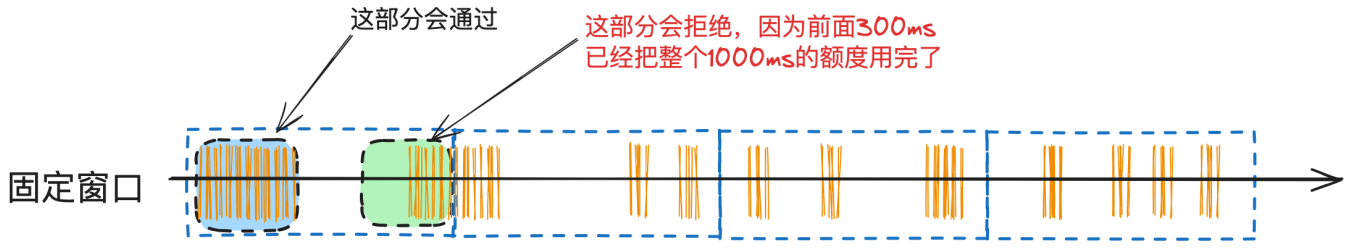
15.精确掌控并发：滑动时间窗口算法在分布式环境下并发流量控制的设计与实现_V20240116

上一篇介绍了【固定时间窗口算法】在支付渠道限流的应用以及使用redis实现的核心代码。

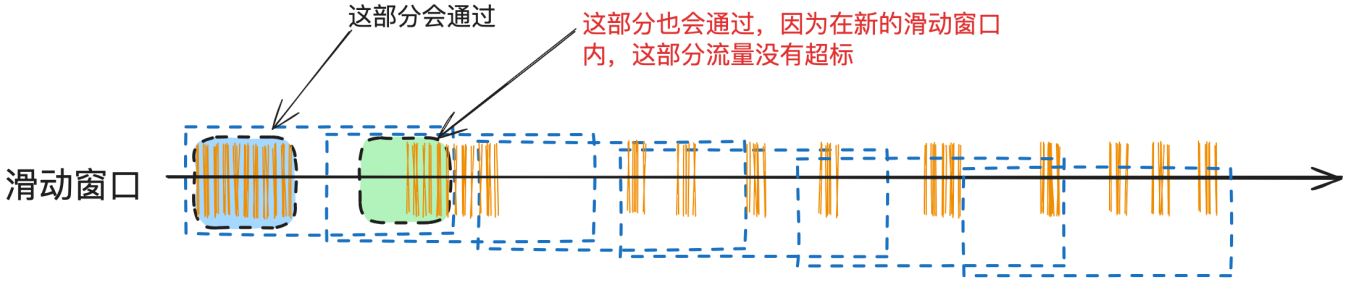
本篇重点讲清楚分布式环境下【滑动时间窗口算法】原理和应用场景，以及使用reids实现的核心代码。

1. 滑动时间窗口原理

滑动窗口算法是一种更为灵活的流量控制方案，它比固定窗口算法能更平滑地处理突发流量。在滑动窗口中，时间窗口是重叠的，这意味着流量的计算是基于过去的一段连续时间内发生的事件。



固定窗口：等长，不重叠。无法应用突发流量



滑动窗口：每隔小段时间产生新窗口，重新计算当前窗口的请求。能应对突发流量。

工作流程：

1. 窗口定义：确定窗口的大小，例如1秒钟，并设置窗口的滑动间隔，比如100毫秒。
2. 计数与滑动：每个窗口都有自己的计数器。当一个新请求到达时，增加当前时间窗口及其前面相邻的窗口的计数。
3. 限制检查：如果任何连续时间段内的请求总数超过阈值，则拒绝新的请求。
4. 窗口更新：随着时间的推移，不断向前滑动窗口，并更新相应的计数器。

2. 滑动时间窗口在支付系统中的应用场景

滑动时间窗口在支付系统中的应用场景主要也是各种精确限流，比如把前一篇讲的固定时间窗口算法中，我们对外部渠道请求会做限流，那么就可以升级到滑动时间窗口，以提高精度。

只要是API限流，都可以使用。

3. 使用redis实现的核心代码

滑动窗口可以通过队列或循环数组来实现。每个窗口对应队列中的一个元素，记录该窗口期间的请求数。**当时间滑动时，更新队列头部的元素，并可能将旧的元素出队。**

在Redis中，可以使用列表或有序集合来模拟这种滑动窗口。下面是一个Rdis实现的示例，使用有序集合（sorted set）来实现了滑动时间窗口算法：

Java

```java
/**
 * redis限流操作类
 */
@Component
public class RedisLimitUtil {
    @Autowired
    private RedisTemplate<String, Object> redisTemplate;
    // 滑动时间窗口大小
    private static final long WINDOW_SIZE_IN_SECONDS = 1000;

    /**
     * 判断是否限流
     * 这里不考虑超过long最大值的情况，系统在达到long最大值前就奔溃了。
     */
    public boolean isLimited(String key, String reuqestId, long countLimit) {
        // 使用Redis的多个命令来实现滑动窗口
        redisTemplate.zremrangeByScore(key, 0, currentTimeMillis - WINDOW_SIZE_IN_SECONDS);
        long count = redisTemplate.zcard(key);

        if (countLimit >= count) {
            redisTemplate.zadd(key, currentTimeMillis, reuqestId);
            return true;
        } else {
            return false;
        }
    }
}
```

每个请求都以其发生的时间戳作为分数(SCORE)存储在集合中。通过移除旧于当前时间窗口的请求来维护滑动窗口。通过检查集合中的元素数量，以确定是否超过了设定的最大请求数。

- zremrangeByScore 用于移除窗口之外的旧请求。
- zcard 获取当前窗口内的请求数量。
- zadd 将新请求添加到集合中。

使用：PayServiceImpl

```java
/**
 * 支付服务示例
 */
public class PayServiceImpl implements PayService {
    @Autowired
    private RedisLimitUtil redisLimitUtil;

    @Override
    public PayOrder pay(PayRequest request) {
        if (isLimited(request)) {
            throw new RequestLimitedException(buildExceptionMessage(request));
        }

        // 其它业务处理
        ... ...
    }

    /*
     * 限流判断
     */
    private boolean isLimited(PayRequest request) {
        // 限流KEY，这里以[业务类型 + 渠道]举例
        String key = request.getBizType() + request.getChannel();
        // 限流值
        Long countLimit = countLimitMap.get(key);

        // 如果key对应的限流值没有配置，或配置为-1，说明不限流
        if (null == countLimit || -1 == countLimit) {
            return false;
        }

        return redisLimitUtil.isLimited(key, request.getRequestId(), countLimit);
    }
}
```

需要注意一点的是，这次需要传入requestId进去，用于保存这个requestId在redis有序队列里的分数，用于计数和清理。

其它的注释写得比较清楚，没什么补充的。

4. 注意事项

一些分布式服务框架，为了更高的可靠性，他们使用的是本地计算。比如接口限流1000TPS，一共有20台应用服务器，框架就会把计算出每台机器是50个TPS，下发给所有的应用服务器，在服务器上线、下线过程中，可能会有一段时间是不准确的。

但在渠道限流应该中，因为每个渠道的流量都不太高，所以可以使用这种redis方案。且精度更高，不受应用服务器的上、下线影响。

另外，在分布式系统中，**需要确保不同节点之间的时间同步**，以保证流量计算的准确性。如果应用服务器之间的时间不同步，那么流量就会计算错误。

5. 结束语

分布式流控有很多实现方案，通过把固定时间窗口算法升级为滑动时间窗口算法，我们对流量控制的精度会大幅提升。

下一篇会介绍漏桶原理及实现。漏桶和令牌桶的特点是请求进来先保存起来，然后按一定的速度发送出，而不是超过阀值就拒绝。

这是《百图解码支付系统设计与实现》专栏系列文章中的第（15）篇。和墨哥（隐墨星辰）一起深入解码支付系统的方方面面。

欢迎转载。

Github（PDF文档全集，不定时更新）：https://github.com/yinmo-sc/Decoding-Payment-System-Book

公众号：隐墨星辰。

有个小群不定时解答一些问题或知识点，有兴趣的同学可先加微信（yinmo_sc）后进入，添加微信请备注：加支付系统设计与实现讨论群。