

15-消息队列和事件循环：页面是怎么“活”起来的？

前面我们讲到了每个渲染进程都有一个主线程，并且主线程非常繁忙，既要处理DOM，又要计算样式，还要处理布局，同时还需要处理JavaScript任务以及各种输入事件。要让这么多不同类型的任务在主线程中有条不紊地执行，这就需要一个系统来统筹调度这些任务，这个统筹调度系统就是我们今天要讲的消息队列和事件循环系统。

在写这篇文章之前，我翻阅了大量的资料，却发现没有一篇文章能把消息循环系统给讲清楚的，所以我决定用一篇文章来专门介绍页面的事件循环系统。事件循环非常底层且非常重要，学会它能让你理解页面到底是如何运行的，所以在本篇文章中，我们会将页面的事件循环给梳理清楚、讲透彻。

为了能让你更加深刻地理解事件循环机制，我们就从最简单的场景来分析，然后带你一步步了解浏览器页面主线程是如何运作的。

需要说明的是，文章中的代码我会采用C++来示范。如果你不熟悉C++，也没有关系，这里并没有涉及到任何复杂的知识点，只要了解JavaScript或Python，你就会看懂。

使用单线程处理安排好的任务

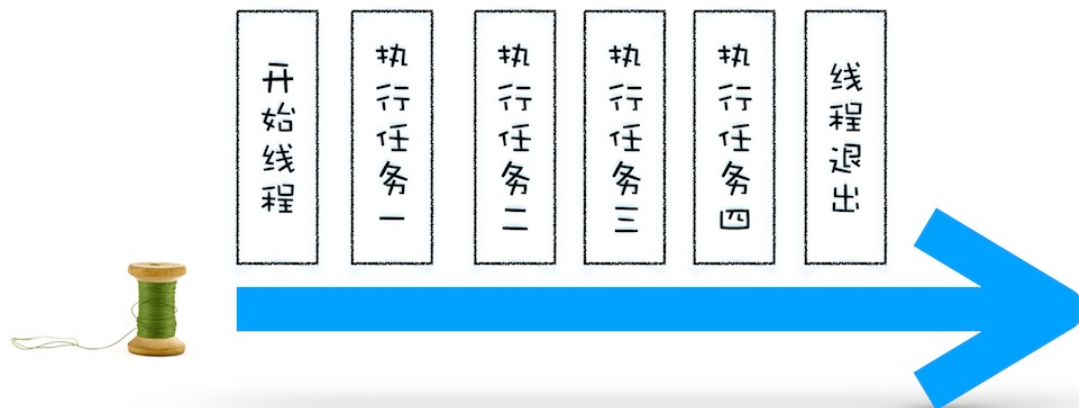
我们先从最简单的场景讲起，比如有如下一系列的任务：

- 任务1：1+2
- 任务2：20/5
- 任务3：7*8
- 任务4：打印出任务1、任务2、任务3的运算结果

现在要在一个线程中去执行这些任务，通常会这样编写代码：

```
void MainThread(){
    int num1 = 1+2; //任务1
    int num2 = 20/5; //任务2
    int num3 = 7*8; //任务3
    print("最终计算的值为:%d,%d,%d", num, num2, num3); //任务4
}
```

在上面的执行代码中，我们把所有任务代码按照顺序写进主线程里，等线程执行时，这些任务会按照顺序在线程中依次被执行；等所有任务执行完成之后，线程会自动退出。可以参考下图来直观地理解下其执行过程：



第一版：线程的一次执行

在线程运行过程中处理新任务

但并不是所有的任务都是在执行之前统一安排好的，大部分情况下，新的任务是在线程运行过程中产生的。比如在线程执行过程中，又接收到了一个新的任务要求计算“10+2”，那上面那种方式就无法处理这种情况了。

要想在线程运行过程中，能接收并执行新的任务，就需要采用事件循环机制。我们可以通过一个for循环语句来监听是否有新的任务，如下面的示例代码：

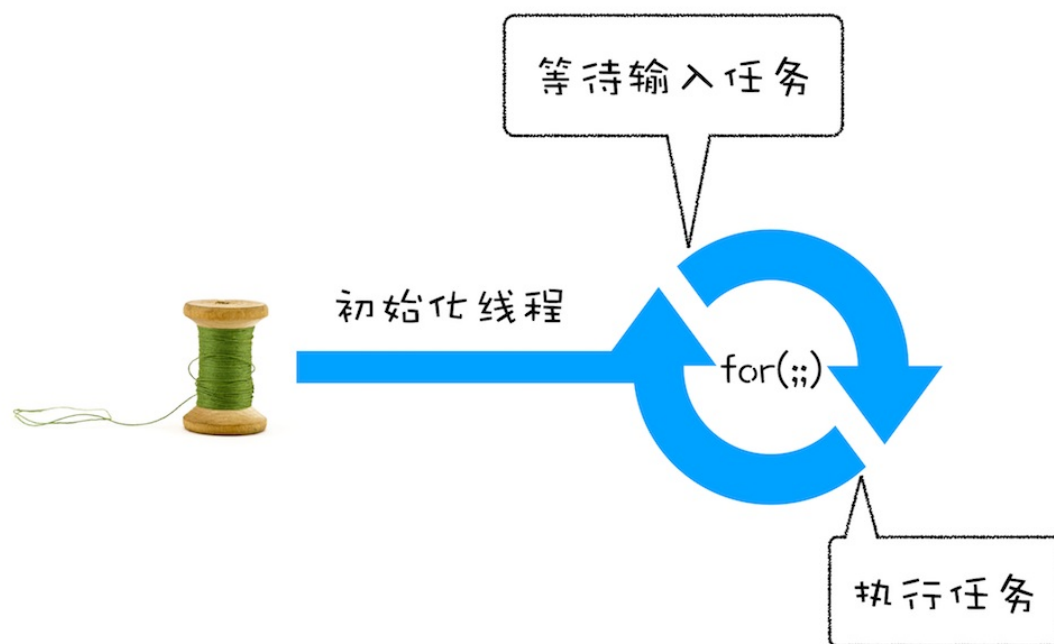
```
//GetInput
//等待用户从键盘输入一个数字，并返回该输入的数字
int GetInput(){
    int input_number = 0;
    cout<<"请输入一个数:";
    cin>>input_number;
    return input_number;
}

//主线程(Main Thread)
void MainThread(){
    for(;;){
        int first_num = GetInput();
        int second_num = GetInput();
        result_num = first_num + second_num;
        print("最终计算的值为:%d",result_num);
    }
}
```

相较于第一版的线程，这一版的线程做了两点改进。

- **第一点引入了循环机制**，具体实现方式是在线程语句最后添加了一个**for循环语句**，线程会一直循环执行。
- **第二点是引入了事件**，可以在线程运行过程中，等待用户输入的数字，等待过程中线程处于暂停状态，一旦接收到用户输入的信息，那么线程会被激活，然后执行相加运算，最后输出结果。

通过引入事件循环机制，就可以让该线程“活”起来了，我们每次输入两个数字，都会打印出两数字相加的结果，你可以结合下图来参考下这个改进版的线程：

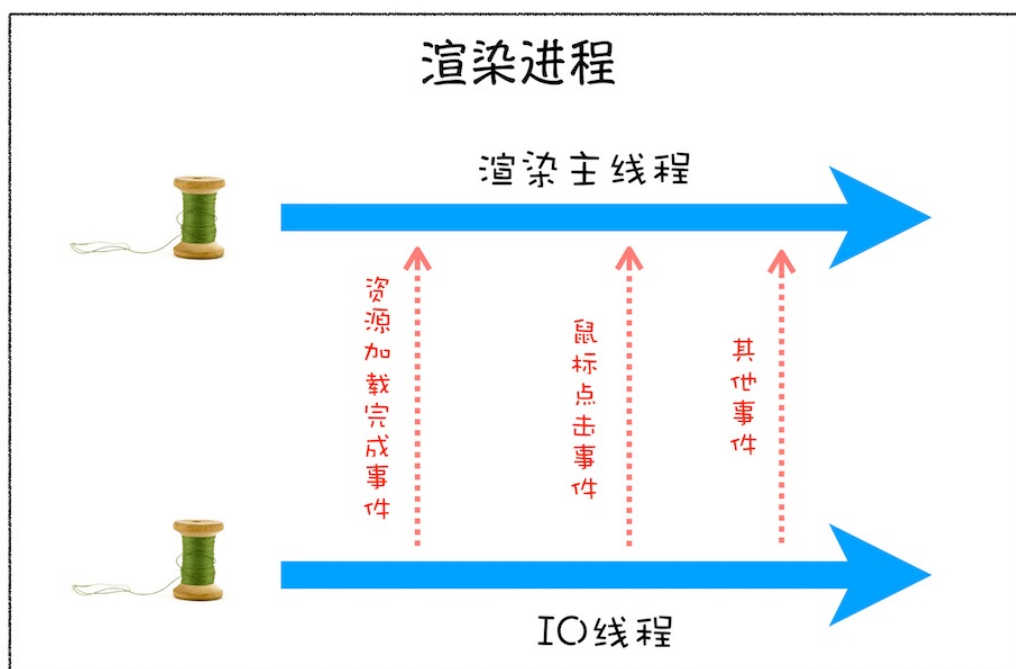


第二版：在线程中引入事件循环

处理其他线程发送过来的任务

上面我们改进了线程的执行方式，引入了事件循环机制，可以让其在执行过程中接受新的任务。不过在第二版的线程模型中，所有的任务都是来自于线程内部的，如果另外一个线程想让主线程执行一个任务，利用第二版的线程模型是无法做到的。

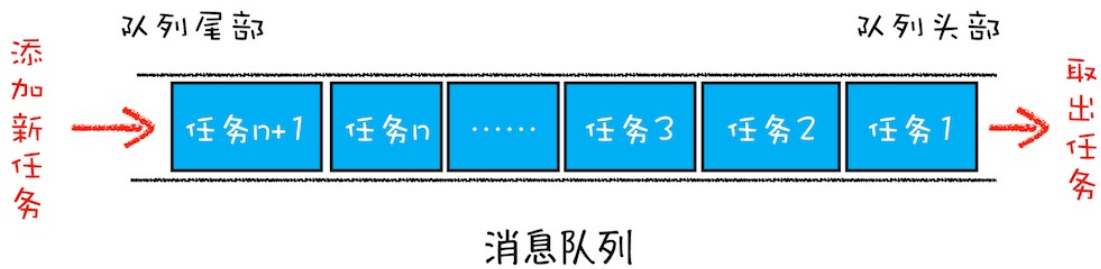
那下面我们就来看看其他线程是如何发送消息给渲染主线程的，具体形式你可以参考下图：



从上图可以看出，渲染主线程会频繁接收到来自于IO线程的一些任务，接收到这些任务之后，渲染进程就需要着手处理，比如接收到资源加载完成的消息后，渲染进程就要着手进行DOM解析了；接收到鼠标点击的消息后，渲染主线程就要开始执行相应的JavaScript脚本来处理该点击事件。

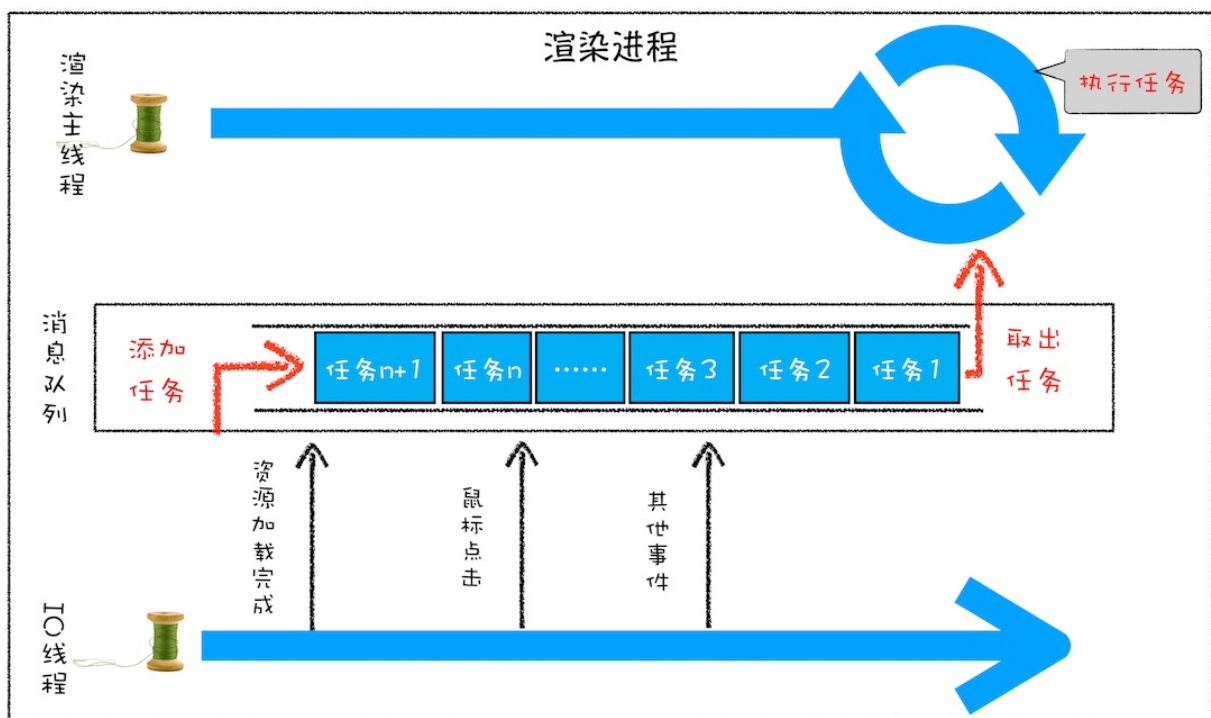
那么如何设计好一个线程模型，能让其能够接收其他线程发送的消息呢？

一个通用模式是使用**消息队列**。在解释如何实现之前，我们先说说什么是消息队列，可以参考下图：



从图中可以看出，**消息队列是一种数据结构，可以存放要执行的任务**。它符合队列“**先进先出**”的特点，也就是说**要添加任务的话，添加到队列的尾部；要取出任务的话，从队列头部去取**。

有了队列之后，我们就可以继续改造线程模型了，改造方案如下图所示：



第三版线程模型：队列+循环

从上图可以看出，我们的改造可以分为下面三个步骤：

1. 添加一个消息队列；

2. IO线程中产生的新任务添加进消息队列尾部；
3. 渲染主线程会循环地从消息队列头部中读取任务，执行任务。

有了这些步骤之后，那么接下来我们就可以**按步骤使用代码来实现第三版的线程模型**。

首先，构造一个队列。当然，在本篇文章中我们不需要考虑队列实现的细节，只是构造队列的接口：

```
class TaskQueue{
public:
    Task takeTask(); //取出队列头部的一个任务
    void pushTask(Task task); //添加一个任务到队列尾部
};
```

接下来，改造主线程，让主线程从队列中读取任务：

```
TaskQueue task_queue;
void ProcessTask();
void MainThread(){
    for(;;){
        Task task = task_queue.takeTask();
        ProcessTask(task);
    }
}
```

在上面的代码中，我们添加了一个消息队列的对象，然后在主线程的for循环代码块中，从消息队列中读取一个任务，然后执行该任务，主线程就这样一直循环往下执行，因此只要消息队列中有任务，主线程就会去执行。

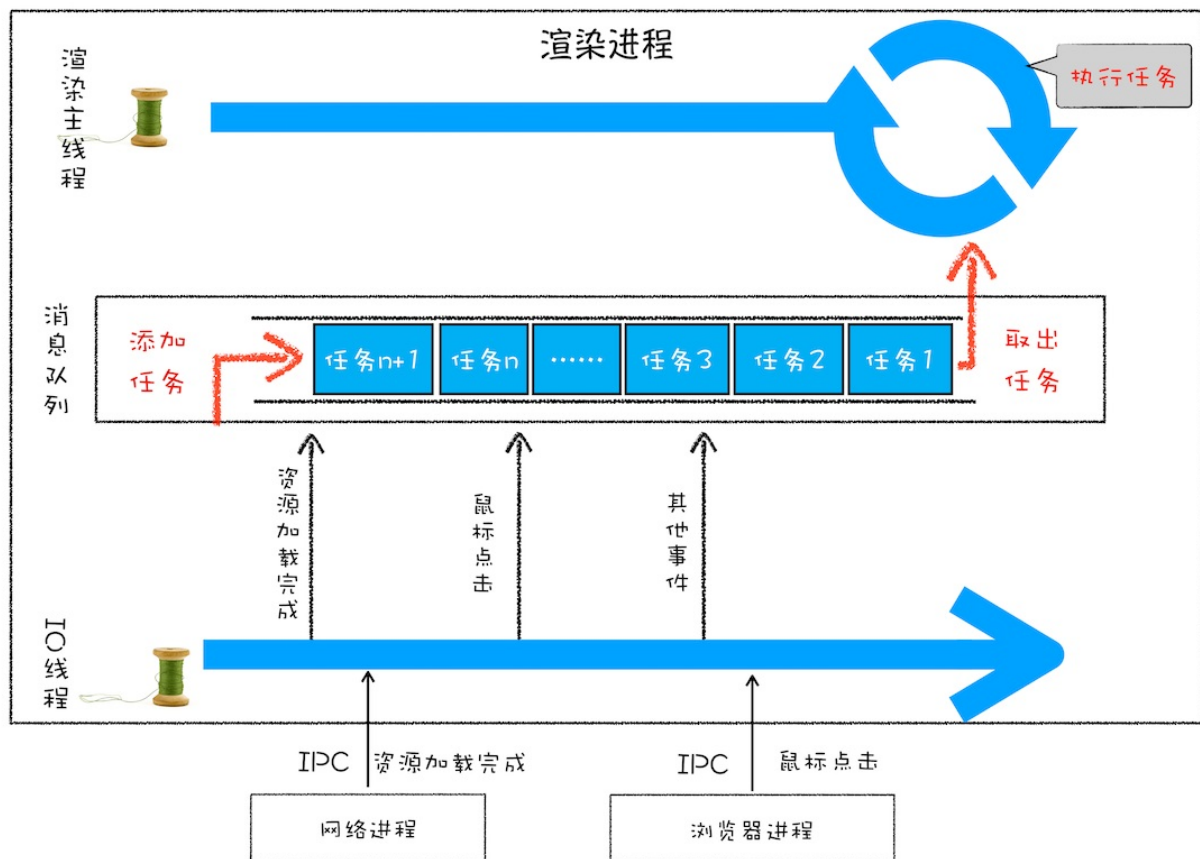
主线程的代码就这样改造完成了。这样改造后，主线程执行的任务都全部从消息队列中获取。所以如果有其他线程想要发送任务让主线程去执行，只需要将任务添加到该消息队列中就可以了，添加任务的代码如下：

```
Task clickTask;
task_queue.pushTask(clickTask)
```

由于是多个线程操作同一个消息队列，所以在添加任务和取出任务时还会加上一个同步锁，这块内容你也要注意下。

处理其他进程发送过来的任务

通过使用消息队列，我们实现了线程之间的消息通信。在Chrome中，跨进程之间的任务也是频繁发生的，那么如何处理其他进程发送过来的任务？你可以参考下图：



跨进程发送消息

从图中可以看出，**渲染进程专门有一个IO线程用来接收其他进程传进来的消息**，接收到消息之后，会将这些消息组装成任务发送给渲染主线程，后续的步骤就和前面讲解的“处理其他线程发送的任务”一样了，这里就不再重复了。

消息队列中的任务类型

现在你知道页面主线程是如何接收外部任务的了，那接下来我们再来看看消息队列中的任务类型有哪些。你可以参考下[Chromium的官方源码](#)，这里面包含了很多内部消息类型，如输入事件（鼠标滚动、点击、移动）、微任务、文件读写、WebSocket、JavaScript定时器等。

除此之外，消息队列中还包含了很多与页面相关的事件，如JavaScript执行、解析DOM、样式计算、布局计算、CSS动画等。

以上这些事件都是在主线程中执行的，所以在编写Web应用时，你还需要衡量这些事件所占用的时长，并想办法解决单个任务占用主线程过久的问题。

如何安全退出

当页面主线程执行完成之后，又该如何保证页面主线程能够安全退出呢？Chrome是这样解决的，确定要退出当前页面时，页面主线程会设置一个退出标志的变量，在每次执行完一个任务时，判断是否有设置退出标志。

如果设置了，那么就直接中断当前的所有任务，退出线程，你可以参考下面代码：


```
TaskQueue task_queue;
void ProcessTask();
bool keep_running = true;
void MainThread(){
    for(;;){
        Task task = task_queue.takeTask();
        ProcessTask(task);
        if(!keep_running) //如果设置了退出标志，那么直接退出线程循环
            break;
    }
}
```

页面使用单线程的缺点

上面讲述的就是页面线程的循环系统是如何工作的，那接下来，我们继续探讨页面线程的一些特征。

通过上面的介绍，你应该清楚了，页面线程所有执行的任务都来自于消息队列。消息队列是“先进先出”的属性，也就是说放入队列中的任务，需要等待前面的任务被执行完，才会被执行。鉴于这个属性，就有如下两个问题需要解决。

第一个问题是如何处理高优先级的任务。

比如一个典型的场景是监控DOM节点的变化情况（节点的插入、修改、删除等动态变化），然后根据这些变化来处理相应的业务逻辑。一个通用的设计的是，利用JavaScript设计一套监听接口，当变化发生时，渲染引擎同步调用这些接口，这是一个典型的观察者模式。

不过这个模式有个问题，因为DOM变化非常频繁，如果每次发生变化时，都直接调用相应的JavaScript接口，那么这个当前的任务执行时间会被拉长，从而导致**执行效率的下降**。

如果将这些DOM变化做成异步的消息事件，添加到消息队列的尾部，那么又会影响到监控的实时性，因为在添加到消息队列的过程中，可能前面就有很多任务在排队了。

这也就是说，如果DOM发生变化，采用同步通知的方式，会影响当前任务的**执行效率**；如果采用异步方式，又会影响到**监控的实时性**。

那该如何权衡**效率**和**实时性**呢？

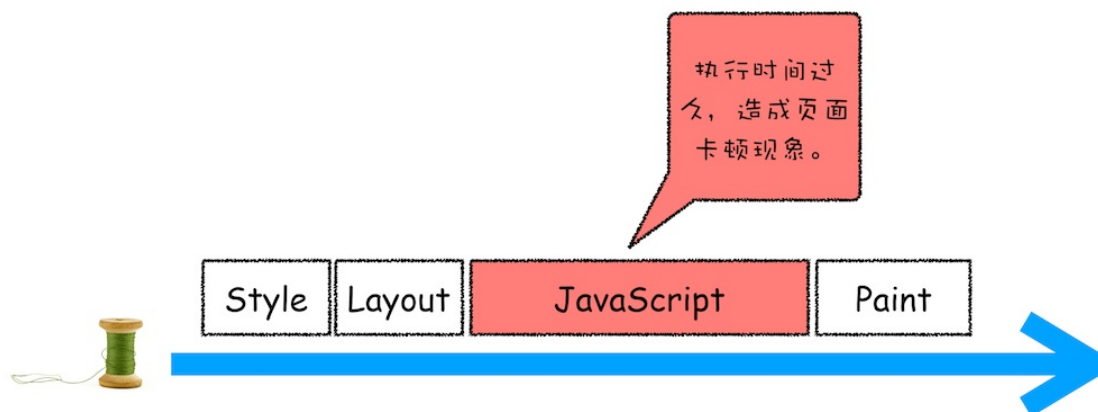
针对这种情况，微任务就应用而生了，下面我们来看看微任务是如何权衡效率和实时性的。

通常我们把消息队列中的任务称为**宏任务**，每个宏任务中都包含了一个**微任务队列**，在执行宏任务的过程中，如果DOM有变化，那么就会将该变化添加到微任务列表中，这样就不会影响到宏任务的继续执行，因此也就解决了执行效率的问题。

等宏任务中的主要功能都直接完成之后，这时候，渲染引擎并不着急去执行下一个宏任务，而是执行当前宏任务中的微任务，因为DOM变化的事件都保存在这些微任务队列中，这样也就解决了实时性问题。

第二个是如何解决单个任务执行时长过久的问题。

因为所有的任务都是在单线程中执行的，所以每次只能执行一个任务，而其他任务就都处于等待状态。如果其中一个任务执行时间过久，那么下一个任务就要等待很长时间。可以参考下图：



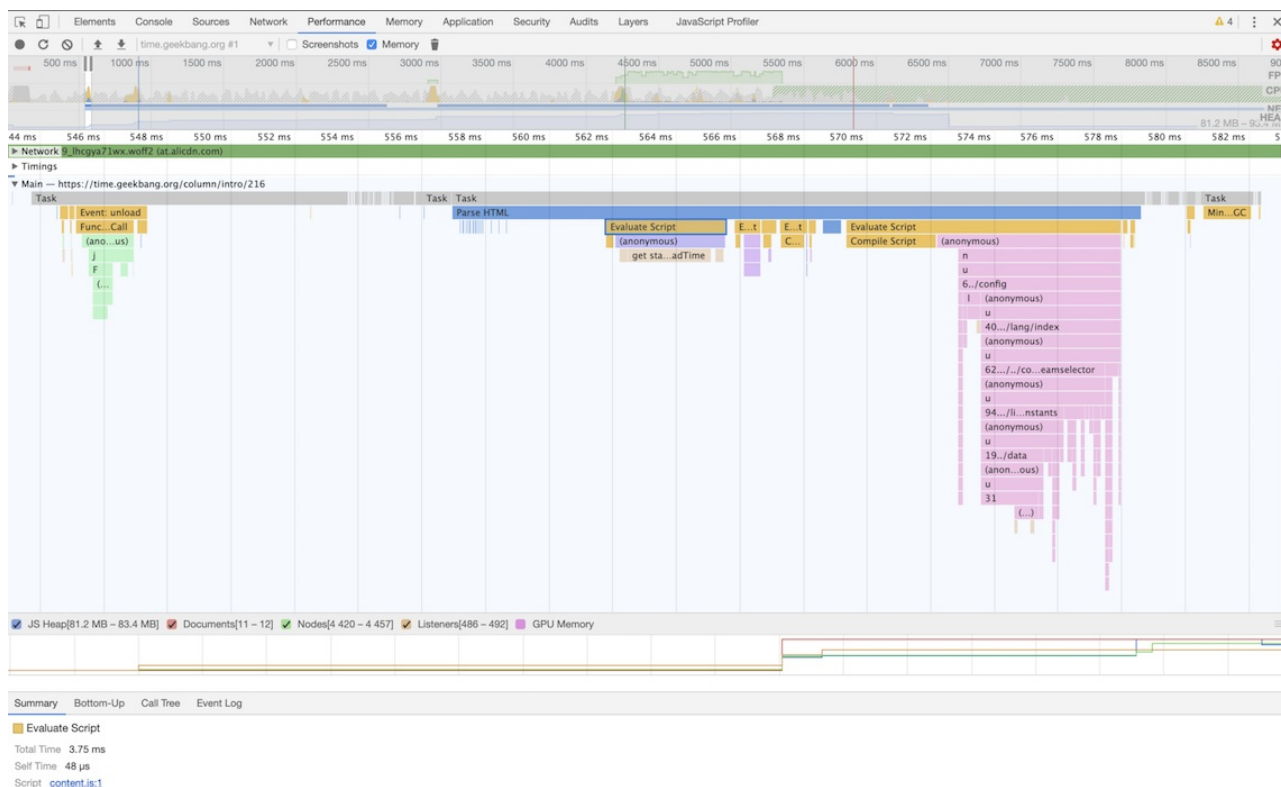
单个任务执行时间过久

从图中你可以看到，如果在执行动画过程中，其中有个JavaScript任务因执行时间过久，占用了动画单帧的时间，这样会给用户制造了卡顿的感觉，这当然是极不好的用户体验。针对这种情况，JavaScript可以通过回调功能来规避这种问题，也就是让要执行的JavaScript任务滞后执行。至于浏览器是如何实现回调功能的，我们在后面的章节中再详细介绍。

实践：浏览器页面是如何运行的

有了上面的基础知识之后，我们最后来看看浏览器的页面是如何运行的。

你可以打开开发者工具，点击“Performance”标签，选择左上角的“start profiling and load page”来记录整个页面加载过程中的事件执行情况，如下图所示：



Performance页面

从图中可以看出，我们点击展开了Main这个项目，其记录了主线程执行过程中的所有任务。图中灰色的就是一个任务，每个任务下面还有子任务，其中的Parse HTML任务，是把HTML解析为DOM的任务。值得注意的是，在执行Parse HTML的时候，如果遇到JavaScript脚本，那么会暂停当前的HTML解析而去执行JavaScript脚本。

至于Performance工具，在后面的章节中我们还会详细介绍，在这里你只需要建立一个直观的印象就可以了。

总结

好了，今天就讲到这里，下面我来总结下今天所讲的内容。

- 如果有一些确定好的任务，可以使用一个单线程来按照顺序处理这些任务，这是第一版线程模型。
- 要在线程执行过程中接收并处理新的任务，就需要引入循环语句和事件系统，这是第二版线程模型。
- 如果要接收其他线程发送过来的任务，就需要引入消息队列，这是第三版线程模型。
- 如果其他进程想要发送任务给页面主线程，那么先通过IPC把任务发送给渲染进程的IO线程，IO线程再把任务发送给页面主线程。
- 消息队列机制并不是太灵活，为了适应效率和实时性，引入了微任务。

基于消息队列的设计是目前使用最广的消息架构，无论是安卓还是Chrome都采用了类似的任务机制，所以理解了本篇文章的内容后，你再理解其他项目的任务机制也会比较轻松。

思考时间

今天给你留的思考题是：结合消息队列和事件循环，你认为微任务是什么？引入微任务能带来什么优势呢？

欢迎在留言区与我分享你的想法，也欢迎你在留言区记录你的思考过程。感谢阅读，如果你觉得这篇文章对你有帮助的话，也欢迎把它分享给更多的朋友。



浏览器工作原理与实践

>>> 透过浏览器看懂前端本质

李兵

前盛大创新院高级研究员



新版升级：点击「 请朋友读」，20位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

精选留言：

- mfist 2019-09-07 08:18:07

微任务的本质结合消息队列和事件循环我理解：当事件循环接受到消息时候，判断是否是优先级高的任务，选择插入消息队列的位置不同，进而影响消息执行的顺序。

很期待通过js回调方式解决一次执行很长js带来的页面卡顿的问题。

今日总结

为了应对渲染进程主线程繁琐的任务（DOM解析、样式计算、布局、处理js任务、各种输入事件），引入了消息队列和事件循环系统。

从任务的复杂度逐渐增加，循序渐进的分析每种场景的处理方式。

1. 单线程处理安排好的同步任务
2. 引入事件循环接受新的任务
3. 引入消息队列处理其他进程发来的任务
4. 引入宏任务和微任务解决任务优先级的问题
5. 通过Js回调功能解决单个js任务执行时间过长的问题。 [2赞]

作者回复2019-09-07 17:00:54

你对微任务的理解还是有些偏差的！

每个宏任务都有一个微任务列表，在宏任务的执行过程中产生微任务会被添加到微任务列表中，等宏任务快执行结束之后，会执行微任务列表，所以微任务依然运行在当前宏任务的执行环境中，这个特性会导致宏任务和微任务有一些本质上的区别！我们后面再介绍，你可以重点关注下。

- 瞧，这个人 2019-09-08 09:51:04

宿主发起的任务是宏任务 如点击事件，setTimeout 进消息队列；js引擎发起的任务是微任务如promise [1赞]

- Geek_Jamorn 2019-09-07 11:47:57

切入角度很好，通俗易懂。微任务就是优先级最高的消息队列，用于在当前函数执行结束后立即执行
有个问题，宏任务队列和微任务队列分别只有一个么，还是宏任务队列中又有setTimeout队列和setInterval队列？希望解答一下 [1赞]

作者回复2019-09-07 16:48:22

这个在下篇文章揭晓

- 早起不吃虫 2019-09-07 10:44:40

老师，宏任务跟微任务能不能详细讲讲呢，譬如哪些是宏任务哪些是微任务？ [1赞]

作者回复2019-09-07 16:50:37

马上会有专门的章节来讲微任务，不过理解消息队列和事件循环是理解微任务的基础！

- 得闲读书 2019-09-07 08:17:54

老师，所以，事件循环其实是监听执行任务的循环机制吗？而每一个执行任务都存档在消息队列里面，这些统称为宏任务，微任务是执行宏任务中遇到的异步操作吧，就是异步代码，如promise,setTimeout任务。执行宏任务遇到异步任务先将其放入微任务列表，等该宏任务执行一遍后再执行该宏任务的微任务列表，我这样理解对吗？ [1赞]

作者回复2019-09-07 16:55:22

第一个理解没错，事件循环系统就是在监听并执行消息队列中的任务！

第二个理解也没问题，不过promise触发的微任务，setTimeout触发的是宏任务！

- 易儿易 2019-09-08 22:14:39

宏任务是开会分配的工作内容，微任务是工作过程中被临时安排的内容，可以这么比喻吗？

作者回复2019-09-09 07:05:07

这个比喻形象

- Rapheal 2019-09-08 18:15:29

老师，可以请问下：渲染进程的主线程和V8执行机主线程是同一个线程吗？一个渲染进程有几个线程，分别有啥作用？

作者回复2019-09-09 07:13:12

主要有IO线程，用开负责和其它进程IPC通信的，然后主线程主要跑页面的！

V8是在主线程上执行的，因为dom操作啥的都是在主线程上执行的。

当然还有其它很多辅助线程，比如预解析DOM的线程，垃圾回收也有一些辅助线程。

- 阿桐 2019-09-07 21:20:24

老师，专栏中有段内容我看了几遍还是似懂非懂，您方便举个例子再给我说说吗？

“比如一个典型的场景是监控 DOM 节点的变化情况（节点的插入、修改、删除等动态变化），然后根据这些变化来处理相应的业务逻辑。一个通用的设计的是，利用 JavaScript 设计一套监听接口，当变化发生时，渲染引擎同步调用这些接口，这是一个典型的观察者模式。

不过这个模式有个问题，因为 DOM 变化非常频繁，如果每次发生变化的时候，都直接调用相应的 JavaScript 接口，那么这个当前的任务执行时间会被拉长，从而导致执行效率的下降。”

作者回复2019-09-08 14:26:05

这个我会在微任务那节详细分析

- Hurry 2019-09-07 16:37:08

关于微任务和宏任务，老师是否可以画张图，解释一下，我理解就是两个消息队列，微任务会被优先处理，另外能否举例，那些js操作或者内置函数会将任务加到宏任务队列还是微任务队列？

- 许童童 2019-09-07 10:45:17

我理解微任务就是优先级比较高的任务。有的任务有高优先级的需求，所以，出现了微任务。

作者回复2019-09-07 17:01:39

这个解释有点笼统

- 远 2019-09-07 08:46:24

微任务就是开始执行前就已经固定的消息队列和事情循环

作者回复2019-09-07 17:12:03

“固定到消息队列中”可以这么理解，但是实际情况却不是这样