Módulo III

Aplicações Correntes da Criptografia

Módulo III.A

Online Certificate Status Protocol OCSP

Introdução

- Há aplicações em que os riscos associados à utilização indevida de um certificado revogado podem não ser aceitáveis.

- Em alternativa ou adição à consulta de uma CRL, pode ser necessária informação actual sobre o estado de revogação de um certificado.

- O OCSP permite a uma aplicação determinar o estado de um certificado, com uma frescura temporal maior do que é possível com uma CRL, ou mesmo para obter informação adicional sobre o certificado.

- O Cliente OCSP emite um pedido a um Responder OCSP (Servidor) e suspende a aceitação do certificado até que este forneça uma resposta.

- Quando uma CA suporta este serviço, isso deve ser indicado nos certificados através da extensão `AuthorityInfoAccess`.

Pedidos OCSP

- Um pedido OCSP contém a seguinte informação, podendo ser assinados:
  - Versão do protocolo
  - Identificação do serviço requisitado
  - Identificador do certificado alvo
  - Extensões opcionais

- O processamento de um pedido pelo Responder passa pelas seguintes fases:
  - Verificação do formato da mensagem.
  - Verificação de que o servidor está configurado para fornecer o serviço requisitado.
  - Verficação de que o pedido contém toda a informação necessária.
  - Construção da resposta.

Pedidos OCSP$_{cont}$

- Num pedido OCSP, os certificados para os quais é solicitada a informação de revogação são indicados numa lista de estruturas ASN.1 `CertID`:

```
CertID          ::=     SEQUENCE {
    hashAlgorithm       AlgorithmIdentifier,
    issuerNameHash      OCTET STRING,
                         -- Hash of Issuer's DN
    issuerKeyHash       OCTET STRING,
                         -- Hash of Issuers public key
    serialNumber        CertificateSerialNumber }
```

- A CA emissora de cada certificado é indicada através de valores de hash do seu *Distinguished Name* e da sua chave pública.

Respostas OCSP

- As respostas OCSP consistem
  - num **identificador do tipo da resposta** e
  - numa **sequência de bytes com seu conteúdo**.

- As respostas OCSP são assinadas digitalmente por uma das seguintes entidades:
  - A CA que emitiu o certificado em questão.
  - Um Trusted Responder, i.e. um Responder em cuja chave pública o cliente confie.
  - Um CA Designated Responder i.e. um Responder autorizado pela CA que emitiu o certificado em questão (detentor de um certificado com uma extensão específica para este fim – `extendedKeyUsage` – emitido pela mesma CA).

Respostas OCSP$_{cont}$

- O conteúdo da resposta consiste nos seguintes itens:
  - A versão da sintaxe da resposta.
  - O nome do Responder.
  - **Respostas para cada um dos certificados contidos no pedido**.
  - Uma assinatura digital da resposta.

- Para cada certificado é enviada a seguinte informação:
  - O identificador do certificado alvo.
  - O estado do certificado: **good**, **revoked** ou **unknown**.
  - Período de validade da resposta.

- Uma resposta **good** significa apenas que não foi encontrado nenhum registo de revogação. Não indica que o certificado sequer exista!

Respostas OCSP$_{cont}$

- A indicação da validade da resposta pode ser feita de três formas diferentes:
  - **thisUpdate** Hora a que o Responder sabe que a resposta é correcta.
  - **nextUpdate** Hora a que o Responder sabe que vai ser capaz de fornecer uma resposta actualizada. Se não for indicada indica que qualquer nova resposta conterá informação actualizada.
  - **producedAt** Hora a que o Responder assinou a resposta.

- A validação de uma resposta OCSP por parte de um cliente implica verificar que:
  - há correspondência entre os certificados do pedido e da resposta.
  - a assinatura da resposta é válida e provém de um agente autorizado.
  - a validade da resposta é suficientemente recente.

Respostas OCSP$_{cont}$

- No serviço OCSP básico a resposta usa a seguinte estrutura ASN.1:

```
ResponseData ::= SEQUENCE {
   version                 [0] EXPLICIT Version DEFAULT v1,
   responderID                 ResponderID,
   producedAt                  GeneralizedTime,
   responses                   SEQUENCE OF SingleResponse,
   responseExtensions      [1] EXPLICIT Extensions OPTIONAL }

SingleResponse ::= SEQUENCE {
   certID                          CertID,
   certStatus                      CertStatus,
   thisUpdate                      GeneralizedTime,
   nextUpdate       [0]     EXPLICIT GeneralizedTime OPTIONAL,
   ...  }
```

OCSP Serviços Extendidos

- O OCSP é standardizado no RFC2560. Neste documento é apenas definido o serviço básico descrito anteriormente.

- A IETF publicou entretanto um Internet Draft definindo o OCSP V2, uma extensão à funcionalidade básica que define três serviços:
  - Online Revocation Status (ORS)
  - Delegated Path Validation (DPV)
  - Delegated Path Discovery (DPD)

- O serviço é indicado numa extensão incluída nos pedidos OCSP no campo `requestExtensions`.

- O ORS corresponde à funcionalidade básica e é o caso default i.e. quando nenhum serviço é indicado trata-se de uma invocação do ORS.

Delegated Path Validation

- Este serviço permite a uma aplicação transferir o processamento da validação de cadeias de certificados complexas para um servidor central.

- Isto permite simplificar as aplicações cliente, reduzindo ao mínimo a funcionalidade de validação de certificados a implementar.

- O protocolo permite que a aplicação cliente controle os aspectos essenciais do comportamento do servidor, por exemplo:
  - Restringir as cadeias de certificação que o servidor deve aceitar.
  - Se o servidor se deve basear em CRLs e/ou OCSP para fazer a validação.
  - Quais as políticas de certificação que são relevantes para a aplicação.

Delegated Path Discovery

- Este serviço permite a uma aplicação que processe certificados obter do servidor a informação disponível sobre um certificado e a sua revogação: cadeias de certificados, CRLs, respostas de outros servidores OCSP, etc.

- Deste modo, a aplicação pode validar certificados obtendo informação de todos os pontos de acesso à PKI disponíveis no servidor OCSP e.g. X.500, LDAP, HTTP, FTP, etc.

- Tal como no serviço anterior, a aplicação pode controlar diversos aspectos da operação do servidor:
  - Restringir as cadeias de certificação que o servidor deve aceitar.
  - Quais as políticas de certificação que são relevantes para a aplicação.
  - Mecanismo interactivo de selecção de uma cadeia de validação aceitável para o cliente em termos de políticas de certificação.

Módulo III.B

Pretty Good Privacy (PGP)

Introdução

- O PGP é uma aplicação freeware desenvolvida por Phil Zimmermann com o objectivo de colocar uma infraestrutura para protecção de informação, i.e. manutenção de privacidade, à disposição do cidadão comum.

- O lançamento deste software causou alguma polémica nos EUA devido às leis que restringiam a difusão e utilização generalizada da chamada *strong cryptography*.

- Até hoje prevalece a ideia, nomeadamente nos EUA, de que a utilização do PGP é ilegal.

- Um argumento apresentado a favor da utilização do PGP, e contra as restrições ao uso de sistemas de protecção da privacidade é: "se a protecção de informação é ilegalizada apenas os fora-da-lei conseguem ter privacidade!"

Funcionamento do PGP

- O PGP é um sistema com três vertentes principais: privacidade, integridade e autenticação, e certificação.

- **Privacidade** Define um conjunto de regras para a utilização de algoritmos de compressão, cifras simétricas e assimétricas na protecção de informação, nomeadamente ficheiros e mensagens de e-mail.

- **Integridade e Autenticação** Define um conjunto de regras para a utilização de funções de hash criptográficas e algoritmos de assinatura digital para a assinatura de mensagens e documentos.

- **Certificação** Define um conjunto de regras para o estabelecimento de relações de confiança e distribuição de chaves públicas com base num esquema certificação próprio, alternativo à PKI e ao X.509.

Cifragem

- Quando um utilizador cifra um texto limpo utilizando o PGP, o primeiro passo é a compressão dessa informação.

- A compressão tem duas vantagens:
  - Poupa espaço e largura de banda.
  - Esconde padrões existentes no texto limpo aumentando a segurança.

- O segundo passo consiste na criação de uma chave de sessão. A chave secreta é criada utilizando um gerador de números (pseudo-)aleatórios.

- A aleatoriedade deste gerador baseia-se na monitorização de movimentos do rato.

Cifragem$_{cont}$

- A mensagem comprimida é depois cifrada com a chave de sessão utilizando um algoritmo de cifra simétrica.

- Finalmente, a chave de sessão é cifrada com a chave pública do destinatário utilizando um algoritmo de cifra assimétrica.

- A mensagem PGP é constituida pelos dois criptogramas: é um envelope digital.

- O processo de decifragem é inverso:
  - Decifragem da chave secreta utilizando a chave privada do destinatário.
  - Recuperação da mensagem comprimida utilizando a chave de sessão.
  - Descompressão do texto limpo.

Assinaturas Digitais

- O PGP permite efectuar assinaturas digitais sobre documentos, de duas formas:
  - Assinaturas que permanecem ligadas aos documentos a que correspondem, na forma de attachments.
  - Assinaturas que existem isoladamente dos documentos a que correspondem. Para quê?

- As assinaturas geradas pelo PGP seguem o procedimento standard:
  - Primeiro o documento é passado por uma função de hash criptográfica.
  - O valor de hash é então assinado com a chave privada do utilizador utilizando um algoritmo de assinatura digital.

Chaves

- O PGP armazena as chaves que um utilizador conhece em dois ficheiros denominados **keyrings**:
  - **Private Keyring** Ficheiro onde o PGP guarda as chaves privadas do utilizador (cifradas com PBE utilizando uma $passphrase$).
  - **Public Keyring** Ficheiro onde o PGP guarda as chaves públicas dos interlocutores do utilizador.

- As chaves públicas conhecidas por um utilizador pertencem a outros utilizadores do sistema PGP.

- A introdução destas chaves públicas no sistema do utilizador pode ser feita directamente, apresentando o seu valor numérico, ou através de certificados PGP trocados com outros utilizadores.

Certificação

- Um certificado PGP contém os seguintes itens de informação:
  - A versão do PGP utilizada.
  - Uma chave pública e informação sobre o seu tipo.
  - A identificação do detentor da chave privada correspondente à chave pública. Esta informação pode incluir um User ID, endereço de e-mail, número do ICQ, uma fotografia, etc.
  - O período de validade do certificado.
  - O algoritmo de cifra simétrica preferido pelo titular para receber informação cifrada.
  - A assinatura do detentor da chave pública, que atesta a associação identidade/chave pública, e demonstra o conhecimento da chave privada (**self-signature**).
  - Assinaturas de outros utilizadores PGP que corroboram a informação patente no certificado, ou parte dela.

Certificação$_{cont}$

- Um certificado PGP pode incluir diversas instancias/versões da identidade do utilizador assinadas separadamente por diversos utilizadores.

- As grandes diferenças entre os certificados PGP e os certificados X.509 são evidentes:
  - Os emissores de certificados PGP são utilizadores comuns do sistema PGP.
  - A confiança não é transitiva: A confia em B e B confia em C, não implica que A confia em C.
  - Não existe a figura de $agente\ de\ confiança$ ou de hierarquia/cadeia de certificação.

- Cada certificado pode ser assinado por vários utilizadores PGP. Pode dizer-se que a credibilidade de um certificado PGP pode ser reforçada desta forma.

Certificação$_{cont}$

- Cada utilizador do PGP tem de decidir quais são os utilizadores em que confia para assinar certificados. Por exemplo:
  - "Confio em B quando este assina um certificado que o indica como o titular da chave K_B", ou
  - "Confio em B quando este assina um certificado que indica C como o titular da chave K_C".

- Quando um utilizador se assegura (de uma forma que julgue segura) de que uma chave pública pertence a um utilizador, pode assinar a cópia dessa chave no seu Keyring.

- Se assim pretender, o utilizador pode exportar esse certificado PGP para um **PGP Key Server** (repositório de certificados PGP) para que outros utilizadores possam usufruir dessa informação.

Confiança e Validade de Chaves Públicas

- Uma forma de testar a validade de uma chave pública é através de um processo manual qualquer e.g. exigir que o destinatário de uma mensagem cifrada entregasse em mãos uma cópia da sua chave pública.

- Outra forma é confiar em alguém que afirma ter feito esse tipo de validação. Numa PKI, este é o papel de uma autoridade de certificação.

- O PGP permite estas duas formas de aceitar uma chave pública como válida e acrescenta-la ao Keyring do utilizador.

- Em termos de relações de confiança, diz-se que o PGP permite implementar três modelos: **confiança directa**, **confiança hierarquica** e **rede de confiança**.

Confiança Directa

- O modelo de confiança directa é o mais básico.
- Cada par de utilizadores troca as suas chaves públicas entre si, directamente.
- A validação das chaves públicas e o estabelecimento da confiança resultam sempre de uma relação em primeiro grau.
- Por outras palavras, nenhum utilizador confia em intermediários no estabelecimento de confiança numa chave pública.
- É equivalente à relação de confiança estabelecida entre uma entidade e uma Root CA dentro de uma PKI.

Confiança Hierárquica

- É equivalente às cadeias de certificação da PKI.
- No PGP existem dois tipos de agentes de confiança:
  - **Trusted Introducer** É um utilizador em que se confia para certificar chaves públicas de outros utilizadores.
  - **Meta Introducer** É um utilizador PGP no qual se confia, não só para certificar chaves públicas, mas também para indicar outros utilizadores PGP como **Trusted Introducers** válidos. É equivalente a uma Root CA.
- Com o PGP é possível implementar uma hierarquia de relações de confiança semelhante à existente numa PKI.
- Por exemplo, reconhecendo um Meta Introducer e certificando este alguns Trusted Introducers obtém-se uma "PKI" com dois níveis hierárquicos.

Rede de Confiança

- A Rede (Teia) de Confiança é um modelo misto, em que se utilizam os dois anteriores.

- É um modelo mais próximo da visão da confiança que existe no mundo real, e evidencia o facto de que a confiança é um conceito que depende da perspectiva do utilizador.

- A validação de uma chave pública pode ser obtida directamente, ou através de uma cadeia que termina com um Meta Introducer ou com um conjunto suficientemente grande de Trusted Introducers.

- O PGP introduz o conceito de "aritmética" nas relações de confiança através do qual é possível construir confiança de uma forma cumulativa.

Níveis de Confiança e Validade

- Armazenado no Public Keyring de um utilizador PGP está a seguinte informação:
  - Se o utilizador considera uma determinada chave pública válida.
  - O nível de confiança que o utilizador deposita nessa chave e, em particular no titular dessa chave, para certificar as chaves de outros utilizadores.

- O mais alto nível de confiança é a **Confiança Implícita** que é aquela que se deposita na nossa chave pública.

- Isto significa que o PGP assume que o utilizador confia em tudo o que foi assinado com a sua própria chave pública.

Níveis de Confiança e Validade$_{cont}$

- Às chaves públicas dos outros utilizadores podem ser atríbuidos três níveis de confiança:
  - **Completa** O titular da chave é aceite como um Trusted Introducer digno de confiança.
  - **Marginal** O titular da chave não é aceite como Trusted Introducer, mas a informação por ele fornecida pode ser utilizada na validação de chaves públicas.
  - **Nula** Não se confia neste utilizador para certificar chaves públicas de outros utilizadores.

- A validação automática de uma chave pública requer pelo menos:
  - Certificação utilizando uma chave pública com confiança completa, ou
  - Certificação por duas chaves públicas com confiança marginal.

Revogação de Certificados

- Um utilizador PGP pode, em qualquer altura, revogar uma assinatura (certificação) sua: basta que ainda possua a mesma chave prívada.

- Isto significa simplesmente que aquele utilizador já não acredita que a chave pública em questão seja válida. Mas . . .

- Se um utilizador reconhece uma chave como válida devido a assinaturas em que confia marginalmente, a revogação de uma dessas assinaturas pode não implicar a invalidação da chave.

- No entanto, o PGP permite sempre a um utilizador invalidar totalmente a sua própria chave directamente, ou através de outro utilizador: o **revoker**. O revoker é designado na altura da emissão do certificado.

- Uma revogação é geralmente distribuida via um PGP Key Server.

Ficha Técnica

- **Cifras Simétricas**: CAST, Triple-DES, IDEA, Two-Fish
- **Algoritmos de Compressão**: ZIP
- **Funções de Hash Criptográficas**: SHA-1, MD-5 (versões mais antigas)
- **Cifras Assimétricas**: RSA, El Gamal
- **Assinaturas Digitais**: RSA, Digital Signature Algorithm

Módulo III.C

Internet Protocol Security (IPsec)

Introdução

- O protocolo IP (Internet Protocol) está ao nível da camada de rede do Modelo OSI. Fornece essencialmente serviços de encaminhamento de pacotes através de redes heterogéneas.

- A maior parte das infraestruturas de comunicação na Internet são baseadas neste protocolo, conjuntamente com o TCP (TCP/IP).

- O IPsec fornece o mesmo conjunto de serviços, mas inclui funcionalidade extra ao nível da seguraça.

- Estes serviços são oferecidos ao nível da camada de rede, oferecendo protecção não só esse nível, mas também a todas as camadas superiores.

- O IPsec está definido nas especificações RFC2401, e seguintes, da IETF.

Introdução$_{cont}$

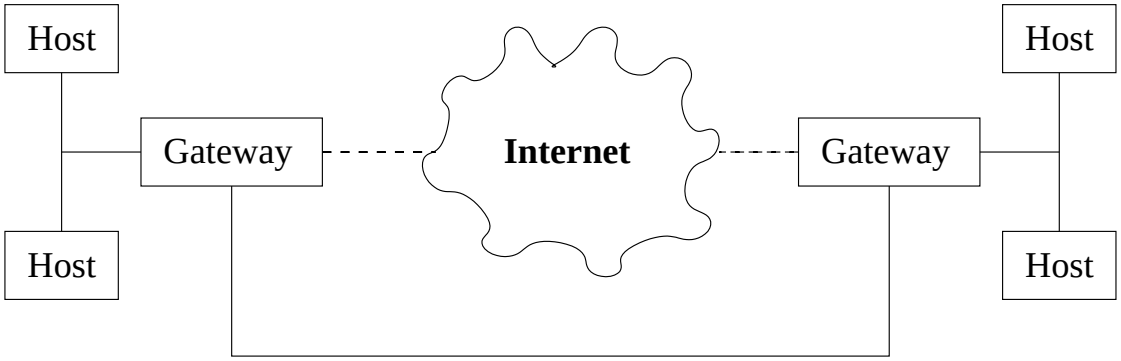
- O IPsec oferece os seguintes serviços seguros ao nível da camada de rede:
  - Controlo de acessos
  - Integridade ao nível do pacote
  - Autenticação da origem de dados
  - Protecção contra pacotes repetidos
  - Confidencialidade
  - Confidencialidade de parte do tráfego

- Estes serviços permitem proteger ligações de rede entre nós IP, entre gateways seguras, ou entre um nó IP e uma gateway segura.

- Não substituem os serviços IP. São módulos adicionais que podem ser implementados e utilizados consoante o contexto e as necessidades das aplicações.

Revisão do Protocolo IP

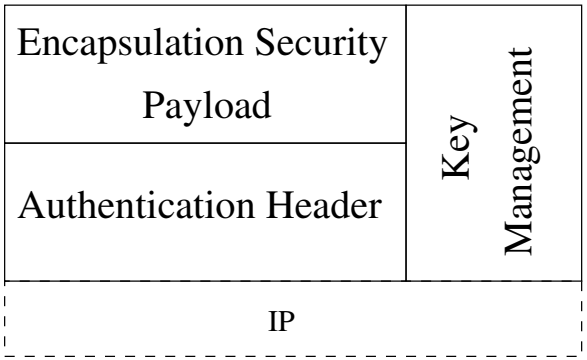
- Funcionamento:



  - Dentro de uma rede local, cada nó constroi um pacote IP incluindo os endereços de origem e destino no cabeçalho.
  - A comunicação com redes remotas é feita passando os pacotes a uma gateway: o endereço da gateway encapsula o verdadeiro.
  - A gateway substitui o encapsulamento reencaminhando o pacote. A gateway da rede remota retira o encapsulamento.

Estrutura do IPsec

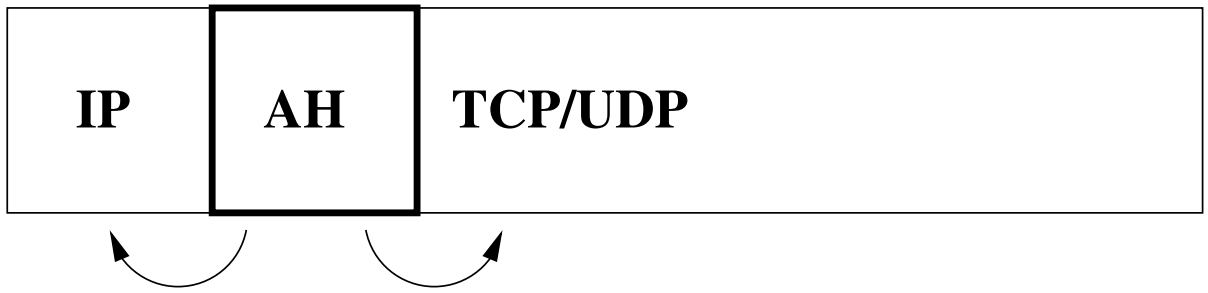
- O IPsec está estruturado em duas sub-camadas:



- As duas sub-camadas são apoiadas por procedimentos e protocolos de gestão de chaves criptográficas (manuais ou automáticos).

- Os protocolos estão especificados de forma a serem independentes de algoritmos criptográficos. No entanto, alguns destes algoritmos estão pré-definidos.

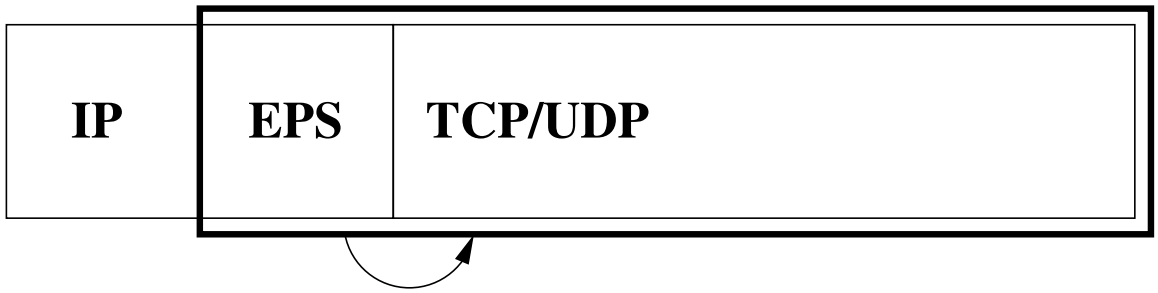
IP Authentication Header



- A sub-camada **IP Authentication Header** (AH) inclui serviços de integridade ao nível dos pacotes, autenticação da origem de dados e, opcionalmente, protecção contra a repetição de pacotes.

- Recorre-se ao AH quando se pretende autenticação da informação correspondente à camada de rede (cabeçalho IP), ou quando a confidencialidade não é necessária (ou permitida).

Encapsulating Security Payload



- A sub-camada **Encapsulating Security Payload** (ESP) fornece confidencialidade (cifragem) da totalidade ou de apenas parte do tráfego.

- Como opções, o ESP oferece autenticação, verificação de integridade, e protecção contra pacotes repetidos. No entanto, esta funcionalidade abrange apenas informação correspondente às camadas de transporte e superiores (não trata o cabeçalho IP).

- Apesar disto, o ESP pode ser, e geralmente é, utilizado isoladamente.

Modos de Funcionamento

- Consoante o tipo de nós envolvidos, pode funcionar em dois modos:
  - **Transport Mode** – Operam sobre os cabeçalhos IP originais.
    - Apenas serve para ligações host-host
    - Com ESP não há protecção dos cabeçalhos IP (interferiria com a infraestrutura IP).
    - Com AH, há uma protecção parcial desses cabeçalhos.
  - **Tunnel Mode** – Operam sobre cabeçalhos IP encapsulados.
    - Corresponde a um túnel IP (caminho virtual entre nós).
    - Típicamente utilizado em ligações com/entre gateways
    - A protecção alcança todo o pacote original.
    - Diferenças entre AH e ESP mantêm-se, mas apenas para o cabeçalho exterior.
    - Para as camadas superiores, estas ligações aparecem como interfaces de rede adicionais.

Security Associations e SADs

- A gestão do IPsec baseia-se no conceito de **Security Association** (SA).
- Uma SA é uma ligação simplex identificada por três parâmetros incorporados nos cabeçalhos IPsec:
  - **IP Destination** Define o endereço de destino dos pacotes.
  - **IPsec Protocol** O protocolo IPsec (AH ou ESP) utilizado pela SA.
  - **Security Parameter Index** (SPI) Número de 32 bits que distingue SAs do mesmo tipo.
- Associados a este identificador estão todos os parâmetros de funcionamento necessários para a codificação e descodificação dos pacotes enviados através da ligação segura representada pela SA.
- Cada nó IPsec regista esta informação numa Security Association Database (SAD).

Security Policy Database

- O IPsec funciona num nó (máquina ou gateway) de uma rede IP. Cada pacote que passa num nó IPsec pode ser tratado de acordo com uma de três políticas:
  - proteger o pacote com segurança IPsec,
  - enviar o pacote com IP simples, ou
  - descartar o pacote (no caso de gateways que limitam o tráfego entre redes).

- A política aplicada a cada pacote específico está armazenada numa Security Policy Database (SPD) que é gerida por um utilizador ou administrador do sistema.

- A pesquisa na tabela baseia-se em informação contida nos cabeçalhos de rede e transporte do pacote em questão: endereços IP de origem e destino, protocolo e portas de transporte (TCP/UDP).

Configuração do IPsec

- O IPsec permite grande flexibilidade na configuração:
  - dos serviços seguros que são utilizados e em que combinações;
  - da granularidade com que um determinado serviço é aplicado; e
  - dos algoritmos criptográficos utilizados em cada serviços.

- A configuração da granularidade de um serviço consiste em definir com que detalhe se distinguem os pacotes. Por exemplo:
  - podem-se cifrar todos os pacotes entre duas gateways, criando um canal seguro para todas as máquinas que utilizem essa ligação, ou . . .
  - podem cifrar-se apenas os pacotes que circulam entre duas máquinas protegendo apenas essa ligação.

Gestão de Chaves e Algoritmos Criptográficos

- O IPsec permite o funcionamento baseado em técnicas manuais de gestão de chaves.

- No entanto, este tipo de operação não é adequado em sistemas com muitos nós, onde um sistema de criação dinâmica de SAs é preferível.

- Este tipo de funcionamento implica um sistema automático de gestão de algoritmos e chaves criptográficos.

- O sistema recomendado pelo IPsec é o **Internet Key Exchange** (IKE), especificado nos RFCs 2407, 2408,2409 e 2412.

- O IKE permite a construção automática de SAs com negociação de parâmetros de comunicação e segurança, autenticação e protocolos seguros de geração e acordo de chaves.

Tratamento de Pacotes Recebidos

1. A informação contida no cabeçalho IPsec indica uma entrada na SAD:

2. Se essa entrada não existir desencadeia-se, se possível, a negociação de chaves para configurar uma nova SA. Se isto não for possível, o pacote é descartado.

3. Com base na informação associada à SA, processam-se os cabeçalhos e descodifica-se o pacote.

4. Consulta-se outra vez a SPD para saber se o pacote foi processado de acordo com a política correcta.

5. Se o processo decorrer sem problemas passa-se o pacote à camada de transporte.

Tratamento de Pacotes Enviados

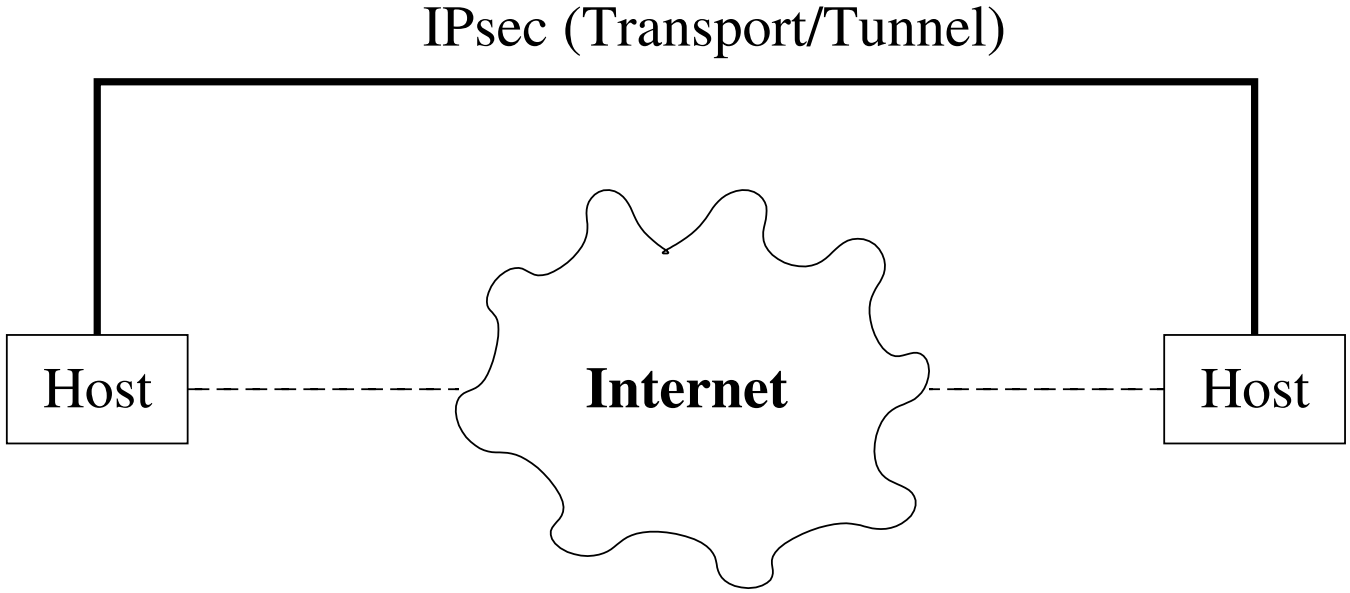
1. O pacote é procurado na SPD que indica se deve ser protegido, enviado sem protecção, ou descartado.

2. Se a opção for proteger o pacote, a SPD conterá ligações para as entradas da SAD que contêm a(s) SA(s) correspondente(s).

3. Se a SA existir, o pacote é processado em conformidade com a informação correspondente e enviado para o seu destino.

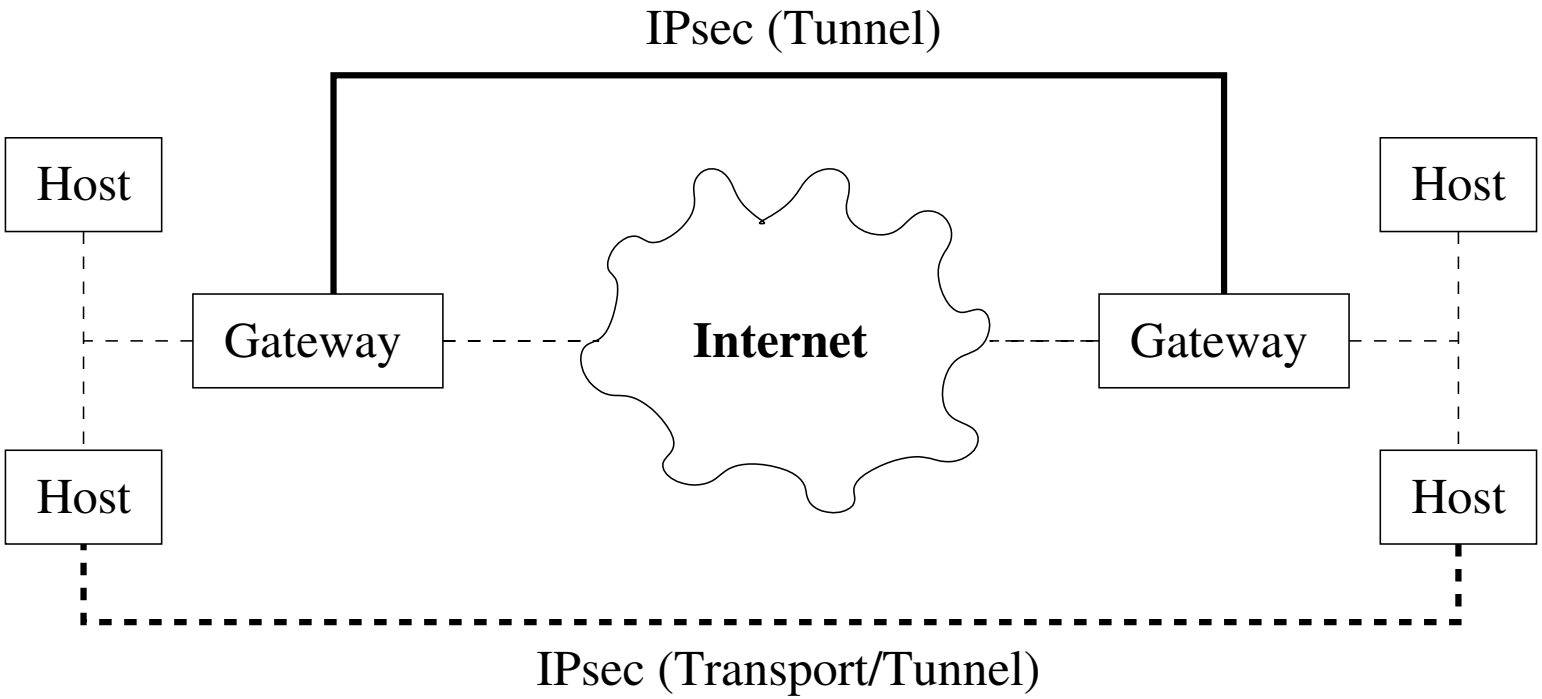
4. Se a SA não existir, e caso isso seja possível, cria-se uma nova SA com base num processo automático de negociação de chaves. Caso contrário o pacote é descartado.

Ligações Host-to-Host



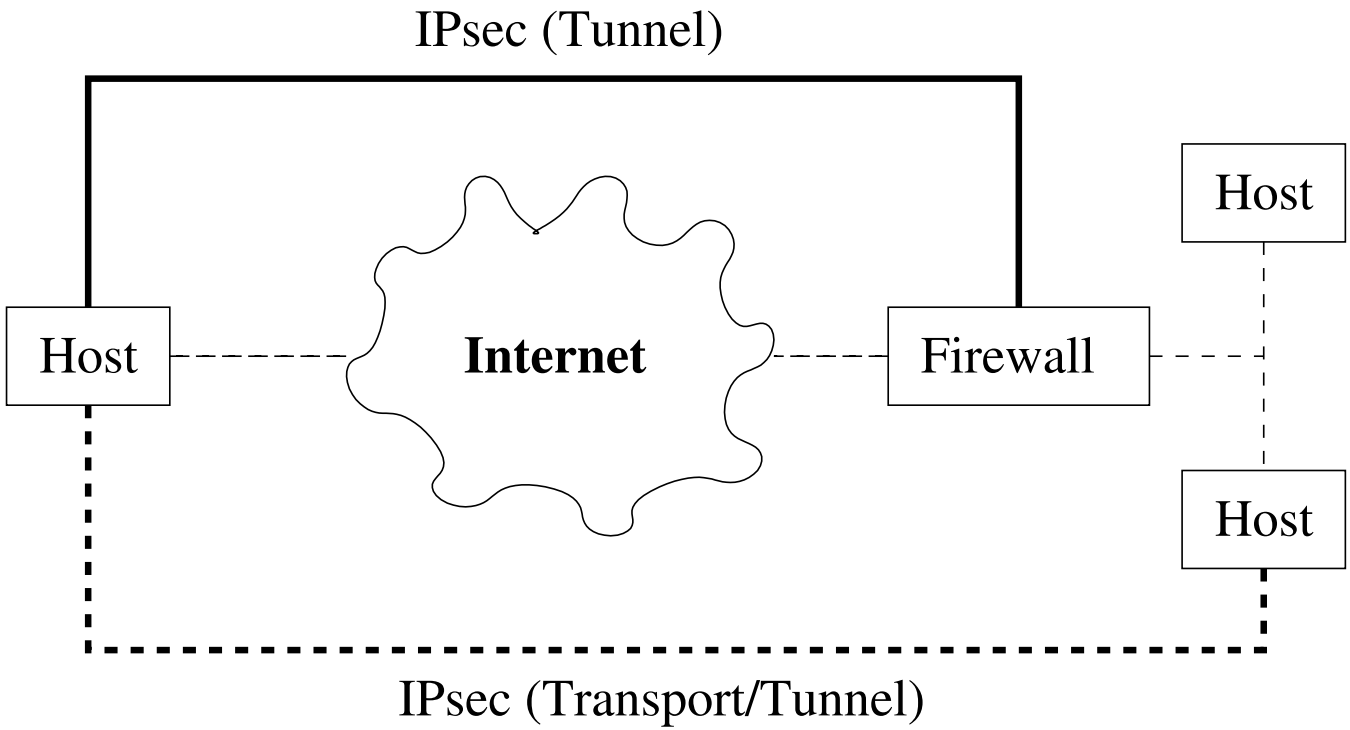
- Os pacotes trocados entre as duas máquinas são protegidos com IPsec, com base em Transport SAs.
- Pode ser utilizado o modo Tunnel, mas isso é redundante: o cabeçalho externo terá os mesmos endereços que o interno.

Virtual Private Networks (VPN)



- As gateways tornam a troca de pacotes entre redes totalmente transparente. Todo o tráfego é protegido.

Ligações remotas seguras (Road Warrior)



- Depois de a máquina externa se validar perante a firewall, passa a funcionar como se estivesse dentro da rede.

Críticas ao IPsec

- O IPsec é muito criticado pela sua complexidade, atribuída ao facto do seu desenvolvimento ter estado a cargo de um comité.

- Os principais problemas apontados são:
  - A complexidade do IPsec dificulta a sua implementação e a sua aplicação. Além disso torna virtualmente impossível uma avaliação cabal da sua segurança.
  - A documentação é muito dispersa e difícil de ler.
  - Existe demasiada flexibilidade e funcionalidades aparentemente redundantes. Por exemplo:
    * Porquê dois modos de funcionamento (transporte e túnel): se o que se pretende é mais segurança, porque não utilizar apenas o túnel?
    * porquê dois protocolos (AH e ESP) quando seria muito mais simples especificar um protocolo único, mais simples e mais consistente?

Críticas ao IPsec$_{cont}$

- Um tão elevado grau de flexibilidade torna a configuração demasiado complexa para um utilizador comum, o que pode levar a instalações com graves falhas de segurança.

- Uma questão que levantou também alguma discussão foi o facto de a autenticação no IPsec ser feita depois da cifragem. Isto contraria o chamado "princípio de Horton": *deve autenticar-se a informação necessária e suficiente para a interpretação de uma mensagem.*

- O sistema de gestão de chaves recomendado (IKE) também contribui para as críticas ao IPsec: é demasiado genérico, as suas especificações estão mal escritas, etc.

- Conclusão: a segurança de um sistema IPsec depende demasiado das escolhas de implementação e configuração.

Ficha Técnica

- Algoritmos obrigatórios:
  - **Cifras Simétricas**: DES (CBC)
  - **Funções de Hash Criptográficas**: SHA-1, MD-5
  - **Message Authentication Codes**: HMAC

- Os protocolos são especificados de forma independente dos algoritmos, e há uma grande flexibilidade na utilização de outros algoritmos criptográficos.

- Está prevista por exemplo a utilização de diversas cifras simétricas (3-DES, IDEA, Blowfish), do RSA, do DSA, etc.

Módulo III.D

Secure Sockets Layer (SSL)
Transport Layer Security (TLS)

Introdução

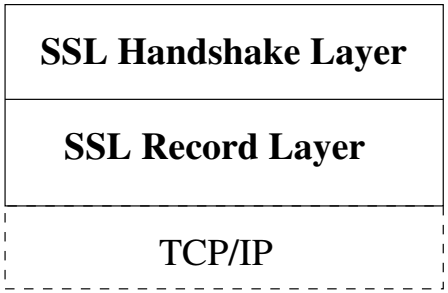
- A Secure Sockets Layer está para o TCP como o IPsec está para o IP. É um $upgrade$ da camada de transporte para incluir segurança nas comunicações.

- O SSL foi desenvolvido pela Netscape, e a sua versão 3 foi adoptada pela IETF sob a designação **Transport Layer Security** (TLS). O TLS está definido no RFC2246.

- Os serviços fornecidos pelo SSL incluem:
  - Confidencialidade baseada em cifras simétricas.
  - Autenticação baseada em criptografia de chave pública.
  - Integridade baseada em Message Authentication Codes.

Estrutura do SSL

- O SSL está estruturado em duas sub-camadas:



- A **Handshake Layer** permite a autenticação mutua entre clientes e servidores, e a negociação de algoritmos e chaves criptográficos antes de se iniciar a troca de dados através da Record Layer.

- A **Record Layer** encapsula a informação correspondente às camadas superiores.

Sessões SSL

- O funcionamento do SLL baseia-se em **sessões** estabelecidas entre um **cliente** e um **servidor**.

- Cada sessão SSL pode incluir várias ligações seguras, e cada nó pode manter diversas sessões SSL. Durante o seu estabelecimento e operação, as sessões e ligações SSL atravessam uma sequência de estados.

- Cliente e Servidor mantêm uma máquina de estados para cada sessão e ligação. A camada de Hanshake sincroniza os estados no cliente e no servidor.

- As transições entre estados efectuam-se em duas fases:
  - Primeiro constrói-se/negoceia-se um **pending state**.
  - Depois substitui-se o **operating state** pelo pending state.

Estado de uma Sessão SSL

- **Session identifier** Uma sequência arbitrária de bytes escolhida pelo servidor para identificar a sessão.
- **X509 certificate of the peer** Certificado do interlocutor.
- **Compression method** Algoritmo de compressão da informação antes de ser cifrada.
- **Cipher spec** Algoritmo de cifra simétrica (e algoritmo de hash criptográfico para utilização em MACs).
- **Master secret** Chave secreta partilhada por Cliente e Servidor e da qual são derivados todos os segredos utilizados na sessão (chaves e IVs).
- **Is resumable** Indica se a sessão pode ser utilizada para novas ligações.

Estado de uma Ligação SSL

- **Server/Client random** Números aleatórios escolhidos por Cliente e Servidor para estabelecimento da ligação.
- **Server/Client write MAC secret** Chaves utilizadas por Cliente e Servidor para efectuar MACs sobre dados transmitidos.
- **Server/Client write key** Chaves utilizadas por Cliente e Servidor para cifrar dados transmitidos.
- **Initialization vectors** Vectores de inicialização (IV) para os modos de cifra simétrica que os utilizam.
- **Sequence numbers** Contadores sequenciais das mensagens enviadas e recebidas.

Record Layer

- Esta camada recebe informação arbitrária das camadas superiores, em blocos de dados de tamanho variável.

- Os dados são **fragmentados** (ou aglutinados) em blocos com um máximo de 2^{14} bytes denominados **SSL Plaintext**.

- Os blocos SSL Plaintext são comprimidos com o algoritmo escolhido para a sessão, e transformados em blocos **SSL Compressed**.

- Os dados SSL Compressed são protegidos com a cifra e algoritmo de MAC definidos na CipherSpec da sessão (o MAC é calculado antes da cifragem). O resultado é um bloco do tipo **SSL Ciphertext**.

- Estes blocos são trocados entre Cliente e Servidor que têm de reverter estas transformações para obter o texto limpo.

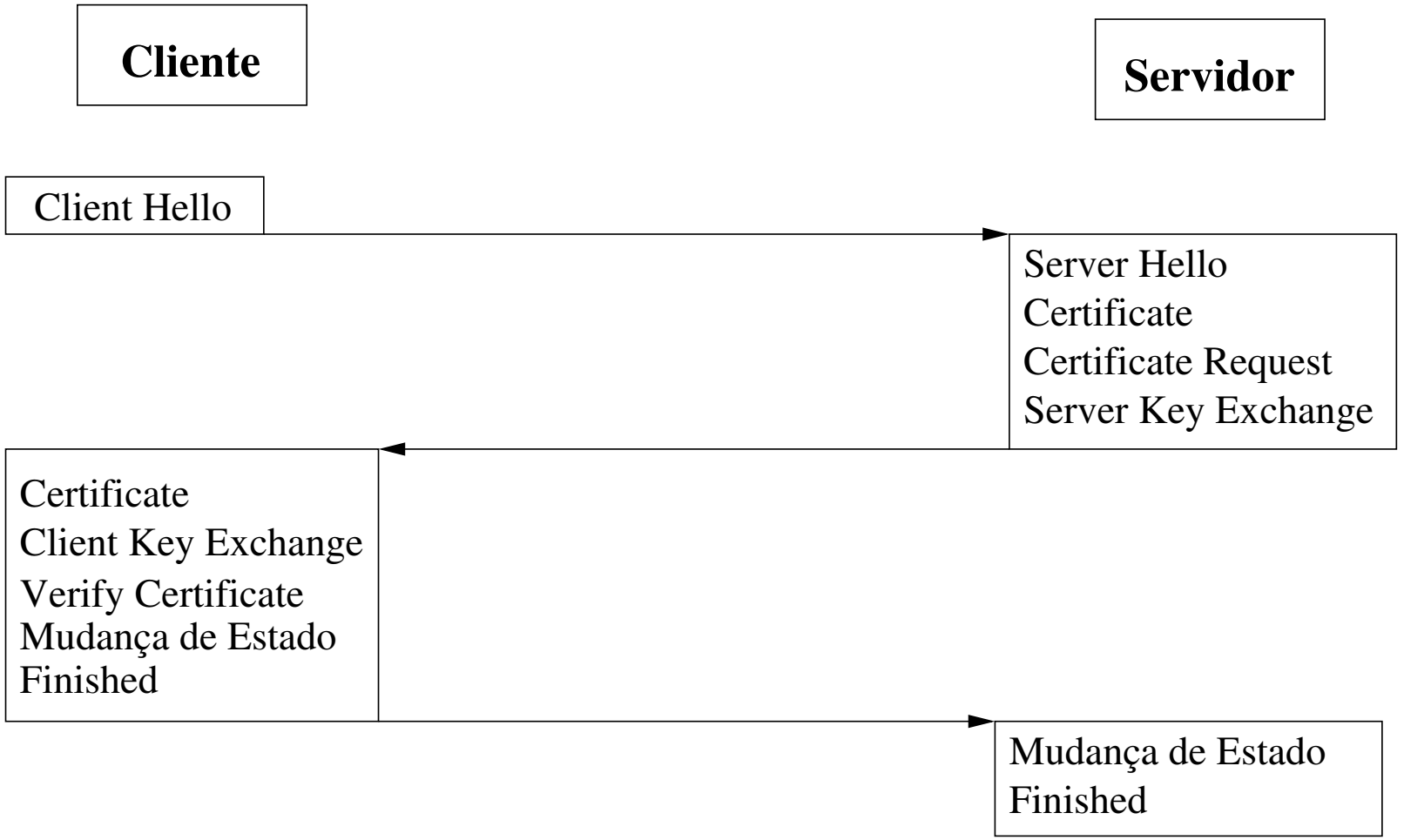
Handshake Layer

- Os parâmetros de sessão e ligação utilizados pela Record Layer são estabelecidos pela Hanshake Layer.

- As mensagens da Handshake Layer viajam elas próprias sob o controlo da Record Layer. Inicialmente não há qualquer protecção: é utilizada uma $cipher\ spec$ nula até que a primeira negociação seja concluida.

- Uma negociação é iniciada pelo Cliente com uma mensagem **Client Hello**. O Servidor deve responder com uma mensagem equivalente. Após esta troca ficam acordados:
  - A versão do protocolo SSL a utilizar
  - O identificador da sessão
  - Os algoritmos criptográficos a utilizar (os mais fortes dos suportados).
  - O algoritmo de compressão a utilizar

Handshake Layer$_{cont}$



Handshake Layer$_{cont}$

- Caso seja utilizada autenticação do Servidor, este envia o seu certificado X.509 ao Cliente, que o valida. Além da validação habitual, o Cliente assegura-se de que o nome de domínio do Servidor, indicado no certificado, está correcto.

- Parâmetros do Servidor específicos para acordo de chaves podem também ser enviados nesta fase (**Server Key Exchange**), se o seu certificado não incluir informação suficiente para esta funcionalidade.

- Caso o Servidor autentique o Cliente, solicita o certificado correspondente (**Certificate Request**). Este pedido inclui um desafio para ser utilizado na autenticação do cliente.

- O Servidor termina esta fase da negociação enviando uma mensagem **Server Hello Done**.

Handshake Layer$_{cont}$

- Caso tenha recebido um pedido de certificado, o Cliente tem de envia-lo ou a negociação falha.

- Conjuntamente com o certificado o Cliente tem de enviar uma assinatura digital do desafio que recebeu, comprovando assim a posse da chave privada associada ao certificado.

- Finalmente, o Cliente envia os seus parâmetros para acordo de chaves (**Client Key Exchange**), altera o seu estado de sessão, e envia uma primeira mensagem cifrada que indica o seu estado de prontidão (**finished**).

- O Servidor efectua o mesmo procedimento e a negociação termina tendo sido acordado o Master Secret da sessão.

Handshake Layer$_{cont}$

- A autenticação do servidor fica implicita pelo sucesso da comunicação cifrada nas mensagens **finished**, ou não?

- De facto, o servidor só fica autenticado se o protocolo de acordo de chaves implicar a utilização da sua chave privada.

- Isto acontece sempre:
  - No protocolo **RSAKeyExchange** o cliente gera um segredo e cifra-o com a chave pública do servidor. Para gerar o Master Secret, o servidor tem de decifrar este segredo com a sua chave privada.
  - Nos outros protocolos, os parâmetros públicos do servidor utilizados no protocolo de acordo de chave são assinados com a sua chave privada.

Segurança

- A versão 3 do SSL é considerada um sistema seguro. No entanto, esta versão é uma evolução em relação às versões anteriores, muito criticadas por conterem falhas de segurança importantes.

- Um dos problemas mais conhecidos na versão 2 do SSL era a vulnerabilidade a um ataque chamado "ciphersuit rollback":
  - Um intruso podia editar as mensagens de **hello** trocadas entre Cliente e Servidor de forma a que ambos pensassem que o outro apenas conseguia funcionar com um nível de segurança reduzido.
  - O resto da negociação decorria sem alterações e estabelecia-se uma ligação com um nível de segurança reduzido, mais vulnerável a ataques por parte do intruso.

- Este ataque era possível porque as mensagens de handshake não eram autenticadas!

Segurança$_{cont}$

- A versão 3 do SSL resolveu este problema obrigando a que todas as mensagens de handshake fossem utilizadas para gerar o valor cifrado nas mensagens **finished**.

- Outro ataque teóricamente possível sobre uma implementação pouco cuidada do SSL chama-se "change cipher spec dropping":
  - Quando a sessão a ser negociada inclui apenas autenticação, i.e. não inclui cifragem, as mensagens **finished** podem ser editadas retirando-se a informação de autenticação.
  - Interceptando as mensagens **change cipher spec**, impede-se a activação da autenticação. Fornecendo a Cliente e Servidor mensagens **finished** alteradas, estabelece-se uma sessão sem protecção.

- A solução para este ataque consiste em exigir uma mensagem de **change cipher spec** antes de uma mensagem **finished** nestas situações.

Ficha Técnica

- **Cifras Simétricas**: DES, 3-DES, RC4
- **Algoritmos de Compressão**: ZLIB
- **Funções de Hash Criptográficas**: SHA-1, MD5
- **Cifras Assimétricas**: RSA
- **Assinaturas Digitais**: RSA, DSA
- **Acordo de Chaves**: Fortezza, Diffie-Hellmann, distribuição RSA.

Módulo III.E

Kerberos

Introdução

- O Kerberos é um protocolo para identificação de **principals** (agentes: utilizadores, aplicações, serviços) sobre uma rede insegura, em que os pacotes podem ser lidos, modificados e inseridos por intrusos.

- O sistema não baseia a sua segurança nos endereços de rede das máquinas envolvidos, não exigindo segurança física em todas as máquinas, e não impõe restrições ao sistema operativo.

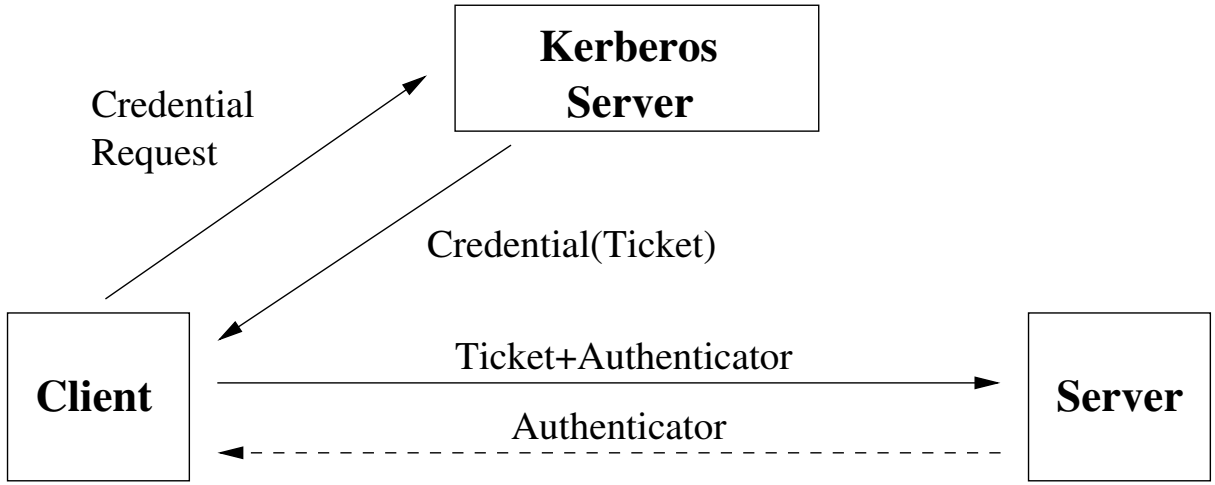
- Actualmente na versão 5, o Kerberos é utilizado na Internet com base em Internet Standards e RFCs publicados pela IETF.

- Os serviços Kerberos são oferecidos às aplicações através de uma API definida no RFC1964.

Introdução$_{cont}$

- O Kerberos baseia-se em Criptografia Simétrica e num sistema de autenticação por um agente de confiança, com pré-distribuição de chaves.
- É atribuida uma chave secreta a todas os agentes que utilizam o sistema (para os utilizadores as chaves são derivadas de passwords).
- O Kerberos mantém uma base de dados com as identidades e chaves secretas de cada agente.
- O Kerberos permite utilizar estas chaves secretas para estabelecer uma chave de sessão entre um agente Cliente e um agente Servidor.
- Essa chave de sessão é utilizada para autenticação do Cliente perante o Servidor e, opcionalmente, para autenticação do Servidor e comunicação segura entre os dois.

Autenticação Básica



- **Cliente**: utilizador, aplicação.
- **Servidor**: serviço perante o qual se efectua a autenticação.
- Todas as mensagens são definidas/codificadas utilizando ASN.1/DER.

Autenticação Básica$_{cont}$

- Em termos genéricos, uma **Credential** contém um **Ticket** e uma **Session Key** cifrados com a chave secreta pertencente ao Cliente.
- Um **Ticket** contém a identificação do Cliente e a mesma **Session Key** cifrados com a chave secreta pertencente ao Servidor.
- A chave de sessão é gerada pelo Kerberos, e é transmitida ao Cliente numa Credential.
- O Servidor obtém a mesma chave de sessão, inserida no Ticket, via Cliente. Para o Cliente, o conteúdo do Ticket é desconhecido.
- Conjuntamente com o Ticket, o Cliente envia um **Authenticator**.

Autenticação Básica$_{cont}$

- A função do Authenticator é demonstrar o conhecimento da chave de sessão, e assegurar a frescura e integridade do pedido de autenticação.

- Um Authenticator é uma mensagem autenticada por um MAC, gerado com a chave de sessão, e que contém a identidade do Cliente e um timestamp indicando o instante da sua geração.

- Um Ticket pode ser reutilizado. Um Authenticator não pode ser reutilizado.

- O processo de autenticação pode, opcionalmente, incluir a autenticação do Servidor perante o Cliente.

- Neste caso, o Servidor gera e envia ao Cliente um Authenticator semelhante ao que recebeu.

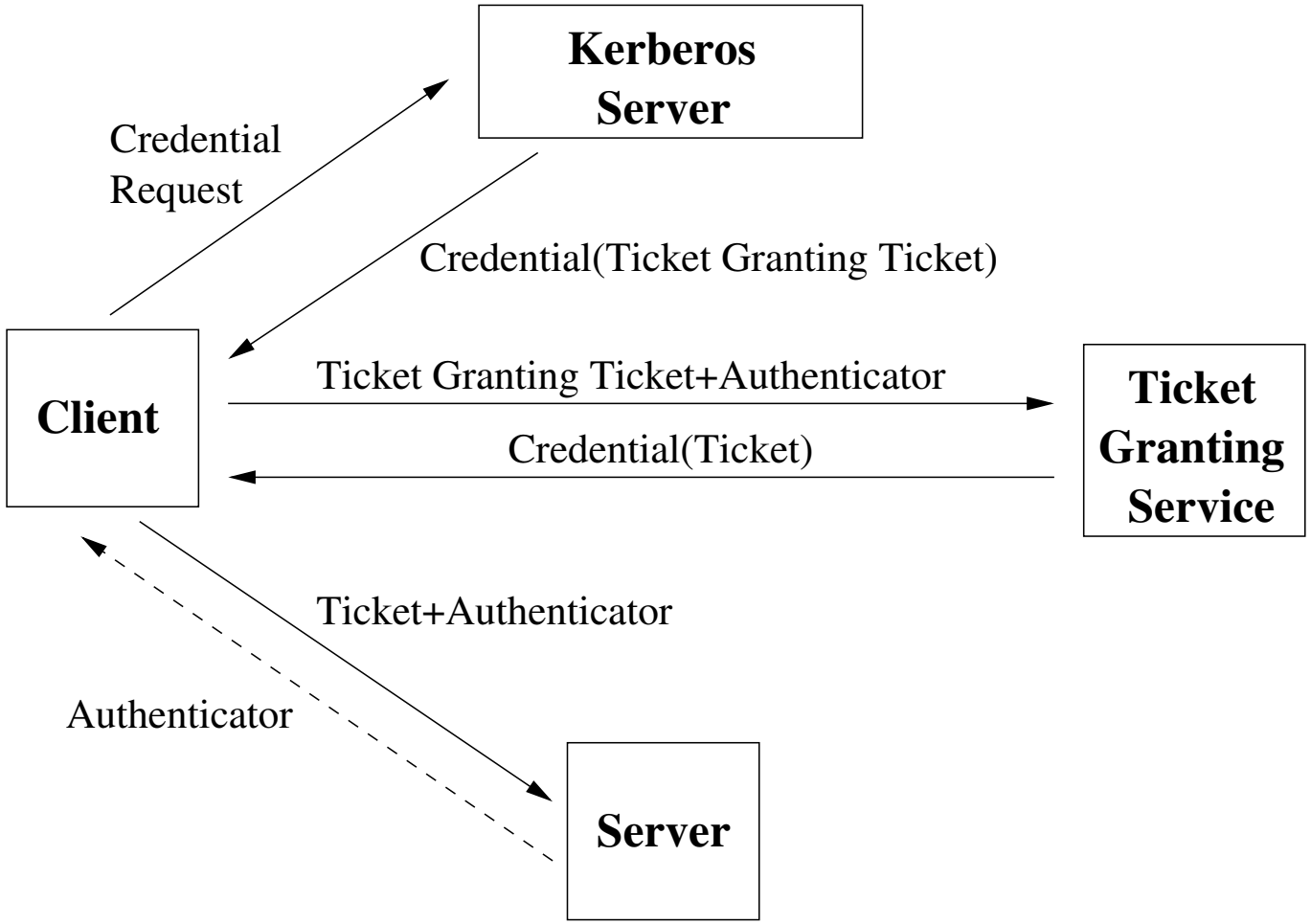
Servidor Kerberos

- Num servidor Kerberos distinguem-se dois serviços: o **Authentication Server** e o **Ticket Granting Server**.

- A obtenção de uma Credential para aceder a um qualquer Servidor é, geralmente, uma negociação com duas fases:
  - O Cliente solicita primeiro uma Credential contendo um **Ticket Granting Ticket** ao Authentication Server.
  - Um Ticket Granting Ticket é um Ticket especial que permite ao Cliente aceder ao Ticket Granting Server de forma segura.
  - Utilizando o Ticket Granting Ticket, o Cliente pode obter a Credential que pretende junto do Ticket Granting Server.

- Em casos especiais a obtenção do Ticket pode ser feita numa só fase, directamente junto do Authentication Server.

Servidor Kerberos$_{cont}$



Chave de Sessão

- A chave de sessão estabelecida entre um Cliente e um Servidor que utilizam Kerberos tem diversas finalidades:
  - Autenticação do Cliente perante o Servidor. O MAC incluido no Authenticator enviado pelo Cliente demonstra ao Servidor que o Cliente conhece a chave de sessão estabelecida.
  - É esta mensagem que implicitamente identifica o Cliente perante o Servidor: a confiança depositada no servidor Kerberos assegura o Servidor que apenas Cliente e Servidor conhecem a chave de sessão.
  - Autenticação do Servidor perante o Cliente (opcional).
  - Autenticação (MAC) de mensagens trocadas subsequentemente entre Cliente e Servidor (opcional).
  - Confidencialidade de mensagens trocadas subsequentemente entre Cliente e Servidor (opcional).

Domínios (Realm) Kerberos

- O Kerberos foi desenvolvido para ultrapassar fronteiras organizacionais: um Cliente numa organização pode ser autenticado perante um Servidor noutra organização.

- Cada organização implementa um ou mais Servidores Kerberos que constituem a infraestrutura do seu Domínio Kerberos.

- O nome do Domínio é incluido no nome de todos os utilizadores nele registados, e pode servir para um Servidor Kerberos noutro domínio "localizar" e validar esses utilizadores.

- A ligação entre Domínios consegue-se registando o Ticket Granting Service de uma organização no Domínio da outra organização, e vice-versa.

Domínios (Realm) Kerberos$_{cont}$

- Este registo consiste na criação de uma **Inter-Realm Key**: uma chave secreta que o Kerberos Server de um domínio utiliza para autenticar um Cliente local perante um Kerberos Server remoto.

- Um Cliente pode então obter, no seu Domínio, um Ticket Granting Ticket para o Ticket Granting Server de outro Domínio.

- Estas relações são transitivas, i.e. se o Domínio A está ligado ao B, e o B ao C, então é possível autenticar utilizadores de A em C.

- Para evitar o estabelecimento de redes de Domínios, o que dificulta a identificação de um caminho de autenticação, em geral as ligações de Domínios estabelecem-se de forma hierárquica.

- O caminho de autenticação é também incluido na mensagem Ticket.

Tickets: Alguns Atributos/Flags

- **Initial** Indica a fase do processo de autenticação a que o Ticket pertence i.e. se foi obtido com base num Ticket Granting Ticket. Implicitamente indica se o Cliente teve de apresentar recentemente a sua chave secreta para o conseguir.

- **Renewable** Indica um Ticket que é válido por um determinado período de tempo e renovável durante um período mais alargado. Evita a utilização frequente da chave secreta e mantém a frescura do ticket.

- **Post Dated** Permite a emissão de Tickets suspensos, para activação na altura da utilização.

- **Proxiable** Indica que um Servidor pode servir-se de um Ticket fornecido por um utilizador para adoptar a sua identidade perante outro Servidor.

Tickets: Alguns Atributos/Flags$_{cont}$

- **Pre-authenticated** Indica que o Authentication Server autenticou o utilizador que pediu o Ticket de alguma forma e.g. login/password.

- **Hardware Authenticated** Indica que o Authentication Server autenticou o utilizador que pediu o Ticket utilizando um token de hardware e.g. um smartcard.

- **Anonymous** Permite a emissão de Tickets para uma entidade genérica dentro do Domínio.

- **Transited Policy Checked** Indica que o Servidor Kerberos do Domínio verificou a validade do caminho de autenticação indicado no Ticket (válido apenas para autenticações inter-domínio).

Extensões de Criptografia Chave Pública

- O IETF define dois Draft Standards com extensões ao Kerberos que utilizam técnicas de Criptografia de Chave Pública e Certificação a dois níveis:
  - **Autenticação Inter-Domínio** A Inter-Realm Key é substituida por dois pares de chaves que passam a suportar a comunicação entre Servidores Kerberos em Domínios diferentes.
  - **Pedido de Ticket básico** A chave secreta que um Cliente utiliza para solicitar um Ticket (Granting Ticket) perante um Authentication Server é substituida por um par de chaves.

- Estas extensões básicamente definem procedimentos de geração e formatos de transferencia alternativos para as mensagens Kerberos correspondentes a estes pontos de operação.

Extensões de Criptografia Chave Pública$_{cont}$

- Por exemplo, as alterações a um Pedido de Ticket básico são as seguintes:
  - O Cliente junta ao seu pedido de Ticket o seu Certificado de Chave Pública e uma assinatura digital do próprio pedido.
  - A Credential devolvida pelo Authentication Server passa a vir cifrada:
    * utilizando o RSA, caso a Chave Pública do Cliente o permita, ou
    * utilizando uma cifra simétrica e uma chave secreta negociada utilizando o protocolo Diffie-Hellman.

- A utilização de certificados não é obrigatória: é possível adicionar manualmente as chaves públicas dos agentes à base de dados do Kerberos Server, conferindo-lhes desta forma o nível de confiança necessário.

- As extensões definem também restrições aos Distinguished Names dos certificados que permitem utiliza-los como identificadores Kerberos.

Segurança

- A utilização de *timestamps* como indicadores da frescura dos Authenticators pode trazer problemas:
  - obriga a uma sincronização próxima dos relógios das máquinas envolvidas – isto é uma brecha na segurança porque os protocolos de sincronização temporal são, geralmente, inseguros.
  - torna possível os ataques por repetição de pedidos – o standard obriga a armazenar todos os pedidos para impedir este tipo de ataque, mas isto nem sempre é implementado.

- A utilização de PBE para gerar as chaves dos utilizadores simplifica os ataques por *password-guessing*, em que se tira partido da fraca qualidade das passwords auto-atribuidas.

- Apesar destes questões, o Kerberos é tido como um sistema seguro, e a sua utilização é generalizada

Ficha Técnica

- **Cifras Simétricas**: DES, AES
- **Algoritmos de MAC**: DES-MAC, H-MAC
- **Funções de Hash Criptográficas**: SHA-1, MD5
- **Cifras Assimétricas**: RSA
- **Assinaturas Digitais**: RSA, DSA
- **Acordo de Chaves**: Diffie-Hellmann

Módulo III.F

Secure Shell (SSH)

Introdução

- O SSH é um protocolo para o estabelecimento de serviços de *shell* seguros, nomeadamente de login remoto, sobre uma rede não segura.

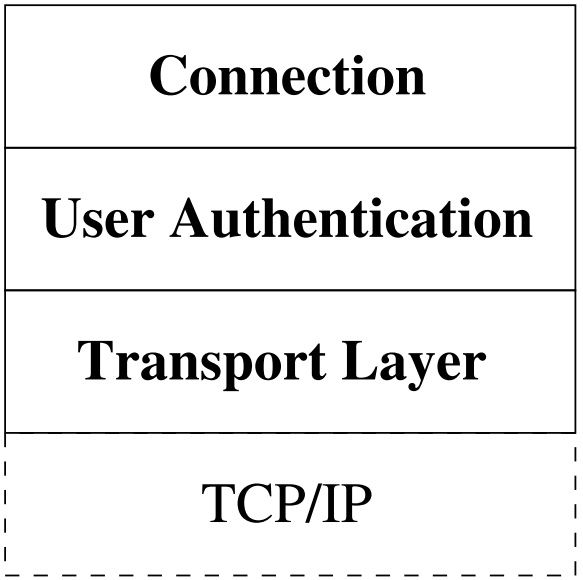
- Foi desenvolvido para substituir os serviços **rlogin**, **rsh**, etc, incluídos nas *shell* Unix/Linux, e que não são satisfatórios ao nível da segurança.

- O SSH funciona numa filosofia Cliente/Servidor:
  - o Servidor é típicamente uma máquina Unix/Linux que aceita o estabelecimento de sessões de *shell* seguras através da porta 22.
  - o Cliente pode ser qualquer tipo de máquina que corra software Cliente compatível com o SSH.

- O SSH foi normalizado pela IETF para utilização na Internet (está publicado na forma de Internet Drafts) e o seu uso é generalizado.

Estrutura do SSH

- A **Transport Layer** oferece autenticação do servidor, confidencialidade e integridade de dados sobre uma rede insegura.
- A **User Authentication Layer** oferece serviços de validação de utilizadores perante um servidor.
- A **Connection Layer** oferece a multiplexagem de um canal seguro a por vários canais lógicos.



Políticas de Segurança

- Num servidor que utilize o SSH têm de ser definidas as seguintes políticas de segurança:
  - Quais os algoritmos de cifragem, compressão e autenticação utilizáveis para envio e recepção de dados; e, desses algoritmos, quais são as soluções preferenciais.
  - Quais os algoritmos de Chave Pública utilizados para acordo de chaves e autenticação do Servidor perante o Cliente.
  - Que tipo de autenticação é requerida pelo Servidor aos utilizadores que acedem ao sistema a partir de um determinado Cliente.
  - Quais as operações que um utilizador pode efectuar, dependendo da sessão que estabeleceu.

- As implementações SSH permitem geralmente definir estas políticas, através da manipulação de parâmetros de configuração mais ou menos uniformes.

Transport Layer

- A camada de transporte do SSH utiliza a infraestrutura de rede subjacente para transferir *streams* de bytes, geralmente com informação puramente binária.

- Excepções são as mensagens de gestão da própria camada de transporte, que são simplesmente *strings* de caracteres ASCII.

- Os pacotes trocados ao nível desta camada têm a seguinte estrutura:

Packet Length	Padding Length	Payload	Random Padding	MAC

- O processamento aplicado ao pacote segue a sequência habitual: compressão (**payload**), autenticação (MAC), **padding** e cifragem.

Transport Layer$_{cont}$

- O padding serve, não só para dar ao pacote um tamanho adequado para a cifragem por blocos, mas também para esconder o verdadeiro tamanho dos dados.

- O MAC é calculado sobre todos os bytes do pacote (antes da cifragem) e um número de sequência de pacote, utilizando um segredo pré-negociado. O número do pacote não é incluido no próprio pacote.

- O estabelecimento de um canal seguro começa pela negociação dos parâmetros do protocolo.

- As primeiras mensagens trocadas por Cliente e Servidor permitem escolher a versão do SSH utilizada: a versão mais recente suportada pelas duas máquinas (de preferência a última – actualmente a V2).

Transport Layer$_{cont}$

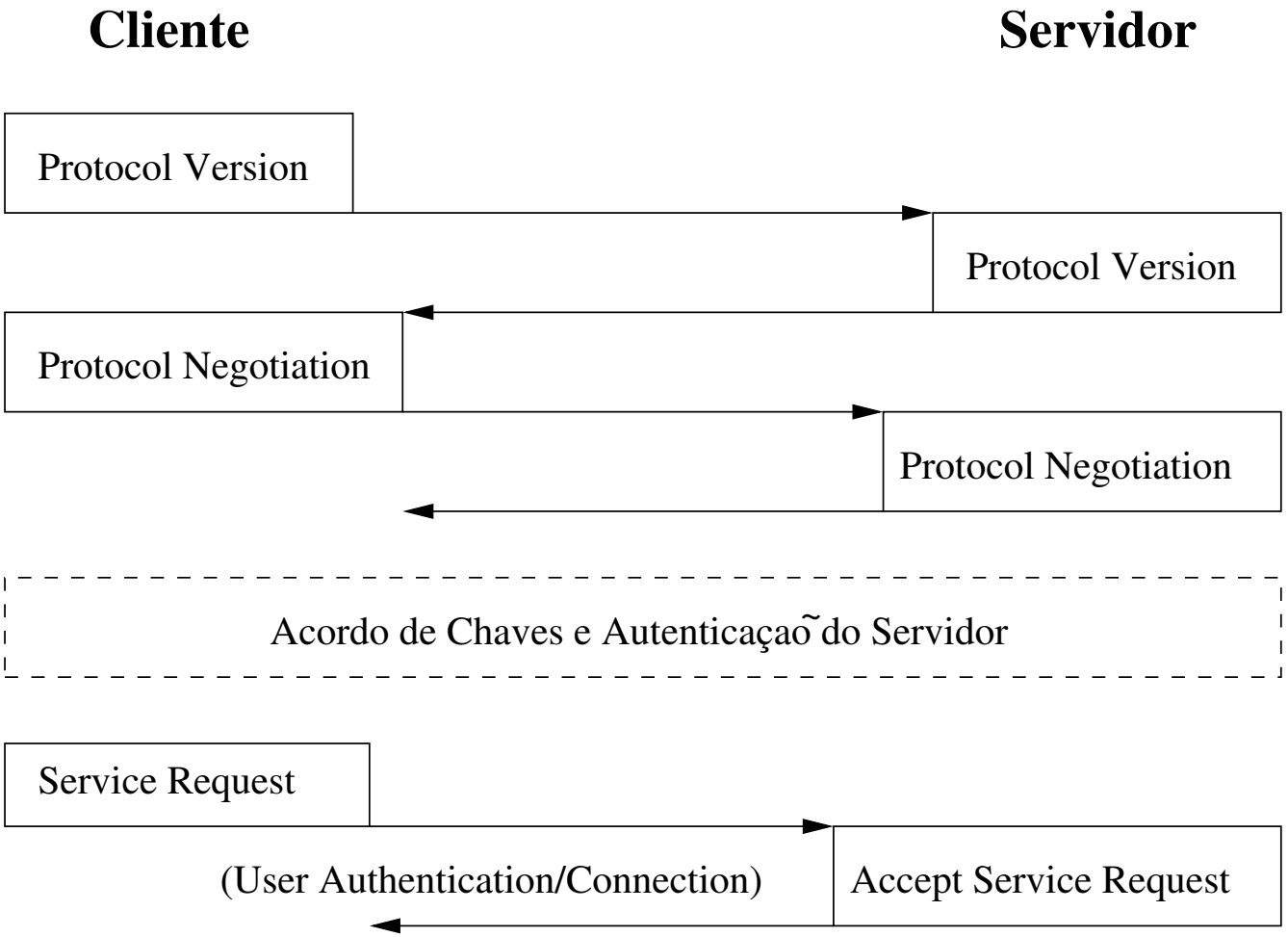
- Estabelecida a versão, Cliente e Servidor trocam mensagens em que indicam os algoritmos que implementam, e aqueles que são de utilização preferencial.

- É escolhido um algoritmo para cada funcionalidade, procurando na lista de algoritmos implementados pelo Cliente o primeiro que também é suportado pelo Servidor.

- Antes de se iniciar a comunicação segura Cliente e Servidor executam o protocolo de acordo de chaves negociado, protocolo esse que inclui uma componente de autenticação do servidor.

- Este processo termina com o estabelecimento de uma chave secreta partilhada e de um identificador de sessão (gerado a partir de um valor de hash).

Transport Layer$_{cont}$



Transport Layer$_{cont}$

- Os protocolos de acordo de chaves utilizados pela camada de transporte do SSH incluem uma componente de identificação do Servidor.

- Cada Servidor tem uma **Host Key**: um par de chaves que é utilizado na fase de acordo de chaves para autenticação do Servidor.

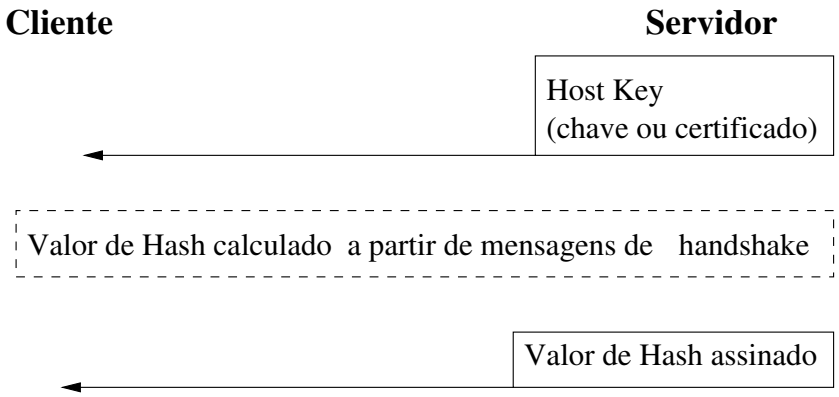
- Daí que, para haver segurança no estabelecimento de uma sessão:
  - ou o Cliente tem conhecimento prévio da chave pública do Servidor (distribuição manual da chave pública),
  - ou recorre-se a um esquema de certificação X.509, no qual o Cliente apenas tem de conhecer e confiar numa CA que permita validar os certificados dos Servidores.

- Ambos os modos de funcionamento são permitidos no SSH.

Transport Layer$_{cont}$

- Cada algoritmo de acordo de chaves especifica uma função de hash criptográfica que é utilizada, entre outras coisas, na geração de mensagens de autenticação.

- Como passo intermédio do protocolo de acordo de chaves temos:



- A autenticação do Servidor assegura também o Cliente de que as mensagens de handshake que recebeu provieram do Servidor.

Transport Layer$_{cont}$

- O funcionamento da camada de transporte baseia-se em seis segredos derivados da chave secreta acordada por Cliente e Servidor:
  - IV Cliente-Servidor $= HASH(K|H|'A'|sessionid)$
  - IV Servidor-Cliente $= HASH(K|H|'B'|sessionid)$
  - Chave de cifragem Cliente-Servidor $= HASH(K|H|'C'|sessionid)$
  - Chave de cifragem Servidor-Cliente $= HASH(K|H|'D'|sessionid)$
  - Chave de MAC Cliente-Servidor $= HASH(K|H|'E'|sessionid)$
  - Chave de MAC Servidor-Client $= HASH(K|H|'F'|sessionid)$

- Em que $HASH$ representa a função de hash associada ao protocolo de acordo de chaves, H é o valor de hash acordado nesse protocolo e $sessionid$ é o valor de hash acordado no primeiro acordo de chaves.

User Authentication Layer

- Quando o Cliente invoca com sucesso os serviços desta camada, ao nível da camada de transporte, pode proceder a um pedido de autenticação de um utilizador.

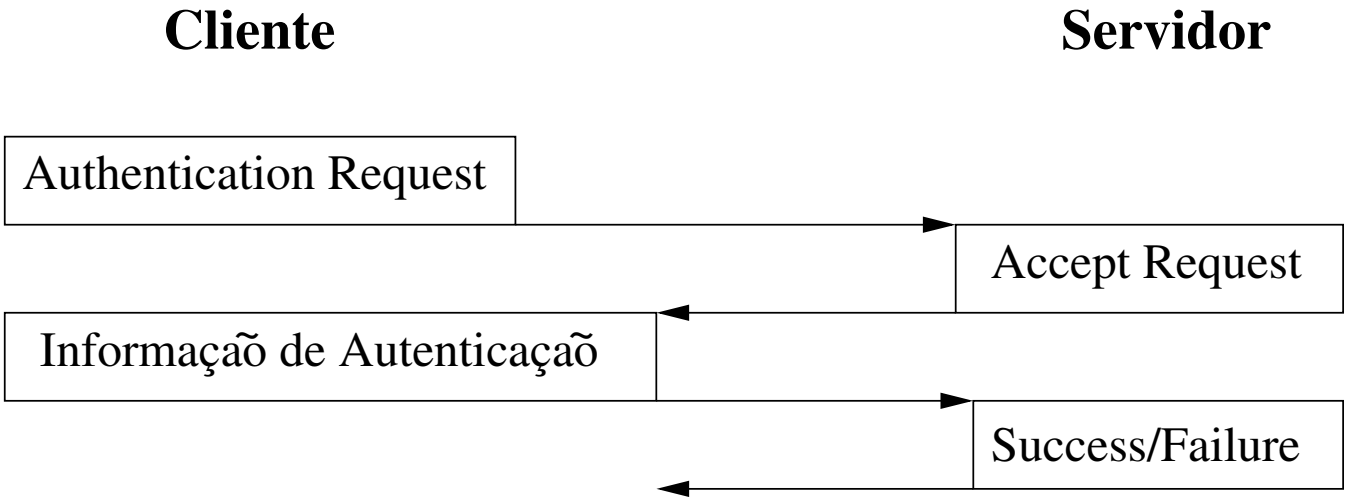
- Um pedido de autenticação enviado pelo Cliente inclui os seguintes parâmetros:
  - **User Name** Identificação do utilizador a autenticar.
  - **Service Name** O serviço a que pretende aceder.
  - **Authentication Method** O método de autenticação a utilizar.

- Caso o Servidor aceite o pedido, o que depende do método de autenticação solicitado (bem como do utilizador e do serviço indicados), seguem-se mensagens específicas do processo de autenticação.

User Authentication Layer$_{cont}$

- Métodos de autenticação:
  - **Chave Pública** O Cliente envia a chave pública do utilizador ao Servidor, juntamente com uma assinatura do identificador de sessão da camada de transporte. Também aqui a confiança na chave pública do cliente pode ser estabelecida de forma manual ou através de um esquema de certificação.
  - **Password** O Cliente envia simplesmente uma password que permite validar o utilizador no Servidor.
  - **Host Based** O Servidor não autentica o utilizador, mas sim a máquina Cliente, com base numa chave pública. A validação depende não só do $User\ Name$ do utilizador no Servidor, mas também do seu $User\ Name$ no Cliente. Este método de autenticação, apesar de conveniente, não é recomendado.

User Authentication Layer$_{cont}$



- Caso a autenticação falhe, o Servidor indica ao Cliente se o processo pode continuar, e com que métodos de autenticação.

- Caso a autenticação tenha sucesso, essa informação fica disponível para a camada superior ($Connection$) para que possam ser estabelecidas ligações de $shell$.

Connection Layer

- Os serviços desta camada utilizam a confidencialidade e autenticação fornecida pelas camadas inferiores para oferecer os seguintes serviços:
  - login remoto.
  - execução remota de comandos.
  - reencaminhamento de portas TCP/IP
  - reencaminhamento de ligações X11

- Para uma determinada sessão, esta camada permite estabelecer múltiplos canais de comunicação paralelos, através dos quais podem ser invocados serviços independentes.

- Os detalhes do funcionamento desta camada não são relevantes para a segurança do sistema e ficam, portanto, fora do âmbito desta disciplina.

Ficha Técnica

- **Cifras Simétricas**: 3DES, Blowfish, Twofish, AES, Serpent, IDEA, CAST (as cifras por blocos funcionam em modo CBC).
- **Algoritmos de Compressão**: ZLIB
- **Funções de Hash Criptográficas**: SHA-1, MD5
- **Message Authentication Codes**: HMAC
- **Cifras Assimétricas**: RSA
- **Assinaturas Digitais**: DSA
- **Acordo de Chaves**: Diffie-Hellmann