Reti di Calcolatori I

Prof. Roberto Canonico
Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione

Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Automazione

A.A. 2017-2018

Sicurezza nella comunicazione in rete: tecniche crittografiche

I lucidi presentati al corso sono uno strumento didattico che NON sostituisce i testi indicati nel programma del corso

Nota di copyright per le slide COMICS

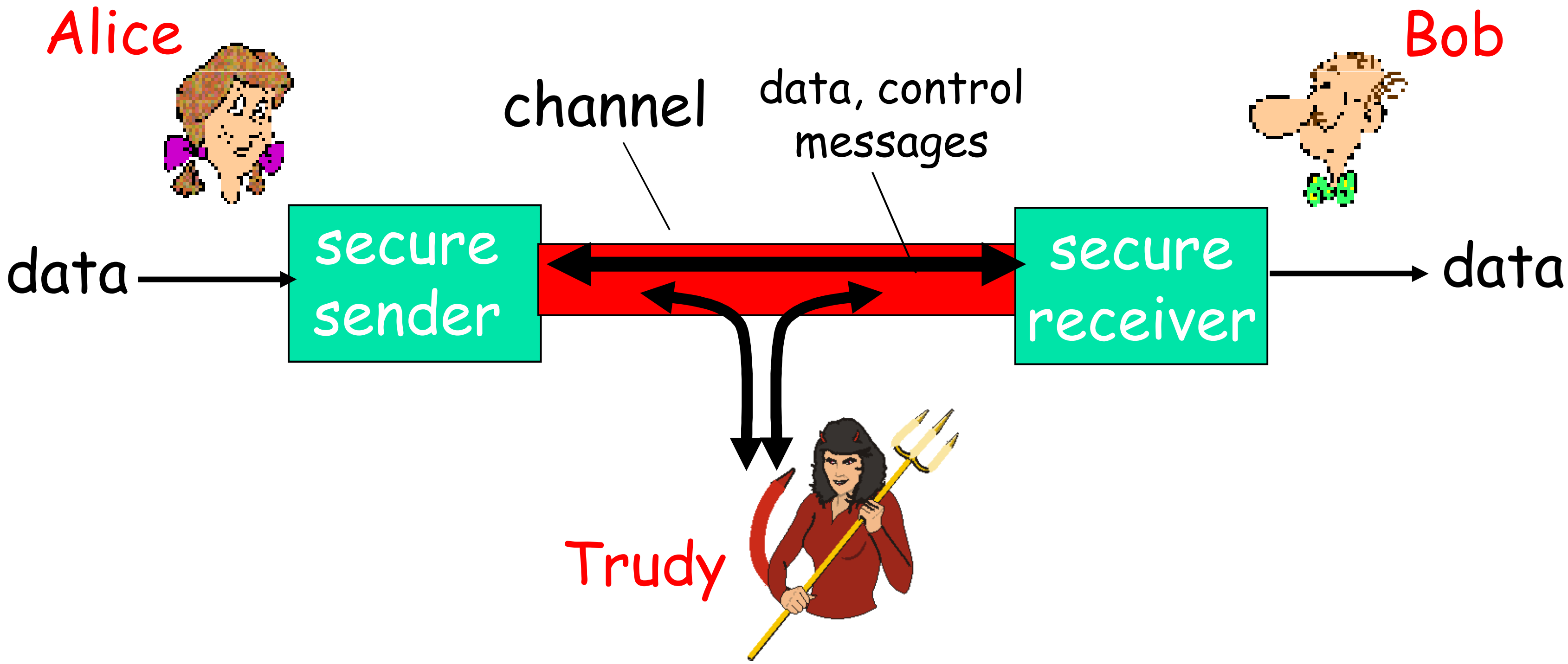
Autori:
Simon Pietro Romano, Antonio Pescapè, Stefano Avallone, Marcello Esposito, Roberto Canonico, Giorgio Ventre

Sicurezza della comunicazione in rete

- La sicurezza della comunicazione in rete coinvolge diversi aspetti
- Riservatezza: solo il mittente ed il destinatario "legittimo" dovrebbero essere in grado di comprendere il contenuto del messaggio
  - Le tecniche crittografiche servono innanzitutto a proteggere la confidenzialità della comunicazione
  - Il mittente effettua un'operazione di cifratura del messaggio (*encryption*) ed il ricevente un'operazione duale di decifratura (*decryption*)
- Integrità dei messaggi: mittente e destinatario di un messaggio desiderano essere certi che i messaggi scambiati non siano alterati da una terza parte senza che se ne possano accorgere
- Autenticazione: mittente e destinatario di un messaggio desiderano essere reciprocamente sicuri dell'identità della controparte
- Accessibilità e disponibilità dei servizi: i servizi offerti in rete devono essere protetti da eventuali attacchi (es. attacchi *Denial of Service*, DoS)

Amici e nemici: Alice, Bob, Trudy

- Alice e Bob sono le due parti che intendono comunicare in maniera sicura attraverso la rete
  - Potrebbero essere programmi client e server, o dispositivi (es. router) …
- Trudy è una terza parte che può ascoltare i messaggi scambiati da Alice e Bob ed eventualmente alterarli, cancellarli o crearne di falsi



Esempi di comportamenti malevoli

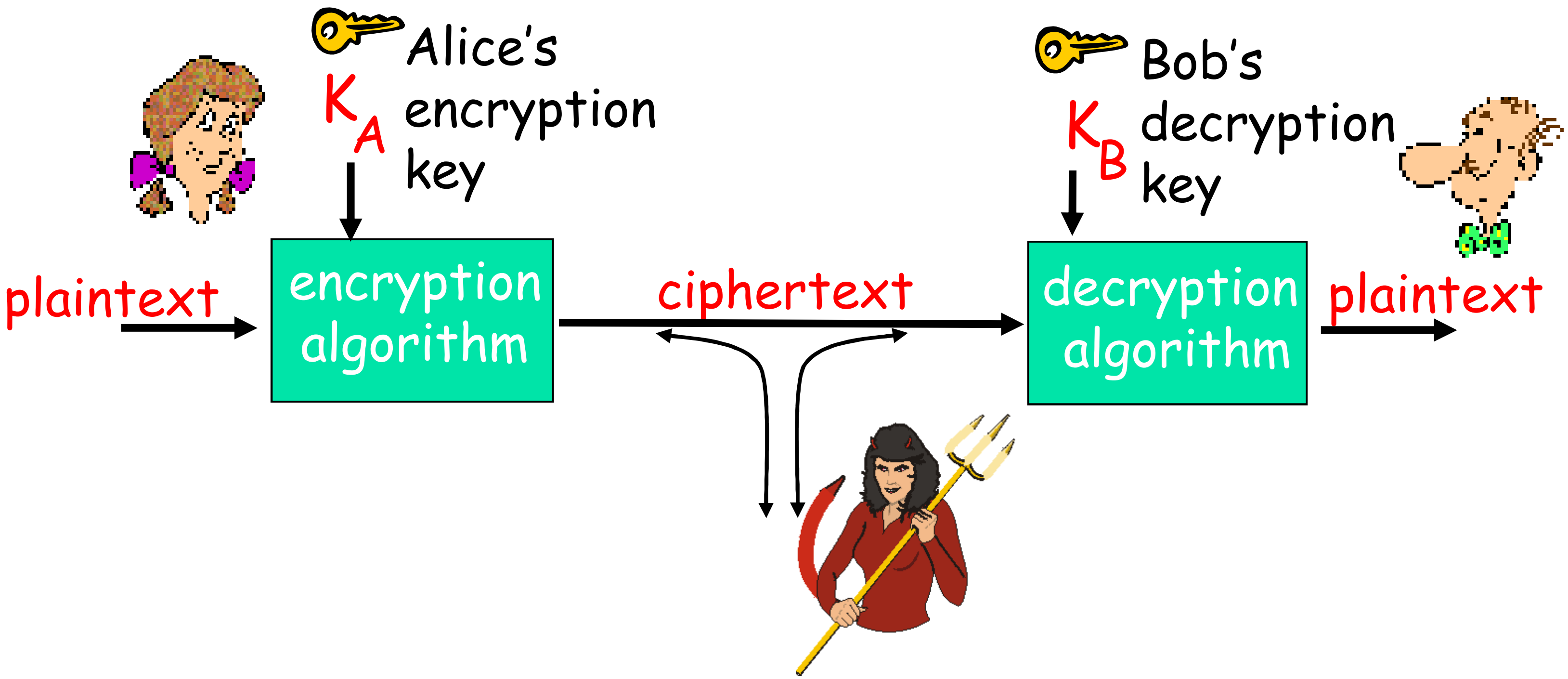
La terza parte Trudy può:

- intercettare i messaggi inviati da Alice a Bob (*eavesdropping*)
- inserire messaggi fasulli nel flusso della comunicazione da Alice a Bob
- inviare pacchetti con il campo source address fasullo (*spoofing*) in modo da fingere di essere Alice
- dirottare la comunicazione tra Alice e Bob, piazzandosi “in mezzo”, ad es. fingendo con Alice di essere Bob e con Bob di essere Alice (*hijacking*)
- impedire al servizio offerto da Bob di essere utilizzabile (es. sovraccaricando le risorse di Bob) (*denial of service*)

Crittografia: concetti generali

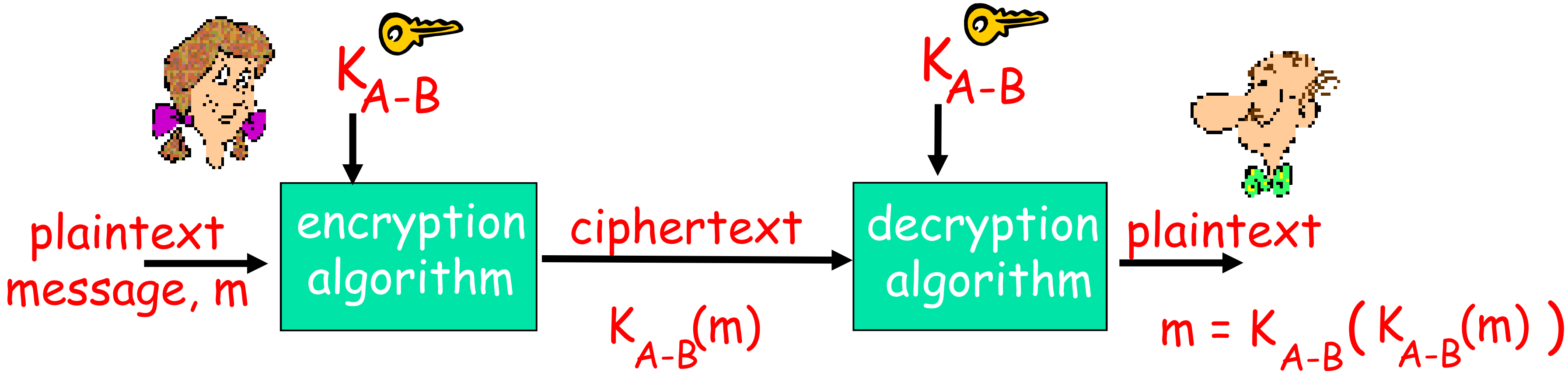
- Un *sistema crittografico* è un sistema in grado di cifrare e decifrare un messaggio attraverso l'uso di un *algoritmo* e di una *chiave* (una stringa alfanumerica)
- Il messaggio da cifrare è detto "testo in chiaro" (*plaintext*) mentre il risultato dell'algoritmo crittografico è detto "testo cifrato" (*ciphertext*)

Crittografia: terminologia



- Crittografia a chiave simmetrica:
  - mittente e destinatario usano la stessa chiave (segreto condiviso) per *encryption* e *decryption*
- Crittografia a chiave pubblica:
  - la chiave per la *encryption* è *pubblica* (nota a tutti), la chiave per la *decryption* è *segreta* (privata)

Crittografia a chiave simmetrica



Crittografia a chiave simmetrica: Bob ed Alice entrambi conoscono la chiave crittografica (simmetrica) K_{A-B}

- Come fanno Bob ed Alice a mettersi d'accordo sul valore della chiave? Lo scambio deve avvenire in maniera sicura (es. in un incontro di persona…)

Crittografia a chiave simmetrica: un esempio

Cifrario per sostituzione: unità di testo del plaintext sono sostituite con corrispondenti sequenze di simboli nel testo cifrato secondo uno schema regolare

In particolare, **cifrario monoalfabetico**: una corrispondenza fissa tra ciascuna lettera dell'alfabeto in chiaro ed una lettera dell'alfabeto cifrato

```
plaintext:  abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

ciphertext: mnbvcxzasdfghjklpoiuytrewq
```

Es.:

```
plaintext: bob, i love you. alice

ciphertext: nkn, s gktc wky. mgsbc
```

Q: Quanto è difficile decifrare questo codice ?

- con attacco a forza bruta: $26! \approx 2^{88}$ tentativi
- con critto-analisi, abbastanza facile
  - pattern ricorrenti ed analisi statistica delle frequenze di occorrenza

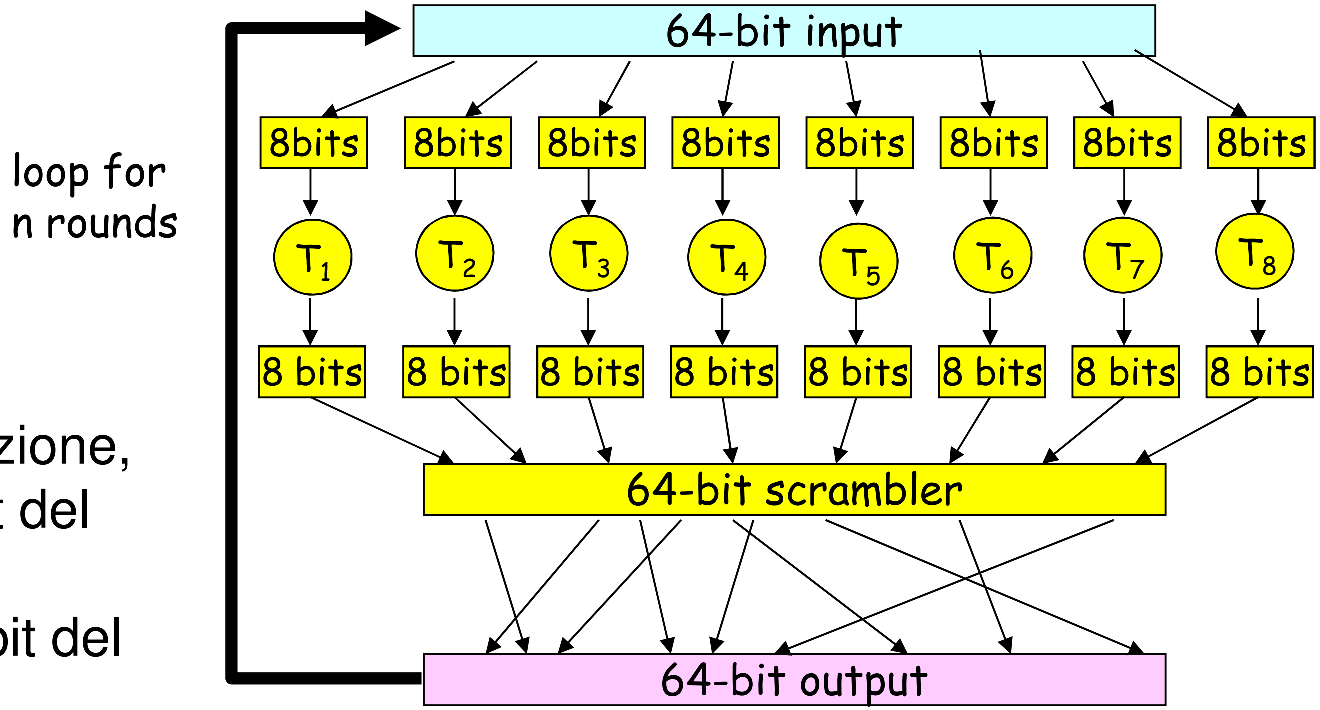
Cifrari a blocchi

- Un blocco di k bit del testo in chiaro è codificato con altri k bit nel testo in codice secondo uno schema fisso
- Es.: k=3

000 → 110	001 → 111	010 → 101	011 → 100
100 → 011	101 → 010	110 → 000	111 → 001

- Il messaggio (010)(110)(001)(111)
  è codificato in (101)(000)(111)(001)
- Quante corrispondenze si possono creare con k=3 bit ?
  N. permutazioni di 2^k=8 oggetti (triple di bit) = 2^k! = 8! = 40320
- Per una maggiore sicurezza occorre aumentare k (es. k=64)
- Per valori di k grandi, difficoltà di implementazione: cifratura e decifratura richiedono una tabella di 2^k elementi in memoria
- Elevati valori di k ottenuti per composizione di valori più piccoli

Cifrari a blocchi



- dopo una iterazione, ogni singolo bit del testo in chiaro influenza otto bit del testo cifrato

- Se la funzione di rimescolamento è fissa, la chiave è costituita dalle 8 tabelle di permutazione
- Esempi di cifrari a blocchi: DES, 3DES, AES

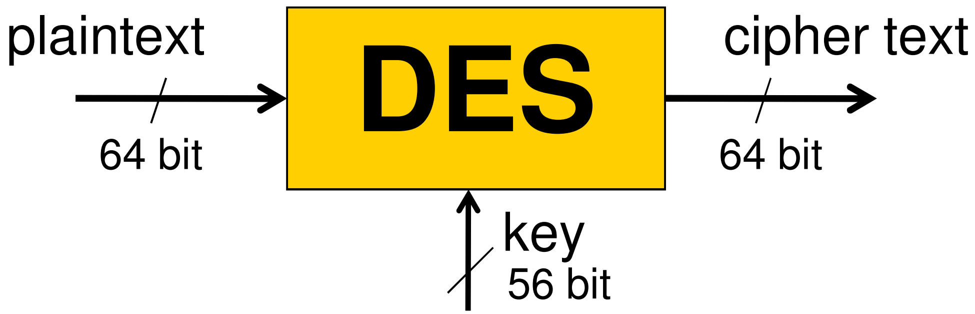
Crittografia a chiave simmetrica: DES

DES: Data Encryption Standard

- US encryption standard [NIST 1993]
- 56-bit symmetric key, 64-bit plaintext input
- How secure is DES?
  - DES Challenge: 56-bit-key-encrypted phrase ("Strong cryptography makes the world a safer place") decrypted (brute force) in 4 months
  - no known "backdoor" decryption approach
- making DES more secure:
  - use three keys sequentially (3-DES) on each datum
  - use cipher-block chaining

DES: caratteristiche generali

- DES codifica blocchi di 64 bit e usa una chiave di 56 bit
- Chiave da 56 bit + 8 bit di parità

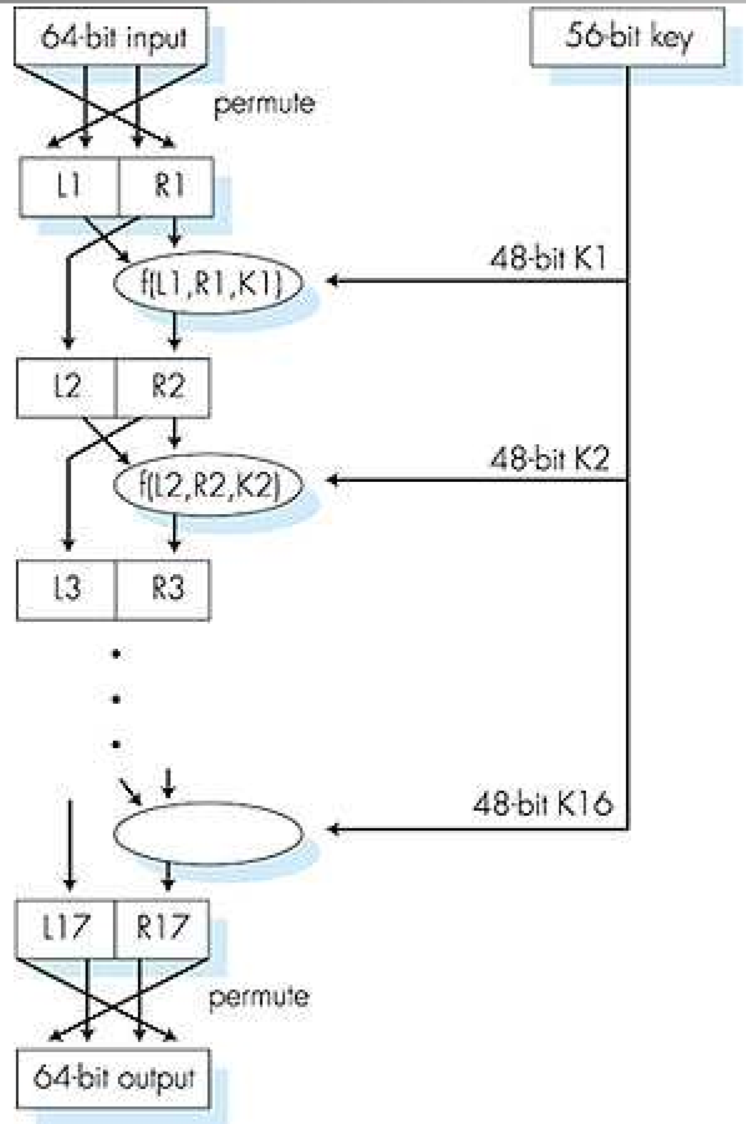


- La chiave è memorizzata su 64 bit, con l'ottavo, il 16-esimo, ... , il 64-esimo bit calcolati come bit di parità per i 7 bit precedenti

Symmetric key crypto: DES

Funzionamento del DES

- Permutazione iniziale
- 16 iterazioni in cui si applica una funzione f, usando in ciascuna iterazione 48 bit della chiave
- permutazione finale

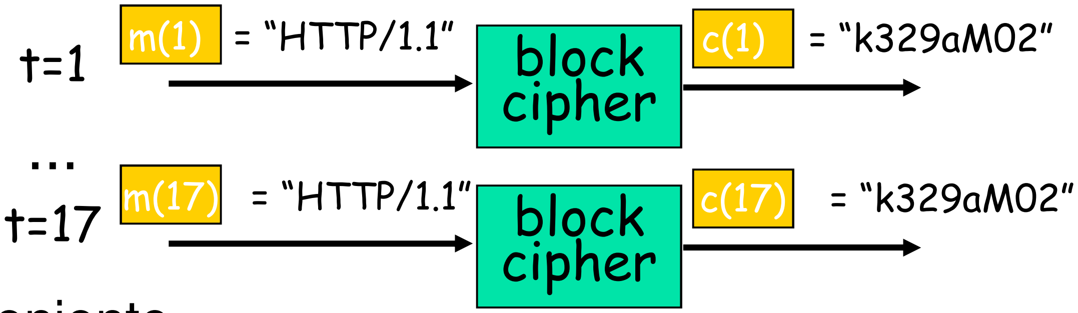


AES: Advanced Encryption Standard

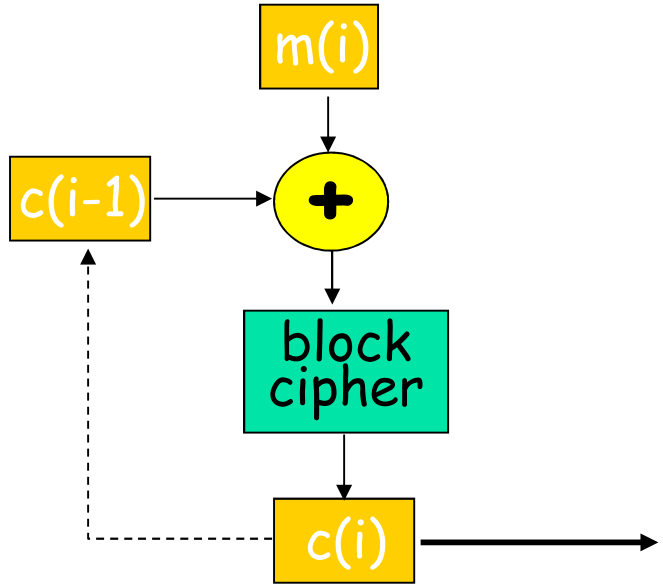
- Standard NIST standard, ha sostituito DES
- Elabora i dati a blocchi da 128 bit
- Chiavi da 128, 192, o 256 bit
- Un elaboratore in grado di decifrare DES con un attacco a forza bruta in 1 secondo, impiegherebbe 149 trilioni di anni a decifrare AES

Cipher Block Chaining

- Debolezza dei cifrari a blocchi: blocchi in input uguali producono lo stesso testo cifrato
  - Si prestano a crittoanalisi



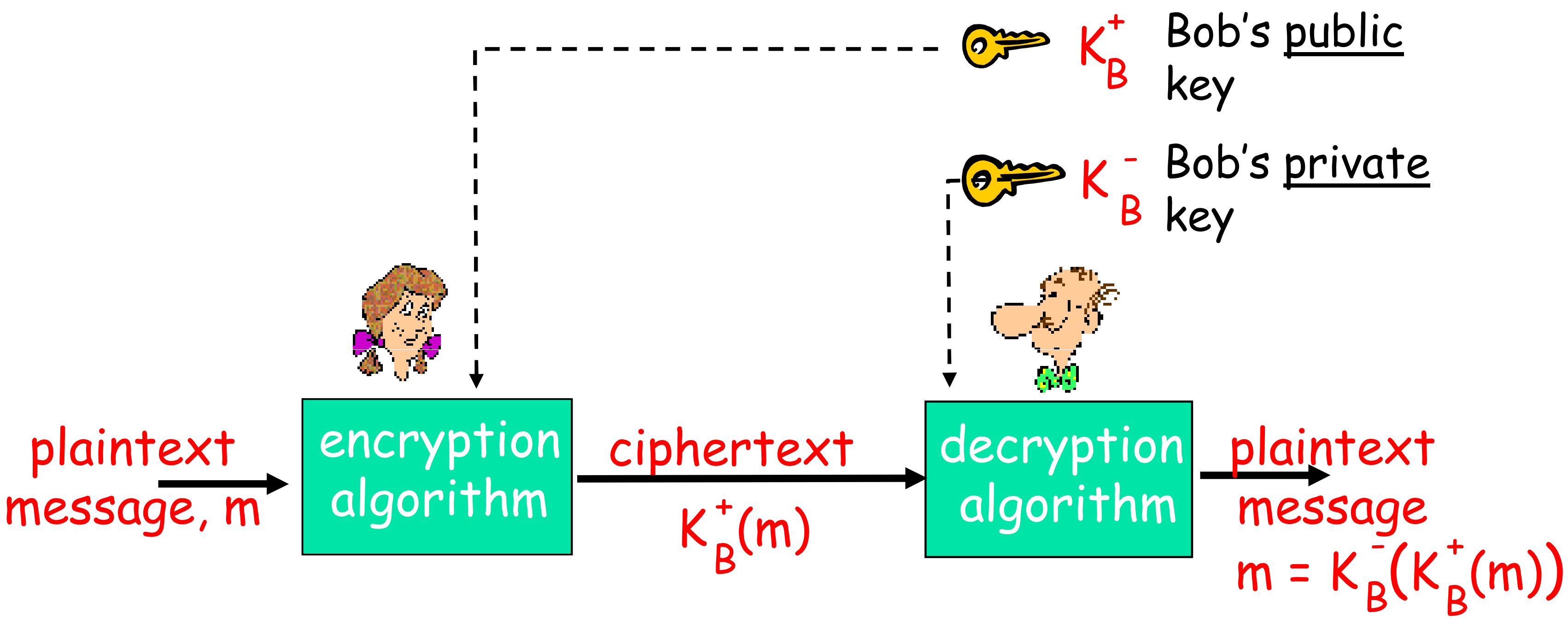
- Per ovviare a questo inconveniente si usa la tecnica detta cipher block chaining:
  c(i) si calcola con l'algoritmo di cifratura applicato al blocco ottenuto tramite XOR del testo in chiaro m(i) con il blocco di testo cifrato c(i-1) calcolato sull'input precedente
  - c(0) trasmesso in chiaro (vettore di inizializzazione)



Crittografia a chiave pubblica

- Approccio radicalmente differente
  - Diffie-Hellman 1976, RSA78
- Mittente e destinatario non condividono una chiave segreta
- *Chiave pubblica* usata per la cifratura, nota a tutti
- *Chiave privata* usata per la decifratura, nota solo al destinatario

Public key cryptography



Algoritmi di cifratura a chiave pubblica

Requisiti:

1. Occorre trovare una coppia di chiavi $K_B^+(\cdot)$ and $K_B^-(\cdot)$ tali che

$$K_B^-(K_B^+(m)) = m$$

2. Nota la chiave pubblica K_B^+, dovrebbe essere impossibile calcolare la chiave privata K_B^-

Algoritmo RSA: Rivest, Shamir, Adleman

RSA: scelta delle chiavi

1. Si scelgono due numeri primi grandi p e q
2. Si calcolano $n = p \cdot q$, $z = (p-1)(q-1)$
3. Si sceglie un numero e ($e<n$)
   che non abbia fattori comuni con z
   (e, z "relativamente primi")
4. Si sceglie un numero d
   tale che $e \cdot d-1$ sia esattamente divisibile per z
   (in altre parole: $e \cdot d \bmod z = 1$)
5. La chiave pubblica è $\underbrace{(n,e)}_{K_B^+}$, la chiave privata è $\underbrace{(n,d)}_{K_B^-}$

RSA: cifratura e decifratura

0. Dati (n,e) ed (n,d) come calcolati precedentemente …

1. La cifratura del testo in chiaro m *(stringa di bit)* si effettua calcolando

$$c = m^e \bmod n$$ (resto della divisione di m^e per n)

2. La decifratura del testo cifrato c *(stringa di bit)* si effettua calcolando

$$m = c^d \bmod n$$ (resto della divisione di c^d per n)

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

RSA: esempio

Bob sceglie $p=5$, $q=7$ $\rightarrow$ $n=35$, $z=24$

$e=5$ (in modo che e, z siano relativamente primi)
$d=29$ (in modo che $e \cdot d-1$ sia divisibile per z)

Bob rende pubblica la coppia (n,e)=(35,5)
e mantiene segreto il valore d=29

cifratura:

lettera	m	m^e	$c = m^e \bmod n$
l	12	248832	17

decifratura:

c	c^d	$m = c^d \bmod n$	lettera
17	481968572106750915091411825223071697	12	l

RSA: perchè $m = (m^e \bmod n)^d \bmod n$?

Un utile risultato di teoria dei numeri

Se p e q sono primi ed $n = p \cdot q$, allora:

$$x^y \bmod n = x^{y \bmod (p-1)(q-1)} \bmod n$$

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

$$= m^{e \cdot d \bmod (p-1)(q-1)} \bmod n$$

(grazie al risultato di sopra)

$$= m^1 \bmod n$$

(dal momento che $e \cdot d$ è stato scelto in modo che la sua divisione per $(p-1)(q-1)$ dia resto 1)

$$= m$$

RSA: un'altra proprietà notevole

$$\underbrace{K_B^-(K_B^+(m))}_{} = m = \underbrace{K_B^+(K_B^-(m))}_{}$$

Si usa prima la chiave pubblica e poi la privata

Si usa prima la chiave privata e poi la pubblica

Il risultato è lo stesso → le due chiavi possono intertirsi i ruoli

RSA: discussione

- La robustezza di RSA dipende dal fatto che non sono noti algoritmi veloci per la fattorizzazione di numeri interi grandi
- Anche se $n = p \cdot q$ è noto, i due fattori p e q non sono velocemente determinabili, di conseguenza non è velocemente determinabile z, da cui si potrebbe facilmente risalire alla componente d della chiave privata, nota la parte e della chiave pubblica
- L’elevamento a potenza richiesto da RSA è computazionalmente oneroso
  - Algoritmi a chiave simmetrica come DES sono 100-1000 volte più veloci di RSA
  - Nelle comunicazioni su rete, RSA è spesso usato in combinazione con DES o 3DES