

46|概率统计：如何利用朴素贝叶斯算法过滤垃圾短信？

上一节我们讲到，如何用位图、布隆过滤器，来过滤重复的数据。今天，我们再讲一个跟过滤相关的问题，如何过滤垃圾短信？

垃圾短信和骚扰电话，我想每个人都收到过吧？买房、贷款、投资理财、开发票，各种垃圾短信和骚扰电话，不胜其扰。如果你是一名手机应用开发工程师，让你实现一个简单的垃圾短信过滤功能以及骚扰电话拦截功能，该用什么样的数据结构和算法实现呢？

算法解析

实际上，解决这个问题并不会涉及很高深的算法。今天，我就带你一块看下，如何利用简单的数据结构和算法，解决这种看似非常复杂的问题。

1.基于黑名单的过滤器

我们可以维护一个骚扰电话号码和垃圾短信发送号码的黑名单。这个黑名单的搜集，有很多途径，比如，我们可以从一些公开的网站上下载，也可以通过类似“360骚扰电话拦截”的功能，通过用户自主标记骚扰电话来收集。对于被多个用户标记，并且标记个数超过一定阈值的号码，我们就可以定义为骚扰电话，并将它加入到我们的黑名单中。

如果黑名单中的电话号码不多的话，我们可以使用散列表、二叉树等动态数据结构来存储，对内存的消耗并不会很大。如果我们把每个号码看作一个字符串，并且假设平均长度是16个字节，那存储50万个电话号码，大约需要10MB的内存空间。即便是对于手机这样的内存有限的设备来说，这点内存的消耗也是可以接受的。

但是，如果黑名单中的电话号码很多呢？比如有500万个。这个时候，如果再用散列表存储，就需要大约100MB的存储空间。为了实现一个拦截功能，耗费用户如此多的手机内存，这显然有点儿不合理。

上一节我们讲了，布隆过滤器最大的特点就是比较省存储空间，所以，用它来解决这个问题再合适不过了。如果我们要存储500万个手机号码，我们把位图大小设置为10倍数据大小，也就是5000万，那也只需要使用5000万个二进制位（5000万bits），换算成字节，也就是不到7MB的存储空间。比起散列表的解决方案，内存的消耗减少了很多。

实际上，我们还有一种时间换空间的方法，可以将内存的消耗优化到极致。

我们可以把黑名单存储在服务器端上，把过滤和拦截的核心工作，交给服务器端来做。手机端只负责将要检查的号码发送给服务器端，服务器端通过查黑名单，判断这个号码是否应该被拦截，并将结果返回给手机端。

用这个解决思路完全不需要占用手机内存。不过，有利就有弊。我们知道，网络通信是比较慢的，所以，网络延迟就会导致处理速度降低。而且，这个方案还有个硬性要求，那就是只有在联网的情况下，才能正常工作。

基于黑名单的过滤器我就讲完了，不过，你可能还会说，布隆过滤器会有判错的概率呀！如果它把一个重要的电话或者短信，当成垃圾短信或者骚扰电话拦截了，对于用户来说，这是无法接受的。你说的没错，这是一个很大的问题。不过，我们现在先放一放，等三种过滤器都讲完之后，我再来解决。

2.基于规则的过滤器

刚刚讲了一种基于黑名单的垃圾短信过滤方法，但是，如果某个垃圾短信发送者的号码并不在黑名单中，那这种方法就没办法拦截了。所以，基于黑名单的过滤方式，还不够完善，我们再继续看一种基于规则的过滤方式。

对于垃圾短信来说，我们还可以通过短信的内容，来判断某条短信是否是垃圾短信。我们预先设定一些规则，如果某条短信符合这些规则，我们就可以判定它是垃圾短信。实际上，规则可以有多种，比如下面这几个：

- 短信中包含特殊单词（或词语），比如一些非法、淫秽、反动词语等；
- 短信发送号码是群发号码，非我们正常的手机号码，比如+60389585；
- 短信中包含回拨的联系方式，比如手机号码、微信、QQ、网页链接等，因为群发短信的号码一般都是无法回拨的；
- 短信格式花哨、内容很长，比如包含各种表情、图片、网页链接等；
- 符合已知垃圾短信的模板。垃圾短信一般都是重复群发，对于已经判定为垃圾短信的短信，我们可以抽象成模板，将获取到的短信与模板匹配，一旦匹配，我们就可以判定为垃圾短信。

当然，如果短信只是满足其中一条规则，如果就判定为垃圾短信，那会存在比较大的误判的情况。我们可以综合多条规则进行判断。比如，满足2条以上才会被判定为垃圾短信；或者每条规则对应一个不同的得分，满足哪条规则，我们就累加对应的分数，某条短信的总得分超过某个阈值，才会被判定为垃圾短信。

不过，我只是给出了一些制定规则的思路，具体落实到执行层面，其实还有很大的距离，还有很多细节需要处理。比如，第一条规则中，我们该如何定义特殊单词；第二条规则中，我们该如何定义什么样的号码是群发号码等等。限于篇幅，我就不一一详细展开来讲了。我这里只讲一下，如何定义特殊单词？

如果我们只是自己盘脑袋想，哪些单词属于特殊单词，那势必有比较大的主观性，也很容易漏掉某些单词。实际上，我们可以基于概率统计的方法，借助计算机强大的计算能力，找出哪些单词最常出现在垃圾短信中，将这些最常出现的单词，作为特殊单词，用来过滤短信。

不过这种方法的前提是，我们有大量的样本数据，也就是说，要有大量的短信（比如1000万条短信），并且我们还要求，每条短信都做好了标记，它是垃圾短信还是非垃圾短信。

我们对这1000万条短信，进行分词处理（借助中文或者英文分词算法），去掉“的、和、是”等没有意义的停用词（Stop words），得到n个不同的单词。针对每个单词，我们统计有多少个垃圾短信出现了这个单词，有多少个非垃圾短信会出现这个单词，进而求出每个单词出现在垃圾短信中的概率，以及出现在非垃圾短信中的概率。如果某个单词出现在垃圾短信中的概率，远大于出现在非垃圾短信中的概率，那我们就把这个单词作为特殊单词，用来过滤垃圾短信。

文字描述不好理解，我举个例子来解释一下。

样本集中包含5条短信. 分别是:
ABC:垃圾短信 BCE: 非垃圾短信. ABCD: 垃圾短信
BCD: 垃圾短信 ACDE:非垃圾短信

单词	包含单词的垃圾短信数	包含单词的非垃圾短信数	包含单词的垃圾短信概率	包含单词的非垃圾短信概率
A	2	1	$\frac{2}{5}$	$\frac{1}{5}$
B	3	1	$\frac{3}{5}$	$\frac{1}{5}$
C	3	2	$\frac{3}{5}$	$\frac{2}{5}$
D	2	1	$\frac{2}{5}$	$\frac{1}{5}$
E	0	2	$\frac{0}{5}$	$\frac{2}{5}$

3.基于概率统计的过滤器

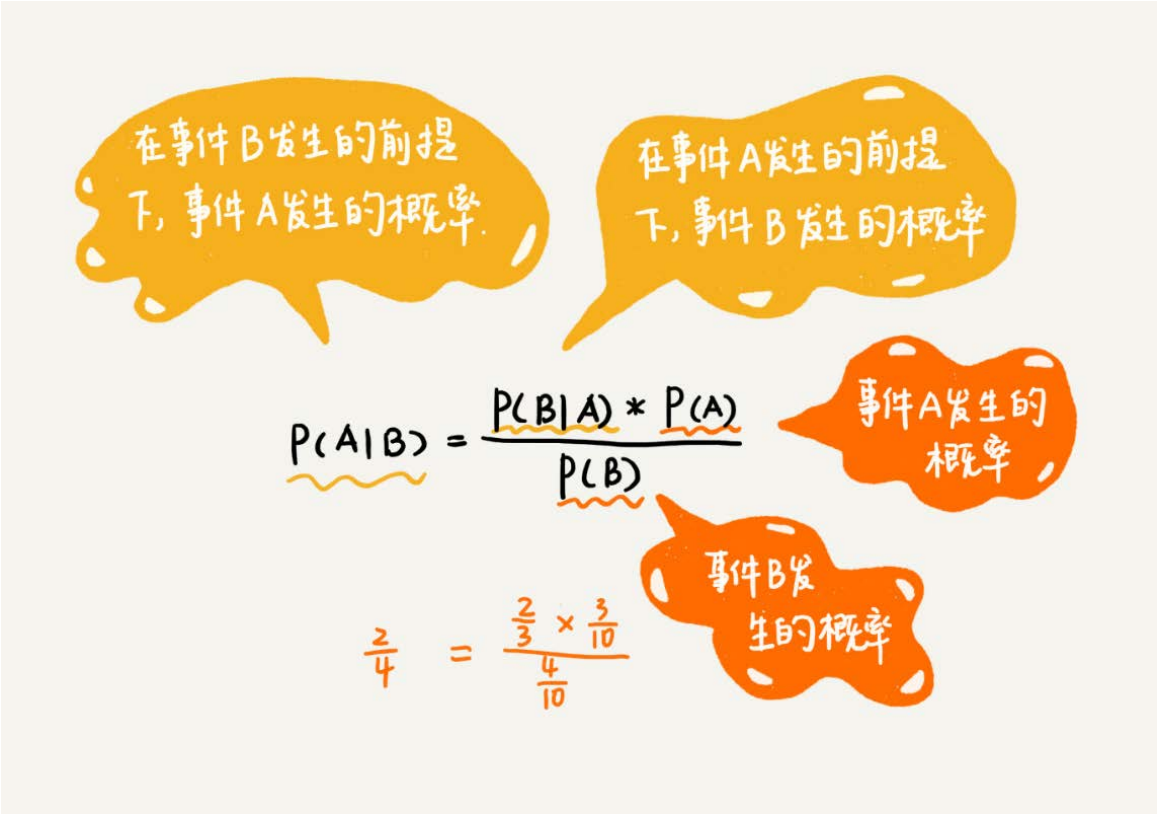
基于规则的过滤器，看起来很直观，也很好理解，但是它也有一定的局限性。一方面，这些规则受人的思维方式局限，规则未免太过简单；另一方面，垃圾短信发送者可能会针对规则，精心设计短信，绕过这些规则的拦截。对此，我们再来看一种更加高级的过滤方式，基于概率统计的过滤方式。

这种基于概率统计的过滤方式，基础理论是基于朴素贝叶斯算法。为了让你更好地理解下面的内容，我们先通过一个非常简单的例子来看下，什么是朴素贝叶斯算法？

假设事件A是“小明不去上学”，事件B是“下雨了”。我们现在统计了一下过去10天的下雨情况和小明上学的情况，作为样本数据。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
晴天	晴天	下雨	晴天	下雨	晴天	晴天	下雨	晴天	下雨
上学	没上	上学	上学	没上	上学	上学	没上	上学	上学

我们来分析一下，这组样本有什么规律。在这10天中，有4天下雨，所以下雨的概率 $P(B)=4/10$ 。10天中有3天，小明没有去上学，所以小明不去上学的概率 $P(A)=3/10$ 。在4个下雨天中，小明有2天没去上学，所以下雨天不去上学的概率 $P(A|B)=2/4$ 。在小明没有去上学的3天中，有2天下雨了，所以小明因为下雨而不上学的概率是 $P(B|A)=2/3$ 。实际上，这4个概率值之间，有一定的关系，这个关系就是朴素贝叶斯算法，我们用公式表示出来，就是下面这个样子。



朴素贝叶斯算法是不是非常简单？我们用一个公式就可以将它概括。弄懂了朴素贝叶斯算法，我们再回到垃圾短信过滤这个问题上，看看如何利用朴素贝叶斯算法，来做垃圾短信的过滤。

基于概率统计的过滤器，是基于短信内容来判定是否是垃圾短信。而计算机没办法像人一样理解短信的含义。所以，我们需要把短信抽象成一组计算机可以理解并且方便计算的特征项，用这一组特征项代替短信本身，来做垃圾短信过滤。

我们可以通过分词算法，把一个短信分割成n个单词。这n个单词就是一组特征项，全权代表这个短信。因此，判定一个短信是否是垃圾短信这样一个问题，就变成了，判定同时包含这几个单词的短信是否是垃圾短信。

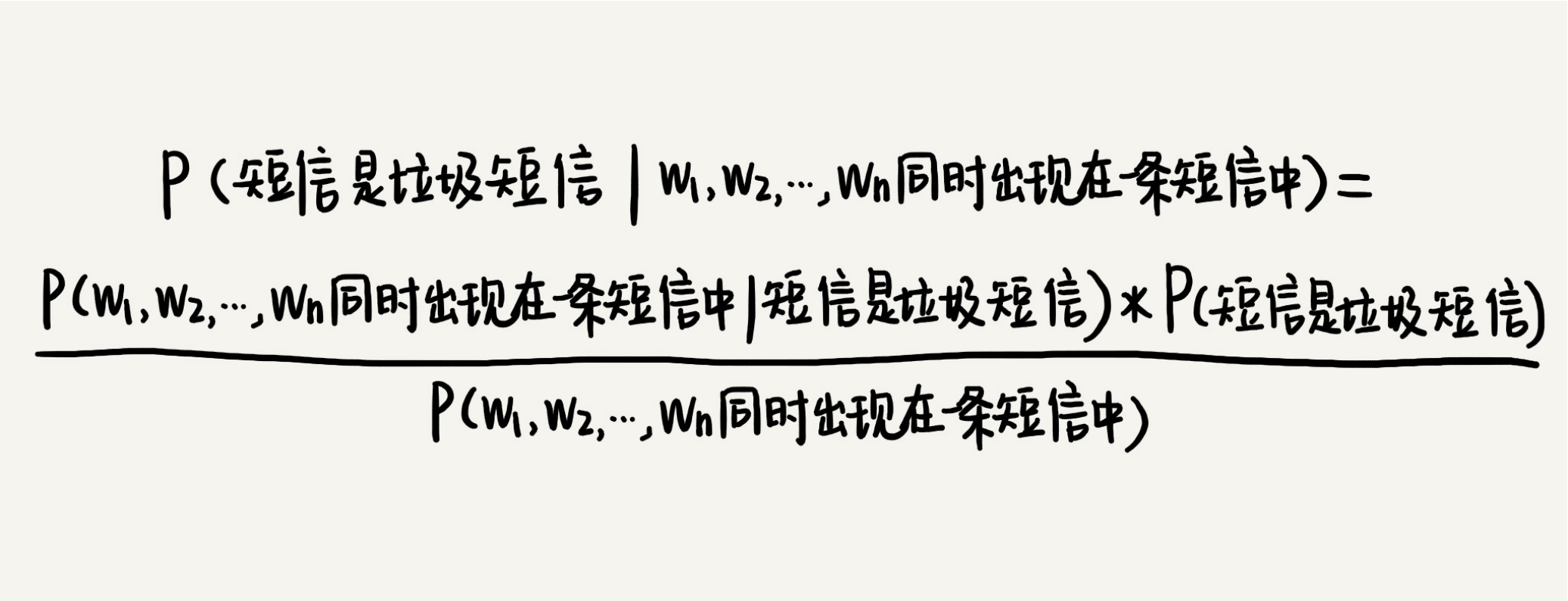
不过，这里我们并不像基于规则的过滤器那样，非黑即白，一个短信要么被判定为垃圾短信、要么被判定为非垃圾短息。我们使用概率，来表征一个短信是垃圾短信的可信程度。如果我们用公式将这个概率表示出来，就是下面这个样子：

$$P(\text{短信是垃圾短信} \mid w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中})$$

尽管我们有大量的短信样本，但是我们没法通过样本数据统计得到这个概率。为什么不可以呢？你可能会说，我只需要统计同时包含 $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ 这n个单词的短信有多少个（我们假设有x个），然后看这里面属于垃圾短信的有几个（我们假设有y个），那包含 $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ 这n个单词的短信是垃圾短信的概率就是 y/x 。

理想很丰满，但现实往往很骨感。你忽视了非常重要的一点，那就是样本的数量再大，毕竟也是有限的，样本中不会有太多同时包含 $SW_{\{1\}}$ ， $SW_{\{2\}}$ ， $SW_{\{3\}}$ ，...， $SW_{\{n\}}$ 的短信的，甚至很多时候，样本中根本不存在这样的短信。没有样本，也就无法计算概率。所以这样的推理方式虽然正确，但是实践中并不好用。

这个时候，朴素贝叶斯公式就可以派上用场了。我们通过朴素贝叶斯公式，将这个概率的求解，分解为其他三个概率的求解。你可以看我画的图。那转化之后的三个概率是否可以通过样本统计得到呢？



The image shows a handwritten formula on a light yellow background. The formula is written in black ink and represents the Naive Bayes theorem for spam filtering. It is written as follows:

$$P(\text{短信是垃圾短信} \mid w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中}) = \frac{P(w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中} \mid \text{短信是垃圾短信}) * P(\text{短信是垃圾短信})}{P(w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中})}$$

$P(SW_{\{1\}}, SW_{\{2\}}, SW_{\{3\}}, \dots, SW_{\{n\}}$ 同时出现在一条短信中 \mid 短信是垃圾短信) 这个概率照样无法通过样本来统计得到。但是我们可以基于下面这条著名的概率规则来计算。

独立事件发生的概率计算公式： $P(A * B) = P(A) * P(B)$

如果事件A和事件B是独立事件，两者的发生没有相关性，事件A发生的概率 $P(A)$ 等于 p_1 ，事件B发生的概率 $P(B)$ 等于 p_2 ，那两个同时发生的概率 $P(A * B)$ 就等于 $P(A) * P(B)$ 。

基于这条独立事件发生概率的计算公式，我们可以把 $P(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中} \mid \text{短信是垃圾短信})$ 分解为下面这个公式：

$$P(w_1, w_2, \dots, w_n \text{ 同时出现在一条短信中} | \text{短信是垃圾短信}) = \\ P(w_1 \text{ 出现在短信中} | \text{短信是垃圾短信}) * \\ P(w_2 \text{ 出现在短信中} | \text{短信是垃圾短信}) * \\ P(w_3 \text{ 出现在短信中} | \text{短信是垃圾短信}) * \\ \dots * P(w_n \text{ 出现在短信中} | \text{短信是垃圾短信})$$

其中， $P(w_i \text{ 出现在短信中} | \text{短信是垃圾短信})$ 表示垃圾短信中包含 w_i 这个单词的概率有多大。这个概率值通过统计样本很容易就能获得。我们假设垃圾短信有 y 个，其中包含 w_i 的有 x 个，那这个概率值就等于 x/y 。

$P(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \text{ 同时出现在一条短信中} | \text{短信是垃圾短信})$ 这个概率值，我们就计算出来了，我们再来看下剩下两个。

$P(\text{短信是垃圾短信})$ 表示短信是垃圾短信的概率，这个很容易得到。我们把样本中垃圾短信的个数除以总样本短信个数，就是短信是垃圾短信的概率。

不过， $P(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \text{ 同时出现在一条短信中})$ 这个概率还是不好通过样本统计得到，原因我们前面说过了，样本空间有限。不过，我们没必要非得计算这一部分的概率值。为什么这么说呢？

实际上，我们可以分别计算同时包含 $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ 这 n 个单词的短信，是垃圾短信和非垃圾短信的概率。假设它们分别是 p_1 和 p_2 。我们并不需要单纯地基于 p_1 值的大小来判断是否是垃圾短信，而是通过对比 p_1 和 p_2 值的大小，来判断一条短信是否是垃圾短信。更细化一点讲，那就是，如果 p_1 是 p_2 的很多倍（比如 10 倍），我们才确信这条短信是垃圾短信。

$$p_1 = P(\text{短信是垃圾短信} | w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中}) = \frac{P(w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中} | \text{短信是垃圾短信}) * P(\text{短信是垃圾短信})}{P(w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中})}$$

$$p_2 = P(\text{短信是非垃圾短信} | w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中}) = \frac{P(w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中} | \text{短信是非垃圾短信}) * P(\text{短信是非垃圾短信})}{P(w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中})}$$

基于这两个概率的倍数来判断是否是垃圾短信的方法，我们就可以不用计算 $P(w_1, w_2, \dots, w_n \text{同时出现在一条短信中})$ 这一部分的值了，因为计算 p_1 与 p_2 的时候，都会包含这个概率值的计算，所以在求解 p_1 和 p_2 倍数（ p_1/p_2 ）的时候，我们也就不需要这个值。

总结引申

今天，我们讲了基于黑名单、规则、概率统计三种垃圾短信的过滤方法，实际上，今天讲的这三种方法，还可以应用到很多类似的过滤、拦截的领域，比如垃圾邮件的过滤等等。

在讲黑名单过滤的时候，我讲到布隆过滤器可能会存在误判情况，可能会导致用户投诉。实际上，我们可以结合三种不同的过滤方式的结果，对同一个短信处理，如果三者都表明这个短信是垃圾短信，我们才把它当作垃圾短信拦截过滤，这样就会更精准。

当然，在实际的工程中，我们还需要结合具体的场景，以及大量的实验，不断去调整策略，权衡垃圾短信判定的准确率（是否会把不是垃圾的短信错判为垃圾短信）和召回率（是否能把所有的垃圾短信都找到），来实现我们的需求。

课后思考

关于垃圾短信过滤和骚扰电话的拦截，我们可以一块儿头脑风暴一下，看看你还有没有其他方法呢？
欢迎留言和我分享，也欢迎点击“请朋友读”，把今天的内容分享给你的好友，和他一起讨论、学习。



数据结构与算法之美

为工程师量身打造的数据结构与算法私教课



王争
前 Google 工程师

新版升级：点击「 请朋友读」，10位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

精选留言：

- slvher 2019-01-11 09:08:58
对于短信文本，机器学习尤其是 NLP 方向的很多算法可用于 anti-spam。文本分类任务，特征工程做得稍用心的话，判别式模型（典型如 logistic regression）的效果通常好于生成式模型（典型如 naive-bayes）。

对于电话号码数字，感觉用正则或定时拉取黑名单比 ml 模型简单可靠。 [5赞]
- 木木匠 2019-01-11 09:03:01
我觉得这种分类过滤，最好的可能是机器学习，通过大量的垃圾短信样本来训练特征，最后可以达到过滤短信和邮件的目的，而且这种方法应该效果更好，至于电话拦截，实际上就是电话号码黑名单的问题，我觉得用布隆过滤器可以满足通用场景，一般实际场景中，对于这种电话是提示谨慎接听，但是我们可以本地和云端结合处理，解决部分的误报问题，当判断是黑名单的时候再去云端查，确认是否是真的黑名单。这样用布隆过滤器+云端也是一种方式 [4赞]
- 纯洁的憎恶 2019-01-11 12:57:10
黑名单过滤法基于经验判断，难以确保及时性。基于内容规则的过滤法容易被针对，而且动态调整规则的成本较高。基于朴素贝叶斯算法的内容概率过滤法，既可以确保及时性，又能够较好的基于实际情况的变化而变化，具备初步智能特性。因为贝叶斯方法是基于先验判断，然后根据现实反馈动态调整判断的算法。

当绝对值不好计算时，可以结合场景需要，合理使用相对值代替绝对值，以简化计算难度、消除无法计算的因子。 [2赞]
- 墨禾 2019-01-11 07:44:30
其实这个问题就是个分类预测问题，传统的机器学习方法中的分类预测算法都可以用 [2赞]
- 您的好友William 2019-01-21 12:59:36
1.为啥叫naive：因为假设了条件分布中各个feature是独立出现的，feature之间啥关系没有！所以很naive，很朴素，很“傻”，但是效果真的不一定差，而且在没开发出更好的模型之前直接进行统计计算就能得出结果，且可以做成online的，怎么看都不亏啊（反正你也得用统计数据做其他的事，顺道做了呗老弟）！

2.如果概率为0了怎么办！可以使用laplacian smoothing，简单的来说就是在分子分母上面加数来保证不会有0的出现。直接使用很小的数是可以的（遵循频率学派频率为大），但更精确的在分母分子上加什么，这个其实是与贝叶斯学派所认为的先验分布有关，就是在不看sample时，我们的先验知识对这种情况的估计是多少（比如我在不统计工科学校男女比例的时候就有了一定的先验知识：7:1，之后我再统计其实是对我的先验估计的一种调整）。 [1赞]
- C_love 2019-01-14 11:00:45
为啥P(W1W2...Wn垃圾短信)是独立事件，能够拆成乘积，而P(W1W2...Wn)不是独立事件？ [1赞]

作者回复2019-01-25 16:47:33
也是也是。
- ban 2019-01-13 19:23:45

<https://www.jianshu.com/p/5cf3a155b2f0>

找到另外一个相亲的例子 [1赞]

- Clement 2019-01-21 20:15:58

图片上的数据和公式使用什么软件画出来的？

编辑回复2019-01-22 16:28:34

iPad Paper

- ken 2019-01-15 10:01:37

请问怎么确定分词后的哪些词是W，怎么选择。

- spark 2019-01-14 09:49:58

前段时间刚看概率论与数理统计，看了 $2/3$ ，这么经典的公式现在居然忘完了……

- Alexis何春光 2019-01-13 13:40:55

请问具体要如何用位图存储手机号码呢？之前的例子是存储数字，可以直接使用数字的值作为下标。那么这里也要用手机号作为下标吗？还是要再做一次hash处理呢？会需要额外维护手机号与下表的hashmap吗？

- Geek_477c02 2019-01-13 13:38:35

P（ W_i 出现在短信中 | 短信是垃圾短信）表示垃圾短信中包含 W_i 这个单词的概率有多大。

如果 w_i 出现的概率是0怎么办，连乘导致结果是0了？

- 許敲敲 2019-01-11 20:48:09

打算入行NLP的学员，听了这个比较亲切，想了解更多一些NLP领域的算法

- Kudo 2019-01-11 14:03:30

朴素贝叶斯模型的一个基本假设是条件独立性，即假定 w_1, w_2, \dots, w_n 之间相互独立。这是一个较强的假设，正是这一假设，使朴素贝叶斯的学习与预测大为简化，且易于实现，其缺点是分类的准确率不一定高。

- 刘远通 2019-01-11 13:45:29

用贝叶斯公式以后

可以在垃圾短信这个小规模样本里面 去求 W_i 出现的概率 （有几个关键词就需要考虑几次但是规模小）

以及垃圾短信本身的概率（只需要计算一次）

分母的话可以不知道

因为有它的对偶式子 $P1+P2=1$ 足矣 实在想知道求 $P1$ 以后可以反推分母