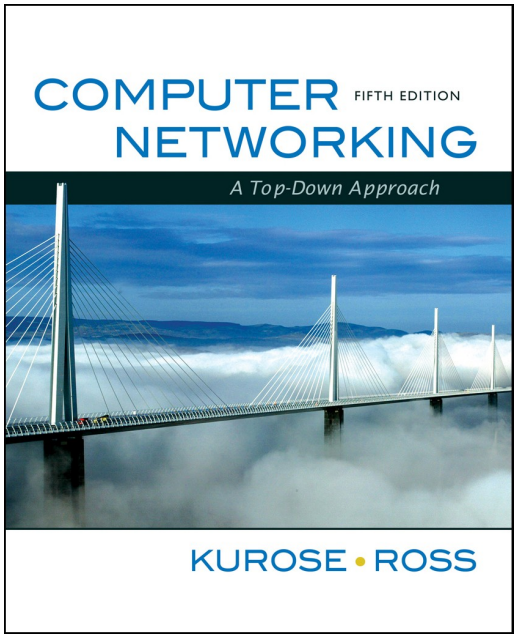
Capítulo 8
Seguridad en Redes
Generalidades y Principios



Basado en:
Computer Networking: A Top Down Approach ,
5th edition.
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley, April 2009.

Capítulo 8 contenidos

8.1 ¿Qué es la seguridad en la red?

8.2 Principios de criptografía

Esta clase

8.3 Integridad de mensajes

8.4 Dando seguridad a e-mail

8.5 Conexiones TCP seguras: SSL

8.6 Seguridad en capa de Red: IPsec

8.7 Seguridad en redes locales inalámbricas

8.8 Cortafuegos y Sistemas de detección de intrusión (IDS)

¿Qué es la seguridad en la Red?

- **4 servicios básicos:**
  - **Confidencialidad**
  - **Autenticación**
  - **Integridad del Mensaje**
  - **Acceso y disponibilidad**
- No nos referiremos aquí a la seguridad física de los recintos computacionales y redes.

¿Qué es la seguridad en la Red?

- **Confidencialidad**: sólo el Tx y Rx deseado deberían “entender” el contenido del mensaje
  - Tx encripta el mensaje
  - Rx decripta el mensaje
- **Autenticación**: Tx y Rx requieren confirmar la identidad del otro.
- **Integridad del Mensaje**: Tx y Rx desean asegurar que el mensaje no sea alterado sin ser detectado
- **Acceso y disponibilidad**: servicio debe estar accesible y disponible a los usuarios.

Amigos y enemigos: Alicia, Bob, Trudy

- Bob, Alice desean comunicarse con “seguridad”
- Trudy (intruso) podría interceptar, borrar, agregar mensajes

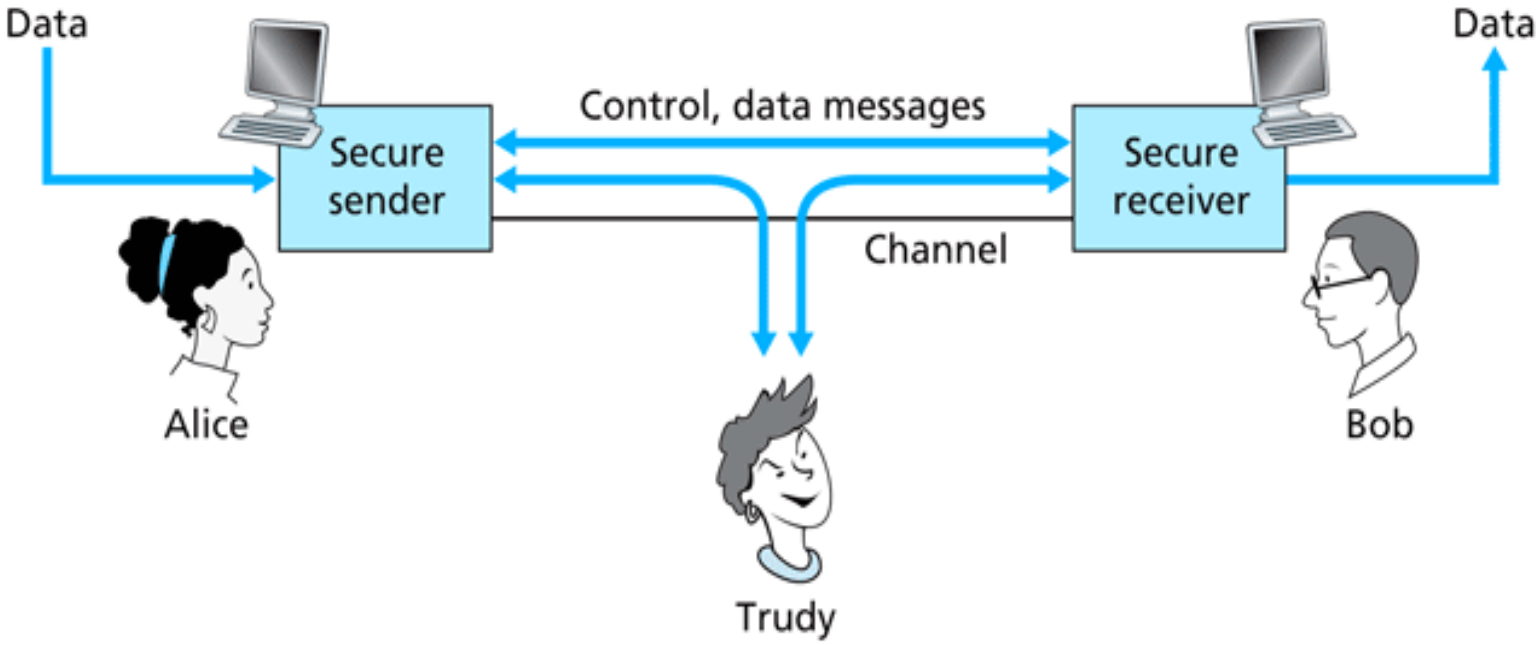


Figure 8.1 ♦ Sender, receiver, and intruder (Alice, Bob, and Trudy)

¿Qué puede hacer un atacante?

Mucho

- *espiar:* interceptar mensajes
- *Insertar* activamente mensajes en la conexión
- *Suplantación de Identidad:* puede fingir la dirección fuente del paquete (u otro campo)
- *secuestro:* capturar la conexión en curso removiendo el Tx o Rx poniéndose a sí mismo en su lugar
- *Denegación de servicio*: impedir que el servicio pueda ser usado por otros (e.g., sobrecargando el servicio o recursos usados por éste)

¿Quiénes pueden ser Bob y Alice?

- … dos personas!
- Navegador y servidor Web en comercio electrónico
- Cliente/ servidor en bancos en línea
- Servidores DNS
- Routers intercambiando tablas de ruteo
- Otros ejemplos?

Capítulo 8 contenidos

8.1 ¿Qué es la seguridad en la red?

8.2 Principios de criptografía

8.3 Integridad de mensajes

8.4 Dando seguridad a e-mail

8.5 Conexiones TCP seguras: SSL

8.6 Seguridad en capa de Red: IPsec

8.7 Seguridad en redes locales inalámbricas

8.8 Cortafuegos y Sistemas de detección de intrusión (IDS)

Términos en Criptografía

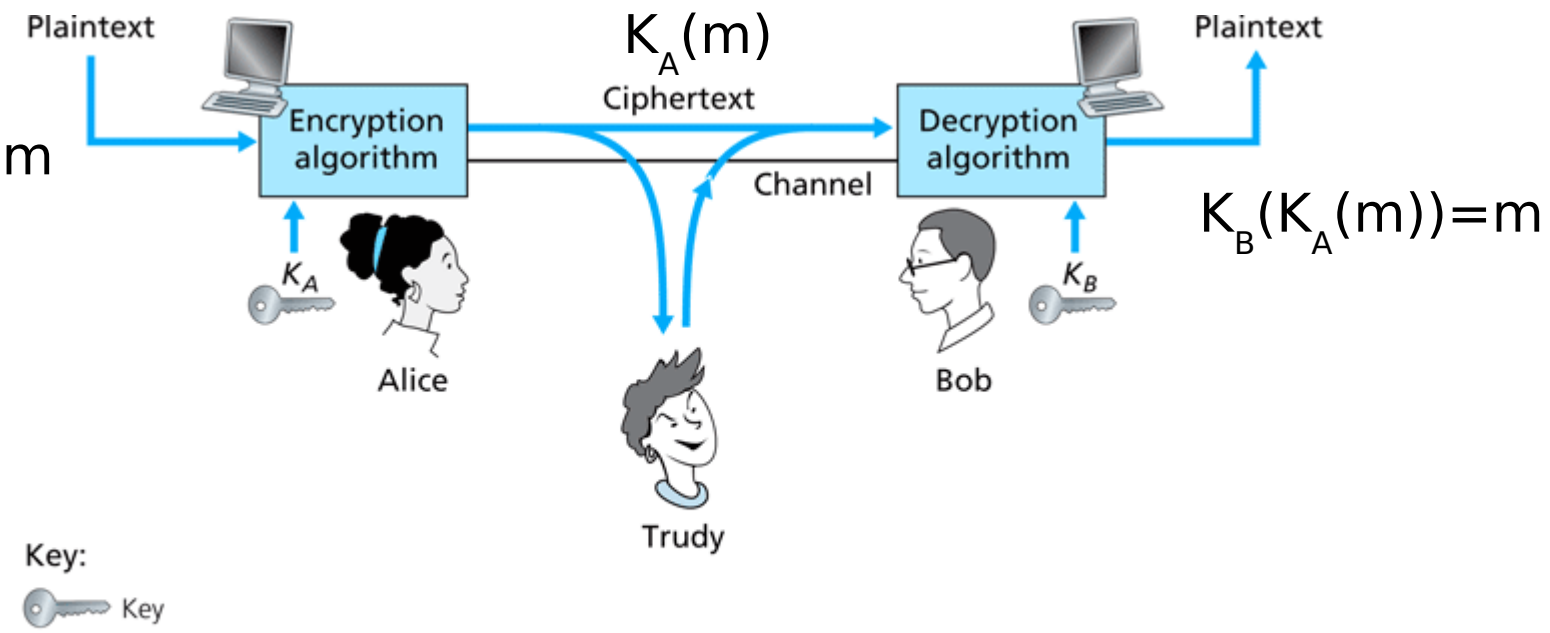


Figure 8.2 ♦ Cryptographic components

m mensaje legible

$K_A(m)$ texto cifrado, encriptado con clave K_A

$m = K_B(K_A(m))$

Cuando $K_A = K_B$ hablamos de claves simétricas, en otro caso son asimétricas.

Esquema de encriptación simple

Cifrado por sustitución: se sustituye una cosa por otra

- Cifrado mono-alfabético: sustituye una letra por otra

Texto legible: abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

Texto cifrado: mnbvcxzasdfghjklpoiuytrewq

E.g.: **Texto legible: bob. i love you. alice**

Texto cifrado: nkn. s gktc wky. mgsbc

Clave: El mapa de 26 letras al otro de 26 letras.

Encriptación Poli-alfabética

- Usando n cifrados mono-alfabéticos: $M_1, M_2, \ldots, M_n$
- Usando patrón cíclico:
  - e.g., n=4, M_1, M_3, M_4, M_3, M_2; M_1, M_3, M_4, M_3, M_2;
- Para cada símbolo en texto plano nuevo, usar el patrón mono-alfabético subsecuente en el ciclo.
  - usm: u desde M_1, s de M_3, m de M_4
- Clave: los n cifrados y el patrón cíclico.

Ruptura de un esquema de encriptación

- Ataque basado sólo en texto cifrado: atacante tiene texto cifrado para analizar.
- Dos estrategias:
  - Buscar sobre todas las claves: debe ser capaz de distinguir texto resultante de incoherencias
  - Análisis estadístico

- Ataque basado en texto legible conocido: atacante tiene algo de texto legible correspondiente a texto cifrado.
  - eg, en cifrado mono-alfabético atacante determina pares

- Ataque por texto legible seleccionado: el atacante se las ingenia para conseguir que Tx envíe un texto conocido que él verá en su forma encriptada.

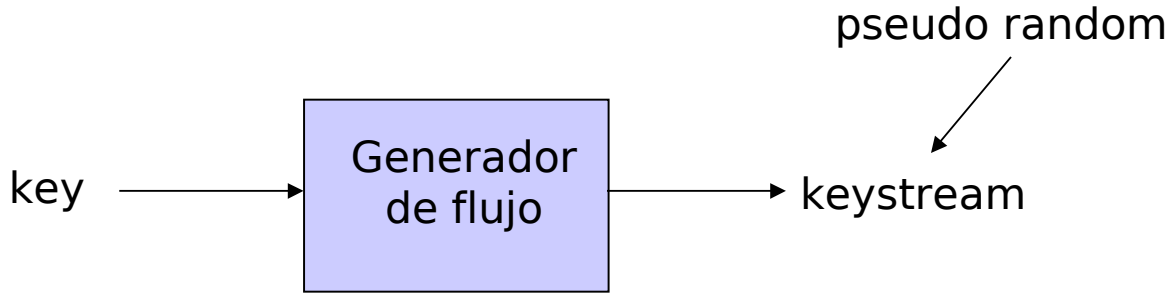
Tipos de criptografías

- Criptografía normalmente usa un algoritmo conocido por todos y sólo las claves son secretas.
- Criptografía de clave simétrica usa una clave. También llamado cifrado simétrico
- Criptografía de clave pública usa dos claves. También llamado cifrado asimétrico
- Funciones hash
  - No usa claves
  - Nada es secreto, cómo funciona?

Dos tipos de cifrado simétrico

- Cifrado de flujo de símbolos básicos
  - Encriptación de un bit a la vez.
- Cifrado de bloques
  - Se divide el mensaje legible en bloques de igual tamaño.
  - Encriptar cada bloque como una unidad.

Cifrado de flujo



- Combina cada bit del flujo de clave con el texto legible y obtiene el texto cifrado.
- m(i) = i^{mo} bit del texto legible
- ks(i) = i^{mo} bit del flujo keystream
- c(i) = i^{mo} bit del texto cifrado
- c(i) = ks(i) ⊕ m(i) (⊕ = or-exclusivo)
- m(i) = ks(i) ⊕ c(i)

Ej: RC4 usa cifrado de flujo

- RC4 es un cifrador de flujo popular.
  - Ha sido analizado y considerado bueno.
  - Key puede ser de 1 a 256 bytes
  - Es usado en WEP de 802.11 (Wired Equivalent Privacy)
  - Puede ser usado en SSL (Secure Sockets Layer)

Cifradores de Bloques

- El mensaje es procesado en bloques de k bits (e.g., bloques de 64 bit).
- Se usa mapeo 1-a-1 para mapear k bit del texto a k bits cifrados.

Ejemplo con k=3:

input	output
000	110
001	111
010	101
011	100

input	output
100	011
101	010
110	000
111	001

¿Cuál es el texto cifrado para 010110001111 ?

Cifrado de Bloques

- ¿Cuántos mapeos existen para K=3?
  - ¿Cuántos bloques de 3 bits?
  - ¿Cuántos mapeos podemos hacer? (son las permutaciones posibles)
  - Respuesta: 40.320 ; No muchas
- En general, $2^k!$ mapeos; muchos para k=64
- Problema:
  - Si lo hacemos por tablas, se requiere tablas de 2^{64} entradas, cada entrada con 64 bits
- Tabla muy grande, en su lugar conviene usar una función que simule una tabla de permutación aleatoria.

Ej: Función prototipo

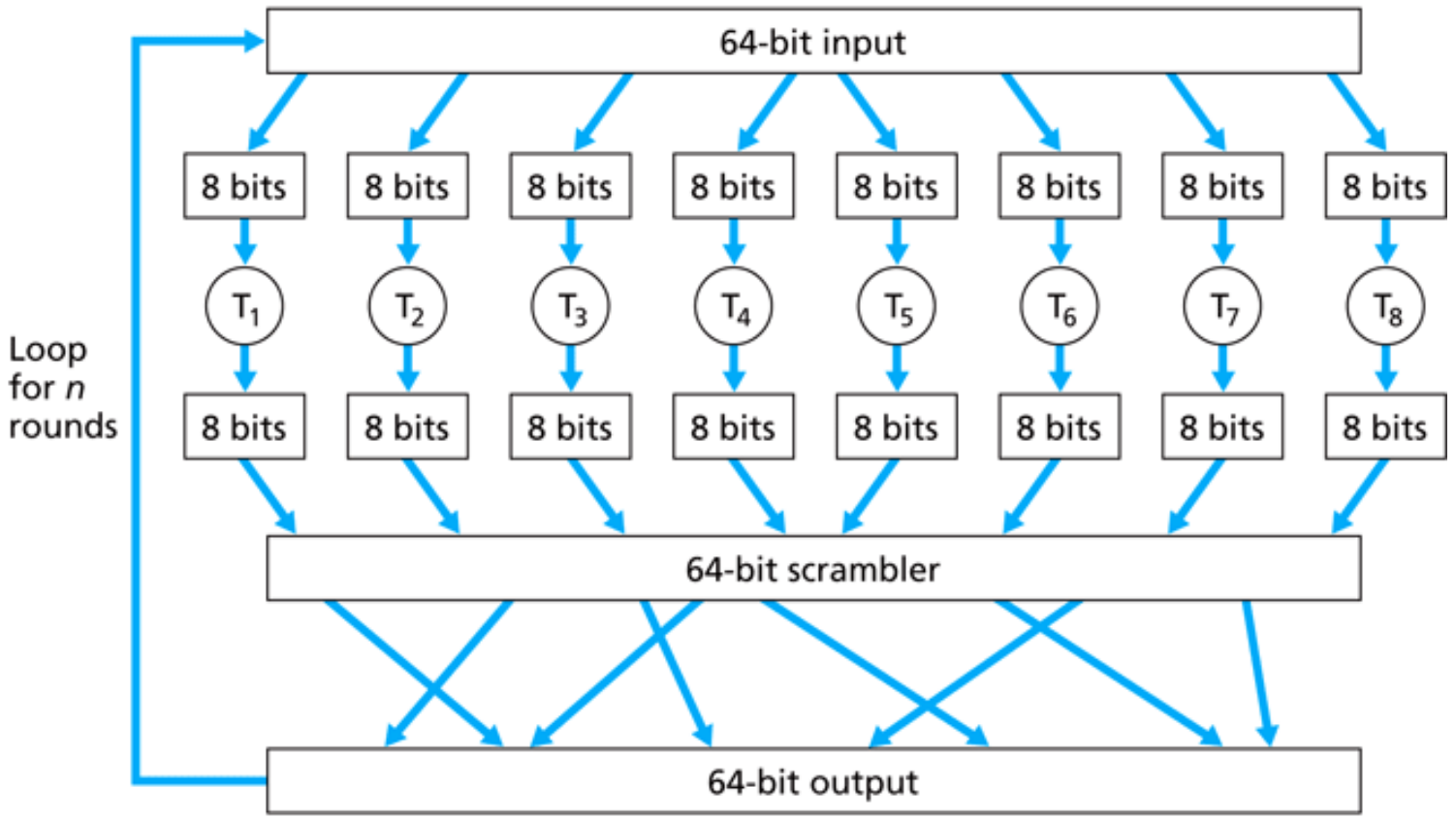


Figure 8.5 ♦ An example of a block cipher

¿Por qué iteramos en la función?

- Si iteráramos sólo una vez, un cambio de un bit en la entrada sólo alteraría 8 bits de salida.
- En 2nd ciclos, los 8 bits afectados se dispersan afectando a otros.
- ¿Cuántos ciclos?
  - Depende del tamaño del bloque,
  - Se requieren más ciclos (menos eficiente) conforme k aumenta.
- **Inconveniente**: Iguales textos de entrada generan un mismo texto cifrado.

Cifrado de grandes mensajes

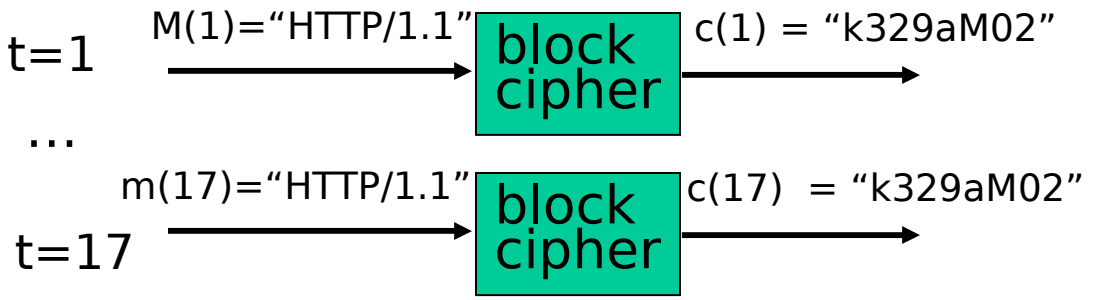
- Otra idea:
  - Generar un número aleatorio de 64 bits r(i) para cada bloque de texto m(i)
  - Calcular $c(i) = K_s(m(i) \oplus r(i))$
  - Transmitir ambos: c(i), r(i), i=1,2,...
  - En receptor: $m(i) = K_s(c(i)) \oplus r(i)$
  - Problema: ineficiente, se debe enviar c(i) y r(i)

Cifrado de Bloques en Cadena (CBC)

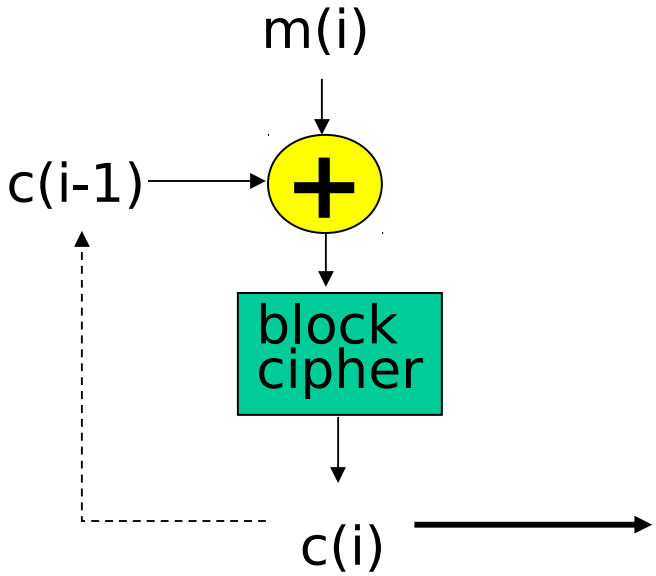
- CBC genera sus propios números aleatorios
  - Hace depender el cifrado del bloque actual y del resultado del bloque previo
  - $c(i) = K_s(m(i) \oplus c(i-1))$
  - $m(i) = K_s(c(i)) \oplus c(i-1)$
- ¿Cómo se encripta el primer bloque?
  - Usamos un vector de inicialización (IV): bloque aleatorio= c(0)
  - El Vector de Inicialización (IV) puede no ser secreto.
- Cambio de IV por cada mensaje (o sesión)
  - Garantiza que si el mensaje es enviado varias veces el cifrado será diferente.

Ventaja de Cifrado de Bloques en Cadena

- Sólo *Cifrado de Bloques*: Si la entrada se repite, obtengo igual salida.



- *Cifrado de Bloques en Cadena:* XOR i^{mo} bloque de entrada, m(i), con cifrado del texto previo, c(i-1)
  - c(0) es transmitido al receptor
  - Analizar caso "HTTP/1.1" previo.



Caso DES: Cifrado de clave simétrica

DES: Data Encryption Standard

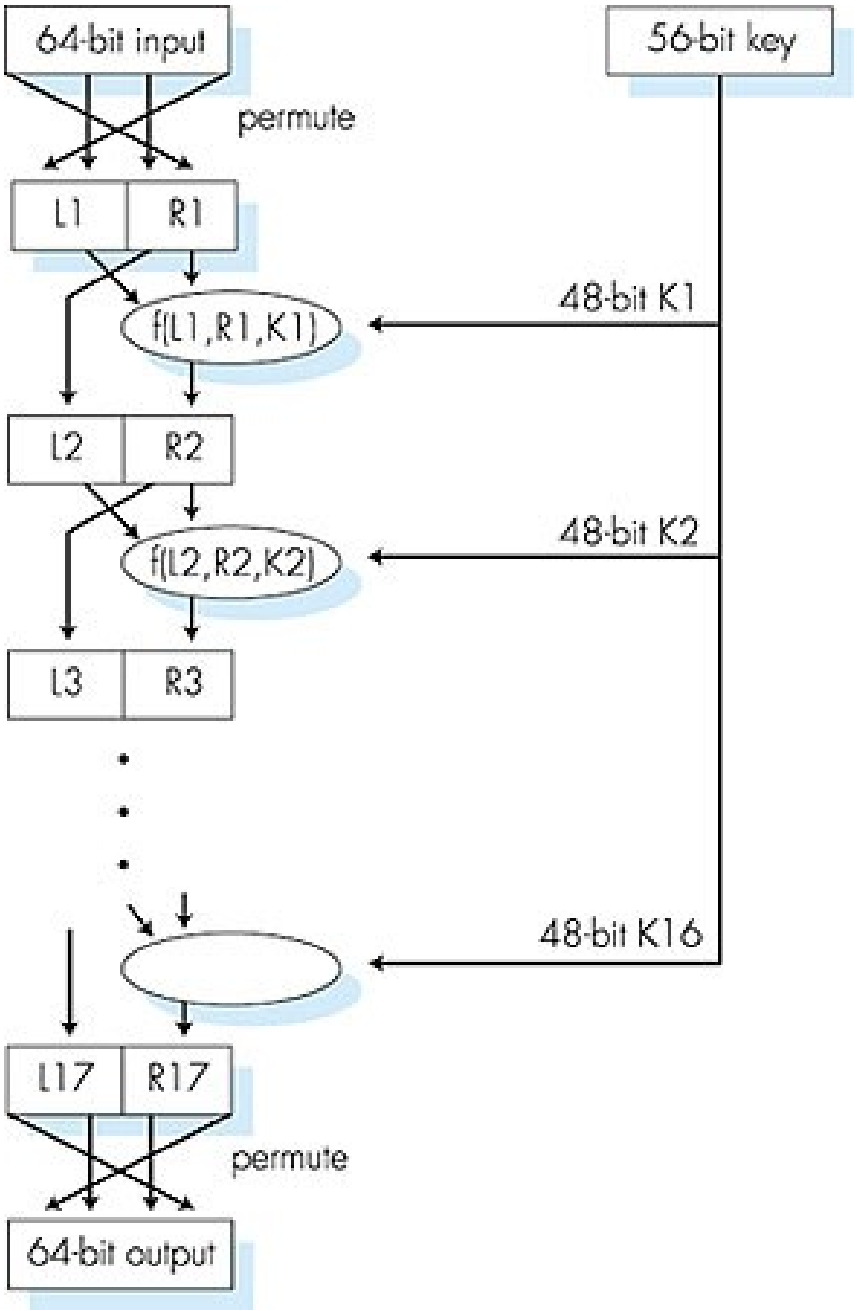
- Estándar americano de 1993
- Clave de 56-bit, 64-bit plaintext input
- Usa Cifrado de bloques de 64 bits en cadena
- ¿Cuán seguro es DES?
  - Desafío DES: mensaje encriptado con clave de 56-bit fue descifrada en menos que un dia a fuerza bruta.
- DES más seguro::
  - 3DES: encripta 3 veces con diferentes claves

(en realidad encripta, descifra, vuelve a encriptar)

DES

Operación de DES

- Permutación inicial
- 16 ciclos idénticos pero usando una clave de 48 bits diferente
- Permutación final



AES: Advanced Encryption Standard

- Nuevo estándar de clave simétrica (Nov. 2001), remplaza a DES
- Bloques de datos son de 128 bit
- Usa claves de 128, 192, o 256 bit
- Si desencriptado a fuerza bruta toma 1 segundo en DES, tomará 149 trillones de años en AES

Cifrado de Clave Pública: el otro tipo de cifrado

Cifrado simétrico

- Requiere Tx y Rx conocer secreto compartido
- ¿Cómo ponerse de acuerdo si no nos conocemos?

- *Cifrado de clave pública*
- Tx y Rx **no** comparten clave secreta
- *Clave pública de cifrado es conocida por todos*
- *Clave privada* de descifrado sólo es conocida por Rx.

Cifrado de Clave Pública

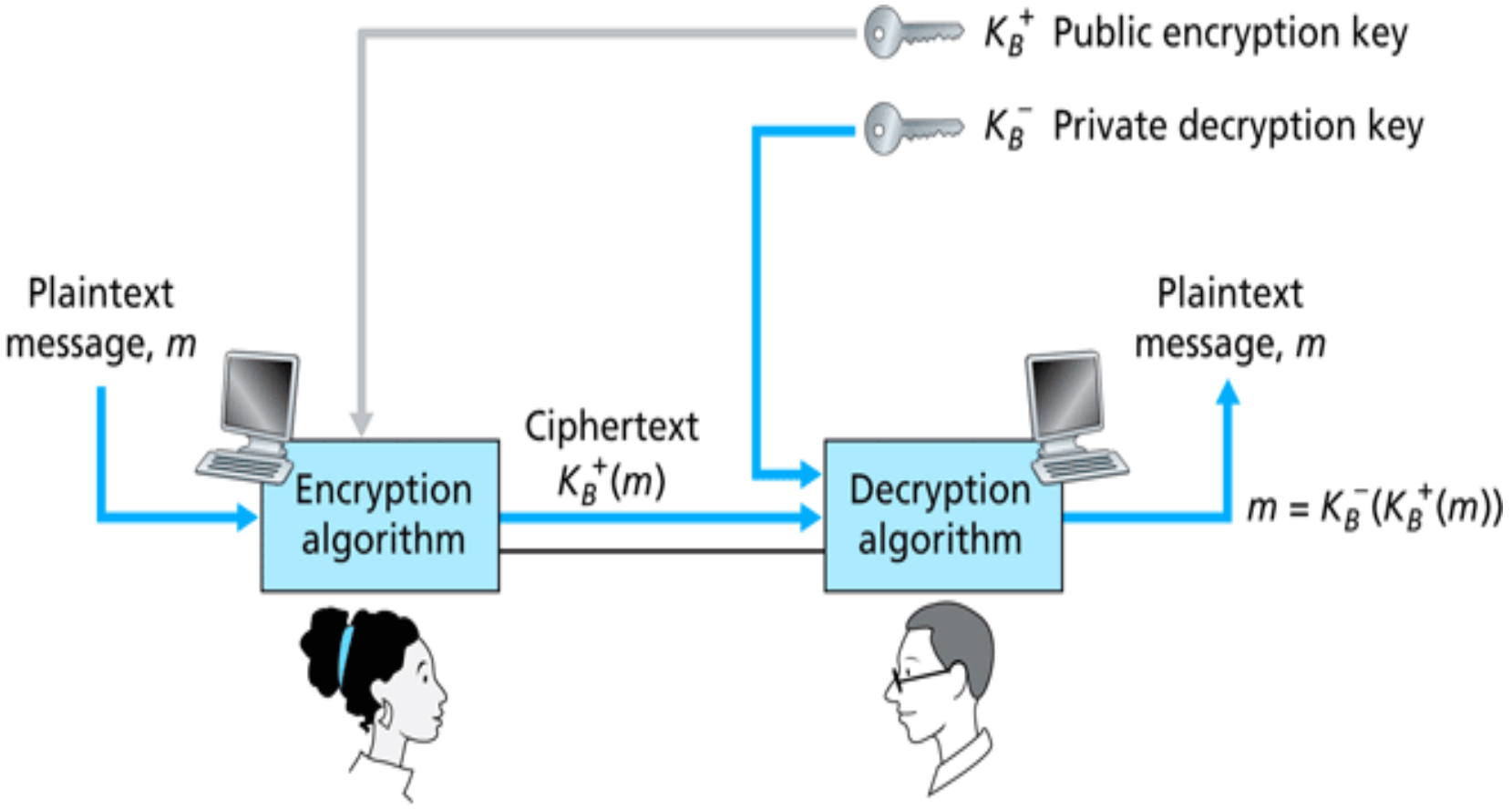


Figure 8.6 ♦ Public key cryptography

Algoritmos de Clave Pública

Requerimientos:

1. Se requiere $K^{+}_{B}(\ )$ y $K^{-}_{B}(\ )$ tal que

$$K^{-}_{B}(K^{+}_{B}(m)) = m$$

2. Conocida la clave pública K^{+}_{B} debería ser imposible obtener la clave privada $K^{-}_{B}(\ )$

RSA: Algoritmo de Rivest, Shamir, Adelson

Pre-requisito: Aritmética modular

- Propiedades:

  $(a+b) \bmod n = [(a \bmod n) + (b \bmod n)] \bmod n$
  $(a-b) \bmod n = [(a \bmod n) - (b \bmod n)] \bmod n$
  $(a*b) \bmod n = [(a \bmod n) * (b \bmod n)] \bmod n$

- Así

  $a^d \bmod n = (a \bmod n)^d \bmod n$

- Ejemplo: x=14, n=10, d=2

  $x^d = 14^2 = 196 \Rightarrow x^d \bmod 10 = 6$
  $(x \bmod n)^d \bmod n = 4^2 \bmod 10 = 6$

RSA: generalidades

- Un mensaje es un patrón de bits
- Un patrón de bits puede ser unívocamente interpretado por un número entero.
- Cifrar un mensaje es como cifrar un número.
- Ejemplo:
  - m= 10010001 . Equivale al decimal 145.
- Para cifrar m, ciframos el número correspondiente.

RSA: Debemos crear el par clave pública y privada

1. Elegir 2 números primos grandes p, q. (e.g., 1024 bits cada uno)
2. Obtenga n = pq, z = (p-1)(q-1)
3. Elija e (con e<n) tal que no tenga factores comunes con z (e, z son “primos relativos”).
4. Elija d tal que ed-1 es exactamente divisible por z.

(en otras palabras: ed mod z = 1)

5. Así la clave pública es (n,e) y la clave privada es (n,d).

En linux podemos crear la clave privada con:

$ openssl genrsa -out mykey.pen

$ openssl rsa -in mykey.pen -pubout

RSA: Cifrado, descifrado

0. Dado (n,e) y (n,d) obtenidos como antes
1. Para encriptar mensaje m ($<n$), obtener

$$c = m^e \bmod n$$

2. Para descifrar lo recibido, c, calcular

$$m = c^d \bmod n$$

- La razón de que esto funcione es:

$$m = \underbrace{(m^e \bmod n)}_{c}{}^d \bmod n$$

¿Por qué RSA funciona?

- Se debe demostrar que $c^d \bmod n = m$

  donde $c = m^e \bmod n$
- Propiedad (no demostrada aquí): para cualquier x , y tenemos

  $x^y \bmod n = x^{(y \bmod z)} \bmod n$; donde $n = pq$ y $z = (p-1)(q-1)$
- Así,

$$c^d \bmod n = (m^e \bmod n)^d \bmod n$$
$$= m^{ed} \bmod n$$
$$= m^{(ed \bmod z)} \bmod n$$
$$= m^1 \bmod n$$
$$= m$$

RSA ejemplo:

Bob elige $p=5$, $q=7$. entonces $n=35$, $z=24$.

$e=5$ (así e, z son primos relativos).

$d=29$ (así $ed-1 = 144$ es divisible exactamente por z).

Cifremos un mensaje de 8-bit

	mensaje	m	m^e	$c = m^e \bmod n$
Cifrado:	00001100	12	24832	17

	c	c^d	$m = c^d \bmod n$
Descifrado:	17	481968572106750915091411825223071697	12

RSA: Otra propiedad importante

Será útil luego:

$$K^-_B(K^+_B(m)) = m = K^+_B(K^-_B(m))$$

Usa clave pública primero

Usa clave privada primero

El Resultado es el mismo

¿Por qué $K^-_B(K^+_B(m)) = m = K^+_B(K^-_B(m))$?

Se obtiene de la aritmética modular:

$(m^e \bmod n)^d \bmod n = m^{ed} \bmod n$

$= m^{de} \bmod n$

$= (m^d \bmod n)^e \bmod n$

¿Por qué RSA es seguro?

- Supongamos que conocemos la clave pública de alguien (n,e). ¿Será difícil determinar d?
- Se requiere encontrar factores de n sin conocer los factores p y q
- Un hecho: factorizar grandes números es difícil.

Claves de sesión

- Potenciación es computacionalmente intensivo
- DES es al menos 100 veces más rápido que RSA

Clave de sesión, K_S

- Bob y Alice usan RSA para intercambiar una clave simétrica K_S
- Luego con K_S, usan cifrado de clave simétrica; mucho más rápido.

Capítulo 8 contenidos

8.1 ¿Qué es la seguridad en la red?

8.2 Principios de criptografía

8.3 Integridad de mensajes

8.4 Dando seguridad a e-mail

8.5 Conexiones TCP seguras: SSL

8.6 Seguridad en capa de Red: IPsec

8.7 Seguridad en redes locales inalámbricas

8.8 Cortafuegos y Sistemas de detección de intrusión (IDS)