



Ethernet – omrežne storitve



Značilnosti

- Tehnologija v osnovi razvita za LAN okolja
- Nepovezavno usmerjena tehnologija
- Deluje po princip “plug and play”
 - nič ni potrebno nastaviti, vse se zgodi avtomatsko ☺
- Podatkovna in kontrolna ravnina združeni
 - Ethernet stikalo zgradi tabelo MAC na osnovi posredovalne funkcije
- Ethernet okvir je za vse verzije enak
 - razlika med IEEE 802.3 in Ethernet II je majhna
 - omrežne kartice (NIC) tipično oddajajo in sprejemajo oba tipa okvirjev
- Dokler ostane sporočilo na Ethernet omrežju se okvir ne spreminja
 - omogoča veliko razširljivost
- Velike hitrosti delovanja
 - 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40Gbit/s, (100Gbit/s)
- Raznolikost prenosnih medijev
- Standardizacija v IEEE
 - standardi 802.3 – Ethernet vmesniki 10/100/1000/10000 Mbit/s
 - standardi 802.1 – Ethernet komutacija, zaščitni mehanizmi, OAM



Standardizacija Ethernet – IEEE

- **802.1D – (MAC) Ethernet bridge**
 - zaščita pred zankami (STP)
 - konvergenca ~30 s do 50 s
- **802.1w – Rapid Spanning Tree Protocol (RSPT)**
 - hitra zaščita pred zankami
 - kovergenca ~1 s
- **802.1s – Multiple Spanning Trees (MSTP)**
 - preprečevanje zank znotraj omrežij VLAN
- **802.1Q/802.1p – Virtual LAN, QoS**
 - logična segmentacija omrežja
 - prioritizacija prometa
- **802.1X – Port Based Network Access Control**
 - nadzor dostopa na nivoju fizičnega vmesnika
- **802.3ad – Link Aggregation**
 - združevanje vmesnikov v logične vmesnike konvergenca ~ 500 ms
- **802.3af – DTE Power via MDI**
 - napajanje terminalne opreme prek vmesnikov Ethernet
- **802.3 – standardi za fizične vmesnike**
 - standardizirani so vmesniki hitrosti 10/100/1000/10000 Mbit/s
- **802.11 – standardi za brezžične vmesnike (WiFi)**
 - vmesniki s hitrostmi 11 – 54 Mbit/s
- **802.16 – standardi za brezžične/mobilne vmesnike (WiMAX)**
 - vmesniki s hitrostmi do ~70 Mbit/s



Ethernet okvir

- **Preamble – niz potreben za sinhronizacijo (1010 ...)**
 - združljivost za nazaj – 10 Mbit Ethernet (asinhron)
 - SFD (Start Frame Delimiter) – konec sinhronizacije (niz 10101011)
- **Destination/source**
 - ciljni/izvorni naslov MAC
- **Length/Type**
 - vrednost manjša od 600 HEX (=1536 dec) – polje Length
 - vrednost enaka ali večja od 600 HEX – polje Type
 - 0800HEX = IPv4, 806HEX=ARP
- **PAD – polnilni biti**
- **FCS – polje za zapis izračunane vrednosti CRC**

Okvir IEEE 802.3

Preamble 7	SFD 1	Destination 6	Source 6	Length/ Type 2	Data 46 do 1500	Pad	FCS 4
---------------	----------	------------------	-------------	-------------------	--------------------	-----	----------

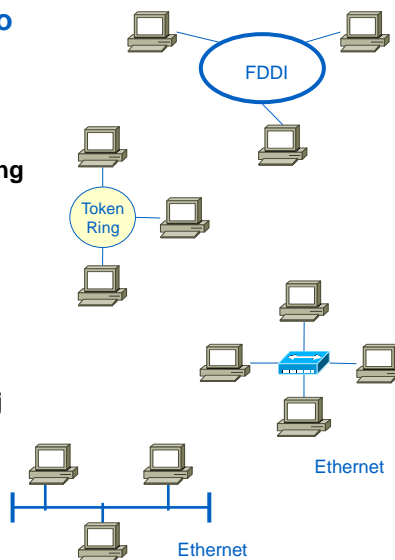
Okvir Ethernet II – DIX v2

Preamble 8	Destination 6	Source 6	Type 2	Data 46 do 1500	Pad	FCS 4
---------------	------------------	-------------	-----------	--------------------	-----	----------



Media Access Control (MAC)

- Pod sloj, ki določa način sodostopa do skupinskega medija
 - kolizijske domene "collision domain"
- MAC – tipi
 - deterministični – ne prihaja do kolozij (taking turns)
 - FDDI
 - fizično – topologija dvojnega obroča
 - logično – topologija obroča
 - Token Ring
 - fizično – topologija zvezde
 - logično – topologija obroča
 - nedeterministični – lahko prihaja do kolozij (first come, first served)
 - CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
 - fizično – topologija zvezde ali vodila
 - logični – topologija vodila

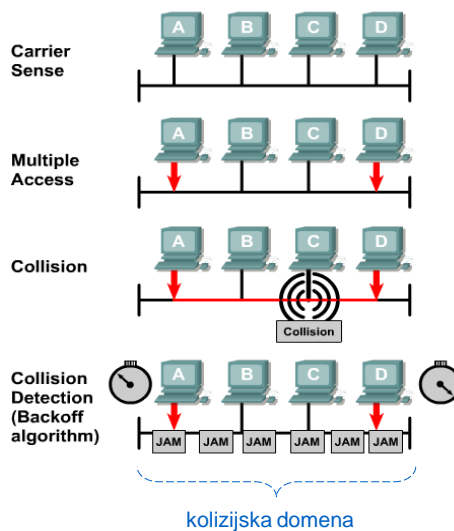


www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije



Delovanje CSMA/CD

- Carrier Sense
 - pred oddajo paketa preveri če je medij prost
- Multiple Access
 - sočasno lahko prične oddajati več naprav
- Collision Detection
 - ko začne oddajati hkrati tudi posluša če je prišlo do trka (če zazna trk ustavi oddajanje in sproži časovno kontrolo)
- Naloga protokola CSMA/CD
 - oddaja in sprejem paketov
 - dekodiranje sprejetih paketov, detekcija napak, preverjanje naslovov
 - detekcija kolozij pri prenosu

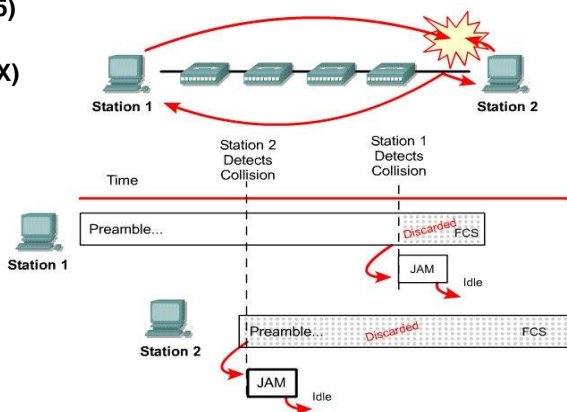


www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije



Kolizije

- Delno oddano sporočilo (okvir), pri katerem je prišlo do kolizije, imenujemo "collision fragment" oz. "runt"
- Zaznavanje kolozij
 - COAX (10BASE2, 10BASE5)
 - dvig napetosti na mediju
 - UTP (10base-T, 100base-TX)
 - NIC sprejeme signal na RX-paru sočasno ko oddaja na TX-paru

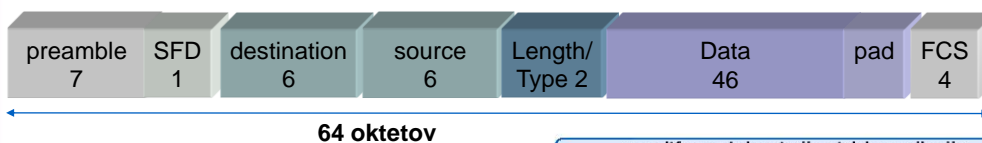


www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije



Tipi kolizij

- Večina kolizij se zgodi pred pričetkom oddaje polja SFD
- Tipi kolizij
 - lokalna (local)
 - okvir je manjši od 64 oktetov
 - dvig napetosti na mediju oz. sočasen sprejem na paru TX in RX
 - oddaljena (remote)
 - okvir je manjši od 64 oktetov
 - FCS je napačen
 - v kolizijski domeni se nahaja regenerator (repeater)
 - pozna (late)
 - okvir je večji od 64 oktetov
 - kolizije, ki se zgodijo zaradi napačnega delovanja NIC (ilegalna kolizija)
 - za ponovno oddajo sporočila morajo poskrbeti višje ležeči protokoli



www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije



Viri napak

- **Kolizije**
 - lokalne, oddaljene in pozne
- **Jabber, long frame, range error**
 - oddajni čas signala je daljši od dovoljenega
- **Kratek okvir, "collision frame or runt"**
 - oddajni čas signala je krajši od dovoljenega (FCS je pravilen)
- **Napake FCS/ Alignment error**
 - napaka pri prenosu okvirja
- **Range error**
 - število sprejetih bit-ov in polje "length" se ne ujemata
- **Gost ali jabber**
 - predolga sekvenca "preamble"



Časovni parametri

- **Bit time**
 - čas enega bita
- **Slot time**
 - čas, ki je potreben za prenos signala med dvema najbolj oddaljenima postajama v kolizijski domeni (v obe smeri)
 - oddajna postaja mora ugotoviti, da je prišlo do kolizije še preden konča z oddajo najmanjšega možnega okvirja
 - čas prenosa okvirja ne sme biti manjši od "slot time" (zato je padding)
 - "slot time" je pomemben le pri "half-duplex" prenosu
- **Interframe spacing**
 - "prazen" čas med dvema oddanima okvirjema

HITROST	BIT TIME
10 Mbit/s	100 ns
100 Mbit/s	10 ns
1 Gbit/s	1 ns
10 Gbit/s	0,1 ns

HITROST	SLOT TIME	ČASOVNI INTERVAL
10 Mbit/s	512 *bit time	51,2µs
100 Mbit/s	512 *bit time	5,12µs
1 Gbit/s	4096 *bit time	4,096µs
10 Gbit/s	-	-

HITROST	INTERFRAME SPACING	ČASOVNI INTERVAL
10 Mbit/s	96 *bit time	9,6µs
100 Mbit/s	96 *bit time	0,96µs
1 Gbit/s	96 *bit time	0,096µs
10 Gbit/s	96 *bit time	0,0096 µs



Ethernet stikalo



Ethernet stikalo

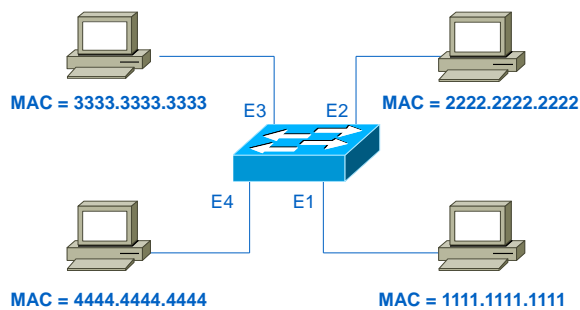
- **Standard ANSI/IEEE 802.1D**
 - Transparent Bridge
 - Spanning Tree
- **Vzdržuje tabelo (tabela MAC, CAM, Filtering Database), v kateri so vnosi, ki zagotavljajo mapiranje med naslovi MAC in posameznimi fizičnimi vmesniki**
 - statični vnosi
 - dinamični vnosi – posamezen vnos se odstrani po izteku časovnika (Ageing Time = 300 s)
- **Princip delovanja**
 - okvir (unicast) se posreduje samo na tista izhodna vrata, katerih naslov MAC ustreza ciljnemu naslovu zapisanem v glavi okvirja
 - če v tabeli MAC ni vnosa za posamezen ciljni naslov MAC, se okvir (unicast) posreduje na vse izhodne vmesnike
 - okvirji, ki vsebujejo multicast in broadcast naslov, se posredujejo na vse izhodne vmesnike
 - izjema je vmesnik, prek katerega je bil okvir sprejet



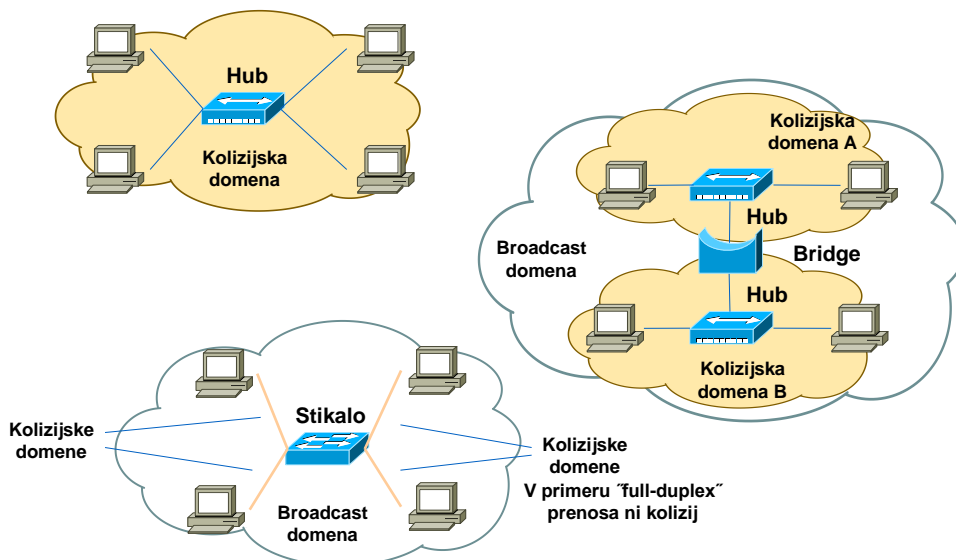
Princip delovanja stikala Ethernet

Tabela MAC

Ciljni naslov MAC	Izhodni vmesnik
1111.1111.1111	E1
2222.2222.2222	E2
3333.3333.3333	E3
4444.4444.4444 </td <td>E4</td>	E4



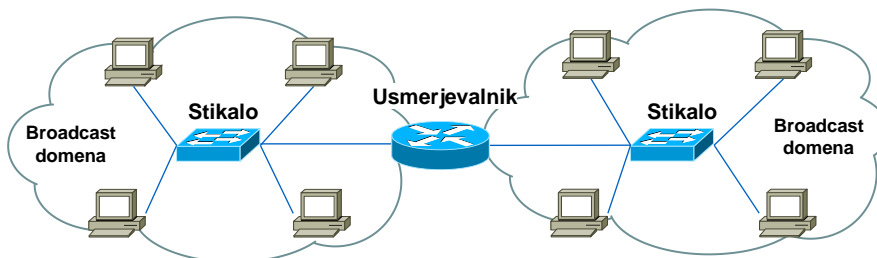
Omrežne naprave – L1 in L2





Omrežne naprave L1 in L2 in L3

- Naprave L1 podaljšujejo/povečujejo kolizijske domene
- Kolizijske domene lahko omejimo z
 - premoščevalnikom (bridge)
 - stikalom (switch)
 - usmerjevalnikom (router)
- "Broadcast" domene lahko omejimo z
 - usmerjevalnikom
 - VLAN

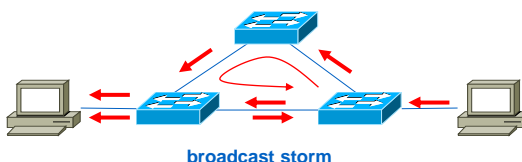


Spanning Tree Protocol – STP



Spanning Tree Protocol – STP

- Standard IEEE 802.1D
- Namen
 - mehanizem za preprečevanje zank v Ethernet omrežjih
 - "broadcast storm"
 - mehanizem za zagotavljanje redundance v Ethernet omrežjih
- Omogoča izmenjavo informacij med Ethernet stikali
 - sporočila BPDU (Bridge Protocol Data Unit)
- Algoritem STP določa kateri vmesniki lahko posredujejo Ethernet okvirje
 - zgradi optimalno drevo omrežja (Spanning Tree)
 - vsak fizičen vmesnik se postavi v enega izmed dveh končnih stanj
 - posreduje
 - blokiraj



www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije



Princip delovanja STP

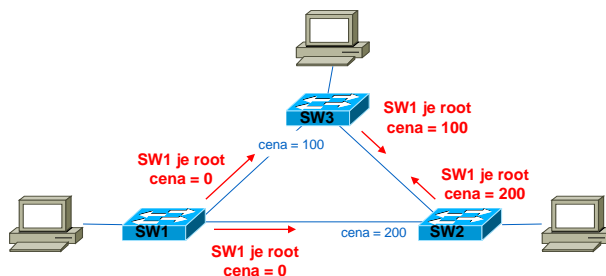
- Eno izmed stikal je izbrano za "root" bridge
 - stikalo z najmanjšim BID (Bridge ID)
 - vsi njegovi vmesniki se postavijo v stanje posreduje
- "Root" bridge oglašuje sporočila "hello" BPDU
- Ostala stikala le sprejmejo "hello" BPDU
 - neposredno od "root" bridge
 - posredno od ostalih stikal (stikala posredujejo "hello" BPDU naprej)
 - stikalo lahko sprejme "hello" BPDU na večih vmesnikih
 - vmesnik prek katerega je bil sprejet "hello" BPDU z najmanjšo ceno poti se postavi v stanje posreduje in se označi kot "root port"
- Za vse preostale segmente LAN se izbere "designated bridge" katerega vmesnik se postavi v stanje posreduje
 - vmesnik, ki oglašuje "hello" BPDU z najnižjo ceno - "designated port"
- Vsi preostali vmesniki se postavijo v stanje blokiraj
- Če stikalo ne sprejema več "hello" BPDU ponovno steče proces izračuna optimalnega drevesa STP

www.ltfe.org, Laboratorij za telekomunikacije

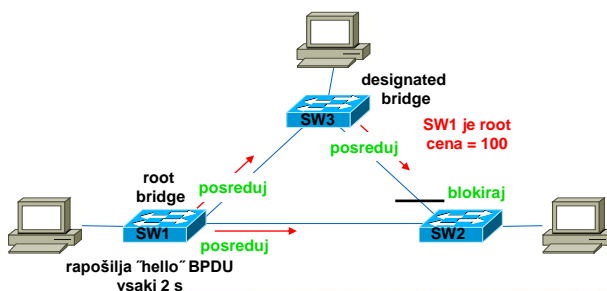
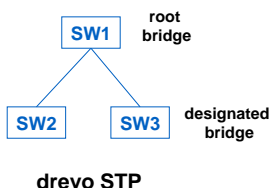


Proces gradnje drevesa STP

■ Gradnja drevesa STP

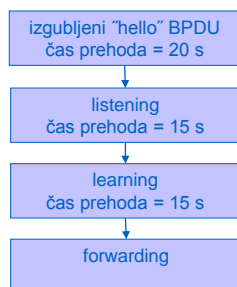


■ Stanje konvergence



Stanje konvergence

- "Root" bridge periodično razpošilja sporočila "hello" BPDU
 - privzeta nastavev je vsaki 2 sekundi (Hello Time)
- Ostala stikala posredujejo sprejeta sporočila naprej
 - v sporočilu "hello" BPDU popravijo ceno za posamezno povezavo
- Če stikalo ne sprejme "hello" BPDU v ustreznem času (MaxAge), prične s postopkom ponovnega izračuna drevesa STP

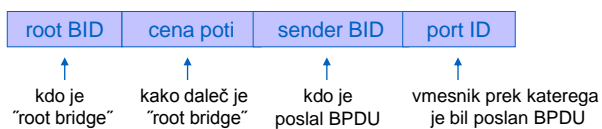


Stanje vmesnika	Posreduje okvirje	učenje naslovov	stanje	čas prehoda
blocking	ne	ne	stabilno	20 s (MaxAge)
listening	ne	ne	prehodno	15 s
learning	ne	da	prehodno	15 s
forwarding	da	da	stabilno	

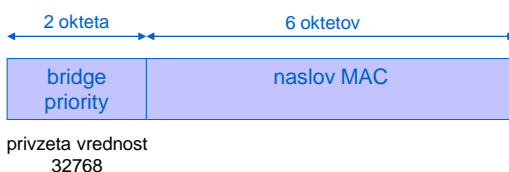


Sporočilo BPDU

■ Polja v sporočilu "hello" BPDU



■ Identifikator stikala (Bridge ID – BID)



VLAN



Navidezna lokalna omrežja – VLAN

- **Standard IEEE 802.1Q**
- **VLAN je komutirano omrežje, ki omogoča logično segmentacijo uporabnikov (terminalov), ne glede na njihovo fizično lokacijo**
 - logična topologija omrežja je tako neodvisna od fizične topologije
 - omejuje nam "broadcast" domene
 - omejuje nam "multicast" domene
- **Večina implemetacij stikal Ethernet podpira tehnologijo VLAN**
 - logična topologija postane neodvisna od fizične topologije
- **Vsako omrežje VLAN je identificirano s svojo številko VLAN ID**
 - vrednosti VLAN ID so od 1 do 4094 (privzeta vrednost je 1)
 - terminali, ki so v istem omrežju VLAN (enak VLAN ID) komunicirajo, kot da so del istega fizičnega omrežja (ista "broadcast" domena)
 - terminal, ki so v različnih omrežjih VLAN (čeprav so priključeni na isto fizično infrastrukturo), lahko komunicirajo le prek usmerjevalnika oziroma sorodne naprave, kjer je mogoče določiti ustrezno politiko
- **Stikala VLAN tipično lahko delujejo na sloju L2 in L3**
 - komutacija na osnovi naslovov MAC (L2 switching)
 - komutacija na osnovi naslovov IP (L3 switching)



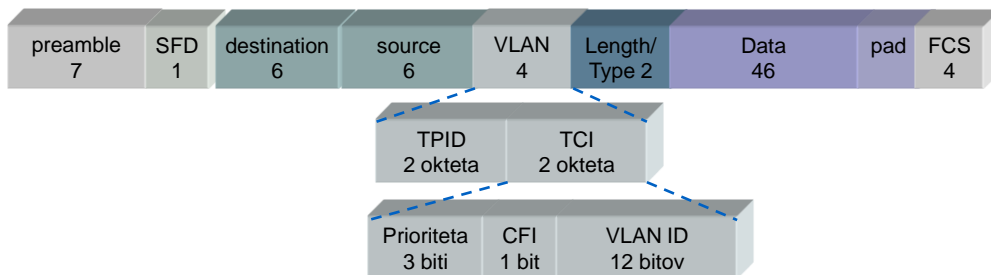
Koncept delovanja VLAN

- **Način dodeljevanja vmesnikov v VLAN**
 - **statično**
 - administrator ročno določi kateremu omrežju VLAN bo pripadal posamezen fizičen vmesnik
 - privzeta vrednost VLAN ID = 1
 - **dinamično**
 - potreben je dodaten protokol (GVRP – GARP VLAN Registration Protocol)
 - GARP – Generic Attribute Registration Protocol (IEEE Std 802.1D)
- **Načini delovanja fizičnih vmesnikov**
 - vmesnik pripada enemu omrežju VLAN
 - vmesnik pripada večim omrežjem VLAN
 - vmesnik deluje v načinu "trunk" (IEEE 802.1Q, ATM, ISL)
 - klasičnemu okvirju Ethernet se doda informacija o pripadnosti VLAN
 - za povezovanje stikala z ostalimi stikali VLAN
 - za povezavo stikala z usmerjevalnikom

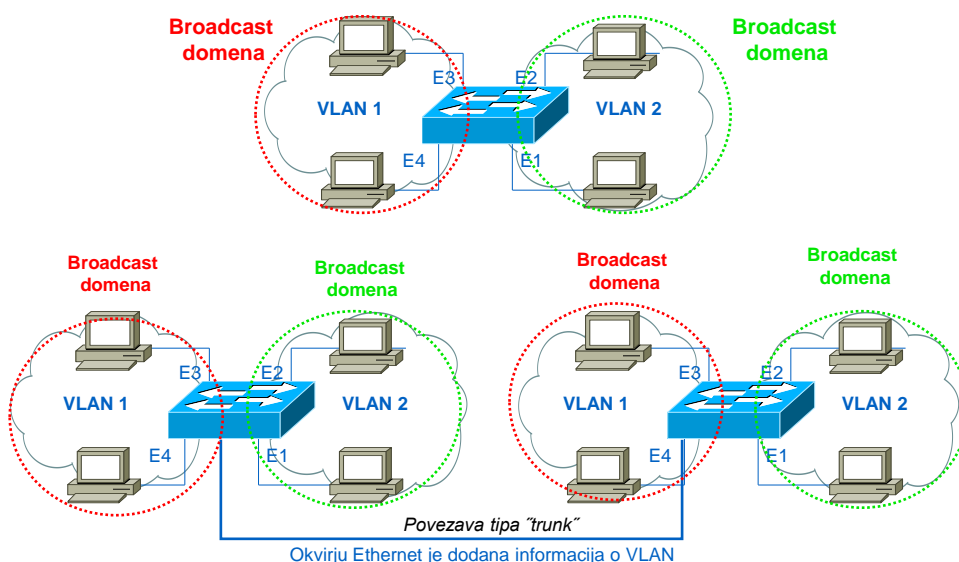


Format okvirja VLAN

- Razširitev okvirja Ethernet
- Polja dodana klasičnemu okvirju Ethernet (4 okteti)
 - TPID (Tag Protocol Identifier) – indikator okvirja VLAN (2 okteta)
 - TCI (Tag Control Information) – kontrolna informacija (2 okteta)
 - polje prioriteta – 3 biti za določitev prioritete okvirja (standard 802.1p)
 - CFI (Canonical Format Identifier) – zastavica, ki identificira tip okvirja: vrednost 0 (Ethernet), vrednost 1 (Token Ring)
 - VLAN ID – identifikator omrežja VLAN, možnih je 4094 VLAN ID (vrednosti 0 in FFF sta rezervirani)



Primer omrežja VLAN





Omejitve Etherneta



Omejitve Ethernet-a v MAN/WAN

- **Omejen mehanizem za zagotavljanje kakovosti storitev**
 - ne omogoča komunikacije z zagotovljeno QoS
- **“Počasna” konvergenca zaščitnih mehanizmov**
 - ~30 sekund s protokolom STP
 - ~1 sekunda s protokolom RSTP
- **Ni definiranega vmesnika za OAM (Operations Administration and Maintenance)**
- **Ne omogoča logične delitve fizičnega prenosnega kanala**
- **Omejeno število omrežij VLAN**
 - max VLAN ID = 4094 (x2 v standardizaciji)
- **Varnostni vidiki**
 - MAC snooping
 - poplavljanje z MAC
 - poplavljanje z ARP
 - napadi na protokol STP



Prihodnost Etherneta



Prihodnost Etherneta

- Tehnologija za omrežja LAN, MAN in WAN
- Na voljo so vmesniki za 40 Gbit/s Ethernet
- Razvoj standardov za 100 Gbit/s
- Metro oziroma carrier Ethernet
- Prenosni mediji
 - baker
 - hitrosti do 10000 Mbit/s
 - optična vlakna
 - trenutno smo še daleč od teoretične meje (prenosne hitrosti omejujejo oddajniki/sprejemniki)
 - tehnologije WDM, DWDM



Cenovna učinkovitost tehnologije

	Equipment price per Mbit/s	BW mgmt & provisioning	Annual maint. upgrades	BW on demand
IP/ATM/SONET	\$ 8 - 40	\$ 5,000	\$ 750 - 3,750	Hard
IP/SONET	\$ 6 - 35	\$ 5,000	\$ 750 - 3,750	Hard
IP/Ethernet	\$ 1 - 3	\$ 1,000	\$ 150 - 450	Easy
Gbit Ethernet advantage	8:1 - 13:1	5:1	5:1 - 8:1	Easy

Source: Yipes, Dell 'Oro, Yankee Group, Extreme Networks, Juniper Networks
Assumes a regional network with five hubs and 10 rings, Costs in US\$