实验1-1　古典密码体制的统计分析——Vigenere密码

- 密码学基础　COMP130188.01
  - 任课教师：李景涛
  - 实验课助教：仲崇鹏 20210240037@fudan.edu.cn
  - 更新日期：2021年3月4日

实验目的

1. 了解古典密码中的加密和解密运算；
2. 了解古典密码体制；
3. 掌握古典密码的统计分析方法。

实验原理

Vigenere密码

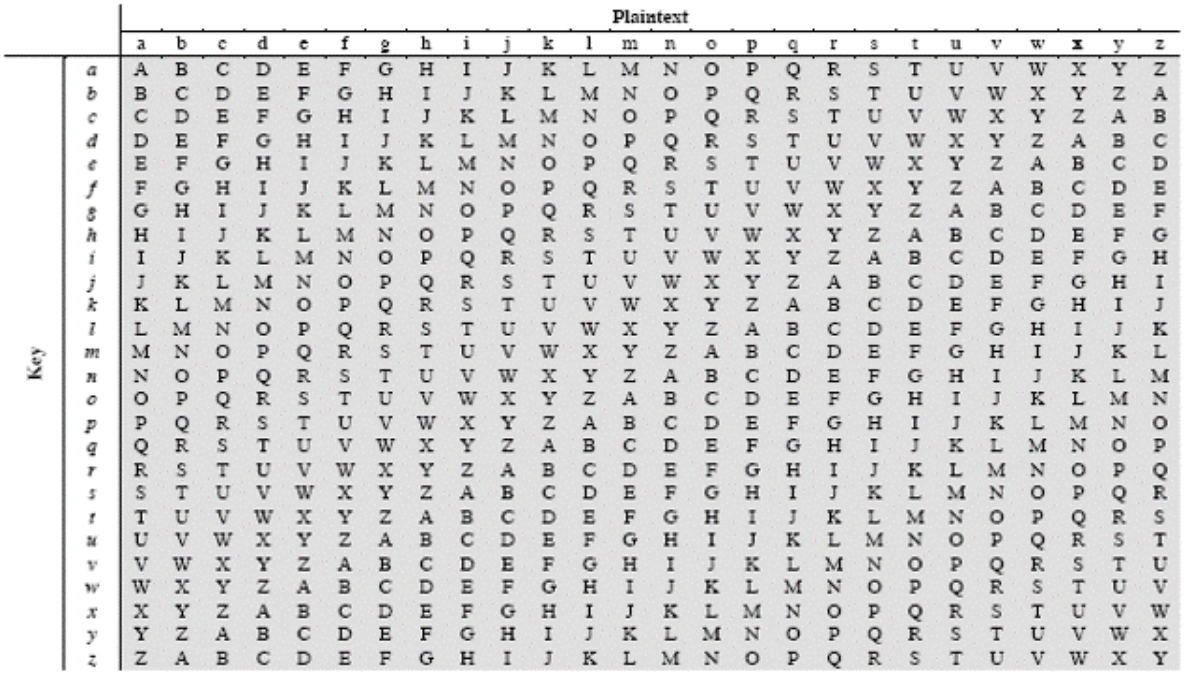
提高单字母表密码安全性的思路之一。

加密

以FUDAN为关键词，明文为THEBASICOFCRYPTOGRAPHY（The Basic of Cryptography），举例说明Vigenere密码的加密过程：

1. **构建密钥**
   - 密钥与明文等长，循环重复关键词。
   - 明文：THEBASICOFCRYPTOGRAPHY
   - 密钥：FUDANFUDANFUDANFUDANFU

2. **对照字母表编写密文**



Key \ Plaintext	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
a	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
b	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A
c	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B
d	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C
e	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D
f	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E
g	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F
h	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G
i	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H
j	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I
k	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
l	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
m	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
n	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
o	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
p	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
q	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
r	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
s	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
t	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
u	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
v	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
w	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
x	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
y	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
z	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y

   - 根据密钥字母，在字母表中找到对应行；
   - 根据明文字母，在字母表中找到对应列；
   - 已知明文：T， 密钥：F
   - 得出密文：Y

解密过程与加密过程相反。
若用0-25的整数与A-Z的26个字母一一对应，P为明文，C为密文，K为密钥，那么可以将加密算法写成：

$$C_i \equiv P_i + K_i \pmod{26}$$

解密算法写成：

$$P_i \equiv C_i - K_i \pmod{26}$$

已知明文：T， 密钥：F，那么T为19，F为5，密文即为$(19+5)\ mod\ 26 = 24$，对应字母为Y，因此密文为Y。与字母表得出的结果一致。 *（提示：如何在数字和字母之前转换可以借助ASCII码，也可以发挥自己的想法用字典或列表或数组存储相关关系都是可以的。）*

实验环境

- 运行 Windows 操作系统的计算机，具有 C/C++语言编译环境（原则上操作系统和编程语言环境不限）

实验要求

1. 给定密钥，用C/C++/Python实现Vigenere密码的加密和解密算法；（提供测试用例帮助同学们检测代码的准确性；原则上使用的编程语言不限，要求工作量相近）
   - 加密测试用例（明文为THEBASICOFCRYPTOGRAPHY，密钥为SECURITY）
     Input:THEBASICOFCRYPTOGRAPHY SECURITY
     Output:LLGVRABAGJELPXMMYVCJYG

    - 解密测试用例（密文为YBHBNXCFOSHLBPGTAUACMS，密钥为FUDAN）
      Input:YBHBNXCFOSHLBPGTAUACMS FUDAN
      Output:THEBASICOFCRYPTOGRAPHY
2. 解密文档lab1-1_input.txt（提示：密钥为CRYPTOGRAPHY），输出的结果保存在lab1-1_output.txt中，并将其中包含的信息写入实验报告中。
3. 独立完成实验报告（包含实验思路，实验结果截图等），提供源代码和可执行程序，不得抄袭。

实验提交

- 截止日期：2021年4月4日（待定）
- 提交清单：
    - 实验报告pdf格式，文件名格式：学号_姓名_lab1-1；
    - 项目源代码，文件名格式：学号_lab1-1；
- 提交方式：
    - elearning提交。

拓展实验

有兴趣的同学可以完成，非强制性要求，且不计分。

破解Vigenere密码

破译Vigenere密码虽然不能直接使用频率分析，但由于密钥循环反复，当得知密钥长度时，可利用类似于Caesar密码的方法破解。
密钥长度的破解可通过以下两种方法：Kasiski测试 & Friedman测试。

Kasiski测试

原理是常用单词或高频出现的单词片段，可能被同样的密钥字母进行加密。当密文足够长时，包含该信息更多，更有可能推断出密钥长度。例如：

> 密钥：ABCDABCDABCDABCDABCDABCDABCD
> 明文：CRYPTOISSHORTFORCRYPTOGRAPHY
> 密文：**CSASTP**KVSIQUTGQU**CSASTP**IUAQJB

相隔16个字符出现相同字符片段，密钥有可能是16的约数（16，8，4，2）。当密文长度足够长时，还能找到其他的重复片段，取其公约数，即可确定密钥长度。

Friedman测试

定义重合指数来描述字母在频率分布上的不匀性，从而破译密码。

$$\mathbf{IC} = \frac{\sum_{i=1}^{c} n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$

其中，c是指字母表的长度（英语中为26），N指密文文本的长度，n_1到n_c是指密文的字母频数，为整数。

得到重合指数$\mathbf{IC}$后，可用以下公式估计密钥长度：

$$L \approx \frac{\kappa_p - \kappa_r}{IC - \kappa_r} = \frac{0.027N}{IC * (N-1) - 0.0385N + 0.0655}$$

其中，L是密钥长度，κ_p为目标语言中两个任意字母相同的概率（在英文中κ_p约为0.655），κ_r为字母表中出现相同字母的概率（在英文字母表中，κ_r=1/26=0.0385）

已知密钥长度后，可按照密钥长度重新改写密文，对于被密钥中同一个位置加密的密文，即可单独做类似于Caesar密码的字母频率分析破译，从而推断出密钥中的每个字母。

参考资料

- Wikipedia
  - Vigenère cipher
  - Kasiski examination
  - Index of coincidence
- 百度百科
  - 维吉尼亚密码