

http://www.ruanyifeng.com/blog/2013/05/Knuth%E2%80%93Pratt_algorithm.html

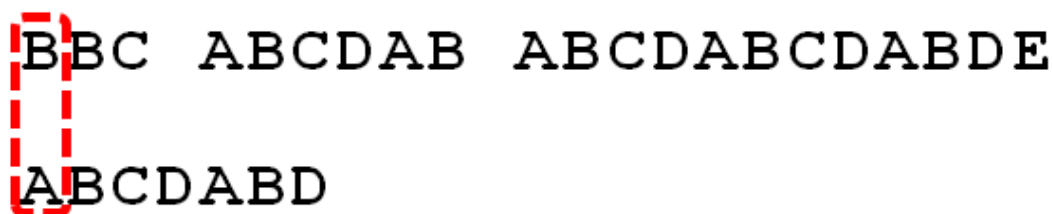
字符串匹配是计算机的基本任务之一。

举例来说，有一个字符串"BBC ABCDAB ABCDABCDABDE"，我想知道，里面是否包含另一个字符串"ABCDABD"？

许多算法可以完成这个任务，Knuth-Morris-Pratt算法（简称KMP）是最常用的之一。它以三个发明者命名，起头的那个K就是著名科学家Donald Knuth。

这种算法不太容易理解，网上有很多解释，但读起来都很费劲。直到读到Jake Boxer的文章，我才真正理解这种算法。下面，我用自己的语言，试图写一篇比较好懂的KMP算法解释。

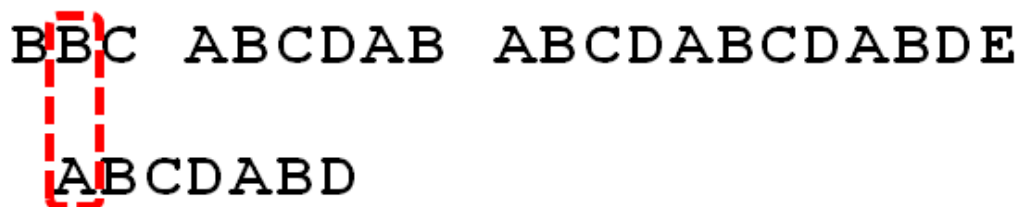
1.



BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
ABCDABD

首先，字符串"BBC ABCDAB ABCDABCDABDE"的第一个字符与搜索词"ABCDABD"的第一个字符，进行比较。因为B与A不匹配，所以搜索词后移一位。

2.



BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
ABCDABD

因为B与A不匹配，搜索词再往后移。

3.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
ABCDABD

就这样，直到字符串有一个字符，与搜索词的第一个字符相同为止。

4.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
ABCDABD

接着比较字符串和搜索词的下一个字符，还是相同。

5.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
ABCDABD

直到字符串有一个字符，与搜索词对应的字符不相同为止。

6.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
ABCDABD

这时，最自然的反应是，将搜索词整个后移一位，再从头逐个比较。这样做虽然可行，但是效率很差，因为你要把"搜索位置"移到已经比较过的位置，重比一遍。

7.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
ABCDABD

一个基本事实是，当空格与D不匹配时，你其实知道前面六个字符是"ABCDAB"。KMP算法的想法是，设法利用这个已知信息，不要把"搜索位置"移回已经比较过的位置，继续把它向后移，这样就提高了效率。

8.

搜索词	A	B	C	D	A	B	D
部分匹配值	0	0	0	0	1	2	0

怎么做到这一点呢？可以针对搜索词，算出一张《部分匹配表》（Partial Match Table）。这张表是如何产生的，后面再介绍，这里只要会用就可以了。

9.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
ABCDABD

已知空格与D不匹配时，前面六个字符"ABCDAB"是匹配的。查表可知，最后一个匹配字符B对应的"部分匹配值"为2，因此按照下面的公式算出向后移动的位数：

移动位数 = 已匹配的字符数 - 对应的部分匹配值

因为 $6 - 2$ 等于4，所以将搜索词向后移动4位。

10.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
 ABCDABD

因为空格与C不匹配，搜索词还要继续往后移。这时，已匹配的字符数为2（"AB"），对应的"部分匹配值"为0。所以，移动位数 = $2 - 0$ ，结果为2，于是将搜索词向后移2位。

11.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
 ABCDABD

因为空格与A不匹配，继续后移一位。

12.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
 ABCDABD

逐位比较，直到发现C与D不匹配。于是，移动位数 =

6 - 2, 继续将搜索词向后移动4位。

13.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
ABCDABD

逐位比较, 直到搜索词的最后一位, 发现完全匹配, 于是搜索完成。如果还要继续搜索 (即找出全部匹配), 移动位数 = 7 - 0, 再将搜索词向后移动7位, 这里就不再重复了。

14.

字符串 : "bread"

前缀 : b , br , bre , brea

后缀 : read , ead , ad , d

下面介绍《部分匹配表》是如何产生的。

首先, 要了解两个概念: "前缀"和"后缀"。 "前缀"指除了最后一个字符以外, 一个字符串的全部头部组合; "后缀"指除了第一个字符以外, 一个字符串的全部尾部组合。

15.

搜索词	A	B	C	D	A	B	D
部分匹配值	0	0	0	0	1	2	0

"部分匹配值"就是"前缀"和"后缀"的最长的共有元素的长度。以"ABCDABD"为例，

- "A"的前缀和后缀都为空集，共有元素的长度为0；
- "AB"的前缀为[A]，后缀为[B]，共有元素的长度为0；
- "ABC"的前缀为[A, AB]，后缀为[BC, C]，共有元素的长度0；
- "ABCD"的前缀为[A, AB, ABC]，后缀为[BCD, CD, D]，共有元素的长度为0；
- "ABCDA"的前缀为[A, AB, ABC, ABCD]，后缀为[BCDA, CDA, DA, A]，共有元素为"A"，长度为1；
- "ABCDAB"的前缀为[A, AB, ABC, ABCD, ABCDA]，后缀为[BCDAB, CDAB, DAB, AB, B]，共有元素为"AB"，长度为2；
- "ABCDABD"的前缀为[A, AB, ABC, ABCD, ABCDA, ABCDAB]，后缀为[BCDABD, CDABD, DABD, ABD, BD, D]，共有元素的长度为0。

16.

BBC ABCDAB ABCDABCDABDE
ABCDABD

"部分匹配"的实质是，有时候，字符串头部和尾部会有重复。比如，"ABCDAB"之中有两个"AB"，那么它的"部分匹配值"就是2（"AB"的长度）。搜索词移动的时候，第一个"AB"向后移动4位（字符串长度-部分匹配值），就可以来到第二个"AB"的位置。