

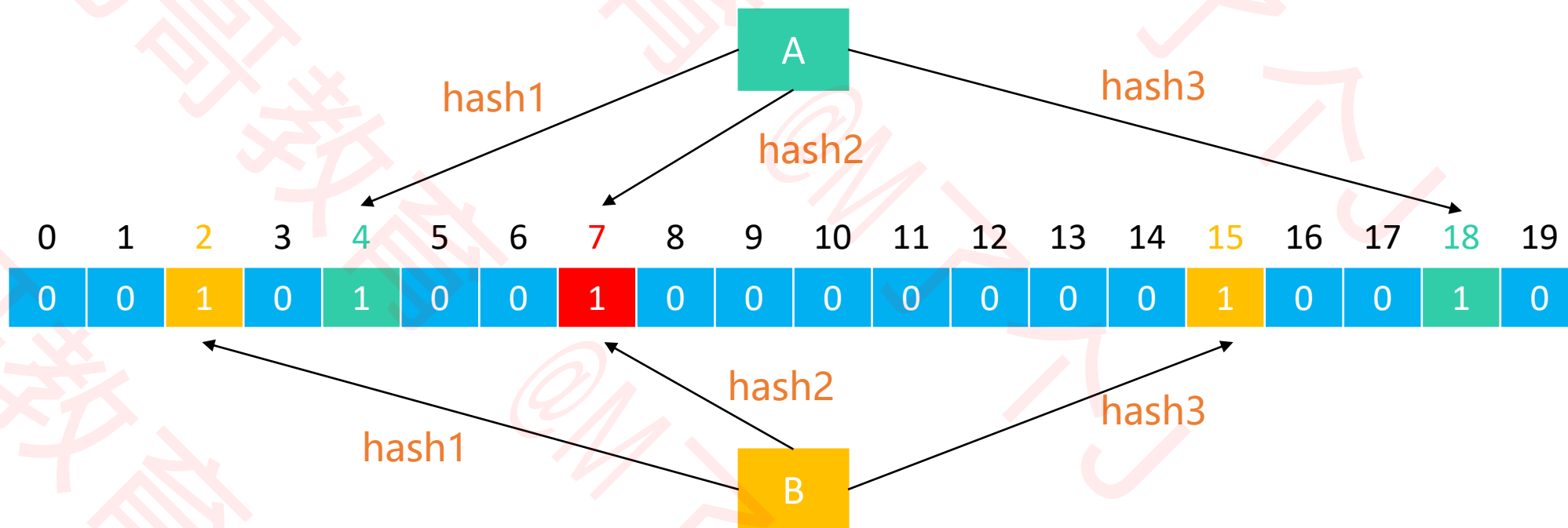
- 如果要经常判断 1 个元素是否存在，你会怎么做？
  - 很容易想到使用哈希表（HashSet、HashMap），将元素作为 key 去查找
  - ✓ 时间复杂度： $O(1)$ ，但是空间利用率不高，需要占用比较多的内存资源
  
- 如果需要编写一个网络爬虫去爬10亿个网站数据，为了避免爬到重复的网站，如何判断某个网站是否爬过？
  - 很显然，HashSet、HashMap 并不是非常好的选择
  
- 是否存在时间复杂度低、占用内存较少的方案？
  - 布隆过滤器（Bloom Filter）

# 布隆过滤器 (Bloom Filter)

- 1970年由布隆提出
  - 它是一个空间效率高的概率型数据结构，可以用来告诉你：一个元素一定不存在或者可能存在
- 优缺点
  - 优点：空间效率和查询时间都远远超过一般的算法
  - 缺点：有一定的误判率、删除困难
- 它实质上是一个很长的二进制向量和一系列随机映射函数（Hash函数）
- 常见应用
  - 网页黑名单系统、垃圾邮件过滤系统、爬虫的网址判重系统、解决缓存穿透问题

# 布隆过滤器的原理

- 假设布隆过滤器由 20 位二进制、3 个哈希函数组成，每个元素经过哈希函数处理都能生成一个索引位置
- 添加元素：将每一个哈希函数生成的索引位置都设为 1
- 查询元素是否存在
- ✓ 如果有一个哈希函数生成的索引位置不为 1，就代表不存在（100%准确）
- ✓ 如果每一个哈希函数生成的索引位置都为 1，就代表存在（存在一定的误判率）



- 添加、查询的时间复杂度都是： $O(k)$ ， $k$  是哈希函数的个数。空间复杂度是： $O(m)$ ， $m$  是二进制位的个数

# 布隆过滤器的误判率

- 误判率  $p$  受 3 个因素影响：二进制位的个数  $m$ 、哈希函数的个数  $k$ 、数据规模  $n$

$$\left(1 - e^{-\frac{k(n+0.5)}{m-1}}\right)^k \quad \left(1 - e^{-\frac{kn}{m}}\right)^k$$

- 已知误判率  $p$ 、数据规模  $n$ ，求二进制位的个数  $m$ 、哈希函数的个数  $k$

$$m = -\frac{n \ln p}{(\ln 2)^2}$$

$$k = \frac{m}{n} \ln 2$$

$$k = -\frac{\ln p}{\ln 2} = -\log_2 p$$

# 布隆过滤器的实现

```
/**
 * 添加元素
 * @return true代表bit发生了改变
 */
boolean put(T value);

/**
 * 查询元素是否存在
 * @return false代表一定不存在，true代表可能存在
 */
boolean contains(T value);
```

■ Guava: Google Core Libraries For Java

□ <https://mvnrepository.com/artifact/com.google.guava/guava>