

*Mr. sc. Bojana Dalbelo Bašić
Šumarski fakultet, Zagreb*

Umrežavanje računala u upravljačko-proizvod- nim sustavima

Computer Networking in Production Control Systems

Stručni rad

Prispjelo: 14. 09. 1995. • Prihvaćeno: 20. 11. 1995. • UDK 630*945

SAŽETAK • U radu se iznose neke prednosti umrežavanja računala i neke od mogućih opcija pri njihovoj izgradnji. Postoje različite podjele mreža, ovisno o izabranim kriterijima (zemljopisna rasprostranjenost, namjena mreže, građa mreže itd.). Dva tipa lokalnih mreža značajnih za upravljačko-proizvodne sustave jesu: industrijske i uredske mreže. U članku se također objašnjava zamisao o slojевnoj strukturi mreže koja je temelj za izgradnju komunikacijskog sustava prilagođenog potrebama i mogućnostima korisnika. Opisan je model ISO/OSI. Izneseni su temeljni načini povezivanju računala u lokalnu mrežu i fizička sredstva za ostvarenje tih veza. Dan je primjer mogućnosti neovisnog izbora mrežnoga operacijskog sustava za lokalnu mrežu osobnih računala.

Ključne riječi: umrežavanje računala, model ISO/OSI, likalne mreže, topologija mreža, prijenosni mediji. Computer Networking in Production Control Systems

SUMMARY • The paper presents certain advantages of computer networking and some options in networking. There are different classifications for networks, depending criteria chosen (geographical spreading, purpose, construction etc.). Two local network types are important for production control systems: industrial and office networks. The paper also explains the concept of layered network structure which is the basis for standardisation procedures and therefore also for the establishment of communication systems adjusted to the needs and possibilities of the user. The ISO/OSI model is described. The basic methods of computer connection to local networks and the physical means for these connections are presented. The possibility of an independent selection of the local computer network operating

Rad je prezentiran na znanstveno-stručnom savjetovanju "Uključivanje znanosti u gospodarski sustav prerađbe drva u Hrvatskoj" u Novom Vinodolskom, 11. i 12. travnja 1994. u organizaciji Zavoda za istraživanje u drvnoj industriji, Šumarskog fakulteta i Croatiadrvo d. d. Zbog interesa stručne javnosti za ovu problematiku rad prenosimo u neznatno izmjenjenom obliku.

system is discussed and illustrated with an example.

Keywords: computer networking, ISO/OSI model, local networks, network topology, portable media.

1. UVOD

1. Introduction

Upravljačko-proizvodni sustavi ostvaruju mnogo raznorodnih funkcija te posjeduju sebi svojstvenu hijerarhijsku strukturu. Distribuiranost upravljačkih i proizvodnih funkcija znači nastanak informacija na jednome mjestu u nekoj hijerarhijskoj razini te njihovu uporabu na drugoj razini ili drugome mjestu unutar iste hijerarhijske razine. Prijenos podataka zadaća je komunikacijskog podsustava.

U sklopu općenito zamišljenoga informacijskog sustava mogu se prepoznati tri osnovna sloja (Turk, 1991):

1. Informacijska mreža - skup stvaratelja, davalaca i korisnika informacija. Čvorove te mreže čine institucije, organizacije i njihovi dijelovi kao stvaratelji, davalci i korisnici informacija. Veza među čvorovima su postupci za prijenos i rukovanje podacima. Sadržaj koji kola u informacijskoj mreži izvor je prometa u računalnoj mreži.

2. Informatička mreža - skup radnih sustava (računala, terminala), baza podatka i procesa kojima se obrađuju, pohranjuju i raspoređuju podaci.

3. Računalna mreža - skup naprava za stvarni prijenos podataka između čvorova informatičke mreže. Računalnu mrežu čine radne instalacije, komunikacijski procesori i veze među njima.

Radne instalacije su sve kategorije sustava računala i terminala povezanih u mrežu, a svaki radni sustav komunicira s komunikacijskim procesorom za koji je vezan. *Komunikacijski procesor* je računalo koje izvodi sve potrebne radnje da bi podatak ili naredba bili preneseni od jednoga do drugog korisnika. Oni oslobađaju radne instalacije od obavljanja poslova mreže.

Tema ovog rada su računalne mreže, prednosti što ih ima umrežavanje, kao i neke od mogućih opcija njihove izgradnje. Dana je osnovna podjela računalnih mreža s dva tipa lokalnih mreža značajnih za upravljačko-proizvodne sustave: industrijske i uredske. U poglavlju 3. opisuje se slojevna struktura mrežnog sustava i model ISO/OSI. Izneseni su temeljni načini povezivanja računala u lokalnu mrežu i fizička sredstva za ostvarenje tih veza. Na kraju je dan primjer mogućnosti neovisnog izbora

mrežnoga operacijskog sustav za lokalnu mrežu osobnih računala.

2. PODJELA MREŽA

2. Network Classification

Računalna mreža jest skup naprava različitih svojstava i namjena (Turk, 1991). Prema zemljopisnoj rasprostranjenosti mreže se dijele na:

- **globalne mreže** (engl. Wide Area Network - WAN) - povezuju računala razmještena na velikim udaljenostima (100 i više kilometara) jedne ili više država (ne moraju biti na istom kontinentu)

- **gradske mreže** (engl. Metropolitan Area Network - MAN) - povezuju računala na manjem području (npr. na području jednoga većega grada)

- **lokalne mreže** (engl. Local Area Network - LAN) - povezuju računala unutar nekoliko prostorija, jedne zgrade, skupine zgrada, tvorničkoga kompleksa.

Sve tri vrste mreža mogu se međusobno povezati i stvoriti izrazito hijerarhijski sustav. Proizvodne i poslovne funkcije sustava svaka za sebe čine zaokruženu cjelinu te imaju svoje posebne zahtjeve glede računalnog sustava odnosno komunikacijskog sustava koji podržava obavljanje tih funkcija. Jedna od mogućih arhitektura komunikacijskih sustava jest povezivanje lokalnih mreža koje podržavaju obavljanje zaokruženih zadaća (poslovodnih i proizvodnih). U tom smislu razlikujemo (Glavinić, 1991):

- **uredske mreže**, u kojima tipičan promet obuhvaća razmjenu velikih datoteka (npr. arhiviranih dokumenata), kraće poruke, elektronsku poštu ili upit (tj. transakcije) nad bazama podataka

- **industrijske mreže**, tj. mreže za rad u stvarnom vremenu koje moraju pružiti uslugu prijenosa jedinica podatka unutar određenih vremenskih granica.

3. PREDNOSTI MREŽE

3. Advantages of Networks

Mreža računala može biti vrlo složen sustav koji podržava obavljanje cjelokupnih proizvodnih i upravljačkih funkcija i u tom smislu može biti osnovna infrastruktura informacijskog sustava, no mogu postojati dovoljno važni razlozi i za izgradnju mreže između samo nekoliko računala ili uređaja.

Bez obzira na veličinu mreže, njezinu namjenu i složenost, prednosti koje pruža rad u mreži jesu:

- razmjena informacija
 - pristup zajedničkim bazama podataka
 - dijeljenje resursa mreže.

Razmjena informacija jest razmjena datoteka (podataka ili programa), razmjena dokumenata, obavijesti i poruka (npr. elektronske pošte). Elektronska razmjena poruka oslobađa nas gomila papira i zastarjelog načina njihova prijenosa. Prijenos informacija je jednostavan, jeftin i brz, bez obzira na to govorimo li o razmjeni informacija u istom uredu ili između korisnika mreže na različitim kontinentima.

Pristup zajedničkim bazama podataka omogućuje distibuirani unos podataka i distribuirani pristup jedinstvenim podacima sa svih točaka mreže. Time se izbjegava udvostručavanje podataka, duplicitanje postupaka s podacima te se postiže veća točnost i brzina.

Dijeljenje resursa mreže znači da uređaji povezani u mrežu poslužuju mnogo korisnika. Korisnici u lokalnoj mreži mogu se skupim laserskim pisačima, crtačima u boji, telefeks uređajima i sl. koristiti sa svoga radnog mjesta. Na taj se način racionalizira uporaba skupih uređaja i izbjegava nezgrapan prijenos datoteka disketama. Resursi mreže su i druga računala u mreži, pa dijeljenje resursa znači i mogućnost rada na udaljenim računalima.

Računalna mreža (zahvaljujući uvedenim standardima) omogućuje zajednički rad različitih sustava (PC računala, mjernih uređaja, grafičkih radnih stanicu, miniračunala različitih vanjskih jedinica ...) i njihovu integraciju u jedinstven radni sustav u kojemu se dijele resursi i razmjenjuju informacije. Integracija je moguća bez obzira na vrstu uređaja u mreži, operacijski sustav s kojim računala rade i proizvođače/dobavljače opreme.

To znači da je u mrežu moguće integrirati svu postojeću računalnu opremu i postupno je nadograđivati u skladu s mogućnostima i potrebama. Modularnost i prilagodljivost važne su prednosti imrežeračunala pred central-

iziranim sustavom sastavljenim od računala i većega broja terminala.

4. SLOJEVNA STRUKTURA RAČUNALNIH MREŽA

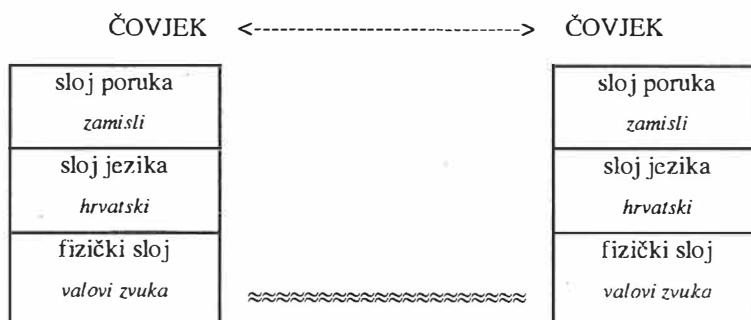
4. Layered Structure of Computer Networks

Mrežni sustav može se promatrati kao hijerarhijski organiziran višeslojni sustav.

Svaka jedinica povezana u mrežu izvodi niz zadaća vezanih za prijenos podataka. Takvi zadaci koje izvodi sama strojna oprema ili programi razvrstani su u neovisne slojeve, tvoreći tako model slojevne strukture.

Da bismo bolje shvatili model slojne stukture računalnog sustava, zamislimo analogiju s ljudskom komunikacijom (sl.1). Aktivnosti koje se obavljaju za vrijeme ljudske komunikacije mogu biti podijeljene u tri sloja: fizički sloj, sloj jezika i sloj poruka. Dvije strane u komunikaciji moraju se složiti da će se koristiti zajedničkim fizičkim medijem za komunikaciju, npr. glasom (zvukom) ili pismom. Nakon odabira fizičkog medija moraju se složiti s uporabom istog jezika komunikacije, npr. hrvatskoga ili engleskoga, i na kraju, na najvišoj razini moraju s razumijevanjem razmjenjivati zamisli da bi komunikacija između njih tekla. Svaki sloj bilo kojeg komunikacijskog sustava ima svoja pravila koje sudionici u komunikaciji moraju poštovati da bi komunikacija bila uspješna. Ta se pravila zovu protokoli. Na primjer, protokol fizičkog sloja jest dogovor sudionika u komunikaciji da obje strane ne mogu istodobno govoriti, a primjer protokola sloja jezika bila bi gramatika i pravopis odabranog jezika komunikacije.

Mrežni protokol strogo je definiran skup pravila za izmjenu podataka i upravljačkih poruka između uređaja u mreži. Skup slojeva od kojih se mreža sastoji, usluge, tj. funkcije koje pojedini slojevi pružaju višim slojevima, te skup protokola kojima se ostvaruje povezivanje unutar ili između pojedinih slojeva naziva se mrežnom arhitekturom. Pojedini slojevi modela ostvaruju svoje zadaće koristeći se uslugama nižeg

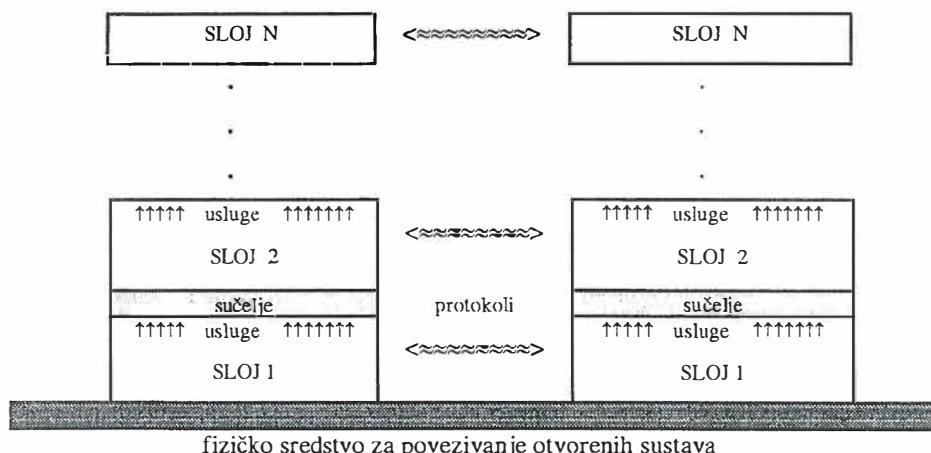


Slika 1.

Primjer ljudske komunikacije sa zadaćama svrstanim u slojeve • Example of human communication with tasks classified into layers

Slika 2.

Prikaz slojeva, sučelja, usluga, protokola i fizičkog sredstva • Presentation of layers, interfaces, services, protocols, and physical means



sloja te ih obogaćene predaju višem sloju. Svaka viša razina znači obogaćivanje mrežnog sustava uslugama i još veću transparentnost složenosti mrežnog sustav prema korisniku. Na prijelazu između dva susjedna sloja postoji skup pravila koja obje strane moraju zadovoljavati. Ta pravila nazivamo sučeljem (engl. interface). Preko sučelja viši sloj zahtjeva, a niži sloj pruža uslugu.

Posebice je važno u slojevitoj mrežnoj arhitekturi precizno definirati sučelja te su ona važan objekt standardizacije. Naime, mehanizmi svakog sloja, kao i njegove mogućnosti, mijenjaju se kako napreduje tehnologija, te je nužno omogućiti zamjenu jednog mehanizma drugim bez utjecaja na druge slojeve. Na primjer, vrlo je važno da prethodno napisana aplikacija (program) i dalje radi iako smo, slijedeći razvoj tehnologije računalnih komponenata, nabavili jače računalo ili ako smo koaksijalni kabel zamjenili bržim i sigurnijim optičkim kabelom. Standardizacija razumijeva neovisnost slojeva.

Time što je upravo izneseno dan je jedan od razloga zašto je važna slojavitost sustava i njegova standardizacija.

Naime, u počecima razvoja računalnih komunikacija umrežena su računala mogla komunicirati samo ako ih je proizveo isti proizvođač. Zatvorenost takvih sustav značila je plaćanje visoke cijene, neprilagodljivost tehnološkom razvoju i potrebama korisnika. Nasuprot tome, uvođenjem

modela slojevite strukture mreža te definiranjem javnih konvencija (standarda) o zadaćama svakoga pojedinog sloja nastaje nov pristup koncepciji umrežavnja nazvanom povezivanje otvorenih sustava (Open System Interconnection). Prikaz povezivanja otvorenih sustava s označenim razinama slojeva, sučeljima i uslugama dan je na slici 2.

Sa stajališta korisnika, koncepcija otvorenosti znači mogućnost jednostavnog povezivanja opreme različitih proizvođača (i postojeće opreme u koju je korisnik već uložio) te širok izbor novih rješenja i opreme koji najbolje odgovaraju potrebama i mogućnostima korisnika. Povećanjem potreba ili naprsto razvojem tehnologije otvorenost osigurava mogućnost jednostavne nadogradnje pojedinih dijelova sustava (ili njihove zamjene tehnološki boljima), i to bez utjecaja na rad već postojeće strojne opreme i aplikacija.

Međunarodna organizacija za standarde ISO (International Standards Organization) dala je 1983. godine preporuke u obliku osnovnoga referentnog modela ISO/OSI (Open System Interconnection) za povezivanje otvorenih sustava (sl. 3). Taj model definira koncepciju umrežavanja kao niz od sedam slojeva. Kako slojevi obavljaju zaokruženu zadaću, znači da se standardi jednog sloja mogu definirati neovisno o standardima za druge slojeve. Svaki od tih slojeva ima svoju funkciju i precizno definirano sučelje prema susjednim slojevima. Najniži sloj je sloj same fizičke veze. Fizički sloj, zajedno s još tri sloja iznad sebe, čini transportni podsustav. Ono s čime se susreće krajnji korisnik, odnosno njegova aplikacija, jest najviši sloj. Detaljan opis referentnog modela ISO/OSI dan je u (Martin, 1988).

Model ISO/OSI definira samo okvir za standardizaciju. Usluge i protokoli (sl. 2) standardiziraju se odvojeno. Da bi se osigurala prilagodljivost korisničkim potrebama, standardi dopuštaju postojanje opcija i parametara. Stoga je moguće odabrati više

Slika 3.

Referentni model za povezivanje otvorenih sustava • Reference model for the interconnection of open systems

7. SLOJ PRIMJENE - APPLICATION LAYER
6. SLOJ PREDOČAVANJA - PRESENTATION LAYER
5. SLOJ SJEDNICE - SESSION LAYER
4. PRIJENOSNI SLOJ - TRANSPORTATION LAYER
3. MREŽNISLOJ - NETWORK LAYER
2. SLOJ PRIJENOSA PODATAKA - DATA TRANSFER
1. SLOJ FIZIČKE VEZE - PHYSICAL LINK LAYER

različitih kombinacija usluga i protokola.

Primjer odabira standardnih usluga i protokola za potrebe automatizacije tvornice, odnosno za podršku računalom upravljane proizvodnje (engl. CIM - Computer Integrated Manufacturing) jest MAP/TOP (Glavinić, 1993), koji uređuje:

- industrijske mreže (engl. Manufacturing Automation Protocol - MAP)
 - uredske mreže (Technical and Office Protocol - TOP)

- međusobno povezivanje industrijske (MAP) i uredske (TOP) mreže te njihovo povezivanje s javnim mrežama. Detaljniji opis modela MAP/TOP, s predviđenim standardima usluga i protokola za svih sadam slojev referentnog modela ISO/OSI, dan je u (Glavinić, 1993). Napomenimo samo da se unutar te mrežne arhitekture razrađuju i posebani standardi za specifična područja upravljanja proizvodnjom, kao što su numeričko upravljanje, upravljanje robotima i vođenje procesa.

5. OBЛИCI POVEZIVANJA RAČUNALA U LOKALNU MREŽU

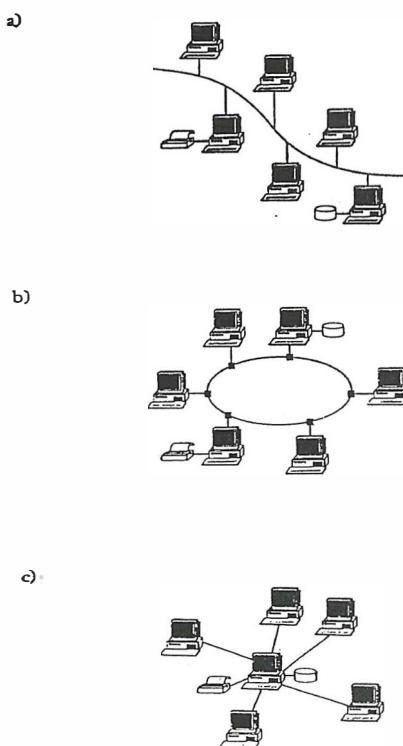
5. Forms of Computer Connection to a Local Network

Mreže mogu biti oblikovane na vrlo različite koji se mogu izvesti iz sljedeća tri temeljna oblika povezivanja: sabirnice, zvijezde i prstena (sl. 4). Oblik povezivanja računala u mrežu naziva se topologijom mreže.

Sabirnica (engl. bus) - Mrežu čini komunikacijski medij - kabel s oba slobodna kraja. Svaki se čvor spaja na sabirnicu prikladnim međusklopolom. EtherNet je najčešća implementacija sabirnice. To je standard koji se odnosi na prva dva sloja modela ISO/OSI. Prednost takve topologije jest funkcionalnost mreže u slučaju is pada jedne stанице ili više njih.

Prsten (engl. ring) - Sva računala u mreži spojena su neprekidnim prstenastim kabelom. Podaci se šalju u krug, od jednog računala do drugoga, i svaki čvor analizira podatke. Ako podaci nisu namijenjeni tom čvoru, predaju se ljedećemu u prstenu, sve dok ne došu do primatelja. Najpopularnija implementacija te topologije jest IBM Token Ring. Takva topologija zahtijeva mnogo manju duljinu prijenosnog medija (kabela) nego zvjezdasta topologija i ne zahtijeva centralnu stanicu. Nedostatak joj je da ispod bilo koje stanice iz sustava onemoguću je rad ci jele mreže.

Zvijezda (engl. star) - Karakterizira je centralna mrežna stanica na koju su izravnom vezom priključene sve ostale jedinice u mreži. Mreža nije u radnom stanju samo ako je centralna stanica izvan uporabe, inače ispod pojedine stanice iz sustava ne utječe na rad mreže u cijelini.



Slika 4.

*Prikaz umreženih
računala u obliku: a)
sabirnice, b) prstena, c)
zvjezde • Presentation of
different kinds of
computer networks:
a)bus, b) ring, c) star*

6. FIZIČKA SRDSTVA ZA PRIJENOS PODATAKA

6. Physical Means of Data Transfer

Odabir prijenosnog sredstva vrlo je važan sa stajališta pouzdanosti prijenosa te cijenc izgradnje mreže. Da bi se prenosili, digitalni se signali, svojstveni svijetu računalne opreme, moraju prilagoditi svojstvima prijenosnog medija, pa se adi prijenosa nekim medijem poaci električno ili elektromagnetski kodiraju. Često je za prilagodbu prijenosnom mediju digitalne podatke potrebno pretvoriti u analogne (i zatim obrnuto), pa se govori o postupku modulacije odnosno demodulacije. Primjer takvog postupaka jest prijenos digitalnih signala telefonskim linijama, pomoću uređaja za modulaciju i demodulaciju, modemom.

Parica (engl. twisted pair). Najstariji i najuobičajeniji medij svakako je parica. To je par izoliranih bakrenih vodiča promjera oko 1 mm, koji su helikoidno upredeni radi smanjenja električnih utjecaja na susjedne parove. Parica se pojavljuje u dvije izvedbe: kao okopljena (engl. shielded twisted pair) ili kao neokopljena (engl. unshielded twisted pair). Koristi za prijenos analognih i digitalnih signala. Brzina prijenosa podataka ovisi o udaljenosti, a kreć se oko reda veličine do nekoliko Mbit/s. Izvedba Ethernet mreže pomoću parica vrlo je popularna jer se s vremenom cijena tog prijenosnog medija smanjuje, a pouzdanost povećava.

Koaksijalni kabel (engl. coaxial cable). Taj prijenosni medij ima vrlo dobre električne i fizikalne karakteristike te osigu-

rava brz i pouzdan (otporan na smetnje) prijenos analognih i digitalnih podataka. Brzina prijenosa je reda veličine 10 Mbit/s. Koaksijalni kaabel je tradicionalni prijenosni medij i relativno je jeftin.

Za Ethernet mreže rabe sedva tipa koaksijalnih kabela: debaeli kabel koji služi za premošćenje velikih udaljenosti i za nestandardne uvjete (npr. industrijske pogone), i tanki, koji se upotrebljava za manje udaljenosti, pri čemu cijena instalacija mora biti niska.

Optičko vlakno (engl. fiber optics). Jedan od najnovijih medija za prijenos podataka jest optičko vlakno. Podaci se tim medijem prenose kodirani kao svjetlosni impulsi. Optičko se vlakno sastoji od snopa tankih izoliranih staklenih ili plastičnih niti koje mogu voditi svjetlost. Prednost tog medija su velike brzine prijenosa (reda 1 Gbit/s), neosjetljivost na elektromagnetske smetnje i dobra zaštita od neovlašteanog pristupa. Optička vlakna su idealan medij za izgradnju brzih lokalnih i gradskih mreža. Nedostatak tog medija je relativno visoka cijena i osjetljivost pri ostvarivanju priključaka. FDDI (Fiber Distributed Data Interface) noviji je način prijenosa pomoću optičkog kabela primijenjenoga na prstenasti oblik mreže s dvostrukom stazom. Tom se tehnologijom postižu vrlo velike brzine (do 100 Mbit/s).

Ostale metode. U posebnim se okolnostima za izgradnju mreža kao medij mogu koristiti iznajmljene telefonske linije. Radiovalovi i infracrveni valovi također se mogu koristiti kao medij za prijenos podataka. Sam prijenosni medij u tom je slučaju besplatan, ali su uređaji za primanje i odašiljanje signala skupi. Satelitskim vezama povezuju se zemljopisno vrlo udaljena mjesta.

Svi navedeni prijenosni mediji i topologije imaju svoje prednosti, ograničenja primjene i nedostatke. Odabir topologije i prijenosnog medija izravno utječe na cijenu povezivanja u mrežu, ali i na pouzdanost i brzinu prijenosa podataka. Stoga odabir treba biti prije svega uskladen s namjenom mrežnog sustava.

7. LOKALNE MREŽE OSOBNIH RAČUNALA 7. Local Personal Computer Networks

Prijenosni medij, topologija mreže i protokoli koje smo spominjali (Ethernet, Token Ring) pokrivaju samo prva dva sloja modela ISO/OSI. Povezujemo li u lokalnu mrežu osobna računala, nakon odabira topologije, protokola i fizičkog sredstva za povezivanje potrebno je odabrati i mrežni operacijski sustav. Neovisnost slojeva osigurava neovisan izbor mrežnoga operacijskog sustava koji pok-

riva gornje slojeve mrežnog modela. Moguće je birati između dva osnovna tipa mrežnih programa za lokalne mreže: - mreže ravno-pravnih jedinki (engl. peer to peer) - prednost je te mreže niska cijena, jednostavnost održavanja, jednostavno proširenje mreže, a nedostatak je ogrničena veličina. Budući da su te mreže samo proširenje operacijskog sustava na rad u mreži, s njima je jednostavno i lako raditi.

- mreže se poslužiteljem datoteka (engl. file server) - obvezno ima centralno računalo (poslužitelja) velikog kapaciteta. Takve su mreže pouzdane, brze i jednostavno ih je proširivati. Skuplje su od spomenutih "peer to peer", a budući da su i složenije, zahtijevaju veću pažljivost pri održavanju.

Neovisnost sloja primjene nadalje omogućuje izbor ili izradbu namjenskog programa (aplikacije), također neovisno o izborima rješenja za sve niže slojeve.

8. ZAKLJUČAK 8. Conclusion

Potreba za brzom i točnom informacijom kao nužnost nemeće izgradnju računalnih mreža. Mrežu može činiti samo nekoliko računala unutar istog ureda, no mreža može biti vrlo složen sustav koji će integrirati proizvodne, upravljačke i administrativne funkcije u cjelinu, bez obrzira na to nalaze li se izvori tih informacija na užem području ili na zemljopisno udaljenim mjestima.

Mreža znači mogućnost pristupa svim informacijama u njoj te mogućnost zajedničkog iskorištavanja svih resursa mreže (drugih računala, štampača, faks-uređaja i dr.). Osim toga, mreža ima znatne mogućnosti koje su prednost u ekonomskom smislu, primjerice:

- integracija postojeće (raznovrsne) opreme
- nadogradnja mreže prema potrebama i mogućnostima.

Izgradnja mreže razumijeva razmatranje mnogih opcija i njihovih kombinacija, a pravilan izbor koji treba biti u skladu s potrebama korisnika ima presudno značenje za kvalitetno i dugotrajno funkcioniranje mreža.

LITERATURA References

1. Glavnić, V. 1993: Komunikacija sustava procesne informatike, Zbornik radova seminarja Procesna informatika u HEPU, Rijeka, 5-1, 5-60.
2. Martin, J. 1988: Data Communication Technology, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
3. Turk, S. 1991: Računarske mreže. Školska knjiga, Zagreb, 1, 17 - 53.