Komunikacijski protokoli in omrežna varnost

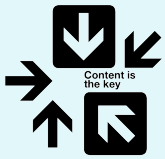
Uvod in ponovitev osnov predmeta

Komunikacijski protokoli in omrežna varnost

- **Profesor:**
  dr. Andrej Brodnik (Ljubljana)
  doc. dr. Zoran Bosnić (Sežana)

- **Asistent:**
  as. dr. Gašper Fele Žorž
- Izvedba predmeta:
  - 3 ure predavanj, 2 uri laboratorijskih vaj tedensko
  - kontakt: e-mail, govorilne ure, forum na strani predmeta

Vsebina predmeta



- ponovitev osnov računalniških komunikacij (ISO/OSI, TCP/IP, protokoli, storitve, varnost),
- nadzor in upravljanje omrežij,
- razpošiljanje (multicasting),
- aplikacije v realnem času,
- varnost: avtentikacija, avtorizacija, beleženje, varni prenosi, VPN, certificiranje, požarni zidovi, IDS sistemi,
- podatki za delovanje omrežja, LDAP.

Vsebina predmeta - okvirni načrt

4. - 8.10.	Uvod v predmet
11.-15.10.	Zagon računalnika, omrežna konfiguracija
18.-22.10.	Nadzor in upravljanje omrežij
25.-29.10.	Promet za aplikacije v realnem času
1.-5.11.	Razpošiljanje (multicast)
8.-12.11.	Postavitev podatkovnega toka
15. - 19.11.	Avtentikacija, avtorizacija in beleženje (AAA)
22.-26.11.	KOLOKVIJ 1
29.11.-3.12.	Var nostni elementi omrežij
6.12. - 10.12.	Var nostni elementi omrežij
13. - 17.12.	Podatki za delovanje omrežja (LDAP)
20.-24.12.	Podatki za delovanje omrežja
27. - 31. 12.	<<< novoletni prazniki >>>
3.1. - 7.1.	802.1X
10. - 14.1.	Vabljena predavanja
17. - 21.1.	KOLOKVIJ 2

Obveznosti predmeta

Končna ocena:

- 4 domače naloge: 20%
- seminarska naloga 40%
- pisni izpit ali 2 kolokvija: 40%

100%

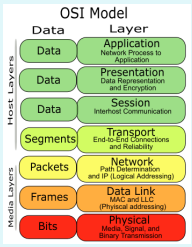
Literatura

- J. F. Kurose, K. W. Ross: Computer Networking, 5th edition, Addison-Wesley, 2010.
- A. Farrel: The Internet and Its Protocols: A Comparative Approach, Morgan Kaufmann, 2004.
- E. Cole: Network Security Bible, Wiley, 2nd edition, 2009.
- ...

Ponovitev osnov računalniških komunikacij

ISO/OSI model

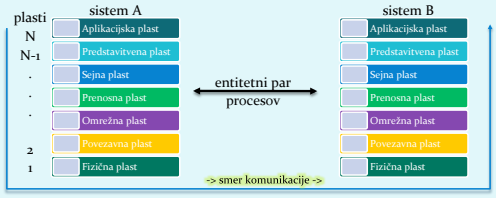
- model vsebuje 7 plasti, ki definirajo sloje sorodnih funkcij komunikacijskega sistema



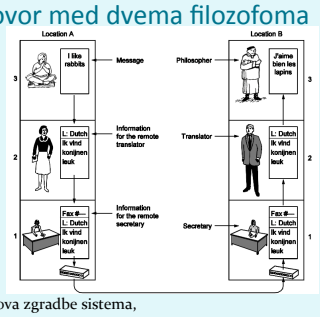
aplikacijska plast
predstavitvena plast
sejna plast
transportna plast
omrežna plast
povezavna plast
fizična plast

ISO/OSI model

- plast N nudi storitve (streže) plasti N+1
- plast N zahteva storitve (odjema) od plasti N-1,
- protokol: pravila komuniciranja med istoležnima procesoma,
- entitetni par: par procesov, ki komunicira na isti plasti



Analogija: pogovor med dvema filozofoma

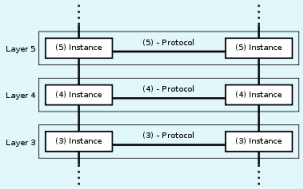


- Zakaj plasti?
  - sistematična zasnova zgradbe sistema,
  - sprememba implementacije dela sistema je neodvisna od ostalega sistema

ISO/OSI model

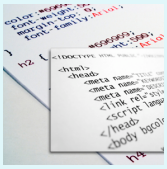
In še drugače:

- vsaka plast ima svoje protokole (= jezik, s katerim se pogovarja istoležni entitetni par procesov),
- protokoli so specifični za storitve, ki jih plast zagotavlja.



OSI plasti: podrobneje

- **Aplikacijska plast**
  - najbližja uporabiku,
  - omogoča interakcijo aplikacije z omrežnimi storitvami,
  - standardne storitve: telnet, FTP, SMTP, SNMP, HTTP



- **Predstavitvena plast**
  - določa pomen podatkov med entitetnima paroma aplikacijske plasti,
  - sintaksa in semantika,
  - določa kodiranje, kompresijo podatkov, varnostne mehanizme

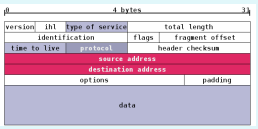
OSI plasti

- **Sejna plast**
  - kontrola "dialoga" (množice povezav) med aplikacijama,
  - logično povezovanje med aplikacijami,
  - običajno vgrajena v aplikacije.

- **Transportna plast** (enota: SEGMENT)
  - učinkovit, zanesljiv in transparenten prenos podatkov med uporabnikoma; te storitve zagotavlja višjim plastem,
  - mehanizmi: kontrola pretoka, segmentacija, kontrola napak,
  - povezavni, nepovezavni prenosi,
  - TCP, UDP, IPSec, GRE, L2TP, PPP

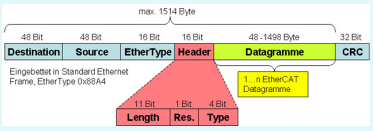
OSI plasti

- **Omrežna plast** (enota: PAKET)
  - preklapljanje (povezavne in nepovezavne storitve)
  - prenos paketov od izvornega do ciljnega računalnika,
  - lahko zagotavlja: zagotovljeno dostavo, pravilno zaporedje, fragmentacijo, izogibanje zamašitvam,
  - usmerjanje, usmerjevalniki, usmerjevalni algoritmi,
  - protokoli: IP, ICMP, IPSec, IGMP, IPX



OSI plasti

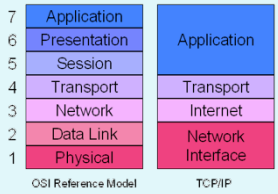
- **Povezavna plast** (enota: OKVIR)
  - asinhrona/sinhrona komunikacija,
  - fizično naslavljanje: npr MAC naslov,
  - zaznavanje in odpravljanje napak (pariteta, CRC, checksum)
  - kontrola pretoka, okvirjanje
  - protokoli: Ethernet, PPP, Frame Relay



OSI plasti

- **Fizična plast**
  - prenos bitov po kanalu (baker/optika/brezžično),
  - digitalni, analogni medij,
  - UTP, optika, koaksialni kabli, brezžična omrežja,
  - RS-232, T1, E1, 802.11b/g, USB, Bluetooth

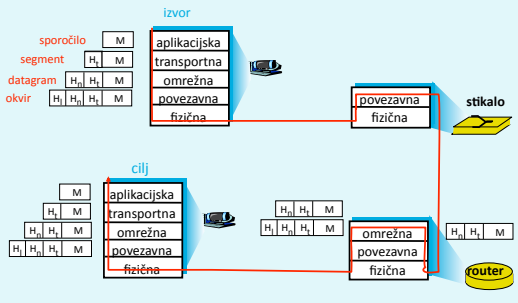
OSI model in model TCP/IP



Primerjava modelov:

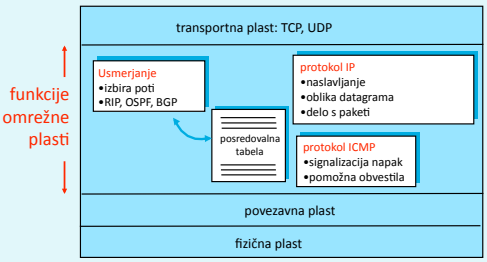
- ISO OSI: **de iure**, teoretičen, sistematičen, pomanjkanje imlementacij (izdelkov),
- TCP/IP: **de facto**, prilagodljiv, nesistematičen, fleksibilen, veliko izdelkov

Enkapsulacija



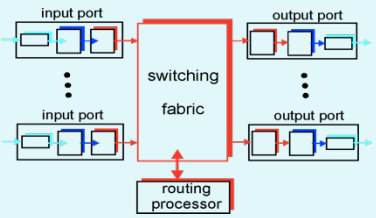
Omrežna in transportna plast: podrobneje

Omrežna plast:
Funkcije omrežne plasti



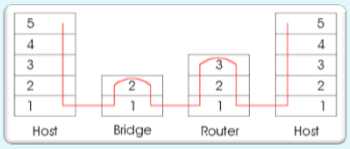
Omrežna plast:
Usmerjevalniki

- uporaba usmerjevalnih (routing) protokolov (RIP, OSPF, BGP)
- posredovanje *(forwarding)* datagramov med vhodnimi in izhodnimi vrati



Omrežna plast:
Primerjava aktivne opreme

- **usmerjevalnik (router):**
  - naprava, ki deluje na OMREŽNI plasti
  - vzdržujejo usmerjevalne tabele, izvajajo usmerjevalne algoritme,
- **stikalo (switch):**
  - naprava, ki deluje na POVEZAVNI plasti,
  - vzdržujejo tabele za preklapljanje, izvajajo filtriranje in odkrivanje omrežja
- **hub:**
  - naprava, ki deluje na fizični plasti, danes niso več v rabi



Omrežna plast:
IPv4

- protokol na omrežni (3.) plasti OSI modela
- **IPv4 naslov** je 32 bitni naslov vmesnika. Primer:
  11000001 00000010 00000001 01000010
  ali
  193.2.1.66

- **Podomrežje** je množica IP naslovov, ki so med seboj dosegljivi brez posredovanja usmerjevalnika. Maska (32 bitov) določa del IP naslova, ki predstavlja naslov podomrežja. Primer:
  11111111 11111111 11110000 00000000 (255.255.255.240)
  pomeni, da prvih 20 bitov IP naslova predstavlja naslov omrežja, preostalih 12 pa naslov vmesnika.

Omrežna plast:
Vaja!

- Podana sta IP naslov nekega vmesnika in maska podomrežja:

  193.90.230.25 /20

  Kakšen je naslov podomrežja?

  Kakšen je naslov vmesnika?

Omrežna plast:
IPv6

- **Prednosti**:
  - večji naslovni prostor: 128 bitov
  - hitro usmerjanje in posredovanje ter QoS omogoča že format glave, fragmentacije ni,
  - implementacija IPSec znotraj IPv6 obvezna.
- **Naslov**: sestavljen iz 64 bitov za ID podomrežja + 64 bitov za ID vmesnika

```
0010000111011010 0000000011010011 0000000000000000 0010111100111011
0000001010101010 0000000011111111 1111111000101000 1001110001011010
```

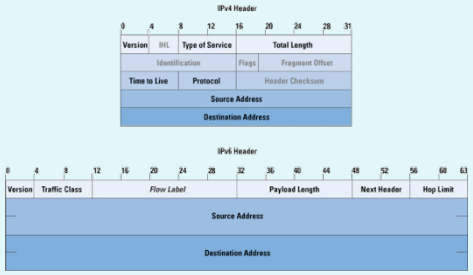
Zapisan šestnajstiško, ločeno z dvopičji

```
21DA:00D3:0000:0000:02AA:00FF:FE28:9C5A
```
ali (brez vodilnih ničel)

```
21DA:D3:0:0:2AA:FF:FE28:9C5A
```
ali (izpustimo bloke ničel)

```
21DA:D3::2AA:FF:FE28:9C5A
```

Omrežna plast:
Primerjava IPv4 in IPv6



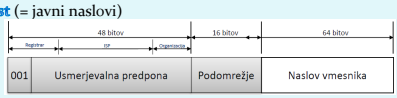
Omrežna plast:
IPv6 - načini naslavljanja

- **UNICAST:**
  naslavljanje posameznega omrežnega vmesnika
- **MULTICAST:**
  naslavljanje skupine omrežnih vmesnikov, dostava vsem vmesnikom v množici
- **ANYCAST:**
  je naslov množice vmesnikov, dostava se izvede enemu (najbližjemu?) vmesniku iz te množice

Vsak vmesnik ima lahko več naslovov različnih tipov.
(BROADCAST naslovov - v IPv6 ni več!)

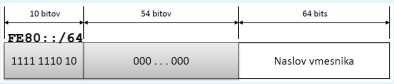
Omrežna plast:
IPv6 - vrste unicast naslovov

1.) **globalni unicast** (= javni naslovi)



2.) **posebni naslovi** (localhost ::1, nedefiniran 0::0, IPv4 naslovi)

3.) **link-local naslovi** (znotraj 1 povezave, adhoc omrežja)



4.) ~~**site-local** (=privatni naslovi, znotraj org., se ne usmerjajo, `FEC0::/10`)~~

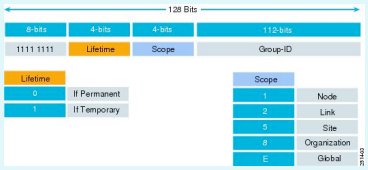
5.) **unique-local** (=privatni naslovi, dodeli registrar, znotraj org. se ne usmerjajo, so bolje strukturirani, `FC00::/7`)

Omrežna plast:
IPv6 - multicast

1.) FF02::1 (link local: vsi VMESNIKI)

2.) FF02::2 (link local: vsi USMERJEVALNIKI)

3.) Struktura naslova:



Omrežna plast:
IPv6 v omrežjih IPv4

1.) **dual-stack:** usmerjevalniki poznajo IPv4 in IPv6. Z zmnožnimi govori IPv6, z ostalimi pa IPv4.

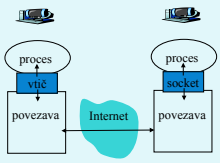
2.) **tuneliranje:** IPv6 paket zapakiramo v enega ali več IPv4 paketov kot podatke.

Omrežna plast:
Usmerjanje

- **NAČINI**
  - statično / dinamično (upoštevanje razmer v omrežju)
  - centralizirano / porazdeljeno (glede na poznavanje stanja celega omrežja)
  - po eni poti / po več poteh
- **IMPLEMENTACIJE:**
  - z vektorjem razdalj (RIP, IGRP, EIGRP)
  - glede na stanje omrežja (OSPF, IS-IS)

Transportna plast:
Funkcionalnosti

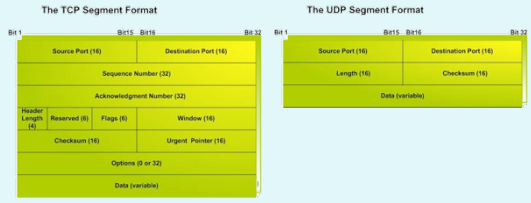
- **Naloga**:
  - Sprejem sporočila od aplikacije
  - Sestavljenje segmentov v sporočilo za omrežno plast
  - Predaja aplikacijski plasti
- **Vtič**
  - vmesnik med transportno in aplikacijsko plastjo,
  - proces naslovimo z IP številko in številko vrat (www: 80, SMTP: 25, DNS: 53, POP3: 110).



Transportna plast:
Povezavno in nepovezavno

- **Povezavna in nepovezavna komunikacija**
  - TCP in UDP; ter ostali protokoli
  - vzpostavitev, **prenos**, podiranje – povezave
- **Potrjevanje**
  - v protokolu (TCP)
  - v aplikaciji (UDP)
  - neposredno (ACK in NACK)
  - posredno (samo ACK, sklepamo na podlagi številk paketov)
  - sprotno potrjevanje: naslednji paket se pošlje šele po prejemu potrditve
  - tekoče pošiljanje: ne čaka se na potrditve.

Transportna plast:
TCP in UDP

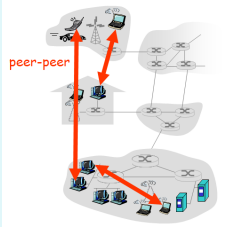


Aplikacijska plast:
Funkcionalnosti

- **Klasične storitve – odjemalec-strežnik**
  - telnet, ssh; rdesktop
  - ftp, sftp
  - WWW in HTTP,
  - SMTP, POP3, IMAP, MAPI
  - DNS,
  - SNMP, LDAP, RADIUS, ...
  - ...

Aplikacijska plast:
Funkcionalnosti

- **Novejše storitve – P2P:**
  - komunikacija poljubnih dveh končnih sistemov,
  - strežniki niso nenehno prižgani,
  - prekinjene povezave / spremembe IP naslovov,
  - primeri: BitTorrent, Skype

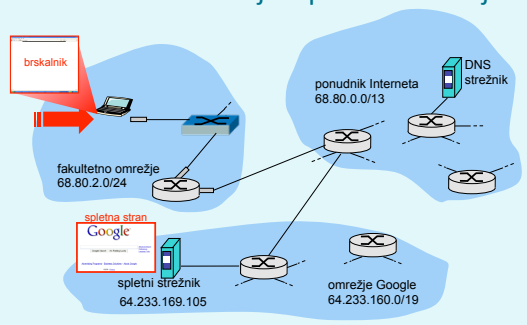


Omrežna in transportna plast:
Iz preteklosti za prihodnost

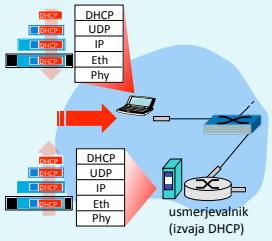
- **Problem**: pomanjkanje IPv4 naslovov
  - izkoristek zasebnih naslovnih prostorov
  - NAT prehodi – običajno hkrati požarni zidovi
  - preprosto v odjemalec-strežnik sistemih
  - v P2P potrebujemo preslikovalni naslov v zunanjem svetu
- V IPv6 NAT prehodi niso potrebni

Primer komunikacije

Primer komunikacije: spletno brskanje

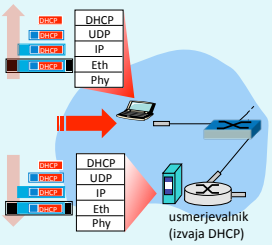


Primer komunikacije: spletno brskanje



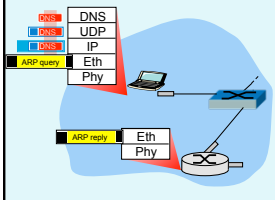
- notesnik ob priklopu na omrežje potrebuje **IP naslov** in podatke prehoda ter DNS strežnika: uporabi torej **DHCP**,
- zahteva DHCP se **enkapsulira**: UDP -> IP -> 802.1 Ethernet
- ethernet okvir se **razpošlje** (broadcast) na omrežje, prejme ga usmerjevalnik, ki opravlja nalogo DHCP strežnika
- DHCP strežnik **prebere** vsebino DHCP zahteve

Primer komunikacije: spletno brskanje



- DHCP strežnik odgovori klientu (notesniku) s paketom **DHCP ACK**, ki vsebuje njegov IP naslov ter naslove prehoda in DNS strežnika,
- odgovor **enkapsulira** DHCP strežnik (usmerjevalnik) in ga posreduje klientu, ki ga **dekapsulira**,
- DHCP klient dobi odgovor DHCP ACK,
- rezultat: klient je pripraljen na komunikacijo.

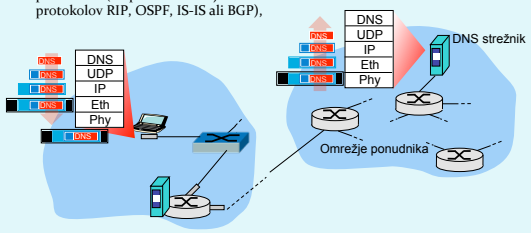
Primer komunikacije: spletno brskanje



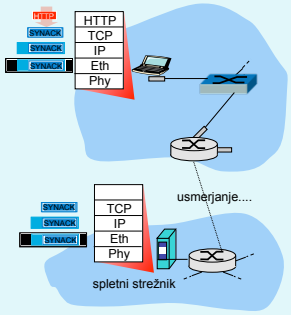
- pred pošiljanjem zahtevka HTTP, potrebujemo IP naslov strežnika www.google.com: **uporabi DNS**,
- enkapsulacija zahtevka DNS: UDP -> IP -> Ethernet. Potrebujemo MAC naslov usmerjevalnika: **uporabi ARP**
- razpošljemo **zahtevek ARP**, usmerjevalnik odgovori z **ARP odgovorom**, ki hrani njegov MAC naslov,
- klient sedaj pozna MAC naslov prehoda, ki mu lahko **pošlje DNS zahtevek** .

Primer komunikacije: spletno brskanje

- IP datagram z **zahtevkom DNS** se posreduje usmerjevalniku
- IP datagram se posreduje **DNS strežniku**, ki je v omrežju ponudnika (z uporabo usmerjevalnih protokolov RIP, OSPF, IS-IS ali BGP),
- DNS strežnik **dekapsulira** zahtevek in posreduje uporabniku IP naslov spletnega strežnika www.google.com

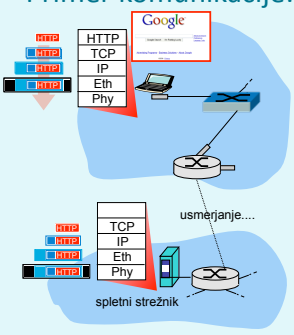


Primer komunikacije: spletno brskanje



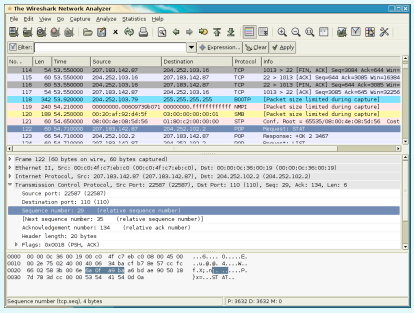
- za pošiljanje **HTTP zahtevka**, klient najprej naslovi **TCP vtič** spletnega strežnika,
- **TCP SYN** segment se preko omrežja usmeri do spletnega strežnika
- spletni strežnik odgovori s **TCP SYNACK** (potrditev rokovanja),
- sedaj je **TCP povezava vzpostavljena**!

Primer komunikacije: spletno brskanje



- **HTTP zahtevek** se pošlje na **TCP vtič** spletnega strežnika,
- **IP datagram**, kivsebuje spletno zahtevo po strani www.google.com se usmeri k spletnemu strežniku
- spletni strežnik odgovori s **HTTP REPLY**, ki vsebuje vsebino strani
- IP datagram s stranjo se usmeri h klientu,
- **WWW stran je končno prikazana!**

Zajem podatkov iz omrežja



Zajem podatkov iz omrežja: primer DHCP

zahtevek

```
Message type: Boot Request (1)
Hardware type: Ethernet
Hardware address length: 6
Hops: 0
Transaction ID: 0x6b3a11b7
Seconds elapsed: 0
Bootp flags: 0x0000 (Unicast)
Client IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Your (client) IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Next server IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Client MAC address: Wistron_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)
Server host name not given
Boot file name not given
Magic cookie: (OK)
Option: (t=53,l=1) DHCP Message Type = DHCP Request
Option: (61) Client identifier
     Length: 7; Value: 0016D3236B8A;
     Hardware type: Ethernet
     Client MAC address: Wistron_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)
Option: (t=50,l=4) Requested IP Address = 192.168.1.101
Option: (t=12,l=5) Host Name = "tomas"
Option: (55) Parameter Request List
     Length: 11; Value: 010F03062C2E2F1F21F92B
     1 = Subnet Mask; 15 = Domain Name
     3 = Router; 6 = Domain Name Server
     44 = NetBIOS over TCP/IP Name Server
     ...
```

odgovor

```
Message type: Boot Reply (2)
Hardware type: Ethernet
Hardware address length: 6
Hops: 0
Transaction ID: 0x6b3a11b7
Seconds elapsed: 0
Bootp flags: 0x0000 (Unicast)
Client IP address: 192.168.1.101 (192.168.1.101)
Your (client) IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Next server IP address: 192.168.1.1 (192.168.1.1)
Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
Client MAC address: Wistron_23:68:8a (00:16:d3:23:68:8a)
Server host name not given
Boot file name not given
Magic cookie: (OK)
Option: (t=53,l=1) DHCP Message Type = DHCP ACK
Option: (t=54,l=4) Server Identifier = 192.168.1.1
Option: (t=1,l=4) Subnet Mask = 255.255.255.0
Option: (t=3,l=4) Router = 192.168.1.1
Option: (6) Domain Name Server
     Length: 12; Value: 445747E2445749F244574092;
       IP Address: 68.87.71.226;
       IP Address: 68.87.73.242;
       IP Address: 68.87.64.146
Option: (t=15,l=20) Domain Name = "hadl.ma.comcast.net."
```

Omrežna varnost

Omrežna varnost

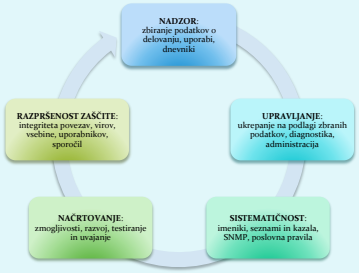
- **Je področje, ki:**
  - analizira možnosti vdorov v sisteme,
  - načrtuje tehnike obrambe pred napadi,
  - snuje varne arhitekture, ki so odporne pred vdori.
- **Internet ni bil snovan ozirajoč se na varnost!**
  - *vizija interneta je sprva bila:* "To je skupina ljudi, ki si med seboj zaupajo in je priključena na skupno omrežje"
  - pri izdelavi protokola so ga proizvajalci delali z metodologijo "krpanja",
  - varnostne mehanizme je potrebno upoštevati na vseh plasteh OSI modela.

Kako lahko vdiralec škoduje sistemu?

Ima veliko možnih pristopov in tehnik!

- **prisluškovanje:** prestrezanje sporočil,
- aktivno **ponarejanje** sporočil v neki komunikaciji,
- **kraja identitete (*impersonacija*):** ponaredi lahko izvorni naslov ali poljubno drugo vsebino paketa,
- **prevzem povezave (hijacking):** odstrani pravega pošiljatelja ali prejemnika iz komunikacije in prevzame njegovo vlogo,
- **"denial of service":** onemogoči uporabo regularne storitve (npr. s tem, da jo preobremeni)

Varnost: zagotavljanje zanesljivosti



Elementi varne komunikacije

- **Zaupnost** – kdo sme prebrati? (enkripcija)
- **Avtentikacija** – dokaži, da si res ti (identifikacija – povej, kdo si, brez dokaza)
- **Razpoložljivost in nadzor dostopa** – preprečevanje nelegitimne rabe virov (*avtorizacija* – ugotavljanje, ali nekaj smeš storiti, *accounting* - storitve beleženja uporabe)
- **Integriteta sporočila** – je bilo med prenosom spremenjeno?
- **Preprečevanje zanikanja** (nonrepudiation) – res si poslal / res si prejel.

- V praksi:
  - požarni zidovi, intrusion detection sistemi,
  - varnost na aplikacijski, transportni, omrežni in povezavni plasti

Avtentikacija

Prepričamo se o dejanski identiteti osebe - sogovornika v komunikaciji.

PRISTOPI:

- Challenge-response (izziv-odgovor),
- zaupamo tretji strani,
- avtentikacija s sistemom javnih ključev.

Zaupnost sporočil: kriptiranje (zakrivanje) vsebine

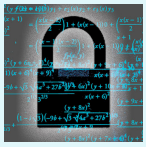
Je način obrambe pred **pasivnimi** vdiralci (prisluškovalci) in **aktivnimi** vdiralci (ponarejevalci).

Sporočilo **P** **kriptiramo** s ključem **E()** - dobimo **kriptogram E(P)**. Kriptogram **E(P)** predelamo v izvorno obliko s ključem **D()**, dobimo izvorno sporočilo **D(E(P))=P**.

Vrste metod:

- **substitucijske** (menjava znakov) / **transpozicijske** (vrstni red znakov)
- **simetrične** (**E=D**, npr. DES, AES) / **asimetrične** (**E≠D** , npr. RSA, ECC)

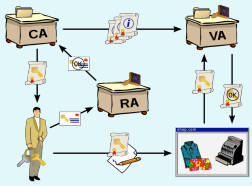
Vrste kriptografije



- Kriptografija uporablja ključe
  - kriptirni algoritem je običajno znan vsem,
  - tajni so le ključi
  - kriptiranje: skrivanje vsebine
  - kriptoanaliza ("razbijanje" kode)
- Kriptografija z javnimi ključi
  - E() ≠ D(): dva ključa – javnega in zasebnega
- Simetrična kriptografija
  - E() = D(): samo en ključ
- Zgoščevalne funkcije – niso kriptografija
  - ne uporabljajo ključev. Kako so lahko koristne?

Kriptografija z javnimi ključi

- **PKI (Public Key Infrastructure)** je sistem, ki opredeljuje izdelavo, upravljanje, distribucijo, shranjevanje in preklic digitalnih certifikatov.
- Uporabnike avtenticiramo s pomočjo javnih ključev, ki so overovljeni s strani certifikacijske agencije (*certificate authority*, **CA**).



Kriptografija z javnimi ključi

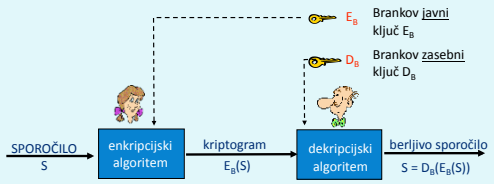
- Algoritmi za kriptiranje z javnimi ključi so asimetrični, E= enkripcijski ključ, D= dekripcijski ključ, velja **E≠D**
- Ključa **E** in **D** morata izpolnjevati naslednje zahteve glede kriptiranja sporočila **S**:

1. **D(E(S)) = D(E(S)) = S**
2. Iz znanih **S** in **E(S)** mora biti nemogoče ugotoviti **D**.
3. Iz **E** mora biti zelo težko / nemogoče ugotoviti **D**.

- Najbolj znan algoritem je **RSA** (Rivest, Shamir, Adelman). RSA uporablja velika praštevila za določitev D in E, postopek kriptiranja/ dekriptiranja pa je enak računanju ostanka pri deljenju s produktom teh praštevil.

Problem: distribucija ključev, počasnost.

Kriptografija z javnimi ključi



Zakaj je RSA varen?

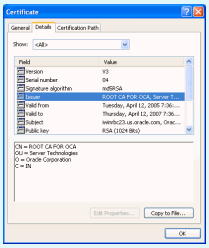
- Denimo, da poznamo javni ključ neke osebe (določen z dvojico števil (n, e). Za ugotavljanje zasebnega ključa d moramo poznati delitelje števila n. Iskanje deliteljev nekega velikega števila pa je težko ali neizvedljivo z današnjimi računskimi kapacitetami.
- Kako poiskati dovolj velika praštevila?
  - večkrat izvedemo "ugibanje": generiramo veliko število, nato ga testiramo, ali je praštevilo,
  - za testiranje praštevil obstajajo danes učinkoviti algoritmi.

Integriteta

- **Integriteta uporabnikov**: dokazuje, kdo je sporočilo poslal in da sporočilo bere le pravi prejemnik. Sporočilo **S**, ki ga uporabnik A pošlje B kriptiramo
  $E_B(D_A(S)) = XXX$
  in odkriptiramo: $D_B(XXX) = D_B(E_B(D_A(S))) = D_A(S)$;
  $E_A(D_A(S)) = S$
- **Integriteta sporočila**: dokazuje, da sporočilo (tudi nekriptirano!) ni bilo spremenjeno. Uporabljajo se zgoščevalne funkcij, ki izračunajo podpis sporočila **sig(S)**. To vrednost podpišemo z mehanizmom elektronskega podpisa
  $D_A(sig(S)) = sss$
  in **sss** pošljemo skupaj s (kriptiranim) originalnih sporočilom **XXX**: (**XXX**, **sss**) Prejemnik odkriptira **XXX** v **S**, ponovno izračuna **sig(S)** in preveri, ali **sss = sig(S)**.

Certifikati

- Sistem PKI vsebuje certifikacijske agencije (angl. certification authority), ki izdajajo, hranijo in preklicujejo certifikate.
- Certifikati so definirani s standardom X. 509 (RFC 2459)
- Certifikat vsebuje
  - naziv izdajatelja,
  - ime osebe, naslov, ime domene in druge osebne podatke,
  - javni ključ lastnika,
  - digitalni podpis (podpisan z zasebnim ključem izdajatelja),



Naslednjič gremo naprej!

- priključitev računalnika na omrežje
- zagon računalnika: protokola DHCP in BOOTP
- arhitektura strežnik – odjemalec,
- protokol: delovanje, njegove funkcije,
- sled protokola