Segurança e Confiabilidade

António Casimiro, Alysson Bessani, Alan Oliveira

2022/2023

API segurança do Java

Cifras simétricas
(inclui síntese e MACs)

Fornecedores de segurança

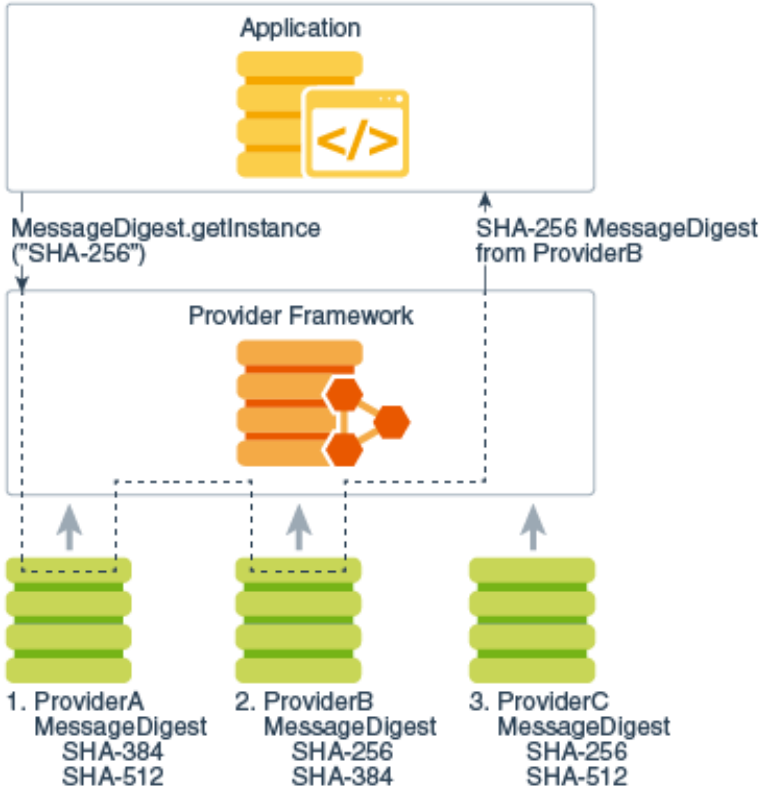
- Em Java, as operações criptográficas (p. ex.: assinaturas digitais, sínteses de mensagens) são oferecidas através de um conjunto de **classes abstratas**
- A JCA (*Java Cryptography Architecture*)
  - é uma peça fundamental da plataforma Java por permitir a concretização destas primitivas
  - define um conjunto de classes e interfaces que podem ser usadas e concretizadas por diferentes fornecedores de segurança
  - No entanto, qualquer um pode concretizar um fornecedor
- Elementos fundamentais do JCA:
  - **Fornecedor (*Provider*)**: um *package* ou conjunto de *packages* com concretizações de um conjunto de algoritmos criptográficos
  - **Motor (*Engine*)**: uma operação criptográfica abstrata
    - Ex: assinatura digital; síntese de mensagem
  - **Algoritmo (*Algorithm*)**: define como uma operação é executada; é uma concretização de um motor
    - Ex: MD5 ou SHA; RSA ou DSA
- Os **fornecedores** são a "cola" que associa **algoritmos** a **motores**

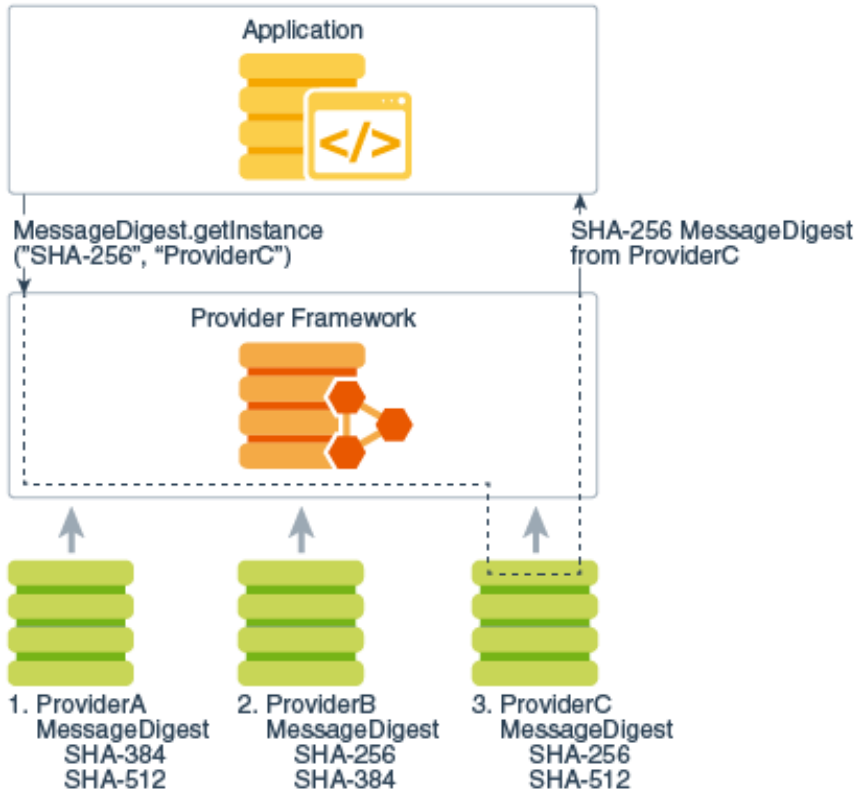
"Java Security", cap. 8

Fornecedores de segurança

- Fornecedores de segurança na JCA

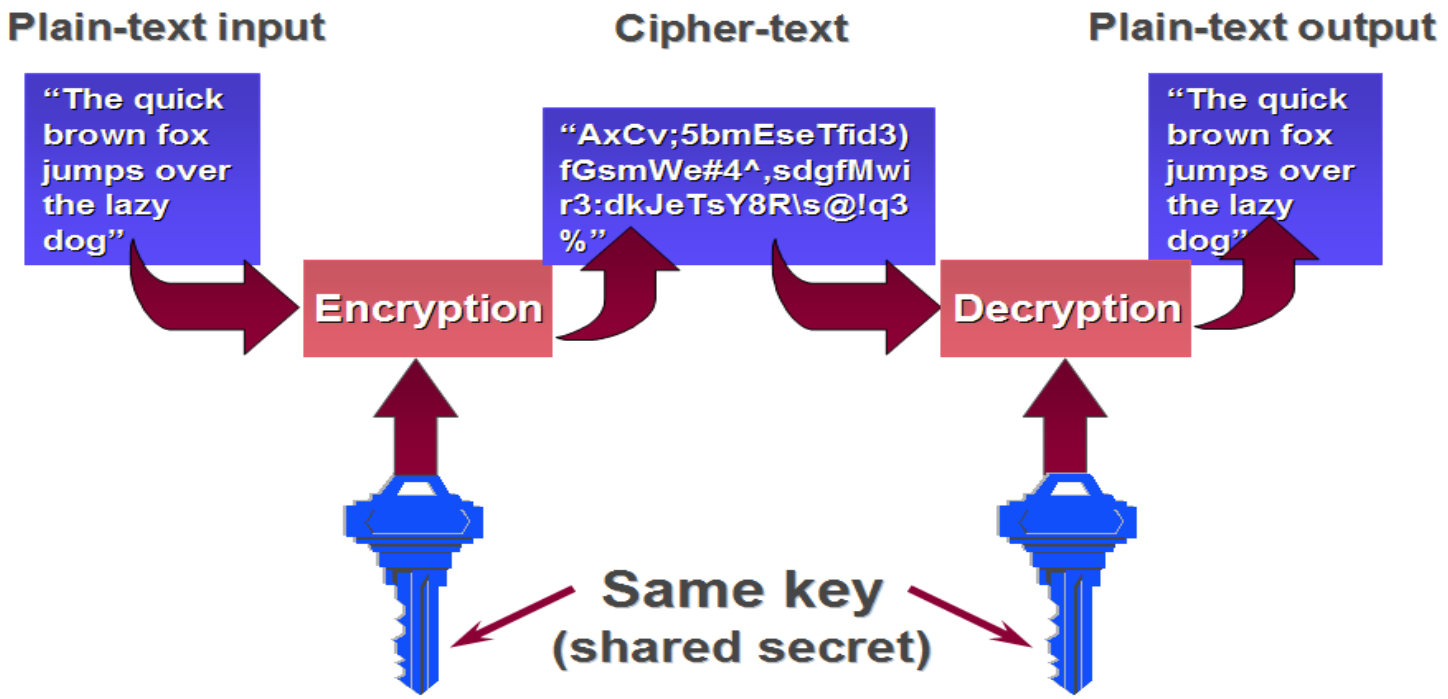
Exemplos com síntese





https://docs.oracle.com/javase/8/docs/technotes/guides/security/crypto/CryptoSpec.html

Criptografia Simétrica



Como ciframos em Java? O que precisamos?

1. Gerador de chaves (KeyGenator)
2. Criar a key (SecretKey)
3. Algoritmo de Cifra (Cipher)
4. Cifrar e gerar criptograma (cifrar para ficheiro)

Exemplo de Cifras Simétricas

```
//gerar uma chave aleatória para utilizar com o AES
KeyGenerator kg = KeyGenerator.getInstance("AES");
kg.init(128);
SecretKey key = kg.generateKey();

Cipher c = Cipher.getInstance("AES");
c.init(Cipher.ENCRYPT_MODE, key);

// faltam buffered streams
FileInputStream fis;
FileOutputStream fos;
CipherOutputStream cos;

fis = new FileInputStream("c:\\tmp\\a.txt");
fos = new FileOutputStream("c:\\tmp\\a.cif");

cos = new CipherOutputStream(fos, c);
byte[] b = new byte[16];
while ((i = fis.read(b)) != -1) {
    cos.write(b, 0, i);
}
cos.close();
```

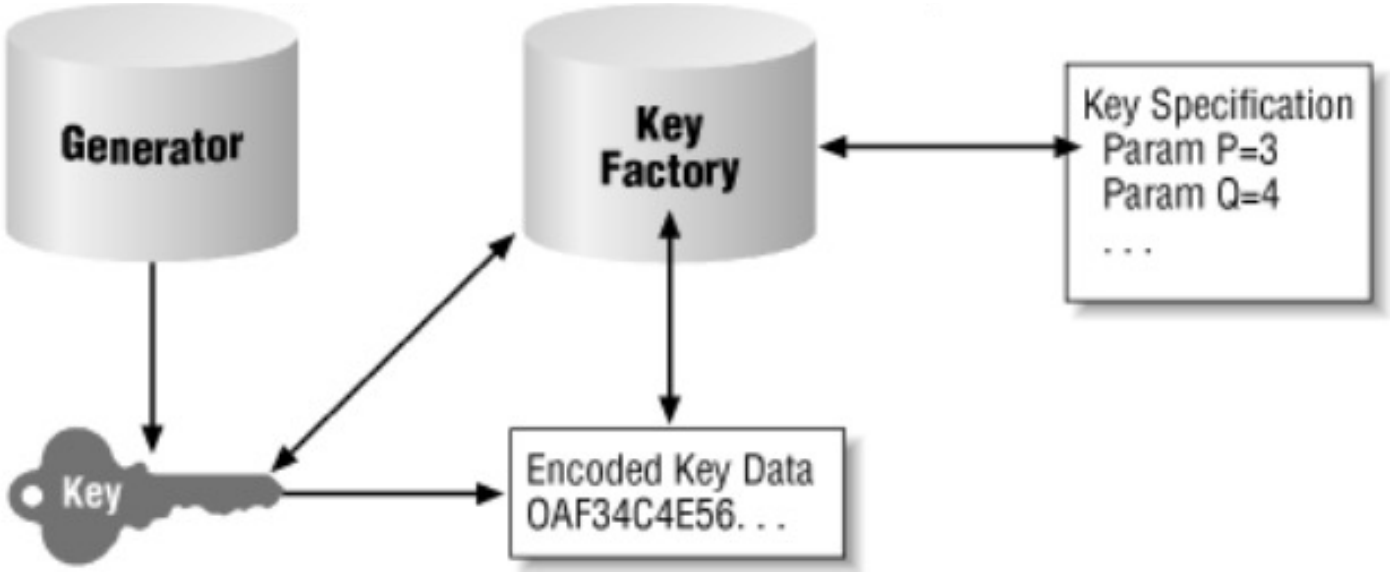
- Geração de chaves
  - KeyGenerator
- Chaves
  - Key
  - SecretKey
- Cifras
  - Cipher
  - Streams
    - CipherOutputStream
    - CipherInputStream

```
// byte[] keyEncoded = key.getEncoded();

//SecretKeySpec keySpec2 = new SecretKeySpec(keyEncoded, "AES");
//SecretKeySpec é subclasse de secretKey
//c.init(Cipher.DECRYPT_MODE, keySpec2);
```

Geração de Chaves

- Uma classe motor do tipo ***Generator*** cria as chaves sem quaisquer dados do utilizador
  - classe ***KeyGenerator*** cria chaves secretas
  - classe ***KeyPairGenerator*** cria pares de chaves público-privadas
- A classe motor ***KeyFactory*** traduz os objectos com as chaves numa representação externa (ex., array de bytes ou uma especificação de chave)



Interface da classe *Key*

- A interface *java.security.Key* abstrai o conceito de chave
  - `public interface Key extends Serializable`
    - define uma única chave
    - precisa de ser *serializable* porque as chaves necessitam de ser transferidas entre diversas entidades

- `public String getAlgorithm( )`
  - retorna uma *string* que indica que algoritmo gerou esta chave
- `public String getFormat( )`
  - retorna uma *string* que descreve o formato usado para codificar a chave quando esta for transferida
- `public byte[] getEncoded( )`
  - devolve um conjunto de bytes correspondentes à codificação da chave

(NOTA: reparar que não existe nada em relação à descodificação da chave)

Chaves secretas

- Existe uma interface no JCA que permite definir chaves secretas (*javax.crypto.SecretKey*)
  - *public interface **SecretKey** extends Key*

- As chaves secretas não têm qualquer tipo específico de informação de identificação, o que significa que esta interface é usada para facilitar a identificação dos tipos de objetos

- Embora sejam suportados diversos algoritmos simétricos, estes **não definem** interfaces próprias para as suas chaves (ao contrário do que acontece com a criptografia assimétrica)

Exemplo

```
//gerar uma chave aleatória para utilizar com o AES
KeyGenerator kg = KeyGenerator.getInstance("AES");
kg.init(128);
SecretKey key = kg.generateKey();
```

```
Cipher c = Cipher.getInstance("AES");
c.init(Cipher.ENCRYPT_MODE, key);

// faltam buffered streams
FileInputStream fis;
FileOutputStream fos;
CipherOutputStream cos;

fis = new FileInputStream("c:\\tmp\\a.txt");
fos = new FileOutputStream("c:\\tmp\\a.cif");

cos = new CipherOutputStream(fos, c);
byte[] b = new byte[16];
while ((i = fis.read(b) )!= -1) {
    cos.write(b, 0, i);
}
cos.close();
```

- **Geração de chaves**
  - **KeyGenerator**
- **Chaves**
  - **Key**
  - **SecretKey**
- Cifras
  - Cipher
  - Streams
    - CipherOutputStream
    - CipherInputStream

```
// byte[] keyEncoded = key.getEncoded();

//SecretKeySpec keySpec2 = new SecretKeySpec(keyEncoded, "AES");
//SecretKeySpec é subclasse de secretKey
//c.init(Cipher.DECRYPT_MODE, keySpec2);
```

Geração de Chaves Secretas

- A classe *javax.crypto.KeyGenerator* é usada para gerar estas chaves
  - `public class KeyGenerator`
    - gera chaves secretas para uma algoritmo de cifra simétrico

- Para se obter uma instância de um dado algoritmo usa-se:
  - `public static final KeyGenerator getInstance(String algorithm)`
  - `public static final KeyGenerator getInstance(String algorithm, String provider)`
    - O algoritmo pode ser algo como “DES” ou “AES” ou “HmacSHA1”

- Tendo-se a instância pode-se então chamar
  - `public final void init(SecureRandom sr)`
  - `public final void init(int strength)`
  - `public final void init(int strength, SecureRandom sr)`
    - inicializa o algoritmo com a dimensão da chave e/ou um gerador de números aleatórios
  - `public final SecretKey generateKey( )`
    - cria nova chave (se chamado várias vezes gera diferentes chaves)

Utilização das *SecretKeyFactory*

- Métodos
  - `public final SecretKey generateSecret(KeySpec ks)`
    - importa uma chave que se encontra especificada em *ks*
  - `public final KeySpec getKeySpec(Key key, Class keySpec)`
    - exporta uma chave através da criação de uma especificação da chave
  - `public final Key translateKey(Key key)`
    - transforma uma chave entre um dado formato no formato desta fábrica

- Existem várias classes *KeySpec*, entre elas *SecretKeySpec*
  - `SecretKeySpec(byte[] key, String Algorithm)`
    - constructor usado para importar uma chave
  - `byte[] getEncoded`
    - exporta dados

Exemplo

```
//gerar uma chave aleatória para utilizar com o AES
KeyGenerator kg = KeyGenerator.getInstance("AES");
kg.init(128);
SecretKey key = kg.generateKey();

Cipher c = Cipher.getInstance("AES");
c.init(Cipher.ENCRYPT_MODE, key);

// faltam buffered streams
FileInputStream fis;
FileOutputStream fos;
CipherOutputStream cos;

fis = new FileInputStream("c:\\tmp\\a.txt");
fos = new FileOutputStream("c:\\tmp\\a.cif");

cos = new CipherOutputStream(fos, c);
byte[] b = new byte[16];
while ((i = fis.read(b) )!= -1) {
    cos.write(b, 0, i);
}
cos.close();
```

- Geração de chaves
  - KeyGenerator
- Chaves
  - Key
  - SecretKey
- Cifras
  - Cipher
  - Streams
    - CipherOutputStream
    - CipherInputStream

```
// byte[] keyEncoded = key.getEncoded();

//SecretKeySpec keySpec2 = new SecretKeySpec(keyEncoded, "AES");
//SecretKeySpec é subclasse de secretKey
//c.init(Cipher.DECRYPT_MODE, keySpec2);
```

Classe *Cipher* (1)

- A classe *javax.crypto.Cipher* é um motor que fornece uma interface que possibilita a cifra e decifra de dados
  - `public class Cipher implements Cloneable`

- Como em todos os casos estudados anteriormente, esta classe precisa de ser instanciada antes de ser usada
- A indicação do nome da implementação é formada por

<nome do algoritmo>/<nome do modo de cifra>/<nome do tipo de padding>

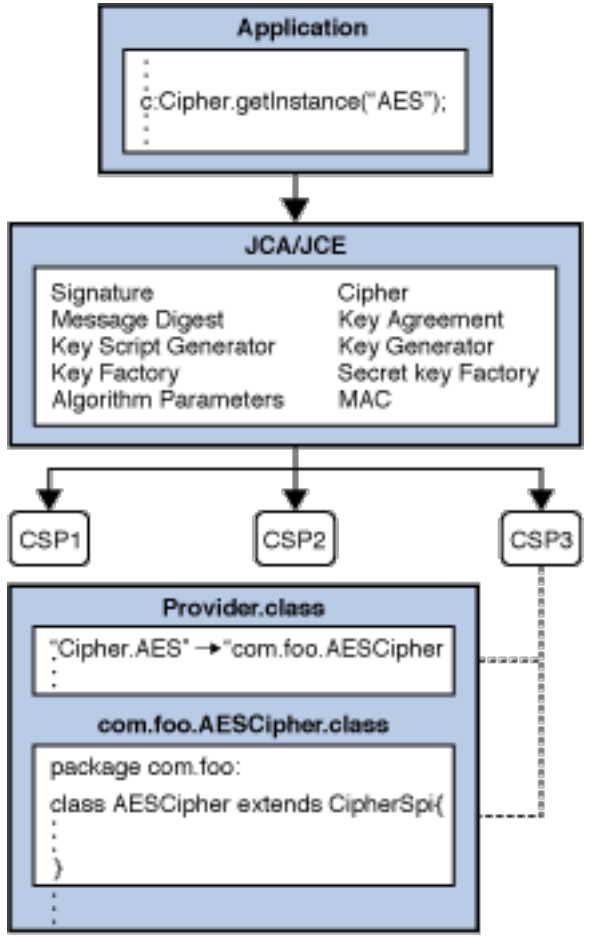
  - algoritmos: *AES, DES, DESede, Blowfish, RC4,* etc.
  - modos: *ECB, CBC, CFB, OFB*
  - *padding*: *PKCS5Padding, SSL3Padding, NoPadding*

Modo de cifra e tipo de *padding* são opcionais! Se não for indicado usa valor default!

NoPadding obriga a que os dados sejam múltiplos do tamanho do bloco de cifra!

Classe *Cipher* (2)

- Para se obter uma instância deve-se chamar com o nome do algoritmo (ex., AES, DES, DES/ECB/PKCS5Padding, etc.)
  - `public static Cipher getInstance(String algorithmName)`
  - `public static Cipher getInstance(String algorithmName, String provider)`



- Podem-se depois então invocar os seguintes métodos
  - `public final void init(int op, …)`
    - inicializa a cifra com informações relevantes (tipicamente uma chave) e
    - *op* define se a cifra será usada para cifrar (Cipher.ENCRYPT_MODE) ou decifrar (Cipher.DECRYPT_MODE) e
    - certos modos de cifra requerem um IV através algorithm spec/param
  - `public final Provider getProvider( )`
    - retorna o fornecedor

Notar que também vão usar esta classe quando cifrarem com **criptografia assimétrica**

Classe *Cipher* (3)

- `public final byte[] update(byte[] input)`
- `public final byte[] update(byte[] input, …)`
  - cifrar ou decifrar dados, em que o resultado é devolvido num novo *array* ou no *output;* se os dados não forem múltiplos de bloco de cifra, o que sobra é armazenado internamente
  - estas funções podem ser chamadas mais do que uma vez
- `public final byte[] doFinal( )`
- **`public final byte[] doFinal(byte[] input)`**
  - semelhante ao anterior, mas só pode ser chamado uma vez (no final de vários *updates* ou sozinho)
- `public final int getOutputSize(int inputLength)`
  - devolve o tamanho total dos dados cifrados (incluindo *padding*)
- `public final byte[] getIV( )`
  - retorna o IV (*initialization vector*) que foi usado para inicializar a cifra

Exemplo

```
//gerar uma chave aleatória para utilizar com o AES
KeyGenerator kg = KeyGenerator.getInstance("AES");
kg.init(128);
SecretKey key = kg.generateKey();

Cipher c = Cipher.getInstance("AES");
c.init(Cipher.ENCRYPT_MODE, key);

// faltam buffered streams
FileInputStream fis;
FileOutputStream fos;
CipherOutputStream cos;

fis = new FileInputStream("c:\\tmp\\a.txt");
fos = new FileOutputStream("c:\\tmp\\a.cif");

cos = new CipherOutputStream(fos, c);
byte[] b = new byte[16];
while ((i=fis.read(b) )!= -1) {
    cos.write(b, 0, i);
}
cos.close();
```

- Geração de chaves
  - KeyGenerator
- Chaves
  - Key
  - SecretKey
- Cifras
  - **Cipher**
  - Streams
    - CipherOutputStream
    - CipherInputStream

```
// byte[] keyEncoded = key.getEncoded();

//SecretKeySpec keySpec2 = new SecretKeySpec(keyEncoded, "AES");
//SecretKeySpec é subclasse de secretKey
//c.init(Cipher.DECRYPT_MODE, keySpec2);
```

Streams de cifra

- Associa a um objecto de cifra uma *stream* de *input* ou *output*
  - à medida que os dados são escritos na *stream* são automaticamente cifrados
  - à medida que os dados são lidos da *stream* são automaticamente decifrados

  - Note-se que isto permite a criação de canais mais seguros (ou pelo menos a confidencialidade pode ser satisfeita facilmente)!

Classes *CipherOutputStream* e *CipherInputStream*

- A classe *javax.crypto.CipherOutputStream* cifra os dados à medida que são escritos na stream
  - `public class CipherOutputStream extends FilterOutputStream`
- Os principais métodos desta classe são
  - `public CipherOutputStream(OutputStream outputStream, Cipher cipher)`
    - construtor que associa a um output stream um objecto de cifra (o objecto de cifra já deve estar inicializado)

    ... depois podem-se chamar os métodos habituais das streams (p.ex., *write*) ...

- A classe *javax.crypto.CipherInputStream* decifra dados à medida que são lidos da stream
  - `public class CipherInputStream extends FilterInputStream`

- Os principais métodos desta classe são
  - `public CipherInputStream(InputStream is, Cipher c)`
    - construtor que associa a uma input stream um objecto de cifra

  ... depois usam-se os métodos habituais (p.ex., *read*) …

Exemplo

```
//gerar uma chave aleatória para utilizar com o AES
KeyGenerator kg = KeyGenerator.getInstance("AES");
kg.init(128);
SecretKey key = kg.generateKey();

Cipher c = Cipher.getInstance("AES");
c.init(Cipher.ENCRYPT_MODE, key);
```

```
// faltam buffered streams
FileInputStream fis;
FileOutputStream fos;
CipherOutputStream cos;

fis = new FileInputStream("c:\\tmp\\a.txt");
fos = new FileOutputStream("c:\\tmp\\a.cif");

cos = new CipherOutputStream(fos, c);
byte[] b = new byte[16];
while ((i=fis.read(b) ) != -1) {
    cos.write(b, 0, i);
}
cos.close();
```

- Geração de chaves
  - KeyGenerator
- Chaves
  - Key
  - SecretKey
- Cifras
  - Cipher
  - **Streams**
    - CipherOutputStream
    - CipherInputStream

```
// byte[] keyEncoded = key.getEncoded();

//SecretKeySpec keySpec2 = new SecretKeySpec(keyEncoded, "AES");
//SecretKeySpec é subclasse de secretKey
//c.init(Cipher.DECRYPT_MODE, keySpec2);
```

Password-based Encryption

```
String password = "Come you spirits that tend on mortal thoughts";
byte[] salt = { (byte) 0xc9, (byte) 0x36, (byte) 0x78, (byte) 0x99, (byte) 0x52, (byte) 0x3e, (byte) 0xea, (byte) 0xf2 };

// Generate the key based on the password
PBEKeySpec keySpec = new PBEKeySpec(password.toCharArray(), salt, 20);  // pass, salt, iterations
SecretKeyFactory kf = SecretKeyFactory.getInstance("PBEWithHmacSHA256AndAES_128");
SecretKey key = kf.generateSecret(keySpec);

// ENCRYPTION: Lets check that the two keys are equivalent by encrypting a string
Cipher c = Cipher.getInstance("PBEWithHmacSHA256AndAES_128");
c.init(Cipher.ENCRYPT_MODE, key);
byte[] enc = c.doFinal("Ola Joana!");
byte[] params = c.getParameters().getEncoded();  // we need to get the various parameters (p.ex., IV)

// DECRYPTION: Now lets see if we get the original string  (NOTE: get key exactly as above)
AlgorithmParameters p = AlgorithmParameters.getInstance("PBEWithHmacSHA256AndAES_128");
p.init(params);
Cipher d = Cipher.getInstance("PBEWithHmacSHA256AndAES_128");
d.init(Cipher.DECRYPT_MODE, key, p);
byte [] dec = d.doFinal(enc);
```

Síntese Criptográfica (ou *hash* ou *digest*)

- As classes a seguir possibilitam a criação e verificação de sínteses criptográficas de mensagens
- Tanto o fornecedor por omissão da Sun como o JCE (*Java Cryptography Extension*) oferecem implementações destas classes

Classe *MessageDigest* (1)

- A classe *java.security.MessageDigest* oferece um conjunto de métodos que possibilitam a criação e verificação de uma síntese de mensagem
  - `public abstract class MessageDigest extends MessageDigestSpi`
- Como com todas as classes motor, utilizam-se os seguintes métodos para se obter uma instância da classe
  - `public static MessageDigest getInstance(String algorithm)`
  - `public static MessageDigest getInstance(String algorithm, String provider)`
- Tendo um referência para a instância podem-se chamar os métodos
  - `public void update(byte input)`
  - `public void update(byte[] input)`
  - `public void update(byte[] input, int offset, int length)`

  para calcular uma síntese; chamadas consecutivas a estes métodos adicionam mais bytes aos dados que se quer calcular a síntese

Classe *MessageDigest* (2)

- `public byte[] digest( )`
  - retorna a síntese dos dados acumulados até este momento (através do método *update*) **e reinicializa o estado interno** do algoritmo para que uma nova síntese possa ser calculada
- **`public byte[] digest(byte[] input)`**
  - semelhante ao anterior, mas executa o *update(input)* e depois chama *digest()*
- `public int digest(byte[] output, int offset, int len)`
  - semelhante aos anteriores, mas a síntese é colocada em *output* no máximo *len* bytes (embora a maioria das implementações não devolvam sínteses parciais e por isso gera uma excepção caso não haja espaço suficiente)
- `public boolean isEqual(byte digestA[], byte digestB[] )`
  - comparar se duas sínteses são iguais
- `public void reset( )`
  - reinicializar o estado interno, descartando a informação acumulada
- `public final int getDigestLength( )`
  - retorna o número de bytes que tem a síntese devolvida por *digest()*
- `public final String getAlgorithm( )`
  - devolve o nome do algoritmo (p.ex., SHA)

Exemplo do uso de síntese

Objetivo: Criar o ficheiro *test*, e escrever uma mensagem *"This … thee."* juntamente com sua síntese criptográfica.

```
public class WriteFile {
    public static void main(String args[]) throws Exception {
        FileOutputStream fos = new FileOutputStream("test");
        MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA");
        ObjectOutputStream oos = new ObjectOutputStream(fos);
        String data = "This have I thought good to deliver thee, "+
            "that thou mightst not lose the dues of rejoicing " +
            "by being ignorant of what greatness is promised thee.";
        byte[] buf = data.getBytes( );
        byte[] hash = md.digest(buf);
        oos.writeObject(data);
        oos.writeObject(hash);
        fos.close();
    }
}
```

Exemplo de leitura e verificação de síntese

Objetivo: Criar o ficheiro *test* e verificar se não foi corrompido.

```
public class VerifyFile {
    public static void main(String args[]) throws Exception {
        FileInputStream fis = new FileInputStream("test");
        ObjectInputStream ois = new ObjectInputStream(fis);
        Object o = ois.readObject( );
        if (!(o instanceof String)) {
            System.out.println(“error");
            System.exit(-1);
        }
        String data = (String) o;
        byte origDig[] = (byte []) ois.readObject( );
        // devia-se validar “origDig” como em “data”
        MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA");
        if (MessageDigest.isEqual(md.digest(data.getBytes()), origDig))
            //método isEqual faz apenas uma comparação byte a byte
            System.out.println("valid");
        else
            System.out.println("Message was corrupted");
        fis.close();
    }
}
```

MAC – *Message Authentication Code*

- Criação de um *hash* seguro que utiliza uma chave secreta partilhada entre os dois interlocutores
- O JCE por omissão da JVM oferece algumas realizações

Classe *Mac*

- A classe *javax.crypto.Mac* do JCE pode ser realizada com algoritmos de síntese, tendo os seguintes nomes *HmacMD5*, *HmacSHA1, HmacSHA256, …*
  (http://docs.oracle.com/javase/8/docs/technotes/guides/security/StandardNames.html#Mac)
- A interface e modo de uso é relativamente semelhante ao *MessageDigest*, sendo necessário obter uma instância (método estático *getInstance(…)*) antes de se poderem invocar os seguintes métodos
  - `public void init(SecretKey sk)`
  - `public void init(SecretKey sk, AlgorithmParameterSpec aps)`
    - inicializa o algoritmo com uma dada chave e parâmetros
  - `public byte[] doFinal( )`
  - **`public byte[] doFinal(byte[] input)`**
  - `public void doFinal(byte[] output, int offset)`
    - calcula e devolve o MAC (usada em vez do *digest()*)
  - *os demais métodos são semelhantes (p.ex., o update())*

Exemplo em que se guarda um MAC

Escreve o texto no ficheiro *test* e adiciona um MAC gerado a partir de uma chave secreta.

```
public class WriteFileWithMac {
    public static void main(String args[]) throws Exception {
        FileOutputStream fos = new FileOutputStream("test");
        Mac mac = Mac.getInstance("HmacSHA1");
        SecretKey key = … //obtém a chave secreta de alguma forma
        mac.init(key);
        ObjectOutputStream oos = new ObjectOutputStream(fos);
        String data = "This have I thought good to deliver thee, ......";
        byte buf[] = data.getBytes( );
        mac.update(buf);
        oos.writeObject(data);
        oos.writeObject(mac.doFinal( ));
        fos.close();
    }
}
```

```
// args[0] = alias; args[1] = password
// args[2] = keystore location
KeyStore ks = KeyStore.getInstance(
      KeyStore.getDefaultType());
FileInputStream fis = new
                FileInputStream(args[2]);
ks.load(fis, null);
SecretKey key = ks.getKey(args[0],
                args[1].toCharArray());
```

A verificação pode ser feita de forma semelhante!