Introducción a la Criptografía

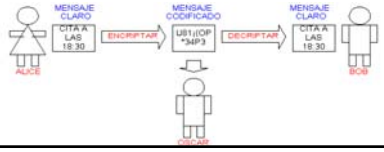
Alfredo Villalba
villalb0@etu.unige.ch

Contenido

- Introducción.
- Servicios de seguridad, riesgos y ataques.
- Criptografía simétrica.
- Criptografía asimétrica (llave pública)
- Servicios de seguridad en Internet.
- Conclusiones.

Introducción (I)

- El objetivo principal de la Criptografía es de permitir la comunicación entre dos personas sin que una tercera persona pueda comprender el mensaje transmitido.



Introducción (II)

- Julio César utilizaba por ejemplo la Codificación por Desplazamiento para transmitir sus mensajes secretos.

ATACAMOS ESTA NOCHE
↓ (desplazar 3 letras a la derecha)
DWAFDPRV HVWD QRFKH

Introducción (III)

- Los métodos antiguos como la Codificación por Desplazamiento son fáciles de descodificar.
- En nuestros tiempos se utilizan métodos mucho más resistentes a los ataques efectudados por terceras personas.

Servicios de Seguridad, Riesgos y Ataques (I)

- CONFIDENCIALIDAD
  - **Objetivos:** Protección contra una divulgación no autorizada de la información.
  - **Riesgos:** Divulgación no autorizada de la información.
  - **Ataques:** Escuchar ilícitamente, analizar el tráfico.
  - **Protección clásica:** Cajas fuertes, cadenas, candados.
  - **Protección digital:** Encriptar, autorización lógica.

Servicios de Seguridad, Riesgos y Ataques (II)

- INTEGRIDAD
  - **Objetivos:** Protección contra la modificación no autorizada de la información.
  - **Riesgos:** Modificación de la información.
  - **Ataques:** Creación, alteración o destrucción ilícita.
  - **Protección clásica:** Tinta especial, hologramas.
  - **Protección digital:** Funciones de sentido único + encriptación.

Servicios de Seguridad, Riesgos y Ataques (III)

- DISPONIBILIDAD
  - **Objetivos:** Asegurar la utilización de los recursos informáticos por usuarios legítimos.
  - **Riesgos:** Utilización ilícita.
  - **Ataques:** Virus, accesos repetitivos tratando de colapsar un sistema.
  - **Protección clásica:** Control de acceso físico, vigilancia por video.
  - **Protección digital:** Control de acceso lógico, anti-virus.

Servicios de Seguridad, Riesgos y Ataques (IV)

- AUTENTIFICACIÓN DE ENTIDADES
  - **Objetivos:** Verificar la identidad de una persona o sistema.
  - **Riesgos:** Acceso no autorizado.
  - **Ataques:** Robo del password, falla del protocolo de autentificación.
  - **Protección clásica:** Presencia física, voz, C.I., retina ocular.
  - **Protección digital:** Password, tarjeta de crédito + PIN, dirección IP + login.

Servicios de Seguridad, Riesgos y Ataques (V)

- AUTENTIFICACIÓN DEL ORIGEN DE LA INFORMACIÓN
  - **Objetivos:** Verificar que una cierta entidad es el origen de la información de interés.
  - **Riesgos:** Falsificación de la información.
  - **Ataques:** Falsificación de la firma, fallas en el protocolo de autentificación.
  - **Protección clásica:** Sello y firma.
  - **Protección digital:** Funciones de sentido único + encriptación.

Servicios de Seguridad, Riesgos y Ataques (VI)

- NO-REPUDIACIÓN
  - **Objetivos:** Garantiza que una entidad no pueda negar su participación en una transacción.
  - **Riesgos:** Negar la participación.
  - **Ataques:** Pretender un robo de password o una falla en el protocolo de la transacción.
  - **Protección clásica:** Sello, firma, firma notarial, envio certificado.
  - **Protección digital:** Funciones de sentido único + encriptación + firma digital.

Servicios de Seguridad, Riesgos y Ataques (VII)

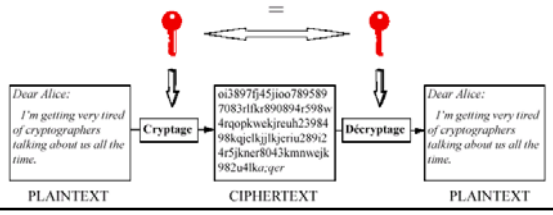
- NO-DUPLICACIÓN
  - **Objetivos:** Protección contra las copias ilícitas.
  - **Riesgos:** Duplicación.
  - **Ataques:** Falsificación, imitación.
  - **Protección clásica:** Tinta especial, hologramas, tatuajes.
  - **Protección digital:** Tatuaje digital (watermarking).

Servicios de Seguridad, Riesgos y Ataques (VIII)

- ANONIMATO
  - **Objetivos:** Garantiza el anonimato de una entidad durante una transacción.
  - **Riesgos:** Identificación.
  - **Ataques:** Análisis de una transacción, acceso no autorizado al sistema para poder identificar.
  - **Protección clásica:** Alteración de la voz, disfraz, pagos en efectivo.
  - **Protección digital:** Mezcladores, dinero electrónico.

Criptografía simétrica (I)

- Con la ayuda de UNA SOLA LLAVE SECRETA, encriptar y decriptar un mensaje.



Criptografía simétrica (II)

- Servicios soportados: Confidencialidad, Autentificación, Integridad.
- Siendo la llave compartida entre las dos entidades, no es posible elaborar las firmas digitales.
- La llave secreta debe ser previamente intercambiada entre las entidades a través de un canal seguro (correo, teléfono, etc.)
- Existen varios sistemas criptográficos simétricos, entre los cuales : AES, DES, IDEA, RC4, RC5, etc.

Criptografía simétrica (III)

- IDEA (International Data Encryption Algorithm)
  - Creado por Xuejia Lai y James Massey en 1990.
  - Es el algoritmo de codificación por bloques más seguro hasta el momento.
  - Utiliza una llave secreta de 128 bits para encriptar bloques de información de 64 bits.
  - Más precisamente, utiliza 52 sub-llaves de 16 bits generadas a partir de la llave secreta, a fin de realizar operaciones aritméticas y XOR's con los bloques de 64 bits.
  - Operaciones utilizadas: adición modulo 2^{16} y multiplicación modulo $2^{16}+1$

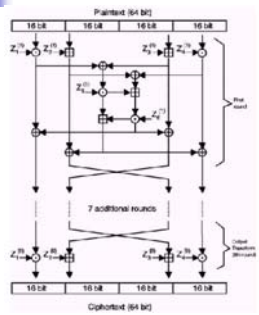
Criptografía simétrica (IV)

- IDEA – Generación de las sub-llaves
  1. La llave de 128 bits est dividida en 8 sub-llaves de 16 bits.
  2. Los bits de la llave de 128 bits sufren una rotación circular de 25 bits a la izquierda. Con esta nueva llave se continua en el paso 1.
  3. Los pasos anteriores se repiten hasta obtener las 52 sub-llaves de 16 bits, llamadas: Z1,Z2,...,Z52.

Criptografía simétrica (V)

- IDEA – Encriptación
  - El mensaje se divide en bloques de 64 bits, los cuales son codificados uno por uno.
  - Cada bloque de 64 bits se divide en 4 sub-bloques de 16 bits, llamados: X1,X2,X3 y X4.
  - A estos cuatro bloques se aplica 8 veces los pasos 1 a 14 de la transparencia consecutiva.
  - Finalmente, a los cuatro bloques resultantes se les aplica los pasos 15 a 18 de la transparencia consecutiva.
  - Estos últimos cuatro bloques resultantes forman el bloque de 64 bits codificado.

Criptografía simétrica (VI)



1. X1 * Z1 ⊤ d1
2. X2 + Z2 ⊤ d2
3. X3 + Z3 =¿ d3
4. X4 ⇑ Z4 ⊤ d4
5. d1 *XOR* d3 ⊤ d5
6. d2 *XOR* d4 ⊤ d6
7. d5 * Z5 ⊤ d7
8. d6 + d7 ⊤ d8
9. d8 * Z6 ⊤ d9
10. d7 + d9 ⊤ d10
11. d1 *XOR* d9 =¿ d11
12. d3 *XOR* d9 ⊤ d12
13. d2 *XOR* d10 ⊤ d13
14. d4 *XOR* d10 ⊤ d14

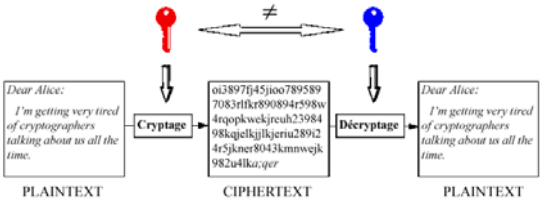
15. (final) e1 * Z49 ⊤ *Y* 1
16. (final) e2 + Z50 ⊤ *Y* 2
17. (final) e3 + Z51 ⊤ *Y* 3
18. (final) e4 * Z52 ⊤ *Y* 4

Criptografía simétrica (VII)

- IDEA – Decriptación
  - La decriptación de un bloque de 64 bits se realiza de la misma manera que la encriptación, salvo que las sub-llaves son las sgtes.:
    - 1ra vuelta Z49*,Z50',Z51',Z52*,Z47,Z48
    - 2da vuelta Z43*,Z44',Z45',Z46*,Z41,Z42
    - 3ra vuelta Z37*,Z38',Z39',Z40*,Z35,Z36
    - 4ta vuelta Z31*,Z32',Z33',Z34*,Z29,Z30
    - 5ta vuelta Z25*,Z26',Z27',Z28*,Z23,Z24
    - 6ta vuelta Z19*,Z20',Z21',Z22*,Z17,Z18
    - 7ma vuelta Z13*,Z14',Z15',Z16*,Z11,Z12
    - 8va vuelta Z7*,Z8',Z9',Z10*,Z5,Z6
    - Transformación final Z1*,Z2',Z3',Z4*
    - ZXX* = inverso multiplicativo de ZXX modulo $2^{16}+1$
    - ZXX' = inverso aditivo de ZXX modulo 2^{16}

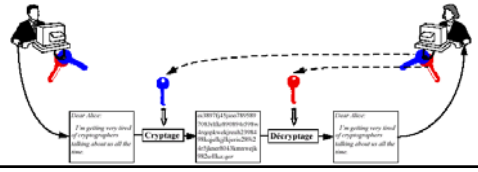
Criptografía asimétrica (I)

- Utilizar dos llaves: UNA LLAVE PRIVADA y UNA LLAVE PÚBLICA, para decriptar y encriptar.



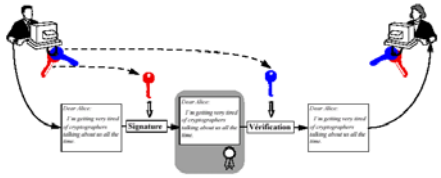
Criptografía asimétrica (II)

- CONFIDENCIALIDAD
  - El expeditor encripta la información con la llave pública del destinatario (globalmente conocida).
  - El destinatario decripta la información con su llave privada (conodida solamente por él).



Criptografía asimétrica (III)

- FIRMA DIGITAL
  - El expeditor firma el documento con su llave privada (conocida solamente por él).
  - El distinatario verifica la firma con la llave pública del expeditor (globalmente conocida).



Criptografía asimétrica (IV)

- CRIPTOGRAFÍA SIMÉTRICA + CRIPTOGRAFÍA ASIMÉTRICA
  - Los sistemas criptográficos asimétricos son 50 veces más lentos que los simétricos.
  - Generalmente la criptografía asimétrica se utiliza para establecer la llave secreta de los sistemas simétricos.
- Existen varios sistemas criptográficos asimétricos, entre los cuales: RSA, Diffie-Hellman, ElGamal, etc.

Criptografía asimétrica (V)

- RSA
  - Sistema criptográfico desarrollado por Rivest, Shamir y Adleman en 1977.
  - Basado en la dificultad de la factorización en factores primos de números enteros bastante grandes ($\sim 10^{300}$)
  - Ampliamente utilizado en nuestros tiempos.
  - Longitud típica de las llaves: 512 y 1024 bits.

Criptografía asimétrica (VI)

- RSA – Publicación de la llave pública.
  - Bob genera dos enteros primos bastante grandes ***p*** y ***q***.
  - Bob calcula $n=pq$ y $\emptyset(n)=(p-1)(q-1)$.
  - Bob escoge aleatoriamente un ***b*** tal que $1<b<\emptyset(n)$ y $mcd(b, \emptyset(n))=1$.
  - Bob calcula $a=b^{-1} \bmod \emptyset(n)$.
  - Bob guarda su llave privada ***(a,n)***.
  - Bob publica su llave pública ***(b,n)***.

Criptografía asimétrica (VII)

- RSA – Encriptación de un mensaje
  - Alice compone el mensaje ***x*** (un entero).
  - Alice recupera la llave publica de Bob ***(b,n)***.
  - Alice encripta el mensaje $y=x^b \bmod n$.
  - Alice envia el mensaje codificado ***y*** a Bob.
- RSA – Decriptación de un mensaje
  - Bob recibe el mensaje codificado ***y***.
  - Bob decripta el mensaje $x=y^a \bmod n$ con su llave privada ***(a,n)***.

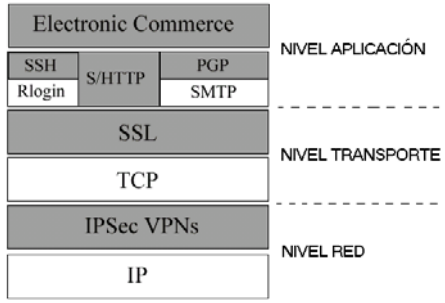
Criptografía asimétrica (VIII)

- RSA – Intento de Ataque.
  - Oscar recupera la llave pública de Bob ***(b,n)***.
  - Oscar recupera el mensaje codificado ***y*** enviado a Bob por Alice.
  - Oscar necesita conocer ***a*** para poder descodificar el mensaje. Factorizando ***n*** en ***p*** y ***q***, se puede calcular $\emptyset(n)=(p-1)(q-1)$, y con ***b*** se puede calcular $a=b^{-1} \bmod \emptyset(n)$.
  - Pero la FACTORIZACIÓN es un problema MUY DIFICIL.

Servicios de seguridad en Internet (I)

- Los servicios de seguridad en Internet se encuentran en diferentes niveles de la red (cf.modelo OSI/ISO):
  - Nivel Red:
    - IPSec, VPNs (Virtual Private Networks).
  - Nivel Transporte:
    - SSL (Netscape), PCT (Microsoft).
  - Nivel Aplicación:
    - Secure HTTP, PGP, SSH, S/MIME, etc.
    - Protocolos de pago electrónico.
    - Protocolos de dinero electrónico.
    - ...

Servicios de seguridad en Internet (II)



Servicios de seguridad en Internet (III)

- SSL (Secure Socket Layer)
  - Tiene por objetivo establecer una conexión segura a nivel transporte.
  - Creado e implantado por Netscape.
  - Se ubica entre el nivel transporte y los protocolos del nivel aplicación (HTTP, SMTP, FTP, etc.)
  - Ofrece los servicios de seguridad sgtes.:
    - Confidencialidad.
    - Integridad.
    - Autentificación del servidor (y del cliente).

Servicios de seguridad en Internet (IV)

- SSL (Secure Socket Layer)
  - Basado en la criptografía asimétrica (RSA, Diffie-Hellman).
  - Está en vías de convertirse un standard para la seguridad en WWW.
  - Trabajos recientes para adaptarlo a los protocolos SMTP y FTP.
  - El lenguaje JAVA tiene paquetes que permiten al programador abrir fácilmente una conexión segura utilizando SSL (programación de sockets, cliente-servidor).

Servicios de seguridad en Internet (V)

- PGP (Pretty Good Privacy)
  - Utilizado en el correo electrónico (protocolo SMTP).
  - Ofrece los sgtes. servicios de seguridad:
    - Confidencialidad.
    - Integridad.
    - Autentificación.
    - Firma digital.
    - No-Repudiación.
  - La autenticidad de las llaves públicas utilizadas es verificada por una red de confianza que se establece entre los usuarios.

Servicios de seguridad en Internet (VI)

- SSH (Secure Shell)
  - Remplaza el Telnet para ejecutar comandos a distancia de manera segura.
  - Telnet tiene los sgtes. inconvenientes:
    - Autentificación insegura del cliente: password transmitido sin ser codificado.
    - Todas las transmisiones subsiguientes se hacen sir ser codificadas.
  - SSH utiliza la criptografía asimétrica para iniciar la sesión y fijar una llave secreta. Luego durante la tranmisión se utiliza la criptografía simétrica para codificar la información que circula.

Conclusiones

- La resistencia de la criptografía a los ataques está basada en la dificultad calculatoria de ciertos problemas matemáticos, o en la extrema confusión y dispersión aplicada a la información.
- En un entorno distribuido y abierto como es Internet, la criptografía juega un rol muy importante.
- Existen una diversidad de sistemas criptográficos, muchos de los cuales vienen en las librerías de los lenguajes y listos para ser utilizados, por ejemplo Java.
- Cuando se desarrolla un programa serio para Internet, es necesario pensar en la seguridad.
- Existe bastante información en Internet para profundizar los diferentes métodos criptográficos.

Bibliografía

- **[Men97]: Menezes, A et al. *Handbook of Applied Cryptography*. CRC press series on discrete mathematics and its applications. 1997. URL (Mars 2002): http://cacr.math.uwaterloo.ca/hac/**
- [Sch96]: Schneier, B. *Applied Cryptography*. Second Edition. John Wiley & Sons. 1996.
- **[Sti95]: Stinson, D. R. *Cryptography: Theory and Practice*. CRC Press Series on Discrete Mathematics and Its Applications. CRC Press, Inc. 1995.**
- [Kau95]: Kaufman, C. et al. Network Security. Private Communication in a Pubic World. Prentice- Hall PTR. 1995.
- [Sta95]: Stallings, W. Network and Internetwork SecurityPrentice-Hall International, 1995.