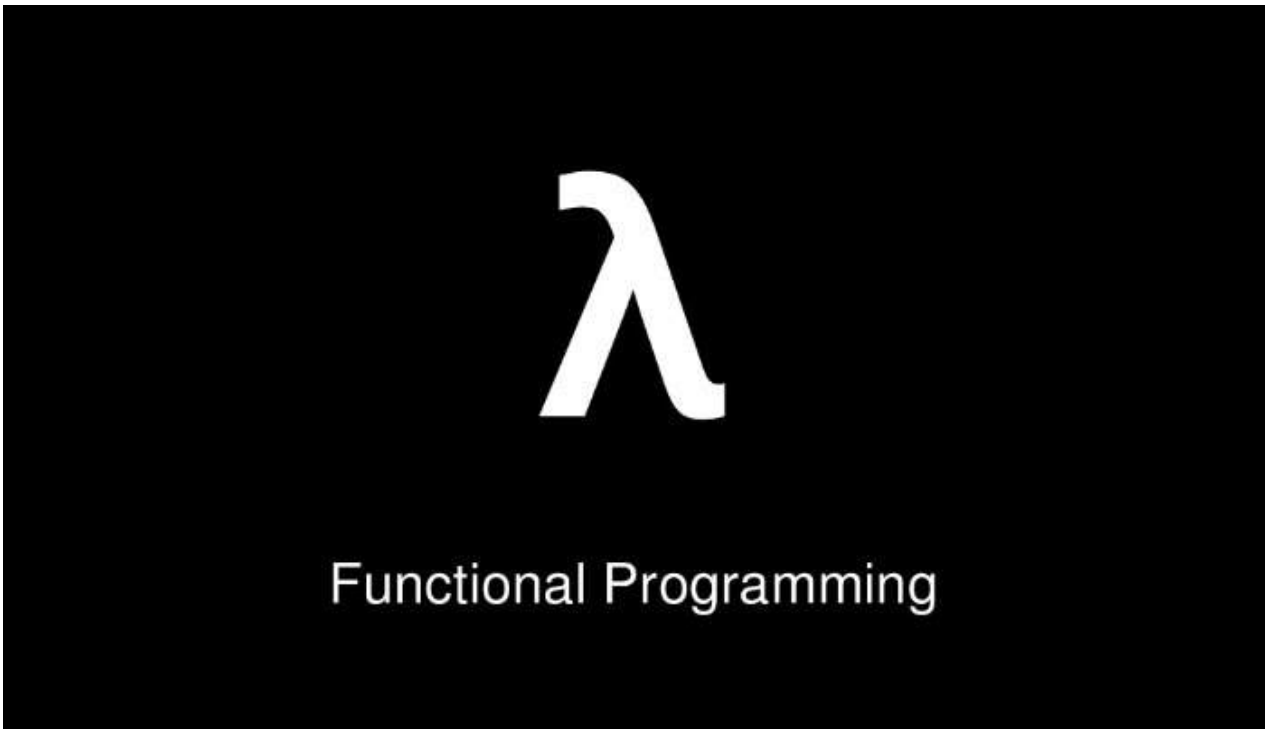
函数式编程入门教程

作者： 阮一峰

你可能听说过函数式编程（Functional programming），甚至已经使用了一段时间。

但是，你能说清楚，它到底是什么吗?



网上搜索一下，你会轻松找到好多答案。

> - 与面向对象编程（Object-oriented programming）和过程式编程（Procedural programming）并列的编程范式。
> - 最主要的特征是，函数是第一等公民。
> - 强调将计算过程分解成可复用的函数，典型例子就是`map`方法和`reduce`方法组合而成 MapReduce 算法。
> - 只有纯的、没有副作用的函数，才是合格的函数。

上面这些说法都对，但还不够，都没有回答下面这个更深层的问题。

> 为什么要这样做?

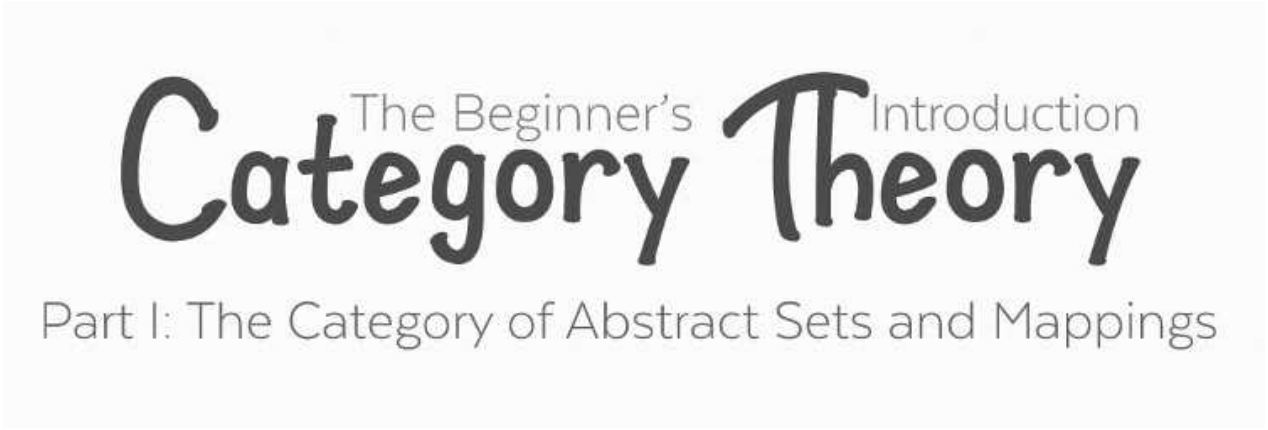
这就是，本文要解答的问题。我会通过最简单的语言，帮你理解函数式编程，并且学会它那些基本写法。

需要声明的是，我不是专家，而是一个初学者，最近两年才真正开始学习函数式编程。一直苦于看不懂各种资料，立志要写一篇清晰易懂的教程。下面的内容肯定不够严密，甚至可能包含错误，但是我发现，像下面这样解释，初学者最容易懂。

另外，本文比较长，阅读时请保持耐心。结尾还有 Udacity 的《前端工程师认证课程》的推广，非常感谢他们对本文的赞助。

一、范畴论

函数式编程的起源，是一门叫做范畴论（Category Theory）的数学分支。



理解函数式编程的关键，就是理解范畴论。它是一门很复杂的数学，认为世界上所有的概念体系，都可以抽象成一个个的"范畴"（category）。

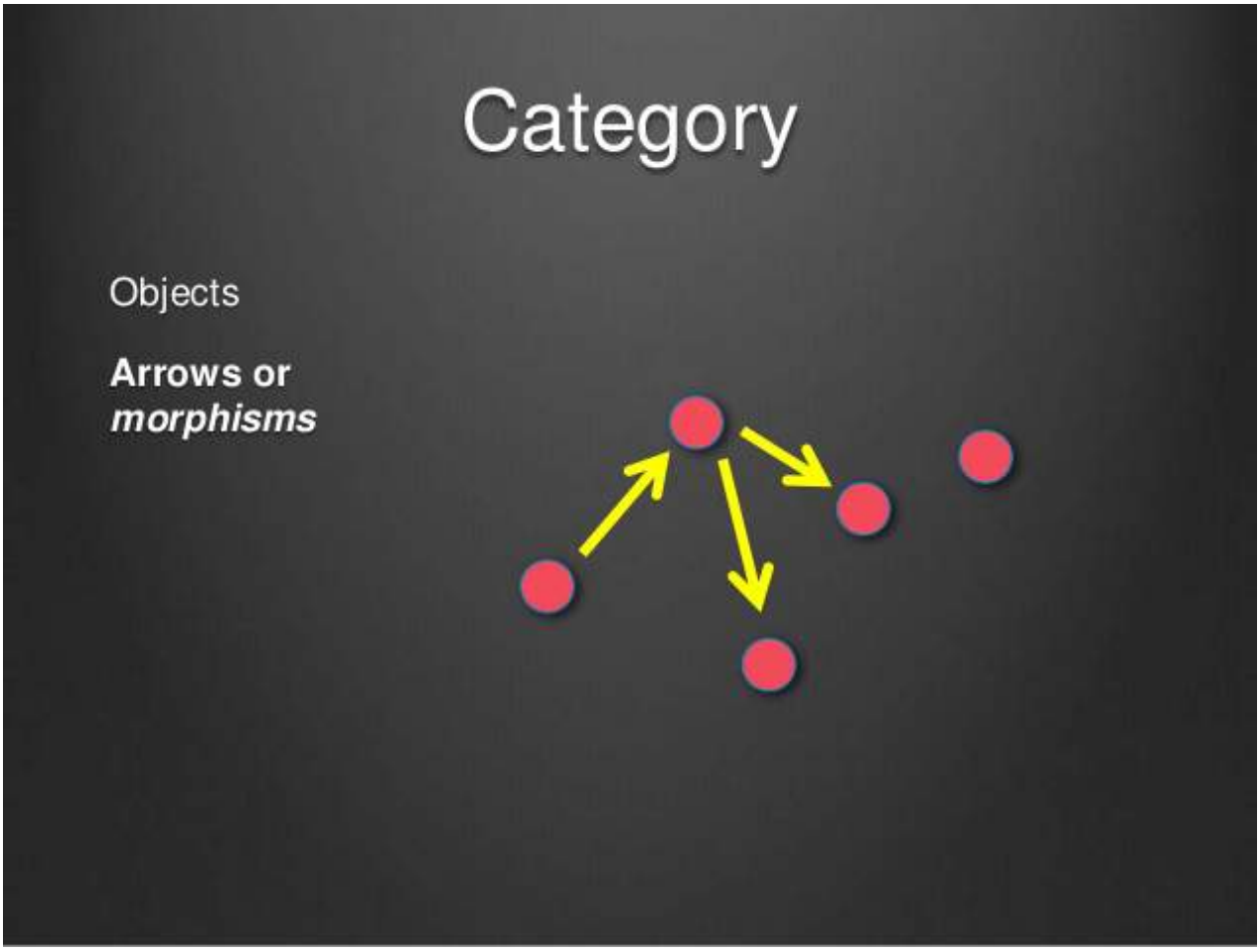
1.1 范畴的概念

什么是范畴呢?

维基百科的一句话定义如下。

> "范畴就是使用箭头连接的物体。"（In mathematics, a category is an algebraic structure that comprises "objects" that are linked by "arrows". ）

也就是说，彼此之间存在某种关系的概念、事物、对象等等，都构成"范畴"。随便什么东西，只要能找出它们之间的关系，就能定义一个"范畴"。



上图中，各个点与它们之间的箭头，就构成一个范畴。

箭头表示范畴成员之间的关系，正式的名称叫做"态射"（morphism）。范畴论认为，同一个范畴的所有成员，就是不同状态的"变形"（transformation）。通过"态射"，一个成员可以变形成另一个成员。

1.2 数学模型

既然"范畴"是满足某种变形关系的所有对象，就可以总结出它的数学模型。

> - 所有成员是一个集合
> - 变形关系是函数

也就是说，范畴论是集合论更上层的抽象，简单的理解就是"集合 + 函数"。

理论上通过函数，就可以从范畴的一个成员，算出其他所有成员。

1.3 范畴与容器

我们可以把"范畴"想象成是一个容器，里面包含两样东西。

> - 值（value）
> - 值的变形关系，也就是函数。

下面我们使用代码，定义一个简单的范畴。

```
class Category {
  constructor(val) {
    this.val = val;
  }

  addOne(x) {
    return x + 1;
  }
}
```

上面代码中，`Category`是一个类，也是一个容器，里面包含一个值（`this.val`）和一种变形关系（`addOne`）。你可能已经看出来了，这里的范畴，就是所有彼此之间相差`1`的数字。

注意，本文后面的部分，凡是提到"容器"的地方，全部都是指"范畴"。

1.4 范畴论与函数式编程的关系

范畴论使用函数，表达范畴之间的关系。

伴随着范畴论的发展，就发展出一整套函数的运算方法。这套方法起初只用于数学运算，后来有人将它在计算机上实现了，就变成了今天的"函数式编程"。

本质上，函数式编程只是范畴论的运算方法，跟数理逻辑、微积分、行列式是同一类东西，都是数学方法，只是碰巧它能用来写程序。

所以，你明白了吗，为什么函数式编程要求函数必须是纯的，不能有副作用？因为它是一种数学运算，原始目的就是求值，不做其他事情，否则就无法满足函数运算法则了。

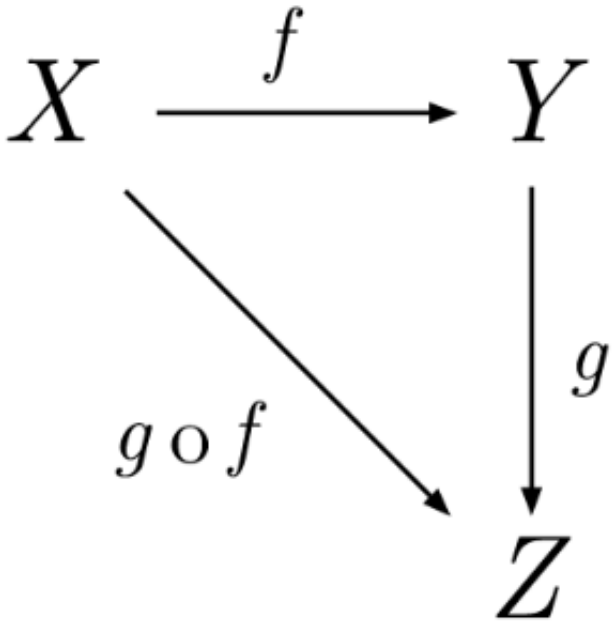
总之，在函数式编程中，函数就是一个管道（pipe）。这头进去一个值，那头就会出来一个新的值，没有其他作用。

二、函数的合成与柯里化

函数式编程有两个最基本的运算：合成和柯里化。

2.1 函数的合成

如果一个值要经过多个函数，才能变成另外一个值，就可以把所有中间步骤合并成一个函数，这叫做"函数的合成"（compose）。



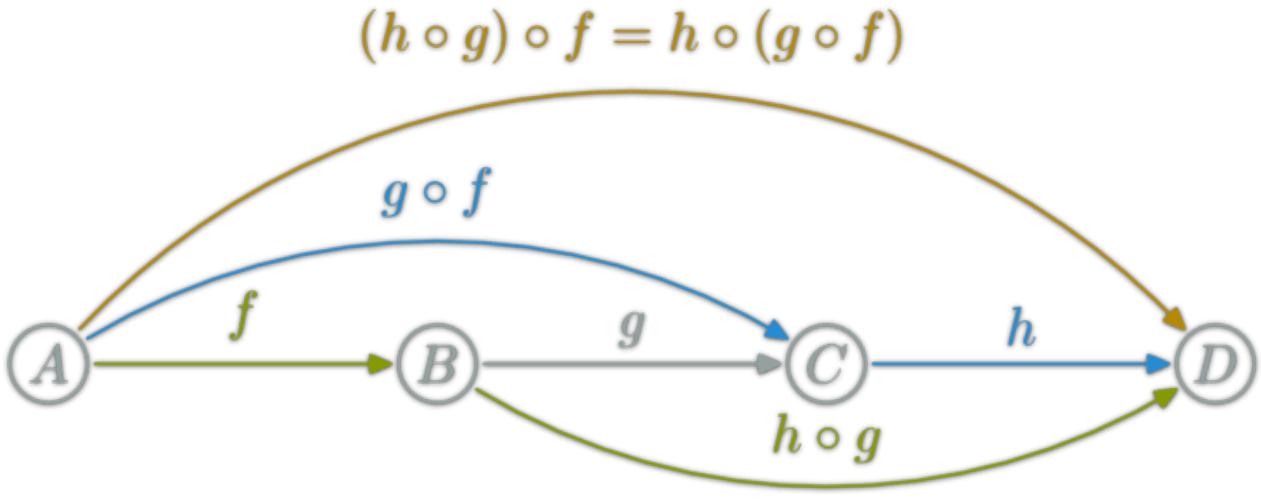
上图中，`X`和`Y`之间的变形关系是函数`f`，`Y`和`Z`之间的变形关系是函数`g`，那么`X`和`Z`之间的关系，就是`g`和`f`的合成函数`g·f`。

下面就是代码实现了，我使用的是 JavaScript 语言。注意，本文所有示例代码都是简化过的，完整的 Demo 请看《参考链接》部分。

合成两个函数的简单代码如下。

```
const compose = function (f, g) {
  return function (x) {
    return f(g(x));
  };
}
```

函数的合成还必须满足结合律。



```
compose(f, compose(g, h))
// 等同于
compose(compose(f, g), h)
// 等同于
compose(f, g, h)
```

合成也是函数必须是纯的一个原因。因为一个不纯的函数，怎么跟其他函数合成？怎么保证各种合成以后，它会达到预期的行为？

前面说过，函数就像数据的管道（pipe）。那么，函数合成就是将这些管道连了起来，让数据一口气从多个管道中穿过。

2.2 柯里化

`f(x)`和`g(x)`合成为`f(g(x))`，有一个隐藏的前提，就是`f`和`g`都只能接受一个参数。如果可以接受多个参数，比如`f(x, y)`和`g(a, b, c)`，函数合成就非常麻烦。

这时就需要函数柯里化了。所谓"柯里化"，就是把一个多参数的函数，转化为单参数函数。

```
// 柯里化之前
function add(x, y) {
  return x + y;
}

add(1, 2) // 3

// 柯里化之后
function addX(y) {
  return function (x) {
    return x + y;
  };
}

addX(2)(1) // 3
```

有了柯里化以后，我们就能做到，所有函数只接受一个参数。后文的内容除非另有说明，都默认函数只有一个参数，就是所要处理的那个值。

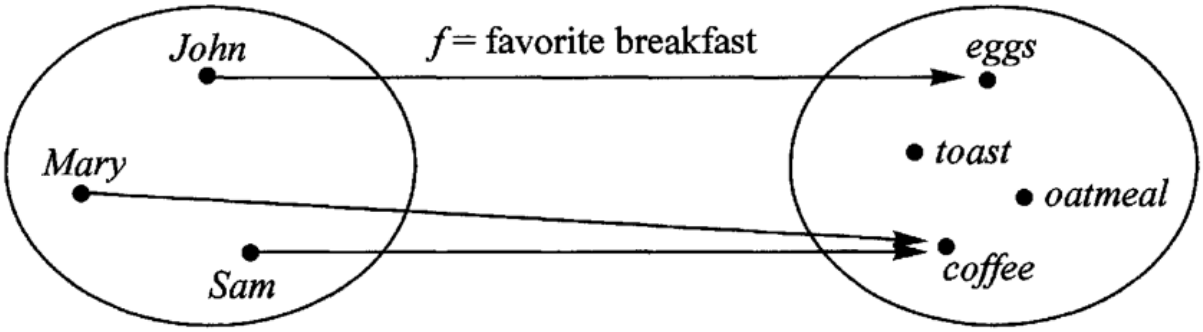
三、函子

函数不仅可以用于同一个范畴之中值的转换，还可以用于将一个范畴转成另一个范畴。这就涉及到了函子（Functor）。

3.1 函子的概念

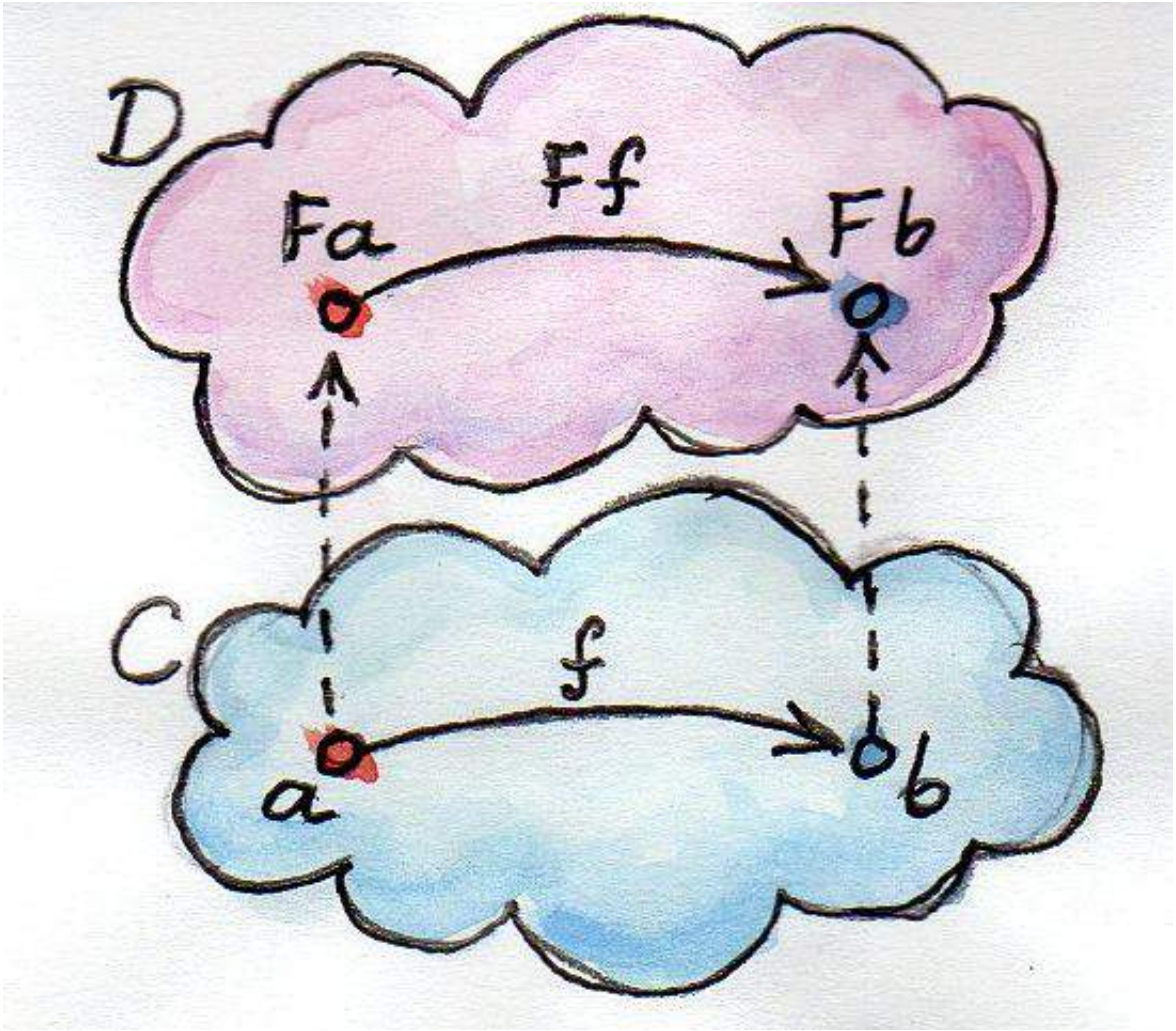
函子是函数式编程里面最重要的数据类型，也是基本的运算单位和功能单位。

它首先是一种范畴，也就是说，是一个容器，包含了值和变形关系。**比较特殊的是，它的变形关系可以依次作用于每一个值，将当前容器变形成另一个容器。**



上图中，左侧的圆圈就是一个函子，表示人名的范畴。外部传入函数`f`，会转成右边表示早餐的范畴。

下面是一张更一般的图。



上图中，函数`f`完成值的转换（`a`到`b`），将它传入函子，就可以实现范畴的转换（`Fa`到`Fb`）。

3.2 函子的代码实现

任何具有`map`方法的数据结构，都可以当作函子的实现。

```
class Functor {
  constructor(val) {
    this.val = val;
  }

  map(f) {
    return new Functor(f(this.val));
  }
}
```

上面代码中，`Functor`是一个函子，它的`map`方法接受函数`f`作为参数，然后返回一个新的函子，里面包含的值是被`f`处理过的（`f(this.val)`）。

一般约定，函子的标志就是容器具有`map`方法。该方法将容器里面的每一个值，映射到另一个容器。

下面是一些用法的示例。

```
(new Functor(2)).map(function (two) {
  return two + 2;
});
// Functor(4)

(new Functor('flamethrowers')).map(function(s) {
  return s.toUpperCase();
});
// Functor('FLAMETHROWERS')

(new Functor('bombs')).map(_.concat(' away')).map(_.prop('length'));
// Functor(10)
```

上面的例子说明，函数式编程里面的运算，都是通过函子完成，即运算不直接针对值，而是针对这个值的容器----函子。函子本身具有对外接口（`map`方法），各种函数就是运算符，通过接口接入容器，引发容器里面的值的变形。

因此，**学习函数式编程，实际上就是学习函子的各种运算。**由于可以把运算方法封装在函子里面，所以又衍生出各种不同类型的函子，有多少种运算，就有多少种函子。函数式编程就变成了运用不同的函子，解决实际问题。

四、of 方法

你可能注意到了，上面生成新的函子的时候，用了`new`命令。这实在太不像函数式编程了，因为`new`命令是面向对象编程的标志。

函数式编程一般约定，函子有一个`of`方法，用来生成新的容器。

下面就用`of`方法替换掉`new`。

```
Functor.of = function(val) {
  return new Functor(val);
};
```

然后，前面的例子就可以改成下面这样。

```
Functor.of(2).map(function (two) {
  return two + 2;
});
// Functor(4)
```

这就更像函数式编程了。

五、Maybe 函子

函子接受各种函数，处理容器内部的值。这里就有一个问题，容器内部的值可能是一个空值（比如`null`），而外部函数未必有处理空值的机制，如果传入空值，很可能就会出错。

```
Functor.of(null).map(function (s) {
  return s.toUpperCase();
});
// TypeError
```

上面代码中，函子里面的值是`null`，结果小写变成大写的时候就出错了。

Maybe 函子就是为了解决这一类问题而设计的。简单说，它的`map`方法里面设置了空值检查。

```
class Maybe extends Functor {
  map(f) {
    return this.val ? Maybe.of(f(this.val)) : Maybe.of(null);
  }
}
```

有了 Maybe 函子，处理空值就不会出错了。

```
Maybe.of(null).map(function (s) {
  return s.toUpperCase();
});
// Maybe(null)
```

六、Either 函子

条件运算`if...else`是最常见的运算之一，函数式编程里面，使用 Either 函子表达。

Either 函子内部有两个值：左值（`Left`）和右值（`Right`）。右值是正常情况下使用的值，左值是右值不存在时使用的默认值。

```
class Either extends Functor {
```

```
  constructor(left, right) {
    this.left = left;
    this.right = right;
  }

  map(f) {
    return this.right ?
      Either.of(this.left, f(this.right)) :
      Either.of(f(this.left), this.right);
  }
}

Either.of = function (left, right) {
  return new Either(left, right);
};
```

下面是用法。

```
var addOne = function (x) {
  return x + 1;
};

Either.of(5, 6).map(addOne);
// Either(5, 7);

Either.of(1, null).map(addOne);
// Either(2, null);
```

上面代码中，如果右值有值，就使用右值，否则使用左值。通过这种方式，Either 函子表达了条件运算。

Either 函子的常见用途是提供默认值。下面是一个例子。

```
Either
.of({address: 'xxx'}, currentUser.address)
.map(updateField);
```

上面代码中，如果用户没有提供地址，Either 函子就会使用左值的默认地址。

Either 函子的另一个用途是代替`try...catch`，使用左值表示错误。

```
function parseJSON(json) {
  try {
    return Either.of(null, JSON.parse(json));
  } catch (e: Error) {
    return Either.of(e, null);
  }
}
```

上面代码中，左值为空，就表示没有出错，否则左值会包含一个错误对象`e`。一般来说，所有可能出错的运算，都可以返回一个 Either 函子。

七、ap 函子

函子里面包含的值，完全可能是函数。我们可以想象这样一种情况，一个函子的值是数值，另一个函子的值是函数。

```
function addTwo(x) {
  return x + 2;
}

const A = Functor.of(2);
const B = Functor.of(addTwo)
```

上面代码中，函子`A`内部的值是`2`，函子`B`内部的值是函数`addTwo`。

有时，我们想让函子`B`内部的函数，可以使用函子`A`内部的值进行运算。这时就需要用到 ap 函子。

ap 是 applicative（应用）的缩写。凡是部署了`ap`方法的函子，就是 ap 函子。

```
class Ap extends Functor {
  ap(F) {
    return Ap.of(this.val(F.val));
  }
}
```

注意，`ap`方法的参数不是函数，而是另一个函子。

因此，前面例子可以写成下面的形式。

```
Ap.of(addTwo).ap(Functor.of(2))
// Ap(4)
```

ap 函子的意义在于，对于那些多参数的函数，就可以从多个容器之中取值，实现函子的链式操作。

```
function add(x) {
  return function (y) {
    return x + y;
  };
}

Ap.of(add).ap(Maybe.of(2)).ap(Maybe.of(3));
// Ap(5)
```

上面代码中，函数`add`是柯里化以后的形式，一共需要两个参数。通过 ap 函子，我们就可以实现从两个容器之中取值。它还有另外一种写法。

```
Ap.of(add(2)).ap(Maybe.of(3));
```

八、Monad 函子

函子是一个容器，可以包含任何值。函子之中再包含一个函子，也是完全合法的。但是，这样就会出现多层嵌套的函子。

```
Maybe.of(
  Maybe.of(
    Maybe.of({name: 'Mulburry', number: 8402})
  )
)
```

上面这个函子，一共有三个`Maybe`嵌套。如果要取出内部的值，就要连续取三次`this.val`。这当然很不方便，因此就出现了 Monad 函子。

Monad 函子的作用是，总是返回一个单层的函子。它有一个`flatMap`方法，与`map`方法作用相同，唯一的区别是如果生成了一个嵌套函子，它会取出后者内部的值，保证返回的永远是一个单层的容器，不会出现嵌套的情况。

```
class Monad extends Functor {
  join() {
    return this.val;
  }
  flatMap(f) {
    return this.map(f).join();
  }
}
```

上面代码中，如果函数`f`返回的是一个函子，那么`this.map(f)`就会生成一个嵌套的函子。所以，`join`方法保证了`flatMap`方法总是返回一个单层的函子。这意味着嵌套的函子会被铺平（flatten）。

九、IO 操作

Monad 函子的重要应用，就是实现 I/O （输入输出）操作。

I/O 是不纯的操作，普通的函数式编程没法做，这时就需要把 IO 操作写成`Monad`函子，通过它来完成。

```
var fs = require('fs');

var readFile = function(filename) {
  return new IO(function() {
    return fs.readFileSync(filename, 'utf-8');
  });
};

var print = function(x) {
  return new IO(function() {
```

```
    console.log(x);
    return x;
  });
}
```

上面代码中，读取文件和打印本身都是不纯的操作，但是`readFile`和`print`却是纯函数，因为它们总是返回 IO 函子。

如果 IO 函子是一个`Monad`，具有`flatMap`方法，那么我们就可以像下面这样调用这两个函数。

```
readFile('./user.txt')
.flatMap(print)
```

这就是神奇的地方，上面的代码完成了不纯的操作，但是因为`flatMap`返回的还是一个 IO 函子，所以这个表达式是纯的。我们通过一个纯的表达式，完成带有副作用的操作，这就是 Monad 的作用。

由于返回还是 IO 函子，所以可以实现链式操作。因此，在大多数库里面，`flatMap`方法被改名成`chain`。

```
var tail = function(x) {
  return new IO(function() {
    return x[x.length - 1];
  });
}

readFile('./user.txt')
.flatMap(tail)
.flatMap(print)

// 等同于
readFile('./user.txt')
.chain(tail)
.chain(print)
```

上面代码读取了文件`user.txt`，然后选取最后一行输出。