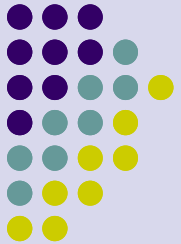
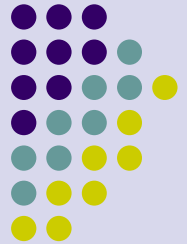
Bezpečnost v distribuovaných systémech (vybrané problémy)



Přednášky z Distribuovaných systémů

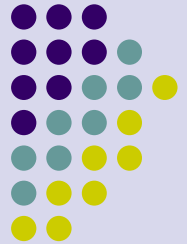
Ing. Jiří Ledvina, CSc.

Motivace napadání



- Internet používají důležité služby
  - Finanční transakce, medicína
- Bude využíván pro kritické služby
  - Energetické systémy, dopravní systémy, vojsko
- Internet je otevřená síť
  - Globální, bezdrátová

Problémy síťové bezpečnosti



- Napadnutí hostitelského systému
  - Převzetí kontroly nad počítačem
- Zamezení služby
  - Bránění využívat legálním uživatelům síťové zdroje
- Útok většinou zahrnuje obě kategorie

Napadení hostitelského systému

- Internet worm (červ) – 1988 – BSD počítače
  - Dnes lze napadnout 10miliónů počítačů během 5 minut
- Cíle útoku
  - Čtení dat, mazání dat
  - Kompromitace jiného počítače
  - Příprava DoS útoku

Definice napadajících programů

- **Worm** – sám sebe replikuje, používá Stack overflow
- **Virus** – program, který se sám připojí k jinému programu
- **Trojský kůň** – program, který dovolí hackerovi vytvořit zadní vrátka, spoléhá se na využití uživatele
- **Botnet** – soubor programů, pracujících autonomně a ovládaných na dálku, může být použito k rozšíření červů, příprava DDoS útoku

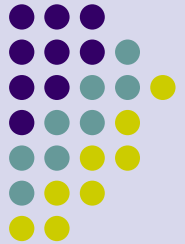
Napadení systému

- Operační systémy vyžadují ochranu na třech úrovních:
  - ochrana zdrojů – ochrana proti neoprávněnému použití prostředků v OS
  - bezpečná komunikace – vlastní ochrana přenášené informace
  - ověřování uživatelů – zabezpečení, aby zprávy přicházely od ověřeného zdroje a bez modifikace
- Napadení systému:
  - pasivní
    - odposlech
    - analýza přenosu – odkud, kam, kolik, ...
  - aktivní
    - modifikace, zadržování nebo podstrkávání zpráv
    - modifikace toku dat – změna obsahu, opakování, změna pořadí, rušení, syntéza zpráv, změna adresy, změna dat, atd

Ohodnocení bezpečnosti

- **Cíl zabezpečení**:
  - prevence pasivního útoku
  - detekce aktivního útoku.
- **Ohodnocení bezpečnosti**
  - Existuje více způsobů, uvedeme TCB (Trusted Computing Base)
  - skupina D – bez zajištění bezpečnosti, minimální ochrana (MS-DOS)
  - skupina C – volná ochrana (ponechána na uvážení)
  - skupina B – nařízená nebo vynucená ochrana
  - Skupina A – verifikovaná ochrana – vyžaduje úplný formální návrh systému, který je orientován na klasifikaci informace

Ohodnocení bezpečnosti

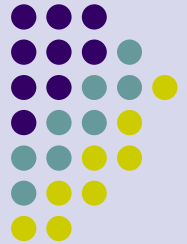


- skupina C – volná ochrana (ponechána na uvážení)
  - třída C1 – volná ochrana – oddělení uživatele od dat, ochrana dat před neautorizovaným přístupem
  - třída C2 – řízená ochrana přístupu – přihlašování přes LOGIN+heslo

Ohodnocení bezpečnosti

- skupina B – nařízená nebo vynucená ochrana
  - třída B1 – značená ochrana bezpečnosti – všechny objekty mají klasifikační značky, přístup subjektů (procesů) k objektům (zdrojům) řízen, přístup pouze k objektům s nižší klasif. značkou než uživatel
  - třída B2 – strukturovaná ochrana – systém od základů psán podle formálního modelu bezpečnosti, musí být identifikován každý kanál, který může ohrozit bezpečnost systému – rozumná úroveň zabezpečení
  - třída B3 – zavádí oblasti bezpečnosti – systém musí obsahovat monitor odkazů, jsou vytvořeny oblasti bezpečnosti, tj. seznamy uživatelů a skupin s jejich přístupovými právy k objektu a dále seznam uživatelů a skupin, pro které není zaručen žádný přístup

Ohodnocení bezpečnosti



- skupina A – verifikovaná ochrana – vyžaduje úplný formální návrh systému, který je orientován na klasifikaci informace
  - třída A1 – systém s verifikovaným návrhem – obdoba B3 a navíc úplný formální návrh

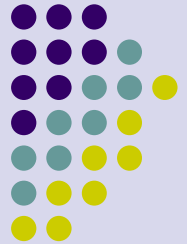
Ochrana zdrojů v distribuovaných systémech

- přístupovou maticí – obsahuje – model informačního toku, objekt, jeho typ a povolené operace, subjekty, které mají právo manipulovat, přístupová prává a oblasti jejich použití
- přístupovým seznamem
- seznamem schopností (capabilities)

Zajištění bezpečné komunikace

- Zaměření na linku – zabezpečení na linkové úrovni
  - musí být transparentní pro uživatele
  - zabezpečení a šifrování kontinuálního toku dat
  - není vhodné pro otevřené systémy – není zaručena bezpečnost v koncových a mezilehlých uzlech (pouze dvoubodové sítě)
- Zaměření na koncové uzly – šifrování mezi koncovými uzly.
  - použitelné jak v dvoubodových, tak mnohabodových sítích.
- Zabezpečení na úrovni spojení – na relační nebo aplikační úrovni
  - volba úrovně zabezpečení programátorem

Definice

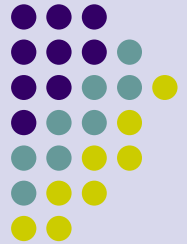


- Počítačová bezpečnost – všeobecný název pro soubor prostředků, navržených k ochraně dat a maření úsilí hackerů
- Síťová bezpečnost – opatření k ochraně dat během přenosu
- Bezpečnost Internetu – opatření k ochraně dat během přenosu přes soubor propojených sítí
  - spočívá v opatření k odrazení, prevenci, detekci a korekci bezpečnostních hrozeb poškozujících přenos informace

Bezpečnostní struktura OSI

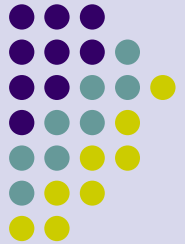
- doporučení ITU-T X.800, v Internetu RFC 2828
- X.800 definuje 5 hlavních kategorií
  - **authentication** – ověření pravosti – ujištění, že entita je to, za co se vydává
  - **access control** – řízení přístupu – zamezení neautorizovaného využívání zdrojů
  - **data confidentiality** – důvěrnost dat – ochrana dat před neautorizovaným přístupem
  - **data integrity** – integrita dat – ujištění, že přijatá data byla odeslána ověřenou entitou
  - **non-repudiation** – nepopiratelnost – ochrana proti popření jednou z komunikujících entit

Bezpečnostní mechanizmy



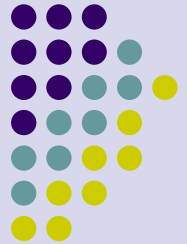
- Šifrování
- Digitální podpisy
- Řízení přístupu
- Integrita dat
- Ověřování výměny dat
- Vyplňování přenosu
- Řízené směrování
- Ověřování třetí stranou

Šifrování



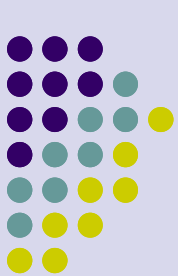
- Symetrické (konvenční, tajný klíč, jeden klíč)
- Asymetrické (tajný a veřejný klíč)
- Požadavky
  - silný šifrovací mechanizmus
  - šifrovací klíč zná pouze odesílatel a příjemce
  - známý šifrovací (a dešifrovací) algoritmus
  - bezpečný kanál pro distribuci klíče
- Šifrovací operace
  - substituce
  - transpozice
- Šifra
  - bloková., proudová

Algoritmy šifrování



- DES
- 3DES
- RC5
- IDEA
- ČÁST
- BLOWFISH
- 3IDEA
- AES

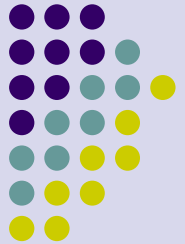
Protokoly ověřování



Distribuované systémy – lekce 10

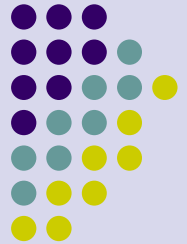
Ing. Jiří Ledvina, CSc.

Ověřování



- Vytvoření a verifikace identity
- Lze realizovat
  - Něčím co máš (klíč, karta) – může být ukraden
  - Něčím co víš (hesla) – prozrazeno, sdíleno, ukradeno
  - Něčím čím jsi (biometrické údaje) – nákladné, kopírovatelné
- Vylepšení – kombinace
  - Karta, pin
- Hesla, vícenásobné použití – ukradení, odezření, odhalení (útok)
- Jednorázová hesla – nemohou být použita opakovaně
  - Systém Skey pro ověřování

Ověřování



- Ověřovací funkce (ověření zprávy)
- Ověřovací protokol (ověření autorství zprávy)
- Ověřovací funkce
  - Šifrování zprávy
    - Ověřením je šifrovaný text
    - Příjemce těžko ověří, že zpráva nebyla modifikována
  - MAC – Message Authentication Code
    - Hodnota pevné délky jako produkt veřejné funkce, otevřeného textu a tajného klíče
  - Hashovací funkce
    - Veřejná funkce, otevřený text

Ověřovací funkce šifrováním zprávy

- Vnitřní kontrola chyby
  - Vypočte se CRC, přidá se za zprávu a celé se to zašifruje
  - Zpráva se rozšifruje, kontrola – kontrola CRC
- Vnější kontrola chyby
  - Vypočte se šifrovaná zpráva
  - Ten, kdo s ní pracuje do zprávy nevidí
  - Vypočte se CRC a přidá se ke zprávě
  - Možnost napadení – změna zprávy i CRC
- Použití veřejného klíče
  - Utajení $E_{K_{B+}}[P]$
  - Ověření plus podpis $E_{K_{A-}}[P]$
  - Utajení, ověření, podpis $E_{K_{A-}}[E_{K_{B+}}[\ P\ ]\ ]$

Ověřovací funkce
Message Authentication Code

- Kryptografický kontrolní součet
- Použití hashovací funkce
- Možnosti
  - Prefix $MAC_K(x) = H(K \| x)$ – extension attack
  - Sufix $MAC_K(x) = H(x \| K)$ - většinou O.K., problém pokud H není odolná proti kolizím
  - Zapouzdření $MAC_K(x) = H(K_1 \| x \| K_2)$
- HMAC
  - $MAC_K(x) = H(K_1 \| H(x \| K_2))$
  - Přesněji viz dále
- UMAC – UMAC-30 – 10 x rychlejší než HMAC-MD5

Ověřovací funkce
Message Authentication Code

- Základní použití
  - $A \rightarrow B: [\ M \ \|C_K(M)\ ]$
- Utajení a ověření vztažené k otevřenému textu
  - $A \rightarrow B: E_{K_2}[\ M \ \|C_{K_1}(M)\ ]$
- Utajení a ověření vztažené k šifrovanému textu
  - $A \rightarrow B: E_{K_2}[\ M\ ] \ \|C_{K_1}(\ E_{K_2}[\ M\ ]\ )$

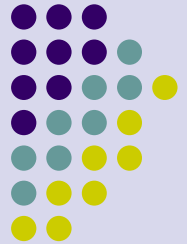
Ověřovací funkce
Výhody MAC oproti šifrování

- Efektivita – ověření může udělat pouze jeden ve skupině
- Selektivnost – ověření vybraných zpráv
- Ověřování kódu – počítačové programy mohou být ověřovány podle potřeby
- Zprávy bez utajení – např. SNMP
- Přizpůsobivost architektury
  - Ověření na aplikační úrovni
  - Šifrování na transportní úrovni
- Dlouhá perioda ochrany – MAC může být uloženo pro pozdější vyhodnocení

Ověřovací funkce
Data Authentication Algorithm

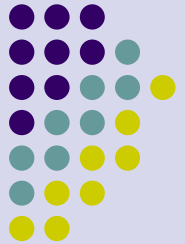
- DAA – Data Authentication Algorithm
  - FIPS (Federal Information Processing Standard)
  - FIPS PUB 113, ANSI X9.17
  - Vládní standard USA
  - Výstupem algoritmu je DAC – Data Authentication Code
- Používá DES v režimu CBC
  - IV nastaven na 0
  - Zpráva rozdělena na 64 bitové bloky
  - Ověření podle posledního bloku
- Dnes není považován za dostatečně bezpečný

Hashovací funkce



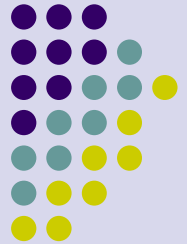
- Vlastnosti
  - Nepoužívá klíč (pouze veřejně známý algoritmus)
  - Není reverzibilní (není známa inverzní funkce)
  - Malé změny ve zprávě způsobí náhodné změny výsledku
  - Aplikovatelná na blok libovolné (omezené) délky
  - Výstupem je blok pevné délky
  - Relativně jednoduchý výpočet
  - Netriviální (neproveditelný) zpětný výpočet
  - Pro dané x je obtížné najít takové y, aby H(x) = H(y)
  - Obtížné najít pár (x,y) tak, aby H(x) = H(y)

Hashovací funkce - použití



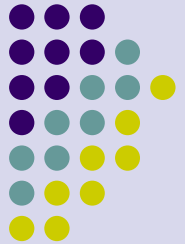
- Utajení a ověření
  - $A \rightarrow B: E_K [M \| H(M)]$
- Ověření (obdoba MAC)
  - $A \rightarrow B: [M \| E_K[H(M)]]$
- Digitální podpis (ověření)
  - $A \rightarrow B: [M \| E_{K_{A-}} [H(M)]]$
- Digitální podpis a utajení
  - $A \rightarrow B: E_K[M \| E_{K_{A-}} [H(M)]]$
- Ověření
  - $A \rightarrow B: [M \| H(M \| S)]$
- Ověření a utajení
  - $A \rightarrow B: E_K [M \| H(M \| S)]$

Hashovací funkce - algoritmy



- MD5 (RFC 1321)
  - Rivest (RSA)
  - výstup 128 bitů, bloky 256 bitů
- SHA-1
  - NIST (National Institute of Standards and Technology)
  - FIPS PUB 180
  - Založeno na MD4 (předchůdce MD5)
  - Max délka zprávy 2^{64}-1 bitů
  - Výstup 160 bitů

Hashovací funkce - algoritmy



- RIPEMD-160
  - RIPE project
  - Výstup 160 bitů
  - Max délka zprávy 2^{64}-1 bitů
- HMAC – RFC 2104
  - Používá MD5, SHA-1, …
  - $HMAC_K = H[(K \text{ xor } opad) \| H[(K \text{ xor } ipad) \| M]]$
  - idad, opad – konstanty
  - H je hashovací funkce

Digitální podpis

- Chrání zprávy před napadením komunikujících entit
- Předpokládá nedůvěryhodné entity
- Odolný proti spiknutí
  - Třetí strana a podepisující
  - Třetí strana a příjemce
- Podobné vlastnosti jako podpis rukou
  - Podpis včetně datumu a času
  - Schopnost ověřit obsah zprávy v době podpisu
  - Podpis ověřitelný třetí důvěryhodnou stranou
  - Chrání před padělání m i popřením
  - Jednoduchá realizace i rozpoznání
  - Složité napodobení (falšování)

Kategorie digitálního podpisu

- Přímý – pouze mezi zúčastněnými stranami
- Arbitrovaný – každá zpráva podepsaná A prochází arbitrem T do B
- Možnosti přímého podpisu
  - $A \rightarrow B: E_{K_{B+}}[\ M\ ]$ - pouze šifrovaná, nepodepsaná
  - $A \rightarrow B: [\ M\ ] \parallel E_K[\ H(\ M\ )\ ]$ - pouze ověření, sdílené tajemství
  - $A \rightarrow B: E_{K_{B+}}[E_{K_{A-}}[\ M\ ]\ ]$ – šifrování (B+) a ověření (A-),
  - $A \rightarrow B: E_K[\ M \parallel E_{K_{A-}}[\ H(M)\ ]\ ]$ – symetrické šifrování, podpis
- Nevýhody
  - Odesílatel může tvrdit, že tajný klíč byl prozrazen
  - Použití starých zpráv, napadení času

Digitální podpis - arbitrovaný

- Arbiter je důvěryhodný prostředník pro obě strany
  - $A \rightarrow T: [\, M \,\|\, E_{K_{AT}} [\, ID_A \,\|\, H(M) \,] \,]$
  - $T \rightarrow B: E_{K_{BT}}[\, ID_A \,\|\, M \,\|\, E_{K_{AT}} [\, ID_A \,\|\, H(M) \,] \,\|\, TS \,]$
- Prostředník nemusí rozpoznat obsah zprávy
  - $A \rightarrow T: [E_{K_{AB}} [\, M \,] \,\|\, E_{K_{AT}} [\, ID_A \,\|\, H(E_{K_{AB}} [\, M \,] \,) \,] \,]$
  - $T \rightarrow B: E_{K_{BT}}[\, ID_A \,\|\, E_{K_{AB}} [\, M \,] \,\|\, E_{K_{AT}} [\, ID_A \,\|\, H(E_{K_{AB}} [\, M \,] \,) \,] \,\|\, TS \,]$
- Nevýhoda
  - T se může spřáhnout s A nebo s B
  - A a T – může popřít podpis A
  - B a T – může vytvořit podpis A
- Řešení – použití veřejných klíčů

Digitální podpis – veřejné klíče

- Použití veřejných klíčů
  - $A \rightarrow T: E_{K_{A-}}[\ ID_A \parallel E_{K_{B+}}[\ E_{K_{A-}}[\ M\ ]\ ]\ ]$
  - $T \rightarrow B: E_{K_{T-}}[\ ID_A \parallel E_{K_{B+}}[E_{K_{A-}}[M\ ]\ ] \parallel TS\ ]$
  - $E_{K_{A-}}$ - tajný klíč A (ověření A)
  - $E_{K_{B+}}$ - veřejný klíč B (šifrování pro B)
  - $E_{K_{T-}}$ - tajný klíč T (ověření T)

Digital Signature Standard (DSS)

- FIPS PUB 186 of NIST
  - Federal Information Processing Standard
  - National Institute of Standards and technology
- Používá SHA-1
- Představuje novou techniku podpisu – Digital Signature Algorithm (DSA)
- Používá veřejné klíče
- Pouze podpis, nikoliv distribuce klíče nebo šifrování
- Používá algoritmus ElGamal
- Odlišný od běžně používaných technik

Digital Signature Standard (DSS)

- p – prvočíslo 512 až 1024 bitů
- q – prvočíselný dělitel (p-1) 160 bitů dlouhý
- g – základ tak, že h ^ ((p-1)/q) mod p > 1; 1 < h < (p-1)
- x - náhodné číslo 0 < x < q
- $y = g^x \bmod p$ – veřejný klíč
- k – náhodné číslo 0 < k < q / relační klíč (tajný)

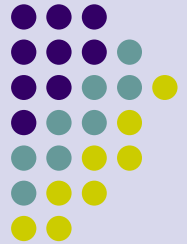
- $r = (g^k \bmod p) \bmod q$
- $s = (k^{-1} (H(M)+xr)) \bmod q$
- Podpis: (r,s)

- $w = (s^{-1} \bmod q)$
- $u_1 = (H(M)w) \bmod q$
- $u_2 = (r)w \bmod q$
- $(g^k \bmod p) \bmod q$
- $v = ((g^{u1} y^{u2}) \bmod p) \bmod q$
- Test: v = r

Protokoly vzájemného ověření

- Základní vlastnosti
  - Důvěryhodnost
    - Prevence proti maškarádě a kompromitaci relačního klíče
    - Vyžaduje existenci sdíleného klíče nebo veřejných klíčů
  - Časová souslednost
    - Prevence proti útoku opakováním (replay attack)
    - Jednoduché sekvenční číslování je nepraktické
    - Časové značky – vyžadují synchronizované hodiny
- Třídy protokolů
  - Přímé - vzájemné ověření dvou entit
  - S ověřovacím serverem
    - Dvouúrovňový hierarchický systém s KDC (Key Distribution Center)

Protokoly vzájemného ověření

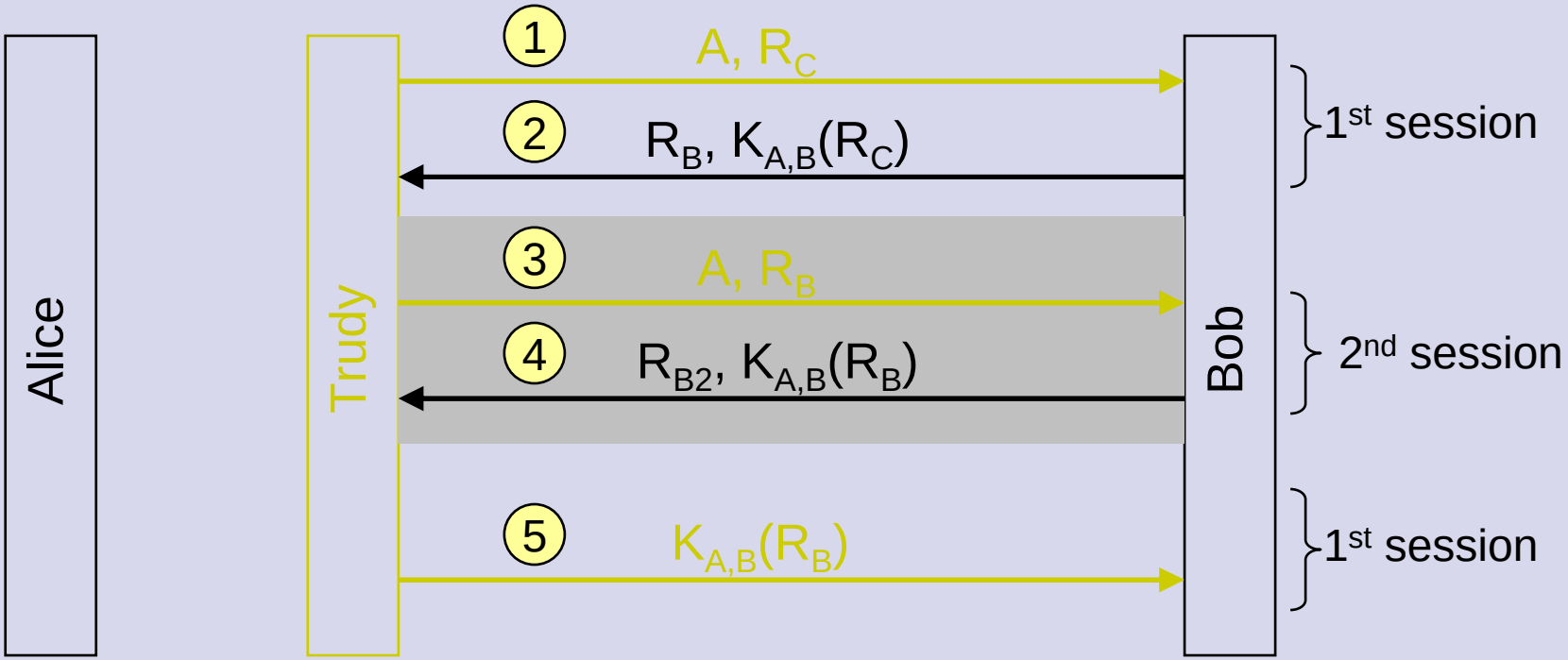


- Založené na sdíleném tajemství
- Založené na symetrickém šifrování
  - Sdílení tajného klíče s každou entitou
  - Generování relačního klíče
  - Relační klíče mají krátkou dobu života (eliminace prozrazení tajného klíče)
  - Použití ověření + šifrování přenosu
- Založené na asymetrickém šifrování
  - Distribuce veřejného klíče mezi entitami
  - Znalost veřejného klíče KDC
  - Veřejný klíč KDC slouží k ověření pravosti KDC

Protokoly vzájemného ověřování
Přímé ověřování – symetrické šifrování

- Základní varianta
  - $A \rightarrow B$: [A]
  - $B \rightarrow A$: [N_B]
  - $A \rightarrow B$: [f(K ‖ N_B)]
  - $A \rightarrow B$: [N_A]
  - $B \rightarrow A$: [f(K ‖ N_A)]
- Redukce počtu zpráv
  - $A \rightarrow B$: [A ‖ N_A]
  - $B \rightarrow A$: [N_B ‖ f(K ‖ N_A)]
  - $A \rightarrow B$: [f(K ‖ N_B)]
- Útok
  - $T \rightarrow B$: [A ‖ N_A]
  - $B \rightarrow T$: [N_B ‖ f(K ‖ N_A)]
  - $T \rightarrow B$: [A ‖ N_B]
  - $B \rightarrow T$: [N'_B ‖ f(K ‖ N_B)]
  - $T \rightarrow B$: [f(K ‖ N_B)]
- Modifikace
  - $A \rightarrow B$: [A]
  - $B \rightarrow A$: [N_B]
  - $A \rightarrow B$: [N_A ‖ f(K ‖ N_B)]
  - $B \rightarrow A$: [f(K ‖ N_A)]

Útok odrazem



Protokoly vzájemného ověřování
Přímé ověřování – nesymetrické šifrování

- Základní varianta (asymetrické šifrování)
  - $A \rightarrow B$: $E_{K_{B+}}[\, A \parallel N_A \,]$
  - $B \rightarrow A$: $E_{K_{A+}}[N_A \parallel N_B \,]$
  - $A \rightarrow B$: $E_{K_{B+}}[N_B \,]$

- Útok (Gavin Lowe)
  - $A \rightarrow U(A)$: $E_{K_{U+}}[\, A \parallel N_A \,]$
  - $U(A) \rightarrow B$: $E_{K_{B+}}[\, A \parallel N_A \,]$
  - $B \rightarrow U(A)$: $E_{K_{A+}}[N_A \parallel N_B \,]$
  - $U(A) \rightarrow A$: $E_{K_{A+}}[N_A \parallel N_B \,]$
  - $A \rightarrow U(A)$: $E_{K_{U+}}[N_B \,]$
  - $U(A) \rightarrow B$: $E_{K_{B+}}[N_B \,]$

- B je přesvědčen, že komunikuje s A
- U(A) má k dispozici $[N_A \parallel N_B \,]$, které může např. použít ke konstrukci relačního klíče.

Protokoly vzájemného ověření
S ověřovacím serverem

- Needham-Shroeder (1978)
- Otway-Ress (1987)
- Andrew Secure RPC handshake (1987)
- Wide-mouthed-frog protocol (1989)
- Kerberos protocol (1987)

- Zdroj: www.lsv.ens-cachan.fr-spore
- Cca 49 protokolů

Protokoly vzájemného ověření
S ověřovacím serverem

- Needham-Schroeder, symetrické šifrování
  - Používá náhodná čísla pro identifikaci zpráv
  - ID_A, ID_B jsou identifikátory entit
  - K_{AB} je relační klíč pro komunikaci A a B
  - K_A, K_B jsou šifrovací klíče pro komunikaci KDC s A a KDC s B.
    - $A \rightarrow KDC: [ID_A \parallel ID_B \parallel N_1]$
    - $KDC \rightarrow A: E_{KA}[K_{AB} \parallel ID_B \parallel N_1 \parallel E_{KB}[K_{AB} \parallel ID_A]]$
    - $A \rightarrow B: E_{KB}[K_{AB} \parallel ID_A]$
      - útok – zachycení, prolomení, podvrhnutí → časové značky
    - $B \rightarrow A: E_{KAB}[N_2]$
    - $A \rightarrow B: E_{KAB}[N_2 - 1]$

Protokoly vzájemného ověření
S ověřovacím serverem

- Needham-Schroeder, nesymetrické šifrování
  - Útok Gavin Lowe 1995

  - $A \rightarrow KDC: [ID_A \| ID_B]$
  - $KDC \rightarrow A: E_{KS-}[K_{B+} \| ID_B]$
  - $A \rightarrow B: E_{KB+}[N_A \| ID_A] \rightarrow A \rightarrow T: E_{KT+}[N_A \| ID_A]$
  - $T \rightarrow B: E_{KB+}[N_A \| ID_A]$
  - $B \rightarrow KDC: [ID_A \| ID_B]$
  - $KDC \rightarrow B: E_{KS-}[K_{A+} \| ID_A]$
  - $B \rightarrow A: E_{KA+}[N_A \| N_B] \rightarrow B \rightarrow T: E_{KA+}[N_A \| N_B]$
  - $T \rightarrow A: E_{KA+}[N_A \| N_B]$
  - $A \rightarrow B: E_{KB+}[N_B] \rightarrow A \rightarrow T: E_{KT+}[N_B]$
  - $T \rightarrow B: E_{KB+}[N_B]$

Protokoly vzájemného ověření
S ověřovacím serverem

- Otway Rees (1997)
  - Symetrické šifrování

  - A → B: $[\, M \,\|\, ID_A \,\|\, ID_B \,\|\, \boldsymbol{E_{K_A}[N_A \,\|\, M \,\|\, ID_A \,\|\, ID_B]} \,]$
  - B → KDC: $[\, M \,\|\, ID_A \,\|\, ID_B \,\|$
    $\boldsymbol{E_{K_A}[N_A \,\|\, M \,\|\, ID_A \,\|\, ID_B]} \,\|\, \boldsymbol{E_{K_B}[N_B \,\|\, M \,\|\, ID_A \,\|\, ID_B]} \,]$
  - KDC → B: $[\, M \,\|\, \boldsymbol{E_{K_A}[N_A \,\|\, K_{AB}]} \,\|\, \boldsymbol{E_{K_B}[N_B \,\|\, K_{AB}]} \,]$
  - B → A: $[\, M \,\|\, \boldsymbol{E_{K_A}[N_A \,\|\, K_{AB}]} \,]$

Protokoly vzájemného ověření
S ověřovacím serverem

- Andrew Secure RPC (1987)
  - Symetrické šifrování
  - Modifikace BAN (Burrows, Abadi, Needham 1989)
  - Modifikace Garwin Lowe 1996

  - $A \rightarrow B: [ID_A \| N_A]$
  - $B \rightarrow A: E_{K_{AB}} [N_A \| K'_{AB} \| ID_B]$
  - $A \rightarrow B: E_{K'_{AB}} [N_A]$
  - $B \rightarrow A: [N_B]$

  - K'_{AB} – nový relační klíč
  - N_B – nové náhodné číslo

Protokoly vzájemného ověření
S ověřovacím serverem

- Wide-mouthed frog protocol (1989)
  - Modifikace Gavin Lowe
  - Symetrické šifrování

  - A → KDC: $[A \| \underline{E_{K_A}[\, TS_A \| ID_B \| K_{AB}\,]}\,]$
  - KDC → B: $\underline{E_{K_B}[\, TS_{KDC} \| ID_A \| K_{AB}\,]}\,]$
  - B → A: $E_{K_{AB}}[\, N_B\,]$
  - A → B: $E_{K_{AB}}[\, N_B + 1]$

Protokoly vzájemného ověření
S ověřovacím serverem

- Denningovo distribuční schéma
  - Používá časové značky TS
  - Používá symetrické šifrování
  - Časová značka musí být $|C - TS| < \Delta t_1 + \Delta t_2$
  - Znovupoužití relačního klíče může být detekováno B

  - A → KDC: $[ID_A \| ID_B]$
  - KDC → B: $E_{K_A}[K_{AB} \| ID_B \| TS \| \underline{\boldsymbol{E_{K_B}[K_{AB} \| ID_A \| TS]}}]$
  - A → B: $\underline{E_{K_B}[K_{AB} \| ID_A \| TS]}$
  - B → A: $E_{K_{AB}}[N_1]$
  - A → B: $E_{K_{AB}}[f(N_1)]$

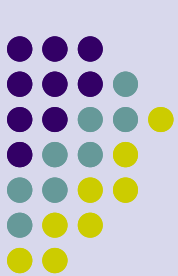
Zabezpečení replikovaných serverů

- Klient zadá požadavek skupině replikovaných serverů
- Servery mohou být s Byzantinskými chybami
- Servery získají odpovědi od všech serverů a hledají majoritu hlasováním
- Problém: klient potřebuje ověřit každý server (porušení transparentnosti replik)
- Řešení: sdílené tajemství
  - Žádný z uživatelů nezná celé tajemství

Zabezpečení replikovaných serverů

- Cíl
  - Předpokládejme, že můžeme tolerovat C chyb
  - Potřebujeme kombinovat odpovědi tak, že C+1 korektních serverů je schopné dát korektní odpověď
- (k,n) schéma podpisu
  - Máme jeden veřejný klíč K+
  - N sdílených odpovídajících privátních klíčů K-
  - Můžeme sdílet hodnoty v šifrované sdíleným privátním klíčem
  - Klient může dešifrovat v s použitím K+ pouze tehdy, jestliže zná alespoň k hodnot zašifrovaného V

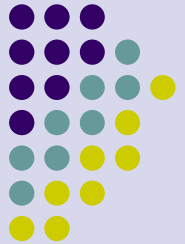
Internet Key Exchange



Distribuované systémy – lekce 10

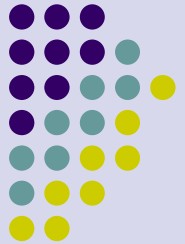
Ing. Jiří Iedvina, CSc

Úvod



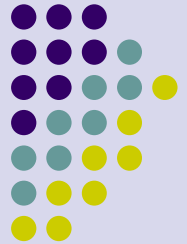
- Standardní protokol pro vytváření a údržbu Security Association
  - Spojení ISAKMP/Oakley
  - ISAKMP - Internet Security Association and Key Management Protocol
    - Definuje procedury formáty paketů k vytváření, potvrzování, modifikaci a rušení Security Association
  - Oakley – výměna zpráv
- IKEv2 – RFC4306
- Použití
  - Mezi hosty, mezi bránami, mezi hostem a branou
- Ověřování pomocí Diffie-Hellman

IKE fáze



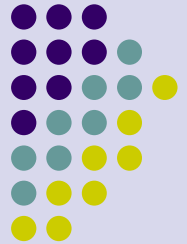
- Fáze I: vytvoření bezpečného komunikačního kanálu
  - Obsahuje kryptografické algoritmy, metody ověřování, klíče
  - Vzájemné ověřování
- Fáze II: použití tohoto kanálu
  - Účastníci vytváří IPsec Security Association
  - Jedna fáze I může ochránit více výměn fáze II
  - Důvodem je náročná fáze I, méně náročná fáze II

IKE fáze I



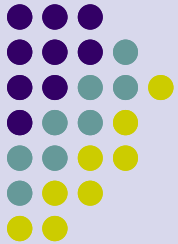
- Zahrnuje dva stavy (výměna zpráv Request – Response)
  - INIT
    - Dohadování kryptografických algoritmů
    - Výměna náhodných čísel
    - Provedení Diffie-Hellman výměny
    - Probíhá bez zabezpečení
  - AUTH
    - Zprávy jsou chráněny klíči odvozenými v předchozí fázi
    - Ověřuje předchozí zprávy
    - Vytváří první CHILD-SA

IKE fáze II



- Vytváří nové CHILD-SA
  - Relativně jednoduchá operace
  - Může být vyvolána jakoukoliv stranou
  - Zajišťuje „perfect forward secrecy“
    - I když útočník zaznamená všechna data poslaná přes bezpečné spojení
    - Nedokáže rekonstruovat klíče pro výměnu mezi CHILD-SA

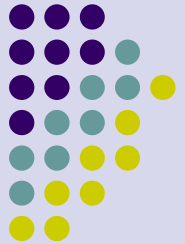
Public Key Infrastructure



Distribuované systémy – lekce 10

Ing. Jiří Iedvina, CSc

Úvod

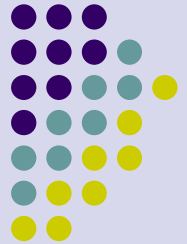


- Infrastruktura pro podporu použití šifrování veřejným klíčem
- PKI zahrnuje
  - Certifikační autority
  - Certifikáty
  - Úložiště pro obnovu certifikátů
  - Metody pro zneplatnění certifikátů
  - Metody pro vyhodnocení řetězu certifikátů od známého veřejného klíče po cílové jméno

Certifikační autorita

- Důvěryhodná entita, která udržuje seznam veřejných klíčů pro ostatní entity
- CA generuje certifikáty
- CA dovede potvrdit pravost veřejného klíče
- Není třeba komunikovat s vlastníkem veřejného klíče

Certifikát



- Certifikát je podepsaná zpráva zaručující, že dané jméno je spojeno s veřejným klíčem
  - Běžně omezeno časově
- Ověření certifikátu se děje na základě znalosti veřejného klíče certifikační autority
- Certifikát může také obsahovat informaci o službách, které držiteli zaručuje

Modely důvěrnosti

- Monopoly model
- Monopoly plus RA
- Delegování CA
- Oligarchy model
- Anarchy model

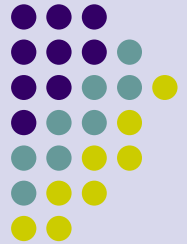
Monopoly model

- Jedna CA je důvěryhodná pro všechny
- Všichni musí mít certifikát od této CA
- Veřejný klíč CA je základem důvěry a musí být zahrnut do všeho software i hardware používajícího PKI
- Nevýhoda
  - Neexistuje taková důvěryhodná organizace
  - Pokud takovou vybereme, těžko zvolíme jinou
  - Celý svět by ji využíval (výkonnost, bezpečnost)
  - Neexistovala by soutěž (cena)

Monopoly plus RA

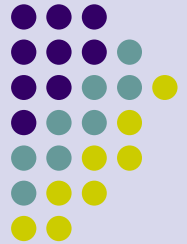
- RA – registrační autorita
- Registrační autority jsou přidružené k jedné CA a je jim důvěřováno
- RA kontrolují identitu uživatelů a poskytují CA odpovídající informaci (identitu a veřejný klíč) při vydávání certifikátů
- výhoda
  - Více míst pro vydávání certifikátů
  - Monopol pro registraci

Delegované CA



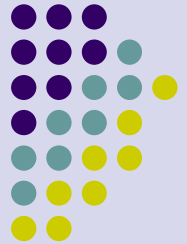
- Kořenová CA vydává certifikáty ostatním CA (delegovaným CA), zaručujíc jejich důvěryhodnost jako CA
- Uživatelé mohou obdržet certifikáty od delegovaných CA jako by to bylo od kořenové CA
- Výhoda – více CA, menší nebezpečí úzkého místa
- Vydávání závisí na jednom CA
- Obtížnější ověřování certifikátu
  - Uživatel musí prohledávat řetěz certifikátů
  - Uspořádání do hierarchie prohledávání ulehčuje

Oligarchy model



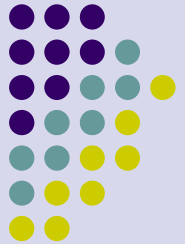
- Existuje několik důvěryhodných CA
- Je akceptován certifikát vydaný kteroukoliv z nich
- Obecně jsou takto konfigurovány web prohlížeče
- Výhoda – konkurence CA
- Snížení bezpečnosti
  - Možnost vložit do seznamu nedůvěryhodnou CA
  - Potřeba chránit více CA před kompromitováním

Anarchy model



- Kdokoliv může podepsat certifikát pro kohokoliv
  - Neexistuje CA nebo seznam CA určený uživatelům
  - Uživatelé si sami určují kdo je důvěryhodný
  - Uživatelé si musí sami nalézt řetězec od důvěryhodné CA k cíli
- Certifikáty mohou být od
  - Zdrojů
  - Subjektů
  - Veřejných úložišť – web serverů
- Výhody
  - Mnoho potenciálních důvěrných kořenů
  - Není třeba zavádět drahou infrastrukturu

Anarchy model

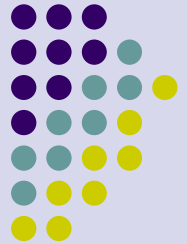


- Bezpečnost
  - Je důvěra tranzitivní
  - Co je to dost dobrá důvěra

Rušení certifikátů

- CA může zrušit certifikát s veřejným klíčem pokud jej uživatel nechce dále používat
- Kompromitování certifikátu
- Náhrada klíče (nový klíč)
- Ukončení členství ve skupině (organizaci)
- Způsoby informování ostatních
  - Broadcast
  - Uložení na veřejném místě
  - Všichni se ptají CA

Revocation list



- CA může periodicky vysílat CRL
  - Podepsaný CA
  - Před použitím certifikátu musí být prohlédnut CRL
  - Nevýhoda – četnost vysílání CRL
  - Nevýhoda počet certifikátů
- Delta CRL
  - Vysílají se pouze změny
  - Podstatně kratší
  - Celý seznam se vysílá méně často
  - Potřeba prohlédnou zěny i celý CRL

On-line Revocation Servers

- ORLS je systém serverů, který může být dotazován na stav jednotlivých certifikátů
- Musí obsahovat celý CRL
- Místo toho by bylo možné udržovat seznam nezrušených certifikátů
- Nevýhoda je v délce seznamu