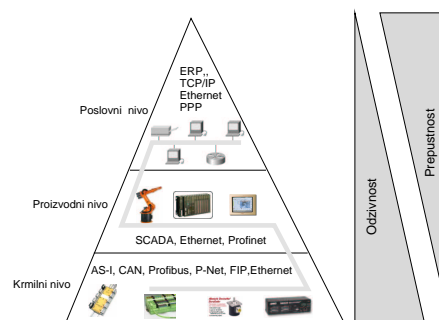


Komunikacijski sistemi

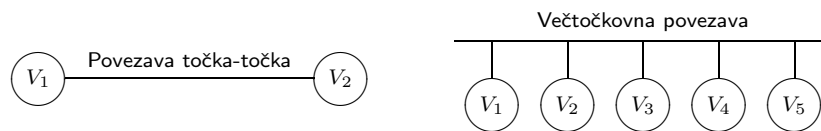
1 Uvod

Komunikacijski sistemi v avtomatiki omogočajo medsebojno usklajevanje večjega števila krajevno porazdeljenih procesov. So poglavitna sestavina sistemov daljinskega vodenja, porazdeljenega vodenja, energetskih, transportnih, poslovnih in proizvodnih sistemov, hišne avtomatizacije, itd. V zadnjih desetletjih skokovito napreduje razvoj informacijskih in komunikacijskih tehnologij vseh vrst, računalnik je v njih postal nepogrešljiv sestavni del, spremenil pa je tudi način razmišljanja. Slika ?? prikazuje načelno skico informacijskega sistema in ob njem nekatere komunikacijske tehnologije. Na spodnjem, krmilnem nivoju imamo veliko število enostavnih naprav. Količina in koncentracija podatkov, ki se prenašajo, je majhna. Prepustnost omrežja (ali povprečni učinkoviti informacijski pretok) tu ni tako pomembna. Bistvena je odzivnost sistema (čas, ki preteče od zahteve za prenos do trenutka, ko so podatki prenešeni) in delovanje sistema v realnem času. Na višjih nivojih je odzivnost komunikacijskega sistema manj pomembna, potrebe po prepustnosti pa naraščajo.



Slika 1: Komunikacijske zahteve v poslovno proizvodnem komunikacijskem sistemu.

Osnovna elementa omrežja sta *vozlišče* (angl. Node) in *povezava* (angl. Link). Komunikacijsko omrežje je sistem med seboj povezanih vozlišč. Osnovni način povezovanja vozlišč je povezovanje *točka-točka*¹ (ang. Point-To-Point). Povezava točka-točka neposredno povezuje dve sosednji vozlišči med seboj (slika 2.a). Druga možnost za povezovanje vozlišč je večtočkovno povezovanje (Angl. Multi-point ali Multi-drop) (Slika 2.b). Večtočkovno povezovanje se je zaradi številnih dobrih lastnosti uveljavilo v industrijskih omrežjih za povezovanje razmeroma enostavnih naprav (senzorjev, aktuatorjev, programljivih krmilnikov, i.t.d.).



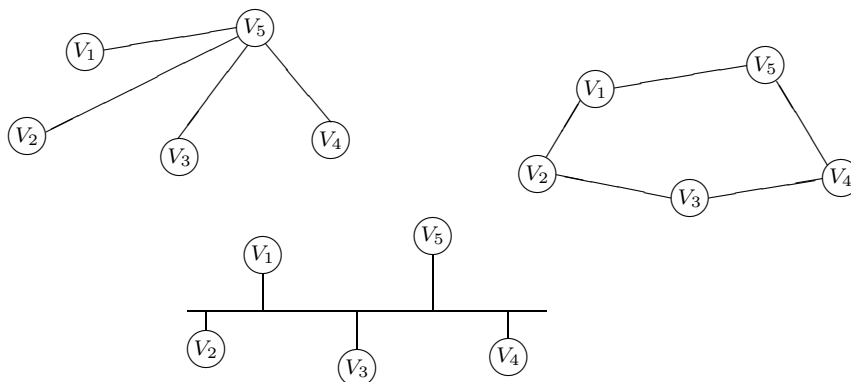
Slika 2: Točka-točka in večtočkovno povezovanje vozlišč.

Komunikacijsko omrežje v splošnem sestavljata dve vrsti vozlišč: *končna* in *vmesna*² vozlišča. V končnem vozlišču informacija nastaja ali pa se koristi. Vmesno vozlišče deluje kot posrednik informacije: informacijo sprejme, jo po potrebi začasno shrani, preoblikuje in pošlje naprej v zahtevani smeri. Končna vozlišča so sensorji, aktuatorji, daljinske postaje, krmilniki, računalniki in tako dalje. Vmesna vozlišča so ponavljalniki (ang. Repeaters), spoišča (Angl. Hubs) mostovi (Angl. Bridges), stikala (Angl. Switches) usmerjevalniki (Angl. Routers), prehodi (Angl. Gateways), ipd. Zaporedje povezav od enega končnega vozlišča preko vmesnih vozlišč do drugega končnega vozlišča sestavlja prenosno pot. S povezovanjem vozlišč nastane omrežje določene oblike. Osnovne oblike (topologije) delno povezanih komunikacijskih omrežij so: zvezda, obroč in vodilo (slika 3).

V zvezdastem omrežju in v obroču so povezave med vozlišči tipa točka-točka. V omrežju zvezdaste oblike (Angl. Star) komunicirajo zunanja (končna) vozlišča preko osrednjega (vmesnega) vozlišča. Pretok informacije v omrežju ureja osrednje vozlišče. V omrežju, ki je po obliki obroč (Angl. Ring) informacija kroži v predvideni smeri od vozlišča do vozlišča. Omrežje tipa

¹Tudi točka s točko ali točka v točko.

²Tudi komunikacijska vozlišča.



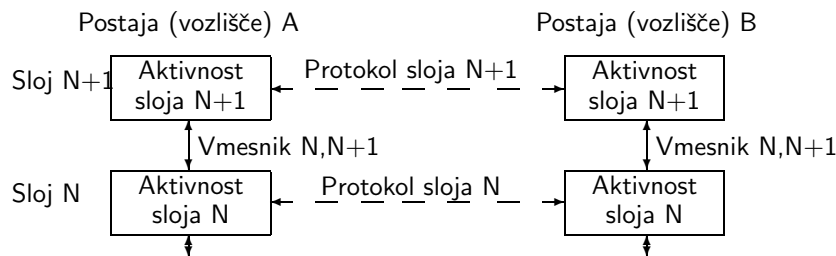
Slika 3: Osnovne oblike omrežij: zvezda, obroč in vodilo.

vodilo (Angl. Bus) je večtočkovno omrežje, za katere je značilen množičen dostop (Angl. Multiple-Access). Ta omrežja se med seboj razlikujejo ravno po tem, kako se vozliščem dodeljuje ali kako vozlišča dostopajo do skupnega prenosnega sredstva (medija). Večja omrežja se le redko javljajo v eni od osnovnih oblik.

2 Slojnost omrežij

Sodobna komunikacijska omrežja so zasnovana modularno kot sestav *slojev*, pri čemer je vsak višji sloj nadgrajen nad neposredno nižji sloj. Osrednji element v tej hierarhični večslojni zgradbi omrežja je *sloj* (Angl. Layer), imenovan tudi plast. Število slojev, imena slojev in tudi funkcije slojev se od omrežja do omrežja razlikujejo. Sloj zagotavlja storitve neposredno višjemu sloju. Sloj, ki nudi storitev, se imenuje dajalec storitve (Angl. Service provider). Sloj, ki uporablja storitev, se imenuje koristnik ali uporabnik storitve (Angl. Service user). Sloj najbolje opredelijo naloge, ki jih opravlja, torej njegova funkcionalnost.

Med sosednjima slojema je vmesnik. Vmesnik slojev N in $N + 1$ določa storitve, ki jih sloj N nudi sloju $N + 1$, pa tudi osnovne operacije za izvedbo teh storitev. Proces sloja N na eni postaji komunicira s procesom sloja N na drugi postaji. Pravimo, da komunikacija v omrežju poteka med istorodnimi



Slika 4: Načelo slojnosti omrežja.

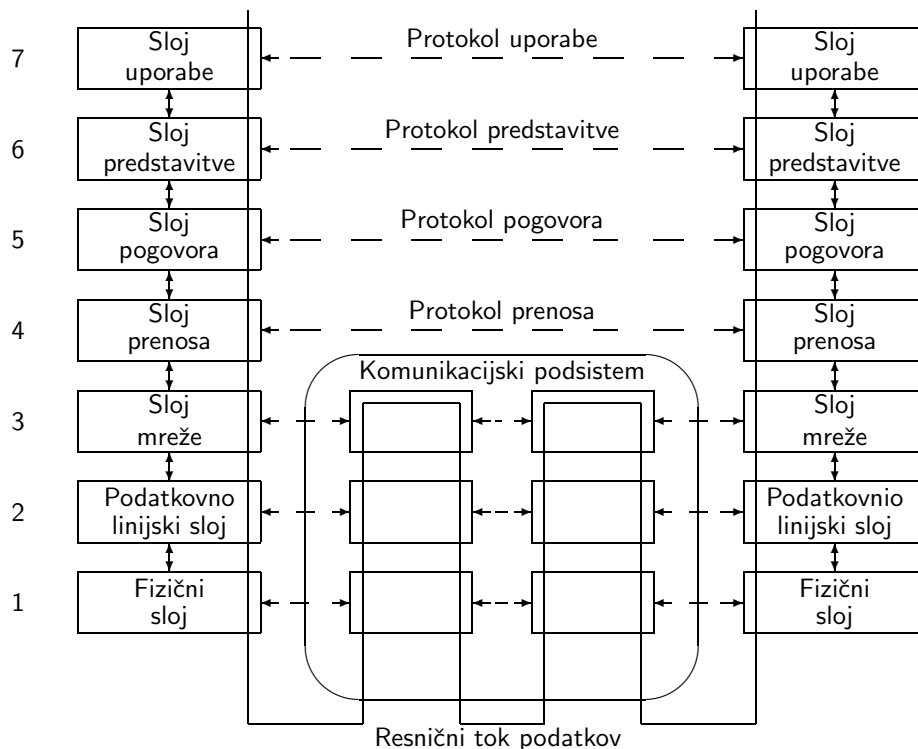
procesu (Angl. peer-to-peer). Pravila in dogovori, ki jih upoštevata istородna procesa na obeh straneh na sloju N , imenujemo *komunikacijski protokol* sloja N . Čeprav poteka komunikacija po protokolu v horizontalni smeri, pa poteka resnični tok podatkov v navpični smeri. Višji sloj preda podatke (skupaj z nadzorno informacijo) nižjemu sloju, ta pa zopet nižjemu. Končno pride po prenosni poti do dejanskega prenosa z ene na drugo stran, kjer gredo podatki spet od sloja do sloja navzgor - v navpični smeri. Množica slojev in protokolov ter vmesnikov oziroma storitev, ki so dane na vmesnikih, določa *arhitekturo omrežja*.

2.1 ISO OSI referenčni model

Mednarodna organizacija za standardizacijo ISO je v začetku osemdesetih let preteklega stoletja predlagala model, po katerem naj bi gradili računalniška omrežja.³ Referenčni model OSI (Angl. Open Systems Interconnection), kot pove ime, se nanaša na sisteme, ki so odprti za komunikacijo z drugimi odprtimi sistemi. Arhitekturni model OSI obsega sedem slojev (slika 5). Slika prikazuje dve poljubni končni vozlišči, ki ju povezuje komunikacijski (pod)sistem. Model OSI določa le funkcije posameznih slojev, zato sam po sebi še ni arhitektura mreže.

Fizični sloj (Angl. Physical Layer) skrbi za prenos informacijskih signalov po komunikacijskem kanalu. Osnovna informacijska enota tega sloja je bit. Sloj določa mehanske, električne in postopkovne lastnosti signalov, naprav in tokokrogov. Tipična vprašanja v zvezi s tem slojem so: napetostni nivoji sig-

³ISO 7498-1984: Information Processing Systems - Open systems Interconnection - Basic Reference Model.



Slika 5: Referenčni model ISO OSI.

nalov, hitrost prenosa, oblike signalov, vrste modulacij, konektorji in število priključkov na konektorjih, uporabljeni prenosni medij, čeprav sam ni del sloja.

Podatkovno linijski sloj ali linijski sloj (Angl. Data Link Layer) zagotavlja naslednjemu višjemu sloju (mrežnemu sloju) visoko zanesljivost prenosa podatkov med sosednjimi vozlišči. V ta namen deli daljša zaporedja bitov na manjše okvire (Angl. Frames) ter skrbi za pravilen prenos posameznih okvirov od vozlišča do vozlišča s preverjanjem pravilnosti prenešenega okvira in s potrjevanjem pravilnosti sprejema. Tipična vprašanja v zvezi s tem slojem so: kako označiti začetek in konec okvira (okvirenje), kako ugotavljati prisotnost napak, kako zahtevati ponoven prenos pokvarjenega okvira in kako rešiti problem podvojenih okvirov (dveh enakih okvirov) v primeru, da se izgubi potrdilo že pravilno sprejetega okvira. Naslednja važna naloga tega sloja je nadzor nad dostopom do skupnega prenosnega sredstva (komunikacijskega

kanala) (Angl. Media Access Control Sublayer - MAC).

Mrežni sloj (Angl. Network Layer) skrbi za delovanje komunikacijskega podsistema. Na sliki 5 vidimo, da vmesna vozlišča opravljajo naloge samo prvih treh (spodnjih) slojev. Osnovna podatkovna enota tega sloja je paket (Angl. Packet). Ključna naloga tega sloja je zagotavljanje *poti prenosa* od izvornega do ponornega vozlišča. Mrežni sloj torej skrbi za usmerjanje paketov od vozlišča do vozlišča (Angl. Routing), naslavljanje vozliščin povezovanje omrežij med seboj.

Prenosni sloj (Angl. Transport Layer) streže sosednjemu višjemu sloju (sloju pogovora). Od njega prevzema podatke, jih po potrebi deli na manjše enote - podatkovne enote prenosnega sloja (Angl. Transport Protokol Data Unit - T-PDU),⁴ zatem pa predaja naslednjemu nižjemu (mrežnemu) sloju ter skrbi, da podatki pogovornega sloja pridejo pravilno na drugo stran. Torej skrbi za *prenos* informacije na drugo stran, kot pove tudi njegovo ime. Prenosni sloj je prvi 'pravi' sloj 'od-konca-do-konca' (Angl. End-to-End). Z drugimi besedami, proces na eni končni postaji komunicira neposredno s sorodnim procesom na drugi končni postaji, brez posrednikov.

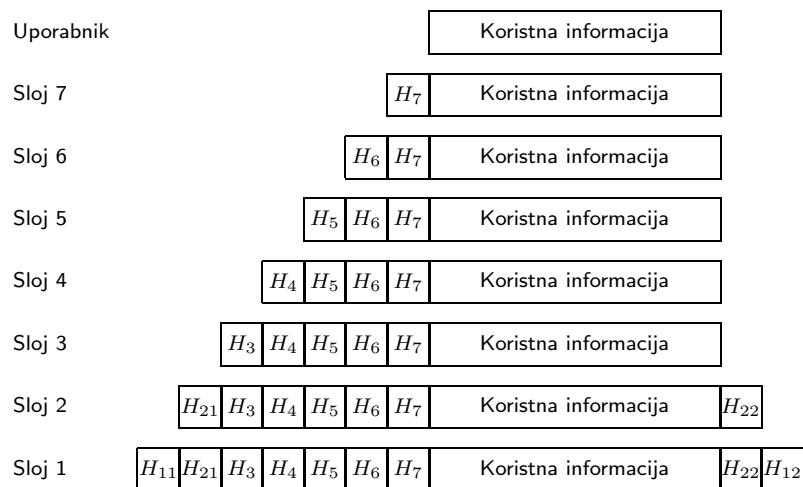
Pogovorni sloj (Angl. Session Layer) omogoča 'pogovor' med uporabniškimi procesi na različnih postajah in s tem skrbi za organizacijo in strukturiranje dialoga. Podobno kot prenosni sloj omogoča prenos podatkov, poleg tega pa nudi tudi nekatere kvalitetnejše storitve specifične za določene aplikacije. Če bi za prenosni sloj rekli, da skrbi za prenos informacije med enim in drugim končnim vozliščem, skrbi pogovorni sloj za pogovor med istorodnima procesoma enega in drugega vozlišča.

Predstavitveni sloj (Angl. Presentation Layer) opravlja pogoste storitve, ki zahtevajo splošno rešitev za večino uporabnikov teh storitev. Tipične storitve tega sloja so: kodiranje in prekodiranje, šifriranje, zgoščevanje podatkov in podobno (pravzaprav se šifriranje lahko dogaja na vsakem sloju).

Sloj uporabe (Angl. Application Layer) predstavlja vmesnik med končnim uporabnikom in komunikacijskim sistemom. Vsebuje največ storitev in protokolov, ki so najbolj vidni končnemu uporabniku in na ta način izoblikujejo zunanji izgled omrežja.

Slika 6 shematično prikazuje načelo ovojnice v sedemslojnem modelu

⁴Od tega sloja navzgor za PDU nimamo posebnih imen, največkrat pa rečemo paket



Slika 6: Načelo ovojnice. Koristni informaciji uporabnika se na vsakem sloju doda kontrolna informacija protokola (glava H) in z njo tvori protokolovno podatkovno enoto (PDU). PDU sloja N je na na sloju N+1 "nedotakljiva".

OSI. Na vsakem sloju se koristni informaciji doda kontrolna informacija protokola tega sloja (glava) ter na koncu vse skupaj odda v kanal. Na sprejemni strani teče postopek v obratni smeri.

Sedem slojni arhitekturni model OSI je začel nastajati v času, ko so bile TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) tehnologije že v razcvetu in se je v marsičem tudi zgledoval po njih. Vendarle je slojnost omrežij dobila primeren poudarek šele z nastankom OSI modela in kasneje bistveno pripomogla k razvoju konceptov in komunikacijskih tehnologij. Marsikatero omrežje zaprtega tipa (najbolj pa v industrijskih okoljih), ki je nastalo pred samim modelom in se je pred tem obravnavalo kot omrežje "v enem kosu", se je začelo obravnavati in razvijati razslojeno z vidika modela OSI. Danes je treba priznati, da model ISO OSI v celoti ni nikoli popolnoma zaživel. Enega od razlogov za to gre verjetno iskati v njegovi kompleksnosti, ki je upočasnila njegov razvoj in dodatnemu bremenu, ki ga vnaša za večino potreb preveliko število slojev ali z drugimi besedami funkcionalnost, ki je v modelu ponekod preveč povdarjena in včasih nepotrebna. Kot odgovor temu je sledil model EPA (Enhanced Protocol Architecture), ki obsega samo prva dva sloja in pa sedmi sloj. Večina industrijskih omrežij na krmilnem nivoju je

danes tega tipa. S tega stališča je OSI opravil svoje poslanstvo. Glavni razlog za manjšo prisotnost OSI arhitektur pa je Internet oziroma omrežja TCP/IP, kot jih imenujemo po dveh glavnih predstavnikih Internetnih protokolov. Omrežje Internet temelji na štirislojnem arhitekturnem modelu TCP/IP, ki ima svoje korenine v omrežju ARPANET iz konca šestdesetih let preteklega stoletja. Internet seveda ni grajen po modelu OSI, saj je nastal pred njim. To ne pomeni, da bi Internet ne bilo “odprto” omrežje. Slika 7 prikazuje arhitekturni model in primer arhitekture. Spodnji trije sloji so mrežnega značaja, zgornji sloj je uporabniško usmerjen. V omrežjih TCP/IP se funkcionalnosti na spodnjih dveh slojih modela OSI ni nikoli posvečalo veliko pozornosti. V omrežjih lokalnega značaja in ravno to so tista omrežja, ki jim je Internet ponujal povezljivost navzven, je na to problematiko odgovoril Ethernet. Model TCP/IP je od vsega začetka izpostavljal pomen povezljivosti omrežij, ta pa je zagotovljena v okviru mrežnega sloja. V arhitekturi na levi strani slike so zajeti le nakateri najbolj tipični protokoli izmed možnih protokolov. V lokalnih omrežjih Internet se v spodnjem sloju (Angl. Network Interface Layer) največ uporablja Ethernet protokol. Za povezovanje oddaljenih vozlišč točka-točka se uporablja protokol PPP (Point-to-Point-Protocol), ki je nadomestil protokol SLIP (Serial Link IP). Ker spodnji sloj realizira funkcije spodnjih dveh slojev modela OSI, se včasih ta arhitektura obravnava kot petslojna. Če primerjamo Internet model z modelom OSI, bi medomrežni sloj (Angl. Internet layer) najbolj ustrezal mrežnemu sloju, prenosni sloj prenosnemu, aplikacijski sloj pa sedmemu (ali še boljše zgornjim trem slojem) modela OSI. Če povzamemo, praksa kaže, da je danes še najbolj primeren petslojni referenčni model.



Slika 7: Model in arhitektura omrežja Internet.

3 Dostop do prenosnega sredstva

3.1 Ethernet

Ethernet je skupno ime za danes najbolj razširjeno komunikacijsko tehnologijo v omrežjih manjših krajevnih razsežnosti (LAN). Njegove korenine segajo v zgodnja sedemdeseta leta preteklega stoletja, ko je Norman Abramson na Havajski univerzi postavil brezžično podatkovno omrežje ter ga poimenoval ALOHA. Omrežje, ki je temeljilo na popolnoma naključnem dotopu do kanala po pravilu: "Pošlji takoj, ko imaš pripravljen naslednji paket", je delovalo presenetljivo dobro. To je Roberta Metcalfa, tedaj podiplomskega študenta na Harvardu, spodbudilo k doktorski disertaciji, v kateri se je posvetil paketnim omrežjem z množičnim dostopom. Po doktoratu se je Metcalfe zaposlil pri Xerox-u, kjer je skupaj z Davidom Boggsom in sodelavci postavil eksperimentalno omrežje tipa vodilo ter mu kasneje dal ime Ethernet. Omrežje je delovalo s hitrostjo 2.94 Mb/s in je povezovalo nad 100 postaj. Na pobudo Metcalfa so DEC, Intel in Xerox (zato kratica DIX) pristopili k izdelavi standarda za 10 Mb/s Ethernet na osnovi 50 ohmskega koaksialnega kabla. Tako imenovani DIX ali Ethernet II standard je bil podlaga za izdelavo standarda IEEE 802.3. Ethernet II definira dostop do prenosnega sredstva (CSMA/CD), prenosna sredstva (koaksialec, parica) in obliko okvira, danes poznanega kot Ethernet okvir. Standard 802.3 se razlikuje od (de-facto) predhodnika po tem, da opisuje celo družino protokolov izpeljanih iz CSMA/CD, predvideva različne prenosne medije in dovoljuje različne hitrosti, od 1 Mb/s do 10 MGb/s, malenkostno pa se razlikuje tudi v obliki okvira (802.3 okvir), vendar je razlika taka, da ne preprečuje združljivosti enih in drugih omrežij.

Dostop CSMA/CD (Angl. Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), je v omrežjih Ethernet ostal do danes, čeprav se je njegov pomen z uvedbo komunikacijskih stikal počasi začel izgubljati. Koncept CSMA/CD je enostaven: "Poslušaj predno govoriš". Kadar ima postaja pripravljen naslednji okvir, najprej prisluhne kanalu. V primeru, da kanal ni prost, zadrži oddajo. Če pa je kanal prost, začne z oddajo. Možno je, da začne sočasno z oddajo več postaj, tako pride do trčenja. V primeru trčenja je okvir uničen in potrebna je ponovna oddaja istega okvira. Med oddajanjem svojega okvira postaje hkrati prisluškujejo kanalu. V primeru detekcije trčenja, prekinejo z

oddajo in tako sprostijo kanal. Da se zmanjša verjetnost ponovnega trčenja, postaje, ki trčijo, poskusijo ponovno z oddajo po naključnem času. S številom zaporednih trčenj čakalni čas pred ponovno oddajo eksponento raste (Angl. Binary Exponential Back-off).

Iz povedanega sledijo naslednje lastnosti CSMA/CD dostopa, spričo katerih so omrežju Ethernet napovedovali ne prav lepo prihodnost, ki pa se ni uresničila. Prvič CSMA/CD realizira naključen dostop, kar pomeni, da se ne da zagotovo napovedati, kdaj bo postaja prišla z oddajo na vrsto. Za sisteme v realnem času je kaj takega nedopustno. Po drugi strani pa ostaja dejstvo, da v nizko obremenjenih omrežjih, na kar bi morali paziti v časovno kritičnih omrežjih, postaje pridejo praktično takoj na vrsto. Drugič, z večanjem krajevne razsežnosti omrežja narašča čas širjenja signala od konca do konca, zato narašča verjetnost trčenja (kolizijsko območje), kar se tem bolj pozna, čim bolj je omrežje obremenjeno. Dejstvo pa je, da se kolizijsko območje lahko omeji z vgradnjo mostov in stikal. Tretjič, z višanjem prenosne hitrosti odkrivanje trčenj izgublja na pomenu, saj je okvir končan, še predno se trčenje sploh lahko odkrije. Kakorkoli že, današnja omrežja Ethernet so našla odgovor tudi na to dilemo. Verjetno najbolj bistveno pa je, da je Ethernet dobil bitko s konkurenčnimi tehnologijami (vodilo z žetonom, Angl. Token Bus in obroč z žetonom, Angl. Token Ring) že dosti prej, predvsem zaradi enostavnosti, sledila pa je neustavljiva množičnost oziroma prisotnost Etherneta skoraj povsod.

3.2 IEEE 802.3 in Ethernet

Standardi z oznako IEEE 802.x ($x = 1, 2, 3, \dots$) se glede na referenčni model OSI nanašajo na podatkovni in fizični sloj lokalnih omrežij, glej sliko 8. Standard IEEE 802.1 se nanaša na skupne arhitekturne lastnosti omrežij in definira osnovne operacije na obeh vmesnikih podatkovnega sloja, most (ang. Bridge) - komunikacijsko napravo podatkovnega sloja, dokument 802.1Q pa virtualna lokalna omrežja (VLAN). Standard IEEE 802.2 opisuje zgornji del podatkovnega sloja ter protokol znan pod kratico **LLC** (**L**ogical **L**ink **C**ontrol). Ostali standardi se nanašajo na spodnji del podatkovnega sloja MAC (ang. Media Access Control Sublayer) in prenos signalov v odvisnosti od prenosnega sredstva: IEEE 802.3 na CSMA/CD in Ethernet, IEEE 802.4 na vodilo z žetonom (ang. Token Bus), IEEE 802.5 na obroč z žetonom

(ang. Token Ring), IEEE 802.11 na brezžična lokalna omrežja (WLAN), IEEE 802.15 na osebna omrežja (PAN).

ISO OSI	IEEE 802				
Podatkovni sloj	Podatkovni sloj	802.1	802.2 (LLC)		
Fizični sloj	MAC podsloj		802.3	802.4	802.10
	Fizični sloj	802.5		802.11	
		802.6		802.12	
		802.7		802.14	
		802.8		802.15	
		802.9		802.16	

Slika 8: Standardi IEEE 802 in sloji modela OSI.

Naslednja tabela (Tabela 1) na kratko povzema tudi ostale dokumente it te skupine.

Današnja omrežja Ethernet delujejo v osnovnem frekvenčnem pasu (brez modulacije). Sprava je bil za Ethernet značilen 50 ohmski koaksialni kabel rumene barve, v industriji "triaksialen" kabel, in bifazna Manchester oblika signala. V današnjih omrežjih prevladuje neokopljeni sukani vod ali parica UTP (Unshielded Twisted Pair), izjemoma STP (Shielded TP), NRZ (Non-Return to Zero) oblika signala ter skupinska in večnivojska tehnika kodiranja signala. Na primer, za 100 Mb/s se uporablja kodiranje štirih simbolov s petimi simboli (4B5B), s čimer se poveč kakovost sinhronizacije in odpornost na motnje. Za večje razdalje (in višje hitrosti) pa se vedno več uporabljajo večrodovna in enorodovna vlakna. Spodnja tabela (2) prikazuje nekatere izstopajoče izvedbe.

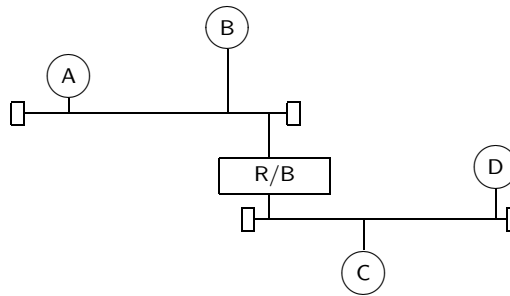
Segmente povezujemo v večje omrežje na več načinov. V omrežjih na koaksialnem kablu sta se uporabljala ponavljalnik (Angl. Repeater) in most (angl. Bridge). Ponavljalnik je regenerater signala (naprava fizičnega sloja). Enako vlogo ima v UTP omrežjih spojišče (Angl. Hub), le da nanj po principu točka-točka vezemo več naprav. Tako nastane svezdasta oblika omrežja. Slaba lastnost ponavljalnikov in spojišč je, da ne lokalizirajo prometa, signal se svobodno širi skozi napravo. S tem se večja kolizijsko področje, omrežje je bolj občutljivo na napake in vdore.

802.1	Uvod in arhitektura LAN
802.2	LLC (Logical Link Control), protokol linijskega sloja
802.3	Ethernet
802.4	Vodilo z žetonom (v zatonu)
802.5	Obroč z žetonom (malo prisoten)
802.6	DQDB (Distributed Queue Dual Bus), (MAN) omrežja
802.7	Svetovalni skupina za širokopasovna omrežja
802.8	
802.9	Isohroni LAN za delo v realnem času (v zatonu)
802.10	Navidezni LAN in varnost (v zatonu)
802.11	Brezžični LAN (WLAN)
802.12	HP AnyLAN
802.13	
802.14	Kabelski modemi
802.15	PAN (Personal Area Networks), Bluetooth, ZigBee
802.16	Širokopasovna brezžična omrežja (WIMAX)

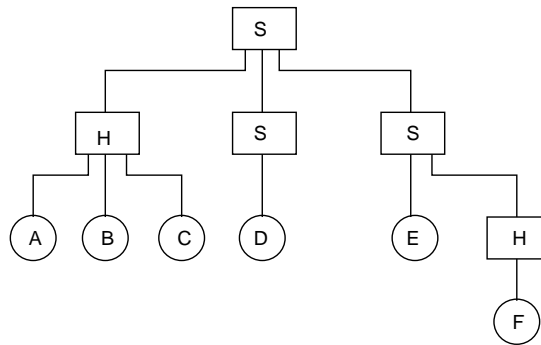
Tabela 1: Dokumenti in delovne skupine IEEE 802. Najvažnejše so v krepkem tisku.

Oznaka	Segment	Opis
802.3		Manchester (bifazno) kodiranje signala
10BASE5	500 m	debeli (10 mm) koaksialni kabel - osnovni Ethernet
10BASE2	185 m	tanki (5mm) koaksialni kabel - tanki Ethernet
10BASE-T	100 m	parica (dve parici), kategorije UTP 3 ali več
10BASE-F	2000 m	vlakno
802.3u		Hitri Ethernet, NRZ, 4bB/5B, 8B/6T, ipd, kodiranje signala
100BASE-T	100 m	skupno ime za "hitri" 100 MB/s Ethernet na parici
100BASE-TX	100 m	Polni duplex na dveh paricah kategorije 5,4B/5B
100BASE-T4	100 m	Polduplex na štirih paricah kategorije UTP 3, 8B/6T kodiranje
100BASE-FX	2000 m	Polni duplex na dvopramenskem vlaknu, 4B/5B kodiranje signala
100BASE-SX	300 m	kot FX, le z LED diodami namesto laserskih virov
802.3z		gigabitni Ethernet, NRZ, PAM5, 8B/10B, signala
1000BASE-T	100 m	Štiri parice (za obe smeri) kategorije UTP 5/5e/6
1000BASE-SX	550 m	8B/10B NRZ, večrodovno vlakno
1000BASE-LX	5000 m	8B/10B NRZ, enorodovno vlakno
802.3ae		10 gigabitni Ethernet na vlaknu
802.3an		10 gigabitni Ethernet na neoklopljeni (UTP) parici

Tabela 2: Nekatere možnosti prenosnih sredstev v omrežjih Ethernet. Iz oznake je razvidna hitrost prenosa, frekvenčni pas (BASE) in dolžina ali tip segmenta.



Slika 9: Ponavljalnik ali most (R/B) povežeta dva segmenta, vendar most loči promet na enem segmentu od prometa na drugem segmentu. Postaji *A* in *B* lahko v primeru uporabe mostu komunicirata sočasno s postajama *C* in *D*.



Slika 10: Uporaba spojišč (H) ali stikal (S). Stikala, v nasprotju s spojišči, na osnovi Ethernet naslova usmerjajo promet.

Most je selektiven in 'pametnejši' - vsebuje programsko opremo. Sodi na drugi, podatkovni sloj. Most preverja okvirje in jih samo po potrebi spušča naprej na naslednji segment. Recimo, če postaja *A* pošlje okvir postaji *C*, ga most spusti naprej (slika 9). Če pa postaja *A* pošilja postaji *B*, ostane okvir na istem segmentu. Most logično in fizično loči promet na posameznih segmentih, zato lahko istočasno komunicira *A* z *B* in *C* z *D*, s čimer se poveča prepustnost omrežja. Most lahko tudi spremeni obliko okvirja. Danes se most uporablja za povezovanje dveh ali več omrežij, sicer pa so ga zamenjala stikala (angl. Switch). Na stikalo povezujemo naprave po načelu točka-točka, tako nastane hierarhično omrežje na osnovi zvezdastih povezav. Ethernet stikalo v bistvu deluje podobno kot most: okvir spusti naprej samo v izbrani smeri.

Obliko okvirja po standardu Ieee 802.3 prikazuje slika 11. Med dvema



Slika 11: Oblika okvirja po standardu Ieee 802.3.

zaporednima okvirjema mora biti časovna praznina v trajanju vsaj 96 bitov. Okvir začenja z uvodom sedmih bajtov (oktetov) za sinhronizacijo (Bitni vzorec 10101010). Uvodnemu delu sledi začetni bajt(10101011) in za njim dve polji naslovov: naslov pošiljatelja (izvora) in naslov namembne postaje (ponora). Vsak naslov obsega šest bajtov. Za naslovom pošiljatelja sledi polje (dva bajta), ki pomeni število bajtov v podatkovnem delu okvirja. V podatkovnem delu okvirja se prenaša LLC okvir podatkovnega protokola, ki obsega najmanj 3 bajte. Število podatkovnih bajtov gre torej od 3 do največ 1500 bajtov. Za podatkovnim delom so še štirje bajti za ciklično preverjanje okvirja s polinomom stopnje 32,

$$X^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1.$$

Okvir mora vsebovati najmanj 64 bajtov (od začetka do konca). Če je podatkovni del krajši od 46 bajtov, se ga dopolni z dopolnilnimi bajti na minimalno dolžino 46. Omejitev dolžine okvirja navzdol je potrebna zaradi CSMA/CD dostopa oziroma odkrivanja trčenj, da se omogoči razlikovati zaradi trčenja "odrezane" okvirje od kratkih koristnih okvirjev.

Oblika okvirja po de facto standardu Ethernet II, ki se v omrežjih Internet od vedno primarno uporablja, se razlikuje od okvirja 802.3 v polju, ki sledi naslovnemu delu in ne pomeni dolžine okvirja, ampak tip okvirja (na primer ARP poizvedba, IP protokol, ...), vendar je oznaka za tip večja od maksimalne dolžine okvirje, tako da zamenjava okvirjev ni mogoča.

Naslovom v okvirju običajno rečemo kar Ethernet ali fizični naslovi in pomenijo naslov priključka vozlišča.

3.2.1 Mostovi in stikala

Mostovi in stikala so komunikacijske naprave, ki v omrežju služijo kot posredniki informacije. Most (ali stikalo) je naprava drugega, to je podatkovnega

sloja in deluje na nivoju okvirjev. Most sprejme in začasno shrani okvir, mu po potrebi spremeni obliko in pošlje naprej, če je to potrebno. Pravimo, da opravlja funkcijo 'filtriranja' okvirjev. Pri svojem delovanju most upošteva obliko in notranjost okvirja, vendar ga podatkovni del okvirja ne zanima. Podatkovni del okvirja ostane pri prehodu skozi most nedotaknjen.

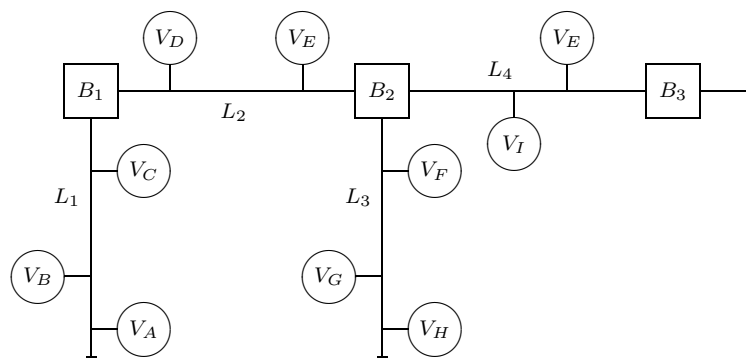
Tipični razlogi za vgradnjo mostov/stikal v omrežje so: povezovanje obstoječih, samostojno zgrajenih omrežij, povečanje razsežnosti omrežja, povečanje števila postaj, povečanje prepustnosti omrežja, povečanje zanesljivosti delovanja, povečanje varnosti. Lokalna omrežja so razmeroma cenena in ne redko nastajajo ločeno in neodvisno eno od drugega, pa čeprav v istem podjetju ali celo v isti zgradbi. Razumljivo se s časom pojavi potreba po povezovanju takšnih omrežij v skupno omrežje. Omrežja, ki jih povezujemo z mostovi, so od vključno tretjega sloja navzgor običajno popolnoma identična (enaki protokoli na vseh slojih). Z mostom lahko povezujemo omrežja, ki so na spodnjih dveh slojih enakega ali različnega tipa. Povezovanje omrežij enakega tipa, recimo omrežje po standardu IEEE 802.3 z enakim omrežjem, je manj zahtevno od povezovanja omrežij različnih tipov. V prvem primeru se oblika okvirja ne spremeni in most okvirje resnično samo filtrira. Pri prehodu iz omrežja IEEE 802.3 v omrežje IEEE 802.4 ali podobno pa se mora spremeniti tudi oblika okvirja, velikost okvirja, hitrost prenosa, frekvenčni pas signala, nekaterih funkcij pa se enostavno ne da realizirati.

Most je primeren tudi tedaj, kadar obremenitev omrežja tako naraste, da se začne manjšati njegova prepustnost. Za lokalna omrežja so značilne razmeroma intenzivne komunikacije znotraj delovnih skupin, navzven pa je komunikacij bistveno manj. S primernim nameščanjem mostov se da omejiti širjenje okvirjev samo na del omrežja, tako da lokalne komunikacije po nepotrebnem ne obremenjujejo celega omrežja.

Z vgrajevanjem mostov se večja tudi zanesljivost delovanja omrežja. Če se prekine segment, ki je od ostalega omrežja ločen z mostom, to ne moti obratovanja ostalega dela omrežja. Z mostovi se da tudi omeji širjenje okvirjev z zaupno informacijo, ki bi jih lahko sicer prestregel vsiljivec.

Uporabljata se dve vrsti mostov, prozorni most (ang. Transparent Bridge) in most z usmerjanjem v izvoru(ang. Source Routing Bridge). Poglejmo si delovanje prozornih (transparentnih) mostov.

Prozoren most se sam prilagaja spremembam v omrežju. Tako ime ima



Slika 12: Lokalno omrežje z več segmenti in mostovi B_1 , B_2 in B_3 .

zato, ker je za uporabnike praktično neviden. Delovanje mostu bomo razložili s pomočjo slike 12.

Mislimo si, da postaja V_A pošilja okvir postaji V_B . Ker sta V_A in V_B na istem segmentu L_1 , ga most ne pošlje na naslednji segment. Sedaj pa vzemimo, da postaja V_A pošilja okvir postaji V_F . Ker V_F ni na istem segmentu kot V_A , most B_1 pošlje okvir na segment L_2 . Pri tem most B_1 ne zanima, ali se V_F zares nahaja na segmentu L_2 ali ne. Posredovanje okvirja naprej na segment L_3 , kjer se nahaja postaja V_F , je naloga mosta B_2 . Seveda mora most B_2 vedeti, da V_F ni na segmentu L_2 in tudi, na katerem segmentu je.

Zastavlja se vprašanje, kako mostovi ugotovijo in sicer brez posredovanja uporabnika, kdaj naj okvir zadržijo in kdaj naj ga pošljejo naprej ter tudi v katero smer. V ta namen most vzdržuje usmerjevalno tabelo. V začetku obratovanja mostu je tabela prazna. Most ne ve niti kje so postaje niti kje so drugi mostovi. To mora šele ugotoviti. Ko pride okvir za neznano postajo do mostu, ga most pošlje naprej v vse smeri. Temu rečemo preplavljanje. Z obratovanjem pa se most uči in začne pošiljati okvirje naprej in samo tja, kamor je potrebno. Delovanje mostu lahko povzamemo v naslednjem algoritmu.

če je naslovljenec na istem segmentu kot pošiljatelj **potem**
zavrži okvir
sicer če je segment naslovljenca znan **potem**

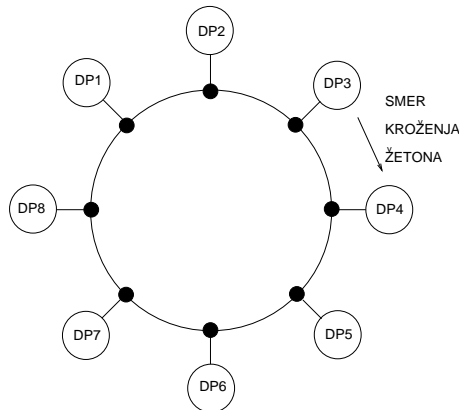
pošlji v to smer
sicer
pošlji v vse smeri.

Most se uči iz prišlih okvirjev. Algoritmu učenja pravimo "vzvratno učenje" (ang. Backward Learning). Ko na primer most B_1 sprejme okvir od postaje V_A , ki je na segmentu L_1 , preveri naslov izvora (pošiljatelja) in naslov ponora (naslovljenca). Če naslovljenca ne pozna, pošlje okvir naprej v vse smeri. Če pa ne pozna pošiljatelja (torej V_A), vpiše v svojo usmerjevalno tabelo, da se V_A nahaja na segmentu L_1 . Ko v prihodnosti dobi okvir za postajo V_A , pošlje okvir na segment L_1 ali pa ga zadrži na tem segmentu. Po nekem začetnem času učenja si vsi mostovi zgradijo usmerjevalne tabele. Da tabele zaradi morebitnih sprememb v omrežju s časom ne zastarajo, se vodi časovni nadzor. Po predvidenem času obratovanja most ponovi postopek učenja. Podobno delujejo tudi stikala.

3.3 Obroč z žetonom in IEEE 802.5

Lokalna omrežja *obroč z žetonom* (Angl. Token Ring) je po obliki obroč. Za omrežje topologije obroč je značilno, da so postaje oziroma vmesniki postaj krožno vezani eden z drugim s povezavo točka-točka. Obroč je nepristranski do postaj in jim omogoča popolnoma determinističen dostop do kanala. Na sliki 13 je shematično prikazana mreža, ki je po obliki obroč. Postaje so na omrežje vezane preko vmesnikov. Vmesniki postaj pa so vezani v obroč.

V obroču z žetonom kroži v obroču poseben bitni vzorec (kratek okvir), ki mu pravimo žeton. Ko nobena postaja nima želje po oddaji, je obroč prost in po obroču enakomerno kroži žeton. Če postaja želi oddajati, se mora prej polastiti žetona. Postaja počaka, da žeton pride do nje, vzame žeton iz obročja oziroma spremeni žeton v začetek okvirja in prične z oddajo vsebine okvirja. Ker je v obroču samo eden žeton, ima pravico do oddaje v nekem obdobju samo ena postaja - tista, ki ima v lasti žeton. Trčenje dveh ali več postaj je zato nemogoče. Zaradi fizične izvedbe kanala pride oddana informacija po zakasnilnem času naokrog tudi do oddajne postaje. Oddajna postaja ima takrat možnost, da primerja oddano informacijo s sprejeto informacijo, lahko pa jo preprosto zavrže. To omogoča sprejemni postaji razmeroma enos-



Slika 13: Mreža topologije obroč.

tavno potrjevanje pravilno sprejetih okvirjev in oddajni postaji preverjanje pravilnosti prenosa.

Kadar omrežje ni obremenjeno, se večino časa v obroču nahaja žeton. Ko pa obremenitev narašča in postaje čakajo na oddajo, se žetona polasti naslednja (sosednja) postaja takoj, ko prejšnja postaja konča z oddajo in obnovi žeton. V močno obremenjeni mreži zato pravica do oddaje enakomerno kroži od postaje do postaje in kanal je maksimalno izkoriščen. To je važna lastnost mreže obroč z žetonom, v mreži tipa CSMA/CD so razmere ravno obratne: prepustnost mreže z obremenitvijo zaradi trčenj močno pade.

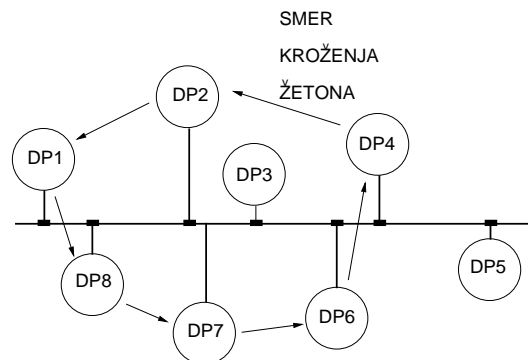
Eden od parametrov obroča z žetonom je maksimalni držalni čas žetona (ang. Token Holding Time). V tem času lahko lastnik žetona odda okvir ali zaporedje krajših okvirjev, po tem času pa je obvezen sprostiti žeton. Z daljšanjem držalnega časa žetona se izkoristek omrežja sicer veča, čakalni čas na oddajo pa narašča. Druga možnost je omejitev obhodnega časa žetona (Angl. Target Token Rotation Time), kot je na primer v omrežju FDDI. V omrežju tipa obroč se da realizirati prioritetni sistem in tako jamčiti kakovost storitev.

3.4 Vodilo z žetonom in IEEE 802.4

Vodilo z žetonom (Angl. Token Bus) je sprva predstavljalo resno alternativo Ethernetu. Ethernetu so očitali *naključni dostop*, ki da v industrijskem

okolju ne pride v poštev, kajti lahko se zgodi, pa čeprav zelo malo verjetno, da postaja čaka na kanal zelo dolgo, dlje, kot to dovoljuje industrijski proces. Čas čakanja na kanal v omrežju tipa CSMA/CD ni navzgor omejen. Druga kritika omrežja tipa CSMA/CD gre na račun nezmožnosti izvedbe *prioritetnega sistema* dodeljevanja kanala. Namreč, manj pomembni okvirji lahko prehitevajo bolj pomembne okvirje, kar je v sistemih, ki morajo delovati v realnem času, nedopustno. V mrežah s topologijo obroč dostop do kanala ni naključen, čas čakanja na kanal v najslabših razmerah pa je za vsako postajo navzgor omejen in vnaprej znan. Namreč, v omrežju z N postajami, bo poljubna postaja čakala na kanal največ $(N - 1) \times T$, kjer je T čas trajanja okvirja oziroma najdaljši čas oddajanja posamezne postaje. Vodilo z žetonom je združilo dobre lastnosti vodila (enostavnost povezovanja) z determinističnim dostopom obroča. V omrežju tipa vodilo z žetonom je dostop do kanala urejen z žetonom. Žeton pomeni pravico do oddaje. Samo postaja, ki ima v lasti žeton, sme začeti z oddajo okvirja. Ker je v omrežju en sam žeton, do trčenja ne more priti. Žeton je poseben bitni vzorec oziroma ustrezno označen kratek okvir, ki "kroži" od postaje do postaje. Ko postaja odda podatkovni okvir ali zaporedje okvirjev, nazadnje odda še žeton in zraven pove komu je namenjen. V omrežju po obliki vodilo zaznajo žeton sicer vse postaje, sprejme pa ga le naslovljena postaja (tista, ki ji je žeton namenjen). Vsaka postaja ima na vodilu enoznačno določen naslov, po katerem je znana drugim postajam. Vsaka postaja na vodilu pozna naslov predhodne postaje, od katere bo dobila žeton in naslov nasledne postaje, ki ji bo prepustila žeton. Na ta način se pravica do oddaje seli od postaje do postaje v predvidenem zaporedju. Zadnja postaja preda žeton spet prvi postaji in logični obroč je sklenjen. Vrstni red, v katerem so postaje fizično priključene na kanal, je nepomemben. Možno je tudi, da so v logičnem obroču samo nekatere od fizično priključenih postaj, kot je narisano na sliki 14. Na kanalu se vrstijo okvirji, ki jih poslušajo vse postaje, ki so v logični zanki, okvir pa sprejme samo tista postaja, ki ji je okvir namenjen.

V začetku obratovanja omrežja logičen obroč še ne obstaja in potrebno ga je šele vzpostaviti. Vzdrževanje obroča pa je potrebno tudi med obratovanjem omrežja. Razmere v omrežju se s časom spreminjajo, nekatere postaje postajajo aktivne in želijo "vstopiti" v obroč, druge obroč zapuščajo. Možno je tudi, da postaje izpadejo zaradi okvare ali pa se enostavno izklopijo. S tem se logični obroč prekine. V primeru, da izpade postaja, ki ima v lasti žeton, pa se izgubi tudi žeton. Skratka, omrežje vodilo z žetonom mora

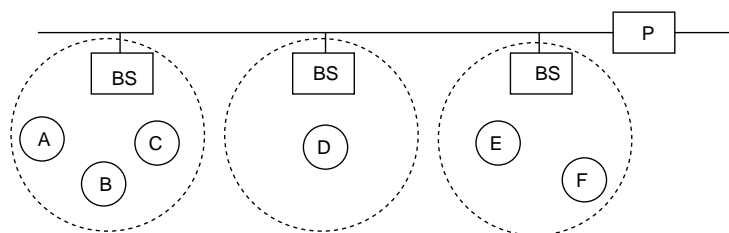


Slika 14: Vodilo z žetonom. V logičnem obroču so samo postaje 8, 7, 6, 4, 2, 1. Postaji 3 in 5 nista v obroču.

imeti izdelane mehanizme, ki omogočajo vzpostavitev in vzdrževanje obroča, vstopanje v obroč in izstopanje iz obroča ter nadzor nad podvojenimi in izgubljenimi žetoni. Obroč z žetonom se je najbolj uveljavil v industrijskih okoljih (Profibus, P-Net, precej podoben je tudi FIP, vsi so zajeti v standardu IEC 61158). Prav kompleksnost upravljanja z žetonom in nesluten razmah Etherneta pa sta glavna vzroka, da taka omrežja vedno redkeje srečamo.

3.5 Brezžični LAN in IEEE 802.11

Čeprav se Ethernet uporablja skoraj povsod, pa ob njem in včasih tudi namesto njega nastaja vse več priložnosti za brezžična omrežja. Želja po mobilnosti obdelave podatkov je narekovala razvoj prenosnikov, tem je sledila potreba po mobilni povezljivosti, tu pa brezžične povezave nimajo prave konkurence - razvil se je WiFi in standard IEEE 802.11. Omrežja 802.11 predvidevajo dva načina delovanja: z in brez bazne postaje oziroma dostopovne postaje (Angl. Access Point). V njeni prisotnosti poteka vsa komunikacija preko nje. Če bazne postaje ni (v t.i. "ad hoc" omrežjih), pa komunikacija poteka direktno med končnimi postajami. Sredi devetdesetih let, ko je nastajal brezžični LAN (WLAN), je bil Ethernet že dobro vsidran skoraj povsod, to je pomenilo zahtevo po kompatibilnosti, to pomeni, izgled brezžičnega omrežja LAN navzgor proti mrežnemu sloju naj bi se ne razlikoval od klasičnega Etherneta. Konkretno, IP paket naj bi šel preko brezžičnega omrežja enako, kot po ožičenem Ethernetu. V brezžičnem omrežju CSMA/CD dostop zaradi omejenega dosega signala, ovir, odbojev,



Slika 15: Mobilno večcelično brezžično omrežje.

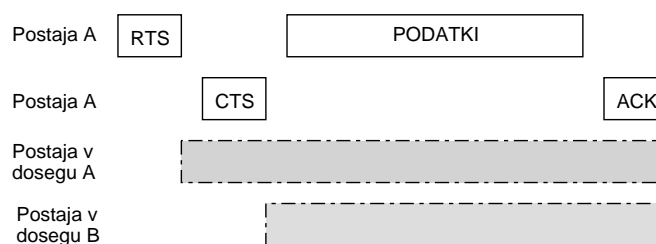
ne pride v poštev. Selitev postaje pa je problematična tudi zaradi usmerjanja. Rešitev se je našla v sistemu večih baznih postaj oz. celic in povezavi le-teh z Ethernetom, kot kaže slika 15. Sedaj je od zunaj omrežje WLAN videti kot običajen Ethernet.

IEEE 802.11 označuje družino brezžičnih (WLAN) omrežij, ki uporabljajo različne tehnike moduliranja, a enak protokol. Prva omrežja so delovala s hitrostjo 1 in 2 Mb/s in tehniko moduliranja, a še predno so zaživela jih je nadomestila hitrejša tehnologija. Na fizičnem sloju se uporabljajo različne tehnike moduliranja v širokem spektru: s rekvenčnim skakanjem FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), z neposrednim zaporedjem DSSS in HR-DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum in High Rate DSSS), ortogonalno frekvenčno multipleksiranje OFDM (Orthogonal Frequency division Multiplexing), kodno multipleksiranje CDMA (Code Division Multiple Access), in še nekatere druge. Razen IEEE 802.11a, ki deluje na frekvencah nad 5 GHz, delujejo v ISM (Industrial Scientific Medical) frekvenčnem pasu 2.4-2.5 GHz. Maksimalne hitrosti prenosa so 54 Mb/s za 802.11a, 11 Mb/s za 802.11b, ki je najbolj razširjen in 54 Mb/s za 802.11g. Skupna oznaka za vse je 802.11x. Nekaj podatkov je zbranih v tabeli 3.

Dostop do prenosnega sredstva v WLAN se razlikuje glede na to, ali je v omrežju prisotna bazna postaja ali ne. WLAN brez bazne postaje, to je v DCF načinu (Distributed Coordination Function), deluje po načelu CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), ki je pravzaprav CSMA/CD brez odkrivanja trčenj. Postaje prisluškujejo kanalu. V primeru, da je kanal zaseden, postaja počaka z oddajo, sicer začne z oddajo, vendar med oddajanjem ne posluša. Če trči, poskusi z oddajo ponovno po

Oznaka	Datum	Fr. pas	Hitrost	Max. hitrost	Doseg
802.11	1997	2.4 - 2.5 GHz	1 Mb/s	2 Mb/s	
802.11a	1999	5.15-5.35 GHz 5.457-5.725 5.725-5.9875 GHz	25 Mb/s	54 Mb/s	50 m
802.11b	1999	2.4-2.5 GHz	6.5 Mb/s	11 Mb/s	100 m
80211g	2003	2.4 GHz ali 5 GHz	11 Mb/s	54 Mb/s	100 m

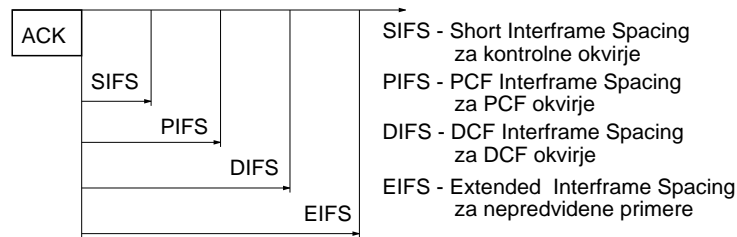
Tabela 3: Nekateri podatki omrežij WLAN IEEE 802.11



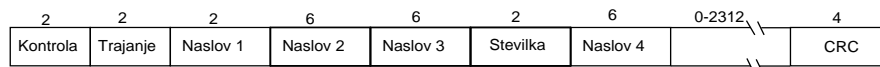
Slika 16: Dostop do prenosnega sredstva z virtualnim zaznavanjem zasedenosti kanala.

naključnem času. Druga možnost načinu DCF je t.i. virtualno zaznavanje kanala z napovedovanjem oddaje in deluje takole (slika 17). Postaja A, ki bi želela oddati okvir postaji B, z RTS (Request To Send) zahteva od nje dovoljenje, ki ga denima le-ta potrdi s CTS (Clear To Send). Postaja A zato začne z oddajo okvirja postaji B, pred tem pa nastavi časovnik za čakanje na potrdilo ACK (Acknowledge). Če potrdilo pride predno se časovnik izteče, je prenos uspešno opravljen, v nasprotnem primeru se vse skupaj ponovi. Druge postaje, ki so v dosegu postaje A in torej slišijo njeno zahtevo RTS, iz zahteve razberejo pričakovani čas oddaje, zato morebitno svojo oddajo zadržijo za toliko časa. Postaje, ki niso v dosegu postaje A, ne slišijo zahteve RTS. Tiste postaje pa, ki so v dosegu postaje B, slišijo njen odgovor CTS in zato, da ne bi motile njenega sprejema, zadržijo morebitno oddajo do potrdila ACK.

V omrežjih z bazno postajo je urejen dostop "centralno" z bazno postajo; imenuje se PCF način (PCF - Point Coordination Function). Bazna postaja eksplicitno dodeljuje kanal (poziva "svoje" postaje), tako da do trčenja ne more priti. V ta namen periodično oddaja svarilni okvir (Angl. Beacon Frame), s katerim nastavi določene komunikacijske parametre, pa



Slika 17: Časovni nadzor za dostop do prenosnega sredstva.



Slika 18: Zgradna okvirja.

tudi vabilo za vstop nove postaje v pozivni seznam.

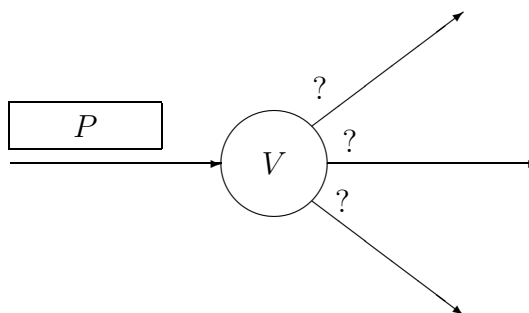
Omrežja tipa DCF in PCF lahko sobivajo. Ta možnost je urejena s časovnim nadzorom prostega intervala med dvema zaporednima okvirjema. Obstajajo štiri t.i. časovne reže, vsaka je rezervirana za oddajo določenega tipa okvirjev. Krajša kot je časovna reža, višja je prioriteta (slika ??).

Brezžična omrežja so z vidika varnosti (tajnosti in verodostojnosti) bolj ranljiva od ožičenih. Prijava (in odjava) nove postaje v omrežje z geslom je zato nujna. Možnost zlorabe pa kljub temu še vedno obstaja. Zaupnost komuniciranja temelji na protokolu WEP (Wired Equivalent Privacy) in algoritmu šifriranja z algoritmom RC4, katerega avtor je, kot številnih drugih algoritmov, Ronald Rivest. Za povprečnega uporabnika algoritem zagotavlja zadostno stopnjo zaupnosti. Kot pove ime, naj bi WEP zagotavljal stopnjo zaupnosti, ki je ekvivalentna zaupnosti v ožičenih omrežjih.

Za konec pokomentirajmo še zgradbo okvira (slika 18). Okvir začne s kontrolnim poljem, ki vsebuje verzijo protokola, tip in podtip okvirja (npr. podatkovni okvir, kontrolni okvir, itd.). Sledi polje za trajanje okvirja (koliko časa bo okvir potreboval kanal), štiri naslove (naslova izvorne in ponorne postaje, naslova odhodne in prihodne bazne postaje), zaporedno številko fragmenta (okvir je lahko sestavljen iz manjših fragmentov). Preostanek je podatkovni del in kontrolna vsota.

4 Mrežni sloj, usmerjanje in IP

Glavna naloga mrežnega sloja je zagotavljanje poti prenosa od izvora do ponora oziroma povezljivost končnih vozlišč. Vozlišča, ki opravljajo to nalogo, se imenujejo usmerjevalniki (angl. Routers). Podatkovna enota tega sloja je paket. Ko usmerjevalno vozlišče dobi paket, ga mora poslati oziroma usmeriti naprej v pravo smer, dokler paket ne pride do cilja (slika 19). To imenujemo usmerjanje. Usmerjanje poteka na osnovi usmerjevalnih tabel. Vsebine tabel se lahko določa na več načinov; te imenujemo algoritmi usmerjanja. Samo usmerjanje opravljajo usmerjevalni (usmerjani) protokoli. Druga naloga mrežnega sloja je naslavljanje. Vsako vozlišče ima svoj mrežni naslov, po katerem je znano drugim vozliščem. Oblika in pomen naslova je odločilna za usmerjanje. Paket mora priti na cilj tudi, če se ciljno vozlišče ne nahaja v istem omrežju kot izvorno vozlišče. Povezovanje omrežij med seboj je tretja naloga mrežnega sloja.



Slika 19: Osnovna naloga vmesnih vozlišč je usmerjanje paketov.

Obstajata dva tipa omrežij, povezavno in nepovezavno usmerjena. V prvih omrežjih se najprej določi pot skozi omrežje ("navidezna povezava"), po kateri potem poteka prenos vseh paketov drugega za drugim, ko povezava ni več potrebna, se podre. Tako deluje na primer ATM. V drugih omrežjih predstavlja vsak paket samostojno podatkovno enoto, ki gre od vozlišča do vozlišča po najbolj primerni poti, dokler ne pride do ciljnega vozlišča (ali pa se "izgubi"). Do vzpostavitve povezave nikoli ne pride. Taka omrežja, kot je na primer Internet, so tipa datagram. Datagram omrežje se trudi dostaviti paket od izvora do ponora. Naloga vsakega usmerjevalnika je, da preda paket naprej naslednjemu (direktno povezanemu) usmerjevalniku, pot naprej ga ne zanima. Omrežje ne poskrbi, da ne pride do podvajanja in/ali izgubljanja

paketov, niti ne zagotavlja sekvenčnosti dostave paketov. Tako deluje IP protokol.

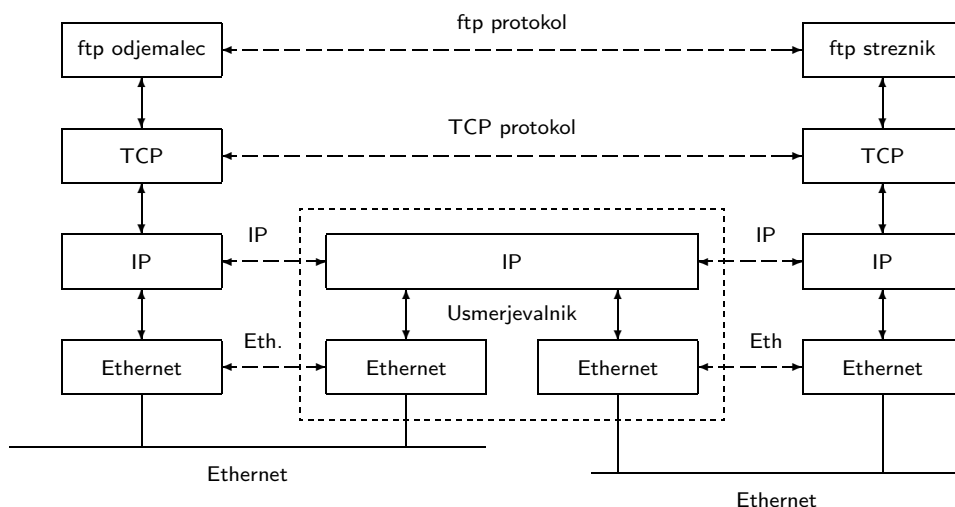
Usmerjanje je lahko statično ali dinamično. Če je statično, se vsebine usmerjevalnih tabel med obratovanjem ne prilagajajo spremembam (se med samim obratovanjem ne spreminjajo).

Algoritme usmerjanja v grobem delimo na lokalne (izolirane), porazdeljene in globalne (centralizirane). V prvem primeru določi vsak usmerjevalnik svojo tabelo sam na podlagi svojega poznavanja omrežja. V porazdeljenem si sosednja usmerjevalna vozlišča izmenjuje usmerjevalne tabele ali del usmerjevalnih tabel. Z obratovanjem se tabele izpopolnjujejo in izboljšujejo. Slaba stran teh algoritmov je razmeroma počasna konvergenca in prilagodljivost na spremembe v omrežju. Tako v omrežjih TCP/IP na primer deluje RIP (Routing Information Protocol, RIPv1 in RIPv2), vendar ga izpodrivajo drugi algoritmi, kot denimo OSPF (Open Shortest Path First). OSPF je globalnega oziroma centraliziranega tipa. Usmerjevalnik najprej pridobi podatke o topologiji omrežja od drugih usmerjevalnih vozlišč. Usmerjevalniki preverjajo stanje direktnih povezav. Stanje direktnih povezav posredujejo svojim neposrednim sosedom. Preko sosedov se stanja direktnih povezav razširjajo po omrežju. Vsak usmerjevalnik tako dobi stanje povezav v celem omrežju. Na podlagi tega z optimizacijskim algoritmom (iskanje najkrajših poti) določi vsebino usmerjevalne tabele.

Načelna skica povezave dveh Ethernet omrežij z IP usmerjevalnikom s stališča slojne zgradbe omrežja je prikazana na sliki 20. Usmerjevalnik pošlje paket naprej samo, če je potrebno, kar razbere iz svoje usmerjevalne tabele. Posredništvo se zgodi na tretjem sloju; usmerjevalnik se odloča na podlagi IP (mrežnih) naslovov. Če bi se posredništvo zgodilo na drugem (Ethernet) sloju, bi bila vmesna naprava most ali stikalo. Most (stikalo) bi opravil posredništvo na osnovi Ethernet naslovov.

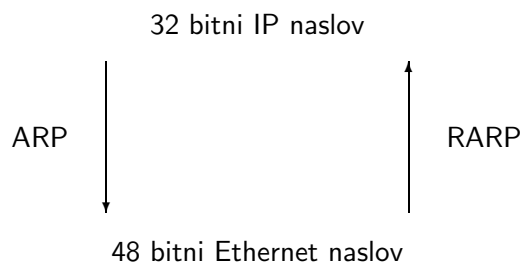
4.1 ARP in RARP

Protokol ARP (Address Resolution Protocol), kot nakazuje njegovo ime, skrbi za preslikavo mrežnih naslovov v priključno mesto vozlišča ali tako imenovani fizični naslov. RARP (Reverse ARP) skrbi za obratno preslikavo, a bolj pomemben je ARP. V Ethernet omrežju je fizični naslov v bistvu 48

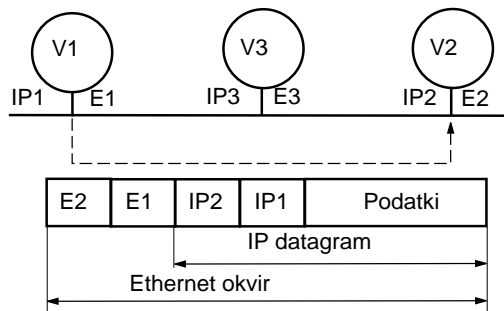


Slika 20: Primer povezave dveh TCP/IP omrežij tipa Ethernet z usmerjevalnikom. Posredništvo se zgodi na tretjem (mrežnem sloju).

bitni Ethernet naslov.



Vsako vozlišče v omrežju je enolično določeno z 32 bitnim mrežnim (IP) naslovom. Če želi dano izvorno vozlišče poslati paket izbranemu (ponornemu) vozlišču, mora poznati njegov (IP) naslov. V ta namen formira IP paket s koristno vsebino in doda glavo paketo, v katero vpiše tudi oba (izvorni, ponorni) IP naslova, nato preda paket podatkovno linijskemu sloju. Linijski sloj formira okvir s koristno informacijo (to je v tem primeru IP paket) in doda svojo glavo. V okvir vpiše tudi oba Ethernet naslova, svojega, ki ga seveda pozna, in ponornega, ki pa ga v splošnem ne pozna. Tu pride na vrsto ARP. Vozlišče formira ARP poizvedovalni okvir, namesto ponornega naslova pa vanj vpiše splošni naslov (naslovi vsa vozlišča). Poizvedovalni



Slika 21: Delovanje protokola ARP v preprostem omrežju brez usmerjevalnikov.

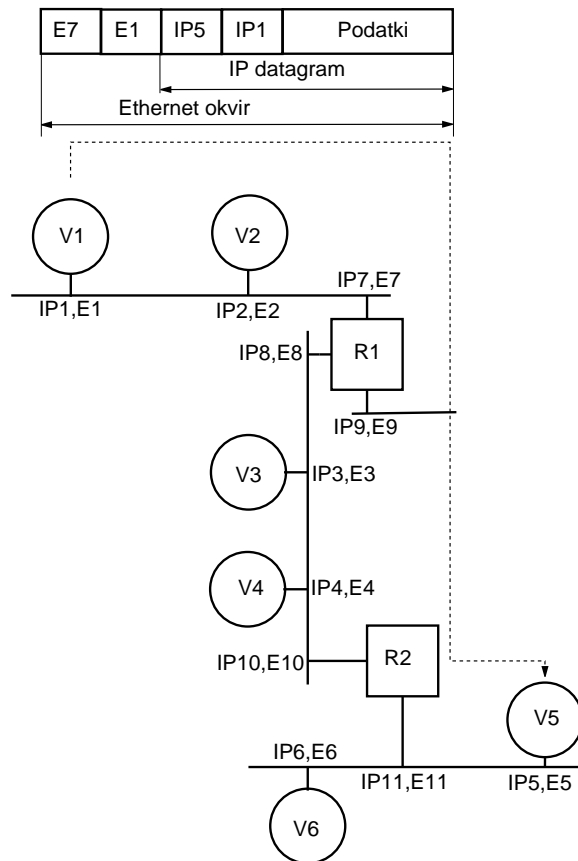
okvir z znanim IP naslovom se širi po omrežju in poizveduje po pripadajočem Ethernet naslovu, dokler se iskano vozlišče ne odzove z okvirjem, ki nosi njen Ethernet naslov. Poizvedovalno vozlišče sedaj lahko pošlje okvir (v katerem je IP paket) ponornemu vozlišču.

Poizvedovalni okvir se svobodno širi preko mostov in stikal, kot da jih sploh ne bi bilo. Delovanje ARP v istem omrežju (en sam Ethernet segment ali več segmentov povezanih z mostovi) povzema naslednje zaporedje dogodkov:

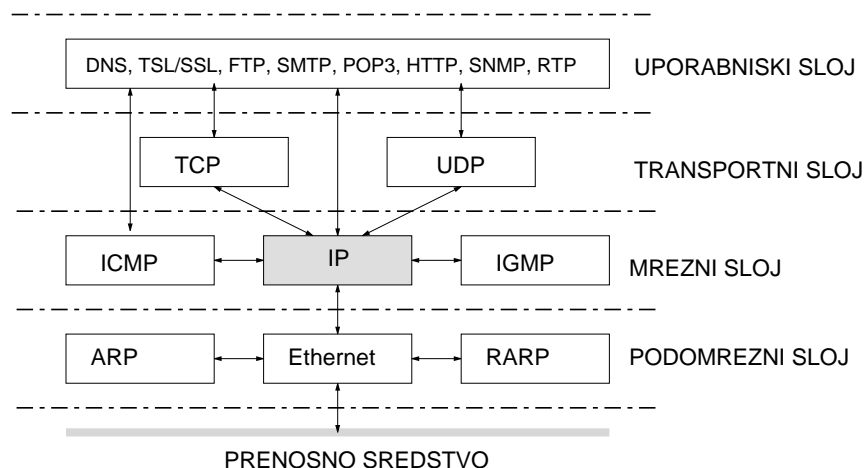
- Vozlišče V1 z mrežnim (IP) naslovom IP1 in Ethernet naslovom E1 pošilja paket vozlišču V2 z IP naslovom IP2 in Ethernet naslovom E2. Zato formira IP paket z naslovom ponora IP2, naslovom izvora IP1 in ga preda linijskemu sloju.
- Vozlišče V1 (IP1,E1) ne pozna Ethernet naslova (E2) vozlišča V2, (IP2, ??). Zato pošlje ARP poizvedovalni okvir na splošni naslov: lastnik IP naslova IP2 prosim pošlji svoj Ethernet naslov.
- Vozlišče V2 v odgovor pošlje svoj Ethernet naslov in prenos paketa lahko steče.
- Vozlišče V1 pošlje IP paket v Ethernet okvirju z naslovom ponora E2. Pomembno: oba naslova, (IP2, E2) sta naslova (mrežni in linijski) ponornega vozlišča.

Delovanje ARP v omrežju z usmerjevalnikom je drugačno; v načelu usmerjevalniki obnovijo poizvedbo na danem priključku:

- Vozlišče V1 z IP naslovom IP1 in Ethernet naslovom E1 pošilja paket vozlišču V5 z IP naslovom IP5. Zato formira IP paket in ga preda linijskemu sloju.
- Vozlišče V1 ne pozna Ethernet naslova (E5)vozlišča V5. Možno je dvoje:
 - Prvi primer:
 - Vozlišče V1 iz svoje usmerjevalne tabele razbere, da vozlišče V5 ni direktno priključeno. V tabeli najde IP naslov usmerjevalnika R1 (IP7)in prosi za njegov Ethernet naslov (poizvedba ARP).
 - Usmerjevalnik vrne svoj Ethernet naslov, E7.
 - Vozlišče V1 pošlje IP paket vozlišču V5 v Ethernet okviru s ponornim Ethernet naslovom usmerjevalnika. Pomembno: IP naslov je (vedno) naslov ponornega vozlišča (IP5), Ethernet naslov pa je naslov usmerjevalnika, (IP5,E7).
 - Drugi primer:
 - Vozlišče V1 pošlje ARP poizvedovalni paket: lastnik IP naslova IP5 prosim pošlji svoj Ethernet naslov.
 - Vozlišče V5 se nahaja na drugem segmentu (podomrežju), ki ju povezuje posrednik - usmerjevalnik.
 - Posrednik (ustrezno konfiguriran) iz svoje tabele razbere, da ima vlogo posrednika.
 - Vozlišču V1 v odgovor pošlje svoj Ethernet naslov in ne Ethernet naslov ponornega vozlišča. ("Proxy ARP").
 - Vozlišče V1 pošlje IP paket z naslovom ponora IP5 v Ethernet okviru s ponornim Ethernet naslovom usmerjevalnika.



Slika 22: Delovanje protokola ARP v primeru usmerjevalnika.



Slika 23: Protokol IP v omrežjih TCP/IP.

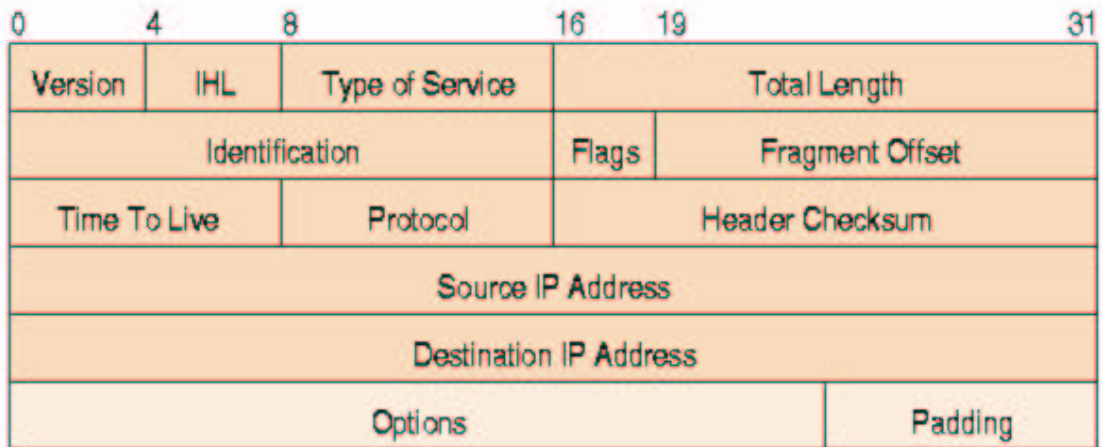
4.2 Osnovno o protokolu IP

IP (Internet Protocol) je za delovanje omrežja neprimerno pomembnejši od vseh ostalih protokolov. Opisan je v dokumentu RFC 791⁵ in v uporabi od leta 1981. Njegovo osrednjo vlogo v odnosu do drugih protokolov prikazuje slika 23.

Zankrat dominira IP verzije 4 (IP v.4), že dolgo pa se pripravlja verzija 6 (IP v.6), a še ni zaživela. Veliko se da o delovanju protokola razbrati iz oblike paketa (slika 24).

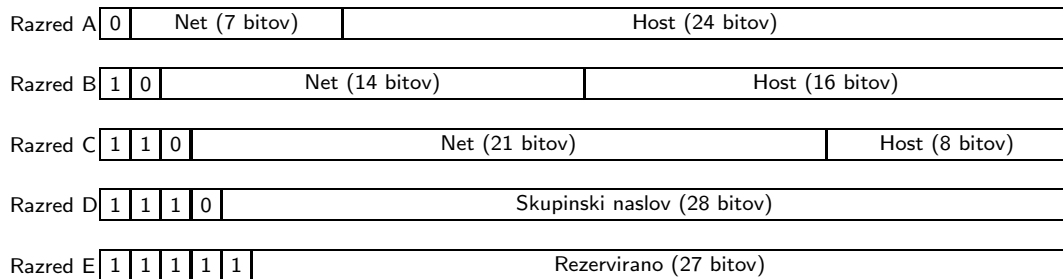
- Version: verzija protokola (v uporabi IP.v4, enkrat prehod na Ip.v6)
- IHL (Internet Header Length): dolžina glave paketa (v 32 bitnih besedah), min. 5 (20 Bajtov), max. 15 (60 bajtov).
- Type of Service: določa kakovost storitve
- Total length: celotna dolžina paketa (datagrama) skupaj z glavo, max. 65535 bajtov.

⁵RFC n (Request For Comment) so uradni in javno dostopni dokumenti, ki predpisujejo zgradbo in delovanje Internet omrežja, nekateri od njih postanejo Internet standardi)



Slika 24: Oblika IP paketa.

- Identification: enoznačna oznaka (številka paketa) in vseh fragmentov, če je paket fragmentiran.
- DF (Dont't Fragment): Paket se ne sme fragmentirati.
- MF (More Fragments): Kadar je paket fragmentiran, imajo vsi fragmenti razen zadnjega postavljen MF bit.
- Fragment offset: položaj fragmenta v paketu.
- Time to live: Izvorno vozlišče postavi začetno vrednost, ki se zmanjša ob vsakem prehodu skuzi vozlišče. Ko pade na nič, se paket ne pošlje naprej.
- Protocol: določa enega od protokolov (višjega) sloja (TCP, UDP, ..).
- Header Checksum: kontrolna vsota, vsota (logični ALI) 16 bitnih enot in zapis vsote v eniškem komplementu.
- Source Address, Destination Address: 32 bitna IP naslova izvornega in ponornega vozlišča.



Slika 25: Naslovni razredi.

- Options: razširitev glave za specifične potrebe. Prvi bajt po dogovoru določa tip opcije, npr. "Record Route".

Za usmerjanje sta najpomembnejši obe naslovni polji, izvorni in ponorni IP naslov. Po dogovoru zgornji naslovni biti pomenijo naslov omrežja, spodnji pa naslov vozlišča znotraj omrežja. Usmerjevalnik najprej preveri naslov omrežja in na tej osnovi opravi posredništvo, šele nato ga lahko zanima tudi naslov vozlišča samega. Kateri biti pomenijo naslov omrežja, je lahko določeno na več načinov. Klasičen način je razvrstitev naslovov na razrede, kot prikazuje slika 25. Denimo, razred C uporablja osembitni naslov vozlišča.

Razred je torej pomemben pri usmerjanju. Na podlagi razreda usmerjevalnik razbere kateri naslovni biti določajo omrežje in kateri biti določajo vozlišče v omrežju. Zaradi "varčevanjaž naslovi se delitev naslovnega prostora na razrede vse manj uporablja. Delitev IP naslova na naslov omrežja in naslov vozlišča določa naslovna maska (z naslovno masko se lahko delijo omrežja na podomrežja tudi v primeru usmerjanja na osnovi razredov). Naslovna maska sedaj določa, kateri biti v naslovu pomenijo naslov vozlišča. Ta način je tako imenovan CIDR način (Classless InterDomain Routing). Druga možnost "varčevanjaž naslovi je NAT (Network Address Translation). V tem primeru pripada vsem vozliščem v istem omrežju "navzven" en sam naslov, kar pomeni, da so vsa vozlišča navzven vidna kot eno samo vozlišče. Navznoter v "notranjem" omrežju pa ima vsako vozlišče svoj naslov; ti naslovi so vidni in veljavni samo znotraj tega omrežja. Razločevanje med vozlišči znotraj omrežja navzven pa je dokaj zapleteno. Rešitev, ki v pogledu slojnosti ni ravno pregledna, je uporaba številke vrat (Angl. Port Number), ki se sicer uporablja na višjem - transportnem sloju, skupaj z IP naslovom tudi za

mrežno naslavljanje. Preslikavo naslovov običajno opravlja usmerjevalnik, ki povezuje notranje omrežje z ostalimi omrežji in je na njem postavljen tudi požarni zdi (Angl. Fire Wall). Zadnja možnost je dinamično (začasno) dodeljevanje mrežnih naslovov iz zaloge naslovov (DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol). Vozliču se dodeli naslov takrat, ko postane aktivno, sicer pa je naslov prost in na voljo za dodelitev drugim vozliščem.