یا ذاالامن والامان

امنیت داده و شبکه

مفاهیم رمزنگاری و رمزنگاری کلاسیک

مرتضی امینی - نیمسال اول ۹۰-۸۹

مرکز امنیت داده و شبکه شریف
http://dnsl.ce.sharif.edu

فهرست مطالب

- تعاریف
- نیازمندی‌های رمزنگاری
- رمز کلاسیک - جانشینی
- رمز کلاسیک – جایگشت

تعاریف اولیه

- **Plaintext:** the original message
  - **متن آشکار:** پیام اصلی رمز نشده

- **Ciphertext:** the coded message
  - **متن رمز:** پیام رمز شده

- **Cipher:** algorithm for transforming plaintext to ciphertext
  - **رمز:** الگوریتم تبدیل متن آشکار به متن رمز

- **Key:** info used in cipher known only to sender/receiver
  - **کلید:** اطلاعی که در رمز مورداستفاده قرار می‌گیرد و فقط فرستنده و گیرنده پیام آن را می‌دانند.

تعاریف اولیه

- **Encipher (encrypt):** converting plaintext to ciphertext
  - **رمزگذاری:** تبدیل متن آشکار به متن رمز

- **Decipher (decrypt):** recovering plaintext from ciphertext
  - **رمزگشایی:** استخراج متن آشکار از متن رمز

تعاریف اولیه

- **Cryptography:** study of encryption principles/methods
  - **رمزنویسی:** علم اصول و روش‌های رمزگذاری

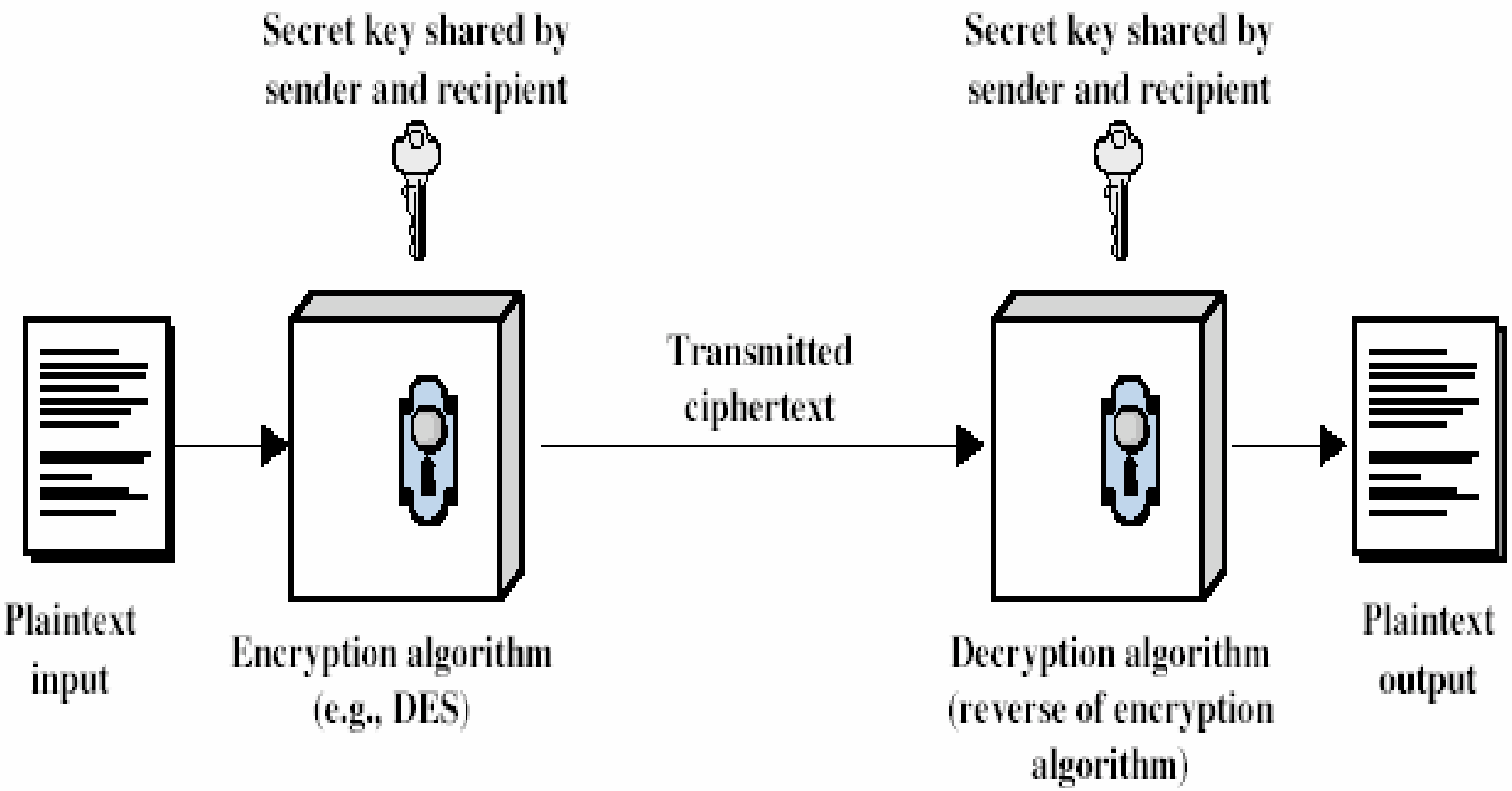
- **Cryptanalysis (codebreaking):** the study of principles/ methods of deciphering ciphertext *without* knowing key
  - **تحلیل رمز:** علم اصول و روش‌های رمزگشایی متن رمز بدون اطلاع از کلید

- **Cryptology:** the field of both cryptography and cryptanalysis
  - **رمزنگاری:** علم حاصل از ترکیب رمزنویسی و تحلیل رمز

رمزنگاری متقارن (Symmetric)

- معادل با رمزنگاری معمولی/ رمزنگاری کلید خصوصی/ رمزنگاری تک‌کلیدی
- فرستنده و گیرنده از یک کلید مشترک استفاده می‌کنند.
- تمام رمزنگاری‌های کلاسیک از نوع متقارن هستند.
- تنها نوع رمزنگاری تا قبل از دهه ۷۰

مدل رمزنگاری متقارن



فهرست مطالب

- تعاریف
- **نیازمندی‌های رمزنگاری**
- رمز کلاسیک - جانشینی
- رمز کلاسیک – جایگشت

نیازمندی‌ها

- دو نیازمندی برای استفاده امن از رمزنگاری متقارن:
  - یک الگوریتم رمزنگاری قوی
  - یک کلید سری که تنها فرستنده و گیرنده از آن آگاه هستند.

$$Y = E_K(X)$$

$$X = D_K(Y)$$

- فرض بر آن است که الگوریتم برای همه مشخص است.
- بنابراین نیاز به یک کانال امن برای توزیع کلید است.

ابعاد رمزنگاری

- **اَعمال مورد استفاده برای رمزگذاری**
  - جایگزینی (Substitution): جایگزینی هر عنصر با عنصری دیگر
  - جایگشت (Transposition): جابجایی عناصر رمزشده
- **تعداد کلیدهای مورد استفاده**
  - یک کلید خصوصی مشترک
  - دو کلید برای هر طرف ارتباط (کلید عمومی + کلید خصوصی)
- **روش پردازش متن آشکار**
  - بلوکی: بلوکی از عناصر متن پردازش و رمز می‌شوند.
  - جریانی: عناصر متن به طور پیوسته به ورودی داده شده و در هر لحظه یک عنصر رمز شده خارج می‌شود.

حملات تحلیل رمزنگاری

هدف از حمله:

- استخراج کلید
- استخراج متن آشکار از متن رمزشده

نحوه حمله:

- بررسی خصوصیات الگوریتم رمز
- بررسی مجموعه‌ای از متن‌های آشکار و رمزشده آنها

انواع حملات تحلیل رمزنگاری

نوع حمله	اطلاعات در اختیار تحلیلگر رمز
ciphertext only	•الگوریتم رمز •متن رمز
known plaintext	•الگوریتم رمز •متن رمز •یک یا چند جفت متن آشکار و رمز شده آن
chosen plaintext	•الگوریتم رمز •متن رمز •متن آشکار انتخاب شده توسط تحلیلگر و متن رمز معادل آن
chosen ciphertext	•الگوریتم رمز •متن رمز •متن رمز انتخاب شده توسط تحلیلگر و متن آشکار حاصل از رمزگشایی آن
chosen text	•الگوریتم رمز •متن رمز •متن آشکار انتخاب شده توسط تحلیلگر و متن رمز معادل آن •متن رمز انتخاب شده توسط تحلیلگر و متن آشکار حاصل از رمزگشایی آن

جستجوی تمام حالات (Brute Force Search)

- ابتدایی‌ترین حمله
- فرض بر این است که متن آشکار قابل شناسایی است.

	Key size (bits)	Number of alternative keys	Time required at 1 decryption/μs	Time required at 10^6 decryption/μs
	32	$2^{32} = 4.3 \times 10^9$	2^{31} μs = 35.8 minutes	2.15 milliseconds
DES →	56	$2^{56} = 7.2 \times 10^{16}$	2^{55} μs = 1142 years	10.01 hours
AES →	128	$2^{128} = 3.4 \times 10^{38}$	2^{127} μs = 5.4×10^{24} years	5.4×10^{18} years
3DES →	168	$2^{168} = 3.7 \times 10^{50}$	2^{167} μs = 5.9×10^{36} years	5.9×10^{30} years
Substitution code →	26 characters (permutation)	$26! = 4 \times 10^{26}$	2×10^{26} μs = 6.4×10^{12} years	6.4×10^6 years

دیگر تعاریف

امنیت مطلق

- مستقل از قدرت محاسباتی در دسترس، متن رمز شده اطلاع کافی برای تعیین قطعی متن آشکار ارائه نکند (و بنابراین الگوریتم رمز مستقل از مدت زمانی که دشمن در اختیار دارد قابل شکستن نباشد).

امنیت محاسباتی

- با داشتن منابع محاسباتی محدود (مانند زمان)، رمز قابل شکستن نباشد.

فهرست مطالب

- تعاریف
- نیازمندی‌های رمزنگاری
- **رمز کلاسیک – جانشینی**
- رمز کلاسیک – جایگشت

رمزهای کلاسیک

- از زمان جنگ جهانی دوم مورد استفاده قرار می‌گرفتند.
- قبل از به وجود آمدن سیستم‌های کامپیوتری امروزی بصورت دستی انجام می‌شدند.
- مبتنی بر دو روش اصلی جایگزینی و جایگشت هستند.

رمزهای کلاسیک

جانشینی

- جانشینی یک حرف با حرف دیگر
  - تک الفبایی
  - چند الفبایی
- حملات شناخته شده با استفاده از توزیع فرکانس‌ها
  - تعداد رخدادها
  - حروف مشابه و احتمال کلمات
  - تحلیل الگوها

جایگشت

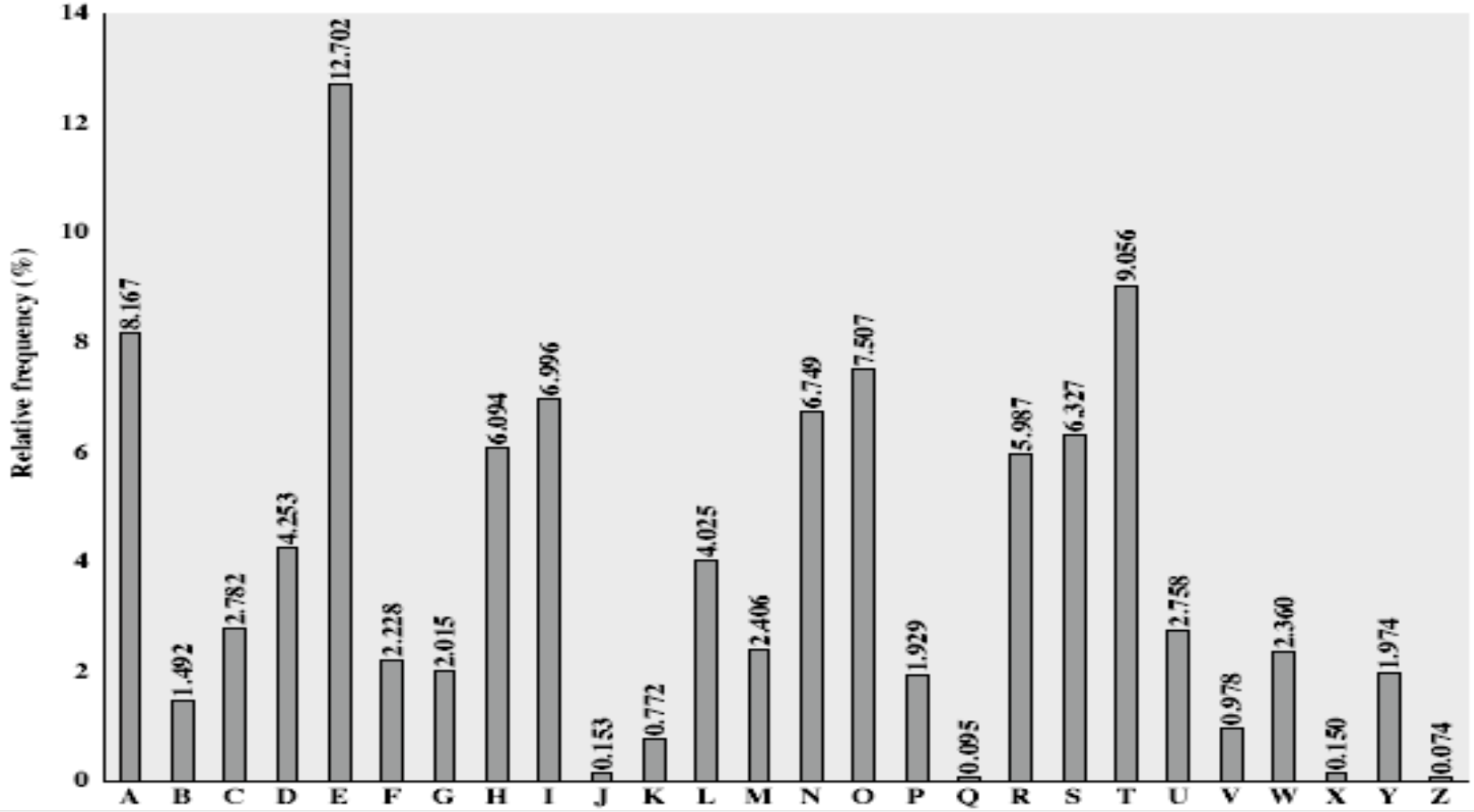
- جابجایی بین حروف متن اصلی
- شکست رمز سخت‌تر اما اگر یک الگو آشکار شود، همه متن شکسته شده است.

ایده‌های تحلیل رمز کلاسیک

- **حملات Brute Force**
  - جستجوی همه حالات (کلیدهای ممکن)
- **حملات تحلیل فرکانسی**
  - فراوانی حروف (etanos...)
  - فراوانی ترکیبات حروف (th, nt)
  - حروف ابتدا و انتهای کلمه (th___, ___nt, ___gh)
  - نظم موجود در گرامر زبان

تحلیل فرکانسی

فراوانی حروف انگلیسی در متون

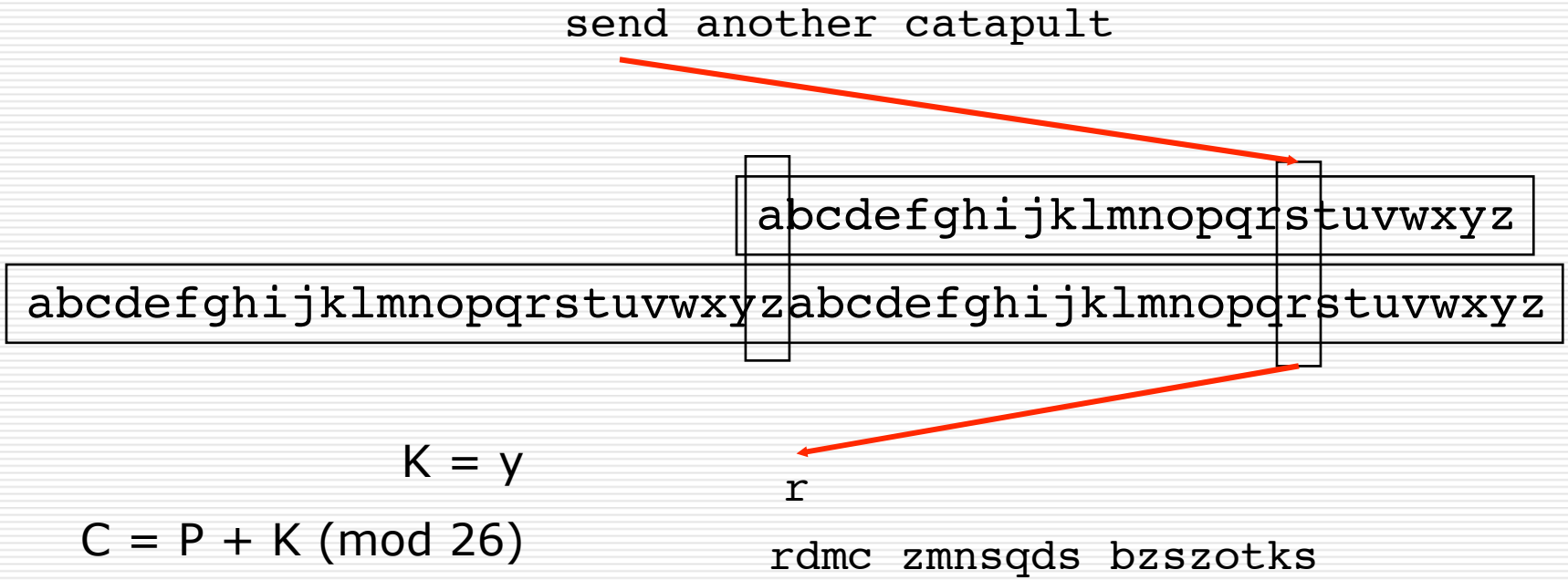


ایده‌های تحلیل رمز کلاسیک

- **متد Kasiski**: این روش بر مبنای یافتن الگوهای تکراری (عموماً سه حرفی) در متن رمزشده و پیدا کردن طول کلید مورداستفاده استوار است.
  - ایده : فاصله بین دو تکرار از الگوهای تکراری، باید حتما بر طول کلید مورد استفاده بخش‌پذیر باشد.

- **K:** VIGVIGVIGVIGVIG
- **P:** THEBOYHASTHEBAG
- **C:** OPKWWECIYOPKWIM

رمز جانشینی سزار



خصوصیات

- تنها از یک فرمول جایگزینی مشابه فرمول فوق استفاده می‌شود.
- تنها ۲۵ کلید لازم است کنترل شود.
- زبان متن آشکار آن شناخته شده و قابل درک است.

رمز جانشینی تک الفبایی

- هر حرف با حرف دیگری در الفبا جایگزین می شود.

Plain: 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

Cipher: 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

نمونه ها:

- Playfair Cipher
- Hill Cipher

تحلیل رمز جانشینی تک الفبایی

حمله Brute-Force

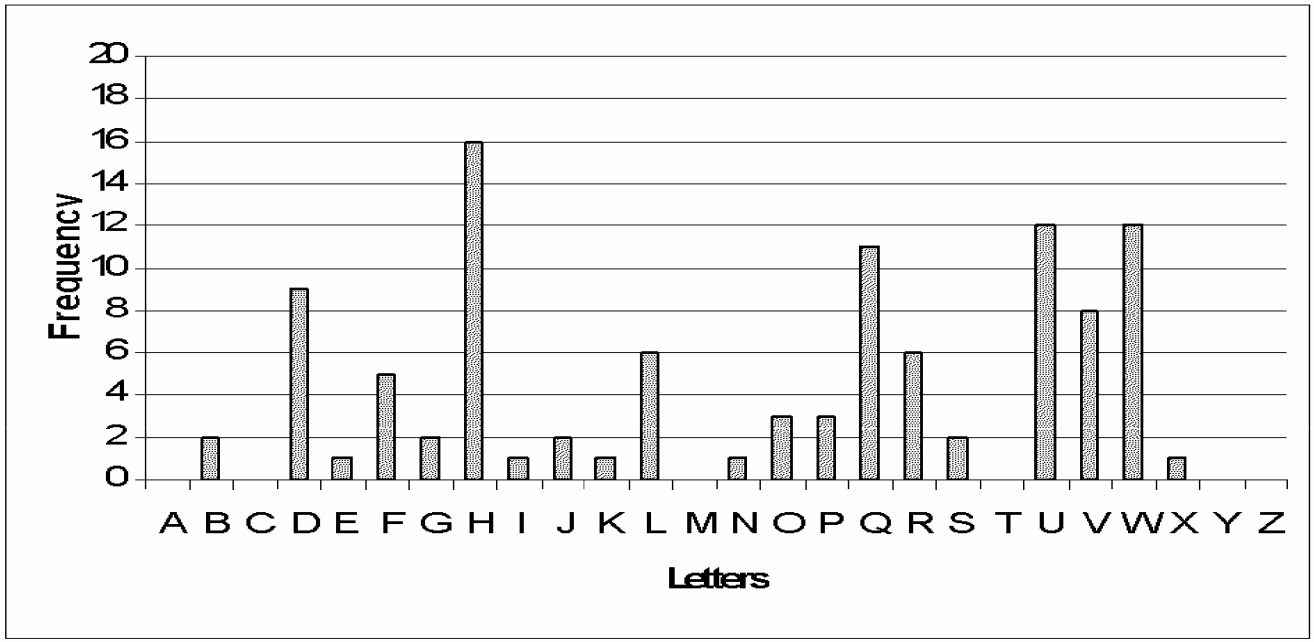
- تعداد کلیدهای ممکن $۴\times۱۰^{۲۶} = ۲۶!$ غیرممکن

امکان حمله فرکانسی

- با مقایسه نمودار فراوانی حروف در متن رمز شده با نمودار استاندارد فراوانی حروف، می‌توان تناظر احتمالی حروف را پیدا کرد.
- مثال در اسلاید بعد

تحلیل رمز جانشینی تک الفبایی (مثال)

DHULDOUHFRQQLVVDQFHUHSRUWVHQHPBUH . . .



فراوانی حروف متن رمزشده (جانشینی تک الفبایی)

رمز جانشینی چندالفبایی

- خصوصیات
  - استفاده از مجموعه‌ای از جانشینی‌های تک الفبایی مختلف بصورت متوالی.
  - کلید نمایانگر این است که چه ترتیبی از قواعد جانشینی باید به کار برده شود.
  - همچنان می‌توان از توزیع حروف برای شکست رمز استفاده کرد.
- نمونه‌ها:
  - جانشینی Vigenere

جانشینی ۲۱۳

Plain: **send another catapult**

2

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

abcdefghijklmnopqrstuvwxyzabcdefghijklmnopqrstuvwxyz

1

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

abcdefghijklmnopqrstuvwxyzabcdefghijklmnopqrstuvwxyz

3

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

abcdefghijklmnopqrstuvwxyzabcdefghijklmnopqrstuvwxyz

Cipher: **ufqf bqqukgs fcudrvov**

رمز Vigenère

- نوعی رمز جانشینی چند الفبایی محسوب می‌شود.
- از یک ماتریس ۲۶ در ۲۶ و یک کلید برای رمزگذاری متن استفاده می‌شود.
- حروف متوالی کلید، سطر ماتریس و حروف متوالی متن، ستون ماتریس را مشخص می‌کنند.
- کلید معمولا یک کلمه چندحرفی است که تکرار می‌شود.
- برای این رمزگذاری و رمزگشایی از تابلوی رمز Vigenere می‌توان استفاده نمود.

تابلوی رمز Vigenere

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

رمز Vigenère

- **رمزگذاری:**

ستون = حرف موردنظر

سطر = حرف کلید

محل تقاطع = رمزشده حرف موردنظر

- **رمزگشایی:**

ستون = حرف کلید

محل تقاطع = حرف رمز شده

سطر = حرف رمزگشایی شده

```
P= SEND ANOTHER CATAPULT
K= hail caeserh ailcaese
C= ZEVO CNSLLVY CIECPYDX
```

تحلیل رمز Vigenère

- برای هر حرف، جانشینی‌های مختلفی را به کار می‌برد.
- با جانشینی‌های مختلف، تحلیل فرکانسی را مشکل می‌کند، ولی کاملا غیرممکن نمی‌کند.
- ابتدا باید مشخص کرد که جانشینی تک الفبایی است یا نه.
  - با تحلیل فرکانس حروف به سادگی این مساله مشخص می‌شود.
- در صورت استفاده از Vigenere می‌توان از روش Kasiski طول کلید را به دست آورد.
- گسترش کلید به اندازه متن آشکار (با ترکیب کلید با متن) هم مشکل را حل نمی‌کند.
  - خصوصیات توزیع حروف در کلید حاصله مشکل آفرین است.

رمز One-Time Pad

- اگر از کلید کاملا تصادفی به اندازه متن آشکار استفاده شود، رمز حاصله امن خواهد بود.
- این نوع کلید Pad نام دارد.
- در One-Time Pad از هر کلید فقط یک بار می‌شود استفاده کرد.
- رمزگذاری: $C_i = P_i \oplus K_i$

$\oplus$ means XOR

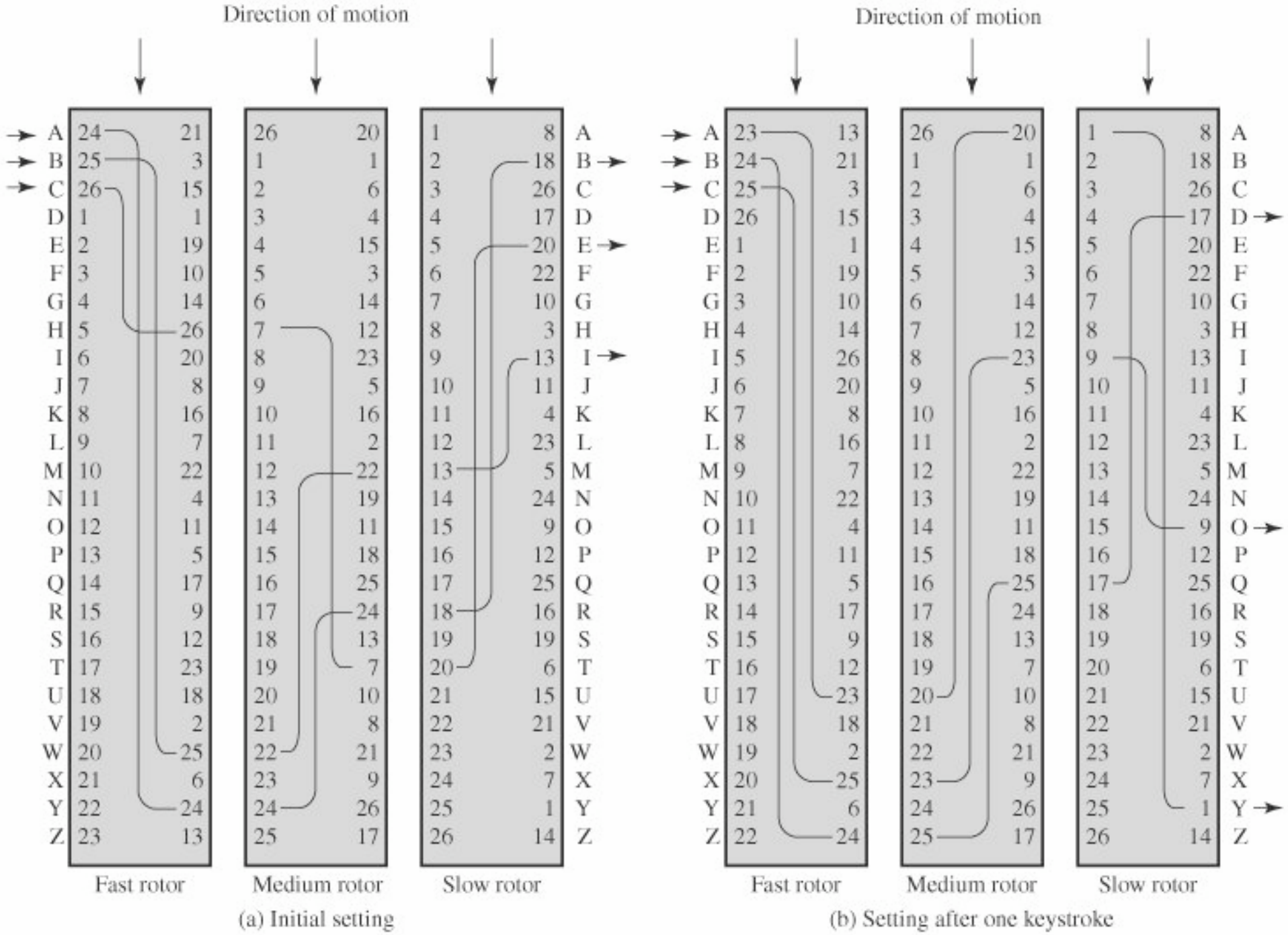
- رمزگشایی: $P_i = C_i \oplus K_i$

تحلیل رمز One-Time Pad

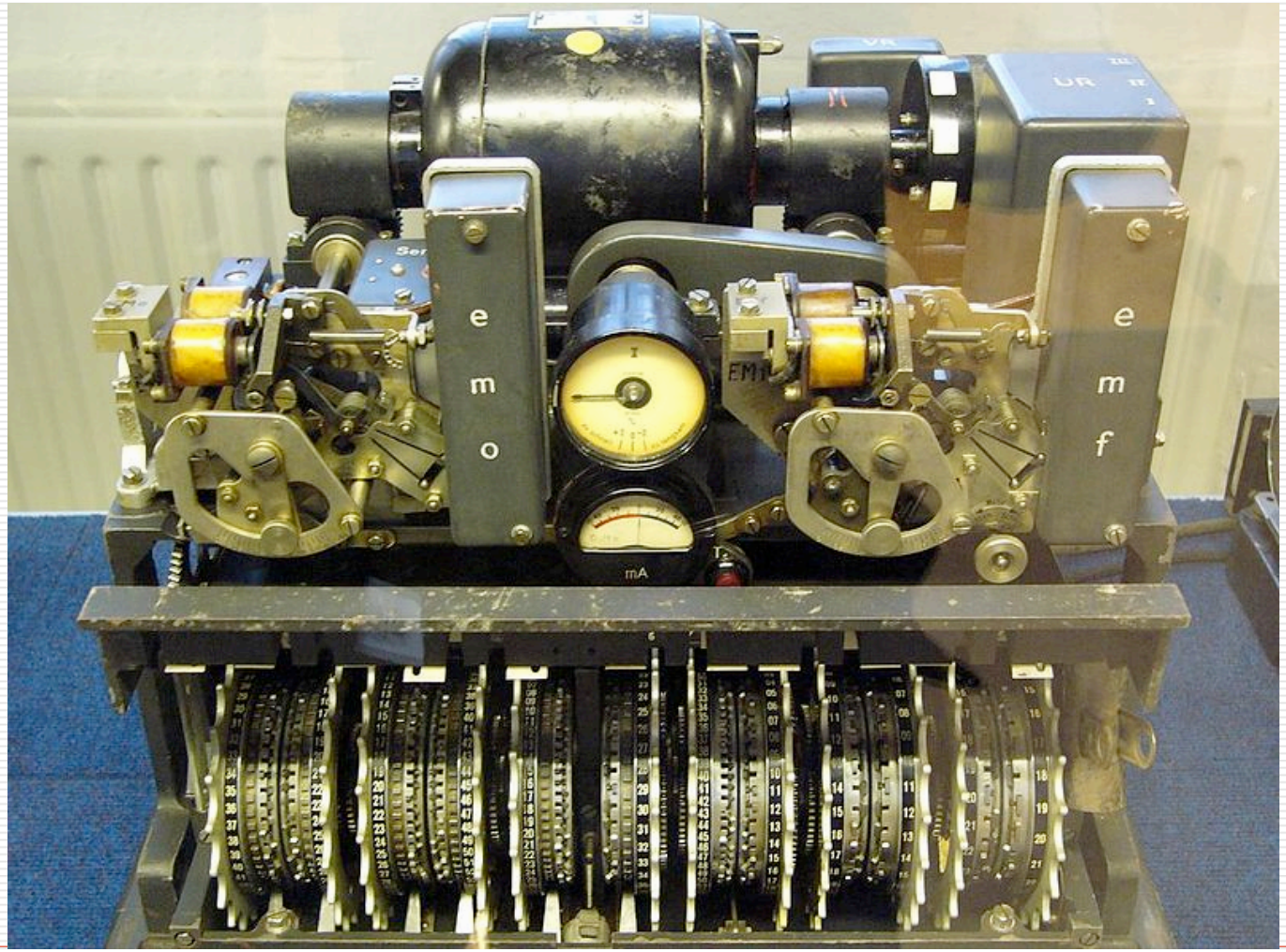
- این رمز، از **امنیت مطلق** برخوردار است، چرا که هیچ رابطه‌ای بین متن آشکار و متن رمز شده وجود ندارد.
- یعنی می‌توان بین هر متن آشکار و هر متن رمز شده، یک کلید رمز متناظر پیدا کرد.
- **مشکل این روش:**
  - تولید کلید تصادفی به تعداد زیاد
  - توزیع کلید (نیاز به ارسال کلید برای هر متن به اندازه خود آن)

ماشینهای روتور
(Rotor Machines)

- ماشین روتور یک پیاده‌سازی الکترونیکی-مکانیکی از رمزچندالفبایی محسوب می‌شود.
- در این روش، داده‌ها از داخل تعدادی سیلندر که در مقابل هم قرار گرفته‌اند، عبور می‌کنند. هر سیلندر یک رمز تک الفبایی را انجام می‌دهد.
- به ازای هر حرف از ورودی، سیلندر اول به اندازه یک حرف می‌چرخد با یک دور گردش کامل هر روتور، روتور بعدی به اندازه یک حرف جابجا می‌شود.
- دوره تناوب ماشین روتور با افزایش تعداد روترها افزایش می یابد (26^n).
- آلمان ها اعتقاد داشتند که ماشین روتور طراحی شده توسط آنها (با نام Enigma) غیرقابل شکست است، ولی متفقین توانستند رمز آن را کشف کنند و بسیاری از اطلاعات سری آنها را فاش کنند.


Direction of motion
Direction of motion
Fast rotor
Medium rotor
Slow rotor
(a) Initial setting
Fast rotor
Medium rotor
Slow rotor
(b) Setting after one keystroke

ماشینهای روتور



فهرست مطالب

- تعاریف
- نیازمندی‌های رمزنگاری
- رمز کلاسیک - جانشینی
- **رمز کلاسیک – جایگشت**

رمز جایگشتی

- جابجایی حروف در متن اصلی بدون تغییر حروف الفبا
  - با هدف ایجاد پراکندگی
- امکان استفاده ترکیبی از آن با رمز جانشینی
  - ایده اصلی مورداستفاده در رمزنگاری متقارن مدرن

رمز جایگشت ستونی

- متن را بصورت سطری بنویسیم و بصورت ستونی بخوانیم.
  - کلید: تعداد ستون‌ها (در اینجا 5)

SAETTENRA*NO*P*DTCU**HAL*

43125

SEND*
ANOTH
ER*CA
TAPUL
T****

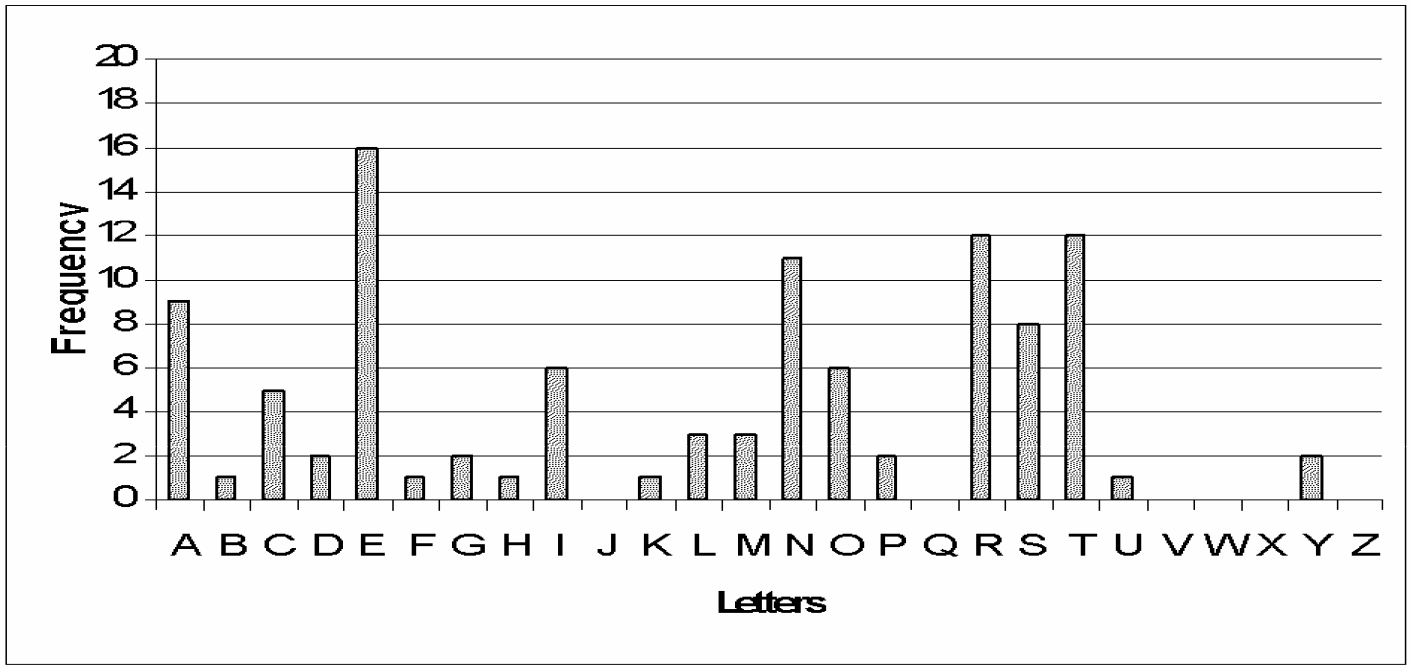
- کلید: ترتیب نوشتن ستون‌ها (در اینجا 43125)

NO*P*DTCU*ENRA*SAETT*HAL*

- می‌توان برای امنیت بیشتر چند بار جایگشت را انجام داد.

تحلیل رمز جایگشتی

Aerial reconnaissance reports enemy reinforcements estimated at battalion strength entering your sector PD Clarke



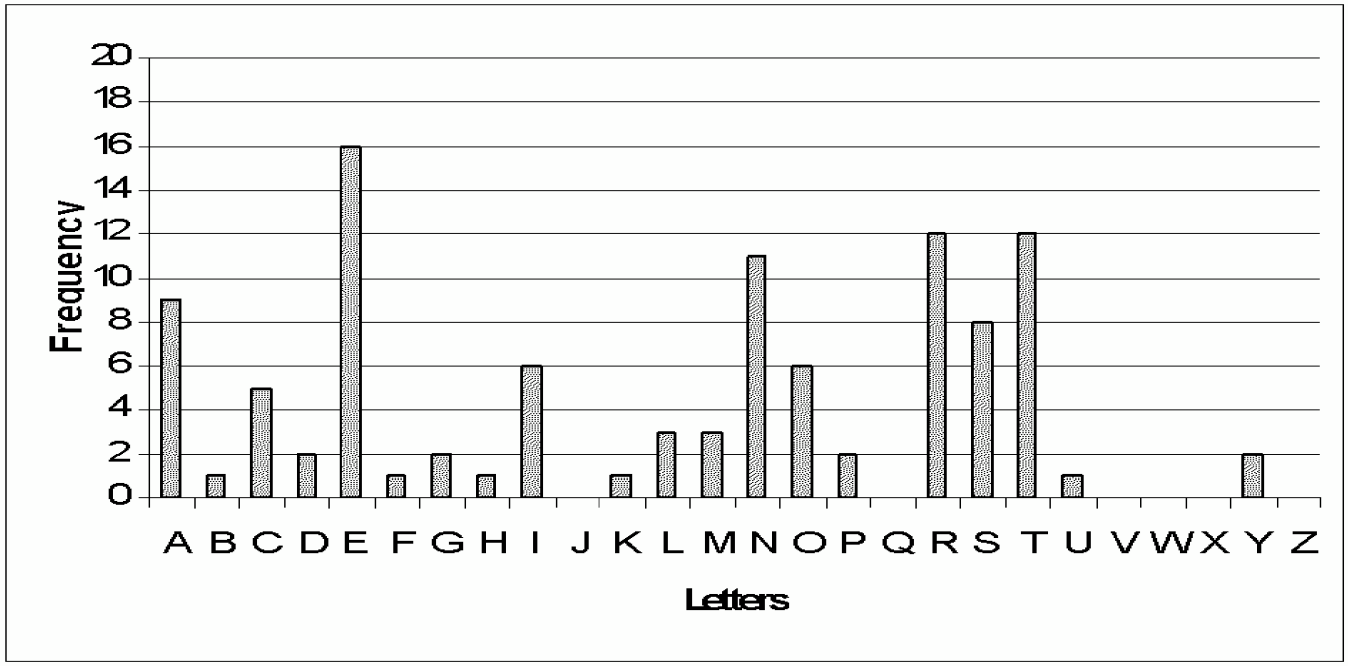
فراوانی حروف متن اصلی

تحلیل رمز جایگشتی (مثال)

aerialreco	ANRMEMTNNO
nnaissance	ENEYMAAGGR
reportsene	RAPRETLTYP
myreinforc	IIOENEIHOD
ementsesti	ASRITDOEUC
matedatbat	LSTNSANNRL
talionstre	RASFETSTSS
ngthenteri	ENEOSBTEER
ngyoursect	CCNRTARRCK
orPDClarke	OEECITEITE

تحلیل رمز جایگشتی (مثال)

ANRMEMTNNOENEYMAAGGRRAPRETLTYPIIOENE
IHODASRITDOEUCLSTNSANNRLRASFETSTSSEN
EOSBTEERCCNRTARRCKOEECITEITE



فراوانی حروف متن رمز شده

تحلیل رمز جایگشتی

- از مقایسه نمودارهای قبلی می‌توان فهمید در رمز جایگشتی :
  - فراوانی حروف در متن رمزشده تفاوتی با فراوانی متن اصلی ندارد.
  - تحلیلگر نمی‌تواند از نمودارهای فراوانی استفاده کند.

پایان

مرکز امنیت شبکه شریف

http://nsc.sharif.edu

پست الکترونیکی

m_amini@ce.sharif.edu