GBC083 – Segurança da Informação
Aula 1 - Introdução à Criptografia - Ataque à cifra de Vigenère

Prof. Marcelo Keese Albertini

11 de Abril de 2017

Revisão

- Princípio de Kerckhoff
- Princípio do tamanho de espaço de chaves

Ataque à cifra de Vigenère

- Supondo que $|k| = 14$, de 14 em 14 caracteres usamos o mesmo deslocamento

  veqpjiredozxoe**u**alpcmsdjquiqn**d**nossoscdcusoa**k**jqmxpqr

- Se pegarmos de 14 em 14 caracteres fica parecido com cifra de deslocamento, mas força-bruta não funciona

Usando frequências de letras em texto em claro

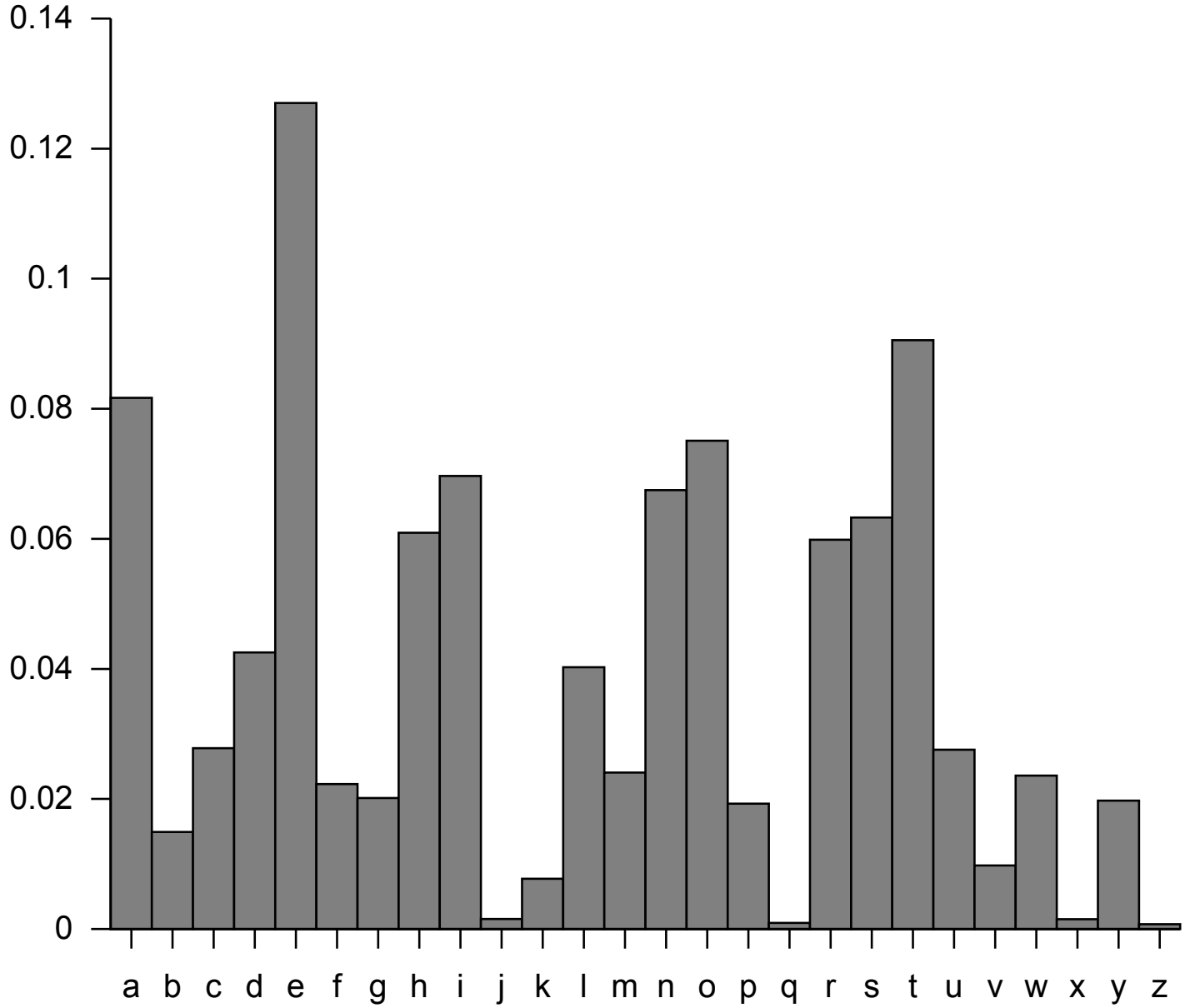


Figura: Fonte: `https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:`

Atacando a cifra de Vigenère

- Olhar a cada 14 caracteres do texto cifrado iniciando na primeira posição da string
- Seja α o caractere mais comum nessa parte do texto cifrado
- Provavelmente α vai ser o equivalente à letra mais frequente do inglês 'e'
- Então a primeira letra da chave é $\alpha - $'e'
- Repetir para as outras posições

Atacando a cifra de Vigenère

- A chave é uma string de letras
- Para encriptar, deslocar cada caractere no texto em claro pela quantidade definida pelo próximo caractere da chave
  - Dar a volta na chave quando necessário
- Decriptação reverte o processo
- tellhimaboutme $\otimes$ cafecafecafeca $=$ veqojiredozxoe

Variante da cifra de Vigenère

- Melhor trabalhar com texto em claro em ASCII e texto cifrado em hexa
  - Mais fácil para implementar
  - Mais fácil de usar – texto em claro não limitado a caracteres minúsculos
- Mais fácil trabalhar com XOR bit-a-bit que com adição modular

Variante da cifra de Vigenère

- A chave é uma string de bytes
- Texto em claro é uma string de caracteres ASCII
- Para encriptar, XOR cada caratere no texto em claro com o próximo caractere da chave
  - Dar a volta na chave quando necessário
- Decriptação só reverte o processo

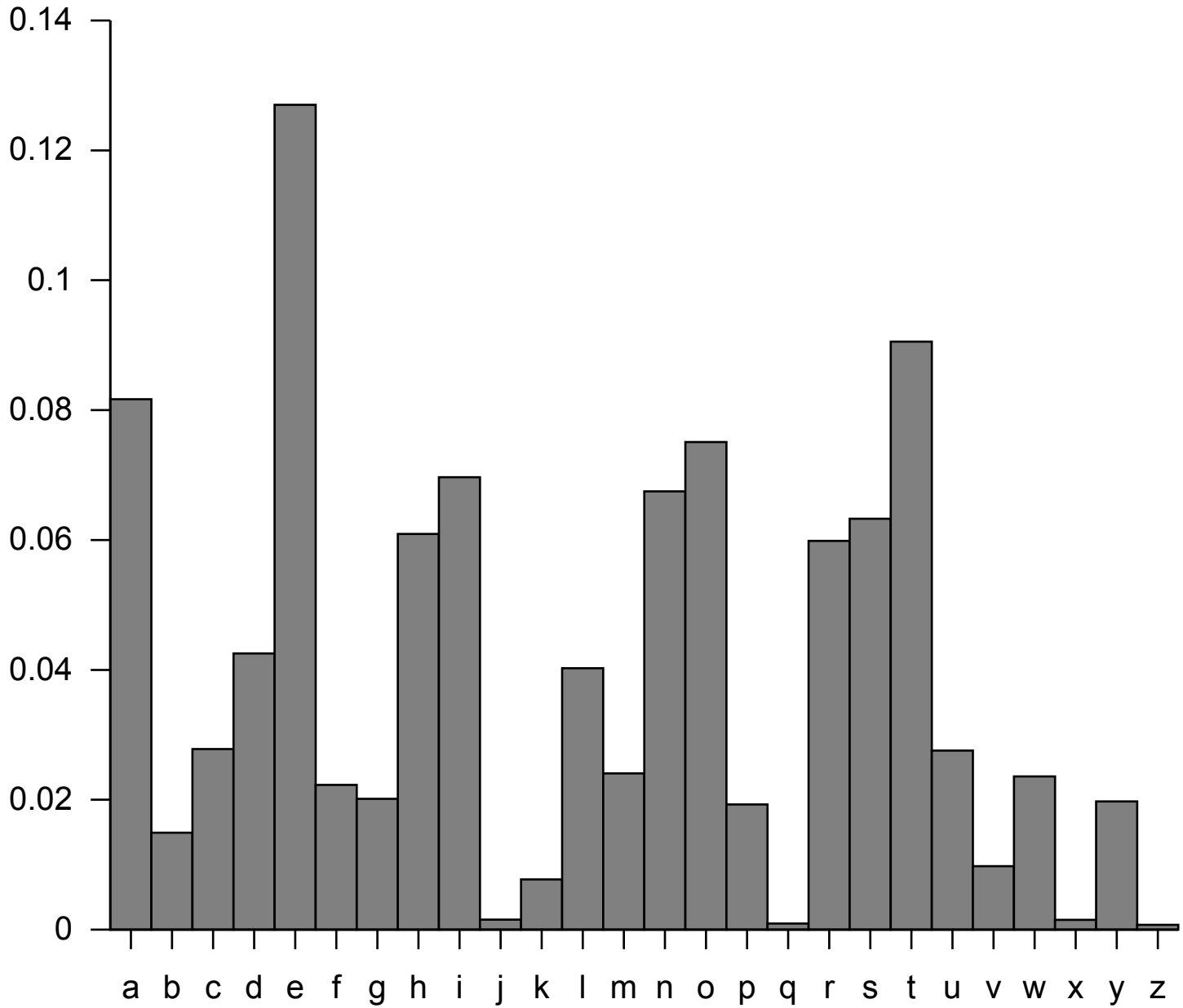
Exemplo

- Digamos que texto em claro é “Hello!” e chave é $0xA12F$
- “Hello!” $= 0x48656C6C6F21$
- XOR com $0xA12FA12FA12F$
- $0x48 \oplus 0xA1$
  - $01001000 \oplus 10100001 = 11101001 = 0xE9$
- Texto cifrado: $0xE94ACD43CE0E$

Atacando a variante da cifra de Vigenère

- Dois passos
  - Encontrar o comprimento da chave
  - Determinar cada byte da chave

Frequências de letras de texto em claro



Encontrar o tamanho da chave

- Seja p_i, com $0 \leq i \leq 255$, a frequência do byte i em texto em claro em inglês
  - Assim, $p_i = 0$ se $i < 32$ ou $i > 127$
  - p_{97} = frequência de 'a'
  - A distribuição não é uniforme
- Se tamanho da chave é N, então todo N-ésimo caractere em texto em claro é encriptado com o mesmo deslocamento
  - Extrair cada N-ésima letra e calcular frequência. Resulta em uma permutação de p_i
  - Se extrair cada M-ésima letra tal que M não é múltiplo de N e calcularmos frequências, o resultado é algo mais uniforme que p_i

Encontrar o tamanho da chave

- Como distinguir quando é permutação de p_i ou quando é uniforme?
- Para alguma distribuição candidata $q_0, \ldots, q_{255}$ computar $\sum q_i^2$
  - Se q for quase uniforme $\sum q_i^2 \approx 256 \cdot (1/256)^2 = 1/256$
  - Se q for uma permutação de p então $\sum q_i^2 \approx p_i^2$
    - Poderíamos computar $\sum p_i^2$, mas não é preciso
- Tentar todas as possibilidades de tamanho de chave e computar $\sum q_i^2$ e procurar pelo maior valor

Descobrir cada i-ésimo byte da chave

- Assumir que o tamanho da chave é N
- Extrair cada N-ésimo caractere do texto cifrado a partir do i-ésimo caractere
  - Esta é a i-ésima sequência do texto cifrado
  - Note que todos os bytes nessa sequência foram cifrados por XOR usando o mesmo byte da chave
- Tentar decriptação com todo valor de byte B
  - Obter uma sequência de texto em claro candidata para cada valor B
  - Qual é o valor correto de B

Descobrir cada i-ésimo byte da chave

- Quando valor da chave B está correto:
  - Todos os bytes estarão entre 32 e 127
  - Frequências de letras minúsculas devem ser próximas às frequências conhecidas p
- Para achar B:
  - Contar $q_a, q_b, \ldots q_z$
  - Deve achar $\sum q_i p_i \approx \sum p_i^2 \approx 0.078$ ou (0.065 para o inglês)
- Na prática, obter B que maximiza $\sum q_i p_i$ e sujeito a condições de validade de texto (por exemplo, poucas vírgulas)

Tempo de ataque

- Seja N tamanho da chave entre 1 e L
- Sendo o conteúdo de tamanho constante k
- Para encontrar tamanho da chave:
  - Computar $\max \sum_{i=0}^{255} q_i^2$ variando $N \in [1, L]$
  - $\approx 256L \times k$
- Descobrir cada byte da chave:
  - Para cada valor em $[0, 255]$ obter novo q e fazer $\sum_{i=0}^{255} q_i p_i$
  - $\approx 256^2 N \times k$
- Busca pela chave por força bruta:
  - Se $N = 1$, número de chaves: 256
  - Se $N = 2$, número de chaves: 256×256
  - Se $N = 3$, número de chaves: 256^3
  - Se $N = L$
  - $\approx 256^L \times k$

O ataque na prática

- Ataque é mais confiável para sequências longas
- Ataque funciona para textos cifrados mais curtos mas necessita de ajustes manuais

Exercícios

- Implementar ataque à cifra de Vigenère
- Descobrir o conteúdo da mensagem em `http://www.facom.ufu.br/~albertini/infosec/texto-cifrado.txt`