮点数计算是不精确的。

```
0.1 + 0.2
// 0.30000000000000004

0.1 + 0.2 - 0.3
// 5.551115123125783e-17

5.551115123125783e-17.toFixed(20)
// '0.00000000000000005551'
```

上面代码解释了，为什么比较 `0.1 + 0.2` 与 `0.3` 得到的结果是 `false`。

```
0.1 + 0.2 === 0.3 // false
```

`Number.EPSILON` 可以用来设置“能够接受的误差范围”。比如，误差范围设为 2 的-50 次方（即 `Number.EPSILON * Math.pow(2, 2)`），即如果两个浮点数的差小于这个值，我们就认为这两个浮点数相等。

```
5.551115123125783e-17 < Number.EPSILON * Math.pow(2, 2)
// true
```

因此，`Number.EPSILON` 的实质是一个可以接受的最小误差范围。

```
function withinErrorMargin (left, right) {
  return Math.abs(left - right) < Number.EPSILON * Math.pow(2, 2);
}

0.1 + 0.2 === 0.3 // false
withinErrorMargin(0.1 + 0.2, 0.3) // true

1.1 + 1.3 === 2.4 // false
withinErrorMargin(1.1 + 1.3, 2.4) // true
```

上面的代码为浮点数运算，部署了一个误差检查函数。

6. 安全整数和 `Number.isSafeInteger()`

JavaScript 能够准确表示的整数范围在 -2^{53} 到 2^{53} 之间（不含两个端点），超过这个范围，无法精确表示这个值。

```
Math.pow(2, 53) // 9007199254740992

9007199254740992 // 9007199254740992
9007199254740993 // 9007199254740992

Math.pow(2, 53) === Math.pow(2, 53) + 1
// true
```

上面代码中，超出 2 的 53 次方之后，一个数就不精确了。

ES6 引入了 `Number.MAX_SAFE_INTEGER` 和 `Number.MIN_SAFE_INTEGER` 这两个常量，用来表示这个范围的上下限。

```
Number.MAX_SAFE_INTEGER === Math.pow(2, 53) - 1
// true

Number.MAX_SAFE_INTEGER === 9007199254740991
// true

Number.MIN_SAFE_INTEGER === -Number.MAX_SAFE_INTEGER
// true

Number.MIN_SAFE_INTEGER === -9007199254740991
// true
```

上面代码中，可以看到 JavaScript 能够精确表示的极限。

`Number.isSafeInteger()` 则是用来判断一个整数是否落在这个范围之内。

```
Number.isSafeInteger('a') // false
Number.isSafeInteger(null) // false
Number.isSafeInteger(NaN) // false
Number.isSafeInteger(Infinity) // false
Number.isSafeInteger(-Infinity) // false

Number.isSafeInteger(3) // true
Number.isSafeInteger(1.2) // false
Number.isSafeInteger(9007199254740990) // true
Number.isSafeInteger(9007199254740992) // false
```

```
Number.isSafeInteger(Number.MIN_SAFE_INTEGER - 1) // false
Number.isSafeInteger(Number.MIN_SAFE_INTEGER) // true
Number.isSafeInteger(Number.MAX_SAFE_INTEGER) // true
Number.isSafeInteger(Number.MAX_SAFE_INTEGER + 1) // false
```

这个函数的实现很简单，就是跟安全整数的两个边界值比较一下。

```
Number.isSafeInteger = function (n) {
  return (typeof n === 'number' &&
    Math.round(n) === n &&
    Number.MIN_SAFE_INTEGER <= n &&
    n <= Number.MAX_SAFE_INTEGER);
}
```

实际使用这个函数时，需要注意。验证运算结果是否落在安全整数的范围内，不要只验证运算结果，而要同时验证参与运算的每个值。

```
Number.isSafeInteger(9007199254740993)
// false
Number.isSafeInteger(990)
// true
Number.isSafeInteger(9007199254740993 - 990)
// true
9007199254740993 - 990
// 返回结果 9007199254740002
// 正确答案应该是 9007199254740003
```

上面代码中，`9007199254740993` 不是一个安全整数，但是 `Number.isSafeInteger` 会返回结果，显示计算结果是安全的。这是因为，这个数超出了精度范围，导致在计算机内部，以 `9007199254740992` 的形式储存。

```
9007199254740993 === 9007199254740992
// true
```

所以，如果只验证运算结果是否为安全整数，很可能得到错误结果。下面的函数可以同时验证两个运算数和运算结果。

```
function trusty (left, right, result) {
  if (
    Number.isSafeInteger(left) &&
    Number.isSafeInteger(right) &&
    Number.isSafeInteger(result)
  ) {
    return result;
  }
  throw new RangeError('Operation cannot be trusted!');
}

trusty(9007199254740993, 990, 9007199254740993 - 990)
// RangeError: Operation cannot be trusted!

trusty(1, 2, 3)
// 3
```

7. Math 对象的扩展

ES6 在 `Math` 对象上新增了 17 个与数学相关的方法。所有这些方法都是静态方法，只能在 `Math` 对象上调用。

Math.trunc()

`Math.trunc` 方法用于去除一个数的小数部分，返回整数部分。

```
Math.trunc(4.1) // 4
Math.trunc(4.9) // 4
Math.trunc(-4.1) // -4
Math.trunc(-4.9) // -4
Math.trunc(-0.1234) // -0
```

对于非数值，`Math.trunc` 内部使用 `Number` 方法将其先转为数值。

```
Math.trunc('123.456') // 123
Math.trunc(true) // 1
Math.trunc(false) // 0
Math.trunc(null) // 0
```

对于空值和无法截取整数的值，返回 `NaN`。

```
Math.trunc(NaN); // NaN
Math.trunc('foo'); // NaN
Math.trunc(); // NaN
Math.trunc(undefined) // NaN
```

对于没有部署这个方法的环境，可以用下面的代码模拟。

```
Math.trunc = Math.trunc || function(x) {
  return x < 0 ? Math.ceil(x) : Math.floor(x);
};
```

Math.sign()

`Math.sign` 方法用来判断一个数到底是正数、负数、还是零。对于非数值，会先将其转换为数值。

它会返回五种植。

- 参数为正数，返回 `+1`；
- 参数为负数，返回 `-1`；
- 参数为 0，返回 `0`；
- 参数为-0，返回 `-0`；
- 其他值，返回 `NaN`。

```
Math.sign(-5) // -1
Math.sign(5) // +1
Math.sign(0) // +0
Math.sign(-0) // -0
Math.sign(NaN) // NaN
```

如果参数是非数值，会自动转为数值。对于那些无法转为数值的值，会返回 `NaN`。

```
Math.sign('') // 0
Math.sign(true) // +1
Math.sign(false) // 0
Math.sign(null) // 0
Math.sign('9') // +1
```

```
Math.sign('foo')    // NaN
Math.sign()         // NaN
Math.sign(undefined) // NaN
```

对于没有部署这个方法的环境，可以用下面的代码模拟。

```
Math.sign = Math.sign || function(x) {
  x = +x; // convert to a number
  if (x === 0 || isNaN(x)) {
    return x;
  }
  return x > 0 ? 1 : -1;
};
```

Math.cbrt()

`Math.cbrt` 方法用于计算一个数的立方根。

```
Math.cbrt(-1) // -1
Math.cbrt(0)  // 0
Math.cbrt(1)  // 1
Math.cbrt(2)  // 1.2599210498948734
```

对于非数值，`Math.cbrt` 方法内部也是先使用 `Number` 方法将其转为数值。

```
Math.cbrt('8') // 2
Math.cbrt('hello') // NaN
```

对于没有部署这个方法的环境，可以用下面的代码模拟。

```
Math.cbrt = Math.cbrt || function(x) {
  var y = Math.pow(Math.abs(x), 1/3);
  return x < 0 ? -y : y;
};
```

Math.clz32()

`Math.clz32()` 方法将参数转为 32 位无符号整数的形式，然后这个 32 位值里面有多少个前导 0。

```
Math.clz32(0) // 32
Math.clz32(1) // 31
Math.clz32(1000) // 22
Math.clz32(0b01000000000000000000000000000000) // 1
Math.clz32(0b00100000000000000000000000000000) // 2
```

上面代码中，0 的二进制形式全为 0，所以有 32 个前导 0；1 的二进制形式是 `0b1`，只占 1 位，所以 32 位之中有 31 个前导 0；1000 的二进制形式是 `0b1111101000`，一共有 10 位，所以 32 位之中有 22 个前导 0。

`clz32` 这个函数名就来自“count leading zero bits in 32-bit binary representation of a number”（计算一个数的 32 位二进制形式的前导 0 的个数）的缩写。

左移运算符（`<<`）与 `Math.clz32` 方法直接相关。

```
Math.clz32(0) // 32
Math.clz32(1) // 31
Math.clz32(1 << 1) // 30
Math.clz32(1 << 2) // 29
Math.clz32(1 << 29) // 2
```

对于小数，`Math.clz32` 方法只考虑整数部分。

```
Math.clz32(3.2) // 30
Math.clz32(3.9) // 30
```

对于空值或其他类型的值，`Math.clz32` 方法会将它们先转为数值，然后再计算。

```
Math.clz32() // 32
Math.clz32(NaN) // 32
Math.clz32(Infinity) // 32
Math.clz32(null) // 32
Math.clz32('foo') // 32
Math.clz32([]) // 32
Math.clz32({}) // 32
Math.clz32(true) // 31
```

Math.imul()

`Math.imul` 方法返回两个数以 32 位带符号整数形式相乘的结果，返回的也是一个 32 位的带符号整数。

```
Math.imul(2, 4) // 8
Math.imul(-1, 8) // -8
Math.imul(-2, -2) // 4
```

如果只考虑最后 32 位，大多数情况下，`Math.imul(a, b)` 与 `a * b` 的结果是相同的，即该方法等同于 `(a * b) | 0` 的效果（超过 32 位的部分溢出）。之所以需要部署这个方法，是因为 JavaScript 有精度限制，超过 2 的 53 次方的值无法精确表示。这就是说，对于那些很大的数的乘法，低位数值往往都是不精确的，`Math.imul` 方法可以返回正确的低位数值。

```
(0x7fffffff * 0x7fffffff) | 0 // 0
```

上面这个乘法算式，返回结果为 0。但是由于这两个二进制数的最低位都是 1，所以这个结果肯定是不正确的，因为根据二进制乘法，计算结果的二进制最低位应该也是 1。这个错误就是因为它们的乘积超过了 2 的 53 次方，JavaScript 无法保存额外的精度，就把低位的值都变成了 0。`Math.imul` 方法可以返回正确的值 1。

```
Math.imul(0x7fffffff, 0x7fffffff) // 1
```

Math.fround()

`Math.fround` 方法返回一个数的 32 位单精度浮点数形式。

对于 32 位单精度格式来说，数值精度是 24 个二进制位（1 位隐藏位与 23 位有效位），所以对于 -2^{24} 至 2^{24} 之间的整数（不含两个端点），返回结果与参数本身一致。

```
Math.fround(0) // 0
Math.fround(1) // 1
Math.fround(2 ** 24 - 1) // 16777215
```


如果参数的绝对值大于 2^{24} ，返回的结果便开始丢失精度。

```
Math.fround(2 ** 24) // 16777216
Math.fround(2 ** 24 + 1) // 16777216
```

`Math.fround` 方法的主要作用，是将64位双精度浮点数转为32位单精度浮点数。如果小数的精度超过24个二进制位，返回值就会不同于原值，否则返回值不变（即与64位双精度值一致）。

```
// 未丢失有效精度
Math.fround(1.125) // 1.125
Math.fround(7.25) // 7.25

// 丢失精度
Math.fround(0.3) // 0.30000001192092896
Math.fround(0.7) // 0.699999988079071
Math.fround(1.0000000123) // 1
```

对于 `NaN` 和 `Infinity`，此方法返回原值。对于其它类型的非数值，`Math.fround` 方法会先将其转为数值，再返回单精度浮点数。

```
Math.fround(NaN) // NaN
Math.fround(Infinity) // Infinity

Math.fround('5') // 5
Math.fround(true) // 1
Math.fround(null) // 0
Math.fround([]) // 0
Math.fround({}) // NaN
```

对于没有部署这个方法的环境，可以用下面的代码模拟。

```
Math.fround = Math.fround || function (x) {
  return new Float32Array([x])[0];
};
```

Math.hypot()

`Math.hypot` 方法返回所有参数的平方和的平方根。

```
Math.hypot(3, 4); // 5
Math.hypot(3, 4, 5); // 7.0710678118654755
Math.hypot(); // 0
Math.hypot(NaN); // NaN
Math.hypot(3, 4, 'foo'); // NaN
Math.hypot(3, 4, '5'); // 7.0710678118654755
Math.hypot(-3); // 3
```

上面代码中，3 的平方加上 4 的平方，等于 5 的平方。

如果参数不是数值，`Math.hypot` 方法会将其转为数值。只要有一个参数无法转为数值，就会返回 `NaN`。

对数方法

ES6 新增了 4 个对数相关方法。

(1) Math.expm1()

`Math.expm1(x)` 返回 $e^x - 1$ ，即 `Math.exp(x) - 1`。

```
Math.expm1(-1) // -0.6321205588285577
Math.expm1(0)  // 0
Math.expm1(1)  // 1.718281828459045
```

对于没有部署这个方法的环境，可以用下面的代码模拟。

```
Math.expm1 = Math.expm1 || function(x) {
  return Math.exp(x) - 1;
};
```

(2) Math.log1p()

`Math.log1p(x)` 方法返回 $1 + x$ 的自然对数，即 `Math.log(1 + x)`。如果 x 小于 -1，返回 NaN。

```
Math.log1p(1) // 0.6931471805599453
Math.log1p(0) // 0
Math.log1p(-1) // -Infinity
Math.log1p(-2) // NaN
```

对于没有部署这个方法的环境，可以用下面的代码模拟。

```
Math.log1p = Math.log1p || function(x) {
  return Math.log(1 + x);
};
```

(3) Math.log10()

`Math.log10(x)` 返回以 10 为底的 x 的对数。如果 x 小于 0，则返回 NaN。

```
Math.log10(2) // 0.3010299956639812
Math.log10(1) // 0
Math.log10(0) // -Infinity
Math.log10(-2) // NaN
Math.log10(100000) // 5
```

对于没有部署这个方法的环境，可以用下面的代码模拟。

```
Math.log10 = Math.log10 || function(x) {
  return Math.log(x) / Math.LN10;
};
```

(4) Math.log2()

`Math.log2(x)` 返回以 2 为底的 x 的对数。如果 x 小于 0，则返回 NaN。

```
Math.log2(3) // 1.584962500721156
Math.log2(2) // 1
Math.log2(1) // 0
Math.log2(0) // -Infinity
Math.log2(-2) // NaN
Math.log2(1024) // 10
Math.log2(1 << 29) // 29
```

对于没有部署这个方法的环境，可以用下面的代码模拟。

```
Math.log2 = Math.log2 || function(x) {
  return Math.log(x) / Math.LN2;
};
```

双曲函数方法

ES6 新增了 6 个双曲函数方法。

- `Math.sinh(x)` 返回 `x` 的双曲正弦 (hyperbolic sine)
- `Math.cosh(x)` 返回 `x` 的双曲余弦 (hyperbolic cosine)
- `Math.tanh(x)` 返回 `x` 的双曲正切 (hyperbolic tangent)
- `Math.asinh(x)` 返回 `x` 的反双曲正弦 (inverse hyperbolic sine)
- `Math.acosh(x)` 返回 `x` 的反双曲余弦 (inverse hyperbolic cosine)
- `Math.atanh(x)` 返回 `x` 的反双曲正切 (inverse hyperbolic tangent)

8. 指数运算符

ES2016 新增了一个指数运算符 (`**`)。

```
2 ** 2 // 4
2 ** 3 // 8
```

这个运算符的一个特点是右结合，而不是常见的左结合。多个指数运算符连用时，是从最右边开始计算的。

```
// 相当于 2 ** (3 ** 2)
2 ** 3 ** 2
// 512
```

上面代码中，首先计算的是第二个指数运算符，而不是第一个。

指数运算符可以与等号结合，形成一个新的赋值运算符 (`**=`)。

```
let a = 1.5;
a **= 2;
// 等同于 a = a * a;

let b = 4;
b **= 3;
// 等同于 b = b * b * b;
```

注意，V8 引擎的指数运算符与 `Math.pow` 的实现不相同，对于特别大的运算结果，两者会有细微的差异。

```
Math.pow(99, 99)
// 3.697296376497263e+197

99 ** 99
// 3.697296376497268e+197
```

上面代码中，两个运算结果的最后一位有效数字是有差异的。