

Del sig+num a la signatura digital

MONTSERRAT CANELA GARAYOA.
Directora de Lligall 1988-1998

Introducció

Les xarxes de computadors ens permeten crear i comunicar documents i fer tràmits administratius o comercials de manera més còmoda i més eficient del que ho permeten els documents i els sistemes tradicionals. Però la tramesa de dades a través de les xarxes de computadors, com Internet, té uns riscos: hi pot haver accidents fortuïts, per exemple la fallada del maquinari, o accions malintencionades que posin en perill la integritat, la confidencialitat o l'autenticitat de la informació enviada. Si un usuari, que anomenarem J, intercepta les comunicacions per Internet que l'usuari S envia a l'usuari M pot dur a terme una sèrie d'accions hostils com ara: interrompre la comunicació de manera que els missatges no arribin al destinatari; llegir els missatges, trencant la confidencialitat; modificar el contingut d'aquests missatges, atacant-ne l'autenticitat i la integritat; fer-se passar per l'usuari S i enviar missatges falsos en nom seu, etc. Els riscos no s'acaben amb l'atac d'un tercer hostil, sinó que també hi ha el risc que S enviï

un missatge a M i després en rebutgi l'autoria o que l'usuari M negui haver-lo rebut.

Aquestes amenaces a la confidencialitat i l'autenticitat no són exclusives dels documents digitals, però: correspondència escrita en un paper, tancada en un sobre i enviada per algun sistema de correu també pot ser interceptada, oberta, llegida i falsificada. Per evitar aquests perills s'han desenvolupat al llarg dels segles les signatures manuscrites, els segells, els sobres lacrats, el lliurament de documents en mà, el correu certificat amb acusament de recepció, els registres oficials d'entrada, els notaris, els registradors...

Un document digital no es pot signar manualment, ni es pot posar en un sobre, ni un registre hi pot posar un segell amb la data i l'hora. En l'entorn digital és la criptografia la tècnica que ha pres el relleu de les tècniques que s'havien desenvolupat al llarg dels segles per als documents físics i n'ha millorat l'eficiència i la seguretat. La criptografia ha substituït els sobres, que es podien obrir amb relativa facilitat, per missatges encriptats que només el legítim destinatari pot llegir, arraconant de passada la necessitat dels missatgers que lliuren documents confidencials en mà. La criptografia ha substituït les signatures autògrafes per signatures digitals que no tan sols no es poden falsificar, sinó que també serveixen per verificar sense cap mena de dubte la integritat i l'autenticitat de la informació signada.

Aquest article és una introducció a les tècniques criptogràfiques que han aconseguit que per un canal de comunicació insegur com és Internet pugui circular informació de manera segura.

Conceptes bàsics de criptografia

La criptografia protegeix el secret i l'autenticitat de la informació enviada per un canal de comunicació o desada en un sistema informàtic. Secret i autenticitat són dos atributs independents. Un text és secret si un tercer no autoritzat que l'intercepta no pot arribar a llegir-lo; el secret és, doncs, l'atribut que assegura la confidencialitat de la informació. L'autenticitat assegura que el text no ha estat modificat, sia per substitució o per eliminació d'una part o la totalitat del text. La criptografia no pot evitar que un missatge es modifiqui totalment o parcialment, però permet detectar que un text ha estat modificat i, per tant, saber que no és autèntic.

En criptografia es parla del *text en clar* i del *text xifrat o criptograma*. Per transformar un text en clar en un text xifrat (o per fer el procés contrari, transformar un

text xifrat en un text en clar) s'empra una *xifra* o *criptosistema*, que és el mètode secret d'escriptura, i una *clau*, que és el paràmetre necessari per fer el xifratge i el desxifratge.

Tots els sistemes de xifratge abans de la Segona Guerra Mundial, moment en què va aparèixer la criptografia científica, es basaven en la transposició o la substitució o una combinació d'ambdós sistemes. Amb les transposicions es reordenen els caràcters o els bits del text en clar per obtenir el text xifrat, i el criteri de reordenació emprat és la clau. En les substitucions se substitueixen els caràcters, els bits o els blocs de caràcters per uns altres d'acord amb un criteri de substitució.

Posem dos exemples molt simples per il·lustrar aquests dos sistemes. Imagi-neu-vos que l'usuari S vol enviar a l'usuari M de manera secreta el missatge «He deixat la clau sota l'estora». Primer n'eliminarà els espais i li quedarà:

HEDEIXATLACLAUSOTALESTORA

Si tria un sistema de transposició lletra a lletra $f(1) = 5$, $f(2) = 3$, $f(3) = 1$, $f(4) = 2$ i $f(5) = 4$, que es pot traduir al llenguatge natural com «mou la lletra 1 a la posició 5, la lletra 2 a la posició 3, la lletra 4 a la posició 2 i la lletra 5 a la posició 4», el text xifrat queda:

DEEIHTLAAXAULSCALTEOORTAS

Per obtenir el missatge en clar, l'usuari M només ha d'aplicar el mètode de transposició en direcció contrària.

Si l'usuari S vol enviar el mateix missatge utilitzant el mètode de substitució, pot triar la clau 1. En aquest cas, el que farà serà substituir cada lletra per la que ocupa la posició següent a l'alfabet català, per exemple A esdevindrà B. Llavors el text xifrat serà:

IFEJYBUFBDMBVTPUBMFTUPSB

Els textos xifrats que en resulten semblen prou incomprensibles perquè si l'usuari J els intercepta no en pugui trencar la confidencialitat. A més, si l'usuari J intenta falsificar el missatge afegint o traient caràcters sense haver trobat la clau l'usuari M se n'adonarà en el moment de desxifrar-lo perquè el text en clar obtingut no tindrà sentit.

Però també pot passar que l'usuari J utilitzi un programa que li provi totes les possibles permutacions o totes les possibles substitucions fins a trobar un

text en clar que tingui sentit. Aquests tipus d'atacs s'anomenen *atacs per força bruta*.

L'usuari J també podria fer un atac criptoanalític, analitzant el que el text xifrat li diu sobre el text en clar i sobre la clau emprada. I és que els textos xifrats poden donar molta informació. El primer exemple treballa en blocs de cinc caràcters, i cada cinc caràcters es torna a repetir la mateixa permutació de les lletres. Si J aconsegueix reordenar un bloc de cinc lletres correctament, desxifrar la resta serà bufar i fer ampolles. La clau del segon exemple és molt vulnerable a un atac estadístic. En totes les llengües hi ha uns caràcters que tenen una freqüència més alta que altres: per exemple, en català la lletra A té una probabilitat molt més alta de sortir en un text que la lletra X. En el text en clar de l'exemple la lletra A apareix cinc vegades i la lletra X només una. En el text xifrat la lletra B, que substitueix la lletra A, apareix també cinc vegades i la lletra Y, que substitueix la lletra X, apareix només una vegada.

Criptografia i criptoanàlisi formen la criptologia. Fins a la Segona Guerra Mundial, la criptografia havia sortit més aviat d'un art que d'una ciència i de fet els criptoanalistes, els encarregats de trencar les xifres, se'n solien sortir millor que els criptògrafs.¹

La criptografia científica

L'any 1949, el matemàtic i enginyer Claude Elwood Shannon va inaugurar la criptografia científica amb l'article *Communication Theory of Secrecy Systems*.² Entre altres contribucions, Shannon va demostrar matemàticament que l'única xifra que garanteix un secret perfecte és la xifra de Vernam. Aquesta xifra emprava una clau completament aleatòria, que només es fa servir una vegada i que és tan llarga com el text que es xifra.

Per xifrar el seu missatge amb la xifra de Vernam l'usuari S hauria hagut d'utilitzar una clau aleatòria de 25 dígits, tants com el text en clar. Així, cada caràcter hauria estat codificat amb una clau diferent. D'aquesta manera, les cinc A del text no s'haurien convertit en cinc B, perquè cada lletra s'hauria pogut transformar en qualsevol lletra de l'abecedari depenent de la part de clau que li tocava. Si l'usuari S i l'usuari M fessin servir la xifra de Vernam per codificar els seus missatges, no importaria la potència de l'ordinador que l'usuari J tingués a la seva disposició ara o en el futur, ja que no podria trencar-la.

La xifra de Vernam té un problema greu: com es pot intercanviar de manera segura una clau tan llarga i com es pot mantenir secreta? Un dels principis

bàsics dels sistemes criptogràfics és l'anomenat "la suposició de Kerckhoff", segons aquest principi l'efectivitat d'un sistema no ha de dependre de que el seu disseny sigui secret, sinó que la seguretat ha de residir exclusivament en les claus³ per tant, el problema que representa l'intercanvi de claus llargues i aleatòries converteix la xifra de Vernam en molt poc pràctica. A més, si és possible enviar una clau secreta tan o més llarga com el missatge mateix per un canal segur, per què no s'envia directament el missatge per aquest canal?

Donades les dificultats d'utilitzar l'únic sistema de xifratge incondicionalment segur, el que s'utilitza són xifres *computacionalment* segures, xifres que no poden ser trencades a partir d'una anàlisi sistemàtica amb els recursos computacionals de què pot disposar el criptoanalista.

Per evitar haver de transmetre claus llargues, les *xifres de flux* utilitzen una clau curta, la clau "llavor", que després s'expandeix a partir d'operacions complicades. La diferència entre la xifra de Vernam i una xifra de flux, és que ara la clau no és totalment aleatòria. Un sistema de xifratge de flux genera, doncs, una clau tan llarga com el text a xifrar, i la va combinant a través d'una sèrie d'operacions complicades amb el text en clar. Cada cop que l'usuari S xifri el text en clar HEDEIXATLACLAUSOTALESTORA amb una xifra de flux obtindrà un text xifrat diferent, complicant considerablement la feina del criptoanalista de l'usuari J.

Un xifratge de bloc agafa un bloc de text de longitud fixa i a través d'una clau i d'una sèrie d'operacions complicades transforma el bloc de text en clar en un text xifrat. Cada cop que S xifri el text en clar HEDEIXATLACLAUSOTALESTORA amb una xifra de bloc obtindrà el mateix text xifrat.

Les *xifres de bloc*, tot i que en general són més vulnerables als atacs criptoanalistes que els xifratges de flux⁴ s'empenen molt perquè són més eficients que les xifres de flux. Durant molts anys, el xifratge en bloc més emprat era el Data Encryption Standard (DES). En teoria, un missatge xifrat amb el DES no es podia trencar si no es disposava de la clau, i era, per tant, un sistema computacionalment segur, però l'any 1999 es va aconseguir desxifrar una clau DES en 22 hores i 15 minuts.⁵ El DES s'ha substituït per l'Advanced Encryption Standard (AES), que es va convertir en un estàndard efectiu l'any 2002.⁶

La criptografia de clau pública

Des de l'antiguitat fins a l'any 1976, tots els sistemes de xifratge, des dels més simples fins als més sofisticats, eren criptosistemes *de clau simètrica* o *de clau compartida*. Simètrica, perquè la mateixa clau servia per xifrar i desxifrar, i com-

partida, perquè les dues parts abans de poder començar a intercanviar informació xifrada han d'haver-se intercanviat la clau per un canal segur. El 1976, W. Diffie i M. E. Hellman van demostrar en l'article *New Directions of Cryptography*⁷ que era possible compartir missatges secrets sense necessitat de transferir una clau secreta a l'altra part, i així va començar l'era de la criptografia *de clau pública*, en la qual ens trobem avui dia.

Fins aquí hem estat parlant de la importància de mantenir la clau secreta. La idea d'una criptografia de clau pública sembla una contradicció, però no ho és: les xifres de clau pública utilitzen dues claus, una de privada que és secreta i que només el propietari coneix, i una altra de pública, que s'obté a partir de la clau privada. La clau pública s'utilitza per encriptar textos adreçats al destinatari del text. Un cop encriptats, els textos només es podran desencriptar amb la clau privada i secreta del destinatari.

Les claus que s'utilitzen en aquest sistema són claus asimètriques, perquè la clau que serveix per xifrar no es pot utilitzar per desxifrar, i la que s'utilitza per desxifrar no serveix per xifrar. Per enviar un missatge amb un sistema d'encriptació de clau pública l'usuari S trobarà la clau pública de l'usuari M i la farà servir per xifrar el missatge. Per desxifrar el missatge l'usuari M utilitzarà la seva clau privada, que només ell coneix i que no ha hagut de compartir amb ningú. En aquest cas, l'usuari J pot interceptar el missatge de l'usuari S i trobar la clau pública de l'usuari M, però com que aquesta clau no serveix per desxifrar no podrà trencar el secret de missatge.

La clau pública fa la funció de sobre en el món del paper: protegeix el contingut d'un text que s'envia a un destinatari. La clau privada fa la funció d'obrecartes, trenca l'encriptació i permet llegir el contingut, amb un avantatge molt important: si el missatge és interceptat no es podrà obrir perquè només hi ha un obrecartes (la clau privada) que pot trencar el sobre (l'encriptació).

Una altra millora del sistema de clau pública és que ara per intercanviar informació encriptada cada usuari necessita només dues claus, mentre que amb el sistema de clau compartida cada usuari necessita compartir i guardar en secret una clau per a cada usuari amb el qual es comunica.

La relació entre la clau privada i la clau pública es basa en el que s'anomenen els *problemes computacionalment fàcils en una direcció i computacionalment difícils en l'altra*. Si algú ens demana que fem, a mà, l'operació 97×89 calcularem el resultat amb bastant rapidesa. Però si algú ens dona la quantitat 8637 i ens demana que descobrim quina multiplicació de dos nombres dona aquest resultat ens hi passarem bastant més temps per trobar-ne la solució que en el cas de

la multiplicació. Per a nosaltres, el problema en una direcció, el de multiplicar dos nombres a mà, és fàcil, mentre que en l'altra direcció, saber quins dos nombres cal multiplicar per obtenir un resultat que sabem, és difícil. Portar a terme l'operació matemàtica que crea una clau pública a partir d'una clau privada és, per a un computador, un problema fàcil; ara bé, l'operació contrària, trobar una clau privada a partir de la clau pública, és un problema difícil, tan difícil que els criptoanalistes no disposen de prou recursos computacionals per calcular-ne el resultat.⁸

Avui dia s'utilitzen els dos sistemes de criptografia, perquè els sistemes de clau compartida són més eficients que els sistemes de clau pública. Hi ha programes d'encryptació que combinen les dues tècniques per aprofitar el millor de cada sistema. Aquests sistemes apliquen la criptografia de clau compartida, que és més ràpida i té un cost menor, per xifrar les dades i després s'envia la clau secreta utilitzant la criptografia de clau pública.

La signatura digital

És impossible signar digitalment documents amb sistemes criptogràfics de clau compartida, ja que una clau sempre pertany, com a mínim, a dos usuaris que la fan servir per xifrar i desxifrar. En canvi, en els sistemes de clau pública un document se signa amb la clau privada, que és única i secreta. La clau privada és com un segell personal que serveix per autenticar documents digitals; quan signem (o segellem) un document amb la nostra clau privada en certifiquem la nostra autoria, ja que només nosaltres som propietaris de la clau (el segell) que ha produït aquella signatura. L'usuari que rep el missatge xifrat utilitza la clau pública de remitent per comprovar-ne la signatura.

La clau pública fa una funció similar a la d'una signatura registrada en un banc: quan arriba un xec signat a un banc la veracitat de la signatura pot ser comparada amb la signatura registrada amb el nostre nom, i si hi ha dubtes sobre l'autenticitat de la signatura el xec serà rebutjat. Si la nostra signatura registrada al banc cau en mans malintencionades pot fer-la servir per imitar la nostra signatura manual, però la nostra clau pública no presenta aquest risc, ja que no serveix per signar digitalment.

Si l'usuari S vol enviar un missatge signat a l'usuari M perquè no tingui cap dubte de la seva autoria, primer encryptarà el seu missatge amb la clau privada i afegirà el resultat de l'encryptació al missatge en clar. L'usuari M rebrà el missatge en clar i el missatge encryptat que és la signatura electrònica. Per verificar que

el missatge ha estat enviat per l'usuari S, l'usuari M desencriptarà la signatura electrònica amb la clau pública de S. Si el que obté és el mateix text en clar que S li ha enviat llavors podrà estar segur de dues coses: que el missatge ha estat enviat per S i que el contingut no ha estat modificat i, per tant, és autèntic. Si J intercepta el missatge i el canvia, M se n'adonarà, ja que en desencriptar la signatura digital amb la clau pública de S no obtindrà el mateix text en clar que ha rebut. J tampoc no podrà escriure un missatge fals i enganxar-hi la signatura real de S per fer-lo passar per autèntic, ja que cada missatge genera una signatura diferent.

Igual que la signatura manual, la signatura digital assegura que l'autor del document rebut és qui diu que és. Ara bé, una signatura manual és relativament fàcil de falsificar i, a més, el receptor no sempre té els mitjans per verificar que la signatura és autèntica (tal com sap perfectament algú a qui hagin falsificat la targeta de crèdit). En canvi, qualsevol persona pot verificar la validesa de la signatura digital accedint a la clau pública. La signatura digital permanent, a més, verifica la integritat del missatge, cosa que la signatura manual no pot fer.

La signatura digital sola, però, no garanteix la confidencialitat. Si l'usuari J intercepta un missatge signat digitalment de S a M, encara que no podrà modificar-lo sense ser detectat, sí que el podrà llegir sense cap problema. Enviar un missatge signat digitalment però no encriptat és com enviar una postal signada. Per aconseguir que un missatge, a més de ser autèntic i íntegre, sigui també confidencial S hauria d'encriptar el missatge primer amb la clau pública de M i després signar-lo digitalment amb la seva clau privada. M comprovarà la signatura digital amb la clau pública de S i desencriptarà el missatge amb la seva clau privada.

El procés de signar un text és lent i produeix una gran quantitat de dades: com a mínim duplica el volum del missatge original. Per millorar la velocitat i reduir la quantitat de dades que s'afegeixen al missatge en signar-lo s'utilitzen les funcions *hash*. Una funció *hash* parteix d'un missatge de qualsevol mida i en produeix un resum d'una mida fixa (per exemple, 160 bits) i és aquest resum el que se signa, no el missatge complet. La funció *hash* assegura que si el missatge original es canvia, ni que sigui en un bit, en produirà un resum totalment diferent i des d'un resum és impossible generar un text. Per signar un missatge adreçat a l'usuari M, l'usuari S començarà calculant un resum amb la funció *hash* i després signarà electrònicament aquest resum amb la seva clau privada, i aquesta signatura equival a la signatura de tot el text. Per comprovar l'autenticitat del missatge rebut, l'usuari S crearà una altra vegada el resum del missatge rebut i comprovarà, fent servir la clau pública, que el resum signat es correspon amb el

resum del missatge rebut. Si l'usuari J intercepta el missatge i el canvia, l'usuari se n'adonarà, perquè el resum signat no coincidirà amb el resum del missatge rebut.

Enviar documents per Internet sense encriptar i sense signar és com enviar documents en postals escrites a llapis.

Els certificats digitals

Per saber que la signatura en un document no ha estat falsificada o que la persona que signa no suplanta la veritable persona que consta com a autor o remitent, ens cal que el document hagi estat signat davant nostre (aquest seria el cas d'un contracte en el qual les dues parts es troben en una mateixa sala i signen els dos originals al mateix lloc i en el mateix moment), que coneguem la signatura de la persona i puguem detectar-ne una falsificació, que la persona ens presenti un document d'identitat emès per una entitat en la qual confiem (per exemple, el DNI o el passaport que presentem abans de signar) o bé que un tercer en qui confiem ens assegurui que la signatura és veritable. Quan rebem un document digital o accedim a una informació a Internet signada digitalment, també necessitem assegurar-nos que la persona o l'entitat que diu ser l'autor o el propietari del lloc correspon a la veritable persona o entitat. Els certificats digitals simplifiquen la tasca de verificació si una clau pública pertany realment al seu suposat propietari.

Si M rep un missatge signat per S utilitzarà la clau pública de S per comprovar la signatura i el contingut del missatge, però com pot saber que la clau pública de S que ha trobat pertany realment a S?

La manera més fàcil és que S li hagi passat la seva clau pública per un mitjà segur (per telèfon o en un DVD que s'han intercanviat a mà). L'altra solució és que un tercer, en el qual M confia, emeti un certificat que lliga la clau pública de S amb la seva identificació. Un certificat digital conté bàsicament tres elements: una clau pública, la informació que identifica el propietari (el nom, l'usuari...) i una o més signatures digitals que certifiquen la relació entre la clau pública i les dades personals.

Un certificat és un document, com un carnet d'identitat, un passaport o un carnet de soci d'un club, que farem servir per provar que som qui diem que som;

les signatures digitals són com els segells que porten els documents d'identitat físics per provar que no s'han falsificat.

Les infraestructures de clau pública PKI

Els certificats han esdevingut el principal mitjà de distribució de claus públiques, però el problema és ara: qui signa els certificats? Com sabem que qui signa el certificat és algú en qui podem confiar? Per això hi ha les infraestructures de clau pública (PKI). L'objectiu de la infraestructura de clau pública és la gestió de les claus criptogràfiques i els certificats perquè es puguin fer servir en funcions d'autenticació, integritat, no-repudi i confidencialitat.

Si els usuaris M i S volen intercanviar missatges entre ells, es poden intercanviar les claus públiques de manera manual, per correu electrònic, per exemple, i així si l'usuari J penja a Internet un certificat amb la seva clau pública i la informació de M (d'aquesta suplantació de personalitat se'n diu *atac de l'home del mig*) l'usuari S podrà comprovar immediatament que es tracta d'un certificat fals. Però aquest sistema només és pràctic per a grups petits i entre usuaris que es coneixen personalment: a partir d'un nombre d'usuaris cal posar en marxa un sistema que permeti l'intercanvi de claus públiques de manera que no sigui possible la suplantació. Això s'aconsegueix amb les infraestructures de clau pública (PKI).

Una PKI és un conjunt de maquinari, programari, persones i polítiques i procediments necessaris per crear, revocar i verificar certificats digitals basats en criptografia de clau pública. Els repositoris de la PKI són les estructures encarregades d'emmagatzemar la informació relativa a la infraestructura de la clau pública; els dos repositoris més importants són el de certificats i el de llistes de revocació de certificats. La principal característica de les infraestructures de clau pública és la introducció de l'autoritat de certificació (CA) i de l'autoritat de registre (RA). Aquestes dues autoritats funcionen de manera anàloga a una oficina d'emissió de DNI o de passaports.

L'autoritat de certificació (CA) és la responsable d'emetre i revocar certificats, i és l'entitat de confiança que dona legitimitat a la relació d'una clau pública amb la identitat d'un usuari o servei. L'autoritat de registre (RA) són les persones, les eines i els procediments que verifiquen la relació entre la clau pública i la identitat dels titulars.

Les PKI inclouen dues autoritats més: la de validació (VA), que pot ser la mateixa autoritat de certificació o una entitat externa i que s'encarrega de com-

provar la validesa dels certificats digitals, i l'autoritat de segellament del temps (TSA), que és l'encarregada de signar un missatge amb la finalitat de provar que existia abans d'un determinat moment en el temps.

Els subscriptors i les entitats finals són aquells que posseeixen un parell de claus (pública i privada) i un certificat associat a la clau pública; amb aquest parell de claus es podran signar certificats i desxifrar documents. Una entitat final és un organisme, mentre que un subscriptor és una persona.

Els usuaris són els agents que validen una signatura digital o utilitzen la clau pública dels certificats per xifrar informació per als subscriptors i les entitats finals.

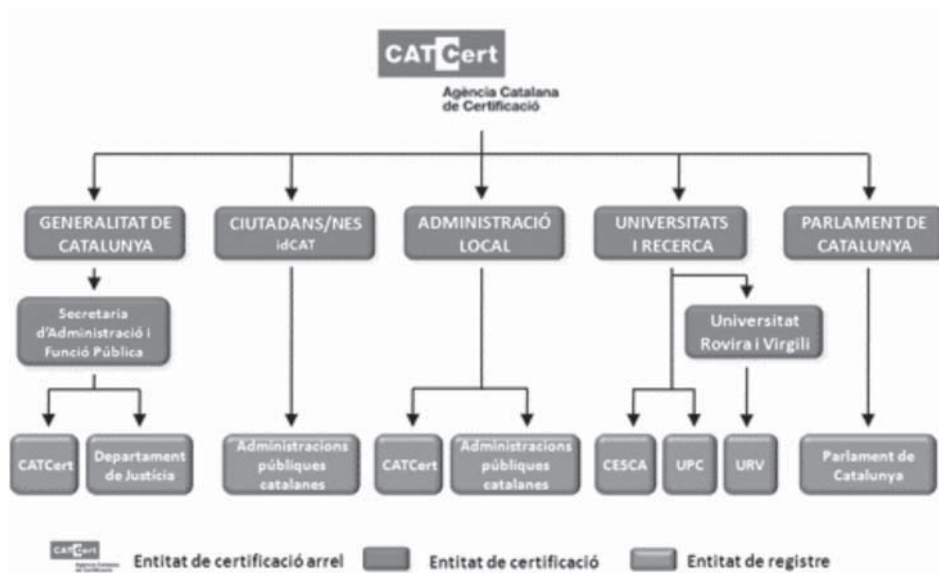
Un certificat només és útil quan és vàlid. En les estructures PKI els certificats s'emeten amb data de caducitat, i quan expira un certificat la relació entre la clau i les dades del propietari ja no està assegurada. Un certificat es pot revocar abans de la data de caducitat, per exemple si hi ha la sospita que la clau privada del propietari ha deixat de ser secreta.

Els models de confiança

En un sistema de clau pública és molt important per als usuaris poder comprovar que la clau pública pertany al propietari real i no a algú altre que es fa passar per aquest usuari. La manera més senzilla i segura d'establir que la clau pública és vàlida és perquè se'n sap l'origen i s'hi confia. En els models de confiança jeràrquics, els usuaris confien en un tercer que actua d'autoritat certificadora (CA). En àmbits reduïts i tancats, com per exemple les intranets, la CA emet un certificat autosignat amb la seva pròpia clau pública i signa tots els certificats directament amb la seva clau privada. Aquest sistema funciona fins a un cert nombre d'usuaris, però a partir d'un cert nombre la CA ja no té la capacitat de fer la seva feina de comprovar la identitat real dels propietaris de les claus públiques. En aquest cas s'haurà d'optar per un model jeràrquic d'autoritat en CA arrel, que pot delegar l'autoritat de signar certificats digitals a CA subordinades. Aleshores, un usuari que vulgui comprovar la validesa d'un certificat digital podrà seguir la cadena de certificació des de la CA que ha signat el certificat que volem modificar, pujant per les CA que han anat delegant l'autoritat de signar certificats digitals.

Per exemple, a Catalunya l'Agència Catalana de Certificació (CATCert), per tal de donar un servei d'acord amb les especificitats de les diferents administracions catalanes, va crear el 8 de gener del 2003 una jerarquia d'entitat de

certificació, l'arrel de la qual és la mateixa Agència, estructurada d'acord amb el diagrama següent:



Jerarquia d'entitats de certificació del CATCert.
Font CERCAT. Preguntes més freqüents.

La confiança d'aquesta jerarquia té com a arrel l'Agència Catalana de Certificació. De l'Agència pegen les entitats de certificació col·laboradores en diferents nivells, d'acord amb les necessitats de les diferents administracions.⁹

El model distribuït és un model de confiança que barreja el model directe i el model jeràrquic. Aquest model és el que utilitza el programari PGP, un dels sistemes més populars i fiables per proporcionar serveis criptogràfics en les comunicacions, sobretot en correu electrònic.¹⁰ En aquest model són els mateixos usuaris que signen els certificats en els quals confien i cada usuari decideix si confia en un certificat depenent de si confia o no en els usuaris que han signat els certificats. Si l'usuari S vol enviar un missatge encriptat a l'usuari M o vol comprovar la signatura digital d'un missatge que ha rebut obtindrà la clau pública d'un certificat digital signat pel mateix usuari S i altres usuaris que en certifiquen la validesa; l'usuari M haurà de decidir llavors si confia o no en tots o part dels usuaris que han signat el certificat.¹¹

Conclusió

Enviar documents per Internet sense encriptar i sense signar és com enviar documents en postals escrites amb llapis. Encriptar un document és la manera que tenim a Internet equivalent a protegir la confidencialitat de la informació que enviem amb un sobre lacrat que només el legítim destinatari pot obrir; signant-lo digitalment, a més d'establir-ne l'autoria, n'assegurem la integritat. Ha estat la criptografia de clau pública, ideada el 1976, la que ha permès l'intercanvi d'informació encriptada sense necessitat d'intercanviar claus secretes, i també ha permès la signatura digital. En la criptografia digital cada usuari té un parell de claus, una de privada i secreta i una de pública. Per distribuir claus públiques de manera segura s'han creat els certificats digitals, que són les credencials que lliguen una clau pública amb les dades del seu autèntic propietari, i les infraestructures de clau pública que gestionen aquests certificats i els validen. La criptografia és per si mateixa segura, però per identificar les persones o les entitats reals que hi ha darrere una clau pública que serveix per enviar missatges encriptats i per comprovar signatures electròniques sempre hi ha el factor humà al final de la història, exactament com passa amb els documents tradicionals en els quals hem confiat des de l'antiguitat.

Bibliografia

- DOMINGO FERRER, Josep; HERRERA JOANCOMARTÍ, Jordi; RIFÀ POUS, Helena. *Criptografia*. 2a edició. UOC, Barcelona, febrer de 2004. ISBN 84-9788-2004.
- *An Introduction to Cryptography*. Network Associates, Inc. and its Affiliated Companies, <<ftp://ftp.pgpi.org/pub/pgp/7.0/docs/english/IntroToCrypto.pdf>> (consulta: 2 de novembre de 2009).
- CERCAT. *Preguntes més freqüents*, <http://www.catcert.cat/web/cat/6_2_preguntes_frequents.jsp#a> (consulta: 22 de novembre de 2009).
- MARTÍ ESCALÉ, Ramon; PERRAMON TORNIL, Xavier. «Aplicacions Internet». *Xarxes. Aplicacions i protocols d'Internet*. 1a edició. Barcelona: UOC, 2003. ISBN 84-8429-582-6.

Notes

- 1 Una història apassionant de criptoanàlisi es pot llegir a «El contraespionaje a través de los documentos: el proyecto Verona», publicat l'1 de juny de 2009 a <<http://archivista.wordpress.com/2009/06/01/proyecto-venona/>>.
- 2 SHANNON, Claude Elwood. «Communication Theory of Secrecy Systems». *Bell System Technical Journal*. Vol. 28 (1949), p. 656-715. «The material in this paper appeared originally in a confidential report 'A Mathematical Theory of Cryptography', dated Sept. 1, 1945, which has now been declassified». Included in Part A.
- 3 DOMINGO FERRER, Josep; HERRERA JOANCOMARTÍ, Jordi. «Fonaments de criptografia». Dins: DOMINGO FERRER, Josep; HERRERA JOANCOMARTÍ, Jordi; RIFÀ POUS, Helena. *Criptografia*. 2a edició. Barcelona: UOC, febrer de 2004, p. 24. ISBN 84-9788-2004.
- 4 Un text en clar xifrat amb una xifra de bloc i una clau donarà dos textos xifrats diferents, mentre que si s'utilitza la mateixa clau en un xifratge de bloc del mateix text, sempre s'obté un text xifrat idèntic.
- 5 HERRERA JOANCOMARTÍ, Jordi. «Xifres de clau compartida: xifres de bloc». Dins: DOMINGO FERRER, Josep; HERRERA JOANCOMARTÍ, Jordi; RIFÀ POUS, Helena. *Criptografia*. 2a edició. Barcelona: UOC, febrer de 2004, p. 22. ISBN 84-9788-2004.
- 6 El lector interessat en el xifratge de bloc pot consultar l'article «DES» a la Viquipèdia, <<http://ca.wikipedia.org/wiki/DES>> (consulta: 1 de novembre de 2009).
- 7 DIFFIE, W.; HELLMAN, M.E. «New Direction in Cryptography». *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. IT-22 (novembre de 1976), p. 644-654.
- 8 Els dos sistemes de clau pública més utilitzats actualment, l'RSA i l'EIGamal, es basen en problemes que són fàcils de fer en un sentit, però difícils de resoldre en l'altre sentit, tan difícils que el criptoanalista no disposarà de prou recursos computacionals d'espai i temps per resoldre'ls amb els recursos que es tenen avui dia. Actualment s'està investigant tant des de l'esfera pràctica com des de la teòrica en ordinador quàntic, que fa un ús directe de la mecànica quàntica i que si s'arriben a construir podran resoldre alguns problemes difícils, els problemes en els quals es basen els sistemes de clau compartida més utilitzats, el problema del logaritme discret i el problema de la factorització. Es tracta de problemes que es resoldran amb els ordinadors quàntics. Ara mateix hi ha diferents computadors quàntics experimentals funcionant, encara que de manera molt rudimentària. Els computadors quàntics han mostrat, teòricament encara, que són capaços de fer els càlculs necessaris per descriptar un missatge codificat mitjançant aquestes tècniques en un temps raonable. Vegeu BALA MARTÍNEZ, Sergi. *Computació quàntica*, <<http://www.sargue.net/fitxers/quantum.pdf>> (consulta: 2 de novembre de 2009).
- 9 <http://www.catcert.cat/web/cat/6_2_preguntes_frequents.jsp#a> (consulta: 22 de novembre de 2009).
- 10 . El PGP és un projecte iniciat a principis dels anys noranta del segle xx per Phil Zimmerman. Vegeu <<http://www.pgp.com/>> (consulta: 22 de novembre de 2009).
- 11 *An Introduction to Cryptography...*, p. 33-34.

RESUM

La tramesa de dades a través de les xarxes de computadors, com Internet, té uns riscos: hi pot haver accidents fortuïts, per exemple la fallada del maquinari, o accions malintencionades que posin en perill la integritat, la confidencialitat o l'autenticitat de la informació enviada.

Les amenaces a la confidencialitat, la integritat i l'autenticitat no són exclusives dels documents digitals, però: la correspondència escrita en un paper, tancada en un sobre i enviada per algun sistema de correu també pot ser interceptada, oberta, llegida i falsificada.

Per evitar aquests perills s'han desenvolupat al llarg dels segles les signatures manuscrites, els segells, els sobres lacrats, el lliurament de documents en mà, el correu certificat amb acusament de recepció, els registres oficials d'entrada, els notaris, els registradors...

En l'entorn digital és la criptografia la tècnica que ha pres el relleu de les tècniques utilitzades durant segles per als documents físics i n'ha millorat l'eficiència i la seguretat.

Aquest article és una introducció a les tècniques criptogràfiques que han aconseguit que per un canal de comunicació insegur com és Internet pugui circular informació de manera segura.

RESUMEN

El envío de datos a través de las redes de ordenadores, como Internet, comporta riesgos: pueden producirse accidentes fortuitos, como por ejemplo el fallo del equipo físico o acciones malintencionadas que pongan en peligro la integridad, la confidencialidad o la autenticidad de la información enviada.

Estas amenazas a la confidencialidad y a la autenticidad no son exclusivas de los documentos digitales, pues la correspondencia escrita en papel, cerrada en un sobre y enviada por algún sistema de correo también puede ser interceptada, abierta, leída y falsificada.

Para evitar estos peligros, a lo largo de los siglos, se han desarrollado las firmas manuscritas, los sellos, los sobres lacrados, la entrega de documentos en mano, el correo certificado con acuse de recibo, los registros oficiales de entrada y las funciones de notarios y registradores.

En el entorno digital, ha sido la criptografía técnica la que ha relevado a las técnicas que se habían desarrollado a lo largo de los siglos para los documentos físicos y la que ha mejorado su eficiencia y seguridad.

Este artículo es una introducción a las técnicas criptográficas que han logrado que por un canal de comunicación inseguro como Internet pueda circular información de manera segura.

ABSTRACT

Data transfer through computer network, such as Internet, has its risks: accidents sometimes occur, such as mechanical failure, or malicious action that endangers the integrity, confidentiality or authenticity of the information sent.

These threats to confidentiality and authenticity not only affect digital documents, but also correspondence written on paper, put in an envelope and sent by some type of mail system can also be intercepted, opened, read and forged.

To avoid such dangers, over the centuries we have developed signatures, stamps, wax sealed envelopes, hand delivery, registered post with advice of delivery, official input registers, notaries and recorders.

In digital environments cryptography has taken over from the techniques developed to protect physical documents, improving on their effectiveness and security.

This article is an introduction to the cryptographic techniques that enable information to circulate securely through an insecure communication channel such as the Internet.

RÉSUMÉ

L'envoi de données à travers les réseaux informatiques, comme Internet, comporte certains risques : des accidents fortuits peuvent se produire tels que panne de l'équipement physique ou actions malintentionnées mettant en danger l'intégrité, la confidentialité ou l'authenticité de l'information envoyée.

Ces menaces qui pèsent sur la confidentialité et l'authenticité ne sont pas exclusives aux documents numériques : la correspondance écrite sur papier, dans une enveloppe fermée et envoyée par le biais d'un système de courrier peut également être interceptée, ouverte, lue et falsifiée.

Afin d'éviter ces dangers, plusieurs mesures ont été inventées au cours de l'histoire : signatures manuscrites, timbres, enveloppes cachetées à la cire, remise de documents en main propre, courrier recommandé avec accusé de réception, registres officiels d'entrée et fonctions de notaires et de bureaux d'enregistrement.

Dans le domaine du numérique, c'est la cryptographie technique qui a remplacé les techniques développées au cours de l'histoire pour les documents physiques et qui a amélioré son efficacité et sa sécurité.

Cet article est une introduction aux techniques de cryptographies qui ont permis la circulation sécurisée de l'information à travers un canal de communication non sécurisé tel qu'Internet.