观察者模式

游戏设计模式 / Design Patterns Revisited

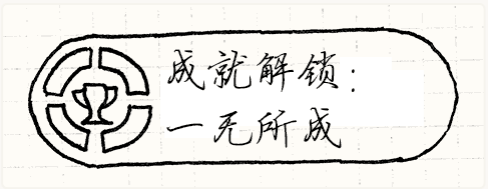
随便打开电脑中的一个应用，很有可能它就使用了MVC架构， 而究其根本，是因为观察者模式。 观察者模式应用广泛，Java甚至将其放到了核心库之中（`java.util.Observer`），而C#直接将其嵌入了语法（`event`关键字）。

> 就像软件中的很多东西，MVC是Smalltalkers在七十年代创造的。 Lisp程序员也许会说其实是他们在六十年代发明的，但是他们懒得记下来。

观察者模式是应用最广泛和最广为人知的GoF模式，但是游戏开发世界与世隔绝， 所以对你来说，它也许是全新的。 假设你与世隔绝，让我给你举个形象的例子。

成就解锁

假设我们向游戏中添加了成就系统。 它存储了玩家可以完成的各种各样的成就，比如“杀死1000只猴子恶魔”，“从桥上掉下去”，或者“一命通关”。



> 我发誓画的这个没有第二个意思，笑。

要实现这样一个包含各种行为来解锁成就的系统是很有技巧的。 如果我们不够小心，成就系统会缠绕在代码库的每个黑暗角落。 当然，“从桥上掉落”和物理引擎相关， 但我们并不想看到在处理撞击代码的线性代数时， 有个对`unlockFallOffBridge()`的调用是不？

> 这只是随口一说。 有自尊的物理程序员绝不会允许像**游戏玩法**这样的平凡之物玷污他们优美的算式。

我们喜欢的是，照旧，让关注游戏一部分的所有代码集成到一块。 挑战在于，成就在游戏的不同层面被触发。怎么解耦成就系统和其他部分呢？

这就是观察者模式出现的原因。 这让代码宣称有趣的事情发生了，而不必关心到底是谁接受了通知。

举个例子，有物理代码处理重力，追踪哪些物体待在地表，哪些坠入深渊。 为了实现“桥上掉落”的徽章，我们可以直接把成就代码放在那里，但那就会一团糟。 相反，可以这样做：

```
void Physics::updateEntity(Entity& entity)
{
  bool wasOnSurface = entity.isOnSurface();
  entity.accelerate(GRAVITY);
```

```
  entity.update();
  if (wasOnSurface && !entity.isOnSurface())
  {
    notify(entity, EVENT_START_FALL);
  }
}
```

它做的就是声称，“额，我不知道有谁感兴趣，但是这个东西刚刚掉下去了。做你想做的事吧。”

> 物理引擎确实决定了要发送什么通知，所以这并没有完全解耦。但在架构这个领域，通常只能让系统变得**更好**，而不是**完美**。

成就系统注册它自己为观察者，这样无论何时物理代码发送通知，成就系统都能收到。 它可以检查掉落的物体是不是我们的失足英雄， 他之前有没有做过这种不愉快的与桥的经典力学遭遇。 如果满足条件，就伴着礼花和炫光解锁合适的成就，而这些都无需牵扯到物理代码。

事实上，我们可以改变成就的集合或者删除整个成就系统，而不必修改物理引擎。 它仍然会发送它的通知，哪怕实际没有东西接收。

> 当然，如果我们**永久**移除成就，没有任何东西需要物理引擎的通知， 我们也同样可以移除通知代码。但是在游戏的演进中，最好保持这里的灵活性。

它如何运作

如果你还不知道如何实现这个模式，你可能可以从之前的描述中猜到，但是为了减轻你的负担，我还是过一遍代码吧。

观察者

我们从那个需要知道别的对象做了什么事的类开始。 这些好打听的对象用如下接口定义：

```
class Observer
{
public:
  virtual ~Observer() {}
  virtual void onNotify(const Entity& entity, Event event) = 0;
};
```

> `onNotify()`的参数取决于你。这就是为什么是观察者**模式**， 而不是“可以粘贴到游戏中的真实代码”。 典型的参数是发送通知的对象和一个装入其他细节的“数据”参数。
>
> 如果你用泛型或者模板编程，你可能会在这里使用它们，但是根据你的特殊用况裁剪它们也很好。 这里，我将其硬编码为接受一个游戏实体和一个描述发生了什么的枚举。

任何实现了这个的具体类就成为了观察者。 在我们的例子中，是成就系统，所以我们可以像这样实现：

```
class Achievements : public Observer
{
public:
  virtual void onNotify(const Entity& entity, Event event)
  {
```

```
    switch (event)
    {
    case EVENT_ENTITY_FELL:
      if (entity.isHero() && heroIsOnBridge_)
      {
        unlock(ACHIEVEMENT_FELL_OFF_BRIDGE);
      }
      break;

      // 处理其他事件，更新heroIsOnBridge_变量……
    }
  }

private:
  void unlock(Achievement achievement)
  {
    // 如果还没有解锁，那就解锁成就……
  }

  bool heroIsOnBridge_;
};
```

被观察者

被观察的对象拥有通知的方法函数，用GoF的说法，那些对象被称为“主题”。 它有两个任务。首先，它有一个列表，保存默默等它通知的观察者：

```
class Subject
{
private:
  Observer* observers_[MAX_OBSERVERS];
  int numObservers_;
};
```

> 在真实代码中，你会使用动态大小的集合而不是一个定长数组。 在这里，我使用这种最基础的形式是为了那些不了解C++标准库的人们。

重点是被观察者暴露了公开的API来修改这个列表：

```
class Subject
{
public:
  void addObserver(Observer* observer)
  {
    // 添加到数组中……
  }

  void removeObserver(Observer* observer)
  {
    // 从数组中移除……
  }

  // 其他代码……
};
```

这就允许了外界代码控制谁接收通知。 被观察者与观察者交流，但是不与它们耦合。 在我们的例子中，没有一行物理代码会提及成就。 但它仍然可以与成就系统交流。这就是这个模式的聪慧之处。

被观察者有一列表观察者而不是单个观察者也是很重要的。 这保证了观察者不会相互干扰。 举个例子，假设音频引擎也需要观察坠落事件来播放合适的音乐。 如果客体只支持单个观察者，当音频引擎注册时，就会取消成就系统的注册。

这意味着这两个系统需要相互交互——而且是用一种极其糟糕的方式，第二个注册时会使第一个的注册失效。支持一列表的观察者保证了每个观察者都是被独立处理的。就它们各自的视角来看，自己是这世界上唯一看着被观察者的。

被观察者的剩余任务就是发送通知：

```
class Subject
{
protected:
  void notify(const Entity& entity, Event event)
  {
    for (int i = 0; i < numObservers_; i++)
    {
      observers_[i]->onNotify(entity, event);
    }
  }

  // 其他代码.....
};
```

> 注意，代码假设了观察者不会在它们的onNotify()方法中修改观察者列表。更加可靠的实现方法会阻止或优雅地处理这样的并发修改。

可被观察的物理系统

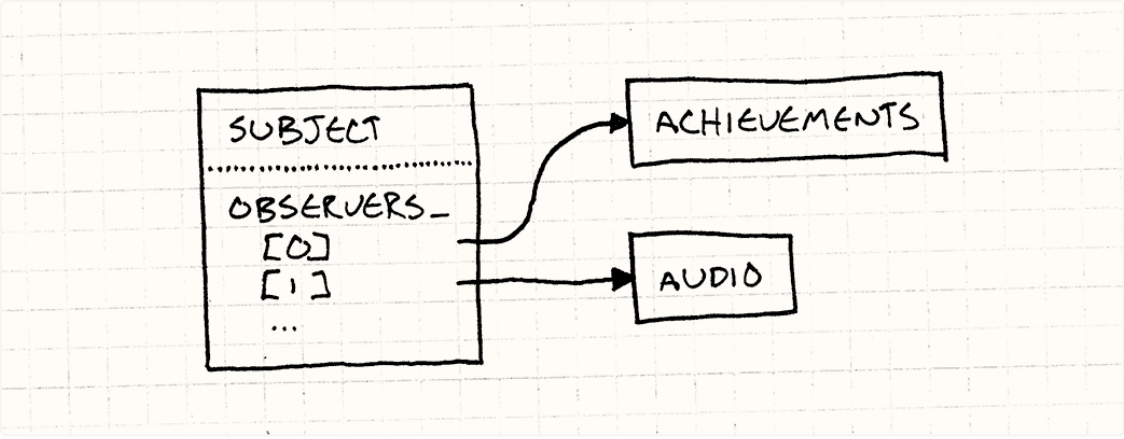
现在，我们只需要给物理引擎和这些挂钩，这样它可以发送消息，成就系统可以和引擎连线来接受消息。我们按照传统的设计模式方法实现，继承Subject：

```
class Physics : public Subject
{
public:
  void updateEntity(Entity& entity);
};
```

这让我们将notify()实现为了Subject内的保护方法。这样派生的物理引擎类可以调用并发送通知，但是外部的代码不行。同时，addObserver()和removeObserver()是公开的，所以任何可以接触物理引擎的东西都可以观察它。

> 在真实代码中，我会避免使用这里的继承。相反，我会让Physics **有** 一个Subject的实例。不再是观察物理引擎本身，被观察的会是独立的“下落事件”对象。观察者可以用像这样注册它们自己：
>
> ```
> physics.entityFell()
>   .addObserver(this);
> ```
>
> 对我而言，这是“观察者”系统与“事件”系统的不同之处。使用前者，你观察**做了有趣事情的事物**。使用后者，你观察的对象代表了**发生的有趣事情**。

现在，当物理引擎做了些值得关注的事情，它调用notify()，就像之前的例子。它遍历了观察者列表，通知所有观察者。



很简单，对吧？只要一个类管理一列表指向接口实例的指针。 难以置信的是，如此直观的东西是无数程序和应用框架交流的主心骨。

观察者模式不是完美无缺的。当我问其他程序员怎么看，他们提出了一些抱怨。 让我们看看可以做些什么来处理这些抱怨。

太慢了

我经常听到这点，通常是从那些不知道模式具体细节的程序员那里。 他们有一种假设，任何东西只要沾到了“设计模式”，那么一定包含了一堆类，跳转和浪费CPU循环其他行为。

观察者模式的名声特别坏，一些坏名声的事物与它如影随形， 比如“事件”，“消息”，甚至“数据绑定”。 其中的一些系统确实会慢。（通常是故意的，出于好的意图）。 他们使用队列，或者为每个通知动态分配内存。

> 这就是为什么我认为设计模式文档化很重要。 当我们没有统一的术语，我们就失去了简洁明确表达的能力。 你说“观察者”，我以为是“事件”，他以为是“消息”，因为没人花时间记下差异，也没人阅读。
>
> 而那就是在这本书中我要做的。 本书中也有一章关于事件和消息：事件队列.

现在你看到了模式是如何真正被实现的， 你知道事实并不如他们所想的这样。 发送通知只需简单地遍历列表，调用一些虚方法。 是的，这比静态调用慢一点，除非是性能攸关的代码，否则这点消耗都是微不足道的。

我发现这个模式在代码性能瓶颈以外的地方能有很好的应用， 那些你可以承担动态分配消耗的地方。 除那以外，使用它几乎毫无限制。 我们不必为消息分配对象，也无需使用队列。这里只多了一个用在同步方法调用上的额外跳转。

太快？

事实上，你得小心，观察者模式是同步的。 被观察者直接调用了观察者，这意味着直到所有观察者的通知方法返回后， 被观察者才会继续自己的工作。观察者会阻塞被观察者的运行。

这听起来很疯狂，但在实践中，这可不是世界末日。 这只是值得注意的事情。 UI程序员——那些使用基于事件的编程的程序员已经这么干了很多年了——有句经典名言：“远离UI线程”。

如果要对事件同步响应，你需要完成响应，尽可能快地返回，这样UI就不会锁死。 当你有耗时的操作要执行时，将这些操作推到另一个线程或工作队列中去。

你需要小心地在观察者中混合线程和锁。 如果观察者试图获得被观察者拥有的锁，游戏就进入死锁了。 在多线程引擎中，你最好使用事件队列来做异步通信。

“它做了太多动态分配”

整个程序员社区——包括很多游戏开发者——转向了拥有垃圾回收机制的语言， 动态分配今昔非比。 但在像游戏这样性能攸关的软件中，哪怕是在有垃圾回收机制的语言，内存分配也依然重要。 动态分配需要时间，回收内存也需要时间，哪怕是自动运行的。

> 很多游戏开发者不怎么担心分配,但很担心**分页**。 当游戏需要不崩溃地连续运行多日来获得发售资格，不断增加的分页堆会影响游戏的发售。
>
> 对象池模式一章介绍了避免这点的常用技术，以及更多其他细节。

在上面的示例代码中，我使用的是定长数组，因为我想尽可能保证简单。 在真实的项目中中，观察者列表随着观察者的添加和删除而动态地增长和缩短。 这种内存的分配吓坏了一些人。

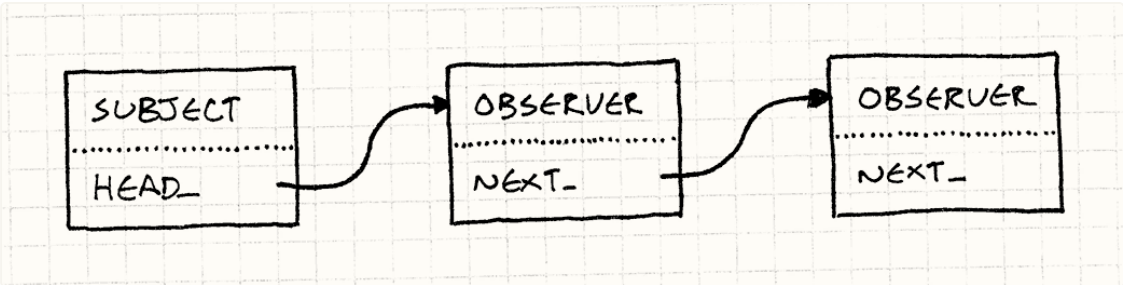
当然，第一件需要注意的事情是只在观察者加入时分配内存。 发送通知无需内存分配——只需一个方法调用。 如果你在游戏一开始就加入观察者而不乱动它们，分配的总量是很小的。

如果这仍然困扰你，我会介绍一种无需任何动态分配的方式来增加和删除观察者。

链式观察者

我们现在看到的所有代码中，`Subject`拥有一列指针指向观察它的`Observer`。`Observer`类本身没有对这个列表的引用。 它是纯粹的虚接口。优先使用接口，而不是有状态的具体类，这大体上是一件好事。

但是如果我们确实愿意在`Observer`中放一些状态， 我们可以将观察者的列表分布到观察者自己中来解决动态分配问题。 不是被观察者保留一列表分散的指针，观察者对象本身成为了链表中的一部分：



为了实现这一点，我们首先要摆脱`Subject`中的数组，然后用链表头部的指针取而代之：

```
class Subject
{
  Subject()
  : head_(NULL)
  {}

  // 方法……
private:
  Observer* head_;
};
```

然后，我们在`Observer`中添加指向链表中下一观察者的指针。

```
class Observer
{
  friend class Subject;
```

```
public:
  Observer()
  : next_(NULL)
  {}

  // 其他代码……
private:
  Observer* next_;
};
```

这里我们也让Subject成为了友类。 被观察者拥有增删观察者的API，但是现在链表在Observer内部管理。 最简单的实现办法就是让被观察者类成为友类。

注册一个新观察者就是将其连到链表中。我们用更简单的实现方法，将其插到开头：

```
void Subject::addObserver(Observer* observer)
{
  observer->next_ = head_;
  head_ = observer;
}
```

另一个选项是将其添加到链表的末尾。这么做增加了一定的复杂性。 Subject要么遍历整个链表来找到尾部，要么保留一个单独tail_指针指向最后一个节点。

加在在列表的头部很简单，但也有另一副作用。 当我们遍历列表给每个观察者发送一个通知， 最新注册的观察者最先接到通知。 所以如果以A，B，C的顺序来注册观察者，它们会以C，B，A的顺序接到通知。

理论上，这种还是那种方式没什么差别。 在好的观察者设计中，观察同一被观察者的两个观察者互相之间不该有任何顺序相关。 如果顺序确实有影响，这意味着这两个观察者有一些微妙的耦合，最终会害了你。

让我们完成删除操作：

```
void Subject::removeObserver(Observer* observer)
{
  if (head_ == observer)
  {
    head_ = observer->next_;
    observer->next_ = NULL;
    return;
  }

  Observer* current = head_;
  while (current != NULL)
  {
    if (current->next_ == observer)
    {
      current->next_ = observer->next_;
      observer->next_ = NULL;
      return;
    }

    current = current->next_;
  }
}
```

如你所见，从链表移除一个节点通常需要处理一些丑陋的特殊情况，应对头节点。 还可以使用指针的指针，实现一个更优雅的方案。

我在这里没有那么做，是因为半数看到这个方案的人都迷糊了。 但这是一个很值得做的练习：它能帮助你深入思考指针。

因为使用的是链表，所以我们得遍历它才能找到要删除的观察者。 如果我们使用普通的数组，也得做相同的事。 如果我们使用双向链表，每个观察者都有指向前面和后面的指针，就可以用常量时间移除观察者。在实际项目中，我会这样做。

剩下的事情只有发送通知了，这和遍历列表同样简单：

```
void Subject::notify(const Entity& entity, Event event)
{
  Observer* observer = head_;
  while (observer != NULL)
  {
    observer->onNotify(entity, event);
    observer = observer->next_;
  }
}
```

> 这里，我们遍历了整个链表，通知了其中每一个观察者。 这保证了所有的观察者相互独立并有同样的优先级。
>
> 我们可以这样实现，当观察者接到通知，它返回了一个标识，表明被观察者是否应该继续遍历列表。 如果这样做，你就接近了职责链[GoF]模式。

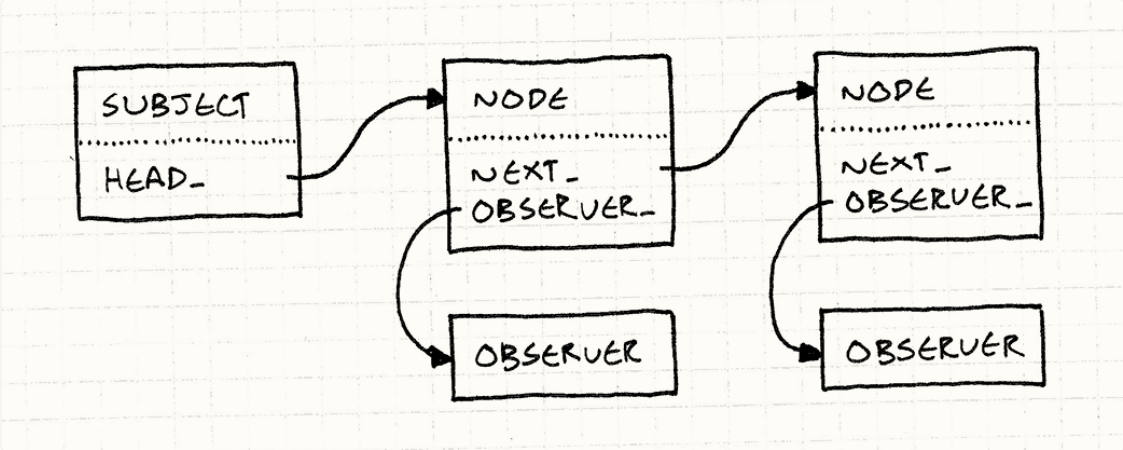
不差嘛，对吧？被观察者现在想有多少观察者就有多少观察者，无需动态内存。 注册和取消注册就像使用简单数组一样快。 但是，我们牺牲了一些小小的功能特性。

由于我们使用观察者对象作为链表节点，这暗示它只能存在于一个观察者链表中。 换言之，一个观察者一次只能观察一个被观察者。 在传统的实现中，每个被观察者有独立的列表，一个观察者同时可以存在于多个列表中。

你也许可以接受这一限制。 通常是一个被观察者有多个观察者，反过来就很少见了。 如果这真是一个问题，这里还有一种不必使用动态分配的解决方案。 详细介绍的话，这章就太长了，但我会大致描述一下，其余的你可以自行填补.....

链表节点池

就像之前，每个被观察者有一链表的观察者。 但是，这些链表节点不是观察者本身。 相反，它们是分散的小“链表节点”对象， 包含了指向观察者的指针和指向链表下一节点的指针。



由于多个节点可以指向同一观察者，这就意味着观察者可以同时在超过多个被观察者的列表中。 我们可以同时观察多个对象了。

> 链表有两种风格。学校教授的那种，节点对象包含数据。 在我们之前的观察者链表的例子中，是另一种： **数据**（这个例子中是观察者）包含了**节点**（next_指针）。

> 后者的风格被称为“侵入式”链表，因为在对象内部使用链表侵入了对象本身的定义。 侵入式链表灵活性更小，但如我们所见，也更有效率。 在Linux核心这样的地方这种风格很流行。

避免动态分配的方法很简单：由于这些节点都是同样大小和类型， 可以预先在对象池中分配它们。 这样你只需处理固定大小的列表节点，可以随你所需使用和重用， 而无需牵扯到真正的内存分配器。

剩余的问题

我认为该模式将人们吓阻的三个主要问题已经被搞定了。 它简单，快速，对内存管理友好。 但是这意味着你总该使用观察者吗？

现在，这是另一个的问题。 就像所有的设计模式，观察者模式不是万能药。 哪怕可以正确高效地的实现，它也不一定是好的解决方案。 设计模式声名狼藉的原因之一就是人们将好模式用在错误的问题上，得到了糟糕的结果。

还有两个挑战，一个是关于技术，另一个更偏向于可维护性。 我们先处理关于技术的挑战，因为关于技术的问题总是更容易处理。

销毁被观察者和观察者

我们看到的样例代码健壮可用，但有一个严重的副作用： 当删除一个被观察者或观察者时会发生什么？ 如果你不小心在某些观察者上面调用了`delete`，被观察者也许仍然持有指向它的指针。 那是一个指向一片已释放区域的悬空指针。 当被观察者试图发送一个通知，额……就说发生的事情会出乎你的意料之外吧。

> 不是谴责，但我注意到**设计模式**完全没提这个问题。

删除被观察者更容易些，因为在大多数实现中，观察者没有对它的引用。 但是即使这样，将被观察者所占的字节直接回收可能还是会造成一些问题。 这些观察者也许仍然期待在以后收到通知，而这是不可能的了。 它们没法继续观察了，真的，它们只是认为它们可以。

你可以用好几种方式处理这点。 最简单的就是像我做的那样，以后一脚踩空。 在被删除时取消注册是观察者的职责。 多数情况下，观察者确实知道它在观察哪个被观察者， 所以通常需要做的只是给它的析构器添加一个`removeObserver()`。

> 通常在这种情况下，难点不在如何做，而在**记得**做。

如果在删除被观察者时，你不想让观察者处理问题，这也很好解决。 只需要让被观察者在它被删除前发送一个最终的“死亡通知”。 这样，任何观察者都可以接收到，然后做些合适的行为。

> 默哀，献花，挽歌……

人——哪怕是那些花费在大量时间在机器前，拥有让我们黯然失色的才能的人——也是绝对不可靠的。 这就是为什么我们发明了电脑：它们不像我们那样经常犯错误。

更安全的方案是在每个被观察者销毁时，让观察者自动取消注册。 如果你在观察者基类中实现了这个逻辑，每个人不必记住就可以使用它。 这确实增加了一定的复杂度。 这意味着每个观察者都需要有它在观察的被观察者的列表。 最终维护一个双向指针。

别担心，我有垃圾回收器

你们那些装备有垃圾回收系统的孩子现在一定很洋洋自得。 觉得你不必担心这个，因为你从来不必显式删除任何东西？再仔细想想！

想象一下：你有UI显示玩家角色情况的状态，比如健康和道具。 当玩家在屏幕上时，你为其初始化了一个对象。 当UI退出时，你直接忘掉这个对象，交给GC清理。

每当角色脸上（或者其他什么地方）挨了一拳，就发送一个通知。 UI观察到了，然后更新健康槽。很好。 当玩家离开场景，但你没有取消观察者的注册，会发生什么？

UI界面不再可见，但也不会进入垃圾回收系统，因为角色的观察者列表还保存着对它的引用。 每一次场景加载后，我们给那个不断增长的观察者列表添加一个新实例。

玩家玩游戏时，来回跑动，打架，角色的通知发送给所有的界面。 它们不在屏幕上，但它们接受通知，这样就浪费CPU循环在不可见的UI元素上了。 如果它们会播放声音之类的，这样的错误就会被人察觉。

这在通知系统中非常常见，甚至专门有个名字：失效监听者问题。 由于被观察者保留了对观察者的引用，最终有UI界面对象僵死在内存中。 这里的教训是要及时删除观察者。

> 它甚至有专门的维基条目。

然后呢？

观察者的另一个深层次问题是它的意图直接导致的。 我们使用它是因为它帮助我们放松了两块代码之间的耦合。 它让被观察者与没有静态绑定的观察者间接交流。

当你要理解被观察者的行为时，这很有价值，任何不相关的事情都是在分散注意力。 如果你在处理物理引擎，你根本不想要编辑器——或者你的大脑——被一堆成就系统的东西而搞糊涂。

另一方面，如果你的程序没能运行，漏洞散布在多个观察者之间，理清信息流变得更加困难。 显式耦合中更易于查看哪一个方法被调用了。 这是因为耦合是静态的，IDE分析它轻而易举。

但是如果耦合发生在观察者列表中，想要知道哪个观察者被通知到了，唯一的办法是看看哪个观察者在列表中，而且处于运行中。 你得理清它的命令式，动态行为而非理清程序的静态交流结构。

处理这个的指导原则很简单。 如果为了理解程序的一部分，两个交流的模块都需要考虑，那就不要使用观察者模式，使用其他更加显式的东西。

当你在某些大型程序上用黑魔法时，你会感觉这样处理很笨拙。 我们有很多术语用来描述，比如“关注点分离”，“一致性和内聚性”和“模块化”， 总归就是“这些东西待在一起，而不是与那些东西待在一起。”

观察者模式是一个让这些不相关的代码块互相交流，而不必打包成更大的块的好方法。 这在专注于一个特性或层面的单一代码块内不会太有用。

这就是为什么它能很好地适应我们的例子： 成就和物理是几乎完全不相干的领域，通常被不同的人实现。 我们想要它们之间的交流最小化， 这样无论在哪一个上工作都不需要另一个的太多信息。

今日观察者

设计模式源于1994。 那时候，面向对象语言正是热门的编程范式。 每个程序员都想要“30天学会面向对象编程”， 中层管理员根据程序员创建类的数量为他们支付工资。 工程师通

过继承层次的深度评价代码质量。

> 同一年，Ace of Base的畅销单曲发行了**三首**而不是一首，这也许能让你了解一些我们那时的品味和洞察力。

观察者模式在那个时代中很流行，所以构建它需要很多类就不奇怪了。 但是现代的主流程序员更加适应函数式语言。 实现一整套接口只是为了接受一个通知不再符合今日的美学了。

它看上去是又沉重又死板。它确实又沉重又死板。 举个例子，在观察者类中，你不能为不同的被观察者调用不同的通知方法。

> 这就是为什么被观察者经常将自身传给观察者。 观察者只有单一的`onNotify()`方法， 如果它观察多个被观察者，它需要知道哪个被观察者在调用它的方法。

现代的解决办法是让“观察者”只是对方法或者函数的引用。 在函数作为第一公民的语言中，特别是那些有闭包的， 这种实现观察者的方式更为普遍。

> 今日，几乎**每种**语言都有闭包。C++克服了在没有垃圾回收的语言中构建闭包的挑战， 甚至Java都在JDK8中引入了闭包。

举个例子，C#有“事件”嵌在语言中。 通过这样，观察者是一个“委托”， （“委托”是方法的引用在C#中的术语）。 在JavaScript事件系统中，观察者可以是支持了特定`EventListener`协议的类， 但是它们也可以是函数。 后者是人们常用的方式。

如果设计今日的观察者模式，我会让它基于函数而不是基于类。 哪怕是在C++中，我倾向于让你注册一个成员函数指针作为观察者，而不是`Observer`接口的实例。

> 这里的一篇有趣博文以某种方式在C++上实现了这一点。

明日观察者

事件系统和其他类似观察者的模式如今遍地都是。 它们都是成熟的方案。 但是如果你用它们写一个稍微大一些的应用，你会发现一件事情。 在观察者中很多代码最后都长得一样。 通常是这样：

```
1. 获知有状态改变了。
2. 下命令改变一些UI来反映新的状态。
```

就是这样，“哦，英雄的健康现在是7了？ 让我们把血条的宽度设为70像素。 过上一段时间，这会变得很沉闷。 计算机科学学术界和软件工程师已经用了很长时间尝试结束这种状况了。 这些方式被赋予了不同的名字：“数据流编程”，“函数反射编程”等等。

即使有所突破，一般也局限在特定的领域中，比如音频处理或芯片设计，我们还没有找到万能钥匙。 与此同时，一个更脚踏实地的方式开始获得成效。那就是现在的很多应用框架使用的“数据绑定”。

不像激进的方式，数据绑定不再指望完全终结命令式代码， 也不尝试基于巨大的声明式数据图表架构整个应用。 它做的只是自动改变UI元素或计算某些数值来反映一些值的变化。

就像其他声明式系统，数据绑定也许太慢，嵌入游戏引擎的核心也太复杂。 但是如果说它不会侵入游戏不那么性能攸关的部分，比如UI，那我会很惊讶。

与此同时，经典观察者模式仍然在那里等着我们。 是的，它不像其他的新热门技术一样在名字中填满了“函数”“反射”， 但是它超简单而且能正常工作。对我而言，这通常是解决方案最重要的条件。

← 上一章 ≡ 首页 下一章 →