事件队列

意图

解耦发出消息或事件的时间和处理它的时间。

动机

除非还呆在一两个没有互联网接入的犄角旮旯，否则你很可能已经听说过“事件序列”了。如果没有，也许“消息队列”或“事件循环”或“消息泵”可以让你想起些什么。为了唤醒你的记忆，让我们了解几个此模式的常见应用吧。

> 这章的大部分里，我交替使用“事件”和“消息”。在两者的意义有区别时，我会表明的。

GUI事件循环

如果你曾做过任何用户界面编程，你就会很熟悉事件。每当用户与你的程序交互——点击按钮，拉出菜单，或者按个键——操作系统就会生成一个事件。它会将这个对象扔给你的应用程序，你的工作就是获取它然后将其与有趣的行为相挂钩。

> 这个程序风格非常普遍，被认为是一种编程范式：**事件驱动编程**。

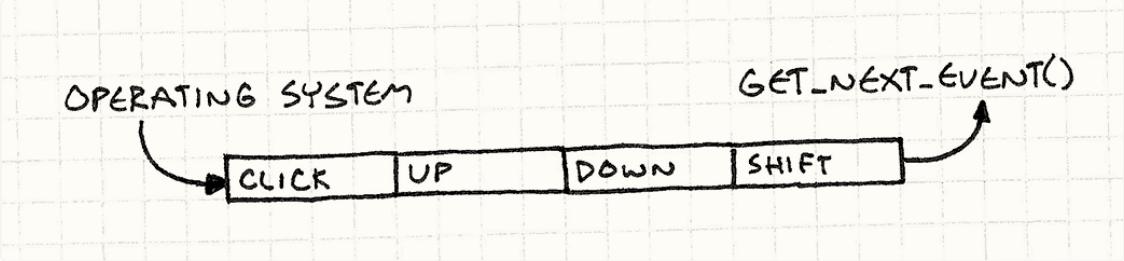
为了获取这些事件，代码底层是事件循环。它大体上是这样的：

```
while (running)
{
  Event event = getNextEvent();
  // 处理事件……
}
```

调用`getNextEvent()`将一堆未处理的用户输入传到应用程序中。你将它导向事件处理器，之后应用魔术般获得了生命。有趣的部分是应用在它想要的时候获取事件。操作系统在用户操作时不是直接跳转到你应用的某处代码。

> 相反，操作系统的**中断**确实是直接跳转的。当中断发生时，操作系统中断应用在做的事，强制它跳到中断处理。这种唐突的做法是中断很难使用的原因。

这就意味着当用户输入进来时，它需要到某处去， 这样操作系统在设备驱动报告输入和应用去调用`getNextEvent()`之间不会漏掉它。 这个“某处”是一个队列。



当用户输入抵达时，操作系统将其添加到未处理事件的队列中。 当你调用`getNextEvent()`时，它从队列中获取最旧的事件然后交给应用程序。

中心事件总线

大多数游戏不是像这样事件驱动的，但是在游戏中使用事件循环来支撑中枢系统是很常见的。 你通常听到用“中心”“全局”“主体”描述它。 它通常被用于想要相互保持解耦的高层模块间通信。

> 如果你想知道**为什么**它们不是事件驱动的，看看游戏循环一章。

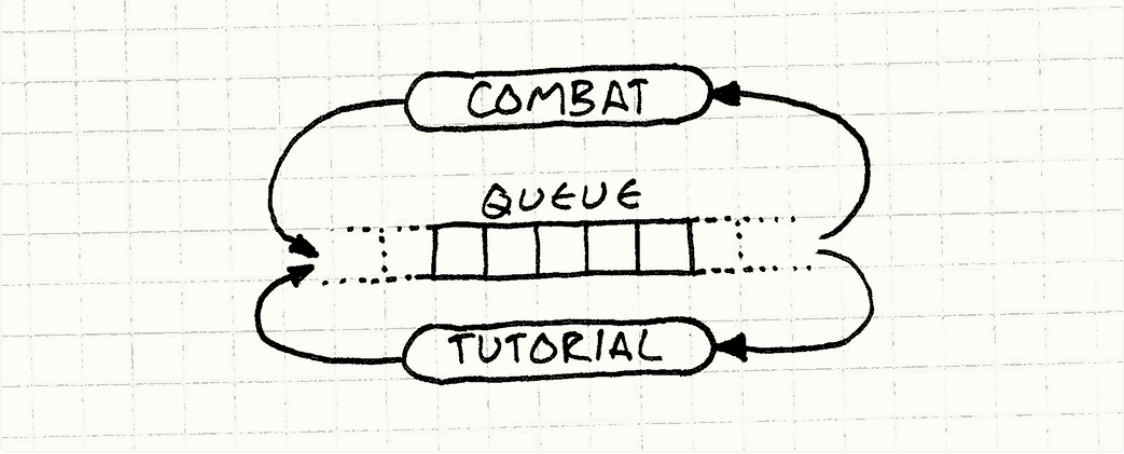
假设游戏有新手教程系统，在某些特定游戏事件后显示帮助框。 举个例子，当玩家第一次击败了邪恶野兽，你想要一个显示着“按X拿起战利品！”的小气泡。

> 新手教程系统很难优雅地实现，大多数玩家很少使用游戏内的帮助，所以这感觉上吃力不讨好。 但对那些**使用**教程的玩家，这是无价之宝。

游戏玩法和战斗代码也许像上面一样复杂。 你最不想做的就是检查一堆教程的触发器。 相反，你可以使用中心事件队列。 任何游戏系统都可以发事件给队列，这样战斗代码可以在砍倒敌人时发出“敌人死亡”事件。

类似地，任何游戏系统都能从队列接受事件。 教程引擎在队列中注册自己，然后表明它想要收到“敌人死亡”事件。 用这种方式，敌人死了的消息从战斗系统传到了教程引擎，而不需要这两个系统直接知道对方的存在。

> 实体可以发送和收到消息的模型很像AI界的blackboard systems。



我本想将这个作为这章其他部分的例子，但是我真的不喜欢这样巨大的全局系统。 事件队列不需要在整个游戏引擎中沟通。在一个类或者领域中沟通就足够有用了。

你说什么？

所以说点别的，让我们给游戏添加一些声音。 人类是视觉动物，但是听觉强烈影响到情感系统和空间感觉。 正确模拟的回声可以让漆黑的屏幕感觉上是巨大的洞穴，而适时的小提琴慢板可以让心弦拉响同样的旋律。

为了获得优秀的音效表现，我们从最简单的解决方法开始，看看结果如何。 添加一个“声音引擎”，其中有使用标识符和音量就可以播放音乐的API：

> 我总是离单例模式[GoF]远远的。 这是少数它可以使用的领域，因为机器通常只有一个声源系统。 我使用更简单的方法，直接将方法定为静态。

```
class Audio
{
public:
  static void playSound(SoundId id, int volume);
};
```

它负责加载合适的声音资源，找到可靠的播放频道，然后启动它。 这章不是关于某个平台真实的音频API，所以我会假设在其他某处魔术般实现了一个。 使用它，我们像这样写方法：

```
void Audio::playSound(SoundId id, int volume)
{
  ResourceId resource = loadSound(id);
  int channel = findOpenChannel();
  if (channel == -1) return;
  startSound(resource, channel, volume);
}
```

我们签入以上代码，创建一些声音文件，然后在代码中加入一些对`playSound()`的调用。 举个例子，在UI代码中，我们在选择菜单项变化时播放一点小音效：

```
class Menu
{
public:
  void onSelect(int index)
  {
    Audio::playSound(SOUND_BLOOP, VOL_MAX);
    // 其他代码……
  }
};
```

这样做了之后，我们注意到有时候你改变菜单项目，整个屏幕就会冻住几帧。 我们遇到了第一个问题：

- 问题一：**API在音频引擎完成对请求的处理前阻塞了调用者。**

我们的`playSound()`方法是同步的——它在从播放器放出声音前不会返回调用者。 如果声音文件要从光盘上加载，那就得花费一定时间。 与此同时，游戏的其他部分被卡住了。

现在忽视这一点，我们继续。 在AI代码中，我们增加了一个调用，在敌人承受玩家伤害时发出痛苦的低号。 没有什么比在虚拟的生物身上施加痛苦更能温暖玩家心灵的了。

这能行，但是有时玩家打出暴击，他在同一帧可以打到两个敌人。 这让游戏同时要播放两遍哀嚎。 如果你了解一些音频的知识，那么就知道要把两个不同的声音混合在一起，就要加和它们的波形。 当这两个是同一波形时，它与一个声音播放两倍响是一样的。那会很刺耳。

> 我在完成Henry Hatsworth in the Puzzling Adventure时遇到了同样的问题。解决方法和这里的很相似。

在Boss战中有个相关的问题，当有一堆小怪跑动并制造伤害时。 硬件只能同时播放一定数量的音频。当数量超过限度时，声音就被忽视或者切断了。

为了处理这些问题，我们需要获得音频调用的整个集合，用来整合和排序。 不幸的是，音频API独立处理每一个`playSound()`调用。 看起来这些请求像是从针眼穿过一样，一次只能有一个。

- 问题二：请求无法合并处理。

这个问题与下面的问题相比只是小烦恼。 现在，我们在很多不同的游戏系统中散布了`playSound()`调用。 但是游戏引擎是在现代多核机器上运行的。 为了使用多核带来的优势，我们将系统分散在不同线程上——渲染在一个，AI在另一个，诸如此类。

由于我们的API是同步的，它在调用者的线程上运行。 当从不同的游戏系统调用时，我们从多个线程同时使用API。 看看示例代码，看到任何线程同步性吗？我也没看到。

当我们想要分配一个单独的线程给音频，这个问题就更加严重。 当其他线程都忙于互相跟随和制造事物，它只是傻傻待在那里。

- 问题三：请求在错误的线程上执行。

音频引擎调用`playSound()`意味着，“放下任何东西，现在就播放声音！”立即就是问题。 游戏系统在它们方便时调用`playSound()`，但是音频引擎不一定能方便去处理这个请求。 为了解决这点，我们需要将接受请求和处理请求解耦。

模式

事件队列在队列中按先入先出的顺序存储一系列通知或请求。 发送通知时，将请求放入队列并返回。 处理请求的系统之后稍晚从队列中获取请求并处理。 这解耦了发送者和接收者，既静态又及时。

何时使用

如果你只是想解耦接收者和发送者，像观察者模式 和命令模式都可以用较小的复杂度进行处理。 在解耦某些需要及时处理的东西时使用队列。

> 我在之前的几乎每章都提到了，但这值得反复提。 复杂度会拖慢你，所以要将简单视为珍贵的财宝。

用推和拉来考虑。 有一块代码A需要另一块代码B去做些事情。 对A自然的处理方式是将请求推给B。

同时，对B自然的处理方式是在B方便时将请求拉入。 当一端有推模型另一端有拉模型，你需要在它们之间设置缓存。 这就是队列比简单的解耦模式多提供的部分。

队列给了代码对拉取的控制权——接收者可以延迟处理，合并或者忽视请求。 但队列做这些事是通过将控制权从发送者那里拿走完成的。 发送者能做的就是向队列发送请求然后祈祷。 当发送者需要回复时，队列不是好的选择。

记住

不像本书中的其他模式，事件队列很复杂，会对游戏架构产生广泛影响。 这就意味着你得仔细考虑如何——或者要不要——使用它。

中心事件队列是一个全局变量

这个模式的常用方法是一个大的交换站，游戏中的每个部分都能将消息送到这里。 这是很有用的基础架构，但是有用并不代表好用。

可能要走一些弯路，但是我们中的大多数最终学到了全局变量是不好的。 当有一小片状态，程序的每部分都能接触到，会产生各种微妙的相关性。 这个模式将状态封装在协议中，但是它还是全局的，仍然有全局变量引发的全部危险。

世界的状态可以因你改变

假设在虚拟的小怪结束它一生时，一些AI代码将“实体死亡”事件发送到队列中。 这个事件在队列中等待了谁知有多少帧后才排到了前面，得以处理。

同时，经验系统想要追踪英雄的杀敌数，并对他的效率加以奖励。 它接受每个“实体死亡”事件，然后决定英雄击杀了何种怪物，以及击杀的难易程度，最终计算出合适的奖励。

这需要游戏世界的多种不同状态。 我们需要死亡的实体以获取击杀它的难度。 我们也许要看看英雄的周围有什么其他的障碍物或者怪物。 但是如果事件没有及时处理，这些东西都会消失。 实体可能被清除，周围的东西也有可能移开。

当你接到事件时，得小心，不能假设现在的状态反映了事件发生时的世界。 这就意味着队列中的事件比同步系统中的事件需要存储更多数据。 在后者中，通知只需说“某事发生了”然后接收者可以找到细节。 使用队列时，这些短暂的细节必须在事件发送时就被捕获，以方便之后使用。

会陷于反馈系统环路中

任何事件系统和消息系统都得担心环路：

1. A发送了一个事件
2. B接收然后发送事件作为回应。
3. 这个事件恰好是A关注的，所以它收到了。为了回应，它发送了一个事件。
4. 回到2.

当消息系统是同步的，你很快就能找到环路——它们造成了栈溢出并让游戏崩溃。 使用队列，它会异步地使用栈，即使虚假事件晃来晃去，游戏仍然可以继续运行。 避免这个的通用方法就是避免在处理事件的代码中发送事件。

> 在你的事件系统中加一个小小的漏洞日志也是一个好主意。

示例代码

我们已经看到一些代码了。它不完美，但是有基本的正确功能——公用的API和正确的底层音频调用。 剩下需要做的就是修复它的问题。

第一个问题是我们的API是阻塞的。 当代码播放声音时，它不能做任何其他事情，直到`playSound()`加载完音频然后真正地开始播放。

我们想要推迟这项工作，这样 `playSound()` 可以很快地返回。 为了达到这一点，我们需要具体化播放声音的请求。 我们需要一个小结构存储发送请求时的细节，这样我们晚些时候可以使用：

```
struct PlayMessage
{
  SoundId id;
  int volume;
};
```

下面我们需要给Audio一些存储空间来追踪正在播放的声音。 现在，你的算法专家也许会告诉你使用激动人心的数据结构， 比如Fibonacci heap或者skip list或者最起码链表。 但是在实践中，存储一堆同类事物最好的办法是使用一个平凡无奇的经典数组：

> 算法研究者通过发表对新奇数据结构的研究获得收入。 他们不鼓励使用基本的结构。

- 没有动态分配。
- 没有为记录信息造成的额外的开销或者多余的指针。
- 对缓存友好的连续存储空间。

> 更多“缓存友好”的内容，见数据局部性一章。

所以让我们开干吧：

```
class Audio
{
public:
  static void init()
  {
    numPending_ = 0;
  }

  // 其他代码……
private:
  static const int MAX_PENDING = 16;

  static PlayMessage pending_[MAX_PENDING];
  static int numPending_;
};
```

我们可以将数组大小设置为最糟情况下的大小。 为了播放声音，简单地将新消息插到最后：

```
void Audio::playSound(SoundId id, int volume)
{
  assert(numPending_ < MAX_PENDING);

  pending_[numPending_].id = id;
  pending_[numPending_].volume = volume;
  numPending_++;
}
```

这让playSound()几乎是立即返回，当然我们仍得播放声音。 那块代码在某处，即update()方法中：

```
class Audio
{
public:
  static void update()
  {
    for (int i = 0; i < numPending_; i++)
    {
```

```
      ResourceId resource = loadSound(pending_[i].id);
      int channel = findOpenChannel();
      if (channel == -1) return;
      startSound(resource, channel, pending_[i].volume);
    }

    numPending_ = 0;
  }

  // 其他代码……
};
```

> 就像名字暗示的，这是更新方法模式。

现在我们需要在方便时候调用。 这个“方便”取决于你的游戏。 它也许要从主游戏循环中或者专注于音频的线程中调用。

这可行，但是这假定了我们在对`update()`的单一调用中可以处理每个声音请求。 如果你做了像在声音资源加载后处理异步请求的事情，这就没法工作了。 `update()`一次处理一个请求，它需要有完成一个请求后从缓存中再拉取一个请求的能力。 换言之，我们需要一个真实的队列。

环状缓存

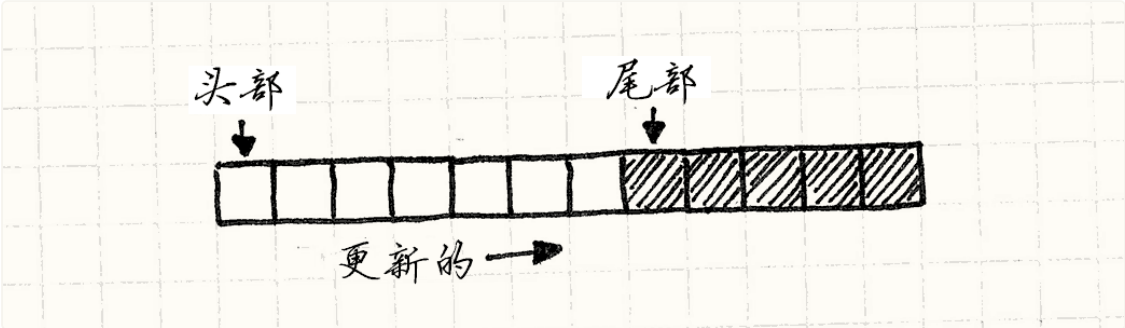
有很多种方式能实现队列，但我最喜欢的是环状缓存。 它保留了数组的所有优点，同时能让我们不断从队列的前方移除事物。

现在，我知道你在想什么。 如果我们从数组的前方移除东西，不是需要将所有剩下的部分都移动一次吗？这不是很慢吗？

这就是为什么要学习链表——你可以从中移除一个节点，而无需移动东西。 好吧，其实你可以用数组实现一个队列而无需移动东西。 我会展示给你看，但是首先预习一些术语：

- 队列的头部是读取请求的地方。头部存储最早发出的请求。
- 尾部是另一端。它是数组中下个写入请求的地方。注意它指向队列终点的下一个位置。你可以将其理解为一个半开半闭区间，如果这有帮助的话。

由于`playSound()`向数组的末尾添加了新的请求，头部开始指向元素0而尾部向右增长。



让我们开始编码。首先，我们显式定义这两个标记在类中的意义：

```
class Audio
{
public:
  static void init()
  {
    head_ = 0;
    tail_ = 0;
  }
```

```
  // 方法……
private:
  static int head_;
  static int tail_;

  // 数组……
};
```

在 playSound() 的实现中，numPending_被tail_取代，但是其他都是一样的：

```
void Audio::playSound(SoundId id, int volume)
{
  assert(tail_ < MAX_PENDING);

  // Add to the end of the list.
  pending_[tail_].id = id;
  pending_[tail_].volume = volume;
  tail_++;
}
```

更有趣的变化在update()中：

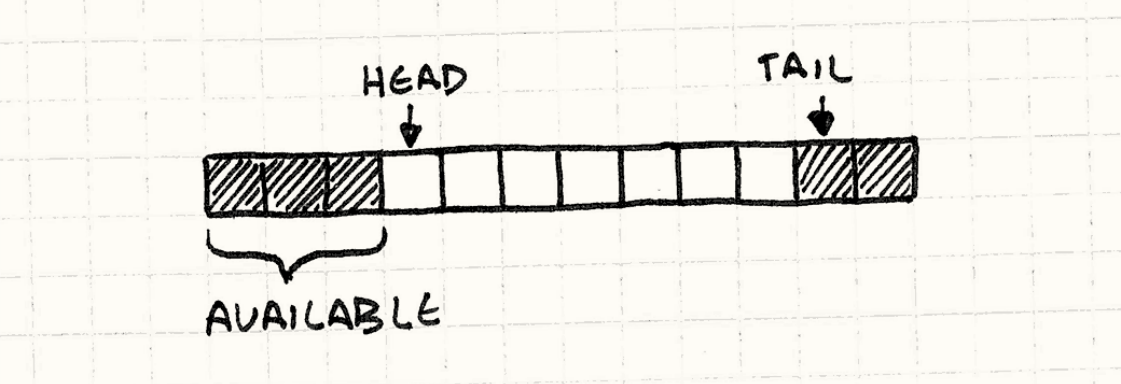
```
void Audio::update()
{
  // 如果这里没有待处理的请求
  // 那就什么也不做。
  if (head_ == tail_) return;

  ResourceId resource = loadSound(pending_[head_].id);
  int channel = findOpenChannel();
  if (channel == -1) return;
  startSound(resource, channel, pending_[head_].volume);

  head_++;
}
```

我们在头部处理，然后通过将头部指针向右移动来消除它。 我们定义头尾之间没有距离的队列为空队列。

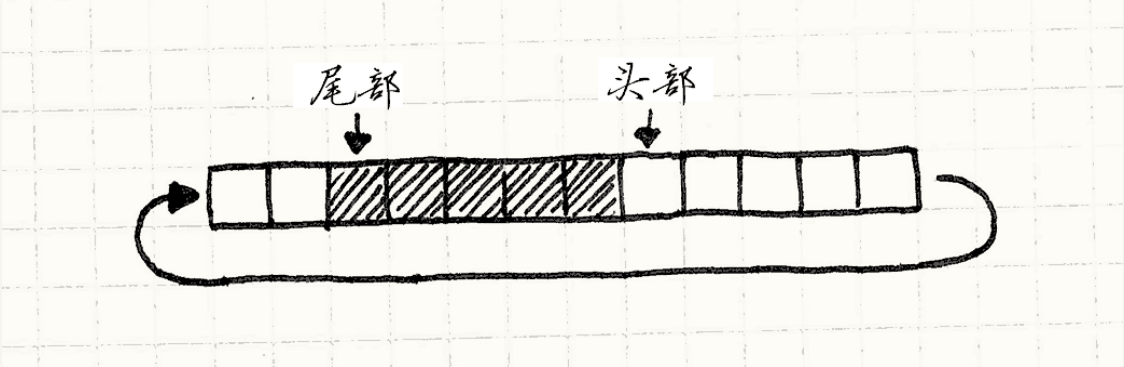
> 这就是为什么我们让尾部指向最后元素**之后**的那个位置。 这意味着头尾相等则队列为空。

现在，我们获得了一个队列——我们可以向尾部添加元素，从头部移除元素。 这里有很明显的问题。在我们让队列跑起来后，头部和尾部继续向右移动。 最终tail_碰到了数组的尾部，欢乐时光结束了。 接下来是这个方法的灵巧之处。

> 你想结束欢乐时光吗？不，你不想。



注意当尾部移动时，头部 也是如此。 这就意味着在数组开始部分的元素不再被使用了。 所以我们做的就是，当抵达末尾时，将尾部折回到数组的头部。 这就是为什么它被称为环状缓存，它表现得像是一个环状的数组。



这个的实现非常简单。 当我们入队一个事物时，只需要保证尾部在抵达末尾的时候折回到数组的开头：

```
void Audio::playSound(SoundId id, int volume)
{
  assert((tail_ + 1) % MAX_PENDING != head_);

  // 添加到列表的尾部
  pending_[tail_].id = id;
  pending_[tail_].volume = volume;
  tail_ = (tail_ + 1) % MAX_PENDING;
}
```

替代`tail++`，将增量设为数组长度的模，这样可将尾部回折回来。 另一个改变是断言。 我们得保证队列不会溢出。 只要这里有少于`MAX_PENDING`的请求在队列中，在头部和尾部之间就有没有使用的间隔。 如果队列满了，那就不会有间隔了，就像古怪的衔尾蛇一样，尾部会遇到头部然后覆盖它。 断言保证了这不会发生。

在`update()`中，头部也折回了：

```
void Audio::update()
{
  // 如果没有待处理的请求，就啥也不做
  if (head_ == tail_) return;

  ResourceId resource = loadSound(pending_[head_].id);
  int channel = findOpenChannel();
  if (channel == -1) return;
  startSound(resource, channel, pending_[head_].volume);

  head_ = (head_ + 1) % MAX_PENDING;
}
```

这样就好——没有动态分配，没有数据拷贝，缓存友好的简单数组实现的队列完成了。

> 如果最大容量影响了你，你可以使用增长的数组。 当队列满了后，分配一块当前数组两倍大的数组（或者更多倍），然后将对象拷进去。
>
> 哪怕你在队列增长时拷贝，入队仍然有常数级的**摊销**复杂度。

合并请求

现在有队列了，我们可以转向其他问题了。 首先来解决多重请求播放同一音频，最终导致音量过大的问题。 由于我们知道哪些请求在等待处理，需要做的所有事就是将请求和早先

等待处理的请求合并：

```
void Audio::playSound(SoundId id, int volume)
{
  // 遍历待处理的请求
  for (int i = head_; i != tail_;
       i = (i + 1) % MAX_PENDING)
  {
    if (pending_[i].id == id)
    {
      // 使用较大的音量
      pending_[i].volume = max(volume, pending_[i].volume);

      // 无需入队
      return;
    }
  }

  // 之前的代码……
}
```

当有两个请求播放同一音频时，我们将它们合并成只保留声音最大的请求。 这一“合并”非常简陋，但是我们可以用同样的方法做很多有趣的合并。

注意在请求入队时合并，而不是处理时。 在队列中处理更加容易，因为不需要在最终会被合并的多余请求上浪费时间。 这也更加容易被实现。

但是，这确实将处理的职责放在了调用者肩上。 对`playSound()`的调用返回前会遍历整个队列。 如果队列很长，那么会很慢。 在`update()`中合并也许更加合理。

> 避免**O(n)**的队列扫描代价的另一种方式是使用不同的数据结构。 如果我们将`SoundId`作为哈希表的键，那么我们就可以在常量时间内检查重复。

这里有些要记住的要点。 我们能够合并的“同步”请求窗口只有队列长度那么大。 如果我们快速处理请求，队列长度就会保持较短，我们就有更少的机会合并东西。 同样地，如果处理慢了，队列满了，我们能找到更多的东西合并。

这个模式隔离了请求者和请求何时被处理，但如果你将整个队列交互视为与数组结构交互，那么发出请求和处理它之间的延迟会显式地影响行为。 确认在这么做之前保证了这不会造成问题。

分离线程

最终，最险恶的问题。 使用同步的音频API，调用`playSound()`的线程就是处理请求的线程。 这通常不是我们想要的。

在今日的多核硬件上，你需要不止一个线程来最大程度使用芯片。 有无数的编程范式在线程间分散代码，但是最通用的策略是将每个独立的领域分散到一个线程——音频，渲染，AI等等。

> 单线程代码同时只在一个核心上运行。 如果你不使用线程，哪怕做了流行的异步风格编程，能做的极限就是让一个核心繁忙，那也只发挥了CPU能力的一小部分。
>
> 服务器程序员将他们的程序分割成多个独立**进程**作为弥补。 这让系统在不同的核上同时运行它们。 游戏几乎总是单进程的，所以增加线程真的有用。

我们很容易就能做到这一点是因为三个关键点：

1. 请求音频的代码与播放音频的代码解耦。
2. 有队列在两者之间整理它们。

3. 队列与程序其他部分是隔离的。

剩下要做的事情就是写修改队列的方法——`playSound()`和`update()`——使之线程安全。 通常，我会写一写具体代码完成之，但是由于这是一本关于架构的书，我不想着眼于一些特定的API或者锁机制。

从高层看来，我们只需保证队列不是同时被修改的。 由于`playSound()`只做了一点点事情——基本上就是声明字段——不会阻塞线程太长时间。 在`update()`中，我们等待条件变量之类的东西，直到有请求需要处理时才会消耗CPU循环。

设计决策

很多游戏使用事件队列作为交流结构的关键部分，你可以花很多时间设计各种复杂的路径和消息过滤器。 但是在构建洛杉矶电话交换机之类的东西之前，我推荐你从简单的开始。这里是几个需要在开始时思考的问题：

队列中存储了什么？

到目前为止，我交替使用“事件”和“消息”，因为大多时候两者的区别并不重要。 无论你在队列中塞了什么都可以获得解耦和合并的能力，但是还是有几个地方不同。

- 如果你存储事件：

  “事件”或者“通知”描绘已经发生的事情，比如“怪物死了”。 你入队它，这样其他对象可以对这个事件作出回应，有点像异步的观察者[GoF]模式。

  - 很可能允许多个监听者。 由于队列包含的是已经发生的事情，发送者可能不关心谁接受它。 从这个层面来说，事件发生在过去，早已被遗忘。
  - 访问队列的模块更广。 事件队列通常广播事件到任何感兴趣的部分。为了尽可能允许所有感兴趣的部分访问，队列一般是全局可见的。

- 如果你存储消息：

  “消息”或“请求”描绘了想要发生在未来的事情，比如“播放声音”。可以将其视为服务的异步API。

  > 另一个描述“请求”的词是“命令”，就像在命令模式[GoF]中那样，队列也可以在那里使用。

  - 更可能只有一个监听者。 在这个例子中，存储的消息只请求音频API播放声音。如果引擎的随便什么部分都能从队列中拿走消息，那可不好。

    > 我在这里说“更可能”，因为只要像期望的**那样**处理消息，消息入队时可以不必担心哪块代码处理它。 这样的话，你在做的事情类似于服务定位器[→]。

谁能从队列中读取？

在例子中，队列是密封的，只有`Audio`类可以从中读取。 在用户交互的事件系统中，你可以在核心内容中注册监听器。 有时可以听到术语“单播”和“广播”来描述它，两者都很有用。

- 单播队列：

在队列是类API的一部分时，单播是很自然的。 就像我们的音频例子，从调用者的角度来说，它们只能看到可以调用的`playSound()`方法。

- 队列变成了读取者的实现细节。 发送者知道的所有事就是发条消息。
- 队列更封装。 其他都一样时，越多封装越方便。
- 无须担心监听者之间的竞争。 使用多个监听者，你需要决定队列中的每个事物一对多分给全部的监听者（广播） 还是队列中的每个事物一对一分给单独的监听者（更加像工作队列）。

  在两种情况下，监听者最终要么做了多余的事情要么在相互干扰，你得谨慎考虑想要的行为。 使用单一的监听者，这种复杂性消失了。

- 广播队列：

  这是大多数“事件”系统工作的方法。如果你有十个监听者，一个事件进来，所有监听者都能看到这个事件。

  - 事件可能无人接收。 前面那点的必然推论就是如果有零个监听者，没有谁能看到这个事件。 在大多数广播系统中，如果处理事件时没有监听者，事件就消失了。
  - 也许需要过滤事件。 广播队列经常对程序的所有部分可见，最终你会获得一系列监听者。 很多事件乘以很多监听者，你会获取一大堆事件处理器。

    为了削减大小，大多数广播事件系统让监听者筛出其需要接受的事件。 比如，可能它们只想要接受鼠标事件或者在某一UI区域内的事件。

- 工作队列：

  类似广播队列，有多个监听器。不同之处在于队列中的每个东西只会投到监听器其中的一个。 常应用于将工作打包给同时运行的线程池。

  - 你得规划。 由于一个事物只有一个监听器，队列逻辑需要指出最好的选项。 这也许像round robin算法或者乱序选择一样简单，或者可以使用更加复杂的优先度系统。

谁能写入队列？

这是前一个设计决策的另一面。 这个模式兼容所有可能的读/写设置：一对一，一对多，多对一，多对多。

> 你有时听到用“扇入”描述多对一的沟通系统，而用“扇出”描述一对多的沟通系统。

- 使用单个写入器：

  这种风格和同步的观察者[GoF]模式很像。 有特定对象收集所有可接受的事件。

  - 你隐式知道事件是从哪里来的。 由于这里只有一个对象可向队列添加事件，任何监听器都可以安全地假设那就是发送者。
  - 通常允许多个读取者。 你可以使用单发送者对单接收者的队列，但是这样沟通系统更像纯粹的队列数据结构。

- 使用多个写入器：

  这是例子中音频引擎工作的方式。 由于`playSound()`是公开的方法，代码库的任何部分都能给队列添加请求。“全局”或“中心”事件总线像这样工作。

- 得更小心环路。 由于任何东西都有可能向队列中添加东西，这更容易意外地在处理事件时添加事件。 如果你不小心，那可能会触发反馈循环。
- 很可能需要在事件中添加对发送者的引用。 当监听者接到事件时，它不知道是谁发送的，因为可能是任何人。 如果它确实需要知道发送者，你得将发送者打包到事件对象中去，这样监听者才可以使用它。

对象在队列中的生命周期如何？

使用同步的通知，当所有的接收者完成了消息处理才会返回发送者。 这意味着消息本身可以安全地存在栈的局部变量中。 使用队列，消息比让它入队的调用活得更久。

如果你使用有垃圾回收的语言，你无需过度担心这个。 消息存到队列中，会在需要它的时候一直存在。 而在C或C++中，得由你来保证对象活得足够长。

- 传递所有权：

  这是手动管理内存的传统方法。当消息入队时，队列拥有了它，发送者不再拥有它。 当它被处理时，接收者获取了所有权，负责销毁他。

  > 在C++中，unique_ptr<T>给了你同样的语义。

- 共享所有权：

  现在，甚至C++程序员都更适应垃圾回收了，分享所有权更加可接受。 这样，消息只要有东西对其有引用就会存在，当被遗忘时自动释放。

  > 同样的，C++的风格是使用shared_ptr<T>。

- 队列拥有它：

  另一个选项是让消息永远存在于队列中。 发送者不再自己分配消息的内存，它向内存请求一个“新的”消息。 队列返回一个队列中已经在内存的消息的引用，接收者引用队列中相同的消息。

  > 换言之，队列存储的背后是一个对象池模式。

参见

- 我在之前提到了几次，很大程度上， 这个模式是广为人知的观察者 GoF 模式的异步实现。
- 就像其他很多模式一样，事件队列有很多别名。 其中一个是“消息队列”。这通常指代一个更高层次的实现。 事件队列在应用中，消息队列通常在应用间交流。

  另一个术语是“发布/提交”，有时被缩写为“pubsub”。 就像“消息队列”一样，这通常指代更大的分布式系统，而不是现在关注的这个模式。
- 确定状态机，很像GoF的状态模式 GoF，需要一个输入流。如果想要异步响应，可以考虑用队列存储它们。

  当你有一对状态机相互发送消息时，每个状态机都有一个小小的未处理队列（被称为一个信箱）， 然后你需要重新发明actor model。
- Go语言内建的“通道”类型本质上是事件队列或消息队列。

© 2009-2015 Robert Nystrom